特区建工技术

SEZ CONSTRUCTION TECHNOLOGY

主办：深圳市特区建工集团有限公司
承办：深圳市天健（集团）股份有限公司
协办：深圳市建安（集团）股份有限公司 深圳市建设（集团）有限公司 深圳市路桥建设集团有限公司
深圳市特区建工科工集团有限公司 深圳市综合交通设计研究院有限公司

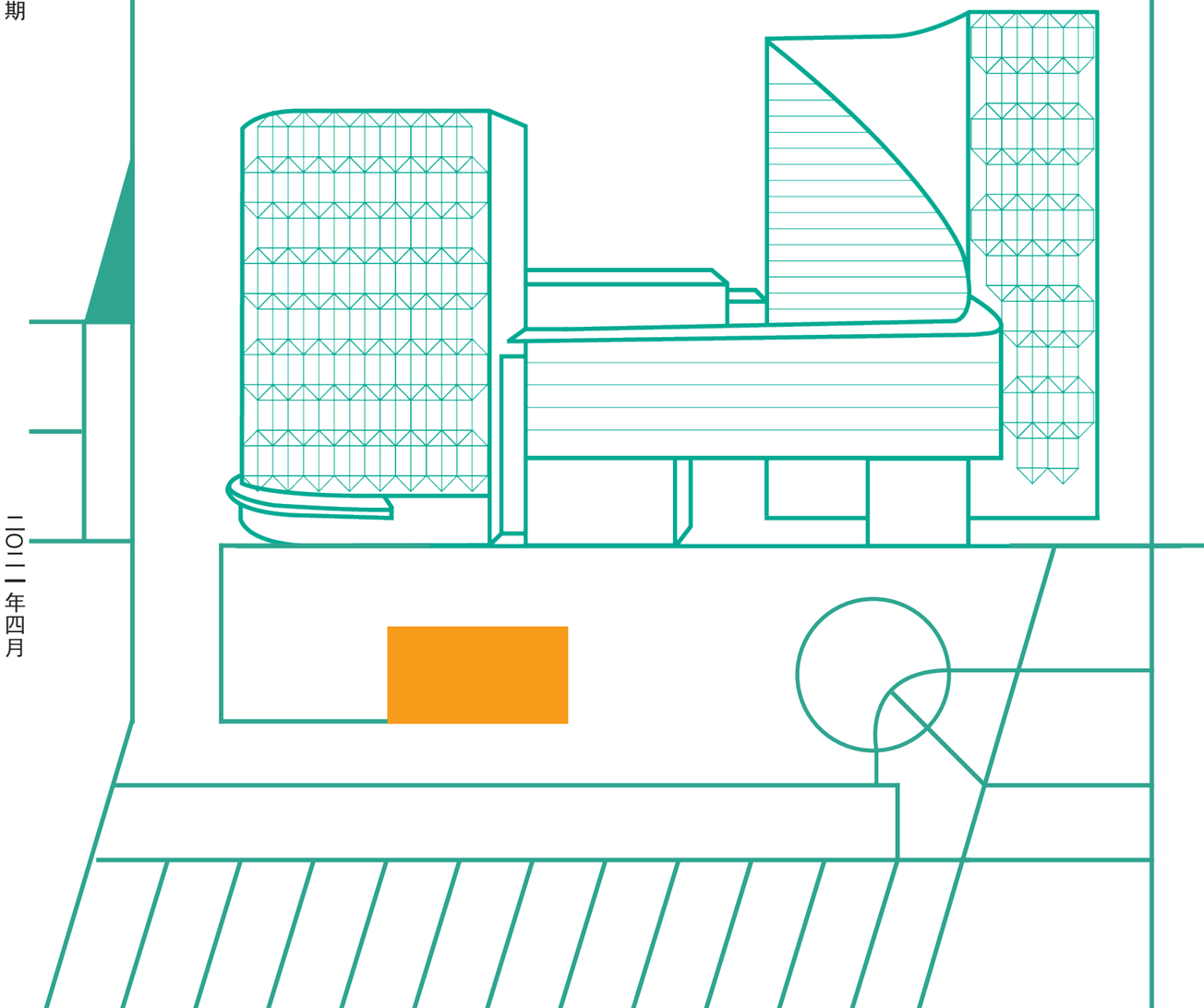
NO.01
VOL.10 2021年04月号

特区建工技术

二〇二一年第一期

二〇二一年四月

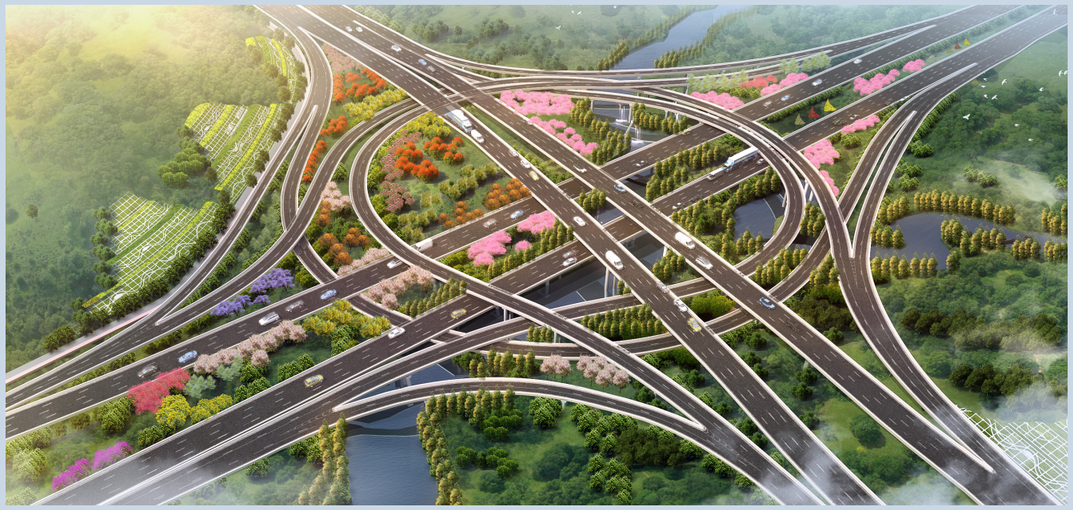
天健创智中心



主办：深圳市特区建工集团有限公司
承办：深圳市天健（集团）股份有限公司
协办：深圳市建安（集团）股份有限公司 深圳市建设（集团）有限公司
深圳市路桥建设集团有限公司 深圳市特区建工科工集团有限公司
深圳市综合交通设计研究院有限公司
地址：深圳市福田区红荔西路7019号天健商务大厦16楼
电话：0755-82565321 邮编：518034



特区建工集团旗下科工集团的盛腾科技工业园A期PC构件厂房项目在住房和城乡建设部开展的《装配式建筑评价标准》示范项目评选活动中，被认定为国家A级装配式建筑示范项目。该项目是特区建工科工集团深入布局新型建筑工业化战略性业务单元，打造预制构件生产业务示范引领的重要部分，位于深汕特别合作区鹅埠镇建设西路，投资规模达5亿元，占地面积10万平方米，其中一期工程总用地面积7.5万平方米，从2017年5月举行奠基仪式至2018年5月正式完工投产，建设周期仅一年，是“深汕速度”的典型代表案例。



由特区建工集团旗下综交院编制完成的《深汕特别合作区望鹏大道（潮莞高速至深东大道段）建设工程-工程可行性研究报告》喜获中国工程咨询协会颁发的全国最高级别奖项——全国优秀工程咨询成果奖。



目 次

应用研究

基于可计算一般均衡模型的交通出行费率影响研究 …… 朱一洲 谭英嘉 利敏怡 3
考虑土体强度非线性的地震主动土压力分析 …… 彭晓钢 王寰宇 李有志 11
富水石英砂砾层盾构施工的土体改良试验 …… 程池浩 19

建筑设计

大底盘三塔楼超限高层抗震分析 …… 杨 明 彭 昊 28
支护桩与挡土墙组合共同受力的设计探讨 …… 刘建平 彭 昊 沈燕飞 邓 超 35
既有钢框架结构在截面削弱条件下的工作性能研究 …… 姜宇彤 40
深圳某复杂高层楼板应力分析 …… 刘建平 彭 昊 沈燕飞 44

经验交流

EPC项目统筹管理的思考与探讨--以深免海口观澜湖免税城工程（EPC）为例 …… 田 蕾 50
在住宅建筑阳台上设置竖向紧急避险逃生口的探讨和建议 …… 李永彪 56
高层智能建筑物防雷接地工程施工技术研究 …… 莫智源 60
对新基建下智慧道路建造和运维技术的思考 …… 张爱军 68

数字建造

BIM技术在罗湖棚改项目全生命周期中的应用研究 …… 汪 洋 刘志翔 罗贤伟 王 进 72
深圳市某综合体基于BIM技术的数字化项目管理 …… 常泽英 吴鼎政 程 姗 陈佳裕 86

简 讯

住房和城乡建设部发布技术导则系统定义绿色建造 …… 10
多款建筑机器人亮相顺德凤桐花园项目 …… 18
9度罕遇地震屹立不倒西建大高延性混凝土加固农房振动台试验圆满成功 …… 39
创新培训思路 建立长效机制 …… 94
深圳湾超级总部基地C塔：多维垂直城市 …… 95
把碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局 …… 96
50条工程“数字简语” …… 98
征稿启事 …… 27



2021年4月出版 VOL.10
2021年 第1期 第10卷
（内部资料 业内交流）

《特区建工技术》**杂志编辑委员会**
主　　任：韩德宏
副 主 任：宋 扬 何云武 王培先 林婵波 方东红 尹剑辉 张心亮 李 锋 臧 翀 陈 强 陈惠劼 袁立群 张明哨 王 超 江 建 刘进跃 黄 海 姜树学 谢勇利
编　　委：刘铁军 陈 俭 揭选松 洪绍友 彭晓钢 于 芳 杨建平 郑志刚 张 平 周保生 龙桂华 范璐璐 黄小芳 汪 洋 张建同 牛双健
主　　编：江 建
副 主 编：于 芳 王 媛 刘晓华 王 佳 刘艾轩

主　　办：深圳市特区建工集团有限公司
编辑出版：《特区建工技术》编辑部
地　　址：广东省深圳市福田区红荔西路7019号天健商务大厦1609
邮政编码：518034
电　　话：0755-82565321
排　　版：深圳市新鸿兆文化传播有限公司
印　　刷：深圳市长江印刷公司
登记证号：（粤B）L018010008

Contents

3 **Research on the impact of travel cost based on computable general equilibrium model**
Zhu Yizhou Tan Yingjia Li Minyi

11 **Seismic active earth pressure considering nonlinearity of soil strength**
Peng Xiaogang Wang Huanyu Li Youzhi

19 **Experiments of soil conditioning for shield tunneling in watery quartz sand-gravel ground**
Cheng Chihao

28 **Seismic analysis of three tower building with large base**
Yang Ming Peng Hao

35 **Design and analysis of combined force of retaining wall and retaining pile**
Liu Jianping Peng Hao Shen Yanfei Deng Chao

40 **Study on the working performance of existing steel frame structure with weakened section**
Jiang Yutong

44 **Stress analysis of a complex high rise floor in Shenzhen**
Liu Jianping Peng Hao Shen Yanfei

50 **Thinking and discussion on the overall management of EPC project——a case study of Haikou Mission Hills Duty-free Hall project**
Tian Lei

56 **The proposal for installing vertical emergency escape exits on the balcony of urban residential buildings**
Li Yongbiao

60 **Research on the construction technology of lightning protection and grounding engineering of high-rise intelligent building**
Mo Zhiyuan

68 **Technology of construction and maintenance of the Smart Roads under the background of New Infrastructure**
Zhang Aijun

72 **BIM technology in Luohu shed renovation project applied research in the whole life cycle**
Wang Yang Liu Zhixiang Luo Xianwei Wang Jin

86 **Digital project management of a complex in Shenzhen based on BIM technology**
Chang Zeying Wu Dingzheng Cheng Shan Chen Jiayu



SEZ Construction Technology
Vol.10,No.1
Apr.2021

Editorial Board of SEZ Construction Technology
Director：HAN Dehong
Vice Director：SONG Yang HE Yunwu WANG Peixian LIN Chanbo FANG Donghong YIN Jianhui ZHANG Xinliang LI Feng ZANG Chong CHEN Qiang CHEN Huijie YUAN Liqun ZHANG Mingshao JIANG Jian LIU Jinyue HUANG Hai JIANG Shuxue XIE Yongli
Members：LIU Tiejun CHEN Jian JIE Xuansong HONG Shaoyou PENG Xiaogang YU Fang YANG Jianping ZHENG Zhigang ZHANG Ping ZHOU Baosheng LONG Guihua FAN Lulu HUANG Xiaofang WANG Yang ZHANG Jiantong NIU Shuangjian
Chief Editor：JIANG Jian
Editor：YU Fang WANG Yuan LIU Xiaohua WANG Jia LIU Yixuan

Edited and pubulished by：Shenzhen SEZ Construction Group Co., Ltd.
Sponsored by：SEZ Construction Technology Editorial Department
Address：Room 1609,Tianjian business building,No.7019,Hongli Road,Futian District,Shenzhen City,Guangdong Province
Postcode：518034
Tel：0755-82565321
Printed by：Shenzhen Xinhongzhao Culture Spreading Co. Ltd

应用研究

基于可计算一般均衡模型的交通出行费率影响研究

朱一洲，谭英嘉，利敏怡
（深圳市综合交通设计研究院有限公司 大数据中心，深圳 518003）

[摘 要] 出行费用是影响出行者出行行为的关键因素之一，对出行者方式和路径选择都起着重要作用。为进行费用对出行者影响分析，基于可计算一般均衡理论，在考虑出行者需进行商品和租房消费的情况下，构建了交通出行子模型和可计算一般均衡经济子模型。模型综合考虑交通和经济双重因素影响下，公共交通和小汽车出行竞争情形时，出行费用对不同收入出行者家庭方式选择、效用收益以及区域分布等方面的影响，并就一算例进行了应用分析。结果表明，模型能有效分析价格变化对出行者家庭及路网的影响。

[关键词] 交通管理；公共交通；可计算一般均衡模型；出行费用；费用影响；小汽车出行

Research on the impact of travel cost based on computable general equilibrium model

Zhu Yizhou, Tan Yingjia, Li Minyi
(Shenzhen Transportation Design & Research Institute Co., Ltd, Big Data Center, Shenzhen 518003)

Abstract: Travel cost is one of the main factors affecting travelers' behavior, which plays an important role in the choice of travel mode and route. In order to analyze the impact of cost on travelers, based on the computable general equilibrium theory, the traffic sub-model and the computable general equilibrium economic sub-model were constructed with the consideration of travelers' commodity and rental consumption. Under the influence of traffic and economic factors, the model comprehensively considered the impact of travel cost on the family mode selection, utility and regional distribution of travelers in the case of public transport and car travel competition. Then, an example was analyzed by using the model. The model overcame the one-sided impact of the previous study on transportation system and provided a more comprehensive analysis method for travel cost. The results show that the model can effectively analyze the impact of price changes on the travelers and road network.

Keywords: traffic management; travel cost; cost impact; computable general equilibrium model; public transportation; private car travel

0 引言

交通出行问题是城市发展伴生而来的一个共性难题，城市人口规模的扩大，机动化进程的加快，都会对城市道路运输系统带来严峻考验。为缓解道路交通压力，各大城市都着力推进“公交城市”的建设，常规公交线网的增设、覆盖率提升和轨道交通的大规模运营已经成为各大城市交通发展的趋势。而城市公共交通基础设施建设逐渐完善的同时，如何调控小汽车出行者转向公共交通就成了管理部门需要重点考虑的问题。出行费用作为影响出行者出行选择的核心因素之一，其价格的制定就对交通出行流量的分布起着十分显著的作用。

国内外关于交通出行的公共交通票价和停车场费率相关研究已有很多，文献[1]以离散选择分析方法发现单一增加驾驶出行成本，相比增加行程时间和减少其他方式费用能更好的降低驾驶出行需

求。文献[2]等构建了双层模型来研究多用户不同停车位置的停车收费和供应问题，结果表明不同时期实施不同收费价格和供应可以有效满足不同时刻变化的停车需求。文献[3]则采用双层规划模型研究了公交票价对乘客出行选择行为的影响。文献[4]应用logit模型进行公交和地铁之间的方式分担划分，构建了城市公交和地铁票价整合定价模型。相关研究内容除了票价收费对出行需求和方式选择的影响，还有价格收费对提高路网整体通行效率的效果也是研究热点，通常从出行者成本或效用[5]，运营商成本或收益[6]等目标上做出优化。文献[7]针对通勤者早晚出行研究了时变的道路通行收费制度，发现傍晚下班时间由于道路收费会使得出行者愿意增加工作地等待时间从而消除了通勤排队延误，早上出行时则由于基于停车位置分配成本，降低了车位的吸引力，使得早高峰时间缩短。文献[8]研究了基于活动行为下，停车费用对网络总效用改善的作用，通过分析网络中基于活动的出行链，建立了管理者和出行者博弈的双层模型。停车收费价格方面，如何制定其最优票价是许多学者的研究兴趣。文献[9]采用条件估值法研究新建停车设施的收费问题，针对备选费用采用二分选择法询问调查者，据此根据实际调查数据计算出驾驶员愿意接受停车费用的均值和中间值。文献[10]通过分析停车位供给充足和不充足情况下的收费目的和驾驶员的可接受容忍度函数，建立了调节停车泊位供求关系和调节停车行为的约束停车定价计算模型。

传统出行费用的研究建模，多单纯从交通模型上进行分析，仅反映了交通活动因素下票价这一经济指标对出行者的影响，没有考虑经济方面的影响因素，难以较全面的刻画出出行票价与出行选择之间关联性。因此本文以出行费用为决策变量，基于可计算一般均衡（CGE）理论建立了城市居民出行的交通子模型和消费CGE子模型，在综合考虑交通和经济方面的双重影响下，探究城市公共交通和停车场不同费用组合情况下，出行收费价格对交通流量分配及路网系统总性能的影响。

1 模型构建

1.1 交通出行子模型

交通出行子模型用于描述路网状况和出行者选择行为，基于路段流量守恒方法建立可避免求解时需搜寻可能的所有路径，简化了计算过程。

（1）路阻函数

路网上各路段路阻根据BPR函数计算，记$t_{m,i,j}$为采用交通出行方式m通过路段$a(i,j)$的实际通行所需时间，$\alpha_{m,i,j}$为自由流行驶时间，$F_{m,i,j}$为通过的交通量，$\kappa_{m,i,j}$为路段通行能力，b和β为模型待定参数，假定β取值为4，则出行方式路阻计算如下。

路段上小汽车pr出行路阻计算如下：

$$t_{pr,i,j}=\alpha_{pr,i,j}+b_{pr,i,j}\left(\frac{F_{pr,i,j}}{\kappa_{pr,i,j}}\right)^4 \tag{1}$$

公共交通pu出行路阻计算如下：

$$t_{pu,i,j}=\alpha_{pu,i,j}+\mu_{i,j}\left(if \quad F_{pu,i,j}\geqslant\overline{F}_{pu,i,j}\right) \tag{2}$$

$\mu_{i,j}$为公共交通容量约束，其由道路上流量$F_{pu,i,j}$和既定流量阈值$\overline{F}_{pu,i,j}$决定，当选择公共交通出行人数大于既定的容量阈值时，路阻函数则需加上$\mu_{i,j}$，否则不用，其出行时间为自由流时间。

（2）路段流量

道路网上任意路段$a(i,j)$出行流量等于所有OD对中经过该路段的流量之和，计算公式如下：

$$F_{m,i,j}=\sum_{h,o,k} X_{h,m,o,i,j,k} \tag{3}$$

式中$X_{h,m,o,i,j,k}$表示h类型用户从起点o选择方式m通过路段$a(i,j)$去往目的地k点的流量。由于道路的承载能力有限，其能够通行的流量不能无限大，路段流量约束表达式如下：

$$F_{m,i,j}\leqslant FL_{m,i,j} \tag{4}$$

$FL_{m,i,j}$为路段$a(i,j)$上方式m能够通行的最大流量。

（3）节点流量守恒

路网上节点出发的流量应等于到达的流量加上节点自身的出行流量，任意节点流量需满足该守恒方程：

$$\sum_j X_{h,m,o,i,j,k}-\sum_j X_{h,m,o,j,i,k}=N_{h,m,i,k} \tag{5}$$

$N_{h,m,i,k}$是h类型用户从点i出发前往目的点k的出行流量，当$i\in O$时，即点i为出行起点时，其取值不为零，否则为零。

（4）最短路径

出行者在任一点出行前往工作地时，由于时间原因会尽可能选择出行时间最短的路径，出行路段时间应满足如下式约束，当前出发节点到达终点的最短时间小于或等于经过路段$a(i,j)$的路阻时间加上j点到达终点k的最短时间。当等式成立时，该路段位于最短路径上。

$$T_{h,m,j,k}+t_{h,m,i,j}\geqslant T_{h,m,i,k} \tag{6}$$

式中$T_{h,m,i,k}$表示h类型用户选择方式m从点i到达目的地k点所需的最短出行时间。

（5）出行方式划分

乘客出行方式选择比例由基于时间和出行成本效用的多项logit模型计算获得。

$$U_{h,m,o,k}=vt(h)\times T_{h,m,o,k}+ct(h)\times TC_{h,m,o,k} \tag{7}$$

$U_{h,m,o,k}$表示出行效用，$vt(h)$为h类型用户的时间敏感系数，$ct(h)$则为费用敏感系数，$TC_{h,m,o,k}$为h类型用户选择方式m从起点o到达目的地k的出行费用。由此，可分别计算出公共交通出行分担比例$\theta_{h,pu}$和小汽车出行分担比例$\theta_{h,pr}$：

$$\theta_{h,pu}=\frac{e^{-U_{h,pu,o,k}}}{e^{-U_{h,pu,o,k}}+e^{-U_{h,pr,o,k}}} \tag{8}$$

$$\theta_{h,pr}=\frac{e^{-U_{h,pr,o,k}}}{e^{-U_{h,pu,o,k}}+e^{-U_{h,pr,o,k}}} \tag{9}$$

（6）出行者出行费用

出行者出行费用TC为出行路程花费和停车场停车费用两者之和：

$$TC_{h,m,o,k}=C_{h,m,o,k}+CP_{h,k}\times TW_{h,k} \tag{10}$$

式中$C_{h,m,o,k}$为出行路途中费用，分为公共交通费用和小汽车出行中费用，$CP_{h,k}$为停车场每小时停车单价，$TW_{h,k}$为停车时长。

1.2 CGE子模型

可计算一般均衡原理是在对研究经济主体做出外在设定的基础上，探究价格对各个经济主体的影响，价格在其中扮演着极为重要的角色[11]。CGE模型的核心骨架由三组基本方程构成，分别为零利润条件、无过度需求或市场出清条件、收支平衡条件。其余方程则用来求解衍生变量、评价指标等。

（1）生产函数

在CGE模型中，恒替代弹性（CES）函数是使用最频繁的非线性函数。当生产函数只考虑两个投入，其标准格式如（11）所示。

$$q=f(x_1,x_2)=A\left(\delta_1 x_1^{\rho}+\delta_2 x_2^{\rho}\right)^{\frac{1}{\rho}} \tag{11}$$

式中q为产出量，x_1和x_2为投入，参数A为效率或者规模参数，也被解释为全要素生产率，参数ρ和替代弹性有关，当ρ=0时，生产函数即为柯布-道格拉斯生产函数，本文假定生产函数ρ=0。在经济活动中，由于企业遵循生产成本c最小化原则，记θ_h为资本投资份额，据此可求得单位q的成本函数为：

$$c(R_{h,k},W_{h,k},1)=\frac{1}{A}\times\theta_h^{-\theta_h}\times {R_{h,k}}^{\theta_h}\times {W_{h,k}}^{1-\theta_h} \tag{12}$$

（2）零利润条件

根据生产单位商品的成本函数，可以得出商品生产的零利润条件，即商品的生产价格不能大于生产成本：

$$\frac{1}{A}\times\theta_h^{-\theta_h}(1-\theta_h)^{\theta_h-1}\times {R_{h,k}}^{\theta_h}\times {W_{h,k}}^{1-\theta_h}\geqslant py_h \tag{13}$$

式中py_h为商品的价格。当生产函数是规模报酬不变的函数时，其成本函数$c(R_{h,k},W_{h,k},q)$与产量q无关，即零利润条件等式成立时，生产企业已经利润最大化了，企业愿意在满足这个条件下供应任意数量的商品来满足需求。

（3）市场出清方程

CGE模型中生产者端包含的第二组核心条件方程有资本市场出清、劳动要素市场出清。资本市场和劳动要素市场出清方程如下：

$$KS_{h,k}\times R_{h,k}=\theta_h\times py_h\times Y_{h,k} \tag{14}$$

$$\sum_m\sum_o N_{h,m,o,k}\times W_{h,k}=(1-\theta_h)\times py_h\times Y_{h,k} \tag{15}$$

式中，$KS_{h,k}$为企业生产投入资本，$Y_{h,k}$为商品生产量。

（4）消费者商品价格

CGE模型闭合的一个重要环节是家庭从企业付出劳动要素得到的报酬收入转变为对商品的需求消费。租房和商品消费的综合价格$PCH_{h,o,k}$算如下：

$$PCH_{h,o}=\left(\delta_h\times ph_{h,o}^{(1-\varepsilon_h)}+(1-\theta_h)\times py_h^{(1-\varepsilon_h)}\right)^{\frac{1}{1-\varepsilon_h}} \tag{16}$$

式中δ_h为家庭对租房消费的投入份额，$ph_{h,o}$为起点o中h类型家庭的房租租金。ε_h为租房和商品消费之间的弹性替代系数。

（5）消费市场出清方程

根据消费综合价格可以分别列出租房和商品消费的市场出清方程。

$$HS_{h,o}\times ph_{h,o}^{\varepsilon_h}\geqslant\sum_{m,k}N_{h,m,o,k}\times INC_{h,m,o,k}\times\delta_h\times PCH_{h,o}^{\varepsilon_h-1} \tag{17}$$

$$A_{h,k}\times Y_{h,k}\times py_h^{\varepsilon_h}\geqslant\sum_{m,o}N_{h,m,o,k}\times INC_{h,m,o,k}\times(1-\delta_h)\times PCH_{h,o}^{\varepsilon_h-1} \tag{18}$$

式中$HS_{h,o}$为起点o可供h类型家庭租赁的租房，以租房资本量表示，$INC_{h,m,o,k}$为家庭用户的收入。两个不等式左边均表示供给，右边表示消费者需求，在市场出清条件下，需求量不能大于供给量。

（6）资本收益方程

模型中租赁的资本主要有两种，生产投资资本和租房资本，两者都会产生收益，则资本的平均收益PR可计算如下。

$$PR\times(\sum_{h,o}HS_{h,o}+\sum_{h,k}KS_{h,k})=\sum_{h,o}(ph_{h,o}\times HS_{h,o})+\sum_{h,k}(R_{h,k}\times KS_{h,k}) \quad (19)$$

（7）消费效用函数

在CGE模型中，家庭追求的是效用最大化。模型假定出行者家庭效用函数也为CES函数，休闲和消费之间的替代弹性系数为ε_L，则$\rho=\frac{1}{1-\varepsilon_L}$。家庭从消费商品和休闲中获得效用，效用函数表达式如下：

$$TUS_{h,m,o,k}=(\mu\times LS_{h,m,o,k}^{\rho}+(1-\mu)\times(\frac{INC_{h,m,o,k}}{PCH_{h,o,k}})^{\rho})^{\frac{1}{\rho}} \quad (20)$$

式中TUS为家庭效用值，μ为休闲效用份额，LS为休闲时长。

（8）收支守恒方程

出行者家庭从工资和资本中获取收益，资本收益包含出租资本获取的利润和商品投资中的利润，计算如下：

$$INC_{h,m,o,k}=W_{h,k}\times TW_{h,k}+HR_h\times(\zeta\times PR+(1-\zeta)\times TW_{h,k}-TC_{h,m,o,k} \quad (21)$$

式中$TW_{h,k}$为工作时长，与停车时长相等，HR_h为h类型用户人均资本赚取收益，其值为投资资本和租房资本收益总和除以该类型人数。ζ为从出租资本中获得收益的比例，$TC_{h,m,o,k}$为用户使用m方式出行所支付的费用。

（9）休闲时间

休闲时间LC由最大出行时间与实际出行时间之差决定，即

$$LC_{h,m,o,k}=\frac{T_{h,m,o,k}^{\max}-T_{h,m,o,k}}{T_{h,m,o,k}^{\max}-T_{h,m}^{ref}} \quad (22)$$

式中$T_{h,m}^{\max}$为h类型用户在起讫点o，d之间以方式m出行的最长时间，$T_{h,m}^{ref}$则为参考时间基准阈值。

（10）目标函数

目标函数为路网总出行时间最小，家庭总效用最大。

$$OBJ=\sum_{h,m,o,i,j,k}(t_{m,i,j}\times X_{h,m,o,i,j,k})_{h,o}-\sum_{h,m,o,k}TUS_{h,m,o,k} \quad (23)$$

1.3 参数校准

（1）路阻函数校准

在校准路段延误函数时，首先随机生成一个路段流量值，在此基础上可以建立一个路阻函数式子。假设通过数据观测已知路段上流量和出行时间的倍数关系，即当路段上出行流量扩大N_F倍时，路段出行时间扩大N_T倍，由此可建立如（24）方程组。对方程组进行求解，结果如（25）所示，即可得到自由流时间α和函数中参数b的计算表达式。对模型进行求解直到各路段的时间不再发生变化为止，即模型自由流时间参数和系数b已标定完成。

$$\begin{cases}t_{m,i,j}=\alpha_{m,i,j}+b_{m,i,j}(\frac{F_{m,i,j}}{\kappa_{m,i,j}})^4\\ N_Tt_{m,i,j}=\alpha_{m,i,j}+b_{m,i,j}(\frac{N_FF_{m,i,j}}{\kappa_{m,i,j}})^4\end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases}b_{m,i,j}=t_{m,i,j}(\frac{N_T-1}{N_F^4-1})(\frac{\kappa_{m,i,j}}{F_{m,i,j}})^4\\ \alpha_{m,i,j}=t_{m,i,j}(\frac{N_F^4-N_T}{N_F^4-1})^4\end{cases} \quad (25)$$

（2）经济学模型参数校准

目的点j的劳动要素需求量为各出行起点前往j点工作的出行量。

$$DL_{h,k}=\sum_{h,o}N_{h,m,o,k} \quad (26)$$

工作地点k生产商品所需资本量$KS_{h,k}$可以通过该点支付的劳动报酬比例求得总金额后再乘以资本份额求得：

$$KS_{h,k}=\frac{\delta_h\times W_{h,k}\times DL_{h,k}}{1-\theta_h} \quad (27)$$

家庭将工资收入的一部分用以投资，投资资本会获得一定的利润收益HK：

$$HK_{h,o}=\upsilon\times\eta\times W_{h,k}\times\sum_{m,k}N_{h,m,o,k} \quad (28)$$

η为投入资本在工资中所占的比例，υ为获得利润率。根据资本投资利润加上工资收益可求得起点总的资本量，之后乘以租房的资本份额量则可推出起点o提供出行者家庭的租房资本量：

$$HS_{h,o}=\frac{\delta_h\times(\sum_{m,k}(W_{h,k}\times N_{h,m,o,k})+HK_{h,o})}{1-\delta_h} \quad (29)$$

生产企业的生产效率为实际总投资金额与投入要素的比值，投入资本包含生产所需资本量和支付劳动的报酬，由于生产函数为柯布-道格拉斯生产函数，分母即为投入的资本和劳动要素：

$$A_{h,k}=\frac{KS_{h,k}+W_{h,k}\times DL_{h,k}}{KS_{h,k}^{\theta_h}\times DL_{h,k}^{1-\theta_h}} \quad (30)$$

不同类型家庭和方式的最长出行时间假定为出行时间中最大值的3倍，给定基准参考时间阈值可通过求取所有同类型出行者的平均出行时间获得：

$$T_{h,m}^{\max}=3\times\max(T_{h,m,o,k}) \quad (31)$$

$$T_{h,m}^{\max}=\frac{\sum_{o,k}(T_{h,m,o,k}\times N_{h,m,o,k})}{\sum_{o,k}N_{h,m,o,k}} \quad (32)$$

2 算例应用

算例路网主要分析模拟城市外围居住者出发前往城市中心工作的情形。研究路网如图1所示，路网共包含13个节点，28个路段。节点1，2，3是出行者居住地，节点11，12，13为工作地，设有停车场，车位总数为到达该点工作总人数的70%。由于城市中心车流会有不同的前行方向，设定除起讫点之外的其他所有节点之间和讫点之间的连接路段为双向路段，其余路段均为单向路段。出行方式为地铁和小汽车模式，地铁出行每人每公里票价为0.3元，小汽车出行则需支付每小时5元的停车费，一天以8小时计算。假定地铁平均速度为40km/h，小汽车平均速度为50km/h，路网中各个节点坐标已知，各路段距离由距离公式计算得出，初始自由流出行时间由距离除以各交通方式平均速度得到。出行者分为高收入群体（hi）和低收入群体（lo）两类，高收入群体占比为40%，低收入群体占比60%。每个起讫点的部分出行者可以根据所居住起点的出行时间变更居住地，改变居住起点的人数最多不超过该点出行总人数的20%，出行OD如表1所示。

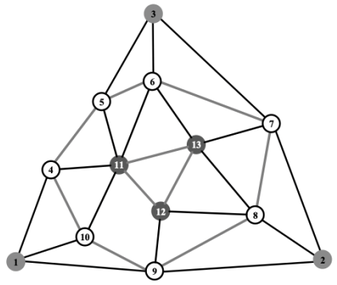


图1 算例路网

模型中生产企业和出行者家庭经济参数如表2所示。企业投资资本和劳动要素分别为企业生产商品所投入的要素量，劳动要素为前往该点工作的出行者人数，投资资本可根据劳动要素报酬份额求得总资本后求出，企业支出主要为支付劳动报酬和资本租金。

表1 出行OD表

h	OD	11	12	13
lo	1	210	162	120
	2	156	198	156
	3	168	84	150
hi	1	140	108	80
	2	104	132	104
	3	112	56	100

当出行者选择地铁出行时，除了考虑路阻时间外，还会考虑出行距离，因此，路阻函数应将出行费用考虑进去，修正如下：

$$t_{pu,i,j}=\alpha_{pu,i,j}+\frac{tc_{pu,i,j}}{tc_{ref}}+\mu_{i,j} \quad (33)$$

式中：$tc_{pu,i,j}$为路段i、j出行的花费，tc_{ref}为费用转为出行时间的基准参考值。2.1 计算结果

表2 模型经济参数

生产企业			
参数			取值
企业投入资本份额			0.5
出行者家庭			
参数	单位	lo	hi
出行者家庭工资/yuan·h^{-1}		20	30
人数占比/%		0.6	0.4
时间敏感系数		1	2
费用敏感系数		0.2	0.1
投资资本份额		0.2	0.3
利润回报率		0.1	0.1
租房投入份额		0.3	0.2
休闲和消费之间的替代弹性系数		2	1.25
住房和商品之间的替代弹性系数		1.5	1.25

不同类型出行者选择两种出行方式比例和两种出行方式中不同家庭人数占比如表3和表4所示。低收入家庭选择地铁出行比例达到了66%，在整个地

铁出行总人数中占到了近七成。高收入家庭选择小汽车比例则达到了52.2%。总体来看，地铁出行人群中，低收入家庭占据了绝对的主体，小汽车出行人数中高收入家庭人数略多于低收入家庭。

表3 两种类型家庭出行方式选择比例

h	Public	Private
lo	0.660	0.340
hi	0.478	0.522

表4 出行方式中不同类型家庭占比

h	Public	Private
lo	0.674	0.494
hi	0.326	0.506

表5 家庭出行时间和效用

指标	类型	取值
平均出行时间	public	0.312
	private	0.178
	lo	0.261
	hi	0.243
路网平均出行时长		0.254
平均效用	lo	147.68
	hi	673.16
车位平均占用率		0.62

表5为路网中地铁和小汽车方式平均出行时间，高、低收入家庭人均出行时间及人均效用。路网平均出行时间为所有家庭出行者的平均行程时间，车位平均占用率为四个讫点到达人群中小汽车出行人数与停车位总数比值的平均值。

2.2 交通影响分析

价格变化对用户的出行时间影响如表6所示。当地铁每公里单价不变时，停车费率降低使得选择小汽车出行人数会增加，小汽车出行平均时长则上升，费率升高则使得小汽车出行人数减少，出行时间缩短。地铁方式平均出行时长则随停车费率降低而降低，随费率升高而升高。当停车收费费率不变时，地铁收费升高使得路网中选择小汽车出行人数增加，选择地铁出行人数降低，所以小汽车平均出行时长随地铁单价费用增加而增加，地铁方式平均出行时长则随费用增加而减少。

表6 不同票价下出行时间变化

地铁票价	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3
停车费率	4	5	5	5	6
hi_{time}	0.234	0.243	0.243	0.237	0.245
lo_{time}	0.257	0.273	0.261	0.258	0.276
pu_{time}	0.300	0.324	0.312	0.304	0.327
pr_{time}	0.188	0.172	0.178	0.186	0.170
T_{time}	0.248	0.261	0.254	0.250	0.263

2.3 经济影响分析

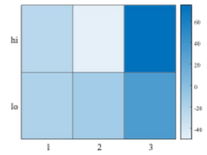
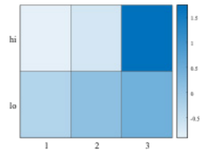
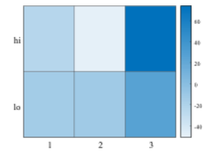
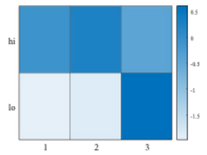
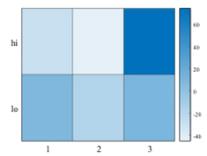
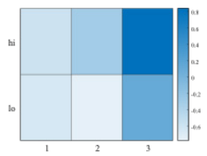
票价的改变使得出行结构变化，从而会使得部分起点的居住人口为减少出行时间搬迁到其他起点，增加或减少了该起点的人数，不仅改变了路网中流量分布，也会影响相应起点的经济活动。当停车收费价格不变时，地铁单价里程变化下人口改变及出行时间变化情况如表7所示。从各起点人均出行时间与无人员改变起居地情况时相比，起点1低收入人群出行时间随价格增加减小，对低收入家庭吸引力增大，低收入家庭人口由原先减少转变为增加。而起点2初始OD出行人数比较大，所以不管是高收入还是低收入人数都减少，其出行时间也减少。起点3出行时间较短，吸引较多居民前往该点居住，但随着价格增加，对低收入家庭吸引减弱，转移到起点3低收入家庭减少。从各起点看，随着价格升高，起点1的人口净变化数量减小，起点3人口净增数量减少，而起点2数量保持减少趋势，但变化幅度不大。从家庭类型上看，随着价格升高，地铁吸引力减弱，低收入家庭变化幅度减小，而高收入家庭变化幅度基本保持稳定，说明地铁价格主要对低收入家庭居住地起到较大调节作用。

3 结论

本文区别于传统的单纯从交通因素方面考虑票价对出行者选择行为的影响模型，构建了交通出行子模型和经济CGE子模型，在此基础了分析了不同方式的出行票价对高收入和低收入出行者家庭出行行为、效用以及整个路网效率的影响，研究主要结论如下。

（1）将城市大系统中人的活动简化为出行者商品消费、住房消费与交通出行消费子系统，在可

表7 不同地铁票价下人口和出行时间变化

地铁单价/元	人口变化/人	出行时间/min
0.2		
0.3		
0.4		

计算一般框架下分析了不同方式出行票价对高收入和低收入出行者家庭出行行为以及整个路网的影响。研究克服了以往单纯研究交通系统带来的片面影响研究成果。

（2）研究了不同类型的家庭对票价调整的反应行为，为票价的精确调控和工作地停车场车位利用率的调控提供了一种分析方法。

（3）分析了票价改动下对路网不同地区经济方面的一些影响。票价的改变会使得部分起点的居住人口为减少出行时间搬迁到其他出行起点，从而增加或减少了该起点的人数，不仅改变了路网中流量分布，也会影响相应起点的经济活动，为更全面研究票价带来的影响提供了方法。

（4）由于票价对出行者选择方式影响是一个受多因素共同作用的过程，不管是交通还是经济活动上都还有较多可细化的因素，研究可进一步深入分析，使之更能描述实际情况。

参考文献

[1]WASHBROOK K, Haider W, JACCARD M. Estimating commuter mode choice: A discrete choice analysis of the impact of road pricing and parking charges[J]. Transportation. 2006,33(6): 621-639.

[2]LI Zhi-chun, HUANG Hai-jun, William H. K. L, et al. Optimization of Time-Varying Parking Charges and Parking Supply in Networks with Multiple User Classes and Multiple Parking Facilities[J]. Tsinghua Science & Technology. 2007, 12(2): 167-177.

[3]YAO Bao-zhen, WANG Zhe, CAO Qing-da, et al. Express bus fare optimization based on passenger choice behavior[J]. Simulation. 2016, 92(7): 617-625.

[4]ZHAO Shu-zhi, LIU Hua-sheng, TIAN Qing-fei. Research on the Pricing Model of Fare Integration for Urban Railway and Bus[C]. International Conference on Clinical Trials & Pharmacovigilance. Nanjing: ASCE, 2011:63-71.

[5]张鹏辉. 常规公交与城市轨道交通出行方式转移行为研究[D]. 西安：长安大学, 2012.
ZHANG Peng-hui. Study of Travel Mode Shift Between Regular Public Bus and Urban Rail Transit[D]. Xi'

an: Chang'an University, 2012.
[6] 姚恩建，张茜，张锐. 公共交通票价对通勤走廊出行结构的影响[J]. 交通运输工程学报. 2017, 17(06): 104-114.
YAO En-jian, ZHANG Qing, ZHANG Rui. Impact of public transport fare on travel mode structure of commuting corridor[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering. 2017, 17(06): 104-114.
[7] ZHANG Xiao-ning, HUANG Hai-jun, ZHANG H M. Integrated daily commuting patterns and optimal road tolls and parking fees in a linear city[J]. Transportation Research Part B. 2008, 42(1): 38-56.
[8] GAO Ge, SUN Hui-jun, WU Jian-jun. Activity-based trip chaining behavior analysis in the network under the parking fee scheme[J]. Transportation. 2019, 46(3): 647-669.
[9] ANASTASIADOU M, DIMITRIOU D J, FREDIANAKIS A, et al. Determining the Parking Fee Using the Contingent Valuation Methodology[J]. Journal of Urban Planning and Development. 2009, 135(3): 116-124.
[10] FENG Huan-huan, ZHU Cong-kun. Model of curb parking pricing based on parking charge purposes[C]. International Conference on Transportation Engineering. Chengdu: ASCE, 2009: 911-916.
[11] 庞军，石媛昌. 可计算一般均衡模型理论、特点及应用[J]. 理论月刊. 2005(03): 51-53.
PANG Jun, SHI Yuan-chang. General equilibrium model and its application[J]. Theory Monthly. 2005(03): 51-53.

简　讯

住房和城乡建设部发布技术导则系统定义绿色建造

近日，住房和城乡建设部官网发布，为贯彻落实绿色发展理念、推进绿色建造、提升建筑工程品质、推动建筑业高质量发展，住房和城乡建设部组织编制了《绿色建造技术导则（试行）》，并于近日印发。

导则分为总则、术语、基本规定、绿色策划、绿色设计、绿色施工、绿色交付7项内容，适用于新建民用建筑、工业建筑及其相关附属设施的绿色建造，既有建筑的改建或扩建也可参照执行。

住房城乡和建设部明确，绿色建造应将绿色发展理念融入工程策划、设计、施工、交付的建造全过程，充分体现绿色化、工业化、信息化、集约化和产业化的总体特征。同时，应统筹考虑建筑工程质量、安全、效率、环保、生态等要素，实现工程策划、设计、施工、交付全过程一体化，提高建造水平和建筑品质；应全面体现绿色要求，有效降低建造全过程对资源的消耗和生态环境的影响，减少碳排放，整体提升建造活动绿色化水平；宜采用系统化集成设计、精益化生产施工、一体化装修的方式，加强新技术推广应用，整体提升建造方式工业化水平；宜结合实际需求，有效采用BIM、物联网、大数据、云计算、移动通信、区块链、人工智能、机器人等相关技术，整体提升建造手段信息化水平；宜采用工程总承包、全过程工程咨询等组织管理方式，促进设计、生产、施工深度协同，整体提升建造管理集约化水平。

来源：住房和城乡建设部

应用研究

考虑土体强度非线性的地震主动土压力分析

彭晓钢[1]，王寰宇[2]，李有志[1]
（1.深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳 518034；2.中南大学 土木工程学院，长沙 410075）

[摘　要] 大量实验研究和工程实践表明岩土体强度通常是非线性的，本文在极限分析上限理论的基础上，采用广义切线技术和拟动力法，对挡土墙的地震主动土压力上限进行分析。同时，采用离散法生成破坏机构来满足惯性力随空间位置变化的要求。通过对比和研究表明，水平地震系数、周期、波速、土体放大系数、垂直地震系数的增大均导致主动土压力的增大。此外，初始粘聚力的增大有利于墙后填土的稳定，而对于非线性系数和单轴抗拉强度的增大均不利于墙后填土的稳定。研究结果为工程设计与施工提供参考。

[关键词] 主动土压力；挡土墙；极限分析；拟动力法

Seismic active earth pressure considering nonlinearity of soil strength

Peng Xiaogang[1], Wang Huanyu[2],Li Youzhi[1]
(1. Shenzhen Tagen Group Co., Ltd., Shenzhen 518034; 2. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075)

Abstract: Plenty of experimental phenomena and engineering practice indicate that the strength of rock and soil is usually nonlinear. Based on the upper bound theory of limit analysis, this paper adopts the generalized tangent method and pseudo-dynamic method to analyze the seismic active earth pressure of retaining structures. For meeting the requirements of the inertial force varying with the spatial position, the discrete method is used to generate the potential failure mechanism. The comparison and analysis show that the increase of horizontal seismic coefficient, period, wave velocity, soil amplification coefficient and vertical seismic coefficient all lead to the increase of active earth pressure. In addition, the increase of initial cohesion is conducive to the stability of backfill, while the increase of nonlinear coefficient and uniaxial tensile strength is adverse to the stability of backfill.

Keywords: active earth pressure; retaining wall; limit analysis; pseudo-dynamic approach

0　引言

由于岩土体自身组成的复杂性，其主要由土骨架、孔隙水和空气组成，导致其在试验中表现出来的强度特征相对复杂。在常规的三轴实验中，可以发现岩土体所处的应力状态也直接影响其抗剪强度指标。其中，随着围压的增大，内摩擦角减小而粘聚力增大。因此，在不同的应力条件下，岩土体的抗剪强度指标展现出较大的差距。另一个角度，岩土体材料因其固有特性，其所处的应力状态对其强度具有较大的影响，其非线性特征较为明显。

对于岩土体所表现出来的非线性特征，其解决方案通常为采用非线性强度准则来描述其强度特性。而非线性强度准则主要以下两类：(1)以Mohr-Coulomb强度准则为代表的采用法向应力和剪切应力形式描述的强度准则；(2)以Hoek-Brown强度准则为代表的采用主应力形式描述的强度准则。尽管在参数的含义上，以上两类强度准则存在一定的差别，但是其数学表达式通常为幂指数形式。而在本

节中将着重介绍Mohr-Coulomb强度准则以及其参数选取的方法。

在实际抗震设计中，PGA（峰值加速度）常用来刻画地震动，地震加速度的影响常用khg来表示，这就是最常见的拟静力法，拟静力法凭借其简单易实现被广泛应用在岩土工程稳定性分析中[1-4]，不足的是该方法忽略了地震波的空间变化和时变特性。因此，拟静力法给出的解往往相对保守。目前，加速度时程分析是比较可靠的方法之一[5-6]。但是该方法过于复杂，在数值模拟中应用较多，难以在理论分析中进行拓展[7-9]。地震波是由多种波的叠加而成的复杂波，无法用函数进行准确地刻画。在此背景下，通过考虑到振幅和相位等其他参数随着地震波在传播过程中变化的特征，提出了拟动力法。在现有研究中，该方法主要用于基于极限平衡法的侧向土压力计算[10]。该方法中所采用的加速度的分布形式可以是符合实际情况的任何形式。但为简化起见，在大多数研究中，都采用正弦加速度并且没有考虑初始相位差[11]。关于挡土墙主动土压力，已经有很多学者开展过研究[12-13]，本文主要基于极限分析上限定理，建立对数螺旋线破坏机构，并计算内外力功率，建立功能平衡方程，求解最优上限解。研究结果为工程设计与施工提供参考。

1 基本原理

1.1 广义切线技术

非线性强度准则有多重形式，但对土体材料而言，非线性强度准则通常表示成如下幂指数形式：

$$\tau=c_0(1+\sigma_n/\sigma_t)^{1/m} \tag{1}$$

其中，c_0表示土体初始粘聚力，σ_t代表土体的抗拉强度，σ_n和τ分别是极限破坏面上的正应力和剪应力，m表示非线性系数。为了便于计算，针对非线性Mohr-Coulomb强度准则，提出了一种切线技术用以分析岩土工程中稳定性问题。Yang[14]表示，该切线的上限解为真实极限荷载的一个严格上限值，拓展了广义切线技术在极限分析方法中的应用。对于强度包络线上的任意一点，切线方程为：

$$\tau=c_i+\tan\varphi_i\sigma_n \tag{2}$$

其中，c_i、φ_i为等效的粘聚力和内摩擦角。根据几何关系和公式（1），可推将土体等效内摩擦角正切值和等效粘聚力写成如下等式：

$$\tan\varphi_i=\frac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}\sigma_n}=\frac{c_0}{m\sigma_t}\left(1+\frac{\sigma_n}{\sigma_t}\right)^{(1-m)/m} \tag{3}$$

$$c_i=\frac{m-1}{m}c_0\left(\frac{m\sigma_t\tan\varphi_t}{c_0}\right)^{1/(1-m)}+\sigma_t\tan\varphi_t \tag{4}$$

在实际计算时，需要通过穷举算法优化φ_i得到最不利的切线，使目标函数取得最优上限解。

1.2 拟动力法

在考虑地震作用时，横波和纵波的速度可以分别表示为$V_p=[2G(1-\upsilon)/\rho(1-2\upsilon)]^{0.5}$和$V_s=(G/\rho)^{0.5}$，其中$G$是剪切模量，$\upsilon$是泊松比，$\rho$为土体密度。对于大多数土体而言，其泊松比$\upsilon=0.3$，此时$V_p/V_s=1.87$。本文忽略横波和纵波之间的周期差异，认为横波和纵波周期相同。加速度采用正弦波进行输入，作用在回填的同一高度位置上时，水平加速度和垂直加速度之间通常存在相位差。同时，需要提出的是，在地震期间，随着地震波接近回填土表面，地震动将被放大。因此，引入加速度幅值放大系数加以考虑。

水平加速度和垂直加速度分别为正弦波，k_h、k_v分别为水平地震系数和垂直地震系数。因此，时间为t时，y_i处的地震加速度根据拟动力法可以写成如下表达式：

$$a_h=\left[1+\frac{y_i}{H}(f-1)\right]k_hg\sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{y_i}{TV_s}\right)\right] \tag{5}$$

$$a_v=\left[1+\frac{y_i}{H}(f-1)\right]k_hg\sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{y_i}{TV_s}+\frac{t_0}{T}\right)\right] \tag{6}$$

其中，V_s和V_p代表横波和纵波的波速。f是土体放大系数，t_0是回填土底部水平加速度与垂直加速度之间的初始时间差。

2 主动土压力能耗分析

2.1 重力功率计算

根据极限分析上限法的要求，通常根据速度相容场去描述破坏机构，在软土中，常采用旋转模式的破坏机构，同时，为了满足相关联流动法则的要求，速度间断面上任意一点的切线方向与其速度方向的夹角为材料的内摩擦角φ，据此，破坏面方程在极坐标中可以表示成以下函数：

$$r=r_0e^{(\theta-\theta_0)\tan\varphi} \tag{7}$$

其中，r_0，θ_0分别代表初始半径和初始角度。如图1所示，初始参数为：墙高H，墙背与水平面夹角β，墙后填土重度为γ，摩擦角为φ，黏聚力为c，图中L为A、B两点的距离，通常有如下关系式：

$$\frac{H}{r_0}=\sin\theta_he^{(\theta-\theta_0)\tan\varphi}-\sin\theta_0 \tag{8}$$

$$\frac{L}{r_0}=\frac{\sin(\beta-\theta_0)-\sin(\beta-\theta_h)e^{(\theta-\theta_0)\tan\varphi_t}}{\sin\beta} \tag{9}$$

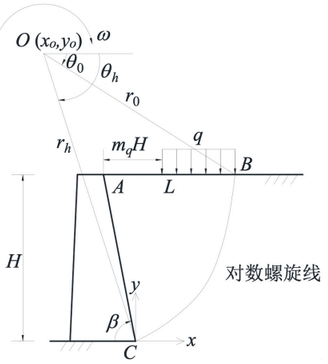


图1 挡土墙破坏模型示意图

本文考虑的外荷载包括土体自重，地震惯性力，坡顶附加均布荷载以及挡墙的主动土压力。在计算重力功率时，采用叠加法计算。先分别求出块体OBC、块体OAC、块体OAB的重力功率值W_1、W_2、W_3，再通过简单的代数加减，可得ABC的重力功率为：$W_1-W_2-W_3$。块体OBC的重力功率可以通过以下公式进行积分：

$$W_1=\frac{1}{3}\gamma\omega\int_{\theta_0}^{\theta_h}r^3\cos\theta d\theta=\gamma\omega r_0^3f_1 \tag{10}$$

同理，块体OAC和OAB的功率也可算出，通过叠加可得到总的重力做功功率：

$$W_g=\gamma\omega r_0^3(f_1-f_2-f_3) \tag{11}$$

f_1，f_2，f_3为无量纲函数，如下式：

$$f_1=\frac{1}{3(1+9\tan^2\varphi_t)}[(3\tan\varphi_t\cos\theta_h+\sin\theta_h)e^{3(\theta-\theta_0)\tan\varphi_t}-(3\tan\varphi_t\cos\theta_0+\sin\theta_0)] \tag{12}$$

$$f_2=\frac{L}{6r_0}(2\cos\theta_0-\frac{L}{r_0})\sin\theta_0 \tag{13}$$

$$f_3=\frac{1}{6}\frac{H}{r_0}\frac{\sin(\beta-\theta_h)}{\sin\beta}e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t}\left[\cos\theta_0-\frac{L}{r_0}+\cos\theta_he^{(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t}\right] \tag{14}$$

2.2 地震力功率计算

由于拟动力法考虑了加速度随时间和空间变化的特性，故上述积分方法不再适用于计算地震力功率，需要采用水平分层的方法进行计算，在此，提出了一个无限小的梯形单元$Q_iQ_{i+1}P_{i+1}P_i$来适应这种变化。以图2所示的微元为例来说明获得惯性力功率的方法。$Q_iQ_{i+1}P_{i+1}P_i$

首先，高度为h_i和h_i+dh处分别有两条虚拟水平线，分别求出其与对数螺旋面、墙面的交点，分别为$P_i(x_i, y_i)$、$Q_i(x_i', y_i')$、$P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$、$Q_{i+1}(x_{i+1}', y_{i+1}')$，通过几何关系可以推导出其坐标值，其中滑移面上 点的横坐标需满足以下方程：

$$\frac{1}{2}\ln[(x_i-r_n\cos\theta_h)^2+(h_i-r_h\sin\theta_h)^2]=\ln r_h+\left(\theta_h-\arctan\frac{x_i-r_n\cos\theta_h}{h_i-r_h\sin\theta_h}\right)\tan\varphi_t \tag{15}$$

为了计算各微元的惯性力引起的功率，必须确定该微元的面积及其重心。根据梯形元素的几何特性，给出重心坐标$C_i(x_{ci}, y_{ci})$和该微元的面积S_i，因此，可以推算出该微元惯性力的功率并且可以通过对每个微元求和来计算整个破坏机构的惯性力功率：

$$\begin{cases}W_{khg}=\sum_i S_i\gamma v_i\sin(\theta_{ci})\cdot a_h\\ W_{khg}=-\sum_i S_i\gamma v_i\cos(\theta_{ci})\cdot a_v\end{cases} \tag{16}$$

其中，θ_{ci}是相对于旋转中心点的旋转角度，$\theta_{ci}=\arctan\frac{x_i-r_1\cos\theta_1}{y_i-r_1\sin\theta_1}$。

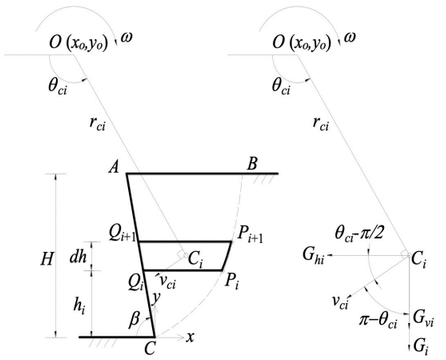


图2 梯形单元惯性力计算示意图

当在地震波速趋近于无穷大时，拟动力法则退化为拟静力法，由于加速度系数k_v、k_h在任意空间位置、任意时间下均为一常数，可以采用与重力功率同样的计算方法进行求解。

2.3 附加荷载功率计算

本文墙后填土作用有均匀分布荷载，如图2所示，破坏机构范围之外的荷载不予考虑。为了考虑

附加载荷在地震影响下的惯性效应，水平和垂直惯性力都作用在回填土表面上。在这种情况下，可以获得附加荷载引起的功率为：

$$W_q=(1+k_v^q)q\omega r_0^2 f_4+k_v^q q\omega r_0^2 f_5 \tag{17}$$

无量纲函数f_7，f_8如下：

$$f_4=\left(\frac{m_qH}{r_1}-\frac{L}{r_1}\right)\left[\cos\theta_1 e^{(\theta_1-\theta_h)\tan\varphi}+\frac{L-m_qH}{2r_1}\right] \tag{18}$$

$$f_5=\left(\frac{L}{r_1}-\frac{m_qH}{r_1}\right)\sin\theta_h e^{(\theta_1-\theta_h)\tan\varphi} \tag{19}$$

2.4 主动土压力功率计算

在计算主动土压力引起的工作率时，应事先确定合力的作用点和方向。现有的大量研究表明土压力合力的作用点位于墙高的1/3处，并且采用墙-土的摩擦角来描述力的方向。对土压力合力分别进行正交分解得到其水平分量和垂直分量：

$$\begin{cases}P_{ax}=-P_a\sin(\delta-\beta)\\ P_{ay}=-P_a\cos(\delta-\beta)\end{cases} \tag{20}$$

其中，δ是墙-土的摩擦角，进而可以求出主动土压力的功率如下：

$$W_{pa}=P_a r_0\omega f_6 \tag{21}$$

无量纲函数f_9如下：

$$f_6=\sin(\beta-\delta)\left[\sin\theta_h e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t}-\frac{1}{3}\frac{H}{r_0}\right]+ \tag{22}$$

$$\cos(\beta-\delta)\left[\cos\theta_h e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t}-\frac{1}{3}\frac{H}{r_0}\cot\beta\right]$$

其次，对于墙-土接触面的附着力也是外力功率的一部分，单位长度的附着力为 ，其功率可由下式计算得到：

$$W_{Pf}=-c_t r_0^2\omega f_7 \tag{23}$$

无量纲函数f_{10}如下：

$$f_7=\frac{H}{r_0}\frac{\tan\delta\sin(\theta_h+\beta)}{\tan\varphi,\sin\beta}e^{(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t} \tag{24}$$

2.5 内能耗散率计算

由于破坏机构为刚性块，内部能量将仅沿着破坏面发生耗散。基于能量耗散率是剪切力和速度的点积的定义，可对速度间断面面进行径向微分，每个径向微分长度为：$rd\theta/\cos\varphi_t$，粘聚力为c_t，速度间断面在该处的切向速度为$\omega r\cos\varphi_t$。总的内部能量耗散率可以沿着速度间断面进行积分求得：

$$D=\int_{\theta_0}^{\theta_h}c_t\frac{rd\theta}{\cos\varphi_t}\omega r\cos\varphi_t=c_t\omega r_0^2 f_{11} \tag{25}$$

无量纲函数f_{11}如下：

$$f_{11}=H\frac{e^{2(\theta_h-\theta_0)\tan\varphi_t}-1}{2\tan\varphi_t} \tag{26}$$

2.6 目标函数求解

地震作用下的挡土墙示意图如图3所示。地震主动土压力的上限解可以通过将由外力完成的功率等于总内部能量耗散率来得出。其功率平衡方程为：

$$W_g+W_{kg}+W_q+W_{pa}+W_{pf}=D \tag{27}$$

因此，地震主动土压力的表达式可以写为：

$$P_a=\frac{\gamma r_0^2(f_1-f_2-f_3)+W_{kg2}/\omega/r_0}{f_9}+ \tag{28}$$

$$\frac{(1+k_v^q)qr_0f_7+k_v^q qr_0f_8-c_t r_0 f_{10}-c_t r_0 f_{11}}{f_9}$$

$$P_a=\frac{1}{2}\gamma H^2 K_a \tag{29}$$

基于不同的破坏机构产生不同土压力结果的事实，并且破坏机构取决于旋转中心的位置，且初始相位差和切线法中优化变量φ_t均会对结果造成影响。因此，主动土压力系数可以表示为上述四个独立变量的函数$P_a=f(\theta_0,\theta_h,t,\varphi_t)$。最终结果将通过优化获得。

为确保破坏机构有效，优化过程必须满足下面的约束条件：

$$s.t\begin{cases}0<\theta_0<\theta_h<\pi\\ 0<t<T\\ 0<\varphi_t<\pi\end{cases} \tag{30}$$

3 研究结果与分析

3.1 初始粘聚力对主动土压力的影响

初始粘聚力作为非线性强度准则中重要的强度参数，其力学含义是指破坏面在无任何正应力下材料的抗剪强度。为了研究其对主动土压力的影响，通过计算，得到当非线性系数m=1.2～2.0时，主动土压力P_a随初始粘聚力c_0变化的规律，如图3所示。

从图中可以看出，初始粘聚力对于主动土压力有较大的影响，随着初始粘聚力的增加，主动土压力逐渐降低，且其变化趋势近似为线性。这与我们现有的认知是一致的，即粘聚力的增加是有利于墙后填土的稳定。从图中还可以看出，随着非线性系数m从1.2变化到2.0的，主动土压力则逐渐增大，但其增大的速度随着m的增大而逐渐变缓。

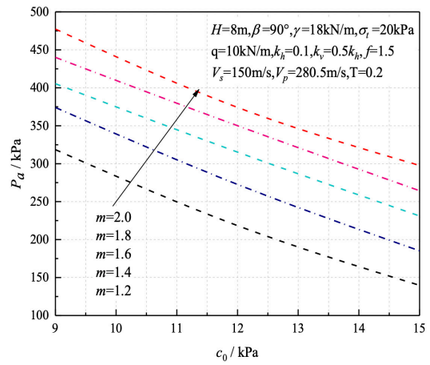


图3 初始粘聚力对主动土压力的影响

3.2 单轴抗拉强度对主动土压力的影响

为了研究单轴抗拉强度对主动土压力的影响，通过计算，得到当非线性系数m=1.2～2.0时，主动土压力P_a随单轴抗拉强度σ_t变化规律如图4所示。

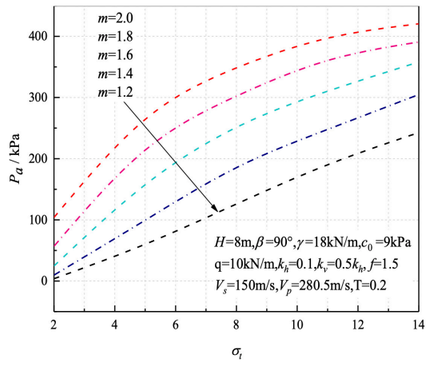


图4 单轴抗拉强度对主动土压力的影响

从图中可以看出，单轴抗拉强度对于主动土压力影响显著。当非线性系数发生变化时，主动土压力随单轴抗拉强度的变化趋势略有不同。但总体来说随着单轴抗拉强度的增加，主动土压力是逐渐增大的。所以实际上，土体的单轴抗拉强度是不利于墙后填土的稳定。这一点也能从计算边坡安全系数来研究其稳定性表现出来，更高单轴抗拉强度会得到较低的安全系数。

3.3 水平地震系数对主动土压力的影响

水平地震系数作为考虑地震效应最重要的参数之一，在研究其他拟动力法参数的影响之前首先需要明确其对主动土压力的影响，通过计算，得到当附加荷载时，主动土压力随水平地震系数变化的规律，如图5所示。

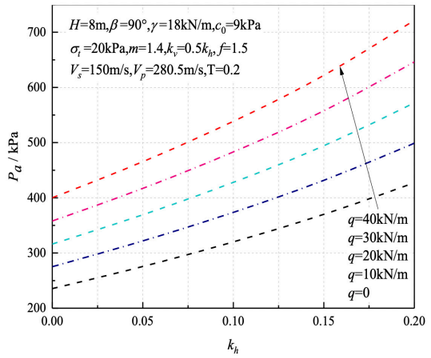


图5 水平地震系数对主动土压力的影响

从图中可以看出，当水平地震系数从0变化到0.2时，主动土压力增大约1.8倍。随着水平地震系数的增大，主动土压力逐渐变大，且其增大速率略微增大。并且针对随着附加荷载的增大，主动土压力也呈现出线性增大的特征。上述两个特征可以为活跃地震带区域的高路堤支护提供一定的参考。

3.4 地震周期对主动土压力的影响

对于拟动力法中的众多参数中，地震波周期是其中较为重要的参数，为了研究其对主动土压力的影响，通过计算，得到当水平地震系数k_h=0.05～0.25时，主动土压力P_a随地震周期T变化的规律，如图6所示。

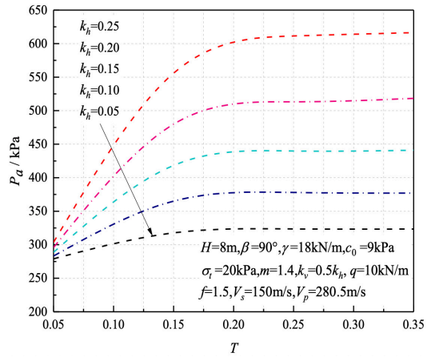


图6 地震波周期对主动土压力的影响

从图中可以看出，当地震波周期T＜0.2s时，随着其数值的增大，主动土压力逐渐增大；而当T＞0.20s后，随着地震波周期的增大，主动土压力趋于稳定。这是由于墙后填土的几何尺寸有限，当

地震波周期增大到某一数值之后，地震波的波长远大于墙后填土的高度，因此在墙后填土范围可以视为地震加速度不再随所处高度而变化，若此时不考虑土体放大系数的影响，拟动力法退回为拟静力法。这也可以看出拟动力法是能够包含拟静力法的，因此其适用性更广。

3.5 波速对主动土压力的影响

压缩波和剪切波的动态特性对主动土压力产生较大影响。如前所述，对于大多数土壤材料，当泊松比为0.3时，剪切波波速与压缩波波速之比为常数1.87。因此，在本文中只讨论了压缩波波速的影响。为了研究其对主动土压力的影响，通过计算，得到当水平地震系数k_h=0.05～0.25时，主动土压力P_a随压缩波波速V_s变化的规律，如图7所示。

从图中可以看出，刚开始，随着压缩波波速的增大，主动土压力逐渐增大，之后便稳定为一数值基本保持不变。同样的，作为波长的另一个决定因素，当波速增大到某一数值之后，地震波的波长将远大于墙后填土的高度，因此在墙后填土范围可以视为地震加速度不再随所处高度而变化，其结果逐渐趋近于拟静力法得到的结果。

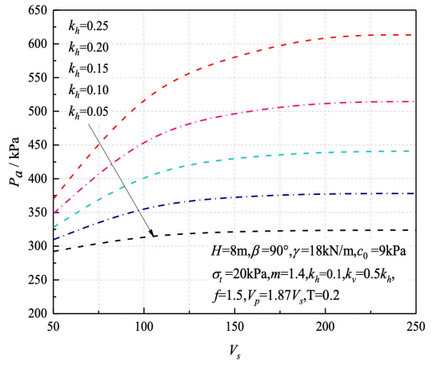


图7 压缩波波速对主动土压力的影响

3.6 初始相位差对主动土压力的影响

当同时考虑压缩波与剪切波时，二者传递到墙后填土底部具备一定的时间差，在本文中称其为初始相位差。为了研究其对主动土压力的影响，通过计算，得到当水平地震系数k_h=0.05～0.25时，主动土压力P_a随初始相位差t_0变化的规律，如图8所示。

从图中可以看出，刚开始，随着初始相位差的增大，主动土压力逐渐减小，之后便随着初始相位差的增大而增大。并且，当初始相位差t_0=0和t_0=T时，二者计算得到的主动土压力数值相同，也就表现出明显的周期性，这与我们采用的正弦分布形式的地震波相吻合。

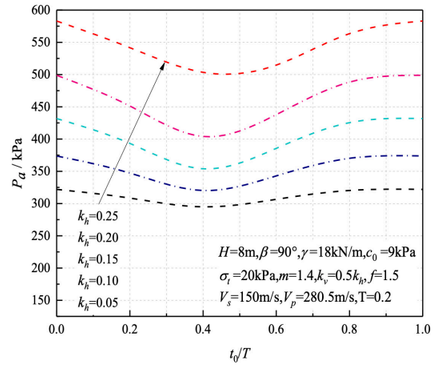


图8 初始相位差对主动土压力的影响

3.7 波速对主动土压力的影响

对于考虑随着地震波接近回填土表面，振动将被放大这一现象，引入了土体放大系数这一参数。为了研究其对主动土压力的影响，通过计算，得到当水平地震系数k_h=0.05～0.25时，主动土压力P_a随土体放大系数f变化的规律，如图9所示。

从图中可以看出，随着土体放大系数的增大，主动土压力逐渐增大。对于k_h=0.05时，当f从1.0增大到2.0，主动土压力的数值增大约1.08倍；而对于k_h=0.25时，当f从1.0增大到2.0，主动土压力的数值增大约1.53倍.因此对于高水平地震加速度系数情况下，土体放大系数的影响更为显著，在实际工程中应该予以重视。

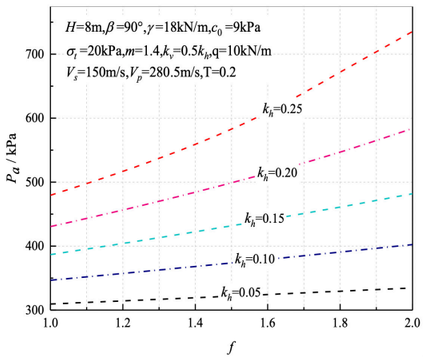


图9 土体放大系数对主动土压力的影响

3.8 垂直地震系数对主动土压力的影响

在已有的一些研究中，均发现垂直地震系数对于土工构筑物稳定性影响较小这一结论。在本文中也对其进行了研究，通过计算，得到当水平地震系k_h=0.05～0.25时，主动土压力P_a随垂直地震系数k_v与水平地震系数k_h的比值μ_v变化的规律，如图10所示。

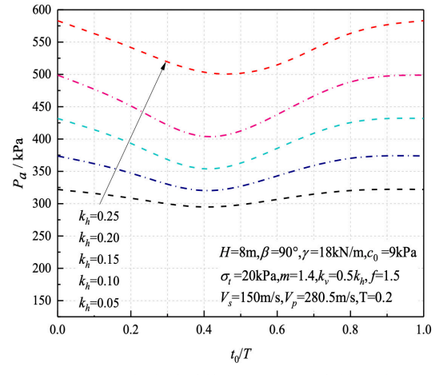


图10 垂直地震系数对主动土压力的影响

从图中可以看出，随着垂直地震系数的增大，主动土压力略微增大。在不同的水平地震系数条件下，μ_v=1.0与μ_v=0得到的主动土压力相差均不超过10%。因此与其他学者得到的结论一致，即垂直地震系数对于土工构筑物的稳定性影响较小，在实际工程中，可以不考虑垂直地震系数的影响。

4 结论

本文研究的主要目的是建立一种基于塑性理论计算在非线性条件下主动土压力的新方法。在对于考虑地震的效应中，以正弦形式的地震系数来计算惯性力，也就是拟动力法。再基于极限分析的上限定理，利用一种水平计算单元分别计算外力功率和内能耗散率并推导出了主动土压力的解析解。通过对计算结果进行分析，得出了以下结论：

(1)线性条件下，即m=0时，本文的计算结果与Chen[15]吻合良好，从而证明了所提出方法的正确性。

(2)土体本身具备较强的非线性特征，采用非线性强度准则来描述其强度特性将得到更为精确的解析解。而对于非线性Mohr-Coulomb强度准则中的三个参数，其中初始粘聚力的增大有利于墙后填土的稳定，较大值将得到较小的主动土压力值。而对于非线性系数和单轴抗拉强度的增大均不利于墙后填土的稳定，较大值将得到较大的主动土压力值。

(3)而对于拟动力法相关参数，其中水平地震系数、地震波周期、压缩波波速、土体放大系数、垂直地震系数的增大均导致主动土压力的增大，而对于初始相位差则表现出明显的周期特征。

参考文献

[1] Yang XL, Huang F. Three-dimensional failure mechanism of a rectangular cavity in a Hoek-Brown rock medium[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2013, 61: 189-195.

[2] 贾亮,朱彦鹏,来春景.地震作用下加筋挡土墙稳定性分析[J].西南交通大学学报,2016,51(04):697-703.

[3] 刘勇,何华飞,宋玉香,韩石.地震作用下刚性挡土墙发生转动时动主动土压力计算[J].应用力学学报,2019,36(6):1490-1498.

[4] Yang XL, Yin JH. Slope equivalent Mohr-Coulomb strength parameters for rock masses satisfying the Hoek-Brown criterion[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2010, 39(4): 505-511.

[5] 孙锐,袁晓铭.全局等效线性化土层地震反应分析方法[J/OL].岩土工程学报:1-10[2020-12-19].

[6] 钟紫蓝,甄立斌,申轶尧,赵密,杜修力.基于耐震时程分析法的地下结构抗震性能评价[J].岩土工程学报,2020,42(8):1482-1490.

[7] Sloan SW. lower bound limit analysis using finite elements and linear programming [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1988, 12.

[8] Pan QJ, Dias D. Face stability analysis for a shield-driven tunnel in anisotropic and nonhomogeneous soils by the kinematical approach[J]. International Journal of Geomechanics, 2016, 16(3): 04015076.

[9] Luo N, Bathurst RJ. Reliability bearing capacity analysis of footings on cohesive soil slopes using RFEM[J]. Computers and Geotechnics, 2017, 89(9): 203-212.

[10] Nimbalkar SS, Choudhury D, Mandal JN. Seismic stability of reinforced-soil wall by pseudo-dynamic method[J]. Geosynthetics International, 2006, 13(6): 277-278.

[11] Qin CB, Chian S. Kinematic analysis of seismic slope stability with a discretisation technique

and pseudo-dynamic approach: a new perspective[J]. Geotechnique, 2018, 68(6), 492-503.
[12] 吴曙光,宋福华,苏亚楠,赵定智.折线坡形挡土墙主动土压力计算方法研究[J].防灾减灾工程学报, 2020, 40(1): 79-85.
[13] 王正振,龚维明,戴国亮,刘晓光,赵欣欣,郭辉.考虑位移影响的土压力非线性计算[J].岩土工程学报, 2019, 41(S2): 244-248.
[14] Yang XL, Huang F. Collapse mechanism of shallow tunnel based on nonlinear Hoek-Brown failure criterion[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2011, 26(6): 686-691.
[15] Chen WF, Liu XL. Limit analysis in soil mechanics[M]. Amsterdam: Elsevier,1990

简 讯

多款建筑机器人亮相顺德凤桐花园项目

近日，位于广东顺德的碧桂园凤桐花园项目正在热火朝天地建设中。和其他工地不同的是，这里许多繁重、危险的工作，都是由机器人来完成。

从AI测量到楼层清洁，从地坪研磨到外墙喷涂，从地库抹光到室内喷涂……20多款建筑机器人及智能产品在工地各司其职。一套流程下来，建筑机器人施工不仅可以极大地提高生产效率和质量，同时保障施工过程的安全性，达到绿色、安全、环保、优质的综合效果。

不可否认的是，当前传统建筑行业正面临施工安全风险大、生产效率低、建设成本高、科技含量少等诸多制约。在产业数字化的时代背景下，以建筑机器人为代表的智能建造被认为是行业发展的方向。

作为全国7个智能建造试点之一，凤桐花园项目不仅是广东博智林机器人有限公司（系碧桂园集团全资子公司，以下简称“博智林”）首个商业应用项目，也是目前国内唯一真正引入建筑机器人且批量应用于工程建造过程的试点项目。

区别于尘土飞扬、杂乱无章的传统施工现场，凤桐花园给人的第一感觉是整洁有序。这得益于“楼层清洁机器人”“地坪研磨机器人”等智能产品的规模应用。

楼层清洁机器人主要用于施工现场小石块与灰尘清理工作，清扫效率较人工提升3倍，重点解决了保洁行业人力资源紧张、成本上涨、清洁效率低下问题。该公司研发的清洁机器人具备在建筑场景下自主路径规划，自主导航，自主清扫与自动倒垃圾的功能，在全球首次实现了双滤芯抑尘清扫机器人的技术突破。

地坪研磨机器人主要用于去除混凝土表面浮浆，可有效解决现有的作业模式研磨扬尘大、施工现场环境恶劣、劳动强度高、质量和效率低下、研磨作业完成后还需要人工清扫灰尘等痛点问题，整体工效约为人工作业的2倍。

测量机器人采用先进的AI测量算法处理技术，在保证测量结果客观准确的同时，效率也较人工提升2到3倍；智能随动布料机可根据操作人员发出的运动方向指令，自动控制布料机的大、小臂联合运动，使传统3人的工作量，如今只需1人即可完成；外墙喷涂机器人大大降低了高空作业坠落的安全隐患。截至2021年2月，博智林已有28款建筑机器人及智能产品在工地测试，并有18款机器人在凤桐花园等15个项目中开展商业化试点应用，累计应用施工达80万㎡。

博智林在碧桂园的强力支持下，已经形成了行业先发优势，主导编制的《智能施工升降机》《外墙喷涂机器人》2项标准已获得广东省建设科技与标准化协会发布；《自升造楼平台》《建筑工程智能清洁机器人》《建筑工程室内实测实量机器人》等标准正处于审查或立项阶段；同时还参与了《建筑机器人研发及现场应用示范》《基于数字孪生技术的装配式智能施工平台研发及应用示范》《基于建筑信息模型和人工智能技术的建筑机器人研究与应用示范》等国家级项目。

来源：时代周报

应用研究

富水石英砂砾层盾构施工的土体改良试验

程池浩
(深圳市市政工程总公司，深圳 518109)

[摘 要] 针对某石英含量较高的富水砂砾地层地铁工程进行了系统的土体改良试验，并以室内试验的添加剂配比方案为基础，进行了现场掘进应用及施工试验.结果表明：通过土体改良试验得到了最优的室内试验添加剂配比，即在天然含水率条件下泡沫注入比为10%，泥浆注入比为23%～25%；现场施工应密切关注土仓与螺旋输送机的压力平衡关系，并调整添加剂注入量，以达到防止盾构喷涌和控制刀盘载荷的目的，并使得渣土的坍落度和稠度分别保持在20 cm和8 cm左右。

[关键词] 土压盾构；富水石英砂砾层；土体改良；适应性

Experiments of soil conditioning for shield tunneling in watery quartz sand-gravel ground

Cheng Chihao
(Shenzhen Municipal Engineering Corporation, Shenzhen, 518109)

Abstract: Through a shield project in watery quartz sand-gravel ground, a series of soil conditioning tests are conducted. Then optimal parameters are obtained under natural water content, namely injection ratio of foam 10% and slurry 23%~25%. Based on formulas of laboratory tests and construction feedback, pressure balancing of soil chamber and screw conveyer should be closely focused. Cutter torque should be controlled in the normal range, while at the same time slumps and consistency of mucks should be about 20 cm and 8 cm, respectively. The relevant results can be used to provide references for soil conditioning by use of EPB machine in similar ground conditions.

Keywords: earth pressure balance shield; flowing quartz gravel; soil conditioning; ground suitability

0 引言

土压盾构施工的关键在于使切削的土体调整到一种“塑流”形态，从而建立较好的土压平衡状态[1-2]。一般来说，在粉土、淤泥质粉土、黏土等黏稠土层的施工中，可以通过少量土体改良或不需要改良就能够满足盾构施工要求[3]；而在砂砾石等复杂地层中，由于开挖面土体的摩擦系数大，流塑性差以及渗透性强等而会产生刀具磨损严重、土仓堵塞和螺旋机喷涌等一系列施工问题[4-5]。在这种情况下，采取合适的土体改良方法已成为不可缺少的辅助施工措施，其改良效果直接影响盾构的施工进度、成本以及安全性[6-7]。

目前，众多学者已对盾构施工的土体改良技术进行了大量研究.魏康林[8]提出，理想的塑流性土体应具备良好的流动性能、黏稠性能、摩擦性能以及较低的渗透性；Peila等[9]以测量的改良土体坍落度来评价其流动性，并通过试验得出不同土层的最佳坍落度范围为100～250 mm[10-13]；Sotiris[14]和刘大鹏[15]利用搅拌试验来模拟土仓内渣土的搅拌过程，以评价改良土体的摩擦性能；Merrit[16]和Miguel[17]通过自主研发的小型螺旋输送装置来模拟实际的盾构施工，以得出改良后沿螺旋机的渣土土压力分布规律；Kusakabe等[18]通过总结日本的盾构施工经验，提出了基于土层颗粒级配的泡沫和泥浆的注入量计算公式；Jancsecz等[19]依托土耳其伊兹密尔隧道的土体改良现场试验，分析了不同的现

场施工土层条件下改良土体对盾构推力和转矩的影响；江华[20]针对北京卵石地层，提出采用场切深指数FPI和转矩切深指数TPI来评价盾构的掘进效能和地层适应性。

但是，以上研究大多是针对单一地层土体所提出的经验性的渣土改良措施，仅评价土体某一方面的性能，其针对性较强[21]，还缺少系统的土体改良试验方法以及综合评价手段.本文依托某石英含量较高的富水砂砾地层的地铁盾构工程，采取室内试验手段评价改良渣土的流塑性能和切削性能，从而得出不同条件下的添加剂优化配比方案。同时，通过现场盾构掘进试验加以验证，以期为此类地层的盾构辅助施工提供参考。

1 工程概况

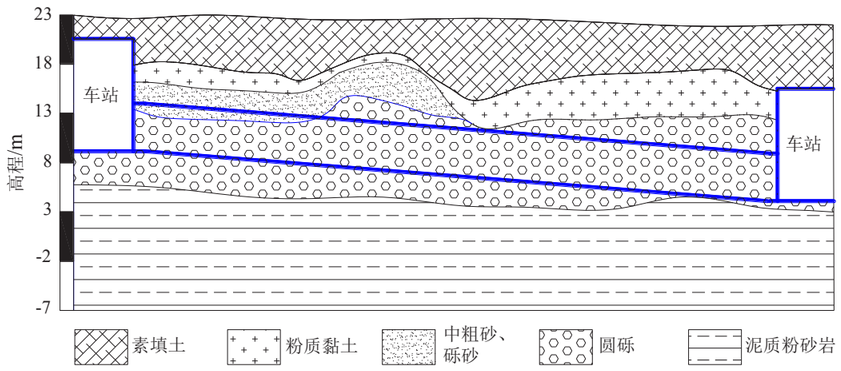


图1 区间隧道的地质纵剖面图

表1 土层的力学性能参数

地层编号	岩土名称	ρ_s/（g·cm^{-3}）	c/kPa	φ/(°)	E_0/MPa	μ
3-1	粉质黏土	1.90	35	15	6.5	0.28
3-3	细砂	1.93	0	28	10.0	0.30
3-4	中砂	1.96	0	31	15.0	0.30
3-5	粗砂	1.99	0	29	20.0	0.29
3-6	砾砂	2.03	0	34	25.0	0.30
3-7	圆砾	2.09	0	36	28.0	0.27
5-1-1	泥质粉砂岩	2.10	48	28	80.0	0.25

1.2 盾构选型概况

本工程选用一台复合式土压平衡盾构机，其技术规格及参数见表2.采用辐板式刀盘，且在刀盘外周设置一个磨损检测点，通过检测该点的油压来观察刀盘外周的磨损情况，刀盘及刀具的配制如图2所示。

1.1 工程地质条件

某地铁盾构区间全长约795m，隧道埋深为9.21～12.12m。隧道穿越地层主要为3-6砾砂层及3-7圆砾层。地质纵剖面图及土层的力学性能参数分别如图1和表1所示。其中：ρ_s为密度；c为黏聚力；φ为内摩擦角；E_0为变形模量；μ为泊松比。

场地地下水分别为上层滞水、第4系松散层孔隙水和基岩裂隙水.上层滞水主要分布于上部人工填土层中；第4系松散层孔隙水为潜水，主要存于砂砾石层中，局部地段被淤泥质粉质黏土所覆盖，具有微承压性，稳定水位埋深约为8.9～9.7m；基岩裂隙水主要存于泥质粉砂岩裂隙中，渗透系数较小.盾构穿越地层的渗透系数建议值为80～120m/d。

表2 盾构机的技术规格及参数

名 称	参数及规格	数 值
盾构主机	直径/m	6.280
	长度/m	9.199
推进系统	最大推力/MN	39.910
	最大推进速度/(mm·min^{-1})	80
辐板式刀盘系统轴式螺旋输送机	开口率/%	34
	最大转速/(r·min^{-1})	3.7
	额定转矩/(MN·m)	6
	规格（直径×长度）	Ø0.9 m×12.796 m
	最大通过颗粒尺寸（宽度×长度）	0.34 mm×0.56 m
	土压计	2个



图2 刀盘及刀具的布置图

1.3 工程难点分析

盾构隧道穿越的地层主要为3-7圆砾层，其颗粒级配曲线如图3所示.由筛分数据可见，该砂砾石地层中砾石含量较高，粒径2～20 mm的砾石所占比例高达30%以上，粒径20 mm以上大颗粒砾石所占比例在20%以上，而粒径小于0.075 mm的微细颗粒砾石所占比例不足1%。另外，经抽水试验表明，最大涌水量可达3 253m^3/d，即水量丰富，因此，盾构施工时极易发生喷涌现象，严重时会造成地面塌陷事故。

此外，采用X射线衍射仪对盾构穿越的砂砾石地层进行物相分析，所得矿物成分中石英的质量分数为91.7%，夕线石的质量分数为8.3%.研究表明[22]，石英含量对刀具的磨损影响显著.结合其室内试验的结果[23]，由本工程盾构穿越土层的石英含量换算所得磨蚀系数约为1.8kg/t，刀具的平均掘进距离小于100m。

综上所述，对这种石英含量较高的富水砂砾地

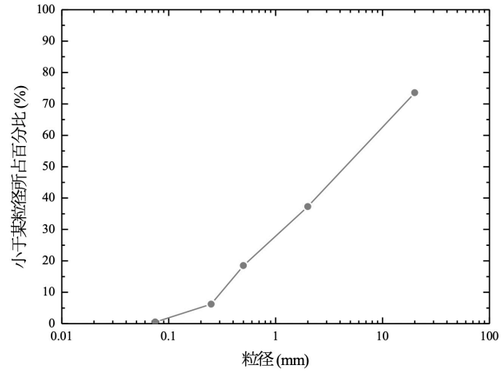


图3 土层的颗粒级配曲线

层进行盾构施工，必须通过土体改良才能够提高开挖土体的流塑性，以达到减磨和止水等的目的，从而确保渣土稳定排出，盾构运行正常且载荷可控。

2 室内试验与结果

2.1 试验方案

室内试验主要分为坍落度试验、稠度试验和切削试验.选择泡沫和膨润土泥浆作为土体改良试验添加剂.本文借助于3种室内试验的坍落度、稠度和切削转矩等指标来综合评价土体改良的效果，并通过现场试验优化添加剂的配比方案。

具体试验步骤如下：

（1）对盾构穿越地层进行现场取样，测试土样的物理性能，如测量土样的含水率、颗粒级配分布等。

（2）添加剂性能测试试验。包括泡沫试验和泥浆试验。泡沫试验是通过测量泡沫半衰期和发泡倍率来评价泡沫性能，泥浆试验则是采用泥浆漏斗黏度计测量泥浆的黏度以评价泥浆的性能。

（3）土体改良室内试验.包括坍落度试验、稠度试验和切削试验.坍落度试验是利用标准坍落度筒来评价改良土体的流动性；稠度试验是采用砂浆稠度仪测定稠度以评价改良土体的黏稠性；切削试验是分析添加剂注入量对刀盘切削转矩的影响，试验所用自行研制的地层适应性测试装置[24]如图4所示，其中包括配套装置和主体测试装置.配套装置由发泡装置和泥浆注入装置组成，主体测试装置主要由掘进土箱和推进系统组成.土箱用于将一定含水率的土体加压到预设土压力值，然后，通过配套装置向刀盘前方注入添加剂，以配合推进系统切削土体.地层适应性测试装置可以模拟刀盘在不同地

层压力下的动态掘削过程，并实时记录改良土体对刀盘转矩的影响规律[22]。

根据盾构掘进模拟缩尺试验方法，当刀盘直径的相似比为k时，刀盘转矩的相似比为k3。因此，基于切削试验结果对现场盾构刀盘转矩的预测公式为：

$$T=\alpha k^3 T_0 \quad (1)$$

式中：T为预测的盾构刀盘转矩；T_0为室内试验测试的刀盘转矩；α为修正系数。

（4） 添加剂配比确定。通过添加剂性能测试试验和土体改良室内试验来确定添加剂配比方案，选择合理的注入率范围并用于盾构掘进现场试验，以验证室内配比方案的可靠性。

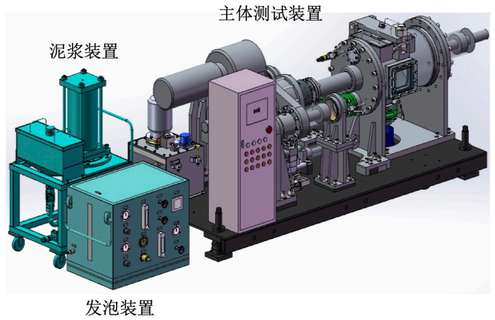


图4 地层适应性测试装置

2.2 评价标准

（1）添加剂性能评价标准[23].泡沫用于改善土体的流动性及摩擦性能，其性能主要通过泡沫半衰期和发泡倍率来评价。半衰期是泡沫破灭到原来质量一半时所用的时间，当泡沫的半衰期大于8 min时，即可满足盾构施工的要求；发泡倍率是发出的泡沫体积与发泡溶液体积的比值，表示发泡溶液的发泡效力.一般来说，实验室所用泡沫的发泡倍率以20～40为宜。

泥浆用于增加土层中的细颗粒成分，以提高土层的塑性和止水性能.通过测量泥浆黏度来评价泥浆性能，当漏斗黏度为60～80s时，适合于砂砾地层土压平衡的盾构施工。

（2）土体改良试验评价标准。土体的流动性通过坍落度试验中坍落度值、坍落后的土体形状和析水量来评价.对于砂土，其坍落度值应处于18～22cm，且形状规则、无明显倾斜，轻拍不崩塌，土样中无泡沫与水析出或有少量析出[23]。

土体黏稠性通过稠度试验来评价，即以稠度仪中试锥沉入拌合物中的深度来表征改良土体的黏稠性。在稠度试验中，稠度值应处于8～10cm。

采用切削试验来评价刀盘对改良土体的切削效果。在切削试验中，应将实际施工时的刀盘转矩控制在额定转矩的50%以内。

2.3 添加剂制备与性能测试结果

（1）泡沫制备与性能测试.试验采用盾构专用发泡剂，泡沫半衰期与发泡剂体积分数的关系如图5所示。可见：当发泡剂体积分数为1%～3%时，泡沫半衰期迅速增长；当发泡剂体积分数处于3%～4%时，泡沫半衰期达到最大值，且其超过4%后泡沫半衰期又出现减小的变化趋势，但其降幅较小.由图6可以看出，当发泡剂体积分数达到3%后，发泡倍率基本维持在40倍左右，故本试验的发泡剂体积分数取为3%。

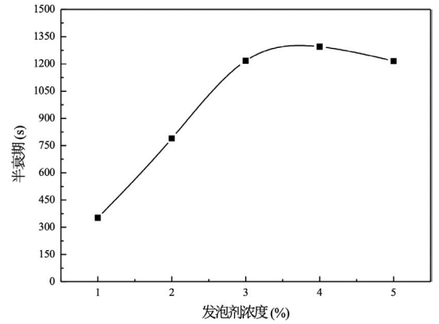


图5 泡沫半衰期的变化情况

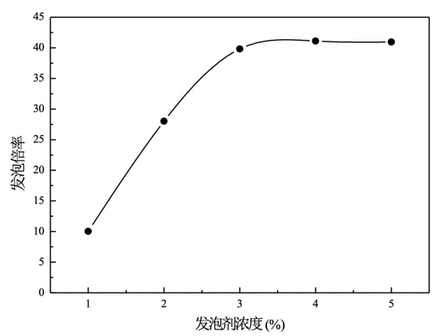


图6 泡沫发泡倍率的变化情况

（2）泥浆制备与性能测试。本试验的泥浆选用钠基膨润土所配置，泥浆黏度的变化情况见图7。由图7可见：当膨润土质量分数为1%～8%时，随着膨润土含量增大，泥浆黏度增长缓慢，且泥浆较稀；当膨润土质量分数为8%～11%时，随着膨润土含量增加，泥浆黏度显著增长，此时，浆液稠度适中且满足设备泵送要求；但当膨润土质量分数超过11%后，泥浆黏度急剧增大，部分膨润土不能溶于水，而且存在较多固体颗粒物，不适合现场泵送.因此，本试验选取膨润土质量分数为10%，泥浆黏度值为77.23 s。

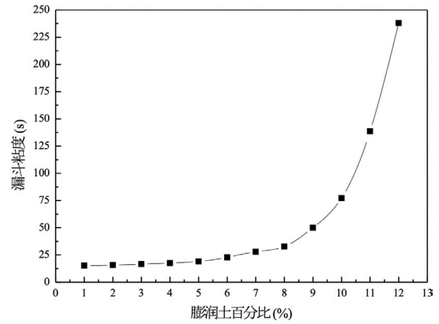


图7 泥浆黏度的变化情况

2.4 泡沫改良试验与结果

（1）坍落度试验.在试验之前，将土样风干后配置成含水率分别为5%和15%（天然含水率约为15%，含水率5%为对照组试验），然后，借助于小型搅拌机将不同体积注入比的泡沫与土样均匀拌合，最后，进行坍落度测试，所得泡沫坍落度的变化情况如图8所示.可见：对于含水率为15%的土样，随着泡沫注入比增大，坍落度迅速增长，当泡沫注入比为30%时，其坍落度达到最大值；而对于含水率为5%的土样，当泡沫注入比达到50%时，坍落度才趋于稳定.因此，要使改良土体的流动性满足要求，笔者建议含水率为5%和15%的土样应采用的泡沫注入比分别约为20%和10%。

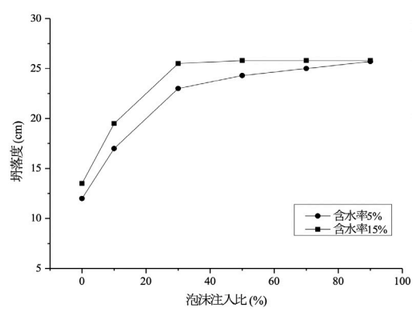


图8 改良土体坍落度的变化情况

（2）稠度试验.图9所示为通过稠度试验所得改良土体稠度的变化情况。对于含水率为5%和15%的土样，泡沫注入比在分别达到90%和50%后改良土体的最大稠度达到14.5cm.若需将含水率为5%和15%的土样的稠度控制在8～10cm，则建议将注入比分别控制在10%～20%和7%～10%。

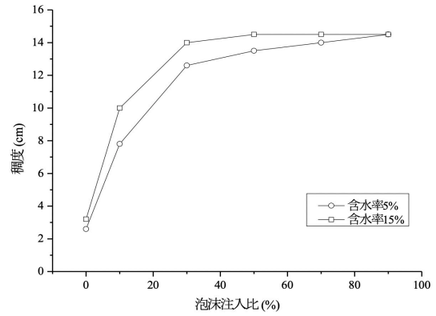


图9 改良土体稠度的变化情况

（3）切削试验.切削试验采用图4中的地层适应性测试装置，添加剂通过发泡装置和泥浆注入装置注入刀盘正前方，以评价主体测试装置的刀盘对改良土体的切削效果.试验流程：将土箱内土样加压到地层压力值（根据本工程隧道中心埋深，设定为0.15MPa）；然后，依据实际工程将刀盘转速和推进速度分别设定为1r/min和30mm/min，并在推进过程中动态调整泡沫的注入比（见表3）。图10所示为切削过程中不同土样含水率条件下泡沫注入比对改良土体切削转矩的影响。

表3 不同切削行程的泡沫注入比

行程/mm	泡沫注入比/%
0～30	0
31～60	10～15
61～90	30～35
91～120	50～55
121～150	70～75
151～180	90～100

由图10可见，在不添加改良剂的情况下，含水率对切削转矩的影响较大，含水率为5%的土样的转矩是含水率为15%的土样转矩的2～3倍，且泡沫对其切削转矩的影响明显.在含水率较大的情况下，

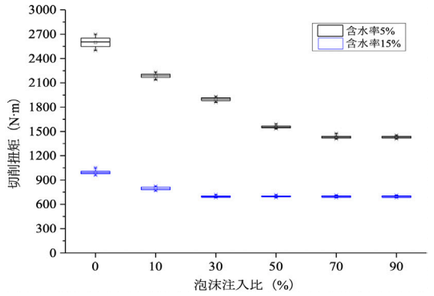


图10不同土样含水率条件下泡沫注入比对改良土体切削转矩的影响

当泡沫注入比达到10%时土样的转矩降幅为20%，当泡沫注入比超过30%时土样的转矩稳定在初始值的70%左右；同样地，当含水率较低时，泡沫注入比超过70%后土样的转矩不再降低.根据式（1），考虑土体密实程度的差异及地下水的影响，取修正系数α=1.1，计算可得，如需将刀盘转矩控制在额定转矩的50%以内，则切削试验的转矩应小于775 N·m。因此，根据测试结果，建议泡沫注入比应控制在10%。

结合以上试验结果和评价标准，所得不同含水率下泡沫注入比的建议值见表4.可见：在土样含水率为15%的条件下，泡沫注入比约为10%；而当土样含水率为5%时，切削试验需要较大的泡沫注入比，并导致坍落度与稠度过大而无法满足流塑性要求，故无最优注入比范围.因此，建议在天然含水率条件下，泡沫注入比适合选定为10%，而在含水率较小时，可考虑加入部分水进行初步改良。

表4 不同土样含水率条件下泡沫注入比的建议值

含水率/%	泡沫注入比的建议值/%		
	坍落度试验	稠度试验	切削试验
5	13～26	10～20	≥50
15	8～18	7～10	≥10

2.5 泥浆改良试验与结果

（1）坍落度试验.泥浆改良砂砾石土层后的坍落度变化情况如图11所示.可见，在2种含水率条件下，随着泥浆注入比（泥浆体积与土样体积的比值）增大，改良土样的坍落度均呈现出增大的变化趋势.当泥浆注入比较小时，土体的坍落度较小且土样易崩坍；而当泥浆注入比达到一定程度后，土样表现出较好的流塑性.因此，在含水率15%的土样中，泥浆注入比为20%～25%的改良效果最佳，而在含水率为5%的土样中，要达到坍落度的要求，泥浆注入比应超过30%。

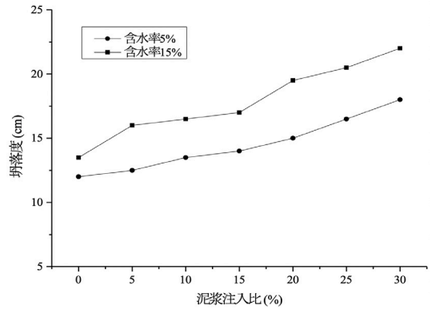


图11 改良土体坍落度的变化情况

（2）稠度试验。图12所示为稠度试验所得改良土体稠度的变化情况.可见，当泥浆注入比达到20%后，改良土体的稠度显著增大.根据改良后土体稠度指标的评价标准，对于含水率为5%和15%的土样，建议泥浆注入比应分别控制在30%以上和23%～26%之间。

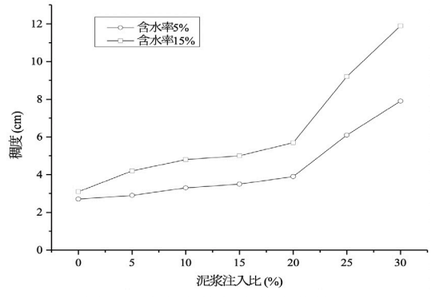


图12 改良土体稠度的变化情况

（3）切削试验.泥浆改良切削试验与泡沫试验方法一致，通过调整泥浆注入比来评价刀盘的切削效果。泥浆注入比与推进行程间的关系见表5，不同泥浆注入比条件下改良土体切削转矩的变化情况如图13所示。

由图13可见，与泡沫改良不同的是，在泥浆注入的初期，降低转矩的效果并不明显，而在泥浆注入的后期其降幅逐步增大.在泥浆注入比小于5%的情况下，2种含水率下的转矩降幅均不足10%，但其改良稳定后的转矩比泡沫改良时的转矩小，所以泥浆的最终改良效果优于泡沫.在土样含水率为

表5 泥浆改良试验中不同切削行程的泥浆注入比

行程/mm	泡沫注入比/%
0～30	0
31～60	3～5
61～90	10～12
91～120	14～16
121～150	18～20
151～180	24～26
181～210	28～30

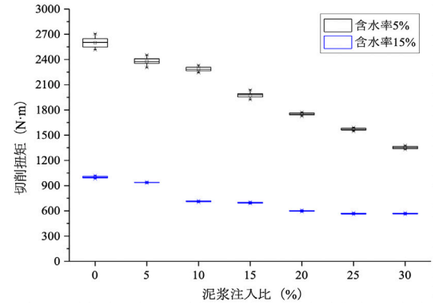


图13 不同泥浆注入比条件下切削转矩的变化情况

15%的条件下，泥浆注入比达到10%后转矩的降幅明显，且最终在泥浆注入比超过20%后达到稳定.根据切削试验评价标准，如需将刀盘转矩控制在盾构额定转矩的50%（3 MN·m）以内，则建议将泥浆注入比控制在10%左右.而在土样含水率较小的情况下，切削转矩随着泥浆注入比增大而持续降低，且在泥浆注入比达到30%后仍未稳定.此时，转矩的降幅为48%，大于泡沫改良时转矩的最大降幅。

表6列出了不同含水率条件下泥浆注入比的建议值。可见：在土样含水率为15%的条件下，泥浆注入比为23%～25%；而在土样含水率为5%的条件下，泥浆注入比应大于30%.考虑到盾构掘进过程中的成本控制和转矩控制要求，建议在土体含水率较小时先添加部分水进行初步改良。

表6 不同含水率下泥浆注入比的建议值

含水率/%	泡沫注入比的建议值/%		
	坍落度试验	稠度试验	切削试验
5	>30	>30	>30
15	20～25	23～26	≥10

3 现场试验

在盾构掘进的前15环，由于未采取土体改良措施，盾构总推力和刀盘转矩基本保持在18MN和3.5MN·m以上，造成掘进缓慢，平均推进速度不到20mm/min.为降低盾构负载，在15～45环注入30%～40%的泡沫，从而使得盾构推力和刀盘转矩下降到16 MN和2.8MN·m左右（见图14），大幅改善了砂土的流动性和刀盘的切削性能，但由于泡沫注入量过大且缺少细颗粒，所以造成了喷涌现象频繁发生.由图15可见，螺旋输送机尾部压力的波动较大且部分压力偏高，在0.10～0.15MPa之间。与此同时，螺旋输送机前部压力与土仓下部压力相差不大（见图16），甚至小于土仓下部压力，说明此阶段的土体流塑性较差，无法形成稳定的“土塞效应”，从而造成螺旋输送机喷涌。由图17可见，刀盘推进的每环累计工作时间基本在50min以上、最大值超过200min，平均推进时间为73min，严重影响了工程进度。

同时，在第45～75环改为主要使用注入比为20%～25%的泥浆进行改良，在部分转矩偏大时段辅以注入比不超过5%的泡沫.与前30环相比，刀盘转矩降为2.6MN·m左右，同时减小了盾构总推力（见图14）。而且由图15和16还可见：泥浆改良后的螺旋机尾部压力明显下降并稳定在0.1MPa以内，土仓下部压力稍有增大且趋于稳定；螺旋机前部土压力始终保持在0.2～0.3MPa之间，较好地维持了“土塞效应”。同时，由图17可见，刀盘推进的每环平均工作时间降低至42min左右.对改良后的渣土进行坍落度和稠度测试结果表明，坍落度和稠度主要集中在20和8cm左右，与室内试验的测试结果相符。

盾构掘进到300环后，各施工参数保持稳定正常，未发生喷涌现象，且刀盘外周磨损点显示油压正常，未出现磨损报警现象。

4 结论

（1）石英含量较高的富水砂砾地层改良渣土的最佳坍落度处于18～22cm之间，稠度为8～10cm。

（2）对于本试验的土样，由室内泡沫改良试验可得，当发泡剂体积分数为3%时，泡沫注入比应设置为10%左右，过大的泡沫注入比将会导致坍落度与稠度过大而无法满足流塑性要求，且会造成水土离析。

（3）泡沫对刀盘转矩和土样流动性的改善效

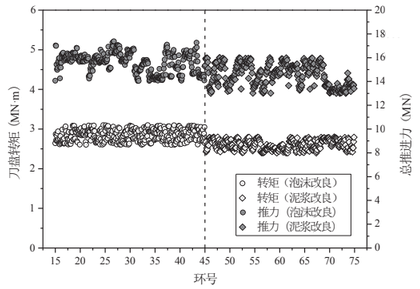


图14　试验段推力和刀盘转矩的分布情况

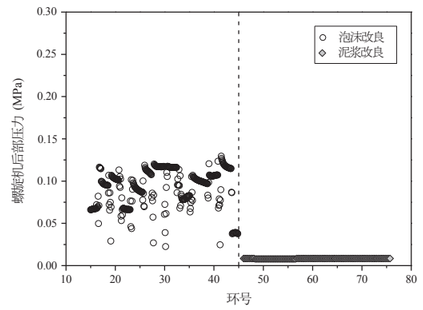


图15　试验段螺旋输送机后部压力的变化情况

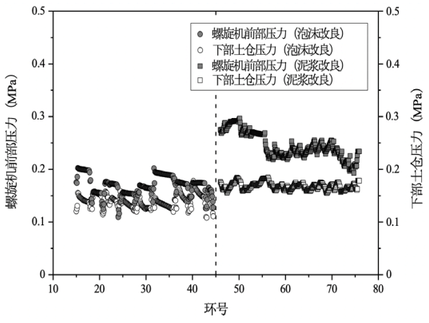


图16　螺旋输送机前部和土仓下部的压力

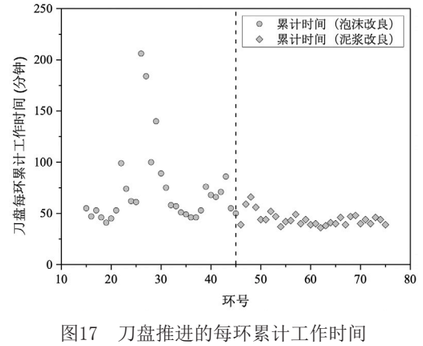


图17　刀盘推进的每环累计工作时间

果明显.在天然含水率条件下，当泡沫注入比为30%时，刀盘转矩降低至初始值的70%左右，坍落度和稠度分别稳定在25和14cm左右。

（4）泥浆室内试验的最佳配比方案：对于含水率为15%的土样，当膨润土质量分数为10%时，泥浆注入比为23%～26%.相比于泡沫改良，泥浆注入初期对坍落度和稠度的改良效果并不明显，但其最大转矩的降幅大于泡沫改良。

（5）土体含水率对添加剂注入量及刀盘切削效果的影响较大，建议在土体含水率较小时可先加入部分水进行初步改良。

（6）现场试验结果表明，注入过量的泡沫能够有效降低刀盘转矩，但无法有效控制螺旋输送机喷涌现象的发生.通过更换泥浆改良，能够显著提高施工进度，减小盾构掘进载荷，维持土仓与螺旋输送机压力的稳定，从而取得良好的施工效果。

（7）考虑地下水等因素的影响，在现场掘进中应根据排出渣土的流塑性状态以及盾构载荷、土仓压力和螺旋输送机压力等参数的变化来调整添加剂注入比。

参考文献

[1]PEILA D. Soil conditioning for EPB shield tunnelling[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2014, 18(3): 831-836.

[2]LIAO S M, LIU J H, WANG R L, et al. Shield tunneling and environment protection in Shanghai soft ground[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009, 24(4): 454-465.

[3]姜厚停，龚秋明，杜修力. 卵石地层土压平衡盾构施工土体改良试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35（2）:284-292.

[4]程池浩，廖少明，彭少杰，等. 沈阳富水砂卵石地层泥水盾构适应性研究[J]. 地下空间与工程学报，2017，13（1）：190-196.

[5]VINAI R, OGGERI C, PEILA D. Soil conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2008, 23: 308-317.

[6]李培楠，黄德中，黄俊，等. 硬塑高黏度地层盾构施工土体改良试验研究[J]. 同济大学学报(自然科学版)，2016，44（1）：59-66.

[7]程池浩，赵国强，廖少明，等. 武汉老黏土地层土压盾构适应性研究[J]. 施工技术，2016，45（19）：105-109.

[8]魏康林. 土压平衡式盾构施工中“理想状态土体”的探讨[J]. 城市轨道交通研究，2007，10（1）：67-70.

[9]PEILA D, OGGERI C, BORIO L. Using the slump test to assess the behavior of conditioned soil for EPB tunneling[J]. Environmental and Engineering Geoscience, 2009, 15(3):167-174.

[10]QUEBAUD S, SIBAI M, HENRY J P. Use of chemical foam for improvements in drilling by earth-pressure balanced shields in granular soils[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 1998, 13(2):173-180.

[11]PEILA D, OGGERI C, BORIO L. Influence of granulometry, time and temperature on soil conditioning for EPBS applications[C]// ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC). Agra, India: ITA-AITES, 2008.

[12]MARTINELLI D, PEILA D, CAMPA E. Feasibility study of tar sands conditioning for earth pressure balance tunnelling[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2015, 7(6): 684-690.

[13]PEILA D, PICCHIO A, CHIEREGATO A. Earth pressure balance tunnelling in rock masses: Laboratory feasibility study of the conditioning process[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2013, 35(1): 55-66.

[14]SOTIRIS P. Properties of foam/sand mixtures for tunnelling applications[D]. Oxford, England: Department of Engineering Science, University of Oxford, 2001.

[15]刘大鹏. 新型泡沫对土压平衡盾构土体改良作用评价[D]. 北京：中国地质大学(北京)工程技术学院，2012.

[16]MERRIT T. Conditioning for clay soils for tunnelling machine screw conveyors[D]. Cambridge, England: University of Cambridge, 2004.

[17]MIGUEL P. Foam as a soil conditioner in tunnelling: Physical and mechanical properties of conditioned sands[D]. Oxford, England: University of Oxford, 2007.

[18]KUSAKABE T, NOMOTO N, IMAMURA N. Geotechnical criteria for selecting mechanized tunnel system and DMM for tunneling[C]//Proceedings of Fourteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Hamburg, Germany: TRIS, 1997: 2439-2440.

[19]JANCSECZ S, KRAUSE R, LANGMAACK L. Advantages of soil conditioning in shield tunnelling: Experiences of LRTS Izmir[EB/OL]. [2017-03-20]. http://www.tbmtunnel.com/assets/oslo_mbt-version.pdf.

[20]江华. 北京典型砂卵石地层土压平衡盾构适应性研究[D]. 北京：中国矿业大学力学与建筑工程学院，2012.

[21]姜厚停. 土压平衡盾构施工土体改良试验研究现状综述[J]. 市政技术，2016，34(5)：195-199.

[22]李潮. 砂卵石地层土压平衡盾构关键参数计算模型研究[D]. 北京：中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院，2013.

[23]霍晓波. 武汉地铁盾构地层适应性研究[D]. 上海：同济大学土木工程学院，2016.

[24]唐卓华，徐前卫，杨新安，等. 富水砂层盾构掘进磕土改良技术[J]. 现代隧道技术，2016，53（1）:153-158.

征稿启事

本刊为深圳市特区建工集团有限公司主办，深圳市天健（集团）股份有限公司、深圳市路桥建设集团有限公司、深圳市建安（集团）股份有限公司、深圳市综合交通设计研究院有限公司承办的内部技术类期刊。旨在促进学科理论和实践的发展、促进行业内学术交流、加速科研成果向现实生产力转化。现长期征集建筑设计、建筑施工、建筑工业化、城市综合管养、专业开发、建筑科技产业培育等方面的稿件，欢迎广大技术人员及专家踊跃投稿。

本刊各栏目均欢迎投稿，来稿优先采取电子邮件投稿，请将文稿发送至投稿邮箱。如有不明事项，请通过电话联系。

投稿邮箱：tqjgjs@163.com

联系人：刘艾轩（0799-82565321,18025402121）

建筑设计

大底盘三塔楼超限高层抗震分析

杨　明，彭　昊
（深圳市鑫中建建筑设计顾问有限公司，深圳 518040）

[摘　要] 介绍了大底盘三塔楼超限高层的设计分析过程，采用SATWE、ETABS和SAUSAGE三个结构计算分析软件对整体模型和单塔模型进行了多遇地震作用下的反应谱计算和动力弹性时程补充计算，并进行了罕遇地震作用下的动力弹塑性分析。计算结果表明，结构抗震性能良好，体系安全可行。针对超限情况，进行了性能化设计，对关键部位进行了定义并采取了加强措施。

[关键词] 超限高层建筑；大底盘；多塔楼；动力弹性时程计算；动力弹塑性时程分析

Seismic analysis of three tower building with large base

Yang Ming，Peng Hao
(Shenzhen Xinzhongjian architectural design consulting Co.,Ltd., Shenzhen, 518040)

Abstract: This paper introduces the design and analysis process of three tower high-rise building with large chassis. Three structural calculation and analysis software SATWE, ETABS and SAUSAGE are used to calculate the response spectrum and dynamic elastic time history of the whole model and single tower model under frequent earthquakes, and the dynamic elastic-plastic analysis under rare earthquakes is carried out. The results show that the structure has good seismic performance and the system is safe and feasible. In view of the overrun situation, the performance-based design is carried out, the key parts are defined and the strengthening measures are taken.

Keywords: transfinite high-rise building; large chassis; multi tower; dynamic elastic time history calculation; dynamic elastic-plastic time history analysis

0　工程概况

深圳市盐田港集团有限公司人才住房用地地块四位于广东省深圳市盐田区中青路与中青一路交汇处，本项目包括三栋18层塔楼，其中，一单元和二单元商住楼，高65.45米，三单元商住楼，高63.85米，均为部分框支剪力墙结构；地下室用作停车库及设备机房，人防地下室设在地下二层。一单元与二单元在二层楼面处（相对标高5.35m）设缝脱开，缝宽为100mm；一单元与二单元在三层楼面处（相对标高11.2m）有一个600mmX1600mm的条形建筑造型，此造型下设柱支撑，在一单元、二单元中间处设缝脱开，缝宽为100mm。半地下室层的顶板（相对标高-5.95 m）作为一单元、二单元和三单元塔楼结构的嵌固端。半地下室层（相对标高-5.950 m）用作商铺，首层也用作商铺，二层用作文化活动室和绿化休闲，一单元、二单元和三单元三栋塔楼，在嵌固端以上的裙房处不设缝，因而形成多塔结构，多塔结构的大底盘屋面为裙房的屋面（相对标高5.35m），一单元、二单元和三单元三栋塔楼的转换层均设置在大底盘屋面的上一层，即三层平面处（相对标高11.2m）。

本工程裙房较长且塔楼间连接板受力复杂，故在地震和温度作用下需验算板的应力。整体计算采用SATWE、ETABS和SAUSAGE三个计算软件，计算模型如图1所示。

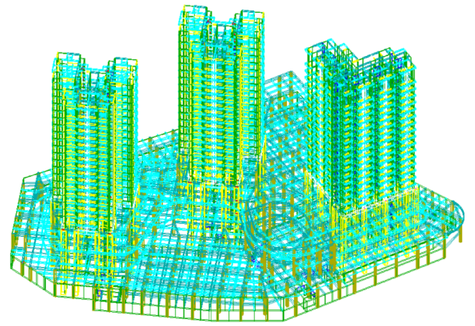


图1　大底盘三塔楼整体模型示意图

1　上部结构设计

1.1　结构超限情况

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》建质[2015]67号，对结构进行超限判定。按规定，同时具有三项及三项以上不规则的高层建筑，判定为超限高层建筑。本工程共有五项不规则（a、b不重复计算不规则项），见表1所示。

表1　三项及三项以上不规则的高层建筑超限情况

序号	不规则判定	不规则类型	简要含义
1a	不规则	扭转不规则	一/二单元X向：1.38；Y向：1.35 三单元X向：1.43；Y向：1.37
2a	不规则	平面凹凸不规则	一/二单元b/Bmax=68.7%>30% 三单元b/Bmax=57.1%>30%
3	不规则	楼板不连续	一/二单元B/Bmax=31.2%<50% 三单元B/Bmax=46.5%<50%
4b	不规则	多塔	三个塔楼在裙房处未设缝
5	不规则	构件间断	部分剪力墙在3层转换

1.2　结构计算分析

分别采用PKPM-SATWE和ETABS2016两个不同力学模型的空间结构分析软件进行整体计算，进行互相比较和对比分析。保证力学分析结果的可靠性。小震作用计算采用考虑扭转耦联振动影响的振型分解反应谱法，振型个数应使振型参与质量系数需达到总质量的90%。

（1）采用弹性时程分析进行多遇地震下的补充计算。选取1组场地人工地震波和2组实际地震记录波计算分析，主要对计算结果的底部剪力、楼层剪力和层间位移角进行比较，当时程分析法大于振型分解反应谱法时，相关部位的构件内力和配筋作相应的调整。

（2）中震分析采用PKPM.SATWE程序进行分析。根据《高规》的相关规定，可适当考虑结构阻尼比的增加和连梁刚度的进一步折减，以反映结构一定程度的弹塑性发展，对关键构件采用有限元软件进行承载力验算。

（3）大震采用SAUSAGE软件进行动力弹塑性时程分析验算：一般情况下，可采用单向水平地震输入，在结构的两个主轴方向分别输入地震加速度时程；对体型复杂或特别不规则的结构，宜采用双向水平地震或三向地震输入。验证结构能否满足大震阶段的抗震性能目标，并寻找薄弱楼层与薄弱构件，对薄弱部位制定相应的加强措施。

1.3　多遇地震反应谱分析

分别采用PKPM（10版V4.3）、ETABS2016两个不同力学模型的空间结构分析软件整体计算，进行互相比较和对比分析。保证力学分析结果的可靠性。小震作用计算采用考虑扭转耦联振动影响的振型分解反应谱法，振型个数应使振型参与质量系数需达到总质量的90%。多遇地震下计算双向水平地震作用效应时可不考虑偶然偏心的影响，进行位移比计算时，按单向地震作用考虑偶然偏心影响计算。同时应与单向地震作用考虑偶然偏心的计算结果进行比较，取不利的情况进行设计。

一/二单元：多遇地震反应谱分析计算结果汇总见表2。

1.3.1　反应谱分析小结

（1）两个不同力学模型的结构分析软件进行整体计算，计算结果基本接近。且经过分析判断，计算结果基本合理、有效，可作为工程设计的依据。

表2　一/二单元多遇地震反应谱分析计算结果

项目		限值	PKPM	ETABS
前三周期	T1	---	1.38	1.39
	T2	---	1.34	1.25
	T3	---	1.31	1.21
基底剪重比	X向	1.60%	2.35%	2.33%
	Y向		2.17%	2.38%
地震下基底剪力（kN）	X向	---	4997.8	4927.6
	Y向	---	4600.5	5050.3
地震下基底倾覆弯矩（kN·m）	X向	---	1.7e+5	170954.99
	Y向	---	1.6e+5	184377.15
地震下最大层间位移角	X向		1/2356	1/1953
	Y向		1/2340	1/2640
规定水平力下最大扭转位移比	X向	≤1.2	1.38	1.33
	Y向		1.35	1.32
最小楼层受剪承载力比	X向	≥80%	1.00	1.00
	Y向		0.99	1.00
刚重比	X向	≥1.4	8.95	7.41
	Y向		9.40	9.25

（2）层间位移角满足广东省《高规》第3.7.3条的要求。

（3）楼层侧向刚度满足《高规》的有关要求。

（4）刚重比大于1.4，满足《高规》第5.4.4条的整体稳定验算，且大于2.7，可不需要考虑重力二阶效应。

（5）剪重比满足《抗规》的最小剪重比满足要求。

（6）一层模型（即一层建筑平面图）为裙房的大底盘，恒、活荷载质量相对较大。转换层框支梁、柱截面相比上一层的结构构件大得多，质量比相对较大。楼层质量比在转换层满足规范要求，其余楼层质量比均满足《高规》第3.5.6条规定。

（7）一层～三层框支柱承受剪力之和大于结构基底剪力的30%，满足《高规》第10.2.17条的要求。

1.4　弹性时程分析

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3-2010）5.1.13条规定，本建筑为复杂高层结构，需要进行弹性时程分析。本工程采用结构分析程序PKPM-SATWE-V4.3进行多遇地震作用下的弹性时程补充计算，其中，一/二单元，经计算分析与比较后，选取了七条时程曲线，分别为五条天然波TH003TG035_CHALFANT VALLEY-02 7-21-1986 BENTON, TH013TG035_CHI-CHI TAIWAN9-20-1999TCU042, TH034TG035_CHI-CHI TAIWAN-06 9-25-1999 TCU125, TH038TG035_CHUETSU-OKI7-16-2007MATSUSHIRO TOKAMACHI和TH039TG035_CHUETSU-OKI 7-16-2007 NIG019，两条人工波RH2TG035, RH3TG035。

一/二单元：反应谱与时程作用下结构底部剪力计算结果汇总见表3。

一/二单元：反应谱与时程曲线分析主方向楼层剪力对比见图2、图3。

一/二单元：反应谱与时程曲线分析主方向层间位移对比见图4、图5。

1.3.2　弹性时程分析小结

进行弹性时程分析时，每条时程曲线计算所得结构底部剪力均大于振型分解反应谱法计算结果的65%，多条时程曲线计算所得结构底部剪力平均值大于振型分解反应谱法计算结果的80%。满足规范对弹性动力时程分析的要求。

反应谱法求出的楼层剪力曲线基本包络了时程分析所求的楼层剪力，部分楼层时程分析的楼层剪

表3　一/二单元时程作用下的结构底部剪力与规范反应谱作用下的底部剪力对比

项目	基底剪力		基底剪力及反应谱比值	
	X向	Y向	X向	Y向
反应谱	4997	4600	1	1
RH2TG035	5754	4230	1.15	0.92
RH3TG035	3928	5258	0.79	1.14
TH003TG035_CHALFANT VALLEY-02 7-21-1986 BENTON	4420	4831	0.88	1.05
TH013TG035_CHI-CHI TAIWAN 9-20-1999 TCU042	5011	5884	1.00	1.28
TH034TG035_CHI-CHI TAIWAN-06 9-25-1999 TCU125	4811	4602	0.96	1.00
TH038TG035_CHUETSU-OKI 7-16-2007 MATSUSHIRO TOKAMACHI	5598	4982	1.12	1.08
TH039TG035_CHUETSU-OKI 7-16-2007 NIG019	5958	4623	1.19	1.00
时程平均基底剪力	5069	4916	1.01	1.07

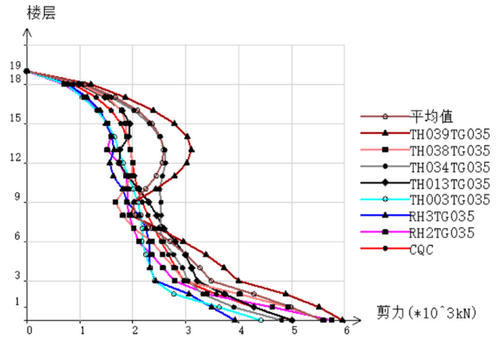


图2　0度方向楼层剪力曲线与CQC法计算结果对比图

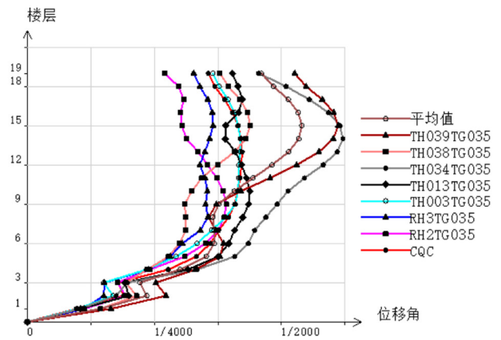


图4　0度方向层间位移曲线与CQC法计算结果对比图

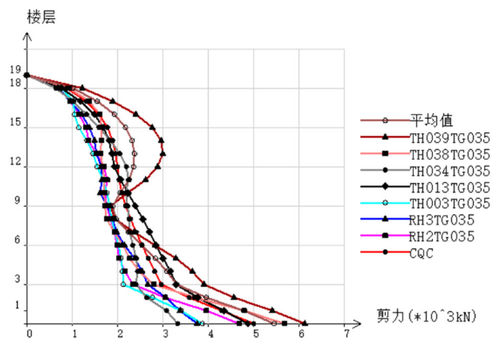


图3　90度方向楼层剪力曲线与CQC法计算结果对比图

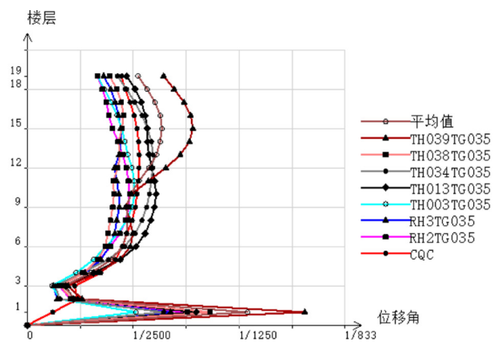


图5　0度方向层间位移曲线与CQC法计算结果对比图

力稍大于反应谱法求出的楼层剪力，对该部位的构件在施工图设计时可适当对楼层的地震剪力进行放大调整，使CQC法计算的结构能够包络时程分析结果，方便结构配筋设计。

时程分析各层各段最大位移角趋势与反应谱分析结果基本一致。

2 结构抗震性能化设计

结合本工程设防烈度、结构的不规则程度和房屋高度、结构发挥延性变形的能力、结构造价、震后的各种损失及修复难度等因素，进行抗震性能评估时，其性能目标定为性能C。具体不同地震水准下的结构、构件性能水准详见表4。

表4 结构构件抗震性能目标

地震烈度（50年超越概率）		多遇地震（63%）	设防地震（10%）	罕遇地震（2%）
抗震性能C要求		第1水准	第3水准	第4水准
变形要求		1/800	---	控制弹塑性层间位移角
关键构件	框支柱	弹性	抗弯弹性，抗剪弹性	抗弯、抗剪不屈服
	转换梁	弹性		
	底部加强区剪力墙	弹性	抗弯不屈服，抗剪弹性	
普通竖向构件	非底部加强区剪力墙	弹性	抗弯不屈服，抗剪弹性	抗弯部分屈服、抗剪不屈服
	框架柱	弹性		
耗能构件	框架梁	弹性	抗弯部分屈服，抗剪不屈服	抗弯大部分屈服、抗剪满足截面尺寸
	剪力墙连梁	弹性		
关键部位	转换层楼板	弹性	抗弯不屈服，抗剪弹性	个别屈服，抗剪不屈服
	弱连接楼板	弹性		
主要整体计算方法		弹性反应谱法	中震弹性/不屈服（反应谱法）	动力弹塑性分析
		弹性时程分析		
采用计算程序		SATWE 4.3；ETABS	SATWE.4.3	SAUSAGE.2019

表5 各性能水准预期的震后性能状态

性能水准	宏观损坏程度	关键构件	普通竖向构件	耗能构件	继续使用的可能性
1	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	不需要修理即可继续使用
3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理即可继续使用
4	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或者加固后可继续使用

2.1 不同地震水准下的计算分析

（1）小震：目标为第1性能水准，采用PKPM程序按规范振型分解反应谱方法进行计算和设计，满足现行规范标准的相关规定，则可保证结构在小震作用下“完好、无损坏”的性能目标。

（2）中震：目标为第3性能水准，采用PKPM-SATWE程序进行分析，根据《高规》第3.11.3条第3款规定，结构关键构件、普通竖向构件正截面承载力符合式3.11.3-2要求；受剪承载力满足式3.11.3-1要求。

（3）大震：目标为第4性能水准，采用SAUSAGE.2019软件进行弹塑性时程分析，控制整体结构的弹塑性位移角满足1/120的要求；结构构件承载力符合式3.11.3-2的要求。控制竖向构件受剪截面满足式3.11.3-3要求。

3 多塔分析

3.1 质心偏心率验算

本工程包括一单元、二单元和三单元三栋塔楼，三栋塔楼的层数均为18层，裙房层数为2层，嵌固端设在半地下层（相对标高-5.95m），除一单元和二单元在二层（相对标高5.35m）处设置了一道宽100mm的变形缝外，三栋塔楼均通过裙房连接在一起，因此形成多塔结构，且多塔结构的大底盘屋面为裙房的屋面（相对标高5.35m），本工程对多塔进行专项分析。

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3-2010）第10.6.3条第1款的规定，上部塔楼结构的综合质心与底盘结构质心的距离不宜大于底盘相应边长的20%，故对底盘多塔楼结构的质心偏心率进行验算。

PKPM多塔楼模型计算结果中，在计算结果文件中查看WMASS文件的输出结果，得到塔楼、裙房的综合质心，如下图6所示：

```
* 塔楼(裙房以上)、裙房(不含地下室)、整体结构(含地下室)的综合质心坐标信息 *
**********************************************************************

          质心 X      质心 Y
           (m)         (m)

塔楼:     80.900      16.650

裙房:     67.136      25.994

整体:     80.786      17.183
```

图6 PKPM多塔楼模型中查询到的塔楼、裙房综合质心

X方向塔楼综合质心80.9，大底盘综合质心67.136，X方向边长108.56；

Y方向塔楼综合质心16.65，大底盘综合质心25.994，Y方向边长67.69。

X方向偏心率：（80.9-67.136）/108.56=12.7%

Y方向偏心率：（25.994-16.65）/67.69=13.8%

该结构两个方向塔楼偏心率均满足规范不超过20%的要求。

3.2 计算软件及地震波的选择

本工程分别采用PKPM（10版V4.3）、SAUSAGE-2019两个不同力学模型的多塔楼空间结构分析软件整体计算，进行互相比较和对比分析，验证结构在大震作用下的弹塑性变形性能。经计算分析与比较后，选取了三条时程曲线，其中两条天然波TH002TG040与TH055TG040，一条人工波RH3TG040。地震波峰值按高规要求将峰值加速度设为220cm/s^2，各组波按水平主方向:水平次方向1:0.85双向输入，人工波（RH3TG040）持时30s，天然波（TH002TG040）持时28s，天然波（TH055TG040）持时31s。

3.3 构件性能指标

在SAUSAGE中构件的损坏主要以混凝土的受压损伤因子、受拉损伤因子及钢材（钢筋）的塑性应变程度作为评定标准，其与上述“高规”中构件的损坏程度对应关系如下表所示：

性能水平分级数 6

序号	性能水平	颜色	梁柱εp/εy	梁柱dc	梁柱dt	墙板εp/εy	墙板dc	墙板dt
1	无损坏		0	0	0	0	0	0
2	轻微损坏		0.001	0.001	0.2	0.001	0.001	0.2
3	轻度损坏		1	0.001	1	1	0.001	1
4	中度损坏		3	0.2	1	3	0.2	1
5	重度损坏		6	0.6	1	6	0.6	1
6	严重损坏		12	0.8	1	12	0.8	1

使用默认值

3.4 剪力墙-混凝土

图7给出了剪力墙的受压损伤云图。由图中可知：（1）主要的损伤部位是连梁，沿高度分布较均匀，部分连梁处于重度损坏～严重损坏状况；（2）转换层上一层剪力墙局部区域损伤值约为0.4～0.5，属于中度损坏。故满足性能水准4的要求。

3.5 剪力墙-钢筋

图8为时程过程中剪力墙的分布钢筋的塑性应变，从图中可以看出，除部分区域连梁钢筋出现屈服，其余墙体分布钢筋均处于不屈服状态。

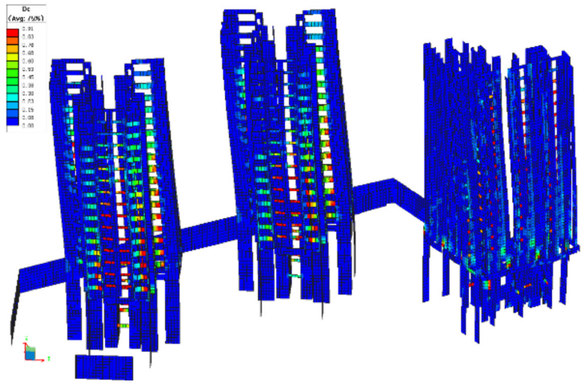


图7　多塔楼X剪力墙及连梁损伤

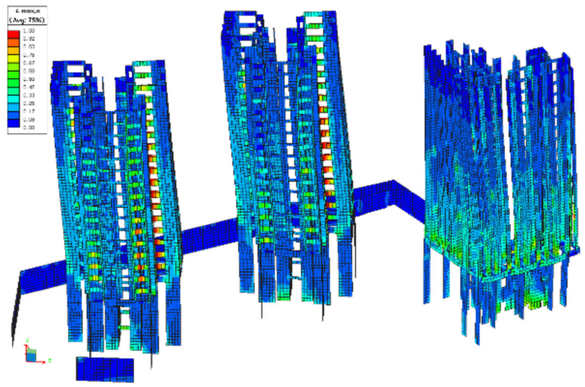


图8　多塔楼X剪力墙及连梁钢筋塑性应变

4　结论

大底盘三塔楼超限应采用多个计算分析软件建模进行分析比较，并应分别进行整体模型计算和分塔模型计算，周期比、位移比和位移角均满足现行规范要求。按照实际超限情况，采用罕遇地震作用下动力弹塑性和多遇地震作用下弹性时程分析等手段进行补充计算。

抗震性能化设计是结构设计发展的方向，首先要从概念上明确结构关键部位的分布，做到有针对性的加强，而不能完全依赖结构计算所得到的薄弱部位。

结构为A级高度的部分框支剪力墙结构，在结构平面四周双方向均布置了一定数量的落地剪力墙。适当加强底部加强区域剪力墙的水平分布钢筋配筋率和中震受拉墙肢的竖向分布钢筋配筋率。

控制落地剪力墙的数量、间距，适当加厚落地剪力墙，控制落地剪力墙承担的地震倾覆力矩大于总倾覆力矩的50%。对转换结构及以上楼层进行了有限元局部应力分析，通过分析结果对该部位安全性进行了校核。

参考文献

[1]北京金土木软件技术有限公司。ETABS中文版使用指南.北京：中国建筑工业出版社,2004

[2]高层建筑混凝土结构技术规程（JGJ3-2010）.北京：中国建筑工业出版社,2010

[3]广州建研数力建筑科技有限公司.高性能非线性分析软件SAUSAGE-2019用户手册

[4]建筑抗震设计规范（2016年版）（GB 50011-2010）.北京：中国建筑工业出版社,2016

[5]朱炳寅,建筑抗震设计规范应用与分析（第二版）.北京：中国建筑工业出版社，2017

建筑设计

支护桩与挡土墙组合共同受力的设计探讨

刘建平，彭　昊，沈燕飞，邓　超
（深圳市鑫中建建筑设计顾问有限公司，深圳 518040）

[摘　要]　基坑支护桩通过植筋与地下室外墙组合，形成共同受力的组合挡土侧壁结构，具有刚度大，整体性好的特点，还可以减薄地下室外墙的厚度，降低地下室外墙含钢量，有利于节约工程造价，节能环保，具有良好的社会经济效益。通过工程应用分析了组合挡土墙的防水做法、传力构造措施等，并通过基坑开挖阶段、使用阶段等工况进行了强度与耐久性设计计算，为类似工程设计、施工提供参考。

[关键词]　基坑支护桩；地下室外墙；组合桩墙；植筋；单边支模

Design and analysis of combined force of retaining wall and retaining pile

Liu Jianping, Peng Hao, Shen Yanfei, Deng Chao
(Shenzhen XinzhongJian architectural design consulting Co., Ltd., Shenzhen, 518040)

Abstract: Through the combination of planting reinforcement and basement exterior wall, the foundation pit supporting pile forms a combined retaining wall structure with common stress, which has the characteristics of large rigidity and good integrity. It can also reduce the thickness of basement exterior wall, reduce the steel content of basement exterior wall, which is conducive to saving engineering cost, energy saving and environmental protection, and has good social and economic benefits. Through the engineering application, this paper analyzes the waterproof method and force transmission structure measures of the composite retaining wall, and carries out the strength and durability design calculation through the working conditions of foundation pit excavation stage and use stage, so as to provide reference for similar engineering design and construction.

Keywords: foundation pit supporting pile; basement exterior wall; composite pile wall; planting reinforcement; unilateral formwork

0　引言

当前基坑支护工程常采用大量的混凝土灌注桩和水平支撑或锚杆作为基坑支护的临时结构，在地下室施工完成后，已不再考虑挡土作用，被迫遗弃于地下，形成了大量固体废弃物，存在大量的资源浪费、环境污染等问题。实际上灌注支护桩作为受弯构件设计，其抗弯刚度一般较大，在基坑开挖结束后应该可以继续作为结构构件发挥作用。如能够将地下室外墙和基坑支护桩相结合，考虑支护桩作为永久使用阶段的地下室外墙一部分，可以减少地下室外墙厚度，降低地下室含钢量，实现建筑节能和可持续发展的基坑支护结构设计。具有广阔的应用前景和重大的社会经济效益。

目前基坑支护桩和地下室外墙的设计，一般分别为按照临时开挖阶段和使用阶段工况进行受力分析，不考虑基坑支护桩在使用阶段的挡土作用。当桩与墙互相组合后，其共同作用机理、设计计算方法、节点构造等尚无系统规范设计要求。

组合桩墙技术目前在建筑基坑工程中的应用案例较少，已有的工程项目多在围护结构空间不足的情况下，被动的将支护桩与地下室外墙紧贴，但未对组合桩墙的受力体系以及相关的防水做法等节点

进行深入的研究。本文以龙馨家园工程项目作为背景，分析组合桩墙结构体系的设计计算方法、共同作用受力模式、设计构造等。

1 工程概况

本工程龙馨家园项目场地位于深圳市龙华区观湖街道观澜高新科技产业园，拟建4栋住宅，设置三层地下室，地下室为停车库。基坑开挖深度11.5m～19.0m，基坑周长约706.28m，基坑西侧填土层厚度大，无法提供足够的锚固力，采用桩撑支护，设计考虑采用直径1.2米C30混凝土灌注桩，间距1.8米，结合竖向两道混凝土支撑。基坑采用桩间两根直径600mm搅拌桩截水帷幕，其余位置采用桩锚支护、排柱加上撑下锚支护结构。基坑西侧支护桩局部平面图详见下图1。

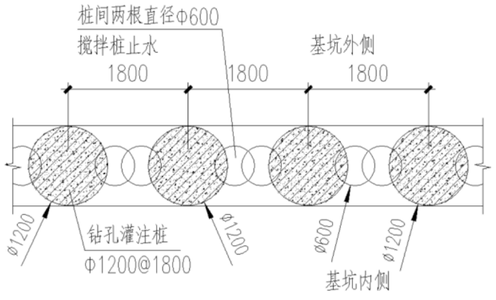


图1 支护桩布置大样图

2 组合桩墙设计

因工期紧，主体建筑结构设计提资滞后，现场又急于开始基坑开挖支护施工。在地下室挡土墙外轮廓线确定后，部分地下室外墙边线与支护边界太近，满足不了正常地下室外墙防水施工等操作空间要求。根据基坑设计单位提供资料显示，支护桩直径采用1200mm，含钢量约为140kg/m^3，其抗弯刚度基本可以和850mm厚的地下室连续挡土墙相当，如此大刚度的支护桩在地下室结构施工完成后，应可以继续发挥侧向挡土的作用，完全不考虑使用阶段支护桩的刚度，必然造成大量的资源浪费。

因此，本工程考虑支护桩作为永久使用阶段地下室外墙的一部分，与常规的支护桩与挡土墙之间的预留1.0m左右间隙，作为地下室外墙外防水施工操作空间，并于永久使用阶段回填土的做法不同。组合桩墙是地下室外墙通过植筋方式与支护桩紧贴形成共同受力的一种结构构件。随着基坑开挖完毕，在支护桩表面进行凿毛、植筋，其中一部分的

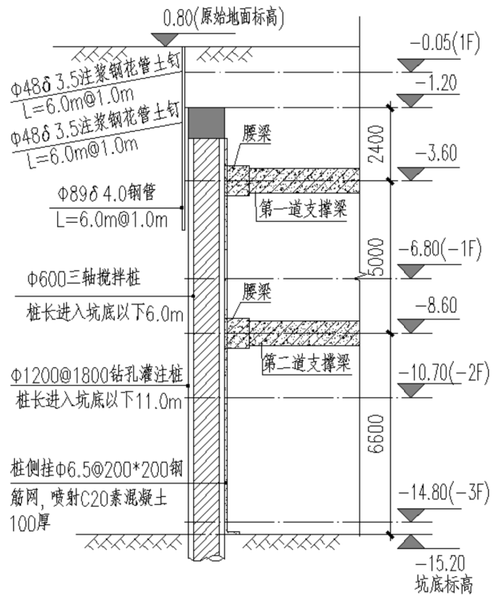


图2 基坑支护典型剖面图

植筋钢筋需预留足够长度，经端头套丝后，配合模板对拉螺栓的配件使用，用于拉结墙体一侧模板，此植筋的规格、间距、直径等，应能满足单侧模板施工结构整体性、刚度、稳定性等要求，其余植筋钢筋仅承担侧墙传来的 水、土等侧压力作用,具体做法详见下图3。

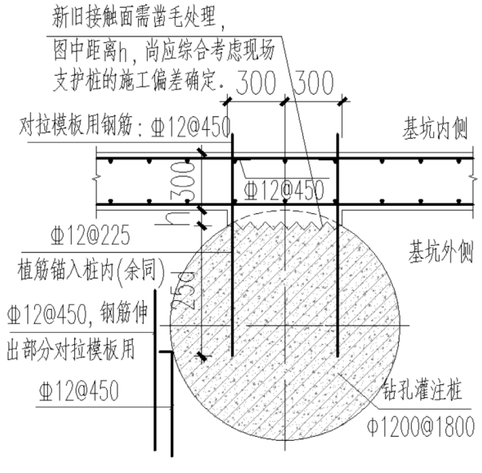


图3 组合桩墙结构配筋大样

3 组合桩墙防水设计

依据《深圳市建筑工程防水技术标准》SJG19-2019要求，本工程基础埋置深度大于10米而小于20米，地下三层抗渗等级为P10,地下一层、二层根据实际深度，抗渗等级为P8。拟采用一道刚性防水（自防水混凝土外墙）结合柔性材料防水。根据防水构造要求，挡土墙最小厚度250mm。因灌注桩垂直度有施工误差，以及相邻桩之间的存在不同位移差，根据现场实际情况，侧壁厚度定为300mm。在两支护桩之间需砌筑砖胎膜护壁，再预铺反粘型防水卷材，砌筑砖墙与桩交接位置用聚氨酯密封膏密封防水，形成桩与挡土墙共同作用的挡土、止水地下室组合桩墙，其做法见图4、5。

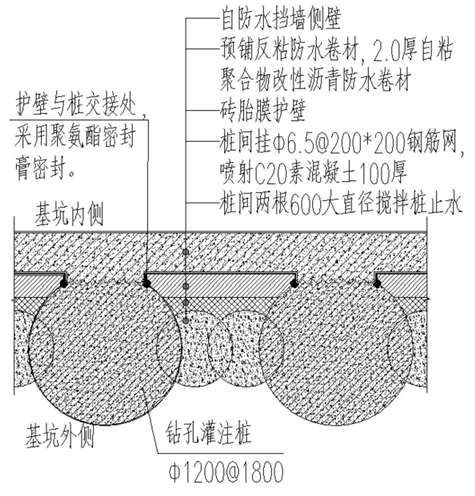


图4 组合桩墙防水节点大样

4 组合桩墙计算

4.1 基坑开挖阶段计算

组合桩墙计算应综合考虑基坑支护桩与地下室外墙的不同使用阶段进行设计，即分为基坑开挖阶段与使用阶段两个工况进行分析。其中基坑开挖阶段分析对象为周边灌注支护桩的围护体，可根据相关的基坑规范进行设计，支护桩的保护层厚度应按永久性构件要求进行设计。

4.2 使用阶段计算

支护桩结构计算模型可以简化为多跨连续受弯构件，在地下室施工完成后，各地下室楼板代替水平支撑构件，为支护桩提供了侧向支撑作用，与开挖阶段相比，计算跨度有所减小，支护桩承担的内



1.桩间砌砖胎膜，2.桩表面凿毛处理，3.植钢筋
4.砖墙与桩交接密封防水,5.桩间铺防水卷材。

图5 组合桩墙施工现场图

力相应减小。计算时偏安全考虑单根支护桩作为一个受力单元，圆桩按面积等效为矩形构件，如直径为1.2米圆桩，等效为边长为1.05米方形梁，计算模型简化是以基础底板、各层地下室层的楼板为支座的多跨连续梁，外侧荷载为支护桩间距范围内的水、土压力，及地面活荷载传来的侧压力。

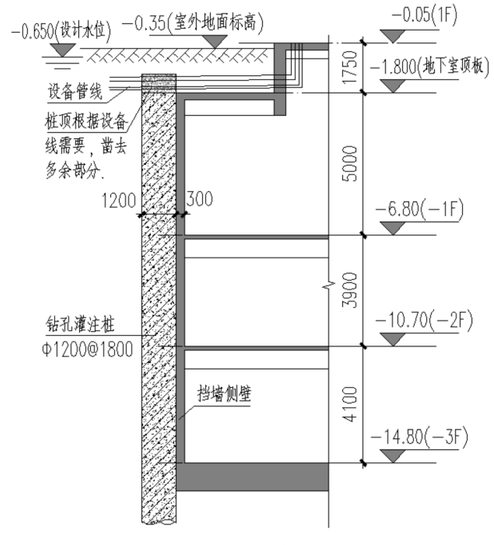


图6 组合桩墙结构立面图

从图8计算得知最大弯矩设计为442.1×1.8=795.8kN·m，远小于基坑支护单位提供的最大弯矩值1914kN·m,即小于开挖阶段的弯矩

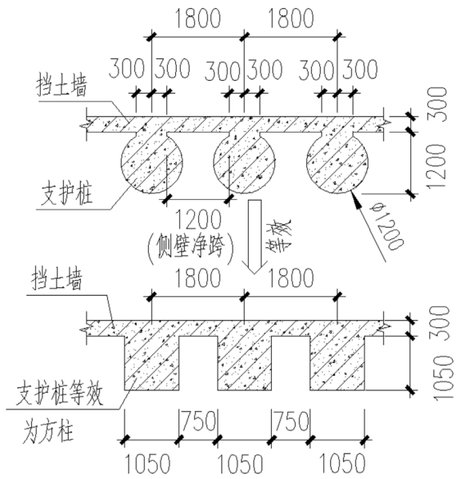


图7 组合桩墙结构平面图

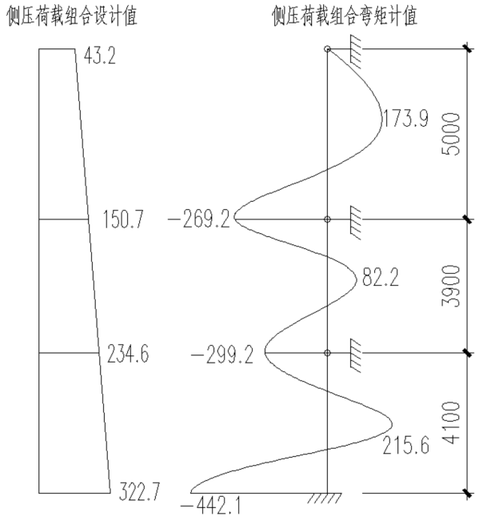


图8 桩弯矩图设计值（kN·m）

值，因此强度设计可以由基坑支护开挖阶段控制，支护桩可以直接利用于永久使用阶段的工况。挡墙侧壁通过植筋方式与桩连接，形成一种竖向叠合“T”型受弯构件，在外荷不变的情况，组合前的支护桩在侧压力作用下内力、变形已完成，组合后因水土侧压力不变，因而内力和变形也不变。叠合后的侧壁就不会产生内力、变形，而侧壁为支护桩在使用阶段提供了第二道安全防线。

组合桩墙的侧壁，其计算模型简化为单向板受力模型，主受力方向是沿水平向以支护桩为支座的多跨连续板，计算墙的水平受力钢筋，墙底部受力最大，计算跨度取1.25米，其配筋计算如下：

$$A_s=\frac{M}{g_s f_y h_0}=\frac{40.3\times10^6}{0.87\times360\times260}=494.9\text{mm}^2/\text{m}$$

$$A_{as,min}=0.2\%\times300\times1000=600\text{mm}^2/\text{m}$$

侧壁竖向为板的长跨方向，其竖向钢筋可以按构造要求设计。侧壁与支护桩的植筋连接计算，可以选基底处最大压力处，计算植筋钢筋的抗拉承载力，以确定植筋钢筋直径、根数、间距等，墙底部计算如下：

$$N_t=(0.606+0.526)\times q\times L=456.6\text{kN}$$

$$n=\frac{N_t}{f_y\times A_s}=\frac{457\times1000}{360\times113.0}\approx12\text{根/m}$$

在侧壁施工阶段时，用来对拉单侧模板受力的部分植筋钢筋，可仅按侧壁施工阶段进行另行受力分析。

因圆形受弯构件截面抗裂计算，目前的混凝土规范尚无明确的计算公式，可近似按面积等效原则，简化为方形梁截面进行验算，计算得出其准永久值192×1.8=345.6kN·m，裂缝宽度为0.12mm，小于规范限值的0.3mm，正常使用阶段满足设计要求。

5 组合桩墙施工与检测

组合桩墙考虑支护桩除作为基坑开挖阶段的挡土结构构件外，尚需在正常使用阶段继续利用作为侧向永久性支档结构的一部分，因此，除常规的灌注桩施工与检测要求外，尚应结合作为永久性结构的工程桩与地下室外墙相关施工、检测的要求进行。

6 结论

考虑支护桩与地下室外墙共同作用的桩墙组合技术，总结出以下特点：

（1）利用部分植筋，穿透墙面，作为侧模的拉杆，可以代替单侧支模的斜撑作用，同时，桩墙形成叠合构件共同受力，可以减薄地下外墙厚度，节省地下室外墙钢筋、混凝土用量，从而减少地下工程的投资；

（2）侧壁因有了支护桩的水平方向固定约束，有利于减少侧壁竖向裂缝的产生；

（3）地下室外墙外移，使用面积加大，充分利用了建筑红线范围内面积；

（4）省去了地下肥槽范围内回填所用的素混凝土用量或土方量；

（5）避免了资源浪费、环境污染问题。

7 思考

（1）支护桩建议采用咬合桩支护结构，可以避免由基坑内侧桩面不平而增加的网喷、砖胎膜等工序；

（2）组合桩墙做法较适用于地下室空间不具备预留肥槽的悬臂式支护结构。对于拉锚式、内撑式、锚杆式等支护结构，因腰梁或锚头影响地下室外墙施工，需在腰梁或锚头附近楼板施工后，再凿除；

（3）组合桩墙体系的外墙防水做法施工比较困难，防水做法的效果有待观察。如支护桩和外墙脱离，采用内侧支顶的单边支模体系施工，可确保侧壁防水的有效性，但桩墙无法形成叠合构件共同受力，外墙成本增加。两者之间如何选择，需要进一步研究分析。

参考文献

[1]《桩墙合一复合结构的内力计算方法》——左人宇，深圳市勘察研究院

[2]《基坑围护排桩与地下室外墙相结合的桩墙合一的设计与分析》-王卫东、沈健

简 讯

9度罕遇地震屹立不倒
西建大高延性混凝土加固农房振动台试验圆满成功

近日，西安建筑科技大学“高延性混凝土加固农房振动台试验”在西建大（草堂校区）结构工程与抗震教育部重点实验室成功举办。

本次试验以宁夏黄土砌筑的农房为原型。西安建筑科技大学邓明科教授团队设计了两个完全相同的1/2缩尺砌体结构模型，其中一个为未加固房屋，另一个为高延性混凝土条带加固房屋。两个缩尺模型一起安装在振动台上，共同经受振动台输出的模拟实际的地震动。通过观察两个模型在经历地震波后的损伤情况，判断高延性混凝土对砖砌房屋的抗震加固效果。

整个试验过程历时约一个半小时，两个模型依次接受6度设防、7度设防、8度设防、8.5度设防、9度设防、9度罕遇等不同工况。随着烈度的逐级增长，采用高延性混凝土加固的农房模型从岿然不动到最后仅产生了少量裂缝，而未加固的房屋则在震动过程中摇摆剧烈，受损严重。根据现场试验观测及数据分析，判断本次试验圆满成功。



▲左为未加固农房，右为采用高延性混凝土加固的农房。

据悉，本次试验的成功完成，解决了我国村镇建筑中由于砌体结构抗拉、抗剪、抗弯强度低和抗震性能差，极易在地震中发生倒塌等各项问题，可大幅度提高砖砌结构的整体性和抗震性能。

来源：五和土木

建筑设计

既有钢框架结构在截面削弱条件下的工作性能研究

姜宇彤
（深圳市鑫中建建筑设计顾问有限公司，深圳 518040）

[摘 要] 为研究既有钢框架结构应用在截面削弱条件下的工作性能，利用ABAQUS有限元软件建立6层钢框架结构有限元分析模型，通过线弹性稳定分析与非线性屈曲分析，获得结构在水平荷载与竖向荷载共同作用下的理论屈曲荷载与极限荷载，对比分析结构截面无削弱与截面不同削弱情况下结构的工作性能，得出当钢框架结构底层柱翼缘受到削弱时，对结构的整体稳定性影响较大。

[关键词] 钢框架结构；稳定性；有限元分析；承载力

Study on the working performance of existing steel frame structure with weakened section

Jiang Yutong
(Shenzhen Xinzhongjian architectural design consulting Co.,Ltd., Shenzhen, 518040)

Abstract: In order to study the working performance of the existing steel frame structure under the condition of section weakened, the finite element analysis model of 6-story steel frame structure was established by using the finite element software ABAQUS. Through the linear elastic stability analysis and the nonlinear buckling analysis, the theoretical buckling load and the ultimate load of the structure under the horizontal load and vertical load are obtained. The performance comparison between the structural section without weakening and section weakening is analyzed. When the bottom column flanges of the steel frame structure section weakened, the overall stability of the structure is greatly affected.

Keywords: Steel frame structure; Stability; Finite element analysis; Bearing capacity

0 引言

在钢结构迅速发展的同时，钢结构的缺点也逐渐显现出来。钢材的耐火性和耐腐蚀性比较差，这些缺点对钢结构承载力造成不良影响。1990年英国一幢多层钢结构建筑在施工阶段发生火灾，造成钢柱、钢梁和楼盖钢桁架的严重破坏[1]。同时，钢材容易受到腐蚀介质的影响，当钢材长期处于比较潮湿的环境下或者是在富含酸碱盐类的环境下极易被腐蚀，钢材受到腐蚀后，在其表面会形成不同程度的锈蚀，这样会导致钢材在锈蚀处产生应力集中的现象，加快了结构的破坏，缩短了结构的正常使用时间[2]。与传统结构相比，钢结构构件由于强度高，钢结构在受到相同荷载作用时，所需截面较小，使得钢结构的稳定性成为需要攻克的一个课题[3]。

在实际钢结构工程使用过程中，会受到各种不利因素影响，使结构构件截面受到削弱，结构的稳定性问题更为突出。本文利用ABAQUS有限元软件模拟钢框架结构在不同削弱部位、不同削弱程度情况下的工作性能。

1 有限元分析模型的建立

1.1 工程设计背景

本试验模型为一幢六层办公楼，抗震设防烈度为7度（0.10g），梁、柱截面均为Q235H型钢，弹性模量为206×10^3MPa，质量密度为7850kg/m^3，泊松比为0.3楼板为C30混凝土楼板，楼板厚度为120mm，板内钢筋为HPB300，梁柱节点均为刚接，考虑梁自重，梁上线荷载标准值为10kN/m，楼面活荷载标准值为2kN/m^2，水平地震荷载，钢框架平面布置图如图1，⑤轴框架如图2所示。

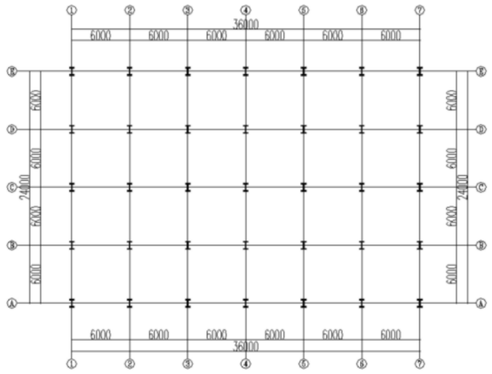


图1 钢框架平面布置图

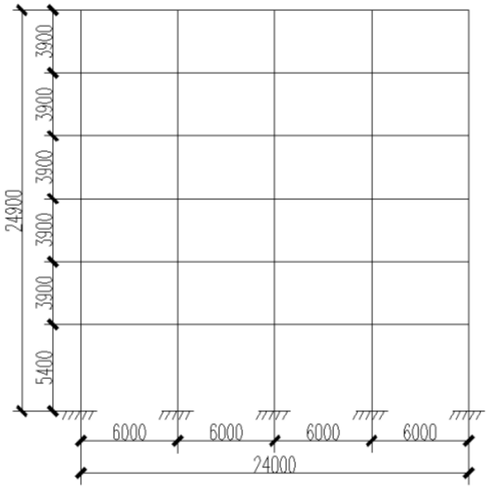


图2 ⑤轴框架

1.2 设计参数的选取

1.2.1 确定荷载组合

为了实现结构自重计算，施加荷载时选择重力荷载（g=9.8m/s^2），然后创建分析步施加至模型上，楼层荷载折合到梁上线荷载进行计算，荷载组合为：（恒荷载+活荷载+水平地震荷载），本文通过放大基本荷载组合（活荷载+水平地震荷载）对4种工况共10个分析模型进行线弹性稳定分析与非线性屈曲分析。

1.2.2 建立有限元模型

利用有ABAQUS限元软件建立足尺结构分析模型，为方便研究，本文建立的模型没有考虑各层楼梯的影响，钢框架有限元分析模型如图3所示。

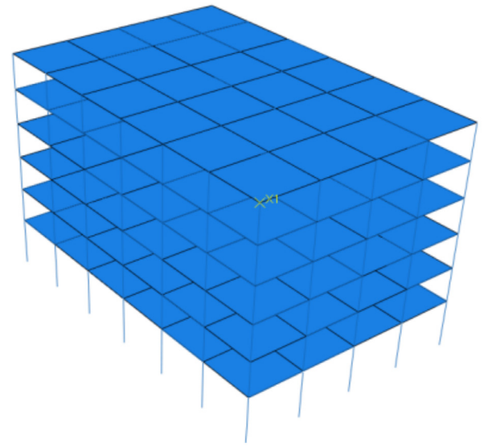


图3 钢框架有限元分析模型

1.2.3 确定结构梁、柱截面参数

本文利用ABAQUS有限元软件分析钢框架结构不同削弱部位以及不同削弱程度条件下的承载力。通过同时放大楼面活荷载和水平地震荷载对模型进行屈曲分析，根据结构截面无削弱模型衍生出截面不同削弱程度的9种分析模型，通过减小梁、柱截面翼缘或腹板厚度模拟损伤程度，工况一截面参数见表1：

表1 工况一截面参数

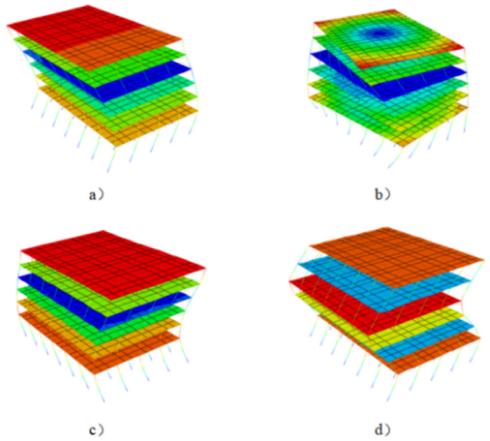
层号	柱	层号	梁
1-1	HW400×400×15×15	1-2	HN400×200×7×11
3-4	HW350×350×19×19	3-4	HN360×150×7×11

工况二为底层柱腹板厚度减小，分三种情况，柱腹板厚度由工况一的15mm，依次减小到13mm、11mm、9mm；工况三为底层柱翼缘厚度减小，分三种情况，柱翼缘厚度由工况一的15mm，依次减小到13mm、11mm、9mm；工况四为底层梁翼缘厚度减小，分三种情况，梁翼缘厚度由工况一的11mm，依次减小到9mm、7mm、5mm。

2 截面无削弱钢框架结构稳定分析

2.1 线弹性稳定分析

本节对结构中构件截面无削弱状态进行线弹性稳定分析，提取前四阶屈曲模态，如图4所示。



a）第一屈曲模态； b）第二屈曲模态；
c）第三屈曲模态； d）第四屈曲模态；

图4 屈曲模态

根据分析结果得出，结构失稳时的屈曲荷载为14.3倍的基本荷载，但是在分析非线性屈曲分析时，需要考虑初始缺陷对结构的影响，所以应对线弹性失稳荷载放大15%[6]。

2.2 非线性屈曲分析

对截面无削弱钢框架结构（工况一）进行非线性屈曲分析时，根据线弹性稳定分析的结果将给定的屈曲荷载参数设置为16倍的基本荷载（14.3×1.15=16.445，取16），荷载子步设定为500步，因此，每一个子步对应的荷载为0.032倍的基本荷载，当非线性屈曲分析计算到294步，即9.56倍的基本荷载时，结构失去了承载力，获得的荷载—水平位移关系曲线如图5所示。

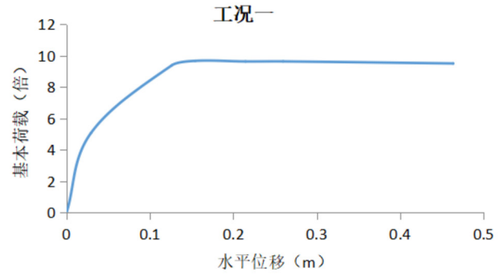


图5 截面无削弱钢框架荷载—位移曲线

由图5可以看出，当加载超过4倍基本荷载之后，荷载—位移曲线呈平缓增长的状态，结构刚度随之减小，当加载超过9倍基本荷载时，结构刚度接近于0，由结构稳定性准则判定结构丧失稳定性，结构的极限荷载为9.66倍的基本荷载。

3 截面不同削弱程度条件下钢框架结构稳定性分析

本文通过减小结构构件腹板或翼缘板的厚度来模拟构件截面削弱状态。

3.1 结构底层柱腹板厚度减小

结构底层柱腹板厚度减小时，有限元分析得到的结构荷载—水平位移关系曲线如图6所示。

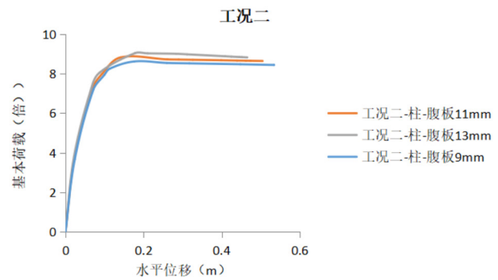


图6 底层柱腹板厚度减小时荷载—位移曲线

由图6可知，当结构底层柱腹板厚度为13mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的9.03倍，极限荷载较工况一降低6.5%；当底层柱腹板厚度为11mm时，结构在底层柱顶处首先发生屈曲，钢框架的极限荷载为8.81倍的基本荷载，极限荷载降低8.8%；当底层柱腹板厚度为9mm时，极限荷载约为基本荷载的8.61倍，极限荷载降低10.9%。

3.2 结构底层柱翼缘厚度减小

结构底层柱翼缘厚度减小时，有限元分析得到的结构荷载—水平位移关系型如图7所示。

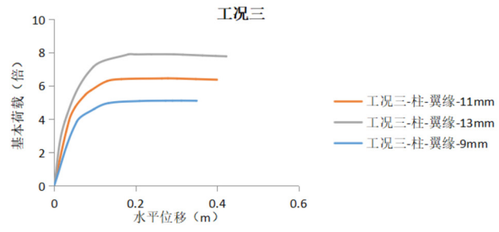


图7 底层柱翼缘厚度减小时荷载—位移曲线

由图7可知，当结构底层柱翼缘厚度为13mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的7.9倍，极限荷载降低18.2%；当钢框架底层柱翼缘厚度为11mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的6.29倍，极限荷载降低34.9%；当结构底层柱翼缘厚度为9mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的4.97倍，极限荷载降低48.5%。

3.3 结构底层梁翼缘厚度减小

结构底层梁翼缘厚度减小时，有限元分析得到的结构荷载—水平位移关系型如图8所示。

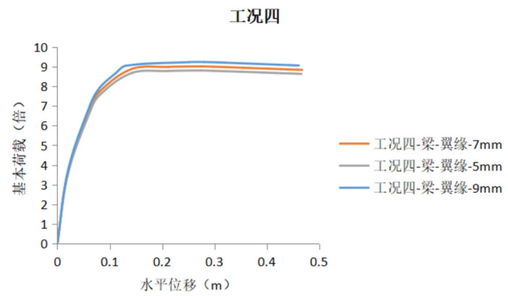


图8 底层梁翼缘厚度减小时荷载—位移曲线

通过图8可知，当钢框架底层梁翼缘厚度为9mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的9.22倍，极限荷载降低4.5%；当结构底层梁翼缘厚度为7mm时，钢框架的极限荷载约为基本荷载的8.98倍，极限荷载降低7.04%；当结构底层梁翼缘厚度为5mm时，结构的极限荷载约为基本荷载的8.77倍，极限荷载降低9.2%。

4 结论

本文利用ABAQUS有限元软件对钢框架实际结构进行线弹性稳定分析与非线性屈曲分析，同时分析了其在不同部位梁、柱截面削弱及截面不同削弱程度下的稳定承载力，共设计了4种工况，建立了10个有限元分析模型。通过有限元分析，得出如下结论：

（1）对钢框架结构模型进行线弹性稳定分析，确定结构在竖向荷载与水平荷载共同作用下的临界荷载，作为非线性屈曲分析给定荷载上限，由非线性屈曲分析得出钢框架结构在底层梁、柱截面削弱下的承载力变化情况。

（2）当钢框架结构底层柱腹板厚度或底层梁翼缘厚度受到削弱时，对结构的整体稳定性影响并不大；当钢框架结构底层柱翼缘厚度受到削弱时，对结构的整体稳定性影响较大，当削弱程度不断增大时，承载力下降明显，此时应对结构进行加固以保证结构的安全性。

参考文献

[1]曹军岭.钢结构火灾损伤鉴定与加固方法研究[D].山西：太原理工大学，2009.

[2]姜立辉，贾力．钢结构优缺点分析[J]．科技信息(科学教研)，2007，36：378.

[3]赵婷婷．腐蚀钢结构受弯构件刚度及稳定性退化模型分析[D]．西安：西安建筑科技大学，2010.

[4]杨雨薇.受损钢框架结构受力性能研究[D].湖南：中南林业科技大学，2014.

[5]张红霞.存在损伤的既有钢框架结构在地震作用下的稳定性研究与应用[D].长春：长春工程学院，2017.

[6]吴涛.存在损伤的既有钢框架结构在静荷载作用下的稳定性研究与应用[D].长春：长春工程学院，2017.

[7]张曙光,吴涛.钢框架截面受损时静力稳定性分析[J].长春工程学院学报(自然科学版),2016,17(03):1-5.

[8]张曙光,张红霞.截面受损条件下钢框架结构的动力稳定性研究[J].长春工程学院学报(自然科学版),2016,17(02):1-5.

建筑设计

深圳某复杂高层楼板应力分析

刘建平，彭　昊，沈燕飞
（深圳市鑫中建建筑设计顾问有限公司，深圳 518040）

[摘　要] 主要介绍了深圳某超限高层住宅塔楼的工程概况，结构布置等，阐述了设防地震作用、风荷载作用下，典型楼板应力分析过程，给出了薄弱部位楼板应力分布情况，提出相应的抗震加强措施，以满足建筑结构设计要求。

[关键词] 高层建筑；凹凸不规则；薄弱部位；应力分析

Stress analysis of a complex high rise floor in Shenzhen

Liu Jianping, Peng Hao, Shen Yanfei
（Shenzhen XinzhongJian architectural design consulting Co., Ltd., Shenzhen, 518040）

Abstract: This paper mainly introduces the engineering situation and structural layout of a high-rise residential tower in Shenzhen, expounds the typical floor stress analysis process under seismic fortification and wind load, gives the floor stress distribution of weak parts, and puts forward corresponding seismic strengthening measures, so as to meet the requirements of building structure design.

Keywords: high rise building; irregular concave convex; weak part; stress analysis

0　引言

随着高层建筑结构的迅速发展，平面不规则，楼板不连续、竖向不规则的结构等纷纷涌现，此类结构的楼板在水平荷载作用下，将产生较大的面内轴力、剪力、弯矩，在结构设计中必须加以考虑。

对于楼板开大洞、楼板不连续的结构，在水平荷载作用下，面内可能会全截面受压也可能全截面受拉，其应力分布如图1所示。在楼板面内的剪应力和轴向正应力共同作用下，楼板的主拉应力较轴向正应力大时，此时楼板的抗裂性由主拉应力控制，对于平面不规则的结构，楼板常存在弱连接部位，此处楼板的面内剪力需由楼板抗剪承载力来抵抗。

在水平荷载作用下，将楼板看作平面内的深梁，在楼面面外会产生一定的弯矩。此时在楼板上表面的弯曲正应力与下表面的弯曲正应力形成抵抗矩，其应力分布以截面中性轴为界，楼板上下表面一侧受压、一侧受拉其应力分布如图2。楼板的轴

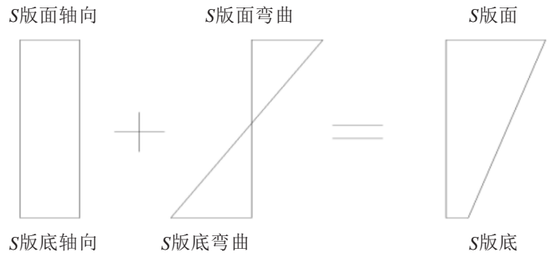


图1

图2

图3

向正应力的主要意义在于判断楼板可能发生受拉破坏的部位及严重程度，并根据计算结果，对薄弱部位采用面内轴向合力进行楼板配筋，由于弯曲正应力和轴向正应力同时存在，此时楼板配筋应取弯曲正应力与轴向正应力配筋结果之和，如图3。

对于弱连接楼板，在水平荷载作用下，可能会产生较大的面内应力，导致弱连接部位的楼板可能产生较大的面内应力，以致弱连接部位的楼板可能先于抗侧力构件发生受拉、受剪破坏。所以，应首先根据轴向正应力以及剪应力判断其薄弱部位及范围，然后再选定薄弱位置，分别进行全截面受拉、受剪承载力验算。

主拉应力的主要作用在于定性判断楼板裂缝开展情况，并根据主拉应力云图判断采取加强措施的薄弱位置，宜按照轴向应力方向进行楼板配筋设计。弯曲正应力形成楼板面外弯矩，此时楼板的受弯配筋设计应有竖向荷载产生的面外弯矩和水平荷载产生的面外弯矩叠加组成。

1　工程概况

深圳某高层住宅项目位于深圳市福田中心区。其中,B座的二层与三层平面图形成错层结构；四、五层平面图南侧，建筑开洞，使部分结构柱形成穿层柱；在六层平面图，根据建筑需要，设置了结构转换层，结构转换层位置为5层；在标准层布置中，楼板凸出尺寸B与典型楼板宽度Bmax比值为65.9%，大于30%，为平面凹凸不规则。以下图4、图5、图6分别为转换层六层、二十层和屋面层结构平面布置图（仅截取平面对称位置的左半部分）。

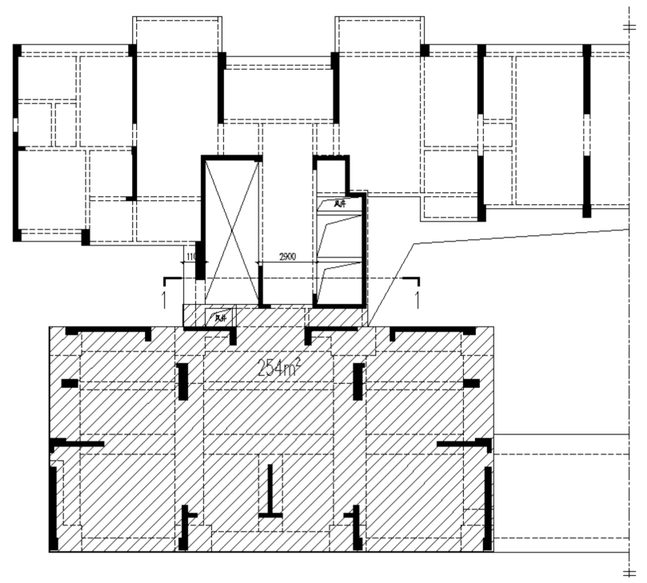


图4　转换层六层结构平面布置图

2　楼板应力分析

2.1　确定性能目标

为了验证结构楼板能够满足正常使用和承载能力极限状态的要求，同时保证在设防地震作用下楼板有效的传递水平荷载和有效协调所连接结构构件的变形，对各层楼板的应力状态进行详细的有限元分析，并针对性的对薄弱部位的楼板进行构造加强，从而保证了楼板不会出现较大的裂缝而导致较为严重的刚度退化，得以实现楼板的抗震性能目标。弱连接楼盖在设防地震作用下，应能达到楼盖抗弯、抗剪弹性的性能目标。弱连接楼板性能目标见表1。

2.2　确定结构等效弹性计算参数

2.2.1　结构阻尼比

A.国标高规，增加值一般不大于0.02；

B.广东高规：第1、2性能水准的结构计算的阻尼比不增加，第3、4性能水准的中震结构计算时阻尼比可增加0.005～0.01。

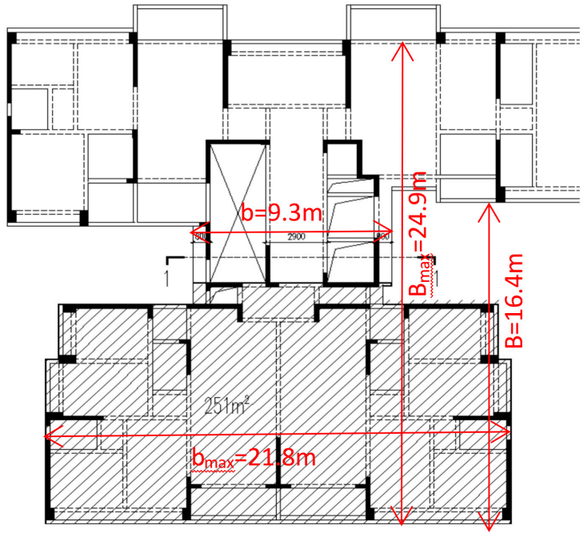


图5　二十层结构平面布置图

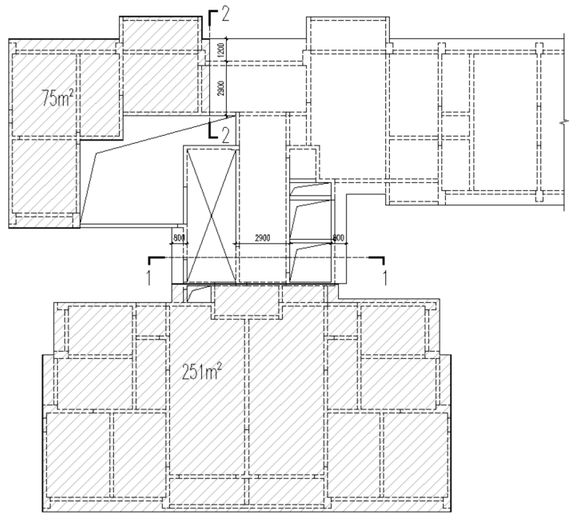


图6　屋面层结构平面布置图

表1　楼盖抗震性能目标

关键构件	多遇地震（1水准）	设防地震（3水准）	罕遇地震（5水准）
弱连接楼盖	弹性	弹性抗剪弹性	屈服满足截面抗剪
一般楼盖	弹性	不屈服抗剪弹性	较多屈服，满足截面抗剪

2.2.2　连梁刚度折减系数

A.国家高规：一般不小于0.3

B.广东高规：第1、2性能水准时，连梁刚度折减系数不宜小于0.5，第3、4性能水准时连梁刚度折减系数不宜小于0.3。

2.2.3　其他参数

A.周期折减系数可以适当增加，计算罕遇地震时的特征周期，比小震时增大0.05s；

B.中梁刚度可适当减少；

C.考虑双向地震作用；

D.剪重比、薄弱层、0.2V0等与抗震等级相关的无需调整。

2.3　中震弹性计算方法

采用YJK软件复核，分析时采用弹性板 6来模拟楼板，弹性板6考虑了楼板的平面外和平面内刚度，且荷载采用有限元方法进行传导，采用地震反应谱法进行楼板应力分析。

2.3.1　抗弯弹性计算

中震抗弯弹性荷载组合：

$$S_d=\gamma_G S_{GE}+\gamma_{Eh}S^*_{Ehk}+\gamma_{Ev}S^*_{Ev}\leqslant R_d$$

楼板拉应力由弯曲拉应力以及轴向拉应力组成，弯曲拉应力计算如下：

$$\sigma_{max}=M/W_X,\quad W_X=\frac{1}{6}bh^2$$

在楼板分析中，b取单位宽度1000mm，h 取板厚，则：

$$A_S=M/(f_y\gamma_s h_0),\quad(\gamma_s=0.9)$$

弯曲受拉的楼板钢筋应满足：

$$A_{S1}=bh\sigma_{弯曲}/5.4f_y$$

轴向拉应力全部由钢筋承担，不考虑混凝土受拉作用：

$$2f_yA_S=\gamma_{RE}\sigma_{轴拉}bh$$

轴向受拉的楼板钢筋应满足：

$$A_{S2}=\gamma_{RE}\sigma_{轴拉}bh/(2f_y)$$

单侧最终配筋：

$$A_S=A_{S1}+A_{S2}$$

以下选取转换层（6层）、标准层（20层）、屋面层设防地震作用下的应力分析为例，各层结果（仅截取部分结果）如下：

由上述各种工况组合下的楼板应力图可知，楼板中间大部分区域应力较小，应力较大区域集中在楼梯开洞周边、电梯开洞周边、部分墙肢及梁边两侧等区域的楼板，主要由于墙（梁）平面外弯矩使楼板在交接处产生局部变形、刚度突变形成应力集中等因素造成的。图中显示单元应力数值，为单元各节点应力数值中的较大值，不能反映一定尺寸范围内楼板的受力情况，不宜直接采用，但有助于直观、快速的判断楼板应力集中部位，以便采取相应的加强措施。

在中震作用下，楼板大部分区域正应力在一定范围内的平均值均小于混凝土抗拉强度标准值

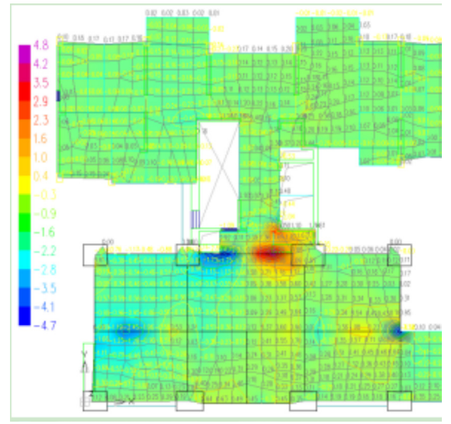


图6　X方向楼板Sig-xx 应力云图（Mpa）（转换层 6层）

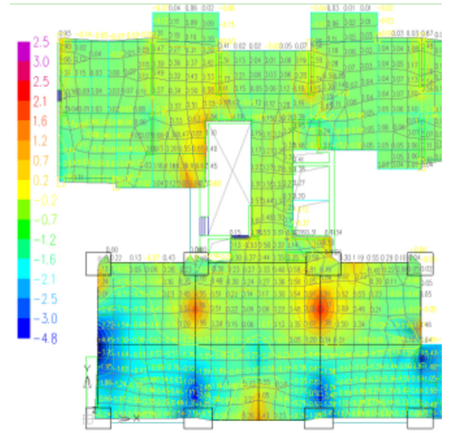


图7　Y方向楼板Sig-yy 应力云图（Mpa）（转换层 6层）

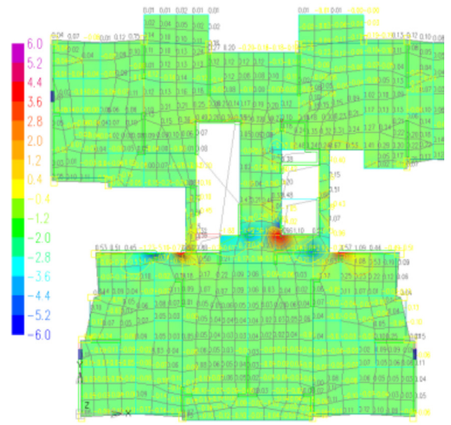


图8　X向楼板Sig-xx 应力云图（Mpa）（20层）

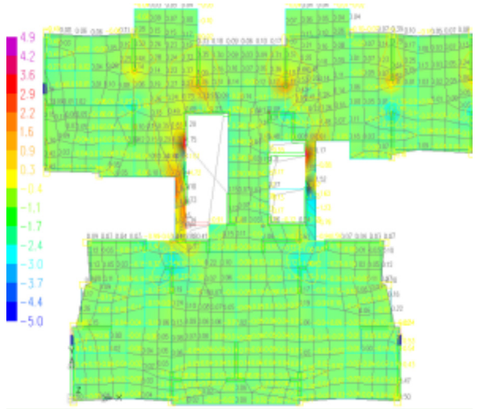


图9 Y向楼板Sig-yy应力云图（Mpa）（20层）

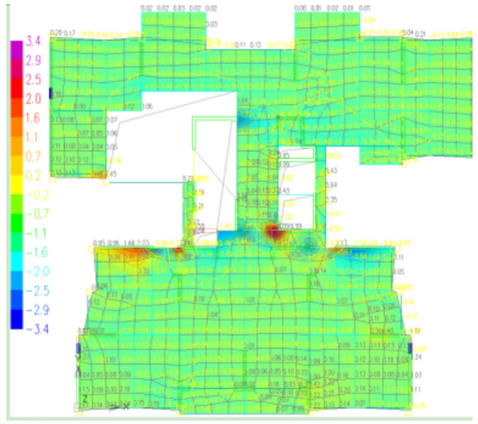


图10 X方向楼板Sig-xx 应力云图（Mpa）（屋面层）

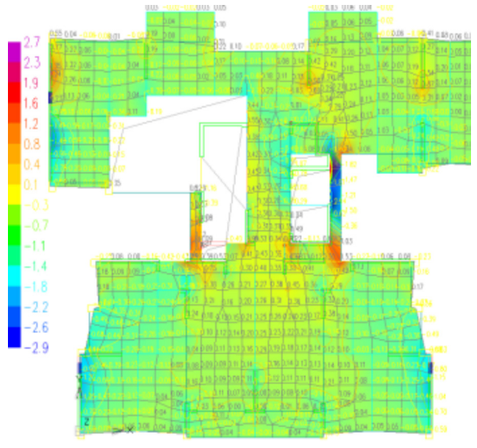


图11 Y向楼板Sig-yy 应力云图（Mpa）（屋面层）

2.01Mpa（C30）、2.64Mpa （C50）。结合应力图，对部分墙肢边缘、梁柱边及其他薄弱部位等应力较大区域的楼板，进行双层双向配筋加强。楼梯、电梯开洞部位，楼板有效净宽为3.5米，该处为弱连接部位，尚需在电梯、楼梯间外侧，增加结构连接板，使处有效板宽不少于5米。除转换层外，其余层的楼板厚度不应小于150厚，配筋采用10@150双层双向拉通配置,楼梯间的休息平台板厚也应采用150厚，配筋采用10@150双层双向。以满足中震弹性的性能目标,结合竖向荷载作用下，对楼盖应力及配筋进行统计见下表2、表3。

2.3.2 抗剪弹性计算

在中震作用下，应控制楼板截面抗剪弹性，考虑的荷载组合为：

$$S_d=\gamma_G S_{GE}+\gamma_{Eh}S^*_{Ehk}+\gamma_{Ev}S^*_{Ev}\leqslant R_d$$

式中，R_d——截面承载力设计值，按材料强度设计值计算；

楼板抗剪截面应满足：

$$\gamma_{RE}V\leqslant 0.2b_c f_c Bh$$

式中，B为楼面计算范围内截面长度，h为计算范围内厚度；b_c为混凝土强度影响系数。

楼板全截面抗剪配筋应满足：

全截面受压时：

$$\gamma_{RE}V\leqslant 0.4f_tBh+0.1N+0.8f_{yh}\frac{A_{sh}}{S}B$$

式中N为与楼板剪力设计值对应的轴向压力设计值，N大于$0.2f_cBh$时应取$0.2f_cBh$；S为水平分布筋间距。

全截面受拉时：

$$\gamma_{RE}V\leqslant 0.4f_tBh-0.1N+0.8f_{yh}\frac{A_{sh}}{S}B$$

式中N为与楼板剪力设计值对应的轴向拉力设计值，N大于$0.4f_tBh$时应取$0.4f_tBh$。

根据$F=G_{eq}*\alpha_1$算出水平地震作用，结果详见下表4、表5：

上表4、表5的验算剖面位置详见图4、图5、图6，结果表明，楼板按构造配筋时，在中震作用下，抗剪承载力与剪力设计值之比均大于1，弱连接处楼板满足抗剪弹性要求。

3 结论

（1）考虑到目前软件无法直接给出配筋结果，楼板配筋设计可以采用适当的简化方法。对于薄弱部位，可按近似方法计算竖向荷载作用下的受拉侧弯矩配筋，再按有限元方法计算水平作用下受拉侧配筋，两者相加确定楼板所需受拉侧弯矩配筋量As_1用有限元法计算水平、竖向荷载作用下楼板轴力，确定楼板所需单向轴向力所需钢筋量As_2,再相加得到钢筋:$AS=As_1+As_2$。

（2）对于局部有应力集中的单元，宜取1.0米左右范围的平均应力，设计时可在应力集中处（单元应力数值较大处）采取局部加强防开裂配筋措施。

（3）当楼板拉应力达到或超过混凝土抗拉强度时，钢筋应力水平并不大，不能单独以混凝土达到抗拉强度判断楼板抗拉能力不足，需同时参考楼板钢筋的应力和应变水平综合判断楼板抗拉能力。

表2 中震作用下楼板X向应力统计表（单位：Mpa）

楼层	平均拉应力（Mpa）	楼梯与电梯间连接板平均剪应力	混凝土抗拉强度标准值（Mpa）	混凝土抗剪强度限制（Mpa）
5	0.67	0.18	2.01	1.68
6	1.45	0.4	2.85	2.72
7	0.58	0.29	2.01	1.68

表3 中震作用下楼板Y向应力统计表（单位：Mpa）

楼层	平均拉应力（Mpa）	楼梯与电梯间连接板平均剪应力	混凝土抗拉强度标准值（Mpa）	混凝土抗剪强度限制（Mpa）
5	0.69	0.45	2.01	1.68
6	1.58	0.89	2.85	2.72
7	0.82	0.35	2.01	1.68

表4 中震下楼板弱连接处剪力计算结果

楼层号	剖面位置	恒载(kN)	活载(kN)	地震剪力标准值(kN)	地震剪力设计值(kN)
6	1-1	1151	584	332	431.5
20	1-1	344	283	111	145.5
屋面层	1-1	428	280	130	169.9
	2-2	128	83.7	39.0	50.7

表5 中震下弱连接部位的抗剪验算结果

楼层号	剖面位置	楼板宽度(m)	楼板厚度(mm)	0.2βCfCBH (kN)	剪力设计值(KN)	承载力验算(KN)
6	1-1	4	180	2994	432	544
20	1-1	4.5	120	1544	146	309
屋面层	1-1	4.5	120	1544	170	309
	2-2	4.1	120	1407	51	281

参考文献

[1]《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010

[2]《深圳超限高层建筑工程设计及实例》--魏琏

[3]《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》-2015

经验交流

EPC项目统筹管理的思考与探讨 —以深免海口观澜湖免税城工程（EPC）为例

田 蕾
（深圳市特区建工集团有限公司，深圳 518034）

[摘 要] 随着我国经济的快速增长，工程建设领域迅猛发展，EPC总承包管理模式因其具有简洁、高效、风险低等优势被越来越多的业主广泛应用到项目管理中，为了顺应这一趋势，快速抢占市场，EPC项目统筹管理也成为众多优秀建工企业的大力发展方向。基于此，以深免海口观澜湖免税城工程(EPC)为例，总结了该项目的管理要点，并对不足之处进行分析与探讨,希望对探索属于集团自身特色的EPC项目管理模式提供思路。

[关键词] EPC项目；统筹管理；设计-施工融合；深化设计

Thinking and discussion on the overall management of EPC project
—— a case study of Haikou Mission Hills Duty-free Hall project

Tian Lei
（Shenzhen Sez construction Group Co.,Ltd., Shenzhen, 518034）

Abstract: With the rapid growth of China's economy, the field of engineering construction is developing rapidly. The EPC management mode has been widely used in project management by more and more owners because of its advantages of simplicity, high efficiency and low risk. In order to comply with this trend and quickly seize the market, the overall management of EPC projects has become the vigorous development direction of many excellent construction enterprises.Based on this, taking the Haikou Mission Hills Duty-free Hall project (EPC) as an example, introducing the main points of the project management mode, and analysising the existing problems, hopeing to explore the EPC project management model belongs to the group for its own characteristics.

Keywords: EPC projects; overall management; integration of design &construction; detailed design

0 引言

EPC工程总承包模式为国际上普及的建筑项目管理模式，E是指Engineering（策划）、P是指Procurement(采购)、C是指Construction （施工），简单来说就是将整个工程的设计、采购、施工、试运营直至交付使用交由一个总承包商负责。

EPC项目通常具有以下几个显著的特点：

（1）一般为固定总价合同,便于业主对投资进行控制；

（2）项目功能及规模具有较大确定性；

（3）业主在合同或其他约定中对工期非常明确，一般情况下工期比较紧；

（4）不论是一家单位还是联合体单位承接项目，必须作为唯一的总承包商全过程参与并对项目全面负责；

（5）业主只对总承包商一家单位发出指令，协调工作大大减少，对具体的工程实施细节参与较少，只对大方向进行把控。

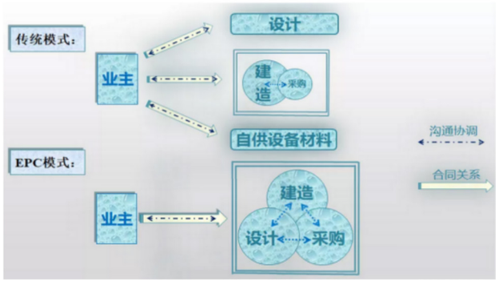


图1 EPC模式与传统模式的区别

由传统的设计、采购、施工分包商分阶段承建项目转变为由一个EPC总承包商全过程负责整个项目的实施，可以有效解决设计与施工的衔接问题、减少采购与施工的中间环节，顺利解决施工方案中的实用性、技术性、安全性之间的矛盾，有利于整个项目的统筹规划和协同运作，并且由于EPC合同中工作范围和责任界限清晰，建设期间的责任和风险可以最大程度地转移到总承包商[1]。因此，越来越多的业主认可并采用EPC工程总承包模式管理项目，并成为推动EPC市场发展的主要力量。

近年来国家也通过各种政策文件大力推行EPC工程总承包模式，根据国家统计局数据显示，2015年中国总承包商的总产值为163655亿，至2019年达到231055亿元，复合年增长率为9.0%，预计2024年达到313586亿元[2]，占总体建筑市场的份额近半壁江山，发展空间巨大。

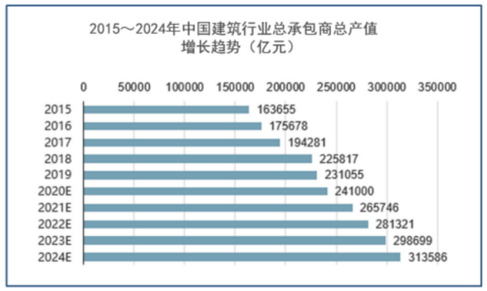


图2 近年总承包产值及预测（来源：公开数据整理）

行业已经在由量变转为质变，尽快适应并掌握EPC总承包方式是传统建工企业在竞争日益激烈的建筑工程市场中占有一隅之地的必然选择。为了顺应趋势，快速抢占市场，EPC项目统筹管理也成为中建、上海建工等众多优秀建工企业的大力发展方向。但同时，也可以明显的看到，至少在市政和房建等领域，目前国内工程总承包并没有相对成熟的项目管理体系，即便是将工程总承包作为核心竞争力的企业，其项目管理体系也处于不断的探索中[3]。

深免海口观澜湖免税城工程（EPC）是集团成立以来的首批EPC项目之一，也是集团独立自主承接的首个外地EPC项目。近期，该项目一期顺利交付，并赢得了各界肯定，本文针对该EPC项目的统筹管理要点进行总结归纳，并结合实施中发现的不足之处及相应对策进行探讨。



图3 项目开业照片

1 案例分析

项目位于海南省海口市观澜湖片区，现状观澜湖新城为商业综合体，总建筑面积约10万平方米，共14栋，于2014年左右竣工。本次工程主要对现状观澜湖新城分阶段进行装修，改造为国际高标准免税购物城及符合海关要求的免税仓库，建成后将是目前世界上极具规模的单体免税购物商业综合体之一。项目分为两阶段，其中一阶段工程施工面积约3.7万平方米，二阶段工程施工面积约10万平方米，总投资约6亿元。主要工程内容包括：工程的设计、原有装饰面拆除（主要材料设备保护性拆除）、设备采购、施工、竣工验收。

项目业主为深圳免税集团，一期工期仅有2个月，也是业主在海口投资开发的首个项目，对当地的政策、管理、成本及相关分包团队均不熟悉。但其目标是在春节前打造成大规模、高标准的免税商城及满足海关监管要求的保税仓库，对工程质量的要求较高。为了达到这一目标，业主决定采用EPC模式发包项目，节省工期及造价。

1.1 做好前期策划

面对业主的高要求高定位高规格及紧张的工



图4 项目总体平面图

期，集团派遣总承包事业部负责统筹策划，自接到任务后，总承包事业部3天内完成了联合体项目团队的组建及踏勘，制定了职责分工及总体实施计划安排，并在1周内完成了施工进驻，这主要得益于特区建工集团全产业链的优势、超强的执行力及各企业的协同精神。

总承包事业部带领项目团队收集前期设计图纸、调研业主需求、沟通报建验收程序、分析项目风险，快速确定了各项项目管理目标及管控要点，向业主提交了合理、专业的总体实施计划安排，得到了业主方的高度肯定，为后续工作顺利开展打下了良好的基础。

1.2 明确内部分工

复杂工程开展之初，对工作进行有效分解至关重要。鉴于项目规模较大，工期较紧，且为外地项目，因此集团在下属企业中选择了各具优势又能相互补强的三家单位组成联合体共同承接项目，牵头单位选择建安集团，主要原因是其刚刚担任了深圳市多个类似应急工程的施工总承包，对同类装修工程经验较为丰富，同时选择了另一家施工单位-天健三公司共同承接施工任务，因其在海南当地承接过项目，具有可利用的资源优势，设计单位选择了拥有建筑行业甲级资质的鑫中建设计公司，同样在深圳承担过类似项目的设计工作，具有专业齐全，经验丰富的优势。强大的联合体队伍正是项目获得成功的必要条件。

在项目踏勘阶段，总承包事业部就牵头安排项目分工工作，将项目团队按照各自专业分为商务组、设计组、施工组分别在当地与业主各主管部门进行沟通，以专业的工作态度在短时间内熟悉掌握项目各项情况，提高工作效率。在掌握项目情况后，三天内就初步确定了联合体各单位分工职责及EPC项目部组织架构，并明确了总协调人、商务负责人、设计负责人、安全负责人等主要人员及其具体职责。

1.3 矩阵式管理模式

作为集团重点督办项目，为了对项目进行重点掌控及有力的支撑，集团对于该项目组织结构采取了矩阵管理模式，由项目领导小组和项目部共同组成，项目领导小组由集团总承包事业部、联合体各企业负责人组成，由联合体领导小组负责项目管理统筹工作，由集团协调联合体各单位全力支持项目工作开展，项目领导小组牵头从联合体单位各部门抽调专业人员组建EPC项目部，确定项目经理、组织架构、主要成员及岗位分工。EPC项目部下设设计、施工、采购等部门。由EPC项目部项目经理统筹EPC项目的全过程管控及实施。EPC项目部对项目实施设计管理，采购管理，施工管理，试运行管理。设计、采购、施工三个方面既要相对独立，又要统筹兼顾。集团充分发挥总部支撑引领作用，在实施过程中，对项目经理及项目部的工作内容行使领导、监督、指导和控制行为，并随时提供业务及协同支持，以确保项目部各项活动符合公司、业主和社会的利益。

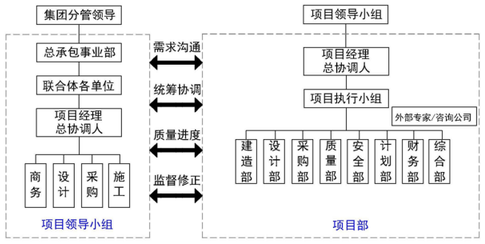


图5 本项目矩阵式管理模式图

1.4 限额设计管理

EPC工程一般都采用固定总价的形式进行招标，本项目也不例外，但由于本项目分为两期实施，二期工期及总体方案暂未确定，因此在商务谈判时与业主达成一致，合同中采用暂定总价，按实结算的计价模式，但原则是尽量不能突破总价。

在前期与业主的沟通中，充分了解到其对项目初步的营销方案，一期工程施工范围为部分楼栋、免税仓库及部分业主使用设施，业主希望一期工程为试运营，确保在海口旅游旺季尽快招揽顾客，树立品牌，提高业绩，到旅游淡季时，进行二期工程施工，对所有楼栋进行高端装修，全方位对标国际一流免税店。

表1 施工概况一览表

项目阶段	施工范围	施工面积（㎡）	主要内容	工期要求
一期工程	1#、4#～6#、14#楼	16427	室内保护性拆除及初步装饰装修	春节前完工
	保税仓库	16340	室内保护性拆除、装修及货架采购	
	业主食堂	2838	精装修	
	业主办公楼	1700	精装修	
二期工程	1#、2#、4～14#楼	95324	精装修	需进一步明确

根据以上掌握的信息，项目团队在编制工程量清单、提交项目预算书前，与业主就一期方案及装修标准进行了反复的沟通、比较、优化及调整，以求在功能、美观与经济中找到最佳平衡，以达到在一期中节省造价，但不降低标准，同时在方案中尽量采用永临结合形式，以便二期可以继续利用，不造成资金浪费。

大多数EPC项目都与本项目类似，是从方案设计阶段开始的EPC工程，这就意味着没有足够深度的勘察设计图纸可供参考，业主可能仅仅只有初步的设计意向，并且留给总承包商编制工程量清单的时间又往往极为有限。而由于EPC一般采用固定总价的特性，编制合理、准确、详细、适用的工作量清单对合同造价起决定性作用。这就要求EPC管理团队必须充分了解业主的对项目的意图，认真研究项目相关资料包括当地政策、条件，收集市场信息，对设计方案进行多方比选，并与业主就方案进行深入沟通，并在本阶段对成本进行初步核算，明确项目的经济风险边界，进而严格把握关键技术标准，对于外地项目还必须深入了解当地实际的技术、经济水平，只有这样才可以规避风险，实现商务效益目标。

1.5 强调计划管理

项目的有序实施必须依靠周密的进度计划及有效的计划管理。人、料、机、法、环是影响工程进度的最重要因素。根据本项目的特点，基于对项目总体策划、施工组织、进度计划的掌握，可以实现对工程关键节点和线路的确定，并结合对总进度计划的控制，细致分解到项目工程建设过程中周、月、关键节点施工计划的编制。

在项目实施过程中，项目团队充分认识到计划管理的重要性，要求将各分项进度计划精确细化，协调好人、机、料、法、环等各个环节，将关键节点一一列明，落实到各个责任人，严格控制对材料进场、施工工艺、工人数量等关键因素的纠偏，通过简化出图程序、设计与采购同时开展等手段最大化发挥出EPC总承包模式的作用，有效合理地保证项目按照计划实施。



图6 人、料、机、法、环要素图

1.6 提前做好外部协调工作

项目一期工程工期非常紧张，但工程交付必须符合当地各项管理规定，且免税商城还涉及到严密的海关验收，为了保证工程不仅能保质保量完成，且能顺利通过当地各主管部门验收，项目团队做出了很多努力。

项目团队在第一次去海口前就深入学习了当地各级政府及主管部门的相关法律法规、方针政策、技术标准和规定，在踏勘时就提前进行了报建报批等各项工作的咨询与协调，在工程开工前积极与业主及当地行政主管部门沟通、报备，取得充分的政策支持，并在实施过程中提前与规划、质检安检、城管、公安、消防、环保等各政府主管部门取得联系，了解各项手续的办理程序，获得他们的指导、支持和谅解，争取“把事做在前面”，争分夺秒干工程，并自觉地遵纪守法履行义务，积极配合相关部门的行政执法工作。事实证明，这为项目的有序实施和顺利验收铺平了道路，最终在极为紧张的工期下，项目顺利通过海关各项指标检验并全面达到免税店开业运营各项标准，得到业主及各界的一致肯定。

2 对EPC管理模式的思考

虽然本项目一期工程已经顺利完工并得到了各界好评，但在实施中也暴露了一些在EPC管理上的不足之处，需要引起重视，为后续的EPC项目积累



图7 商业区完工照片

一些经验。

2.1 主动性不足

EPC的核心是提高效率，具体来讲就是对传统工程更短的建设周期和更低的建造费用，而提高效率就能创造价值。EPC工程总承包商与传统设计或施工单位的最大区别，就是要从业主角度出发，把自己看成半个业主[4]，主动为业主创造价值、规避风险，得到业主认可并建立起互信沟通机制，进而在EPC业务上做大做强。

而主动在EPC工程中创造价值，着力点应放在设计-采购-施工时序穿插及精细化施工上。这都需要EPC承包商抛弃传统思维定式，不应再按照方案设计-初步设计-施工图设计-采购-施工按部就班的顺序，而是要在总包内部形成设计-采购-施工利益高度统一、组织集成融合的目标及管理模式，主动在方案设计阶段引导决策单位对影响工程的重大方案确定并认可，并不再清晰的划分项目前期和后期，总体统筹全周期计划安排，甚至部分采购、施工可前置到方案设计阶段，从而在全过程中实现设计、采购、施工之间的深度融合，并应主动提质增效，充分利用自身的专业性为业主提供优化设计方案、行业新型技术材料、安全低廉的新型工艺等，有效降低建设成本，为业主创造价值、产生效益。

2.2 设计、施工融合不足

EPC模式由于可以有效解决传统DBB模式下设计和施工分离的问题，因而具有节约工期、成本可控、责任明确、管理简化和降低风险等优势。但在本项目中这种优势并未完全发挥。可以说集团全产业链的优势仅发挥在承接项目阶段，在具体实施阶段设计单位与施工单位仍按照常规模式各自运行，并且由于工期紧张、现场条件变化等原因，内耗现象时有发生。一方面设计单位并未充分认识到设计的主导和龙头作用，不能主动的把握项目方案，引导业主与我们达成双赢的创效目标，另一方面施工单位还停留在传统的承发包模式下，还要“等图施工”，而不注重在设计阶段复核设计文件，也不注重复核技术是否可行，经济是否合理。施工与设计在设计阶段的融合度不足，让本应在设计阶段就应解决的设计错漏碰缺、现场可操作性、投资控制等问题未解决，导致后续设计变更数量增加，造成工程项目进度推进缓慢。



图8 EPC中设计-采购-施工深度融合

当然，对于刚刚组建成功、实际运行不到一年的集团来说，各企业间仍需磨合，对项目来说也是一样，如此紧张的工期，再成熟的团队也不可避免发生争吵，只要团队明确统一的工作目标，并通过制定协调机制、规章制度保证工作方式的一致性，经过更多的磨合实践，相信这一问题能逐步得到解决。

2.3 适应EPC管理的复合型人才缺失

未来将不再是“分科之学”的时代，而是以融合、整合为特征的“后科学”时代。相比我们熟悉的施工总承包市场“价格战”，工程总承包市场竞争更侧重于高质量管理服务的比拼，争取为业主提供囊括项目前期咨询、报批报建、勘察设计、招标采购、建造施工、联调联试及移交运营管理等“一揽子”服务。面对“管理战”和“服务战”的转变，就得拥有足够的高端工程总承包项目管理人才。管理工程总承包项目必须具备计划管理、设计管理、施工管理、采购管理、商务管理等能力，建筑施工企业只有在项目综合管理能力、设计能力、

战略性采购体系等诸多方面形成整体合力，才能全面实现朝工程总承包业务模式的转型[4]。

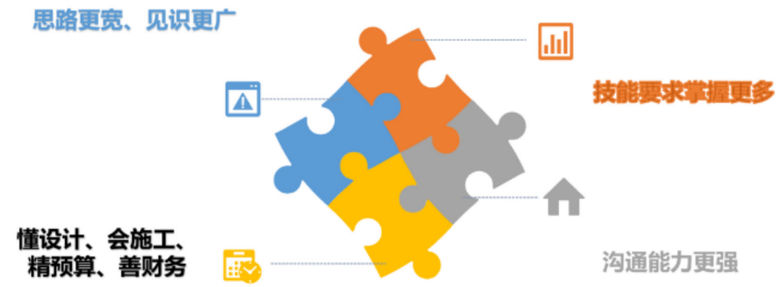


图9 EPC对管理人才的要求

2.4 深化设计能力急需加强

深化设计是在大原则不变的情况下，对工程实施阶段的设计深度、精度的进一步深化和设计人员的理解细化，并在有可能的情况下提质创效，有利于EPC精细化施工管理。目前较为成熟的工程总承包团队无一例外对深化设计能力都在下重工培养。

本项目是典型的边设计、边施工、边采购工程，充分暴露了我们缺乏深化设计能力的弱点，一方面本项目由于外部受限如工期较短、外地办公等原因叠加，无法派驻核心设计人员长期驻场进行深化设计；另一方面，包括本项目在内的大部分EPC项目，设计费的计费仍与常规项目一样，采用投资的一定比率计量，但在一个成功的EPC项目中，E（Engineering）--策划的价值是要远远大于传统设计的价值的，且深化设计的工作量远大于常规设计，导致设计单位积极性较差，不愿去现场，严重影响了设计与施工的融合，设计的前端优势也难以发挥。

因此目前在市场上确实存在一种呼声，建议在产值划分需要应对深化设计部分增加一定比例，但这需要整个行业取得共识。

另外从以下三方面着手也可促进集团打造与EPC项目相适应的核心设计资源，一是增强设计部门全过程咨询能力，加强对设计项目负责人的造价、商务、施工管理等知识的提升和培训，着重提高设计人员的全局掌控能力；二是不断转变设计部门传统理念，增强设计优化、设计服务意识、设计引领观念;三是在今后的EPC项目中，创造条件让核心设计人员深入施工现场，通过集中办公、协同作战，迅速掌握施工关键技术和现场组织经验。

3 总结

本文仅针对单一项目进行了总结归纳，但工程领域博大精深，项目边界各有不同，EPC项目管理模式的探索远不止这几个方面，在此引用现代管理学之父彼得•德鲁克的名言：管理不是一门精确的科学，管理是一种实践。相信集团通过进一步拓宽业务广度深度、获得更多实践经验，将能在不远的将来逐步建立全专业、全阶段的多维的管理体系，为项目提供更深入、更契合的支撑与服务，同时在项目实施过程中不断总结优秀的管理经验，加速提升EPC管理能力[5]，探索属于集团自身特色的EPC项目管理模式，加速打造企业核心竞争力。

参考文献

[1]解立泉. EPC工程总承包管理[J].中国电力企业管理.2012,07：80-81

[2]2020-2024年中国建筑行业发展趋势.中国产业信息网[OL].2020,06

[3]王国宁.浅谈设计施工总承包项目的管理[J].科技创新与应用.2013,04：225

[4]任长文，傅晓辉. EPC模式的转型实践之道[J].施工企业管理.2019,07：28-30

[5]饶淇. EPC工程总承包转型的五个着力点[J]. 施工企业管理.2019,07：35-37

经验交流

在住宅建筑阳台上设置竖向紧急避险逃生口的探讨和建议

李永彪
（深圳市罗湖区建筑工务署，深圳 518001）

[摘 要] 结合我国城市居民住宅楼现状，论述了在城市居民住宅楼阳台上设置竖向紧急避险逃生口的必要性、紧迫性和可行性。对设置竖向紧急避险逃生口可能产生的问题进行探讨并提出解决措施建议。一旦该建议被全面推广，将会为应急管理部门提供一种高层楼宇紧急避险应急管理新思路。城市居民生命将会更有保障，居住环境将会更安全更放心。

[关键词] 阳台；逃生口；紧急避险

The proposal for installing vertical emergency escape exits on the balcony of urban residential buildings

Li Yongbiao
（Shenzhen Luohu District Construction Affairs Bureau, Shenzhen, 518001）

Abstract: Based on the current situation of urban inhabitation in China, this paper explores the necessity, urgency and feasibility of installing vertical emergency escape exits on the balcony of urban residential buildings. The possible problems of installing vertical emergency escape exits are discussed and some reasonable solutions are put forward, Once the proposal is fully promoted, it will provide the emergency department with a new idea of high-rise building emergency management. By means of the new approach, city dwellers' lives and environments will be more secure and safer.

Keywords: balcony; exit; emergency escape

0 前言

随着城市建设高质量快速发展，居民住宅小区品质越来越好，住宅楼宇越建越高，逐渐由多层、小高层发展为高层、超高层。伴随而来的消防安全、地震逃生、紧急避险、高空救援、应急管理等问题日益凸显。如果高层住宅发生火灾或紧急情况，人员逃生避险的常规做法是快速进入消防疏散通道（消防楼梯间）撤离，此为主动避险措施；一旦大火封门不能撤离，即门厅、走廊、过道、疏散通道等被火焰或浓烟封堵无法通过，人员需快速撤至室内，迅速用湿棉被织物等物品封堵门窗缝隙，避免火焰浓烟进入室内，人员待在室内或阳台与外界紧急联系等待救援，此为被动避险措施。如果楼层过高、救援时间较长、火烟蔓延迅速等情况下，则被动避险风险较大后果不堪设想。如果在阳台上设有竖向逃生口，人员可从阳台逃生口到达下一层快速撤离。因此在创建文明城市背景下，本着“人民至上，生命至上”原则，建议在城市居民住宅楼阳台上设置竖向紧急避险逃生口，创建城市居民住宅楼第二生命通道。

阳台竖向紧急避险逃生口是设置在生活阳台或客厅阳台上的逃生通道，其结构由顶盖板、底盖板、钢制伸缩梯（或悬索）、安全报警装置、智能监控装置、安全锤等组成（如下图，说明：图片均来自网络）。竖向紧急避险逃生口平时关闭，当发生火灾或其他紧急突发情况时，打开盖板，利用伸缩梯（或悬索）到达下一层安全撤离。



图1 阳台竖向逃生口关闭实景图



图2 阳台竖向逃生口打开实景图



图3 阳台竖向逃生口钢制悬梯实景图



图4 阳台竖向逃生口设置实景图

1 我国城市居民住宅楼现状

1.1 城市居民住宅楼越建越高

目前我国城市居民住宅小区品质越来越好，建筑物高度越建越高。从最初的多层到小高层，发展到现在的高层、超高层。

1.2 城市居民住宅楼被防盗网封闭

大多数住宅楼的对外窗户和室外阳台均由金属防盗网（或隐形防盗网）封闭，整个居室（含阳台）为独立封闭的私人空间。有的在防盗网上设置逃生窗口供消防救援人员使用，有的不设置逃生窗口。

1.3 城市居民住宅楼阳台上没有竖向紧急避险逃生口

我国城市居民住宅楼较少在阳台上设置竖向紧急避险逃生口，而日本住宅楼或公寓的阳台上设置紧急避险逃生口则较为普遍。在国内，居民住宅楼的阳台多数被包封在室内成为客厅或厨房不可分割的一部分，阳台上没有设置竖向紧急避险逃生口。每一楼层每一户均是独立空间，与外部通道只有电梯和公共疏散楼梯，在发生火灾等紧急情况电梯不可使用时，只有一个或两个疏散楼梯间通道，再无其他应急避险通道。

2 住宅楼阳台设置逃生口的重要性

2.1 必要性

当火灾发生时，电梯是不可以使用的。如果楼道、消防通道（楼梯间）被浓烟大火封锁无法通行，居民无法正常通过疏散通道快速到达安全地带，只能退避至室内或逃往阳台。在日本，其居民住宅楼或公寓的阳台上一般设置有通往下一层的竖向紧急避险逃生口，当紧急情况发生且不能出门的情况下，可从阳台上快速撤离到下一层。阳台上的竖向紧急避险逃生口是居民的第二生命通道，也是在不能出门紧急情况下的最快最有效的逃生通道。因此，在高层建筑消防安全、紧急避险等方面，采取在阳台上设置竖向紧急避险逃生口非常必要。

2.2 紧迫性

我国城镇化发展进程不断加快，高层居民住宅小区越建越多，楼宇火灾事故高发。虽然小（微）型消防站多站式在一线发达城市快速推行，但由于大型的消防机械设备配备受限，对高层超高层楼宇的消防救援工作无能为力。纵然一些大城市配备有少量的超长臂云梯消防车或消防设备，但也是数量少距离远覆盖面小而杯水车薪，同时也存在到达高度有限问题。纵观近几年全国多起居民楼、商场、宾馆等火灾事故情况，人员伤亡较大，令人惨痛。随着居民生活环境品质不断提高，居住条件越来越好，迫切需要将高层楼宇居民生命放在第一位，以人为本生命至上。因此在住宅楼阳台上设置第二生命通道尤其紧迫。

2.3 可行性

2.3.1 技术可行

在阳台上设置竖向紧急避险逃生口在日本已有现成的经验，设计、安装、材料装备、报警系统、智能控制系统等技术层面均已成熟完善。设计技术和工艺简单、安装施工快捷、使用简洁方便。

2.3.2 经济可行

材料、设备、报警系统、智能控制系统、供货安装等造价有限，工程成本和运维成本可控。

2.3.3 管理可行

目前城市住宅小区物业管理水平和智能化程度越来越高，管理方法、管理措施和管理程序日渐完善，特别是采用BIM智能系统控制的物业运营管理小区更是安全可控。

2.3.4 消防应急救援措施可行

在破解高层超高层紧急救援措施的难题上，消防应急管理部门颇费脑筋。在大型消防车、长臂车和消防设备等配置上投入不少，但对于长臂达不到的高层超高层人员救援方面还是无能为力。因此设置竖向紧急避险逃生口措施作为人员主动避险通道可行。

2.3.5 居民意识形态可行

在创建文明城市背景下，现在城市居民文明程度普遍提高，容易接受新事物、新技术、新方式。居民的自我保护意识和珍惜生命意识不断增强，能够接受这种安全应急避难新措施。

3 问题探讨和措施建议

3.1 居住安全和居住场所的隐私问题

目前居民住宅楼的阳台和居室同属住户整体不可分割的一部分，属于家庭私密空间。如果在阳台上设置一个上下出入口，居民最担心的是居住安全和居住场所隐私问题。可通过以下措施得到解决：

（1）设计独立的室外逃生阳台。在新建的住宅（公寓）楼宇上单独设计公共属性带有逃生口的室外阳台。

（2）在新建住宅（公寓）楼宇的生活阳台上采取硬隔离措施。将生活阳台与厨房间加设防盗门，使得有竖向紧急避险逃生口的生活阳台和厨房形成各自独立安全空间。

（3）更改阳台空间属性。目前我国住宅楼阳台空间属于计算建筑面积的私人空间，更改为不计算建筑面积的公共空间，或是像过道楼梯间等属于公摊面积的公共空间。同时需要配套更新完善建筑方面的相关规范和法律法规条文规定。

（4）完善楼宇智能化系统。在阳台逃生口上下盖板处双向设置报警锁具或其他安全报警装置，与小区警务室、监控室、消防系统联动。逃生口盖板一旦打开，安全装置破坏性破碎，报警系统自动启动报警，准确定位并视频监控。

（5）在阳台外侧设置简易的竖向紧急避难逃生梯，与阳台之间设置自动开启门。紧急避难逃生梯平时收起来紧贴建筑外墙放置，当火灾发生时，住户可以手动打开逃生梯，往下逐层疏散。

（6）住户与物业公司签订阳台避险通道的安全保障协议，小区物业安防人员做好日常治安巡查检查和维护保养工作。

3.2 建筑规范和法律层面上的问题

现行设计规范和建筑法律相关条文均将阳台属性归为计算建筑面积私人空间，因此，居家阳台上放置杂物、盆栽或装饰成室内空间等非常常见。一旦阳台作为公共空间，将会带来设计、使用、建筑面积计算、社会治安等一系列问题，需要更新完善现行建筑规范和法律条文，对阳台作为公共空间的设计、使用、治安管理等进行约定。通过更新完善相关现行建筑规范和有关法律条文，赋予城市居民更多法律责任和义务。对阳台作为公共空间使用进行明确约定，对阳台上紧急避险逃生口的设计、使用、安全、管理等明文规定，对非紧急情况下打开逃生口的需要负法律责任，对利用阳台避险通道违反治安管理条例或犯罪的，需从严从重处罚。

3.3 推行难度问题

一是鉴于我国国情，人们已经习惯了阳台属于自家使用空间，突然改为公共空间并且在阳台上设置逃生口，居民可能短时期接受不了。二是阳台改为公共空间缺少现行建筑规范和法律条文支撑。三是对现有住宅楼在阳台上增设逃生口改造难度大。

解决措施：建议加强居住安全宣传、消防演习、应急逃生演练、教育培训等；完善相关建筑规范和法律条文；对现有住宅楼具备条件的可以考虑在阳台上改造，不具备条件的或不同意改造的，不强行推行或上下邻居协商改造。建议在新建住宅小区或人才公寓等建筑上开展试点推行工作。

4 结语

在我国城市高质量发展、城市管理创新、城市应急管理体系不断完善的基础上，建议在城市居民住宅楼阳台上设置竖向紧急避险逃生口，可以协助应急管理部门解决其关注和思考的城市居民生命财产安全、消防安全、紧急避险、高空救援等问题，为消防等各级应急管理部门提供了一种高层楼宇应急管理新思路新措施。此项措施充分体现生命珍贵和以人为本的“人民至上，生命至上”城市应急管理创新理念。建议在新建住宅小区或人才公寓等楼宇阳台上设置竖向紧急避险逃生口推行第二生命通道，在有条件的现有住宅或公寓楼宇上推行改造，使得城市居民生命更有保障，居住环境更安全更放心，居民生活更幸福更美好。

参考文献

[1]中国计划出版社GB50016-2014 建筑设计防火规范（2018年版）.

经验交流

高层智能建筑物防雷接地工程施工技术研究

莫智源
（深圳市建安（集团）股份有限公司，深圳 518040）

[摘 要] 智能建筑是以建筑为平台，兼备建筑安全、办公自动化及通信网络系统，集结构、系统、服务、管理及它们之间的最优化组合，为人们提供一个安全、高效、舒适、便利的建筑环境。本文探讨了高层智能建筑物防雷施工技术要点，利用高层建筑物的剪力墙和柱子的结构主筋形成防雷引下线，探究智能建筑中对于防雷接地技术与综合布线技术的应用，以期提高建筑工程的安全性与可靠性。

[关键词] 智能建筑；防雷；接地；施工技术

Research on the construction technology of lightning protection and grounding engineering of high-rise intelligent building

Mo Zhiyuan
（Shenzhen Jianan Group Co.,Ltd., Shenzhen, 518040）

Abstract: The intelligent building is based on the building as the platform, and has the building safety, office automation and communication network system. It integrates the structure, system, service, management and the optimal combination among them, and provides a safe, efficient, comfortable and convenient building environment for people. This paper discusses the key points of lightning protection construction technology of high-rise intelligent building, uses the shear wall of high-rise building and the main reinforcement of column structure to form lightning protection down lead, explores the application of lightning protection grounding technology and generic cabling technology in intelligent building, in order to improve the safety and reliability of building engineering.

Keywords: intelligent building; lightning protection; ground wire; construction technique

0 引言

随着科技的不断进步，人口的不断增长，高层的办公建筑和住宅越来越多。新型的高层建筑比传统的建筑物更加智能化信息化，智能建筑中一方面有大量的高精度的电子设备，另一方面信号回路增多，使智能建筑物系统更容易遭受雷电波的侵入，一旦雷电波侵入系统将会影响电子设备、电气设备的正常运行并且还会危及人身安全。因此智能建筑物的防雷显得尤为重要。

直击雷引起的电效应、热效应以及机械效应对建筑物产生的危害，感应雷产生的电磁感应和静电感应等对弱电设备的危害，雷电波侵入的危害，这三种是主要的雷电危害。针对以上的几种雷电对建筑物的危害形式，我们采取外部防雷和内部防雷相结合的综合防雷措施设计智能建筑物的防雷系统。

目前，各类电子设备一般都会有抗电磁干扰能力差、过电压承受能力差、绝缘水平差等缺点。雷电的危害性和雷电产生的间接经济损失及对人民生活的影响日益严重。所以，为了降低雷灾带来的损失，必须分析现代智能建筑的特点以及雷电的形成原理，选择有效的防雷措施。

1 雷电相关理论及其危害

1.1 直击雷理论

直击雷顾名思义就是雷电直接击打在物体上，它是指带电的雷云对地面、接闪器、建筑物等不同的物体剧烈的放电过程，这个过程伴随着强烈的光效应，热效应以及电磁效应和机械力效应，甚至可能产生很大的危害。

建筑物中的钢筋等金属构件有效截面积都较大，一般金属管道的厚度达到4mm及以上时，雷电流的热效应对金属导体造成的影响就可以忽略不计，雷电流的热效应对金属导体造成的影响不大。但是，如果雷电流侵入电子线路和电气、电子设备时，由于这些线路的导线截面积较小，将会有非常强烈的热效应，导线的温度将会迅速上升，更有可能熔化导线，另一方面如果碰到电阻较大的地方，将会在高阻抗的地方由非常大的热量产生，严重时甚至会发生熔化，或者高温熔体飞溅等现象。

尖峰电压，属于浪涌电压里的一种，持续时间极短但数值很高。电机、电容器和功率转换设备（如变速驱动器）是产生尖峰电压的主要因素。雷电击中室外的输电线路也会引起极危险的高能瞬变。它们会在低压电源电路中定期发生，峰值可能会达到数千伏。

尖峰电流，是指单台或多台用电设备持续1-2s的短时最大负荷电流，尖峰电流一般出现在电动机起动过程中。雷电的平均电流是3万安培，最大电流可达30万安培。放电过程中，由于闪道中温度骤增，使空气体积急剧膨胀，从而产生冲击波，导致强烈的雷鸣。

雷电机械效应的破坏形式主要分为两类：一是雷电流冲击波效应；二是雷电流流经建筑物或者树木会在其内部形成内压力。当雷云对地放电的时候，这两类效应均会对地面物体带来很大的伤害。

1.2 雷电反击理论

雷电直击建筑物后，雷电流会通过建筑物中的接闪器，引下线，接地装置等金属导线部分流入大地，而在雷电流流经建筑物时会在建筑物内产生一个高电位，这个高电位对地就是有很高的电压，高电压对于周围的没有流过雷电流的部分就会有很大的电压差，容易在他们之间发生闪络，这也就是雷电反击。建筑物中没有流过雷电流的部分，该电位还是与原来的电位相同，相对于地电位而言对等，有雷电流流过的部分电位升高了，在这两个部分之间就会有一个电位差，在这两个部分会发生闪络。

现在部分大型的智能建筑物中设有专门的屏蔽室，屏蔽室主要用来放置大批量的精密的电子设备。屏蔽室主要就是用来防止电磁干扰对电子设备的影响。暂态高电位会对进出屏蔽室的电源线或者是信号线产生雷电反击。当雷电流流过屏蔽室，由于屏蔽室本身的电阻和电感将会产生一个很高的电压降，高电压很容易就把两者之间的空气气隙击穿，击穿之后电源线或者信号线也就和屏蔽室中流过雷电流的线的电位一样高，当电源线或者信号线带上高电位之后就会对室内的电子设备造成非常严重的后果。并且它还可以沿着信号线和电源线一直传输到终端，影响整个传输路径上的电子设备。

1.3 雷电感应理论

当建筑物上空有雷云放电时，会在周围形成强大的电场和磁场，而这个电场和磁场容易在建筑物中的通电导体或者金属框架出现电磁感应现象，这个电磁

感应会让导体或者金属框架产生高电位，若不采取相应的雷电防护措施，高电位的电压差会与地电位之间放电，这个放电的电流会破坏弱电设备，更有能产生火花，造成严重的火灾。

尽管直击雷的破坏程度比感应雷大，但是感应雷形成的概率却远远大于直击雷，并且感应雷的影响范围比直击雷更大，因此如何防护感应雷也很重要。

1.4 智能建筑内电子设备的雷电灾害特点

雷电流直接流进建筑物内的金属导线，由于这些电源线路一般都设有保护设备，可将线路对地的电压限制在一定数值范围内，但是线间的电压却无法限制；也就是雷电流感生耦合在导线和金属导体中，由于雷电流的变化率的改变所以在电子设备上会有感生的脉冲电压，这个脉冲电压将会损害电子设备，它会影响到电子设备上信号的运输、传递、储存等，会导致另一端的设备收到错误的讯息而引起设备的误动作，长期以往的干扰还会让设备失去灵敏性并遭到破坏。

一般情况下，信息系统的线路都是铺设在电缆

沟中，很难受到直击雷的影响，所以主要预防的也是感 应雷的入侵(雷电侵入波)，其防护措施主要是内部防雷，采用屏蔽，接地等电位，装设SPD电涌保护器等措施配合使用。

2 防雷与接地工程技术要点

2.1 接闪器

高层智能建筑的直击雷防护措施一般是用接闪器将雷电流引入大地，而接闪器可以单独由避雷针、避雷带、避雷线、避雷网格组成也可以由他们任意几者之间的组合而组成而成。接闪器一般安装在建筑物上防雷装置最高处，并且大都是用金属做成的，除了避雷针、避雷带、避雷线、避雷网以外，金属屋面的建筑物也可以用于第一类防雷建筑之外的接闪装置。

滚球法是一种计算接闪器保护范围的方法，它的计算原理为以某一规定半径的球体，在装有接闪器的建筑物上滚过，滚球体由于受建筑物上所安装的接闪器的阻挡而无法触及某些范围，把这些范围认为是接闪器的保护范围，如图1所示。避雷针的工作原理是当带电雷云在离地面还有一定距离的时候，架设在建筑物最高处的避雷针会首先感生出与带电雷云相反的电荷，这就有可能让带电雷云的先导方向选择在避雷针上，也就是将雷电流引入避雷针再流入大地。架设避雷针之后大大的降低了雷电直击建筑物的可能性。

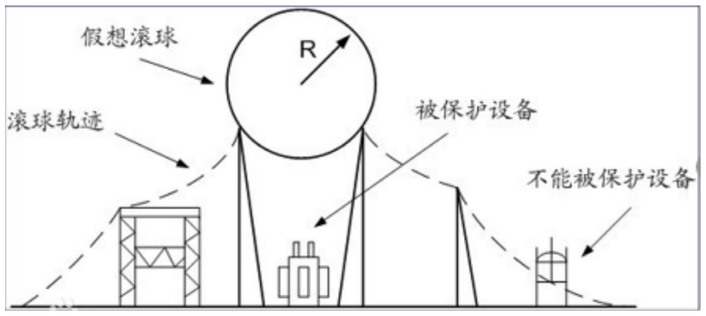


图1 滚球法示意图

避雷网(带)适用于建筑物的屋顶边缘、屋脊、屋檐(坡屋顶)和女儿墙上，可对建筑物比较容易遭受雷击的部位进行特别保护。表1是不同防雷等级的避雷网规格。

表1 不同防雷等级的避雷网规格

建筑物类别	滚球半径hr（m）	接闪网网格尺寸（m）
第一类防雷等级	30	≤5×5或≤6×4
第二类防雷等级	45	≤10×10或≤12×8
第三类防雷等级	60	≤20×20或≤24×16

在屋顶面积比较大的时候，为了达到建筑物屋面不被击坏的要求，选择使用避雷网。

2.2 引下线

引下线分为明铺和暗铺，其主要的作用就是配合接闪器一起工作，将接闪器引下来的雷电流引入地面，也就是说引下线是接闪器导体的延续，它的机械强度、热稳定性以及耐腐蚀能力须符合要求。

2.2.1 建筑物的防雷引下线选用目标

一般选择混凝土中的钢筋、圆钢以及扁钢作引下线，建筑物的钢柱、消防梯、钢梁等金属部件和幕墙的金属立柱也可以用于做引下线，不过其所有部件都应连成电气通路。各金属部件可以覆有绝缘材料。

2.2.2 材质选用参数

宜采用热镀锌圆钢或扁钢，宜优先选择圆钢。若选择使用圆钢，最小截面为50㎜²，直径8mm；若选择扁钢，最小截面为50㎜²，厚度2.5mm。

2.2.3 特殊位置的要求

对于安装在烟囱上的引下线，圆钢的直径不能够小于12mm；扁钢的截面不可小于100㎜²，厚度不能够小于4mm。

2.2.4 敷设要求

敷设要求专门敷设的引下线最好沿着建筑物外墙表面明敷，且最好选择最短的距离接地；建筑物外观有特殊要求的话可以选择暗敷，但它选择的圆钢直径不能够小于10mm，扁钢的截面不能够小于80㎜²。在容易被机械破坏的地方，对于地面上1.7m到地面下0.3m的这一段引下线，应选择暗敷或套在橡胶管等保护。

2.2.5 多根引下线的情况

若装设多根专设引下线，要求在每条引下线上距离地面0.3m至1.8m范围内安装断接卡。当选择钢柱、混凝土内钢筋做引下线，并且选择使用基础接地体的话，可以不安装断接卡，若选择采用钢筋作引下线，须在室内和室外的合适的地方装设若干个连接板。

2.3 接地网

接地网是配合接闪器和引下线一起使用的，接地网主要是将引下线引下来的雷电流通过接地网散流入大地。高层智能建筑中一般选择钢筋混凝土内的钢筋用于做防雷接地装置，若不满足这些条件的话，可选择圆钢、角钢、扁钢和钢管等焊接人工接地极。埋在土地下的人工垂直接地体一般选择使用热镀锌钢管、角钢以及圆钢；埋在地下的人工水平接地体一般选择使用热镀锌网钢或者扁钢。水平接地体的截面应当与接地线的大小一样。

人工接地体埋在地下的深度不应小于0.5m，且应好安装在所在地的冻土层之下，其距离地基或墙面最好都大于1m。出入口以及人行道边沿距离预防直击雷的专设引下线不宜小于3m。接地装置埋设在地下的部分，其连接的地方最好选择放热焊接，若选择一般的焊接办法，要求在焊接的地方做好预防腐蚀措施。对于土壤电阻率较高的地方，减小防直击雷的冲击接地电阻有以下办法：

（1）选择多根线外连接地装置，有效长度要求小于外连长度；

（2）将接地体埋在比较深且电阻率比较低的地下；

（3）换土；

（4）采用降阻剂。

2.4 中性点接地与屏蔽接地

接地指电力系统和电气装置的中性点、电气设备的外露导电部分和装置外导电部分经由导体与大地相连，接地可以分为保护接地、中性点接地（工作接地）、防雷接地和屏蔽接地。防雷接地能够有效的防止设备和人遭受雷击带来的伤害；对于中性点接地，其目的是为了保障系统能够正常安全运行设置的接地，例如我国110kV及以上等级的线路一般采用大电流接地方式，即中性点有效接地运行；6～35kV等级线路一般采用小电流接地方式，即中性点非有效接地方式。屏蔽接地主要用来防止电磁感应产生的电磁波对人体和设备的危害

2.5 接地结构与电气接线特点

接地是否合格的由接地结构与接地电阻值两个方面判定。建筑物内的电气连接方式、等电位连接以及接地结构会受到电气设备频率的影响。

独立接地：应用在传统的实例中。它具备各系统之间不互相串联、能够独立工作、互不影响、互不干扰的优点，这对于通信系统非常重要，在雷击而前网络系统较为敏感，故除有易燃易爆要求的危险环境和建构筑物及设备必须安装独立的避雷方式外，对于这种独立接地的方式一般建议不采用。

共用接地：共用接地是将每个子系统与各个接地装置相连接，或者将原来各个子系统的接地装置在地上或地下用一条金属导线相连，使整体成为连接地网的畅通电气，这种接地方式称为共用接地，也称统一接地。目前共用接地是使用最广泛的接地手段。

一点接地：一点接地法就是将各个子系统的接地线与接地母线的一点或一金属平面相连接，能够将各子系统之间的相互干扰降到最低，所以一点接地法被广泛用于工程实际上，主要应对工频信号对系统的干扰。

多点接地：多点接地是指采用短线连接的接地方式设置多点引出各系统的接地线。多点接地的方法一般使用于数字电路与高频电路和数字电路之中。一般频率低于1MHz时采用单点接地；频率高于10MHz时建议采用多点接地，频率在1-10MHz之间时，若最长的接地线不超过波长的1／20，建议采用单点接地，否则采用多点接地。

混合接地：混合接地就是在接地网中使用RLC组件，由于电感L和电容C在频率不同时表现的容抗和感抗的大小是不同的，所以在频率不同时元件的阻抗特性也就不尽相同，那么相对应的接地结构就改变了。混合接地一般是在保证一个设备中用最短的导线与其余设备连接接地，然后其余的设备再通过这个接地设备连接到地网上。混合接地的最简单办法是将零线与建筑的主钢筋进行连接或者在交流电源出入房间口的总开关处将零线重复接地，然后用一条PE线从电源的零线处引出，与所有应当接地

的点相连。

3 智能建筑雷击电磁脉冲的防护

高层智能建筑防雷的重点从常规的防直击雷的直接破坏和间接破坏转变成了防感应雷的电磁脉冲波对微电子设备造成的破坏，而雷击电磁脉冲的防护主要就是进行内部防雷，内部防雷的措施一般有屏蔽、均压、接地和电涌保护，这些措施配合使用综合防护。

3.1 雷电防护区的划分

分析雷击电磁感应环境的特点，可由外到内的将建筑物所需保护的空间分割为几个防雷区(LPZ)，能够直观地、正确地展现出对雷击电磁脉冲(LEMP)敏感性不一样的空间。

LPZ区：本区中的物体均存在遭受直接雷击且导走所有的雷电流的可能性，电磁场无衰减。

LPZ区：本区中的物体不应该遭受超过所选择的滚球半径以外，所对应的雷电流的直接雷击，电磁场无衰减。如：已经在避雷针保护范围以内的室外物体及没有采用电磁屏蔽措施的空间。

LPZ1区。本区中的物体基本上不会遭受直击雷，在本区域中导体内的雷电流和区域中的电磁场强度都比LPZ中的电磁场强度和雷电流幅值要小流，这决定于采取的屏蔽措施。如：建筑的内部空间，其外墙可能有金属壁板或钢筋等屏蔽措施。

LPZ为后续防雷区本区属于需要更高要求减小导引的雷电流以及电场强度而增设的后续保护区。本区中的电磁场环境条件由需要保护的电子信息系统的要求和保护装置(SPD)的参数配合要求而定。一般而言，随着防雷区的区数变大，电磁感应会变小。如：建筑中装设电子信息系统设备的房间，该房间需设置电磁屏蔽；设置在电磁屏蔽室中并具有屏蔽外壳的内部空间。

3.2 电子设备的屏蔽保护

现代建筑物其结构中有非常多的金属构件，例如：金属屋面、混凝土内的钢筋、金属网格、护栏及金属门窗等，在进行工程建设时，应把以上的金属构件进行电气贯通，就形成一个能保护建筑物的屏蔽网，也就是我们所说的“法拉第笼”。电子设备应该用金属外壳或者是金属层封装起来，设备和电源线信号线之间的连线也应用金属管进行屏蔽，保证设备金属外壳、设备和这些电源线等都保持良好的电气联系，将这些屏蔽手段完整的结合起来。如果是比较重要的电子设备还应该将其放进单独建立的屏蔽室(需另外再对屏蔽室进行屏蔽方式设计)中。这样能极大程度上的减少电磁脉冲对电子设备的影响。

屏蔽、接地和等电位连接的要求宜联合采取下列措施：

（1）所有与建筑物组合在一起的大尺寸金属件都应等电位连接在一起，并应与防雷装置相连。但第一类防雷建筑物的独立接闪器及其接地装置应除外。

（2）在需要保护的空间内，采用屏蔽电缆时其屏蔽层应至少在网端，并宜在防雷区交界处做等电位连接，系统要求只在一端做等电位连接时，应采用两层屏蔽或穿钢管敷设，外层屏蔽或钢管应至少在两端，并宜在防雷区交界处做等电位连接。

（3）分开的建筑物之间的连接线路，若无屏蔽层，线路应敷设在金属管、金属格栅或钢筋成格栅形的混凝土管道内。金属管、金属格栅或钢筋格栅从一端到另一端应是导电贯通，并应在两端分别连到建筑物的等电位连接带上；若有屏蔽层，屏蔽层的两端应连到建筑物的等电位连接带上。

（4）对由金属物、金属框架或钢筋混凝土钢筋等自然构件构成建筑物，或房间的格栅形大空间屏蔽，应将穿入大空间屏蔽的导电金属物就近与其做等电位连接。

LPZ区内距屏蔽层的安全距离应按下列公式计算：

当SF≥10时：

$d_{S/1}=W^{SF/10}$

当SF＞10时：

$d_{S/1}=W$

$d_{S/1}$：安全距离（m）；

W：格栅形屏蔽的网格宽（m）；

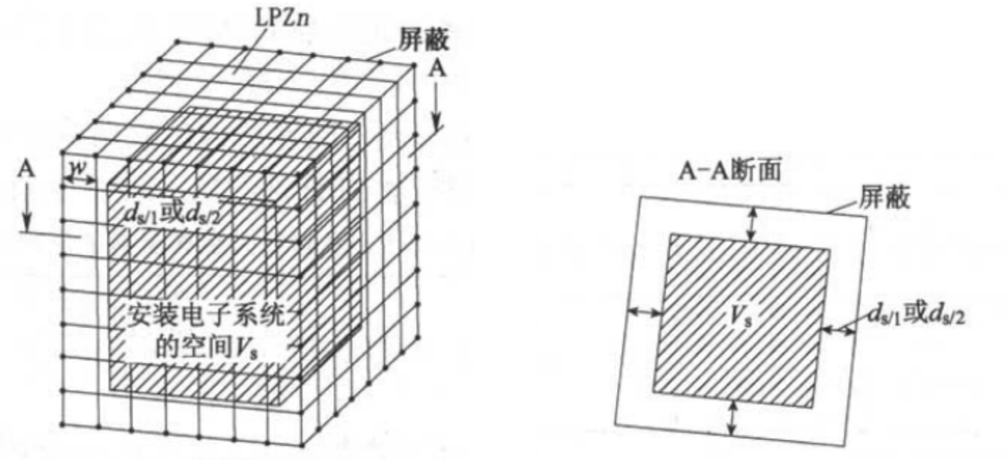
SF:屏蔽系数（dB）。

3.4 电子设备的均压保护

等电位连接的主要目的就是均压。为了能够减小电位差，选择等电位连接，其做法是把建筑的电气设备中外露可能会漏电的部分、人工及自然接地体用导线连接。

3.4.1 总等电位连接

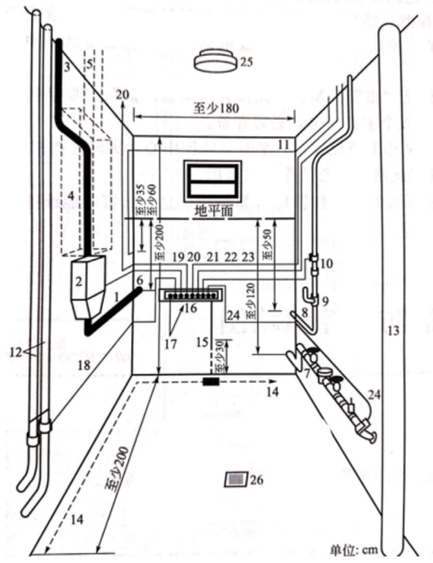
总等电位(MEB)在整栋楼中都能发挥作用，在电源进线处，利用连接干线将接地线和保护线的总接线端予与建筑内电气设备外的可导电构件(例如建筑的金属结构构件以及进出建筑的金属管道等)



注：空间V_S为安全空间

在LPZ区内安放电子设备的空间

连接在一起。楼房内的电气设备若选择接地故障保护，其屋内电气设备要求选择总等电位连接。以下可导电部分最好通过进线配电柜近端的接地母线(总等电位连接端子板)互相连通。图2是等电位连接安装立体图示例。



1：引入的电力电缆；2：总电源进线配电箱；
3：电源干线；4：电表箱；5：配电回路；
6：防水导管；7：带水表的自来水连接管；8：煤气管；
9：煤气总阀；10：绝缘段；11：通信设备用的线路；
12：暖气管；13：排水管；14：基础接地体；
15：基础接地连接线；16：等电位连接端子板；
17：至防雷引下线的等电位连接线；
18：至暖气管的等电位连接线；
19：系统重复接地连线；20：系统共用接地PE线；
21：至通信系统的等电位连接线；
22：天线系统的等电位连接线；
23：至煤气管的等电位连接线；
24：至给水管的等电位连接线；
25：灯具；26：地漏

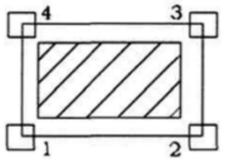
图2 等电位连接安装立体图示例

3.4.2 弱电系统接地分析

（1）接地线：地线网由矩形铜（40×4）排连接成。走线方向按大楼的布线系统。各需要防静电干扰的仪器设备通过铜芯导线与网可靠的连接，使

整个系统形成一个独立的防静电抗干扰体系。

（2）接地体：人工接地体可采用钢管、圆钢、角钢、扁钢等制成同时，为了增加其导电性、提高其防腐能力，可采用外表镀锌材料。其安装方式如图3。



（1）接地体长度为2.5m镀锌角钢（45×45）数量3根。
（2）垂直做水平或耙形埋设。
（3）角钢间距为2.5m-3m。
（4）埋设深度≥0.6m。
（5）垂直接地体可用镀锌扁钢焊接而连成一体，接地体引出线与地线网若做锣钉连接需牢固可靠，接点作防腐处理。
（6）为了增加接地体的导电性，可对接地体的封环境进行降阻处理。可用石灰、盐、水、木碳酸、金属屑等材料按比例配制进行浇灌。

图3 接地体安装方式

（3）防静电、抗干扰接地方案：
1）在建筑结构四周设置四个接地体。
2）在每个接地体与地网线相连处设置一个检测点。
3）四个接地体与地线网可靠连接，使整个接地系统连成一个系统网。
（4）抗干扰地线是设备系统的低电平信号，同时为了安全起见，需设置一条安全地线，以防外壳。

感应电对人体的伤害，但要注意其接线方法，如图4。

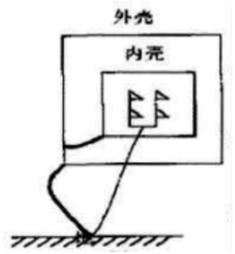


图4 安全地线接线方法

3.5 电涌保护

因为接闪器，引下线，接地等措施不能减少雷电波的入侵以及电磁干扰对弱电设备的影响，所以必须要使用电涌保护器，电涌保护器才是减少雷电波侵入造成的损害的最有效措施之一。电涌保护器按照工作原理的不同可以分为以下几类，如表2。

表2 电涌保护器的分类

分类	特性	元件构成	安装位置
电压开关型SPD	无电涌时表现为高阻抗状态，出现浪涌电流时表现为低阻抗状态。放电能力强，但是残压较高。	放电间隙、充气放电管、闸流管、三端双向可控硅元件组成。	安装在建筑物LPZ0和LPZ1交界处
限压型SPD	无电涌时表现为高阻抗状态，浪涌电流和电压增加，阻抗则减小。	压敏阻抗、抑制二极管等元件组成	安装在建筑物内
组合型SPD	由电压开关型和限压型组成，有两者结合的特性	包含电压开关型SPD和限压型SPD两者的元件	安装位置灵活，适应性强

电涌保护器(SPD)一种非线性阻性原件，其可为各类电子信息设备、通信线路等设备提供安全保护。电涌保护器主要作用就是将电源线、信号线等线路中的由于雷电感应产生的过电压限制在电子设备能够承受的范围内，保障电子设备不被浪涌电流击穿。具体而言在电气回路或通信线路中，由于外界的扰动瞬间形成尖峰电流或电压时，电涌保护器可迅速导通分流。其工作由加在它两边的电压与触发电压Ud幅值的大小确定，对于不一样的型号Ud以为给定的标准值。

$U \leqslant Ud$时，SPD的阻值较高(1MΩ)，仅有比较小的雷电流(＜1流通)：

$U \geqslant$时，SPD的电阻降低，迅速释放过电流，使电压迅速降低；直到$U < Ud$时，SPD又变成高阻性。

不同结构的电涌保护器它的用途也不尽相同，但不论是何种结构的电涌保护器都一定会有一个非线性电压限制元件，这个元件也就是为了实现上述的为了将浪涌限制

表3 耐受电压

设备位置	特殊保护设备	用电设备	线路设备	电源设备
耐冲击过压类型	计算机及含有计算程序的设备	不计计算机及计算机程序的家电设备	配电盘、断路器、电缆母线、开关等布线系统	电气仪表、一次线过流保护设备
耐冲击电压值 $Uchoc$（kV）	1.5	2.5	4	6

在一定范围内的功能。一般电涌保护器有压敏电阻、气体放电管，半导体过电压抑制器等。

SPD的选择与安装：

SPD的选择主要是依据电压限制值，

$Unamx < Uspd < Uchoc$

其中$Unamx$为线路最高电压；

$Uspd$为电涌保护器的过压保护水平；

$Uchoc$为设备的耐冲击过电压。

配电系统中不同设备位置的不同耐冲击过电压以及由耐冲击电压值的选择参考表3。具体SPD安装位置可以通过国标联合实际情况来确定。

选用SPD原则一般有以下几条：

（1），电涌保护器的电压保护水平应该始终在这个范围；

（2）若，那么应该加装一个2级的SPD；

（3）电涌保护器与电子设备之间的引线应维持在0.5m；

（4）进线处离保护设备超过30m，应在离设备近一点的地方加装SPD。

低压配电系统中广泛的使用SPD，它能很好的限制电磁感应和静电感应造成的暂态脉冲过电压，将这些过电压值控制在小于系统中电气设备耐压冲击电压的最大值的范围内，能很好的延长电气设备的使用寿命。但SPD不能保护暂时的工频过电压。

4 结语

防雷接地工程是个系统工程，一般按照内部防雷措施和外部防雷措施二者结合来进行保护。外部防雷工程通常由接闪器、引下线、和接地装置等构成的，主要目的就是将雷电流分流进入大地。对于接闪器，引地线，接地装置这三类装置用在外部防雷。主要思想是依靠安装于建筑物顶部的避雷针(避雷带、避雷网)引雷，然后是引下线将接闪器截获的雷电引流至接地网，最后是接地网将雷电流流散到大地。而内部防雷主要是用屏蔽、均压、等电位连接以及电涌保护器等手段来进行防护，内部防雷主要是防止电磁脉冲对建筑物内设备的损害。屏蔽保护与等电位连接具体做法评价标准请参考《建筑物防雷设计规范GB 50057-2010》6.3、SPD具体做法评价标准请参考6.4及附录J，受篇幅限制，不一一赘述。外部与内部多种防雷措施相结合，才能优化高层智能建筑的防雷水平。

参考文献

[1]吴广宁,高电压技术。北京：中国机械工业出版社，2007.
[2]谢海华，现代建筑内的电子信息系统的雷电防护：[D]，南京信息工程大学，2006
[3]黄伟，现代楼宇防雷机理及工程实践研究：[D]，广西大学，2007.
[4]郭福雁，智能建筑的雷击影响分析与防雷系统工程关键问题的研究：[D]，天津大学，2006.
[5]石光奇，智能建筑信息系统雷击电磁脉冲EMP研究与防护设计：[D]，湖南大学，2004.
[6]刘振华．浅识电涌保护器SPD[J]．中国科技纵横．2010，f14)：209—210.
[7]黄峰远，杨超．基于滚球法的35kV模块化变电站直击雷防护设计[J]．现代机械．2013，1(1)：47．50.
[8]吴雪峰，李春兰．浅析建筑防雷问题[J]．科技致富向导，2013，(18)：233
[9]建筑物防雷设计规范 GB 50057-2010.

经验交流

对新基建下智慧道路建造和运维技术的思考

张爱军
（深圳市路桥建设集团有限公司 技术中心，深圳 518024）

[摘 要] “新基建”是我国传统的城市基础建设过程中进行数字化、信息技术的创新探索。随着国家大力发展智慧城市、新基建，道路建设与物联网、大数据、车路协同、人工智能等先进技术深度融合，衍生出一系列智慧道路应用场景。文章通过提出新基建下智慧道路的内涵理解，梳理当前智慧道路建设的主要应用场景，分析了深圳智慧道路建设及应用现状，为行业内智慧道路建设和运维提供参考。

[关键词] 新基建；智慧道路；建造；养护

Technology of construction and maintenance of the Smart Roads under the background of New Infrastructure

Zhang Aijun
（Shenzhen Road & Bridge Group, Shenzhen, 518024）

Abstract: The "new infrastructure" is an innovative exploration of digitalization and information technology in China's traditional urban infrastructure construction. China has vigorously developed smart cities and new infrastructure. At the same time, road infrastructure is being deeply integrated with advanced technologies such as the Internet of Things, big data, vehicle-road collaboration, artificial intelligence, etc., which derives a series of smart road application scenarios. This paper interprets the connotation of the new infrastructure and smart roads, proposes the main application scenarios of smart road construction in the future, analyzes the construction and application status of smart roads in Shenzhen, and provides references for smart road construction and maintenance.

Keywords: New infrastructure; Smart Road; construction; maintenance

0 引言

随着大数据、云计算、区块链和人工智能等新兴技术不断涌现，我国基础设施建造与运维正处在产业现代化、信息化转型升级的关键时刻。国家高度重视“新基建”，2018年12月中央经济工作会议首次提出“加快5G商用步伐，加强人工智能、工业互联网、物联网等新型基础设施建设”。新基建是在传统基建基础上产生的概念，是利用新一代信息技术对传统基础设施的数字化改造，广泛存在于经济性基础设施、社会性基础设施、生态环境基础设施等领域[1]。

随着数字技术不断融入道路建设和运维，智慧道路是传统基建道路在品质、功能、服务等方面的升级，是新一轮新基建的重要组成部分，是智慧城市数字化建设的重要载体，对提升城市管理水平和出行服务体验具有重要意义。

如何优化提升道路的基础设施空间、如何结合物联网、人工智能、5G通信等新技术让城市道路变得更智慧，更安全、更高效，成为了道路建设和运维相关参与单位思考的方向和重点。

1 智慧道路的内涵与要素

智慧道路是运用物联网、云计算、大数据、人工智能AI等信息技术，以数据为核心的城市交通信息采集与发布的智慧载体。与传统城市道路相比，智能道路能实现道路交通运行态势自动感知与辨别，为车路协同提供技术支撑，有效降低交通安全风险、为市民创造安全、高效、舒适的出行环境和提供高品质出行服务[2-3]。



图1 城市智慧道路路口示意图

智慧道路建设利用先进的技术对道路基础设施进行全要素改造，不仅提升道路服务水平，而且提升城市道路景观，改善道路空间环境。智慧道路系统设计主要采用四层管理架构，分别为感知层、网络传输层、数据管理层和综合应用层。

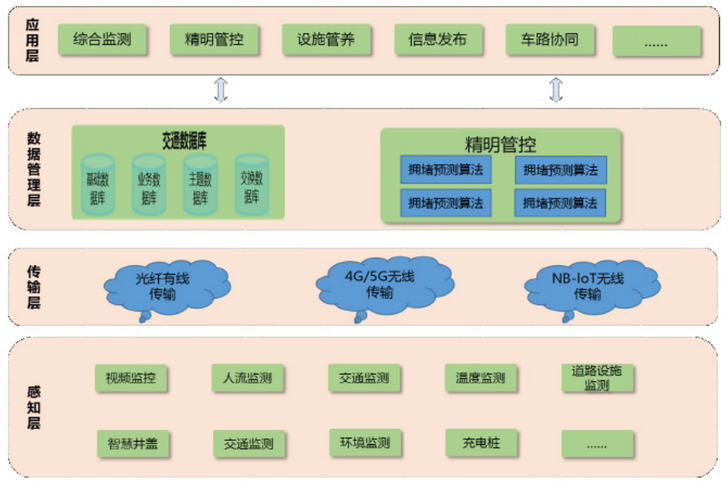


图2 城市智慧道路架构

感知层主要通过应用传感器技术、网络技术、自动控制技术以及软件技术，搭建基于物联网架构的智慧道路感知平台；网络传输层主要根据政府各管理部门的需求，通过光纤、5G/4G以及NB-IOT等方式传输各类交通数据给不同的管理部门；数据管理中心主要汇聚、分析、共享从智慧道路采集的多源异构交通数据，实现道路数据在各管理部门共享；综合应用层主要功能是实现道路交通运行监测、交通设施管养、交通信号控制以及多元信息发布等。

2 智慧道路的功能架构

一是设施整合。设施整合主要将道路上各种杆件、摄像头、传感器等监测设备以及交通标志牌等设施根据道路现场及功能整合到信号灯杆、电警杆、路灯杆等杆件上。目前主要形成多合一信号灯杆、多合一电警杆和多合一路灯杆等。

二是综合监测。通过道路上安装的智慧路灯、智慧路贴、多合一电警杆上安装的监测设备，感知道路上的交通流量信息、人流量信息、道路路面、道路设施的损坏以及监测设备的运行情况，实现对道路交通、人流运行态势以及道路设施健康情况的综合监测。

三是设施管养。通过感知道路路面及设施的监控情况，与基础设施养护管理系统实现数据对接，及时提供预警信息，并为交通基础设施全生命周期养护提供支撑。

四是精明管控。通过电警及卡口，监控道路路口车辆违法行为，并感知每车道的流量、车速和占有率，获取车辆运行轨迹；利用先进的广域雷达车检器，采集进口道车辆排队长度、停车次数、红灯等待时间、多断面平均车速等数据，实现流量自适应控制和人车感应控制以及公交优先等功能。

五是多元服务。通过智慧道路上的智慧路灯、智慧公交站亭、交通诱导屏等作为信息载体，多渠道发布交通出行服务信息，为出行市民提供实时交通信息服务[4]。

3 智慧道路建设和运维典型技术及应用

3.1 多功能智慧杆建设

多功能智慧杆，是搭载智能照明、视频监控、传感监测、信息广播、公共Wi-Fi、微基站和充电桩等功能模块，集成通信及感知功能的重要公共基础设施综合体。目前可实现以下三种功能[5]。

一是远程控制。远程管控系统的实现主要体现在三方面，一是对信息传输远程交互与管理，二是对环境信息采集、数据分析和系统管理，三是系统安全、稳定和具备故障监测预警机制。城市物联网普及程度与网络布建、云端输送及运算能力相关，运营系统应用通信技术将设施组网并远程管控，让整个城市基础设施管理更加智能与高效。5G通信技术运用被认为是万物互联的开始，高网速及海量物联网激发的商业应用前景无限。基于使用高频通信及支撑大容量高速度的需求，5G需要大量微基站来完成更密集的网络涵盖，无疑给分布在城市干道及大街小巷的照明灯杆带来了升级改造的契机。

二是节能控制。智慧城市的推进让系统的控制具备管理及时性与精准性，系统可以根据道路交通情况与环境情况有效控制，达到节能的效果。在夜晚车流少时以低照度保持照明来节约用电。成熟的感知系统能够精准实现人车出现时灯亮，人车走后灯调暗，同时能够根据检测到的环境光照度实现灯的自动开启和关闭。

三是综合管理集成。智慧杆作为一个高度集成的载体及智慧城市基础建设，是一个自上而下的综合体，并具有向外延续、拓展和多适配的特点。智能管理控制技术涉及多领域技术应用，是实现城市组网管理的重要手段，以精细到点与集约化的系统集成管理，城市公共照明升级改造后在组网方面具有先天优势，已成为智慧城市建设的最佳端口。

3.2 城市道路智慧运维

根据城市道路智慧运维管理需求，构建智能感知体系，实时监测城市道路运行状态、施工养护、外场感知设备（井盖监测、积水监测、垃圾箱监测、气象监测等）、异常情况等各类事件，基本包括了数据采集、数据融合、数据服务三个层次。

在数据采集层面，源自智能感知体系的城市道路数据信息来源多、类型杂、体量大，多种数据组织形态，呈现典型的时空特性，同时还具有海量、多源、异构、混频等特点。城市道路设施的数字化与感知化是实现智慧运维的前提，利用物联网技术建立城市道路智能监测传感网，可实现交通基础设施安全状态综合感知，为城市道路设施提供数字化采集、管理、应用、分析和预警等服务。

在数据融合层面，数据融合通常包括数据层、支撑层等多个层级的融合。为实现智慧运维，应在分解城市道路全生命周期管理要素的基础上，从智慧运维需求和城市道路运维时空大数据统一描述入手，构建数据级、对象级、知识级的多源异构时空大数据之间、不同层级运维任务与时空数据之间智能融合，从而建立统一时空环境，为实现快速准确地主动推送、共享、交互信息而服务，提升数据管理能力和信息服务效能，从而打破传统数据产品为中心的信息服务模式弊端，为时空数据驱动城市道路智慧运维提供重要支撑。

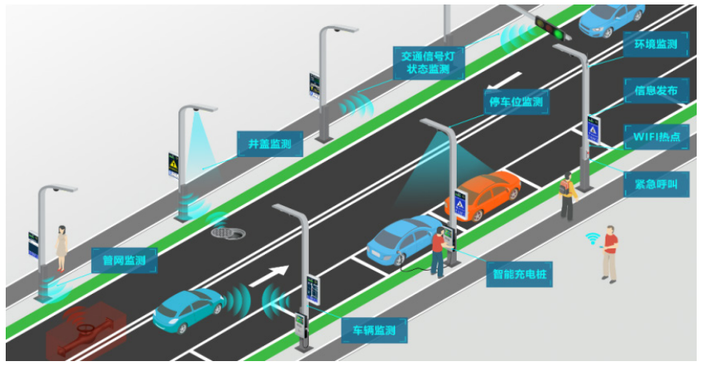


图3 多功能智慧杆应用示意

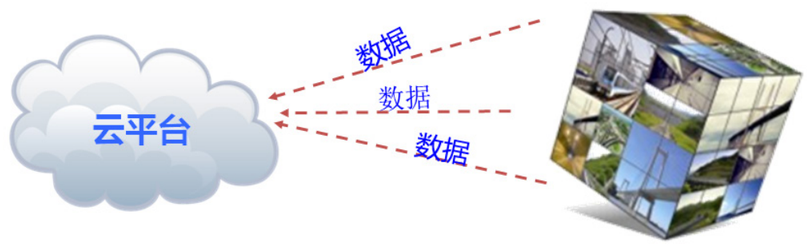


图4 数据采集—智慧运维的底层基础

在数据服务层面，城市道路智慧运维运用5G、大数据、物联网、人工智能和云计算等新一代信息技术，采集、存储、处理和分析海量城市道路运行系统关键数据，进而对运维管理需求做出智能响应和决策支持，最终实现城市安全、高效、智慧运转。

4 思考与展望

在新基建发展趋势下，深圳路桥集团作为智慧道路建设和养护行业的引领者，融合5G、人工智能、物联网等技术，不断探索智慧道路建设和运维的新业态和新模式，目前已基本形成了数据采集、传输、融合、服务的技术路线，成功落地试验段应用。

通过构建城市道路全覆盖的物联网监测体系，可以提升信息采集能力；借助移动互联技术与信息标准，可以加速信息传递与融合；利用人工智能技术可增强信息挖掘能力，提升信息协同能力。从而形成一套信息采集系统、一套网络传输系统、一个数据处理中心、一个运行服务平台、一张协同服务网络、一套技术与业务标准体系、一套责任追溯查证体系，将“可测、可视、可控、可服务”发展成为“实时监测、动态监视、智能控制、及时服务、准确预测”，为深圳道路建设提供有力的技术支撑。

参考文献

[1]陈晶.“城市新基建”加速城市智慧化建设进程[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(09):30-31.

[2]黄建德, 田浩洋. 新基建背景下智慧道路内涵与应用场景研究[J]. 交通与运输,2020（S2）:185-189.

[3]李志晟, 喻刚. 数据驱动城市道路智慧运维[J]. 上海信息化,2019:48-51.

[4]韩明敦. 基于智慧城市的智能道路系统思考[J]. 智能城市，2020(11)：150-151.

[5]曹小兵, 王海龙. 基于智慧城市架构下智慧杆的建设探究[J]. 中国照明电器, 2019(12):12-15.

数字建造

BIM技术在罗湖棚改项目全生命周期中的应用研究

汪 洋，刘志翔，罗贤伟，王 进
（深圳市天健棚改投资发展有限公司，深圳518019）

[摘 要] BIM(Building Information Modeling)是以三维数字技术为基础,综合集成建设工程项目各相关信息的数据模型,服务于工程项目的全生命周期[1]，作为对建筑行业带来革命性变化的BIM技术,在建筑工程项目中的应用处于快速发展阶段，因此,提出BIM技术在重点、复杂项目中的应用研究与探索[2]，本文介绍了BIM技术的应用特点,结合深圳市罗湖“二线插花地”棚户区改造项目主体V标的BIM技术实施应用案例,阐述了BIM技术的优势,同时总结了BIM技术在设计,施工阶段及智慧工地的应用效果分析,以促进BIM技术的成熟和普及。

[关键词] BIM技术；信息化；可视化；智慧工地

BIM technology in Luohu shed renovation project applied research in the whole life cycle

Wang Yang, Liu Zhixiang, Luo Xianwei, Wang Jin
（ShenzhenTagen penggai Investment Development Co., Ltd., Shenzhen, 518019）

Abstract: BIM (Building Information Modeling) is based on three-dimensional digital technology, comprehensively integrates the data model of the relevant information of construction projects, and serves the full life cycle of the project, This article introduces the application characteristics of BIM technology, combined with the second line of Shenzhen Luohu The BIM implementation application case of "Flower Arrangement Land" shantytown reconstruction project subject V BIM expounds the advantages of BIM technology, and summarizes the application effect analysis of BIM technology in the design, construction phase and smart construction site to promote the maturity and popularization of BIM technology.

Keywords: BIM technology; informatization; visualization; Smart construction site

0 前言

随着现代建筑工程的日趋大型化、复杂化，给设计与施工管理带来了更大的挑战，对工程项目全生命周期的管理水平也提出了更高的要求[3]。

深圳市罗湖“二线插花地”棚户区改造项目，不仅是一个体量巨大的旧城区改造项目，同时也是深圳在建设现代化、国际化、创新型城市进程中的代表性项目，是深圳市政府首创“棚改模式”的“一号”民生工程，更是被业界称为“中国棚改第一难”的项目。

建设伊始，本项目即积极推进“智慧工地”的建设，依托数字棚改工程管理平台的先进技术，对工程设计及施工中的质量、安全、进度等要素进行全过程监管，确保罗湖棚改这一民心工程高标准、高质量实施。

1 工程概况

深圳市罗湖“二线插花地”棚户区改造项目，包括木棉岭片区（含木棉岭、木棉花、马山、马岗、港发、长排及临近已批用地）、玉龙片区（含玉龙新村）、布心片区(含布心山庄东、中、西区和港鹏新村。项目总用地面积62万平方米，拆除总建筑面积约130万平方米，总建设用地面积32万.52平方米，设计总户数7854户。

项目涵盖地灾治理、深基坑、住宅、商场、学校、社康中心、博物馆、服务中心、管廊、园林、道路、海绵城市等类型，综合性较强。



图1 安全地线接线方法



图2 规划方案BIM模型图

1.1 目重难点

1.1.1 参加单位多

本项目参建单位众多，BIM如何统一实施水准，现场如何高效进行“三控三管”，减少沟通时间成本是难点。

措施：建立BIM标准体系；采用数字棚改+智慧工地的管理模式。

1.1.2 场地狭小

本项目临近山体及居民区，周边市政道路窄（双向单车道）、坡度大、车流量大、社会车辆违停现象严重。因此，如何做好本项目的场地布置是重难点。

措施：高精模型搭建、定制不同施工阶段模型。

1.1.3 深基坑支护复杂

依据设计，本项目基坑开挖深度大部分超过18m。基坑采用排桩护结构，内支撑与支护桩采用腰（冠）梁形式进行连接，支撑梁及冠梁均为钢筋混凝土结构，梁截面尺寸为1000×1000，支撑立柱为ø1000。

措施：高精度模型搭建、对基坑建造进行预演。

1.1.4 技术新

项目采用装配式、铝合金模板施工技术、海绵城市、集成附着式升降脚手架技术、BIM技术、工业化成品支吊架技术等，如何减少新技术磨合时间成本，确保施工质量是重点。

措施：基于BIM技术可视化建立演绎建造体系。

1.1.5 专业多

本项目临近住宅小区，场地周边日常人口密集，施工区域涉及管理单位较多，防止民扰和扰民措施非常重要，做好对外沟通协调工作至关重要，因此本工程沟通协调工作也是关键。

措施：全专业高精模型搭建、定制不同阶段模型标准。

1.2 BIM实施目标

项目建设全生命周期BIM应用主要包括4大块：优质营造、智慧建造、绿色施工、高效管理。

结合项目特殊性及重难点确定本项目BIM实施总目标：

（1）建立一套园区的BIM标准体系；

（2）沉淀数字资产，帮助棚改经验“走出去”；

（3）自主研发基于BIM的数字建造智慧管理系统；

（4）全过程、全专业、全方位BIM实施。

具体分解目标如下：进行三维协同设计，提高图纸设计质量；建立BIM实施体系，保证应用成果落地；模拟项目建设过程，辅助现场施工；运用数据管理平台，实现项目全面管控打造智慧管理；保

障项目建设安全探索BIM管理创新，培养BIM技术人才。

1.3 项目BIM实施成果

项目BIM实施成果有BIM标准建设、BIM模型创建、碰撞检查、设计优化、绿建分析、疏散模拟、方案模拟、施工深化、设计深化、净高分析、管综深化、施工深化图纸、进度模拟、措施深化、洞口预留、辅助施工交底、工程数量统计、数字棚改工程管理平台等。

本项目BIM应用实施成果如表1。

表1 本项目BIM应用实施成果统计

BIM实施标准	29份	实施指引	10份
BIM应用点	30个	图模会审	20次
碰撞报告	962份	模型审核报告	394份
设计优化	181份	BIM模拟动画	22个
深化图纸	73份	净高分析报告	185份
施工深化	33份	组织观摩次数	8次

2 BIM技术特点其应用范围

2.1 BIM技术特点

首先是信息的全面性，在项目工程各子系统中包含了大量的信息，如构配件尺寸、位置与标高、产品规格型号等各种信息，通过对BIM技术的应用可以对上述各种信息在同一个三维模型中统一管理，方便了信息的查询和管理；其次是模型的可视化，BIM技术可视化是能够在构件之间互动和反馈的三维虚拟实体展示，可以显著提高不同专业设计人员之间沟通与交流的能力。

2.2 BIM应用范围

BIM技术的应用可以在项目设计、施工到运营维护的整个生命周期的得到应用，联合设计阶段的模型及数据信息可很好的延续到施工阶段和运营维护阶段，为后续阶段应用奠定基础。

3 BIM的应用管理体系实施架构

基于BIM的应用管理体系实施架构大致可分为组织架构体系、软硬件配置体系、BIM管理体系三大部分。

3.1 组织体系

3.1.1 实施组织

本项目组织分为三个层级：

（1）决策层：天健棚改投资发展有限公司

（2）管理层：建设项目部、中车信息技术有限公司

（3）实施层：

①设计BIM工作组：中建设计

②地灾工程BIM工作组：河南地矿、深圳地质

③基坑工程BIM工作组：中国地质、上海基础

④主体工程BIM工作组：上海宝冶、上海建工、中建一局、中建八局、中建三局、中国华西

⑤监理单位BIM工作组：上海建科

⑥运维单位BIM工作组：航天大为、中建三局智能化

3.1.2 实施权责

建设单位：作为项目的建设方，对项目BIM实施进行宏观把控，全方位管控项目BIM实施的进度与质量，对各参建单位的BIM实施的交付进行验收。

BIM咨询单位：作为项目BIM实施的管理方，应依据天健的相关标准或指引文件，在项目各个参与阶段对各参建方的BIM实施进行统筹、协调、管理等。

设计单位：设计单位作为项目BIM信息的起始来源，应依据天健的相关标准或指引文件，按计划开展设计阶段BIM实施并提交对应的BIM交付物等。

施工单位、监理单位：施工单位应依据天健的相关标准或指引文件，按计划开展进行施工阶段BIM实施并统一提交对应的BIM交付物等。

运维单位：运维单位依据天健的运维规划方案，搭建运维平台、制定运维模型标准，按计划开展运维阶段BIM实施并交付对应的BIM交付物。

3.1.3 实施方法

由决策层整体规划，管理层制定分部实施步骤，有序开展项目BIM实施，稳步推进。

（1）组团队：建立项目BIM管理组织，明确各方BIM职责、组织框架与业务范围；

（2）定规则：制定编制的BIM实施标准和流程规范，对BIM实施的过程与结果提出了具体的技术应用要求与业务管控规范；

（3）管模型：管理各参建方提交的BIM成果，并进行统筹、集成、管理，最终交付完整的里程碑模型；

（4）统运用：统筹、协调、总结、汇报、宣传。利用BIM技术，实现工程建设全过程、全专业应用。确保项目BIM实施效益，实现BIM价值最大化；

（5）用平台：利用信息化手段开展工程项目管理。辅助项目信息化协同应用及效益提升；

（6）做培训：通过有针对性的多专业培训，使各方充分理解自己的定位与任务，确保BIM实施方法与流程顺利开展；

（7）建资产：利用项目实施参建单位形成的BIM应用成果，进行成果归档，形成项目BIM实施数字资产，服务于项目运维实施；

（8）作评价：对参建单位的BIM实施进行履约评价，为工程款支付、供应商管理提供支持。发挥后评价作用，优化改进BIM实施工作。

3.2 软硬件配置体系

本项目投入的软硬件配置具体如表2、表3。

表2 硬件配置

用途	硬件型号	配置
移动演示	联想98002825Tower	处理器：Intel(R)Core(TM)i7-3840QM；CPU@2.8Ghz；内存：32GB（2x8GB）1600MHz DDR3 Non-ECC；硬盘：128GB固态硬盘+1TB硬盘；显卡：NVIDIA Quadro K5000M(带GPU核心加速技术）；显示器:17英寸液晶显示器
建模人员标准配置	联想98002825Tower	处理器：IntelI7B4层770（四核HT,3.4GHz Turbo,8MB,带核芯显卡4600）；内存：16GB（2x8GB）1600MHz DDR3 Non-ECC；硬盘：256GB固态硬盘+1TB硬盘；显卡：2GB NVIDIA Quadro K2000(带GPU核心加速技术）；显示器:2台21英寸液晶显示器
服务器	联想98002825Tower	处理器：Xeon E5-2630v2 2.6GHz；内存：32GB（2x8GB）1600MHz DDR3 Non-ECC；硬盘：6x500GB 2.5英寸，10KRPM SAS硬盘
炫染服务器	渲染服务器RH2288	8盘典配（2*E5-2630 V4 10核64GB）

表3 软件配置

应用类型	软件名称	版本要求	交付格式
模型创建	AutodeskRevit	2016版	*.rvt
	Rhino	5.0及以上	*.IGS
	Catia	V5及以上	*.CATProduct
	Tekla	V19.0及以上	*.DB1
模拟浏览	Navisworks	2016版	*.nwd
	Lumion 3D	5.0及以上	*.dae
	3D Studio Max	2014版及以上	*.3dxml
分析软件	Ecotect	2012版及以上	*.wea
	Phoenics	2014版及以上	*.Tecpiot
协调管理	BIM咨询管理平台、工务署BIM管理平台		
智慧管理	智慧工地管理系统		

3.3 BIM管理体系

3.3.1 标准体系

本项目前期参建单位共同编制了各实施方案、制度、标准等管理文件，确保BIM工作开展得以高效有序进行。具体包含2个招投标阶段BIM标准、10个设计阶段BIM标准、15个施工阶段BIM标准、2个BIM实施管理标准，目前已通过专家评审，在项目全面开展指导实施，验证有效可行。

3.3.2 项目BIM实施管理流程

建立项目BIM实施管理流程，确保业务管理规范化、标准化，同时提升整体的管理效能。

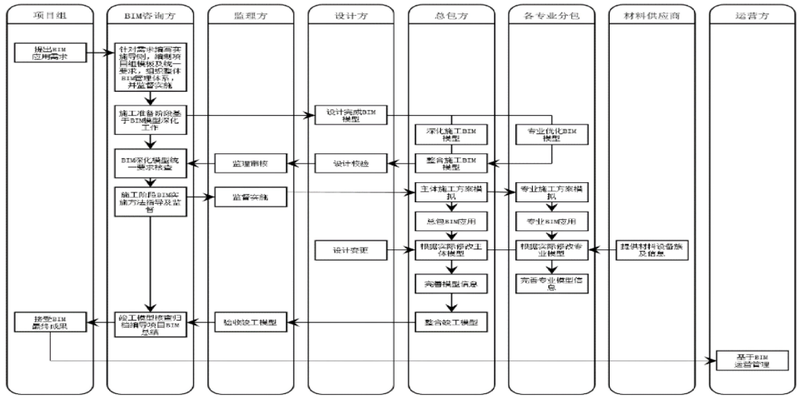


图3　项目BIM实施管理流程图

3.3.3　施工深化审核流程

对重要实施类型制定专项工作流程图，以便明确各方职责，确保业务有序运作。

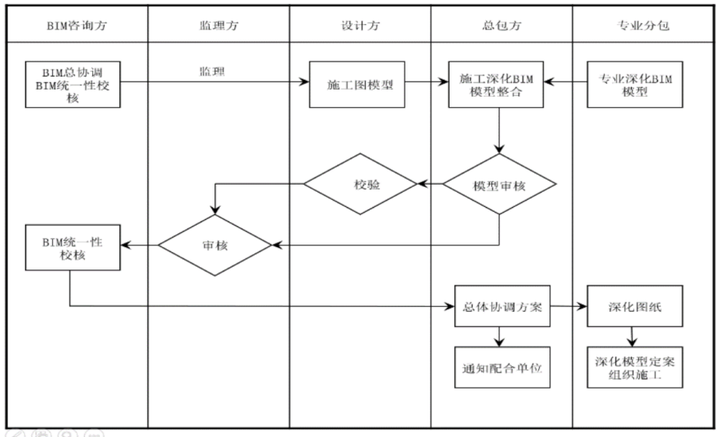


图4　施工深化流程图

3.3.4　BIM管理的沟通机制

BIM管理的沟通机制主要包括日常交流机制、定期管理制度、重难点专题会议制度。日常交流机制主要是BIM专职人员驻场，及时解决建模人员建模发现的图纸问题；定期管理会制度主要是定期召开相应的管理会议制度，针对BIM提出的相关问题进行解答；重难点专题会议制度主要是针对项目的重难点工程，召开专题会议，解决并处理相关BIM问题。

4　BIM技术应用实施

根据目前现场施工进度，BIM技术应用实施分别在设计阶段、实施阶段以及数字棚改工程管理平台上均有得到有效实际应用价值。

4.1　设计阶段

设计阶段BIM实施涵盖生态展示中心设计、精装修设计可视化、园林景观设计可视化、碰撞检查、设计优化、方案比选、绿建分析、疏散模拟、户型BIM数据库、装配式运用、隧道参数化设计、场景漫游展示等。其中，设计阶段典型BIM运用情况如下：

4.1.1　正向设计

以生态展示中心作为正向设计试点，提高了设计完成度和精细度，减少了设计盲区，让模型更好服务后期施工。

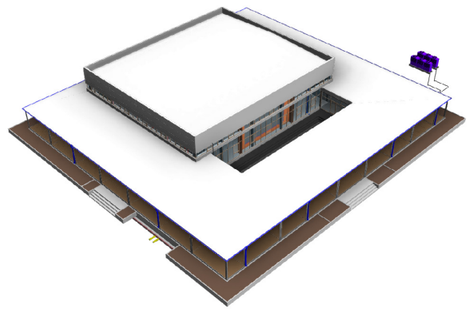


图5　建筑设计

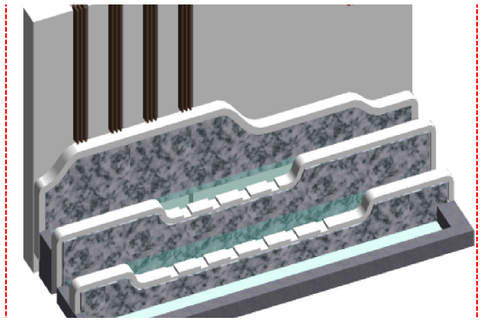


图8　景观设计可视化

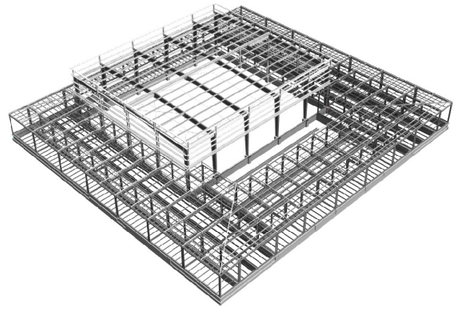


图6　结构设计



图9　园林设计可视化

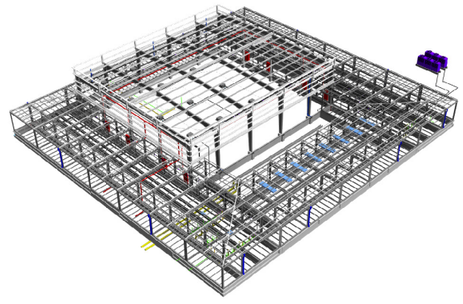


图7　机电设计



图10　精装设计可视化

4.1.2　设计可视化

利用BIM技术将设计可视化，设计方案得到有效沟通，把控整体设计效果，确保项目建设为典型棚改示范。

4.1.3　绿建分析

利用BIM技术分析整个项目的总体日照情况，寻找建筑之间的互遮挡关系。然后定量分析建筑零平面的日照小时数分布，给出多点区域分析图，定量评价日照质量。

4.1.4　疏散模拟

利用BIM技术模拟当在学校人员达到设计人员的最大值时，通过对通道、楼梯、门的热区、疏散路线、及使用率的分析，计算所有人员逃生需要的最短时间。

4.1.5　BIM数据库

利用BIM技术将回迁户型、装配式构件数字资产化，沉淀棚改经验。

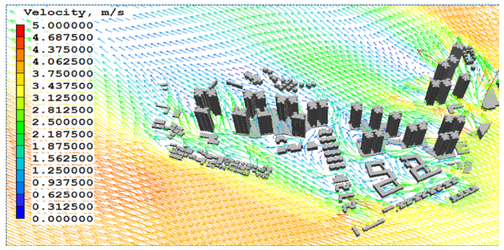


图11 风环境分析

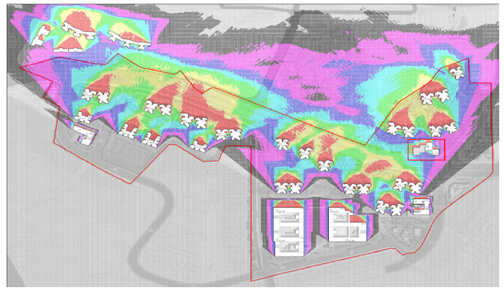


图12 日照分析

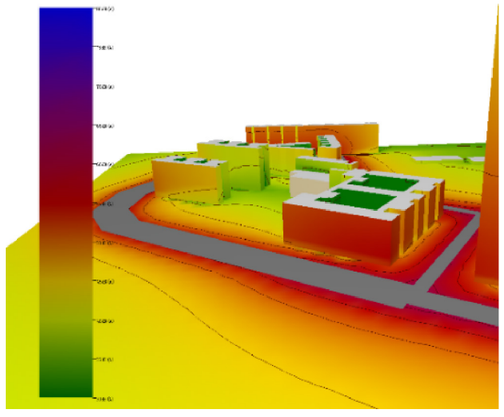


图13 声环境分析

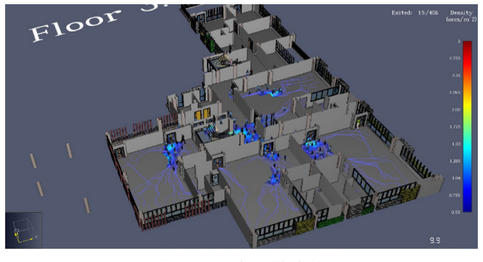


图14 人流疏散流线



图15 走廊疏散模拟

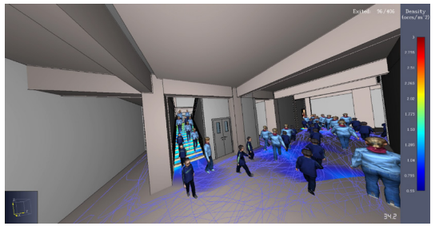


图16 楼梯间疏散模拟

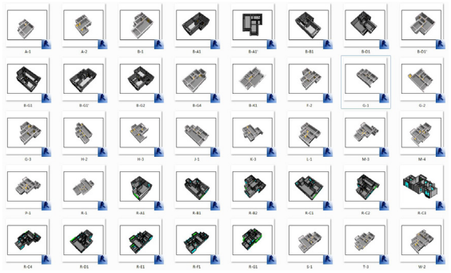


图17 户型BIM数据库

4.1.6 设计优化

建立全专业BIM设计模型，通过BIM技术进行碰撞检查，提前发现设计图纸的错漏碰缺，向设计师提资，提高设计图质量，减少变更。

4.2 施工阶段

施工阶段BIM实施涵盖BIM图纸会审、场地规划、临建设计、场地平面管理、施工模拟、仿真模拟、BIM虚拟样板、管综深化、净高分析、洞口预留预埋、深化出图、施工深化、措施深化、工程量统计、排砖布砖、装配式专项运用、铝模板专项运用、爬架专项运用、虚拟交底等。

其中，施工阶段典型BIM运用情况如下：

4.2.1 场地规划

本项目场地可规划用地极为紧张，利用BIM技术进行对各阶段施工前场地提前推演，进行合理的规划与布置。

M02-1#, M03-1~3 #预制构件统计

预制构件种类	编号	轴测图	数量（个/每标准层）	单个体积(m³)	单个重量（吨）
飘窗	TC-1		2	1.23	3.08
	TC-2		1	1.20	3.00
	TC-3		1	1.16	2.90
	TC-4		1	1.06	2.65
	TC-5		3	1.23	3.08
	TC-6		1	1.20	3.00
	TC-7		1	1.16	2.90
	TC-8		1	1.06	2.65

图18 装配式构件库1

预制构件种类	编号	轴测图	数量（个/每标准层）	单个体积(m³)	单个重量（吨）
飘窗	TC-9		1	1.23	3.08
	TC-10		2	1.20	3.00
阳台	YT1		1	0.59	1.48
	YT2		1	0.58	1.45
	YT3		1	0.87	2.18
	YT4		1	0.78	1.95
	YT5		1	0.8	2
	YT6		1	0.95	2.38
	LT1		2	1.28	3.2

图19 装配式构件库2

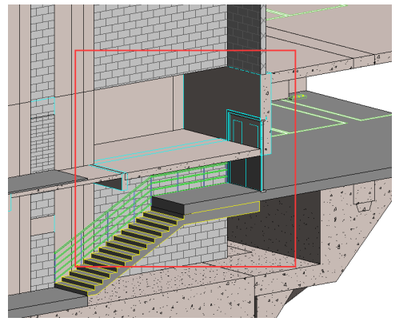


图20 优化前

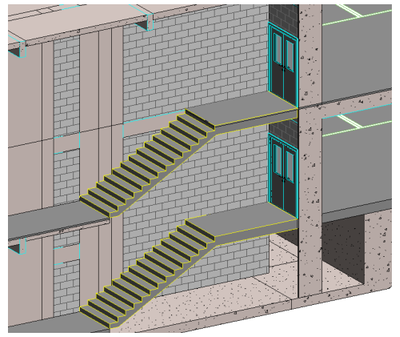


图21 优化后

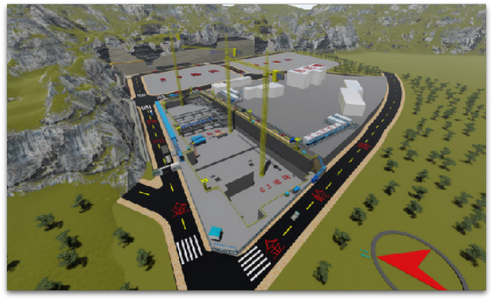


图22 总平面规划模型

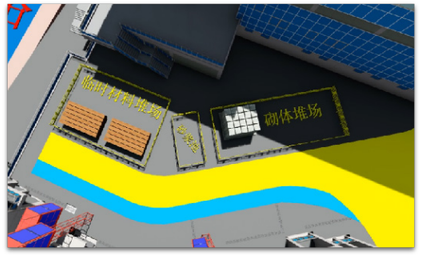


图23 材料堆场模型

4.2.2 施工模拟

利用BIM技术提前推演施工方案，各方可视化验证方案的可行性，分析预警项，及时纠偏，确保方案技术性和安全性满足实际要求。

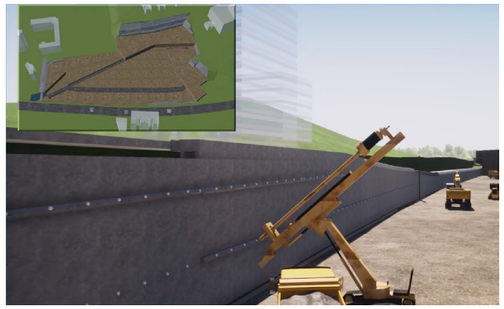


图24 喷锚模拟



图25 打孔模拟



图26 钻孔模拟

4.2.3 管综深化

利用BIM技术各专业管线的合理布置，避免施工阶段各专业管线的交叉碰撞，提高施工效率，保证系统性能，提升管线美观度。多专业模型整合校审，优化排布方案保证净高要求。

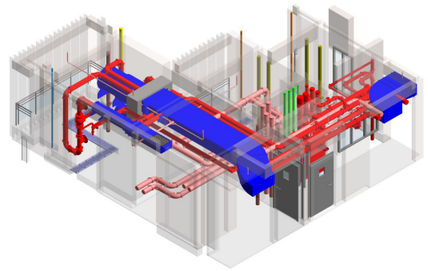


图27 管综深化前

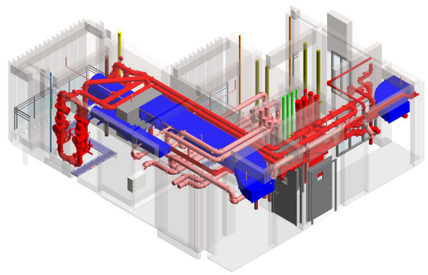


图28 管综深化后

4.2.4 铝模板专项运用

项目采用铝合金模板施工技术，结合BIM技术，对铝模板三维设计，进行预拼装，提前检查模板方案的可行性，进行三维技术交底，利用清单下料功能生成下料表，有效节约成本。

4.2.5 外爬架专项运用

运用BIM技术对爬架的细部节点做出展示，其中类似于附加导轨、加高件、电葫芦连接，走道板、导轨、楼梯的加固方式都采用模型进行节点展示，方便交底以及施工促使施工过程中一次成活，同时极大地提高了爬架安装的效率以及爬架的安全性。

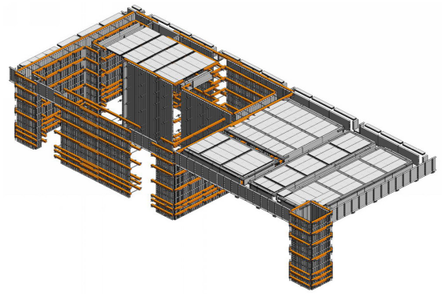


图29 铝模板模型

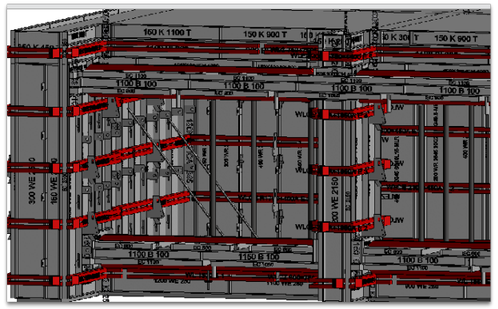


图30 铝模板出图



图31 铝模板清单

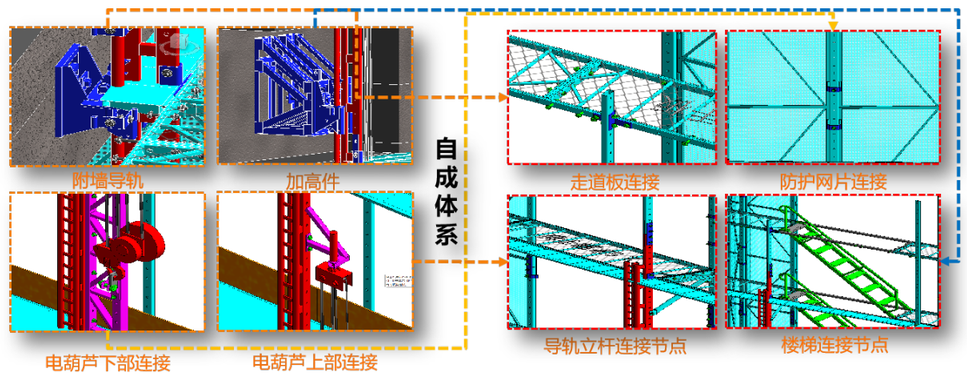


图32 爬架体系模型

4.2.6 装配式专项运用

利用BIM技术对预制件进行设计优化和安装模拟，预制凸窗含成品滴水线，内预埋有钢副框，方便后期窗户安装，采用内浇外挂式施工，预制外墙做有防水企口压槽，减少后期的防水做法。

4.2.7 BIM虚拟样板间

利用BIM技术创建虚拟质量样板，利用全景图片进行工艺分解和施工模拟，展示亮点做法，进行可视化快速交底，去掉实体样板建造的材料损耗，节约成本，绿色施工。

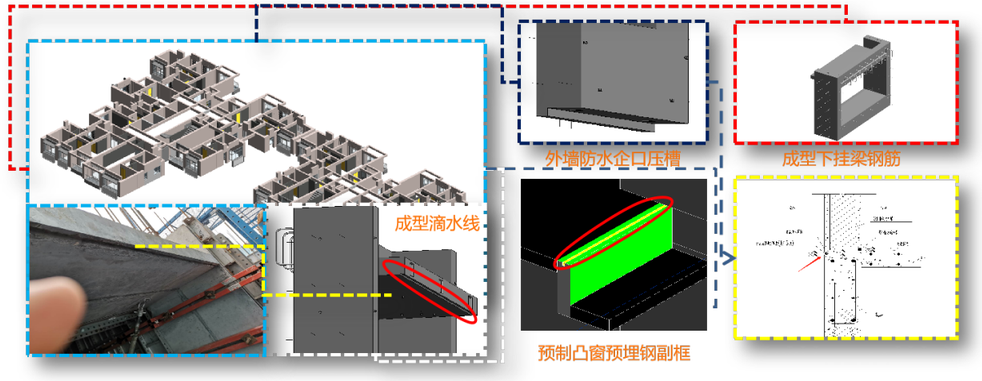


图32 爬架体系模型

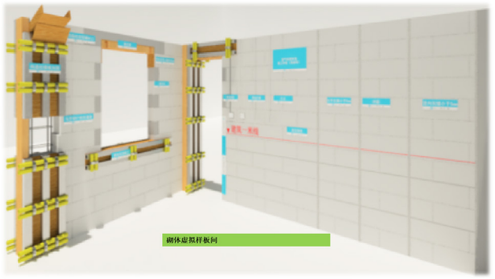


图34 砌体虚拟样板

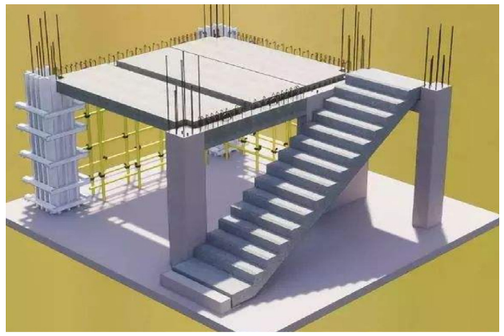


图35 预制楼梯虚拟样板

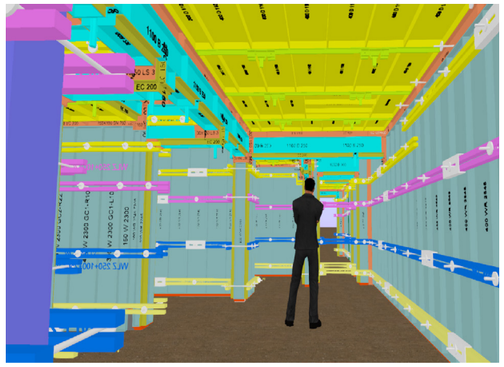


图36 铝模板虚拟样板

4.3 数字棚改工程管理平台

数字棚改工程管理平台主要包含以下模块：任务管理、质安管理、会议管理、文档管理、变更及支付管理、模型管理、进度管理、智慧工地等。

4.3.1 任务管理模块

本项目建立了数字棚改工程管理平台（如图9），登录界面进去首页，即可查看责任人相关联BIM工作任务，系统会对关联任务持续进行跟踪，直至任务完成闭合处理。

4.3.2 质安管理模块

全面实现项目质量安全问题线上化，缩短管理流程，提高效率，沉淀宝贵棚改经验。

4.3.3 会议管理模块

BIM例会、工程例会、专题例会等形成会议纪要，对每项工作约定责任人、完成时间等。

4.3.4 文档管理模块

纸、模型、图纸、文档等全部资料可在平台中进行检索查询，实现绿色办公。

4.3.5 变更及支付管理模块

支付款、变更通过平台实现线上审批，解决项目参建单位多、审批层级多、流程长的痛点，解决面对面跑签字的问题，有效缩短审批流程。

4.3.6 模型管理

模型、应用、文档等BIM实施过程文件通过平台在线审核，极大的提高了BIM成员日常沟通效率。

4.3.7 进度管理

打造项目数据中心，建设系统工程管理一张图，跟踪管理10个标段的整体计划执行情况，定期进行工程量反馈，为政府、建设方高层提供决策支撑，有效把控项目推进，及时纠偏，实现尽早回迁。

5 智慧工地管理

智慧工地管理实践主要包括：智慧工地平台、施工电梯智能监控、安全监管体系、人脸识别系统、配电箱及温度检测系统、视频监控系统、大型设备安全监测系统、扬尘噪音自动监测仪、现场无人机应用。

5.1 智慧工地平台

智慧工地是将现有的硬件设备上增加检测、数据采集等设备，结合项目已有的信息管理系统，通过互联网技术将数据信息传送到云端，由云端进行逻辑关系组织、分类、经统计分析后汇总出项目需要的管理数据，将数据推送到项目管理平台、收集APP终端、最终实现智慧管控。

项目部门在办公区建立智慧工地调度中心，通过智慧工地物联设施，可以将施工现场的施工过程、安全管理、人员管理、绿色施工等内容反馈至调度中心服务器，并自动进行数据采集、记录。再通过调度中心大屏将以上数据一一展示，从传统的定性表达实现定量表达，实现工地的信息化管理。

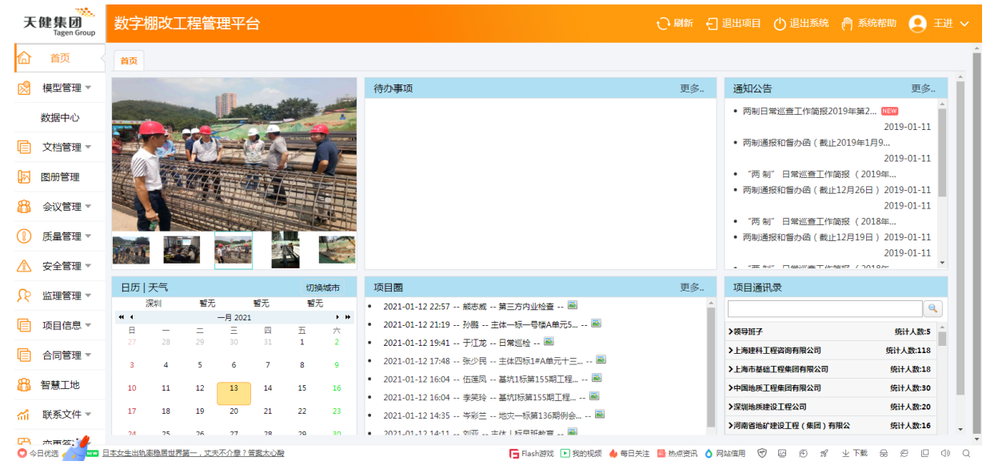


图37 数字棚改工程管理平台



图38 进度管理数据中心

5.2 安全监管体系

包括人脸识别系统、视频监控系统、大型设备安全预警系统、绿色施工预警系统。

5.3 配电箱及温度检测系统

本项目设备较多，为更好的保证现场的施工现场用电安全，对现场配电箱安装监控设备，通过对施工电流，配电箱开关温度等进行监控，提供相关预警值，超过预警值之后自动报警，更大的保障用电安全，同时，更好的保证项目用电节约。

5.4 视频监控系统

为提高工作效率，增强监管力度，减少安全事故的发生。本项目在施工现场、办公区域、工人生活区三大区域均设置了视频监控，通过远程监控保证建设过程安全而有效地进行。

5.5 大型设备安全监测系统

主要用于塔机的实时监控，避免因操作者的疏忽或判断失误而造成的安全事故，可极大的保证塔机的安全使用。此外，可以利用塔吊吊装数据进行检测，超过塔吊吊装预警值系统会有预警，能实时对塔吊吊装安全进行监控。同时，利用塔吊吊装数据进行数据分析，对于现阶段工程进度反馈等提供一定的作用。

5.6 尘噪音自动监测

运用通信显示技术将扬尘、噪声的自动监测与LED显示屏幕相结合。它是一套具有PM2.5/PM0/TSP监测与统计分析功能，能进行不同环境功能区的连续自动监测，可在无人看管的情况下自动监测扬尘、噪声数据的设备，并通过GPRS/CDMA移动公网、专线网络传输数据。扬尘噪音自动监测对于安全文明施工的起到积极引导作用。

5.7 无人机应用

无人机应用主要包含无人机管控、全景球应用、实景建模板。

5.7.1 无人机的优势

采用无人机技术对现场施工进行进度把控，有效的反馈到工程例会当中。

5.7.2 全景球应用

根据项目进度需要，全景球为每两周制作一期，反应现场实时进度。各栋塔楼进行标注，记录单体塔楼相关信息。加入评论及点赞的功能，提高公众的关注度与参与感，增强各方人员之间的沟通交流，并可大大减少项目人员与其他各方人员之间的沟通成本。

利用项目全景球，可清晰反馈现场实时进度，将项目进度信息及现场安全文明施工情况进行反馈，并在项目工程例会、监理例会等会议上进行汇报，使人观感更为饱满，有利于工程人员及时、准确掌控现场施工进度。



图39 无人机航拍图

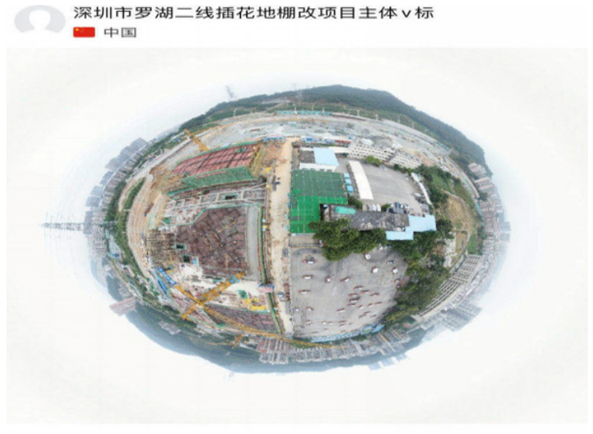


图40 全景球图

5.7.3 实景建模优势

实景建模有以下优势：

（1）场景真实，视角多维

三维模型根据照片原始数据和参数，生成的模型可以百分之百还原现场实际情况，真实反映工程进度及形象。

（2）位置信息，数据准确

任一点的位置信息，都是依据GPS信息位置生成的，突破传统的单点测量的局限。所需要的实际数据，例如长度、面积、体积、一个点或者一条线等等都可以直接在模型中进行测量得出，精度达到厘米级。

（3）效率突出，实用性强

结合实景建模软件，创建实景模型，利用实景模型与BIM模型进行对比、结合等。在各方面交流时，能非常直观的展现现场实际状况，更加方便的进行沟通、比较，得出解决方案。

6 BIM实施价值体现

BIM实施价值体现主要体现在直接实施效益和社会效益。

6.1 现阶段直接实施效益统计

6.2 社会效益

在2020年第九届“龙图杯”全国BIM大赛中本项目荣获二等奖，除此之外，截至目前本标段项目连续3个季度名列深圳市住房和建设局“亮剑行动”红榜榜单，并已取得市深圳双优工地证书，并组织了罗湖棚改回迁民、罗湖区公务员及义工代表团队的多次观摩和交流，并得到深圳市委市政府，区委区政府等上级领导的一致好评。

7 结语

深圳市罗湖“二线插花地”棚户区改造项目通过BIM技术应用和一体化协同平台建设，将罗湖棚改建设过程信息化、透明化、数字化，从而实现棚改建设阶段全生命周期的精细化管理。

表4 工期效益统计表

序号	应用点	效益体现	直接效益
1	地下室机电套管预留	所有的预留洞口进行准确定位，二次开凿的孔洞数量为零	45天
2	机电深化图纸	机电安装无需现场调整，避免机电安装返工	40天
3	二次结构砌筑	工人快速了解砌筑方式，便于施工	30天
4	方案交底	工人快速理解方案意图，方案实施顺畅	10天
5	B04-1#标准层管线深化	减少关系绕弯，减少人工材料成本	23天
6	进度把控	合理安排协调现场工序，实现现场施工最优化	18天
7	平台协调管理	节约了各方用于沟通协调的时间，实现高效沟通	/
	合计		156天

对内，将项目管理过程和现场施工过程高度结合，通过过程模型化、可视化，业务系统化、流程化、可追溯、可留痕，办公现场化、便携化、及时化，实现集主管方、建设方、监理方三位一体的统一高效协同管理；对外，全过程形成的信息化、数字化资产，既是棚改大数据的重要组成部分为，棚改决策、宣传、总结经验、建成后运营管理提供数据支撑，又能在棚改风控过程中为审计、监察部门工作提供便利。

结合BIM技术应用，分布于智慧工地、碰撞检测与设计优化、施工方案模拟、进度管控、算量计价、能耗分析与绿色选材、装配式建筑、市政先行等等，真正实现了向技术要效率和要效益。

参考文献

[1]胡光辉. BIM技术在港珠澳大桥交通工程的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术:00161-00161.

[2]黄杰, 王欣南. BIM技术在港珠澳大桥珠海连接线拱北隧道中的应用[J]. 武汉勘察设计, 2015.

[3]徐梦杰，基于BIM的施工进度管理研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2016.

数字建造

深圳市某综合体基于BIM技术的数字化项目管理

常泽英，吴鼎政，程　姗，陈佳裕
（深圳市鑫中建建筑设计顾问有限公司，深圳 518040）

[摘　要] 在城市化不断推进的过程中，建设项目的数量在不断增加。从我国目前的经济发展来看，这些项目数量的增加有效地促进了我国经济的进步，但是项目管理方面存在的问题严重影响了经济质量。文章对应用BIM技术的工程项目管理进行了研究，旨在进一步明确BIM技术在工程项目管理中的价值，从而推广其应用。

[关键词] BIM；信息化；数字化；项目管理

Digital project management of a complex in Shenzhen based on BIM technology

Chang Zeying, Wu Dingzheng, Cheng Shan, Chen Jiayu
（Shenzhen Xinzhongjian architectural design consulting Co.,Ltd., Shenzhen, 518040）

Abstract: In the process of continuous urbanization, the number of construction projects is increasing. From the point of view of China's current economic development, the increase in the number of these projects has effectively promoted the progress of China's economy, but the problems existing in project management have seriously affected the economic quality. This paper studies the application of BIM technology in engineering project management, aiming to further clarify the value of BIM technology in engineering project management, so as to promote its application.

Keywords: BIM(Building Information Modeling); informatization; digitization; project management

0　项目概况

本项目是南方科技大学及深圳大学新校区拆迁安置项目产业园区，建设地点位于深圳南山区桃园片区。本期（D区）总建筑面积225445.24㎡，共3栋塔楼；D01栋为高层研发办公楼，高度24层，建筑高度94.35m；D02、D03栋为高层研发办公楼，高度25层，建筑高度98.25m，建筑设计使用年限为50年。本期人防部分为甲类防空地下室，平时为地下停车库，战时划分为4个防护单元，1个区域电站。

1　项目重、难点及BIM各阶段应用目标

本项目位于深圳市南山区、由政府投资、属于深圳市重点项目。项目外立面比较复杂，异性变截面。幕墙倾斜收进，转角为双曲可变。地下三层，地质复杂，场地狭小，部分桩基础、部分筏板，开挖、支护与结构施工难度大。地下室层高比较小，地下二层有的货车通道，净高要求高。为产业配套服务用房，建筑功能比较多，机电管线复杂。工期紧，任务重，现场条件有限，对施工组织要求高。项目质量要求高，拟申报国家鲁班奖。图1为BIM各阶段应用目标。

2　BIM标准和平台建设

2.1　BIM标准

为保证本项目BIM技术的应用效果，在项目开始前编制《BIM项目建模标准》 《BIM项目实施导则》 《BIM项目施工阶段管理流程手册》3本指导手册。指导手册中明确项目的建模标准，规定项目的文件管理构架，统一BIM协同原点，规定项目BIM文件命名规则、架构、颜色、信息、规划标准、软件标准，项目各专业BIM分工及职责，明确问题报告格式及交付标准等。BIM施工阶段管理流程中。明确施工阶段基于BIM管理的平台的实施办法和管理流程，规定在施工过程中各单位的职责和协同管理原则。

维度		目标
设计阶段目标	优化深化	图纸优化设计（错漏碰缺、图纸会审、管线综合、预留预埋等）
施工阶段目标	进度管理	进度模拟、进度预警、进度精细化管理、进度报表
	质量管理	政府验收标准，万科评估标准、数字化工程和精细化管理
	安全文明施工	安全巡检、安全日检、安全晨会
	算量造价	土建机电成本可视化、辅助预决算
运维阶段目标	移交与运营	竣工模型交付运维
应用亮点		
专项方案		幕墙、室外管网、辅助精装修等
成品支吊架		辅助设计及加工
工厂预制化		空调冷冻机房机房预制安装
无人机		无人机拍摄的高清视频及图片，协助BIM模型调整
二维码		室内定位、巡检扫码，材料进场等

图1　各阶段应用目标

2.2　软件及硬件

本项目根据软件的不同特点，采用多款软件协同配合，完成本项目BIM应用，图2、图3为BIM团队硬件、软件配置。传统的Revit用于土建、机电模型，Catia、Rhinoceros用于幕墙模型，Revizto用于模型协同，Navisworks用于碰撞检查和施工模拟，FUZOR用于进度模型和三维展示，BIM5D用于项目协同管理。

名称	硬件配置型号		数量/台
DELL 塔式工作站 Precision T7910	处理器：2*英特尔 至强 E5-2620 v4 2.1GHz,20M 缓存,8.0GT/s QPI,Turbo,HT,8C/16T (85W) 内存：2*16GB RDIMM 2400MHz DDR4 ECC 显卡：NVIDIA Quadro M4000 8GB显存 (4 DP) 硬盘1：256GB SATA 1st SSD 硬盘2：1*4TB 7.2K RPM SAS 12Gbps 3.5英寸		1
兼容台式电脑	处理器：英特尔（Intel） 酷睿i7-4790k22 纳米 Haswell 架构盒装CPU理器 （LGA1150/4.0GHz/8M三级缓存） 内存：16GB RDIMM 2400MHz DDR4 ECC 显卡：GTX1060. 硬盘1：256GB SATA 1st SSD 硬盘2：1TB 7.2K RPM SAS 12Gbps 3.5英寸		8
THINKPAD T460	处理器：第七代Kabylake智能英特尔® 酷睿™ i7 处理器I7-7500U 内存：8GB RDIMM 2133MHz DDR4 ECC 显卡：Nvidia GTX 940 硬盘：512GB SATA 1st SSD		1
Ipad PRO	Apple iPad Pro 平板电脑 10.5 英寸（256G WLAN版/A10X芯片/Retina屏/Multi-Touch技术 MPF12CH/A）		3

图2　BIM团队硬件配置

序号	软件名称	软件用途
1	Autodesk Revit 2014	建筑、结构、机电专业三维设计软件；建筑暖通、给排水、电气、管线综合碰撞检查设计应用软件
2	Navisworks Manage 2014	三维设计数据集成，软硬空间碰撞检测，项目施工进度模拟展示专业设计应用软件
3	Rhinoceros 5 、CATIA	幕墙结构建模
4	Revizto	模型协同
5	BIM5D PC端和APP	BIM集成协同工作平台
6	FUZOR2017	项目模型应用、进度模拟、三维展示
7	三维算量、安装算量2017	土建工程、钢筋工程量、机电工程预算软件
8	Lumin3D 5.0，AE	施工动画制作、效果图渲染、后期制作

图3　BIM团队软件配置

2.3　BIM平台建设

建立的现场硬件平台，开发本项目的BIM5D协同平台。

在BIM5D协同平台，实现模型和现场管理的协同工作；实现移动端、PC端、网页端的数据互通，同时，施工各参建方，在BIM5D协同平台进行安全、进度、质量、成本等各维度的施工管理工作。图4、图5为BIM管理平台硬件、软件配置。

3　设计阶段BIM应用

3.1　全专业精细化建模

建筑结构、给排水、消防、电气、暖通、室外管线、施工布置，全专业精细化建模同时BIM模型创建完成之后，借助虚拟漫游功能，工程项目的各参与方能够在计算机环境下，对项目中不符合规范要求、不合理的区域进行整体的审核协商变更。在提升图纸管理效率的同时，显著降低了各参与方之间的沟通难度。

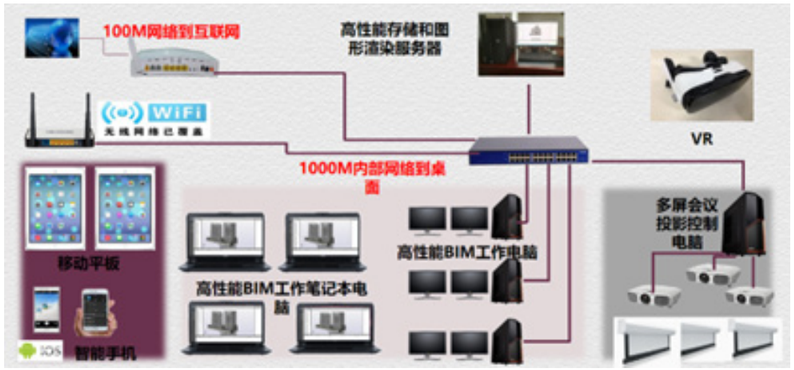


图4 BIM管理平台硬件配置



图5 BIM管理平台软件配置

3 设计阶段BIM应用

3.1 全专业精细化建模

建筑结构、给排水、消防、电气、暖通、室外管线、施工布置，全专业精细化建模同时BIM模型创建完成之后，借助虚拟漫游功能，工程项目的各参与方能够在计算机环境下，对项目中不符合规范要求、不合理的区域进行整体的审核协商变更。在提升图纸管理效率的同时，显著降低了各参与方之间的沟通难度。

3.2 设计问题

图纸会审管理的BIM技术应用，将设计图纸中潜在的、可能引发质量问题的设计问题在施工开始前就予以暴露，以便及时进行优化和变更，确保工程项目的质量。

统一图纸问题记录单，协调设计院解决建模过程中的图纸问题。建立设计图纸问题的台账，确定问题解决流程。确保发现问题能够及时解决。

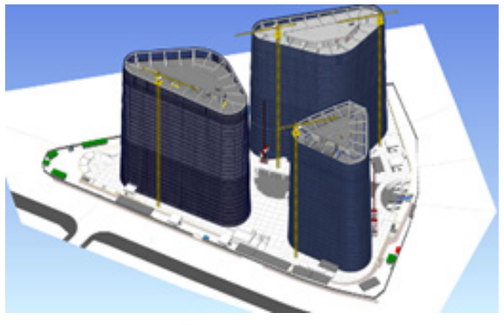


图6 全专业模型

3.3 管线综合优化

管线综合之前首先明确管线综合的一般规范和原则，对综合完的BIM模型进行查漏补缺工作，调整完成后进行模型评审，直到评审通过。

管线综合设计分为两个阶段，第一阶段以配合满足项目土建预留预埋为主，进行机电主管线与一次结构相关内容的深化设计工作，完成预留孔洞模型，直接生成二维图纸，指导现场施工预留预埋。

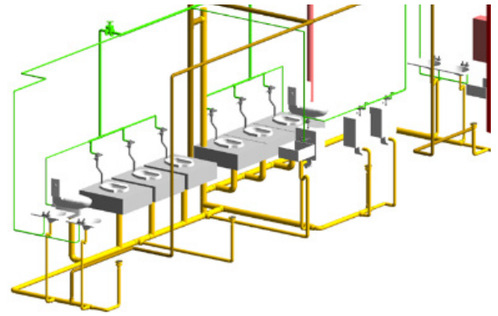


图7 卫生间模型

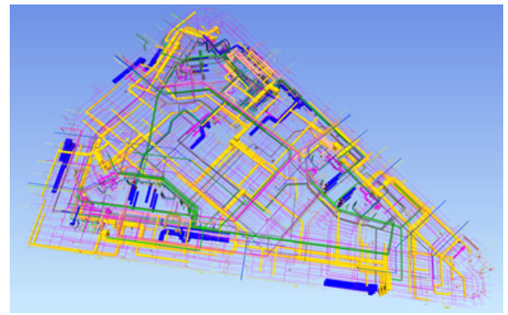


图8 地下室管线模

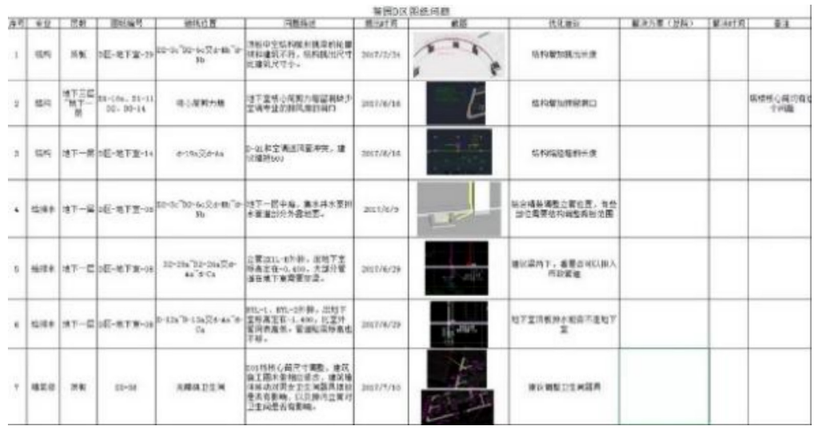


图9 设计问题解决台账

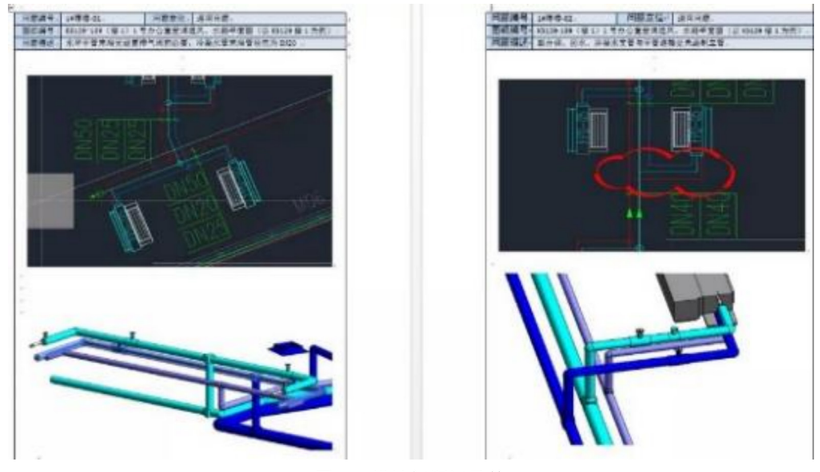


图10 设计问题记录单

第二阶段对应于精装修要求的情况下进行机电末端的深化设计工作，借助BIM可视化效果合理布

置各专业管线，在BIM模型中合理设置设备灯具的支吊架，解决与其他管线的碰撞问题，在BIM模型中模拟吊顶位置，如不满足与设计协调部分管线穿梁或移至其他区域。

通过管线综合优化，优化管线路由，提升使用净高，导出图纸，指导现场施工，经过模型的碰撞检查和数次的调整，解决了原有的管线碰撞问题，并且提升净高。

建筑部位	优化前净高（mm）	优化后净高（mm）	净空提高（mm）
塔楼标准层办公区	2600	2950	350
塔楼标准层走廊	2600	2750	150
塔楼标准层电梯前厅	2600	3100	500
地下室一层	3200	3550	350
地下室二层车道	2200	2400	200
地下室二层非车道	2200	2300	100
地下室三层车道	2200	2400	200

图11　净高优化成果

部位	留洞图出图数量（张）	管线综合图出图数量（张）
地下室	27	45
D01栋	21	40
D02栋	26	45
D03栋	26	45
合计	100	175

图12　BIM出图成果

4　施工阶段BIM技术的应用

4.1　施工策划

BIM协助施工单位进行现场施工场地布置，提供三维可视化BIM模型包括支护结构模型和施工场地模型指导施工方案的优化和现场施工，方便业主和监理及时了解工程进展情况。

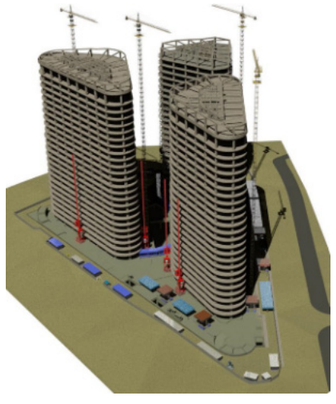
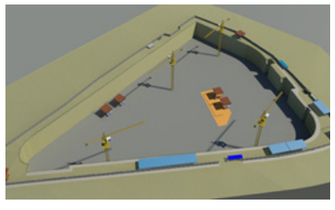




图13　工程场地模型

采用Revit对冷冻机房机电专业精细化建模，经机电管线合理优化，保证机房净空高度，技术人员通过BIM三维模型讲解各项技术参数对施工人员进行技术交底；施工人员通过技术交底反馈意见。

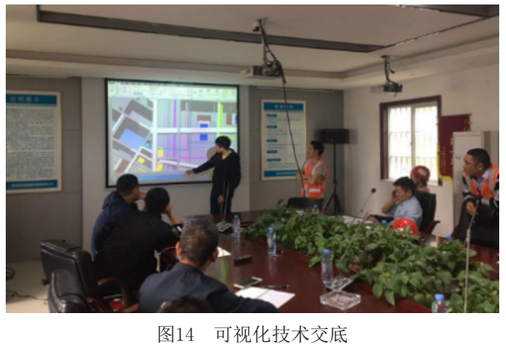


图14　可视化技术交底

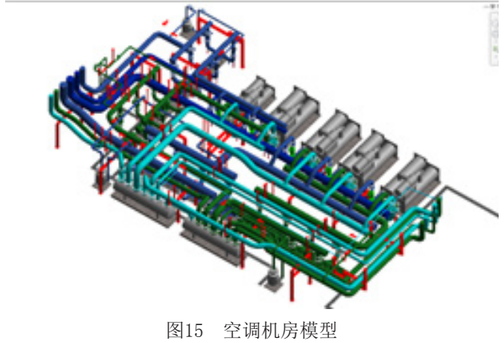


图15　空调机房模型

无人机拍摄的高清视频及图片，与原有总平BIM模型对比并及时调整，根据现场实际情况及时进行调整，保障总平管理的科学性。



图16　航拍辅助现场管理

利用BIM模型建模，可将传统CAD砌体深化排布图进行三维模拟检查优化，避免现场砌体出现的相关问题。

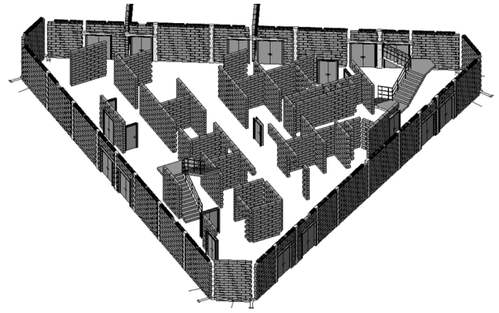


图17　二次结构砌体排砖

4.2　BIM5D协同管理平台

本项目管理平台涉及工程概况、进度管理、质量管理、安全管理、成本管理、文档管理。



图18　BIM5D协同管理平台

4.2.1　进度管理

包含进度日式管理，进度可视化，进度精细化管理。总包单位首先制定总控进度计划，进度计划完成之后将进度计划与BIM模型进行关联，对编制的项目计划进行模拟，对项目工作面的分配进行合理性分析，利用模拟进行优化得出最终的进度计划，最终再次与BIM模型关联，手机端进行进度跟踪，平台展示计划完成情况，并对进度数据进行分析，同时可以生成进度日报表。将平台收集到的实际数据与进度计划进行对比分析，分析偏差发生的原因，作为后期工期追踪的一个重要数据，明确发生的原因之后，总包组织各单位进行进度协调，管理流程如图19所示。

4.2.2　质量管理

在质量管理中，BIM模型可辅助进行图纸质量的把控，提前发现质量问题，减少现场返工及修改，提高工程质量，在面对复杂的节点利用模型或者施工模拟动画可给施工人员进行技术交底。用BIM模型的可视化3D空间展现能力，以BIM模型为载体，将空间信息与各种机电设备参数一体化整合，可以对设备的维修空间进行校验，确保机电管道和设备周边留有符合规定的作业和维修空间，同时平台提供质量问题的录入，并且录入的问题与模型相关联，平台推送到相关责任人，相关责任人对记录的问题进行跟踪解决，问题解决之后由质量相关负责人进行质量问题解决关闭，并生成质量问题统计和质量问题报表确保项目施工质量。质量管理流程如图20所示。

4.2.3　安全管理

在安全管理中主要利用标准构件进行现场安全



图19 进度管理流程



图20 质量管理流程

设施模型的布置，提前规划好安全路线，现场利用BIM模型进行检查，提高项目安全管理水平。

危险源识别，总包单位在安全管理的过程中通过创建的三维模型让分包管理人员提前对危险源进行判断，快速的在危险源附近设置安全防护设施，比较直观的将安全死角进行提前排查。

安全交底，利用模型的三维标准化设计及可视化布置提高对劳务人员的交底质量及效率。

模型与视频监控结合管理，通过监控画面实时与BIM模型进行查看，并将对比记入周报。

安全巡检，提前在项目现场定点放置二维码，每天按时进行安全巡检，并且可以进行安全问题录入，平台推送到相关责任人，相关责任人对记录的问题进行跟踪解决，问题解决之后由安全相关负责人进行安全问题解决关闭，并生成安全问题统计和安全问题报表确保项目施工安全。

4.2.4 成本管理

BIM模型包含的各种数据信息进行统计和分解，达到在任何时间点对任何工程量的数据都能很快统计出来，对比项目成本计划和进度计划，可以进行成本动态监控。BIM技术可以将每一个工序、构件的成本提取出来，有了BIM模型的数据进行计算，成本的动态监控成为可能。利用经过优化和深化后的BIM模型，通过软件的构件及统计功能直接、快速计算各类构件的工程量。更加快速的形成造价文件，为工程进度款结算提供技术支持。

5 BIM应用效益分析

根据本项目基于BIM技术数字化项目管理平台的应用取得了以下成果：

（1）通过模型应用（建模、管线综合、预留预埋等），共发现并解决问题102个。

（2）通过管线综合，提升净高，楼层净高提升100-500mm。

（3）模型导出图纸，指导施工，机电图纸及留洞图纸共计275张。

（4）平台应用工作，安全巡检7137次，安全问题1349项，质量问题275项，进度跟踪625项。

（5）通过BIM技术的应用，提前解决图纸问题，出图指导施工，在施工过程中减少返工，节省材料。通过管理平台将日常管理动作流程化、可视化，提高工作效率。

（6）BIM团队采用协同工作机制，建立协同信息平台让各参与方在统一的机制下共同工作，通过模型交流并通过对信息的管理来保证BIM在实施阶段的正常实施。

（7）通过基于BIM技术的数字化项目管理，现场进度提前30日。

经本项目现场实际施工效果检验，该项目应用的基于BIM技术的数字化项目管理过程切实可行，因此对于该类工程此管理过程具有实践意义，值得推广。

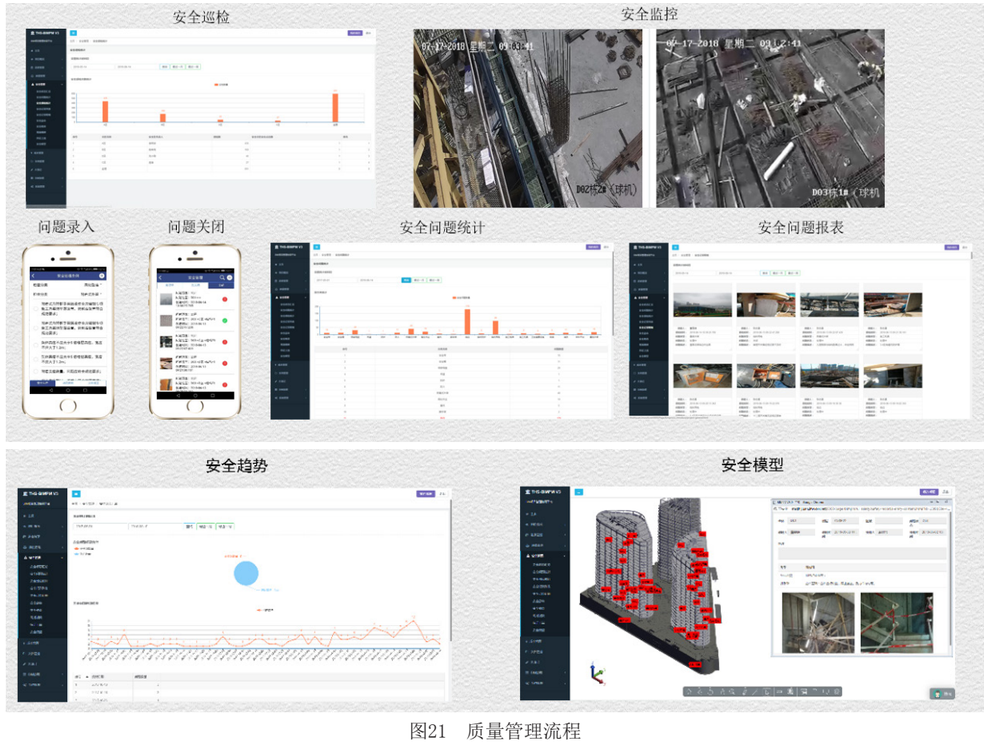


图21 质量管理流程

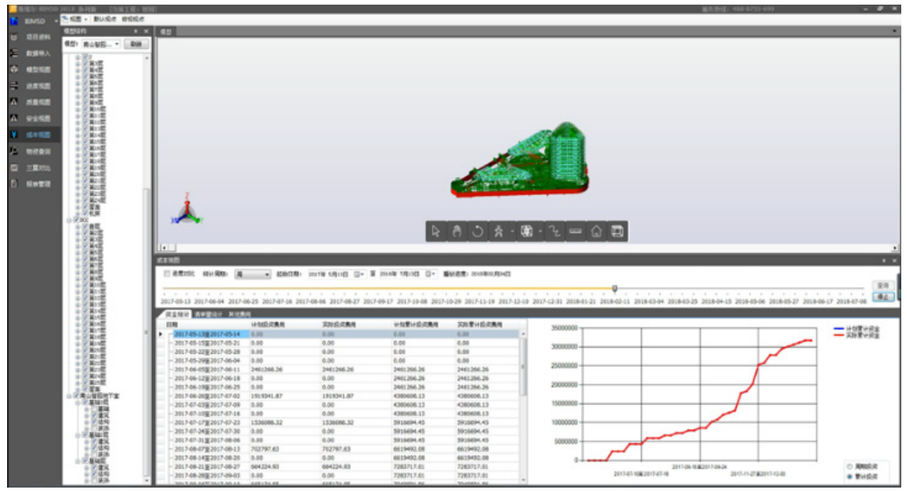


图22 BIM平台成本管理

参考文献

[1]李云贵.建筑工程施工BIM应用指南.北京中国建筑工业出版社,2017

简 讯

创新培训思路 建立长效机制

创新培训思路 建立长效机制

施工安全管理是施工管理的重中之重。建筑施工现场的安全生产形势依旧十分严峻，如何提高建筑工人的安全素养和操作技能，规范其安全行为，实现安全标准化作业，使建筑工人成为建筑产业工人，是整个建筑行业迫切需要解决的问题。

2017年6月，中共中央、国务院印发了《新时期产业工人队伍建设改革方案》，明确提出要把产业工人队伍建设作为实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略的重要支撑和基础保障，纳入国家和地方经济社会发展规划，造就一支有理想守信念、懂技术会创新、敢担当讲奉献的宏大的产业工人队伍。

建筑产业工人是我国产业工人的重要组成部分，是建筑业发展的基础，为经济发展、城镇化建设作出重大贡献。同时也要看到，当前我国建筑产业工人队伍仍存在无序流动性大、老龄化现象突出、技能素质低、权益保障不到位等问题，制约建筑业持续健康发展。加强建筑产业工人的培训，是贯彻新发展理念、推动工程高质量发展的必然要求。

建设培训基地，构筑产业工人实操平台。

当前，建筑行业存在高素质管理人才、技术人才、产业工人队伍缺乏和企业对工人培训缺少动力等问题。2020年6月，深圳市建筑工务署（以下简称“工务署”）与深圳市投资控股有限公司共同成立了一所立足深圳、覆盖湾区、示范全国的建设管理培训与职业训练学院，并对655名工地一线管理人员进行涵盖建筑施工领域相关国家行业标准、工务署政府工程高质量发展行动方案等内容的集中培训。

在此基础上，工务署与深圳市投资控股有限公司、深圳市特区建工集团有限公司共同策划打造建设管理培训与职业训练学院实训基地，该实训基地覆盖15个工种、112个培训工位，打造了“软硬”兼备三大特色功能区——工人实训区、安全体验区、建筑安全实景教学区，用“理论+实操+体验”的产教融合模式，形成一套自上而下、由思想到行为的培训教程体系。

建设工务学习APP，构筑产业工人在线培训平台。

建设管理培训与职业训练学院实训基地的培训均为现场教学，该培训方式的一个弊端是许多工地现场的建筑工人由于施工任务繁重而无法到现场培训。为解决这一问题，适应工务需求，工务署联合深圳市深投教育有限公司开发了工务学习APP，共同设计开发线上培训课程和可视化教学课件，深圳市特区建工集团有限公司组织培训师资团队，开发教学课件，为实训提供软硬件支持。

工务学习APP是一款集实名注册管理、定制课件内容、积分学习教育为一体的全流程新型学习平台，包含五大功能版块：首页版块帮助学员更好地阅览所需信息；消息版块推送最新的资讯、课件及政府动态；学习版块需人脸识别登录，确认本人后才可进行课程学习；圈子版块可以增强用户活跃度及互动性；个人版块包含积分商城等特色功能，使用激励手段不断强化各方人员的学习习惯、提升学习能力。APP的应用将不断强化各方人员的学习习惯、提升学习能力，促进项目建设高质量发展。

创新培训思路，完善培训机制和培训方式。

培训必须具备专业性、系统性、针对性，要求我们转变思维方式来适应新发展阶段高质量发展的要求。

首先，要创新课程设置，立足工人的特点，结合理论与实践，针对工作需要设置培训课程，解决只讲理论、不讲实践、学用脱节的问题。其次，要创新培训方式方法，通过实景式培训、互动式教学和信息化手段，改变说教式教学方式，让工人感兴趣、听得到、听得进、听得懂。建立安全和质量培训实景教学场地，不仅培训知识，还训练技能；通过岗位分析方法，查找问题、风险、隐患，分析、判断问题，有效组织、共同实施、解决问题，还训练工作方法；围绕作业指导书，制作一批可视化、清单化、流程化的“BIM+动漫视频”，不仅在课堂上提供教育，还可以通过网络传播扩大培训覆盖面。最后，创新培训的考核评价方式，利用信息化手段对课程学习进行全面评价和积分，考核评价方式变培训发证为培训积分，避免发生为发证而进行应试培训、为取证而造假的现象，全面引导和激励各单位、员工学习的积极性。

建立培训经费长效供给机制，解决培训“后顾之忧”。

经费的长效供给是保证培训能长期开展的重要保障。结合工务署实际情况，拟探索从工程造价中提取经费，按合同额的百分比取费。该笔费用单列，作为不可竞争费用，经费提取比率、使用相关条款写入施工合同，由施工单位在工程项目开工前缴纳，根据完工后培训的工人总数，多退少补。

工务署将继续从机制建设入手，通过合同约束要求参建单位落实全员质量安全培训工作，努力解决企业的建筑产业工人不培训、培训不到位不专业等问题。同时，形成“施工企业负责、社会化培训服务、建设单位监督引导、行业主管部门提供政策支撑”的质量安全工作社会化培训新格局。

来源：中国建设新闻网

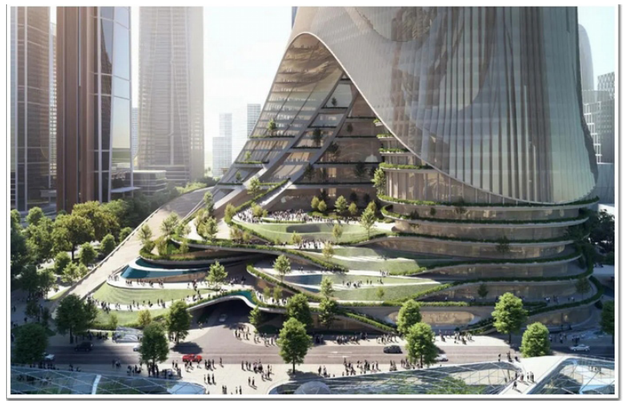
深圳湾超级总部基地C塔：多维垂直城市

扎哈团队日前在深圳湾超级总部基地C塔的设计竞赛中胜出。

深圳湾超级总部基地是深圳市乃至粤港澳大湾区重要的商业和金融中心，致力于构建全球总部聚集区，成为中国国际企业、创新型初创企业和领先创意产业的聚集地。

扎哈事务所运用了三维建模优化了建筑体量、朝向以及窗墙比，将C塔设计成为一个由两座接近400米高的塔楼组成的多维垂直城市。设计方案将城市、自然、中央绿轴、未来城脊和TOD高度融合，创造出一个全新的“超级空间”，将成为超总基地的“未来之塔”。





深圳湾超级总部基地内的C塔回应了其在城市规划的南北绿轴与深圳东西向城市走廊相交处的位置。该设计让塔楼直接与其相邻的公园和广场相连，这些公园和广场转变成在两座塔楼内向上延伸的梯田景观，将公众吸引到建筑物的中心。

阶梯状景观的水景花园将当地环境中的污染物进行生物过滤，并安装低挥发性有机化合物材料，以尽量减少室内污染物与颗粒物。同时在地下空间设计了包括大量的自行车停车场、充电桩等设施。

C塔的双层隔热玻璃幕墙作为自遮阳的垂直系统，内设通风调节器，通过可调节的腔体引入外部空气，为每层楼提供可控、有效的自然通风与混合通风。

通过与该片区的智能管理系统相连，持续监测外部和内部环境，C塔将联合片区中心网络集成的高效设备和制冷设备优化，实现实时控制以降低能源消耗。

来源：设计快讯

把碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局

去年9月22日，中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上表示，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”

目标发布以来，“碳达峰”“碳中和”成为各行业热词，为环保节能产业、企业绿色转型注入了新的活力。上海、江苏、广东等地纷纷表态，将力争提前实现碳达峰，低碳产业体系呼之欲出。

3月15日，习近平总书记主持召开中央财经委员会第九次会议中强调，要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标。这一则立足中国、面向世界的承诺，再次彰显了中国最高领导层关于坚定不移走可持续发展道路的决心与勇气，展示着“命运共同体”理念之下的大国担当。

措施

建立健全平台经济治理体系，明确规则，划清底线，加强监管，规范秩序。

加快健全平台经济法律法规，及时弥补规则空白和漏洞，加强数据产权制度建设，强化平台企业数据安全责任。

优化监管框架，实现事前事中事后全链条监管，金融活动要全部纳入金融监管。

推动平台经济为高质量发展和高品质生活服务，加速用工业互联网平台改造提升传统产业、发展先进制造业。

督促平台企业承担商品质量、食品安全保障等责任，维护好用户数据权益及隐私权，明确平台企业劳动保护责任。

加强关键核心技术攻关，支持和引导平台企业加大研发投入，加强基础研究，夯实底层技术根基，扶持中小科技企业创新。

碳达峰、碳中和

会上，习近平强调，实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和的目标。

此外，会议明确实现碳达峰、碳中和的基本思路及主要举措。

基本思路

要坚定不移贯彻新发展理念，坚持系统观念，处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系，以经济社会发展全面绿色转型为引领，以能源绿色低碳发展为关键，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路。

要坚持全国统筹，强化顶层设计，发挥制度优势，压实各方责任，根据各地实际分类施策。

要把节约能源资源放在首位，实行全面节约战略，倡导简约适度、绿色低碳生活方式。

要坚持政府和市场两手发力，强化科技和制度创新，深化能源和相关领域改革，形成有效的激励约束机制。

要加强国际交流合作，有效统筹国内国际能源资源。

要加强风险识别和管控，处理好减污降碳和能源安全、产业链供应链安全、粮食安全、群众正常生活的关系。

主要举措

“十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，要重点做好以下几项工作——

控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，构建以新能源为主体的新型电力系统。

实施重点行业领域减污降碳行动，工业领域要推进绿色制造，建筑领域要提升节能标准，交通领域要加快形成绿色低碳运输方式。

推动绿色低碳技术实现重大突破，抓紧部署低碳前沿技术研究，加快推广应用减污降碳技术，建立完善绿色低碳技术评估、交易体系和科技创新服务平台。

完善绿色低碳政策和市场体系，完善能源“双控”制度，完善有利于绿色低碳发展的财税、价格、金融、土地、政府采购等政策，加快推进碳排放权交易，积极发展绿色金融。

倡导绿色低碳生活，反对奢侈浪费，鼓励绿色出行。

提升生态碳汇能力，强化国土空间规划和用途管控，有效发挥森林、草原、湿地、海洋、土壤、冻土的固碳作用，提升生态系统碳汇增量。

加强应对气候变化国际合作，推进国际规则标准制定，建设绿色丝绸之路。

来源：新华网、预制建筑网

50条工程“数字简语”

一字简语

1、一机一箱一闸一漏：指现场机器、设备用电安全方面的要求：一台用电设备应有一个专用开关箱，开关箱内有一个隔离开关（一闸）和一个漏电保护器。

2、一证二单：指用于工程的材料必须具备正式的出厂合格证、材质证明单和现场抽检合格的化验单。

3、一岗双责：在建设工程上指某一具体工作岗位兼有双重责任，强调了每个工作岗位的安全责任，即该岗位的本职工作职责，和安全职责。

二字简语

1、两证：指现场主要管理和技术人员必须具备的《资格证书》和《岗位证书》。

2、两不一建：在建设施工中，铁道部强调必须牢固树立“不留遗憾、不当罪人、建不朽工程”。

三字简语

1、三废：指环保中需要妥善处理的“废水、废气、废渣”。

2、三控：指施工过程中的控制：事前控制，事中控制，事后控制。质量控制的关注点应在事前预控。也指“质量、进度、投资”三大控制。

3、三保：指对施工的一般要求：保质量，保安全，保进度。

4、三宝：指安全帽、安全带、安全网的佩戴和安设。

5、三公：指考核和评比工作中的三项原则：公开、公平、公正。

6、三令：指需报经业主同意后，由总监签发的开工令、停工令和复工令。

7、三方：指工程建设管理体制中的“三方”：项目业主，承建商和监理单位。

8、三全：指质量保证体系中的全员工、全方位、全过程的质量管理。

9、三检：指施工中的自检、互检、交接检或专检。

10、三工：指每项施工过程中，技术和质检人员应该做到：工前技术交底，工中检查指导，工后总结评比。

11、三讲：指施工过程中的三次讲安全：上工前，讲安全注意事项；施工中，讲安全操作重点；收工后，讲评今天安全情况和经验教训。

12、三违：是指“违章指挥，违章操作，违反劳动纪律”的简称。

13、三网：即电信网，宽带网，电视网。

14、三电：即电力，电信，广播电视设施。

15、三同时：指工程建设中的环境和水土保持要做到与工程主体施工同步，即同时设计、同时施工、同时验交。必须同时一步到位，不留后患。

16、三工序：指在每道工序施工中，要求施工人员应该做到：检查上工序，保证本工序，服务下工序。

17、三复核：指在测量工作中，要求测量人员间的换手复核、技术负责人复核和总工复核。也指在现场技术和质量控制工作中，要求技术负责人复核、质检工程师复核和监理工程师复核。

18、三不伤害：指不伤害自己，不伤害他人，不被他人伤害。见后面“四不伤害”。

19、三定制度：指机械设备管理中的“定人、定机和定岗位责任”的制度。

20、三不交接：指施工工序间的交接：无自检记录不交接，未经质检工程师验收合格不交接，重要部位未经监理工程师签认不交接。

21、三个凡是：凡是工序都有标准，凡是标准都有检查，凡是检查都有结论。

22、三级配电：即供电系统的总配、分配、开关箱三级。安全用电要求三级配电，逐级保护。

23、三通一平：开工前施工现场需要具备的条件：路通、水通、电通以及场地平整。若说“五通一平”：应加上通讯（含网络）和通气；若说“七通”：应再加上通邮和通热力。

24、三全一综合：指全面质量管理的要求和方法。即全过程的、全部质量的、全员参加的管理以及综合运用经营管理、专业技术和数理统计的方法。

25、三管四线：指隧道施工保障工作中的 “三管”：通风管、高压风管、高压水管；“四线”：动力线、照明线、运输线和通信线。

26、三宝四口五临边：指现场安全检查中的部分项目。

（1）“三宝”：指安全帽、安全带、安全网的佩戴和安设。

（2）“四口”：指楼梯电梯口防护、洞口坑井防护、通道口防护、阳台楼板屋面等的临边防护。

（3）“五临边”：即在建工程的楼面临边、屋面临边、阳台临边、升降口临边、基坑临边的安全防护设施。

27、三标或三证体系：指企业的质量管理标准体系、环境标准体系、健康安全标准体系，在企业简称“三标”，拿到证书了又叫三证体系或三证合一。

28、三标一体化：是指方针目标统一化；管理职能一体化；体系文件一体化；过程控制协调化；绩效监控同步化；持续改进综合化，简称“三标一体化”。

29、三标一体化认证：简单地说就是将质量(QMS)、环境(EMS)、职业健康安全(OHSAS)三个管理体系一体整合认证。

30、三级安全教育：公司、项目经理部、施工班组三个层次的安全教育。第一级：公司级，内容是国家的大政方针，和公司在安全方面的政策；第二级：项目部级，内容是项目部关于安全的管理制度；第三级：班组级，内容是具体的安全操作规程和作业注意事项。一般来说，班组一级的内容最为实在，因为它切实关系到个人的安全。

31、三相五线制：指具有专用保护零线的中性点直接接地的系统（叫TN–S接零保护系统）。三相电；加五根线：三相电的三个相线（A、B、C线）、中性线（N线）；以及地线（PE线）。

32、三台阶七步法：指土层或不稳定岩体隧道或大断面隧道三台阶七步开挖法，是以弧形导坑开挖留核心土为基本模式，分上、中、下三个台阶七个开挖面，各部位的开挖与支护沿隧道纵向错开、平行推进的隧道施工方法。

33、三阶段四区段八流程：指路基填筑中的阶段和区段划分，以及具体施工流程。

（1）“三阶段”：准备阶段、施工阶段和竣工验收阶段；“四区段”：填筑区、平整区、碾压区、检验区；

（2）“八流程”：施工准备→基底处理→分层填筑→摊铺整平→洒水或凉晒→碾压夯实→检测验收→整修成型。

34、三超前四到位一强化：指隧道施工必须强调的关键环节。

“三超前”：指超前预报、加固、支护；“四到位”；工法选择、支护措施、快速封闭、衬砌跟进到位；“一强化”：强化量测。

四字简语

1、四方：指工程建设中的四个单位：建设单位，设计单位，承建单位和监理单位。

2、四电：指铁路施工中的通信、信号、电力和电气化工程。

3、四新：指工程施工中，大力推广应用的新技术、新工艺、新设备和新材料。

4、四控：指施工质量、安全、进度和投资控制。若说“五控”，应加上环保控制。

5、四个一 ：施工和监理单位为了企业信誉和长远利益而提出的口号：建一项工程，立一座丰碑，树一方形象，交一方朋友（或播一路新风）。

6、四个同一：指每批钢材验收要求，应有同一牌号、同一炉号、同一规格和同一交货状态的钢材组成。

7、四不伤害：指不伤害自己，不伤害他人，不被他人伤害，保护他人不被伤害。

8、四不放过：指出现安全或质量问题或事故后的处理原则：

（1）没有找出真正的事故原因，即诱发此“事”的起源点，不放过；

（2）有关出错的责任人没有处理，没有深刻反省，没有接受教训，不放过；

（3）相关者乃至全体员工没有从中接受教育和吸取经验，不放过；

（4）没有制订出杜绝此类事故再发生的切实可行的措施，不放过。

9、四沟相通：指隧道的天沟、排水沟、侧沟及盲沟相通。

10、四个标准化：指现在铁路工程施工要求的四个标准化：管理制度标准化，人员配备标准化，现场管理标准化，过程控制标准化。

11、四阶段八步骤：指全员质量管理程序（PDCA循环工作法）。如此化分可使我们的思想方法和工作内容更加条理化、系统化、形象化和科学化。

（1）“四阶段”(PDCA)：计划（Plan），实施（Do），检查（Check），处理（Action）。

（2）“八步骤”是四阶段的具体化：找出质量问题→分析影响因素→找出主要原因→制定改善措施→按照措施执行→调查执行效果→总结经验教训→提出尚未解决的问题，进入下一个PDCA循环。

来源：中国施工企业管理协会