目 次

应用研究

全套管全回转与旋挖钻在岩溶地区大直径超长桩联合施工技术……于 芳 4
基于数值模拟的浅埋暗挖施工对既有管线保护方案的可行性分析 ……吕燕荣 9
动态膜组合快速氨氮生化一体化水处理设备中试试验研究 ……于 芳 祁 锋 孙 宇 曾佳楠 15
建筑废弃物应用于道路水稳层性能研究 ……陈建友 涂亮亮 范璐璐 刘 忠 20
基于探地雷达技术的沥青路面密度计算方法研究 ……江 建 刘 涛 张肖宁 27
颗粒彩色沥青及沥青混凝土路用性能研究 ……范璐璐 涂亮亮 刘 忠 陈建友 33

工程实践

天健公馆B座装配式建筑设计实践 ……刘艾轩 陈习之 40
天健西班牙小镇基坑支护设计优化 ……周保生 江 建 彭晓钢 47
天健智慧园项目抗拔桩设计优化及经济效益分析 ……温利明 周保生 李宏栋 李有志 51

经验交流

地下车库设计优化中的部分问题及对策 ……王 辉 54
共享观念与保障房住区建设探讨 ……龚红艳 58
公路路基路面压实施工技术措施分析 ……王峥嵘 62

简 讯

深圳市装配式建筑发展专项规划（2018-2020） …… 8
危大工程安全管理发生重大变化 …… 32
“一桩一柱”钢柱调垂精度偏差0.001 …… 39
污水处理厂如何出“污泥”而不染? …… 50
通过功能性转变提高房地产发展水平 …… 61
全球首台全智能型混凝土喷射机下线 …… 64
征稿通知…… 26

2018年06月出版 Vol.01
2018年 第1期 第01卷
（内部资料 业内交流）

《天健技术》杂志编辑委员会
主 任：韩德宏
副 主 任：宋 扬 王培先 童庆火 高建柏 何云武 尹剑辉 陈 强 张心亮
编 委：江 建 袁立群 于 芳 朱兴龙 罗燕山 陈 俭 胡鹰志 罗 诚
洪绍友 李 锋 赵晓宜 袁 平 杨建平 李文成 揭选松 李春雷
贾 彬 郭永平 杨益涛 侯 挺 彭晓钢 张宪彬 周保生 盛 宴
杨 勇 任 勇 范璐璐 郑志刚 黄小芳
主 编：江 建
副 主 编：刘艾轩

主 办：深圳市天健（集团）股份有限公司
编辑出版：《天健技术》编辑部
地 址：广东省深圳市福田区滨河大道5020号同心大厦2406
邮政编码：518033
电 话：0755-83541874
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：L018010008
刊头题字：童庆火

Contents

4 **Construction technology of large diameter and extra-long pile with full sleeve and rotary drilling in karst area**

Yu Fang

8 **Feasibility analysis of shallow buried excavation construction for existing pipeline protection scheme based on the numerical simulation**

Lv Yanrong

15 **Pilot study of Dynamic Membrane Combined with Rapid Ammonia Nitrogen Biochemical Integrated Water Treatment Equipment**

Yu Fang Qi Feng Sun Yu Zeng Jianan

20 **Study on the recycling of construction and demolition waste applied to the Cement stabilized base**

Chen Jianyou Tu Liangliang Fan Lulu Liu Zhong

27 **Research on the Density prediction of the Asphalt Pavement Based on Ground penetrating radar Technology**

Jiang Jian Liu Tao Zhang Xiaoning

33 **Study on the Service Performance of Particle Colored Asphalt and Asphalt Concrete**

Fan Lulu Tu Liangliang Liu Zhong Chen Jianyou

40 **Design practice of prefabricated building on Tagen Kungkuan Building B**

Liu Yixuan Chen Xizhi

47 **Design optimization of retaining and protection of excavationsin Tagen Xibanya Small Town project**

Zhou Baosheng Jiang Jian Peng Xiaogang

51 **Design optimization and economic benefit analysis of anti pull-out pile in Tagen wisdom Park project**

Wen Liming Zhou Baosheng Li Hongdong Li Youzhi

54 **Problems and countermeasures in the design optimization of underground garage**

Wang Hui

58 **Discussion of sharing idea and the affordable housing construction**

Gong Hongyan

62 **The road subgrade compaction technology analysis of measures**

Wang Zhengrong

Tagen Technology
Vol.1,No.1
Jun.2018

Editorial Board of Bimonthly of Tagen Technology
Chairman：HAN Dehong
Vice Chairman：SONG Yang WANG Peixian TONG Qinghuo GAO Jianbo
HE Yunwu YIN Jianhui CHEN Qiang ZHANG Xinliang
Members：JIANG Jian YUAN Liqun YU Fang ZHU Xinglong LUO Yanshan CHEN Jian
HU Yingzhi LUO Cheng HONG Shaoyou LI Feng ZHAO Xiaoyi
YUAN Ping YANG Jianping LI Wencheng JIE Xuansong LI Chunlei
JIA Bin GUO Yongping YANG Yitao HOU Ting PENG Xiaogang
ZHANG Xianbin ZHOU Baosheng SHENG Yan YANG Yong REN Yong
FAN Lulu ZHENG Zhigang HUANG Xiaofang
Chief Editor：JIANG Jian
Duty Chief Editor：LIU Yixuan

Edited and pubulished by：Shenzhen Tagen <Group> Co.,Ltd.,Shenzhen
Sponsored by：**Tagen Technology** (Group)Co.Ltd
Addres：Room 2406, Tongxin Building，No.5020，Binhe Avenue，Futian District，Shenzhen，Guangdong Province
Post code：518033
Tel：0755-83541874
Printed by：Shenzhen Xinhongzhao Culture Spreading Co. Ltd

创刊寄语

天健集团立足于深圳经济特区，发轫于市政工程，30多年来始终致力于建设宜居城市环境、提升城市生活品质，创造了城市建设的辉煌。这是一代又一代天健人筚路蓝缕、自强不息、敢于攻坚、勇挑重担的结果，也是天健人完善自我、锐意创新、崇尚科学的结果。

回望来路，是为了不忘初心；砥砺前行，方可创造更好的未来。面对经济社会发展的新形势、新挑战，天健集团结合自身实际，提出了用3～5年打造成为“城市建设与服务领域专业性领军企业”的目标。要实现这个目标，需要我们进一步创新机制、提升效率、拓展业务，但归根结底，需要我们强化技术创新和人才培养，持续提升集团的核心竞争力。没有一流的技术与技术团队，没有大师级的“灵魂”，何谈专业？何谈领军？

《天健技术》的创刊，是天健集团推动技术进步系列工作的重要一环，其目的在于为优秀的技术人才提供交流与进步的平台。希望每一位天健人都能利用好这个平台，积极投文递稿，在绿色建设、“四新”应用、智慧建设与管理、微发明微改造、专业性研发报告等方面分享自己的真知灼见，为集团技术工作的进步畅所欲言、献计献策。

万物有时，而科技之树常青。我期盼《天健技术》成为展示天健集团技术进步的窗口，成为营造集团崇尚科学、尊重人才良好氛围的助推器。我更期盼，《天健技术》能成为城市建设与服务领域行业交流的平台，在推动行业技术进步方面贡献天健的智慧与力量。

韩德宏

（天健集团董事长、党委书记）

应用研究

全套管全回转与旋挖钻在岩溶地区大直径超长桩联合施工技术

于芳
（深圳市市政工程总公司,深圳518109）

[摘　要] 结合江西省宜春市百荣百尚项目商业桩基施工工程，阐述了全套管全回转与旋挖钻在岩溶地区大直径联合施工的原理和技术，并详细介绍了施工方法，为今后同类施工提供了很好的参考。

[关键词] 全套管全回转与旋挖钻；岩溶地区；大直径超长桩；施工技术

Construction technology of large diameter and extra-long pile with full sleeve and rotary drilling in karst area

Yu Fang
（Shenzhen Municipal Engineering Corp.,Shenzhen,518109）

Abstract: According to Jiangxi city of Yichun province Bai Rong baishang pile foundation project, This paper elaborated the principle and construction technology of large diameter and extra-long pile with full sleeve and rotary drilling in karst area,and introduces in detail the construction method, it can provide a good reference for the same kind of construction in the future.

Keywords: full sleeve and rotary drilling; karst area; large diameter and extra-long pile; construction technology

0　工程案例

荣百尚宜春项目商业桩基施工工程 1 标段位于江西省宜春市中山中路南侧、二符路西侧。本标段场地内的商业部分工程桩55根，其中直径1.5m的工程桩共计15根，直径1.2m的工程桩共计40根，最长桩长达65m，平均桩长约50m。由于本场地内溶洞发育，采用冲孔或是旋挖成孔难度极大，先后有十余家桩基施工单位进场施工，均未能成孔而退场。后续选择采用全套管全回转钻机与旋挖钻机配合进行岩溶地超深桩施工，针对大直径入岩桩进场二台TRD2005D型全套管全回转钻机，一台TRD1500D型全套管钻机和二台SRX1050型旋挖钻机，采用“全套管全回转与旋挖钻在岩溶地区大直径超长桩联合施工技术”，通过配置来弗冲击锤提高刻岩效率，长套管护壁等措施，在合同工期内圆满完成施工任务。

1　全套管全回转与旋挖钻

1.1　工作原理

全套管全回转钻机是集全液压动力和传动、机电液联合控制于一体，可以驱动套管做360度回转的新型钻机，压入套管和控制同时进行，具有新型、高效、环保的特点。具体施工原理为：利用全套管全回转钻机的回转，使钢套管与土层间的摩阻力大大减小，边加转边压入，同时利用冲抓斗、冲击锤挖掘取土或旋挖取土，直至套管下到桩端持力层为止。挖掘完毕后，立即测量孔深确认持力层，满足要求后进行清孔，安装钢筋笼，最后浇灌混凝土成桩完成。

本项目如只采用旋挖钻机成孔，由于存在有串珠状的溶洞，成孔过程中易发生塌孔、卡钻、埋钻、斜岩等事故，成桩质量较差，有些地层甚至不能成桩；如只采用全套管全回转钻机成孔，刚在入岩时，速度会比旋挖慢，另外在水下冲抓速度也会比采作旋挖掏土慢。所以采用二种工艺相结合，利用全回转套管护壁，垂直度好，不发生斜桩，不会有孔内事故的特点，与旋挖入岩掏土速度快的优势结合，充分发挥了两种施工工艺的长处，在岩溶地质中施工钻孔灌注桩取得了良好的经济效益和社会效益。

1.2　技术特点

1）垂直度高：采用全套管全回转钻机的垂直精度可以控制在千分之一以内。

2）无塌孔：采用全套管跟管钻进，无需使用传统钻进的泥浆护壁工艺（即无需泥浆），采用抓斗或旋挖取土，这个过程中不存在塌孔现象。

3）入岩效率高：软岩可以直接用抓斗抓取，硬岩层用旋挖钻机入岩速度很快，以1.5m直径桩基为例子，岩石强度35MPa，钻机速度为1m/3小时。

4）可穿过孤石、旧基础等：本场地内的孤石较多，单一采用旋挖钻机或是其它冲孔钻机，对孤石地层施工中容易发生偏桩、斜桩等事故，采用全套管全回转钻机可直接穿透孤石和旧基础，较好地解决了成桩过程中的地质障碍。

5）充盈系数小：由于采用了全套管跟进，全套提供了护壁作用，桩基的充盈系数也得到有效的控制。另外全套管全回转钻机成孔时对周边土层扰动很小，其充盈系数也会很小。

6）操作安全可靠。工作人员基本在机械驾驶室内操作，基本不存在安全隐患。

7）环保效果好：全回转采用全套管跟进，无须泥浆护壁，减少了对环境的污染。全回转钻进相比其他钻机声音较小，做到了环保施工。

2　全套管全回转与旋挖钻施工要点

2.1　平整场地及硬化

施工范围确定后，需要用机械对场地进行平整，便于全套管全回转钻机施工，此外还要有不小于200m^{2}的场地做套管堆场。本工程采用了钢筋混凝土硬化面层，硬化时留出桩位不硬化，留出的空位比桩径大约20cm，见图1。由于全套管机械的起拔力较大，硬化的钢筋混凝土厚度不小于20cm。桩孔中抽出积水时在四周设排水沟和集水井等，经过沉淀后且符合要求即排入下水管道。

2.2　施放桩位

施放桩位必须采用经过定期检验的全站仪进行施放，测量精度必须满足相应建筑施工规范要求。根据施工网格定控制线来定桩位，再按照桩位图给全部桩编号，然后放桩位设样桩。施工前应该复核现场轴线，同时桩基施工不应该影响到轴线控制点。最后，桩位必须再复核一次，不能有错。

图1　场地平整硬化

2.3　钻机就位对中

DTR系列全套管全回转钻机需要采用吊装对中，应确保全套管全回转钻机的转盘中心与桩中心点重合，见图2。做法是，根据已施放的中心点，按设计桩径用白灰划出桩边线；把路基板吊到桩位上，使其内孔正好框住桩边线；然后请测量人员到位，观察后如无偏差则可将全回转钻。

图2　钻机就位

图3　安设旋挖机施工平台（钢桁架货叉式双联平台）

2.4　安置套管

调整机器水平并保证4个支脚油缸均匀受力，钻进时在距钻机十多米处安置两夹角90° 吊绳进行观察，随时纠偏；在主副夹具完全打开的情况下放入刀头节套管7.5m，吊放过程中不要与主机机体碰撞；保证套管头与地面有150mm的距离夹紧套管，

同时观察水平情况，可做微量调整，并随时用经纬仪或测锤监测；借助钻机上的楔形夹紧装置夹紧套管，并使套管保持1/200以上的垂直精度。

图4　套管安装

2.5　校核钻孔垂直度

为保证钻孔垂直度和施工中随时修正套管角度，需要钻机设有垂直度装置，见图5。必须竖直地埋第1、2节套管，因为它决定了桩孔垂直精度。细心压入第1组套管以保持精度，它几乎决定了全套管桩的垂直精度。用2组测锤或2台经纬仪从两个正交方向校正其第1组套管安装好后的垂直度，边校正、边回转套管、边压入，不断校核垂直度。本项目在米行程中都要求观测垂直度一次，偏差超过1/200以上就要进行垂直度的重新校核。

图5　套管垂直度校正

2.6　土层及岩层钻进

钻机回转钻进时需观察扭矩，压力及垂直度的情况，并做好记录。把旋挖钻机开动到作业平台，将钻机钻头放入钢护筒，钻土中使旋挖钻机钻杆与钢护筒中心轴在同一轴线上，确保桩有足够的垂直度，从而钻机钻头与钢护筒不会碰撞而导致磨损。一边回转钻进一边取土，每次钻进1～3m，保持套管旋转状态且不下压，同时采用抓斗取土。取土后测量取土深度，管的底部留有两倍直径的土。钻机平台上留有1m的套管没有钻进时，测量取土深度，处理套管接口，接下一根套管。注意的是，管口要除锈，涂油脂，加保鲜膜，以便于拆装。连接套管后继续钻进。把6m的套管吊装起来进行连接，连接时保养过的螺栓要均匀加力且对称同时紧固。进行钻进取土施工，重复以上过程。作业时遇有不均匀地层或卵石层时，应采用蠕动式作业，要多回转少压入，缓慢穿过。当钻进到设计深度后，如发现孔的垂直度不符合设计要求，则用旋转钻机进行修孔，确认旋挖段的桩孔与上部钢护筒基本在同一条竖直线上，下一步可开始清孔。

当套管进入岩层后，可以用冲锤在套管内进行岩石破碎，后用旋挖掏土将石渣取出。也可以单独用旋挖掏岩，但是用冲锤及旋挖配合掏土，效率要高出50%以上。

图6　施工中使用的钻头、抓斗、冲锤

图7　全套管全回转钻机与旋挖钻机组合施工

2.7　第一次清理桩孔

钻孔钻进到设计标高时，减慢旋挖钻机速度，用双底捞渣钻头将孔底悬浮的沉渣掏出。处理孔底使其平整以及无污泥、松渣等软土层，孔内沉渣厚度小于3cm，同时桩嵌入岩层的深度大于3倍的桩径并达到设计要求。第一次清孔完成后及时向驻地监理工程师报检。

图8　双底捞渣钻头

2.8　安放、对接钢筋笼

钢套管的内径比钢筋笼的外径比大10cm～20cm

为宜。钢筋笼的吊装可采用三点或四点吊装法，用此法钢筋笼不易产生弯曲、变形，也能保证顺直度。当桩长度比较大时，钢筋笼应当分节制作、安装，采用焊接链接。注意点：钢筋笼的主筋要均匀分布，扎丝内收，防止在灌注桩身混凝土后，上提套管时带动钢筋笼向上浮动。

图9　钢筋笼对接及安装

2.9　安装导管

桩孔检验合格，吊装钢筋笼完毕后，安置导管，灌注混凝土。导管安置应符合下列要求：

1）内壁应光滑内径圆顺，直径为20～30cm，每节长度宜为2.5m。

2）不漏水，使用导管前应进行水密承压和接头抗拉试验，严禁用气压。

3）导管与桩孔轴线偏差不宜超过孔深度的0.5%，且不超过10cm。

4）导管采用螺旋丝扣型接头时，必须有防松动脱落的装置；采用法兰盘接头时，宜加锥形活塞。

使用的隔水球应制作细致，长度应不大于200mm。

图10　导管安装

2.10　第二次清孔

下放钢筋笼后，将灌注导管下入孔底10mm处。从灌注导管内插入风管至导管2/3处，风压管的另一头引出与空压机组连接；保证泥浆一定的高度，在出渣口放接渣篮子。空压机启动清孔后，等到接渣篮里没有沉渣，测孔内沉渣的厚度，满足要求后测量泥浆比重，泥浆达到标准后，可停止清孔，准备灌注混凝土。

图11　气举反循环清孔

2.11　灌注混凝土

悬挂隔水塞，并将其放在导管内的水面之上。灌注首批混凝土后，剪断悬挂隔水塞的铁丝，使其和混凝土拌合物顺导管而下，将管内的水挤出来，隔水塞脱落留在孔底的混凝土中。灌注混凝土时控制第一次灌入量，导管下面有0.80m以上在混凝土中，在混凝土灌注的过程，混凝土面的上涨速度大于2m/h，保持导管有2～6m在混凝土面以下。要使导管在中间位置，提升时不能使钢筋骨架发生移动，如果骨架有向上提升，则停止向上提升，降落导管，轻摇使其脱离钢骨架。在距离桩孔端部5m以内可以不用提升导管，在最后灌注到设计高度后将导管一次性拔出。灌注混凝土必须超出桩顶0.5～0.6m，这是为保证桩顶凿掉浮浆后的强度。灌注完成拔出导管时要注意拔管及时，以及最后一次拔管速度放缓防止孔内泥浆进入桩内。在混凝土灌注时，要随时测量浇筑的混凝土面的标高，超灌高度需控制严格。水下灌注混凝土过程中，要安设污水泵及时将水排出以防止泥浆漫出。灌注结束后，应立即对每节套管螺丝连接和导管进行清洗，以备进行下一次灌注使用。

图12　混凝土浇筑

2.12　混凝土初凝前拔起套管

在混凝土初凝前拔起钢护筒。起拔套管前，让套管在10度的平面范围内左右搓动一分钟左右，使套管壁和混凝土完全脱离。套管的拔起是在混凝土进入套管一节的长度之时。当遇到岩溶地层时，须要在穿过溶洞的位置给钢筋笼外侧包裹一层塑料网

或者铁丝网，从而避免混凝土在钢护筒拔起后流散到溶洞中。

图13　套管拔出

2.13　施工全过程监测

混凝土的搅拌要检验原材料的计量和质量、混凝土强度等级、坍落度、混凝土配合比。钢筋笼的加工制作要检验钢筋规格和焊条规格、品种；焊口的规格；焊缝的质量、长度和外观；主筋和箍筋的制作偏差。钻桩孔时，应注意孔中心位置、孔的直径、孔垂直度、孔深、孔底沉渣厚度；钢筋笼的放置位置；泥浆性能参数；桩端的持力层情况。成桩之后要检验桩位的偏差程度、成桩的质量以及承载力。

3　结语

通过多个岩溶地区大直径超长桩桩基工程项目的施工实践表明，针对施工现场的实际条件，通过采用全套管全回转与旋挖钻联合施工工艺，能

图14　现场混凝土质量检测

较好地解决在岩溶地区泥浆护壁已经不适用、斜岩面的处理及垂直度较难控制、溶洞中的卡钻掉钻等事故频发等问题，节省了项目成本，达到了施工效率高、综合成本低、现场管理简便、施工安全的目标。该项技术创新点突出，简便易行，是对灌注桩施工方法的突破、提升和创新，尤其是对岩溶地区大规模兴建的建筑深基坑土石方工程来说，该工艺技术具有现实的指导意义和推广价值，市场前景将十分广阔。

参考文献：

[1]王永才,全回转全套管钻机成桩施工技术[J]石家庄铁道大学学报,2014(1):52-54

[2]宋志彬，冯起赠，和国磊，许本冲，刘晓林，刘家誉，全回转套管钻机和全套管施工工艺的研究[J]探矿工程，2013,40(9):29-31

简　讯

深圳市装配式建筑发展专项规划（2018-2020）

发展装配式建筑是建造方式的重大变革，是推进供给侧结构性改革和新型城镇化发展的重要举措，有利于节约资源能源、减少施工污染、提升劳动生产效率和质量安全水平，有利于促进建筑业与信息化工业化深度融合、培育新产业新动能、推动化解过剩产能，促进建筑产业转型升级。深圳市全面加快发展装配式建筑，必须落实党的十九大精神和习近平总书记在中央城市工作会议上重要讲话精神，按照“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局，坚持质量引领、创新驱动，大力推进广东省“四个坚持、三个支撑、两个走在前列”和深圳市建设现代化国际化创新型城市、国家装配式建筑示范城市的各项重要工作部署。根据《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》、《中共中央国务院关于开展质量提升行动的指导意见》、《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》、《住房和城乡建设部“十三五”装配式建筑行动方案》、《广东省人民政府办公厅关于大力发展装配式建筑的实施意见》、《中共深圳市委 深圳市人民政府关于进一步加强城市规划建设管理工作的实施意见》和深圳市建设事业发展“十三五”规划，结合我市实际和发展要求，编制了《深圳市装配式建筑发展专项规划（2018-2020）》本规划。本规划是2018-2020年深圳市发展装配式建筑、落实示范城市建设任务的指导性、纲领性文件。

本规划就深圳市装配式建筑发展现状、总体要求和发展目标、主要任务、保障措施四个方面做了阐述。并对2018-2020年度项目实施范围比例、分区规划、重点片区规划、各年度实施计划要点做出了详细的规划。

深圳市住房和建设局

应用研究

基于数值模拟的浅埋暗挖施工对既有管线保护方案的可行性分析

吕燕荣

（深圳市市政工程总公司路桥分公司，深圳518034）

[摘　要]　由于城市发展，随着城市的交通量增加，为了打通两条道路之间的连接通常采用浅埋暗挖的施工技术下穿现状道路；由于现状道路存在既有管线（燃气、输油），施工期间需采用管道保护的措施，为了分析施工期间对既有管线（燃气、输油）的影响，本文采用MIDAS/GTS软件利用数值模拟的方法对隧道施工进行模拟，并建立管线与隧道之间的模型关系。通过对比分析管线保护方案模型与管线未保护方案模型，进行数值分析既有管道保护方案的安全性。

[关键词]　MIDAS/GTS；　管线保护；　数值分析；　浅埋暗挖

BFeasibility analysis of shallow buried excavation construction for existing pipeline protection scheme based on the numerical simulation

Lv Yanrong

(Shenzhen municipal engineering corporation Road and bridge branch,Shenzhen,518034)

Abstract: Due to the urban development, with the increase of the traffic volume of the city, in order to open up the connection between the two roads, it is usually adopted under the construction technology of shallow buried excavation. Status due to road exists both pipeline (gas, oil), during the period of construction, pipeline protection measures required in order to analyze the existing pipeline (gas, oil) during the course of the construction, the influence of this article USES the MIDAS/GTS software using numerical simulation method for simulating the tunnel construction, and establish a model of relationship between pipeline and tunnel. Through the comparison and analysis of the pipeline protection scheme model and the pipeline unprotection scheme model, the safety of the existing pipeline protection scheme is analyzed.

Keywords: MIDAS/GTS; pipeline protection; numerical analysis; shallow-buried excavation

0　工程概况

本工程为科技中二路下穿北环大道接朗山二号路，隧道采用浅埋暗挖法；双洞闭合框架总长433m，U槽总长252m。项目改造起点南接高新中二路，在北环大道南侧以隧道形式下穿北环大道，过北环大道后爬至地面，线路继续向北与新西路及齐民路均形成右进右出路口，与朗山路、宝深路等形成十字交叉。

本次节点的打通，主要承担北环大道南北两侧交通的联系。道路为城市次干道，主路下穿北环大道，采用双向4车道，辅路布置在两侧，采用双向二～四车道，辅路与北环大道形成右进右出路口；道路改造全长约1.7km，设计车速为40km/h。

暗挖段全长335m，采用浅埋暗挖法施工。隧道断面形式为直墙坦拱连拱断面，采用复合式衬砌结构，即初期支护由喷射混凝土、锚杆（管）、钢筋网、刚拱架组成，二次衬砌为钢筋混凝土结构，初、二衬之间设置夹层防水板。双洞开挖跨度为

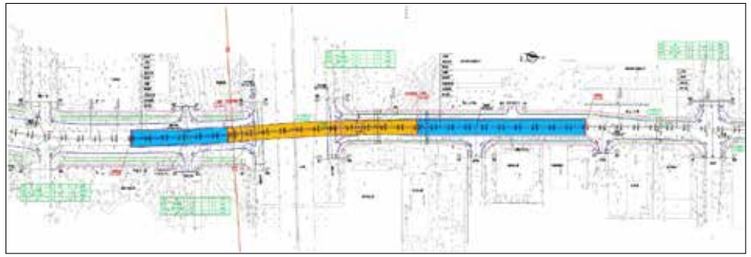


图1　下穿工程平面图

21.3m，开挖高度7.7m，结构覆土厚度约3～10m。

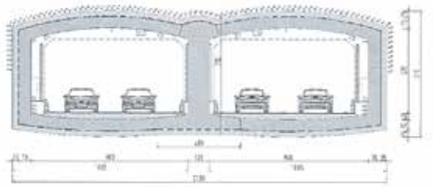


图2　暗挖隧道横断面图

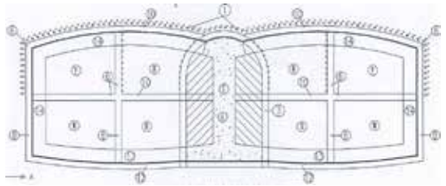


图3　暗挖隧道施工工序

1　管道基本情况

下穿隧道工程中科技北二路与科技中二道连接隧道，与现有三处燃气管及输油管道（次高压燃气钢管DN500,次高压燃气钢管DN600及输油钢管DN600）交叉，设计隧道拱顶与既有管道距离为5米以上。

表1　输油、燃气管道概况

序号	产权单位	管道直径	设计管道压力（KPa）	介质	备注
1	中国石化	DN600	9500	石油	需防护管线
2	大鹏燃气公司	DN600	9200	天然气	
3	深燃集团	DN500	500	天然气	

2　管道保护方案设计

为防止隧道施工过程中可能引起管道沉降，确保施工期间的管道安全，现对该隧道途经的三处管段(包含两处次高压燃气管和一处输油管)采用桩

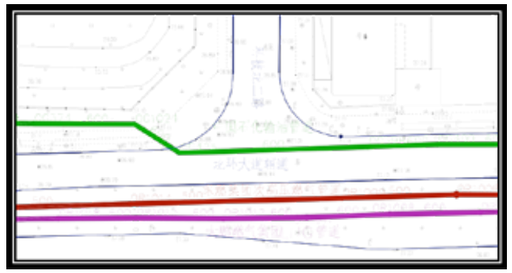


图4　北环大道管线平面图

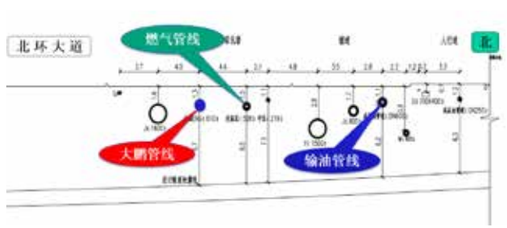


图5　被保护管线与暗挖隧道关系立面图

基承载贝雷架，贝雷梁托架管道的措施进行加固防护。管道保护结构图如下图所示。

保护施工顺序如下：

开挖→挖桩→施作承台→架设钢梁→搭建贝雷梁→安装吊带→布置监测点→隧道下穿施工→隧道下穿完成→拆除贝雷梁并恢复路面。

3　管道保护方案数值模拟分析

3.1　几何模型的建立及网格划分

北环大道下穿工程下穿既有管线的数值模拟模型建立如下：

1）模型边界按照洞室中心外3～5倍洞室特征尺寸的原则确定，因此，模型尺寸为100m×150m×50m(长×宽×高)；

2）模型中的土体、管道、隧道支护、桩、承台、吊带采用实体单元进行模拟;最终，模型包含实体单元(zones)189709个，节点(grid-points)40889个，所建立的总体模型见图8。

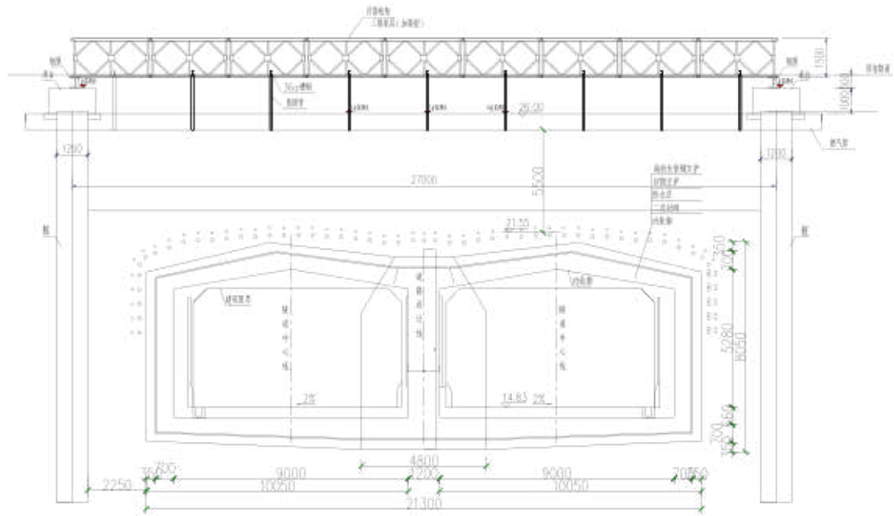


图6　贝雷桁架立面图

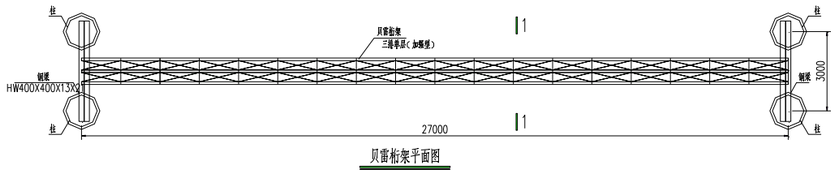


图7　贝雷桁架平面图

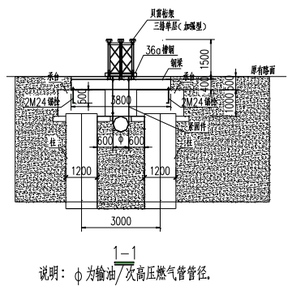


图8　管道保护细部结构图

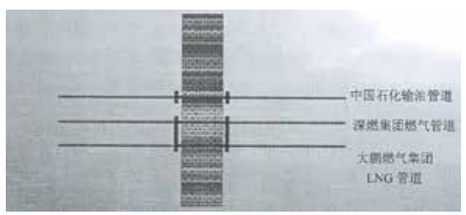


图9　北环大道下穿工程与既有管线平面位置关系

根据施工方案，本下穿工程拟采用中洞法施工。

数值模拟分析计算过程如下：

隧道中导洞开挖及支护施作→隧道侧导洞开挖及支护施作→隧道二衬封闭成环→拆除横撑施工，计算共分50步完成下穿工程的施工。

3.2　岩土体及管道材料参数的确定

在综合考虑场地的岩土工程勘察结果和数值模拟的计算需求后，对岩土体的基本参数进行取值。根据地勘报告并结合模型计算需要，将计算范围内土体简化分为3层，各层厚度及物理力学参数见表1。

计算中，既有管线的本构模型采用具有连续屈服特征，无明显的屈服平台,具有非常高的延伸率的弹性—均匀塑性型。

岩土体对管道的影响在模拟中是通过共用节点对来实现的。即施工引起的周围应力重分部通过岩土体的节点，传导到管道的节点上，引起管道材料的应力应变响应。本工程包含内部存在高压的天然气管道，外部介质的微小扰动都可能引起管道的部分形变，使局部范围产生微裂纹甚至裂缝，再在其

表2　岩土体物理力学参数表

编号	材料名称	重度(KN/m³)	弹性模量(MPa)	泊松比	粘聚力(kPa)	内摩擦角(°)
1	素填土	1800	5.56	0.2	19.3	18.7
2	黏土	2050	10	0.2	21.6	12
3	全风化粗粒花岗岩	2060	40.476	0.22	300	51

内部高压的作用下，将会使裂纹加速扩张引起管道破裂，最终可能会造成天然气的泄漏，其后果将不堪设想。

同时在考虑其应力应变值时,参考《输气管道工程设计规范》(GB50251-2015)中的相关规定。采用输气管道径向稳定性要求：当管道埋设较深或外荷载较大时，按无内压状态校核其稳定性（本例为高压管道，若无内压时都没有达到要求，则高压状态时更不能达到稳定性要求）。

如前所述，既有管线以及模型中的混凝土材料采用弹性模型进行模拟，考虑结构的小变形，各材料相关参数如表3。

表3　既有管线及混凝土材料参数

模型	p(kg/m³)	E(GPa)	v
管道	7850	206	0.28
注浆材料	2300	25.5	0.2
初支护混凝土材料	2400	25.5	0.2
二衬混凝土材料	2500	30	0.2
桩	2500	30	0.2
承台	2500	30	0.2
吊带	2500	30	0.2

3.3　模拟结果及分析

北环大道下穿工程穿越既有燃气、石油以及热电管道在模拟计算中考虑了支护结构以及隧道施工的全过程。分析中在与新建隧道交叉的管线的顶部设置测点，分析其沉降值随施工的变化，并考虑隧道开挖对管道整体沉降的影响。下穿隧道与上部管线总体沉降如图10所示。

3.4　穿越段管道顶部测点沉降历时

既有管线顶部沉降历时反映了隧道开挖施工过程对管线沉降值变化的影响趋势。模拟计算中分别选取各管线顶部测点的沉降值作为沉降历时的研究对象，各测点的沉降历时曲线见图11。从图中可以

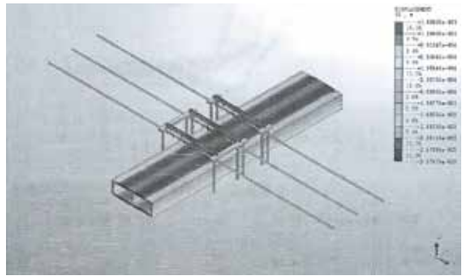


图10　隧道与管线沉降图

看出，横坐标代表施工步，各测点的沉降历时曲线均经历了“施工到达前的微小影响阶段→施工到达过程的快速沉降阶段→最终施工完毕之后的沉降稳定阶段”。由于隧道施工到达各测点的时间不同，所以各测点三阶段变化规律的开始节点有所不同。

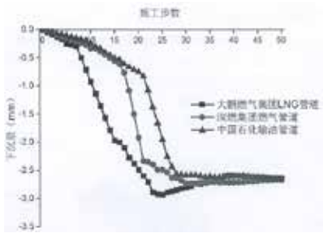


图11　各管线测点沉降历时曲线

最终，各管线上测点的沉降值均达到一个稳定的值。各测点最终沉降值见表4，表中负值表示沉降。

表4　各管线测点最终沉降值

管线	沉降值（mm）
大鹏燃气集团LNG管道	-2.64
深燃集团燃气管道	-2.67
中国石化输油管道	-2.65

3.5　穿越段管道顶部测点沉降速率

施工阶段管线沉降速率从一定程度上反映既有管线的稳定性，本报告对上节中各点的沉降进行了

沉降速率分析见图12～图14沉降速率以后一步与前一步沉降值的差值进行计算，图中横坐标表示模拟计算的施工步，纵坐标表示沉降速率。

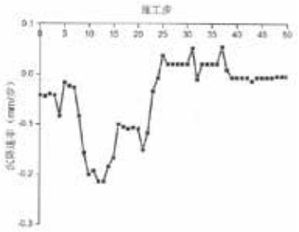


图12　大鹏燃气集团LNG管道沉降速率曲线

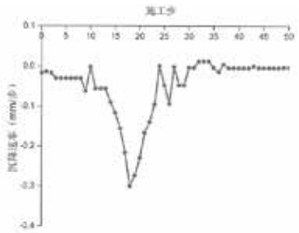


图13　深燃集团燃气管道沉降速率曲线

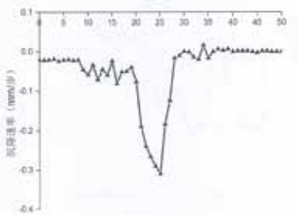


图14　中国石化输油管道沉降速率曲线

比较各点沉降速率曲线可以发现，各管线沉降速率变化规律大致相同，基本可分为四个阶段；沉降速率的缓慢增加、急剧增加、急剧下降和稳定。由于隧道较早通过大鹏燃气集团LNG管道，故在隧道施工开始的12-16步期间其沉降速率较大，大约在隧道通过之后，第25步左右管道沉降速率开始逐渐趋于稳定，速率在38步之后其值接近为0。由于大鹏燃气集团LNG管道与深燃集团燃气管道在隧道施工前同时加固，并通过桁架悬共同架设在同一承台上，其沉降会相互影响，所以深燃集团燃气管道初期沉降规律与大鹏燃气集团LNG管道相近，在17-24施工步间其沉降速率剧增，38步后趋于稳定并趋向于0。中国石化输油管道初期沉降速率较小，在23-27施工步隧道下穿期间其沉降速率骤增，36步之后趋于稳定并趋向于0。各管线沉降速率详见表5。

表5　各管线测点沉降速率详表

监测管道	沉降速率峰值（mm/步）	速率急剧增大时施工步	速率最大时施工步	速率稳定时施工步
大鹏燃气	-0.214	7	12	38
燃气管道	-0.300	14	18	38
中国石化	-0.308	19	25	36

3.6　管道整体沉降趋势

既有管道顶部测点的整体沉降趋势反映了下穿隧道开挖后管道的整体形变形态，因此，本文在计算中对此加以讨论。取距隧道中心两侧各40m，共80m的管道研究，施工完成后各管道整体沉降趋势见图15。计算中取管道顶部测点为沉降值的研究对象，图中横坐标表示测点距隧道中心线的距离。

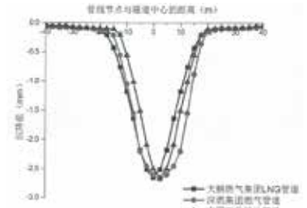


图15　隧道施工完毕后各管线最终沉降

从上图可以看出，各管线整体变形在下穿隧道正上方附近为最大值，三条管线整体变形趋势满足正态分布，与Peck提出的分布规律相吻合。最终各管道具体沉降值见表6。

表6　各管线沉降值

管道	最大沉降值（mm）	最小沉降值（mm）	差异沉降值（mm）	变形预警值（mm）	变形控制值（mm）
大鹏燃气集团管道	-2.64	-0.065	2.575	5	10
深燃集团燃气管道	-2.67	-0.039	2.631	5	10
中国石化输油管道	-2.65	•0.034	2.616	5	10

3.7　加固效果评价

为体现出施作加固措施以后对沉降控制的效果，建立了尺寸为100m×150m×50m(长×宽×高）的对比模型。对比模型采用直接下穿，对隧道上方的三条管线不施加任何加固措施，模型的管线及隧道尺寸以及各种材料特性参数都与之前施作加固措施的模型相同，两者的唯一区别就是有无加固措施。

图16　新建隧道与未加固管线的总体沉降图

从图16可以看出隧道下穿造成未加固管道沉降明显增大，沉降值最大处为隧道中心线与管线相交处，三条管线发生沉降量最大的管道为大鹏燃气集团管道，其次为中国石化输油管道和深燃集团管道。由于管道在无任何外部人为干扰情况下进行新建隧道下穿施工，其自身沉降值取决于管道自身因素、施工因素以及地质条件因素，其中管道自身以及施工为主导因素。大鹏燃气集团管道与中国石化输油管道其管径为600mm，而深燃集团燃气管道管径为500前者管道自重大于后者，因此在施工扰动下沉降值相较较大。由于隧道较早通过大鹏燃气集团LNG管道，管道初期沉降值较大，相比其他管道所受施工扰动时间较长，沉降到达稳定所经历的时间较长，因此大鹏燃气集团管道沉降值较大。

对比图10和图16可以得出加固以后管道的沉降大幅度降低，可见有无加固对管道的沉降影响显著。管道有无加固工后沉降效果对比具体见表7。

表7　有无加固措施沉降对比表

管道	最终沉降值(mm)		差异沉降值(mm)	
	未作加固	加固后	未作加固	加固后
大鹏燃气集团管道	-33.21	-2.64	31.48	2.575
深燃集团燃气管道	-30.89	-2.67	28.34	2.631
中国石化输油管道	-32.07	-2.65	30.99	2.616

从表中可以看出管道施作加固措施以后不仅仅大大缩减了沉降值（管道最大沉降值由原来的-33.21mm降为了-2.67mm），还有效的控制了差异沉降（管道最大差异沉降值由原来的31.48降为了2.631mm)。在有效的控制管线沉降的前提下，还消除了管道自身因素、施工因素以及地质条件因素对管道沉降的影响，使得三条管道之间的沉降差异减小，使得管道沉降控制得到了大大的保障。

4　结论和建议

通过对北环大道下穿工程下穿加固后的既有管线进行数值模拟计算。对各点沉降值与施工步的变化关系以及管线整体沉降与施工步序关系进行分析，可得如下几点结论：

1）各管线的最大沉降值均出现在与新建下穿隧道相交的位置，其中深燃集团燃气管道的沉降值最大，为-2.67mm，满足带压管道所允许的的安全工作限值。

2）各点的沉降历时曲线均经历“施工到达前的微小影响阶段→施工到达过程的快速沉降阶段→最终施工完毕之后的沉降稳定阶段”这三个阶段。由于隧道施工时掌子面到达各测点的时间不同，所以各测点三阶段变化规律的时间节点有所不同。

3）既有管线的总体沉降趋势整体上满足正态分布，符合Peck经验公式所给出的描述。

4）各管线测点沉降速率随施工步变化大体趋势一致，沉降速率经历缓慢增加、急剧增加、急剧下降和稳定四个阶段，其中中国石化输油管道的沉降速率峰值最大为-0.308mm/步。

5）管道加固后有效的控制北环大道下穿施工对管道沉降影响，相比于未施作加固直接下穿施工所得到的管道沉降值，能显著降低管道沉降，降幅约为92%。

6）本次的数值模拟分析均是在理想状态下进行的，考虑了各种假设和简化，能够反映北环大道下穿隧道施工对既有管线沉降变形的影响，具有一定的参考价值。

参考文献

[1]CJJ221-2015城市地下道路工程设计规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2015

[2]JTG/T D70-2010公路隧道设计细则 [S].北京：人民交通出版社，2010

[3]JTG D70-2004公路隧道设计规范[S].北京：人民交通出版社，2004

[4]JTG F60-2009公路隧道施工技术规范[S].北京：人民交通出版社，2009

[5]SJG 05-2011深圳市深基坑支护技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2011

[6]GB50494-2009城镇燃气技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2009

[7]GB50183-2004石油天然气工程设计防火规范[S].北京：中国计划出版社，2004

[8]GB50251-2015输气管道工程设计规范[S].北京：中国计划出版社，2015

[9]李治，Midas/GTS在岩土工程中应用[M].北京：中国建筑工业出版社，2013

应用研究

动态膜组合快速氨氮生化一体化水处理设备中试试验研究

于芳[1]，祁锋[2]，孙宇[2]，曾佳楠[2]

（1.深圳市市政工程总公司，深圳518109；2.南京瑞迪建设科技有限公司，南京210029）

[摘　要] 为了解决“坪山新区雨污水管网工程（坪山片区）”管网未建成期间的排污问题，迫切需要体积小、效率高、处理能力强的一体化水处理设备对排污口的污水进行处理，如何选择或开发适合的一体化水处理工艺和设备成为问题的关键。本文以六联浪尾排洪渠尾段水为对象，采用SDAF-EMSR-DM（动态膜组合快速氨氮生化）一体化水处理设备进行污水净化处理中试研究。结果表明：一体化中试装备运行稳定，试验阶段为期30天，对水体污染物去除效果显著，COD平均去除率达到77.06%，NH3-N平均去除率达到85.04%，SS平均去除率达到98.38%，色度平均去除率达到96.32%；三个模块处理效果显著，生化阶段水力停留时间最短可达到3.12 h；出水满足《城市黑臭水体整治工作指南》消除黑臭的标准及《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级B类标准，部分指标达到一级A类标准。因此，SDAF-EMSR-DM一体化水处理设备满足坪山区污水应急处理的要求。

[关键词] 一体化；动态膜； 水处理； 快速； 氨氮

Pilot study of Dynamic Membrane Combined with Rapid Ammonia Nitrogen Biochemical Integrated Water Treatment Equipment

Yu Fang[1], Qi Feng[2], Sun Yu[2], Zeng Jianan[2]

(1.Shenzhen municipal engineering corp.,Shenzhen,518109; 2.Nanjing R&D Tech Group Co., Ltd.,Nanjing,210029)

Abstract: In order to solve the "rain sewage pipe network engineering (Pingshan Pingshan area)" sewage pipe network is not built during the period of the urgent need for small volume, high efficiency, strong processing capacity of the integrated water treatment equipment for sewage treatment, how to choose or develop a suitable integrated water treatment process and equipment is the key to the problem. In this paper, tail water of liulianlangwei floodway was taked as the object, SDAF-EMSR-DM integrated water treatment equipment was used to Pilot study on sewage purification treatment. The results show that the equipment is stable in the integration stage, the test period of 30 days, the sewage pollutant removal effect, the average removal rate of COD reached 77.06%, the average removal rate of NH3-N reached 85.04%, the average removal rate of SS reached 98.38%, the average color removal rate reached 96.32%. The effluent meets the guidelines for remediation of urban black and odorous water bodies, eliminates the standards of black and foul odor, and ranks the first class B standards in the municipal wastewater treatment plant pollutant discharge standard. Some indexes reach a standard of class A. Therefore, SDAF-EMSR-DM integrated water treatment equipment meets the requirements of sewage emergency treatment in Pingshan.

Keywords: Integrated; dynamic membrane; water treatment; quick; ammonia nitrogen

0　引言

“十三五”规划明确提出确保2020年实现生态环境质量总体改善的目标。其中水污染防治、生态治理是关键问题、焦点领域。2015年“水十条”发布以来，环境保护部已与31个省（区、市）签订了水污染防治目标责任书。深圳市是我国最具经济活力的城市

之一，在几十年改革开放的大跨越发展中取得了全国瞩目的成就，但城市发展过程中也出现环境污染的问题，城市河道由于居民生活的集中、企业的无序排放等原因开始变黑变臭、生态遭到破坏。坪山区作为开发新区，在整个片区河道水系、排水排污管网系统未完善的情况下，亦出现黑臭问题。“坪山新区雨污水管网工程（坪山片区）”总承包工程的一个重要任务就是片区内黑臭河道治理、污水处置。考虑坪山河流域内的河道实际情况，目前面临以下问题：①排水口有污水排出，整体管网建设计划仍要近3年才能完成，施工期间无法保证彻底的截污控源；②部分排污口的水量较大，普通污水处理设备占地大，不能及时进行污水处理；③工程范围内存在大量居民生活区，生活污水需要处理，但体积较大的常规污水处理设备受施工场地限制，无法实施。因此，在坪山区河道管网建成之前，为了保证坪山河流域水质满足深圳市污水排放标准的一级B要求，迫切需要体积小、效率高、处理能力强的一体化水处理（应急）设备对排污口的污水进行水质处理。

国外学者[1]很早就提出废水处理设备一体化概念，同时指出一体化设备在废水处理系统中最具经济潜力。从20世纪60年代就开始运用先进技术制造污水处理设备，如今有些专家正努力把不同的处理工艺集成到新产品中。美国的PRISTINE公司[2]研究开发的Pristine Aquarius废水处理系统便是一个简易、轻便而高效的废水处理设备。德国普罗名特流体控制有限公司[3]开发的污水处理设备，以膜过滤系统作基础，包括反渗透、微滤、超滤等工艺设备，主要处理不溶性或无机盐浓度高的废水诸如电子、酿造、饮料等行业废水。日本目前已开发了具有固体处理单元的小型净化槽（WDU）和新型膜分离净化槽[4]。挪威在没有任何集中污水收集系统的乡村地区，采用就地处理污水，常常使用预制的集成式污水处理设备。我国在20世纪80年代至90年代是城市污水处理设备高速发展时期，大量从国外引进设备投资处理厂建设，形成一股热潮，使得我国的水处理设备技术有了质的提升[5]。本世纪，相关方面发展迅速，有些设备已经达到甚至超过发达国家的水平，并且根据我国实际情况生产适宜的设备[6]。设备采用的工艺从原来单一的活性污泥法或生物膜法逐渐发展到多种方法结合的复合工艺。张秋跃等[7]开发了用于生活小区的一体化水处理设备，采用悬浮填料和潜水曝气技术，对COD的去除率可达80％以上，并且解决了噪音对周围环境的影响。孙良等[8]以A/O工艺为主，集成生物降解污水沉降、氧化消毒等工艺设计了一体化地埋式生活污水处理设备。在工业废水处理一体化设备方面国内也取得了显著成绩，FLY-1型一体化净水器[9]将旋流网格絮凝、斜板沉淀和非溢流滤池技术有机结合在一体化的设备中，达到了良好的效果，具有出水稳定，占地少，价格低廉，操作容易等优势。李培红等[10]根据团聚理论，研究新型净水器，处理具有较高浊度的污水，表现出良好的性能，低廉的成本及便捷的管理等优势。邓皓等[11]针对石油、天然气开采钻井过程中所产生的废液量大，成分复杂，COD含量高等特点，开发了“钻井废液—废水处理一体化设备”撬装式设备。尽管国内一体化水处理设备发展有了很大的提高，但是仍然存在一系列问题需要解决。比如设备追求结构紧凑而导致内部单元设备体积过小，处理能力下降，需要增加药剂投加量；药剂、滤料等处理物质仍然需要提高性能，优化结构；各处理单元组合也存在较大问题。因此刘志远[12]对一体化水处理设备提出几点建议：技术攻关人员仍需不断研发创新型水处理技术；不断完善不同水处理工艺组合的处理效果；应用水循环系统，采用水处理集成技术等。

本文在对坪山区典型黑臭河道充分调研的基础上，结合试验研究和工程经验，提出了一级强化絮凝-二级快速生化-三级动态膜深度处理组合工艺：强化絮凝采用絮凝剂精确添加，复合涡流高效混合，气浮池固液分离技术去除不溶性污染物；快速生化技术采用改进型曝气生物滤池技术，应用MC微生物酶强化MC微生物菌的活性，快速降解各种有机污染物；动态膜深度处理以活性碳、沸石粉及粉煤灰等多种基料混合而成的复合介质作为动态膜基质，结合微孔曝气技术形成高效过滤吸附系统，起到深层净化和过滤吸附作用。并结合三种工艺自主研发了SDAF-EMSR-DM一体化水处理设备。拟通过中试研究，采用SDAF-EMSR-DM一体化水处理设备对六联浪尾排洪渠尾段渠水进行实验，探究设备的处理效果和处理效率，以期应用于“坪山新区雨污水管网工程（坪山片区）”，并为一体化水处理设备的发展提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用水为六联浪尾排洪渠尾段渠水，具体水质情况见表1。实验用絮凝剂采用从日本引进之后在本地开发改良完成的复合型絮凝剂QCL-S絮凝剂，酶采用MC微生物酶，微生物菌采用MC硝化菌，动态膜复合介质由活性碳、沸石粉及粉煤灰等多种基料按一定比例混合而成。

1.2 实验装置与过程

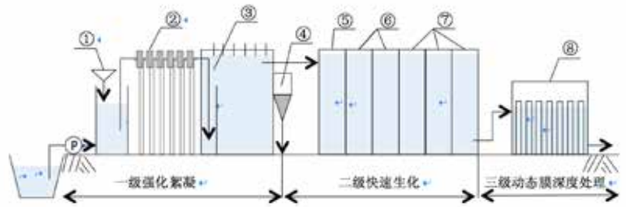
实验装置示意图如图1所示。

实验装置组件见表2。

实验流程：5月11号开始进水试验，至6月10日试验结束，整个试验阶段为期30天，试验期间流量从0.25 m^3/h逐步提高到3.2m^3/h。控制不同流量，抽取六联浪尾排洪渠尾段的污水，通过填料机添加100ppm的QCL-S絮凝剂，充分混匀，经筛分后进入复式涡流发生装置，形成气液固三相混合物之后进入气浮池，气浮上升的悬浮固体经刮渣装置送入污泥槽；下层清水经纤维滤膜过滤后进入复合式生化池（生化反应模块由6个不锈钢罐体组成，每个罐体有效容积为2 L。1#罐体注满絮凝后河水；2#、3#罐体投加琉璃球载体400L和1m3絮凝后河水；4# 、5#、均投加PVA载体和高密度复合菌液400L；6#罐体投加PVA载体、琉璃球以及高密度复合菌液各200L），首先进入调节罐（调节罐通过pH配药桶和温控系统调节pH和温度，并通过计量泵投加MC微生物酶），之后依次进入2#～6#微生物反应罐；出水进入动态膜装置（添加100 ppm的复合介质，采用负压抽吸，真空压力为-30kPa），最终出水达标排放。

表1 六联浪尾排洪渠尾段渠水实测水质

项目	COD_{cr}/(mg/L)	NH_3-N/(mg/L)	ORP/（mV）	DO/(mg/L)	SS/(mg/L)	色度/(度)	PH
最大值	225.34	42.58	27	2.8	67.24	406.45	7.48
最小值	88.79	15.93	84	0.6	41.84	158.97	7.17
平均值	147.49	28.25	61	1.6	54.93	237.10	7.37



① 絮凝剂装置；②复式涡流发生器；③气浮池；④污泥斗；⑤调节罐；⑥⑦生化罐；⑧动态膜装置

图1 实验装置示意图

表2 实验装置组件

设备	型号（规格）	数量/个	备注
复式涡流发生器	0.12MPa，2寸	6	含气罐
气浮池	2.0m×1.3m×2.2m	1	含污泥池
pH配药桶	500L	1	含pH药剂泵
生化罐	Φ1250，h2350	6	含风机，悬浮填料和PVA载体
动态膜组件	0.8m×0.5m×0.6m	1	含复合介质

1.3 检测项目与方法

COD_{Cr}，分光光度法；NH_3-N，纳氏试剂比色法；DO，便携式DO仪；ORP，便携式ORP仪；SS，悬浮物测定仪；色度，色度测试仪；pH，pH计；紫外-可见分光光度计采用Unic,WFZUV-2800AH型。

2 结果

2.1 COD_{Cr}去除效果分析

不同流量下COD_{Cr}进出水变化情况如图2所示。从图2可以看出，不同时间原水的COD_{Cr}并不稳定，浓度在88.79～225.34 mg/L之间变化。经过一级强化絮凝处理后出水COD_{Cr}值有所降低，含量在48.16-96.22 mg/L之间，说明一级强化絮凝具有显著削减COD_{Cr}的作用，原因主要是水中的悬浮颗粒物SS在絮凝后基本去除，因此附着在悬浮颗粒物上面的不可溶污染物得到去除。一级强化絮凝后的污水经过快速生化阶段处理后，COD_{Cr}值进一步降低，流量从0.5m^3/h提高到2.8m^3/h过程中，COD_{Cr}值保持在12.04-55.88 mg/L之间，均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级B的要求。生化罐出水经过动态膜组件处理后，COD_{Cr}值得到进一步的削减，出水COD_{Cr}值达到23.22-33.45 mg/L之间，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一

级A的要求，说明动态膜组件起到深层净化和过滤吸附作用，将不可生化的污染物去除，降低了COD_{Cr}值。整个实验阶段，整套设备的COD_{Cr}去除率介于58.68%至91.30%之间，平均去除率达到77.06%。

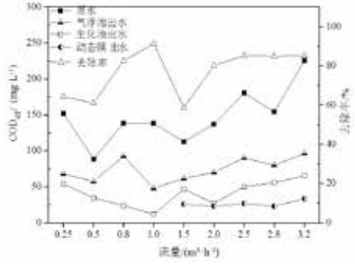


图2 不同流量下各阶段出水COD_{Cr}变化

2.2 NH_3-N去除效果分析

不同流量下NH_3-N进出水变化情况如图3所示。从图3可以看出，不同时间原水的NH_3-N并不稳定，浓度在15.93～42.58 mg/L之间变化。经过一级强化絮凝处理后出水NH_3-N含量变化很小，说明一级强化絮凝处理对NH_3-N的去除效果不显著。一级絮凝后的污水经过快速生化阶段处理后，出水NH_3-N含量大幅度降低，流量从0.5 m^3/h提高到2.8 m^3/h过程中，浓度保持在0.34～6.10 mg/L之间，均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级B标准8 mg/L的要求，而在流量提高到3.2m^3/h后，超过了硝化池的容积负荷，出水NH_3-N浓度达到12.43 mg/L，超过城镇污水排放B级标准。生化池出水经过动态膜组件处理后，NH_3-N含量得到进一步的削减，3.2 m^3/h流量下，NH_3-N含量降低到7.78 mg/L，达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级B的要求，说明动态膜组件起到深层净化和过滤吸附作用，去除了部分NH_3-N。整个调试阶段，整套设备的NH_3-N去除率介于62.96%至99.05%之间，其中0.5 m^3/h流量下NH_3-N去除率为62.96%，3.2 m^3/h流量下NH_3-N去除率为70.81%，其余流量下NH_3-N去除率均在80%以上，平均去除率达到85.04%。

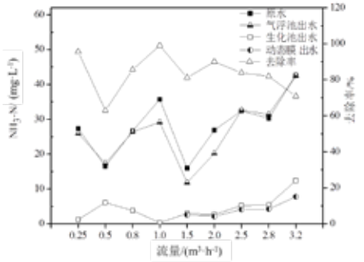


图3 不同流量下各阶段出水NH_3-N变化

2.3 DO提升效果分析

不同流量下进出水DO变化情况如图4所示。从图4可以看出，不同时间原水的溶解氧DO含量并不稳定，在0.6～2.8 mg/L之间变化，均值为1.63 mg/L。而城市黑臭水体污染程度分级标准DO<2 mg/L时为黑臭，说明原水污染严重导致水体中溶解氧含量极低。经过一级强化絮凝处理后出水DO含量显著增加，不同流量下，含量达到3.2～6.4 mg/L之间，达到消除黑臭的标准。说明一级强化絮凝处理具有很强的提高水体溶解氧的能力，原因是强化絮凝阶段去除了污水中大量的悬浮颗粒物，使空气中氧气更容易进入水体。一级絮凝后的污水经过快速生化阶段处理后，出水溶解氧含量进一步提高，均超过4.9 mg/L，保持在4.9～7.99 mg/L之间，均达到消除黑臭的要求。生化池出水经过动态膜组件处理后，DO含量得到进一步的提高，随着进水流量从1.5 m^3/h提高到3.2 m^3/h，DO含量达到6.4～8.3 mg/L。整个调试阶段，设备的DO提高效率明显，最高达到近8倍。

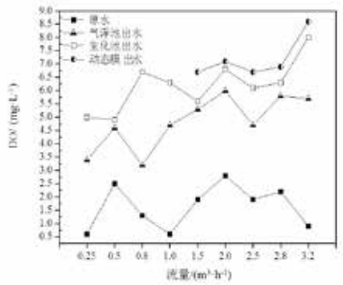


图4 不同流量下各阶段出水DO变化

2.4 SS去除效果分析

不同流量下进出水SS含量变化情况如图5所示。从图5可以看出，不同时间原水的SS含量并不稳定，浓度在41.84～67 mg/L之间变化。经过一级强化絮凝处理后出水SS含量均为0，基本完全消除污水中的固体悬浮物，说明一级强化絮凝组件处理效果极佳。经过快速生化阶段处理后，出水SS浓度相较于一级絮凝出水略微增加，在1.5 m^3/h流量下最高达到4.02 mg/L，分析其原因是生化阶段产生微量污泥并随水流流失，致使出水的SS含量略有增加。经过动态膜组件处理后，生化阶段产生的固体悬浮物又得到去除，SS含量全部降为0，原因是动态膜内复合介质对固体悬浮物的吸附作用。整个调试阶段，整套设备出水SS全部达到城镇污水排放A级标准10 mg/L的要求。SS去除率极高，平均去除率达到98.38%。

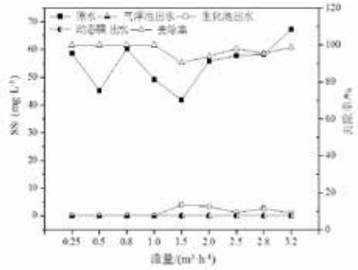


图5 不同流量下各阶段出水SS变化

2.5 色度去除效果分析

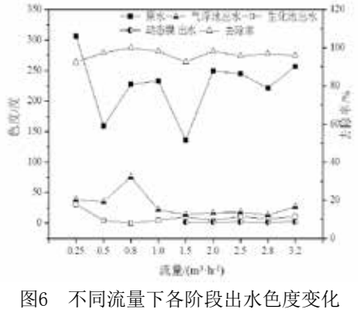


图6 不同流量下各阶段出水色度变化

色度主要由溶解性有机物、悬浮胶体、铁锰离子和颗粒物引起。不同流量下各阶段出水色度变化情况如图6所示，不同时间原水的色度并不稳定，在135.99 度～406 度之间变化。经过一级强化絮凝处理后出水色度显著降低，值在13.27度～75.39度之间，分析其原因是一级强化絮凝处理阶段，大量着色的固体悬浮物被去除，使得出水色度大幅降低。经过快速生化阶段处理后，出水色度进一步降低，色度保持在0度～30.69度之间，原理是微生物酶氧化或还原有色分子，破坏其不饱和键及发色基团来达到脱色目的。生化池出水经过动态膜组件处理后，色度得到进一步的去除，值在1.24～1.92之间，原理是以粉末活性炭为主要成分的复合介质对污水中溶解性有机物和微小颗粒有极强的吸附能力。整个调试阶段，整套设备对色度去除效果明显，平均去除率达到96.32%。

3 结论

1）一体化设备运行稳定，试验阶段为期30天，对污水污染物去除效果显著，COD_{Cr}平均去除率达到77.06%，NH_3-N平均去除率达到85.04%，SS平均去除率达到98.38%，色度平均去除率达到96.32%。

2）一体化设备三个模块处理效率高，一级强化絮凝模块能高效去除SS和色度并对COD_{Cr}和NH_3-N有一定去除效果；二级快速生化能快速高效去除COD_{Cr}和NH_3-N，在3.2 m^3/h流量下，水力停留时间最短可达到3.12 h；三级动态膜深度处理能通过过滤吸附作用进一步去除各项污染物，提升水质。

3）一体化设备出水COD_{Cr}在23.22-33.45 mg/L之间，NH_3-N在0.34-7.78 mg/L之间，DO含量达到6.4～8.3 mg/L之间，SS含量全部降为0，色度值在1.24-1.92之间。出水满足《城市黑臭水体整治工作指南》消除黑臭的标准及《城镇污水处理厂污染物排放标准》中一级B类标准，部分指标达到一级A类标准，满足坪山区污水应急处理的要求。

参考文献

[1]蔡苏宁.废水一体化处理设备的设计与研究.西安：陕西科技大学，2010

[2]Pristine.PRISTINE Aquarius Bulk Water Treatment Components [EB/OL]. 2004-06-20. http：//www.Pristine.ca / aquarius.html

[3]PROMINENT.PRODUCTIONS[EB/OL]. 2004-09-06. http：//www. prominent. com. cn

[4]Dosta J, Galí A, Benabdallah E T, et al. Operation and model description of a sequencing batch reactor treating reject water for biological nitrogen removal via nitrite. Bioresour Technol, 2007; 98(11): 2065—2075

[5]吴骏. 关于污水处理设备发展现状与问题浅析. 工业b, 2015; (28): 00290—00290

[6]周文忠. 关于污水处理设备发展现状与问题浅析.化工管理, 2013; (18): 145—146

[7]张秋跃,任伟. 生活小区污水处理设备的开发与应用. 环境保护, 2004; (5): 35—38

[8]孙良. 一体化地埋式生活污水处理设备. 现代制造, 2010; (9): 63—63

[9]胡明忠, 王小雨, 郭红军, 等. FLY-1型一体化净水器的工艺特点. 中国给水排水, 2003; 19(6): 62—63

[10]李培红, 纪桂霞, 王永胜, 等. 新型净水器的试验研究. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 1999; (1): 56—59

[11]邓皓, 刘光全, 马文臣, 等. 钻井废液-废水处理一体化设备的研究及应用. 油气田环境保护, 2003; 13(4): 25—27

[12]刘志远. 化工园区一体化水处理的技术经济难点及对策. 中外能源, 2010; 15(12): 94—98

应用研究

建筑废弃物应用于道路水稳层性能研究

陈建友，涂亮亮，范璐璐，刘忠
（深圳市天健沥青道路工程有限公司，深圳518034）

[摘　要] 基于对罗湖棚改房屋拆除所产生建筑废弃物再生集料的性能试验，对其在道路水稳层应用进行配合比试验，并通过龙华管网工程路面基层、底基层试验段铺筑，掌握再生水稳的加工、施工方法。房屋建筑废弃物再生集料的杂质含量和压碎值高于现行规范限值要求，但通过合理的配合比及生产过程控制，再生水稳底基层、基层的强度能够达到路用性能要求，为今后大面积推广应用积累经验和提供参考。

[关键词] 建筑废弃物；再生；基层；底基层；强度

Study on the recycling of construction and demolition waste applied to the Cement stabilized base

Chen Jianyou, Tu Liangliang, Fan Lulu, Liu Zhong
(ShenzhenTagen Highways Co. Ltd., Guangdong Shenzhen 518034,China)

Abstract: Based on the performance test of reclaimed aggregates of construction waste which generated from the demolition of Luohu sheds, the mix ratio test for the application of construction waste in the cement -stabilized layer was conducted. Meanwhile, the processing and construction methods for the reclaimed cement -stabilized layer were mastered through the trial pavement section of base and subbase layer in the Longhua Pipe network project. Though the impurity content and crushing value of recycled aggregates of building waste are higher than the current standard limit requirements, the strength of base and subbase for the reclaimed cement-stabilized layer can reach the performance requirement of road through reasonable mix design and production process control, which can accumulate experience and provide reference for large-scale application in the future.

Keywords: construction and demolition waste; recycling; base; subbase; strength

0　前言

2016年深圳市民生工程罗湖棚改，对二线插花地建筑进行拆除，产生200万吨的建筑废弃物，在这一背景下，提出绿色棚改理念，对建筑废弃物进行再生利用。建筑废弃物经过破碎、筛分加工的建筑废弃物再生料，棱角多表面粗糙，不同来源的建筑废弃物中，组分各不相同，再加上破碎过程中因损伤累积造成大量的微裂纹，与天然岩石集料相比，再生集料自身存在孔隙率大、吸水率高、堆积密度小、压碎值高等特点，因此有必要根据建筑废弃物的组成特点，通过开展建筑废弃物各组成材料的物理力学性能试验研究，进一步根据再生料的特性指标对其进行分类，使得建筑废弃物经过加工处理后，能够满足再生水稳层的各项性能要求。建筑废弃物应用于水稳的依据，根据规范规定再生骨料添加固化类材料后，也可用于公路路面基层[1]；根据住建部再生料再生应用规程和深圳市建筑废弃物再生产品应用工程技术规程中规定，水泥稳定再生骨料混合料可用于路面基层、底基层[2-3]。再生水泥稳定碎石是一种半刚性基层材料，具有整体性好、强度高、透水性小的特点[4]。水泥稳定碎石混合料中利用建筑废弃物再生石料，能节约大量的材料，节约工程投资，减少新石料的开采，拓展应用途径，保护环境，具有较好的经济效益和社会效益[5]。

1　建筑废弃物再生集料性能研究

以罗湖棚改为依托，对房屋建筑废弃物再生料性能进行研究，棚户区大部分是村民自建房，所采用的混凝土、砖质量相差较远，拆除的过程中由于需要拆除的房屋量大、时间紧迫，不能有效分离砖和混凝土，破碎生产时一起破碎、筛分，再生料强度整体偏低，压碎值偏大。虽然房屋拆除前进行扫楼，但是破碎料杂质含量仍然较高，给再生利用带来困难，所以再生利用过程中的质量控制是关键。

1.1　建筑废弃物再生集料物理性能

1）再生料级配：对棚改再生料取代表性样品进行筛分，结果如表1。

表1　筛分结果

筛孔尺寸	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0-10mm	-	-	-	-	-	100	98.1	70.9	50.0	36.6	26.4	15.8	10.0	6.5
10-20mm	-	-	100	89.5	63.7	37.7	5.5	2.7	1.4	-	-	-	1.4	0.3
20-30mm	100	100	76.8	10.1	4.4	2.1	0.6	0.6	0.4	-	-	-	0.4	0.4

筛分结果基本符合《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015的要求。

2）再生粗集料物理性能：

压碎值是再生骨料强度的重要指标，为了保证建筑废弃物再生骨料的应用性能，要求具有一定的强度，再生粗骨料性能指标如表2：

表2　再生粗骨料物理性能

检测内容		检测结果		规范要求	再生规范要求*	试验方法
压碎值		34.7		≤30	≤43/≤45[6]	T0316
密度	10-20	表观	2.498	≥2500	≥2250	T0304
	20-30	表观	2.480	≥2500	≥2250	
吸水率	10-20	4.50		≤3.0	≤8.0	T0304
	20-30	4.05		≤3.0	≤8.0	
含泥量	10-20	1.2		≤2.0	≤3.0	T0310
	20-30	0.8				
杂质含量	10-20	2.6		/	≤1.0	T0313
	20-30	1.6				
针片状	10-20	15.1		≤20	≤20	T0312
	20-30	10.5				

*《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30-2014中再生粗集料的质量标准

3）再生细集料物理性能：经检测细集料性能　　如表3：

表3　细集料性能

检测内容		检测结果	规范要求	再生规范要求	方法
砂当量		64	≥60	/	T0334-2005
密度	堆积密度	1.280	≥1400	/	T0330-2005
	表观密度	2.366	≥2500	≥2250	T0308-2005
含泥量		7.19	≤5	≤3	T0334-2005
杂质含量		1.51	/	≤1	T0313-2005

细集料砂当量是细集料路用性能的重要指标，反映细集料中所含的土或杂质的含量，以评定集料的洁净程度。细集料液塑限，经取代表性样品，烘干，过筛0.5mm以下的细集料，采用联合测定仪测定，结果如表4：

液限略大于28%，塑性指数小于7%；属于低液

表2 再生粗骨料物理性能

液限 WL=	28.4%	(h=20mm)
塑限 WP=	21.5%	(h=7mm)
塑性指数 IP=WL-WP=		6.9%
土工程分类:	低液限砂性土	

限砂性土。

4）污染性检测

取代表性再生粗细石料送江苏省建筑工程质量检测中心检测，结果如表5：

表5 污染性检测

检测项目		技术要求	检测结果	检测依据
有机物		合格	合格	GB/T 14685-2011
硫化物及硫酸盐		≤0.5（I类），≤1.0（II类）	0.12	
放射性	内照射指数（IRe）	≤1.0	0.2	GB 6566-2010
	外照射指数（Iy）	≤1.0	0.4	

1.2 小结

1）再生集料主要部分为烧结砖破碎而成的颗粒，另一部分为混凝土破碎表面裹有砂浆的石子，所以表观密度、毛体积密度较低，吸水率较高。

2）由于房屋再生集料的成分复杂性决定和新集料相比，性能的离散性较大。

3）经过试验，结果含泥量、杂质含量超出规范要求。

4）《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015水泥稳定材料液限宜不大于28%，棚改料略大于该值；塑性指数符合用于二级及二级以下公路时，宜不大于7的规定。

5）表观密度、吸水率、压碎值等强度相关的指标符合《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30-2014中所规定的III级再生粗集料的质量标准。

2 再生料水稳层配合比试验

2.1 原材料

水泥：底基层和基层都选用复合硅酸盐水泥，强度等级为P.C32.5。依据《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》JTG E30-2005试验，各项指标均符合《通用硅酸盐水泥》GB 175-2007、《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015技术规范要求。

集料：再生集料性能参照第一节。

2.2 配合比试验

依据《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015的要求，水泥剂量选择了3%、4%、5%三种作为底基层，6%、7%、8%三种作为基层，进行了重型击实和无侧限抗压强度试验。

1）混合料级配

为保障混合料施工的过程中还少离析，需要有效控制水泥稳定材料的公称最大粒径及其含量，减少超粒径颗粒含量，以提高混合料的均匀性。同时控制水泥稳定碎石中0.075mm含量，含量较高时，影响混合料的收缩性能，容易开裂，亦不能太少，以提高混合料具有良好的抗疲劳性能，市政路宜控制在2%-7%之间[7]。由于房屋再生料31.5的通过率是100%，结合龙华管网设计图纸的要求，基层底基层采用同一个级配标准，如表6：

表6 混合料级配

材料		31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075	比例
破碎料1	20-30mm	100.0	77.9	3.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	18.0%
破碎料2	10~20mm	100.0	100.0	89.5	5.5	2.7	1.4	1.4	0.3	29.0%
破碎料3	0~10mm	100.0	100.0	100.0	98.1	70.9	50.0	26.4	6.5	53.0%
下限		100	90	72	47	29	17	8	0	级配
上限		100	100	89	67	49	35	22	7	
中值		100	95	80.5	57	39	26	15	3.5	
合成级配		100.0	97.4	82	57.2	42.8	29.4	16.2	4.4	

2）标准击实、强度试验

本试验采用重型击实法，对以上各种配合比例配料后进行标准击实试验，由平行试验得出最大干密度和最佳含水量，击实曲线如图2：

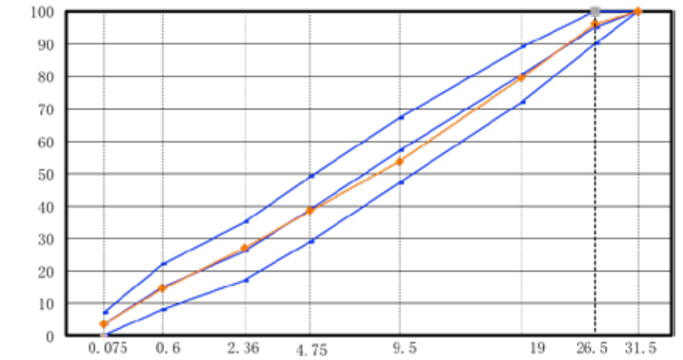


图1 水泥稳定碎石基层混合料级配曲线图

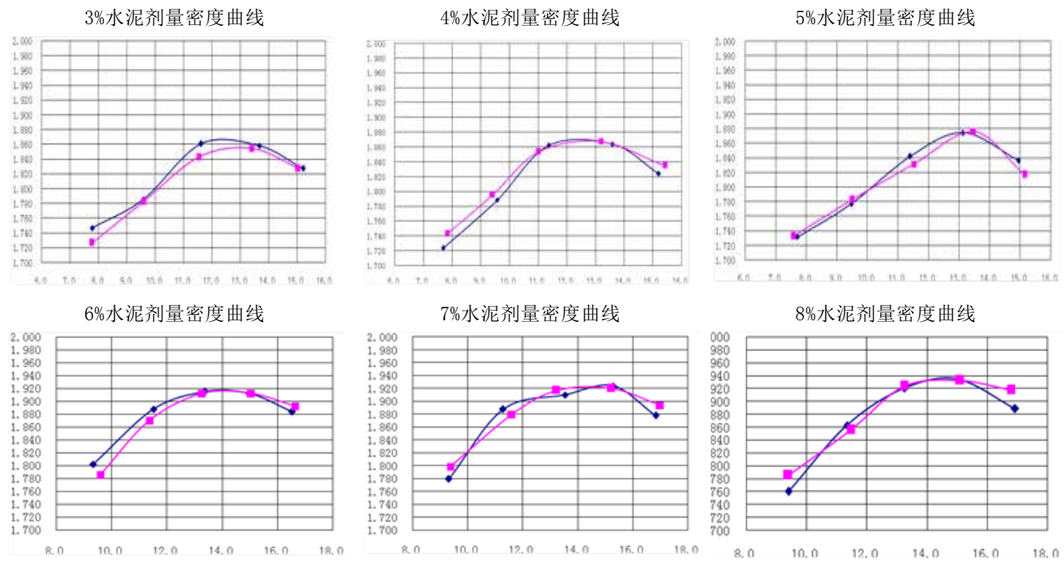


图2 各水泥剂量击实曲线图

根据确定的最佳含水量和最大干密度，拌制水泥稳定碎石混合料，采用静压法按压实度（96%）成型无侧限抗压强度试件，无侧限抗压强度试验结果汇总如表7：

表7 最大干密度、最佳含水量汇总

部位	水泥剂量%	最大干密度g/cm³	佳含水量%	7d无侧限强度 MPa	RC 0.90 MPa	设计强度 MPa
底基层	3	1.858	12.6	3.4	2.7	≤1.5
	4	1.863	12.9	4.1	3.7	
	5	1.878	13.3	5.3	4.6	
基层	6	1.913	14.1	5.2	4.8	≤3.0
	7	1.922	14.6	5.7	5.3	
	8	1.927	14.9	6.6	6.2	

图3 无侧限抗压强度试验

3）收缩性对比试验

如果水泥稳定碎石收缩性较大就会产生裂缝，裂缝不仅降低了基层的刚度和结板性，还容易将裂缝反射到面层致使路面开裂，影响行车速度和安全，降低了路面的使用性能。基层裂缝的危害有二个方面：一是降低基层的整体强度，二是发展后会形成反射裂缝，使沥青砼路面相应出现有规则的横向裂缝、起拱。对比试验采用春雷新集料6%的水泥剂量93%、96%压实度和再生集料6%的水泥剂量93%、96%压实度，在20℃的恒温水里、和20℃室内空气养生7d，读取架设的百分表读数，对比收缩率的大小，如表8：

表8 对比试验结果

春雷新集料试验				棚改再生料试验			
压实度	试验前百分表初读数（0.01mm）	试验后百分表终读数（0.01mm）	平均值（0.01mm）	压实度	试验前百分表初读数（0.01mm）	试验后百分表终读数（0.01mm）	平均值（0.01mm）
93%	0.0	0.5	0.47	93%	0.0	3.3	2.53
	0.0	0.5			0.0	2.9	
	0.0	0.4			0.0	1.4	
96%	0.0	0.9	0.76	96%	0.0	3.9	3.2
	0.0	1.0			0.0	4.0	
	0.0	0.4			0.0	1.7	

对比试验表明，再生混合料的最佳含水率大，其干缩性和失水率也大，造成水泥稳定碎石的收缩性和完全采用天然集料的情况对比，收缩率稍大。混合料生产摊铺的过程中，压实成型后及时用透水土工布覆盖，充分洒水保湿养生，严禁在终凝前失水影响强度形成。及时洒水、采用覆盖养生，避免再生混合料底基层、基层出现收缩裂缝。

2.3 小结

1）7d无侧限抗压强度能满足《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20-2015规定中轻交通、二级及二级以下公路底基层1.0-3.0MPa、基层2.0-4.0MPa及龙华管网水稳底基层≥1.5MPa、基层≥3.0MPa的强度要求。

2）棚改再生料再生水稳基层，最大干密度比天然石料低，最佳含水量高。

3）采用棚改破碎料的基层混合料，无侧限试件表面稍粗糙，表观状况稍差。

4）收缩性比天然集料的水泥稳定混合料稍大，混合料生产摊铺和养护过程中要采用相应的措施，减少收缩裂缝。

3 再生水稳生产过程控制

鉴于龙华管网水稳底基层、基层强度要求仅为分别≥1.5、3.0MPa，和项目部沟通全部采用建筑废弃物再生料生产水稳底基层，由于龙华管网开挖面宽度较窄，宽度不一致，采用摊铺机和挖沟机摊铺相结合摊铺，集中厂拌、压路机碾压的施工工艺。大压路机下不去的位置采用小型压路机和平板夯相结合压实的方法。

3.1 拌合站控制

生产前要确定拌合楼的性能、产量及计量精度。施工员应先完成放线、下承层准备等准备工作，并提前30min通知拌合楼出料。

1）拌和站控制

开拌前先测定各档集料的含水率并根据设计配合比、设定的拌合楼产量、混合料的最佳含水率和需要控制的目标含水率及集料的实际含水率，计算确定混合料中各档集料、水泥及水的准确施工配合比。生产过程中工人随时注意各料仓的下料情况，如有堵塞应及时疏通。

2）水泥剂量控制

按规范规定的频率（200m²/次）进行水泥剂量检测，发现异常及时和机手沟通和调整，水泥允许的误差下限为-1%。水泥剂量采用EDTA滴定的方法进行检测。

3）级配控制

成品混合料为确定级配是否符合要求，生产过程中每2000m³取样测试两个样品，筛分其颗粒级配是否与设计配合比的级配基本吻合，如有异常及时调整。

图4 生产过程EDTA滴定

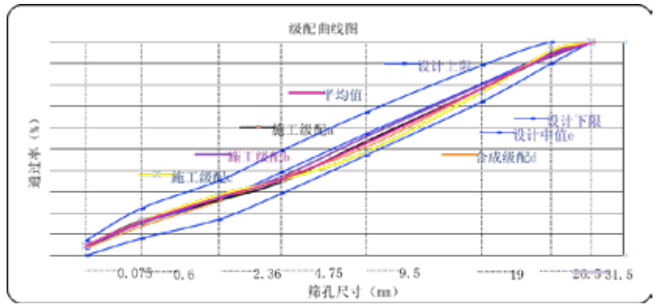


图5 抽检级配曲线

4）强度控制

随搅拌站出料，按频率取样制作无侧限试件，标准养生，建筑废弃物再生水稳料无侧限强度平均值合格，个体之间差异比较大，变异系数偏大，但能满足龙华管网设计和规范的要求。

3.2 摊铺控制及实体检验

1）摊铺过程中质量保证技术措施：

①试验人员应根据当天的天气温度、运输距离检测含水率在运输过程中的损失，然后适当调整拌和过程中的加水量，混合料不沾皮带为宜，以保证混合料的含水率接近最佳含水率。

②针对棚改破碎料再生水稳混合料，摊铺过程中，摊铺机后面设专人消除粗、细集料离析现象，特别注意铲除局部粗集料离析，并添加均匀的混合料拌匀填补[8]。

③摊铺时间，尽快摊铺、碾压完成。控制好养生过程，及时洒水、及时覆盖养生。

④压路机严禁在完成的或正在碾压的路段上掉头或紧急制动，以保证结构层不受破坏。

2）实体检测：

①压实度：压实度检测采用灌沙法，采用大灌砂筒，标准砂采用0.3-0.6mm ISO标准砂，密度为1.389g/cm³,经检测压实度95%以上，符合规范规定的二级及二级以下公路和设计的要求。

②芯样完整性

水泥稳定碎石钻芯法检测芯样完整性，是反应水泥稳定碎石类结构层是否形成良好的板体性最直接的方法。一般判定方法：芯样完整：B≥80%；芯样半完整：B＜80%且 B ＞60%；芯样非完整：B≤60%。

图6 底基层芯样

图7 基层芯样

芯样的完整性和级配中粗细集料的搭配有关系，粗集料的比率大在一定程度上可以提高无侧限强度，但对芯样的完整性有一定的影响；再生

料生产水稳一定注意最大粒径，最大粒径控制在26.5mm，能提高芯样完整性。

③弯沉

弯沉是指道路路面或路基表面在局部荷载作用下的垂直变形，是反映道路整体抗压强度的综合指标，龙华管网设计弯沉值（0.01mm），底基层为216、基层为93，检测结果符合设计要求。

3.3 小结

1）由于房屋再生集料的特殊性，施工过程中采取更加严格的质量保证措施，加强前后场的配合与协调，保证施工质量良好。

2）由于棚改破碎料中含有大约30%的混凝土破碎颗粒，混凝土中能游离出Ca2+，所以EDTA滴定消耗溶液量大一些。

3）压实度符合规范的要求，高于管网图纸的要求。

4）通过科学的配合比，合理的生产控制，紧凑前后场配合，及时碾压成型的情况下，7d养护后，芯样完整性良好，说明再生水稳的板体性良好。

5 结论

通过一系列的试验和龙华管网底基层、基层应用，可以得出以下几点结论：

1）建筑废弃物再生集料应用于城市支路、二级及二级以下公路水泥稳定碎石基层、底基层，在技术上是可行的。

2）建筑废弃物再生集料具有表面孔隙多、密度小、吸水率大的特点，造成强度低、压碎值稍大，使再生水稳混合料最大干密度相对较低，最佳含水率高。

3.）建筑废弃物再生集料含泥量、杂质含量超出规范要求。

4）建筑废弃物细集料由于含有碎红砖、水泥浆，液限超过规范规定液限宜不大于28%的要求，塑性指数符合规范二级及二级以下公路的要求。

5）混合料生产时含水率，最好控制在最佳含水率+2%为宜，超过2%混合料会粘皮带，增加工人清理的工作量，也不利于拌和均匀；低于2%不利于运输到现场摊铺碾压时水分含量在最佳含水量-2%~0.5%的范围内。

6）建筑废弃物再生水稳无侧限强度符合图纸及规范要求。

7）芯样完整性，6%水泥剂量以下的混合料，无侧限强度符合，芯样完整性较差；6%水泥剂量以上芯样完整性良好。

8）建筑废弃物再生集料干缩性比天然集料稍大，在施工过程中采取保水养生措施，可以控制收缩裂缝。

参考文献

[1]GB/T 50743-2012工程施工废弃物再生利用技术规范[S]. 北京：中国计划出版社,2012.

[2]JGJ/T 240-2011再生骨料应用技术规程[S]. 北京：中国建筑出版社,2011.

[3]SJG 37-2017深圳市建筑废弃物再生产品应用工程技术规程[S]. 深圳：深圳市住房和建设局,2017.

[4]王博铭 旧路面水泥混凝土再生集料在公路基层中的应用[J]. 公路工程，2015(6):159-162

[5]张超等 废弃水泥混凝土再生集料在半刚性基层中的应用[J]. 长安大学学报，2002(9):1-5

[6]DB11/T999-2013城镇道路建筑垃圾再生路面基层施工与质量验收规范[S]. 北京：北京市住房和城乡建设委员会，2013.

[7]JGJ/T F20-2015公路路面基层施工技术细则[S]. 北京：人民交通出版社,2015.

[8]胡思维 高速公路路面工程施工精细化管理[M]. 北京：人民交通出版社,2017.

征稿通知

本刊为深圳市天健（集团）股份有限公司内部学术性科技期刊。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。本刊为内部资料，仅限业内交流，欢迎同行企事业单位积极投稿。

来稿应符合科技论文写作惯例和基本要求，理论和技术观点明确、数据准确可靠、内容充实、结构严谨、文字简明扼要、通顺易懂。作者自留底稿，并优先采取电子邮件投稿（liuyixuan.tagen@qq.com），如有不明事项，请通过电话联系（刘艾轩：17302659080），确认投稿相关信息。

应用研究

基于探地雷达技术的沥青路面密度计算方法研究

江建[1]，刘涛[1,2]，张肖宁[2]

（1.深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳518033；2.华南理工大学 土木与交通学院，广东广州510641）

[摘 要] 为建立探地雷达技术的沥青路面密度测量方法，本文以高速公路沥青路面中面层为研究对象，提出了共中点法为基本原理沥青路面介电常数的方法。采用钻芯取样法对第三代无核密度仪的试验结果进行标定和验证，根据波峰位置提出沥青路面薄层判别的基本方法，编程实现了数据的自动计算。在10000个测点条件下，获得了沥青路面介电常数-密度拟合公式。本研究具有较为明确的技术路线，能够在一定程度上拓展探地雷达技术的理论边界和应用范围。

[关键词] 沥青路面；探地雷达；薄层判别；共中点法；介电常数；密度

Research on the Density prediction of the Asphalt Pavement Based on Ground penetrating radar Technology

Jiang Jian[1] ,Liu Tao [1,2],Zhang Xiaoning[2]

(1.Shenzhen Tagen <Group> Co.,Ltd.,Shenzhen,518033;2.South China University of Technology School of Civil Engineering and Transportation,Guangzhou,Guangdong,510641)

Abstract: Sampling the middle course of the highway asphalt pavement, this article first puts forward the method of measuring the permittivity by means of the ground penetrating radar with the common mid-point method as the rationale. It then benchmarks and verifies the results obtained from testing of the Pave Track TM Plus based on core sample. Based on peak position to propose the method of judge the Asphalt Pavement. Finally the permittivity-density fitting formula is obtained based on 10000 data. This article provides a relatively clear technology path and can help expand the theoretical boundaries and the application scope of the non-destructive testing technology to certain extent.

Keywords: Asphalt Pavement; Ground penetrating radar; thin layer discrimination; common midpoint method; dielectric constant; density

0 引言

沥青路面的密度数据对于设计和施工质量控制有着重要意义[1,2]，通过数学计算，密度可以与空隙率之间相互转换[3]。物质对电磁波的吸收和释放能力可以采用介电常数加以表示，吸收和释放电磁波能量的过程，可以借鉴电容与电荷的作用原理[4,5]。通过采用无核密度仪对沥青路面的介电常数进行测量，可以通过计算模型获得其密度[6]，但是，其测量效率不高，只以单点的方式进行。探地雷达的测量效率比较高，可以实现面域测量[7-12]。

无核密度仪和探地雷达技术已经在沥青路面领域得到了比较广泛的应用。主要集中在密度检测、离析判定、质量控制等领域[13-18]，需要注意的是，介电常数-密度的拟合公式是无核密度仪生产厂商的核心商业机密，缺乏公开的文献支持。本文对该课题进行了探索。可以认为，沥青路面的密度测量方法精确性由高到低依次为钻芯取样法、无核密度仪法和探地雷达法。测量效率由高至低依次为探地雷达法、无核密度仪法和钻芯取样法[19-22]。然而，关键问题在于，目前尚未有足够的研究成果用于揭示介电常数与密度之间的关系，这样也就限制了探地雷达在沥青路面领域的应用效果。

本文依托实际工程，以无核密度仪和探地雷达作为主要的无损检测手段，配合钻芯取样得到的沥青路面密度数据，开展了介电常数-密度的相关关系研究。本文的创新之处在于，使用共中点法计算沥青路面的介电常数，具有较为清晰的理论依据，能够实现雷达数据的快速测量与计算。这样，也就为探地雷达测量沥青路面的介电常数进而预测密度提供了数据支撑，能够实现沥青路面密度测量效率的大幅度提升。

1 介电常数计算方法

国外学者率先提出了采用振幅全反射法计算基于探地雷达技术的沥青路面介电常数。如公式1所示，测量方法为：1）将足够尺寸的铁板（或其他金属材料）平放在沥青路面上，当探地雷达脉冲波到达铁板后，会产生全反射，由接收天线获得振幅A0。2）撤去铁板，在原位置发射探地雷达脉冲波，其进入沥青路面并在各结构层界面产生反射，由接收天线获得振幅Ap，3）由公式1计算沥青路面介电常数。可见其测量原理较为简单，只需测得振幅A0和Ap即可进行计算。但受湿度、周围环境等因素影响较大。

$$e=\left[\frac{1+\frac{A_0}{A_p}}{1-\frac{A_0}{A_p}}\right]^2 \qquad \text{公式1}$$

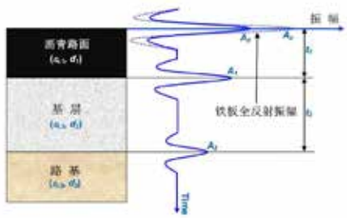


图1 振幅全反射法的沥青路面介电常数计算示意图

以地震波为测量手段的物探技术经常使用共中点法作为计算工具，应用效果较为良好，本文将其引入到探地雷达的球形波测量领域，以地面耦合的收发一体系统（T1/R1）与地面耦合的收发分置系统介绍计算原理，具体如下：

通过获得沥青路面的多层或单层的相对介电常数，得到电磁波在各自层面的传播路径的速度，得到公式如下：

$$vt_1 = 2d_1 = \frac{ct_1}{\sqrt{\varepsilon_{r,1}}} \qquad \text{公式2}$$

$$vt_2 = 2\sqrt{d_1^2+\left(\frac{x}{2}\right)^2} \qquad \text{公式3}$$

上式中，沥青路面厚度为d_1，探地雷达脉冲波在单双基地系统的双程走时分别为t_1和t_2，双基地系统的接收-发射天线的距离为X，真空条件下光的传播速度为c，沥青路面的介电常数为$\varepsilon_{r,1}$，

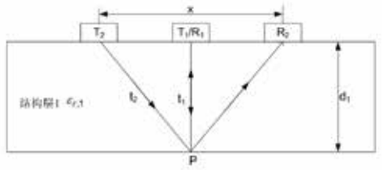


图2 电磁波入射-反射路径示意图

通过对上述公式的变换整理，可得介电常数的计算公式：

$$\varepsilon_{r,1} = \frac{c^2}{x^2}\left(t_2^2 - t_1^2\right) \qquad \text{公式4}$$

根据探地雷达的脉冲波发射和接收信号标记，可以获得t_1和t_2，由公式4可以计算得到沥青路面的介电常数。通过对振幅全反射法与共中点法的比较，前者属于经验法，后者可用电磁波理论作为有力支撑。

2 无核密度仪标定

本文依托高速公路中面层沥青路面作为试验路段，该路面使用SBS类改性沥青，集料为表面干净、质地坚硬、颗粒形状接近正方体的碎石。原材料满足规范和技术管理文件的要求。最佳油石比为4.5%，最大理论相对密度为2.69，设计空隙率为4.4%，最大理论相对密度为2.69，级配如下：

表1 沥青路面中面层级配

	通过下列筛孔（方孔筛mm）的质量百分率（%）										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	88	79	59	35	27	21	17	13	12	7
级配下限	90	77	64	47	25	16	11	7	5	4	3
生产配合比	96	83.4	69	54	33	25	17	14	8.7	6.6	5.6

碾压工艺：经过论证，分为初压、复压和终压三个步骤，具体为：（1）初压。采用双钢轮压路机静压1遍，速度为3km/h。（2）复压。顺序分别为振压、胶轮碾压、振压、胶轮碾压、振压，碾压遍数为1遍。行驶速度统一控制在3～5km/h。终压为采用双钢轮压路机静压2遍，行驶速度为3～6km/h。原则为紧跟慢碾，并根据实际情况加以调整。

本研究使用美国TransTech公司生产的第三代无核密度仪（PQI380）测量沥青路面密度，为确定无核密度仪的测量精度，进行了验证性试验。以地点1为例说明具体方法，首先，根据无核密度仪的标准操作程序测量地点1的密度，得到数据为2.722g/cm^3，然后，以地点1为中心点画两条垂直的直线，再依次测量4个点的密度，分别为2.642g/cm^3，2.659g/cm^3，2.691g/cm^3，2.651g/cm^3，最后，取其平均值作为地点1的密度代表值。

表2 无核密度仪试验结果

位置	地点1(g/cm^3)	地点2(g/cm^3)	地点3(g/cm^3)
中心1	2.699	2.658	2.722
2	2.599	2.656	2.642
3	2.624	2.663	2.659
4	2.541	2.642	2.691
5	2.63	2.623	2.651
平均值	2.618	2.648	2.673
实测芯样密度	2.644	2.648	2.568
A	1.01	1	0.961
B	0.979	0.996	0.943
修正系数	0.99		

由上表可知，无核密度仪的测量结果与芯样的实测密度较为接近，在地点3的两个方法测量数据甚至是一致的。可见，采用无核密度仪测量沥青路面密度的方法较为可靠。本文采用新的方法对其进行密度测量，即最大限度的缩小测点间距，以0.25m/点作为标准，这样，每个测点的0.25m范围内有另外4个测点，取5个点的平均值作为中心点的无核密度仪测量结果。

3 薄层判别与计算机编程

沥青路面薄层（例如上面层、中面层）可以通过探地雷达在一定程度上进行测量和分析。由于所用材料和空隙率差别不大，造成其波形图的效果不够显著，若采用软件自动跟踪处理，会造成较大的误差。而共中点的介电常数计算结果又受制于沥青路面薄层的厚度计算精度。

为了解决上述问题，本文借助探地雷达的处理软件，输出每个测点的波峰数据，由振幅位置判别沥青路面的薄层厚度，根据本文的试验，30ns附近的波峰可以判定为空气与沥青界面的交界处，40ns附近的波峰可以判定为第一层沥青路面的底部位置。即使输出的雷达图不能或者不明显的表现出沥青路面薄层底部信号，但是，在40ns附近仍然有小的波峰。这样，就在理论上最大程度的避免了自动（手动）跟踪界面造成的误差。

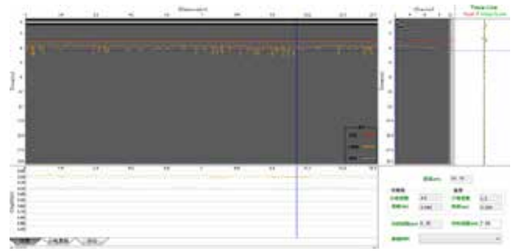


图3 沥青路面的薄层厚度和介电常数计算软件

对于探地雷达数据文件的处理，一般设置方式为：首先， ISDFT项的attenuation，将其设置为0.04， BGR（high pass）项的Start depth（ns），将其设置为2.7，检查无误后，再点击Process Selected Regions 选项，即可完成数据处理，进而保存到相应的文件夹。通过编写探地雷达的数据输出工具，将沥青路面薄层顶部和底部的波峰时间深度值导入excel表格，进而采用介电常数计算软件对数据进行处理，具体方法为点击“新建项目”，导入上述步骤输出的数据文件，分析距离项选择为0.25m，点击自动计算并输出。

总之，通过以上方法可以对沥青路面薄层底部曲线进行有效的判定，具有较为严密的理论基础，最大程度的避免了人工绘制或自动跟踪底部曲线的误差。

4 沥青路面密度与介电常数的相关关系

根据第2节确定的生产配合比和碾压工艺，铺筑沥青路面中面层，进而选择试验区域，范围为13m*50m，测点间距为0.25m，共获得10000个点的密度和介电常数，如图3和图4所示，由于数据量非常大，很难直接获得相应的规律。用图像表示更为清晰，其中，纵坐标表示宽度，横坐标表示长度，颜色深浅不同表示介电常数或密度的大小分布情况。

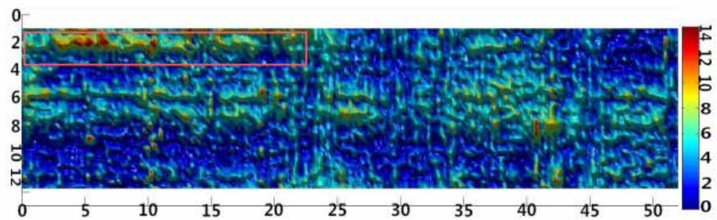


图4　沥青路面空隙率分布图

图3红色方框的部分表示沥青路面的空隙率较大，出现了粗离析，通过对现场的调查，证实了测量结果与实际情况是一致的。即在路缘石部位和摊铺机的接缝位置容易出现粗离析。

为了进一步研究提高探地雷达的介电常数测量精度，采用Adek介电常数测定仪进行了标定。本装置可以对材料的介电常数和导电指标进行有效测量，包括主机和测量探头两部分构成，介电常数测量频率为40～50MHz，测量范围为1～200，测量精度为±（0.2+2%），有效探测深度可达4cm。

由瑞雷混合理论可知，对于各类混合物质的有效介电常数，通常可认为其背景材料的介电常数，是由N个不同材料的介电常数构成。对于沥青混合料而言，其背景材料为沥青胶浆，球状集料和空气颗粒则包含在其中。根据瑞雷模型，可由介电常数预测其相应的密度。

众所周知，沥青路面的表层存在有一定的构造深度。探地雷达检测的介电常数会受构造深度的影响。事实上，在自然条件下，尤其是在雨季，会有一部分水停留于沥青路面内部，在处理探地雷达图像时，选择的孔隙-路表界面线的时间参数是恒定的，总之，探地雷达的介电常数值要大于Adek的测定值，而计算得到的密度相差不大，最大仅为4.1%，以Adek测定值作为基准对探地雷达测量数据进行了修正，通过对30个沥青路面试样的测量，介电常数的代表值为4.7，进而可用于修正系统数据。

图5　无核密度仪

图6　Adek介电常数测定仪

表3　两种设备的介电常数测量结果

编号	介电常数	实测密度	预测密度	预测误差（%）
A（GPR）	6.4	2.57	2.465	4.1
A（Adek）	5.8	2.49	2.4	3.6
B（GPR）	6.6	2.55	2.49	2.4
B（Adek）	5.9	2.55	2.47	3.1
C（GPR）	6.65	2.59	2.48	4.2
C（Adek）	6.3	2.59	2.51	3.1
D（GPR）	6.4	2.57	2.48	3.5
D（Adek）	5.8	2.57	2.51	2.3
E（GPR）	6	2.4	2.31	3.8
E（Adek）	5.5	2.4	2.33	2.9

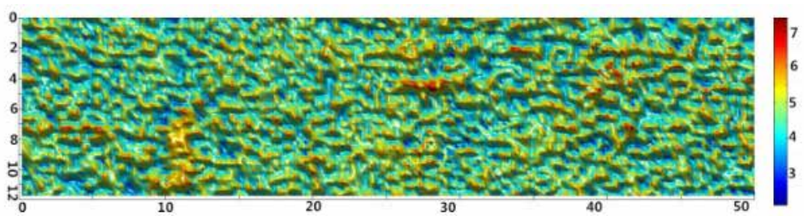


图7　沥青路面介电常数分布图

探地雷达与无核密度仪的电磁波照射的范围不同，造成其测量面积也会不同。在此基础上，本文采用局部区域的沥青路面密度和介电常数平均值作为代表值。虽然图4与图7之间并没有相似之处，但是，通过对其进行网格化计算，并采用数学工具进行拟合，二者的规律较为明显。

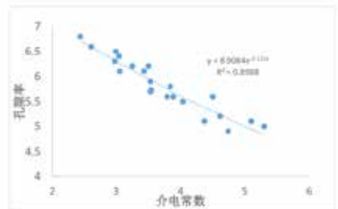


图8　沥青路面介电常数-空隙率拟合曲线

与国外采用振幅反射法来计算介电常数不同，本文采用全新的共中点方法来计算介电常数，试验方法更为简洁有效，工作原理清晰，测量结果更为可靠。通过软件编程与薄层识别，加大试验样本（10000个样本数），进而提出在此基础上的介电常数-密度回归公式，如图8所示，二者的相关系数达到了近90%，可以用以沥青路面的密度预测。

5　结论

为了探究沥青路面介电常数与密度之间的关系，本文以钻芯取样的密度测量、无核密度仪、探地雷达和共中点法作为技术手段进行了研究。

1）与传统的沥青路面介电常数计算方法相比，共中点法的计算原理清晰，可实现高效率的计算，效果明显，比较适用于探地雷达的测量。

2）通过对无核密度仪的试验结果进行标定，验证了该方法具有很好的可靠性。

3）根据探地雷达波的振幅位置可以判别沥青路面的薄层厚度，通过编写计算机软件，明显提高了薄层判别的工作效率，并且可以自动输出介电常数。

4）以大数据形式获取的沥青路面密度能够有效的表征离析状况。采用Adek介电常数测定仪对探地雷达的测量结果进行标定，获取了在大样本条件下（10000个样本数）的沥青路面介电常数-空隙率拟合公式，总之，为采用探地雷达的沥青路面密度计算方法提供了基础数据。

参考文献

[1]陈少幸，张肖宁，邹桂莲．应用 PQI 评价沥青路面离析的研究[J]．公路交通科技，2006，23(5)：11-15.

[2]蔡唐涛．无核密度仪在机场沥青道面施工质量检测中的应用研究[J]．筑路机械与施工机械化，2015，32(9)：66-71.

[3]刘涛．基于无损检测方法的沥青路面介电特性与施工质量评价研究[D]．华南理工大学，2016.

[4]刘澜波，钱荣毅．探地雷达：浅表地球物理科学技术中的重要工具[J]．地球物理学报，2015，58(8)：2606-2617.

[5]董茂干，陆俊．探地雷达的工作原理及其在公路检测中的应用[J]．筑路机械与施工机械化，2010，27(5)：28-31.

[6]张蓓，蔡迎春，王复明，等．无核密度仪（PQI）在沥青路面施工质量控制中的应用[J]．公路交通科技，2006，5(4)：35-37.

[7]姜守东，符策科，程德金，连城．含水状态下的沥青路面隐性探伤研究[J]．筑路机械与施工机械化，2015，32(6)：79-82.

[8]郭士礼.基于随机介质的高速公路探地雷达检测理论研究[D]．武汉：中国地质大学．2013.

[9]Stryk J, Matula R, Pospíšil K, et al. Comparative measurements of ground penetrating radars used for road and bridge diagnostics in the Czech Republic and France[J]. Construction and Building Materials, 2017, 154: 1199-1206.

[10]Benedetto A, Tosti F, Ciampoli L B, et al. An overview of ground-penetrating radar signal processing techniques for road inspections[J]. Signal Processing, 2017, 132: 201-209.

[11]Varela-González M, Solla M, Martínez-Sánchez J, et al. A semi-automatic processing and visualisation tool for ground-penetrating radar pavement thickness data[J]. Automation in Construction, 2014, 45: 42-49.

[12]廖红建，朱庆女，昝月稳，等．基于探地雷达的高铁无砟轨道结构层病害检测[J]．西南交通大学学报，2016，51(1)：8-13.

[13]刘宗辉，吴恒，周东，等．频谱反演法在探地雷达隧道衬砌检测中的应用研究[J]．岩土工程学报，2015，37(4)：711-717.

[14]李细伟，陈敏．基于无损检测技术的半刚性基层沥青路面损伤状态分析[J]．公路，2017，62(8)：40-43.

[15]Al-Qadi I L, Lahouar S, Loulizi A. In situ measurements of hot-mix asphalt dielectric properties[J]. NDT & e International, 2001, 34(6): 427-434.

[16]Lytton R. Characterizing asphalt pavements for performance[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2000 (1723): 5-16.

[17]Saarenketo T, Scullion T. Road evaluation with ground penetrating radar[J]. Journal of applied geophysics, 2000, 43(2): 119-138.
[18]Silvast M. Air Void Content Measurement Using GPR Technology at Helsinki-Vantaa Airport[J]. 2001.
[19]Patriarca C, Tosti F, Velds C, et al. Frequency dependent electric properties of homogeneous multi-phase lossy media in the ground-penetrating radar frequency range[J]. Journal of Applied Geophysics, 2013, 97: 81-88.
[20]Butnor J R, Campbell J L, Shanley J B, et al. Measuring soil frost depth in forest ecosystems with ground penetrating radar[J]. Agricultural and forest meteorology, 2014, 192: 121-131.
[21]Xia Z H, Hao Y, Wu S Y, et al. Design of high scanning rate for array impulse ground penetrating radar[C]//Ground Penetrating Radar (GPR), 2016 16th International Conference on. IEEE, 2016: 1-6.
[22]Plati C, Loizos A. Using ground-penetrating radar for assessing the structural needs of asphalt pavements[J]. Nondestructive Testing and Evaluation, 2012, 27(3): 273-284.

简 讯

危大工程安全管理发生重大变化

2018年3月8日住建部发布了《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（住建部令第37号）（以下简称“规定”），现将它与《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》（建质[2009]87号）（以下简称“办法”）进行比较，就其中变化较大部分进行统计。

一、办法使用部门文件形式，规定使用住建部令形式。

二、办法明确安全专项施工方案编制内容并规范专家论证程序，规定淡化了这一要求。

三、办法适用范围粗略，规定适用范围具体、明确。

四、办法明确了危大工程及超过一定规模的危大工程范围，规定未明确，需另行制定。

五、办法没有涉及勘察单位和设计单位，规定明确勘察单位和设计单位职责。

六、规定明确专家论证前专项施工方案应当通过施工单位审核和总监理工程师审查。

七、办法无危大工程相关信息公众告知要求，规定明确“施工单位应当在施工现场显著位置公告危大工程名称、施工时间和具体责任人员，并在危险区域设置安全警示标志。”

八、规定强调安全技术交底“由双方（施工员和作业人员）和项目专职安全生产管理人员共同签字确认”，办法无要求。

九、规定强调“项目专职安全生产管理人员应当对专项施工方案实施情况进行现场监督”，办法未明确。

十、规定强调“专家对论证报告负责”，且规定对专项施工方案需提出“一致意见”，办法无要求。

十一、施工单位拒不整改或不停工的，办法强调由建设单位应当及时向住房城乡建设主管部门报告，规定要求由监理单位应当及时报告工程所在地住房城乡建设主管部门。

十二、办法没有关于第三方监测管理要求，规定明确了第三方监测管理要求。

十三、办法无设置验收标识牌和公示等条款，规定要求“危大工程验收合格后，施工单位应当在施工现场明显位置设置验收标识牌，公示验收时间及责任人员。”

十四、办法没有应急处置条款，规定增加了应急抢险相关规定。

十五、办法没有安全管理档案相关规定，规定增加了施工单位、监理单位应当建立危大工程安全管理档案的要求。

十六、办法没有专门的监督管理要求，规定增加了县级以上地方人民政府住房城乡建设主管部门或者所属施工安全监督机构监督管理职责。

十七、办法没有设置法律责任条款，规定增加了法律责任专项章节，且各方主体法律责任十分明确，处罚力度大（比如暂扣安全生产许可证30日）。

集团技术管理部 张浩

应用研究

颗粒彩色沥青及沥青混凝土路用性能研究

范璐璐，涂亮亮，刘忠，陈建友
（深圳市天健沥青道路工程有限公司，深圳518034）

[摘 要] 彩色沥青在道路上的应用日益增多，为了了解颗粒彩色沥青的性能，推广其在道路上的运用，首先，对颗粒彩色沥青的基本技术指标进行测试，并使用热重分析仪分析该沥青的热稳定性；然后，采用原子力显微镜AFM测试未老化、短期老化和长期老化的颗粒彩色沥青的微观构造和表面能，并与其它沥青进行对比；最后，以AC-10为设计案例，使用颗粒彩色进行沥青混合料配合比设计，并采用AH-70沥青、SBS改性沥青、脱色沥青加铁红色色粉、颗粒状彩色沥青（铁红色）四种胶结料，设计AC-13混合料，对比其路用性能。结果表明：颗粒彩色沥青具有较好的热稳定性和粘附性，采用颗粒彩色沥青制备的沥青混凝土具有良好的水稳定性，且在抵抗车辙方面明显优于其他沥青混凝土。

[关键词] 道路工程；路用性能；AFM；颗粒彩色沥青；沥青混凝土

Study on the Service Performance of Particle Colored Asphalt and Asphalt Concrete

Fan Lulu, Tu Liangliang, Liu Zhong, Chen Jianyou
（ShenzhenTagen Highways Co. Ltd., Shenzhen,518034）

Abstract: The application of colored asphalt on roads is increasing. In order to understand the performance of particle colored asphalt and promote its application on the road, first, the basic technical indicators of particle colored asphalt are tested, and thermogravimetric analyzer was used to analyze the asphalt thermal stability. Then, the microstructure and surface energy of the unaged particle colored asphalt, short-term particle colored asphalt and long-term aged particle colored asphalt were tested by AFM, and compared with other asphalt. Finally, based on AC - 10 design case, mix proportion design of asphalt mixture was made using particle colored asphalt. And the road AC-13 mixture was designed by respectively using AH-70 asphalt, SBS modified asphalt, decolorizing asphalt with rust toner and rust particle colored asphalt as binder. The results show that the particle colored asphalt has good thermal stability and adhesion. The asphalt mixture prepared with the particle colored asphalt has good water stability and is superior to other asphalt concrete in resisting rutting.

Keywords: road engineering; service performance; AFM; particle colored asphalt; asphalt concrete

0 引言

沥青路面具有强度大、减振性高、与轮胎附着力好、易清洁和维护等良好性能，被广泛应用在国内外高等级公路中。但是长久以来，沥青路面通常只有黑色这一种颜色。在经济快速发展、居住环境色彩多样、绿色空间受到重视的今天，黑色的沥青路面显得单调乏味。随着城市经济建设的迅猛发展，人们生活水平不断提高，人们对环境的审美观念增强，彩色沥青路面开始出现。彩色沥青路面不仅可以疏导交通拥挤，在危险路段给驾驶员以警示，抑制频频发生的交通事故，而且其具有较好的防滑效果。因此，彩色沥青路面在市政道路和公路特殊的部位得到越来越多的应用[1-2]。

彩色沥青混凝土路面是指彩色沥青与各种颜色石料、着色剂和添加剂等材料在特定的温度下拌和、配置成各种颜色的沥青混合料，再经过摊铺、

碾压而形成的具有一定强度和路用性能的路面。根据材料来源与施工工艺之间的异同，常见的彩色路面主要包括：（1）常规沥青配制彩色沥青；（2）彩色集料嵌入式；（3）半刚性彩色路面；（4）彩色胶结料式 ；（5）彩色乳化沥青稀浆封层；（6）彩色防滑耐磨路面。国外如美国、波兰、日本、韩国等在近二十年开始铺筑彩色沥青路面，并进行了相关的性能验证试验[3-10]。国内多个大学和科研机构也利用聚合物、树脂等与外掺颜料制备了彩色沥青，并开展了路用性能分析[11-18]。

总体而言，目前市面上彩色沥青大多由液态脱色沥青加颜料制备而成，该工艺需要专用的脱色沥青和制备成彩色沥青的储运装置，以及相应的沥青专用管道和加温保温设备。同时，加颜料时拌和现场会出现彩色颜料飞扬的现象，易产生有害烟气。针对此，本论文针对某公司生产的颗粒状环保型彩色沥青，采用微观测试手段，对彩色沥青的粘附性能和基本物理力学特性进行了测试，并对比分析了不同沥青制备成混凝土的路用性能。

1 试验用材料与物理特性分析

1.1 试验材料

试验用的颗粒状彩色沥青如图1所示，参照美国ASTM相关测试方法和《公路沥青路面施工技术规范》（JTJ F40-2004），该颗粒状彩色沥青相关性能检测结果如下其基本技术指标如表1。

图1 彩色沥青形貌图

表1 颗粒状彩色沥青技术指标

粘度177℃（Pa·S）	针入度（25℃）	软化点（℃）	密度（g/cm³）	断裂点伸长率（%）	断裂点抗张强度（kg/cm²）	抗低温脆裂性（℃/F50）
3.9	35	80	2.228	450	26	-35

1.2 彩色沥青物理特性

针对市面销售的液态彩色沥青和颗粒状彩色沥青，采用瑞士梅特勒热重分析仪TGA开展了热稳定性分析。两种材料的热重分析对比图如图2所示。

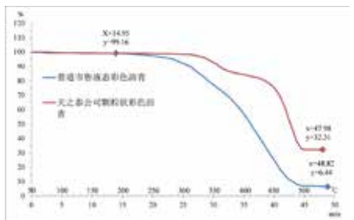


图2 颗粒状与传统液体彩色沥青热重分析对比图

由图2可知，颗粒状彩色沥青的热分析分解温度高于260℃，而对应的液态彩色沥青产品的热分解温度低于200℃，颗粒状彩色沥青的热稳定性明显优于液态彩色沥青。此外，热稳定性试验中发现，液态彩色沥青在200℃下出现严重刺激性烟气，而颗粒状彩色沥青在260℃热稳定性好，未发现烟气。

2 基于AFM的颗粒彩色沥青粘附特性分析

2.1 AFM测试粘附信息原理

原子力显微镜AFM是近年来较新的表界面科学测试手段，利用AFM测试一般功能材料的构造深度已经不再新颖，但用AFM去测量沥青的表面能及粘附功国内缺少相关研究。实际上，采用原子力显微镜测试技术，典型的AFM探针测力与位移的关系曲线图如图3所示。根据探针自由端的弯曲状态，由胡克定律可得到沥青表面粘附力的计算公式如式1所示。

$$F_{ab} = \theta \times K_c \times \Delta X \quad (1)$$

式中：ΔX为探针微悬臂从不弯曲状态到完全离开样品表面过程中的位移；K_c为探针微悬臂弯曲弹性常数；F_{ab}为沥青（集料）与探针之间的粘附力；θ是修正系数。

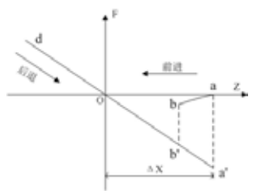


图3 原子力显微镜测试的粘附力-位移曲线

通过JKR理论和Fowkes模型可由粘附力计算得到粘附功和表面能，计算公式见公式2至公式4。

$$F_{ab} = \frac{3}{2}\pi RW \quad (2)$$

$$\gamma_{ab} = \gamma_a + \gamma_b - 2\sqrt{\gamma_a^d \gamma_b^d} \quad (3)$$

$$W_{ab} = 2\sqrt{\gamma_a^d \gamma_b^d} \quad (4)$$

式中：R为探针针尖的当量曲率半曲率半径，W为粘附功，γ^d为表面能的色散分量，W_{ab}为界面间的粘附功，γ_a、γ_b、γ_{ab}为界面能。

根据已有研究显示，对于沥青而言$\gamma_a \approx \gamma_a^d$，即可以将粘附功的计算式近似处理为公式5。

$$W_{ab} = 2\sqrt{\gamma_a \gamma_b} \quad (5)$$

因此，当得到沥青与探针之间的粘附功W_{ab}时，可以通过探针与硅片的力曲线计算出对应的粘附功，进而求出探针的表面能γ_b，将其代入到公式5中就可以求出沥青材料的表面能γ_a。

2.2 颗粒彩色沥青粘附特性分析

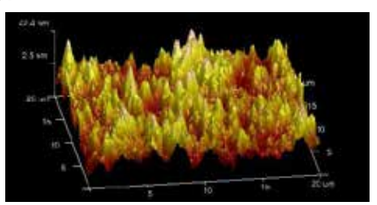
采用AFM对颗粒彩色沥青在未老化、短期老化和长期老化状态下的表面微观构造进行测试。并基于上述测量原理，对上述三种状态的颗粒彩色沥青进行了表面能测试，并与普通沥青进行了对比。未老化、短期老化和长期老化的颗粒彩色沥青样品图见图4。

(a)未老化 (b)短期老化 (c)长期老化

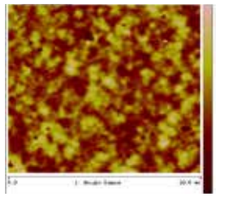
图4 不同老化状态下的颗粒状彩色沥青

由图4可以看到，颗粒彩色沥青经历短期和长期老化后，表面出现大量的粗糙凸起物，且材料的流动性较差。

测试所得微观构造图见图5，图6和图7。其中，长期老化颗粒彩色沥青由于表面过于粗糙，微观尺度下纹理起伏较大，超出了AFM测试的高度范围，因此对于长期老化的试样，没有测得3维的构造数据。

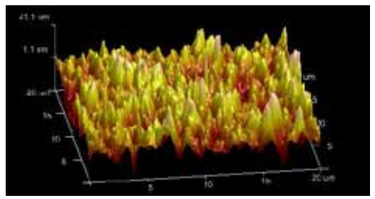


（a） 未老化颗粒彩色沥青的表面微观构造(3D)

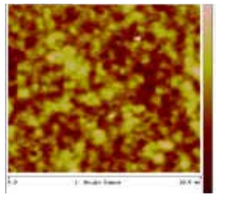


（b） 未老化颗粒彩色沥青的表面微观构造(2D)

图5 未老化颗粒彩色沥青的表面微观构造



（a）短期老化颗粒彩色沥青的表面微观构造(3D)



（b）短期老化颗粒彩色沥青的表面微观构造(2D)

图6 短期老化颗粒彩色沥青的表面微观构造

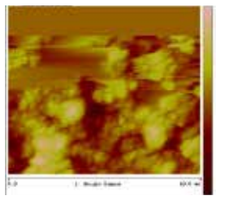


图7 长期老化颗粒彩色沥青的表面微观构造（2D）

由微观构造图可看出：总体而言，随着老化程度的增加，颗粒彩色沥青的表面构造特征由细小和均匀的凸起向大且深的纹理发展。相对于普通的基质沥青，颗粒彩色沥青在未老化和短期老化后的微观构造更为丰富，表现为微观尺度下沥青的表面有大量的均匀的构造纹理，在与集料相互粘结时，与集料的表面可以形成相互嵌挤结构，这将有助于颗粒彩色沥青与集料的界面粘结。

测得的颗粒彩色沥青以及对应的基质沥青表面能见表2。由于颗粒彩色沥青在短期老化和长期老化后，表面过于粗糙，超出AFM力曲线的测试量程，导致不合理的测试结果，所以老化后的试件部

分数据不能在原子力显微镜下完整的测出来。

表2 颗粒彩色沥青与基质沥青表面能

沥青种类	表面能（ml/m²）		
	未老化	短期老化	长期老化
颗粒状彩色沥青	40.24	-	-
安达90号沥青	15.94	20.04	7.46
克拉90号沥青	13.66	10.87	8.94
镇海70号沥青	9.28	15.15	24.79
克拉70号沥青	12.02	10.05	10.18

由表2可以看到，未老化颗粒彩色沥青的表面能均值达到40mJ/m²以上，远远大于之前测试的安达和克拉玛依沥青。这证明，颗粒彩色沥青具有比普通沥青更大的表面能参数，在与集料粘结后，将其从集料表面剥离所需要的功就越大，也就是说，颗粒彩色沥青具有比普通沥青更佳的界面粘结性能。

3 颗粒状彩色沥青混凝土配合比设计实例

以AC-10沥青混合料为设计案例，使用颗粒彩色沥青设计沥青混合料。

3.1 目标配合比设计

本次设计的沥青混合料目标配合比级配参数见表3，颗粒彩色沥青用量为7.7%，对该配合比进行路用性能测试，测试结果见表4。

表3 AC-10沥青混合料目标配合比参数

矿料名称	比例	筛孔尺寸								
		13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
5～10mm	61%	100	99.1	30.5	7.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0～5mm	36%	-	100	99.4	75.6	57.0	38.0	23.6	15.2	10.9
矿粉	3%	-	-	-	-	-	-	100	93.6	81.2
混合料	-	100	99.5	57.4	34.7	24.3	17.4	12.2	9.0	7.1
级配范围	-	100～100	90～100	45～75	30～45	20～44	13～32	9～23	6～16	4～8

表4 AC-10（天之泰彩色颗粒7.7%）路用性能

指标	毛体积相对密度	空隙率(%)	矿料间隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)	浸水48h稳定度(kN)	残留稳定度(%)	理论最大相对密度	动稳定度(次/mm)
实测值	2.362	5.2	17.1	69.8	11.54	25.4	9.1	78.9	2.491	9125
规范规定	-	3～6	>16	65～75	>8	20～45	-	>75	-	>3000

3.2 生产配合比设计

生产配合比设计时各热料仓的材料用量为:1#仓（0-4mm）49%，2#仓（4-7mm）29%，3#仓（7-11mm）20%，矿粉2%，彩色沥青（油石比）6%，改性沥青（SBS I-D）2%.配合比参数见表5，马歇尔实验数据见表6。

表5 AC-10沥青混合料生产配合比参数

筛孔尺寸	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
设计曲线	100	99.3	68.6	47.2	28.3	17.8	12.4	7.9	6.0
设计范围	100	90～100	45～75	30～58	20～44	13～32	9～23	6～16	4～8
设计中值	100	95.0	60.0	44.0	32.0	22.5	16.0	11.0	6.0

表6 AC-10沥青混合料马歇尔试验数据

试验项目	试件密度(g/cm3)	空隙率(%)	矿料间隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)
试验结果	2.384	4.3	16.5	77.6	15.31	24.1
规范要求	--	3--6	>16	70--85	>5	20--45

由表4和表6可知，实验颗粒彩色沥青设计的AC-10沥青混合料的路用性能满足规范要求。

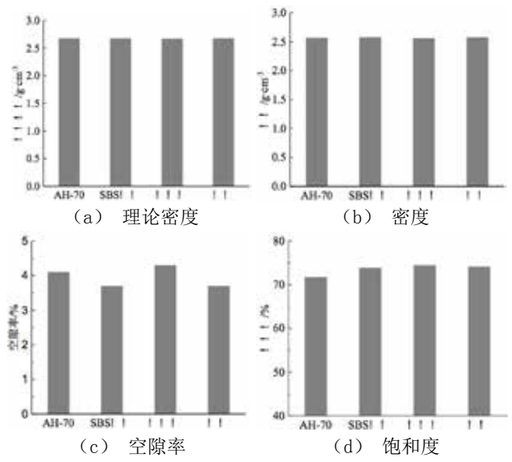
4 多种沥青混合料性能对比分析

4.1 混合料设计

本试验使用春雷石料厂的集料（压碎值11.2%，对沥青的粘附性为4级）。采用海盛重交AH-70；海盛SBS改性沥青；海川脱色沥青+铁红色色粉；颗粒状彩色沥青（铁红色）四种胶结料，对路用AC-13混合料进行配合比设计，油石比分别为4.8%、4.8%、7%、4.8%，混合料配合比见表7，体积参数见图8。混合料马歇尔试验所得的稳定度如图9所示。

表7 混合料配合比

矿料名称	比例	筛孔尺寸								
		13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
10～15mm	33	82.3	16.7	-	-	-	-	-	-	0.5
5～10mm	33.5	-	97.6	32.8	9.3	-	-	-	-	0.2
0～3mm	31.5	-	-	-	83.1	49.1	33.5	24.0	18.8	15.6
矿粉	2	-	-	-	-	-	-	-	90.4	76.6
混合料	-	94.2	71.7	44.5	31.3	17.5	12.5	9.6	7.7	6.6
级配范围	-	90～100	68～85	38～68	24～50	15～38	10～28	7～20	5～15	4～8



（a） 理论密度 （b） 密度

（c） 空隙率 （d） 饱和度

图8 混合料体积参数

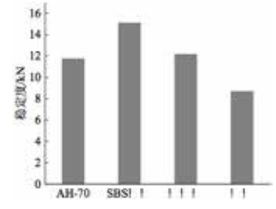


图9 混合料稳定度对比图

由图8和图9可知：颗粒状彩色沥青混凝土较之AH-70混凝土、SBS混凝土、脱色混凝土，其空隙率和饱和度微大，稳定度比SBS混凝土稍小，不过比AH-70混凝土和脱色混凝土大。

4.2 混合料高温稳定性对比

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20-2011）中的轮碾法将上述四种沥青的混合料成型为300mm×300mm×50mm的车辙板，按照规程对其进行车辙试验，试验结果见图10。

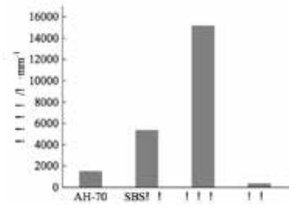


图10 混合料车辙试验对比图

由图10可知：颗粒彩色沥青混凝土的抗车辙性能明显优于AH-70混凝土、SBS混凝土和脱色混凝土，具有非常好的高温稳定性。

4.3 混合料水稳定性对比

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20-2011）中的击实法将上述四种沥青的混合料成型为直径101.6mm，高度63.5mm的马歇尔试件，按照规程对其进行浸水马歇尔试验，试验结果如图11所示。

由图11可知，颗粒彩色沥青混合料的水稳定

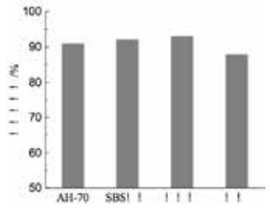


图11 混合料残余稳定度对比图

性高于AH-70沥青、SBS改性沥青和脱色沥青的混合料，具有良好的水稳定性。

5 结论

1）相对于普通沥青结合料，颗粒彩色沥青具有较好的热稳定性，制备工艺更加环保。

2）颗粒彩色沥青具有比普通沥青结合料更大的表面能和更佳的粘附性能，老化后的颗粒彩色沥青与集料的界面粘结更好。

3）颗粒彩色沥青混凝土与AH-70沥青混凝土、SBS改性沥青混凝土、脱色沥青混凝土性能进行对比时，其空隙率和饱和度略大；稳定度比SBS改性沥青混凝土稍小，比AH-70混凝土和脱色混凝土略大；在抵抗水损坏方面和车辙方面，颗粒彩色沥青混凝土优于其他沥青混凝土。

参考文献

[1]郝培文，高卓．彩色铺面技术［J］．筑路机械与施工机械化，2004，(9)：1-4.
HAO Pei-wen，GAO Zhuo. Colourful pavement technology［J］. Road Machinery & Construction Mechanization，2004，(9)：1-4.

[2]曹海波，钱振东．彩色沥青路面的色彩分析与应用研究[J]．石油沥青，2007，21(5)：1- 4.
CAO Hai-bo，QIAN Zhen-dong. Color Analysis and Application Study of Color Asphalt Pavement［J］. Petroleum Asphalt，2007，21(5)：1- 4.

[3]任少英，刘晓丹．彩色沥青混凝土路面的应用及展望[J]．内蒙古农业大学学报(自然科学版)，2006，27(4)：176-179.
REN Shao-ying，Liu Xiao-dan. The Application of Colored Bituminous Concrete Pavement and its Prospects［J］. Journal of Inner Mongolia Agricultural University：Natural Science Edition，2006，27(4)：176- 179.

[4]刘贺．彩色沥青及彩色沥青混合料路用性能研究［D].广州：华南理工大学，2005.
LIU He. Study on Colored Asphalt and the Perform of Colored Asphalt Mixture［D］. Guangzhou：South China University of Technology，2005.

[5]迟银波，刘伟，袁广学．彩色沥青路面的应用［J］．交通科技与经济，2007(1)：18- 26.
CHI Yin-bo，LIU Wei，YUAN Guang-xue. Application of Colour Asphalt Pavement［J］. Technology & Economy in Areas of Communications，2007(1)：18- 26..

[6]刘涛．彩色路面用材料性能及施工工艺研究［D］．西安:长安大学，2006.
LIU Tao. Study on Material Performance and Construction Technology of Colour Pavement［D］. Xi-an：Chang an University，2006.

[7]荆农．沥青路面机械化施工［M].人民交通出版社，2005.
JING Nong. Mechanical Construction of Asphalt Pavement.［M］. Beijing：China Commuications Press，2005.

[8]Rang W. Lee，Ju Won Kim，Dae Woong Kim. Development of Color Pavement in Korea J. Transp. Eng［J］. 1985，111- 292.

[9]许英明．彩色沥青混凝土的现状概述［J］．筑路机械与施工机械化，2004，(9)：5- 7.
XU Ying-ming. Status Quo of Colourful Asphalt Pavement［J］. Road Machinery & Construction Mechanization，2004，(9)：5- 7.

[10] 吕伟民，李立寒．国内外彩色铺面的研究与应用［J］．上海市政工程．1998，(2)：53- 55.
LV Wei-min，LI Li-han. Research and Application of Color Pavement at Home and Abroad［J］. Shanghai Municipal Engineering，1998，(2)：53- 55.

[11] 郝培文，袁永长．彩色结合料的开发与技术性能研[J].公路，2000，(1)：50-52，59.
HAO Pei-wen，YUAN Yong-chang. Study on the Development and Technical Performance of Color Binders.［J].Highway，2000，(1)：50-52，59.

[12] 李立寒，吕伟民．彩色路面用胶结料的研究[J]．建筑材料学报，1999，2(3)：235-240.
LI Li-han，LV Wei-min. Study on Binder for Color pavement［J］. Journal of Building Materials，1999，2(3)：235-240.

[13] 高明，肖斌，赵晓争等．彩色沥青的路用性能［J］．辽宁石油化工大学学报，2005，25 (1)：58- 60，63.
GAO Ming，XIAO Bin，ZHAO Xiao-zheng，et al. CAVF Method of Asphalt Mixture Design［J］. Journal of Liaoning Shihua University，2005，25 (1)：58- 60，63.

[14] 张有发．彩色沥青性能研究及其应用［J］．中国市政工程，2005，(5)：7- 10.
ZHANG You-fa. Research on the Performance of Color Asphalt and its Application［J］. China Municipal Engineering，2005，(5)：7- 10.

[15] 罗时柳，张恒涓，衷海兰．广州地区彩色沥青路面的研究［J］．中国市政工程，2006，(2)：1- 3.
LUO Shi-liu，ZHANG Heng-juan，ZHONG Hai-lan. Research on Colorful Pavement in Guangzhou Area［J］. China Municipal Engineering，2006，(2)：1- 3.

[16] 张平，熊小军，高红兵等．彩色沥青混凝土路面铺装关键技术研究与应用［J］．石油沥青，2008，22(4)：69-71.
ZHANG Ping，XIONG Xiao-jun，CAO Hong-bing，et al. Research on Key Technology of Coloured Asphalt Pavement Construction and its Application［J］. Petroleum Asphalt，2008，22(4)：69- 71.

[17]王文娟,叶奋,回尚勇.高性能透水彩色沥青混凝土在人行道面上的应用研究［J］.公路交通科技(应用技术版),2008,25(9):116-118,166.
WANG Wen-juan,YE Fen,HUI Shang-yong.The Application of Permeable Colour Asphalt Concrete in Sidewalks［J］. Journal of Highway and Transportation Research and Development：Application Technology Edition，2008，25(9)：116- 118，166.

[18]高华，李剑新,罗来龙.道路用改性石油基彩色沥青的路用性能评价［J］．石油炼制与化工，2006，37(10)：56-59.
GAO Hua，LI Jian-xin，LUO Lai-long. Road performance evaluation of modified color asphalt based on. petroleum［J］. Petroleum Processing and Petrochemicals，2006，37(10)：56-59.

简 讯

“一桩一柱”钢柱调垂精度偏差0.001

美丽的珠江畔，一座新地标正在节节拔高，它是全国施工难度最大、施工环境最复杂的超高层逆作法施工房建项目——中建三局承接的广州市越秀区恒基中心地块总承包工程。目前逆作法施工已完成北塔核心筒封顶，南塔逆作法“一桩一柱”工程、首层结构梁板施工，“一桩一柱”钢柱调垂精度偏差缩小到了0.001，属全国首次！

恒基中心项目地下层结构复杂，广州地铁6号线经过工程北塔楼施工区，横穿工地地下室，同时，工地南侧紧邻广州重点保护文物——1900年建成的五仙门发电厂，二者相距不足2米；西面正在使用的五仙门变电站和南面文物五仙门发电厂像两个方盒子嵌入工地内。

据项目负责人介绍，目前国内逆作法钢立柱安装垂直度偏差≤1/600，由于目前国内还没有逆作法施工钢立柱安装垂直度的相关规范，设计单位参考地上钢结构安装垂直度（即偏差≤1/1000）来要求项目地下钢立柱的安装垂直度。项目部多次组织局、公司、外单位专家共同讨论钢立柱调垂方案，并最终确定采用地上调垂架+高精度传感器系统进行钢柱调垂。根据调垂方案，项目部研发了高精度液压调垂架及倾角仪传感监测系统。通过该调垂系统及职能监测系统，过程中采取多种保障措施，实现了一桩一柱钢结构柱调垂精度1/1000的突破。

据悉，恒基中心工程总建筑面积为23.3万平方米，由南北两座塔楼组成，北塔高150米，南塔高100米。北塔塔楼采用外框架钢柱+组合楼板结构体系；南基坑采用全逆作法施工，基坑开挖最大深度26.2米；南基坑逆作法钢结构柱最大直径大1.6米，长约30米，钢柱最大重量约为54吨。南基坑设计一桩一柱钢柱调垂精度偏差≤1/1000，最大不得超过35毫米，是国内逆作法施工项目中首次达到0.001精度的项目，为后续逆作法结构工程施工积累宝贵的施工经验和科学技术数据。

广东建设报

工程实践

天健公馆B座装配式建筑设计实践

刘艾轩[1]，陈习之[2]
(1.深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳518033；
2.深圳市天健房地产开发实业有限公司，深圳518033)

[摘　要] 天健公馆B座保障房项目是目前深圳市福田区首个装配式建筑项目，其7到31层按产业化要求设计和建造，住宅主体结构采用内浇外挂的深圳体系。并综合应用铝合金模板、自升式爬架和BIM等技术，形成一套系统的装配体系。通过工艺创新和精细化管理实现内外墙免抹灰和减少外墙渗水等问题，不仅能够提升建筑质量，而且大大改善现场施工环境，减少建筑垃圾排放，实现节能减排的目的，对推动建筑产业现代化进程和提高项目品质有着重要的意义。

[关键词] 装配式建筑；工业化 内浇外挂；铝模；BIM

Design practice of prefabricated building on Tagen Kungkuan Building B

Liu Yixuan[1] , Chen Xizhi[2]
(1.Shenzhen Tagen<Group>Co.,Ltd.,Shenzhen,518033;2.Shenzhen Tagen Real Estate Development Industrial Co.,ltd.,Shenzhen,518033)

Abstract: Tagen GongGuan Building B security housing Project is currently the first prefabricated building in Futian District, Shenzhen. The residential main structure apply the pouring plug-in technology of Shenzhen industrialization construction method from 7th to 31th floors...In order t‘o according to the industrialization requirements,with scientific organizations, The project made a comprehensive intergration of the some new construction technology,such as aluminum framework system, self-elevating climbing frame system BIM management method,an so on .Through process innovation and refined management, the problems of internal plastering and the seepage of the exterior wall has been solved. Further more, the construction quality and on-site construction environment can be greatly improved,The construction waste can be reduced, energy saving and emission reduction can be achieved, and the industrialization process can be promoted. Moreover the industrialization Application in the project of Tagen GongGuan Building B can speed up the process of construction modernization and has great significance in the improvement of project quality.

Keywords: prefabricated building; industrialization; pouring plug-in technology; aluminum framework system; Building Information Modeling

0　项目概述

本项目位于深圳市福田区的香蜜湖街道办内的安托山片区，是福田区西部重要的居住功能区，未来安托山片区核心居住区，也是福田区首个采用工业化方式建设，并顺利通过装配式建筑项目设计阶段技术认定的项目。

本项目B座为政府配套公共租赁住房，建筑面积为14198m^2，建筑高度99.35米，层数为31层，共400户，实施工业化的楼层为7层到31层，8层及以上的层高为2.8米。

整个建筑结构设计使用年限为50年，结构安全等级为二级，抗震设防类别为标准设防类（丙类），抗震设防烈度为7度（0.1g），设计地震分组为第一组，基本风压为0.75KN/m^2。

图1　项目效果图

1　标准化设计

1.1　户型标准化设计

工业化设计与传统设计方法不同，只有在设计前期对标准化进行充分的考虑，才能在建造（生产、施工）的全过程有效地控制成本。[1]本项目户型设计参考《深圳市保障性住房标准化设计图集——套型及组合平面图》，基本由35m^{2}左右的户型组成。除南北两侧由于平面布置需要，在不影响大的户型布局的情况下，通过户型的细节布置和优化，来寻求标准化的预制构件设置，使得标准化程度相对较高。B座户型平面组成和标准层平面布置图见图2、图3。

根据《深圳市住宅产业化项目单体建筑预制率和装配率计算细则》，本项目预制率为16.85%，装配率为56.40%，指标均满足深圳市关于预制率15%以上、装配率30%以上的要求。

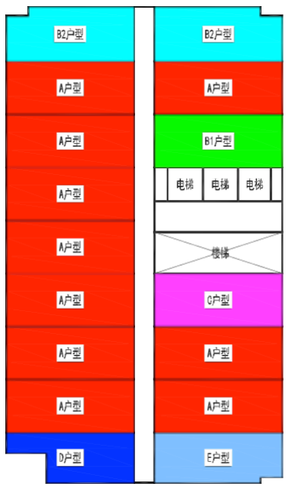


图2　B座户型平面组成图

图3　标准层平面布置图

1.2　预制构件标准化设计

基于模块化的户型，本项目对不同部位的预制构件进行了标准化设计，叠合板单元及预制楼梯的标准化程度比较高，外挂墙板的标准化程度相对较低，但因为外挂墙板为平板式构件，侧模使用量较小，对成本影响较小，经优化后，标准层的预制外墙6种、6块，预制楼梯1种、2块，预制叠合板18种、38块。具体构件标准化设计见图4：

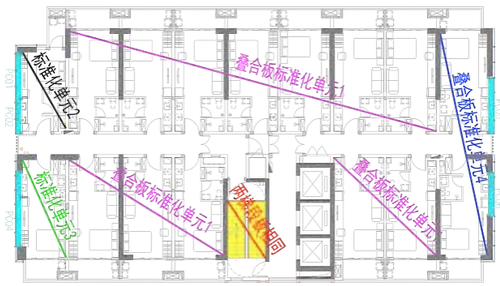


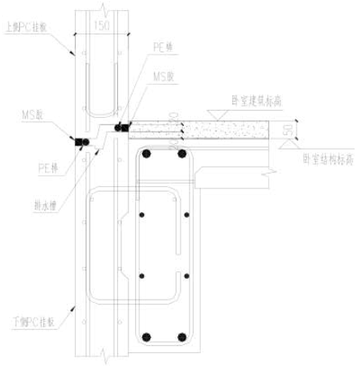
图4　构件标准化设计图

1.3　连接节点标准化设计

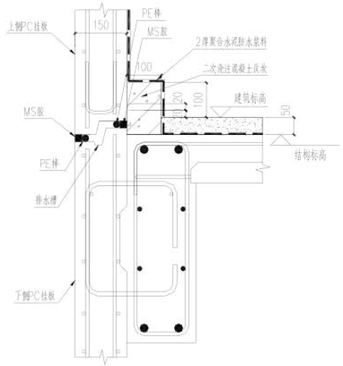
1.3.1　外墙节点标准化设计

本项目外墙采用混凝土外墙+预制外墙（全混凝土外墙），取消了传统砌体方案，减少了现浇部分与砌体部分的拼缝构造，从根本上减少了漏水隐患。在预制构件与现浇构件拼缝处，防水设计充分考虑防排结合，通过对预制外墙拼缝处的企口、凹槽与导水槽的合理设计实现了构造防水要求（竖向缝设置空腔构造与现浇混凝土构造排水，水平缝设

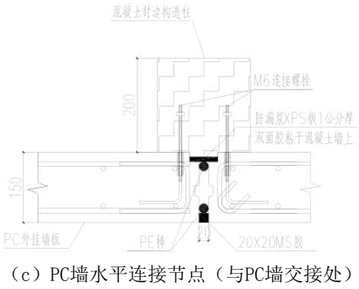
置排水槽构造与反坎构造排水）；通过对墙体内、外侧防水胶条的设置，实现了材料防水；以及结构自防水“三道防线”，大大减小了外墙渗漏的概率。



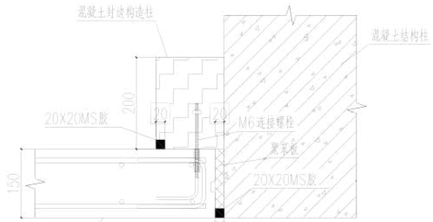
（a）卧室PC水平拼缝处防水措施



（b）厨房PC水平拼缝处防水措施



（c）PC墙水平连接节点（与PC墙交接处）



（d）PC墙水平连接节点（与剪力墙交接处）

图5　预制外墙连接节点

1.3.2　叠合楼板节点标准化设计

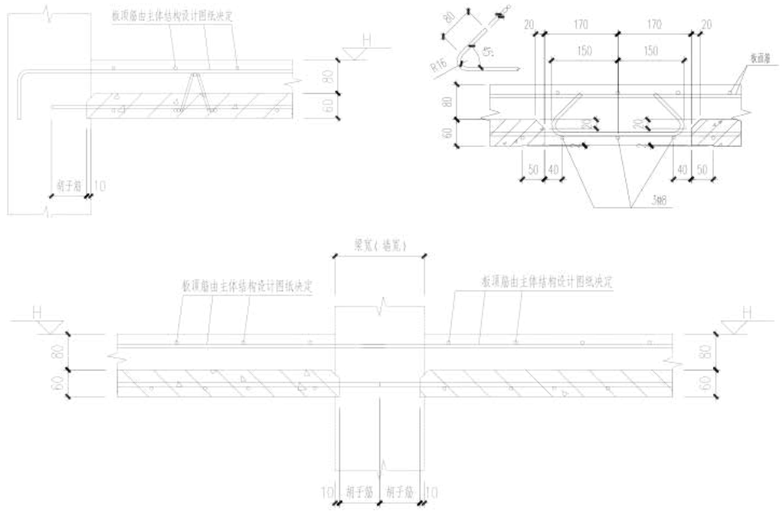
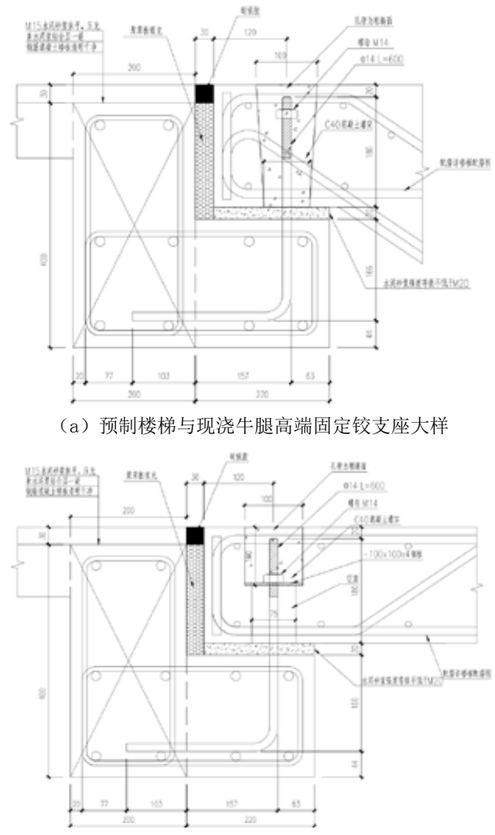


图5　预制外墙连接节点

1.3.3　预制楼梯节点标准化设计



（a）预制楼梯与现浇牛腿高端固定铰支座大样

（b）预制楼梯与现浇牛腿低端滑动铰支座大样

图7　预制楼梯连接节点

1.4　装修标准化设计

本项目对住宅精装修设计与建筑设计进行了同步的全过程一体化设计，精装修设计工作从建筑设计开始同步，贯穿于整个项目的全过程，在本项目建筑机电设计的初期，就考虑了室内的空间布置、家具摆放、装修做法，根据装修效果定位各机电末端点位，精确反推机电管线路径、建筑结构孔洞预留及管线预埋，避免二次改动。确保建筑、机电、装修一次完成，实现土建、机电、装修一体化，这是把住宅的全生命周期基于一个全产业链和全系统的现代化发展进程。

以本项目A户型为例，整个户型集合了4m^{2}的阳台，考虑储物洗衣等功能；4m^{2}干湿分区的卫生间；1.8m的厨房操作台面，1.5m的标准双人床，1.2m的

图8　家具布置BIM模型

衣柜，2.4m长的书桌。在有限的空间里，最大化利用空间，人性化设计，营造最具舒适性的感受。

图9　A户型精装设计平面图

通过以上标准化的设计考虑，使得各户型家具模块标准化、卫生间模块标准化、门的标准模块化，从而控制了精装修的成本及降低了精装施工的复杂程度。

1.5　机电标准化设计

在本项目建筑机电设计的初期，由室内设计师根据功能需求和布置，精确的考虑布置相关机电的位置，避免二次改动，主要体现以下几点：

1）厨房的设计：在一字型的厨房空间，根据需求，合理的布置油烟机插座位置、炉灶的预留电源插座、给排水的位置、台面上方的预留电源插座点位，保证机电点位的合理性，避免后续再改动，达到节约成本的目的。

2）开关插座的点位设计：在各个功能区域，布置相应的开关插座点位，比如：床头柜与入口处设置双控开关；书桌处电源及网络接口；带USB接

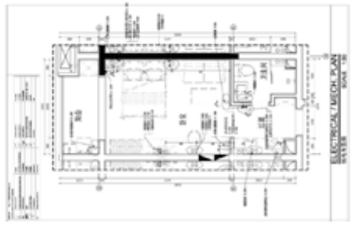


图10　机电设计图

口的插座面板；备用插座的预留；阳台洗衣机给排水及电源点位；优化布置，充分考虑到位，使得建筑机电专业能更加精确的计算和规划相关机电点位和给排水位置，杜绝二次更改，浪费成本。

2 免抹灰设计

本项目外墙采用全混凝土方案。

表1 免抹灰做法

	内墙做法	外墙做法	卫生间.厨房做法	顶棚做法
1	内墙腻子	外墙涂料，一底两面；	瓷砖装饰面层	顶棚腻子
2	混凝土墙、预制内墙板	两遍外墙腻子，打磨平整；	1.5mm厚JS-2防水涂料，高于卫生间地砖完成面1800mm；	钢筋混凝土楼板（基层清理，并对外露钢筋和钉眼做刷防锈漆防锈处理）
3	--	1.0厚聚合物水泥基防水涂料	混凝土墙、预制内墙板	--
4	--	钢筋混凝土墙体	--	--
5		XPS保温板	--	--
6	--	石膏保护板	--	--

3 铝模设计

本项目根据住宅楼的设计特点，现浇部分模板均采用铝合金模板（以下简称铝模）代替传统木模板施工。铝模施工的质量和进度取决于铝模整体设计的协调程度和施工工艺选用。

主体设计需充分考虑户型层高、梁高、墙厚、局部降板及节点设计的变化对铝模施工的影响。凹槽部分不宜过多，保证支撑位于同一平面和高度，提高铝模周转使用程度。

精装设计必须充分考虑到水电点位及门窗幕墙埋件的预留预埋，避免后期开槽和返工，无法实现准确、整体的铝模施工。

整体设计需考虑铝模相适应的相关工艺，如预制隔墙条板爬架等因素，并使之相互适应协调。所以要在工程中充分利用铝模工艺的优势，设计上就需实现提前介入、精细审图、统筹协调，才可为铝模施工创造有利条件。

本项目有以下特点：1）全混凝土外墙；2）采用爬架施工；3）建筑设计方案南北对称，东西两边大致相同，户型模块化程度高；4）楼层高度统一；5）水电及深化设计提前介入；6）采用BIM技术进行施工模拟和碰撞检查。

3.1 铝模平面布置

3.2 铝模设计要点

铝模设计要点包括：预留孔洞铝合金模板方案

本项目标准层免抹灰方案通过以下措施解决：

1）标准层现浇部分全部采用铝模施工；

2）内墙板由传统砌筑改为预制内隔墙条板；

3）保温采用内保温做法。

4）外墙采用涂料做法。

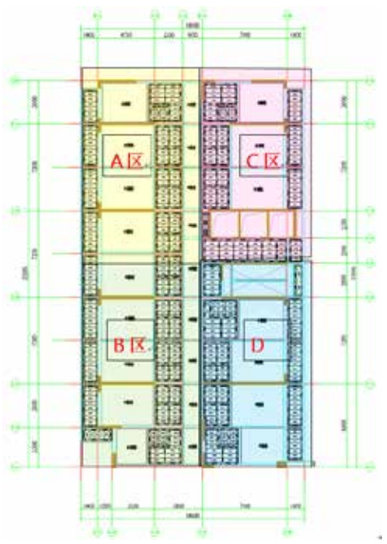


图11 B座铝模平面布置图

中的准确位置、交接部分连接做法、支撑方式确定及具体节点构造。

3.2.1 企口抹灰收口压槽：为保证预制墙体与现浇部分连接紧密，飘窗板、雨篷板、空调板均一次成型且进行企口优化。减少二次结构支模工序，提高效率，降低渗水隐患。；

3.2.2 门梁及梁下挂:门洞过梁一次性浇筑质

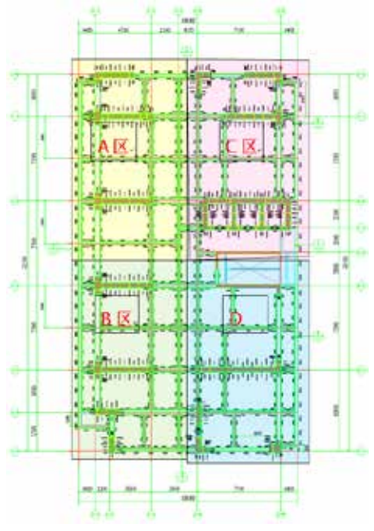


图12 B座铝模竖向布置图

量较好，可以杜绝砌体浇筑时因过梁施工导致门洞高度不能统一的问题，同时在砌体施工阶段节约了该部分的施工时间。下挂宽度则根据相邻墙体最小厚度确定。

3.2.3 砌筑工程优化：厨房、卫生间、水电井反坎宜一次性浇筑，外窗台以下砌体变更为混凝土一次性施工，杜绝渗水隐患 ，节约了临边防护的材料及维护费用，加快施工速度。

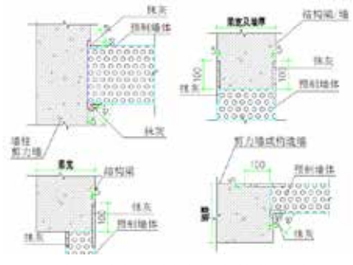


图13 混凝土墙与预制墙板交接位置企口压槽

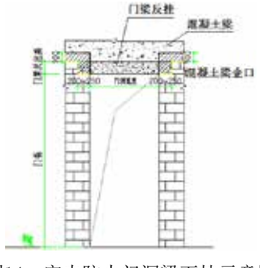


图14 室内防火门洞梁下挂示意图

3.2.4 铝模关键节点连接：所有与轻质隔墙交接的混凝土都需要压边，包括：剪力墙交接处、柱交接处、梁侧边、吊梁连接处。

3.2.5 防漏浆设计：1）PC构件与铝模搭接处采用螺栓与预埋套筒固定，保证连接牢固。PC构件与铝模间缝隙填充橡胶条或双面胶，防止漏浆；2）在铝模之间接缝位置预先粘贴胶条以达到防止漏浆的作用；3）装配式模板与PC构件底部设置胶条防漏浆。

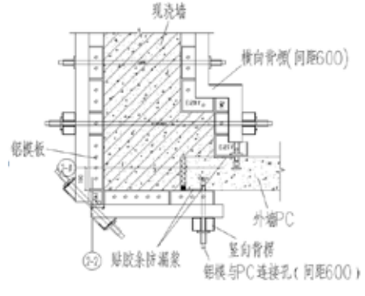


图15 混凝土墙与预制墙板端位置企口压槽

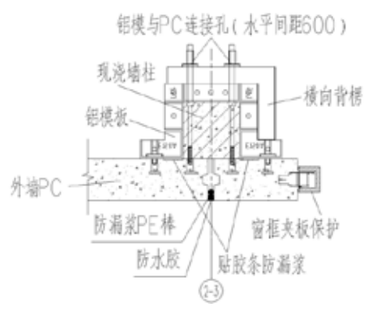


图16 混凝土墙与预制墙板交接位置企口压槽

3.2.6 支撑设计：标准层高为2.8米，支撑方式需采用传统方式斜撑方式加横杆拉结。

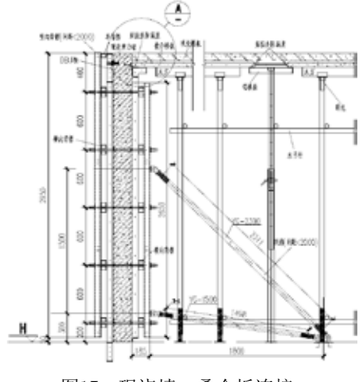


图17 现浇墙、叠合板连接

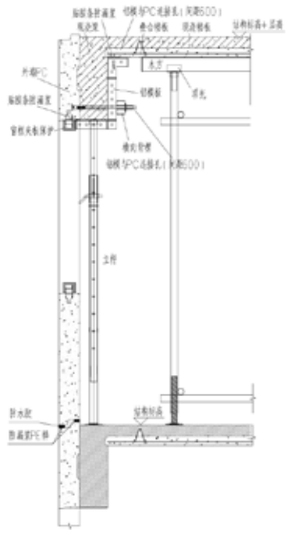


图18 PC墙、现浇梁、叠合板连接

4 设计优化

本项目充分考虑施工速度和现场安装难度，针对公馆项目的设计进行了优化。

4.1 装配式设计优化

由于B座保障房东西两侧为连续外挑阳台，不适合考虑预制构件的应用，因此预制构件在外围护结构应用仅限于南北两侧的山墙。根据项目塔吊布置以及建筑公司对塔吊选型的限制，塔吊对应位置的吊装能力仅为6T，考虑一部分安全储备的情况下，除去过程吊装水平向风荷载和吊具自重外，允许最大预制构件重量为5T，不足以满足原设计的南侧预制墙板吊装能力。为满足吊装安全，设计上针对南侧预制墙板进行了分块，并在分缝处增设构造柱，杜绝外墙竖缝漏水隐患，此优化很好的解决了因施工现场的限制而不能满足构件吊装的难题。

4.2 BIM设计及施工模拟优化

为了更好的完成装配式建筑工程，本项目在设计阶段就采用BIM技术对装配式吊装过程进行施工模拟。针对叠合板的胡子筋与现浇部分梁纵筋“打架”问题， 在设计阶段就对现浇梁的钢筋施工工序进行了优化。在吊装前，调整梁上部纵筋位置，待叠合板就位、安装完成后，梁上部纵筋复位，并通过BIM动画漫游清楚的模拟整个施工过程，为后续现场施工提供了清晰的解决方案。

5 总结

尽管装配式建筑的设计是以现浇混凝土结构为基础的，比较多的工作也确实是在常规设计完成后展开，但装配式建筑设计既不是附加环节深化性质，也不是常规设计完成后才开始的工作，更不能由拆分设计机构或构件制作厂家承担设计责任或自行其是。[2]

相对于传统的现浇混凝土结构，采用工业化方式建造的项目有其特殊性，要求从方案设计、建筑设计、构件细化和工厂生产及现场安装各个环节紧密配合。除建筑结构主体相关设计以外，幕墙节点设计、铝模设计、爬架节点设计等也涉及到不同程度的交叉和协调，使得整个设计过程都保持相当高水准的设计精度和各专业的深度配合。只有在项目真正实施前，设计做到全局统筹考虑和高精细化，才能使项目的实施过程保质保进度。

参考文献

[1]张博为，付琼娅，周华。龙悦居三期保障性住房的工业化实践[J].建筑技艺，2014,06：54-59.

[2]郭学明，装配式混凝土结构建筑的设计、制作与施工[M].北京：机械工业出版社，2017.1

工程实践

天健西班牙小镇基坑支护设计优化

周保生[1]，江建[2]，彭晓钢[3]

(1.深圳市市政工程总公司建筑公司，深圳5180331,2.深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳518033；
3.深圳市天健棚改投资发展有限公司，深圳518033)

[摘 要] 本文介绍了天健西班牙小镇基坑支护设计优化，并从技术和经济方面进行对比分析。该案例对同类工程的设计优化具有一定的参考价值。

[关键词] 基坑支护；设计优化；支护桩；土钉墙；止水帷幕；经济效益分析

Design optimization of retaining and protection of excavations in Tagen Xibanya Small Town project

Zhou Baosheng[1], Jiang Jian[2], Li Youzhi[2], Peng Xiaogang[3]

(1. Shenzhen Tagen Construction Co.Ltd., Shenzhen,518033; 2. Shenzhen Tagen <Group> Co.Ltd.,Shenzhen,518033;
3. Shenzhen Tagen Renovation of shanty towns Investment Development Co.Ltd.,518033)

Abstract: This paper introduces the design optimization of retaining and protection of excavations in Tagen Xibanya Small Town project, and makes the comparative analysis from technical and economic aspects. This case has certain reference value for the design optimization of similar projects.

Keywords: Retaining and protection of excavations; design optimization; soldier pile wall; soil nailing wall; curtain for cutting off drains; economic benefit analysis

0 前言

基坑支护工程属于危险性较大工程，历来受到工程届的高度重视。在项目开发建设过程中，基坑工程是影响整个项目质量安全、开发进度、投资成本等方面的关键因素。

南宁天健西班牙小镇基坑支护工程原设计采用钻孔灌注桩+预应力锚索方案，桩间采用素混凝土桩止水，锚索2～3道，坑内采用降水井进行降水，共布置47口井，井径300mm。综合考虑经济及安全因素，对基坑支护设计进行了优化，即有放坡空间的采用“放坡+锚杆”的土钉墙支护形式，没有放坡空间或只有少量放坡空间的采用“钻孔灌注桩+预应力锚索”的桩锚支护形式。

经过优化设计，支护桩数量由667根减少到360根，共减少307根，桩数减少了46%；造价由4050万元降为1780万元，节约成本2270万元，工程造价降低56%，其中，通过取消降水井1项节约施工成本235万元；工期由原方案的230天减少到170天，工期减少60天。

1 工程概况及周边环境

天健西班牙小镇项目位于南宁市江南区智兴路与仁兴路交叉口西南侧，占地面积69002m^2，总建筑面积314265 m2，设由2层地下室，地上9栋26～31层高层住宅。

基坑深度为6.7～10.5m，周长1075 m，基底面积约为57984 m^2。本场地周边环境一般，基坑北面为智兴路，西侧为仁和路，东侧为仁兴路，南侧为规划道路和云贵高铁。

2 场地地质条件

场地位于南宁市江南区沙井镇，属南宁盆

地南侧边缘低丘地貌。场地内现状地形未进行平整，起伏较大，高差约0.4～7.4m，地面标高约71.98～79.02m。经钻探查明，场地内的岩土层从上至下主要为素填土、淤泥质土、粉质黏土、粘土、圆砾、粉细砂、粉质黏土、强风化泥岩、中风化泥岩等，圆砾层距离基坑底约5～10米，圆砾层厚度2～10米不等，其中填土、具胀缩性的黏性土、泥岩为特殊性岩土。

3 原基坑支护设计方案及其缺点

3.1 原基坑支护设计方案

基坑侧壁大部分地段安全等级为二级，局部为一级。原设计采用钻孔灌注桩支护桩+预应力锚索支护结构形式，桩间采用素混凝土桩止水，锚索2～3道，基坑底部井点降水，共布置47口井，井径300mm。基坑支护平面图见图1，典型支护剖面图见图2、图3。

图1 基坑支护平面图

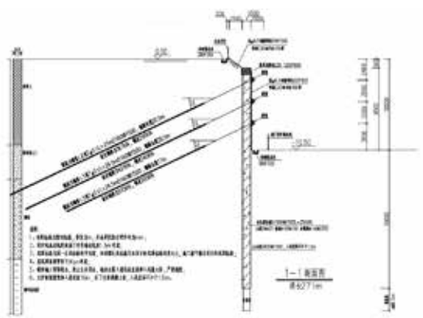


图2 原设计支护剖面图

支护方案如下：

1）1-1、2-2、4-4剖面，即基坑北侧及东南角填土层较厚，基坑安全等级为一级，采用三道锚索，如图2所示。

2）3-3、5-5、6-6剖面基坑安全等级为二级，

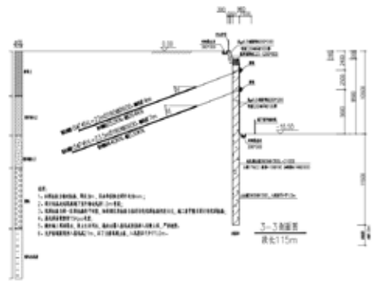


图3 原设计支护剖面图

采用2道锚索，如图3所示。

3）预应力锚索采用15.2（强度1860MPa）钢绞线制作，每根2～3束，锚索水平间距1.3 m或1.5m，一桩一锚，锚索长度为20～32.5m。

4）支护桩采用钻孔灌注桩，桩顶设砼冠梁，桩径0.8/1.0m，桩中心距为1.3/1.5m，装身及冠梁的混凝土强度等级均为C25，桩可冠梁钢筋保护层厚度为50mm。

5）桩间采用素混凝土桩止水，止水桩直径为900 mm，与支护桩搭接200～250 mm，入桩底泥岩层1m。

6）坡面及桩间图采用喷射砼面保护，喷砼厚度为100mm，强度为C20内配单层双向钢筋网。

7）基坑内每35m设置1口降水井，共47口降水井；基坑破顶、坑底四周设明沟排水。

3.2 原设计方案存在的缺点

综合考虑基坑工程地质水文地质情况、周边环境条件、基坑深度、安全等级，经过深入研究，可以发现原设计方案存在以下缺点：

1）该设计没有充分利用周边有利条件放坡，而是全部桩锚支护，基坑支护成本高，施工工期长。

2）止水帷幕采用素混凝土桩，成本高，浪费大。止水帷幕采用搅拌桩或旋喷桩，成本较低。

3）支护桩入泥岩1m，最大达到16m，嵌固深度过长。原设计为了截断坑内外圆砾层的地下水，支护桩长由圆砾层底部埋深控制，造成桩长过大。

对于支护桩嵌固深度，规范[1]4.2.7条款规定：“挡土构件的嵌固深度除应满足本规程第4.2.1条～第4.2.6条的规定外，对悬臂式结构，尚不宜小于0.8h；对于单支点支档结构，尚不宜小于0.3h；对于多支点支档结构，尚不宜小于0.2h。”本基坑深度为10.5m，设2～3道锚索，嵌

固深度不小于0.2×10.5m=2.10m即可满足规范的在最低要求。

对于桩锚支护结构，支护桩的嵌固深度应综合考虑地质情况、基坑深度，一般取3～7m。

4）采用井点降水疏干圆砾层中的水是不现实的，因为圆砾层和附近的邕江水相通，所以采用井点降水并不能疏干圆砾层中地下水，而且抽水费用不可预计。

4 基坑支护优化方案及其实施效果

4.1 基坑支护优化方案

针对原设计中存在的缺点，我们提出了基坑支护的优化方案，见图4、图5、图6所示。综合考虑经济及安全因素，有放坡空间的采用“放坡+锚杆”的土钉墙支护形式，没有放坡空间或只有少量放坡空间的采用“钻孔灌注桩+预应力锚索”的桩锚支护形式。

优化方案详述如下：

1）充分利用环境条件，针对1-1、2-2、7-7剖面，即基坑北侧、东侧局部、西侧有放坡空间的全部采用土钉墙+止水帷幕（搅拌桩）。减少了支护桩和锚索的数量，基坑支护成本大大减低。

2）3-3、4-4、5-5、6-6剖面仍然采用灌注桩+锚索的支护结构形式，但是锚索由2～3道改为1道。

3）减少支护桩嵌固深度，支护桩不穿过圆砾层，减低了锚索和支护桩的工程量。

4）止水帷幕采用搅拌桩，取代原设计中的素砼桩，并且止水帷幕不穿过圆砾层，减少了止水桩桩长，节约了成本。由于基坑底部存在5～10m的粘土层，具有隔水效果，所以止水桩不需要穿过圆砾层。搅拌桩代替素混凝土桩，大大节约了成本。

5）取消基坑内的降水井，由井点降水改为明排法降排水。充分发挥坑底粘土层的隔水作用，尽量避免圆砾层中的地下水进入基坑，而降水井恰恰为地下水提供了上升通道，并且无法抽干。

图4 基坑支护优化方案平面图

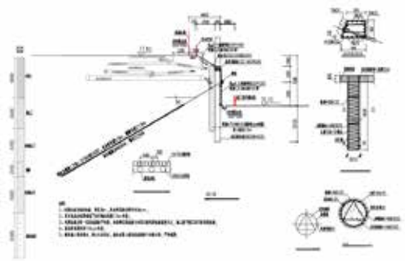


图5 基坑支护优化方案剖面图

图6 基坑支护优化方案剖面图

4.2 优化方案实施效果

经过与设计人员的反复沟通，最终采用以上优化方案。目前，西班牙小镇项目基坑已经回填，主体结构也已经封顶。

在基坑施工和使用过程中，基坑安全状态良好，没有出现基坑坍塌、变形超标的情况，证明了基坑支护优化方案是合理的。

5 经济效益分析

将优化方案与原方案进行经济分析和对比，优化方案大大降低了成本，节约了工期方面，具体如下：

1） 采用优化方案后，支护桩数量由667根减少到360根，共减少307根，桩数减少了46%。

2）止水桩采用搅拌桩、旋喷桩，较素混凝土桩成本减少约700万元。

3）取消降水井，改为坑底明排，节约成本235万元。

4）采用优化方案，工程造价由4050万元降为1780万元，节约成本2270万元，工程造价降低56%。

5）工期由原方案的230天减到170天，节约了60天，节约工期26%。

6 结语

深基坑支护设计应综合考虑基坑周边环境条

件、地质情况、基坑深度、平面形状及尺寸，选取技术可行、经济合理的支护方案。

天健南宁西班牙小镇基坑支护是一个典型的设计优化案例，优化方案充分利用了环境条件、地质条件，大胆采用土钉墙支护形式、减少围护桩及止水帷幕的深度、取消降水井等措施，大大减少了工程量，降低了成本，节约了工期，对同类工程具有重要的借鉴意义。

同时，基坑支护工程属于危险性较大工程，如果为了降低成本而盲目“优化”，可能会出现基坑安全风险。因此，既要保证基坑的安全可靠，又要经济合理，对工程人员的专业技术水平、工程经验和个人胆识都是一种考验。

参考文献

[1]JGJ120-2012建筑基坑工程技术规程.北京：中国建筑工业出版社，2012.

简　讯

污水处理厂如何出“污泥”而不染？

2013年，上海市政工程设计研究总院集团有限公司联合10家单位开展了十二五水体污染控制与治理科技重大专项“节地型城镇污水处理工艺技术研究与工程示范”和“重点流域城市污水处理厂污泥处理处置技术优化应用研究”。经过4年多的研究，提出了污水处理厂如何节地，如何除臭、如何系统处理处置污泥的相关技术。这些技术很好地避免了水与气土之间互相伤害的现象，同时也协调了城市化与污水处理厂建设用地问题，与生态文明建设完美契合，为各大污水处理厂带来了福音。

我国城镇污水处理厂提标改造过程中往往遇到占地面积受限难题，而污水处理厂节地技术在保证污水处理效能的同时可减少占地，积极推进了城市水污染治理的技术水平。污水处理厂节地技术为解决这一难题提供了技术支撑，实现了城市的可持续发展；城镇污水处理厂设施建设滞后引发的环境问题严重降低了城市居民的生活质量，污水处理厂运行过程中产生的臭气、噪声等使周边群众苦不堪言，污水处理厂环境相容性技术有效解决了污水厂二次污染问题，缓解了厂群矛盾，提高了城市居民的生活质量。

此外，以上两项课题研究的技术在实际工程中也取得较好的应用效果：上海泰和污水处理厂将采用节地技术和环境相容性技术，建成污水处理构筑物均在地坪线以下的全地下式污水处理厂，释放上部空间，建成开放式公园绿地，如此一来，不仅节约用地还将成为环境相容型的花园式污水厂；上海白龙港污水处理厂周边敏感源近且复杂，常年处于下风向，特别当污水处理厂多期多个项目建设时，臭气会大量弥漫，对当地居民带来了严重影响，群众反映强烈，在利用环境相容性技术后，厂界臭气浓度、硫化氢浓度和氨浓度大大降低，居民也不再有抱怨。

污泥，是污水处理后的产物，主要特性是含水率高、有机物含量高、容易腐化发臭，若不加以处理，会对环境造成污染。而且污泥产量随着污水处理厂的扩建和处理量的提高而不断增加，以含水率80%计，上海市2015年每天产生超过750吨，预计到2020年每天将接近970吨。

因此，课题系统调研了上海市的污水处理厂污泥现状，详细了解了上海市现有污泥处理处置方式所存在问题和实际需求，全面掌握了上海市污泥处理处置的未来发展方向、动态和趋势，并从技术科学性、经济合理性和环境友好性等方面对上海市的污泥处理处置技术路线和处理设施布局进行了系统评估。打通处理处置路线，实现了污泥安全处置：从最终实现污泥的安全处置和资源化利用出发，围绕污泥处理处置技术路线，在充分考虑具体国情和近远期环境要求的基础上，根据不同进泥泥质特性和后续处置要求，进行了上海市污水处理厂污泥资源化整条技术路线的研究、集成、优化，进一步理清了适合于上海的污泥处理处置技术路线。编制处理处置规划，完成了污泥顶层设计：“十二五”期间针对不同城市污泥的泥量泥质特点，以及现状规划和近远期环境管理目标，编制了污泥规划方案，通过具有可操作性的污泥处理处置顶层设计，对上海市的污水处理厂污泥处理处置和资源化利用设施建设提供了统筹和科学指导。完善标准规范体系，推动了管理能力建设：从完善我国城镇污水污泥标准规范体系和提升管理水平的角度出发，强化了我国城镇污水污泥标准规范和相关政策的研究，形成了一系列标准规范成果，有力地保障了我国城镇污水污泥处理处置工程建设和运行质量。

建筑时报

工程实践

天健智慧园项目抗拔桩设计优化及经济效益分析

温利明[1]，周保生[2]，李宏栋[1]，李有志[3]
（1.深圳市天健置业有限公司，深圳518033；2.深圳市市政工程总公司建筑公司，深圳 518033；
3.深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳518033）

[摘　要] 由于基础在整个建筑造价中占有很大的比重，需对基础设计方案进行优选。结合天健智慧园项目的抗拔桩设计优化方案，从减少工程量、降低造价、节约工期等方面进行了对比分析，由此显示了基础设计优化对开发项目的重要作用。

[关键词] 抗拔桩；　设计优化；　经济效益分析

Design optimization and economic benefit analysis of anti pull-out pile in Tagen wisdom Park project

Wen Liming[1], Zhou Baosheng[2], Li Hongdong[1], Li Youzhi[3]
(1.Tagen (Shenzhen) Properties Services Co.,Ltd., Shenzhen,518033;2. Shenzhen Tagen Construction Co.Ltd., Shenzhen,518033;
3. Shenzhen Tagen <Group> Co.Ltd.,Shenzhen,518033)

Abstract: Because the foundation occupies a large proportion in the whole construction cost, we need to optimize the basic design plan. In combination with the design and optimization of the anti-pull pile design of Tagen wisdom Park project, this paper makes a comparative analysis on reducing the amount of engineering, reducing the cost and saving time, which shows the important role of the optimization of the basic design for the development project.

Keywords: Anti pull-out pile; design optimization; economic benefit analysis

0　引言

建筑物基础选型与设计在整个结构设计中具有十分重要的地位，不仅影响到总造价，而且还对工期有很大影响。

天健智慧园项目原抗浮设计采用789根抗拔桩进行抗浮，经过设计优化，采用嵌岩灌注桩，抗拔桩减少到342根，共减少447根桩，桩数减少了56.7%；总造价由原方案的1944万元减到1152万元，成本节约了792万元，节约40%；工期由原方案的123天预计减到68天，工期减少55天。

1　工程概况

天健智慧园项目位于龙岗区龙城街道办回龙埔社区（友谊路与回龙路交汇处西北角），由3栋框筒结构的高层厂房（12～21层）、1栋剪力墙住宅楼（30层）、3栋多层框架结构商业裙楼组成。总用地面积约31521m^2，总建筑面积137619m^2，其中计容总建筑面积为99483m2。一条东西向市政路穿过项目，地下室为停车场，南区地下二层，北区地下一层。

本地区的抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度为0.10g，设计地震分组为第一组；场地土类型为中软场地土，建筑场地类别属Ⅱ类，特征周期值为0.35s，拟建场地对建筑抗震的地段划分在不利和一般这个区间。

2 场地地质条件

场地内岩土种类复杂，岩土成因、性质、状态变化较大，回填填土层较厚,局部有有机质粉质粘土层分布，地基土等级为复杂地基，各岩土层地基从上到下大致为素填土、粉质粘土、有机质粉质粘土、中砂、粉质粘土、含砾粉质粘土、全风化泥质粉砂岩（褐灰黄色，极软岩，坚硬土状，岩体组织结构基本破坏，风化很强烈，岩芯呈土柱状、岩屑状）、强风化泥质粉砂岩（较硬岩，岩体较完整，基本质量等级为Ⅲ级，微晶-细晶结构，致密块状构造）、微风化石灰岩（较硬岩，强度高，变形极小，具较高承载力；基岩面埋藏深浅不一，起伏变化亦较大，溶洞（灰褐色为主，洞穴内见软~可塑含砾粉质粘土充填）。其中的全、强风化砂岩，有遇水易软化，强度迅速降低等特点。

受风化不均匀影响，风化基岩面起伏变化较大。残积土和全、强风化岩中存在软硬相间的情况，对桩基施工存有较大的施工影响，钻孔揭露深度内见较多溶洞分布，基岩面起伏变化较大，埋藏深浅不一，且岩溶裂隙水较为丰富。钻孔揭露表明，该场地的溶洞发育程度为中等，岩溶（土洞）发育、分布（分布范围、形态、走向、规模）规律性较差，受相对隔水层和溶洞充填物的影响，水流途径规律性不明显。

场地标高为43.70～51.25m，地形北高南低。地勘报告建议结构抗浮及抗裂缝水位：北侧对应场地地坪标高高点区域取H=46.00m，南侧对应场地地坪标高高点区域取H=42.50m，可采用内插法分段分区设置抗浮水位。

3 抗拔桩设计优化

3.1 抗拔桩原设计方案

北区一层地下室底板面标高为40.1m，南区两层地下室底板面标高为35.3m。微风化岩面起伏比较大，埋深在地下室底板下约6～25米。对没有抗浮要求的4栋高层塔楼设计均采用嵌岩灌注桩做基础。本文主要是对本项目纯地下室及小商业区域基础设计方案作优化分析。

纯地下室及小商业区域均有抗浮设计要求，原设计采用了不入微风化岩的摩擦型灌注桩用于抗拔与抗压，据统计共有789根基桩，其中直径1000mm的764根、1200mm的25根，依据桩长的不同，单桩抗拔承载力特征值为520kN～950kN[1]。桩基础部分区域平面布置见图1。由于单桩抗拔承载力太低，

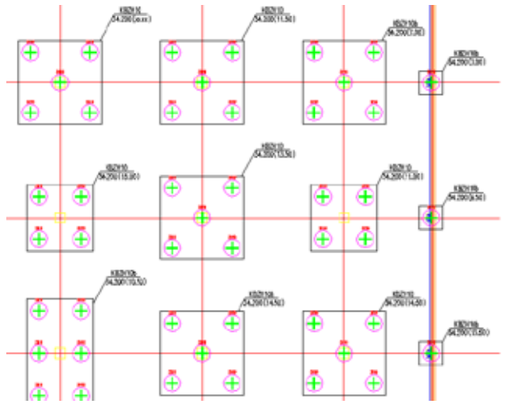


图1 原方案部分区域桩平面布置图

为满足抗浮设计要求，原设计采用了1柱4、5或6桩方案。

此设计方案出来后，相关方召开了桩基专题讨论会,认为此方案技术经济不合理：1）桩数量太多，经济性太差且会导致工期过长；2）根据经验，采用泥浆护壁的旋挖桩基做抗拔承载力检测时，若按设计院采用的抗拔摩阻力折减系数0.85，则做抗拔检测时不满足的概率很高[2]。

有鉴于此，公司技术专家们一起对比了筏板配重、管桩、锚杆、嵌岩灌注桩等不同设计优化方案。最后，通过专题会议认为：虽然超前钻资料显示溶洞出现的比例比较高（约30%），但是洞内有填充物，直径较小，也未见有地下暗河。若采用嵌岩灌注桩来抗浮，总体施工质量及风险都是可控的，故建议采用嵌岩灌注桩抗浮。

3.2 抗拔桩优化设计方案

经设计优化，采用了嵌岩灌注桩抗浮，由于单桩抗拔承载力大幅度提高，单桩抗拔承载力特征值为原设计方案单桩的3～4倍，因而大幅减少了桩基数量。优化后的桩基础部分区域平面布置见图2。由图可知，优化方案一般采用1柱1桩布置方式，局部采用1柱2桩布置方式，抗拔桩数量大幅度减少。

据统计，优化后的桩数为342根，比原方案少了447根，其中直径1000mm的264根、1200mm的78根，依据桩径的不同及入岩深度不同，单桩抗拔承载力特征值由原来的520KN～950KN提高到1300KN(桩径为1000mm)和2200KN(桩径为1200mm)。

4 经济效益分析

根据原设计方案并参考超前钻资料，原抗拔桩

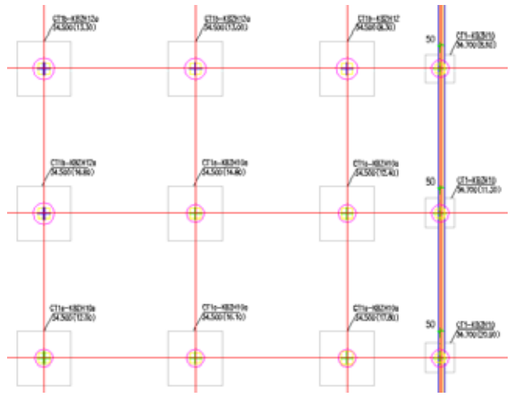


图2 优化方案部分区域桩平面布置图

数量为789根，按平均每根桩18米算，桩的砼含量共11177m^3，钢筋含量823吨，按当地预算定额、材料市场价及有关预算规定，基桩价格合计约1944万元，工期预计为123天。

根据优化设计方案并参考超前钻资料，抗拔桩数量为342根，按平均每根桩19米算（含入微风化岩1米），桩的砼含量共5656方，钢筋含量427吨，基桩价格合计1152万元，工期预计为68天。

优化方案桩的数量比原方案少了447根，桩基数量减少了56.7%；桩砼用量比原方案少了5521m^3，桩砼用量减少了49.4%；桩钢筋含量比原方案少了396吨，钢筋用量减少了48.1%。桩基的总造价比原方案节约了792万元，降低造价40%。工期由原方案的123天预计减到68天，节约了55天，预计节约工期44.7%。同时优化设计采用了较为合理的抗拔摩阻力折减系数，保证了后期桩基抗拔检测的可靠性。

从受力角度来说，原方案抗浮依靠的是土层的摩擦力及桩的自重，由于旋挖灌注桩不是挤土桩，土层的抗拔摩阻力太小而且由于成孔过程采用泥浆护壁，会减小土层与灌注桩的侧摩阻力，经计算提供单位抗拔承载力特征值的价格约为23.5～49.1(元/kN)，效率太低；优化方案由于利用了嵌岩段很高的摩擦力，提供单位抗拔承载力特征值的价格约为19.1～21.2(元/kN)，效率大大提高。

5 结语

综合考虑技术、造价、工期等因素，确定采用优化方案。设计优化后，基桩数量由原来的789根减少到342根，减少了447根桩，桩基数量减少了56.7%；总造价由原方案的1944万元减到1152万元，节约了792万元，降低造价40%；工期预计由原方案的123天减到68天，节约了55天，预计节约工期44.7%。

由此可知，基础设计方案对项目成本、工期、施工质量等具有重要的影响。如果从设计入手，对设计方案严格把关，将会有效降低成本、节约工期。本次设计优化也对我公司今后项目的设计提供了借鉴作用。

参考文献

[1]JGJ94-2008建筑桩基技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2008.

[2]JGJ106-2014建筑基桩检测技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2014.

经验交流

地下车库设计优化中的部分问题及对策

王辉
(广州市天健兴业房地产开发有限公司，广州510665)

[摘　要] 地下车库建造成本一般占项目总建造成本的20%～25%，主要包含：基坑开挖及支护、地下室、车位、人防、消防、通风等，合理降低地下室的成本将会对整个项目的成本优化起到很大作用。本文结合广州天健汇项目、云山府项目对民用建筑地下室设计优化中遇到的车位配比、柱网及车位排布、行车道、地下车库层高等问题及解决方法予以探讨。

[关键词] 地下室；设计优化；成本；问题及解决方法

Problems and countermeasures in the design optimization of underground garage

Wang Hui
(Guangzhou Tagen Xingye Real Eastate Development CO.,Ltd.,Guangzhou,510665)

Abstract: Underground garage cost about 20%~25% of the total construction cost, mainly including: foundation pit and pit supporting, basement, parking space, civil air defense, fire protection, ventilation, etc. Reasonably reducing the cost of the basement will play a great role in the cost optimization. According to TianjianHui and YunshanFu project, This paper discus the problems and countermeasures in the design optimization of underground garage. Such as Parking matching, Parking spaces and column arrangement, Lane underground garage, Height.

Keywords: underground garage; design optimization; construction cost; problems and countermeasures

0　引言

广州天健汇项目地下车库规划要求：机动车位650个，非机动车位456个，地下室建筑面积29801.83m^2，设计院提交初步设计成果后，广州公司组织专题会议讨论，认为施工图中存在单车位面积过大（45 m^2）、车位和柱网布置及行车道设置不合理、层高偏大等诸多问题，造成了为满足规划要求而必须设置五层地下室的不利结果；不仅增加了建设成本而且影响工期，必须进行设计优化，以达到有效降低成本并缩短工期等目的。经过对柱网、停车方式、行车道、人防、层高等方面重新布设，最终成功的将五层地下室优化为四层，机动车位数仍然是650个（其中包含69个机械车位），非机动车位全部布设在地面。经过此次优化，粗略估算可以节省投资约3000万元。

1　车位配比

一般情况下，配备较高的车位比，有助于提升项目品质，但从收益角度来看，较高的车位比将会影响车位售价并延长销售周期，而地下车库本来在整个项目中利润就偏低甚至亏损，因此配备车位过多将会冲淡销售利润率；此外，车位往往在交房后一两年才开始销售，势必会降低内部收益率。因此，配备合适的车位比是提升项目利润的重要手段。

云山府项目是广州地产公司的第三个项目，吸取天健汇项目地下车库设计中的经验教训，在初设起步阶段就重点对车库进行了整体优化布局，达到了较好的经济效益。2017年3月，云山府项目开始方案设计，依据城市导则规定：商业建筑应按照0.6泊/100 m^{2}建筑面积配建机动车位，住宅类建筑应按1.2泊/100 m^{2}配建。按此计算，云山府项目应

设置655泊车位，车位/户数比接近1.4。经分析，本项目共有116户保障性住房，1.4车位/户数比明显偏大，不仅影响车位预期售价并且会延长销售周期，应按大户型每户两个车位、保障性住房每四户一个车位配置进行优化。

经过反复与规划局沟通，最终规划局同意按照地块所属地段规划条件来配置车位：住宅按1.0泊/100m^{2}设置机动车位，按此计算车位数为587个，优化前后相差68个，优化比例约为10.4%。

总结车位配比优化过程，重点是结合当地市场情况和项目整体定位，积极与政府相关部门有效沟通，争取规划按照最有利于开发商需求来设置车位比例：首次置业以小户型为主的项目，应按每百平米来控制车位比较合理；而改善型以大户型为主的项目，应按每户来控制车位比较合理。

需要注意的是，像天健汇这类经过优化设置了少部分机械车位的项目，必须慎重使用。经过调研广州市场物业管理部门的意见，大都认为机械车位存在诸多弊端：需全天24小时运营；维护困难，成规模的机械车库最少需要2～3个人，车库面积越大所需人员越多；高端汽车一般不容易进入机械车位；车位不紧张的小区机械车位空置率高；机械车位有发生事故的隐患，赔偿难处理等等，因此一般情况下不推荐使用机械车位，仅在特殊条件（如基地面积狭小，普通车库需四层以上等情况）且车位盈利与成本综合测算有利后方可考虑使用。天健汇项目仅是租用机械车位，待时机合适时再予以处置。

2　减少车均面积和控制建安成本

表1　影响地下车库造价的主要因素

因素一	面积	车位配比
		单车位尺寸
		柱网与车位排布
		出入口
		设备房
		坡道
		行车道尺寸
		人防面积
因素二	埋深	覆土厚度
		层高
因素三	外轮廓	平面布局方式
因素四	装修	略

2.1　单车位平均面积

2.1.1　停车方式

汽车库内停车方式常用的有平行式、垂直式、斜列式三种。

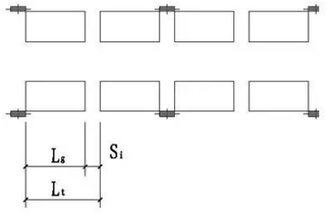


图1　平行式停车

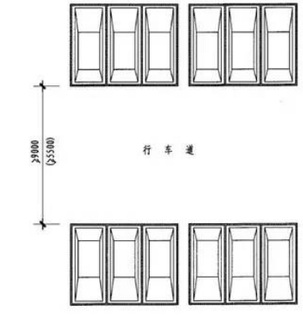


图2　垂直式停车布置示意

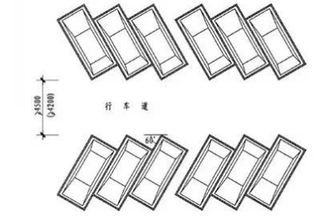


图3　斜列式60°停车布置示意

从驾驶和停车的安全、经济、方便原则应优先选择垂直式停车方式，即车位与车道成90°直角；且车辆“倒进顺出”的布置的时候，每台车所占车库面积的比例最小，按照此方式布置的地下停车库每车所占面积应在28m2～35 m^2。

三种停车方式占用面积大小依次为：斜列式＞平行式＞垂直式。

2.1.2　单车位尺寸

依据《车库建筑设计规范》要求，明确小型车外廓尺寸为：4800×1800mm，车与车横向间距600mm、纵向间距500mm，因此普通单车位尺寸为5500×2400 mm（尾部两车共用），靠墙普通单车位尺寸为5300×2400 mm，高档车一般取5500×2500 mm基本可以满足使用，具体如图4。

按照2017年集团公司发布《房地产项目设计

与工程指引》相关控制标准：人防地下室及塔楼下落面积占总地下室面积50%以上，单车位控制面积≤40m²，经过优化后的天健汇和云山府项目指标达到了集团要求的标准。

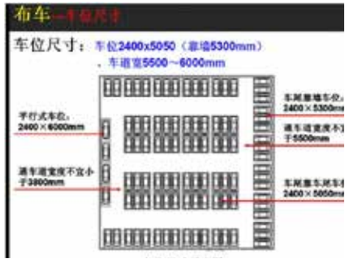


图4　车位尺寸示意图

2.1.3　柱网与行车道

依据《汽车库建筑设计规范》要求，车柱距300 mm，车墙600mm，因此对于单柱网停三辆车的方式合理柱网净间距=车柱距300×2+车宽1800×3+车车间距600×2=7200 mm，如果是600mm的柱子，则经济柱网尺寸为7800mm就够。但考虑到高档车（单车位4900×1900mm）越来越多的趋势，对于定位中高档楼盘，经济柱网尺寸影响泊车的舒适性，尺寸必须相应加大，采用8100×8100mm甚至更大为宜。

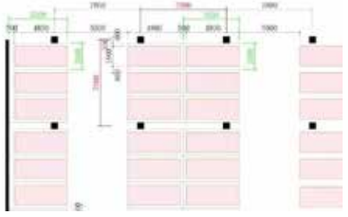


图5　经济柱网尺寸图

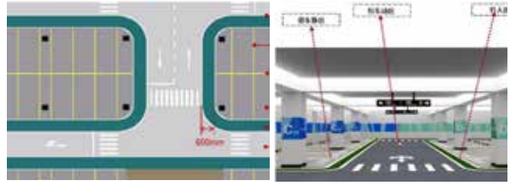


图6　车库专用行人通道，单边宽600mm

《汽车库建筑设计规范》要求，垂直式行车道最小5500 mm，普通住宅按此标准设置即可满足需求，但近年来随着高档住宅的蓬勃发展，地下车库内开始设置人性专用通道，每边宽度600mm，行车道宽度最少为6700mm（5500+600×2）。

表2　经济型车位《车库建筑设计规范》要求尺寸及通道宽度

停车方式	停车位尺寸（单位：mm）	通车道宽度（单位：mm）
垂直停车“后面无墙”停车位尺寸（垂直后退停车）	2400×5050	5500
垂直停车“后面有墙”停车位尺寸（垂直后退停车）	2400×5300	5500
水平停车停车位	2400×6000	3800

2.1.4　设备用房的布置

设备用房、消防栓的布置不应影响停车，更不要挤占停车位布置，尽量布置在不便停车或者停车效率不高的部位，如主楼下方区域或汽车坡道下方地带，实在无法避开时可考虑相关措施把影响降到最低。

需要注意的是，可能产生低频噪音的水泵房应尽可能避免设置在住宅楼正下方（远离塔楼），以减少噪音对住户可能产生的影响。《民用建筑隔声设计规范》（2011）规定：条件许可时，宜将噪声源设置在地下，但不宜毗邻主体建筑或设在主体建筑下。如不能避免时，必须采取可靠的隔振、隔声措施。广州上城项目由于结构限制等原因，一个水泵房比较靠近住宅楼，少量低层住户多次向物业管理处投诉。虽然经过减震、隔音等降噪整改处理，但始终无法使业主满意，目前业主以低频噪音侵权为由起诉到天河区法院，案件正在一审过程中。

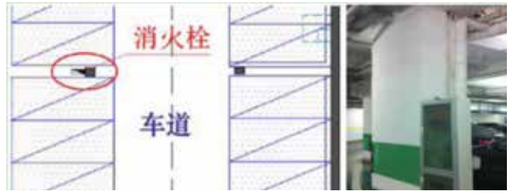


图7　消火栓的位置平行于车位布置避免对停车的影响

2.2　层高

天健汇项目设计院提供最初的方案中有两层地下室层高达到3800 mm，主要是由于各类管线叠加等原因造成尺寸偏大，经广州公司组织各专业设计、施工人员共同研讨，尽量将各类管线平行敷设，个别管线交叉处实行梁间上翻，并将部分原设置在车道正上方的风管道移到车位尾部，最终将地下室层高全部控制在3500 mm以内（设备房除外）。

参照《汽车库建筑设计规范》和集团《房地产项目设计与工程指引》等相关规定，结合实际施工中的遇到的问题，地下室层高优化中应注意以下几点：

1）合理的选用地下室底板的构造做法，根据实际构造来计算层高；

2）在确定层高时，精确计算设备管线预留高度以及结构梁高；

3）当车库与变配电间或水池等设备用房同层设计时，应采取“设备用房局部降（升）板”，而车库层高按常规设计；

4）管线综合，其中管线综合应遵循的原则。

5）车道处净高≥2.2米，局部车位处可以≥2.0米。

风管道尽量不要设置在车道正上方，保证车道处、及大部分的停车位处的净高为2.2米即可，无需把最不利空间的净高设置为2.2米、直径较大的管道可优先设置在车位尾部不走人空间；

2）设备布置避开主车道

风管、电桥架、水暖管道等应综合考虑，在一般情况下尽量并行设置、避免垂直叠加以节省空间

图9　普通地下车库层高组成

表3　绿地集团2015年度平均建设成本
（绿地集团2016成本分析报告）

	单价（元/㎡）	普通住宅单车位控制面积（㎡）
地下室（无人防）	2300～2500	≤32
地下室（含人防）	2800～3000	≤36

3　结语

从控制建筑成本来看，选择合适的地库方案，提高车库的利用率、减少无用面积，降低单车位平均面积以及有效控制地下车库层高等要素才是有效控制成本的关键所在，这是任何试图通过降低含钢量和砼量进行结构优化所不能比拟的。尽管广州地产公司在天健汇和云山府项目进行了细致的地下室优化设计，取得了较好的效果，但必须清醒的认识到，控制标准并不是最优值，不能认为已经达到标准而停止优化，而应该加大向行内标杆企业学习的力度。

图8　风管道布设在车尾处

（如无法避免时，交叉点应远离主车道），上述管线可以考虑和车道垂直布置，避免人为增高车库高度，减少浪费。

3）设备用房处局部降（升）板。

车库与变配电间或水池等设备用房同层设计时，设备用房处局部降（升）板，车库层高按常规设计，避免按设备房的高度设置层高。地下车库的一般层高为3600mm（梁高700mm，风管400mm，喷淋200mm，预留100mm，净高2200mm）。

参考文献

[1]GB/JGJ100-2015车库建筑设计规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2015.

[2]GB/50118-2010民用建筑隔声设计规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2010.

[3]城市设计导则[S].广州市国土资源与规划委员会.2016

[4]房地产项目设计与工程指引[M].天健（集团）股份有限公司，2017.

[5]绿城住宅产品地下停车空间人性化设计导则[M].绿城房地产集团有限公司，2013.

经验交流

共享观念与保障房住区建设探讨

龚红艳
（深圳市天健（集团）股份有限公司，深圳518033）

[摘　要] 本文探讨的是保障房建设中的共享观念问题。在独立住区的保障房中，探讨保障房住区如何通过共享与城市共生共融；在混合居住模式中，探讨如何解决保障房住户和商品房住户共享配套的矛盾；同时对保障房住宅设计中的共享观念进行了探讨。

[关键词] 共享；保障房；混合居住；开放；公共空间

Discussion of sharing idea and the affordable housing construction

Gong Hongyan
(Shenzhen Tagen<Group>Co.,Ltd., Shenzhen, 518033)

Abstract: This is a paper about the sharing idea and the affordable Housing construction. In the dependent affordable housing communities, the paper discusses how to make the public housing harmony with the city. In the mixed residential communities, the paper discusses how to solve the contradictions between the affordable Housing and the commercial housing when they share the service. The paper also discusses the share ide in the affordable Housing design.

Keywords: share; affordable housing; mixed-income residence; open; public space

0　引言

随着社会的发展，共享观念成为人们的共识，党的十八届五中全会明确提出共享发展观，全民共享社会发展进步的成果。另一方面，随着商品房价格的不断攀升，越来越多的工薪阶层买不起商品房，保障房成了很多人的选择，而保障房政策也是近年来国家大力推行的住房政策。在中央政府自上而下的行政命令下，保障房实现了住房数量的急剧增长，解决了部分中低收入居民的住房困难，也引发了一些让人思考的社会问题 。

保障房的居住模式一般有两种，一种是独立住区模式，一种是混合居住模式。

1　独立保障房住区的共享观念

独立住区的保障房是经常采用的模式，保障房住区全部由政府投资兴建，住区内的所有住房均为保障房，保障房又分为廉租房、人才房或限价商品房等不同性质的住房。独立住区的保障房的共享观念最主要的是体现在住区与城市的共生共融，通过共享来提升保障房的居住质量及城市的配套建设。

1.1　功能复合型社区

加强土地的复合利用，适度提高容积率，将保障房住区形成工作、居住、商业、教育等复合型住区。《雅典宪章》以来，城市规划理念经历了一个从严格理性的功能分区到努力创造一个综合的、多功能环境的认识过程，现代社会以信息业、服务业为中心的第三产业使住、职一体化成为新的趋势，城市空间结构也逐步呈现出新的格局。简·雅各布斯指出：充满活力的街道和居住区都拥有丰富的多样性。鼓励保障房住区建成多样性的复合型社区，有利于形成多样性的城市格局，提升城市的活力，保障房住区往往远离城市核心地带，通过复合型住区的建立，使部分居民的工作与居住相结合，使之对社区产生归属感和责任感，从而积极参与社区的改造和升级中，有利于提升社区的整体品质。也有利于减少交通出行的压力。

1.2　高品质的公共活动空间

保障房往往室内居住空间狭小，建立高品质的公共活动空间，即用外部和公共空间的高质量来弥补室内空间的不足或者用共享来提高资源的效率，是形成有活力的社区的基本条件。高收入群体对于城市配套资源可以不分距离远近地去体验，而低收入群体对于住区附近的公共配套资源感受更深刻，低收入群体在自己居住的领域内建立自己的公共生活，居民有归属于自己社区的社区文化，具有积极的意义。香港和新加坡在公屋建设方面经验值得借鉴，如香港公屋在公屋单元室内非常狭小，简陋，但室外空间很宽敞，服务设施如儿童活动场、学校、老人中心、绿地公园配套齐全，注重城市外部空间设计，外部空间和公共空间对造价影响不大，但能够很好地弥补室内空间的不足。

1.3　开放共享的街区

2016年2月国家明确提出街区制为我国未来新建住宅发展的方向，并要求已建成的住宅小区和单位大院要逐步打开，政策虽然提出已经两年，但对于商品房小区鲜有改善，将商品房住区形成开放式街区目前仍有较大难度。当小区规模过大，封闭式管理往往带来居民出行的不变，尤其是步行交通和城市缺乏衔接，造成对机动交通的依赖和人际的疏离。

将保障房住区建成开放共享的街区，通过保障房的建设来改善城市公共配套和交通环境，使这些配套设施在城市层面上共享，能够提高使用效率，避免重复建设，提升城市配套水平，激发城市中不同群体之间的交流，有利于社会公平，也有利于保障房住区的可持续发展和运转。

在发达国家的一些高密度社区里，居住单元或公寓大厦的出入口直接面向城市的街道是很自然的事，但在中国情况要复杂得多。由于区域性的不平衡及配套的缺乏，人们对封闭住区的管理仍有很强的心理需求。开放政策的核心在于路权和公共空间的开放，开放的同时要考虑对居住环境私密性的保障，在私密性的户内空间和公共性的城市街道之间，能够为居民提供主要供住户使用的半私密的住区内活动空间，满足居住行为的多层次空间需要是开放式街区顺利形成的关键要素。而对于开放之后的公共配套及公共设施的管理也需要政府有更多的投入和保障。

2　混合居住模式的共享观念

混合居住模式即在商品房小区中配建保障房，保障房业主和商品房业主共享小区资源。2013年以来，“限地价、竞配建”成为一、二线城市主要的土地出让竞拍方式之一，当地块竞拍价达到一定价位后，竞买方式转为竞投配建保障房，配建的保障房无偿移交给政府。从理论上来说，混合居住模式是一种理想的居住方式，有利于使低收入群体更好地融入城市主流的社会生活，共享社区的公共服务设施和基础配套设施，解决城市发展过程中的居住空间分异问题。但在实际的生活中，不同社会阶层的人因为生活习惯不同、社会价值差异大，往往产生很多矛盾。虽然物质空间接近，但并不一定能直接促进不同阶层居民之间的交往。

在开发的过程中，开发商为了节约成本，最大限度地压缩保障房的居住空间及配套，同时开发商也单向保障房拉低商品房整体居住品质，将商品房与保障房分开管理，严格限制保障房居民对商品房住区资源的使用，为后期使用产生矛盾埋下伏笔。最近几年在一些混合居住的小区中，爆出商品房住户和保障房住户争花园、停车位等现象，甚至发生“建或拆”隔离墙、示威游行等事件，如北京丰台区西宸原著发生的隔离墙事件；深圳龙岗信义金御花园，商品房业主拒绝和保障房业主共享花园和车位；在成都、郑州等城市也发生过类似事件。

2017年北京和深圳先后出台政策明确要求商品房与保障房实施统一物业管理，小区配套的活动场所、幼儿园、绿地等设施为全体业主共同享有，开发建设单位不得在保障房与商品房之间设置围墙等物理隔离，也不得有其他类似的歧视性措施。

关于保障房与商品房之间资源共享的矛盾，有观点认为保障房保障的应该只是基本需求，即满足中低收入者围绕居住的基本配套，否则就陷入福利性陷阱；而另外一种观点则认为在贫富分化的情况下，资源越来越被垄断聚集，财富之间的分配本身就带有不公平因素，需要政府来进行财富的二次分配和协调，使财富更均衡、流动更顺畅。

应该说，混合居住模式具有积极的社会学意义，是对共享发展观的充分反映，但共享并不意味着通过行政命令简单地将不同阶层的居住空间一混了事，也需要政府更多的智慧来妥善处理可能产生的矛盾。政府应制定明确的保障房配套设施标准，保证保障房居民基本的生活需求，限制开发商任意压缩保障房成本。在住房分配或销售前将配套标准及使用范围告知业主，避免争抢公共配套服务。在商品房与保障房配建过程中，尽量将低收入群体与中等收入小区配建，中等收入群体与高收入群体配建，中等收入群体在不同阶层之间起到衔接和

润滑剂的作用，避免高收入住区配建低收入群体的保障房，减少收入差距带来的冲突。针对高收入群体的优质地块，可以采用在拍卖环节，达到土地价格上限时，竞拍配建保障房的专项资金，异地配建保障房。政府可以通过租用城市居民闲置的商品房，当作保障房或廉租房来使用，也可以通过在合适的存量商品房小区选购一定比例的保障性住房。

当保障房达到一定规模时，可以考虑采用大混居小聚居的模式，商品房和保障房住居混合居住的模式主要以街道和公共空间作为媒介，在公共街道上有可供双方居民共用的公共服务设施，从而产生自然的交往，组团与组团之间能够单独管理，具有相对的独立性，但又不是完全被隔离开。

3 保障房住宅设计的共享观念

低收入住宅的共享观念在西方国家有过广泛而深入的尝试。第一次世界大战之后，城市住宅紧缺的问题严峻，住宅成为社会矛盾的焦点，由欧文、傅立叶等开创的社会主义的共享思想，经过100多年的实验，积累了大量的成功经验，如早期的合作式住宅。合作式住宅强调通过共享来提高资源的利用效率，将家庭空间和功能社会化，最简单地就是取消家庭厨房，代之以公共食堂，这和今天的商务公寓也有相似之处。

最近十几年，发达国家在可持续性社区中提出了一种“共享”的观念。设计师设计了一种共享型住宅，该住宅由6户人家组成，每户均有自己的工作室、卧室、卫生间和起居室，6户人家又共享一个大的厨房和起居室。这种方法有助于在确保私密性的基础上，使人们共享一些公共空间和公共设施，同时也有助于人们的交往。

共享思想更明显地体现则是在共享型社区的公共屋的设计上（图1）。公共屋内设置了餐厅、厨房、储藏室和电脑房等。人们在这里可以从事很多日常活动，共享很多设施。

共享式的可持续社区有助于减少物质消耗，节约公共空间，提倡互相共享和互相关心的生活模式，从而减少对自然的索取，在一定程度上达到保护自然、保护环境的效果。把私有空间改为共享空间，往往可以较低的造价取得较高的质量，甚至超过原来住房的质量。不难看出，发达国家的这种提倡共享的设计理念，有助于反思过分强调私密性和注重物质消费的模式。

不同观念、不同文化背景的人对公共和私密的边界理解有所不同，在西方国家能够实行的共享模式在国内也不一定行得通，但共享理念中通过共享来减少物质消耗，节约公共空间，这与低收入群体较低的消费能力，希望尽量减少在住房方面的开支的要求相吻合。保障房往往居住空间狭小，通过共享空间的设置能以较低的造价提高保障房的居住质量，如保障房中的单身公寓，提供一定的共享空间能更好地满足其生活需要；共享空间也有利于促进邻里之间的交往，减少单身人口离开原有家庭关系和社会关系后产生的孤独感。

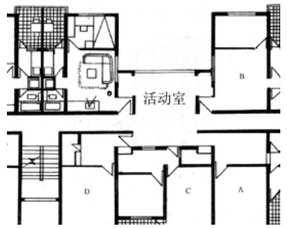


图1 共享空间

不同的生活习惯、不同的文化背景使得共享空间在使用的过程中可能会产生各种矛盾，如何在居住的私密性与提供的共享设施之间取得平衡，以及共享设施的运作等等都是共享观念中需要深入研究的问题。在共享空间的设置上考虑充分保证住房的私密性，住宅有完整的起居空间，在自己的住宅内能满足基本的生活需要，而共享空间的面积可根据经济条件的许可设置。如图2，某青年公寓，每户的面积不大，每五户人家共用一小型活动室，活动室内可设置一些简单的活动与服务设施。“共享”空间内设置的功能可以包括如公共厨房、餐厅、洗衣房、活动室、储藏间、电脑房、图书室等等。“共享”空间内的部分设施需由专人负责管理，或采用社会服务设施供给的方式，但不应以盈利为主要目的。

图2 共享型公寓的公租屋

4 结语

平等住房权是每一位公民应享有的权利。政府、居民、开发商和建筑师在保障房建设体系中的社会责任必须以共同的利益为基础，单方面的贡献和慈善性行动都是不可能持久的。将保障房建设体系与共享发展观相结合，促进保障房建设体系的不断完善仍需要全社会的共同努力。

参考文献

[1]贾倍思，寻找私有和共享的结合点——经济型住宅中的公民社会营造，新建筑2009,3

[2]魏宗财，刘玉亭，林允琦 ，居民主观感受视角下的广州保障房住区空间共享，规划师，2017,7

[3]刘首晗，共享发展理念下保障性住房政策研究，湖南师范大学学位论文，2016

[4]http://www.fang.com，李宇嘉：商品房和保障房如何共享公共服务

简 讯

通过功能性转变提高房地产发展水平

对于房地产来说，高质量的发展并不是用金子贴出来的，也不是用多么牢固的混凝土打出来的，而是在做到提供高质量产品的情况下，能通过功能性的转变来提高房地产未来的发展水平。

比如，提高容积率并不只是空间尺寸的提高，而更应该把空间留给绿色、留给环保。不管在规划方面还是在高质量发展方面都应该有一个红线，在满足企业正常经营的情况下努力追求品质，甚至放弃部分利润。

我们不能把高质量发展当作一个独立于某件事之上的孤立事情。比如对于提供住房产品，从年龄层不同的角度来说需求是不一样的，因此我们应该从人的需求的角度来看美好生活，让不同年龄段的人都能够找到合适的房子，满足多样化的需求。

随着中国经济进入新常态，中国房地产领域也进入分化、整合的变革时期，“俯仰皆黄金”的暴利时代已经结束，普涨普跌的市场态势已经发生根本性改变，区域差别、城市分化更加明显，行业竞争日趋激烈、集中度逐年攀升，大型房企品牌效应、资源效应、规模效应将进一步凸显。

因此，要随着时代发展不断转变观念。未来做主营平台的城市运营商，要有系统思维。未来的发展不仅仅只是关注客户一个方面，客户构成一定的社会群体，因此更要关注社会，同时也要关注政府的需求，把社会发展需要、客户需要与企业发展相结合，才能形成命运共同体。

具体来说，要实现几个方面的合作共赢。

一是实现“合作双方赢”。任何一家房地产企业，包括一些大型品牌房地产企业自身所掌控的资源都是相对有限的，都需要与合作伙伴进行良好合作，创造更大价值。在房地产业打造中国品牌，必须站在国家战略发展的高度，建立资源共享、价值共升的战略联合体，探寻彼此之间的资源补集和利益交集，推动中国地产品牌深入人心，走向世界。

二是实现“客户赢”。如今房地产市场已从“卖方市场”变为“买方市场”，消费者更加趋于理性、崇尚个性，更加注重产品品质和服务增值，不管是实现美好生活还是高质量发展，都必须关注、了解、掌握当地客户、消费人群的文化特质、消费习惯和个性需求。

三是实现“政府赢”。从品牌角度来讲，这更多地体现在城市形象的打造、城市生活品质的提高。品牌房地产企业应该从城市战略发展的高度，对城市的文化、规划、交通等进行整体更新和打造，更好地从区域政府的角度出发，打造区域城市名片，推动中国地产品牌转型升级。

四是实现“社会赢”。在高质量发展阶段践行责任地产，要有社会责任，要有中国担当和中国精神。房地产企业特别是品牌房地产企业在追求利润的同时，还要强调在生产过程中“以人民为中心”，重视对消费者、对环境、对社会的贡献，才能实现高质量发展，并通过这种贡献实现品牌形象的提升。

品位、品质、品牌是地产公司战略定位、产品定位、管理定位、文化定位的基础和原则，是公司实现多方共赢的基本保障。公司品牌的树立，需要连续和持续的品质支持和品质保证。连续和持续的品质，需要团队和个人品位的不断提升和淬炼。只有高品位的“工匠”，才能做出高品质的产品，持续的高品质产品才能保障高质量发展。

面对新时代、新形势，地产商需要进一步以客户需求为导向，在保证产品品质的同时，加强多方沟通，将城市运营商理念融入项目的方方面面、各个细节，提高项目规划设计与环境的融合度，不断引进和研发新技术，增强产品功能性，把握环境、健康、高品质三条主线，用匠心打磨精品项目，为美好生活这一全民目标的早日实现贡献力量。

中国建设报

经验交流

公路路基路面压实施工技术措施分析

王峥嵘
(深圳市粤通建设工程有限公司,深圳518000)

[摘　要] 在公路工程建设的过程中，只有对路基、路面结构层进行充分压实，才能够有效的提高路面的质量和稳定性。笔者结合多年公路工程建设经验，首先对公路工程路基路面压实施工的重要意义进行了简要阐述，然后分析了影响公路工程路基路面压实施工的关键因素，最后提出了加强路基路面压实施工技术的有效措施，以此供相关技术人员参考。

[关键词] 公路工程； 路基路面； 压实； 技术措施

The road subgrade compaction technology analysis of measures

Wang Zhengrong
(Shenzhen City Guangdong Construction Engineering Co. Ltd, Shenzhen,518000)

Abstract: In the process of highway engineering construction, only full compaction of subgrade and pavement structure, can effectively improve the pavement quality and stability. I combined with years of experience of highway engineering construction, the first important significance for engineering construction of highway subgrade compaction were introduced briefly, and then analyzes the key factors influencing the subgrade compaction of highway, and finally puts forward some effective measures to strengthen the construction technology of subgrade compaction, the relevant technical personnel for reference.

Keywords: highway engineering; roadbed compaction; technical measures

0　引言

近十年来，由于中国经济的快速发展和人民生活水平的不断提高，行驶在公路上的汽车密度和荷载重量也日益增大，对公路的平稳运行带来了很大的压力，随之而来的公路工程项目也就越来越多。而路面压实又是作为公路工程路基路面施工最后的一个关键节点，同时也是确保公路工程施工质量的一项重要环节，其施工技术的优劣对公路施工项目质量的好坏有着重大的影响。鉴于此，本文将对公路工程路基路面压实施工技术措施进行分析。

1　公路工程路基路面压实施工技术的重要意义

1）使路面的强度有了重要的保障。在当前公路工程建设项目实际的施工过程中，有部分企业为了降低施工成本，道路路面的压实施工技术通常不符合国家标准。而路基路面的压实又会直接对道路路面强度产生直接的影响，以致路基路面的压实在施工过程中会存在质量问题，势必会造成路面强度差。鉴于此，选择良好的路面路基压实施工技术就显得非常重要。

2）改善了道路路面的稳定性。在公路路基路面压实施工过程中，如道路施工过于追求路面的平整度，而忽视了路面的压实效果，这样路面的压实度就会不足，造成的孔隙率就会比较大，特别是在雨季来临后，雨水就会很容易地渗透进来，造成道路中土壤成分的强度降低。在这种情况下，加上公路在外力荷载的作用下，使得公路路基路面发生变形受损现象，降低公路的稳定性，因此，良好的路基路面压实施工对于改善路面的稳定性有着极其重要作用。

3）提高了道路路面的耐久性。路面的耐久性对公路的使用寿命有着很大的影响，用数学的形式来说其为正比列关系，耐久性越高，公路的使用寿命也就越长。而路面的耐久性又会受到路面的强度与稳定性等因素的影响，因此，加强路基路面压实施工质量可以最大限度上提高路面的耐久性。

2　公路工程路基路面压实施工的关键因素

2.1　含水量

在路基路面压实施工的过程中，路基土料或者路面层结构所使用的建筑材料的含水量对公路路面的密实度有着直接影响，路基土的内摩阻力和粘结力也是随着密实度而增加的。当土料中的含水量较小时，土颗粒间的内摩阻力大就会随之增大，当路面路基压实到一定的密度后，土料就会产生一定的阻抗力，其干容量就会随之减小。当土料中的水分不断增大时，由于水分具有一定的润滑作用，此时土料颗粒之间的摩擦阻力就会逐渐减小，其压实的干容量就会增大。因此，随着土壤中含水量的变化，干容量的数值就会呈现出一种驼峰式的曲线变化。在土料中，不管是什么土质材料，只有当含水量到达一定的值时，土料的干容重才会实现最大值，我们对此时的含水量称为最佳含水量。但是，假如施工的材料的一致，最佳的含水量也可能也会出现差异。此外对于同种材料，其最佳含水量和最大压实密度也会受到施工过程中压实作用的影响发生变化，而不是一成不变的。因此，在路面路基压实施工的过程中，含水量的变化对路基路面压实施质量有着重要的影响。

2.2　碾压施工

碾压施工对路基路面的影响主要体现在以下两个方面：

1）碾压方式：不同的碾压方式对路基路面的压实施工也会产生不同的影响。相关的技术规范也对碾压的施工方式有着明确地规定：在进行碾压施工时，必须按照先边缘后中间、先轻后重、先慢后快的方式进行碾压。只有这样才能够有效地保证压实施工的施工质量。

2）碾压速度：碾压速度的快与慢也会影响到路基路面压实施工质量。通过大量的实践研究我们可以发现：碾压速度的快慢在一定程度上对路基路面压实施工的质量有着非常重要的影响，对整个公路工程项目的质量起着决定性的作用。碾压速度过快，就会导致路面出现起伏；碾压速度过慢，就会导致被压材料所承受的荷载超出其承受的范围，造成质量问题。

3　公路工程路基路面压实施工技术措施

3.1　选择合理的压实机械设备

不同的压实机械设备所产生的作用力不同，在进行碾压施工时，要对压实机械设备进行合理的挑选，这也是路基路面压实施工技术的一项重要措施，因为只有确保所选择的压实机械设备可以适合于相应的施工现场环境，而且在使用过程中能很好发挥其价值作用，这样才可以提高压实作用。选择压实机械应从以下几个原则去考虑：

1）压实设备应与压实土料的物理力学性质相适应；

2）能满足路基路面压实的设计标准；

3）能满足施工强度的要求；

4）设备类型、规格与工作面大小、压实部位相适应；

5）施工队伍现有装备与经验能够和压实设备相匹配；

6）根据工程量的大小去选择。

针对以上压实机械设备的挑选原则来说，其主要注重所选择的压实机械设备能否在后续工作中得到有效的运用。

3.2　做好公路工程路基路面压实施工中的压实作业

1）进行压实作业时要保证摊铺速度与压路机碾压段长度之间的协调，并保持二者的大体稳定。进行压实施工过程中，技术人员应该对机械设备进行相应的调整，有效的控制摊铺的速度与碾压的长度。如果外界温度较低，风速较大的时候， 碾压的长度应该尽量设置短一些。如果外界温度比较高，碾压的长度应当加长。

2）进行压实作业的过程中，如果在碾压过程中出现沥青混合料粘轮现象，技术人员可以在碾压机的滚轮上洒少量的水，这样可以解决这一问题。

3）在尚未冷却的路面沥青混合料面层上，技术人员需要注意的是：严禁其他大型、中型机械设备放置在其表面，也不能向其上方撒落矿料以及油料等杂物。

4）如果遇到路面的某些部位无法采用碾压机进行压实，那么施工人员可以采用振动夯板来完成施工。

3.3　完成公路工程路基路面压实施工后的检测与评估任务

在公路工程路基路面压实施工完成后，需要按照相关的法规制度和采取相应的技术手段对其质量进行检测评估，目前比较实用的检测技术方法主要

有以下有两种：

1）核子密度仪法。核子密度仪是核子密度/湿度检测仪的简称，是利用同位素放射原理实时检测土工建筑材料的密度和湿度的电子仪器。能在公路施工现场快速对沥青混合材料制成的路基路面的压实质量评定，完成一次检测评定通常不超过5分钟或更短时间。其测量方法对测定层有一定要求，就是必须厚度小于20 公分。这类路基路面又分为沥青表面和土基层两部分，对于沥青表面部分的压实密度的测定是通过散射方法实施的，而土基层材料的压实质量测定是通过直接投射法实施的。这个试验方法的实施流程一般是，首先，正确定位位置与设备的预热准备。根据随机采样的方式来定位测试位置，预热设备，把核子仪水平放置到测试位置上，准备测试。然后，完成设备的测量与对所测量数据的读取工作。打开测量工具，根据制定的测量计划实施测量，测量完成后读取有关数据结果，关闭测量工具。最后，测量完成后需要把核子密度仪设备放回到指定的满足核辐射安全要求的设备箱中，保证仪器与施工人员的安全。

2）灌砂法。灌砂法基本原理是利用粒径0.30~0.60清洁干净的均匀砂，从一定高度自由下落到试洞内，按照其单位不变的原理测量试洞的容积，并根据集料的含水量来推算出试样的实测干密度，灌砂法可用于路基路面的压实质量检测，但对于那些拥有填石路堤的路基路面的压实质量检测，这种方法并不适合。

4 结语

总之，公路工程路基路面施工要想得到很好的压实效果，可以从提高路面强度，减少塑性形变、渗透系数、饱水量等施工技术措施入手，增加路面压实的稳定性，从而使其达到规定的密实度，这样才能保障公路的使用寿命。

参考文献

[1]吴晓玲.公路路基施工技术及其质量控制[J].科技与企业，2015(06).

[2]解团结.公路工程路基路面压实施工技术研究[J].中国高新技术企业，2016，07:84-85.

简 讯

全球首台全智能型混凝土喷射机下线

2月11日，我国自主研制的全球首台全智能型混凝土喷射机验收下线。该装备在世界上首次实现了对隧道喷射区域的3D扫描建模，具备自动定位、路径规划、智能喷射、自动修正、数据交互等功能，是全球首台具有自感知、自决策与自适应的全智能型混凝土喷射机。

该装备集行走、泵送、自动扫描、智能喷射于一体，可实现隧道内车辆自动定位，通过自带3D扫描仪实现隧道轮廓尺寸和超欠挖数据自动识别，可自动规划喷射路径并进行自动喷射作业，通过臂架传感器实现喷头位置实时、精准定位和感知。同时可将影响喷射回弹率的相关数据库导入，实现在不同喷射状态下各参数的自动匹配，达到喷射回弹率的最优控制。还通过设备数据交互系统全程采集施工参数形成日志，依托互联网自动上传至云端服务器，由专业软件进行数据分析生成报表和图例。

据了解，传统的地下空间喷射支护技术主要依靠人工操作湿喷机施工，喷射一定厚度混凝土达到支护作用。人为操作不仅劳动强度大，也存在喷射计量不均、喷射速度不快、喷射成形不稳等问题，影响地下空间支护的施工速度和质量。另外，施工作业环境伴有大量粉尘颗粒和噪声污染，还存在地下坍塌的危险，直接影响作业人员身体健康甚至威胁生命安全。

据该项目负责人、铁建重工中央研究总院液压应用研究所所长张廷寿表示，该装备解决了人工作业环境差、劳动强度大、安全风险高的难题，在提高施工效率、确保施工质量的同时，通过自学习功能不断优化回弹率，真正实现隧道喷护提质增效。

下一步，该装备将通过海量的施工经验数据库、友好的数据交互系统、智能化的操作控制系统，实现单机无人化喷射作业，为传统隧道施工迈向数字化建造迈出坚实的一步。

建筑时报