

目次

专家视野

深港两地典型滑坡地质灾害及风险管理之比较研究.....	李爱国 丘建金 岳中琦 谭国焕 李焯芬	3
-----------------------------	---------------------	---

应用研究

厂拌热再生沥青混合料质量控制及应用探讨	范璐璐 刘 忠 陈建友 涂亮亮	8
基坑狭窄区域回填密实技术	周保生 江 建	16
二维和三维探地雷达在雨污分流项目管线探测中比较分析.....	张宪彬 黄小芳 周荣华 吴 羨 孔金正	23

工程实践

探究装配式技术在道路养护中的应用	唐晨龙	31
某井场滑坡稳定性分析及治理	张建同 陈 刚 邓益平	35
大跨度悬臂钢结构高空悬臂散拼施工技术	徐亚非	42

经验交流

浅谈5G技术助力物业商业模式的创新.....	刘红伟	46
------------------------	-----	----

简 讯

港珠澳大桥有哪些“世界之最”？	22
住建部拟逐步推行以政府购买服务方式开展施工图审查	41
深圳出台海绵城市建设管理暂行办法	45
400亿深中通道攻九大世界难题.....	50
贵州首个“隧道施工紧急避难所”在六威高速双山隧道使用	50
住建部发布新办法规范建筑工程施工活动	51
征稿通知.....	7



2019年3月出版 VOL.3
2019年 第1期 第3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 林婵波 方东红 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
龙桂华 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红荔西路7019号天健商务大厦1609
邮政编码：518034
电 话：0755-82565321
排 版：深圳市新鸿兆文化传播有限公司
印 刷：深圳市长江印刷公司
登记证号：（粤B）L018010008

Contents

3 Comparison study of typical landslides and risk management in SHENZHEN and HONG KONG

Li Aiguo Qiu Jianjin Yue Zhongqi Tham George Lee C.F.

8 Quality Control and Study on Application of Central Plant Hot Recycling Asphalt Mixture

Fan Lulu Liu Zhong Chen Jianyou Tu Liangliang

16 Backfilling and compacting technology for narrow area of foundatin pit

Zhou Baosheng Jiang Jian

23 Comparison analysis of 2D and 3D ground penetrating radar in pipeline detection of rain–water diversionproject

Zhang Xianbin Huang Xiaofang Zhou Ronghua Wu Xian KongJinzheng

31 Explore the application of assembly technology in road maintenance

Tang Chenlong

35 Stability analysis and treatment of landslide in a well site

Zhang Jiantong Chen Gang Deng Yiping

42 Construction Technology of Large Span cantilevered Steel Structure High altitude cantilever

Xu Yafei

46 Talking about the Innovation of 5G Technology to Help the Business Model of Property

Liu Hongwei

专家视野

深港两地典型滑坡地质灾害及 风险管理之比较研究

李爱国¹, 丘建金², 岳中琦³, 谭国焕³, 李焯芬³

(1. 深圳市勘察测绘院有限公司, 广东 深圳 518028; 2. 深圳市市政设计研究院有限公司, 广东 深圳 518037; 3. 香港大学土木工程系)

[摘 要] 深圳和香港在城市的快速发展过程中, 由于人口的快速膨胀, 愈来愈多的房子及其他构筑物盖到山边, 同时形成了大量的人工边坡和挡土墙, 结果, 在极端暴雨下, 容易产生滑坡。本文通过深圳和香港两地的典型滑坡地质灾害对比发现, 由于地质条件相似性, 深圳香港滑坡地质灾害很相似, 深港两地绝大多数滑坡都与暴雨有关; 但由于政治体制、技术标准以及发展时期的不同, 深港滑坡地质灾害仍然有很多不同的地方。从两地的滑坡地质灾害的风险管理来看, 深圳在很多方面应该向香港学习。

[关键词] 典型滑坡; 风险管理; 人造斜坡; 天然山坡

Comparison study of typical landslides and risk management in SHENZHEN and HONG KONG

Li Aiguo¹, Qiu Jianjin², Yue Zhongqi³, Tham George³, Lee C.F.³

(1. Shenzhen Geotechnical Investigation & Surveying Institute Co. Ltd., Guangdong Shenzhen, 518028, China; 2. Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co. Ltd., Guangdong Shenzhen, 518037, China; 3. Department of Civil Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong)

Abstract: During the rapid development of both Shenzhen and Hong Kong, due to the great increasement of large population., more and more infrastructures and building sites are located near hilly terrains, which usually involves a concentration of construction of man-made slopes and retaining walls. As a result, more landslides will occur during extreme rainstorm. By comparing the typical landslides occurred both in Shenzhen and Hong Kong, it is find that as both cities have a similar geological background, the landslides in these two areas are quite similar. However, due to the difference in political system, technical standards and development stages, the landslides in these two areas also have obvious differences. From a point of view on landslide risk management, Hong Kong has done much better than Shenzhen and thus sets a model that Shenzhen aspires to follow.

Keywords: typical landslide; risk management; man-made slope; natural terrain

0 前言

差不多40年前, 深圳只是一个具有3万人的小镇, 1980年8月特区成立后, 到如今其人口已超过2000万人。由于人口的快速膨胀, 愈来愈多的房子及其他构筑物盖到山边, 同时形成了大量的人工边坡和挡土墙。结果, 在极端暴雨下, 在过去的20年发生了大量的滑坡。而香港1842–1997年, 曾为英

国殖民地, 二战之后, 特别是上世纪50–70年代, 香港社会和经济迅速发展, 加之人口稠密, 山多平地少, 建筑物和道路需依山而建, 加上季节性暴雨, 香港在此期间发生过许多致命性的滑坡(香港又称山泥倾泻)事件(GEO, 1977; 岳, 2005)。

自然界经常可以看到有些土质边坡很陡但长时间却很稳定而有些土质边坡很缓却在暴雨期间或过



Tagen Technology
Vol.3, No.1
Mar.2019

Editorial Board of Tagen Technology

Director: HAN Dehong

Vice Director: SONG Yang WANG Peixian LIN Chanbo FANG Donghong
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 LONG Guihua
REN Yong FAN Lulu ZHENG Zhigang HUANG Xiaofang

Chief Editor: JIANG Jian

Editor: LIU Yixuan

Edited and published by: Shenzhen Tagen <Group> Co., Ltd.

Sponsored by: Tagen Technology Editorial Department

Address: Room 1609, Tianjian business building, No.7019, Hongli Road, Futian District, Shenzhen City, Guangdong Province

Postcode: 518034

Tel: 0755–82565321

Printed by: Shenzhen Xinhongzhao Culture Spreading Co. Ltd

后发生失稳，据研究土体中的副孔隙压力（吸力）在非饱和的土质边坡稳定性方面起了重要作用（李等，2003），当降雨入渗时，吸力可能部分或全部消失，从而引起暴雨诱发滑坡。

暴雨诱发滑坡的机理及其与降雨类型的关系在香港已被广泛研究。Lumb（1975）注意到当24小时降雨超过100mm和15天前期累计降雨超过350mm时滑坡灾害事件可能发生。Brand等（1984）则调查发现前期降雨不是导致滑坡的主要因素，香港地区大多数滑坡是由高强度（70mm/h）的瞬时降雨引起的。深圳关于滑坡与降雨类型的关系研究还不多，其滑坡预报预警气象系统主要参考香港的标准。

1 深圳典型滑坡地质灾害

1.1 梅林关口羊宝地山体滑坡

2002年9月18日下午1时40分左右，在连降暴雨的影响下，深圳市梅林关口羊宝地山体发生了滑坡地质灾害，导致滑坡体约 $2.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的土体产生滑动，滑坡造成半山坳的违法搭建窝棚倒塌，十余间窝棚被泥土掩埋（图1）。事故共造成4人死亡，1人失踪，31人受伤（深圳市地质局，2003）。



图1 羊宝地山体滑坡(2002年9月18)



图2 景亿山庄山体滑坡(2005年8月7日)

1.2 罗湖景亿山庄滑坡

罗湖景亿山庄南侧山体的高度约60m，山侧边坡采取了挡土墙支护，坡高约15.0m。2005年8月7日暴雨期间，山体边坡上部出现裂缝，坡脚挡土墙渗出泥水，挡土墙倒塌，滑坡体的前缘进入了建筑物的一楼（图2）。由于及时发现，滑坡未造成伤亡事故（深圳市勘察测绘有限公司，2005）。

1.3 布吉长排村挡土墙滑坡

2004年8月31日连日暴雨期间，长排村挡土墙

突然倒塌，事故造成了2人死亡（图3）。经查该挡土墙无正式的设计图纸，属于违法建筑物墙后的回填土层未能充分压实，连日强降雨导致墙后土体含水量增高，加大了墙后水土压力等都是造成破坏的直接原因（深圳市勘察测绘有限公司，2004）。



图3 长排村挡土墙倒塌（2004年8月31日）



图4 木棉湾滑坡(2008年6月29日)

1.4 布吉木棉湾滑坡

因受连续特大暴雨影响，2008年6月29日早上6：30，龙岗区布吉街道沿河路木棉湾社区发生一起人工开挖的边坡滑坡，导致附近4栋住宅楼受损，共有2栋住宅楼被泥土挤压（图4）。共造成2人死亡，6人受伤，经济损失400万元（深圳市勘察测绘有限公司，2008）。

1.5 光明红坳填土边坡滑坡

2015年12月20日11时40分，广东省深圳市光明新区凤凰社区恒泰裕工业园发生山体滑坡。此次灾害滑坡覆盖面积约38万平方米，造成33栋建筑物被掩埋或不同程度受损，造成73人罹难（Yin等，2016）。



图5 光明红坳填土边坡滑坡（2015年12月20日）

2 香港典型滑坡地质灾害

2.1 九龙秀茂坪滑坡

香港观塘秀茂坪地区在1972年至1976年间发生了两起严重的山体滑坡事件，第一次的时间发生在1972年6月18日，由于连续三日的降雨，一幅高仅40米高的填土边坡发生失稳，当时造成了71人死亡，60人受伤（图6）。第二次山体滑坡发生在1976年8月25日，造成18人遇难（图7）（GE0，1977）。为了减少类似灾难性山体滑坡再次发生，香港政府1977年成立一个专门管制岩土、规管山边发展、管制斜坡的设计建造及维修的法定机构，机构就是现在的“土力工程处”。

深圳市梅林关口羊宝地山体滑坡、光明红坳填土边坡滑坡和九龙秀茂坪滑坡有点类似，地质条件基本相同，同为高填土边坡，都造成重大伤亡。其中，羊宝地山体滑坡和九龙秀茂坪滑坡受暴雨诱发，而光明红坳填土边坡滑坡定为人为安全生产责任事故。



图6 秀茂坪滑坡（1972年6月18日）



图7 秀茂坪滑坡（1976年8月25日）

2.2 香港岛西半山宝珊道滑坡

1972年6月18日傍晚，香港岛宝珊道两侧由坡积物与风化火山岩组成的山坡，因局部开挖施工和暴雨入侵，而失稳、形成滑坡。高速向下运移的土石体摧毁了一座4层高的楼宇和推到了一座12层高的居民大厦，导致67人死亡（图2）（土木工程拓展署，2005）。

深圳罗湖景亿山庄滑坡、布吉木棉湾滑坡和香港岛西半山宝珊道滑坡类似，且同为暴雨诱发。



图8 宝珊道滑坡（1972年6月18日）



图9 观龙楼滑坡（1994年7月23日）

2.3 香港岛坚尼地城观龙楼滑坡

1994年7月23日，在多日暴雨后，香港岛观龙楼一幅浆砌石挡土墙忽然倒塌，土石泥掩埋了街边的一个简易的公共汽车站，造成在车站内避雨的5人死亡和3人受伤（Morgenstern等，1994）。布吉长排村挡土墙滑坡和香港岛坚尼地城观龙楼滑坡类似，且同为暴雨诱发。

3 深圳市滑坡地质灾害风险管理

3.1 深圳市地质灾害防治总体规划

依照国务院《地质灾害防治条例》和广东省国土资源厅《广东省地质环境保护条例》等法律、法规要求，深圳已2008年立项开展“深圳市地质灾害防治总体规划”工作，调查深圳市地质灾害的实际情况，建立地质灾害数据库与预警预报信息系统，分析地质灾害的规律，并进行整体规划，为深圳市地质灾害防治工作全面开展奠定基础。“深圳市地质灾害防治总体规划”工程项目组成及内容包括：地质环境与地质灾害调查，地质灾害预警预报系统，地质灾害信息系统，典型地质灾害监测及地质灾害防治总体规划。

3.2 斜坡类地质灾害发展趋势

深圳市斜坡类地质灾害的形成和发展主要受地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨及人类工程活动等条件的综合控制，其中以人类工程活动的影响最为突出。据不完全统计，深圳市99%的崩塌、滑坡地质灾害均产生于人工斜坡地段。根据2008年深

圳市边坡普查结果，全市共有各类人工边坡42744处，如不加以治理，经长时间的侵蚀风化，其稳定状态将会变差，发生地质灾害的可能性将会增加。

4 香港滑坡风险管理

4.1 香港斜坡安全系统

香港土力工程处自1977年成立以来。一直致力于改善香港的滑坡问题，香港现时的整体滑坡风险已较1977年的水平大幅度下降超过七成半（图3），而滑坡导致的伤亡亦明显减少（图4）。为了减少滑坡的风险，土力工程处还于2010年推行“长远防治滑坡计划”，籍以更有系统地处理天然山坡和人造斜坡的滑坡风险。香港现时大约有60000幅人造斜坡，其中三分之二（大约20000幅）是由政府管理（GEO&CEED，2017）。具体风险管理措施有：

- （1）审核发展图则，管制新发展项目，劝阻非法耕种及违例土地平整。
- （2）巩固不合标准斜坡，包括巩固及维修政府斜坡，推动私人斜坡维修，缓减天然山坡滑坡灾害。
- （3）清拆山区寮屋，发布滑坡警告，教育公众采取预防措施及提供滑坡紧急服务。

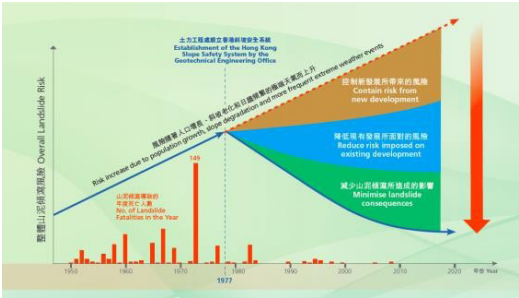


图10 香港在降低滑坡风险评估(引自土力工程处)

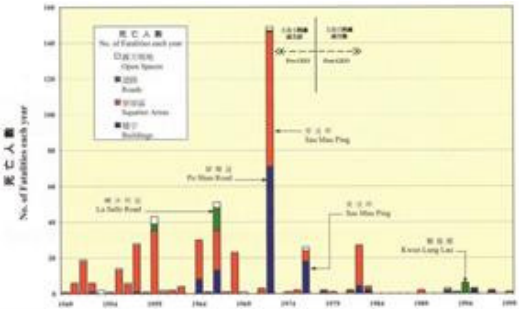


图11 香港因滑坡造成的死亡人数(引自土力工程处)

4.2 天然山坡滑坡灾害的缓减策略

根据国外及香港本地的经验，在极端天气及气

候的影响下，天然山坡滑坡灾害不容忽视，处理天然山坡滑坡灾害一般会采用风险减缓措施。

4.3 斜坡安全公众教育

提高社区的抗灾能力是应对滑坡不可或缺的一环。灌输防灾意识。最近几年以来，媒体宣传更是与时俱进，推陈出新，并加入了自我保护及邻里互助元素，推广方式亦趋多元化，如一年一度的斜坡安全传媒简报会，多元化的电视宣传短片。为庆祝香港土力工程处成立四十周年，2017年12月11日香港土力工程处和香港工程师学会合办了斜坡安全高峰会。

4.4 香港斜坡安全技术检讨委员会

香港斜坡安全技术检讨委员会（Slope Safety Technical Review Board）成立于1995年，负责检讨政府斜坡的安全管理工作，并就斜坡安全系统的技术问题向政府提供意见。对于香港斜坡的风险管理，委员会更加表示：“土力工程处在斜坡安全范畴上的专业水平于国际上是一无二。委员会乐见土力工程处持续领导国际在斜坡安全上的实践，并继续成为其他国家的效仿对象。

5 结论与建议

5.1 结论

通过深圳和香港两地的典型滑坡地质灾害的对比和两地的滑坡地质灾害的风险管理研究，可以得出如下结论：

- （1）自深圳特区成立以来（1980年8月），由于人口的快速膨胀,山地建筑愈来愈多,特别是在过去的20年,深圳滑坡地质灾害显得非常突出。
- （2）根据对典型滑坡的调查研究,深圳绝大多数滑坡都与暴雨有关。
- （3）在特区成立的过程中，由于人们对滑坡地质灾害认识的不足以及经济条件所限，加上设计与施工等方面的原因，也是造成深圳在过去20年发生大量滑坡的原因。
- （4）根据深圳地质灾害防治规划，在深圳地质灾害调查、预警预报、信息系统、实时监测以及防治规划等方面，深圳做了大量的工作，取得了一定的效果。
- （5）由于地质条件相似性，深圳香港滑坡地质灾害很相似；但由于政治体制、技术标准以及发展时期的不同，深港滑坡地质灾害仍然有很多不同的地方。
- （6）尽管在边坡调查、设计及加固方面取得

了长足进步，但由于设计水平的参差不齐以及施工的实际状况，还有对边坡缺乏维护，深圳更严重的滑坡地质灾害将不可避免。

5.2 建议

鉴于深圳市目前的人口膨胀比香港更猛，山地建筑愈来愈多，将产生更多的人工边坡，因此，对深圳市的滑坡类地质灾害特提出如下建议：

- （1）完善深圳市斜坡安全系统及风险管理能力，加强对暴雨诱发滑坡的预警能力及斜坡安全公众教育。
- （2）深圳相关建设管理部门应加强对新产生边坡的设计及施工管理，确保新的边坡满足国家规范。
- （3）加强深圳滑坡地质灾害方面的调查及研究工作，必要时，制订深圳边坡建筑边坡规范。
- （4）根据制定的深圳市新的边坡规范，筛选安全标准不足的边坡，制定深圳市“长远防治滑坡计划”。必要时，开展天然山体滑坡的研究工作。
- （5）加强与港台及世界其它地方的合作与交流，提高地质灾害评估、勘察、设计、施工、监测及维护方面的水平。

参考文献

[1]Lumb, P.. Slope failures in Hong Kong. Q. J. Engng Geol., 1975, 8, 31-65.

[2]Geotechnical Engineering Office. Report on the slope failures at Sau Mau Ping, August 1976. Hong Kong Government, 1977.

[3]Brand, E.W., Premchitt, J. & Phillipson, H.B.. Relationship between rainfall and landslides. Proceedings of the fourth International Symposium on Landslides. Canada, 1984, 377-384.

[4]N.R. Morgenstern & Geotechnical Engineering Office.

Report on the Kwun Lung Lau landslide of 23 July 1994, Hong Kong Government, 2000.

[5]李爱国, 岳中琦, 谭国焕和李焯芬. 土体含水率和吸力量测及其对边坡稳定性的影响. 岩土工程学报, 2003. 5, 3 (25): 3, 278-282.

[6]深圳市地质局. 深圳市梅林关口羊宝地滑坡地质灾害勘察, 广东, 深圳, 2003.

[7]深圳市勘察测绘院有限公司, 深圳市布吉长排村挡土墙滑坡勘察, 广东, 深圳, 2004.

[8]深圳市勘察测绘院有限公司, 深圳市罗湖景亿山庄滑坡勘察, 广东, 深圳, 2005.

[9]土木工程拓展署. 山崩土淹話今昔:香港山泥傾瀉百年史, 香港, 香港特别行政区政府土木工程拓展署, 2005.

[10]岳中琦. 香港滑坡灾害防治和社会效益, 工程地质学报, 2006, 14 (Suppl.): 12-17.

[11]深圳市勘察测绘院有限公司, 深圳市布吉木棉湾滑坡勘察, 广东, 深圳, 2008.

[12]Yueping Yin, Bin Li, Wenpei Wang , Liangtong Zhan, Qiang Xue , Yang Gao, Nan Zhang ,Hongqi Chen, Tiankui Liu e, Aiguo Li. Mechanism of the December 2015 Catastrophic Landslide at the ShenzhenLandfill and Controlling Geotechnical Risks of Urbanization. Engineering, 2016, 2.

[13]Geotechnical Engineering office & Civil Engineering and Development Department. 40th Anniversary of Hong Kong slope safety system. Hong Kong Government, 2017.

作者简介

李爱国，男，1968年生，湖南郴州人，汉族，博士，教授级高工，广东省首届勘察设计大师，主要从事边坡加固、软基处理、基坑支护等方面的设计和研究工作。

征稿通知

本刊为深圳市天健（集团）股份有限公司学术性科技期刊。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。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（236462726@qq.com），如有不明事项，请通过电话联系（刘艾轩：0755-82565321,18025402121），确认投稿相关信息。

厂拌热再生沥青混合料质量控制及应用探讨

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

【摘 要】 将回收的废旧沥青混合料（RAP）分为两档，并分别检测两档RAP材料中沥青含量与矿料级配。根据前期GAC-20配合比研究得到的最佳油石比，计算在RAP掺量分别为20%、30%、40%及50%时的沥青用量及配合比。根据计算结果，成型马歇尔试件，对不同RAP掺量下再生沥青混合料的体积性能、高温性能、水稳定性能及抗飞散性能进行试验研究。结果表明：随RAP掺量的增加，再生沥青混合料的高温性能越来越好，而飞散损失率逐渐增大，沥青与集料之间的粘结性能逐渐减弱；随再生沥青混合料中RAP掺量的减少，混合料水稳定性能愈来愈好。综合各项性能指标，建议RAP的掺入比例为30%。实体工程应用表明，应用厂拌热再生技术具有显著的经济效益和社会效益。

【关键词】 热再生；RAP；沥青混合料；配合比设计；性能评价

Quality Control and Study on Application of Central Plant Hot Recycling Asphalt Mixture

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

Abstract: The reclaimed asphalt pavement (RAP) material was classified into two categories and the gradation and asphalt content of RAP were examined for each category. Based on the optimal asphalt content obtained from the previous study on GAC-20 mix design, the asphalt dosage and mixture ratio in the hot recycled asphalt mixture were calculated under the conditions of 20%,30%,40% and 50% content of RAP respectively. According to the calculation results, the volume properties, high temperature performance, water stability and anti-scattering performance of reclaimed asphalt mixtures under different RAP content were studied. The results show that with the increase of the content of RAP, the high temperature stability of hot reclaimed asphalt mixture was improved, and the scattering loss ratio was increased, which means the bonding ability between asphalt and aggregate was gradually weakened. Meanwhile, along with the decrease of RAP content in reclaimed asphalt mixture, the water stability of mixture is getting better. With comprehensive consideration of the properties of hot reclaimed asphalt mixture, 30% content of RAP was recommended. The physical engineering application shows that the application of central plant hot recycling technology has significant economic and social benefits.

Keywords: central plant hot recycling; RAP; asphalt mixture; mix design performance evaluation

0 前言

道路建设对区域经济的发展影响深远，也是我国“一带一路”战略中基础设施建设的重点领域。随着政策利好地不断落实，交通路网逐步完善，我国公路通车里程不断增长。据交通部相关统计数据显示，截止2017年年底，我国公路通车总里程达477.35万公里，其中高速公路里程13.65万公

里。目前，很多早期铺筑的沥青路面已出现严重的裂缝、车辙、坑槽、松散等病害，上世纪建成的高速公路也陆续开始进入改扩建及大中修期^[1]。在对原路面翻修和改建的过程中，将产生大量的废旧沥青混合料（Reclaimed Asphalt Pavement，简称RAP），若不将其进行再生利用，不仅会占用大量的土地，污染周边生态环境，同时也是对沥青和石

料等不可再生资源的一种巨大浪费^[2-3]。

在此背景下，沥青路面再生利用技术越来越受到人们的关注和重视，厂拌热再生目前发展较快，应用较广，也是现阶段我国沥青混合料再生技术研究的重点^[4]。它是将回收的RAP材料运至搅拌站，经破碎、筛分等处理工艺，以一定的比例与新集料、新沥青、再生剂（必要时）等混拌成热拌再生沥青混合料铺筑路面的技术^[5]。我国厂拌热再生技术在实际生产应用中，由于RAP的变异性及其性能不稳定性，常常影响RAP的掺配率，目前我国厂拌热再

生沥青混合料RAP掺配率一般控制在20%左右^[6]。本文以AC-20为例，进行了不同RAP掺量的厂拌热再生沥青混合料设计及其性能研究。

1 试验原材料

1.1 沥青

本课题所采用的基质沥青为深圳市中海海盛沥青有限公司提供的IRPC-70#重交石油沥青，其主要技术指标及试验结果如表1所示，可以看出相关参数均满足规范要求。

表1 海盛70#基质沥青试验结果与性能指标

试验项目		试验结果	技术要求	试验规程
针入度（25℃、100g、5s）/0.1mm		68	60~80	T0604-2011
软化点（环球法）/℃		48	≥46	T0606-2011
延度（5cm/min、15℃）/cm		>100	≥100	T0605-2011
60℃动力粘度（Pa·S）		213	≥180	T0620-2011
老化试验 (163℃、5h)	质量变化/%	-0.06	≤±0.8	T0609-2011
	残留针入度比/25℃	72	≥61	
	残留延度(15℃)/cm	30	≥15	

1.2 RAP材料

本课题所选用的RAP材料为深圳周边高速及市政道路铣刨的旧沥青混合料，为了对RAP的级配进行有效控制，同时提高再生沥青混合料的质量，将运至拌合站的RAP材料采用11mm筛分成粗细两档（0~10mm及10~20mm）。由于铣刨工艺差异较大，为了解RAP材料的变异性，对两档RAP材料分别进行燃烧、筛分及性能检测试验，对其沥青含量、级配及密度、压碎值等物理指标进行检测。

1.2.1 RAP沥青含量

RAP材料的沥青含量对再生沥青混合料配合比的设计起着至关重要的作用，直接影响再生沥青混合料的最佳沥青用量^[7]。本文采用燃烧率法测定粗细两档RAP材料的沥青含量，试验结果如表2所示。由所取的5组试样的检测数据可以看出，RAP的沥青含量偏差不大，可取其检测数据的平均值分别作为两档RAP材料的沥青含量代表值，即粗细两档RAP的沥青含量分别为4.48%和6.32%。

表2 两档RAP材料沥青含量检测

规格/mm	燃烧炉法测定RAP沥青含量/%					平均值/%	油石比/%
	1	2	3	4	5		
10~20	4.56	4.40	4.57	4.38	4.48	4.48	4.70
0~10	6.51	6.26	6.23	6.40	6.22	6.32	6.74

1.2.2 RAP级配及物理性能

沥青路面在长期服役过程中，受荷载及环境的综合作用，混合料内部集料可能出现不同程度上的损伤，加之铣刨、挖除及筛分等过程中的机械力作用，均会对集料的性能造成不可逆的影响^[8]。对燃

烧后两档RAP残留物水洗烘干进行筛分，检测其级配，试验结果如表3所示。

对两档RAP材料分别进行密度、压碎值、针片状含量及吸水率等指标的检测，试验结果如表4所示。从检测结果可以看出，所回收的RAP材料在服

表3 两档RAP材料级配检测											
规格/mm	各筛孔通过率/%										
	19. 0	16. 0	13. 2	9. 5	4. 75	2. 36	1. 18	0. 6	0. 3	0. 15	0. 075
10～20	96. 8	93. 0	79. 2	36. 7	24. 0	19. 4	16. 7	14. 9	12. 2	9. 9	7. 5
0～10	100	100	100	93. 6	64. 5	45. 5	34. 0	27. 0	20. 8	16. 8	13. 0

役过程中各项物理指标未发生较大的改变，其石料仍具有较大的再生利用价值。在进行配合比设计时，将粗细两档RAP材料按照不同的比例掺入，便于优化再生沥青混合料的级配，有利于生产中的质

表4 两档RAP材料主要物理性能指标检测			
检测项目	技术要求	试验结果	
		10～20mm	0～10mm
表观相对密度	≥2. 500	2. 695	2. 697
压碎值/%	≤26	13. 2	—
针片状含量/%	≤15	8. 4	—
粘附性	≥4级	4	—
吸水率/%	≤ 5	0. 80	2. 32

1.3 粗集料 课题根据《公路工程集料试验规程》（JTG F40-2004）的技术要求对春雷石场粗集料的主要技术指标进行测定，其试验结果如表5所示。

表5 粗集料的基本技术指标试验结果				
测试项目	技术要求	试验结果		试验方法
		9. 5mm～16mm	4. 75mm～9. 5mm	
压碎值/%	≤26	10. 4	12. 3	T 0316
洛杉矶磨耗值/%	≤28	13. 6	14. 5	T 0317
表观相对密度	≥2. 6	2. 730	2. 739	T 0304
吸水率/%	≤2	0. 5	0. 9	T 0304
针片状含量/%	≤15	6. 1	11. 4	T 0312

1.4 细集料

机制石屑是由优质石料破碎而得到的，表面粗糙，对提高马歇尔稳定度和车辙动稳定度效果明显。本课题采用春雷石场细集料的具体技术性质测试结果如表6所示。

1.5 填料

沥青只有吸附在矿粉表面才能形成油膜，从而具有较大的粘聚力，并与其他粗细集料产生粘附作

表6 细集料的基本物理性能指标试验结果			
测试项目	技术要求	试验结果	试验方法
表观相对密度	≥2. 5	2. 709	T 0328
坚固性（>0. 3mm）/%	≥12	16	T 0340
含泥量（<0. 075mm）/%	≤3	0. 3	T 0333
砂当量/%	≥60	82	T 0334

用。矿粉要求干燥洁净，能自由从料仓中流出，本课题所采用博罗产矿粉的基本物理性能如表7所示。

表7 矿粉的基本物理性能指标测试试验结果				
测试项目	单位	技术要求	试验结果	试验方法
表观密度	t/m ³	≥2. 5	2. 777	T 0352
含水量	%	≤1	0. 4	T 0103
粒度范围	<0. 6mm	%	100	T 0351
	<0. 15mm	%	90～100	T 0351
	<0. 075mm	%	75～100	T 0351
外观	—	无团粒结块	无团粒结块	—

2 再生沥青混合料配合比设计

2.1 级配设计

厂拌热再生沥青混合料主要用于道路的中底层，本文以中面层常见的级配类型AC-20作为研究对象。根据广东地区气候条件、公路等级及交通特点，借鉴成功应用经验，同时结合前期对GAC-20配

合比的相关研究成果（级配如图1所示），根据《公路工程沥青路面施工技术规范》（JTG F40-2004）[9]推荐的级配范围及《公路沥青路面再生技术规范》（JTG F41-2008）^[10]中的相关要求，掺入RAP后，适当调整各档材料的比例，使其最终合成级配与表8中GAC-20合成级配相接近。

表8 GAC-20沥青混合料级配											
筛孔尺寸/mm	各筛孔通过率/%										
	19. 0	16. 0	13. 2	9. 5	4. 75	2. 36	1. 18	0. 6	0. 3	0. 15	0. 075
规范上限	100	92. 0	80. 0	72. 0	56. 0	44. 0	33. 0	24. 0	17. 0	13. 0	7. 0
规范下限	90. 0	78. 0	62. 0	50. 0	25. 0	16. 0	12. 0	8. 0	5. 0	4. 0	3. 0
规范中值	95. 0	85. 0	71. 0	61. 0	41. 0	30. 0	22. 5	16. 0	11. 0	8. 5	5. 0
合成级配	95. 0	80. 9	67. 9	51. 8	34. 5	23. 0	16. 1	12. 0	8. 9	7. 1	5. 4

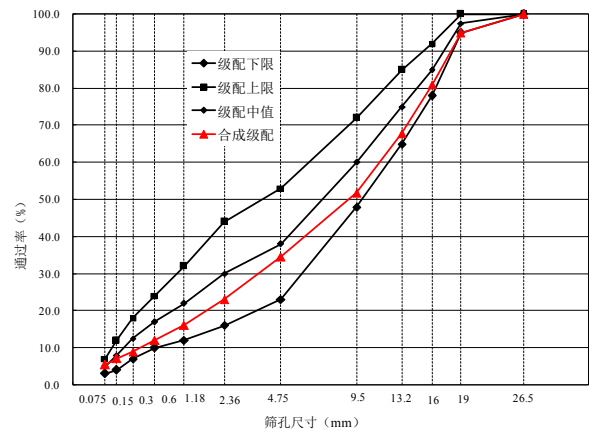


图1 GAC-20沥青混合料目标配合比

为了对比厂拌热再生沥青混合料在不同的RAP掺量下混合料的性能差异，为确定合理的RAP掺量提供依据，确保厂拌热再生沥青混合料的质量得到有效

控制，本文选取4个不同的RAP掺量（即20%、30%、40%和50%）分别进行配合比试验，不同RAP掺量下的GAC-20合成级配如表9所示。改变RAP掺量后，其他几档材料的相对比例也随之进行调整，以保证合成级配与GAC-20目标级配相接近，不同掺量下各档材料的使用比例如表10所示。

2.2 新沥青用量

前期对GAC-20配合比的系列研究表明：在表9所示的合成级配下最佳油石比为4. 8%。再生沥青混合料配合比设计计算沥青用量时，需要综合考虑RAP中所含旧沥青，同时适当考虑RAP原有沥青老化使用性能降低的影响^[11]。计算新沥青用量按照公式（1）进行计算：

$$P_{nd}=4.8\%-P_a\times n_1\times (1-n)-P_b\times n_2\times (1-n) \quad (1)$$

式中：P_{nd}—为再生混合料的新沥青用量；
P_a—为10～20mm档RAP的平均油石比；

表9 不同RAP掺量下的GAC-20合成级配											
混合料类型	各筛孔通过率/%										
	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
GAC-20	95.0	80.9	67.9	51.8	34.5	23.0	16.1	12.0	8.9	7.1	5.4
GAC-20+20%RAP	94.4	81.6	68.1	56.6	32.8	22.4	16.2	12.8	9.8	8.0	6.4
GAC-20+30%RAP	96.3	81.3	67.3	54.0	32.9	22.9	16.9	13.5	10.5	8.6	6.8
GAC-20+40%RAP	96.4	82.5	68.9	54.2	33.4	23.2	17.1	13.6	10.4	8.4	6.6
GAC-20+50%RAP	96.5	83.2	69.7	53.4	32.9	23.1	17.4	14.1	10.9	8.9	6.9

表10 不同RAP掺量下各档材料用量比例						
混合料类型	材料用量比例/%					
	10~20mm	RAP10~20mm	RAPO~10mm	5~10mm	0~5mm	矿粉
GAC-20+20%RAP	37	8	12	23	19	1
GAC-20+30%RAP	37	12	18	17	15	1
GAC-20+40%RAP	34	16	24	14	12	0
GAC-20+50%RAP	32	20	30	11	7	0

P_b—为0~10mm档RAP的平均油石比；
n₁—为再生混合料10~20mm档RAP的掺配比例；
n₂—为再生混合料0~10mm档RAP的掺配比例；
n—为再生混合料RAP总的掺配比例；
以RAP掺量为30%为例计算再生混合料沥青用量P_{nd}=4.8%-4.7%×12%×（1-30%）-6.74%×18%×（1-30%）=3.56%。其他RAP掺配比例下再生混合料新沥青用量计算方法以此类推。在计算所得的沥青用量下，按目标配合比分别成型马歇尔试件和车辙试件，并进行相关性能指标检测。

表11 不同RAP掺量再生沥青混合料马歇尔试件的性能检测结果							
RAP掺量	新沥青用量(%)	毛体积相对密度	最大理论密度	空隙率(%)	饱和度(%)	稳定度(kN)	流值(0.1mm)
0	4.80	2.414	2.517	4.1	68.5	21.01	35.1
20%	3.85	2.412	2.502	3.6	71.5	19.85	48.5
30%	3.56	2.406	2.499	3.8	70.8	20.22	39.3
40%	3.38	2.383	2.493	4.4	66.8	21.37	40.1
50%	3.32	2.409	2.490	3.3	73.3	19.62	48.6
技术要求	/	/	/	4~6	65~75	≥8	15~40

3.2 高温性能

本文以车辙试验来评价热拌再生沥青混合料的高温稳定性，车辙试验是试件在规定温度及

3 再生沥青混合料性能评价

3.1 马歇尔试验

在进行马歇尔击实试验前，先将基质沥青加热至155℃，两档RAP材料在110℃烘箱中预热4h，新集料加热至180℃，填料等其余材料及试验方法与常规混合料拌合的方式相同，试件双面击实各75次。不同RAP掺量下的再生沥青混合料提及参数如表11所示。由试验数据可以看出，RAP掺量为30%时，再生混合料的各项体积指标基本能满足规范要求。

60° C，轮压为0.7MPa，试验结果如图2所示。

从试验结果可以看出，再生沥青混合料的抗车辙能力优于普通沥青混合料，且随着RAP掺量的增加，再生沥青混合料的抗车辙能力增强，高温稳定性越好。

3.3 水稳定性能

评价沥青混合料水稳定性的方法有很多，本文采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验，分别测定不同RAP掺量下马歇尔试件的残留稳定度和冻融劈裂强度比TSR，以此评价再生沥青混合料的水稳定性能，不同RAP掺量下的再生沥青混合料水稳定性试验结果如表12所示。

表12 不同RAP掺量再生沥青混合料水稳定性试验检测结果						
RAP掺量	浸水马歇尔试验			冻融劈裂试验		
	稳定度/kN	浸水48h稳定度/kN	浸水残留稳定度/%	劈裂强度/MPa	冻融循环后劈裂强度/MPa	TSR/%
20	19.79	18.98	95.9	1.44	1.40	97.2
30	22.28	20.11	90.3	1.60	1.40	87.5
40	22.70	20.33	89.6	1.75	1.54	88.0
50	22.46	19.27	85.8	1.77	1.55	87.6
技术要求	≥8	—	≥80	—	—	≥75

从表12的试验结果可以看出，掺入RAP材料后再生沥青混合料的水稳定性均能满足规范要求，且随着再生沥青混合料中RAP掺量的减少，混合料水稳定性呈越来越好的趋势。

3.4 肯塔堡飞散试验

肯塔堡飞散试验是用以评价沥青用量不足粘结性不足，在交通荷载作用下，路面表面集料脱落而散失的程度，是集料与沥青胶结料粘结性的一个重要指标。它是以马歇尔试件在洛杉矶试验机中旋转撞击规定的次数，沥青混合料试件散落材料的质量百分率表示。

考虑到RAP材料中所含的沥青已经服役多年，在空气、雨水、阳光等环境条件下会发生不同程度的老化，可能导致沥青粘结性能降低，引起集料脱落、掉粒、飞散，因此本文采用肯塔堡飞散试验进行进一步验证再生混合料中新沥青用量的合理性。将再生混合料马歇尔试件冷却后置于20° C±0.5° C恒温水槽中养生20h，不加钢球，以30~33r/min的速度旋转300转，不同RAP掺量下再生沥青混合料的飞散试验结果如表13所示。

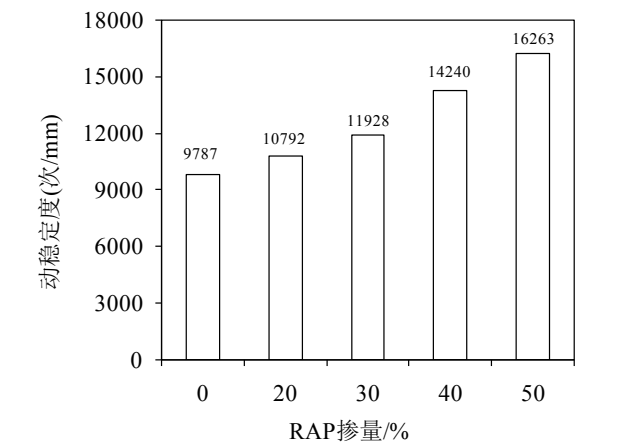


图2 不同RAP掺量下再生沥青混合料的动稳定度

表13 不同RAP掺量再生沥青混合料飞散试验检测结果					
RAP掺量/%	试验次数	试验前试件质量(g)	试验前试件质量(g)	飞散损失(%)	平均值/%
20	1	1181.0	1137.0	3.7	3.7
	2	1182.4	1133.5	4.1	
	3	1184.3	1147.5	3.1	
30	1	1169.3	1122.0	4.0	5.0
	2	1173.1	1118.0	4.7	
	3	1169.4	1096.5	6.2	
40	1	1165.2	1107.0	5.0	4.9
	2	1165.3	1105.0	5.2	
	3	1165.3	1112.5	4.5	
50	1	1162.9	1096.0	5.8	6.1
	2	1164.2	1089.5	6.4	
	3	1162.3	1089.5	6.3	

从表13可以看出，掺入RAP材料后，再生沥青混合料的飞散损失率均很低（6%以下），且随着RAP掺量的增加，再生混合料的飞散损失率呈逐渐增大的趋势，表明随RAP掺量的增加，沥青与集料之间的粘结性能逐渐减弱。因此，厂拌热再生过程中应严格控制RAP的掺量。

4 厂拌热再生工程应用及效益分析

本项目根据室内试验的研究成果，采用福建铁拓机械有限公司生产的再生机RLB-2000（生产功率160t/h，总机尺寸23×9×23m），结合我司承建的实体工程项目，在2017年11月～2018年1月期间共计生产AC-16、AC-20及AC-25厂拌热再生沥青混合料1万余吨，主要用于市政道路的中底面层，应用效果良好。本文以AC-20为例，对厂拌热再生沥青混合料的经济效益进行初步估算，再生AC-20混合料的生产及应用如表14所示。

4.1 经济效益

表14 厂拌热再生AC-20沥青混合料生产量

编号	RAP掺配比例/%	项目名称	数量/t	总计/t
1	30	福田综治项目	4776.50	6984.08
2	30	光明周家大道项目	613.79	
3	30	观澜翠幽路	608.50	
4	30	观澜新丹路	985.29	

废旧沥青混合料的再生利用，不仅可以大量节省石料、沥青等产生的材料费，还能在一定程度上降低废旧料运输及堆弃处理产生的附加费用。本文忽略运输费、机械台班费、燃油动力费、人工管理费、设备维修折旧费用及税费等其他因素的影响，单纯比较普通AC-20和再生AC-20沥青混合料的材料成本。按照生产时材料的市场价格，粗略的估算分别生产1t普通AC-20和再生AC-20沥青混合料的材料费用，如表15和表16所示。

表15 生产1t普通AC-20沥青混合料材料成本概算

材料名称	普通AC-20沥青混合料（全部采用新料）				
	掺配比例/%	单价（元/吨）	数量（t）	金额（元）	总金额（元）
10～20mm	30	84.24	0.287	24.18	212.71
10～15mm	22	95.05	0.211	20.06	
5～10mm	21	95.05	0.201	19.11	
0～5mm	25	46.44	0.239	11.10	
矿粉	2	148	0.019	2.81	
沥青	4.5	3150	0.043	135.45	

表16 生产1t厂拌热再生AC-20沥青混合料材料成本概算

材料名称	再生AC-20沥青混合料（RAP掺量30%）				
	掺配比例/%	单价（元/吨）	数量（t）	金额（元）	总金额（元）
10～20mm	37	84.24	0.357	30.07	175.80
RAP10～20mm	12	51.11	0.116	5.93	
RAP0～10mm	18	51.11	0.174	8.89	
5～10mm	17	95.05	0.164	15.59	
0～5mm	15	46.44	0.145	6.74	
矿粉	1	148	0.010	1.48	
沥青	3.56	3150	0.034	107.1	

注：RAP的材料价格是按照运输费和机械费折算后所得。

由表15和表16可以看出，厂拌热再生技术的应用能够有效的降低材料成本，与普通沥青混合料相比，生产1t再生AC-20沥青混合料可以节约材料成本：212.71-175.80=36.91元。因此，针对当前再生AC-20的应用量，仅在材料成本方面可节省6984.08元/吨×36.91元=25.78万元。以上仅是从节省材料成本角度得到的直接经济效益，尚未考虑废旧料的堆弃费及使用新石料、开采矿石等产生的附加费用。由此可以看出，应用厂拌热再生技术具有显著的经济效益。

4.2 社会效益

应用厂拌热再生技术，将道路翻修和改造过程中产生的废旧沥青混合料循环利用于新建公路和养护工程，不仅有效解决了废旧料堆放所带来的环境污染问题，同时减少了混合料中沥青和砂石用量，节约石料资源和土地资源，减少石料开采对环境的破坏，缓和沥青和石料供求紧张的状态。另外，在保证工程质量的前提下，节省投资降低工程造价，提高公路的通行能力，降低运输成本。因此，厂拌热再生技术的应用符合我国可持续化发展战略和建设环境友好型社会的要求，有利于推动节能减排机制的建立，具有显著的社会效益。

5 结论

（1）RAP中沥青含量波动不大，回收的RAP材料服役过程各项物理指标未发生较大改变，其石料仍具有较大的再生利用价值。

（2）与普通沥青混合料相比，掺入RAP材料后再生沥青混合料体积性能变化不大，均能满足规范要求。

（3）再生沥青混合料的抗车辙能力优于普通沥青混合料，且随着RAP掺量的增加，再生沥青混合料的抗车辙能力逐渐增强，随着再生沥青混合料中RAP掺量的减少，混合料水稳定性愈来愈好。

（4）再生沥青混合料的飞散损失率均较低，且随着RAP掺量增加，再生混合料的飞散损失率逐渐增大，沥青与集料之间的粘结性能逐渐减弱。

（5）综合再生混合料的体积指标、高温性能、水稳定性及飞散损失试验结果，结合实际应用中的可行性及质量要求，建议RAP的掺入比例为30%。

（6）沥青路面厂拌热再生工艺能产生显著的社会效益和经济效益，具有良好的应用推广价值和市场前景。

参考文献

[1] 许高,刘祥榆. 厂拌热再生沥青路面施工技术应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(06):161-162.

[2] 高磊,林鹏. 厂拌热再生沥青混合料的最佳RAP掺量研究[J]. 华东交通大学学报, 2018(01):103-108.

[3] 于玲,刁家栋,杨彦海,包龙生,高镜雄. 沥青路面厂拌热再生技术的使用性能评价与研究[J]. 中外公路, 2014, 34(02):263-268.

[4] 薛彦卿,黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料力学性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(04):507-511.

[5] 张永卫,吴相军. 浅谈双滚筒连续式厂拌热再生技术[J]. 建筑机械, 2016(10):38-40.

[6] 宋小峰,王大明. 厂拌热再生沥青混合料路用性能研究[J]. 森林工程, 2015, 31(02):139-144.7. Discrete fracture modeling of asphalt concrete

[8] 朱建华. 就地热再生技术处治高速公路车辙病害研究[D]. 南京: 南京林业大学.

[9] JTG F40-2004 公路工程沥青路面施工技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[10] JTG F41-2008 公路沥青路面再生技术规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

[11] 沈穗娜. 浅析厂拌热再生沥青混合料配合比设计[J]. 福建交通科技, 2017(04):40-42+49.

基坑狭窄区域回填密实技术

周保生¹，江建²

(1. 深圳市市政工程总公司，深圳 518109；2. 深圳市天健集团（股份）有限公司，深圳 518034)

【摘 要】 针对基坑肥槽狭窄区域回填面临的材料选择和难以密实的问题，利用石粉渣、建筑废弃物再生材料作为回填材料，采用振动水密法工艺技术，开展了室内模型试验和现场模拟试验，取得较好的压实效果，且分层厚度较传统方法得到大幅提高，回填的效率和效果都有明显改进，可为类似工程提供参考。

【关键词】 基坑回填；狭窄区域；模拟实验；现场试验；石粉渣；建筑废弃物再生材料

Backfilling and compacting technology for narrow area of foundatin pit

Zhou Baosheng¹, Jiang Jian²

(1.Shenzhen Municipal Engineering Corp.,Shenzhen,518109; 2.Shenzhen Tagen<group>Co.,Ltd., Shenzhen,518034)

Abstract: In order to the problem of backfill material selection and the difficulty of compacting for narrow area of the foundation pit, slag powder and construction waste recycled materials are used as backfill material, watertight vibration method is adopted. By indoor model test and field simulation, good compaction effect was obtained. Compared with the traditional methods, layer thickness is increased sharply. The efficiency and effect of backfill have been improved obviously. It can provide a reference for similar projects.

Keywords: backfill for foundation pit; narrow area; simulation experiment; field test; slag powder; recycled materials from construction waste

0 前言

对于深度较大、作业面狭窄的基坑回填，由于施工场地的限制，大型机械设备无法使用，给基坑回填工作带来了严重的困难，往往会出现回填后沉降明显以及室外地坪开裂、空鼓、下陷等大量基坑回填质量问题，甚至造成回填区域所埋地下管线变形甚至被破坏的问题。

目前，基坑回填材料多为粘性土、粗砂，偶然也有采用石粉渣等人工材料的案例，回填方法通常采用压实或夯实的施工工艺，规范要求分层回填、分层压实（或夯实）、分层检测，每层的厚度为0.2~0.3 m^[1]；如果分层厚度过大时，则无法达到所要求的压实度，因此，回填效率很低。当基坑深度较大、作业空间狭窄时，很难做到现行规范所要求的分层回填、分层夯实，回填材料无法达到通常

设计要求的94%压实度^[1]。因此，基坑狭窄区域的回填施工是目前普遍存在的技术难题。

针对基坑狭窄区域回填的技术难题，笔者从回填材料、回填工艺、分层厚度等方面进行了研究，在室内模拟实验成功的基础上，进行了现场试验，取得了圆满成功。采用石粉渣、建筑废弃物再生材料作为回填材料，采用振动水密法回填密实工艺，分层厚度达到了1.5米以上，突破现行规范的限制，取得了良好效果。

1 室内模拟实验

1.1 试验目的

为解决基坑狭窄区域回填密实问题，针对基坑回填施工现场实际情况，笔者在实验室做了模拟试验。

本次试验主要研究回填材料在不同分层厚度、

不同回填工艺条件下的回填效果，以确定满足压实度要求的分层厚度和回填密实技术。

1.2 试验设备

为了模拟基坑狭窄回填区域现场条件，在实验室砌筑了一个砖混结构试验池，其平面外部尺寸为3.6m×2.4m，高1.65m，中间有一道隔墙，墙厚20mm，分成2个回填池，每个回填池平面净空为1.5m×2.0m，底部安设排水管。试验池用来模拟回填基坑，排水管模拟基坑排水系统。模拟试验池见图1、图2。对两边试验池进行编号，东侧为1号试验池，西侧为2号试验池。

模拟试验所使用的工具有铁锹、水管、水桶、插入式振动棒、平板振动器等。填料压实度采用灌砂法检验。

1.3 回填材料的选择

本试验选用了2种回填材料，即石粉渣和建筑废弃物再生材料。石粉渣是用花岗岩、石灰岩等石料生产碎石过程中产生的弃料，由石粉、石屑组成，是地基换填、基坑回填的良好材料。建筑废弃物再生材料（简称再生材料）是指由拆除旧建筑（建筑构件）所产生的混凝土块、砖块等建筑废弃物经过粉碎处理后形成的粒径不大于5mm的材料。

经过土颗粒分析，确认两者都属于砂性土，建筑废弃物再生材料属于含细粒土砂，石粉渣属于级配不良砂。采用击实试验确定填料的最大干密度和最佳含水量，试验结果表明：石粉渣最大干密度2.10g/cm³，最佳含水量9.1%；建筑再生材料最大干密度1.55g/cm³，最佳含水量15.5%。

1.4 回填密实方法

为了研究回填工艺的可操作、可行性，试验中分别使用了插入式振动棒和平板振动器，采用振捣、压实的方法对回填材料进行密实。

为了对比回填工艺的密实效果，试验采用了2种密实方案：方案1是先采用振动棒插入填料中振捣密实后，再用平板振动器在填料表面振平；方案2是只用振动棒振捣。

1.5 分层厚度的研究

为了确定合理的回填材料分层厚度，分别对分层厚度0.50 m和1.0 m的回填材料进行了回填密实模拟试验。采用密实方案1时，分层厚度约为0.5m；采用密实方案2时，分层厚度约为1.0m。

1.6 回填工艺流程

基坑回填密实方案1工艺流程：设置灌排水系

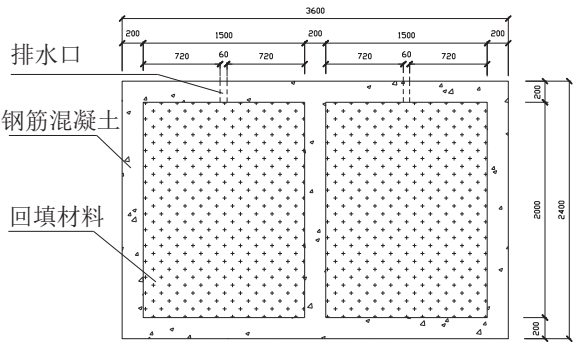


图1 模拟试验池平面图

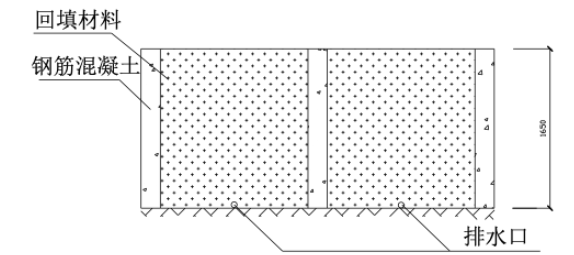


图2 模拟试验池立面图

统→清理基底→分层填料→灌水渗透→插入式振动棒振捣→平板振动机振捣→检测密实度。

基坑回填密实方案2工艺流程：设置灌排水系统→清理基底→分层填料→灌水渗透→插入式振动棒振捣→检测密实度。

将石粉渣、建筑再生材料按照一定的松铺厚度摊铺，加水饱和，用插入式振动棒振捣后，待表面水渗透，再用平板振动器振平（密实方案1省略），检测每层的压实度。

模拟试验操作过程见图3、图4、图5。

1.7 试验结果及结论

在试验过程中记录了填料厚度、压实遍数、填料沉降等参数。待填料表面达到了一定的干燥度后，分别做了压实度检测。在采用密实方案一试验过程中，由于试验池1（石粉渣）排水不畅，石粉渣表面没法做压实度试验，没有得到石粉渣回填的压实度数据。试验结果见表1~表5。



图3 填料摊铺



图4 灌水渗透



图5 振动棒振捣

表1 方案1模拟试验记录表

填料名称	填料厚度（cm）	振动棒振捣遍数	平板压实遍数	振动棒振后沉降（cm）	平板振后沉降（cm）	沉降百分率（%）
石粉渣	57	2	2	9	0	15.8
再生材料	56	2	0	10	0	17.8

表2 方案2模拟试验记录表

填料名称	摊铺厚度（cm）	振动棒振捣遍数	振动棒振后沉降（cm）	沉降百分率（%）
石粉渣	100	2	19.5	19.5
再生材料	102	1	20	19.6

表3 方案1建筑废弃物再生材料压实度

序号	含水量（%）	湿密度（g/cm ³ ）	干密度（g/cm ³ ）	压实度（%）	平均压实度（%）	检测日期
1	22.2	1.81	1.48	95.5	95.3	2012.07.13
2	22.3	1.81	1.48	95.5		
3	21.1	1.78	1.47	94.8		

表v4 方案2石粉渣压实度

序号	含水量（%）	湿密度（g/cm ³ ）	干密度（g/cm ³ ）	压实度（%）	平均压实度（%）	检测日期
1	13.7	2.28	2.01	95.7	96.7	2012.09.03
2	13.7	2.33	2.05	97.6		

表5 方案2建筑废弃物再生材料压实度

序号	含水量（%）	湿密度（g/cm ³ ）	干密度（g/cm ³ ）	压实度（%）	平均压实度（%）	检测日期
1	18.9	1.65	1.39	89.7	90.3	2012.08.30
2	18.4	1.67	1.41	91.0		
3	15.8	1.62	1.40	90.3		

根据试验过程和表1～表5可得出以下结论：

- 1、采用插入式振动棒对填料进行振捣，密实效果显著，每层填料振捣后约沉降15.8%～19.6%。
- 2、平板振动器振捣对填料密实没有影响。从表1可以看出，在密实方案1中，对石粉渣填料采

用平板振动器进行了二次振捣，没有观测到明显沉降。因此，在其余回填试验中，取消平板振动器振捣压实环节。

- 3、插入式振动棒振捣遍数对密实度有显著影响，振捣遍数宜为2～3遍。从表中可以看出，当振

动棒振捣1遍时，再生材料平均压实度为90.3%。当振动棒振捣2遍时，再生材料最大密实度可达到95.3%以上，石粉渣最大密实度可达到96.7%，大于有关规范规定的压实度不小于94%要求。

- 4、采用振动水密法密实方案，在满足压实度要求的同时，可大大提高填料的分层厚度。试验中最大回填厚度为1020mm。

- 5、砂性土（石粉渣和建筑废弃物再生材料）适合采用振动水密法基坑回填工艺。

2 现场试验

2.1 试验现场简介

在室内模拟试验成功的基础上，选择在深圳市专用通信局生产综合楼项目（ZTL项目）进行了现场试验。该工程位于深圳市福田区，用地面积4290m²，地上5层，地下2层。基坑周长240m，深度9.6～10.6m，基坑侧壁南侧安全等级为一～二级，围护结构与地下室侧墙的距离约为1.0～1.5m，该基坑回填土方为3000m³。

由于基坑深度较大、回填作业面较窄，如果基坑回填材料选用粘性土，采用传统的回填工艺，无法使用大型机械，回填土的压实度将无法达到设计要求的94%压实度。如果回填材料选用中粗砂，又将大大增加成本。为此，我公司成立了“基坑回填技术研究课题小组”，进行联合攻关，选用石粉渣、建筑废弃物再生材料作为回填材料，采用振动水密法基坑回填工艺技术，成功地解决了狭窄作业空间深基坑回填的技术难题，节约了成本，提高了施工效率，加快了工期。

2.2 试验方案

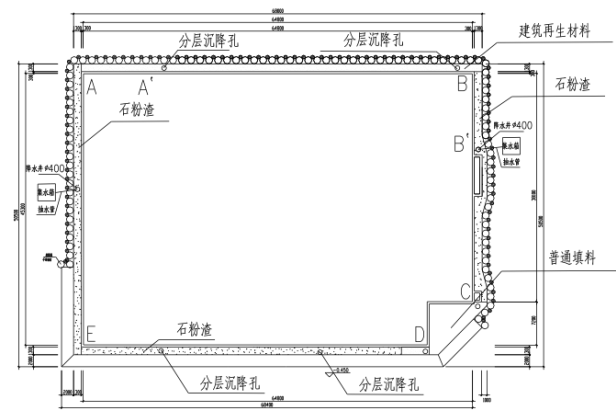


图6 基坑回填区域和灌排水系统平面布置图

本工程基坑回填区域狭窄，填料选用建筑废弃物再生材料、石粉渣，回填密实工艺采用振动水密

法。

根据现场条件及各参与单位意见，将基坑划分成3个回填区域，见图6。区域1为基坑南侧DE段，填料为石粉渣，拟定分层厚度约1m；区域2为基坑北侧AB段，填料为建筑废弃物再生材料，拟定分层厚度约1m；区域3位基坑东侧BC段，填料选用石粉渣。3个区域均采用振动水密法基坑回填密实技术。

基坑西侧作为现场运输通道，不作为试验区域。各部分衔接区域砌24cm砖墙分隔，墙两侧对称回填，保持墙体两侧稳定。

2.3 回填材料

本次试验采用的石粉渣、建筑废弃物再生材料两种回填材料。在基坑回填施工之前，首先对现场使用的石粉渣、建筑再生材料做了土颗粒分析和击实试验，以确定填料的类别、最大干密度、最优含水量。

颗粒分析试验结果表明，该建筑废弃物再生材料和石粉渣均属于级配不良砂，两者都属于人造砂性土。采用击实试验确定填料的^{最大干密度和最佳含水量}，试验结果表明：石粉渣最大干密度1.89g/cm³，最佳含水量6.6%；建筑废弃物再生材料最大干密度1.73g/cm³，最佳含水量约为15.2%。

2.4 试验仪器设备

现场使用的机械设备主要有插入式混凝土振动棒、水准仪、手推车、钢卷尺、铁锹、现场压实度检测仪等。

机械设备的用途如下：插入式混凝土振动棒用于填料的水下振捣密实，水准仪用于确定分层厚度，手推车用于运输填料，水泵将基坑底部可循环水通过降水井抽到集水箱，钢卷尺用于回填层高的参考，铁锹用于工人在施工面对回填材料的摊铺工具。

2.5 灌排水系统

振动水密法回填工艺需要在饱和状态下的填料中进行，因此，必须设置灌排水系统。灌排水系统由基坑底集水井、排水盲沟、降水井、地面存水罐、地面灌水储水罐、水管等组成。灌排水系统平面图见图1。

为节约水资源，利用基坑内的积水作为回填施工用水。回填前将基坑排水明沟改造为排水盲沟，同时设置降水井直达地面，地面设置储水箱，暗沟中所汇积水通过集水井用水泵抽到储水箱，以备施

工灌水使用。当基坑积水不能满足需要时，可使用自来水作为施工用水。

本基坑本身有2个集水井，分别位于东、西侧。在此基础上做成2个升高至地面的降水井。降水井由2层建筑防护网包裹直径400mm的钢筋笼构成，沿基坑边每2m做扶墙（通过植筋方式），防止钢筋笼倾倒。

排水盲沟用碎石填铺在原排水明沟中，铺设高度高于排水明沟边缘100mm，盲沟表面要加铺2层建筑防护网，以阻挡回填材料堵塞盲沟。地面储水罐储存由集水井抽出的地下水，用于回填用水。在基坑回填过程中，用水管人工浇灌。

2.6 基坑回填施工工艺及操作要点

本次现场试验回填密实工艺流程为：设置灌排水系统→清理基底→设排水盲沟→分层填料摊铺→灌水渗透→振动棒振捣→检测密实度→回填结束。

回填施工各步骤的操作要点如下：

（1）设置灌排水系统

设置2个集水井，东西各设1个。排水盲沟的积水汇集到集水井，通过水泵抽至地面的储水罐，以备回填施工使用。

（2）清理基底

施工前基底一定要清理干净，排干淤泥和积水，清除基底杂物和不适宜材料，做到无垃圾、无浮土，保证处于平整、密实状态。

（3）分层摊铺

将运来的填料分层摊铺，由于施工现场机动车不能到达基坑边缘，采用手推车进行2次搬运。隔墙两侧要求摊铺高度基本一致，确保隔墙稳定。

预先在待回填区域画出分层高度线，将填料按照一定的松铺厚度分层摊铺，填料厚度严格按照画线控制，并用人工整平，每完成一层从新划定下层的回填高度。填料最大粒径不大于200mm。

再生材料及石粉渣分层厚度1.0～1.5 m，通过水准仪将每层摊铺高度在基坑护壁上用红漆标注，每2m标记1个高程控制线，利于控制每层高度。并用人工或机械整平，石粉渣最大粒径不大于50mm。

（4）灌水渗透

分段或分块将储水箱里的水喷洒或喷灌于填料表面，待填料全没入水下，可以认为填料灌水充分。该时间停止对集水井的降水，让水充分渗透填料。

（5）振捣密实

振动棒振捣是本工艺的关键环节，见图5。施

工人员站在本层回填料表面，将插入式振动棒插入填料中，从填料表面每30cm停留30秒，充分振捣，再往下振动。最后振动棒插入到下层填料表面，停留30～60秒，使2层填料能很好衔接。控制拔棒速度不大于1m/分钟。

振动棒每次移动的距离应不大于振动器作用半径，振动棒的作用半径一般为300～400mm。充分振捣密实，做到不漏振，保证填料饱和密实。振捣遍数以2～3遍为宜，且不少于2遍。

振捣完成，抽取集水井中汇水到地面存水罐，晾干填料表面，待下一层回填前重新放出该层标高线，重复上述工作，每回填2层，预留1天时间对其进行质量检验。

（6）密实度检测

每层填料振捣完成后，待填料表面没有积水，即对该层填料进行压实度检验，压实度检验采用灌砂法。



图7 振动棒振捣

2.7 回填试验数据分析

基坑回填施工过程中，对施工情况做了记录。基坑南侧每层石粉渣只振捣1遍，北侧建筑废弃物再生材料除了最上层振捣2遍之外，其余每层只振捣1遍。由于施工控制不到位，振捣的遍数和质量没有达到回填方案设定的要求，影响了回填质量和填料的压实度。

现场工人在技术人员不在现场的情况下，在北侧一次回填建筑再生材料3.5m厚，不过在振捣过程中技术人员严格监督，振捣中振动棒穿透该层填料，振动遍数和振动棒停留时间也得到了保证，因此保证了回填质量。

每层回填之后的第二天采用灌砂法进行压实度检测。在回填完最后1层后，每隔几天再次进行压实度检测。压实度检测结果见表6、表7。

根据现场回填施工情况和表6、表7可以得出以

表6 南侧石粉渣压实度检测数据（振捣1遍）

填料层数	分层厚（cm）	检测日期	含水量（%）	湿密度（g/cm ² ）	干密度（g/cm ² ）	压实度（%）	
						单次	平均
2	100	2012. 11. 21	8. 70	1. 91	1. 76	88. 9	88. 3
			10. 10	1. 96	1. 78	88. 9	
			9. 80	1. 89	1. 72	86. 9	
			9. 53	1. 92	1. 75	88. 6	
4	90	2012. 11. 29	7. 00	1. 76	1. 64	82. 8	82. 8
7	150	2012. 12. 07	8. 30	1. 86	1. 72	87. 3	88. 5
			8. 30	1. 92	1. 77	89. 8	
			8. 30	1. 88	1. 74	88. 3	
			8. 30	1. 89	1. 74	88. 5	

表7 北侧建筑废弃物再生材料压实度检测数据（振捣2遍）

填料层数	分层厚（cm）	检测日期	含水量（%）	湿密度（g/cm ² ）	干密度（g/cm ² ）	压实度（%）	
						单次	平均
2	130	2012. 11. 24	23. 80	2. 20	1. 63	94. 20	94. 20
4	350	2012. 12. 7	19. 60	1. 91	1. 60	92. 50	92. 7
			18. 20	1. 93	1. 63	94. 20	
			18. 60	1. 87	1. 58	91. 30	
			18. 60	1. 90	1. 60	92. 67	
4	350	2013. 01. 16	8. 20	1. 86	1. 72	99. 40	98. 6
				1. 84	1. 69	97. 70	

下结论：

（1）南侧石粉渣回填区域的压实度偏低，不到90%，主要原因是仅仅振捣1遍。

（2）北侧区域压实度最大达到98. 6%，到达了基坑回填的设计要求。

（3）由试验可知，插入式振动棒的振捣遍数对密实度有显著影响，振捣遍数宜为2～3遍。只振捣1遍很难达到设计所要求的94%压实度。

（3）试验大大突破了现行规范对回填材料分层厚度的限制（不大于0. 3米），最大分层厚度约为3. 5m，在振捣遍数2遍情况下，填料压实度大于94%，满足规范或设计要求。

（4）密实效果还与留振时间、振点间距有关。由现场试验证明，振捣遍数宜为2～3遍，每个振点的留振时间不少于30秒钟，振点间距宜为

300～400mm。

（5）回填材料采用石粉渣、建筑废弃物再生材料等（人造）砂性土时，采用振动水密法回填工艺技术，密实效果显著，适合基坑狭窄区域回填施工。

3 回填工艺原理

基坑狭窄区域回填密实技术的关键技术是振动水密法回填技术，该技术目前主要用于地基加固、桥涵台背回填等方面^[3]，在基坑回填施工中还很少应用。

其工艺原理是：将砂土、石粉渣、建筑废弃物再生材料等材料，按照一定的松铺厚度摊铺，加水饱和，用插入式振动棒振捣密实，利用水在各材料中起到润滑、减小颗粒内摩擦角作用，将颗粒间的缝隙填充，振捣期间，在水的流动、排出带动下，

小颗粒填充到大颗粒间的缝隙间，起到提高密实度的作用。

该技术具有操作方便、工期短、效率高、容易保证质量的优点。与传统的回填工艺相比，该技术具有以下突出优点：首先，插入式振动棒能够深入到回填材料中部和底部振捣，回填材料松铺分层厚度可大大增加（松铺分层厚度可达到1.0~1.5 m，远大于现有技术的0.2~0.3 m），施工效率大大提高；其次，可以通过增加振捣遍数、减小振点中心距，有效控制深基坑回填质量。当回填面宽度不大于2m时，采用振动水密法回填工艺，不仅可达到设计和规范要求的回填材料压实度，还可以提高基坑回填效率。

4 结语

针对基坑狭窄区域回填的施工难题，从回填材料、回填工艺等方面进行了研究，在室内模拟实验成功的基础上，进行了现场试验，取得了圆满成功。得出以下成果：

- （1）将建筑废弃物再生材料应用于基坑回填中，平均压实度达到了98.6%。
- （2）当石粉渣、建筑废弃物再生材料作为回

填材料时，采用振动水密法回填密实技术可以得到较好的压实效果，可以满足规范要求的压实度，适合基坑狭窄区域的回填施工。

（3）密实效果与振动棒的振捣遍数、留振时间、振点间距有直接关系。由现场试验证明，振捣遍数宜为2~3遍，每个振点的留振时间不少于30秒钟，振点间距宜为300~400mm。

（4）采用本文所述基坑回填密实技术可以大大提高填料的分层厚度，突破了现行规范的规定，提高了基坑回填的效率。

（5）振动水密法回填工艺适合砂性土（人工或自然）回填材料，填料粒径不宜大于5mm。

参考文献

[1]王钰、殷文琴、周华莲．浅析土方回填与压实施工工艺，科学与财富，2012，（9）
[2]建筑地基基础设计规范（GB50007-2011），中华人民共和国标准，建筑工业出版社，2011年
[3]张耐华．两次振动饱和水密法填砂地基处理工法，建筑施工，2010（8）：782
[4]林荣．浅谈建筑垃圾作回填土的处理，施工技术，2008（6）：357~358

简 讯

港珠澳大桥有哪些“世界之最”？

“最长的跨海大桥”、“最长的海底隧道”、“最先进的筑岛技术”…… 10月24日上午9点，被誉为桥梁界“珠穆朗玛峰”的港珠澳大桥将正式通车，这座从设计到建设完工前后历时14年的“超级”跨海大桥创下了多项世界之最，被英国《卫报》誉为“现代世界七大奇迹”之一。

港珠澳大桥全长55公里，包括三座通航桥、一条海底隧道、四座人工岛及连接桥隧、深浅水区非通航孔连续梁式桥和港珠澳三地陆路联络线组成。

据了解，港珠澳大桥是目前世界最长的跨海大桥，还是目前世界上综合难度最大的跨海大桥。同时，港珠澳大桥有15公里为全钢结构钢箱梁，是目前世界最长钢铁大桥。

在海底隧道方面，港珠澳大桥同样创下了多项世界之最，港珠澳大桥海底沉管隧道全长6.7公里，是世界上最长的海底隧道，港珠澳大桥海底隧道最深处在海底48米，也是世界上最深的海底隧道。同时，港珠澳大桥还拥有最大的沉管隧道，其沉管隧道标准管节，每一节长180米，排水量超过75000吨。

在工程建设上，港珠澳大桥采用了世界上首创的深插式钢圆筒快速成岛技术，用120个巨型钢筒直接固定在海床上插入到海底，然后在中间填土形成人工岛。每个圆钢筒的直径22.5米，几乎和篮球场一样大，高度55米，相当于18层楼的高度。其深水无人对接的公路沉管隧道同样堪称世界最大难度，沉管在海平面以下13米至48米不等的海底无人对接，对接误差必须控制在2厘米以内。

应用研究

二维和三维探地雷达在雨污分流项目
管线探测中比较分析

张宪彬，黄小芳，周荣华，吴羨，孔金正
（深圳市天健工程技术有限公司，深圳 518034）

【摘 要】 三维探地雷达在城市道路探测工作中取得了较好的效果。本文针对的是三维探地雷达在正本清源雨污分流改造项目管线探测过程的应用，GeoScope三维探地雷达与SIR-20型二维地质雷达同时对道路管线进行探测分析。将GeoScope三维探地雷达与SIR-20型二维地质雷达探测判断的结果进行对比分析，三维雷达采用多通道高密度采集，相控阵雷达，可以在单条测线初步判断管线走向。三维探地雷达是近年来发展起来的一项新技术，可以设置多通道同时采集，进行高密度、快速无缝扫描。与二维探地雷达相比，具有海量数据、真三维归位、地下物体真实还原等优势。

【关键词】 三维雷达；管网改造；比较分析

Comparison analysis of 2D and 3D ground penetrating radar in pipeline detection of rain-water diversion project

Zhang Xianbin, Huang Xiaofang, Zhou Ronghua, Wu Xian, Kong Jinzheng
(Shenzhen Tagen Engineering Research Limited Company,Shenzhen,518034)

Abstract: Three-dimensional ground penetrating radar (GPR) has achieved good results in urban road detection.This paper aims at the application of 3D GPR in the pipeline detection process of the rain-pollution diversion reconstruction project. The GeoScope 3D GPR and sir-20 2D GPR simultaneously detect and analyze the road pipeline.The results of detection and judgment of GeoScope 3D ground penetrating radar and sir-20 2D geological radar were compared and analyzed. The 3D radar adopted multi-channel high-density acquisition and phased array radar, which could preliminarily determine the pipeline direction on a single survey line.3D ground penetrating radar (GPR) is a new technology developed in recent years, which can set up multi-channel simultaneous acquisition and carry out high density, fast and seamless scanning.Compared with the two-dimensional ground penetrating radar, it has the advantages of massive data, true three-dimensional homing and true restoration of underground objects.

Keywords: 3D radar; Pipe network transformation; Comparative analysis

0 引言

全国城市道路改造工程、网线改造工程、市政雨污分流项目等，都开始大量运用三维雷达进行地质勘测和管线探测。三维雷达在市政工程中的运用，提高了市政工程地下开挖和管道改造的效率，减少了误判和原有管道的损坏，有效防范城市道路空洞塌陷灾害的发生，保护城市公众安全和城市的

可持续和谐发展，道路空洞塌陷灾害的探测与防范治理得到了明显的改善。探地雷达作为一种非破坏性的探测技术，可以安全地用于城市建设中的工程场地，并具有较高的探测精度和分辨率，目前已在管线探测、道路病害探测等领域广泛应用^[4]。三维探地雷达是近年来发展起来的一项新技术，可以进行高密度、快速无缝扫描。与二维探地雷达相比，

具有海量数据、真三维归位、地下物体真实还原等优势。近年来的实践表明，其在管线探测、道路病害检测等领域，效果显著^[1]。

1 探地雷达工作原理

探地雷达是利用超高频脉冲电磁波探测地下介质分布特征的一种地球物理方法。其工作原理是，宽带脉冲发射天线将纳秒高压脉冲源提供的电脉冲信号转化为脉冲电磁场，并以脉冲电磁波形式射向目标体。宽带脉冲接收天线将来自目标体的反射脉冲电磁波转化为电脉冲信号传送给宽带采样器后，用显示器以时域方式显示出来，再经计算机处理后给出时域特性或频域特性显示^[2]。在雷达移动探测过程中，定时向地下发射脉冲电磁波，并不断接收到目标体的反射波，它们组成雷达剖面图像(如图1所示)。通过对雷达图像的判读可确定目标体(管道、洞穴、埋藏物、地层等)的分布特征，包括空间位置、结构、形态和埋藏深度等，其在岩土工程勘察、水文地质勘察、工程质量检测、地下埋藏物探测、塌陷和岩溶勘察、矿产资源勘探和考古等众多领域得到广泛应用^[3]。

探地雷达方法有以下特点：

1) 探地雷达剖面分辨率高，其分辨率是目前所有地球物理探测手段中最高的，能清晰直观地显

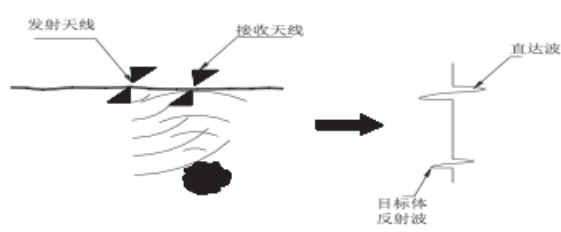


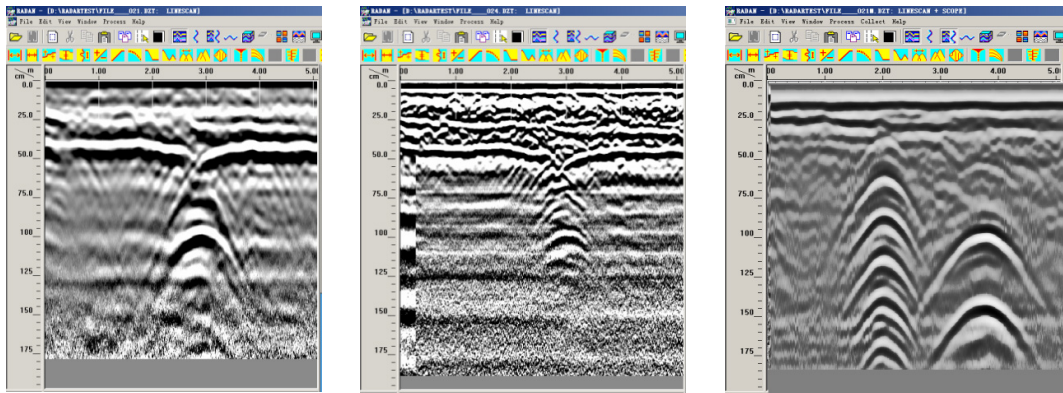
图1 地质雷达工作原理示意图

示被探测介质体的内部结构特征，不同的结构特征有不同的显示情况。(如图2所示)。

2) 探地雷达探测效率高，对被探测目标无破坏性，其天线可以贴近或离开目标介质表面进行探测，探测效果受现场条件影响小，适应性较强。

3) 抗干扰能力强，探地雷达探测不受机械振动干扰的影响，也不受天线中心频段以外的电磁信号的干扰影响。

4) 探地雷达反射法与地震反射法的基本物理限制不同:通常的地层界面地震波的反射系数相对较低，数量上只有百分之几，而地层介质中不同介质的电磁性差异通常为弹性差异的2~3个数量级，因而地层界面上雷达波的反射系数可达15%~30%；另外，导电性介质对高频电磁波具有强衰减吸收作用，因此，探地雷达探测在一些常见地质介质中的穿透深度非常有限^[5]。



(a) 钢管管线

(b) 水泥混凝土管线

(c) PVC自来水管

图2 二维探地雷达不同介质示意图（注：400兆天线探测）

2 三维探地雷达原理及技术优势

2.1 三维雷达的概念

三维探地雷达是近年来发展的一项新技术，目前市场上几乎所有的多道天线都用到“阵列雷达”这个术语，它实际上是一种误导。有必要弄清真正采用三维雷达数据采集的系统与仅仅采用多道数据采集的雷达系统的区别^[1]。

从数据采集方式上来区分，第一种称之为多通道雷达，即多个独立的二维雷达天线放在一起工作，几个天线就会得到几条二维剖面，当然这种采集方式也可以不同频率的天线搭配在一起采集，该方式除了提高采集效率外，其实与“三维雷达”的概念不沾边^[2]；第二种多通道雷达，类似于前述天线排列方式，同样是多个独立的二维雷达天线放

置在一起工作，但在采集方式上可以实现各天线之间的互发互收，如果需要的话可以得到多条二维剖面，借鉴三维地震勘探理论采集到的数据体确实可以算得上是真正的三维数据体。但是我们知道，基于弹性波理论的三维地震勘探方法不是完全可以照搬到探地雷达的应用领域的。抛开两种勘探手段的波场特性不说，单就其吸收、衰减特性来说，电磁波在地下介质中的衰减要比弹性波快得多，这就造成了不同收发间距所获得的雷达信号能量完全不在同一个数量级上，也就难以进行归一化处理^[3]。第二种多通道雷达虽然可以得到多条不同收发间距的二维剖面，但实现不了真正的三维处理，其结果与前一种多道雷达并无本质区别^[2]。第三种，也就是目前主流的真正的三维雷达，是将发射天线与接收天线分立开来，交错等距排列，实现二发一收，巧妙实现了剖面间距接近电磁波主频的1/4波长这一理想状态(见图3)。而简单的多通道天线组合是无法达到这一要求的。这种分体式模块化真正的三维雷达当然也完全可以得到多发多收的不同收发间距的剖面，只是短期内恐怕还不可能出现一种能够处理这类不同收发间距数据的专门软件^[1-2]。

地下介质中，一般我们可以假设电磁波速为100 m/μs:①对于200 MHz的电磁波，λ=0.5 m(1/4为12.5 cm)；②对于400 MHz的电磁波，λ=0.25 m(1/4为6.2 cm)；③对于1300 MHz的电磁波，λ=0.077 m(1/4约为2 cm)^[2]。从资料处理解释上来区分，前两种多通道雷达，因其剖面间距达不到1/4波长，因此无法实现三维处理，只是同时可以得到多条探测剖面，后期可以利用一些作图软件来描述探测到的异常体，自动处理解释程度不高。而第三种真正的三维雷达是具有专门的处理软件的，采集处理可以实现无缝链接，最终成果为一个完整的三维数据体^[5]。成果可以由任意深度的水平“切片”展示出来！

2.2 三维雷达技术优势

与传统的二维探地雷达相比，三维探地雷达有如下技术优势：

1) 采用三维阵列天线技术(如图3所示)，可采集到高密度、无缝拼接的海量雷达数据，不会造成地下信息的缺失。

2) 高密度采集获得的纵横向数据间距接近天线中心波长的1/4，满足高分辨率要求。

3) 三维阵列式天线中，任何发射和接收天线

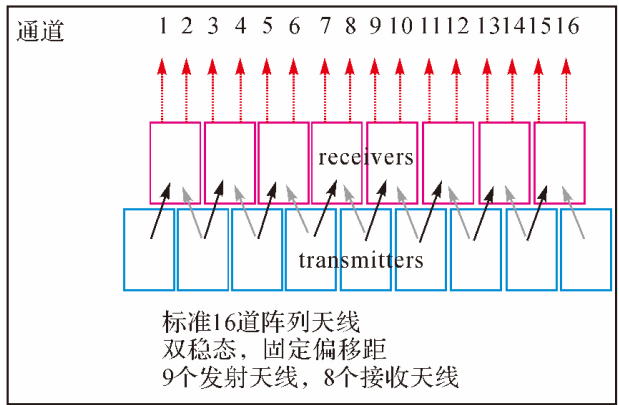


图3 三维地质雷达阵列天线

的组合都是可能的，即任何发射天线辐射的信号都能被任何接收天线接收，这就做到了真三维采集，为将来全三维处理、解释提供硬件实现的可能。

4) 三维阵列式天线发射脉冲频率一般可选择从200~1300 MHz，高频天线可做到超浅层的高分辨，低频天线可保证一定的探测深度。

5) 三维雷达工作时，通过带基站动态GPS对天线阵进行高精度定位，控制精度可达到厘米级，也只有这样才能保证雷达数据的精确归位，才能得到真实、直观的解释图像。

6) 轻便化设计，可以采用多种形式（车载、人力）进行资料采集（如图5所示），做到快速、便捷。

7) 采用三维雷达专门的处理技术，可进行三维移动，使地下目标体成像清晰、准确，成果为三维数据体，可进行任意深度水平切片的展示^[1-3]。

3 二维地质雷达与三维探地雷达实测成果展示

3.1 SIR-20型地质雷达

劳雷公司的SIR-20型地质雷达系统采用双通道实时数字采集处理器，可同时记录2个通道的数据，并可同时进行4组数据后处理。自带军品级全金属外壳笔记本计算机，可在施工现场进行实时数据采集和数据处理，操作平台为Windows 2000/NT/XP。主机可适配所有高中低频的各类雷达天线，频率范围从16MHz~2.2GHz,见图4。

3.2 GeoScope三维探地雷达

挪威3D-Radar公司的GeoScope三维探地雷达系统，其主要组成为主机、天线及相关软件等，配置地面耦合天线阵DXG1616，即1.6米宽16个通道。该设备具有超宽频带200MHz~3000MHz，浅层分辨率可达到3cm，单次可采集多达16条测线的三维探地



图4 SIR-20地质雷达工作车载模式

雷达数据，测线间距为7.5cm，实现高密度数据采集，见图5。



图5 GeoScope三维探地雷工作达车载模式

3.3 探雷达在工程的应用情况

本文以探测地下管线与缺陷等为目的，设置纵向采样间距为2.5cm。在不同的道路地段，分别用GeoScope三维探雷达和SIR-20型地质雷达进行管道探测，探测的位置不变和长度相同，并在此探测位置进行现场开挖，实际开挖情况和GeoScope三维探雷达、SIR-20型地质雷达的探测图进行对比分析。

3.3.1 管线

(1) 龙岗区深圳河流域观澜河流域排水管网清源改造工程，金达豪花园项目中，在同一检测路段先使用SIR-20型地质雷达进行管道探测，发现在开始位置向东81米有一根管道反射波段，深度为1.04米，根据之前的大量的探地雷雷达图像和波形，大致可以判断是PVC自来水管，然后再用GeoScope三维探地雷雷达进行管道探测，在相同位置探测到一根管道，最后进行现场开挖，来推断探测结果是否正确，探测结果图 and 实际开挖图如下：

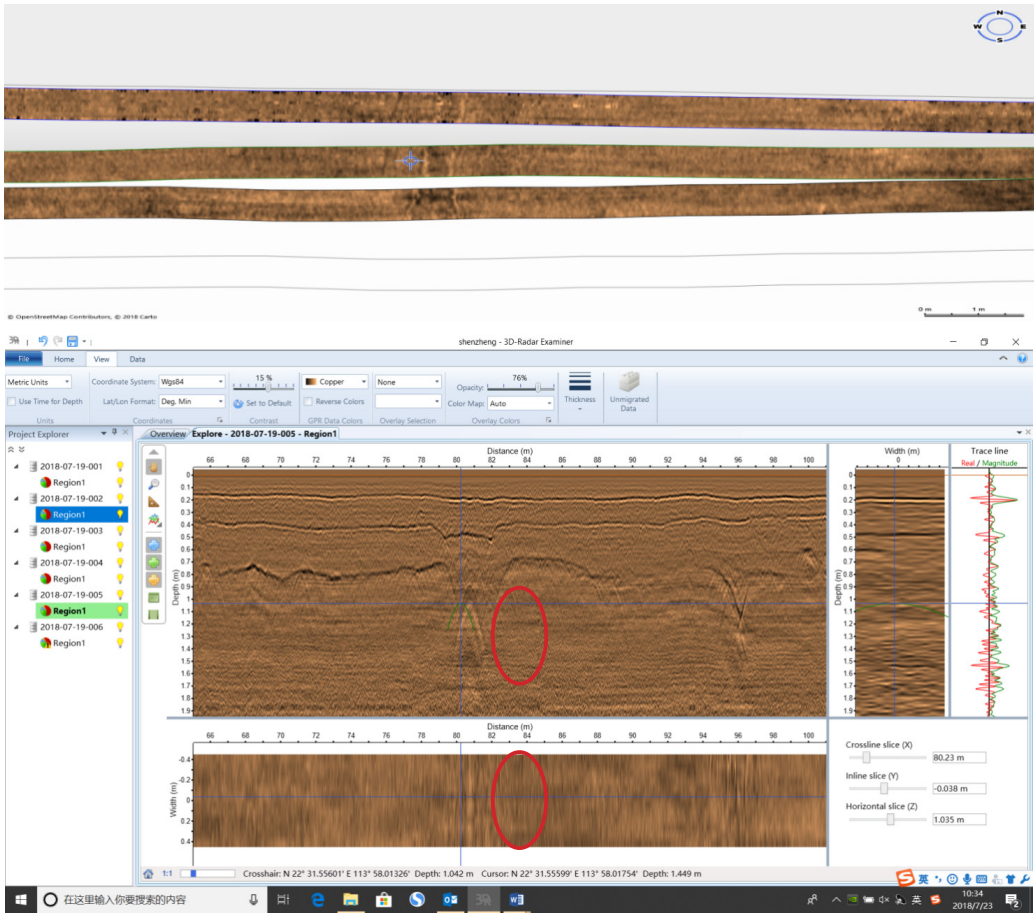


图6 GeoScope三维探地雷雷达检测结果图

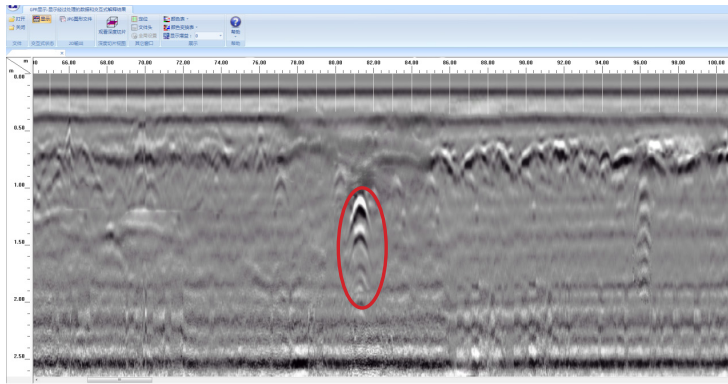


图7 SIR-20型地质雷达检测结果图



图8 现场开挖图

(2) 龙岗区深圳河流域观澜河流域排水管网清源改造工程，金达豪花园项目中，在同一路段先使用SIR-20型地质雷达进行管道探测，发现从开始位置向东331米到333米有一根管道反射波段，深度分别为0.3米，和前面图一图像的变化和波形不一样，根据波形大致可以判断是金属管道，然后再用GeoScope三维探地雷雷达进行管道探测，在相同位置探测出一根管道，最后在现场进行开挖出为金属管道，来推断探测结果是否正确，探测结果图 and 实际开挖图如下：

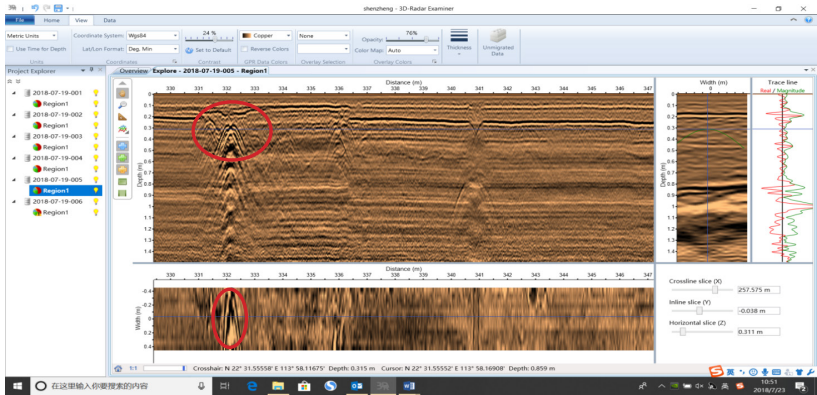


图8 GeoScope三维探地雷雷达检测结果图

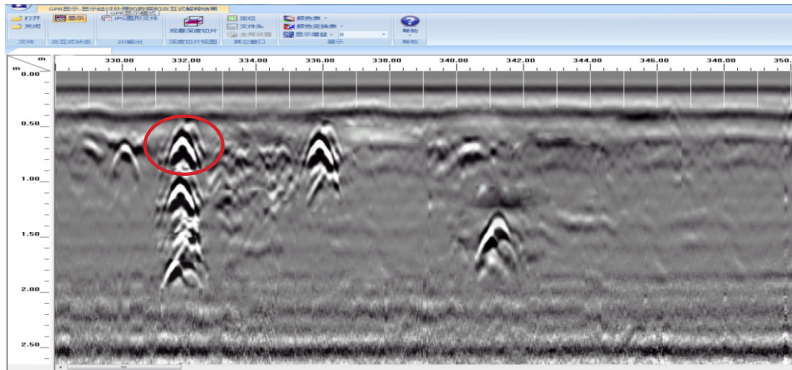


图9 GeoScope三维探地雷雷达检测结果图



图10 现场开挖图

3.3.2 特征物分析

(1) 龙岗区深圳河流域观澜河流域排水管网清源改造工程，翠山公寓项目中，在同一路段先使用SIR-20型地质雷达进行管道探测，发现从开始位置向东316米到321米，有明显强反射信号，深度分别为0.5米，根据波形不明显，图像比较混乱，不能清晰判断出管线的材质，然后再用GeoScope三维探地雷达进行管道探测，在相同位置探测到有明显强反射信号，波段不均匀，但在横断面上可以看到相同的波形，可以推断是走向不规则和大小不一样的管道，最后在现场进行开挖，开挖出为PVC管道，探测结果图和实际开挖图如下：

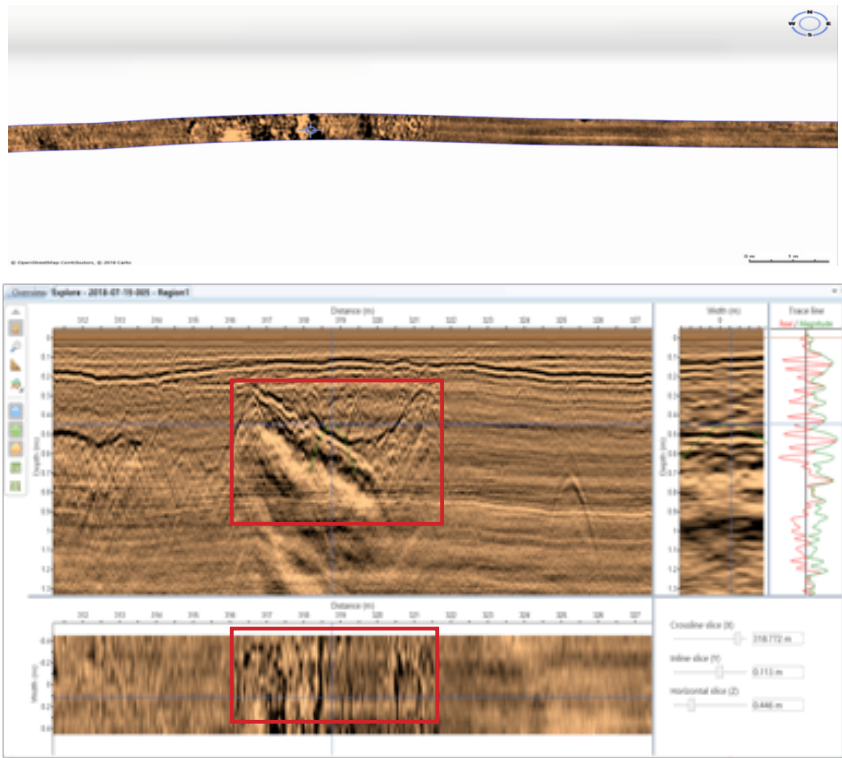


图11 GeoScope三维探地雷达检测结果图

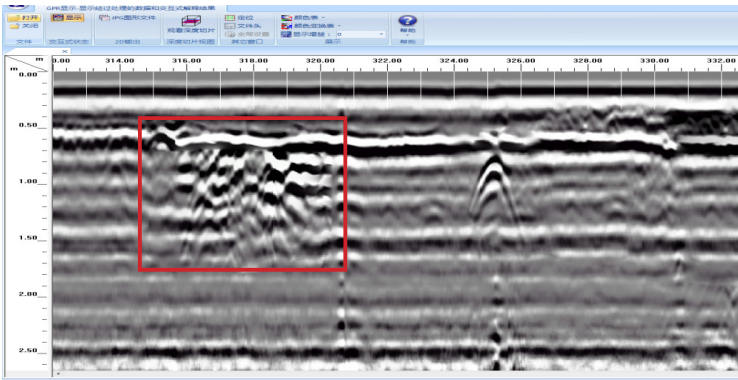


图12 SIR-20型地质雷达检测结果图



图13 现场开挖图

(2) 龙岗区深圳河流域观澜河流域排水管网清源改造工程，翠山公寓项目中，在同一路段先使用SIR-20型地质雷达进行管道探测，发现从开始位置向东137米到140米，有明显强反射信号，深度分别为0.2米，根据波段成波条状，图像不可以推断出具体是什么，然后再用GeoScope三维探地雷达进行管道探测，在相同位置探测到有明显强反射信号，波形成波条状，波形均匀，可以推断波段的反射和土质很相似，疑是存在宽度为2.8米的水泥土板，最后在现场进行开挖，来推断探测结果是否正确，探测结果图和实际开挖图如下：

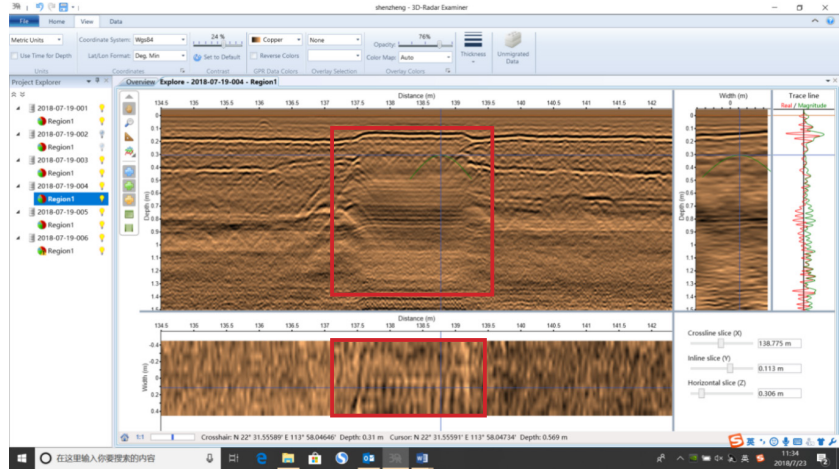


图14 GeoScope三维探地雷达检测结果图

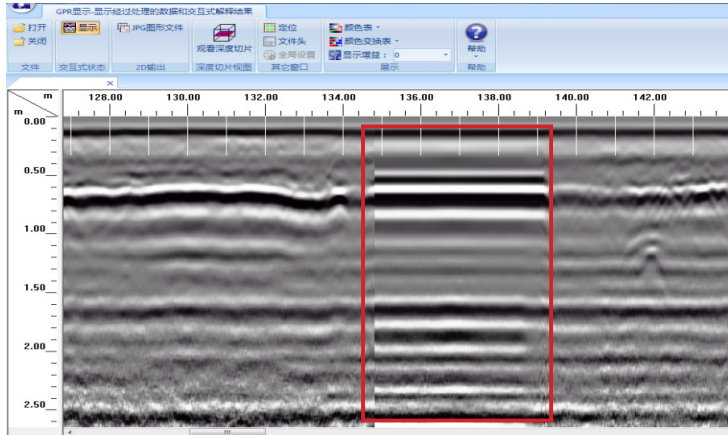


图15 SIR-20型地质雷达检测结果图

4 对比分析

4.1 采集技术

三维探地雷达采集系统由三维阵列天线、主机、综合定位系统、拖车系统4部分组成，为了保证探测精度和解译成果真实、可靠的同时，提高现场工作效率，降低野外成本，针对不同工作环境

和探测目的，需要对采集参数进行论证、对比试验和优化^[1]。经过数十个项目的采集试验对比分析，确定了主要采集参数如下：①发射脉冲频率：发射脉冲频率越高，纵向分辨率越高，探测深度越小，因此，当要求纵向高分辨率采集，而探测深度较浅时，如沥青路面结构、厚度探测，要采用高发射



图16 现场开挖图

脉冲频率，一般用1000MHz以上；当要求分辨率较高，同时，深度相对较浅时，如管线探测，可采用中等发射脉冲频率，一般用400MHz；当探测深度要求尽量大时，分辨率要求次之时，如道路下空洞探测，应采用低发射脉冲频率，一般用200MHz^[3]。②空间采样率：从探测精度来看，当然是空间采样率越高越好。然而，我们知道三维探地雷达数据是海量数据，一条50m宽的道路，采集10km的三维探地雷达数据，数据量达到400G，另外，空间采样率过高，也会限制采集行车速度，因此，空间采样率的选择要根据探测目的、要求精度、行车速度（采集效率）综合考虑，经过试验研究，空间采样率一般选6cm~14cm×2cm~5cm^[4]。③叠加次数：根据环境噪音情况经试验选择叠加次数，叠加次数越大，信噪比越高，但采集速度越低。经试验，叠加次数一般选4~8次。④车行速度：在不影响数据精度、可靠性的前提下，选择较高的车行速度，通过试验确定。一般选10~30km/h^[5]。

4.2 处理及解译技术

三维雷达数据处理技术与二维雷达数据处理在地形编辑、数据格式转换、滤波等有相同之处，但在噪音压制、数据规则化、偏移方面又有所不同，它更强调在三维空间中进行。三维雷达数据解译与二维雷达数据解译相比，技术手段更多，解译信息密度更大，自动功能更强。在垂直剖面方面，它可以在探测范围内沿任意方向切取剖面，可以进行类比解译；在水平切片方面，可以沿任意时间或深度切取属性切片。将垂直剖面与水平切片联合显示、

联合解释，做到了地下异常的真三维显示与解译，可大大提高解释精度和可靠性。

5 结论

结合三维探地雷达在道路管网工程的有效应用，说明三维探地雷达探测管线的方法是可行的。本文结论如下：

（1）三维探地雷达是近年来发展的一项新技术，真三维归位成像效果好，管线及道路病害检测成像直观，无缝扫描且工作效率高等优势。

（2）三维探地雷达较传统的二维雷达，由于增加了纵断面图和水平面图，一些异常和特征物更直观易被发现和判断。

（3）三维探地雷达在管道探测领域中，管道埋深和走向精确，管道材质的判断也更加准确。

（4）三维数据体的任意深度切片使得最终的检测成果可以直观、细致的全方位展示出来。实践表明，其在管线探测和道路病害检测等方面效果良好。

结果表明，由于三维探地雷达具有空间采样率高，成像准确，分辨能力强，解译技术手段丰富等优势，提高城市地下管线探测精度，对道路病害（尤其是空洞）进行提前预测，及时治理，避免或大大减少管线事故和道路塌陷事故发生，在城市地下管线探测、道路病害检测工作中应用效果显著。探地雷达方法具有速度快、探测精度高、实时显示等优点，其应用领域在不断扩展。随着计算机硬件的快速发展探地雷达三维成像凭借其优势，将是今后的发展趋势^[1]。

参考文献

[1]虞永杰，刘荣钢，吴宝杰.探地雷达地下管线探测的三维成像.工程质量.2011，29（11）.57-59.

[2]曾昭发，刘四新，冯珏，等.探底雷达原理与应用[M],人民交通出版社，2011

[3]颜肖沙，黄律群，屠伟新，2014. 3D探地雷达在道路特殊检测中的应用[J]. 市政设施管理，（2）：5-6.

[4]张英杰，马士杰，闫翔鹏，2015. 三维探地雷达在道路病害探测中的应用[J]. 山东交通科技，（5）：80-82.

[5]Harry M. Jol, 2011.Ground Penetrating Radar: Theory and Application[M]. 电子工业出版社：2-24。

工程实践

探究装配式技术在道路养护中的应用

唐晨龙

(深圳市粤通工程有限公司，深圳 518019)

[摘要] 水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术相对于传统的现浇水泥路面修复技术，具备强度高、承载能力大，施工快速方便，养护条件简单，节约养护成本等方面的优势。可以有效解决由于目前施工期较长引起的市民出行不便或交通拥堵等现象。在道路养护行业具备良好的发展前景以及开拓方向。

[关键词] 装配式；水泥路面；养护行业

Explore the application of assembly technology in road maintenance

Tang Chenlong

(Shenzhen Yuetong Construction Engineering Co., Ltd., ShenZhen,518019)

Abstract: Precast cement concrete pavement maintenance (repair) technology compared with traditional cast-in-situ concrete pavement repair technology, have high strength large carrying capacity, the construction is convenient and fast, simple maintenance condition, save maintenance cost and other advantages, can effectively solve the inconvenience caused by the construction period is longer than the citizens travel or the phenomenon such as traffic congestion in road maintenance industry has good development prospect and development direction.

Keywords: Precast cement concrete; concrete pavement; Maintenance industry

0 项目背景

随着道路品质提升的需求，深圳市市政道路逐步“黑化”（路面铺设沥青砼）中，但水泥混凝土路面在各区仍占有较大比重，在一些交通繁忙的水泥混凝土路段（或基层为混凝土板的沥青路面），如何高效的修复破损路面，一直是各交通部门关注的焦点。

传统的现浇水泥路面修复是目前深圳市政道路养护企业目前最常使用的养护维修方式，但存在着养护时间过长和受天气影响较大的缺点。装配式技术常见于建筑业，却在道路养护板块鲜少使用。

2017年5月，我们在道路养护中，针对管养范围的光明区凤明线水泥路面破损现场，勘察得出现场维修条件无法满足传统的现浇水泥路面修复方

式，经多方考察后，决定采用水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术。

1 技术特点

该项目采用水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术是根据破损的旧混凝土路面板的尺寸与厚度等特征，先集中预制与养护，然后对旧路面板进行拆除，将预制好的路面板进行吊装，不但在一定程度上避免了普通混凝土修补材料长时间养护的弊端与快速修补材料的价格昂贵且耐久性差的特点，而且能实现快速地开放交通。

预制拼装板由于其强度高、承载能力大，施工快速方便，养护条件简单等优点使其成为一个新的养护方向。凤明线（长风路）项目从具体实施到效果呈现受到各方主体单位一致好评。该项目奠定了

装配式技术在养护行业的坚实基础，它不仅仅是水泥混凝土路面维修技术上的革新，同时极大地促进了企业经济效益的提高。

2 设计方案

水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术是根据破损的旧混凝土路面板的尺寸与厚度等特征，先集中预制与养护，然后对旧路面板进行拆除，将预制好的路面板进行吊装，不但在一定程度上避免了普通混凝土修补材料长时间养护的弊端与快速修补材料的价格昂贵且耐久性差的特点，而且能实现快速地开放交通。

该修复技术的效果，主要取决于两个方面：一个是预制板本身参数，包括板平面尺寸、厚度、弯拉强度、抗压强度、板间搭接等；另一个是基层的刚度及平整度。平整度取决于凿除旧板时的施工精度及基层整平状况，主要通过施工过程控制。现针对预制板本身参数通常设计方案如下。

2.1 我国水泥混凝土路面基层的主要材料有：水泥稳定粒料或素混凝土、石灰与粉煤灰、级配砾石，根据普通混凝土的尺寸及加载轴间距、板梯材料的抗弯拉强度等因素，基本尺寸为3m×5m，为保证行车的舒适性及与两端路面搭接平顺，板体厚度尽量与原路面混凝土板保持一致，以25cm为例。为保证特殊位置适用性，特殊构造区域采用3m×2.5m。各向尺寸如图1和图2所示。预制板底面钢筋布置形式为Φ12@150，保护层厚度20mm，板顶面由于受压而无需布置钢筋。

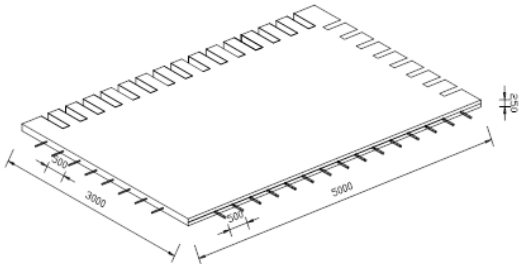


图1 标准预制板尺寸示意图

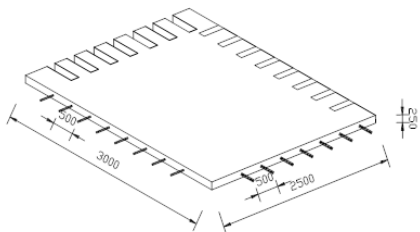


图2 特殊区域预制板尺寸示意图

2.2 板间搭接直接影响预制拼装的质量，板缝未搭接好会影响板间荷载的传递，降低路面整体刚度，使用一段时间后将会形成破损或裂缝并反射至面层。板间搭接方案为在板的长边设置传力杆钢筋，传力杆钢筋布置在板厚的中央，直径为38mm，长度为50cm，水平间距为50cm，最外边传力杆离最近的平行板边60cm。搭接槽宽5cm，深7cm，长50cm。板间搭接分两新板间的搭接和新板与旧板间的搭接。新板在预制时预埋好传力杆，并预留搭接槽，位置要确保准确；新板与旧板搭接须先在旧板对应位置开凿搭接槽，槽的尺寸与新板预留槽一致。

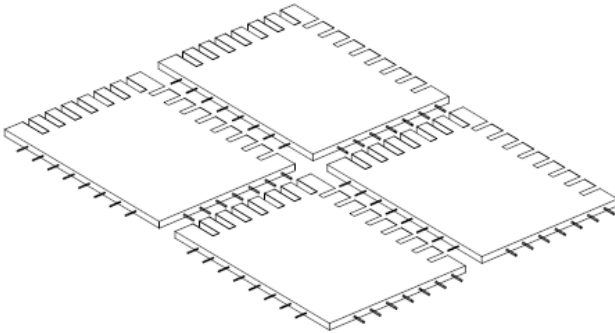


图3 新板间搭接示意图

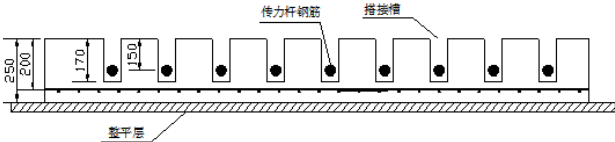


图4 板间搭接横断面示意图

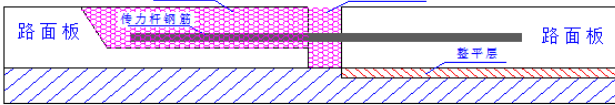


图5 板间搭接纵断面示意图

2.3 预制板从工厂预制到拼接成型期间，需经过多次起吊与运输。为减少预制件的耗损和运输安全，特在板面四个对称位置预埋吊环，预留吊装孔处混凝土面呈凹型，深度为3cm，吊环外径为5cm。埋入深度5cm（凹槽底面起算）。

3 工艺流程

4 结合现场描述分析

案例：凤明线塑胶模具厂附近水泥混凝土路面装配式技术修复

4.1 现场病害调查:对基层混凝土板进行详细

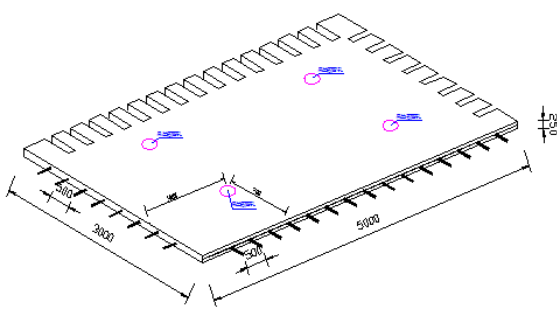


图6 吊装预留孔平面布置图

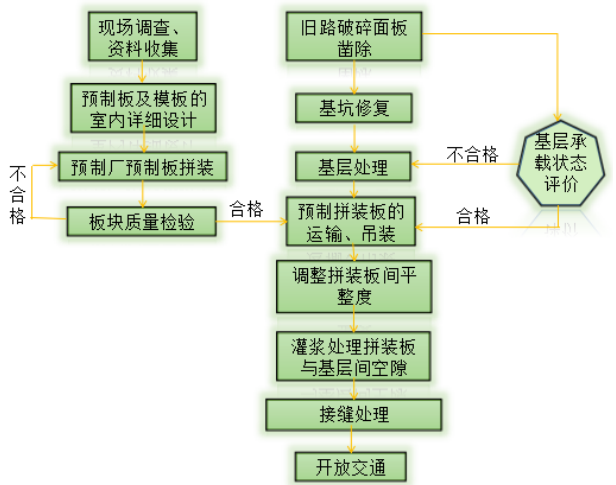


图7 装配式水泥路面施工流程

的病害调查，确定旧路破碎面板的位置及尺寸，以及查看板块范围内有无井盖等，确定是否预留孔洞。并在现场测量放线标记。

4.2 预制板详细设计、生产及运输:首先根据旧路混凝土板病害尺寸，设计所有预制板的使用位置及尺寸和构造；然后预制厂根据设计图纸加工生产；最后待混凝土养护28天后拆模。

4.3 旧路破碎面板的凿除:对旧路面破碎面板凿除，首先用切割机沿破碎板四周进行全厚切割，挖掘机破碎锤作业点严格控制在距板边30cm以上的板内，边缘的剩余部分用风镐破除，破除深度根据预制传力杆高度确定（一般为15cm）。

4.4 基层修复与相邻混凝土板的处理:

4.4.1基层处理:旧路面破碎面板凿除后，首先对基层表面残留混凝土块进行清理，然后采用干拌砂浆对破坏的基层进行修复，可经过多次刮平调整基层的标高，满足预制混凝土板安装后与旧路面的平整度。但是对于基层破损或高差较大的基层，可通过路面破损快速修复技术MRK材料进行调平。

4.4.2相邻旧混凝土板的处理:根据预制混凝土板传力杆的位置，在旧混凝土板的对应位置进行切割凿除。

4.5 预制混凝土板的吊装:把预制混凝土板按顺序吊装在相应位置，并调平。

4.6 接缝浇筑:

4.6.1 接缝表面处理:除去接缝处灰尘、浮石等杂物，若表面潮湿或有积水，应烘干、风干或待自然干燥后再行修补。

4.6.2 配胶:按配比称取适量的A、B组分混合，采用电动搅拌器均匀搅拌3分钟；

4.6.3 基面预涂及混合料拌制:将配好的胶取少量用毛刷对接缝及凹槽处表面进行预涂以增加粘接，并将MRK胶与级配碎石拌制均匀。

4.6.4 浇筑成型:将拌制好的混合料倒入接缝与凹槽中，采用振动棒插捣，采用振动平板压实、整平表面。

4.7 养护及开放交通:一般情况下，施工完成1-3小时后可开放交通。具体时间取决于当时环境温度。MRK填缝胶在不同温度下所需养护时间见下表。

表1 MRK填缝胶在不同温度下所需养护时间			
温度	25℃	30℃	35℃
养护时间(h)	3	2	1

表2 资源配置表		
施工工序	工程量	持续时间(h)
前期准备	——	0.5
挖掘机破碎锤破除路面	70m³	4
切割（需投入多台机具）	110条	4
风镐开槽（需投入多台机具）	55个	5
垃圾装运	73m³	3
基层清理及整平	70m³	2
预制板吊装	4块	2
混合料拌制及填缝	——	1
养护时间	——	1~3

注：1. 该时间未包含前期预制板制作及养护时间
2. 挖机破除路面与切割、风镐开槽可同时施工

6 工程造价对比

经济效益和养护后路面使用寿命来看，根据试

验结果，同样修补更换一块8m×8.6m的一块水泥混凝土路面板（修补厚度为25cm），考虑材料费用、施工费用、养护费用及使用周期，不同养护方式对比情况如下表所示。

表3 工程造价对比明细表

工序名称	现浇普通早强混凝土（元）	快硬水泥修补（元）	装配式钢筋混凝土（元）
拆除旧路面	4822	4822	4822
拆除基层	3042	0	2672
切割、开槽	300	300	2500
铺设垫层并找平	3622	0	3520
支模、钢筋绑扎	0	0	5613
浇筑新板	18606	105000	12606
吊装	0	0	4000
灌缝/填缝	540	0	8225
合计	30932	110122	43958

7 水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术优缺点及现场施工重难点

7.1 优缺点

7.1.1优点：①快速通车，避免交通拥堵和安全隐患；②适应性强，可以不受极端天气影响，尤其在南方多雨季节，更能突出此优点；③耐久性强，工厂化生产，能充分养护，不受交通影响；④适用于现场无浇筑条件或涵沟盖板上使用。

7.1.2缺点：①价格比现浇普通混凝土略高；②前期准备工作较长，包括详细调查现场，确定尺寸、位置、预留孔洞；③运输麻烦，大尺寸混凝土板块需分割成小板块组装；④吊装受限，施工现场需有4m宽吊装空间；⑤可重复利用，节约维修成本。

7.2 重难点

①前期现场调查要详细、认真，避免出现板块拼接不成、雨水井盖孔洞未留等情况②切割、开槽只能人工进行，耗费人力较大；且应避免破坏邻边旧板块整体结③基层平整度要求较高，且应保证原基层坡度，中间高两边低，才能和临近板块接

顺接平。④吊装应注意安全，保证吊装安全区域内无人无车。⑤MRK胶混合料配比正确，避免后期散落、下沉。

8 结语

总之，水泥混凝土路面装配式养护（修补）技术可以解决部分不具备现浇混凝土条件的市政道路养护，有效的避免交通拥堵，实现快速通车的目的。且能够有效的控制现场扬尘、废料，为施工生产和环境保护带来便利。

因该技术在深圳道路养护板块首次采用，作为试点项目，目的是探索装配式养护（修补）技术在实际道路施工的可行性，从而解决在繁忙水泥道路施工造成长期占用道路带来的交通拥堵、噪音污染、扬尘控制等方面的投诉，为道路养护开辟新的方向。

参考文献

[1]GB/J97-87 水泥混凝土路面施工及验收规范[S]. 北京：中国计划出版社，1987

[2]GB/T51231-2016装配式混凝土技术标准[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2017、

工程实践

某井场滑坡稳定性分析及治理

张建同¹，陈刚²，邓益平²

(1. 深圳市市政工程总公司，深圳 518109；2. 四川省地矿局九0九水文地质工程地质队，绵阳 621701)

【摘 要】 以某天然气井场滑坡作为研究对象，简要分析了该滑坡形成的原因及机理，重点对滑坡稳定性分析的方法、计算模型、参数选取、计算过程及结果进行了详细论述，并对滑坡治理方案进行了研究。根据滑坡特征，提出了格构锚索+裂缝夯填+坡脚堆载，并对治理工程及其效果进行了分析。

【关键词】 填土滑坡；形成机制；稳定性分析；锚索；坡脚堆载

Stability analysis and treatment of landslide in a well site

Zhang Jiantong¹, Chen Gang², Deng Yiping²

(1.Shenzhen Municipal Engineering Corp.,Shenzhen,518109, 2. Hydrogeology engineering geological team of sichuan geology and mineral bureau,Mianyang,621701)

Abstract: In this paper, the cause and mechanism of the landslide are analyzed with a natural gas well site landslide as the research object. The stability analysis method, calculation model, parameter selection, calculation process and results are discussed in detail. The landslide treatment scheme is studied.According to the characteristics of landslide, the methods of lattice cable,crack tamping, and slope toe loadingare proposed. The treatment engineering and its effect are analyzed.

Keywords: soil landslide; formation mechanism; stability analysis; anchor; slope toe loading

0 前言

随着国民经济社会发展，兴建大量工程，由于我国山区地形分布较大，在该区域进行工程建设时进行半挖半填，形成大量的填方边坡，由于填方边坡物质结构松散，未完全固结，诱发边坡失稳，最终形成填方滑坡灾害。本文结合现场调查和勘查成果资料对滑坡区采取综合治理，监测数据显示，滑坡的位移明显减小并逐渐趋于稳定。

1 工程概况

某天然气井场位于三台县古井镇，场地属亚热带湿润季风气候区，多年平均降雨量为870.70mm，年降雨量最大为1523.5mm，最小为570.4mm，月平均降雨量最多为223.5mm(7月)，最少为5.0mm(12月)。工作区地貌属构造侵蚀深丘地貌，整体地势

呈北东高南西低，相对高差53.9m。工作区为斜坡地形，剖面呈折线形。场地因井场建设回填形成长约110m,宽约65m的斜坡平台，平台后部为基岩陡坡，坡度约60～70°。据工程地质测绘，场地内地层自上而下分布为人工填土层（Q4m1）、第四系全新统残坡积层（Q4e1+d1）、滑坡堆积层（Q4de1）及侏罗系下统遂宁组第三段（J3sn）。工作区地下水按其赋存介质可以分为第四系松散层孔隙水和碎屑岩类裂隙孔隙水。

由于工程建设需要，修建一填方平台，平台长110m，宽65m，平台前缘形成高约12m填土边坡。针对填方边坡采用了格构与浆砌块石挡墙支护。2012年7月3日至8日及7月15日至7月19日连续降雨，诱发井场滑坡，格构及挡墙开裂，填土平台出现大量

拉张裂缝。

2 滑坡基本特征

2.1 滑坡空间形态及规模

滑坡位于勘查区西侧，滑坡边界在地形地貌上表现较明显，根据滑坡区地形地貌及变形破坏特征确定其边界，滑坡后缘以L2拉张裂缝为界，高程为413m，前缘以已产生鼓胀隆起为界，高程为401m，两侧以后缘裂缝及前缘变形控制区域进行确定。滑坡的平面形态总体呈舌形，主滑方向270°，纵向剖面形态为折线型，平均坡度35~40°，轴长30m，横宽约100m，土体厚度5~14m，平均厚度10m，面积约3000m²，滑坡体积为3万m³，滑坡全貌如图1所示。



图1 某天然气井场滑坡全貌

2.2 滑坡物质组成

(1) 滑体物质组成。根据现场调查得知，滑坡已产生变形破坏，滑坡上部主要堆积物为主要由粉质粘土，强风化和中风化砂岩岩屑及岩石碎块等组成。

(2) 滑带物质组成。根据滑坡的变形破坏特征得知，滑坡主要是沿土层内部软弱面进行滑动变形破坏，滑带土主要为粉质粘土，层厚较薄，小于8cm。

(3) 滑床物质组成。根据地面调查，该滑坡为土质滑坡，其滑床及滑体下部物质基本一致，均为粉质粘土夹碎石。

3 滑坡变形特征及形成机理分析

3.1 滑坡后缘变形

滑坡在产生滑动变形后以在后缘形成3条拉张裂缝及多条剪切裂缝，拉张裂缝近似垂直于坡向，裂缝L1呈直线型分布，长约34.0m，走向160~180°，宽1~3cm，下错5~12cm；裂缝L2呈直线型分布，长约78.0m，走向180~185°，宽5~12cm，下错5~56cm，可见深度为0.4m；裂缝L3呈直线型分布，长约68.0m，走向180°，宽2~3cm。滑坡体上分布多条剪切裂缝，长约

5~15.0m，走向270°，宽1~3cm。L4位于L2南侧，长约13m，裂缝下错约0.7m，L5紧邻L4，长约12m，裂缝下错约0.3~0.4m（见图2）。



图2 滑坡产生的拉张下错裂缝（L1~L5）

3.2 滑坡前缘变形

滑坡产生变形破坏，将前部浆砌堡坎挤压开裂、挡墙伸缩缝加宽，堡坎下部公路开裂变形，公路外侧的农田隆起近30cm，此外由于滑动挡墙后部产生裂缝L6，长约85m，宽3~10cm，可见深度约0.3m的拉张裂缝，如图3所示。



图3 滑坡前缘变形现象

3.3 滑坡形成原因分析

灾害体形成与其所处的地质环境密切相关，主要与场区的地形地貌、地层岩性、气象水文（降雨）及人类工程活动有密切关系^[1-5]。

(1) 地形地貌。由于井场建设需要，将原有坡面开挖回填呈阶坎状，高约5m，坡度近似直立，高陡的地形形成了较好的临空面；故地形地貌条件是斜坡变形的基本条件。

(2) 地层岩性。滑坡主要由第四系松散堆积层组成，岩性结构松散，有利于地表水入渗，增大土体自重，降低抗剪强度，不利于斜坡保持其稳定

性。故松散的第四系堆积层，为滑坡的发生提供了物质基础。

(3) 水的作用。水是导致滑坡产生变形破坏的诱发因素。2012年7月3日至8日及7月15日至7月19日连续降雨，雨量较大。雨水入渗土体，增大了土体容重，降低了土体的抗剪强度，降雨入渗后不能及时排出，同时浸润软化了滑移控制面，对滑坡的变形破坏起了诱发作用。

(4) 人类工程活动。场地因井场建设回填，回填高约12m，前缘形成一高约5m的陡坎。工程开挖回填形成高陡临空面，为滑坡产生局部剪出提供有利条件。

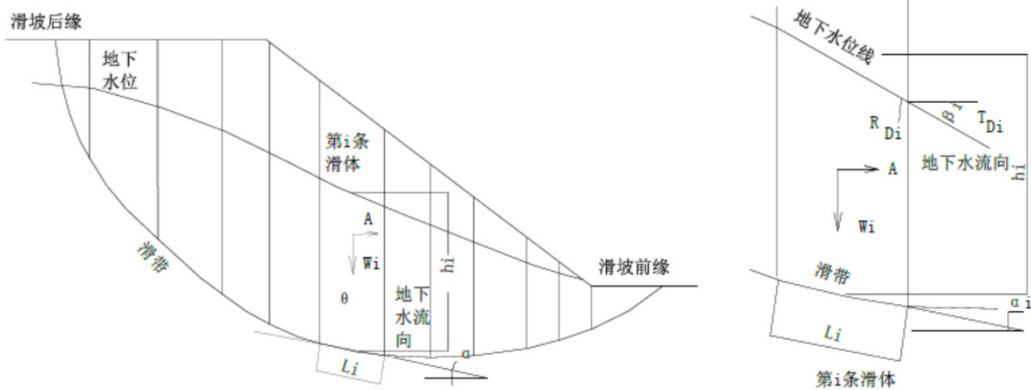


图4 瑞典条分法（圆弧形滑动面）堆积层滑坡稳定性计算模型

(2) 计算工况

为全面分析滑坡所处的各种工况下的稳定状态，采用三种工况进行分析，即工况一为自重，工况二为自重+暴雨，工况三为自重+暴雨+均布荷载。

4.2 计算方法与参数选取

(1) 计算方法

采用圆弧法计算滑坡稳定性，计算公式如下：

$$K_f = \frac{\sum \{W_i (\cos \alpha_i - A \sin \alpha_i) - N_{wi} - R_{Di}\} \tan \phi_i + C_i L_i}{\sum \{W_i (\sin \alpha_i + A \cos \alpha_i) + T_{Di}\}} \quad (1)$$

其中孔隙水压力 $N_{wi} = \gamma_w h_{iw} L_i$ ，即近似等于浸润面以下土体的面积 $h_{iw} L_i$ 乘以水的容量 γ_w (kN/m³)；渗透压力产生的平行滑面分力 T_{Di} ：

$$T_{Di} = \gamma_w h_{iw} L_i \tan \beta_i \cos(\alpha_i - \beta_i) \quad (2)$$

式中： W_i —第*i*条块的重量 (kN/m)； C_i —第*i*条块的内聚力 (kPa)； ϕ_i —第*i*条块内摩擦角 (°)； L_i —第*i*条块滑面长度 (m)； α_i —第*i*条块滑面倾角 (°)； β_i —第*i*条块地下水流向 (°)； A —地震加速

该井场滑坡变形破坏主要是由于人工开挖回填而形成高5m的陡坎地形，提供了良好的临空条件，滑坡表面的土体的渗透性较好，有利于降水的渗入，使土体软化，抗剪强度迅速降低，在与土体自重的共同作用下，产生变形破坏。滑坡破坏模式为推移式滑动破坏。

4 滑坡稳定性分析与评价

4.1 计算模型与工况

(1) 计算模型

根据滑坡产生变形破坏模式，采用瑞典条分法（如图4所示）进行最不利滑动面搜索^[6-9]，计算其剩余下滑力。

度(重力加速度g)； K_f —稳定系数。

剩余下滑力采取下式计算：

$$E_i = K W_i \sin \alpha_i + \psi_i E_{i-1} - W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i - c_i l_i \quad (3)$$

其中 E_{i-1} ——第*i*-1条块的剩余下滑力 (KN/m)，作用于分界面的中点； E_i ——第*i*+1条块所在滑面倾角 (°)； K_s ——斜坡推力安全系数。根据上述公式计算剩余下滑力，2-2' 整体剩余下滑力为175KN/m，次级剪除面165KN/m。

主动土压力采取下式计算：

$$Ea = \varphi_c \frac{1}{2} \gamma H^2 Ka \quad (4)$$

$$Ka = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_D}{2}) \quad (5)$$

$$\tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_D}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - \quad (6)$$

$$\frac{4C}{\gamma H} \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \frac{4C^2}{\gamma^2 H^2}$$

式中：Ea—墙后土体主动土压力（KN）； γ —墙后填土重度（KN/m³）；H—挡墙高度（m）；Ka—土体主动土压力系数； Φ_0 —土体综合内摩擦角（°）； Φ_c —本设计支护结构取值1.12； δ —墙背与填土的内摩擦角（°）； ε —墙背与竖向的夹角（°）； β —墙后填土与水平面的夹角（°）；

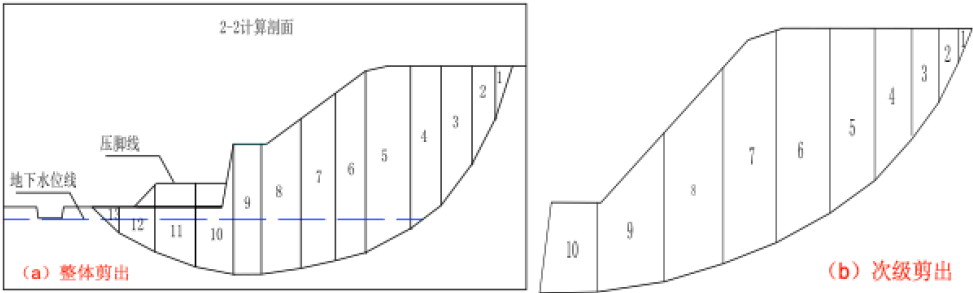


图5 2-2’剖面土体稳定性计算条分法

(3) 计算参数选取
根据反演法^[10]、经验类比及综合分析，确定潜在滑动面土体的抗剪强度参数值。由于斜坡整体无明显变形破坏，故在稳定性计算中，天然、饱和状

C—墙后土体的粘聚力（KPa）； Φ —土体内摩擦角（°）。

(2) 计算剖面选取
根据现场调查报告，滑坡区最不利区域为2-2’剖面，因此采用滑坡区的2-2’剖面进行滑坡稳定性和推力计算，如图5所示。

态下均采用土体抗剪强度峰值（见表1）。根据现场室内试验，粉质粘土天然重度 γ =19.2KN/m³，饱和重度s=19.8KN/m³；填土天然重度 γ =19.8KN/m³，饱和重度s=20.2KN/m³。

表1 参数综合取值表

类别	指标	天然状态		饱和状态	
		C (KPa)	Φ (°)	C (KPa)	Φ (°)
粉质粘土	反演值			15.3	10.1
	试验值	22.8	12.5	17.8	9.9
	经验值	25-35	8-35	15-25	5-12
	综合取值	17.4	11.2	15.1	10
填土	反演值			6.2	12.5
	经验值	15-25	8-35	10-20	5-20
	综合取值	8.8	17.9	6.2	12.5

4.3 反演分析

根据钻探资料，滑坡体主要残坡积碎块石土组成，下伏泥质砂岩。在基覆界附近的粉质粘土层内分布有软塑～可塑的较软弱层，滑体易沿着该界面软弱层发生滑动。采用刚性极限平衡计算法中圆弧滑动法，选取滑坡主剖面2-2’作为滑坡的计算剖面进行滑坡稳定性计算，反演分析计算剖面采用2-2’。

由于该段滑坡已经垮塌变形。因此本次参

定，Fs<1.0为不稳定。根据《滑坡防治工程勘查规范》（DZ-T0218-2006）结合场地要求进行安全系数取值。滑坡稳定性评价标准如表2所示。工况一情况下，稳定性安全系数Fst=1.15；工况二情况下，稳定性安全系数Fst=1.12；工况三情况下，稳定性安全系数Fst=1.12。

(2) 稳定性计算与结果评述
根据以上方法对斜坡可能产生剪出滑面的剖面进行稳定性评价，利用瑞典条分法（圆弧形滑动面），按其处于不同工况，对稳定性进行计算，限

表3 2-2’剖面滑坡稳定性及推力计算结果统计表（自重+暴雨+均布荷载）

条块号	地下水位上部分		地下水位下部分		条块重量 (kN/m)	建筑荷载 (kN/m)	C (kPa)	Φ (°)	累计下滑力 (KN/m)	累计抗滑力 (KN/m)	稳定系数	安全系数	剩余下滑力 (KN/m)
	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)									
E1	3.08	20.2		10.4	62.22	40	6.2	12.5	96.54	35.09	0.36	1.12	73
E2	11.92	20.2		10.4	240.68	71	6.2	12.5	365.93	90.59	0.25	1.12	319
E3	24.98	20.2		10.4	504.60	44	6.2	12.5	777.91	186.86	0.24	1.12	684
E4	30.76	20.2	0.36	10.4	625.10	38	15.1	10.0	1094.85	313.09	0.29	1.12	913
E5	46.45	19.8	6.42	10	983.91	114	15.1	10.0	1549.61	538.27	0.35	1.12	1197
E6	28.12	19.8	7.47	10	631.48	0	15.1	10.0	1559.77	644.31	0.41	1.12	1103
E7	26.54	19.8	10.39	10	629.39	0	15.1	10.0	1675.37	796.90	0.48	1.12	1080
E8	23.06	19.8	13.85	10	595.09	0	15.1	10.0	1758.70	951.69	0.54	1.12	1018
E9	14.22	19.8	10.34	10	384.96	0	15.1	10.0	1694.83	1021.17	0.60	1.12	877
E10	10.25	19.8	13.13	10	334.25	0	15.1	10.0	1552.25	1079.31	0.70	1.12	659
E11	9.96	19.8	10.98	10	307.01	0	15.1	10.0	1450.53	1185.35	0.82	1.12	439
E12	4.60	19.8	5.58	10	146.88	0	15.1	10.0	1341.48	1221.21	0.91	1.12	281
E13	1.74	19.8	0.64	10	40.85	0	15.1	10.0	1200.40	1169.75	0.97	1.12	175

表4 2-2’剖面（次级滑面）滑坡稳定性及推力计算结果统计表（自重+暴雨+均布荷载）

条块号	地下水位上部分		地下水位下部分		条块重量 (kN/m)	建筑荷载 (kN/m)	C (kPa)	Φ (°)	累计下滑力 (KN/m)	累计抗滑力 (KN/m)	稳定系数	安全系数	剩余下滑力 (KN/m)
	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)									
E1	0.51	20.2	10.30	24	6.20	12.50	28.74	13.45	0.47	1.12	19	1.12	73
E2	2.19	20.2	44.24	33	6.20	12.50	88.92	34.86	0.39	1.12	65	1.12	319
E3	4.99	20.2	100.80	45	6.20	12.50	177.84	70.22	0.39	1.12	129	1.12	684
E4	9.81	20.2	198.16	63	6.20	12.50	326.94	131.73	0.40	1.12	234	1.12	913
E5	15.38	20.2	310.68	75	6.20	12.50	471.08	218.77	0.46	1.12	309	1.12	1197
E6	21.67	20.2	437.73	90	6.20	12.50	627.27	342.78	0.55	1.12	360	1.12	1103

表4 续

条块号	地下水位上部分		地下水位下部分		条块重量 (kN/m)	建筑荷载 (kN/m)	C (kPa)	Φ (°)	累计下滑力 (KN/m)	累计抗滑力 (KN/m)	稳定 系数	安全 系数	剩余下滑力 (KN/m)
	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)	面积Fi (m ²)	容重 (kN/m ³)									
E7	22. 65	20. 2	457. 53	0	6. 20	12. 50	729. 43	453. 47	0. 62	1. 12	363	1. 12	1080
E8	20. 48	20. 2	413. 70	0	6. 20	12. 50	806. 31	564. 67	0. 70	1. 12	338	1. 12	1018
E9	16. 00	20. 2	323. 20	0	6. 20	12. 50	818. 42	646. 06	0. 79	1. 12	271	1. 12	877
E10	9. 47	20. 2	191. 29	0	6. 20	12. 50	803. 71	734. 76	0. 91	1. 12	165	1. 12	175

表5 斜坡稳定性计算成果汇总表

剖面编号	工况	稳定系数	稳定状态	备注
2-2’（整体）	一	1. 313	稳定	滑动面
	二	1. 08	基本稳定	
	三	0. 97	不稳定	
2-2’（次级）	一	1. 447	稳定	次级滑动面
	二	1. 04	欠稳定	
	三	0. 91	不稳定	

通过对滑坡剖面的稳定性计算结果表明，其稳定状态与调查的情况基本吻合。在暴雨工况下2-2’剖面整体处于基本稳定状态，在暴雨+荷载工况下2-2’剖面整体处于不稳定状态，其安全储备较小，可能产生滑动变形破坏。

5 滑坡治理与监测分析

5.1 滑坡治理

滑坡治理工程结合现场调查和勘查成果资料，滑坡区治理工程可采用以下三种措施进行综合治理。①格构锚索工程：在滑坡前缘挡墙面坡部位设置2排预应力锚索，使滑坡在暴雨及加载情况下不出现滑移变形破坏；②裂缝填补工程：对滑坡体上裂缝采取填补处理；③坡脚堆载：在滑坡前缘已建挡墙下部回填砂卵石土。滑坡发生后，立即在坡脚进行了回填反压。应急处理后，进行了锚索支护，根据计算结果，采用175KN/m作为设计值，锚索布设2排，梅花状布置，水平间距6. 0m，垂直间距2m，锚索倾角20°，锚索支护长约97m，共计33束。为了保证锚索张拉对已建挡墙不构成墙体破坏，在墙体表面安装保护层，根据计算，选用（Q235）40#槽钢，宽40cm。之后对挡墙裂缝，采用M10水泥砂浆进行填补，裂缝大的区域填塞碎块石；滑坡后援拉张裂缝先进行开挖，然后采取3:7

灰土进行夯填。平台前缘为一横宽约120m，纵长约12m，坡度35°的斜坡，该段采用格构护坡；斜坡前缘为一陡坎，横宽约120m，坎高约5m，坡度约70°，该段采用浆砌堡坎护坡。工程治理后，经过2014年7月29日地震及近几年雨季检验，该场地未见变形及滑动迹象，运行稳定。

5.2 滑坡监测

为及时了解其滑塌体变形及规律，2012年7月至10月对该滑坡开展了地表位移监测工作。根据工程特点，经过现场踏勘，布设了水平基准点和水平工作基点共29个点，基准点编号为：JZ1～JZ2，监测点编号为：JC1～JC27；沉降基准点利用水平基准点和水平工作基点，共29点，编号一致。由图6可知，监测点变形在观测中误差范围的有JC10～JC21、JC23，处于稳定状态，其余点都是处于不稳定状态。

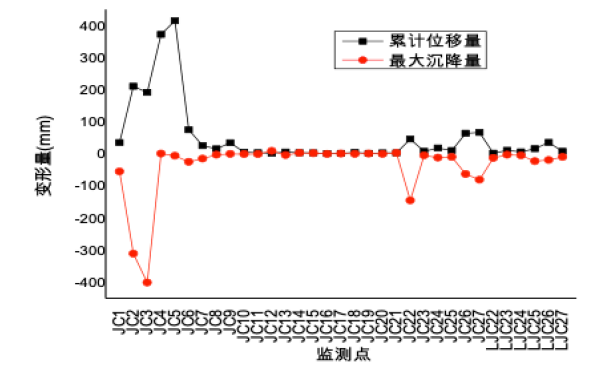


图6 变形监测点成果统计

监测工作从2012年7月27日开始，到2012年10月31日结束。在施工期间观测了3个多月，共计完成对变形监测点195余次变形测量，经过对原始数据的认真核对、计算、分析和整理，得出JC5监测点水平累计位移量最大，最大为414. 8mm；JC3监测点垂直累计位移量最大，最大为-401. 0mm。经过对

水平位移和垂直位移变化较大的监测点分析，主要是受到8月4日至6日的边坡锚索施工和9月22日前后井场平台注浆孔施工造成的，其次雨水浸泡场地对边坡的滑动也产生了一定的影响。在监测过程中，当监测点数据出现明显异常时，监测人员及时告知业主代表、施工人员及设计人员，采取必要的预防措施，确保了施工安全。

6 结论

（1）通过分析该滑坡形成的原因及机理，认为滑坡灾害体形成与其所处的地质环境密切相关地形地貌、地层岩性、水的作用和人类工程活动。

（2）通过瑞典条分法进行最不利滑动面搜索，重点对滑坡稳定性分析的方法、计算模型、参数选取，对斜坡可能产生剪出滑面的剖面进行稳定性评价，计算得出“自重+暴雨+均布荷载”工况为不稳定情况。

（3）根据反演法、经验类比及综合分析，确定了潜在滑动面土体的抗剪强度参数值，选取滑坡主剖面2-2’作为滑坡的计算剖面进行滑坡稳定性计算，结果显示其稳定状态与调查的情况基本吻合。在暴雨工况下2-2’剖面整体处于基本稳定状态，在暴雨+荷载工况下2-2’剖面整体处于不稳定状态，其安全储备较小，可能产生滑动变形破坏。

（4）根据滑坡特征，对滑坡提出了地面排水+裂缝夯填+锚索+坡脚堆载综合治理方案，并对滑坡治理后效果进行了地表位移和沉降监测，结果

显示治理后的滑坡经受住雨季检验，该场地未见变形及滑动迹象，运行稳定，因此，对类似工程具有很好的借鉴意义。

参考文献

[1] 薛涛，王振华，孙萍等. 基于深部位移监测的滑坡形成机制分析与稳定性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报，2017, 28（1）：53-61.

[2] 李开文，李岩. 云南泸水一中滑坡稳定性分析及工程治理[J]. 四川建筑科学研究，2011，37（5）:155-158.

[3] 洪刚，吴徐华，刘鹏. 某高速公路滑坡稳定性评价及治理方案设计[J]. 公路工程，2013，38（1）:133-135.

[4] 韩叙领. 平岭大型滑坡稳定性分析及治理方案研究[J]. 中外公路，2016（5）:1-4.

[5] 贾住平，郑禄璟，郑禄林. 露天边坡大型滑坡稳定性分析与治理方案[J]. 金属矿山，2014，43（5）:27-31.

[6] 谢飞鸿，王锦山，尹伯悦. 成南高速公路滑坡稳定性分析及治理[C]// 中国岩石力学与工程学会2005年边坡、基坑与地下工程新技术新方法研讨会. 2005.

[7] 陈羽，王德富，肖文辉，等. 隧道洞口滑坡稳定性分析及治理研究[J]. 中外公路，2016（2）:25-28.

[8] 韩叙领. 梁疙瘩古滑坡治理稳定性分析及治理方案研究[J]. 中外公路，2016（4）:64-67.

[9] 向彤. 八尺门滑坡稳定性评价及治理[J]. 公路交通技术，2004（3）:15-18.

[10] 张玉，徐卫亚，石崇，等. 争岗滑坡堆积体稳定性及治理措施研究[J]. 岩土工程学报，2010，28（9）:1470-1478.

简 讯

住建部拟逐步推行以政府购买服务方式开展施工图审查

为贯彻落实国务院深化“放管服”改革、优化营商环境的要求，住房城乡建设部日前对《房屋建筑和市政基础设施工程施工图设计文件审查管理办法》（住房和城乡建设部令第13号）作了三处修改。

其中，将第五条第一款修改为“省、自治区、直辖市人民政府住房城乡建设主管部门应当会同有关主管部门按照本办法规定的审查机构条件，结合本行政区域内的建设规模，确定相应数量的审查机构，逐步推行以政府购买服务方式开展施工图设计文件审查。具体办法由国务院住房城乡建设主管部门另行规定”。将第十一条“审查机构应当对施工图审查内容”增加了消防安全性和人防工程（不含人防指挥工程）防护安全性两项。在第十九条增加一款，作为第三款“涉及消防安全性、人防工程（不含人防指挥工程）防护安全性的，由县级以上人民政府有关部门按照职责分工实施监督检查和行政处罚，并将监督检查结果向社会公布”。

修改决定自发布之日起施行。《房屋建筑和市政基础设施工程施工图设计文件审查管理办法》据此作相应修改，重新发布。

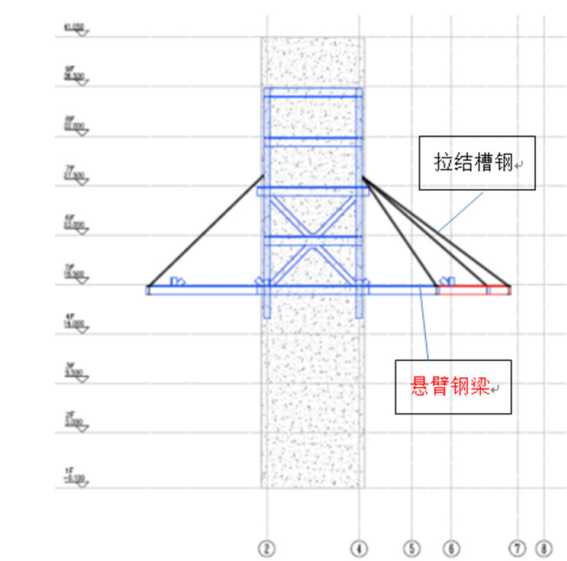


图2 钢结构悬臂主梁安装及拉结槽钢固定

(4) 待钢结构形成稳定封闭的受力体系后，再切割槽钢拉结梁逐步进行卸载。

3.4 槽钢拉结点的设置

槽钢拉结梁的上端与伸出混凝土结构的钢梁牛腿连接详见图3，下端与悬臂主梁连接，详见图4。

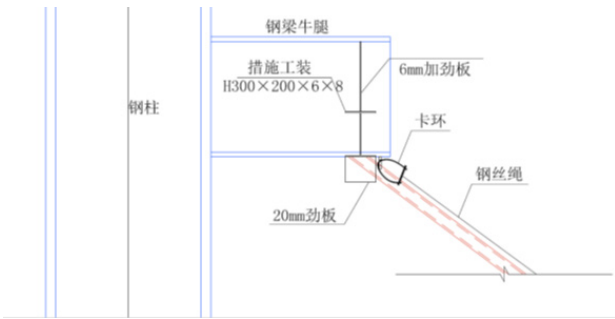


图3 拉结槽钢上吊点连接图

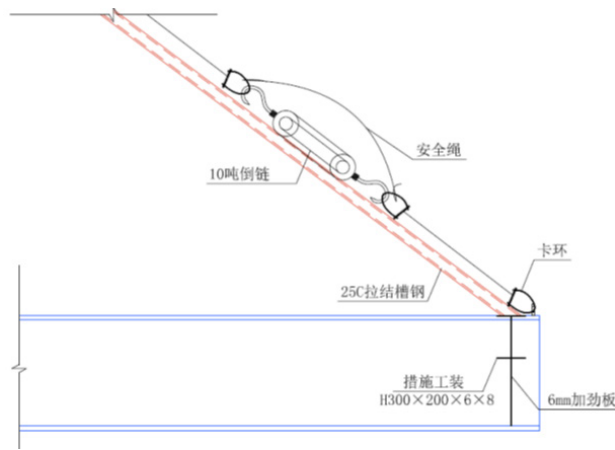


图4 拉结槽钢下吊点连接图

3.5 安全控制措施

(1) 水平及外围防护

在加工钢梁时，在钢梁下翼缘加设安全网挂钩，详见图5，完成一个区域的楼层钢梁安装后，铺设小眼网，将小眼网挂在预制好的安全网挂钩上。

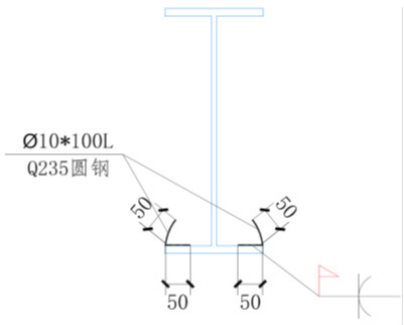


图5 安全网钢筋挂钩

为保障安装施工安全，避免施工时材料、工具掉落对下层操作人员造成人身伤害，钢结构外围楼层周边设置安全外挑网（两层小眼网及一层钢丝网）。

(2) 安全绳立杆

夹具式安全立杆主要用于施工人员在钢梁上行走时悬挂安全带、防坠器等设施。可防止施工人员在钢梁上行走时出现意外，详见图6。

(3) 吊装区域应设置安全警戒线，非作业人员严禁入内。吊装物吊离地面200mm~300mm时，应进行全面检查，并应确认无误后再正式起吊。当风速达到10m/s时，宜停止吊装作业；当风速达到15m/s时，不得吊装作业。

(4) 高空作业区地面要划出禁区，并挂上“闲人免进”、“禁止通行”等警示牌。防护用品要穿戴整齐，裤角要扎住，戴好安全帽，不准穿光滑的硬底鞋。要有足够强度的安全带，并应将绳子牢系在坚固的建筑物构件上或金属结构架上，不准系在活动物件上。

4 优点及创新

4.1 二次深化设计技术的应用

对现场情况（包括施工平面布置、起重设备吊装能力）进行分析调研，再对图纸进行二次深化设计，在技术条件允许且不增加其他设备投入的情况下，使得已有资源得到最大限度的利用。

4.2 BIM技术的应用

利用BIM技术对钢结构施工进行模拟，提前发现问题，并提前解决问题。不仅提高了施工进度，也提高了构件制作的精度。

4.3 高空悬臂散拼施工技术

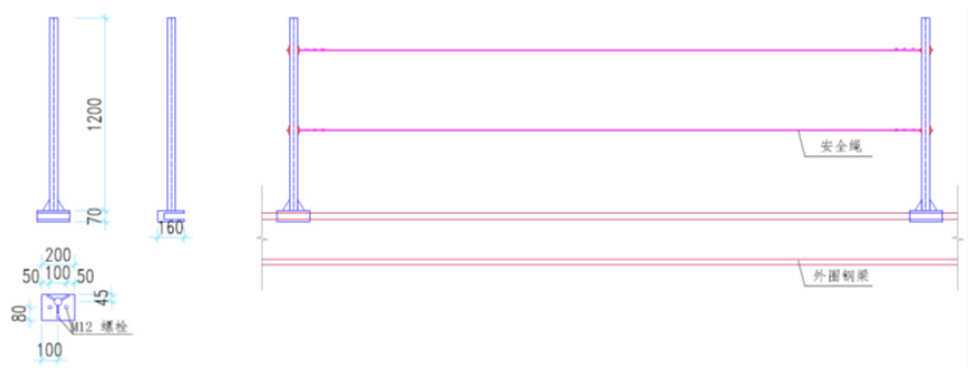


图6 夹具式钢梁立杆

大跨度悬臂钢结构施工难度较大，尤其在现场场地狭窄、起重设备能力有限的情况下，施工更是难上加难。通过高空悬臂散拼施工技术，采用槽钢临时固定拉杆、安装完成后切割槽钢腹板截面实现逐步卸载的安装方法，利用施工现场已有资源，合理安排施工工序，加强质量控制措施，解决了大跨度悬臂钢结构施工的难题。产生了良好的社会效益和一定的经济效益。

5 结论

(1) 钢结构高空悬臂散拼施工技术能有效解决大跨度悬臂钢结构高空安装的难题。

(2) 该技术适用于大跨度、悬臂的高空钢结构分段悬拼安装。对于场地条件受到限制，现场起

重设备吊装能力有限，且工期较紧的项目尤为适用。

(3) 应充分利用钢结构二次深化设计技术、BIM技术，保证施工的顺利进行。

(4) 钢结构吊装及高空作业应做好安全防护措施。

参考文献

[1]GB 20755-2012，钢结构工程施工规范[P]. 北京：中国建筑工业出版社，2012。
[2]GB 50205-2001，钢结构工程施工质量验收规范[P]. 北京：中国计划出版社，2001。
[3]GB 50017-2003，钢结构设计规范[P]. 北京：中国计划出版社，2003

简 讯

深圳出台海绵城市建设管理暂行办法

在最新一期政府公报中，深圳市政府印发了《深圳市海绵城市建设管理暂行办法》（以下简称《暂行办法》），该办法提出，以“生态优先、因地制宜、协调统筹、经济适用、安全美观”为原则，源头减排、过程控制、系统治理相协调，降低与修复城市开发建设对自然水循环的不利影响，有效改善城市生态环境、提升城市防灾减灾能力。

《暂行办法》从规划管理、建设管理、运营维护、能力建设、法律责任五个方面加强对海绵城市建设工作的组织实施，动员全社会共同推动海绵城市建设。在不新增审批事项和审批环节的前提下，通过细化管控要求、引导与激励并重等多种方式，建立政府职能清晰、主体责任明确、事中事后监管到位的海绵城市建设管理长效机制。

所谓海绵城市，是指通过加强城市规划建设管理，充分发挥建筑、道路和绿地、水系等生态系统对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用，有效控制雨水径流，实现自然积存、自然渗透、自然净化的城市发展方式。

据悉，《暂行办法》自2018年12月7日起实施，有效期为3年。该办法实施后，深圳市各区区政府将成立海绵城市建设工作领导小组，并在市级海绵城市工作机构的统一协调下，开展海绵城市建设统筹协调、技术指导、监督考核等工作。此外《暂行办法》显示，有效期满前6个月时，市级海绵城市工作机构应当组织开展本办法的完善和修订工作。

技术管理部 石军乐

浅谈5G技术助力物业商业模式创新

刘红伟

(深圳市天健物业管理有限公司，深圳 518034)

【摘 要】 随着5G技术的诞生，5G将推动物联网、云计算、智能工厂、大视频、教育信息化、智慧医疗、智慧城市、智慧物业及AI等关联领域裂变式发展，在5G技术的影响下大力推动互联网、物联网大城市服务平台的建设，通过平台将人与物、人与人、人与组织有机的连接在一起形成新的商业模式。

【关键词】 物联网；计算机；关键技术；商业模式；云平台

Talking about the Innovation of 5G Technology to Help the Business Model of Property

Liu Hongwei

(Shenzhen Tagen Property Management Co., Ltd., Shenzhen, 518034)

Abstract: With the birth of 5G technology, 5G will promote the fission development of related fields such as Internet of Things, cloud computing, smart factories, big video, education informatization, smart healthcare, smart city, smart property and AI, in 5G technology. Under the influence, we will vigorously promote the construction of Internet and IoT large city service platforms, and connect people and things, people and people, people and organizations organically through the platform to form a new business model.

Keywords: Internet of Things; computer; key technology; business model; cloud platform

0 引言

工信部此前发布的《信息通信行业发展规划（2016-2020年）》明确提出，2020年启动5G商用服务。根据工信部等部门提出的5G推进工作部署以及三大运营商的5G商用计划，我国将于2017年展开5G网络第二阶段测试，2018年进行大规模试验组网，并在此基础上于2019年启动5G网络建设，最快2020年正式推出商用服务^[1]。

2016年11月，在召开的国际无线标准化机构3GPP的RAN187次会议上进行5G短码方案讨论，华为胜出标志着“中国方案”首次获得编码级别标准认定^[3]。

2018年6月14日11:18，在美国圣地亚哥举行的3GPP第80次全会上正式批准了第五代移动通信技术标准（5G NR）独立组网功能冻结^[2]。

2018年9月5日，中国联通发布“5G+视频”推进计划，将在5G产业链上开拓更多场景应用。中国电信也与中兴通讯开展合作，完成电信在雄安和苏州地区的5G试验网阶段测试探索多个行业应用^[4]。

新浪科技讯北京时间2019年2月8日下午消息，据美国财经媒体CNBC报道，泰国在周五推出华为5G测试平台，华为作为全球顶尖的电信设备制造商和第二大智能手机制造商，在泰国的5G测试平台将是公司在东南亚的首个平台^[6]。

1 物业行业发展的商业模式

物业服务企业的商业模式概括为四大模式：分别为物业服务集成模式、物业资产运营模式、物业保障服务模式和物业顾问服务商模式。

物业服务集成商（物业服务总包）模式是目前发达国家和地区物业服务的主流商业模式，从专业

角度看主要取决于企业整合和挖掘物业服务价值链条的能力，物业服务企业比客户更了解物业管理和比专项服务供应商更了解客户的专业优势，通过搭建城市级别的智慧社区服务平台来整合资源和把控价值链能力的核心，将清洁、绿化、维修、消防、设施设备、水电、秩序维护、党群义工团等专业服务市场连接起来，通过5G技术的应用将资源最大化的运作起来逐步的引领智慧城市健康的发展。

物业资产运营商（物业资产管理）模式是物业从消费功能向投资功能扩展，从使用价值向交换价值提升而衍生的高级商业模式。物业搭建的智慧社区服务平台为客户创造更多的物业资产价值，利用客户资源和专业技能，为业主提供传统物业管理和不动产投资理财两项服务，从而获取物业服务费用和资产管理佣金的双重收益，该模式要求物业服务企业不仅具备建筑物及其附属设施的维修、养护技能，而且应当具备市场研究、投资策划、资产评估、财务分析等物业经营管理的综合性的专业能力，在较高的商业利润必然伴随着较高的商业风险，企业的资本运作能力和风险管控能力，不仅是业主进行商业决策时必须考察的信用基础，而且是物业服务企业成功运营物业资产的安全保证。

物业保障服务商（物业后勤服务/物业支援服务）模式是物业管理行业顺应后勤服务社会化改革趋势而诞生的一种混合商业模式，物业服务企业不仅从事不动产管理业务，而且受托提供配餐、会务、接待、交通、物流等方面的后勤服务，以全方位满足客户非主流业务之外的多元化需求，物业保障服务商模式对企业的客户关系管理能力提出更高的要求，客户具有双层次甚至多层次的特点，可以区分为目标客户、终端客户、内部客户、外部客户、固定客户、流动客户等多种类型提升客户的满意度，制定并实施有针对性的客户关系战略和客户满意战略。

物业顾问服务商是具有全方面的性质，其工作面涵盖物业管理的所有领域，主要包括：派员长期驻守委托方工作，实行前期介入的管理制度，协助开展物业服务、检查和入住工作，协助公司行政架构整组，推行人员培训和形象设计计划，协助监管公共设施的运作状况，进行管理收支经济测算，实行物业基础管理运作指导，指导各类物业资金的筹集与使用，研究促进物业的销售方法，举办社区文化、党建文化等活动，拓展一条龙的全方位服务，

物管服务模式。

2 物业对商业模式的选择

物业管理的商业模式可以按照传统和未来、初级、高级、粗放和集约等标准进行分类定性，由于物业管理市场环境的独特性决定了现阶段我国物业管理商业模式的多样性，在较长时间里各种商业模式都有其存在的合理性，其实物业服务企业里永远没有最理想的商业模式只有最合适的商业模式，最合适的商业模式一定是基于对内外相关因素作出综合考量决定的。综合考量如下：

企业定位:物业服务企业自身是否定位为独立缔约和竞价的市场主体，大部分地产开发商有下属的物业服务企业，这些企业在改进和创新商业模式方面动力不足。因为地产开发背景下的物业服务企业有可能基于内部分工、保障服务、品牌助推、利润这四个方面定位企业做出不同的商业模式选择。

发展战略:实施专业化战略的物业服务企业，可能趋向于选择物业服务集成模式、物业资产运营模式、物业保障服务模式和物业顾问服务商模式多元化的物业服务企业。个人认为物业服务企业关注短期战略时应当着手于维持原有的商业模式；实施中期战略时应当着力于改进商业模式；规划长期战略时应当着眼于创新商业模式。

物业类型:居住物业适合于选择物业服务提供商和物业资源开发商模式；公共物业适合于选择物业服务集成商和物业顾问服务商模式；消费型或自用型物业适合于选择物业服务提供商和物业服务集成商模式；经营型和投资型物业适合于选择物业资产运营商和物业保障服务商模式。

人力资源:操作型员工队伍的企业可以选择物业服务提供商和物业资源开发商模式；较强管理型人才队伍的企业可以选择物业服务集成商和物业顾问服务商模式；较强专业型人才队伍的企业可以选择物业顾问服务商模式；较大复合型人才队伍的企业可以选择物业保障服务商模式。

产业链条:物业企业商业模式的选择可能受限于物业服务提供商和物业服务集成商。假设打通不动产产业链条向上延伸到不动产的生产和流通领域，向下延伸到不动产消费和投资领域，物业服务企业就有条件拓展物业顾问服务商和物业资产运营商模式；假设打通其他相关产业链条个体客户端对接居民消费领域，单位客户端对接后勤保障领域物业服务企业就有条件拓展物业资源开发商和物业保

障服务商模式。

政策环境:在政策主导型的物业管理市场监管体制下，物业服务企业商业模式的选择还受到政策环境的制约和影响。在缺乏与酬金制收费相配套的税收政策的情况下，物业服务企业选择物业服务集成商模式时，无法通过降低税负达到控制成本的目的。在相关行业的行政管制较为严格的情况下，物业服务企业拓展物业顾问服务商、物业资产运营商和物业保障服务商模式时，必须打破相关行业的行政壁垒。

3 物业需要对商业模式创新

中国移动发布《5G产业发展与投资报告》^[15]分析了5G带给物联网、智能工厂、大视频、教育信息化、智慧医疗等行业将利用 5G技术推动物联网、云计算、大视频、大数据及AI等关联领域裂变式发展^[7]。

万物互联:5G将为物与物的连接提供高速率、低时延、高可靠和广覆盖的网络环境。通过社区资源的合理利用及资源的优化组合提高社区商业价值。具体业务包括社区智能停车、全媒体、空间租赁、通讯、终端设备、智慧养老、维修等类型，通过搭建智慧社区服务平台将各类型业务连接起来形成一个大的物联网，逐社区复制最终成为一个大的智慧城市服务平台。

视频升级:5G时代用户可随时随地享受高清视频体验，打造沉浸式感受。物业可以利用互联网技术、视频监控技术的演进，目前超过千万台监控摄像机密布在国内城镇的大街小巷。随着智慧城市加速建设，国内城市级的视频监控系统在数字化、网络化、高清化、智能化的发展阶段后，将形成广覆盖、大联网、高智能的格局，在应用层面具有强烈的大数据处理需求来消化、利用海量的视频监控信息，辅助案件侦破，实现事前预警。

万物可云:5G不仅推动数据云端化处理，更助力云计算下沉至终端，形成边缘云计算格局。5G助力智慧城市服务平台的发展，通过平台将服务、视频、监控、路灯、智能设备、利用人脸识别技术对城市人口进行管理等连接起来，形成一个大格局的智慧城市服务平台，以满足社区住户衣、食、住、行、医、教、养、娱等日常生活个性化需求为目标，通过自营或者合作模式，让社区住户享受更高的生活品质，更便利、更贴心的生活服务。目前已开展业务板块包含家居装修服务、到家服务、商品

销售服务、创新业务等。

高效数据:5G网络提高数据收集和处理高效化，提高价值挖掘的可靠程度。为AI提供泛在化互联环境、更新的应用场景和海量数据，利用大数据绘制用户画像，提供精准、贴合性强的服务绘制360度用户画像与业主有效链接，促使平台的产品和服务精准匹配业主的消费需求，更加务实，围绕业主需求提供服务，取信业主、黏住业主。目前，部分物业服务企业的平台运营已见明显成效，更多增值服务的变现模式渐成熟。此外，5G将以其大带宽、低时延、泛连接的能力促进行业数字化，赋能物业行业的发展。

5G推动社区B2F新零售的商业模式:当前B2F的出现离不开B2C的发展，B2C模式企业在长期的发展中，累积了大量的用户数据和构建了及其完备的供应链体系，随着未来互联网的发展，消费者的声音越来越强，未来的价值链第一推动力会来自于消费者，而不是商家。未来的商业模式定制会是主流。它的要求是个性化需求、多品种、小批量、快速反应、平台化协作，这个是我们能看得到的未来。

B2F利用线上零售与线下零售结合取长补短，克服了线上零售物流成本愈发高涨却仍旧不如线下零售位置有优势的问题，也克服了线下零售不如线上零售搜索方便销售宣传方便的问题。

5G网络将助力工业领域的发展:就目前来看，危险环境远程作业一直受制于网络性能，发展阶段基本处于空白，工人们要经常要冒着生命危险去操作，假如出现意外，那将是一个家庭的悲剧，我们的科技在进步，当然不希望看到诸如此类的悲剧接连发生。在5G时代，可以轻松地将我们的作业地点和电脑实时连接，人们可实时操作、实时分析，不用工人冒着危险去现场作业，就可以安全又高效地完成工作任务^[5]。

5G网络将加速虚拟现实领域的发展:虚拟现实也是物联网的一个发展方向，完美的虚拟现实对于移动网络有着极高的要求，如今VR技术让许多人不出远门就可以体验到外面的精彩世界，但是也有一个弊端，许多人体验久了会有头晕的现象，对于易晕眩症者来说更是碰都不敢碰，研究表明，对于VR来讲，时延要低于20ms才能缓解晕眩感，而5G毫秒级的时延将很好的解决这个问题，可以大大提升用户体验^[5]。

5G网络将赋能远程医疗领域的发展：全面实现

远程医疗指日可待，我国的医疗水平发展分布不均，特别是偏远山区医疗资源极少，人们很多时候因为经济或者路途遥远等原因得不到及时的救助而错过最佳治疗机会，甚至可能导致死亡。远程医疗旨在提高诊断与医疗水平、降低医疗开支、减少看病花费的时间，平衡医疗资源分配不均的现象，为那些看不上病的偏远山村的人民造福。目前远程医疗技术已经从最初的视频监护电话远程诊断发展到利用高速网络进行数据、图像、语音的综合传输，假如5G网络实现，相信可以轻松实现实时的语音和高清晰图像的交流，为远程医疗领域的发展提供了前所未有的发展前景^[5]。

5G让无人驾驶成为现实：到2020年无人驾驶或者装载无人驾驶辅助技术的机车保有量将会达到1亿台，5G将实现无人驾驶所需的连接为了支持5G和无人驾驶，英特尔开发了英特尔智能驾驶5G车载通信平台与Mobileye和宝马面向2021年推出全面无人驾驶的汽车^[5]。

5G 让智慧生活成为现实：物联网场景下的垂直领域消费群体，由于在众多科技企业的积极推进下，智能家居生态已初步形成，只要你愿意就可以基于某个生态平台搭建一个智慧家庭，其中美的作为传统家电巨头，目前美的大部分产品都已经添加M—Smart协议及模块打破孤岛和共享资源，并以开放的姿态构件智慧生活生态；物业企业智能化管理方面还比较落后，需要加快建设物联网“智慧社区服务平台” 通过面向移动互联网的智能门禁、智能道闸、智能建筑等通过技术手段将采集到数据计算与分析，再到用户交互，个性化配置等都需要更加高度、低功耗、低时延、万物互联的网络，将智能设备运行管理，减少设备运行值守人员，提高设备运行、能源管理的时效性和准确性来提供物业管理的专业化水平，这其中5G将起到非常大的支撑作用。

5G 互联网+让物业转型升级走向成功:我认为物业服务行业服务观念需要彻底转变以客户为导向、物业企业要高度重视对人的服务切实重视客户的感受，从满足客户的需求出发来组织各项工作如：住宅项目为业主提供日常维修、派送服务；办公和写字楼物业提供日常维修、派送员工早

餐、日程运送和最后100米快递服务开始，逐级提高企业对物业的信任感和依赖性，物业在做好服务的基础上联合打造城市物业服务平台。在”互联网+“的时代下单个物业企业项目客户规模都很小，客户的需求又分散，要满足客户物业服务范围之外的需求，物业企业只有联合起来壮大客户规模同时规范商业模式，不管是商城还是生活服务才能规模化，标准化，降低业主服务成本，还能保证服务的质量，由于客户和服务供应商的地域性，以城市为单位构建物业服务平台就是必然的，那些靠单个物业企业构建的物业服务平台，很难取得价格和效率的优势，因此利用互联网技术，发挥企业拥有物业项目和客户资源的优势，建立新型的城市物业服务平台，从简单的物业服务提供商向集成物业供应商转变，从服务的提供者向资源的整合者转变；开展区域物业联合、跨行业兼并重组、提高资本运作能力，从传统物业服务向社区生活服务、社区养老、社区旅游、社区金融、社区医疗等新型物业服务发展，打造新型物业服务集团，通过合作共赢来提高物业企业的核心竞争力。

4 结束语

5G我们应该走进万物互联、万物智能、资源整合打造物联网，人工智能，智慧城市，无人驾驶，城市服务等大型云平台，让物业快速整合信息资源不断改革增效。

参考文献

[1]5G商业化进程提速 运营商推进网络智能化转型. 人民网. 2017-05-04[引用日期2017-05-10]
[2]5G首个完整标准正式确定 产业化进程全面提速. 人民网. 2018-06-14[引用日期2018-06-26]
[3]5G标准诞生，中国通信行业的里程碑事件. 新华网. 2017-12-23[引用日期2017-12-27]
[4]韩国三大运营商或将于12月启动5G商用 全球5G市场升温. 人民网[引用日期2018-10-11]
[5]5G的到来，将为物联网发展带来哪些新机遇. 物联网[引用日期2018-07-19]
[6]5G时代到来，物业管理将有哪些改变的可能性. 搜狐[引用日期2019-01-07]
[7]《中国5G产业发展与投资报告》发布. 中国产业经济信息网 [引用日期2018-12-25]

400亿深中通道攻九大世界难题

作为“深莞惠”与“珠中江”两大城市群间唯一公路直连通道，广东自贸区、粤港澳大湾区之间的交通纽带，深中通道目前桥、岛、隧三大工程均已开工。该工程总投资约446.9亿元人民币，面临至少9大世界级“建设挑战”，其中海底隧道以“特长超宽双向八车道”标准超过港珠澳大桥成为世界首例。按工期，2019年上半年将完成首节沉管安装，2022年隧道贯通，2023年主体工程竣工，预计2024年全线通车。

深中通道位于珠三角核心区域，北距虎门大桥约30千米，南距港珠澳大桥约38千米，是集“桥、岛、隧、水下互通”一体的世界级集群工程。深中信道管理中心有关负责人对记者透露，该项目投资总概算约446.9亿元人民币，面对严苛建设条件和多样性技术方案，需攻克至少九大世界级建设难题。

“超宽、深埋、变宽”的钢壳混凝土沉管隧道，为世界首次大规模应用。隧道全长6845米，双向八车道设计标准，管节断面宽度46米，超过港珠澳大桥隧道，成世界第一；而主线隧道分合流处断面达46米到69.44米，最大埋深处约-25米，亦是世界首次采用浮运安装一体船进行沉管隧道沉放，建成后将成为世界首例特长双向八车道海底沉管隧道。

主跨1666米的伶仃洋大桥则是世界最大跨径海中悬索桥，涉及世界最大规模的海中锚碇施工及世界最高（92米）海中大桥的抗风性能等问题，国内外建设经验少，水中锚碇施工难度大。

西人工岛施工中，超大体量钢圆筒在风化花岗岩地层振沉为世界首例，且止水技术难度非常大。

有关负责人指出，深中通道要建成世界一流可持续跨海信道工程，创珠江口百年门户工程；并要形成跨海隧岛桥系列化设计、施工指南，施工技术规范、工法、发明专利，形成跨海通道建设中国技术标准，提升国家竞争力。

深中通道亦是国际上首例全寿命周期应用BIM技术跨海信道集群工程，以“提质、增效、降本、可追溯”为目标导向，建立贯穿设计、施工与运营等阶段全寿命周期数据模型，深度集成GIS、云计算、物联网、人工智能等技术，提供BIM+（项目管理、智能制造、智能工地、智能工厂等）系列解决方案，打造下一代智能交通基础设施示范工程。

目前深中信道桥梁工程全面开工，桥梁工程主墩桩基已开钻，正进行东西锚碇筑岛施工。

西人工岛已成岛，正进行高压旋喷桩等施工。沉管隧道钢壳试验段已全部完成，智能化下料、平体焊接生产线已完成调试，第一、第二管节已下料生产。

按工期，2019上半年首节沉管完成预制并安装，年内完成4个管节沉放，伶仃洋大桥主塔承台完成施工。到2022年，32个管节沉放全部完成，海底隧道贯通；到2023年桥梁工程完成主体工程建设，预计2024年全线通车。

中国桥梁网

贵州首个“隧道施工紧急避难所”在六威高速双山隧道使用

贵州省在建项目六威（六盘水至威宁）高速公路即将于下月建成通车。作为其重点控制性工程，双山特长隧道是目前贵州最长公路隧道、最长高瓦斯隧道。今年7月17日，双山隧道实现“零事故、零伤亡”双幅贯通，为六

威高速年底通车奠定了坚实基础。这一切主要得益于在隧道建设中配置了“隧道施工紧急避难所”，双山隧道也成为贵州省公路建设领域首次采用“隧道施工紧急避难所”装备的建设项目。

双山隧道地处威宁自治县大海镇、哈喇河乡、观风海镇的交界处。施工标段为全省最高海拔区域，这里长年有大雾、大风、凝冰等极端天气，全年凝冻天气达50天左右，雨季长达180天，每年12月份至次年2月份平均气温低于0℃，最低为-13.1℃，施工条件极为恶劣。

“双山隧道实现零事故和零伤亡双幅贯通，是来之不易的成绩，为贵州高速公路建设积累了宝贵经验。”六威高速公路项目办公室相关人员说。“双山隧道穿煤地段是一级瓦斯工区。”项目现场挂帮负责人表示，除了瓦斯突出、瓦斯燃烧和瓦斯爆炸等事故风险，还经常面临涌水突泥等地质灾害，建设过程中遭遇岩溶异常带6处、破碎断层2处、大小溶洞24个。

为了顺利攻坚，施工方在距离煤层300米处进行超前地质钻探，实时探测煤层参数、瓦斯浓度等情况，并在施工前完成对挖掘机、装载机等施工机械的专业防爆改装，确保了隧道安全作业。同时，还配以瓦斯监控系统、局部风扇、防爆电缆等专业设备，通过采用双电源双通风机设备，24小时不间断作业，稀释洞内瓦斯含量，为工人施工提供安全保障。

施工中，双山隧道参建单位还大胆采用隧道初支湿喷工艺、水压爆破、二氧化碳气体保护焊接、等离子切割、隧道门禁及人员定位系统、三臂凿岩台车等新工艺、新设备、新技术，在确保工程质量和施工安全的同时，还提高了施工效率、节约了施工成本。

“为确保一线施工人员安全，我们配置了‘隧道施工紧急避难所’。”隧道出口施工方项目负责人说，该装备在贵州省公路建设中属首次使用。在双山隧道施工过程中使用的“紧急避难所”，由集装箱改装而成，长6米、宽3米、高2.5米，大小相当于一个普通家庭主卧，可同时容纳15人紧急避难。该避难所紧跟工人步伐，随着施工进度往前移动，以确保隧道作业面发生瓦斯燃烧或爆炸事故时，洞内作业人员能及时进入箱体避难并等待外部救援。避难所配有水、食物、药物、压风自救系统、防爆电话、照明系统等，可为15人提供5天的安全保障。

贵州日报

住建部发布新办法规范建筑工程施工活动

为规范建筑工程施工发包与承包活动，保证工程质量和施工安全，有效遏制违法发包、转包、违法分包及挂靠等违法行为，维护建筑市场秩序和建设工程专业参与方的合法权益，住房和城乡建设部日前制定《建筑工程施工发包与承包违法行为认定查处管理办法》（以下简称《办法》），对全国建筑工程施工发包与承包违法行为的认定查处工作实施统一监督管理。

《办法》对违法发包、转包、违法分包及挂靠等违法行为作出明确定义。其中，违法发包行为包括：建设单位将工程发包给个人的；建设单位将工程发包给不具有相应资质的单位的；依法应当招标未招标或未按照法定招标程序发包的；建设单位设置不合理的招标投标条件，限制、排斥潜在投标人或者投标人的；建设单位将一个单位工程的施工分解成若干部分发包给不同的施工总承包或专业承包单位的。

转包行为包括：承包单位将其承包的全部工程转给其他单位（包括母公司承接建筑工程后将所承接工程交由具有独立法人资格的子公司施工的情形）或个人施工的；承包单位将其承包的全部工程肢解以后，以分包的名义

分别转给其他单位或个人施工的；施工总承包单位或专业承包单位未派驻项目负责人、技术负责人、质量管理负责人、安全管理负责人等主要管理人员，或派驻的项目负责人、技术负责人、质量管理负责人、安全管理负责人中一人及以上与施工单位没有订立劳动合同且没有建立劳动工资和社会养老保险关系，或派驻的项目负责人未对该工程的施工活动进行组织管理，又不能进行合理解释并提供相应证明的；合同约定由承包单位负责采购的主要建筑材料、构配件及工程设备或租赁的施工机械设备，由其他单位或个人采购、租赁，或施工单位不能提供有关采购、租赁合同及发票等证明，又不能进行合理解释并提供相应证明的；专业作业承包人承包的范围是承包单位承包的全部工程，专业作业承包人计取的是除上缴给承包单位“管理费”之外的全部工程价款的；承包单位通过采取合作、联营、个人承包等形式或名义，直接或变相将其承包的全部工程转给其他单位或个人施工的；专业工程的发包单位不是该工程的施工总承包或专业承包单位的，但建设单位依约作为发包单位的除外；专业作业的发包单位不是该工程承包单位的；施工合同主体之间没有工程款收付关系，或者承包单位收到款项后又将款项转拨给其他单位和个人，又不能进行合理解释并提供材料证明的。两个以上的单位组成联合体承包工程，在联合体分工协议中约定或者在项目实际实施过程中，联合体一方不进行施工也未对施工活动进行组织管理的，并且向联合体其他方收取管理费或者其他类似费用的，视为联合体一方将承包的工程转包给联合体其他方。但有证据证明属于挂靠或者其他违法行为的除外。

挂靠行为包括：没有资质的单位或个人借用其他施工单位的资质承揽工程的；有资质的施工单位相互借用资质承揽工程的，包括资质等级低的借用资质等级高的，资质等级高的借用资质等级低的，相同资质等级相互借用的；本办法第八条第一款第（三）至（九）项规定的情形，有证据证明属于挂靠的。

违法分包行为包括：承包单位将其承包的工程分包给个人的；施工总承包单位或专业承包单位将工程分包给不具备相应资质单位的；施工总承包单位将施工总承包合同范围内工程主体结构的施工分包给其他单位的，钢结构工程除外；专业分包单位将其承包的专业工程中非劳务作业部分再分包的；专业作业承包人将其承包的劳务再分包的；专业作业承包人除计取劳务作业费用外，还计取主要建筑材料款和大中型施工机械设备、主要周转材料费用的。

《办法》自2019年1月1日起施行。2014年10月1日起施行的《建筑工程施工转包违法分包等违法行为认定查处管理办法（试行）》（建市〔2014〕118号）同时废止。

住房和城乡建设部