

地工岩土

地下工程灾害事故的防控与处理

2013.11.5-7

# 2013 海峡两岸 地工技术 / 岩土工程 交流研讨会论文集

2013 Cross-Strait Symposium on Geotechnics

11.5-7 台北 (大陆卷)

中国建筑业协会深基础施工分会  
王新杰 张晋勋 主编

主办单位：财团法人地工技术研究发展基金会 (台湾)  
中国建筑业协会深基础施工分会 (大陆)



知识产权出版社

Intellectual Property Publishing House

全国百佳图书出版单位

# 2013 海峡两岸地工技术/岩土工程 交流研讨会论文集（大陆卷）

中国建筑业协会深基础施工分会  
王新杰 张晋勋 主编



## 内容提要

本书是第九届海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集(大陆卷),内容包括岩土工程力学实验分析、地下工程事故防控、处理与案例分析深基坑开挖与近邻构筑物保护、城市轨道交通岩土工程、隧道工程设计与施工、自然灾害防治、施工监测与管理、地基加固、机械设备等几个方面。文章反映了当今相关领域的最新发展状况,可作为该领域方面的重要参考文献。

责任编辑:陆彩云 栾晓航 责任出版:刘译文

## 图书在版编目(CIP)数据

2013 海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集. 大陆卷/王新杰,张晋勋主编.——北京:知识产权出版社,2013.9

ISBN 978-7-5130-2304-7

I. ①2… II. ①王…②张… III. ①岩土工程—学术会议—文集②地下工程—学术会议—文集 IV. ①TU4-53②TU94-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 229561 号

## 2013 海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集(大陆卷)

2013 hai xia liang an di gong ji shu/yan tu gong cheng jiao liu yan tao hui lun wen ji

中国建筑业协会深基础施工分会 王新杰 张晋勋 主编

---

出版发行:知识产权出版社

社 址:北京市海淀区马甸南村 1 号

网 址: <http://www.ipph.cn>

发行电话:010-82000893

责编电话:010-82000860 转 8110/8382

印 刷:知识产权出版社电子印制中心

开 本:850mm×1168mm 1/16

版 次:2013 年 10 月第 1 版

字 数:870 千字

邮 编:100088

邮 箱: [lcy@cnipr.com](mailto:lcy@cnipr.com)

传 真:010-82000860 转 8240

责编邮箱: [luanxiaohang@cnipr.com](mailto:luanxiaohang@cnipr.com)

经 销:新华书店及相关销售网点

印 张:28.75

印 次:2013 年 10 月第 1 次印刷

定 价:120.00 元

ISBN 978-7-5130-2304-7

---

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

# 2013 海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会

## 组织委员会

荣誉主任 欧晋德(台湾) 许溶烈(大陆)

主 任 郑文隆(台湾) 张晋勋(大陆)

副 主 任 周功台(台湾) 林廷芳(台湾) 沈小克(大陆) 刘 波(大陆)  
金 淮(大陆)

秘 书 长 林三贤(台湾) 邱德隆(大陆)

委 员 (按姓氏笔画为序)

台 湾 何泰源 张文城 林永光 林宏达 林美聆 林铭郎

欧章煜 俞清瀚 黄灿辉 谢旭升

大 陆 马海志 叶长生 毕元顺 刘彦生 孙金山 苏志刚

李永利 李兴正 杨明友 吴永红 张治平 苗国航

林本海 罗富荣 冼聪颖 赵广建 赵晋友 钟晓晖

宫 萍 高文生 郭建国 康景文 焦 莹 蓝戊己

# 2013 海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会 学术委员会

主 任 方永寿(台湾) 王新杰(大陆)

副 主 任 余明山(台湾) 苏鼎钧(台湾) 杨秀仁(大陆) 竺维彬(大陆)  
朱合华(大陆) 郑 刚(大陆)

委 员 (按姓氏笔画为序)

台 湾 何树根 吴文隆 陈沧江 董家钧

大 陆 史海鸥 白 云 白廷辉 刘彦生 苏志刚 李 玲

李 虹 宋 仪 张志良 张治平 张钦喜 陈云敏

陈仁朋 苗国航 钟显奇 郭传新 黄宏伟 傅鹤林

## 顾问委员会

委 员 (按姓氏笔画为序)

台 湾 吴盟分 李建中 李德河 陈正兴 欧晋德 胡邵敏

钟毓东 洪如江 莫若楫 高宗正 黄子明 曹寿民

曾大仁 蔡辉升

大 陆 王 离 王吉望 王梦恕 史佩栋 刘金砺 刘建航

关季昌 杜文库 沈秀芳 沈保汉 宋敏华 张 弥

张先锋 忽延泰 施仲衡 袁炳麟 莫庭斌 桂业琨

顾宝和 顾晓鲁 徐明杰 翁鹿年 唐业清 容柏生

程 晓 熊厚金

**2013 海峡两岸地工技术/岩土工程  
交流研讨会论文集(大陆卷)**

**编辑委员会**

**主 任** 王新杰 张晋勋

**委 员** (按姓氏笔画排序)

王 菲 王 翔 孙金山 杜文库 李名淦 邱德隆

张贯宏 周与诚 庞 炜 宫 萍 徐宏声 郭传新

郭建国 黄均龙

# 序

20 世纪 90 年代初，我们海峡两岸几位从事岩土工程/地工技术的同仁们，似乎是一个非常偶然的机会，在北京相遇，但在当时的历史背景下，大家的会面都显得十分“客气”，十分拘谨，后来，进而在谈到本专业技术及各自的实践经验和体会时，大家谈话的气氛才开始步入轻松而热烈的佳境，之后甚至颇有“箭发难收”之势。有鉴于此，双方协商次年共同举办一次专业交流会，大家立即表示赞成。这是我本人第一次在中国大地上与台湾朋友们的面对面的亲切交谈。以上交谈是 1991 年春天发生的事。尔后，在海峡两岸同仁们共同努力积极筹备下，终于翌年盛夏在北京顺利召开了首届海峡两岸岩土工程/地工技术交流研讨会。

此后，20 多年时间里，这个系列交流研讨会，分别在海峡两岸的不同城市里召开，至今已经举办了八届，每届会议与会代表均认为会议所取得的成果都相当丰硕，会议的影响力和效果甚佳，这实是对历届会议的东道主及其所有与会者莫大的肯定与鼓舞，也是海峡两岸所有与会者为之继续努力的力量之所在。

早经海峡两岸同事们的商量，第九届海峡两岸地工工程/岩土技术交流研讨会将于 2013 年 11 月 5 日至 7 日在台北召开，会议总主题为“地下工程灾害事故的防控与处理”。为此，海峡两岸的会议筹备者，特别是此次会议主办方台湾财团法人地工技术研究发展基金会正在不遗余力地积极做准备，而会议与会者也在忙碌着自己参会前的准备工作。

大陆方面此次参会的筹备工作，据本人所知早在一年半以前就开始了，中国建筑业协会深基础施工分会张晋勋理事长和王新杰总顾问以及秘书处召集了多次会议，联络相关人员，抓紧组织落实稿件。现在已经进入到选编稿件、印订文集和组织团队的阶段了，至今已经收到论文 70 余篇。从所见论文目录来看，我个人的评价是，总体上符合本届会议的主题，也延续了过去历届会议的传统，论文多以近年来实际工程案例为主，总结各自的经验和体会，具有很强的鲜活性和极强的实践意义；还有一些主要以现场实测数据和资料分析为主，进行论证而形成的论文；另有部分相关专项技术综述性报告，也具有一定的意义和特色。当然，如要更加深入、更加系统进行加工分析提炼而形成的论文报告，我认为我们都需要有一定的条件和环境，并需要业内同行的共同努力。这也是见仁见智的评价和看法而已。本次大陆方面的论文涉及大陆许多城市（不仅仅是几个特大城市）“地铁热”中一些工程问题，也涉及中国西部大开发中的岩土工程问题，有老问题、更有新问题。我认为我们海峡两岸同仁们，携起手来可以做很多的事，可以做更大一点的事，双方继续真诚合作，推动岩土/地工技术发展。值此新一届海峡两岸地工工程/岩土技术交流研讨会即将召开之际，我本人深表由衷的祝贺，本人虽未赴会，但我会密切关注会议的盛况和收获，以及两岸与会同仁们从中所感受到的喜悦。谨祝第九届海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会圆满成功！欣喜之余，特为本届交流研讨会论文集（大陆卷）作序，藉表本人对这个传统系列交流研讨会的美好心意和对海峡两岸同仁们最美好的祝愿！

中国建筑业协会深基础施工分会名誉理事长

许溶烈

2013 年 9 月 23 北京

# 目 录

## 综 合

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| 北京地区盾构技术应用与进展 .....              | 江玉生, 张晋勋, 杨志勇, 苏 艺 (3)       |
| 超高层建筑大直径超长灌注桩的设计与实践 .....        | 王卫东, 吴江斌 (8)                 |
| 湿陷性黄土地区地基处理技术的发展 .....           | 滕文川, 鲁海涛 (15)                |
| 城市道路地下病害体的探地雷达物理模型试验应用研究 * ..... | 苏兆锋, 陈昌彦, 肖 敏, 贾 辉, 张 辉 (25) |
| 中国大陆桩工机械现状及发展趋势 .....            | 郭传新 (31)                     |

## 岩土工程力学实验与分析

|                                             |                         |
|---------------------------------------------|-------------------------|
| 基于时程分析的大开地铁站抗震破坏机理反演 .....                  | 郝志宏, 周少斌, 何 平 (39)      |
| 基于 FLAC <sup>3D</sup> 有限差分模型的桩基沉降分析研究 ..... | 高顺峰, 张 飞, 师建国 (44)      |
| 主动区地基处理提高土体抗剪强度的研究 .....                    | 刘海龙, 张治华, 李 虹 (48)      |
| 山前滨湖建筑抗浮设计水位分析 .....                        | 王文峰, 王慧玲 (53)           |
| 输氧抽气技术在非正规垃圾填埋场治理工程中的应用 * .....             | 王 玉 (60)                |
| 基坑涌水量计算程序简介 .....                           | 朱国祥, 高文新, 周玉凤 (65)      |
| 根式基础荷载传递的非线性分析 .....                        | 龚维明, 胡 风 (67)           |
| 基于强度折减法的桩基础竖向极限荷载判定方法 * .....               | 郑颖人, 董天文 (73)           |
| 基桩承载力准静态试验新技术 .....                         | 韩 亮 (79)                |
| 矩形面积水平平均布荷载下的土中应力公式 .....                   | 李亚敏, 王利平 (81)           |
| 熵权变权组合法在预测工后沉降上的应用 .....                    | 李启宏, 晏 俊, 张邦通, 王 冰 (84) |
| 使用 ANSYS8.0 进行基坑开挖分析 .....                  | 郑 琼 (88)                |
| 现代深大基坑设计理论、实践与案例分析 .....                    | 赵锡宏 (93)                |
| 旋喷搅拌水泥土加劲桩变形计算模型及其验证 * .....                | 廖晓忠, 刘全林 (101)          |
| 岩石地基承载力的几个认识问题 .....                        | 顾宝和 (106)               |

## 地下工程事故防控、处理与案例分析深基坑开挖与近邻构筑物保护

|                                    |                               |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 杭州地铁 2 号线一期工程人民路站中港大厦保护方案 .....    | 刘铁忠, 郭建国, 覃志远 (115)           |
| 盾构到达整体接收抗风险装置研发及应用 .....           | 魏林春, 张冠军 (122)                |
| 荷载分散型锚索的改进研究及应用 .....              | 甘国荣, 吕志诚, 杨开壮, 夏赛男, 庞锐剑 (126) |
| 深基坑开挖对近邻地铁区间结构影响分析 .....           | 刘 军, 任伟明, 周 洪, 宋早云 (131)      |
| 新建地铁穿越既有有线结构现状检测、安全评估与风险监控 .....   | 徐耀德, 杜小虎, 张彦斌, 高爱林, 桑有为 (135) |
| 昆明某深基坑工程施工对邻边重要建筑物的影响及应对方法 .....   | 李 伟, 孔继东, 马举俊 (145)           |
| 湿陷性黄土区地铁盾构穿越某铁路监测实录 .....          | 杨冰华 (151)                     |
| 分析地下工程中风险管理的应用 .....               | 黄 亚 (155)                     |
| 金泉广场深大基坑支护综合施工技术 .....             | 许厚材, 许 杰 (159)                |
| 山东黄河打渔张引黄闸桩基沉降原因分析 .....           | 杜瑞香, 韩 晶, 隋奇华 (166)           |
| 地铁穿越地下特殊管线的监测 .....                | 谢裕春, 王志京 (170)                |
| 郑州地铁车站基坑施工的风险监控及变形规律 .....         | 张轩轶, 魏绍军 (174)                |
| 太原某基坑支护设计实例分析 .....                | 许世雄 (181)                     |
| 北京 CBD 核心区基坑土护降工程一体化施工相关问题研究 ..... | 仲建军, 李红军 (186)                |
| 超深基坑地下连续墙施工技术 .....                | 高明巧, 周佳奇, 罗会东 (192)           |

## 城市轨道交通岩土工程

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| 北京地铁砂卵石地层土压平衡盾构施工关键技术 .....     | 张晋勋, 江 华, 苏 艺, 江玉生 (201) |
| 浅析天津地铁深埋盾构施工接收技术 .....          | 郭建国, 曹养同, 谭晶辉 (208)      |
| 盾构施工引起古旧建筑物振动响应的现场测试研究 .....    | 王 鑫, 韩 焯 (218)           |
| 复合锚杆桩在地铁隧道邻近桥桩加固中的应用研究 .....    | 李军锋, 闫松涛, 冯科明 (223)      |
| 北京地铁公主坟站平顶直墙密贴既有地铁变形监测与分析 ..... | 龚洁英, 叶东辉 (229)           |
| 石家庄地铁岩土工程勘察重点问题分析与解决方案 .....    | 李世民 (236)                |
| 扁铲侧胀试验在沈阳地铁勘察中的应用 .....         | 刘满林 (241)                |
| 城市轨道交通基坑工程周边地表变形影响区域 .....      | 吴锋波 金 淮 张建全 刘永勤 (246)    |
| 重庆地区岩质地层地铁明挖车站基坑支护设计 .....      | 赵子寅 (252)                |

## 隧道工程设计与施工

|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 盾构下穿首都机场停机坪施工控制 .....        | 周林生, 郭建国, 曹养同 (259) |
| 西安地铁某区间暗挖穿越地裂缝工程风险浅析 .....   | 米保伟 (264)           |
| 不停航机场主跑道下修建大跨交通隧道技术研究 .....  | 李名淦, 周江天 (268)      |
| 湿陷性黄土地层盾构施工引发地层变形特性的研究 ..... | 贾嘉陵 (276)           |
| 在既有大直径盾构隧道上方开挖的变形预测研究 .....  | 申建彪, 张伟立 (285)      |

## 自然灾害防治（包括地震、台风及洪水等）

|                                        |                                |
|----------------------------------------|--------------------------------|
| 西藏江雄水库新建大坝渗漏分析与处理 .....                | 司马世华, 辛建芳, 普 布, 杨 俊, 朱家旺 (291) |
| 基于雨洪调蓄的湿地生态景观设计策略研究——以泾河湿地生态公园为例 ..... | 郝 欣 (297)                      |
| 西藏夏步曲干流拉洛电站坝址比选地质分析 .....              | 司马世华, 辛建芳, 普 布 (305)           |
| 地铁车站抗浮分析与计算 .....                      | 庞 炜, 戴迎春 (311)                 |
| 济南轨道交通建设对泉水影响预测及情景分析 .....             | 庞 炜 (318)                      |
| 石家庄市市区地下水位动态影响因素分析 .....               | 周玉凤, 容建华, 金 淮, 郭现钊, 朱国祥 (323)  |
| 薄壁筒桩在河岸支护工程中的设计浅析 .....                | 陈东曙, 胡少捷 (328)                 |
| 针对天津地方规程、预应力管桩在厚层软土地区性能的抗震研究 .....     | 梁 俊, 梁梦诗, 黄朝俊, 陈树林 (334)       |

## 施工监测与管理

|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| 盾构施工实时管理系统 .....                    | 杨志勇, 江玉生 (345)      |
| 城市轨道交通工程地下水控制技术管理现状与分析 .....        | 马 健, 金 淮, 刘永勤 (351) |
| 上海轨道交通网络建设工程安全控制与远程监控应用 .....       | 刘朝明, 杨国伟 (357)      |
| 三轴搅拌桩施工参数监测记录装置在盾构进出洞口地基加固中应用 ..... | 黄均龙, 张冠军 (363)      |

## 地 基 加 固

|                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 关于高支撑力扩大底桩固结部施工模式的研究 .....       | 祖海英, 刘春丽, 刘国莉, 赵伟民 (369) |
| 管桩水泥土复合基桩工程应用实例研究 .....          | 王庆军, 程海涛, 于克猛 (372)      |
| 旋挖钻孔灌注桩沉渣的产生及处理方法对比 .....        | 荆留杰, 水俊峰, 张 冰 (377)      |
| 河岸边冲洪积地层上超高层、高层建筑地基处理与基础方案 ..... | 李 靖 (380)                |
| 振冲碎石桩在粉煤灰冲填地基处理中的应用 .....        | 李 靖 (384)                |

## 机械设备及其他

|                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| 内蒙化德风力发电工程风力发电机基础施工技术 .....        | 刘汉江 (391)           |
| 液压铣削深搅机在广东中山大信东方丽城基坑支护工程中的应用 ..... | 陈福坤, 吴传清, 刘利花 (397) |

RIC 工法与快速强夯机 ..... 常宝平, 聂 刚 (406)

双轮铣削式连续墙施工机械的发展及应用原理 ..... 赵伟民, 程德考, 常保平, 祖海英 (410)

北江桥超深长大直径桩基础施工关键技术 ..... 李明忠, 吴木怀, 何锦明 (415)

深厚填石层大直径潜孔锤全护筒跟管钻孔灌注桩施工工法 ..... 尚增弟, 雷 斌, 李庆平, 宋明智 (424)

“通浆循环平压”方法在接缝灌浆串层处理中的应用 ..... 李小勇, 陈 斌 (432)

“吊脚桩”支护型式应用及计算方法分析 ..... 毕经东, 张自光 (437)

大直径人工挖孔桩在重庆化龙桥片区 B11-1/02 地块超高层项目二期塔楼的优化设计及施工应用 ..... 孙 璐 (441)

# 综 合

---



# 北京地区盾构技术应用与进展

江玉生<sup>1</sup> 张晋勋<sup>2</sup> 杨志勇<sup>1</sup> 苏 艺<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京 10083; 2. 北京城建集团, 北京 100088;  
3. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 北京 100027)

**摘 要:** 本文在简要介绍了北京地区盾构技术的历史和应用现状的基础上, 结合近 6 年来的北京地区盾构施工工程实践和技术发展情况, 分析总结了北京地区不同地层、不同型式盾构技术现状和已经取得的进展, 对北京地区未来盾构技术的发展进行了展望。

**关键词:** 北京地区; 砂卵石地层; 盾构技术

**中图分类号:** U455.43 **文献标识码:** A

## Shield Technology Application and Progress in Beijing Area

Jiang Yu - sheng<sup>1</sup>, Zhang Jin - xun<sup>2</sup>, Yang Zhi - yong<sup>1</sup> SU Yi<sup>3</sup>

(1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;  
2. Beijing Urban Construction Co., Beijing 100088; Beijing MTR Construction Administration Co., Beijing 100027)

**Abstract:** After introduction to the history of Shield driving technologies in Beijing Area, it is concluded for the applications and practices of the shield driving technologies and being summed up its progress in the past 6 years for different types of TBMs (both for EPB and Slurry TBMs) in different kinds of strata. And then it is given for Beijing Shield technologies future development.

**Key words:** Beijing Area, Gravel Strata, Shield technologies

### 1 北京地区盾构技术应用情况

北京地区盾构技术的研究和试验始于 20 世纪 50 年代后期, 1957 年北京市政采用直径 2.0m 和 2.6m 的手掘式盾构进行城市下水道施工, 至 1996 年北京地铁复八线引入插刀式盾构, 前后试验断断续续约 40 年。由于资金及技术等方面的原因, 盾构技术一直未在北京地区得到应用和发展<sup>[1-5]</sup>。直至 1999 年北京市政工程总公司在污水隧道工程中成功引进日本石川岛播磨制造的现代化土压平衡盾构, 盾构技术在北京地区才获得实质性的工程应用。进入 21 世纪后, 随着轨道交通工程、铁路工程、市政工程和水利工程的大规模建设, 盾构技术在北京地区不同深度的浅埋典型地层中得到了广泛

的应用和发展, 积累了相当的经验。

#### 1.1 北京地铁工程盾构技术应用情况

2000 年北京地铁 5 号线首次引入土压平衡盾构施工地铁区间隧道, 随着地铁 5 号线、4 号线、10 号线、机场线、9 号线、大兴线、6 号线、8 号线、亦庄线等线路的相继开工建设, 土压平衡盾构技术在北京地铁建设过程中得到了广泛的应用和发展, 部分已通车线路盾构应用情况如表 1 所示<sup>[3]</sup>。目前在施的 6 号线(二期)、7 号线、14 号线也大量采用土压平衡盾构技术修建区间隧道, 如 6 号线二期共计 7 个区间全部采用盾构法施工。根据北京地铁已有的建设经验和今后的建设形势和规划, 盾构工法已经成为地铁区间隧道的主要工法。

表 1 北京地铁盾构应用情况统计(不完全统计)

| 线路   | 区间总长<br>(m) | 盾构区间长度/所占<br>百分比(m)/(%) | 投入盾构台数                          | 刀盘型式                  | 盾构穿越地层         |
|------|-------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------|
| 5 号线 | 14470       | 5962 (41%)              | 4 (2 台德国海瑞克, 1 台日本石川岛, 1 台日本日立) | 2 台面板, 1 台辐条, 1 台辐条面板 | 粉质黏土、粉细砂、中砂、卵石 |

续表

| 线路            | 区间总长<br>(m) | 盾构区间长度/所占<br>百分比 (m) / (%) | 投入盾构台数                                                                    | 刀盘型式                   | 盾构穿越地层              |
|---------------|-------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|
| 4 号线          | 21085       | 12976 (61%)                | 9 (4 台德国海瑞克, 2 台日本石川岛, 1 台日本日立, 2 台日本三菱)                                  | 5 台面板, 2 台辐条, 2 台辐条面板  | 粉质黏土, 中粗砂, 圆砾、卵石、砾岩 |
| 10 号线<br>(一期) | 19006       | 6900 (36%)                 | 5 (3 台德国海瑞克, 2 台日本石川岛)                                                    | 3 台面板, 2 台辐条           | 粉质黏土、粉土、细砂、圆砾、卵石    |
| 大兴线           | 9118        | 4794 (52.6%)               | 6 (4 台德国海瑞克, 2 台日本石川岛)                                                    | 4 台面板, 2 台辐条           | 粉质黏土、粉土、粉细砂         |
| 6 号线<br>(一期)  | 24650       | 11371 (46.1%)              | 10 (5 台德国海瑞克, 4 台日本日立, 1 台日本小松)                                           | 5 台面板, 2 台辐条, 3 台辐条面板  | 粉质黏土, 粉土, 粉细砂, 圆砾   |
| 9 号线          | 13250       | 4240 (32%)                 | 6 (2 台德国海瑞克, 2 台日本石川岛, 1 台日本日立, 1 台加拿大拉瓦特)                                | 3 台面板, 3 台辐条           | 卵石                  |
| 8 号线<br>(二期)  | 14503.5     | 9807.6 (67.6%)             | 12 (1 台中国中铁重工, 2 台德国海瑞克, 2 台法国法马通, 3 台石川岛, 2 台日本日立, 2 台日本小松)              | 2 台面板, 4 台辐条, 6 台辐条面板  | 粉质黏土、粉土、粉细砂、圆砾、卵石   |
| 10 号线<br>(二期) | 27150       | 22340 (82.3%)              | 26 (2 台中国中铁装备, 6 台德国海瑞克, 5 台日本石川岛, 6 台日本小松, 4 台日本日立, 2 台法国法马通, 1 台加拿大拉瓦特) | 7 台面板, 8 台辐条, 11 台辐条面板 | 粉质黏土、粉土、粉细砂、卵石      |

注：区间总长指地下线长度，不含高架及地面线。

表 1 的统计数据显示，北京地铁所采用的盾构以日本和德国设备为主，详见图 1，其中日本盾构占 52.6%，德国设备占 35.9%，其他国家和国内制造的设备较少，随着盾构国产化的发展，国产盾构（如中铁装备和中铁重工等）也开始在北京地铁中进行应用。

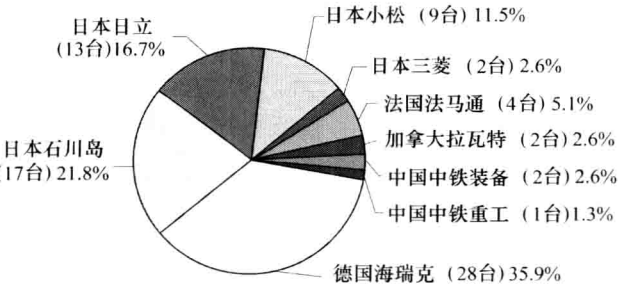


图 1 北京地铁所采用盾构设备统计图

面板式刀盘、辐条式刀盘和辐条面板式刀盘（刀盘开口率介于面板式和辐条式之间），在北京地铁均应用比较广泛，如图 2 所示。面板式刀盘约占 40%，辐条式和辐条面板式各占约 30%，无法通过统计规律来回答到底哪种结构型式的刀盘更适应北京地铁盾构施工。但是通过对 9 号线和 10 号线（二期）卵石地层盾构施工情况的经验来看，大、中、小粒径卵石地层中的盾构施工，在不需要破岩

的前提下辐条式刀盘的适应性优于面板式刀盘。

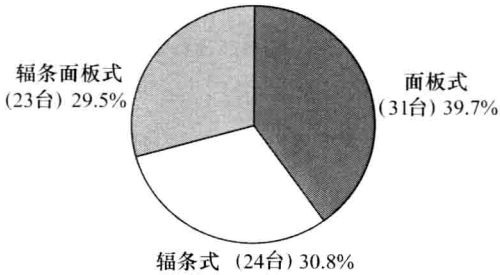


图 2 北京地铁所采用盾构刀盘型式统计图

1.2 水利及市政工程盾构技术应用

北京市南水北调工程建设中大量采用了盾构施工技术，例如南干渠工程全长 27.282km，其中采用盾构技术修建的隧道长 15.98km，占全长的 58.6%。目前正在施工的东干渠工程全长 44.7km，全部采用盾构法施工，预计投入盾构 19 台。

盾构技术在市政工程也得到了大量的应用，比如亮马河污水隧道、清河污水隧道、坝河污水隧道和凉水河污水隧道等市政工程均采用小直径（2.0~3.6m）盾构法施工。

1.3 铁路工程盾构技术应用

北京地区的铁路隧道工程施工中，除了大量的箱涵工程采用顶进法施工外，仅在北京地下直径线工程中采用了盾构法施工。直径线工程是中国大陆

第一条在城市里采用大直径气垫式泥水平衡盾构(盾构开挖直径 12.04m)施工的地下电气化铁路隧道,盾构隧道长 5.175km。2008 年 8 月盾构始发,2013 年 7 月盾构到达。该工程的成功建设,为北京地下工程采用大直径泥水平衡盾构施工积累宝贵的经验。

## 2 北京地区盾构技术进展

### 2.1 大粒径卵石地层盾构施工技术

北京地铁 4 号线、5 号线和 10 号线(一期)的盾构施工过程中,部分盾构区间遇到了圆砾及卵石地层,在随后建设的 9 号线和 10 号线(二期)中,盾构区间在大范围的卵石地层中掘进,给盾构施工带来了相当的困难。9 号线盾构在大粒径卵石地层中掘进 7760.4m,10 号线(二期)盾构在大粒径卵石地层中掘进了 35102.2m,盾构在此类地层掘进过程中克服了合理控制土压力的建立、有效的土体改良、盾构额定与最大扭矩计算与设定、实施过程的合理扭矩与推力控制、地层变形与地面沉降控制等各种技术困难,圆满完成了工程建设任务。

通过对大量的工程实践和相关经验教训的分析与总结,已经形成了一套北京地区大粒径卵石地层盾构选型与地层适应性、渣土改良方法与改良剂的选取、盾构关键参数选择与控制、始发/到达、开舱检修等盾构关键技术,拓展了土压平衡盾构施工范围,为今后北京地区大粒径卵石地层盾构施工提供了宝贵的经验,也可为其他城市或地区类似地层盾构施工提供借鉴<sup>[6,7]</sup>。

### 2.2 大直径土压平衡盾构及扩挖车站综合技术

北京地铁率先在大陆范围内采用大直径土压平衡盾构施工地铁区间隧道(单洞双线),然后扩挖形成车站的新技术。北京地铁 14 号线 15 标段东风北桥站—将台路站—高家园站—京顺路站盾构区间,采用直径 10.22m 土压平衡盾构施工,盾构从东风北桥站始发,一次性掘进 3133.8m 到达京顺路站,然后采用暗挖法扩挖形成将台路站和高家园站。目前盾构施工已经完毕,暗挖法扩挖车站正在进行中。

大直径土压平衡盾构技术的关键在于盾构设备的配置(特别是相关扭矩、推力等参数的设置与地层的适应性匹配问题)、盾构施工关键参数的预测和设定、盾构施工过程关键施工参数的控制及其对地面沉降和地层变形的影响等,都与普通 6.0m 左右的地铁盾构有着较大的不同。如何在设备制造前、制造过程中和施工阶段实现上述

技术,是大直径盾构应用于地铁区间隧道(单洞双线)建设的重中之重;同时在大直径隧道中扩挖形成地铁车站,对大直径盾构隧道而言,需要有一个完整的技术方案,来确保盾构隧道本身的结构安全和扩挖车站施工过程的安全,这也是该项技术成败之关键。

大直径土压平衡盾构及扩挖车站综合技术的成功应用,将会极大提高北京地铁建设的工程技术水平,同时该技术对提高盾构利用率,降低地铁建设过程中地面拆迁和管线改移的工期和费用,减少地铁施工占用道路和场地及其施工对周围环境的影响,降低工程风险,节约工程成本,有着重大的意义。

### 2.3 气垫式泥水平衡盾构技术

北京地下直径线工程盾构从天宁寺始发经宣武门、前门到达崇文门,盾构施工地段属于北京老城区,施工环境复杂,穿越的地层包括卵石层、沙层、粉土层和粉质黏土层,涵盖了北京地区的三种典型地层。地下直径线工程取得了北京地区泥水盾构选型、刀具配置、变形控制、带压换刀等多方面的技术创新,如刀盘的开口率不宜小于 35%、胶结地层的刀具配置应适当增加滚刀的数量和设置合理的高度差、穿越老城区不同年代房屋的影响范围以及带压开舱动火换刀技术等,为北京地区深埋地下工程泥水平衡盾构施工积累了丰富的经验<sup>[8,9]</sup>。

### 2.4 重叠隧道盾构技术

北京地铁 8 号线和 6 号线(一期)在通过中心老城区时,受地面条件的制约和同站台换乘的需要,采用重叠隧道的布置方式,即两条隧道在竖直方向上上下布置。重叠隧道采用盾构法施工,通过该工程的科学实施和成功实践,形成了一套针对北京地层特点的重叠隧道施工关键技术,包括不同接近度条件下的隧道稳定技术、隧道接近度划分技术、合理的上下重叠盾构始发与到达技术等,可以指导今后类似工程的施工,同时也为重叠隧道的设计提供了可供参考的事实依据。

### 2.5 安全风险控制技术

近 6 年来,北京地区盾构隧道建设过程中安全穿越了大量的地铁既有线、正在运营的国家铁路、重要的市政桥梁、河湖、城市主干路、房屋等重大风险工程,没有出现重大安全风险事件,确保了风险工程的安全。盾构穿越工程中积累了丰富的盾构施工安全风险控制技术,可以指导今后类似盾构工程的设计和施工。

北京市于 2007 年开始在北京地铁建设过程中

广泛应用北京市轨道交通建设安全风险技术管理体系,体系运行6年来取得了良好的成果,有效规避了盾构隧道工程的风险,确保盾构施工没有出现大的安全风险事件,未造成较大不良社会影响和经济损失<sup>[10-13]</sup>。

### 2.6 盾构实时监控技术

北京地铁所有盾构(北京市轨道交通建设管理有限公司建设的线路)自2007年以来全部实现盾构施工过程的远程实时监控和管理。建设管理人员和技术人员等相关参建各方能够通过盾构施工实时监控系統,对全线每台盾构的施工情况进行实时监控,对盾构施工全过程进行可追溯的相关分析,对施工进度和过程质量进行管理,实现了盾构施工的信息化,提高了盾构施工的管理水平。

继北京地铁后,北京南水北调东干渠工程也引入了盾构实时监控技术,实现对工程中19台盾构同期施工的信息化管理<sup>[14,15]</sup>。

## 3 北京地区盾构施工技术展望

### 3.1 深埋条件下盾构技术

北京地区中心城区浅层地下空间已经基本开发完毕,下一步将开发埋深在30~60m的深层地下空间,例如拟建的北京地铁R1线和3号线、12号线、17线等,隧道埋深将达到60m。深埋条件下,工程地质条件和水文地质条件将更加恶劣,这给盾构隧道工程的设计、盾构选型与制造和盾构隧道施工带来了极大的挑战<sup>[5]</sup>。

### 3.2 大直径盾构技术

北京已经在多次论证南北向的长距离地下公路方案,可以预见随着地下公路的规划建设,大直径盾构将会得到大量应用,至于选择大直径土压平衡盾构还是泥水平衡盾构,将取决于地层条件和地下水的状况。在总结北京地铁14号线大直径土压平衡盾构(直径10.22m)和北京地下直径线泥水平衡盾构施工经验和教训的基础上,提早进行大直径盾构技术的相关研究是非常必要的<sup>[16-18]</sup>。

### 3.3 狭小场地条件下的盾构施工技术

盾构施工需要一定的场地要求,中心城区占地非常困难,如何在狭小场地条件下,引入新技术和新工艺,对施工场地进行重新规划,从而满足盾构施工要求。这项新技术的研究将扩展盾构技术的应用范围,同时会带来较大经济和社会效益。比如改变土压平衡盾构的出土方式、暗挖车站条件下的盾构区间施工技术、符合环境保护条件且与盾构出土方式相适应的地面渣土运输方式的改革等,都将极大提高盾构施工技术的应用范围。

### 3.4 敞开式盾构技术

北京地区西部和西南部的无水卵石层稳定性较好,具有一定的自稳时间,比较适合采用敞开式盾构施工地铁隧道。目前已经计划在北京地铁6号线二期15标段郝家府站—东部新城站开始进行敞开式盾构试验段的研究和工程实践工作,采用三一重工制造的敞开式盾构掘进约200m长的试验段。项目集盾构设计、制造、施工等多项技术为一体,研究成果可以推动敞开式盾构在北京地区的应用,是普通暗挖法隧道施工的有效替代方法,能够有效节约工程成本和降低暗挖法带来的工程风险,具有较大的经济效益和社会效益。

## 4 结语

北京地区盾构技术得到较大的发展,通过各参建单位和人员的努力取得了瞩目的成绩。但是相关技术研究大多只停留在工程完工后进行技术总结,很少提前进行相关研究工作。今后盾构技术必将在北京地区得到更加广泛的应用,技术研究工作也应做到提前规划,以便更好的指导盾构隧道建设。

### 参考文献

- [1] 乐贵平,江玉生.北京地区盾构施工技术[J].都市快轨交通,2006,19(02):45-49.
- [2] 乐贵平.盾构技术在北京的应用和发展[J].市政技术,2002,20(04):5-11.
- [3] 乐贵平.再谈北京地铁施工用盾构机选型及施工组织[J].市政技术,2005,23(05):137-140.
- [4] 王志刚.北京地区盾构施工技术浅谈[J].建筑机械,2005,(增2):31-33.
- [5] 贾朝福.盾构技术的发展及展望[J].建筑机械,2012,(1-2):44-47.
- [6] 潘秀明,雷崇红.北京地铁砂卵石砾岩地层综合工程技术[M].人民交通出版社,2012.
- [7] 苏斌,苏艺,江玉生.北京典型地层盾构适应性对比与施工关键技术[M].人民交通出版社,2013.
- [8] 陈庆怀,黄学军.北京直径线盾构施工的关键技术[J].隧道建设,2008,28(06):697-703.
- [9] 杨志勇,江玉生,冯吉利,等.狮子洋隧道围岩磨蚀性研究[J].解放军理工大学学报(自然科学版),2012,13(3):311-315.
- [10] 杨志勇,江玉生,江华,等.北京地铁盾构隧道安全风险组段划分方法研究[J].铁道标准设计,2012,03:65-68.
- [11] 杨志勇,江玉生,谭雪,等.盾构分体始发施工平房群沉降控制技术研究[J].市政技术,2012,30(3):109-111.
- [12] 江玉生,王春河,江华,等.盾构始发与到达-端头加固理论研究与工程实践[M].人民交通出版

- 社, 2007.
- [13] 江玉生, 杨志勇, 江华, 等, 论土压平衡盾构始发和到达端头加固的合理范围 [J]. 隧道建设, 2009, 29 (03): 263-266.
- [14] 杨志勇, 江玉生. 盾构施工风险监控系统的研发与应用 [J]. 市政技术, 2005, 30 (06): 17-19.
- [15] 江玉生, 杨志勇, 蔡永立. 盾构/TBM 隧道施工实时管理信息系统 [M]. 人民交通出版社, 2007.
- [16] 乐贵平, 汪挺. 盾构施工技雍在北京应用之我见 [J]. 市政技术, 1998, 16 (02): 43-48.
- [17] 乐贵平. 浅谈北京地区地铁隧道施工用盾构机选型 [J]. 现代隧道技术, 2003, 40 (03): 14-30.
- [18] 杨秀仁. 北京地铁盾构隧道设计施工要点 [J]. 都市轨道交通, 2004, 17 (06): 32-37.