

# 2016

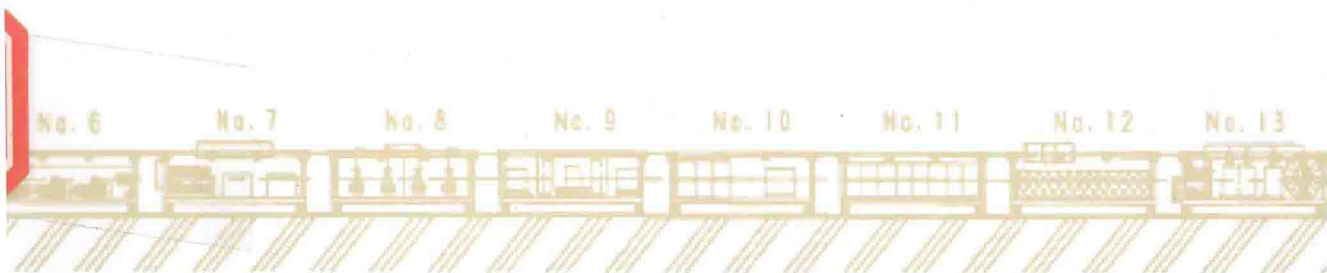
# 中国盾构工程技术 学术研讨会论文集

PROCEEDINGS OF 2016 CHINA SHIELD ENGINEERING  
TECHNOLOGY ACADEMIC SYMPOSIUM

主 编 乐贵平 吴煊鹏 方江华  
副主编 桂轶雄 尹清锋 石元奇 马云新



天津立林集团祝大会圆满成功



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

2016

# 中国盾构工程技术 学术研讨会论文集

PROCEEDINGS OF 2016 CHINA SHIELD ENGINEERING  
TECHNOLOGY ACADEMIC SYMPOSIUM

主 编 乐贵平 吴煊鹏 方江华  
副主编 桂轶雄 尹清锋 石元奇 马云新



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本论文集收录论文 59 篇,内容涉及盾构机设计与制造、盾构施工、盾构测量控制、盾构耗材生产等与盾构工程各领域有关的理论和实际问题。

本论文集可供盾构设计、施工、工程管理、教学、科研等相关专业技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

2016 中国盾构工程技术学术研讨会论文集 / 乐贵平, 吴焯鹏, 方江华主编. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.6

ISBN 978-7-114-13036-6

I. ①2… II. ①乐…②吴…③方… III. ①隧道施工—盾构法—学术会议—文集 IV. ①U455.43-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 111359 号  
京朝工商广字第 8195 号(1-1)

书 名: 2016 中国盾构工程技术学术研讨会论文集

著 作 者: 乐贵平 吴焯鹏 方江华

责任编辑: 刘彩云

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpublish.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 26.25

字 数: 640 千

版 次: 2016 年 6 月 第 1 版

印 次: 2016 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13036-6

定 价: 168.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)



# 北京盾构工程协会

## 成立大会

2014年10月11日，北京盾构工程协会成立大会暨第一次会员大会在北京市职工服务中心隆重召开。

北京盾构工程协会是由从事盾构施工、设计、科研、管理和盾构机制造及再制造，盾构设备维修保养等与盾构工程行业有关的企事业单位自愿联合发起并经北京市社会团体登记管理机关核准登记的非营利性社会团体法人，也是我国目前第一个以盾构工程命名的盾构行业一级协会。协会的宗旨是“努力在政府与盾构工程行业之间发挥桥梁和纽带作用，维护盾构行业利益，反映盾构工程行业愿望，规范盾构工程行业行为，努力开展盾构工程信息交流、学术研讨、人才培养、技术咨询及技术服务等各项活动”。



调研专家组在北京盾构工程协会成立大会后合影



协会理事长陈建民（左）和副理事长张建民在调研座谈会上



调研专家组在沈阳鑫山盾构生产基地调研时与企业领导及技术人员合影

## 我国盾构工程行业现状和发展对策调研

为掌握我国盾构产业的发展现状，总结和推广盾构产业发展中的成功经验和创新成果，同时找出制约我国盾构产业进一步发展的的问题，2015年5月至9月期间，协会组织有关专家在全国范围内进行了主旨为《我国盾构产业发展现状及存在问题》的调研，先后调研了盾构产业比较集中的北京、上海、广州、深圳、湖南、河北及辽宁等7个省市，调研对象涵盖盾构施工、管理、工程监理、盾构机制造和再制造、盾构机备品配件生产及盾构耗材生产等有代表性的24个企业。

调研成果已形成《我国盾构工程行业现状和发展对策调研报告》和《关于制约我国盾构产业发展的几个问题》（目前已上报工信部和国务院办公厅），

《我国盾构工程行业新技术、新工法与经验总结汇编》也即将编辑出版。

联系人: 薛尔莎

联系电话: 010-61002066

13522772626

地址: 北京市东城区左安门内大街80号崇建六层

邮编: 100061

## 职业资格培训

北京盾构工程协会前身系北京设备管理协会盾构机专业委员会，自2010年10月开始组织盾构工程职业资格培训，目前已经有5期7个班次360多名学员参加了培训，同时建设了专业的师资队伍，专业的培训教材。2013年9月，专委会又承担了《专业能力证书》（盾构专业）的培训任务，参加后期培训考核通过人员，可获得《北京盾构施工职业资格证》和《专业能力证书》（盾构专业）。为促进盾构行业的发展，完善培训体系，培训工作将长期进行，大家可以随时报名。



## 协会活动掠影



S254盾构机再制造



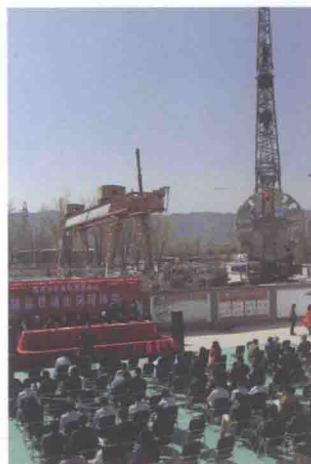
2013中国盾构工程技术学术研讨会



经验交流



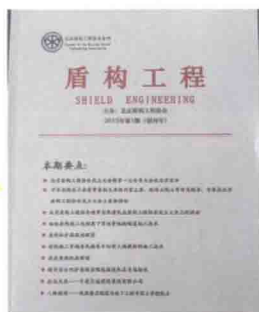
协会对外技术交流



S254再制造盾构机隧道贯通现场会



2015年新春团拜会



《盾构工程》内刊、《盾构工程》订阅号、协会网站(中国盾构产业网 [www.zgdgcy.com](http://www.zgdgcy.com))

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

# 编 委 会

## 顾 问

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王梦恕 | 施仲衡 | 徐斌士 | 杨华勇 |
| 彭苏萍 | 张 弥 | 贺长俊 | 杨广武 |
| 陈韶章 | 周文波 | 竺维斌 | 刘昌用 |
| 关 龙 | 刘卡丁 |     |     |

## 主 任

黄常波

## 副主任(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王 良 | 孔 恒 | 江玉生 | 刘 军 |
| 刘远征 | 李国强 | 余 乐 | 杨玉杰 |
| 陈 馈 | 周江天 | 胡胜利 | 黄昌富 |
| 程永亮 | 彭兴礼 | 惠丽萍 | 曾恕辉 |
| 路 刚 | 蔡永立 |     |     |

## 主 编

乐贵平 吴煊鹏 方江华

## 副主编

桂轶雄 尹清锋 石元奇 马云新

# 前 言

在我国“十三五”开局之年,由北京盾构工程协会主办的第三届“2016 中国盾构工程技术学术研讨会”胜利召开了!

2014 年 10 月,经北京市民政局批准,“北京市盾构机专业委员会”升级为“北京盾构工程协会”,这也是我国第一个以“盾构工程”命名的一级行业协会。协会一成立,就把筹备“2016 中国盾构工程技术学术研讨会”列入协会工作计划和近期重点工作之一。通过近两年的努力,并在北京市轨道交通建设管理有限公司、北京城市快轨建设管理有限公司、北京市政工程设计研究总院有限公司、上海隧道工程股份有限公司、北京城建设计发展集团股份有限公司、北京市政路桥建设控股(集团)有限公司、北京建工集团有限责任公司、北京住总集团有限责任公司、中国铁建十六局集团有限公司、中国铁建十四局集团有限公司、中国中铁隧道集团有限公司、中建交通建设集团有限公司、中国中铁工程设计咨询集团有限公司、中国矿业大学(北京)、北京建筑大学等单位的大力支持下,终于完成了研讨会的全部筹备工作。藉会议论文集出版之际,向上述单位有关领导表示衷心的感谢!

本次研讨会国内近 100 多名盾构行业内的专家、学者提交了学术论文 70 余篇,经编审委员会审核,本论文集录用论文 59 篇。这些论文内容丰富、涵盖面广,涉及盾构机设计与制造、盾构施工、盾构测量控制、盾构耗材生产等与盾构工程各领域有关的理论和实际问题,其中不少论文学术水平较高、论据充分、概括性强、技术成熟,有很高的参考价值,基本代表了近年来国内盾构行业各个领域新技术、新工艺及新理论的发展现状和发展动态,如广州地铁集团有限公司竺维彬撰写的《复合地层盾构施工理论体系的基础研究》,上海隧道工程股份有限公司石元奇撰写的《双线隧道近似椭圆断面盾构的研制》,北京住总集团有限责任公司方江华撰写的《城市地铁盾构圆形隧道扩径之探讨》,中国铁建十六局集团有限公司薛立强撰写的《盾构穿河过障碍物施工技术》,北京建筑大学刘军撰写的《盾构始发中的玻璃纤维筋应用研究》,中国铁建十四局集团隧道工程有限公司杨业敬撰写的《盾构近距离下穿既有运营线综合施工技术》,北京金隅砂浆有限公司徐海锋撰写的

《盾构同步注浆预拌砂浆的研究与应用》等。

随着我国城市基础设施新一轮建设步伐的加快,城市轨道交通、地下综合管廊等城市地下空间(尤其是大深度地下空间)的开发建设规模逐年增加,盾构产业也必将持续快速发展,迎来新的发展机遇和挑战。我们坚信,在国家的大力支持下,只要我们盾构人着力创新驱动,努力奋斗勇于拼搏,我国一定能够从一个“盾构产业大国”发展成为“盾构产业强国”,成为继核电和高铁之后,中国走向世界的又一张名片!

在本论文集的编纂过程中,协会秘书处为会议论文的征集做了大量工作,在此表示诚挚的感谢。编审委员会虽对论文的编审、校核付出了辛勤的劳动,但难免存有疏漏和不足,诚请业内专家学者批评指正。

预祝第三届“2016 中国盾构工程技术学术研讨会”圆满成功!

**《2016 中国盾构工程技术学术研讨会论文集》编审委员会**

**2016 年 5 月**

# 目 录

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| 复合地层盾构施工理论体系的基础研究 .....       | 竺维彬 鞠世健 钟长平(1)           |
| 地铁超限盾构隧道暗挖改造设计风险评估 .....      | 阮 松 马兴宝 张恒睿(11)          |
| 双线隧道近似椭圆断面盾构的研制 .....         | 石元奇(17)                  |
| 超大断面矩形掘进机研究 .....             | 石元奇(24)                  |
| 矩形盾构环臂式拼装机悬臂梁机构设计研究 .....     | 梁赞露(39)                  |
| 大断面矩形顶管掘进机顶进控制系统 .....        | 刘 峰(45)                  |
| 异型地下掘进机全断面切削研究 .....          | 黄 健(50)                  |
| 近似椭圆形盾构壳体设计 .....             | 王 兴(55)                  |
| 盾构隧道暗挖改造施工过程仿真分析 .....        | 张恒睿 曲 强 罗 敏(60)          |
| 卵砾漂石地层土压平衡盾构刀盘刀具研究 .....      | 耿富林(71)                  |
| 城市地铁盾构圆形隧道扩径之探讨 .....         | 方江华(80)                  |
| 城市地铁复杂地层土压平衡盾构机设计关键技术浅谈 ..... | 刘双仲 罗中勇 许彦平(88)          |
| 近似椭圆异型断面盾构关键部件制作工艺探索 .....    | 黄 健(93)                  |
| 全断面隧道掘进机状态监测和评估技术浅谈 .....     | 吴朝来(108)                 |
| 大直径盾构技术在北京地下道路建设中应用前景分析 ..... | 李名淦(117)                 |
| 海瑞克大盾构技术的发展和现状 .....          | 张 军 王 海(122)             |
| 浅谈盾构施工成本管理 .....              | 包明爽(130)                 |
| 再制造技术在盾构机修复中的应用 .....         | 李敬文 桂轶雄 曹 晶(135)         |
| 小半径曲线盾构隧道测量精度控制技术 .....       | 张晓辉 杨宏进(141)             |
| enzan 测量导向系统在盾构隧道工程中的应用 ..... | 孙冬冬(148)                 |
| 浅谈 150m 小半径盾构施工测量技术 .....     | 孟祥涛 郑仔弟 葛国华 李华强 卜 樊(156) |
| 盾构法施工测量控制技术 .....             | 罗强强 谢邓发 钟声文(164)         |
| 两井定向在盾构隧道测量中的应用 .....         | 李华强 吴钦刚 赵 海 孟祥涛 肖胜利(171) |
| 盾构机在双向曲线上始发姿态偏差控制探讨 .....     | 魏斌效 史英威 陈银争(175)         |
| 盾构始发中的玻璃纤维筋应用研究 .....         | 刘 军 蒋 华 原海军 周 洪 李东海(182) |
| 盾构穿河过障碍物施工技术 .....            | 薛立强(188)                 |

|                                                       |             |          |
|-------------------------------------------------------|-------------|----------|
| 盾构机站内外组合过站方式的改进与实践 .....                              | 尹清锋         | (193)    |
| 盾构近距下穿桩基建筑群关键施工技术 .....                               | 江 华 孙正阳     | 殷明伦(198) |
| 盾构近距离下穿既有运营线综合施工技术 .....                              | 杨业敬         | (204)    |
| 叠落隧道盾构掘进对地层影响和管片受力分析 .....                            | 孙立建         | (215)    |
| 成都泥岩地质盾构施工技术特点分析研究 .....                              | 邢如飞 曲 强 阮 松 | (227)    |
| 盾构空推通过矿山法隧道综合施工技术 .....                               | 魏华杰         | (233)    |
| 天津地铁盾构二次接收施工技术与实践<br>..... 于 哲 李 超 梅 静 甄 韬 王东猛        |             | (241)    |
| 盾构始发下穿航油管线施工技术<br>..... 李 超 于 哲 梅 静 甄 韬 王东猛           |             | (246)    |
| 盾构穿越民房群沉降控制技术 & 措施 .....                              | 张 雨 薛 哲     | 魏斌效(253) |
| 盾构小半径曲线始发关键技术分析 .....                                 | 吴钦刚 周 政 郑仔弟 | 赵 海(257) |
| 砂岩地层盾构施工技术 .....                                      | 李德洋 郑仔弟 葛国华 | 赖江龙(260) |
| 盾构隧道管片错台控制方法浅析 .....                                  | 李小岗 侯明鑫     | 张长强(266) |
| 盾构始发近距离下穿地铁运营线路施工技术 .....                             | 王 强         | 刘少然(271) |
| 土压平衡盾构在不均匀地层掘进管片姿态控制技术研究<br>..... 纪艳琪 郝 懂 李 远         |             | 刘文静(281) |
| 岩溶地质条件下的盾构施工技术 .....                                  | 孙国辉         | (286)    |
| 浅谈盾构下穿密集建筑群施工措施 .....                                 | 付嵩岩         | (290)    |
| 土压平衡盾构施工地面沉降影响因素分析 .....                              | 李明景         | (295)    |
| 6m 级盾构隧道及其配套结构在电力工程中的应用 .....                         | 张亚洲         | 孙立建(301) |
| 浅谈小直径盾构分体始发下穿铁路施工技术<br>..... 刘 磊 马军英 杨金钟 张世辉          |             | 李文峰(310) |
| 地下障碍物高强度预应力锚索处理技术 .....                               | 李小岗 龙成明     | 王 参(315) |
| 上软下硬地层地下连续墙有效成槽施工技术 .....                             | 周 博         | (323)    |
| 轨道交通盾构井的防水施工技术研究 .....                                | 谢志云         | (327)    |
| 大直径盾构脱困技术及预防措施 .....                                  | 姚文龙         | (330)    |
| 盾构机参数突变处理及预防措施 .....                                  | 刘 鹏 陈志刚     | 郑瑞兵(337) |
| 盾构机推进油缸拆装工具改进 .....                                   | 李松林         | 范家勤(344) |
| 盾构机液压油缸在线检测方法 .....                                   | 马明东         | (347)    |
| 泡沫剂在盾构工程中的应用 .....                                    | 侯德超 宋洪雁 栾文伟 | 郑永军(352) |
| 土压平衡盾构长距离穿越全断面粉细砂地层泡沫剂应用技术 .....                      | 张 扬         | 魏斌效(361) |
| 盾构同步注浆预拌砂浆的研究与应用<br>..... 徐海锋 肖群芳 章银祥 刘玉梅 田胜力 李夏枝 任 亮 |             | 朗昆仑(365) |
| 兰州轨道交通穿黄隧道泥水平衡盾构机适应性分析 .....                          | 全雪勇         | (371)    |

|                            |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| 盾构洞口处土体变形机理及加固优化研究 .....   | 刘 军 金 鑫 张豫湘(378)         |
| 盾构无障碍始发反力架支撑结构的经验设计分析      |                          |
| .....                      | 刘 军 张豫湘 孙 田 金 鑫 章良兵(383) |
| 盾构地下接收室施工工艺及盾构推力对接收室结构影响分析 |                          |
| .....                      | 刘 军 章良兵 马云新 王利民 陈 文(391) |

# 复合地层盾构施工理论体系的基础研究

竺维彬 鞠世健 钟长平

(广州地铁集团有限公司 广州 510030)

**摘要:**本文对复合地层盾构施工理论体系进行了系统阐述,包括盾构施工体系的组成、复合地层的概念、复合地层的特点、复合地层中的不良地层和复合地层盾构机选型等内容,提出“人是复合地层盾构施工理论实施的根本”这一理念,为我国复合地层盾构施工技术的发展起到了很好的指导作用。

**关键词:**复合地层;不良地层;盾构机;选型

## 1 概述

盾构法用于隧道掘进施工在国外有近二百年的历史,在国内则始于20世纪60年代的上海。经过多年的发展,盾构法已成为国内外在比较均质的地层和软土地层进行隧道施工的一种成熟的施工方法。

进入20世纪90年代后,广州地铁积极引进国外先进盾构技术,广泛用于广州复合地层的隧道施工,开创了国内复合地层盾构施工的先河,取得了巨大的成就。迄今,用于广州地铁一号线、二号线、三号线、四号线、五号线、六号线、七号线、八号线、九号线、十三号线、十四号线、二十一号线、广佛线、珠江新城集运系统区间隧道施工的盾构约220台次,完成隧道掘进任务超过300km。在广州地铁参与盾构隧道建设并茁壮成长起来的建设、设计、监理、施工人才正活跃在全国各大城市地铁建设的主战场上。某种程度上说,正是广州地铁引领了地铁盾构技术的新潮流,开创了全国盾构施工的新局面。

为攻克复合地层盾构施工的难关,广州地铁人解放思想、与时俱进,本着攻坚克难、艰苦奋斗、永不言退的盾构机精神,经过消化、吸收、调整、改造,因地制宜、推陈出新,摸索出一整套盾构在复合地层中施工的技术,创立了复合地层盾构施工理论体系,其精髓就是“地质是基础、盾构机是关键、人是根本”。本文为该理论体系的基础研究。

## 2 盾构隧道施工体系的组成

(1)地层是盾构施工体系中的一个重要因素。隧道是在地下由盾构机挖掘形成的,所以地下围岩是隧道的载体,也是挖掘隧道过程中的工作对象。对象不同,遇到的问题和困难也就不同,采取的相应对策也不一样。

(2)盾构机是构成施工体系中的另一重要因素。盾构机是盾构施工方法中的唯一工具,在一定意义上讲,它的重要性在于是一件不可逆的工具,因为一旦在地下出了问题,特别是大问题,很难将它挖出来修理。

---

作者简介:竺维彬(1962—),男,教授级高级工程师,广州地铁集团有限公司副总经理,天津大学、中国矿业大学、广州大学客座教授,广东省抢险委员会专家。主要从事盾构施工技术研究和地铁建设管理工作。Email: zhuweibin@gzmt. com。

(3)人是这个体系中最重要因素。地质特征是靠人去认识和处理,盾构机是要人去根据地质特征量身定做,隧道是人操作盾构机采用适当的方法、选择合理的参数完成开挖的。

### 3 复合地层的概念

#### 3.1 均一地层

均一地层是指在开挖断面范围内和开挖延伸三维方向上,由一种或若干种地层组成的,但其岩土力学、工程地质和水文地质等特性相近的地层或地层组合。在均一地层中的盾构施工,大大地简化了盾构机选型和盾构施工工艺的技术要求。

#### 3.2 复合地层

在开挖断面范围内和开挖延伸三维方向上,由两种或两种以上不同地层组成,且这些地层的岩土力学、工程地质和水文地质等特征相差悬殊的组合地层,定义为复合地层。

复合地层的组合方式是非常复杂多样的,但总的来说有两大类:一类是在断面垂直方向上不同地层的组合;另一类是在水平方向上地层的不同组合。

##### 3.2.1 复合地层在垂直方向上的变化

最典型垂直方向上的复合地层,就是所谓的“上软下硬”地层。即隧道断面上部是松软土层,而下部是坚硬的岩石地层;或者上部是软弱的岩层,而下部是硬岩层;或者是硬岩层中夹软岩层;或者是软岩层中夹硬岩层;或者是岩石地层中夹破碎带、溶洞等,如图 1 所示。

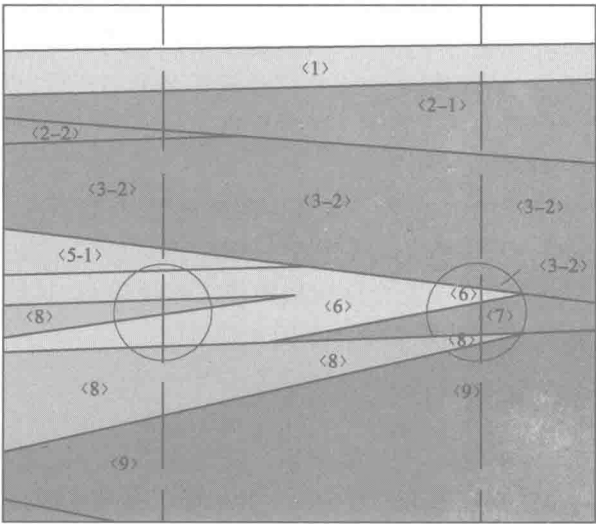


图 1 广州地铁复合地层垂向变化代表剖面

<1>-人工杂填土层;<2-1>-淤泥质土层;<2-2>-淤泥质砂土;<3-2>-冲洪积土层;<5-1>-残积土层;<6>-岩层全风化带;<7>-岩层强风化带;<8>-岩层中风化带;<9>-岩层微风化带

##### 3.2.2 复合地层在水平方向上的变化

在同一施工段中,可能分布着不同时代、不同岩性、不同风化程度或不同层序的地层,从而表现出水平方向上工程地质性质的差异。如广州地铁五号线草暖公园始发井—陶金站区间的地层,其剖面图如图 2 所示。

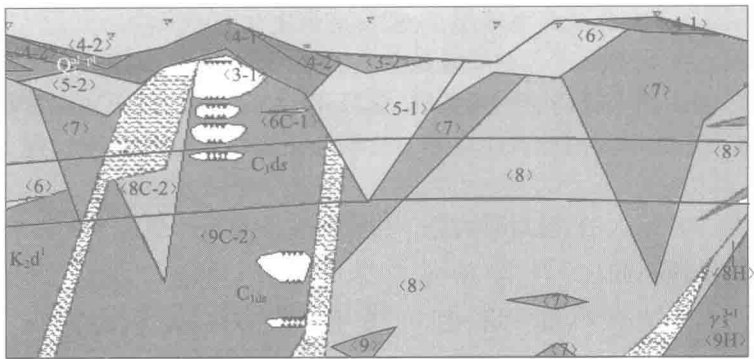


图2 广州地铁五号线草暖公园始发井—陶金站区间的地层剖面图

<3-1>-细砂土层;<4-2>-河湖相淤泥质土层;<5-1>-可塑或稍密状残积层;<5-2>-硬塑或中密状残积层;<6>-岩层全风化带;<7>-岩层强风化带;<8>-岩层中风化带;<9>-岩层微风化带;<9H>-花岗岩微风化带;<6C-1>-石灰岩中风化带;<9C-2>-相对完整的石灰岩微风化带

## 4 复合地层的特点

### 4.1 岩土形成的地史不同

岩土形成的年代见表1。

地质年代表

表1

| 地质年代(单元:百万元) |                  |                      | 地 层                |
|--------------|------------------|----------------------|--------------------|
| 新生代          | 第四纪(1.8 ~ 今)     |                      | 第四系                |
|              | 第三纪(65 ~ 1.8)    |                      | 第三系                |
| 中生代          | 白垩纪(145 ~ 65)    | 燕山期花岗岩(205 ~ 66 ± 2) | 白垩系、侏罗系、<br>燕山期花岗岩 |
|              | 侏罗纪(213 ~ 145)   |                      |                    |
|              | 三叠纪(248 ~ 213)   |                      | 三叠系                |
| 古生代          | 二叠纪(286 ~ 248)   |                      | 二叠系                |
|              | 石炭纪(360 ~ 286)   |                      | 石炭系                |
|              | 泥盆纪(410 ~ 360)   |                      | 泥盆系                |
|              | 志留纪(440 ~ 410)   |                      | 志留系                |
|              | 奥陶纪(505 ~ 440)   |                      | 奥陶系                |
|              | 寒武纪(544 ~ 505)   |                      | 寒武系                |
|              | 前寒武纪(地球起源 ~ 544) |                      | 前震旦系               |

#### 4.1.1 第四系地层

第四系地层是距今180万年以来在地球最表面形成的沉积盖层,是在地球表面内外营力相互作用过程中,岩石圈发生破坏—搬运—堆积形成的沉积地层。

#### 4.1.2 岩石地层

由表1可以看出,不同地质时代形成的原生岩层是不同的,其成岩程度、变质程度、岩性、结构、构造等会有很大的差别,盾构施工过程中出现的问题也就不一样。

如在广州地区盾构施工中穿越侏罗纪煤系地层时,盾构隧道内聚集了大量的瓦斯,是施工安全的极大隐患。而在同一地区盾构施工穿越白垩系地层时就不会碰到这类问题,因为在白

垩纪就不会成煤,因此不会碰到煤系地层,也就没有聚集瓦斯的风险。

又如在广州市区的北部出现的花岗岩是燕山四期形成的,在市区的南部出现的花岗岩是燕山三期花岗岩。燕山四期花岗岩的残积层、全风化层和强风化层中残留着很多花岗岩球状风化体,给盾构施工造成极大困难。而在燕山三期花岗岩中至今还没有发现证据可靠的花岗岩球状风化体。

上述的差异是非常巨大的,会对盾构施工将要采取的对策产生极大的影响。

## 4.2 岩石地层的岩性不同

岩性按成因可分为岩浆岩、沉积岩(图3)、变质岩(图4)三大类。



图3 沉积岩



图4 变质岩

### 4.2.1 岩浆岩

岩浆冷凝固化后形成的岩石,称为岩浆岩。

根据成因,岩浆岩可分为深成侵入岩、浅成侵入岩、次火山岩、火山岩等。每种成因类型的岩浆岩又根据其所含的矿物成分不同分为若干种岩石。

### 4.2.2 沉积岩

沉积岩是在温度不高、压力不大的条件下,由风化作用、生物作用和某种火山作用的产物,经搬运、沉积和成岩作用而形成的岩石。

沉积岩的主要特征是具有层理。根据物质来源和胶结物特征可分为火山碎屑岩、正常碎屑岩、黏土岩、化学岩和生物化学岩。每一类岩石又根据其结构和构造以及矿物成分分为若干种岩石。

### 4.2.3 变质岩

由变质作用形成的新的岩石,称为变质岩。

变质作用是由地球内力作用引起的岩石改变或变化的作用。其中,由岩浆岩形成的变质岩叫正变质岩,由沉积岩形成的变质岩叫副变质岩。

岩性不同,岩石强度、矿物成分等有很大区别,对盾构施工的影响差异也很大。

## 4.3 岩石的结构和构造不同

岩石的结构主要指岩石的各种组成部分在形貌的特征及相互间的组合关系,如颗粒的大小、形状和胶结形式等。岩石的构造主要指岩石的各种组成部分的空间分布和排列方式。

岩石结构和构造的不同,岩石的物理力学性质将发生很大的变化。

## 4.4 地质构造不同

在地壳运动中,岩体由于受力而发生的连续或不连续的永久变形,称为地质构造。常见的

地质构造有褶皱与断裂两种基本类型。

断裂构造在盾构施工中的影响,主要反映在以下几个方面。

(1) 由于节理、劈理的产生,大大破坏了围岩原始的完整性,降低了岩石的 RQD 值,有利于盾构机的破岩。

广州地铁四号线大学城北站—大学城南站区间变质混合岩中节理和裂隙发育。该地区盾构隧道围岩的特点是岩石的单轴抗压强度较高,但其 RQD 值仅有 25% ~ 30%,因此盾构掘进还是很顺利的。

(2) 在断层带中,可能会产生一些新的岩石,如在广州地铁三号线大石站—汉溪站区间的礼村断裂带中的硅化角砾岩。盾构通过该断层带时,遇到了块状的硅化角砾岩,将盾构机刀盘的边缘铲刀的螺栓崩断。

(3) 张性的断层带透水性能很好,在盾构施工的过程中可能会发生螺旋输送器的喷涌,在暗挖横隧道中可能会发生突水和塌方。

#### 4.5 风化作用不同

风化作用是指岩石在地表或接近地表的地方由于温度变化、水及水溶液的作用、大气及生物等的作用发生的机械崩解及化学变化过程。

风化程度一般由强至弱分为四类:全风化、强风化、中风化和微风化。

经过风化作用影响的岩体,会发生以下不同程度的变化。

(1) 岩体的整状性变差,RQD 值变低,岩石强度变低。

(2) 整状的岩体变为碎块,碎块变为细粒。

(3) 岩石中的某些矿物发生了化学变化,产生了一些新矿物。

(4) 风化后的地层中裂隙水特别发育,尤其在全风化与强风化、强风化与中风化、中风化与微风化的界面上,往往是明挖或矿山法暗挖的突水点,是盾构法施工造成喷涌的原因。

#### 4.6 施工中极易发生“泥饼”、“喷涌”和“滞排”

##### 4.6.1 泥饼

泥饼(次生岩块)是盾构刀盘切削下来的细小颗粒、碎屑在密封舱内和刀盘区重新聚集而成半固结或固结的块状体。

泥饼分为刀盘面板泥饼和土仓内泥饼两大类。泥饼在刀具表面形成,包裹住刀盘面板,或将刀盘开口部分堵塞的情况,称为刀盘面板泥饼;泥饼集结在土仓内,使切削下来的渣土难以通过正常的搅拌,达到良好的出渣状态,称为土仓内泥饼。

泥饼带来的危害主要有以下几种。

(1) 掘进参数不正常。体现在推力增大、扭矩急剧升高、掘进速度下降。

(2) 泥饼将刀盘包裹,使刀盘面板与土体发生干磨,大量的机械能转化为热能,不仅造成刀具损坏,同时造成渣土温度升高,过高的温度甚至会对轴承密封系统造成威胁。

(3) 刀具无法正常切削,滚刀发生严重偏磨。

(4) 由于掘进速度降低,出渣不畅,大量的地下水涌入仓内,形成喷涌。

(5) 诱发地表塌陷。

##### 4.6.2 喷涌

喷涌是指土压平衡盾构机出渣时,一开启螺旋输送机闸门,大量的压力水、泥浆、砂石等从出土口喷射出来的现象。

喷涌带来的危害主要有以下几种。

(1) 出渣不顺畅,渣土均以流质状态从螺旋输送机输出,无法通过皮带输送机运走,隧道内污染严重,需要花费大量的时间清理掉落的渣土。

(2) 土仓压力波动较大,容易造成地面塌陷。

(3) 出土量控制困难,经常出土超量,造成地面塌陷。

(4) 掘进速度缓慢,掘进完成后需要停滞很长时间清渣和拼装管片,使地下水进一步汇聚,形成恶性循环。

(5) 高压的泥浆对施工人员的人身安全构成威胁。

#### 4.6.3 滞排

滞排是指盾构掘进下来的渣土,因为颗粒特性(如相对密度、大小和形状)、盾构机排渣性能及其施工控制等原因造成渣土不能随时排出或滞后排出。

滞排会导致盾构机损伤、掘进困难和周围地层被过度扰动等。

滞排的成因有地质与环境因素、盾构机的因素以及施工因素,解决滞排的总原则可归结为“破”、“和”、“排”三个方面。

### 5 复合地层中的不良地层

盾构在复合地层施工时会遇到以下不良地质情况。

#### 5.1 第四系流塑状淤泥地层与其他地层组合

在淤泥地层中施工,已知的事故和风险主要反映在以下几个方面。

(1) 作为永久结构的盾构隧道本身是不稳定的,工后沉降可能很大,以至于会造成线路纵坡的变化及管片的错台、开裂和破损等。

(2) 盾构机机体的重量在轴向上是不均匀的,其前部的 1/3,包括刀盘主轴承和螺旋输送器等,大约占盾构机总重的 2/3 以上。在这种流塑状淤泥地层中掘进时,易出现盾构机“栽头”问题。其结果是盾构机姿态难以控制,进而造成管片的错台、开裂、破损等。

(3) 若盾构的工作井或隧道的横通道位于这种地层中,主要的问题是如何保证围护结构的施工质量及防止基坑开挖时的底涌。

#### 5.2 第四系黏土地层与其他地层组合

盾构机在硬塑状的黏土层中出现的问题主要是结泥饼。此外,在黏土中还可能含有一定量的砂砾成分,对刀具的磨损也会有影响。

在均一黏土层中,盾构机刀盘和刀具的配置相对容易和简单一些,但在复合地层中难度就大多了。因为在选择刀盘和刀具时,既要考虑盾构机的大开口率,又要考虑在岩石地层中破岩功能对刀盘强度的要求;既要防止滚刀在黏土层中的偏磨,又不能不配置一定量的滚刀,等等。

对于黏土地层中结泥饼问题,由于添加剂的使用,特别是水和泡沫的使用,已经较好地解决了这个问题。至于添加剂的使用量,根据黏土特性的不同而有所不同,通常都是在施工过程中经试验之后才可确定下来。

#### 5.3 第四系砂层与其他地层的组合

我国最近几年在地铁盾构工程中发生的几起灾难性大事故,都与粉土层、细砂层和中粗砂层或它们组合的复合土层有关。

(1) 粉细砂层。在这种地层中施工,出现的主要问题是发生在盾构隧道之间的横通道施