

地铁科技文集

METRO SCIENCE AND TECHNOLOGY COLLECTED THESES

2008

广州市地下铁道总公司 编



华南理工大学出版社

地铁科技文集

METRO SCIENCE AND TECHNOLOGY COLLECTED THESES

2008

广州市地下铁道总公司 编



华南理工大学出版社

·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

地铁科技文集. 2008 / 广州市地下铁道总公司编. —广州: 华南理工大学出版社, 2008. 6
ISBN 978-7-5623-2822-3

I. 地… II. 广… III. 地下铁道 - 铁路工程 - 文集 IV. U231 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 090338 号

总 发 行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话: 020 - 87113487 22236378 87110964 87111048 (传真)

E-mail: z2cb@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑: 朱彩翩 詹志青

印 刷 者: 广州市穗彩彩印厂

开 本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 14.25 字数: 461 千

版 次: 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 1 100 册

定 价: 45.00 元

版权所有 盗版必究

地铁科技文集（2008）编委会

名誉主任委员 丁建隆

主任委员 陈韶章

副主任委员 吴慕佳 梁巧明 何霖 刘光武 竺维彬
刘应海 邓承山 徐明杰 莫庭斌 钟学军

委员（按姓氏笔划为序）

刘忠诚 余哲夫 李广元 李少璧 李鸿兴
张志良 陈穗九 陆缙华 庞绍煌 欧阳长城
高俊霞 曾耀昌 路水记 蔡昌俊 鞠世健

主 编 陈韶章

副 主 编 袁敏正

参 编 李文球 万丽君 张继冰 李宏辉

前 言

“科学技术是第一生产力”。日新月异的科技革命为轨道交通行业带来了发展机遇，也带来了挑战。自一百多年前世界上第一条地铁问世以来，有志者一直都在努力探索并不断进行技术创新。当前，如何继续解放思想，牢固树立并贯彻落实科学发展观，坚定不移地走科技创新之路显得越来越重要，《地铁科技文集(2008)》正是出于这种考虑而编撰的。

《地铁科技文集(2008)》由具有丰富实践经验和研究积累的轨道交通行业各专业人员编写，共收录优秀论文48篇，分为技术研究、土建与施工、应用研究、综述等四个部分，内容涉及轨道交通技术与设计、施工管理、运营管理、应用研究、设备国产化等方面，同时将广州地铁最新的科研和技改国产化成果与同行分享，如“广州轨道交通线网票务清分方法应用研究”和“直线电机车辆的关键技术及车辆”就是其中的两篇。希望通过出版发行《地铁科技文集(2008)》，帮助读者更多地了解轨道交通建设现状、未来发展和技术创新方向，促进城市轨道交通新技术成果的转化与应用，从而提高我国城市轨道交通行业的整体水平。

《地铁科技文集(2008)》的出版发行，得到了华南理工大学出版社的大力支持，谨此致以衷心感谢！同时，恳请国内外轨道交通行业专家和广大读者给予批评与指正。

广州市地下铁道总公司副总经理 **陈韶章**

2008年6月于广州

目 录

第 1 篇 技术研究

复合地层盾构隧道工程地质勘察方法的探讨	竺维彬 鞠世健 (3)
广州地铁信息资源管理系统 GIS 的开发与研究	曾耀昌 林 健 罗 亮 (12)
广州轨道交通线网票务清分方法应用研究	吕利民 (22)
屏蔽门单门常开故障对隧道通风的影响	胡自林 贺利工 (29)
地铁节能坡设计的意义探讨	刘雪寒 王彦峥 (34)
超级电容在城市轨道交通系统中的应用	陈 朗 李 恒 王 丹 (37)
浅谈广州地铁二号线列车零速继电器的改造	肖向前 张少峰 (42)
广州地铁既有线路 33kV 环网过流保护时限级差研究	廖振宁 王红星 (45)
广州地铁换乘站大客流组织探讨	刘纪检 黄贵荣 (48)
城市轨道交通运营系统风险分析方法探讨	叶庆辉 李毅雄 陈 波 (51)
地铁公用移动通信网络覆盖方案与应用探讨	李宏辉 (55)
地铁隧道内火灾烟气流动的实验研究	赵成军 高俊霞 (59)
容灾技术在地铁票务清分中心的应用研究	夏科芬 李宇轩 (63)
地铁车站弱电设备 UPS 设置方案探讨	李万略 (66)
广州地铁 2 号线正线道岔转辙部分维修养护初探	陈永贵 陈慧彬 (69)
广州轨道交通直线电机车辆感应板国产化探讨	张爱明 (73)
厦门一期快速公交 (BRT) 系统车站设计研究	唐 薇 唐 坚 陈明峰 (77)
电子电路代替继电器进行无触点控制的探讨	黄志良 (81)
地铁自动化立体仓库的运作效率探讨	杨浩玉 (85)
广州轨道交通 3 号线车辆客室空调漏水原因浅析	唐 燊 (89)
浅谈城市轨道交通接触网悬挂形式及施工、运营维护特点	卜立峰 (93)
列车光纤传输故障分析及解决措施	陈智华 (97)
地铁信号技术与安全分析	崔建乐 (102)
地铁工程投资控制探讨	巫玲玲 (106)
城市轨道交通固定资产折旧方法的探讨	谭国兴 (110)
以信息化手段提升设计行业项目管理能力的探讨	林德辉 (113)



第2篇 土建与施工

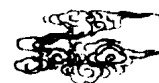
双连拱隧道结构在地铁折返段的应用与计算分析	杨德春 唐 琪 (121)
管波探测法在广州地铁岩溶区高架桥桩基的应用	孙成伟 饶其荣 (127)
地铁屏蔽门预埋件及预留孔洞施工的质量控制	王 玮 (131)
广州轨道交通2号线北延段工程风险分析及对策	马 卉 (135)
浅析盾构始发井设计与始发技术应用	杨德春 唐 琪 (139)
复合地层中盾构过江施工风险分析与对策	郭广才 鞠世健 (146)

第3篇 应用研究

直线电机车辆的关键技术	庞绍煌 (153)
混合磁悬浮技术与中低速磁悬浮列车	朱日华 (158)
微动塞拉门在广州地铁2号线车辆上的应用	彭有根 (161)
地铁工程中烟烙尽气体灭火系统的安装与调试	柳常春 (165)
地铁民用通讯网络资源的优化与整合	陈上兴 岑嘉伦 (171)
CA Unicenter在广州地铁AFC清分系统局域网环境中的应用	黄智雯 (176)
广州地铁1号线轨道设备状态评价工作的思考	廖湘志 杨玲芝 杨 刚 (180)
密封铅酸蓄电池在地铁车辆上的应用	张玉文 (183)
广州地铁1号线、2号线TCM的国产化改造	张学斌 陈 金 (189)
闸机通行逻辑控制模块国产化应用探讨	李 琦 (192)

第4篇 综 述

广州地铁商铺资源开发的思考	陈小健 (197)
广州地铁自动售检票系统网络安全设计思路	邵 宇 (201)
浅谈地铁车站照明优化设计	郭 莉 (205)
浅谈短期工程的建设管理	付旭东 (210)
项目管理在西安地铁运营筹备咨询服务中的应用	林望先 俞军燕 (212)
浅析地铁车站的多元化环境艺术	陈振强 (216)



第
1
篇

技
术
研
究

复合地层盾构隧道工程地质勘察方法的探讨

竺维彬^① 鞠世健

摘 要 盾构法施工与其他地下工程施工法相比有其特殊性,在相应的地质勘察工作中有专门的要求。文中根据盾构施工的特点概述了均一地层和复合地层,阐述复合地层盾构施工勘探需重点关注的问题;提出物探方法在浅层地铁隧道施工中的应用意见和地铁隧道盾构工程勘探阶段划分的建议。

关键词 复合地层 盾构隧道 地质 勘察

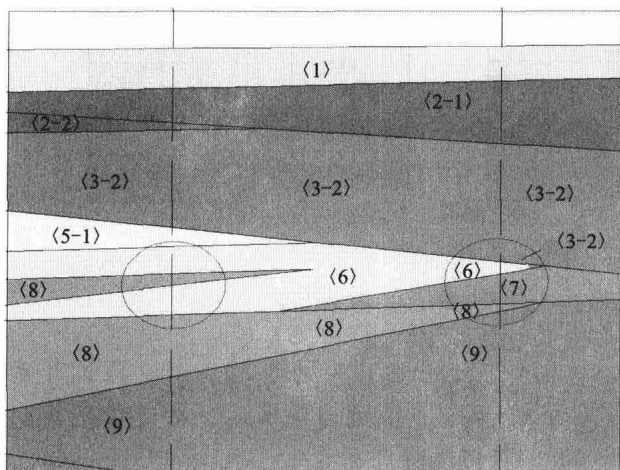
盾构隧道施工方法及施工参数的选择与其他的地下工程一样,都受制于施工环境,特别受围岩的工程地质和水文地质特征的影响。目前,全国各地的地铁工程,通常对车站、隧道等土建施工,不论何种施工方法,提供的都是同一份地质报告。这样,在一定程度上满足不了盾构法施工对勘察工程的特殊要求,无法选择出适应性最强的盾构机、盾构施工方法和施工参数。

从文献上看,复合地层一般被称作“mixed face”或“mixed face conditions”,也就是说,在盾构机前方的工作面是由不同的工程地质层“混合”组成的(见图1)。然而实际的围岩环境除

了在工作面上(或垂直断面上)的“混合”之外,在沿隧道轴线的方向上,也存在着不同地质层的混合(见图2)。本文将复合地层定义为三维,围岩主要由岩土力学、工程地质、水文地质等特征相差较大的几种地层组成。

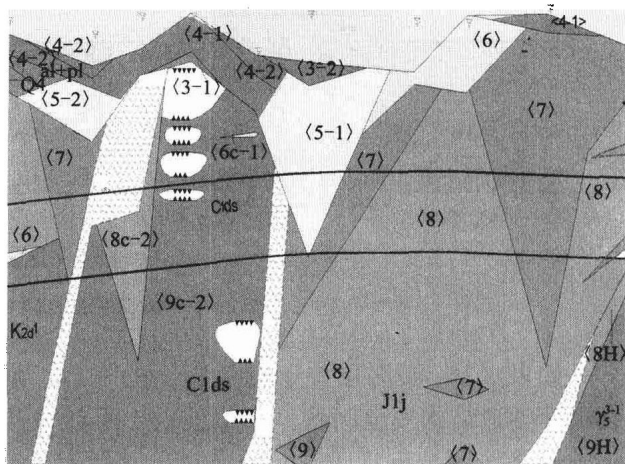
与复合地层相对应的是均一地层,定义为三维,围岩由一种或几种岩土力学、工程地质、水文地质等特征相差不大的一种或几种地层组成。均一地层又分为两类,一类是均一软土地层,另一类是均一岩石地层。

本文探讨盾构在复合地层中施工时,对工程地质勘察的一些要求。



(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

图1 广州地铁复合地层垂向变化代表剖面



(1) 人工填土层; (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; (7H) 花岗岩强风化带; (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

图2 广州地铁五号线草暖公园—陶金路剖面

^① 广州市地下铁道总公司副总经理。

1 复合地层盾构施工钻探需重点关注的问题

复合地层盾构施工需要钻探，重点关注的问题主要在以下几个方面。

1.1 重要的地层层面和地质界面

(1) 上软下硬地层的硬地层层面，特别是花岗岩和变质岩的层面和风化界面（见图3）。因为

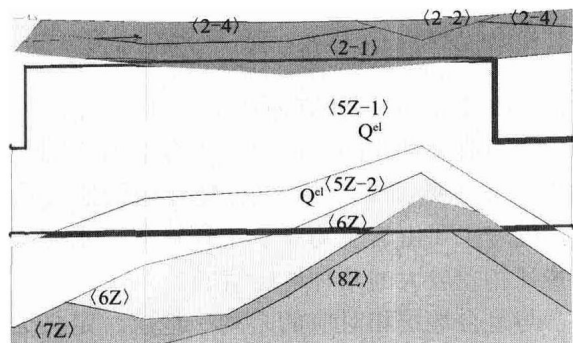


图3 广州轨道交通4号线小谷围岛—新造海区间剖面

在这种上软下硬层情况下，盾构机的姿态很难控制，操作不当会连锁引发管片错台、破损、隧道轴线超限等事故。如广州轨道交通5号线某区间盾构机掘进困难，后经施工单位在详勘的基础上补充了5个钻孔，证实微风化的粉砂岩面起伏变大，经改进刀具选择后，得到解决。

(2) 砂层层面的位置。以广州地区的<3-2>砂层为例，该砂层与隧道的关系主要有三种，即隧道全断面陆相冲洪积砂层、隧道部分断面陆相冲洪积砂层和隧道断面上部陆相冲洪积砂层。

这三种情况在盾构施工过程中都出现过较大的地面沉降，特别是选用土压平衡盾构机时沉降更厉害。其原因主要由于该地层在刀盘的扰动下会在瞬间液化或流动，一旦土仓内的水土压力与工作面主动水土压力稍微出现不平衡都会产生较大的地面沉降。图4是沉降的形成过程。

(3) 淤泥层层面。以广州地区<2>淤泥层为例，当该淤泥层处于和砂层层面相同地质状态下，会出现与<3-2>砂层类似的地面沉降问题。

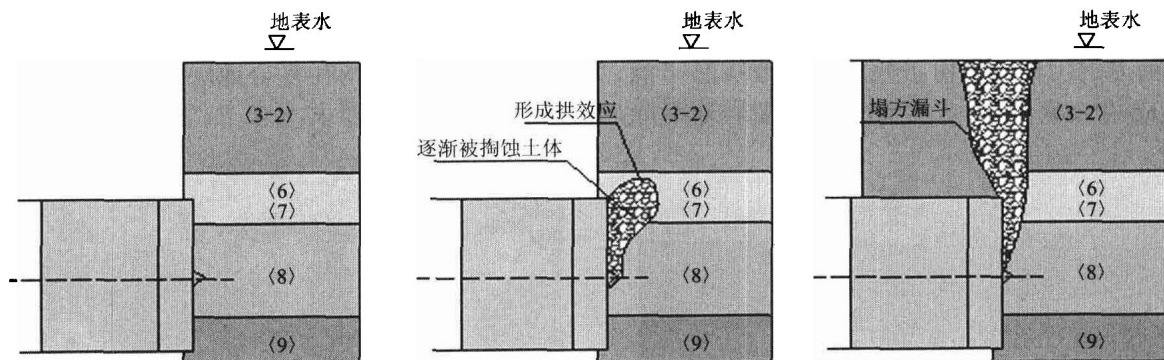


图4 地层塌陷过程示意图

<3-2> 砂层；<6> 全风化层；<7> 强风化层；<8> 中风化带；<9> 微风化层

如果<2>淤泥层位于隧道断面的下部，则会出现隧道结构安全问题。广州地铁1号线黄沙—长寿路区间，有近100m的隧道下部赋存4.0

~6.0m的淤泥地层（见图5），其主要岩土参数见表1、表2。该隧道建成后，在此处出现过98mm的整体沉降。

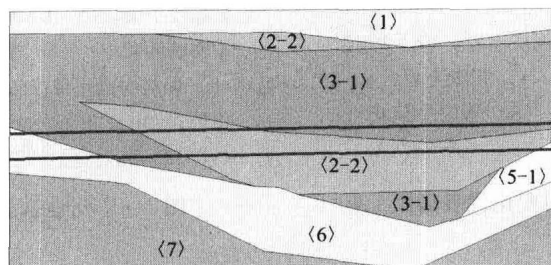


图5 广州地铁1号线黄沙—长寿路区间地层剖面示意图

表1 岩土参数表

地层	岩性	天然密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	天然含水量 /%	天然孔隙比 e	液性 指数 /%	天然快剪		压缩 系数 / MPa^{-1}	压缩 模量 / MPa
						粘聚力 / kPa	内摩擦角 / $(^\circ)$		
<2-2>	淤泥	1.56	63.67	1.788	1.76	8.11	3.38	1.35	2.10
<2-2>	淤泥质土	1.76	39.14	1.112	2.18	2.43	7.36	0.54	4.41

表2 岩土参数表

地层	岩性	承载力标准值/ kPa	水平地基系数/ MPa	侧压力系数	ϕ 值
<2-2>	淤泥 淤泥质土	40 ~ 60	1 ~ 2	0.75	

1.2 断层及其破碎带的范围、岩性和水文特征

以广州地区为例,几条区域性的断层破碎带的岩性很复杂,且透水性很好,如广从断裂、清泉街断裂、瘦狗岭断裂、礼村断裂等。盾构在通过断层带时一般会发生两种故障:一种是对刀具磨损严重(见图6),或由于刀盘旋转时,突然碰到大块断裂岩产生瞬间荷载崩断刀具(见图7、图8),另一种是裂隙水发育造成螺旋输送器的喷涌。

1.3 岩石地层中的特殊地质体或地质现象

1.3.1 花岗岩球状风化体

球状风化体是花岗岩风化过程中的一种特殊地质现象,花岗岩球状风化体的直径一般不大,通常为1~3m左右(见图9、图10)。

花岗岩球状风化体,在复合地层中的盾构施工目前还是一个难点,花岗岩球状风化体不但容易损坏刀盘刀具,而且会严重滞后工期。因此,勘察和分析研究的准确判断,是解决盾构施工技术的前提。



图6 断层带中的硅化角砾岩

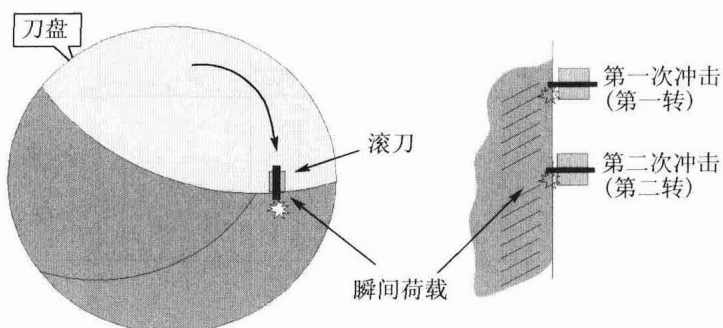


图7 刀具崩断原因示意图



图8 断裂的连接螺栓

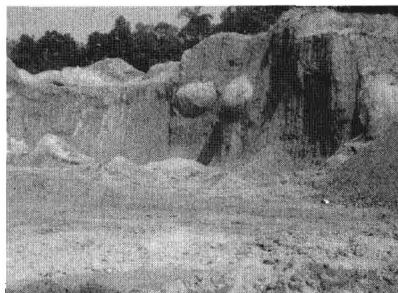


图9 花岗岩球状风化体



图10 花岗岩球状风化岩体

1.3.2 溶洞

石灰岩中的溶洞给盾构施工造成两个问题：一个是盾构机在推进过程中一旦遇到溶洞，特别是较大的溶洞，会造成盾构机姿态的突然变化，从而引发隧道变形、大量漏浆等一系列的事故；另一个是隧道形成后，如何保证通过溶洞地段的隧道的长期稳定和永久结构安全。

因此，尽可能地加密钻孔，控制溶洞的空间形态和位置是极其重要的。

1.3.3 土洞

一般来说，土洞在石灰岩的残积层中较为常见。土洞是其下部石灰岩岩溶作用的结果，有土洞的地方，溶洞较发育。土洞位于隧道下部将是破坏永久结构的较大隐患，因为土洞的充填以及充填物的密实度，不但会影响这段隧道在运营期间的稳定性，甚至会导致隧道灾难性的损坏。

1.4 钻探岩芯描述和岩性、矿物鉴定

目前的地质报告中岩芯描述和岩矿鉴定普遍比较粗糙，忽略了许多分析和判断围岩特征的资料和数据，主要表现在如下几方面：

(1) 岩性描述简单。以一个钻孔柱状图为

例。白垩系三水组的砾岩中的粗碎屑是石灰石，胶结物为钙质，偶夹薄层的泥质灰岩，这些成分会溶蚀成空洞，但在岩性鉴定中，常常将这些重要的成分忽略（见图 11）。而这些是预测和判断溶蚀现象的重要资料。

(2) 岩石地层，特别是微风化和中风化花岗岩和变质岩的 RQD 值统计不准确。在岩石地层中施工，滚刀数量和类型的选择首先考虑的是岩石的单轴抗压强度。因为实验室里给出的单轴抗压强度值，在某种意义上只反映了工作面岩体某一点的岩石强度特征，而 RQD 值则可以粗略地反映整个工作面岩体的质量特征，从一个面的角度来考虑刀具的选择肯定比从一点来考虑更全面。

以广州轨道交通 4 号线变质岩为例，混合岩的微风化单轴抗压强度比较高，在盾构施工之前曾担心破岩不能顺利，而在实际盾构掘进中又快又顺利，原因是 RQD 值低（见表 3、表 4、图 12）。而广州轨道交通 3 号线微风化花岗岩由于单轴抗压强度值高（见表 5），RQD 值也很高，造成盾构机较难推进（见图 13）。

		-11.58	22.10	4.40	80.0	
〈9〉	K ₂ d ¹	-13.98	24.50	2.40	80.0	微风化含砾泥质粉砂岩：暗褐红色，局部稍带灰青色，岩芯呈短柱状，节长5~30cm，岩质稍硬，敲击声稍脆，RQD=45%，23.60~24.00 m和24.30~24.50 m处为微风化砾岩
						空洞：半充填，全漏水，24.50~26.20 m为空洞，掉钻。26.20~26.60 m充填物为粉质粘土，夹砾岩碎块，26.60~27.20 m充填物主要为砾岩碎块
		-16.68	27.20	2.70		
						微风化含砾泥质粉砂岩：暗褐红色，裂隙发育，砾石分布不均匀，局部含量较高，局部含较多中粗砂粒。若芯呈短柱状、饼状、碎块状，节长5~25cm，块径2~5cm。岩质稍硬，敲击声稍脆。RQD=75%，局部岩质偏中风化

图 11 广州地铁 5 号线西场—草暖公园区间某钻孔柱状图

表3 广州地铁4号线混合岩RQD值

项 目	〈8Z〉	〈9Z〉
大学城—小谷围 (极值)	0 ~ 20	0 ~ 35
小谷围—新造 (极值)	0 ~ 25	0 ~ 43
仑头—大学城 (极值)	0 ~ 17	0 ~ 56



图12 混合岩工作面,裂隙发育,较易破岩



图13 花岗岩工作面 RQD值高,破岩困难

岩性鉴定过程中 RQD 值统计不准确表现在两方面:一是通常以大于单块 10 cm 的岩芯长度作为统计的标准,但在实际工作中发现,由于不同的鉴定员掌握的尺度不同,因而统计出的结果也就不相同。二是目前我们使用的 RQD 值,实际上反映的是围岩竖直方向一维的 RQD 值,在评价各向异性的围岩时是不准确的,但在隧道内施工过程中要进一步获取另外两维方向上的 RQD 值是不现实的。在这种情况下,建议充分利用钻探岩芯资料,再以 20 cm (刀盘一般最小的开口宽度)为基准计算 RQD 值,发掘更有指导意义的经验数据。

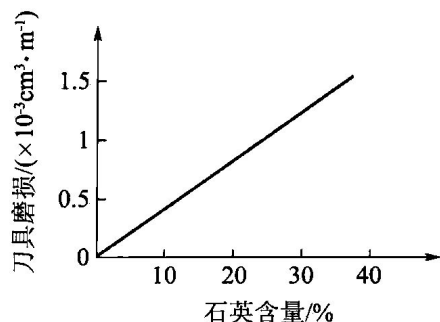


图14 石英含量与刀具磨损的关系

(3) 岩石的矿物成分分析。在岩石当中,特别是在花岗岩和变质岩当中,石英成分的多少,与刀盘和刀具的磨损程度呈线性关系 (见图 14),忽略了该问题的研究会造成刀具、刀盘的严重磨损 (见图 15)。因此,矿物成分分析是刀具的选择及施工过程中换刀位置预测的重要环节。

在沉积岩中,重点是对砾岩和含砾砂岩中砾石成分的分析,砾石及其成分与刀盘和刀具磨损

表4 广州地铁4号线混合岩单轴抗压强度

单位: MPa

项 目	〈8Z〉	〈9Z〉
大学城—小谷围 Fc 极值/平均值	3.9 ~ 9.6/7.06	31.5 ~ 77.9/53.44
小谷围—新造 Fc 极值/平均值	6.2 ~ 11.9/9.21	18.9 ~ 59.8/32.2
仑头—大学城 Fc 极值/平均值	7.81	16.1 ~ 31.3/25.05

表5 广州地铁3号线混合岩单轴抗压强度

项 目	〈8H〉	〈9H〉
RQD (平均值/ 样本数 (极值))	20.29/66 (0 ~ 89)	77.21/94 (24 ~ 100)

的关系密切 (见图 16)。

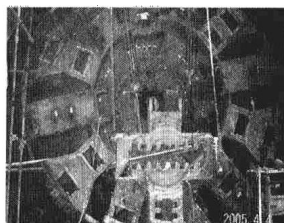


图15 刀盘磨损约100mm

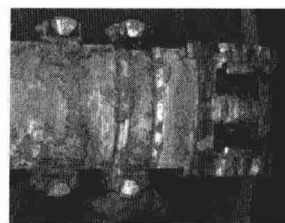


图16 滚刀、刮刀和盘面严重磨损

2 复合地层中盾构施工状况分析

2.1 颗粒分析

该分析之所以对盾构施工特别重要,主要表现在以下几方面:

(1) 盾构机的选型。理论上讲,盾构机选型的依据就是颗粒分析 (见图 17)。

(2) 对泥水盾构机而言,刀盘从工作面上切割下来的岩土是通过膨润土泥浆泵送到地面,然后通过泥水分离系统将粗渣土运走的。目前,我国泥水分离系统的分离能力一般是粒径 75 μm 以上,部分可达 45 μm。广州地区各类岩石的残积层、全风化层、强风化层中的粉黏粒含量 (粒径大于 75 μm 以上) 大约为 40% ~ 50% (变质岩中的含量大于花岗岩,花岗岩中的含量大于红层),也就是说,有近一半的弃土无法分离,只能将其与泥浆一起弃置,而泥浆的处理,直接影响环境的好坏 (见图 18)。

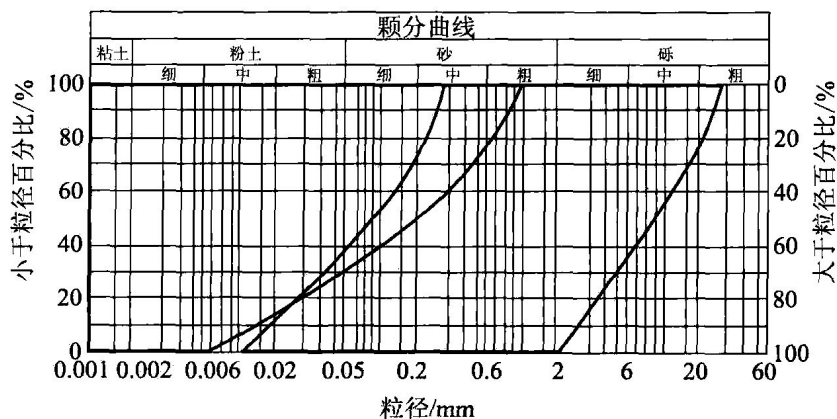


图 17 岩土颗粒分析与盾构机选型的关系
 ■ 泥水盾构 ■ 土压平衡盾构

(3) 对于土压平衡盾构机而言,大量的细颗粒成分的存在,是密封舱和刀盘面板上结泥饼的原因(见图 19),而一旦结了泥饼,盾构机立即无法推进,进而引发一系列的质量事故,甚至烧毁盾构机大轴承。



图 18 废弃泥浆对环境的污染

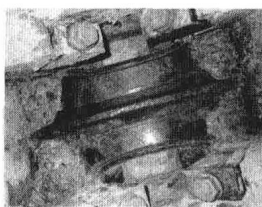


图 19 滚刀在泥饼中的印模

目前存在的问题是对岩石地层的残积层、全风化层、强风化层的颗粒分析不足。

2.2 地层产状的量测和分析

地层产状的量测是钻探岩芯描述的内容,但在工程地质勘察报告中这部分内容往往被忽略。复合地层最重要的特点是围岩的各向异性,这种

特征在沉积岩中表现得尤为突出,除了岩性变化和矿物成分变化之外,地层产状的变化是造成围岩各向异性的重要原因。沉积岩产状与盾构掘进的相互关系大体上为三种(见图 20)。由于地层产状的不同,会造成推进速度、盾构机姿态稳定性、刀盘刀具磨损程度等的不同。

2.3 第四系沉积环境的分析

第四系沉积环境分析的意义是在盾构施工过程中及时地对前方围岩特征和可能出现的施工环境风险进行分析和判断,以提出适当的对应措施。

本文讲的沉积环境分析只为盾构施工服务,因此不需增加新的钻孔。可通过对砂体的空间分布形态、富水性、水文地质特征等来分析和判断古河床的走向、发育状况以及第四系活动断裂是否存在等。通过对淤泥地层沉积环境分析来判断古湖沼的地形地貌。

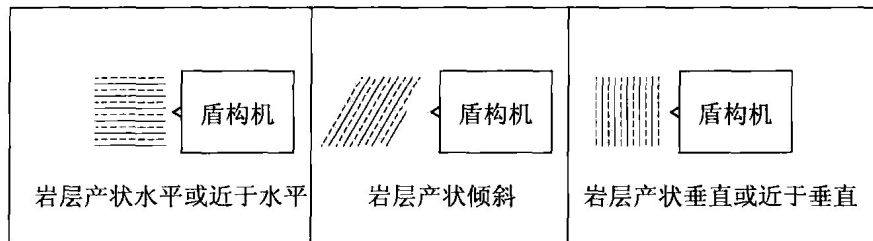


图 20 沉积层产状与盾构掘进的相互关系

3 物探方法在盾构施工中的应用

这是一个颇有争议的话题,主要的争议是该方法的应用范围和解释精度。目前人们在这两个

问题上还无法彻底放弃物探手段,这是因为,钻探方法对围岩的解释是以钻孔资料为基础的,而钻孔毕竟是点信息,即便钻孔间距很小,两孔之间的地质形态和特征依然是人们主观推测的结

果。而物探方法，是将两点之间的地下情况通过地层的各种物性以一条线为基础进行解释，这在理论上比一孔数据为依据要全面。

理论上的精度已解决，但实际应用上的精度很难把握，因此，应用与不应用使物探方法在盾构施工勘察中处于尴尬的处境。根据广州地区的经验，有限度地应用物探方法是有积极意义的。

3.1 地面物探方法的应用

地面物探在广州地铁勘察工程中的应用，在两个方面起到一定的作用：一是对地层分布和地层厚度的宏观探测；二是对碎屑沉积岩中的空洞的控制。

3.1.1 软地层与硬地层之间的界面控制

广州地铁1号线筹备阶段曾在体育西站—广州火车东站区间及黄沙站—长寿路站区间做过两个浅层地震物探试验，不同地层的地震波速剖面图见图21。据此进行的地层解释如图22所示，

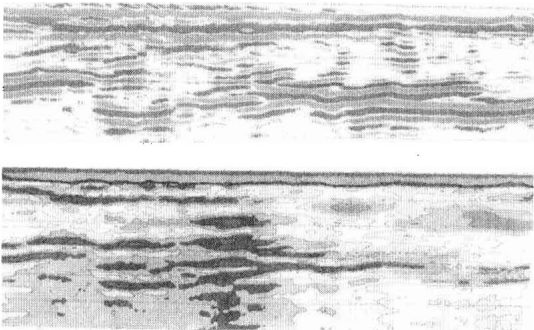


图21 广州地铁1号线体育东路地震波时间剖面图

(当时的地质分层是将目前的残积层、全风化层、强风化层都划归强风化层)。根据地震波速图绘制的地质剖面图经钻孔实际验证，其误差见表6。

表6 钻探验证物探解释一览表

项目	物探解释的地层深度 /m		验证孔地层深度 /m	
	D—2孔	D—1孔	D—2孔	D—1孔
第四系	7.00	7.00	6.50	6.10
强风化层	12.60	17.90	12.80	17.60
中风化层	16.60	23.50	17.05	24.45

从表6可以看出，在地铁选线阶段，物探作为普查的一种方法其精度是可以接受的（“地震法勘测广州地铁基础构造的研究”，1989年12月，广东煤田地质勘探公司、江苏煤田地质勘探

公司、中国煤田物探公司）。

时间	地震反射时间/ms	深度/m	柱状图 1:200	风化程度	岩性描述
Q	50 80	5.75 7.90			亚粘土:顶部为0.2m水泥路面及0.3m压实的碎石层,南部见2.5m左右的砂层、向北235m左右渐灭,下部为亚粘土、粘土层,灰白色、灰黄色,花斑状,湿可塑
K	130 150	11.80 15.68		强风化	棕红色粘土:湿可塑—硬塑,夹较硬的(中风化—微风化)砂岩或砾岩层
	180 200	19.70 22.63		中风化	泥质粉砂岩:褐红色,粉砂结构,块状构造,泥、钙、铁质胶结、局部夹较厚层的砾岩及砂岩。这些岩层通常是微风化的
				微风化	泥质粉砂岩夹砾岩和砂岩:红褐色,粉砂结构,块状构造,泥、铁、钙质胶结,局部见不连续的砾岩和砂岩层

图22 根据物探资料解释的地层柱状图

3.1.2 白垩系红层中空洞的探测

在白垩系红层大塍山组的地层中，夹薄层泥质灰岩，部分粗粒碎屑岩地层的碎屑以石灰岩为主，钙质胶结。这类地层由于受到地下水的溶蚀作用，会形成空洞，这些空洞对盾构施工和永久结构会造成不良影响。图23是广州地铁5号线草暖公园—陶金路区间MEZ3—GX—10钻孔的岩芯，在隧道通过的24.50～27.20m处见一高2.70m的空洞。

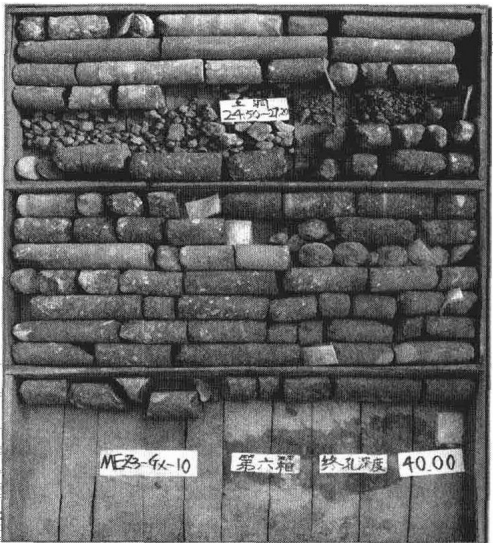


图23 钻孔的岩芯

在此处进行了地面瞬变电磁法探测，物探解释的地质剖面见图 24。

