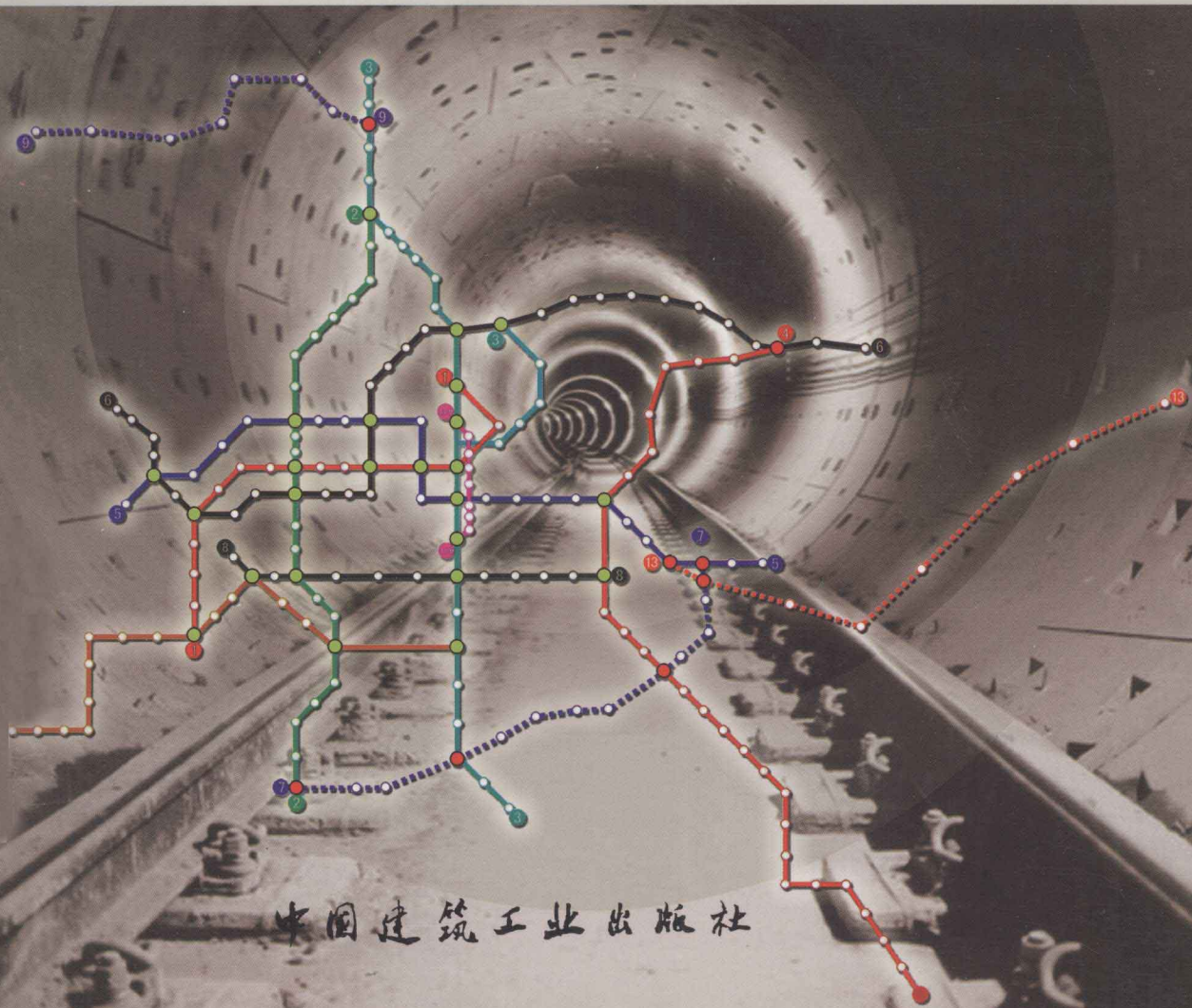


Technology For Shield Tunnel In Mixed Face Ground Conditions
—Study & Practice In Shield Tunneling Projects Of Guangzhou Metro

复合地层盾构技术

——广州地铁盾构工程的探索与实践

廖鸿雁 编著
广州地铁盾构技术研究所



中国建筑工业出版社

复合地层盾构技术

——广州地铁盾构工程的探索与实践

廖鸿雁

编著

广州地铁盾构技术研究所

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

复合地层盾构技术——广州地铁盾构工程的探索与实践/廖鸿雁, 广州地铁盾构技术研究所编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-112-14551-5

I. ①复… II. ①廖… ②广… III. ①地下铁道—隧道施工—盾构法—广州市
IV. ①U231

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第173552号

广州号称国内地铁城市的地质“博物馆”, 且城区建(构)筑物密集, 导致盾构工程在设计及实施阶段, 不可避免地遇到很多未曾经历的技术难题, 工程风险和难度巨大, 艰苦实践的经验教训非常多, 在探索并尝试了许多新工法、新工艺之后, 盾构设计和施工技术得到很大提升, 已施工的120km盾构隧道的经验和教训, 对其他城市的地铁建设十分有借鉴意义。

结合广州复杂的周边环境及复杂的工程水文地质条件, 本书重点介绍复合地层盾构工程的设计方案; 对硬岩、岩溶、花岗岩等困难地层的处理方案; 盾构始发、到达的新技术、新材料; 先隧后站技术; 上下重叠、小曲率半径、大坡度、小间距盾构隧道的实施方案。针对国内地铁市场的旧盾构机越来越多的状况, 本书也总结了广州地铁对旧盾构机的选用和改造经验, 供建设单位(地铁、城际铁路、铁道、交通、大型管廊的建设业主), 以及相关设计、监理、施工单位的人员参考。

责任编辑: 曾威
责任设计: 赵明霞
责任校对: 刘梦然 赵颖

复合地层盾构技术

——广州地铁盾构工程的探索与实践

廖鸿雁 编著
广州地铁盾构技术研究所

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟图文设计有限公司设计制版

北京画中画印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 13 字数: 320千字

2012年11月第一版 2012年11月第一次印刷

定价: 80.00元

ISBN 978-7-112-14551-5

(22631)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

目前，我国的城市轨道交通建设方兴未艾，截至 2011 年底，上海、北京、广州等城市，开通运营里程分别达 428km、372km、236 km。“十二五”期间，全国又将迎来新一轮的城市轨道交通建设高潮。截至 2012 年，中国内地累计有 31 个城市已经或即将与轨道交通“结缘”，每年投入地铁建设的资金达上千亿元，地铁建设市场前景广阔。其中，广州 2012 年～2016 年又将新建并开通 284km，届时累计开通总里程将达到 520km。

在建筑物密集的繁华市区、复杂的地质条件下，浅埋暗挖法、明挖法、盾构法是地铁隧道的三种主要施工工法。其中，盾构法以其在软弱富水地层施工进度快、环保、少扰民，成为标准断面隧道施工的必然选择。

广州、深圳、福州等地，盾构隧道穿越的地层较为复杂，是典型的复合地层，大多采用复合式盾构机进行施工。盾构机的掘进能力较大，要想充分发挥盾构机在各类复杂地层的施工功效，关键在于与盾构工法密切配合的各项技术措施。

广州地区的地质条件及周边环境复杂、特点突出，具有地下水位高、水量大、地质特性不均、差异大等特点；在建设过程中，经历了许多未曾遇到的难题，所带来的施工风险、施工难度相当大。以“如何让盾构工程顺利实施”为核心，广州地铁在盾构隧道设计及施工领域，尝试了大量与盾构工法密切相关的各类技术方案、措施，取得了许多宝贵的成功经验及教训，值得认真研究总结。

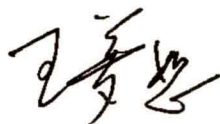
《复合地层盾构技术——广州地铁盾构工程的探索与实践》一书，是一本专业性、实践性很强的技术专著。当前关于盾构工程技术的论著较多，而本书的突出特点是：立足于广州地铁多条线路的建设实践，展现了盾构工程的最新技术及其应用，并通过工程实例进行解析；从设计到施工，不断总结经验，屏蔽掉许多表面的现象与数据，较系统、客观地反映了广州地铁盾构工程实践的

成果；语言简练、图文并茂，具有理论和现实的指导作用和应用价值，是盾构隧道技术领域的一部力作，丰富了我国盾构工程在复合、复杂地质条件下的建设经验，对我国地下隧道工程事业的发展具有推动引领作用。相信此书的出版，使人们有机会充分了解广州城市轨道交通建设的最新成就、丰硕的技术成果，对从事隧道设计、施工的同业读者，会大有裨益。

本书作者参加了除一号线之外所有广州地铁工程的建设，与各参建单位和人员紧密协作，攻克了盾构隧道在设计、施工中遇到的大量技术难题，钻研探索并敢于尝试新技术，通过认真分析总结，为我国的地铁和隧道工程技术发展提供了一份可贵的参考资料，有利于推动行业的科技进步，并迈上一个新台阶。

本书由中国建筑工业出版社付梓之余，欣然为序。

中国工程院院士



前 言

在交通出行压力日渐增大的情况下，国内一些主要大中城市都在积极进行轨道交通的建设。截至 2011 年底，全国已有 28 个城市开展城市轨道交通建设，中国已成为世界最大的城市轨道交通建设市场，其中上海、北京、广州已进入轨道交通网络化时期。

目前国内在建的地铁区间隧道，普遍采用盾构法、矿山法、明挖法施工。其中，盾构法为隧道的主要施工方法。

在建地铁的城市中，部分地区的地质情况较简单，如北京、沈阳以砂卵、黏土、粉质黏土为主；上海、天津以淤泥、淤泥质土、粉砂为主；杭州以淤泥、粉土、软黏土、粉细砂等地层为主，局部遇砂岩。更多的城市，随着线路不断向外延伸，地质情况逐渐呈多样化，如南京以淤泥、粉土、粉细砂为主，部分区间穿越各类风化泥岩、粉砂岩、砂岩、灰岩、安山岩、闪长岩等地层。而广州、深圳、福州等地，盾构隧道穿越的地层则较为复杂，有深厚富水易液化的砂层、易震陷的软弱淤泥，有强中微风化岩层，有遇水易泥化流淌的花岗岩残积层、球状风化孤石群，还有微风化花岗质岩等硬质岩石地层，是典型的复合地层。

广州地铁还有多条线路通过溶土洞和断裂带、含瓦斯的泥炭质煤层等不良地层。因此，广州常号称国内地铁城市的“地质博物馆”，广州地铁的盾构隧道均采用复合式盾构机进行施工。

广州地处珠江三角洲，河网纵横交错，地形地貌多样，老城区建筑物密集，道路狭窄，地面的施工环境恶劣。加上广州地铁盾构隧道遭遇的水文地质情况复杂，导致盾构工程在设计及实施阶段，不可避免地遇到各种技术难题，工程风险和难度巨大。部分工程在施工过程中曾举步维艰，艰苦实践的经验教训非常多，率先摸索、尝试了许多新工艺、新措施，盾构技术得到了很大提升。部分技术，是因非正常工期，在基本工法的基础上，做了因地制宜的改进，如

“先隧后站”；有的技术，可能只适用于特定工程背景；但更多的盾构新技术，具有通用性，对各兄弟城市的地铁建设而言，广州地铁在复合地层中，对盾构技术的探索与实践，十分有借鉴和参考意义。

广州自1993年开始兴建地铁，截至2012年，已建成并运营城市及城际轨道交通9条线，177站，236km，其中约200多公里为地下线路，盾构隧道长度约120km，约占总线路长度的50%。到2011年为止，广州地铁已有124台次的盾构机投入建设。

广州地铁四号线以前，主要采用进口新盾构机进行施工，在2005年，自五号线起，广州地铁的业主面临承建商大量使用旧盾构机的课题，于是着手对承建商的盾构机资源进行评估，最终大量启用旧盾构机进行施工。目前国内地铁市场的旧盾构机越来越多，一旦采用了旧盾构机，如何对旧盾构物尽其用，广州地铁对盾构机的评估、选用及改造的经验，值得总结、推广。

盾构机的掘进能力十分强大，但盾构机又不是万能的。要想充分发挥盾构机的施工功效、使盾构工程得以顺利实施，关键在于与盾构工法密切配合的各项技术措施。

立足于复合地层，围绕着“如何使盾构工程顺利实施”的核心，广州地铁尝试了大量与盾构工法密切相关的各类技术方案、措施：复合地层盾构隧道的设计方案；对硬岩、岩溶地层、花岗质岩地层等困难地层的处理方案；盾构的平衡始发、到达新技术；先隧后站技术；上下重叠、小曲率半径、大坡度、小间距盾构隧道施工的实施方

案中所有案例、数据，均来源于广州地铁的工程实践。部分技术措施，由于当时现场条件限制或决策时间的紧迫，不可能都尽善尽美。对部分措施或方案，存在的问题，能否进行优化、改进，本书也做了事后总结和反思。

没有广州地铁各盾构承建商的努力和艰辛实践，没有相关设计单位的积极配合，神马都是浮云。现在及曾在广州地铁总公司工作的各位同事、部分盾构承建商提供了许多宝贵的资料，在此一并表示衷心的感谢。

随着地铁建设线路的延伸，各类更新更复杂的问题将会不断涌现，“路漫漫其修远兮”，我们地铁人将继续努力，不断探索与实践。

目 录

第 1 章 复合地层盾构机的选型、旧盾构的评估及改造	1
1.1 复合式盾构机的选型	1
1.1.1 复合式盾构机类型	2
1.1.2 复合式盾构机选型	3
1.2 旧盾构机的评估、改造	5
1.2.1 招标阶段对盾构机的初步选型	5
1.2.2 盾构隧道施工标段划分	5
1.2.3 拟用盾构机适应性论证	7
1.2.4 旧盾构机的检测、评估、改造、维修保养	12
1.3 案例	14
1.3.1 九号线初设阶段盾构机的选型	14
1.3.2 有针对性的盾构机改造	18
1.3.3 盾构机改造不当的案例	28
第 2 章 复合地层盾构隧道的设计方案	31
2.1 盾构隧道的线路设计	31
2.1.1 复合地层的线路设计原则	31
2.1.2 案例	32
2.2 隧道结构侵限后的处理方案	35
2.2.1 侵限原因	35
2.2.2 调线调坡	36
2.2.3 调线调坡对侵限无能为力时	38
2.3 管片	38
2.3.1 广州地铁的管片概述	38
2.3.2 管片的选用	39
第 3 章 困难地层的处理方案	43
3.1 硬岩地层的处理方案	43
3.1.1 对复合地层硬岩的认识	43

3.1.2	复合盾构过硬岩地层的工法选择	46
3.1.3	盾构法与矿山法结合	52
3.1.4	盾构直接掘进通过全断面岩层	53
3.1.5	盾构法与地面预处理结合	53
3.2	岩溶地层的风险控制及综合处理技术	59
3.2.1	实践经历	60
3.2.2	风险控制体系	62
3.2.3	勘察	64
3.2.4	项目的“地质风险专项评估”	68
3.2.5	溶土洞的处理方案	71
3.2.6	施工阶段的环境保护	81
3.2.7	盾构施工应关注的问题	81
3.2.8	有待研究解决的问题	86
3.3	软弱地层的处理技术	87
3.3.1	地层加固范围	88
3.3.2	地层加固方法	88
3.3.3	结构预留注浆孔	90
3.3.4	软弱地层处理的质量控制及检测	90
3.3.5	盾构施工应关注的问题	91
3.4	花岗岩地层的综合处理技术	91
3.4.1	地层特点及常见问题	91
3.4.2	实践经历	92
3.4.3	盾构机的选用及配置	93
3.4.4	盾构施工应关注的问题	93
3.4.5	“孤石”的处理技术	95
3.4.6	上软下硬地层的综合处理技术	103
3.4.7	全断面硬岩的处理技术	104
3.4.8	换刀新技术——砂浆填仓置换技术	105
3.5	其他困难地层	108
3.5.1	工程概况	109
3.5.2	有害气体溢出	109
3.5.3	施工对策	111
3.5.4	建议	112
第 4 章	联络通道的实施方案	113
4.1	实施方案	113

4.1.1	隧道内加固地层、隧道内开挖联络通道	113
4.1.2	地面加固地层、隧道内开挖联络通道	113
4.1.3	竖井开挖联络通道	114
4.1.4	小结	114
4.2	隧道内加固地层、隧道内开挖联络通道	114
4.3	地面加固地层、隧道内开挖联络通道	115
4.4	竖井开挖联络通道	116
第 5 章	盾构端头的加固方案及始发、到达的新技术	117
5.1	端头加固目的	117
5.1.1	盾构端头加固的目的	117
5.1.2	施工配套措施	117
5.2	广州地铁常用的端头加固方案	118
5.2.1	地面加固	119
5.2.2	隧道内加固	124
5.2.3	地面加固与隧道内加固结合	127
5.3	洞门结构使用的新材料	128
5.3.1	FFU材料替代钢筋	129
5.3.2	玻璃纤维筋替代钢筋	132
5.4	平衡始发、到达新技术	133
5.4.1	传统端头加固方案存在的问题	133
5.4.2	平衡始发、到达技术	134
5.4.3	密闭钢套筒——可重复使用的盾构机始发、到达装置	134
5.4.4	盾构机在钢筋混凝土箱体中始发、到达	142
5.4.5	盾构机在土中到达的关键技术	148
5.4.6	平衡始发、到达技术小结	149
第 6 章	特殊技术的探索与实践	151
6.1	“先隧后站技术”之——“矿山法扩挖盾构隧道”修建地铁车站	151
6.1.1	修建地铁车站的技术	151
6.1.2	关键技术	154
6.1.3	实施效果	157
6.1.4	结论与讨论	160
6.2	“先隧后站技术”之——“明挖法扩挖盾构隧道”修建地铁车站	160
6.2.1	工程背景	160

6.2.2	工艺流程	160
6.2.3	关键技术	162
6.2.4	实施效果与讨论	164
6.3	盾构空推拼管片通过矿山法隧道	165
6.3.1	断面设计	165
6.3.2	空推荷载复核	165
6.3.3	工艺流程	166
6.3.4	施工关键技术	168
6.4	盾构在硬岩地层的掘进技术	169
6.4.1	常见问题及对策	169
6.4.2	主要施工技术	170
6.5	小曲率盾构隧道的修建技术	171
6.5.1	修建小曲率盾构隧道存在的问题	171
6.5.2	小曲率的始发技术	172
6.5.3	小曲率的到达技术	175
6.5.4	在小曲率地段掘进	177
6.5.5	盾构机在小曲率地段的施工技术小结	184
6.5.6	建议	185
6.6	上下重叠、小间距、大坡度盾构隧道的修建技术	186
6.6.1	工程概况	186
6.6.2	关键技术	187
6.7	土压平衡盾构机过长距离富水“半砂半土”、“半砂半岩”地层	189
6.7.1	土压盾构过砂层难点分析	189
6.7.2	经验与教训	193
	参考文献	195

第 1 章 复合地层盾构机的选型、旧盾构的评估及改造

复合地层：开挖断面范围内和开挖延伸方向上，由两种或两种以上不同地层组成（图 1-1、图 1-2），且这些地层岩土力学、工程地质和水文地质等特征相差悬殊，对各种工法的选择及其施工参数影响较大。

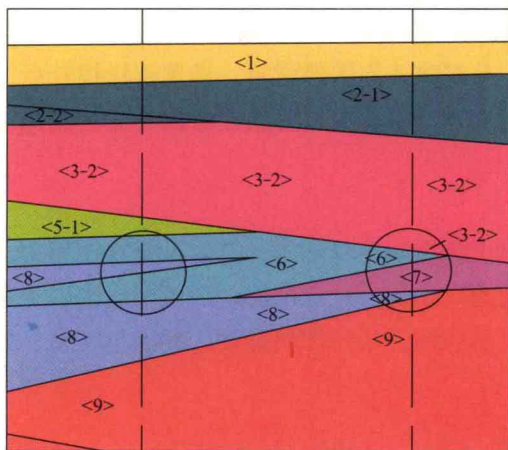


图1-1 隧道横断面上多种地层

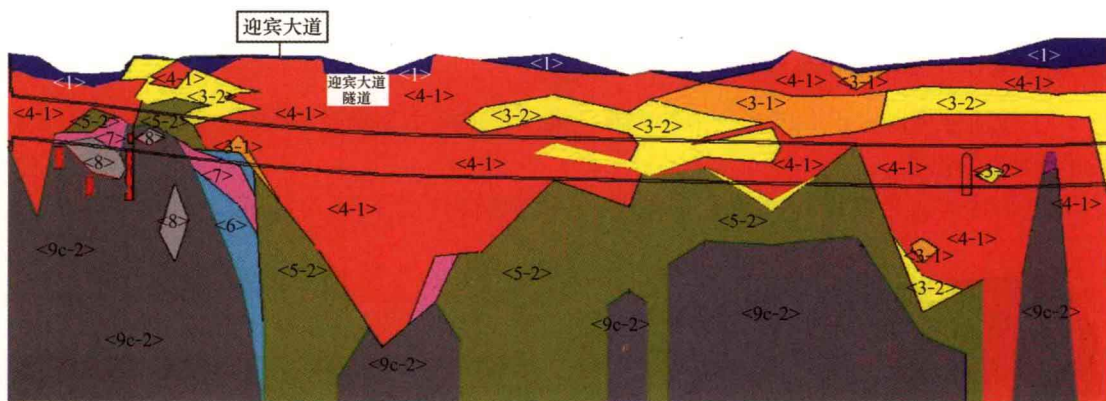


图1-2 隧道纵断面上多种地层（机场线高增~新机场南区间右线纵断面局部）

1.1 复合式盾构机的选型

盾构工法与明挖法、矿山法相比，有功效高、衬砌质量好、安全、环保等优势，目前

采用盾构工法施工地铁隧道已成为共识。

1.1.1 复合式盾构机类型

为保证地铁隧道顺利实施，复合式盾构机的选型必须做到针对不同的工程、不同的地质特点、周边环境沉降控制要求、施工场地状况和施工成本，进行“量体裁衣”式设计和选型。广州地铁土压平衡盾构机和泥水平衡盾构机均有采用，以土压平衡盾构机为多，泥水平衡盾构机在软弱地层、穿越珠江水系的复合地层中优先采用。由于广州地铁盾构工程采用单线单洞的隧道，断面有限，因此未采用同时具备土压和泥水功能的混合式盾构机。

1. 复合式土压平衡盾构机

复合式土压平衡盾构机（图 1-3），刀盘旋转切削开挖面土体，螺旋输送机排土。切削下来的土体，被加入人造泥浆或泡沫等材料，经搅拌棒搅拌后，形成具有流动性、止水性、可塑性的介质，充满土仓及螺旋输送机内，盾构刀盘的支撑与螺旋出土器的闭塞效应平衡开挖面的水土压力。

(1) 优点

可通过螺旋输送的出土量控制土仓土压，有效抵抗水土压力，保持工作面稳定，沉降控制较好；地质适应范围较广，适合复合地层；还可根据围岩状态，切换为欠土压和开放模式掘进，降低能耗、机具磨损，从而加快进度；弃土较容易，处理费用较低，人造泥浆设备规模较小。

(2) 缺点

若地层裂隙水发育或地下水压较大、地层富水性较强、渣土和易性差，则有可能产生喷涌，工作面压力难以平衡；遇砂砾含量较高地层，刀盘刀具磨损较快，需勤检查、勤更换；遇黏土地层，易形成泥饼。

2. 复合式泥水平衡盾构机

工作面被加以大于孔隙水压力的泥浆，表面形成泥水黏膜及渗透膜，在刀盘配合下使工作面得以稳定。

复合式泥水平衡盾构机（图 1-4），工作面与盾构机之间设有隔板，在隔板的密封舱

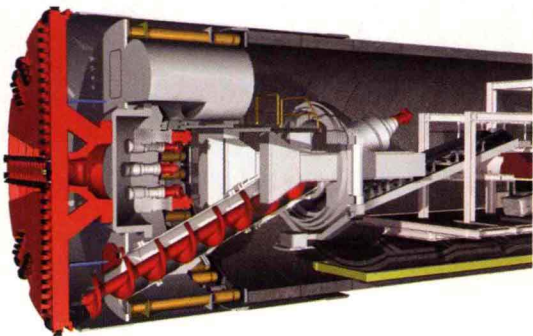


图1-3 复合式土压平衡盾构机

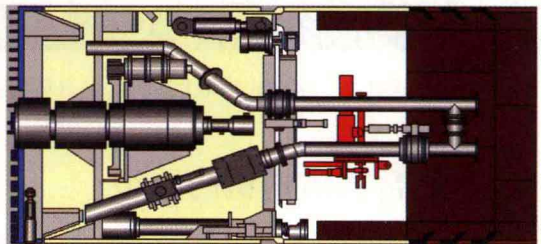


图1-4 复合式泥水平衡盾构机

中，刀盘切削的土体，进入密封舱与泥水混合后，形成高密度泥浆，渣土随着高密度泥浆，由排泥泵及管道输送至地面处理。

(1) 优点

易控制泥水压力与工作面水土压力平衡，可保持工作面稳定，沉降控制较好；排土采用泥水管输送，水压较高地段也不会出现喷涌现象；由于使用泥水，需用扭矩较小，单位进尺刀具磨损量比土压盾构要小。

(2) 缺点

如果地层渗透系数较高或存在空洞，则易泥浆渗漏，难以保证掌子面的泥水压力；若遇到断裂破碎带或大砾石或大泥团地段，排泥口有可能堵塞，导致压力波动，工作面不稳定；遇到黏土地层也存在积泥饼、排泥口堵塞的问题，导致土仓切口水压波动，工作面不稳定。泥水的弃浆量大；泥水处理设备占地大；弃土费用较高。由于泥浆循环设备的限制，泥水盾构的功效不会过高。

1.1.2 复合式盾构机选型

复合式盾构机的选型，经典的选型理论是考虑地质情况，主要与地层的渗透系数、岩石的颗粒含量有关。目前盾构机选型，还需考虑社会环境影响、施工成本及施工场地等因素。

1. 根据地质情况

(1) 地层的渗透系数

土层渗透系数大于 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{m/s}$ 时，宜选用复合式泥水平衡盾构机，反之，宜选用复合式土压平衡盾构机（图 1-5）。

如地层以各种级配富水的砂层、砂砾层为主时，选择复合式泥水盾构机是适合的。

(2) 岩石的颗粒含量

当岩石粉粒和黏粒的总量达到 30%~40% 以上时，通常会选用土压平衡盾构机，否则选择复合式泥水盾构（图 1-6）。粉黏粒以 0.075mm 为界。

对开挖土体改良（如添加泡沫、高分子材料等），扩大了复合式土压平衡盾构适应的地层范围，使得复合式土压盾构在砂层中施工成为可能。譬如广佛线季华园~同济站~祖庙区间，粉粒和黏粒的总量为 15.3%~23.5%，砂粒含量为 55.4%~83.5%，采用复合式土压盾构，通过采用在刀盘前方注入 TAC 高分子材料、水、泡沫以及膨润土等渣土改良材料，辅以掘进控制措施，在长距离半砂半岩地层中掘进时取得成功。

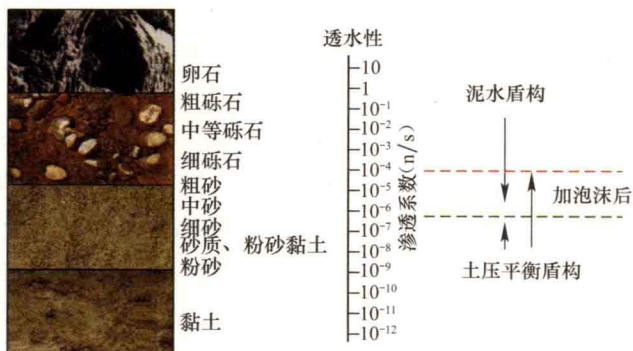


图1-5 根据地层的渗透系数进行选型

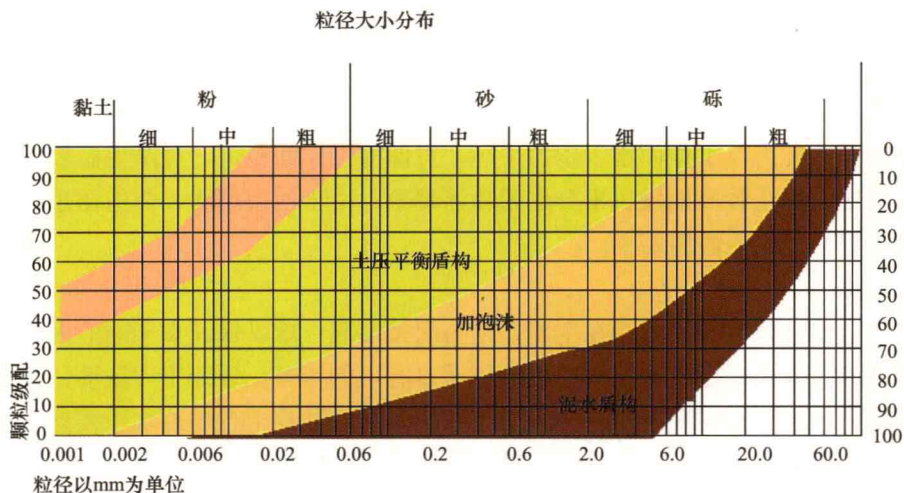


图1-6 根据岩土颗粒进行选型

但在长距离的富水砂层中掘进，宜首选泥水盾构机；若选择土压平衡盾构机，施工管理劳心劳力；在地面或隧道内对渣土进行改良，施工成本较高；而施工综合功效，始终逊色于同厂家品牌的复合式泥水盾构机。

2. 考虑社会环境影响

盾构施工势必对地层产生扰动，对周边环境会产生一定影响。

(1) 宜选择复合式泥水平衡盾构机的情况

1) 沿线有敏感建（构）筑物

当隧道沿线临近的地面建（构）筑物对地层沉降敏感时，譬如隧道沿线有大量天然基础或摩擦桩的建（构）筑物时，应选择复合式泥水平衡盾构机施工。

2) 隧道断面存在长距离的上软下硬复合地层、长距离砂层

隧道断面上部为易塌、下部为坚硬的所谓“上软下硬”复合地层，尤其是隧道断面有较长距离的富水砂层、“半砂半土”、“半砂半岩”地层时，应选择复合式泥水平衡盾构机。

国内地铁单线盾构隧道的开挖断面大多在 6.5m 以内，属于中等断面隧道。广佛线季华园～同济路区间，采用土压平衡盾构机，在长距离砂层、在半土半砂、半砂半岩地段，通过渣土改良、施工掘进控制等一系列手段，基本能维持掌子面的平衡，地面沉降虽基本可控，但施工管理十分劳心劳力。

当隧道断面进一步加大时，譬如珠三角城际铁路，管片结构外径为 8.5m，为中大断面的盾构隧道。采用土压平衡盾构机施工，即使采取了一系列的措施，在长距离砂层、半土半砂、半砂半岩地段掘进，地面沉降仍难以得到理想控制。

3) 隧道过富水的破碎带，为防喷涌，宜选用复合式泥水平衡盾构机。

4) 大断面复合地层的隧道，为更好地保证掌子面的稳定，应选择复合式泥水平衡盾构机。

(2) 其他情况

隧道过贫水的破碎带、断裂带，可选用复合式土压平衡盾构机。

一些特殊的地层，如岩溶发育区、花岗岩球状风化地层等，要具体分析。

3. 施工成本因素

目前部分承建商有一定数量的闲置盾构机，但盾构机类型较单一，如有的承建商自有的盾构机以土压为主，有的承建商自有的盾构机以泥水为主时，因此承建商在中标后，在盾构机选型时，往往优先考虑物尽其用，将现有的旧盾构用于施工。

4. 施工场地因素

泥水盾构施工需要始发施工场地相对较大，当场地严重不足时，也会成为盾构机选型的制约因素。

1.2 旧盾构机的评估、改造

广州地铁一号线盾构区间由日本承建商施工，共投入3台日系盾构机。二号线盾构区间施工引入国内的施工单位，共投入6台复合式盾构机，有进口新盾构机，也有旧盾构机，其中2台为一号线遗留下来的经改造过的日系旧盾构机。总之，广州地铁一至四号线，盾构区间以新盾构机为主，直至2005年五号线，广州地铁的业主终于面临承建商大量使用复合式旧盾构机的课题。于是广州地铁着手对所有在广州施工的盾构机资源进行评估，开启了大规模启用旧盾构的新篇章。

广州地铁经过多年的探索与实践，已基本走完了被动接受盾构机的初级阶段，进入到对盾构机主动提需求、主动评估的阶段。目前国内地铁市场的旧盾构机越来越多，如何对旧盾构物尽其用，广州地铁对旧盾构机的选用、评估、改造经验值得总结、推广。

1.2.1 招标阶段对盾构机的初步选型

广州地铁在施工招标设计甚至初步设计阶段就组织盾构机专家，根据水文地质情况、社会环境影响（如：穿越建（构）筑物对地层沉降敏感性），对盾构机进行初步选型，并把对盾构施工配套设施的要求，纳入施工招标文件。

建议：一些重要的盾构施工配套设施，施工招标文件应有提醒。例如：遇富水断裂破碎带，若选用土压盾构，需配置防喷涌措施，如保渣泵（图1-7）、双螺旋输送机（图1-8）；在岩溶发育地区，隧道内是否配置注浆自动记录仪；在花岗岩残积地层中，应配备液压破碎锤对付球状花岗岩体（图1-9）；遇复合地层，常需人工进仓换刀，应配备能压气作业的人仓系统。

1.2.2 盾构隧道施工标段划分

一般情况下，一条地下线路，土建加机电系统共需5年的建设工期，工程筹划中，一

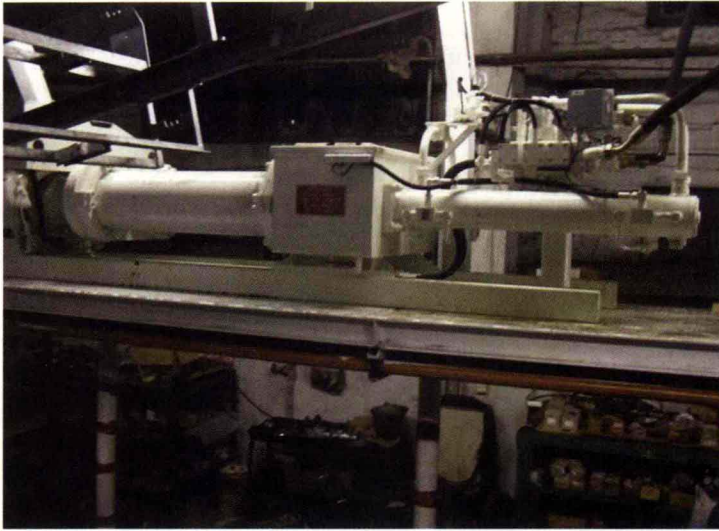


图1-7 保渣泵

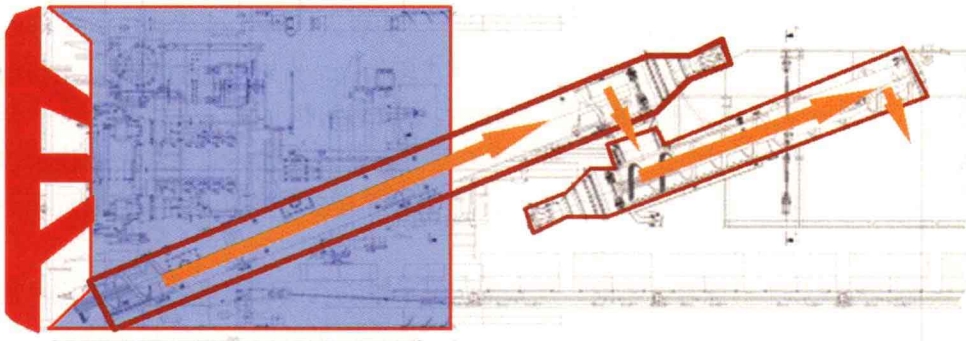


图1-8 采用双螺旋输送机预防喷涌（广州六号线大坦砂~黄沙区间）

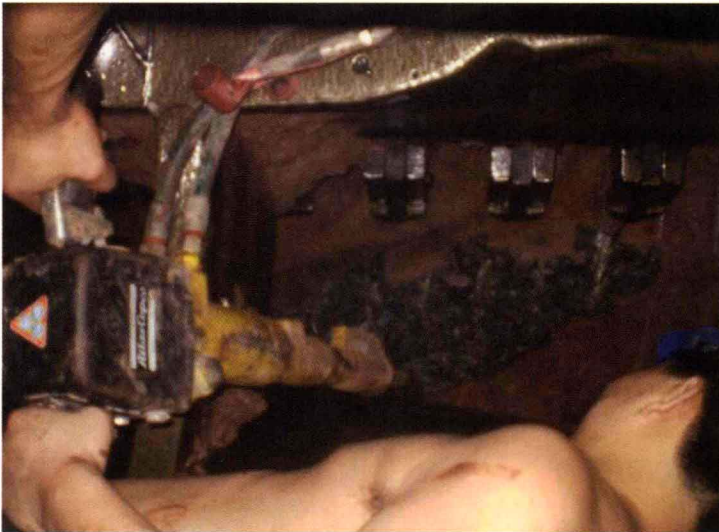


图1-9 采用液压破碎锤破碎球状花岗岩