

盾构隧道施工手册

DUNGOU SHUIDAO SHIGONG SHOUCHE

张凤祥

傅德明

杨国祥

项兆池

编著



人民交通出版社

China Communications Press

盾构隧道施工手册

张凤祥 傅德明 编著
杨国祥 项兆池

人民交通出版社

内 容 简 介

本书共 16 章,全面系统简明地阐述了盾构隧道的建造原理,勘察方法,设计方法,施工方法,施工设备、机具、器材,信息化施工监测方法,全面质量管理方法,防止施工事故的措施及典型的施工实例。重点强调近年推出的新技术、新工艺、新设备、新材料。全书始终贯穿以优质施工为主题的宗旨。本书对当前我国的地铁、污水排放、引水供水工程、江河湖海底隧道、电力、电信洞道等建设工程项目的设计、施工、管理均有较大的借鉴价值和指导意义。

本书可作为广大盾构隧道的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员、工程勘察人员及高校教师的业务参考书,也可作为相关专业研究生、本科生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

盾构隧道施工手册/张凤祥,傅德明,杨国祥等编著.
北京:人民交通出版社,2005.5
ISBN 7-114-05572-2

I.盾... II.①张...②傅...③杨... III.隧道工程-盾构(隧道)-工程施工-技术手册
IV.U455.43-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 048813 号

书 名:盾构隧道施工手册

著 者:张凤祥 傅德明 杨国祥 项兆池

责任编辑:孙 玺

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:44.5

字 数:1114 千

版 次:2005 年 6 月第 1 版

印 次:2005 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-114-05572-2

印 数:0001~3000 册

定 价:75.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

所谓盾构隧道施工方法(以下称为盾构工法),即用盾构掘削机挖土排土构筑隧道的工法。盾构工法属暗挖法。其优点是:对环境的影响小;掘进不受地形、地貌、江河水域等地表环境条件的限制;地表占地面积小;适于大深度、大地下水压施工;挖土、排土量少,故成本低;抗震性好;适用地层土质范围宽等。目前盾构工法已在地铁隧道,污水排放隧道,江河湖海底交通隧道,电力、电信、供水、引水、供气及共同沟等城市隧道的建造中占有绝对的统治地位。

盾构自 1841 年首次掘进成功以来,至今已有 164 年历史。多年来盾构技术一直不断地进步,国际上近 20 年来盾构技术无论从盾构机的设计、制造、运行控制技术,还是衬砌设计、制作方法、搬运组装,泥水(泥土)输入设备、泥水(泥土)排放设备,施工的全面质量管理方法,施工对环境的影响预测等方面来讲均有较大的突破。

20 世纪 90 年代以来我国盾构工法的发展速度极快,成绩卓著(详见 1.3 节的叙述),业已成功地掌握了土压盾构、泥水盾构技术,仅上海市就建造了地铁盾构隧道 100km 以上,穿越江底的大断面盾构隧道($\phi 11.22\text{m}$)5 条。目前我国在上述领域业已步入世界先进行列。

但是总的来说,我国的盾构技术与国际上的先进国家相比,还存在着不小的差距。

①就土压盾构、泥水盾构技术而言,诸多技术细节(如泥水成分的配比,注入压力,出泥、出土等技术参数的优化选取,排出废泥的再利用,自动施工及管理)均需改进提高。

②多种特种施工技术(如盾构地中对接技术,小曲率半径施工技术,大坡度施工技术,大口径盾构技术,高速施工技术,大深度高水压施工技术,长距离连续掘进技术,NOMST 工法,EW 工法,陀螺自动测量系统,模糊方向控制系统,纽拉尔网络方向控制等)尚属空白。

③特种盾构工法(如双圆搭接、三圆搭接盾构工法,矩形断面、椭圆断面、马蹄形断面等自由断面工法,球体盾构工法,母子盾构工法,扩径盾构工法,扭曲变位盾构工法等)也属空白。

另一方面,近年来我国的盾构隧道工程的社会需求量极大,故从业新军(单位、人员)的数量迅速猛增。

总之,无论是赶上国际先进水平,缩短差距的需要,还是新军提高业务素质的需要,都表明广大从业人员均迫切希望全面阐述盾构隧道技术原理、优点、用途、勘察,盾构选型设计、施工方法、应急措施、施工设备、自动测量控制系统、施工监测管理系统及各种各样施工实例的系统精典简明的技术专著问世。然而这种技术专著目前尚属空白,为此我们编写了《盾构隧道施工手册》一书。

本书的特点是:

①全书取材侧重源于工程实践的新工法、新技术、新设备、新材料,出发点注重实用价值,即提高工程质量、降低成本、缩短工期。

②内容新颖、全面系统、言简意明。

③书中给出大量典型的工程实例。这些实例中均给出了施工方法选用、施工设备(性能、规格)、管理基准、检测方法的依据及施工的结果等等,完全可以借鉴或套用。

④书中介绍的勘察方法、检测方法及其设备,均力求国际标准化、通用化,以便于结果对

比。

⑤书中对施工设备、器材的选用原则、方法等细节问题叙述地详细、透彻,系以往文献中所少见。

本书的出版对我国当前的地铁工程、水底交通隧道、长距离引水隧道、城市污水排放隧道,供水、供气、通信电缆、电力电缆、输油等管道,地下蓄水池、地下商场等建设工程均有指导意义和促进作用。

然而由于作者水平有限,书中的错误和不足在所难免,望批评指正。

本书由张凤祥、傅德明、杨国祥、项兆池策划编写。具体分工如下:

张凤祥:1.1节、1.2节,2、3、4、7、8、10、11、12、15章。

傅德明:1.3节、5.1节、5.2节、5.3节,6、13、14、16章。

项兆池:5.4节、5.5节、9章。

全书稿件由张凤祥、傅德明统稿。

张冠军高级工程师、李炯工程师分别审阅过有关章节,并提出过宝贵的意见。

楼如岳、张洁萍、韦秀英、孙艺培、颜天文、张瑞兰、王磊、许岳生对原稿进行了打印(包括制图)及校对,这里一并致以深切的谢意。

作者

2004年10月

于上海隧道施工技术研究所

目 录

第1章 盾构技术进展概况

1.1 引言	1
1.2 盾构法隧道的发展历史、技术现状和发展动向	1
1.3 我国盾构技术的发展历史和现状	6

第2章 勘察和规划

2.1 勘察	8
2.1.1 勘察目的及内容	8
2.1.2 规划勘察	9
2.1.3 设计勘察	10
2.1.4 施工勘察	11
2.1.5 跟踪勘察	12
2.2 勘察方法	12
2.2.1 环境勘察方法	12
2.2.2 土质原位试验概述	15
2.2.3 静力触探	18
2.2.4 标准贯入试验	33
2.2.5 膨胀计	62
2.2.6 数字钻孔参数记录仪	68
2.2.7 旋转触探法	73
2.3 盾构隧道断面、线形规划	87
2.3.1 盾构隧道种类、断面及线形	87
2.3.2 铁路隧道、公路隧道	89
2.3.3 下水道盾构隧道	95
2.3.4 供水隧道	99
2.3.5 电力、通信电缆隧道	99
2.3.6 共同沟隧道	100

第3章 盾构的基本构造

3.1 盾构机体的构成	101
3.1.1 外壳	101
3.1.2 盾构机尺寸、重量的确定	103
3.1.3 尾封	105

3.1.4	中折装置	105
3.2	推进机构	106
3.2.1	装备推力	106
3.2.2	盾构千斤顶	108
3.3	挡土机构	109
3.4	掘削机构	110
3.4.1	刀盘的构成及功能	110
3.4.2	刀盘与切口环的位置关系	110
3.4.3	刀盘形状	110
3.4.4	掘削刀具	112
3.4.5	刀盘的支承方式	113
3.4.6	驱动机构	114
3.4.7	装备的掘削扭矩	114
3.4.8	土砂密封	115
3.5	添加材注入装置(土压盾构)	115
3.5.1	添加材	115
3.5.2	注入装置	115
3.6	搅拌机构	116
3.7	排土机构	116
3.7.1	螺旋输送机	117
3.7.2	排土控制器	117
3.8	泥水盾构的送排泥水机构	118
3.9	管片拼装机构	118
3.9.1	举重臂	118
3.9.2	真圆保持器	119
3.10	油压机和电气设备	120
3.10.1	油压机械	120
3.10.2	电气设备	121
3.11	特种盾构机的构造特征	121
3.11.1	适于长距离掘进的盾构机的构造特征	121
3.11.2	高速施工时盾构机的构造特征	122
3.11.3	大深度(高地下水压)时盾构机的构造特征	122
3.11.4	大断面时盾构机的构造特征	122
3.11.5	小曲率半径盾构机的构造特征	123
3.11.6	大坡度施工时盾构机的构造特征	123
3.11.7	地中对接盾构机的构造特征	123

第4章 盾构的种类及选型

4.1	盾构机的种类	124
------------	---------------------	------------

4.2 全敞式盾构机	126
4.2.1 人工式盾构机	126
4.2.2 半机械式盾构机	127
4.2.3 机械式盾构机	128
4.3 挤压盾构	129
4.4 盾构工法的选择	130

第5章 泥水盾构工法

5.1 概述	134
5.2 泥水稳定掘削面的机理	134
5.2.1 泥水的功能	134
5.2.2 成膜状态	135
5.2.3 泥水构成及性能要求	136
5.2.4 泥水性能测定及调整	137
5.2.5 泥水压力的设定	138
5.3 泥水盾构机的一些特点	139
5.4 泥水输送循环系统及设备	141
5.4.1 系统构成	141
5.4.2 泥水输送设备	141
5.4.3 泥水输送循环系统设计	143
5.4.4 泥水输送设备规格计算实例	148
5.4.5 泥水处理	152
5.5 泥水盾构劳动力组织	155

第6章 土压盾构工法

6.1 概述	159
6.2 工法基本原理	159
6.2.1 稳定掘削面的机理及种类	159
6.2.2 构成系统	160
6.3 削土加压盾构	161
6.4 加水土压盾构	162
6.5 加泥土压盾构	163
6.6 复合土压盾构	165
6.6.1 引言	165
6.6.2 工作原理	167
6.6.3 施工注意事项	168
6.6.4 广州地铁二号线工程实例	169
6.6.5 新加坡污水工程实例	175

第7章 管片设计

7.1 衬砌与管片	178
7.1.1 衬砌的构成及作用	178
7.1.2 管片的构造及术语	179
7.2 管片的种类	186
7.3 管片设计	189
7.4 衬砌荷载的种类及设计考虑	190
7.4.1 竖直和水平土压力	191
7.4.2 水压力	192
7.4.3 自重荷载	192
7.4.4 上覆荷载的影响	193
7.4.5 地层反力	193
7.4.6 施工荷载	194
7.4.7 内部荷载	195
7.4.8 地震力荷载	196
7.4.9 平行设置隧道的影响	198
7.4.10 近接施工的影响	200
7.4.11 地层沉降对隧道的影响	200
7.4.12 其他荷载	201
7.5 衬砌材料	201
7.5.1 材料概述	201
7.5.2 材料试验	205
7.5.3 材料的弹性模量及泊松比	205
7.5.4 材料的允许应力	206
7.6 管片构造计算	210
7.6.1 计算原则	210
7.6.2 管片截面内力计算	210
7.6.3 管片构件设计	216
7.6.4 管片设计细节	222
7.7 管片设计实例	228
7.7.1 设计条件	228
7.7.2 平板型钢筋混凝土管片设计	228
7.7.3 箱型钢管片设计	235
7.8 管片制造	241
7.8.1 制造要领	241
7.8.2 尺寸精度	241
7.8.3 制造程序及质量管理项目	243
7.8.4 标志	244
7.8.5 混凝土管片的质量管理	244

7.9 管片的贮存及搬运	246
7.9.1 贮存	246
7.9.2 搬运	247

第8章 二次衬砌的设计及施工

8.1 设置二次衬砌的目的	248
8.2 二次衬砌的设计	248
8.2.1 二次衬砌的分类	248
8.2.2 截面力计算及二次衬砌厚度	249
8.2.3 维护结构二次衬砌的设计	250
8.2.4 部分主体结构二次衬砌的设计	250
8.3 二次衬砌的施工	250
8.3.1 施工程序	250
8.3.2 混凝土作业	251
8.3.3 模板作业	253
8.3.4 钢筋施工	254
8.4 脱模时二次衬砌的稳定性评价	254
8.4.1 结构分析模型与结构稳定评价方法	254
8.4.2 短龄期混凝土物理参数的特征	255
8.4.3 工程现场的施工管理(累积温度的运用)	256
8.4.4 现场试验施工	256
8.5 防止二次衬砌裂缝及防水措施	258

第9章 衬砌防水措施

9.1 管片接缝防水	260
9.1.1 盾构法隧道防水等级和措施	260
9.1.2 单层衬砌防水	261
9.1.3 双层衬砌防水	265
9.2 防水密封垫	272
9.2.1 防水密封垫材料	273
9.2.2 密封垫种类和选型	273
9.2.3 防水密封垫制作、设置要求和性能检验	281
9.2.4 施工工艺	285
9.3 嵌缝防水	286
9.3.1 嵌缝材料和嵌缝范围	287
9.3.2 嵌缝工艺	288
9.4 管片螺孔防水、外防水和承压传力衬垫	289
9.4.1 管片螺孔防水	289

9.4.2 管片外防水	289
9.4.3 承压传力衬垫	291
9.5 盾构法隧道渗漏水治理	292
9.5.1 渗漏水调查	292
9.5.2 渗漏水治理	296
9.5.3 渗漏水治理工程实例	300

第10章 背后注浆

10.1 土质条件和背后注浆浆液的选择	306
10.2 注入时期和注入方法	308
10.3 注入压力和注入量	310
10.3.1 注入压力	310
10.3.2 注入量的估算	310
10.4 防止泄漏的措施	313
10.5 二次注入	313
10.6 背后注浆的设备	313
10.6.1 注入设备	315
10.6.2 制浆设备	323
10.6.3 自动背后注入设备	326
10.6.4 控制系统	326
10.7 背后注浆的施工	330
10.7.1 施工中的注意事项	330
10.7.2 输浆管和管内疏通	331
10.7.3 小曲率半径施工和背后注浆	332
10.7.4 施工中的问题	334
10.8 背后注浆的施工管理	336

第11章 辅助工法

11.1 辅助工法概述	338
11.1.1 稳定地层的辅助工法	338
11.1.2 保护环境的辅助工法	341
11.2 压气盾构工法	343
11.2.1 压气盾构工法的原理	343
11.2.2 气压与地下水压的关系	344
11.2.3 气压与地层的关系	344
11.2.4 压气设备	346
11.2.5 防止漏气的措施及停气	348
11.3 降低地下水位法	348
11.3.1 井点法	349

11.3.2	深井法	349
11.3.3	先期隧洞法	350
11.4	注浆工法	351
11.4.1	浆材、浆液及特性	351
11.4.2	浆液的分类及其选择	355
11.4.3	注浆工法	383
11.4.4	注浆的设计及施工的考虑	397
11.4.5	注浆施工管理	411
11.5	注浆效果勘察	420
11.5.1	概述	420
11.5.2	$p \sim q$ 法	424
11.5.3	电探法	425
11.6	高压喷射搅拌工法	438
11.6.1	高压喷射搅拌工法的概况	439
11.6.2	高压射水(气)旋喷浆液工法的施工实例	442
11.7	冻结法	445
11.7.1	盐水冻结法	445
11.7.2	冻结法的优点	446
11.7.3	选用冻结法时的注意事项	447

第 12 章 盾构隧道竖井的设计与施工

12.1	盾构隧道竖井的种类	448
12.1.1	进发竖井	448
12.1.2	到达竖井	449
12.1.3	中间竖井	449
12.2	竖井断面形状	450
12.3	竖井构筑工法	451
12.3.1	钢板桩竖井	453
12.3.2	SMW 竖井	454
12.4	沉井竖井工法	454
12.4.1	沉井的定义、构造、特点及分类	454
12.4.2	沉井设计	457
12.4.3	施工方法	461
12.5	沉箱竖井工法	474
12.5.1	压气沉箱工法	474
12.5.2	排水沉箱工法	475
12.5.3	防渗工法	475
12.5.4	无人遥控沉箱工法	476
12.6	地下连续墙竖井工法	479
12.6.1	地下连续墙竖井的设计	479

12.6.2	地下连续墙竖井的施工	483
12.7	竖井的设计	485
12.8	地下连续墙竖井工程实例	488
12.9	沉井竖井工程实例	492
12.9.1	压入钢环沉井竖井施工实例	492
12.9.2	盾构直接进发掘削圆柱形压入沉井竖井实例	496
12.10	沉箱竖井工程实例	501
12.10.1	压沉沉箱施工实例	501
12.10.2	自动化沉箱施工实例	503
12.11	球体盾构竖井	508
12.11.1	工法概况	508
12.11.2	施工方法	509
12.11.3	竖井设计	511
12.12	球体盾构竖井施工实例	513
12.13	NOMST 工法	516
12.13.1	NOMST 工法问世的必然性	516
12.13.2	NOMST 用料的选定	517
12.13.3	NOMST 用材的力学特性	519
12.13.4	NOMST 的种类	520
12.13.5	NOMST 预制件的设计	520
12.13.6	NOMST 工法的施工顺序	521
12.13.7	进发掘削确认试验	522
12.14	NOMST 工法软地层中盾构进发实例	524
12.14.1	工程概况	524
12.14.2	新材料混凝土部材的设计	526
12.14.3	地下连续墙的施工	527
12.14.4	盾构的进发	528
12.14.5	结束语	531
12.15	电蚀直接进出井工法	532
12.15.1	工法原理	532
12.15.2	施工程序	532

第 13 章 盾构掘进及施工管理

13.1	进发与到达	535
13.1.1	进发工法分类	535
13.1.2	进发设备	536
13.1.3	进发作业	538
13.1.4	到达前的有关事项	538
13.1.5	到达作业	539
13.2	盾构掘进管理	540

13.2.1	掘进管理的内容	540
13.2.2	泥水盾构的掘进管理	540
13.2.3	土压盾构的掘进管理	545
13.2.4	衬砌管理	548
13.3	盾构隧道路线测量及控制	551
13.3.1	地表基本测量	551
13.3.2	盾构洞内测量	552
13.3.3	盾构机方向控制	555
13.3.4	小结	557
13.4	急弯施工	557
13.4.1	对盾构机的要求	557
13.4.2	对管片的要求	559
13.4.3	地层加固	560
13.4.4	背后注浆	561
13.5	地中对接工法	561
13.5.1	辅助加固对接法	561
13.5.2	机械式地中对接法	562
13.5.3	机械式地中对接的技术关键	563

第 14 章 盾构掘进对地层的影响及保护措施

14.1	盾构掘进对地层的影响	564
14.1.1	盾构引起土体位移的理论和实践	564
14.1.2	地层位移的计算和预测	566
14.2	盾构施工监测的内容和方法	569
14.2.1	盾构施工监测的目的和内容	569
14.2.2	盾构施工监测的方法	569
14.2.3	盾构施工监测的设计布置	570
14.2.4	盾构施工监测数据整理	572
14.3	盾构邻近施工和对策	573
14.3.1	盾构邻近施工中的主要问题	573
14.3.2	盾构邻近施工的动态预测	574
14.3.3	邻近构筑物保护的标准	575
14.3.4	邻近施工的对策及技术措施	576
14.3.5	基础托换	577
14.3.6	障碍物对策	583

第 15 章 特种盾构工法

15.1	土压双圆搭接盾构工法	585
15.1.1	泥土双圆搭接盾构机的优点	585

15.1.2	泥土双圆搭接盾构机的特点	586
15.1.3	双圆搭接盾构隧道的管片	587
15.1.4	施工管理	588
15.2	三圆搭接站盾构工法	589
15.2.1	三圆搭接站盾构工法的概况及特点	591
15.2.2	三圆搭接站盾构机的基本构造	592
15.2.3	摆动掘削实验	595
15.2.4	盾构的特殊机构	599
15.3	球体盾构及其应用	600
15.3.1	球体盾构工法	600
15.3.2	从纵到横的施工顺序	603
15.3.3	球体盾构工法的优点与用途	604
15.3.4	球体盾构工法在地下雨水贮水池构筑中的应用事例	607
15.4	矩形断面盾构	614
15.4.1	开发矩形盾构的必然性	614
15.4.2	圆弧矩形盾构工法	615
15.4.3	圆弧矩形管片	618
15.4.4	矩形衬砌的背后注浆	618
15.5	ECL工法	629
15.5.1	ECL工法概述	629
15.5.2	工程实例	630

第16章 工程实例

16.1	上海越江盾构隧道工程	634
16.1.1	上海黄浦江越江隧道工程建设概况	634
16.1.2	大连路隧道工程概述和工程设计	635
16.2	上海地铁2号线区间隧道直径6.34m土压盾构施工	650
16.2.1	工程概况	650
16.2.2	工程地质及环境保护要求	651
16.2.3	φ6.34m土压盾构	651
16.2.4	盾构在动载条件下穿越地铁1号线施工技术	653
16.2.5	穿越特殊管线施工技术	654
16.2.6	盾构穿越名城广场地下室施工	655
16.2.7	盾构穿越全断面粉砂土层	656
16.3	日本东京湾跨海公路隧道工程	657
16.3.1	设计中的几个重点考虑	657
16.3.2	掘进施工	667
16.4	英法海峡隧道工程	684
16.4.1	工程概况	684
16.4.2	盾构掘进机简介	685

16.4.3	英国一侧隧道掘进施工	686
16.4.4	法国一侧隧道掘进施工	688
16.4.5	掘进施工中的地层探测和贯通测量	689
16.5	德国汉堡易北河第四隧道工程	690
16.5.1	工程概况	690
16.5.2	φ14.20m 盾构机的特点	691
参考文献	695

第1章 盾构技术进展概况

1.1 引言

盾构实际上是盾构机的简称。它是一个横断面外形与隧道横断面外形相同、尺寸稍大,内藏挖土、排土机具,自身设有保护外壳的用于暗挖隧道的机械。以盾构为核心的一整套完整的隧道施工方法称为盾构工法,如图 1.1 所示。盾构工法的设想于 19 世纪初产生于英国,至今已有 200 年的历史。盾构工法问世以前隧道施工主要靠开挖法。就城市隧道施工而言,开挖法存在受地形、地貌、环境条件的限制,开挖法给城市交通带来极大不便,开挖产生的地层沉降较大,施工机械的噪声和振动,施工对环境构成的污染等诸多不利因素。相对而言,盾构工法不存在这些缺陷,故受到人们的极大重视,并得以迅速发展。人们不仅开发了软土盾构工法,而且还开发了适于卵石地层等其他多种地层的盾构工法;此外,还在提高安全性、提高工程质量、缩短工期及降低成本等方面进行了精心的研究和开发,并取得了较大的成功。目前盾构工法在城市隧道施工技术中已确立了稳固的统治地位,且已成为一种必不可少的通用隧道施工技术。

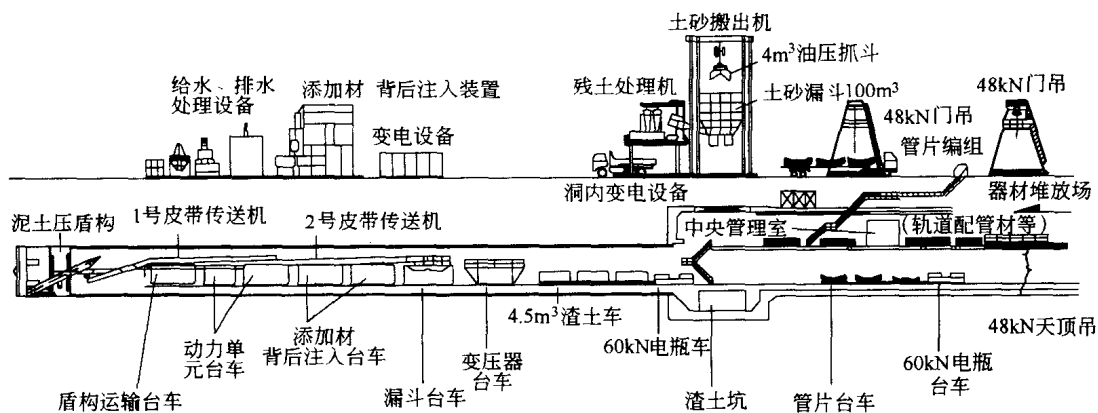


图 1.1 盾构工法概念图

目前隧道科技工作者正在致力于更先进的全机械化的计算机控制的智能化的盾构工法、适于地下大深度的盾构工法及特殊断面、特殊功能的盾构工法的研究和开发。

1.2 盾构法隧道的发展历史、技术现状和发展动向

1. 发展历史

18 世纪末英国人提出在伦敦地下修建横贯泰晤士河隧道的构想,并对具体的掘削工法和使用机械等问题做了讨论。从 1798 年开始着手工作希望实现这个构想,但由于竖井挖不到预