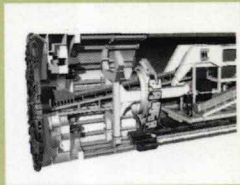
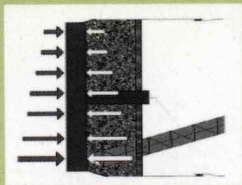
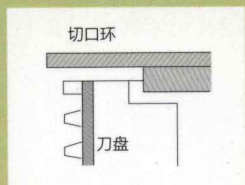
 全国职业教育规划教材

盾构构造及应用

DUNGOU GOUZAO JI YINGYONG




主 编 吴巧玲

主 审 方新强

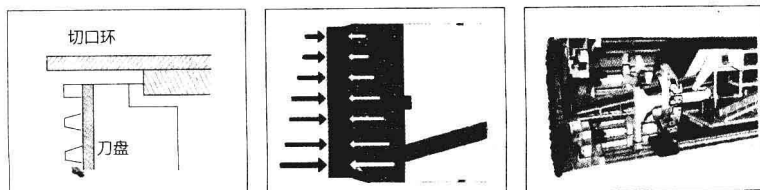


人民交通出版社
China Communications Press

 全国职业教育规划教材

盾构构造及应用

DUNGOU GOUZAO JI YINGYONG



主 编 吴巧玲

主 审 方新强



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为全国职业教育规划教材。

本书共分九章,内容主要包括机械化盾构、泥水盾构、土压平衡盾构、硬岩掘进机(TBM)、双护盾掘进机、复合盾构等的构造和工作原理,以及盾构机的安全使用规程及其维修保养。

本书可作为高等、中等职业教育土木工程、工程机械、机电工程及相关专业的教材,也可作为盾构管理与施工技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

盾构构造及应用 / 吴巧玲主编. —北京:人民交通出版社, 2011.3

ISBN 978-7-114-08822-3

I. ①盾… II. ①吴… III. ①盾构(隧道)-专业学校-教材 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 257494 号

全国职业教育规划教材

书 名: 盾构构造及应用

著 者: 吴巧玲

责任编辑: 刘彩云

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 14.25

字 数: 352千

版 次: 2011年3月 第1版

印 次: 2011年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08822-3

定 价: 29.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

中铁隧道集团职工大学

教材编写委员会

主任委员：周素红

副主任委员：陈苏惠

委 员：(以姓氏笔画为序)

王国庆 刘利民 吴巧玲

蒋流川 龚亚平 韩明巍

前 言

近年来,我国城市化进程加快,城市向地下空间发展,地下交通基础设施正面临史无前例的建设高潮,相关工程技术人才需求旺盛,这对于我们职业教育领域培养大量地下工程施工技术人员提出了迫切的要求。

盾构机作为地下交通基础设施建设的重要施工装备,在隧道、地铁及其他地下工程领域,获得了极其广泛的应用。盾构机与常规设备不同,是根据具体施工对象“量身定做”的特种设备,盾构的设计与施工必须与工程地质状况紧密结合,与工程的规模以及经济合理性相匹配,也只有这样,才能充分发挥盾构法“快”的优势,真正保证盾构法施工的工程质量和安全,因此,普及盾构施工技术显得非常迫切。基于目前高职及中职领域此类教材缺乏的现状,我们组织盾构施工技术领域的一线教学与科研专家,倾力编著本书,并被列选为人民交通出版社“十二五”全国职业教育规划教材。

本书以培养盾构机操作工和维修人员为主要目标,以盾构机械、电气、液压系统的原理与应用为主线,力争满足职业教育“盾构构造及应用”相关课程的教学与实践要求。本书在系统论述理论知识的同时,贯彻理论联系实际的原则,在普及盾构基本实践知识的基础上,吸收国内外的最新研究成果和应用技术,为职业教育领域此类教材的开发和建设填补了空白。

本书由中铁隧道集团职工大学吴巧玲担任主编,中铁隧道装备制造有限公司韩亚丽、张志国和中铁隧道集团职工大学蒋流川参加编写,中铁隧道装备制造有限公司方新强担任主审。

限于编者水平,加之盾构技术的研究与应用日新月异,书中疏漏之处在所难免,欢迎使用本教材的广大教师和读者提出宝贵意见,以便我们后续修订,联系方式:lcy@ccpress.com.cn。

中铁隧道集团职工大学教材编委会

2011年1月25日

目 录

第一章 绪论	1
第一节 盾构及其基本工作原理.....	1
第二节 盾构法的优缺点.....	2
第三节 盾构施工开挖与支撑方式.....	3
第四节 盾构机的分类.....	6
第五节 盾构的发展简史.....	9
第二章 机械化盾构	10
第一节 机械化盾构概述	10
第二节 掘削机构	12
第三节 盾构壳体	33
第四节 驱动装置	41
第五节 推进装置	51
第六节 激光导向系统	56
第七节 出渣装置	61
第八节 隧道衬砌	65
第九节 管片拼装机构	80
第十节 隧道衬砌背后注浆	88
第十一节 盾构机的姿态控制及纠偏技术.....	101
第十二节 后配套及辅助装置.....	104
第三章 泥水盾构	109
第一节 泥水盾构概述.....	109
第二节 泥水盾构的主要结构.....	112
第三节 泥水循环系统及设备.....	116
第四节 掘削面稳定机理.....	122
第五节 泥水分离处理系统.....	126
第六节 掘削面稳定管理.....	129
第四章 土压平衡盾构	134
第一节 土压平衡盾构概述.....	134
第二节 土压平衡盾构的主要结构.....	136
第三节 螺旋输送机.....	140
第四节 泥饼的成因及防治措施.....	143
第五节 渣土改良系统.....	145

第六节	掘削面稳定管理	151
第五章	硬岩掘进机(TBM)	156
第一节	TBM 概述	156
第二节	TBM 的主要结构	158
第三节	TBM 工作循环	163
第四节	掘进机辅助设备	164
第五节	后配套系统及其辅助设备	167
第六节	隧洞设备	171
第六章	双护盾掘进机	175
第一节	双护盾 TBM 概述	175
第二节	双护盾 TBM 的主要结构	177
第三节	主机辅助设备	183
第四节	后配套系统及其附属设备	185
第七章	复合盾构	187
第一节	复合盾构概述	187
第二节	复合盾构的主要结构	189
第三节	掘进模式及其模式转换	191
第四节	渣土改良技术	193
第八章	盾构机的安全使用规程	194
第一节	一般规定	194
第二节	岗位安全规程	195
第九章	盾构机的维修保养	203
第一节	掘削机构维修保养	203
第二节	盾体铰接装置与推进油缸维修保养	204
第三节	螺旋输送机、皮带机维修保养	205
第四节	管片拼装系统维修保养	206
第五节	注浆系统、后配套平台拖车维修保养	207
第六节	螺杆压缩机维修保养	208
第七节	压缩空气系统维修保养	209
第八节	人舱系统维修保养	210
第九节	主驱动系统维修保养	211
第十节	液压系统维修保养	211
第十一节	渣土改良系统维修保养	214
第十二节	通风系统、水系统维修保养	214
第十三节	油脂系统维修保养	215
第十四节	供电系统、主机控制系统维修保养	217
参考文献		220

第一节 盾构及其基本工作原理

一、盾构的含义

“盾构”一词中的“盾”是指遮蔽物、保护物等。在此可将“盾”理解为保持开挖面稳定性的刀盘和压力舱、支护围岩的盾构钢壳。所谓“构”，是指构成隧道衬砌的管片和壁后注浆体。其外壳及壳内各种作业机械、作业的空间组合体构成盾构机。实际上，盾构机是一种既能支承地层的压力，又能在地层中掘进的施工机械。

进入 21 世纪，随着城市密集度的提高和高层建筑的不断增加，地面可利用的空间越来越少。城市化进程的加快、城市地下空间的进一步利用，使得对环境保护和施工质量要求相对较高的城市地铁隧道的需求越来越大。为满足这一需求，目前采用盾构法开发地下空间已成为城市隧道建设的主流。同时，适用于不同地质条件下施工的盾构机类型也越来越多。

对于长距离隧道、隧洞建设，发达国家通常采用机械化盾构掘进机施工。盾构掘进机具有开挖速度快、施工质量好、劳动强度低、安全可靠、对周围地层扰动小、对地表沉降和环境影响小等优点，与传统的钻爆法隧道、隧洞施工相比具有明显优势。

二、盾构法施工的基本原理

盾构法施工的基本原理是指外形与隧道横截面相同，但尺寸比隧道外形稍大的钢筒或钢架压入地中构成保护掘削机的外壳，在此外壳的保护下，掘削机沿隧道轴线向前推进的同时开挖土层。这个钢组件在最初或最终的隧道衬砌建成以前总是在防护着开挖出的空洞。盾构必须承受周围地层的压力，而且如果需要，还要防止地下水的入侵。盾构法施工示意如图 1-1 所示。

一般来讲，盾构掘进隧道不应该也不能取代其他工法，但在不良的地层条件下要做长距离掘进，对进尺有较高要求和地面沉降又有严格的控制时，它比其他工法在技术上更合理，而且也是经济的。

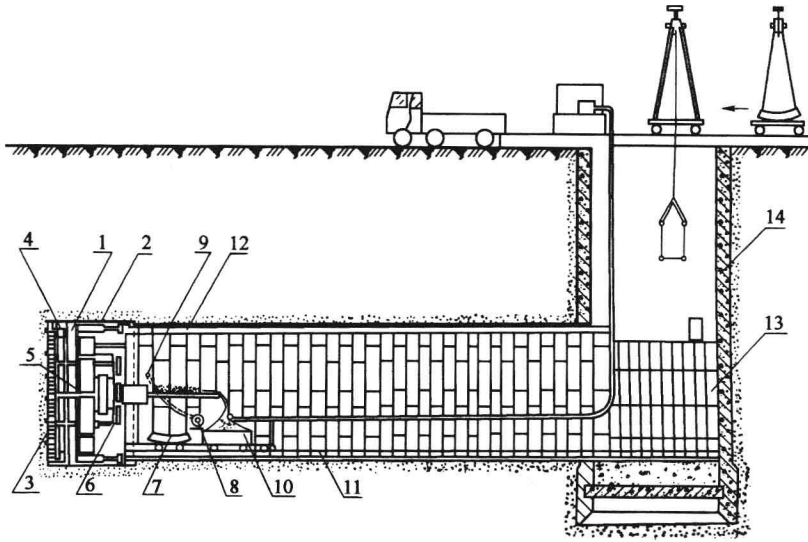


图 1-1 盾构法施工概貌示意图(网格盾构)

1-盾构; 2-盾构千斤顶; 3-盾构正面网格; 4-出土转盘; 5-出土皮带运输机; 6-管片拼装机; 7-管片; 8-压浆泵; 9-压浆孔; 10-出土机; 11-由管片组成的隧道衬砌结构; 12-在盾尾空隙中的压浆; 13-后盾装置; 14-竖井

第二节 盾构法的优缺点

一、盾构法的优点

(1) 对环境影响小

① 出土量少,故周围的地层沉降小,对周围构筑物的影响小。

② 不影响地面交通,不影响经营场所营业,无经济损失,无须切断、搬迁地下管线等各种地下设施,故可节省搬迁费用。

③ 对周围居民生活出行影响小。

④ 无空气、噪声、振动污染问题。

(2) 施工不受地形、地貌、江河水域等地表环境条件限制。

(3) 地表占地面积小,故征地费用少。

(4) 在用于大深度、大地下水压施工时,施工成本相对较低。

(5) 施工不受天气条件限制。

(6) 适用地层范围宽,软土、砂卵石、软岩直到岩层均可适用。

(7) 盾构法构筑的隧道的抗震性极好。

二、盾构法的缺点

(1) 盾构的设计、制造和准备时间长。

(2) 准备施工现场和分离工厂(泥水盾构)困难且费用高,只有在长距离掘进时才较经济。

(3) 由于不同类型的盾构适应不同的地层,当地层发生变化时,实施有风险。

综上所述,可见盾构工法极为适宜城市隧道构筑。因此,有人将其称为城市隧道工法。目前,该技术正朝着全面机械化、自动化、智能化(计算机控制)、地下大深度、特殊断面、特殊形态的方向发展。

第三节 盾构施工开挖与支撑方式

一、盾构施工的开挖方式

在不稳定地层中应用盾构的情况下,开挖、支撑隧道工作面和排出开挖料等都必须整体考虑。开挖方法对自然地层的影响要尽可能的小,这样可以避免扰动地层构造,并减小沉降。盾构的开挖方式分为人工开挖、半机械式开挖和机械开挖三种。

1. 人工开挖

人工挖掘盾构即掘削面、出土作业均由人工完成。人工开挖只适于隧道掘进长度很短、直径较小的情况,目前主要应用于一些经济欠发达、工人工资很低、对设备标准要求不高的地区。尽管人工开挖方法越来越多地被机械开挖方法所代替,但它的灵活性和通用性使其在完全机械化掘进隧道时,移除由机械方法无法处理的障碍物还是最容易的。

人工掘削盾构机,由于需要人工掘削,故盾构机的前面是敞开的。盾构机顶部装有防止掘削前面顶端坍塌的活动前檐和使其伸缩的千斤顶。掘削面每隔2~3m设一道工作平台。另外,在支承环柱上安装有正面支承千斤顶。掘削从上往下,掘削时按顺序调换正面支承千斤顶。掘削下来的土砂从下部通过皮带输送机输送给出土台车。掘削工具多为鹤嘴锄、风铲、铁锹等。它的主要缺点有:

- (1)在含水地层中,当开挖面出现渗水、流沙时,必须辅以降水、降压等地层加固措施;
- (2)工作面发生塌方时,易引起危及人身及工程的安全事故;
- (3)劳动强度大,效率低、进度慢,在大直径盾构中尤为突出。

人工挖掘盾构尽管有上述不少缺点,但由于简单易行,在地质条件良好的工程中,仍广泛应用。

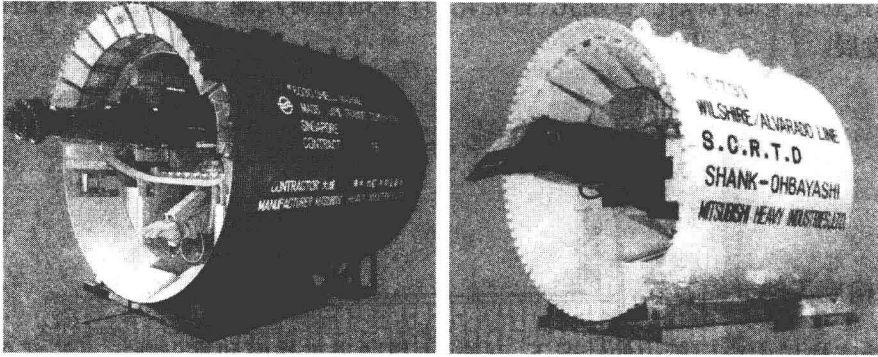
2. 半机械式开挖

半机械掘削式盾构即大部分掘削、出土作业由机械完成。半机械化盾构是在敞开式盾构的基础上安装机械挖土和出土装置,以代替人工劳动,因而具有省力和高效等特点。机械挖土装置前后、左右、上下均能活动。它有反铲式、铰削头式,或为反铲和铰削头可互换式,或为反铲和铰削头两者兼有的形式。它的顶部与手掘式盾构相同,装有活动前檐、正面支撑千斤顶等,如图1-2所示。

半机械式开挖(部分断面机械挖掘)的方法,除了适用于开挖圆形断面的隧道以外,还可用于蛋形、平底和矩形断面隧洞的开挖。半机械式开挖机械有:用标准或特殊配置的挖掘机,悬臂钻头式挖掘机,刀头式挖掘机,特殊的岩石切削机。

用标准或特殊配置的挖掘机,对于较大直径的盾构,只要在隧道底拱或中间平台留有足够的空间,就可以采用标准的挖掘机。由于挖掘机不需要行走,就可以采用节省空间的固定设置取代行走装置。同时也可采用几台小型挖掘机。根据土质条件,这些挖掘机可以配置铲斗齿、

破碎锤或装载斗。还有为较小直径的盾构开发的特殊的切削臂。



a) 悬臂掘进盾构

b) 反铲挖掘盾构

图 1-2 半机械式开挖盾构

悬臂钻头式挖掘机,挖掘工具由发动机或液压马达直接驱动。在黏性土中主要用铲斗和齿进行开挖。对于大块坚实胶结的地层,就要用带有截齿的旋转开挖工具。采用此方法开挖作业时,会产生大量的粉尘。

刀头式挖掘机的掘进刀头可以旋转,刀头边缘装有切削齿,它在开挖的同时可以对土料进行分拣。只有那些颗粒尺寸适于输送的土料才能通过刀盘上的开口到达位于开挖舱中部的吸出管。

在岩层特性变化的情况下基于对人员健康和施工安全的考虑,又开发出了用于开挖岩石的护盾式结构。罗宾斯公司开发了一台部分断面开挖的机器,即移动开采机。机器的支撑能起到护盾的作用。周边装有盘形滚刀的切削轮在工作面上,沿水平方向摇摆,挖出拱形并带平底断面。

3. 机械式开挖

机械掘削式盾构,即从掘削到出土作业均由机械完成。机械式开挖(全断面机械开挖)主要用于圆形断面隧道的开挖,即装有刀具的载体每旋转一圈,整个隧道断面都能开挖成。如图 1-3 所示。

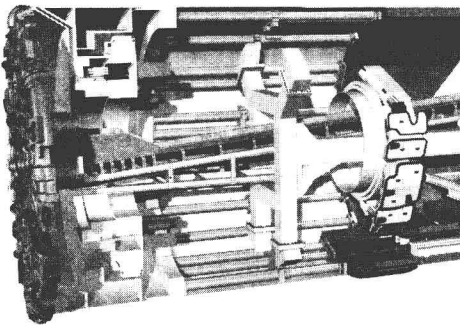


图 1-3 全断面机械式掘进机

机械化盾构是一种采用紧贴着开挖面的旋转刀盘进行全断面开挖的盾构。在盾构的切口部分装备有旋转式刀盘,以进行全断面开挖。这不仅增大了盾构的掘进能力,而且围岩开挖和排土可以连续进行。机械化盾构除可改善作业环境和省力外,还能显著提高推进速度,缩短工期。

采用这种方法有以下优点:

- (1) 开挖的隧道剖面精确,无超挖;
- (2) 在掘进过程中,隧道断面轮廓形状保持不变(除了挖掘深度以外);
- (3) 隧道工作面形式可根据其稳定性进行优化,特别是在土层需要支撑的情况下。

全断面开挖机械较为昂贵,通常机器为某一段隧道单独设计生产,重复使用的可能性较小。在非均质土层条件下用部分断面开挖时,可以达到相对较高的进尺。

二、盾构施工的支撑方式

在盾构隧道施工中,隧道拱内圈的空洞由盾构本体防护,但对于开挖面还必须采取辅助措施对工作面进行支撑。其支撑和稳定工作面的方法如下。

1. 自然工作面支撑

自然工作面支撑,即隧道工作面的稳定是借助掘进暂时停顿期间它固有的稳定性或借助搁架上的土层形成的坡度而稳定的。对于大直径盾构可以设置一个或几个中间搁架,它将斜坡分成几个斜坡,这样会大大减小支撑地层的体积。由于不适于抵御水压,此项措施只适用于干的或排干的地层。自然工作面支撑可配置机械工作面支撑。

2. 机械工作面支撑

机械工作面支撑有板条支撑、活动工作面支撑、封闭切削轮支撑等多种形式。

(1)板条支撑。采用此法时,隧道用人工自上而下地开挖,同时,把支撑设置在新的水平上。然而,采用这种支撑方式进度太慢,并且不易于使用机械掘进系统。由于掘进速率低及劳务费高,这种工法只在特殊情况下使用。

(2)活动工作面支撑。采用活动的工作面支撑较板条支撑则更灵活且更为有效。在简单的盾构中,胸板用液压推顶隧道工作面,同时改变推力/叶片压力。此支撑可以任何模式运作。开挖时移动板只需很短的时间。这种支撑方式适于机械部分断面开挖,在短隧道和混合地层中证明很有效。

(3)封闭切削轮支撑。板条支撑和活动工作面支撑方式不适于机械全断面开挖。全断面机械开挖一般利用封闭的切削轮在隧道工作上的支撑作用。在排干的黏性或暂时稳定的地层中,采用这种支撑方式通常足以抵御工作面上应力的降低。用切削轮支撑隧道工作面只适于低渗透性地层。

以上的工作面支撑方式一般只适于抵御土压。如果在水位以下,或者大量游离水体下,或者透水的土壤中掘进隧道时,机械工作面支撑必须采取其他辅助措施加以补充,以防止水的侵入(压缩空气支撑)。

3. 压缩空气支撑

采用压缩空气防止水的侵入是一种有效的方法。但在疏松的土层中,压缩空气不可能用于抵御土压。压缩空气支撑始于19世纪初。其一般原理是,当地下水呈自由状态时,在水平面处水是无压的;而当地下水呈承压状态时(有限的水),此时水压就从零位开始升高(水压随着地下水水位的增加而线性升高)。为了防止水的入侵,气压必须高于或等于隧道工作面的最高水压。此最高水压发生在隧道的最低点,即在底拱。如果隧道内的气压正好调整到底拱的水压,则无水进入空洞。隧道内的空气压力在隧道工作面的任一点都是一样的。其结果是在隧道上部区域气压高于水压,这将导致此区域的空气流失。对于浅覆盖则是危险的,由于流动现象,土颗粒失去平衡会引起漏气。

当水的渗透系数大于 10^{-4} m/s时,使用此法很困难,因为空气将取代孔隙中的水而逃逸。还有,为了防止漏气,覆盖必须有一定的深度。

4. 泥浆工作面支撑

在含有地下水的松散砂或砾石中,采用泥浆支撑面有许多优点。因为排水对这些形式的土层不能增加其稳定性且压力损失很高,此时压缩空气支撑并不合适。

采用泥浆方法,隧道工作面借助有压力的液体得以很好的支撑,用泥浆就地抵御土压及水

压。纯水只适于不渗透的黏性土。实际施工中,经常采用的是悬浮液,尤其是水—膨润土悬浮液。采用膨润土是因为其力学性能,即有很好的塑性和膨胀能力。悬浮液在压力下进入土层并用其中包含的固体颗粒封闭隧道工作面,这样就形成了一层薄的不渗透的膜(滤饼),借助它提供了支撑压。此过程在1~2s内可以完成。

如果土层中含有合适的成分,如黏土,由于残留在支撑液中某些悬浮液的土壤成分也可能形成滤饼,则可省去膨润土。工程中,采用聚合物取代膨润土也很普遍。

与机械或压缩空气支撑相比较,泥浆支撑隧道工作面需要设置泥水分离工场,且费用较高。但是,泥浆盾构能用于很复杂的土壤条件。

5. 土压平衡支撑

在黏土地质层中,土料自身可以作为支撑介质。添加某些调节剂(水,膨润土或黏土,化学添加剂),开挖料就转化成一种“土浆”,它能起到稳定隧道工作面的作用。土浆必须加压,以便与施加在隧道工作面的压力保持平衡。此支撑方法与泥浆盾构中的支撑方法一样。但在盾构调向及出渣时,则有很大的不同。土浆能从开挖舱经螺旋输送机排出。

第四节 盾构机的分类

盾构机有以下几种分类方式。

1. 按地层的种类分类

- 硬岩盾构(TBM)
- 软岩盾构
- 软土盾构
- 硬软岩土盾构(复合盾构)

2. 按盾构机横截面的大小分类

- 超小型盾构 $\phi < 1\text{m}$
- 小型盾构 $1\text{m} \leq \phi < 3.5\text{m}$
- 中型盾构 $3.5\text{m} \leq \phi < 6\text{m}$
- 大型盾构 $6\text{m} \leq \phi < 14\text{m}$
- 超大型盾构 $14\text{m} \leq \phi < 18\text{m}$
- 特大型盾构 $18\text{m} \leq \phi$

3. 按盾构机横截面的形状分类

- 半圆形
- 圆形
- 椭圆形
- 马蹄形
- 双圆搭接形
 - 竖双圆形
 - 横双圆形
- 三圆搭接形
- 四圆搭接形
- 矩形
 - 凸字形
 - 凹字形

不同截面形状的盾构图形如图 1-4 ~ 图 1-11 所示。

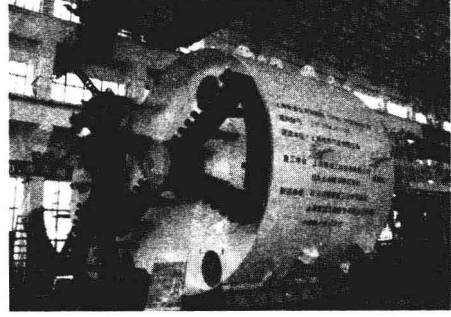
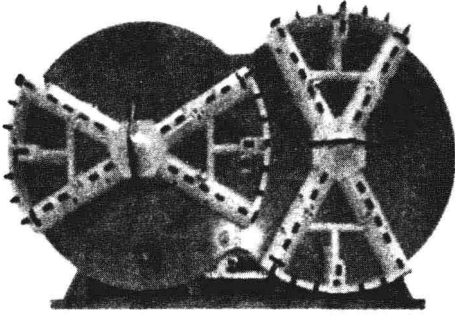


图 1-4 双圆盾构

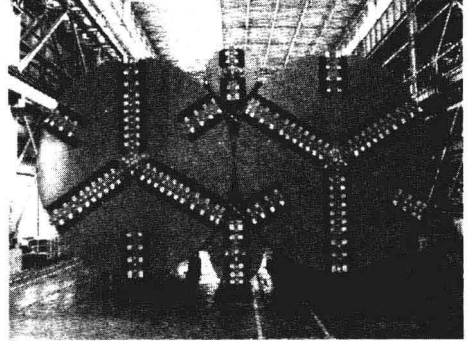
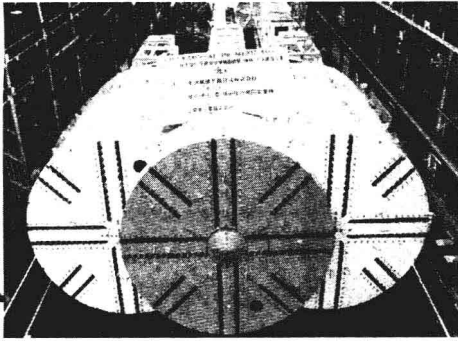


图 1-5 三圆盾构

图 1-6 四圆盾构

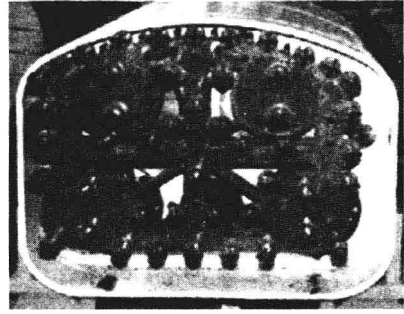
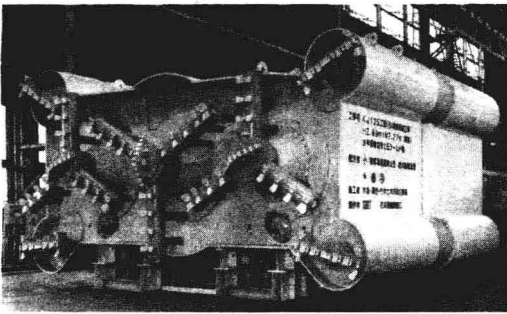


图 1-7 异形盾构

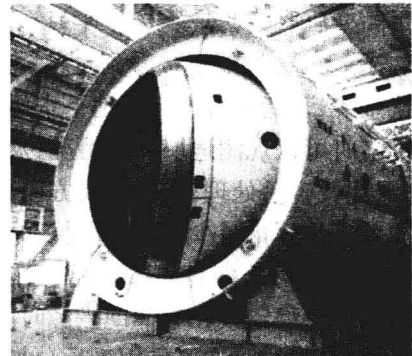
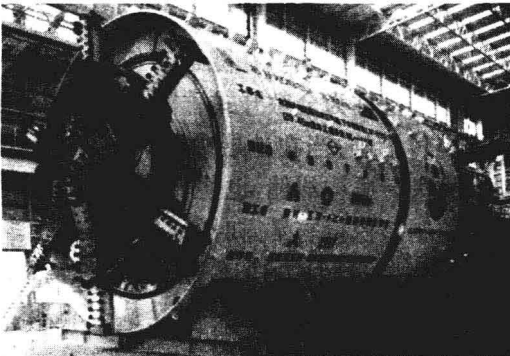


图 1-8 球铰形盾构

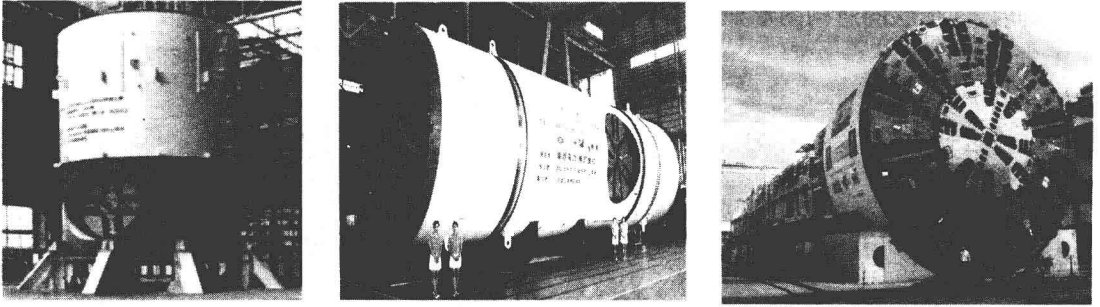


图 1-9 子母盾构

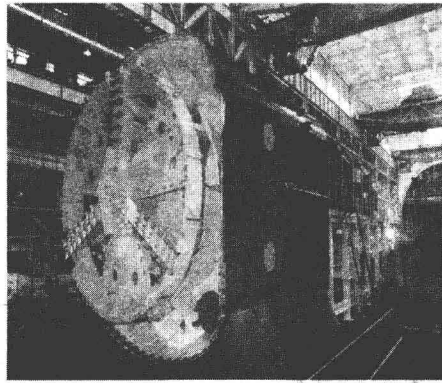


图 1-10 变截面盾构

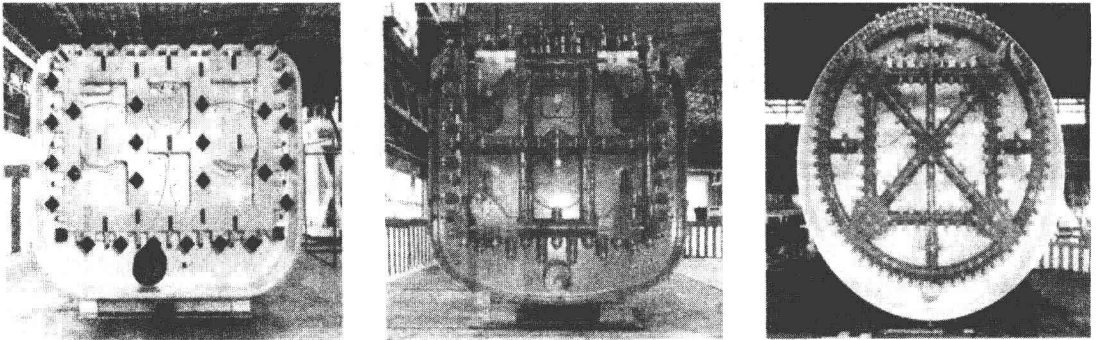


图 1-11 偏心多轴式盾构

4. 按掘进面的敞开程度分类

(1)全敞开式,即能直接看到全部掘削面掘削状况的形式。在隧道工作面上没有封闭的压力补偿系统,不能抵抗土压和地下水压的隧道掘进机称为全敞开式盾构。其正面是敞开的,施工人员随时可以观测地层变化情况,及时采用应付措施;当地层中遇到桩、大石块等地下障碍物时,比较容易处理;可向需要方向超挖,容易进行盾构纠偏,也便于曲线施工;造价低,结构设备简单。为尽量减少对地层的扰动,要适当控制超挖量与暴露时间。

(2)部分敞开式,即看到部分掘削面掘削状况形式。这种方法适于地质条件较好,开挖面在掘进中能维持稳定或在有辅助措施时能维持稳定的情况,其开挖一般是从顶部开始逐层向下挖掘。若土层较差,还可借用千斤顶加撑板对开挖面进行临时支撑。

(3)封闭式,即在掘削面与内舱之间设一层隔板。故无法直接观察掘削面的掘削状况,只

能靠一些传感器间接地掌握掘削状况。目前国内外较先进的泥水加压盾构、土压平衡盾构,均采用这种开挖方式。

第五节 盾构的发展简史

盾构法始于英国。1806年,马克·布鲁诺尔(Marc Isambard Brunel)在蛀虫钻孔并用分泌物涂在四周的启示下,最早提出了盾构掘进隧道的原理并注册了专利。

1825年,马克·布鲁诺尔首次在伦敦泰晤士河下用一个断面高6.8m、宽11.4m的矩形盾构修建第一条盾构法隧道。开始施工时,由于没有掌握抵制泥水涌入隧道的方法,隧道施工因被淹而停工。在经历了5次特大洪水后,直到1843年才完成了这条全长458m的隧道,历时18年。

自1825年首次采用盾构法开挖第一条水底隧道以来,至今已有180余年的历史。其间,世界各国制造了数以千计的不同类型、不同直径的盾构,盾构掘进机及其施工技术得到了不断发展和完善。至今,盾构已发展成为能适应不同地层修建隧道的一种专用施工机械。目前,盾构技术已成为构筑地下铁路、电信、电力、上下水道等城市隧道的主要施工方法。

国际上,微型和超大型化、形式多样化、高度自动化和高适应性是盾构的发展趋势。直径18m的泥水盾构已在预研,而直径200mm的微型盾构已在工程中得到应用。为适应不同的地质的需要,既要设计能适合复杂地质条件使用的多模式复合盾构,又要制造用于地质条件简单的功能单一软土盾构,盾构的形式是越来越多。

我国的盾构掘进机制造和应用始于1963年,原上海隧道工程公司(现为上海隧道工程股份有限公司)结合上海软土地层对盾构掘进机、预制钢—混凝土衬砌、隧道掘进施工参数、隧道接缝防水进行了系统的试验研究。

1965年6月,上海地铁隧道采用由原上海市隧道工程设计院(现为上海市隧道工程轨道交通设计研究院)设计、江南造船厂(即江南造船集团责任有限公司)制造的2台 $\phi 5.8\text{m}$ 网格挤压型盾构施工,总推力为 $3.724 \times 10^4 \text{kN}$ 。隧道覆土约12m,掘进长度 $2 \times 600\text{m}$ 。盾构推进穿越的建筑物和地下管线均未受影响。1967年7月,地铁试验工程完成,这是我国首次采用盾构掘进机施工地铁隧道。

1970年上海穿越黄浦江的第一条水下隧道建成之后,盾构在铁路隧道、城市地铁、水利工程等隧道、隧洞工程施工中开始使用。目前,国内盾构的制造和研发工作日趋成熟,且发展趋势迅猛。

盾构的设计制造在一定程度上反映了一个国家的综合科学技术和工业水平,体现了计算机、新材料、自动化、信息传输和多媒体等技术的综合和密集水平。目前,国际先进盾构采用了类似机器人的技术,计算机控制技术、网络远程通信遥控技术、现代传感检测技术、激光导向技术、超前地质探测技术、通信技术等已普遍应用。随着计算机技术的快速发展,盾构的自动化程度越来越高。目前,已实现在办公室控制盾构操作,在办公室可以直接从计算机屏幕上获取远地施工的盾构施工图像和参数,并可以发出指令进行控制。

随着盾构技术的发展,硬岩掘进机技术与软土盾构技术相互渗透、相互融合,使盾构的地质适应能力大大增强。盾构技术正朝着工程的超大断面化、异形断面化、超大深度化、超长距离化及施工快速化、操作高度自动化的方向发展。超大深度盾构、超大断面盾构、超长距离掘进盾构、高度自动化盾构、快速掘进盾构、异形断面盾构是世界盾构技术的发展方向。

第一节 机械化盾构概述

盾构掘进机(简称盾构机),是一种隧道掘进的专用工程机械。现代盾构掘进机是实现掘进、岩渣装运、洞壁支护等一次开挖成洞的高科技施工设备,它集光、机、电、液、传感、信息技术于一体,具有开挖切削土体、输送土渣、拼装隧道衬砌、测量导向纠偏等功能,涉及地质、土木、机械、力学、液压、电气、控制、测量等多门学科技术,而且要按照不同的地质进行“量体裁衣”式的设计制造,可靠性要求极高。作为目前承载世界最前沿技术的隧道施工机械——盾构机,被公认是衡量一个国家装备制造业水平和能力高低最具代表性的重大关键装备。

盾构掘进机进行隧洞施工具有自动化程度高、节省人力、施工速度快、一次成洞、不受气候影响、开挖时可控制地面沉降、减少对地面建筑物的影响和在水下开挖时不影响水面交通等特点,在隧洞洞线较长、埋深较大的情况下,用盾构机施工更为经济合理。

盾构掘进机已广泛用于地铁、铁路、公路、市政、水电等隧道工程。

一、机械化盾构机的开挖原理

机械化盾构机的开挖方式为切削式开挖,即指与盾构直径相仿的全断面旋转切削刀盘开挖方式。开挖的基本原理是在盾构壳体即护盾的保护下,对挖掘出的还未衬砌的隧洞段起着临时支撑的作用,承受周围土层的压力,有时还承受地下水压以及将地下水挡在外面。对于封闭式盾构而言,其挖掘、排土、衬砌等作业均在护盾的掩护下进行。目前,国内外较先进的土压平衡盾构和泥水加压盾构均基于这种开挖原理。

土压平衡式盾构机是把土料(必要时添加泡沫等对土质进行改良)作为稳定开挖面的介质,刀盘后隔板与开挖面之间形成泥土室,刀盘旋转开挖使泥土料增加,再由螺旋输送机旋转将土料运出,泥土室内的土压可由刀盘旋转开挖速度和螺旋输送机出土量(旋转速度)进行调节,参见图 2-1a)。

泥水加压式盾构机是通过加压泥水或泥浆(通常为膨润土悬浮液)来稳定开挖面,其刀盘后面有一个密封隔板,与开挖面之间形成泥水室,里面充满了泥浆,开挖土料与泥浆混合由泥浆泵输送到洞外分离厂,经分离后泥浆重复使用,参见图 2-1b)。