

盾构法施工



【教学目标】

知识目标：熟悉盾构机类型及施工范围；理解土压平衡盾构和泥水平衡盾构的工作原理；熟悉盾构机结构构造及其组装修作业，熟悉盾构开挖推进模式、盾构始发与到达、管片制作与拼装、注浆与防水等关键工序及技术措施。

能力目标：具备合理选择盾构机型的能力；具备进行盾构组装及组织盾构机始发的能力；具备管片拼装、壁后注浆和接缝防水的能力；具备组织盾构机施工的能力；能拟定或制订盾构法施工方案和技术交底书，能提出盾构法施工技术要点和注意事项；具有吃苦耐劳、语言表达、团结协作等能力。

思政目标：盾构施工会遇到各种各样的复杂地层，但是不管地层多么复杂，掘进多么困难，盾构机永远只进不退。通过学习，培养学生不惧困难、勇往直前的奋斗精神。



【任务描述】

成都地铁1号线为南北走向，北至新都大丰镇，南至华阳，全长31.6 km。其中一期工程盾构施工区间北起红花堰，南止于火车南站，全长18.601 km，共11个区间。其中盾构2标段隧道最大覆土厚20 m，线路纵坡2‰~23‰，左、右线间距11~15 m，最小曲线半径400 m；隧道穿越的地层主要为卵石层，局部为砂夹层；卵石的单轴抗压强度为55.1~165 MPa；卵石粒径以30~80 mm为主，部分粒径大于160 mm，并含有少量漂石（粒径大于200 mm），且局部漂砾富集成层，目前已知的最大漂石粒径为670 mm，卵石含量占60%~80%（质量比），充填物为细砂及圆砾，稍密至密实。隧道下穿万福桥、省展览馆东侧房屋群、西御河人防通道、2~5层的房屋、天府广场下穿隧道，并近距离水平穿越中银大厦（36层）、轻工大厦（12层）。地下水系为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水两种类型。孔隙潜水主要埋藏于砂卵石地层中，地下水位埋藏较浅，水量丰富，渗透系数 $k=1.736\times10^{-4}$ m/s，为强透水层，补给来源为大气降水和地表河流、沟渠。基岩裂隙水主要赋存于泥岩强风化裂隙带中，透水性较差。综合考虑水文地质条件及地表建筑安全等级要求，拟采用盾构法施工，请选择合理的盾构机型，制订盾构施工方案，编写盾构组装、始发、掘进及到达各环节的技术交底书，并组织施工作业。



【任务实施】

任务 1 盾构法概述

盾构法是使用“盾构”机械,在围岩中推进,一边防止土砂的坍塌,一边在其内部进行开挖、管片拼装从而修建隧道的方法,是暗挖隧道的一种施工方法。1818 年,法国工程师布鲁诺尔(M.I.Brunel)最早提出了用盾构法建设隧道的设想,并在英国取得了专利。自 1825 年,他第一次在伦敦泰晤士河下开始用一个断面高为 6.8 m、宽为 11.4 m 的矩形盾构修建隧道,经过一百多年的应用与发展,目前盾构法施工在地铁、公路、通信、输水管道等城市基础建设中得到了广泛应用。



盾构法概述

一、盾构机的概念

盾构掘进机(简称盾构机或盾构),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、渣土装运、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、信息等技术于一体,具有开挖切削土体、输送土渣、拼装隧道衬砌管片、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,是衡量一个国家装备制造业水平和能力高低的代表性的重大关键装备,如图 3-1 所示。

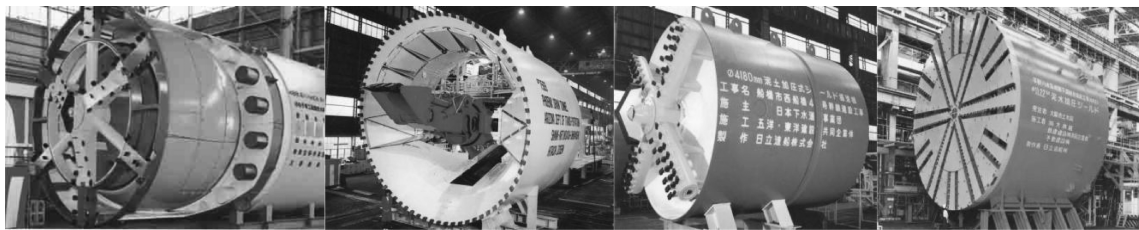


图 3-1 不同类型的盾构机

所谓“盾”,是指保持开挖面稳定性的刀盘、压力仓和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。盾构法隧道的基本原理是用一件有形的钢质组件沿隧道设计轴线开挖土体而向前推进。这个钢结构组件的壳体称为“盾壳”,盾壳对挖掘出的还未安装衬砌管片的隧道段起到临时支护的作用,保证作业人员和机械设备安全,这个钢质组件简称为盾构机。盾构机另一个作用是能够承受来自地层的压力,防止地下水或流沙的入侵。上海、广州地铁线的施工表明,盾构施工不仅不受地面交通、河道、潮汐、气候条件的影响,而且盾构机的推进、出土、衬砌管片拼装等可实现自动化、智能化和施工远程控制,掘进速度快,施工劳动强度低,具有显著的环保功能。盾构机构造如图 3-2 所示。

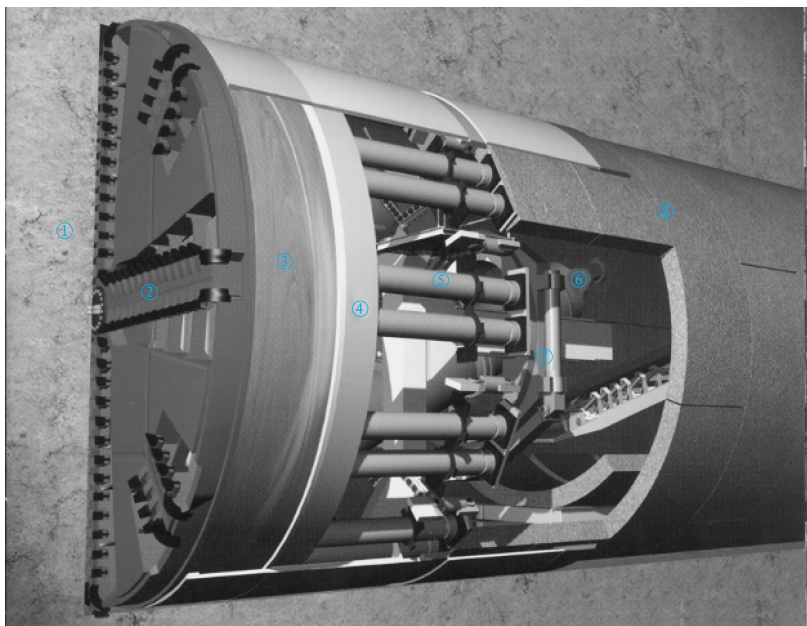


图 3-2 盾构机构造示意图

1—土体;2—刀盘;3—泥土仓;4—土仓隔板;5—千斤顶;6—螺旋输送机;7—管片拼装机;8—衬砌管片

二、盾构机的工作原理

盾构机的基本工作原理就是利用全断面刀盘切削土体使隧道沿设计的轮廓与轴线向前推进。在盾构机前端,采取压缩空气、泥浆、土压及机械等支护方式对开挖面予以支护,以确保开挖面的稳定;在盾构机周围,利用封闭的筒状金属外壳承受来自地层的压力,并防止水土入侵;在后端,通过预制或现浇的衬砌构筑物来支撑地层,确保洞室的稳定。因此,盾构法施工隧道较其他的暗挖法更为安全。现代盾构机采用先进的电气、液压、传感及信息技术,实现了作业的机械化与全自动化,使得施工更加精确和快速。

盾构机进行隧道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,在隧道较长、埋深较大的情况下,用盾构机施工更为经济合理。目前盾构机已广泛用于城市地铁、铁路、公路、市政、水电、隧道工程,在软土、流沙、淤泥等特殊地层有着其独特的优越性。

任务2 盾构机选型

盾构法是建造地下隧道最先进的施工方法之一。目前,盾构法隧道的施工技术在世界许多国家得到不断发展,尤其是随着中国城市轨道交通技术的大发展,盾构法在中国各大城市如北京、广州、上海、成都、南京、西安等城市的地铁建设中得到了广泛的应用。但在推广与应用中出现了不少施工事故,这些事故的发生,80%以上是因盾构的选型失误引起的,不仅影响了整个工程的工期,还造成了极大的经济损失和不必要的人员伤亡。因此,盾构施工的成功与否主要取决于盾构的选型。



盾构机选型

一、盾构机的类型

盾构机的类型是指与特定的盾构施工环境,特别是与特定的工程地质和水文地质特征相匹配的盾构机的种类。根据开挖面、作业室和支护方式的不同,可将盾构机分为全敞开式、半敞开式、闭胸式以及异型式四大类。

(一) 全敞开式盾构机

1. 手掘式盾构机

如图 3-3 所示,主要用于无水并具有一定自稳能力的软土层,开挖过程以人工为主,劳动强度大,施工速度慢。该盾构机构造简单,配套设备较少,设备费用较低。可根据工作面的地质条件选择全部敞开开挖或正面支撑开挖。

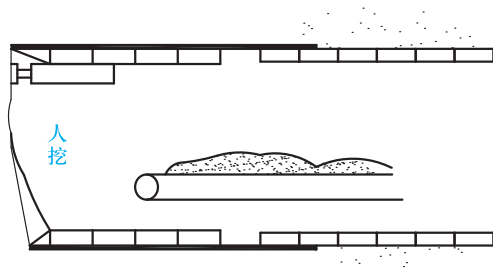


图 3-3 手掘式盾构机



动画: 盾
构法施
工
工
艺

2. 半机械式盾构机

在手掘式盾构机的上半断面或下半断面,增加相应的开挖设备,代替部分人工挖掘,从而减轻劳动强度,提高施工速度。根据土质情况,掘土机械可以是反铲挖土机、螺旋切削机或软岩掘进机等。半机械式盾构机也仅局限于无水且具有一定自稳能力的土层中使用,如图 3-4 所示。

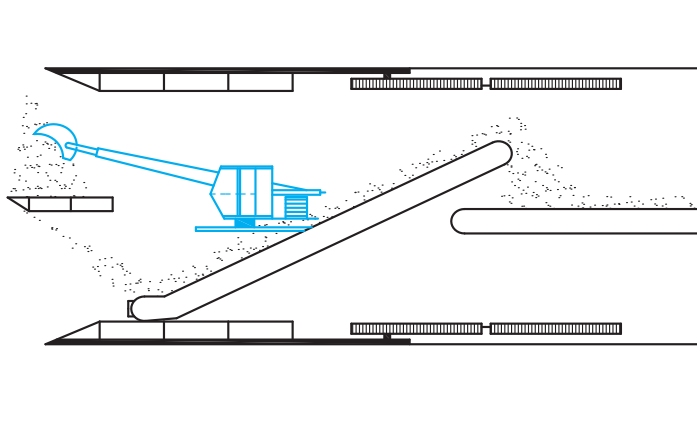


图 3-4 半机械式盾构机

3. 机械式盾构机

机械式盾构机是在手掘式盾构机的切口环部分装上与盾构直径相适应的大刀盘,以进行全断面开胸机械切削开挖,切削下的土石靠刀盘上的料斗装载,并卸到皮带输送机上,用矿车运出洞外,如图 3-5 所示。

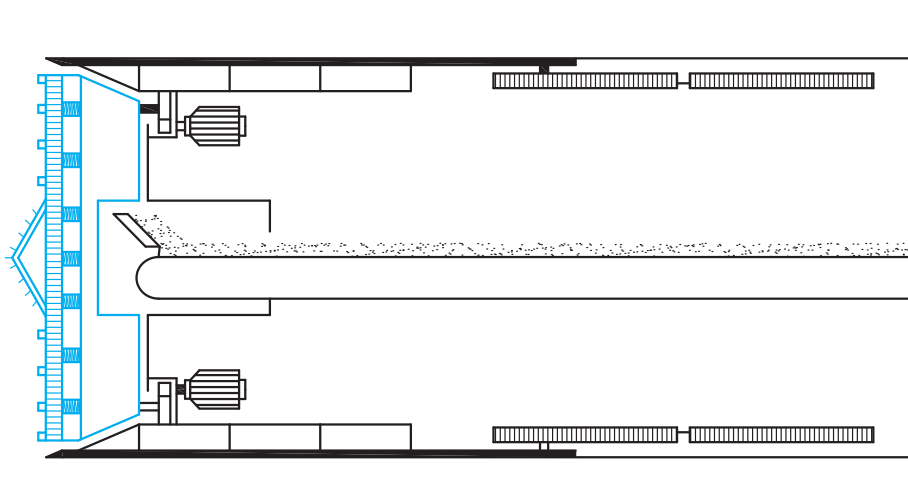


图 3-5 机械式盾构机

(二) 半敞开式盾构机

1. 挤压式盾构机

挤压式盾构机可分为全挤压式和半挤压式两种,前者将开挖工作面用胸板封闭,把土层挡在胸板外面,避免水土的涌入,并省去出土工序。后者则在封闭胸板上局部开孔,当盾构机推进时,土体从孔中挤入盾构机,装车外运,如图 3-6 所示。

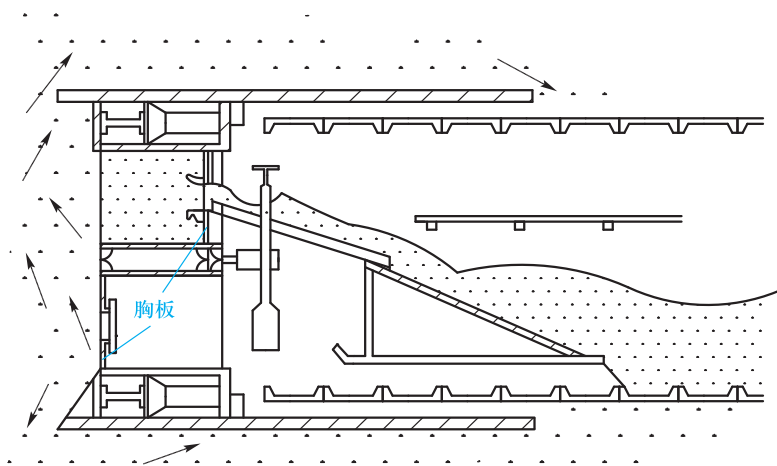


图 3-6 全挤压式盾构机

2. 网格式盾构机

网格式盾构机是一种介于半挤压式和手掘式之间的盾构形式。它的前部不是胸板,而是钢制的开口网格。当盾构机向前推进时,土被网格切成条状,进入盾构后运出;当盾构机停止推进时,网格起到挡土墙作用,可有效地防止开挖面的坍塌。

(三) 闭胸式盾构机

在机械式盾构机内设置隔墙,在开挖面与隔墙间形成密封仓,借助气压、土压及泥水压力等来平衡地层的土水压力。闭胸式盾构机主要包括局部气压盾构、土压平衡盾构、泥水平衡式盾构

机以及复合式盾构机。

1. 局部气压盾构机

局部气压盾构机的切口环和支承环之间装有隔板,使切口环部分形成密封仓。仓内通入压缩空气,由压缩空气产生的气压来平衡开挖面的土水压力,维持稳定,如图3-7所示。

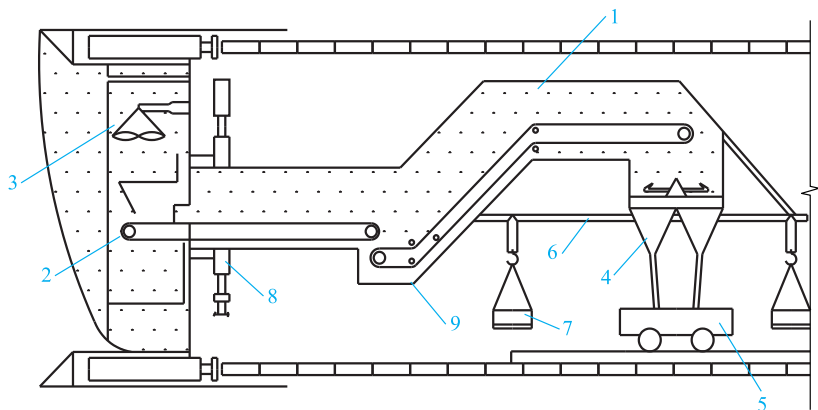


图3-7 局部气压式盾构机

- 1—气压内出土运输系统;2—胶带运输机;3—排土抓斗;4—出土斗;
5—运土车;6—运输管片单轨;7—管片;8—衬砌拼装器;9—伸缩接头

2. 土压平衡式盾构机

土压平衡式盾构机的头部装有可切削土体的刀盘,在切口环与支承环间设有密封隔板,使切口部分形成土仓,如图3-8所示。开挖的渣土进入土仓产生土压,借助土压平衡地层的土水压力。再由螺旋输送机旋转将渣土运出,土仓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,保证土仓内始终充满渣土而不过于饱和。土压平衡式盾构机避免了局部气压盾构机的主要缺点,又省略了泥水平衡式盾构机中的泥水处理设备,是当前施工中应用最广泛的盾构机类型。

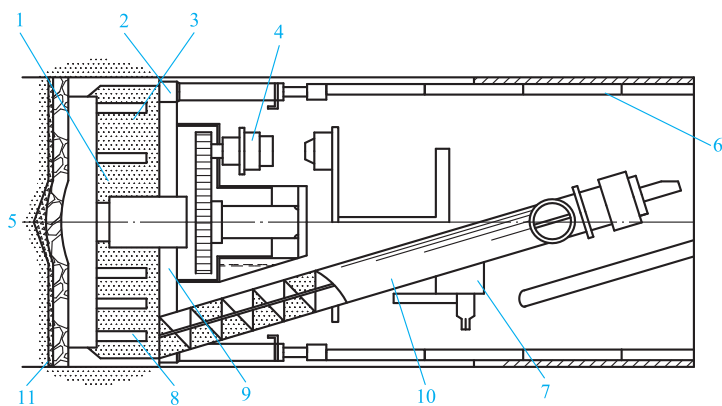


图3-8 土压平衡式盾构机

- 1—渣土;2—测定渣土压力的压力计;3—浆化泥土密封仓;4—使刀盘旋转的液压电动机;
5—自然土层;6—管片;7—衬砌拼装器;8—搅拌棒;
9—密封压力隔板;10—螺旋输送机;11—刀盘支架上装刀具

3. 泥水平衡式盾构机

泥水平衡式盾构机的总体构造与土压平衡盾构机相似,仅支护开挖面方法和排渣方式有所不同。刀盘后面的密封隔板与开挖面之间形成泥水仓,里面充满了泥浆,借助泥浆产生的泥水压力来稳定开挖面。开挖的渣土与泥浆混合由泥浆泵输送到洞外处理场,经分离后重复使用。

泥水平衡式盾构机按泥浆系统压力控制方式可分为直接控制型(图 3-9)和间接控制型(图 3-10)两种基本类型。

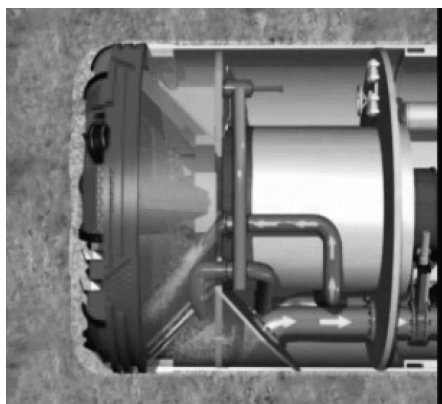


图 3-9 直接控制型泥水平衡盾构机

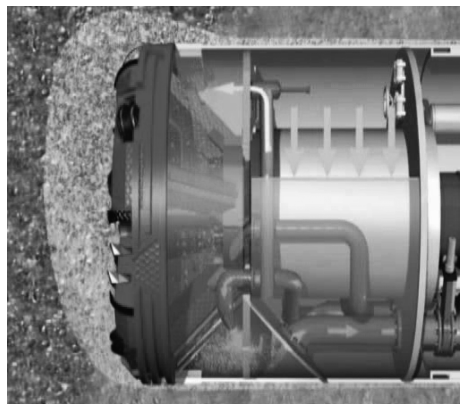


图 3-10 间接控制型泥水平衡盾构机

直接控制型泥水系统工作流程如下:送泥泵从地面泥浆池将新鲜泥浆送入盾构的泥水仓,与开挖泥土进行混合,形成稠泥浆,然后由排泥泵输送到地面泥水分离处理站,经分离后排除土渣,而稀泥浆流向泥浆池,再对泥浆密度和浓度进行调整后,重新送入盾构机的泥水仓循环使用。泥水仓中泥水压力可通过调节送泥泵转速或调节控制阀的开度来进行。由于送泥泵安装在地面,控制距离长而产生延迟效应不便于控制泥浆压力,因此常用调节控制阀的开度来进行泥浆压力调节。

德国采用间接控制型泥水平衡盾构机,其泥水系统由泥浆和空气双重回路组成。在盾构机的泥水仓内插装一道半隔板,在半隔板前充以压力泥浆,在半隔板后面盾构机轴心线以上部分充以压缩空气,形成空气缓冲层。气压作用在半隔板后面与泥浆的接触面上,由于接触面上气、液具有相同压力,因此只要调节空气压力,就可以确定和保持在开挖面上相应的泥浆支护压力。

闭胸式盾构机在开挖土体过程中必须始终维持开挖面的稳定,即保证开挖面的土体不出现坍塌。为满足这个要求,必须保证刀盘后面土仓内土体对地层的反作用压力(称为被动土压)不小于地层的土压(称为主动土压)。由螺旋输送机或排泥泵出土,由推进千斤顶推动盾构前进,由后部的管片拼装机拼装管片,借助真圆保持器保持隧道衬砌形状,随后再由盾尾壁后注浆系统向衬砌与地层间的缝隙中注入填充浆液,以防止隧道和地面的下沉。

4. 复合式盾构机

复合式盾构机的主要特点是在刀盘上既安装有切刀和刮刀等开挖软土的刀具,又安装有滚刀等硬岩刀具,主要适用于软硬相间的复合式地层。

(四) 异型式盾构机

1. 多圆断面盾构机

多圆断面盾构机能最大限度地利用地下空间,减少弃土与工程规模,如用于双线隧道的双圆断面盾构机和用于车站施工的三圆断面盾构机等,如图3-11、图3-12所示。

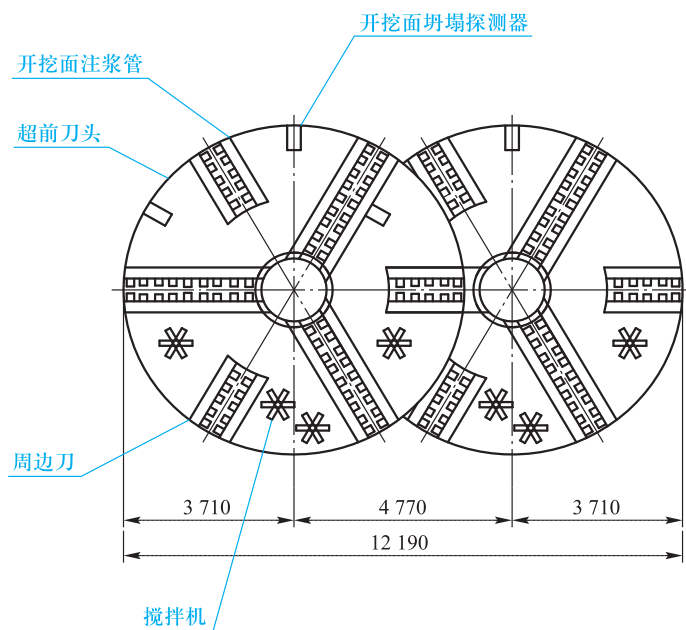


图3-11 双圆盾构机

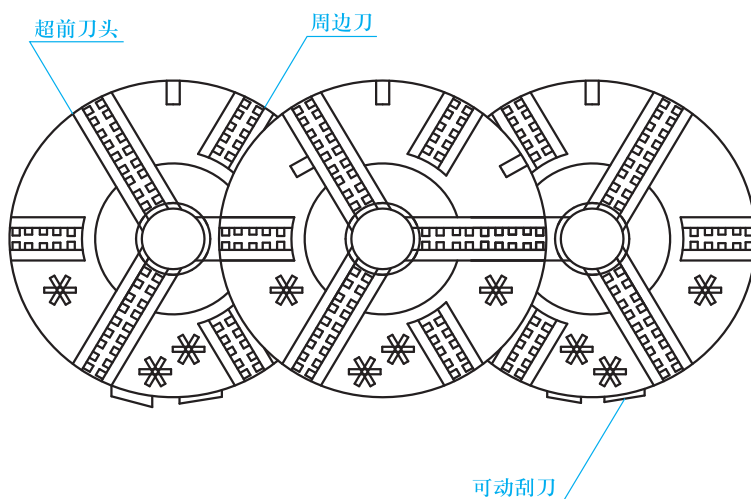


图3-12 三圆盾构机

2. 矩形盾构机

矩形盾构机采用回转型式或摆动型式切削地层进行开挖,如图3-13所示。

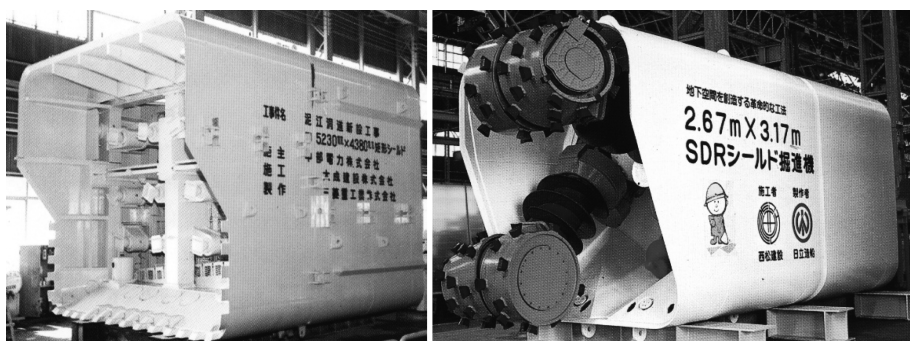


图 3-13 矩形盾构机

3. 球体盾构机

球体盾构机由立式盾构、卧式盾构和球形万向节构成,这种盾构机可以完成从竖井到平面直角的连续施工,如图 3-14 所示。



图 3-14 球体盾构机

4. H&V 盾构机

H&V 盾构机是将两个并行隧道做成多圆断面,且根据不同的条件,从横向双联式转变为纵向连接式,或将原本连接的隧道分开,如图 3-15 所示。

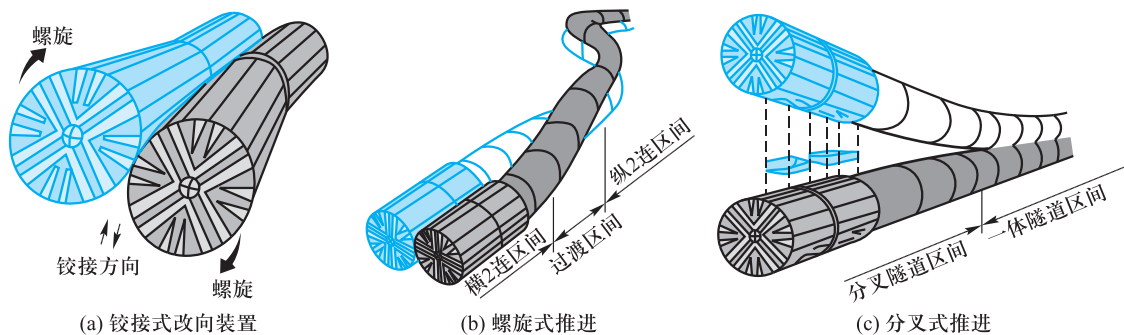


图 3-15 H&V 盾构机

此外,盾构机按照支护地层的形式可分为自然支护式、机械支护式、压缩空气支护式、泥水平衡支护式和土压平衡支护式 5 种类型,如图 3-16 所示。目前应用最广的是土压平衡支护式和泥水平衡支护式两种。

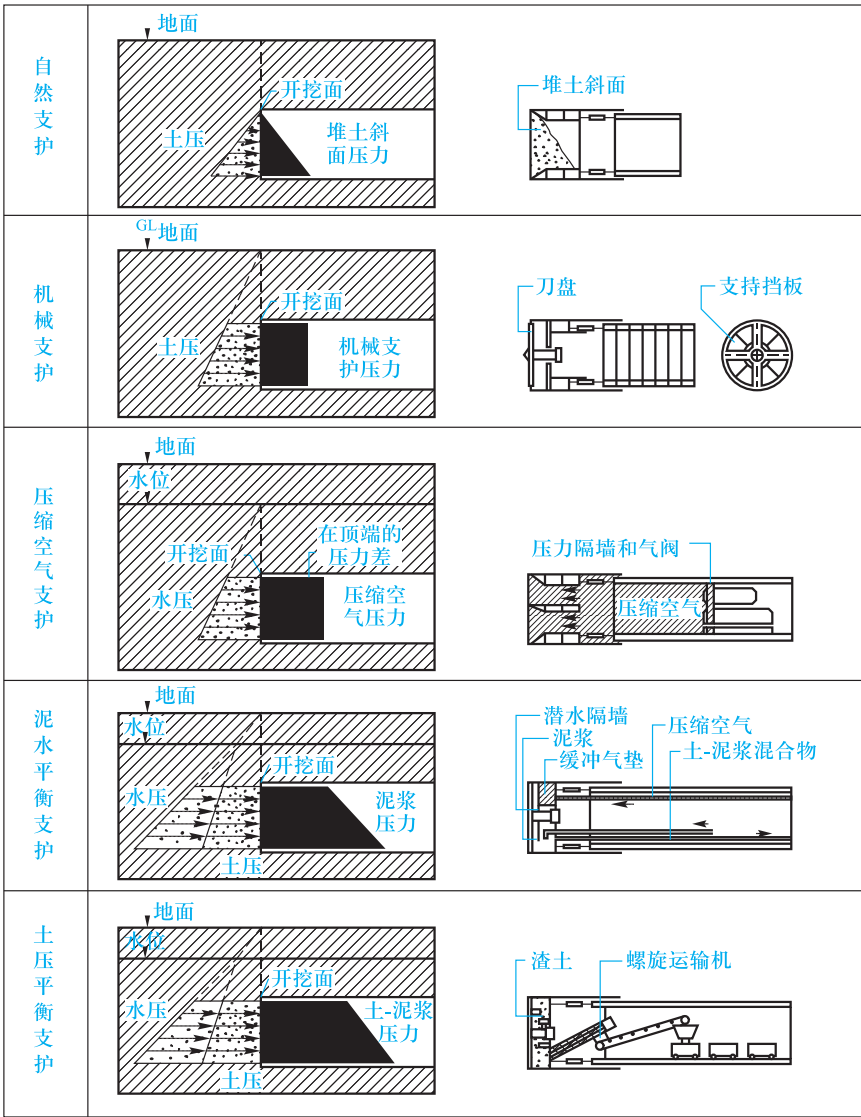


图 3-16 盾构机的机型

二、盾构机选型的原则

盾构机选型应以工程地质、水文地质为主要依据,综合考虑周围环境条件、隧道断面尺寸、施工长度、埋深、线路曲线半径、沿线地形、地面及地下构筑物等条件,以及周围环境对地面变形的控制要求等;同时,参考国内外已有盾构工程实例及相关的盾构技术规范、施工规范及相关标准,对盾构机类型、驱动方式、功能要求、主要技术参数、辅助设备的配置等技术参数进行研究,以确

保盾构法施工的安全、可靠。

盾构机选型应遵循安全适用性第一、技术先进性第二、经济性第三的原则,主要考虑以下因素:

- (1) 与工程地质、水文地质有较强的适应性。
- (2) 与隧道外径、长度、埋深、施工场地、周围环境相适应。
- (3) 与隧道施工辅助工法,如降水法、气压法、冻结法和注浆法等相适应。

三、盾构机选型

盾构机选型要在对工程地质条件、水文地质条件、周围环境、工期要求、经济性等充分研究的基础上进行,对敞开式、闭胸式盾构机进行比选;而后根据地层的渗透系数、颗粒级配、地下水压、环保、辅助施工方法、施工环境、安全等因素对各类盾构机进行比选。

(一) 地层的渗透系数

地层渗透系数对于盾构的选型是一个很重要的因素,通常可参照表 3-1 选用。

表 3-1 地层渗透系数与盾构机类型的关系

地层的渗透系数 $k/(m/s)$	典型的土质	盾构机类型
$<10^{-7}$	黏土、淤泥、淤泥质黏土	土压平衡式
$10^{-7}<k\leq 10^{-4}$	细砂、中砂、粗砂层	土压平衡式、泥水平衡式
$\geq 10^{-4}$	粉细砂层、中细砂砾层、粗粒砂层、卵石层等	泥水平衡式

根据地层渗透系数与盾构机类型的关系,若地层以各种级配富水的砂层、砂粒层为主时,宜选用泥水平衡式盾构机;其他地层宜选用土压平衡式盾构机,如图 3-17 所示。

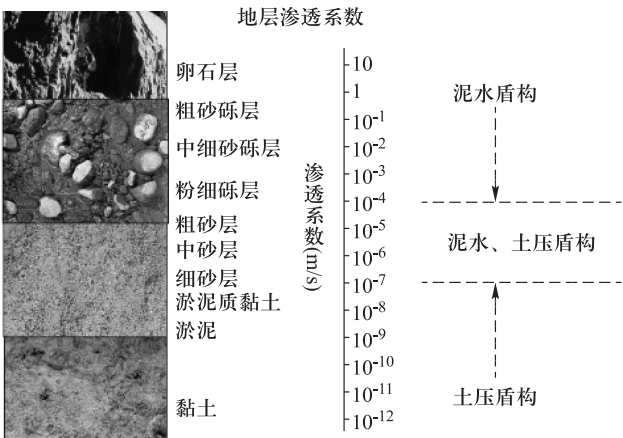


图 3-17 地层渗透系数与盾构机选型的关系

(二) 颗粒级配

土压平衡式盾构机主要适用于粉土、粉质黏土、淤泥质粉土、粉砂层等黏性地层的施工,在黏

性土层中掘进时,刀盘切削下来的土渣进入土仓后由螺旋输送机输出,在螺旋输送机内形成压力梯降,保持土仓压力稳定,使开挖面保持稳定。一般来说,细颗粒含量多,渣土易形成不透水的流塑体,容易充满土仓的每个部位,在土仓中建立压力以平衡开挖面的土体。

通常,当岩土中粉粒和黏粒的总量达到 40% 以上时,宜选用土压平衡式盾构机,反之选用泥水平衡式盾构机,如图 3-18 所示。

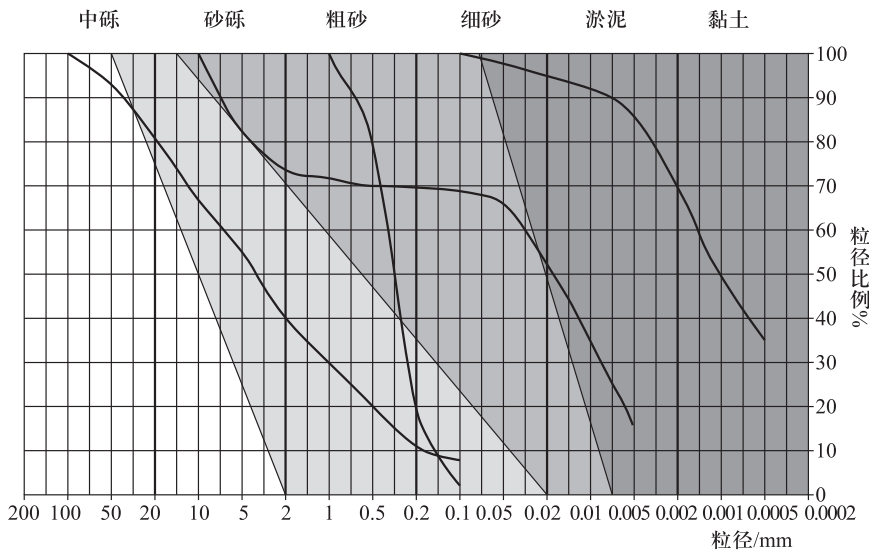


图 3-18 地层颗粒级配与盾构机选型的关系

（三）地下水压

考虑到在现场施工时,当水压很大时,采用土压平衡式盾构机,螺旋输送机难以形成有效的土塞效应,在螺旋输送机排土闸门处易发生渣土喷涌现象,引起土仓中压力下降,导致开挖面坍塌。一般情况下,当地下水压 ≥ 0.3 MPa 时,宜选用泥水平衡式盾构机;当地下水压 < 0.3 MPa 时,选用土压平衡式盾构机。

（四）其他因素

盾构机选型时,还需考虑环保、隧道断面等因素。

1. 环保因素

泥水平衡式盾构机对城市环境的污染较为严重,虽然泥浆已经处理,但它往往会带来工程费用增加、占地较大、泥浆处理长、处理后泥浆中的细土颗粒仍不能完全分离出来等一系列问题。

2. 隧道断面因素

从保持开挖面稳定、控制地面沉降的角度来看,当隧道断面较大时,使用泥水平衡式盾构要比使用土压平衡式盾构机效果好一些,特别是在河湖水体下、在密集建筑物或构筑物下及上软下硬的地层中施工时。

各种盾构机所适用的情况见表 3-2。

表 3-2 各种盾构机适用情况

盾构机类型	适用情况
手掘式	适合于硬软夹杂的开挖面及砾石、卵石等地层； 采用压气工法、注浆加固法、降水工法、冻结法等辅助工法
半机械式	适合于洪积形成的砂砾、砂、固结粉砂、黏土； 对软弱的冲积层不适用； 辅助工法同手掘式盾构
机械式	适合于开挖面可以自立稳定的洪积地层； 冲积地层应结合辅助工法施工
挤压式	含水量较少、砂卵石地层、粉质砂土层
土压平衡式	适用于含水量和粒度组成比较适中的粉土、粉质黏土、淤泥质粉土、黏土、粉土等土砂
泥水平衡式	适用于河底、海底等高水压的中、粗砂、砾石、卵石地层； 在高透水性土层,要考虑辅助工法
复合式	适用于软硬夹杂的复合地层中

任务 3 盾构机构造

盾构机主要由盾构主机、连接桥架、后配套设备及附属设备组成。盾构主机主要由盾构壳体、掘削系统、排渣系统、推进系统、管片拼装系统 5 个部分组成。典型土压平衡式盾构机基本构造如图 3-19 所示。



盾构机构造



动画：盾构机组成

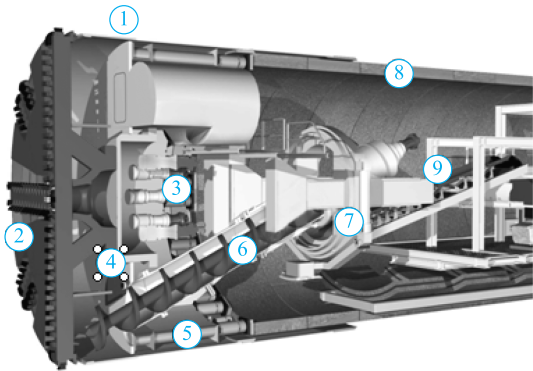


图 3-19 盾构机的基本构造(土压平衡式)

1—盾构壳体；2—刀盘；3—刀盘驱动电动机；4—土仓；5—推进油缸；6—螺旋输送机；
7—管片拼装机；8—管片；9—带式输送

一、盾构壳体

盾构壳体一般为钢制圆筒体。其功能是承受盾构上部的土压和水压,并作为盾构驱动主轴承系统和部件的安装基础。盾构壳体由前盾、中盾和盾尾三部分组成。

（一）前盾

前盾也称为切口环,位于盾构的最前端,施工时切入地层并掩护开挖作业。切口环前端制成刃口,以减少切土阻力和对地层的扰动,切口环的长度取决于工作面的支承形式、开挖方法及人员活动和挖土机具所需空间等因素,如图 3-20 所示。

切口环与刀盘共同形成渣土仓或气压室或泥水室,以平衡开挖面的土压和水压,或封闭开挖面,为盾构的安全、快速施工提供保障。

（二）中盾

中盾也称为支承环,是盾壳的主体,是具有较强的刚性的圆环结构,位于盾构中部,如图 3-21 所示。所有地层的土压力,千斤顶的支承力,以及切口、盾尾、衬砌拼装的施工荷载均传至支承环并由其承担。支承环的外沿布置推进千斤顶。大型盾构的所有液压设备、动力设备、操纵控制系统、管片拼装机等均设在支承环内。中小型盾构则可把部分设备移到盾构后部的车架上。当切口环内压力高于常压时,支承环内要设置人行加压与减压闸室。

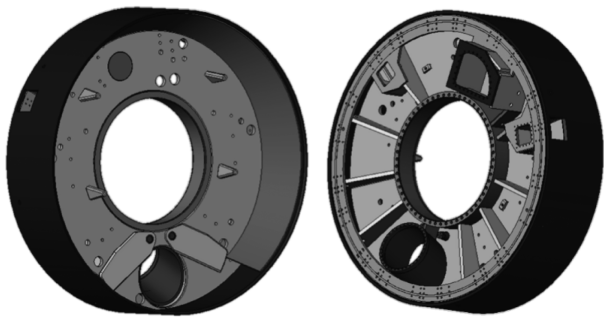


图 3-20 前盾

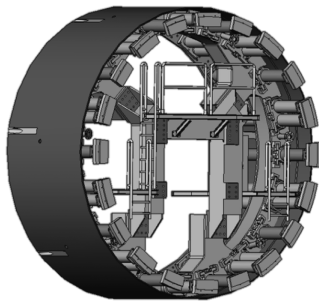


图 3-21 中盾

（三）盾尾

盾尾一般由盾构外壳钢板延伸构成,主要用于掩护隧道衬砌的安装工作。其内部设置管片拼装机,尾部有盾尾密封刷、同步压浆管、盾尾密封刷油脂注入管和密封装置等,如图 3-22 所示。盾壳外径与衬砌外径间的建筑空隙,在满足盾构纠偏要求的前提下应尽量减少。盾尾密封一般采取三级密封结构,如图 3-23 所示。

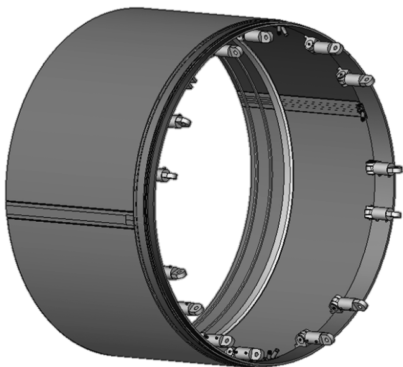


图 3-22 盾尾



图 3-23 盾构密封刷

二、掘削系统

掘削系统设置于盾构最前端。采用人工开挖方式的盾构,切口环的顶部比底部长,有的必须设有千斤顶操纵的活动前檐,以增加掩护长度。泥水平衡式盾构机中的切削刀盘、搅拌器、排送泥浆管路和土压平衡式盾构机的刀盘、搅拌棒、螺旋输送机的进口等部件均设在切口环中。在局部气压、泥水加压及土压平衡式盾构机中,因切口环部位的压力要高于常压,故在切口环与支承环间必须设置密封隔板。

(一) 刀盘

1. 刀盘的功能

刀盘主要具有以下三大功能。

(1) 开挖功能。刀盘旋转时,刀具切削隧道掌子面的土体,对掌子面的地层进行开挖,开挖后的渣土通过刀盘开口进入土仓。

(2) 稳定功能。支撑掌子面,具有稳定掌子面的功能。

(3) 搅拌功能。土压平衡式盾构中,刀盘对土仓内的渣土进行搅拌,使渣土具有一定的塑性,然后通过螺旋输送机将渣土排出;泥水平衡式盾构中,则通过刀盘的旋转搅拌作用,将切削下来的渣土与膨润土泥浆充分混合,优化了泥水压力的控制和改善了泥浆的均匀性,然后通过排泥管道将开挖渣土以流体的形式泵送到设在地面上的泥水分离站。

2. 刀盘的结构形式

刀盘主体结构由辐条、面板、侧板、筋板、外缘板、后盖板、耐磨合金条和支撑梁焊接而成。其结构形式有面板式和辐条式两种,如图 3-24、图 3-25 所示。具体应用时应根据施工条件和土质条件等因素决定。

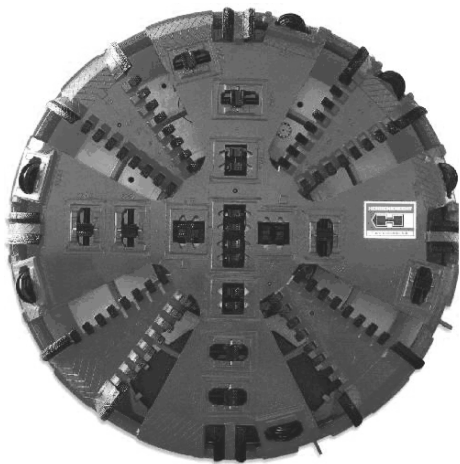


图 3-24 面板式刀盘



图 3-25 辐条式刀盘(无滚刀)

辐条式刀盘仅有几根辐条,土、砂流动顺畅,有利于防止黏土附着,不易黏结和堵塞;由于没有面板的阻挡,渣土从开挖面进入土仓时没有土压力的衰减,开挖面土压等于测量土压,因而能对土压进行有效的管理,能有效地控制地面沉降;同时刀具负荷小,寿命长。辐条式刀盘对砂、土

等单一软土地层的适应性比面板式刀盘强,辐条式刀盘也能安装滚刀(图 3-26),在风化岩及软弱不均地层或硬岩地层掘进时,也可采用辐条式刀盘。

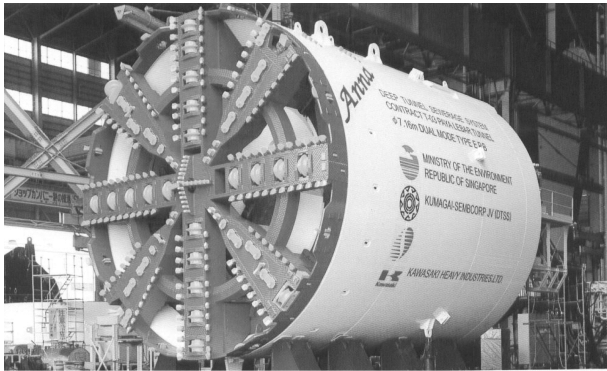


图 3-26 辐条式刀盘(可装滚刀)

面板式刀盘的优点是可以通过刀盘的开口来限制进入土仓的卵石粒径;缺点是由于受刀盘面板的影响,开挖面土压不等于测量土压,使得土压管理困难;由于受面板开口率的影响,渣土进入土仓不顺畅、易黏结和堵塞,且刀具负荷大,使用寿命短。

辐条式刀盘上的滚刀一般设计成与先行刀可互换式,可根据地质的需要将滚刀换装成先行刀。同时,辐条式刀盘也可换成面板式刀盘,在辐条之间安装可拆卸的面板,即可变为面板式刀盘。泥水平衡式盾构机一般都采用面板式刀盘,土压平衡式盾构机则根据土质条件不同可采用面板式或辐条式。

(二) 刀具

根据适用范围、切削特点不同,刀具可分为滚压类、切削类及辅助类,如图 3-27 所示。大体可按以下 5 种形式进行分类。

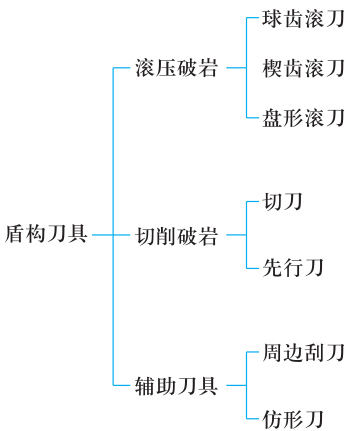


图 3-27 盾构刀具的分类



动画: 刀具的类型、安装与更换

1. 滚刀

滚刀分为齿形滚刀和盘形滚刀。齿形滚刀常用于软岩,有球齿和楔齿两种。盾构上应用较

广的是盘形滚刀,盘形滚刀按刀圈的数量可分为单刃、双刃、多刃 3 种形式,如图 3-28 所示。

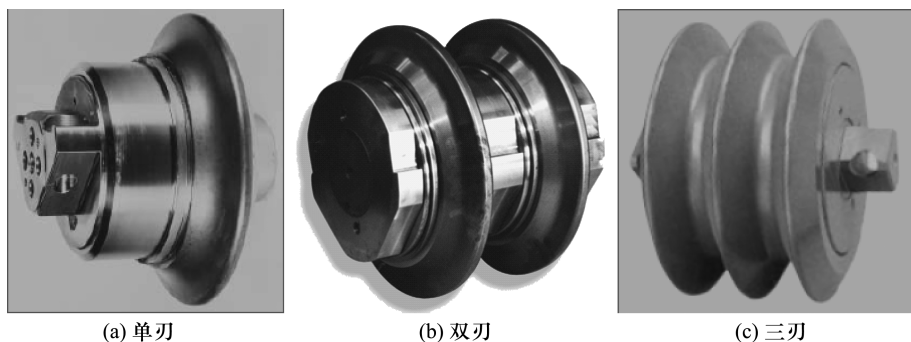


图 3-28 滚刀的三种形式

盘形滚刀按刀圈材质主要分为耐磨层表面刀圈、标准钢刀圈、重型钢刀圈、镶齿硬质合金刀圈滚刀等,它们分别适用于不同的地层。

(1) 耐磨层表面刀圈:适用于掘进硬度 40 MPa 的密实地层以及 80~100 MPa 的断裂砾岩、砂岩、砂黏土等地层。

(2) 标准钢刀圈:适用于掘进硬度 50~159 MPa 的砾岩、大理石、砂岩、灰岩地层。

(3) 重型钢刀圈:适用于掘进硬度 120~250 MPa 的硬岩,硬度 80~150 MPa 的高磨损岩层,如花岗岩、闪长岩等地层。

(4) 镶齿硬质合金刀圈:适用于掘进硬度高达 150~250 MPa 的花岗岩、玄武岩等地层。

2. 切刀

切刀安装在刀盘开口槽的两侧,也称刮刀,用来切削未固结的土壤,把切削土刮入土仓中。刀具的形状和位置按便于切削地层和便于将土刮入土仓来设计,在同一轨迹上一般有多把切刀同时开挖。目前最有效的切刀为双层耐磨设计,配有双层碳钨合金刀齿以提高刀具的耐磨性,在第一排刀齿磨损后,第二排刀齿可以代替第一排刀齿继续发挥作用,同时在刀具的背部设有双排碳钨合金柱齿,切刀在刀盘上的安装采用背装式,可以从开挖仓内拆卸和更换。

3. 先行刀

先行刀一般安装在辐条中间的刀箱中,采用背装式,可以从土仓中进行更换。先行刀超前切刀布置使得先行刀超前先切削地层,从而保护切刀并避免其先切削到砾石或块石地层。先行刀主要有 3 种:先行贝壳刀、先行撕裂刀、先行齿刀。

在国际上,日本盾构常采用贝壳刀,德国海瑞克公司盾构则常采用先行齿刀,加拿大罗威特公司和法国 NFM 公司的盾构机则常采用先行撕裂刀,如图 3-29、图 3-30 所示。

4. 周边刮刀

周边刮刀也称铲刀,安装在刀盘的外圈,用于清除边缘部分的渣土,防止渣土沉积,确保刀盘的开挖直径以及防止刀盘外缘的间接磨损。

周边刮刀的切削面上设有一排连续的碳钨合金齿和一个双排碳钨合金柱齿,用于增加刀具的耐磨性;确保盾构在掘进几千米之后刀盘仍然有一个正确的开挖直径。同切刀和先行刀一样,周边刮刀也采用背装式,可以在土仓内进行更换,如图 3-31 所示。

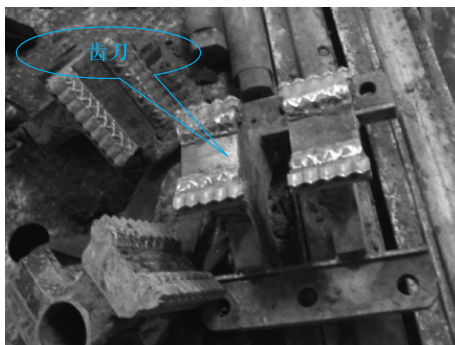


图 3-29 先行齿刀

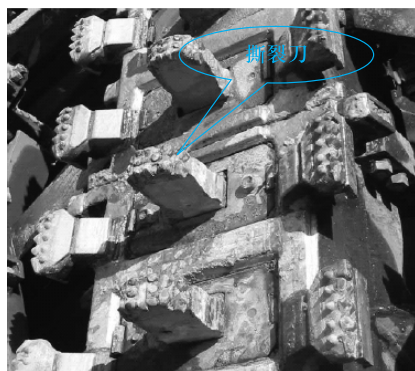


图 3-30 先行撕裂刀



图 3-31 周边刮刀

5. 仿形刀

仿形刀安装在刀盘的外缘上,通过液压油缸动作,采用可编程设计,通过刀盘回转传感器来实现,如图 3-32、图 3-33 所示。驾驶员可以控制仿形刀开挖的深度、超挖的位置及开挖范围。例如,当要对左侧进行扩挖以便盾构向左转弯时,仿形刀只需在左侧伸出,扩挖左侧水平直径线上、下 45° 的范围就可以了。



图 3-32 滚刀形仿形刀



图 3-33 柱形仿形刀

(三) 刀盘驱动方式

刀盘的驱动方式有 3 种:一是变频电动机驱动;二是液压驱动;三是定速电动机驱动。由于定速电动机驱动的刀盘转速不能调节,目前一般不采用,液压驱动及变频电动机驱动如图 3-34、图 3-35 所示。

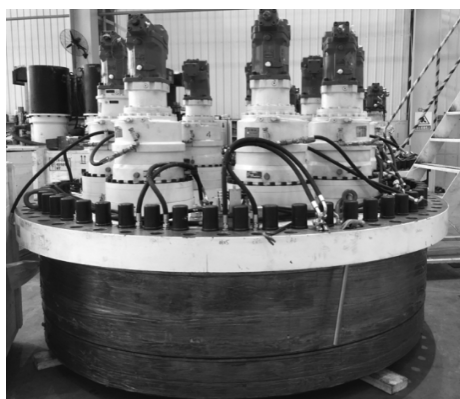


图 3-34 液压驱动

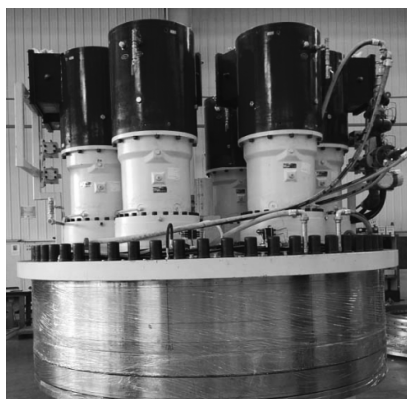


图 3-35 变频电机驱动

液压驱动具有调速灵活、控制简单、液压马达体积小、安装方便等特点,但液压驱动效率低、发热量大。变频电机驱动具有发热量小、效率高、控制精确等优点,应用较广。

目前的中小型盾构机的刀盘驱动较常采用液压驱动,大直径盾构较常采用变频电机驱动。但是由于变频驱动效率高,从节能方向及发展趋势来看,变频电动机驱动方式是刀盘驱动今后的发展方向。

三、排渣系统

(一) 螺旋输送机

螺旋输送机的主要功能是出渣,同时可通过调节其转速控制出渣的速度和出渣量,使排土量与刀盘切削下来的土量保持平衡,进而达到控制盾构机土仓内压力的目的,并且螺旋输送机和土仓内的渣土共同作用获得止水效果。

螺旋输送机由伸缩筒、出渣筒、液压电动机、螺旋轴、出渣闸门组成。其主要用来将土仓内的塑流状土体排出盾构机外,即把渣土从前部的渣土仓输送到后部的渣土运输专用设备。根据使用范围及构造形式的不同,可分为轴式和带式两种螺旋输送机,如图 3-36、图 3-37 所示。



图 3-36 轴式螺旋输送机



图 3-37 带式螺旋输送机

（二）皮带输送机

皮带输送机如图 3-38 所示,用于将螺旋输送机送来的渣土转运到后部拖车的尾部装在渣土列车上。皮带输送机主要由储带仓、主驱动装置、辅助驱动装置、主动轮、被动轮、胶带、托辊等几部分构成。皮带输送机结构简单、运输效率高、便于维护管理,可减少洞内运输车辆,减少空气污染,有利于形成快速连续出渣系统。

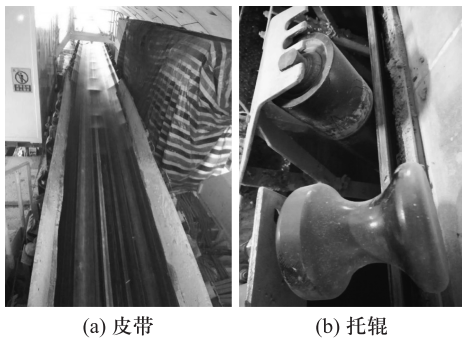


图 3-38 皮带输送机

四、推进系统

推进系统是盾构机向前掘进的动力源,使盾构机能够沿着设定路线前进、转弯,具有调整、控制运行姿态的作用。推进系统主要由液压泵、推进油缸、控制阀组和液压管路组成,如图 3-39 所示。

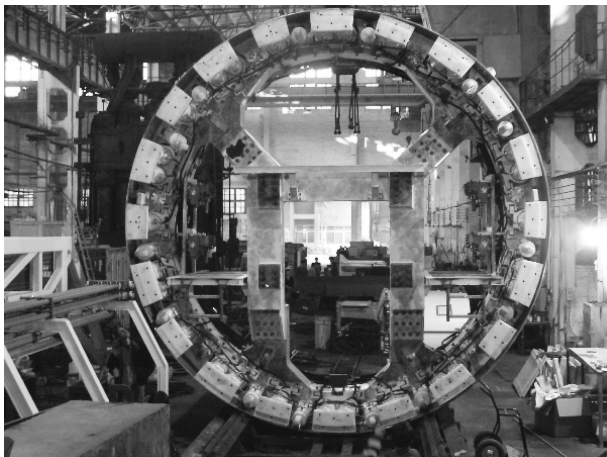


图 3-39 推进系统

工作原理:启动输油泵,将油供给高压泵,使油压升高至要求值;启动控制油泵,待控制油压升至额定压力后,由电磁控制阀门将总管内高压油输入千斤顶,使其按要求伸出或缩回,驱动盾构机。

（一）推进油缸

盾构机是靠液压系统带动千斤顶的伸缩动作驱使在土层中向前掘进的,如图 3-40 所示。盾构千斤顶活塞的前端必须安装顶块,顶块必须采用球面接头的,以便将推力均匀分布在管片的环面

上。其次,还必须在顶块与管片的接触面上安装橡胶或柔性材料的垫板,对管片环面起到保护作用,同时还能够充分对应管片与盾构的倾斜,保证撑靴平面与管片密贴。撑靴板如图 3-41 所示。

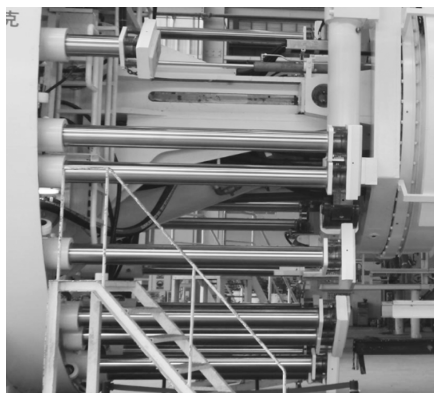


图 3-40 推进油缸

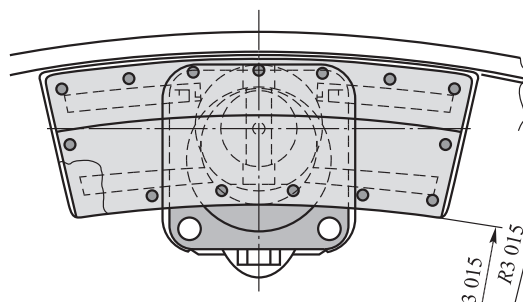


图 3-41 撑靴板示意图

目前常用推进油缸分为 4 组,分为上、下、左、右 4 个区域,在掘进时便于进行控制。通过改变各区油缸的伸出速度和伸出长度来控制盾构掘进的方向。每组推进油缸中配置一个行程传感器,用来实时测量油缸速度和行程,参见图 3-42 中涂黑部位。

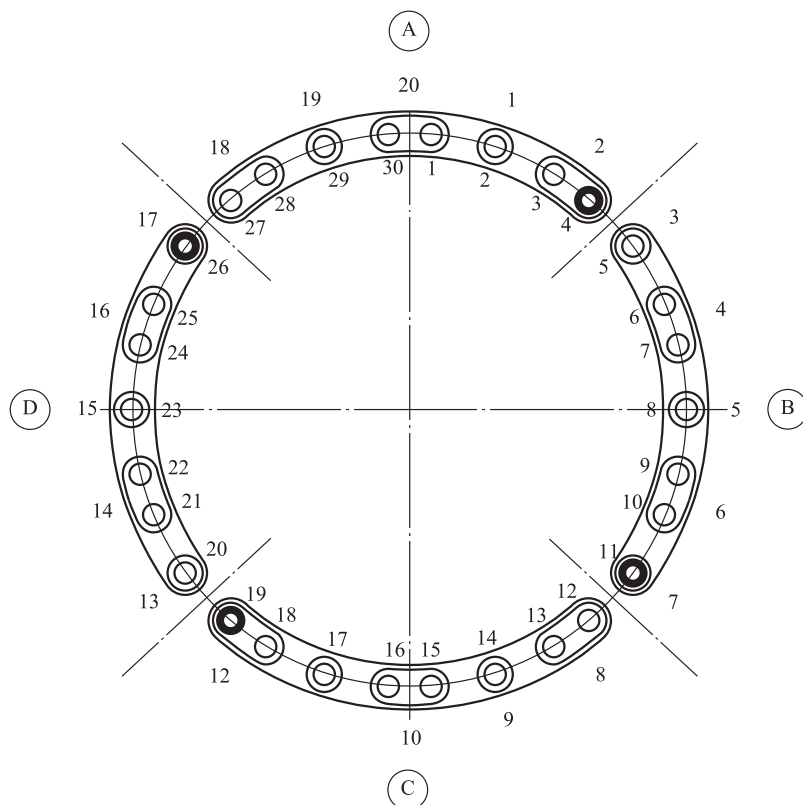
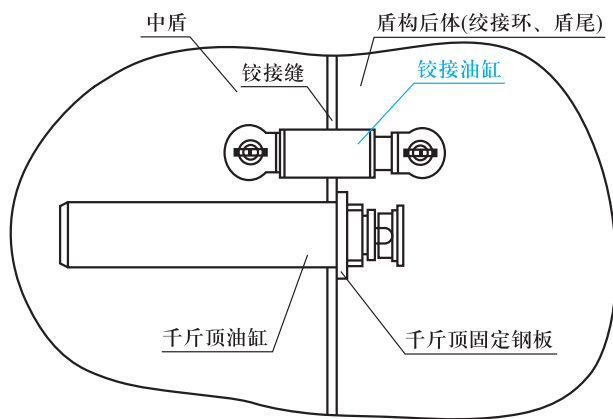


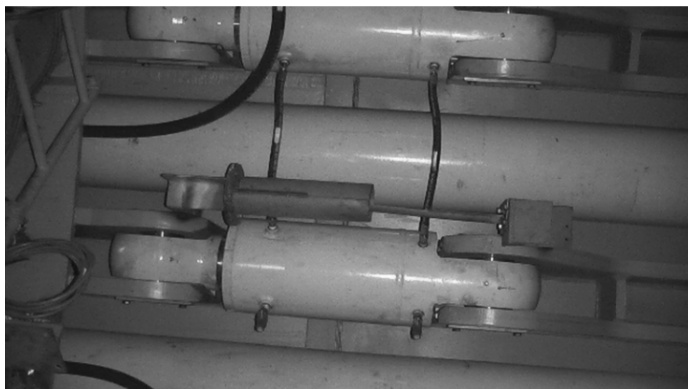
图 3-42 推进油缸分组

（二）铰接油缸

为了使盾构机在掘进时能够灵活地进行姿态调整及小曲线半径掘进时能够顺利通过,必须减少盾构机的长径比。它是通过铰接油缸把盾构机的中盾和盾尾相连接来实现的。铰接油缸一般处于保持位置,盾尾在主机的拖动下被动前进。当盾构机转弯时,油缸也应处于保持位置,盾尾可以根据调向的需要自动调整位置,具体如图 3-43 所示。



(a) 铰接油缸位置示意图



(b) 铰接油缸实物图

图 3-43 铰接油缸

铰接油缸的两端分别与盾构机的前后部用铰销连接,由于铰接油缸沿盾构圆周布置,其两端的铰销处都装有球铰,以保证铰接油缸轴线与盾构机轴线之间有一定的摆动角度。铰接装置是为顺利进行曲线施工的一种辅助手段,在进行曲线施工时,一定要与推进油缸的单侧推进、管片的使用、超挖的实施共同进行,以实现所定的曲率半径。

五、管片拼装系统

管片拼装就是采用预制管片,随着盾构机的推进在盾尾依次拼装衬砌环。管片拼装系统即为由无数个管片环纵向依次连接而成的衬砌结构,如图 3-44 所示。

预制的管片按结构形式分为平板式、箱式等,如图 3-45、图 3-46 所示。

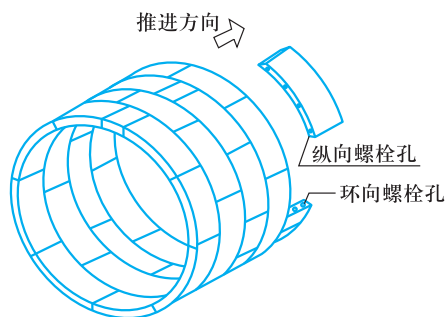


图 3-44 拼装成环的衬砌



图 3-45 平板式管片

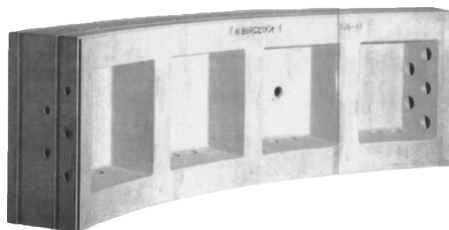


图 3-46 箱式管片

管片拼装系统常用的是管片拼装器,如图 3-47 所示,由举重臂和驱动部分组成。举重臂采用杠杆作用原理,一端为卡钳装置,另一端为可调节的平衡锤。举重臂的功能是夹位管片或是衬砌构件,将其送到需要安装的位置。驱动部分由液压系统及千斤顶组成,采用手动操纵阀驱动举重臂做平面旋转与径向移动。举重臂多数安装在盾构机支承环上,也有与盾构机脱离安装在车架上的。

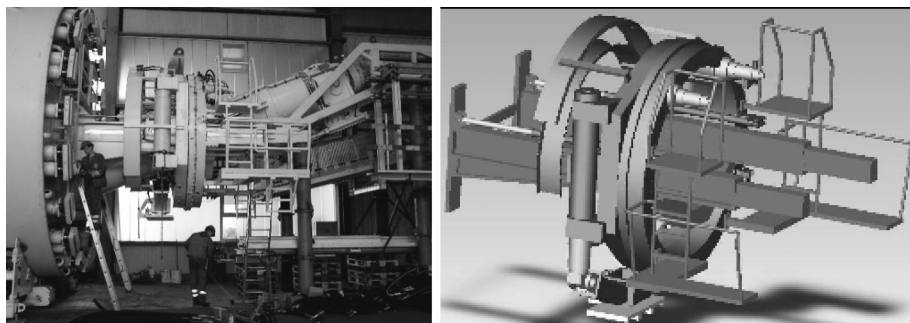


图 3-47 管片拼装机

任务 4 盾构始发

盾构法施工的概貌如图 3-48 所示,其主要施工步骤如下。

- (1) 在盾构法隧道的始发端和到达端各建一个工作井。
- (2) 盾构在始发端工作井内安装就位。
- (3) 依靠盾构千斤顶推力(作用在已拼装好的衬砌环和工作井后壁上)将盾构从始发工作井的墙壁开孔处推出。

- (4) 盾构在地层中沿着设计轴线推进,在推进的同时不断出土和安装衬砌管片。
- (5) 及时向衬砌背后的空隙注浆,防止地层移动和固定衬砌管片位置。
- (6) 盾构到达端工作井被拆除,如施工需要,也可穿越工作井继续向前推进。



动画:盾
构始发与
掘进

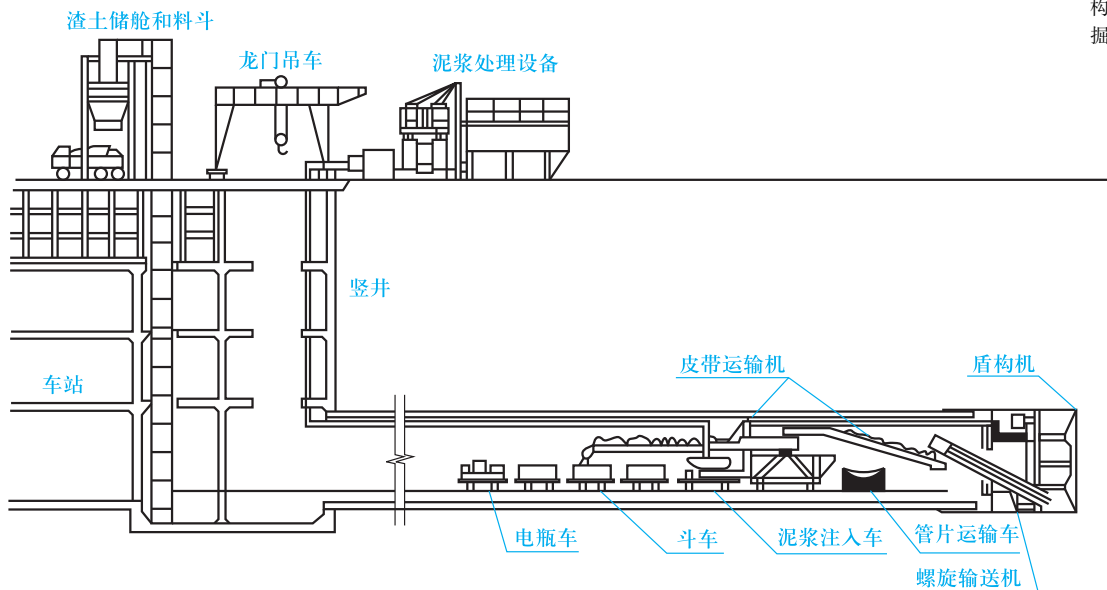


图 3-48 盾构法施工的概貌

一、竖井修建

在盾构掘进前,必须先 在盾构掘进的始端和终端地下设置工作井(也称竖井),以便在其中拼装(拆卸)盾构、附属设备和后续车架以及作为出渣、运料、人员进出的通道。同时,拼装好的盾构也是从此开始掘进,故在此空间内尚需设置临时支承结构,为盾构的推进提供必要的反力。而在竣工后可用作地铁车站、排水、通风等永久建筑物,此空间即为竖井。竖井一般设在隧道轴线上。

按竖井的用途,分为盾构始发竖井、接收竖井和中间竖井。竖井断面有圆形、矩形等,其平面净尺寸必须满足以下各项要求:一般情况下始发竖井应满足在盾构两侧预留 1.5 m 作为盾构安装作业的空间,同时考虑盾构前后应留出洞口封门拆除、初期推进时出渣、管片运输和其他作业时所需空间,竖井长度应大于盾构主机长度 3.0 m;接收竖井宽应大于盾构主机 1.5 m,竖井的长度应大于盾构主机长度 2.0 m。

盾构竖井的施工方法较多,根据不同的地形条件,可采用挡土墙围护和沉井法等。挡土墙围护有钢板桩、SMW、地下连续墙等工法;沉井施工有排水下沉、不排水下沉和气压沉箱工法。

在竖井施工时,应在井壁上预留盾构通过的开口,并预埋环形钢板确保开口的稳定。环形钢板的直径稍大于盾构外径,厚 8~10 mm,宽度同井壁厚,如图 3-49 所示。



图 3-49 竖井井壁预埋环形钢板

二、盾构组装

盾构组装流程如图 3-50 所示。场地一般分成 3 个区,即后配套拖车存放区、主机及配件存放区、起重机存放区。吊装设备一般采用履带式起重机 1 台、汽车起重机 1 台、液压千斤顶 2 台以及相应的吊具,它们的吨位和能力取决于盾构最大部件的重量和尺寸。



盾构机的
吊运与组
装

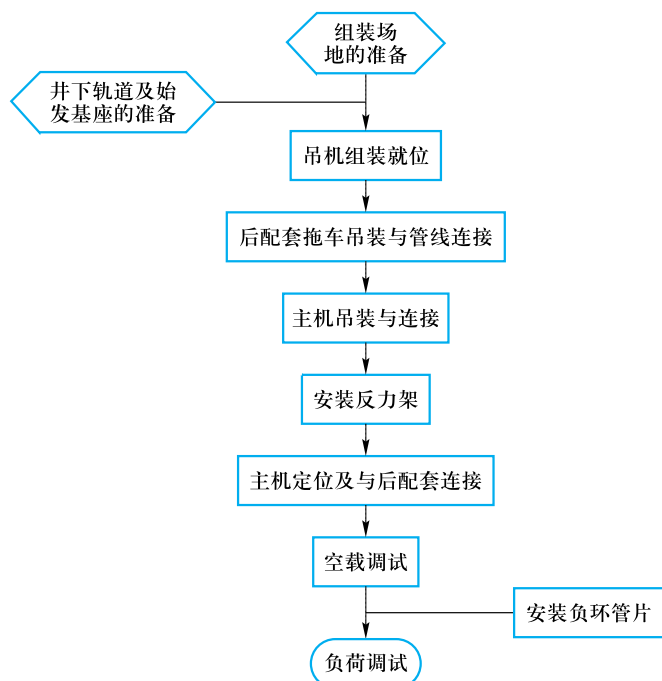


图 3-50 盾构组装工艺流程图

(一) 始发基座的安装

盾构组装前,在竖井硬化地面放置始发基座,准确定位并固定,然后铺设轨道,常见始发基座有钢结构、钢筋混凝土结构,如图 3-51 所示。

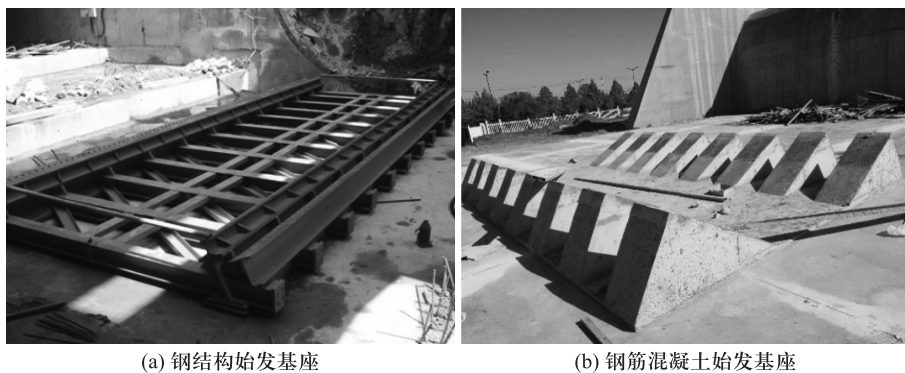


图 3-51 始发基座

(二) 盾构组装

盾构始发作业前,应先在竖井内完成整体结构组装,其组装顺序如下。

1. 始发基座吊装下井

如图 3-52 所示,将始发基座吊装下井,调整中心线使其与隧道设计轴线重合,与始发位置的要求尺寸完全符合,满足条件后进行固定(通常采用 H 型钢与竖井侧墙进行固定)。吊入反力架下部,与始发基座固定。在始发基座上放置标准块负环管片,在管片上铺设轨枕、钢轨,供组装时电瓶车与拖车行走。

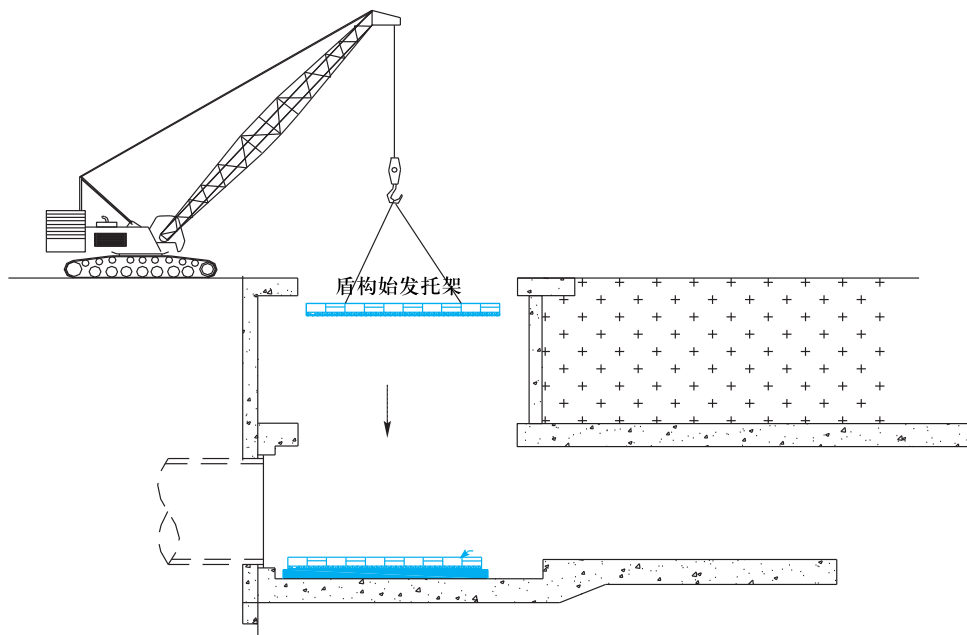


图 3-52 始发基座吊装下井



动画:盾构机组装及吊运过程

2. 后配套拖车下井

各节拖车按照从后到前的顺序依次下井。如广州轨道交通 5 号线“开拓号”盾构机有 5 节拖车,其下井顺序为:5 号拖车→4 号拖车→3 号拖车→2 号拖车→1 号拖车。拖车下井后,组装拖车内的设备及相应管线,由电瓶车牵引至后方指定区域,拖车间由连接杆连接在一起。

3. 连接桥架下井

如图 3-53 所示,连接桥架较长,吊装时由汽车起重机与履带起重机配合使用倾斜下井。下井后其一端与 1 号拖车由销子连接,另一端支撑在现场焊接的钢结构上,然后将上端的吊机缓缓放下后移走吊具。用电机车将 1 号拖车与设备桥向后拖动,将设备桥移出盾构组装竖井,1 号拖车与 2 号拖车连接。

4. 螺旋输送机下井

2 号吊机通过起、落臂杆和旋转臂杆使螺旋输送机就位。螺旋输送机下井后,摆放在平板车底盘,用手动葫芦拖至指定区域,如图 3-54 所示。

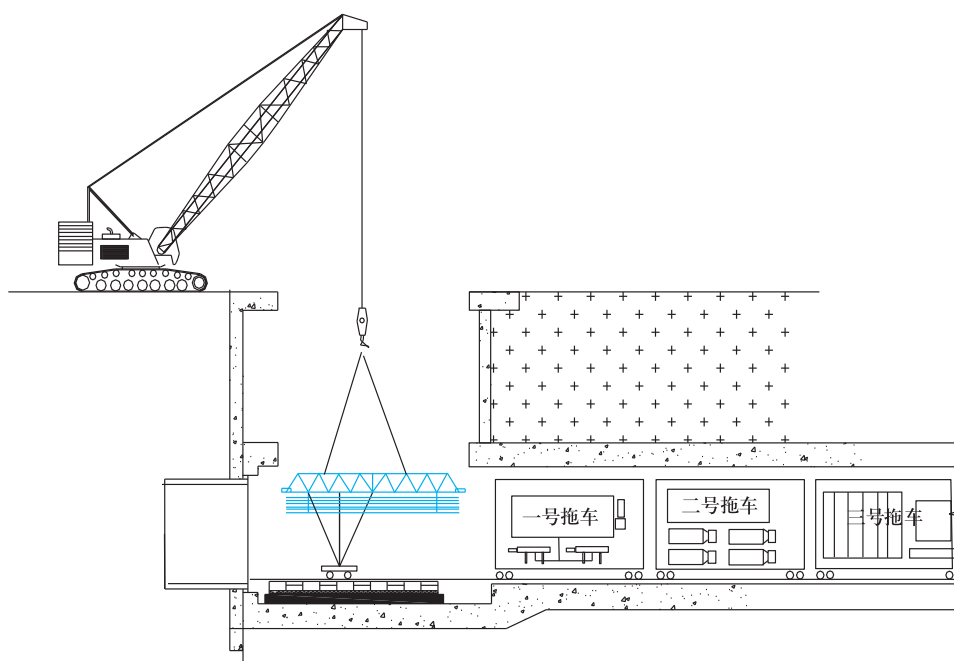


图 3-53 连接桥架吊装下井

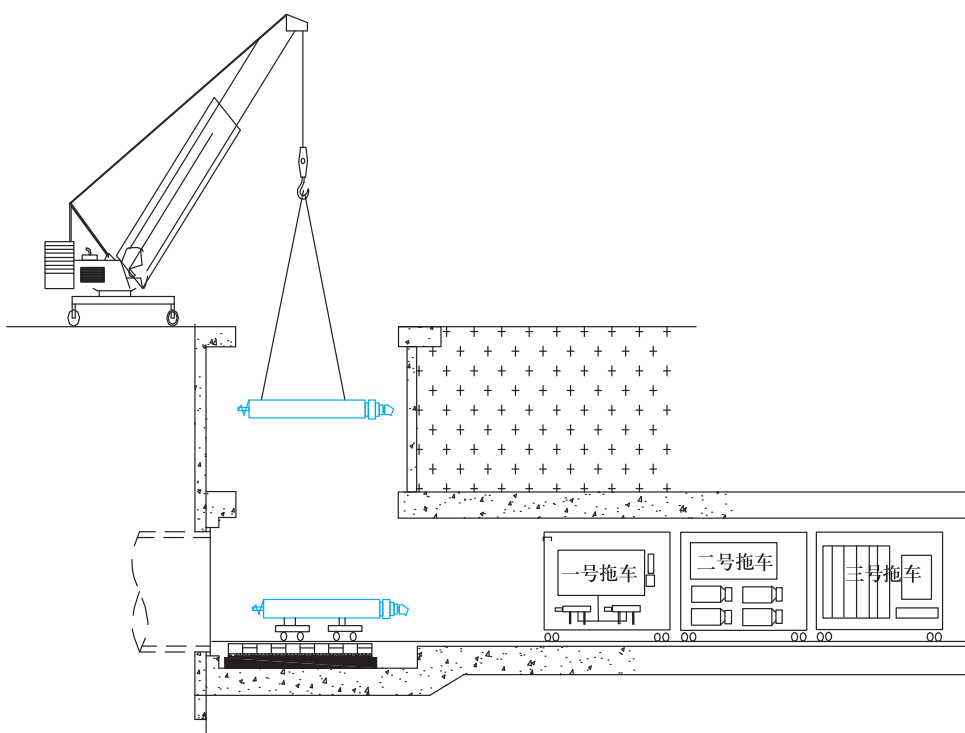


图 3-54 螺旋输送机下井

5. 前盾下井

前盾吊装选用450 t履带吊车和130 t汽车吊车。如图3-55所示,在装配区将前盾与刀盘驱动部件组装好,用两台吊车配合起吊,将前盾翻身,轴线与地面平行。再用450 t履带吊车通过旋转、起落臂杆把前盾缓慢吊到距始发井1 m处停止,此时一定要保证前盾的水平和垂直及满足始发参数后缓慢放在始发基座上。

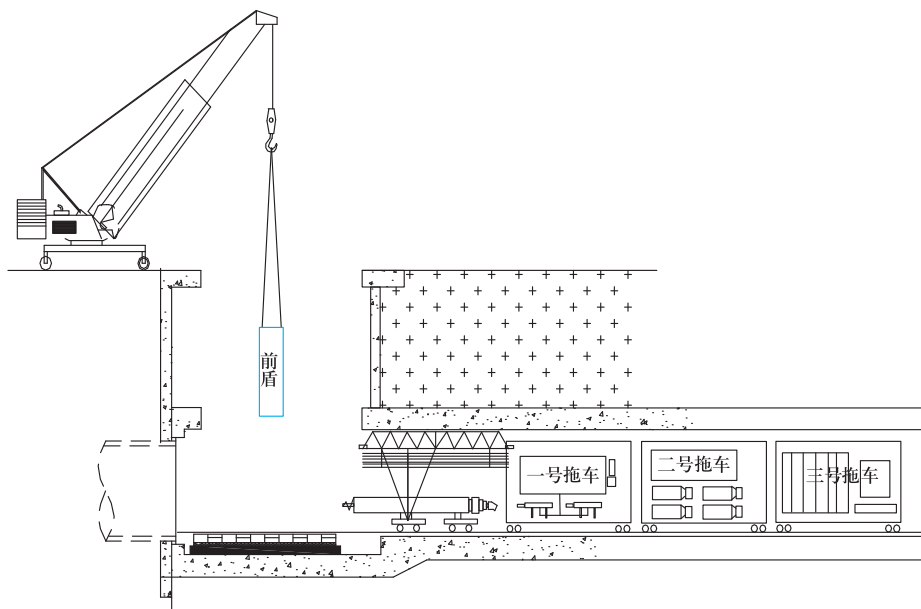


图 3-55 前盾下井

6. 安装刀盘

刀盘起吊也需采用抬吊方式翻转刀盘(吊装方式与前盾一样)。用两台吊车将刀盘吊起,主吊缓慢上升,副吊缓慢下降,至刀盘与地面垂直后,卸去副吊钢丝绳,用主吊单独将刀盘吊下始发井,如图3-56所示。刀盘下井后,将其慢慢靠向前盾,中心回转接头穿过人舱中部的孔,在土仓里焊接两个耳环,用两个2 t的导链拉住刀盘,把前盾和刀盘的螺栓孔位及定位销完全对准后,再穿入螺栓,预紧完毕后,再用液压扭矩扳手复紧一遍(组装螺栓必须按装配图规定检测其扭矩)。

7. 中盾下井

将刀盘与前盾连接好后,用千斤顶将前盾向前推移,为中盾下井留出足够的空间。中盾吊装方式与前盾一样,先用两台吊车配合翻身,再吊入井下的始发基座上。用吊车和倒链配合,将中盾缓慢推至前盾处,用销子定位与前盾进行组装,如图3-57所示。

8. 安装管片拼装机

将盾构主机连接前移;吊下管片拼装机拼装。

9. 盾尾下井

吊装盾尾下半部。将盾尾与中盾连接的法兰对齐,插入定位销,再穿入固定螺栓并上紧,如图3-58所示。

10. 安装螺旋输送机

如图3-59所示,延伸铺设轨道至盾尾内部,将螺旋输送机与平板车底盘一起推进盾壳内。

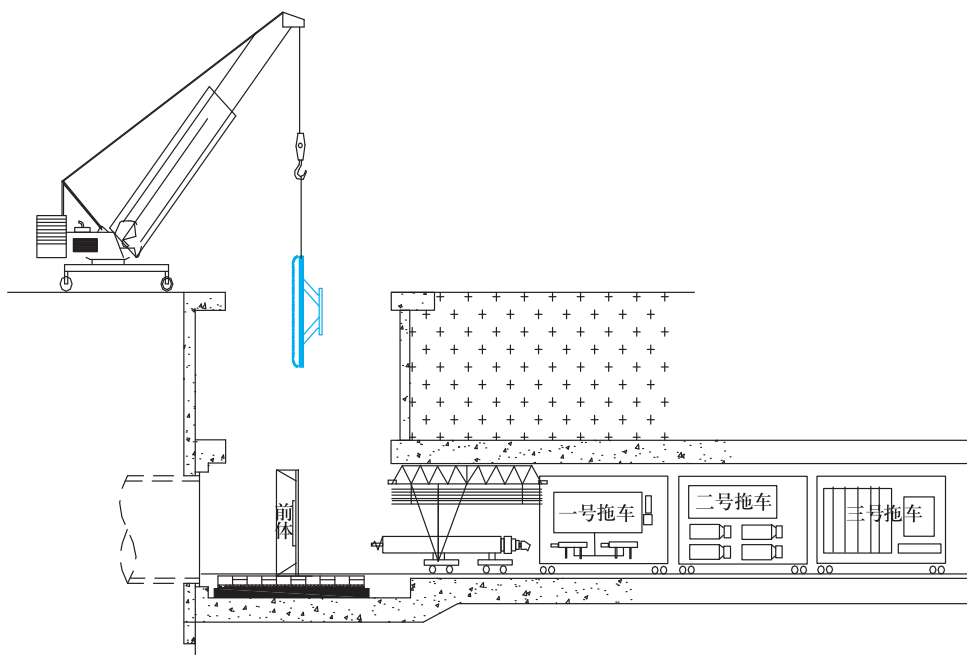


图 3-56 刀盘下井

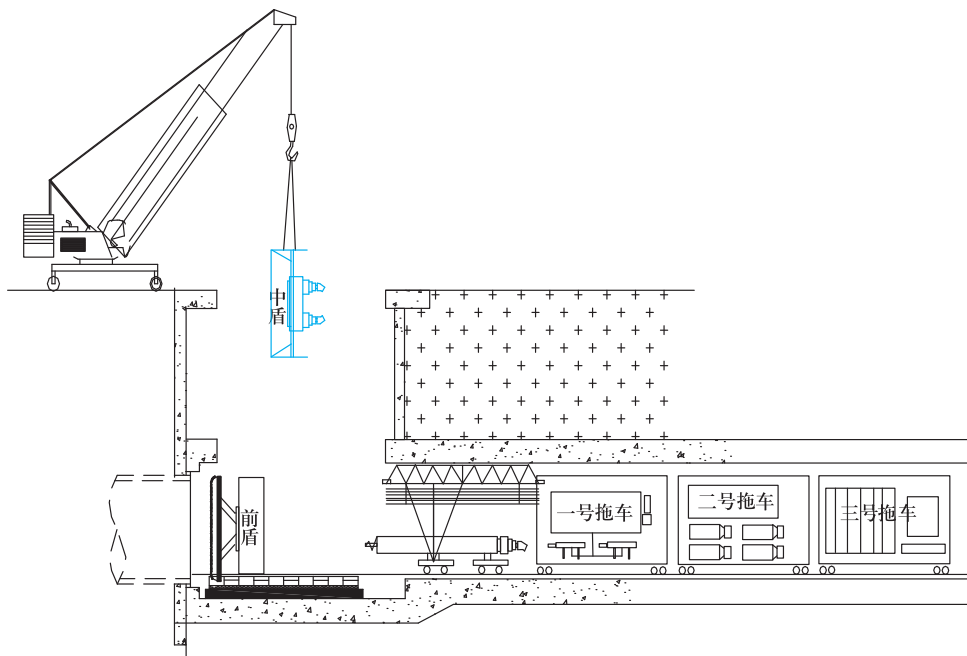


图 3-57 中盾下井

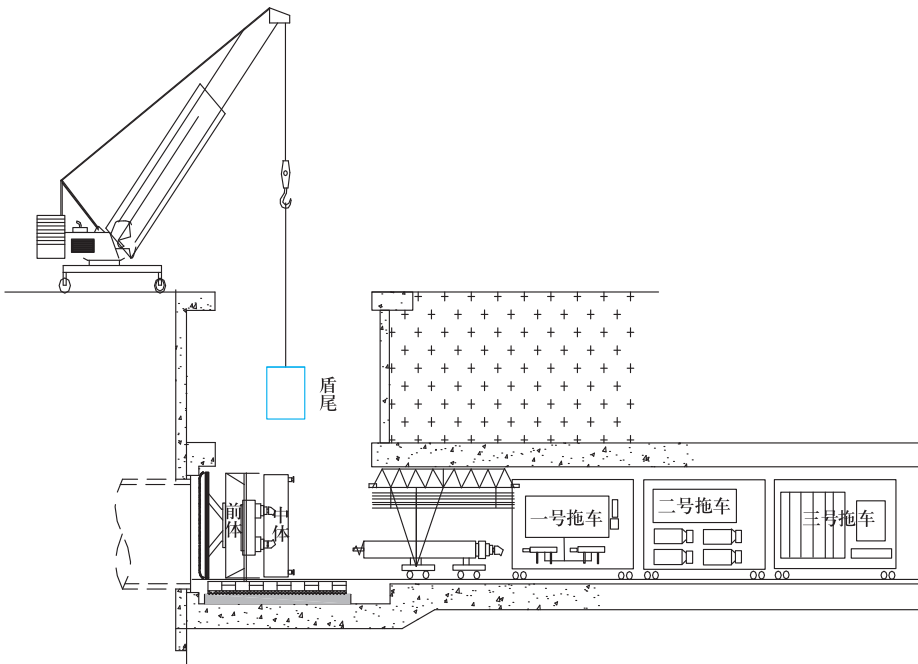


图 3-58 盾尾下井

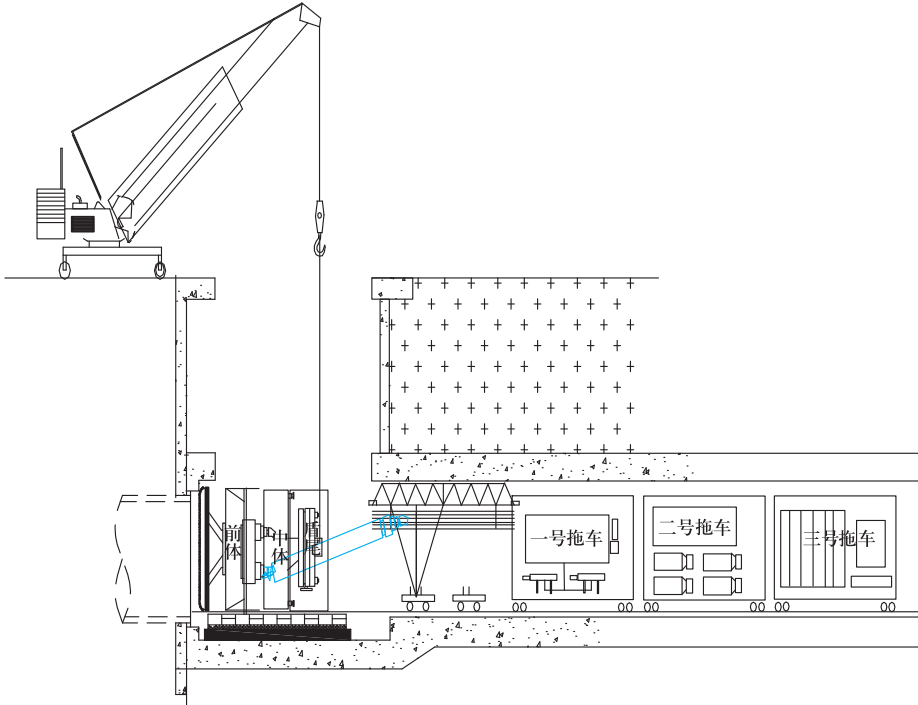


图 3-59 安装螺旋输送机

11. 安装反力架及负环管片

在盾构主机与后配套连接之前,进行反力架的安装,如图 3-60 所示。盾构反力架的作用是在

盾构始发掘进时提供盾构向前推进所需的反作用力。反力架端面应与始发基座水平轴垂直,以确保盾构轴线与隧道设计轴线保持平行。反力架的结构型式及加固方式如图 3-61、图 3-62 所示。

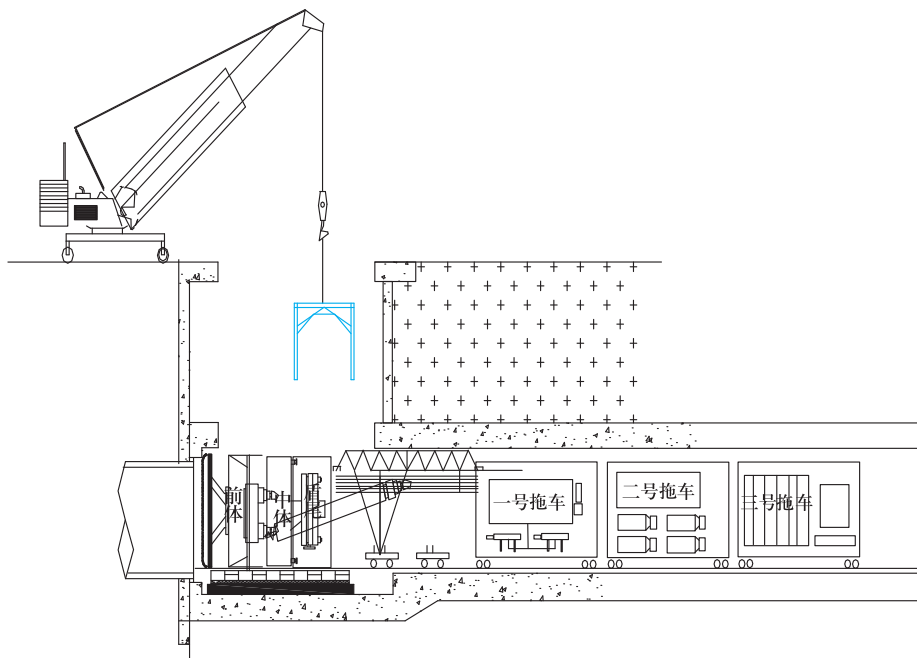


图 3-60 安装反力架

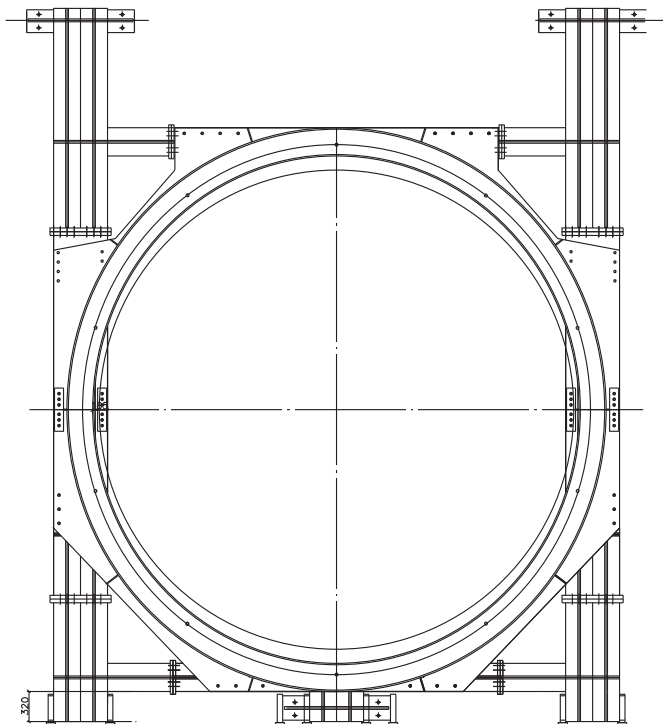


图 3-61 反力架的结构型式



图 3-62 反力架的加固

（三）盾构现场调试

盾构现场调试分空载调试和负载调试。盾构组装完毕后,即可进行空载调试。空载调试的目的主要是检查盾构各系统和设备是否能正常运转,检查各系统运行是否按要求运转,速度是否满足要求,对不满足要求的,要查找原因。通过空载调试证明盾构具有工作能力后,即可进行盾构的负载调试。负载调试的主要目的是检查各种管线及密封设备的负载能力,对空载调试不能完成的调试工作进一步完善,以使盾构的各个工作系统及其辅助系统达到满足正常施工要求的工作状态。

三、盾构始发

盾构始发是指利用反力架和负环管片,将始发基座上的盾构,由始发井推入地层,开始沿设计线路掘进的一系列作业。

盾构始发是盾构施工的关键环节之一,其主要工作包括始发前竖井端头的地层加固、安装盾构始发基座、盾构组装及试运转、安装反力架、凿除洞门和围护结构、安装洞门密封、盾构姿态复核、拼装负环管片。盾构始发工艺流程如图 3-63 所示。

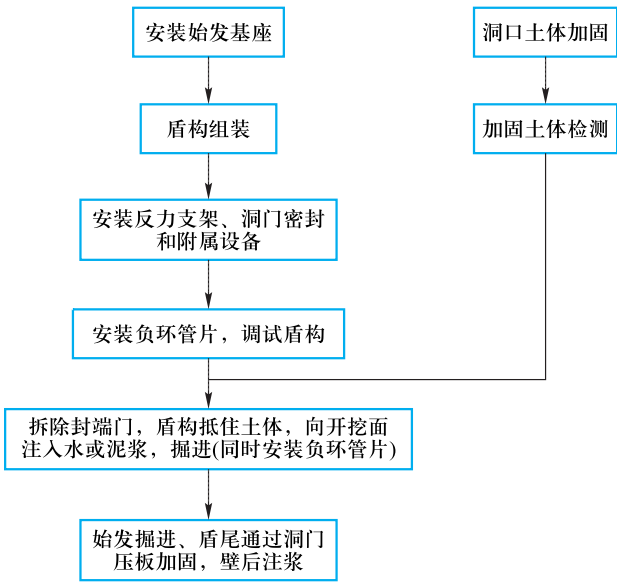


图 3-63 盾构始发工艺流程图

（一）端头加固

在始发掘进和到达掘进时,随着竖井挡土墙的拆除,端头土体的结构、作用荷载和应力将发生变化,对始发掘进和到达掘进的竖井端头地层需进行土体加固。地层加固的目的是防止拆除临时墙时的振动影响;在盾构贯入开挖面前,能使围岩自稳及防止地下水土流失;防止开挖面坍塌;防止地表沉降。端头土体加固是盾构始发与到达技术的一个重要组成部分,加固的成功与否直接关系到盾构能否安全始发与到达。因此,合理选择端头加固工法和必要的加固监测,是保证盾构法隧道顺利施工的重要环节。

地层加固有化学注浆法、砂浆回填法、深层搅拌法、高压旋喷桩法、冻结法等。国内较常用的

是深层搅拌法、高压旋喷桩法、冻结法。从现场施工经验来看,冻结法造价高,后期沉降大,旋喷桩造价成本远远高于深层搅拌桩,所以目前端头加固采用较广的是深层搅拌法,并在深层搅拌法加固体与连续墙间无法加固的间隙处采用旋喷法进行补充加固,如图 3-64 所示。

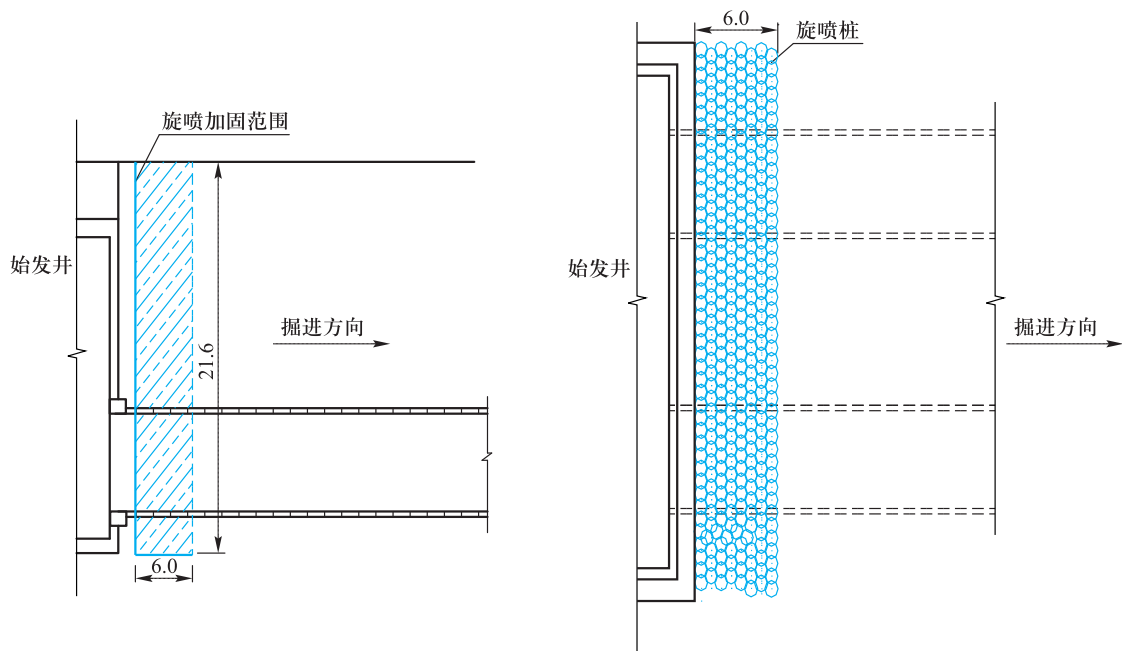


图 3-64 盾构机始发前的端头加固(单位:m)

端头加固范围一般为隧道衬砌轮廓线外左右两侧各 3.0 m,顶板以上为 3.0 m,底板以下为 2.5 m,加固长度根据土质而定,富水地层加固长度必须大于盾构本体长度(刀盘+盾壳)。加固后地层应具有良好的均匀性和整体性;在凿除洞门后能够自稳,且具有低渗透性。端头加固完后,应进行钻孔取芯试验以检查效果,取芯试件无侧限抗压强度应达到 $\sigma_u \geq 1 \text{ MPa}$,内聚力 $c \geq 0.5 \text{ MPa}$;在加固区钻水平孔和垂直孔检查渗水量,水平孔分布于隧道上、下、左、右部和中心处,每处各一个,深 8 m,其渗透系数不大于 $1.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$,其渗透量总计不大于 10 L/min。垂直孔在加固区前端布 2 个孔,与施工中钻孔误差较大的部位布设 1 个孔,其渗水量不大于 2 L/min。检查孔使用后,采用低强度水泥砂浆封口。

(二) 洞门凿除

洞门凿除应在端头加固的土体达到设计要求的强度与抗渗性后,方可开始凿除工作。

洞门混凝土采取人工高压风镐凿除。凿除分两个阶段。第一次先凿除外层混凝土并割除钢筋预埋件,保留最内层钢筋;外层凿除工作先上部后下部,钢筋及钢筋预埋件割除须彻底,以保证预留洞门的直径。当盾构组装调试完成,并推进至距离洞门 1.0~1.5 m 时,进行第二次凿除。第二次凿除根据断面大小分割成 9~16 块,如图 3-65 所示。具体做法是:在洞门中心位置凿 3 条水平槽,沿洞门周围凿 1 条环槽,然后开 2 条竖槽。

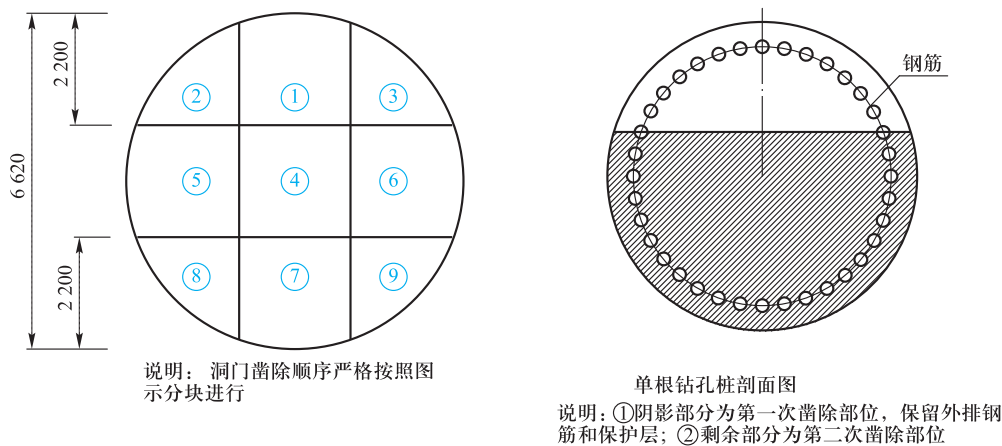


图 3-65 洞门凿除的顺序

(三) 洞门密封

洞门密封的目的是为了防止盾构始发及到达时土水从盾壳与洞门的间隙中流出，及防止盾尾背衬注浆造成浆液流失。

洞门密封施工分为两步进行：第一步是在竖井井壁施工过程中，做好钢环板的预埋工作，预埋件必须与井壁的钢筋连接在一起；第二步在盾构正式始发或到达前，应先清理完洞口的渣土，然后进行洞口密封装置的安装。

洞门密封装置由帘布橡胶板、扇形压板、圆环板、垫圈和螺栓等组成，如图 3-66 所示。安装洞门密封之前，应对帘布橡胶板的整体性、硬度、老化程度等进行检查，对洞门钢环板的成圆螺栓孔位进行检查，并提前把帘布橡胶板的螺栓孔加工好。然后将洞门钢环板的螺栓孔清理干净，最后按照帘布橡胶板、扇形压板、防翻板的顺序安装。

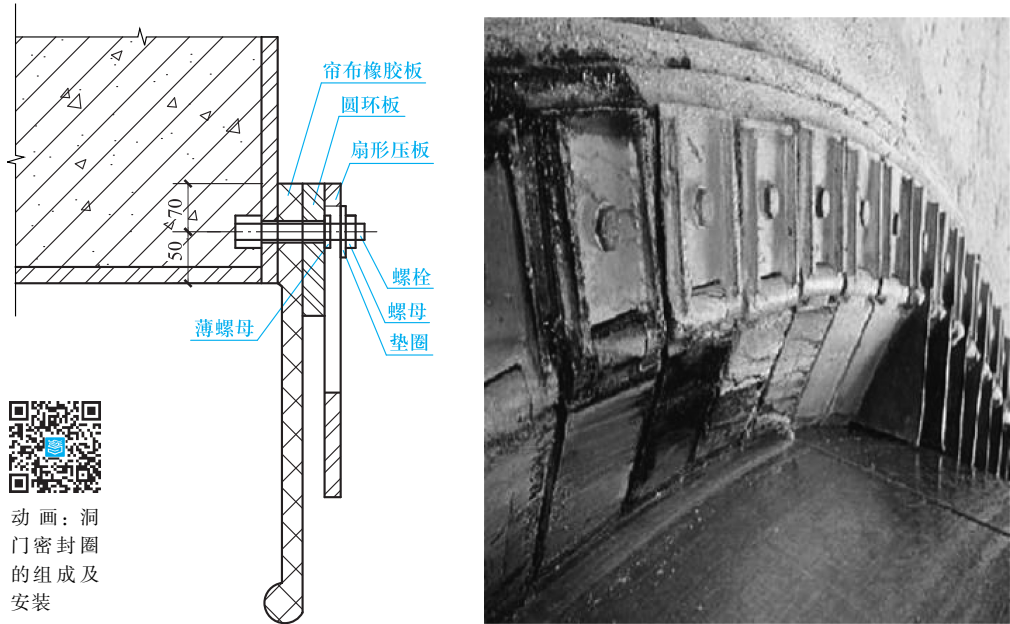


图 3-66 折页式密封压板

(四) 负环管片拼装

当完成洞门凿除、洞门密封装置安装及盾构组装调试等工作后,组织相关人员对盾构设备、反力架、始发基座等进行全面检查与验收。验收合格后,开始将盾构向前推进,并安装负环管片。具体注意事项如下。

(1) 在盾尾壳体内安装管片支撑垫块,为管片在盾尾内的定位做好准备,如图 3-67 所示。

(2) 从下至上依次安装第一环管片,要注意管片的转动角度一定要符合设计要求,换算位置误差不能超过 10 mm。

(3) 安装拱部的管片时,由于管片支撑不足,一定要及时加固。

(4) 第一环负环管片拼装完成后,用推进油缸把管片推出盾尾,并施加一定的推力把管片压紧在反力架上的负环管片上,用螺栓固定后即可开始下一环管片的安装。

(5) 管片在被推出盾尾时,要及时支撑加固,防止管片下沉或失圆。同时也要考虑到盾构推进时可能产生的偏心力,因此支撑应尽可能地稳固。

(6) 当刀盘抵达掌子面时,推进油缸已经产生足够的推力,稳定管片,就可以把管片定位块取掉。

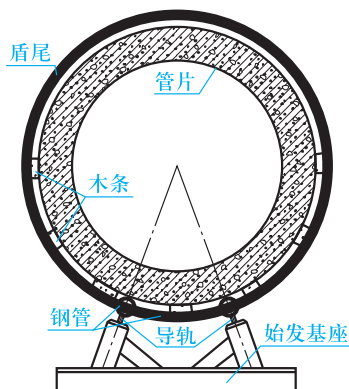


图 3-67 盾尾管片支撑垫块示意图

(五) 盾构始发注意事项

(1) 盾构始发前,需检查核实各电缆、电线及管路的连接是否留有足够的供盾构机前进需要的拉长量;人员组织机具配备是否到位等。检查基座、反力架、洞门密封及端头加固是否满足设计要求。

(2) 盾构推进前,为减小盾构机的推进阻力,在盾构机的基座上涂抹黄油,为避免刀盘上的刀具在进洞时损坏洞门密封装置,在刀盘和刀具上涂抹油脂。

(3) 盾构机在导轨上逐环推进并尽快推进掌子面,然后盾构开始掘进。

(4) 盾构机在进洞前,在盾构机的两侧分别焊接防扭桩,防止盾构刀盘转动时带动整个盾体转动,防扭桩应能承受盾构机的扭矩并能将扭矩传给始发基座。减少刀盘的设定扭矩,使其值不得大于最大扭矩的 40%。在盾构机进入洞门密封装置后及时切除防扭桩,切口应平整。

(5) 由于始发基座在盾构始发时要承受纵向、横向的推力以及约束盾构旋转的扭矩,所以在盾构始发之前,必须对始发基座两侧进行必要的加固,如图 3-68、图 3-69 所示。

(6) 根据实际情况控制施工参数,一般在始发进洞时推进速度为 2~4 mm/min,刀盘转速为 0.3~0.8 r/min。在推进的过程中可逐渐地将土压设定值提升到理论值,并根据地面及地层的检测反馈信息对土压力的设定值进行调整。加固区范围内稍微抬高盾构机的姿态,防止在推出加固区后,由于土层的软硬程度不同而导致盾构机发生“栽头”现象。

(7) 盾尾即将离开洞门密封时,要及时进行同步注浆,同时检查洞门密封效果如何,是否有大面积漏浆现象。



图 3-68 始发基座防扭转装置



图 3-69 始发基座侧向支撑

任务5 盾构掘进

一、土压平衡式盾构掘进

土压平衡工况掘进时,刀具切削下来的土充满土仓,然后利用土仓内泥土压力与作业面的土压相抗衡。与此同时,用螺旋输送机进行与盾构推进量相应的排土作业,掘进过程中,始终维持排土量与挖土量的平衡,以保持正面土体稳定,并防止地下水的流失而引起地表过大的沉降,如图 3-70 所示。

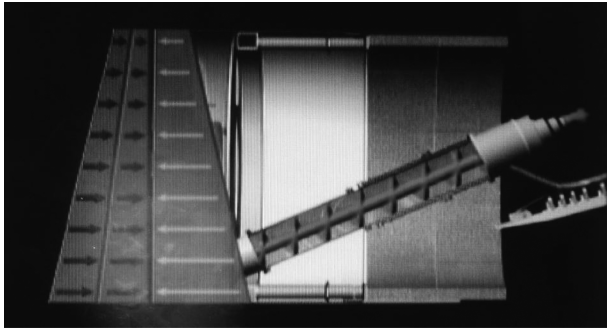


图 3-70 土压平衡盾构机基本原理



土压盾构掘进



土压平衡作用原理

根据土压平衡工况的特点,确定并保持合理的土仓压力是关键因素。因此,土压平衡工况中掘进参数的确定是以土仓压力为基准点来考虑,掘进控制程序也应以土仓压力的保持为目的。

1. 土仓压力值 p 的选定

土仓压力 p 应能与地层土压力和静水压力相平衡。假设刀盘中心地层静水压力、土压力之和为 p_0 ,则

$$p \approx p_0 = K\gamma h \quad (3-1)$$

式中: γ ——土的平均重度;

h ——刀盘中心至地表的垂直距离,m;

K ——土的侧向静止土压力系数。

盾构在掘进过程中据此取得平衡压力的设定值,具体施工时根据盾构所在位置的埋深、土层状况及地表监测结果进行调整优化。地表沉降与工作面稳定关系以及相应措施与对策见表 3-3。

表 3-3 地表隆陷与工作面稳定关系以及相应对策

地表沉降信息	工作面状态	p 与 p_0 关系	措施与对策
下沉超过基准值	工作面坍塌与失水	$p < p_0$	增大土仓压力 p 值
隆起超过基准值	支撑土压力过大, 土仓内水进入土层	$p > p_0$	减小土仓压力 p 值

2. 土仓压力的保持

土仓压力主要通过维持开挖土量与排土量的平衡实现。可通过设定掘进速度、调整排土量,或设定排土量、调整掘进速度两条途径来实现。

3. 排土量的控制

排土量的控制是盾构在土压平衡工况模式下工作时的关键技术之一。

理论上螺旋输送机的排土量 Q_s 是由螺旋输送机的转速来决定的,当推进速度和 p 值设定,盾构可自动设置理论转速 N ,即

$$Q_s = V_s N$$

(3-2)

式中: V_s ——设定的每转一周的理论排土量;

Q_s ——与由掘进速度决定的理论渣土量 Q_0 相当,即 $Q_0 = AVn_0$,其中 A 为切削断面面积, n_0 为松散系数, V 为推进速度。

通常理论排土率用 $K = Q_s / Q_0$ 表示。

理论上, K 等于或接近 1 时,此时渣土就具有低的透水性且处于良好的流塑状态。若 $K < 1$,则 $Q_0 > Q_s$,表示渣土呈现干硬状态,出现渣土在螺旋输送机中的输送阻力增大,同时土体输送中产生固结、阻塞现象,造成了实际排土量将小于理论渣土量,必须依靠增大转速来增大实际出土量,使之尽量接近 Q_0 。若 $K > 1$,则 $Q_0 < Q_s$,表示渣土松软、流动性强,在土仓内高压力的作用下,渣土自身有一个向外流动的能力,从而使实际排土量大于螺旋输送机转速决定的理论排土量,则必须依靠降低螺旋输送机的转速来降低实际排土量。

渣土的排土量必须与掘进的挖掘量相匹配,以获得稳定而合适的支撑压力值,使掘进机的工作处于最佳状态。当通过调节螺旋输送机的转速仍不能达到理想的出土状态时,可通过改良渣土的流塑状态来调整。

4. 渣土改良

理论上渣土在土压平衡工况模式下应具有以下特征:

- (1) 良好的流塑状态。
- (2) 良好的黏-软稠度。
- (3) 低的内摩擦力。
- (4) 低的透水性。



盾构持续
推进



渣土改良

但一般地层岩土不会自然具有这些特征,从而使刀盘摩擦增大,工作负荷增加。同时,密封仓内渣土流塑状态差时,在压力和搅拌作用下易产生泥饼、压密固结等现象,从而无法形成有效的对开挖仓密封和良好的排土状态。当渣土透水性强时,渣土在螺旋输送机内排出时无法形成有效的压力递减,土仓内的土压力无法达到稳定的控制状态。

当渣土满足不了这些要求时,需通过向刀盘、土仓及螺旋输送机内注入添加剂对渣土进行改良,采用的添加剂种类主要是泡沫、膨润土。

二、泥水平衡式盾构掘进

泥水平衡式盾构是在机械式盾构的刀盘后面设置隔板,隔板与刀盘之间形成泥水仓,将加压的泥水送入泥水仓,当泥水仓充满加压的泥水后,通过加压作用和压力保持机构,来维持开挖面的稳定。盾构推进时由刀盘旋转切削土砂,经搅拌后形成高浓度泥浆,然后用流体输送方式送到地面,在地面通过泥水处理设备进行分离,分离后的泥水进行质量调整后再输送到开挖面,如图 3-71 所示。



泥水平衡盾构掘进



动画：泥水平衡盾构施工

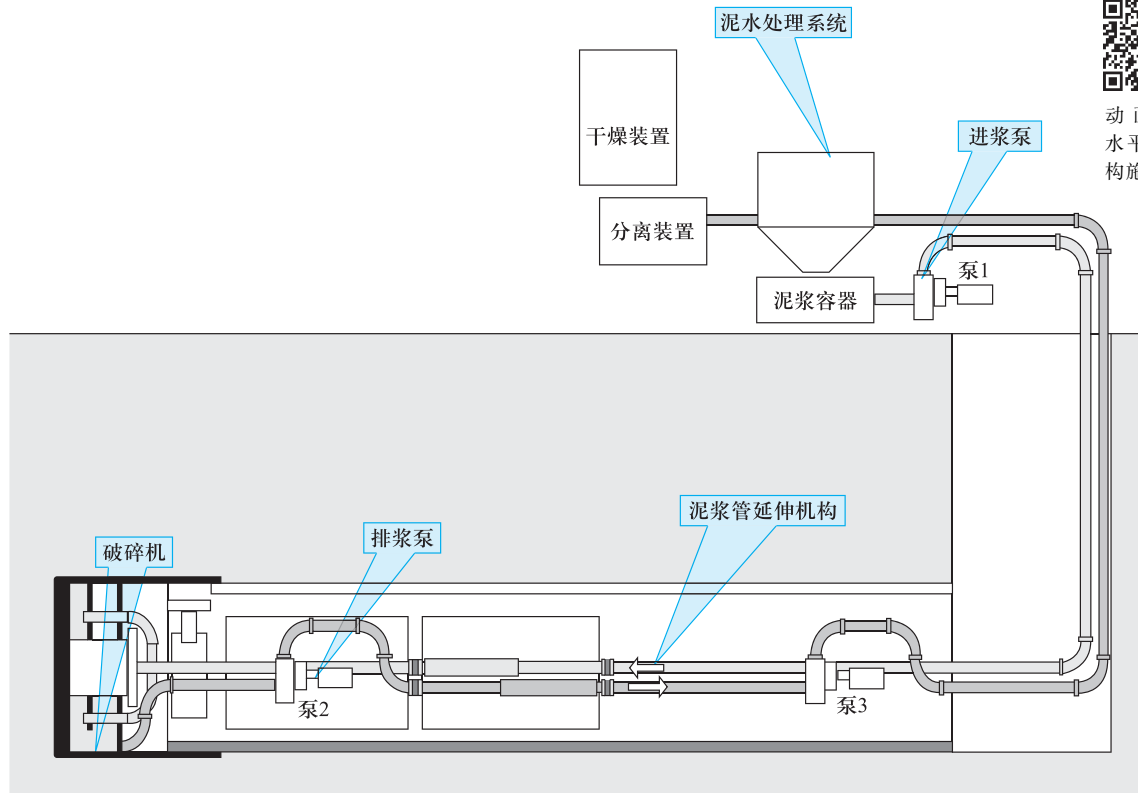


图 3-71 泥水平衡式盾构工作原理图

泥水平衡式盾构由以下五大系统组成：

- (1) 一边利用刀盘挖掘整个开挖面、一边推进的盾构掘进系统。
- (2) 可调整泥浆性能,并将其送至开挖面,保持开挖面稳定的泥水循环系统(也称泥水输送系统)。

- (3) 综合管理送排泥状态、泥水压力及泥水处理设备运转状况的综合管理系统。
- (4) 泥水分离处理系统。
- (5) 壁后同步注浆系统。



皮带机连续出渣

泥水平衡式盾构通过向密封的泥水仓内输送加压的泥水来获得开挖面的稳定,对于不透水性的黏土,泥浆压力适当大于围岩主动土压力,就可以保证隧道开挖面的稳定;对于透水性大的砂性土,泥浆会渗入到土层内一定深度,并在很短时间内,在土层表面形成泥膜,有助于改善围岩的自稳能力,并使泥浆压力在开挖面上发挥有效的支护作用。通过泥膜,产生与作业面上的土压、水压相抗衡的泥水压,以保持作业面的稳定。

为了使开挖面保持相对稳定而不坍塌,只要控制进入泥水仓的泥浆量和渣土量与从泥水仓中排出的泥浆量相平衡,开挖即可顺利进行。

1. 泥水平衡式盾构掘进参数控制

在泥水平衡模式下掘进时,操作人员必须时刻注意各种掘进参数的变化并迅速分析、判断并对变化的参数进行合理的调整。一般来说,掘进时应对以下项目进行控制。

(1) 切口水压的设定。盾构切口水压由地下水压力、静止土压力、变动土压力组成,切口泥水压力应介于理论计算值上下限之间,并根据地表构筑物的情况和地质条件适当调整。

(2) 掘进速度。掘进速度受到各种条件(盾构推力、刀盘转速、刀盘扭矩等)的制约,由于盾构机的推进是依据刀盘切削泥土或破岩来实现的,因此掘进中确保刀具受力不超过额定载荷是至关重要的,这些又与地质密切相关。掘进速度还应该控制在盾构设计范围内,一方面防止动力部分过载,另一方面还应该保证渣土顺利排出。掘进中应密切注意刀盘扭矩的变化,一旦刀盘扭矩过大,应立即调整推力,从而调整推进速度。

正常掘进条件下,掘进速度应设定为 20~40 mm/min;在通过软硬不均地层时,掘进速度控制在 10~20 mm/min。

(3) 掘削量的控制。实际掘削量 Q 可由下式计算得到

$$Q = (Q_2 - Q_1)t \quad (3-3)$$

式中: Q_2 ——排泥流量, m^3/h ;

Q_1 ——送泥流量, m^3/h ;

t ——掘削时间, h 。

当发现掘削量过大时,应立即检查泥水密度、黏度和切口水压。此外,也可以利用探查装置,调查土体坍塌情况,在查明原因后应及时调查有关参数,确保开挖面稳定。

(4) 泥水指标控制。为了保持开挖面稳定,必须可靠而迅速地形成泥膜,以使压力有效地作用于开挖面。为此,施工中必须严格控制泥水的组成及质量。泥水主要由膨润土、CMS(缩甲基淀粉)、纯碱和水组成。膨润土用于提高泥水黏度、比重、悬浮性、触变性;CMS 用于降低失水率、增加黏度;纯碱(碳酸钠)调节 pH 值、分散泥水颗粒。

① 泥水密度。为确保开挖面的稳定,须将开挖面的变形控制在最低限度以内,为此控制泥水密度是泥水主要控制指标。密度大的泥水使得送泥泵处于超负荷状态,将导致泥水处理上的困难;而密度小的泥水虽具有减低泵的负荷等优点,但却产生了逸泥量的增加、推迟泥膜的形成。一般送泥时的泥水密度在 $1.05 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$ 之间,使用黏土、膨润土提高相对密度,增加 CMS 来增大黏度。排泥密度一般控制在 $1.15 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$ 。

② 泥水的黏度。具有很好黏性的泥浆可在砂砾层有效防止泥浆损失、砂层剥落,使作业面保持稳定。在易坍塌围岩中,宜使用高黏度泥浆,但泥浆黏度过高,处理时容易堵塞筛眼,造成设备作业性能下降;在黏性土层中,黏度不能过低,否则会造成开挖面坍塌或堵管事故,一般黏度控制在 25~35 s。

③ 析水率。析水率是泥水管理中一项综合指标,它更大程度上与泥浆的黏度有关,悬浮性好的泥浆就意味着析水率小,反之就大。泥浆的析水率一般控制在 5% 以下,降低土颗粒和提高泥浆的黏度,是保证析水率合格的主要手段。

2. 泥水压力控制

泥水平衡盾构工法将泥膜作为媒介,由泥水压力来平衡土体压力。在泥水平衡理论中,泥膜的形成是至关重要的,当泥浆压力大于地下水压力时,泥水按达西定律渗入地层,形成与土壤间隙成一定比例的悬浮颗粒,被捕获并集聚于土壤与泥水的接触表面,泥膜就此形成。随着时间的推移,泥膜的厚度不断增加,渗透抵抗力逐渐增强。当泥膜抵抗力远大于正面土压时,产生泥水平衡效果。当泥水仓内的泥水压力大于地层压力和水压力时,地表将会隆起;当泥水仓内的泥水压力小于地层压力和水压力时,地表将会下沉。因此泥水仓内的泥水压力应与地层土压力和水压力平衡。

作用在开挖面上的泥水压力一般设定为:泥水压力=土压+水压+附加压。

附加压的一般标准为 0.02 MPa,但也有比开挖面状态大的值。一般要根据渗透系数、开挖面松弛状况、渗水量等进行设定。但附加压过大,则盾构推力增大和对开挖面的渗透加强,相反会带来塌方、造成泥水窜入等危害,需要谨慎考虑。

3. 泥水循环系统及分离技术

泥水循环系统具有两个基本功能:一是稳定掌子面;二是通过排泥泵将开挖渣料从泥水仓通过排泥管送到泥水分离站。泥水循环系统由送排泥泵、送排泥管、延伸管线、辅助设备等组成。

通常将盾构排出的泥水进行水、土分离的过程称为泥水处理。泥水处理设备设于地面,由泥水分离站和泥浆制备设备两部分组成。泥水分离站主要由振动筛、旋流器、储浆槽、调整槽、渣浆泵等组成;泥浆制备由沉淀池、调浆池、制浆系统等组成。选择泥水分离设备时,必须考虑两个方面:一是必须具有与推进速度相应的分离能力;二是必须能有效地分离排泥浆中的泥土和水分。同时在考虑分离站的能力时还应有一定的储备系数。

泥水处理一般分为 3 级,一般情况下,砂质土做一次处理,黏性土做二次处理。

1) 一级处理

一级泥水处理的对象是粒径在 74 μm 以上的砂、砾、粉砂、黏土块,使用振动筛和离心分离器等设备对其进行筛分,即可达到目的,分离出的土颗粒由土车运走。

2) 二级处理

二级泥水处理的主要对象是泥水一次处理时不能分离的 74 μm 以下的粉砂、黏土等细小颗粒。处理过程中一般先用絮凝剂 PAC(聚合氯化铝)使其絮凝成团,然后用压力过滤筛将其压滤成含水量较低的泥块后与泥水分离。

3) 三级处理

三级处理是将进入 pH 槽中的液体进行酸碱处理,达到排放标准后方可排放。采用的材料主要是稀硫酸或适量的二氧化碳气体。

任务6 盾构姿态控制

盾构在掘进过程中,由于地质因素、设备因素及人为操作因素等,经常导致盾构机前进方向与隧道设计轴线间出现偏差,因此需要实时对盾构掘进方向及盾构自身姿态进行调整控制,以满足隧道设计轴线掘进及管片拼装作业要求。如图 3-72 所示为盾构掘进过程中的姿态空间关系。

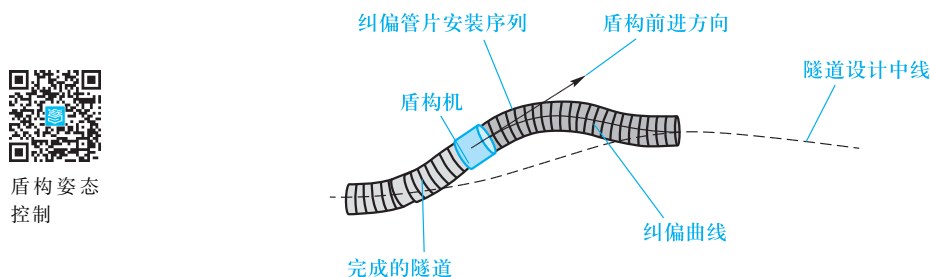


图 3-72 盾构姿态空间关系图

一、盾构激光导向系统

在掘进模式下,盾构激光导向系统是实时动态监测和调整盾构的掘进状态,保持盾构沿设计隧道轴线前进的工具之一。

1. 盾构激光导向系统的工作原理

在整个盾构施工过程中,激光导向系统起着极其重要的作用。工作原理如图 3-73 所示。

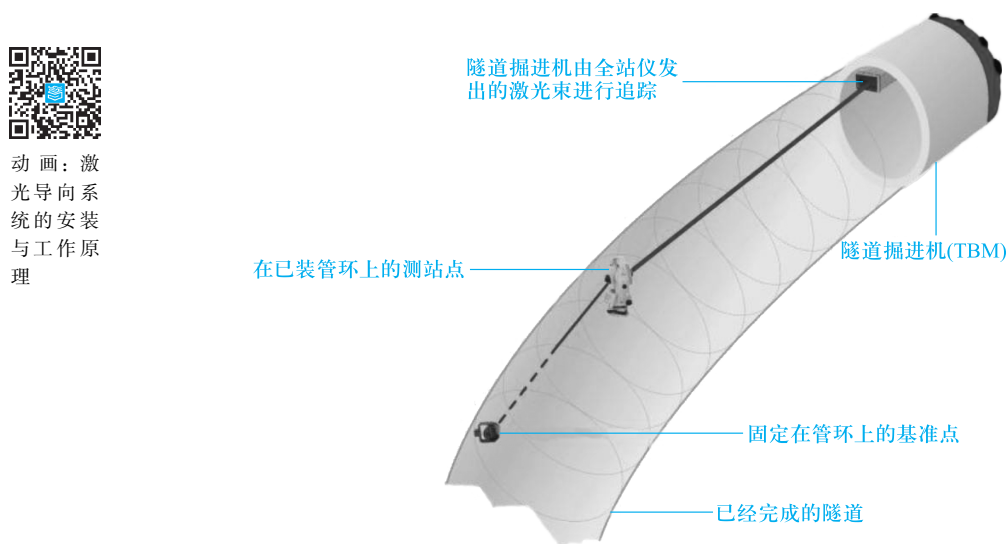


图 3-73 盾构导向系统工作原理图

(1) 在导向系统软件显示界面(图 3-74)上动态显示盾构轴线相对于隧道设计轴线的准确位置,报告掘进状态;并在一定模式下,自动调整或指导操作者人工调整盾构掘进的姿态,使盾构沿接近隧道设计轴线掘进。

- (2) 获取各环掘进姿态及最前端已装环片状态,指导环片安装。
- (3) 通过标准的隧道设计几何元素自动计算隧道的理论轴线坐标。
- (4) 与地面电脑相连,对盾构的掘进姿态进行远程实时监控。

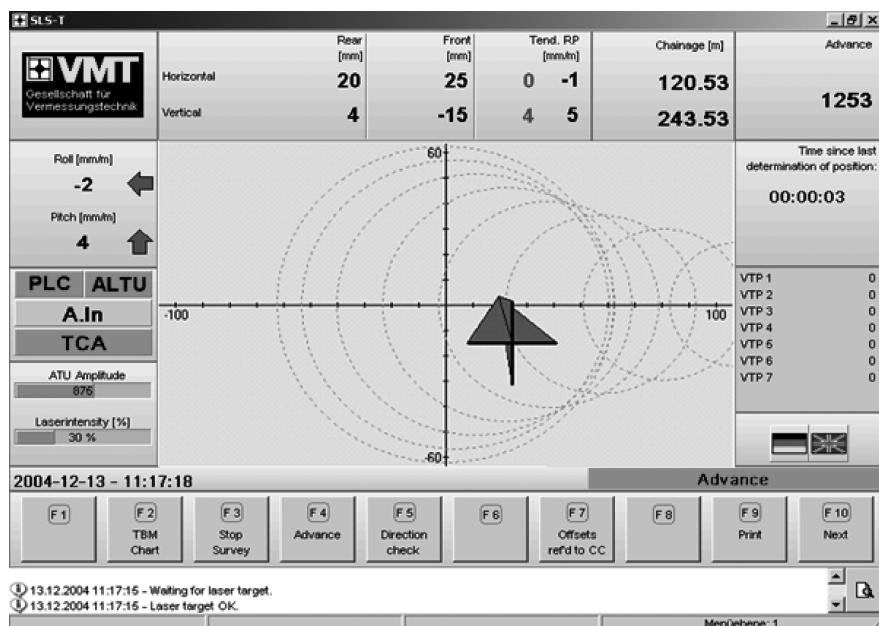


图 3-74 导向系统软件显示界面

2. 盾构激光导向系统的组成及功能

盾构激光导向系统是综合运用测绘技术、激光传感技术、计算机技术以及机械电子等技术指导盾构隧道施工的有机体系。激光导向系统由激光发射装置、检查和转换装置、控制装置等部分组成。

(1) 激光全站仪(laser station)。激光全站仪是同时测量角度(水平角和竖直角)和距离的测量仪器,并能发射出一束可见的红色激光,如图 3-75 所示。激光经纬仪临时固定在安装好的管片上,随着盾构机的不断向前掘进,激光经纬仪也要不断地向前移动,称为移站。

(2) ELS 激光靶(ELS laser target)。激光靶被固定在盾构机机身内,用来接收激光束。ELS 激光靶参考平面上布满了传感元件,可以传递入射角的上下倾角、左右倾角和入射点对于 ELS 激光靶的中心线的旋转角,如图 3-76 所示。激光经纬仪发射出激光束照射在激光靶上,激光靶可以判定激光的入射角及折射角,另通过激光靶内测倾仪测量盾构机的滚动和倾斜角度。

(3) 隧道掘进软件。隧道掘进软件是激光导向系统的核心。通过其附带的通信装置接收数据,由隧道掘进软件计算出盾构机的位置和姿态,并以图形和数字的形式显示出来。

此外要实现该系统的功能,相关联的部件和软件还有盾构机掘进系统的 PLC,要实现一些附加功能的部件如自动测量盾尾间隙的部件、要实现管片环收敛等量测的部件等隧道掘进软件。



图 3-75 激光全站仪

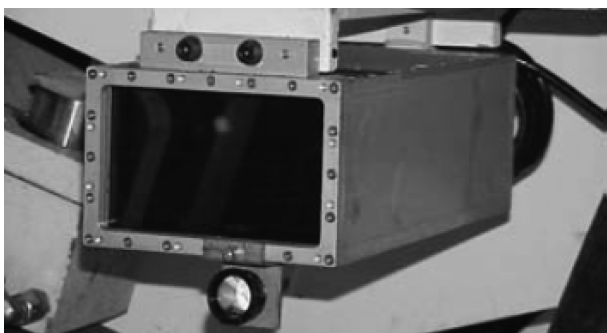


图 3-76 激光靶

二、盾构姿态调整

如前所述,盾构掘进过程中由于各种因素影响,经常导致盾构当前方向偏离隧道设计轴线,因此需要随时掌握盾构当前位置与姿态,并及时进行调整,简称“纠偏”。盾构掘进方向与姿态信息可通过上述盾构激光导向系统实时监控。现就盾构纠偏常用方法进行介绍。

1. 盾构机掘进方向的控制原则

- (1) 使盾构机趋向隧道设计中心线方向,控制蛇行和滚动。
- (2) 防止过急纠偏,蛇行的修正以长距离缓慢修正为原则。
- (3) 盾构机姿态的调整应适应管片的姿态。
- (4) 管片的选型拼装应适应盾构机的姿态及趋势。
- (5) 底部推进油缸的压力稍高于顶部的压力,防止盾构“栽头”。
- (6) 交替刀盘正反转掘进,调整盾构机的滚动值。

2. 盾构常用纠偏方法

1) 推进油缸编组

如图 3-77 所示,推进油缸编组是通过推进油缸的选用,使油缸千斤顶产生的合力与外力之间组成一个有利于纠偏的力偶,从而调整盾构机高程位置和平面位置。对油缸进行编组时必须注意以下几点。

① 纠偏量数值不得超过操作规程的规定值,避免一次性大幅度纠偏,做到“勤纠、少纠”。

② 不得停用作用于封顶块的油缸千斤顶,因为作用于封顶块的油缸千斤顶只有一个,如停用该千斤顶,在盾尾的摩擦作用下,封顶块环缝将出现开裂现象。

③ 每块管片(除封顶块外)保证至少 2 个油缸千斤顶共同作用于管片,确保管片受力均匀。

④ 为防止相邻管片纵缝两侧受力不同,产生环面不平整,在管片纵缝处骑缝油缸千斤顶必须同时使用。

2) 区域油压控制

盾构将油缸千斤顶分为上、下、左、右 4 个区域,每个区



图 3-77 推进油缸编组

域为一个油压系统。通过对各区域油压开度的调整,并结合各区段显示的推力值增加或减小各区域油压。当增加某区域或减小某区域油压的方法无法达到纠偏量时,采取降低其他3个区域油压的方法,以此来进一步增加纠偏力偶。

3) 超挖刀的使用

当无法通过调整和编组推进油缸区域油压完成纠偏时,通常采用超挖刀改变前方阻力的合力位置,从而得到一个理想的纠偏力偶,来达到控制盾构轴线的目的。尤其在加固区域推进时非常有效。但超挖刀的使用必须要注意以下几点。

① 在加固区刚开始开启超挖刀时,超挖刀的伸出量应该由小到大逐级调整,避免超挖刀的损伤。

② 由于超挖区域设定时,超挖起始点即为超挖刀开始伸出的位置,超挖终点即为超挖刀开始缩进的位置,因此在设定超挖区域时,应充分考虑超挖刀因伸出和缩进对起始点超挖产生的滞后性和超挖终点区域的扩大性。

③ 当超挖区域较小,超挖刀伸出设定值较大时,如刀盘转速太快,会产生超挖刀还未伸至设定值就已经转过设定区域开始收缩,造成无法完成预期超挖量。

4) 铰接油缸的使用

利用铰接油缸进行纠偏的操作方式主要有以下几种:

① 左铰:以左半区域铰接油缸回缩,右半区域铰接油缸伸出的方式使盾构切口向左转。

② 右铰:以右半区域铰接油缸回缩,左半区域铰接油缸伸出的方式使盾构切口向右转。

③ 上铰:以上半区域铰接油缸回缩,下半区域铰接油缸伸出的方式使盾构切口上仰。

④ 下铰:以下半区域铰接油缸回缩,上半区域铰接油缸伸出的方式使盾构切口下俯。

操作员可通过控制左铰(右铰、上铰、下铰)量的大小,来完成盾构的纠偏量。采用铰接油缸纠偏具有纠偏效果良好、灵活性强等特点,但由于在开启铰接油缸时对周围土体扰动比较大,不利于地面沉降的控制。

3. 平面直线段盾构推进姿态控制

一般情况下,当盾构直线段推进时,左右千斤顶行程差值不会很大,其差值往往是因为计程设备的读数误差所产生的,因此直线段推进具有轴线控制比较简单,只需考虑千斤顶行程差与盾构姿态的关系,无须考虑轴线变化时盾构推进应该做怎样的调整。具体操作要点如下。

(1) 在土质比较均匀以及盾构姿态良好的情况下,保持盾构左右区域油压不变,千斤顶左、右区长度差值变化不会很大,盾构将能保持良好的姿态。

(2) 在土质比较复杂或者土质突然变化的情况下,保持相同的区域油压往往会产生意想不到的姿态变化。因此,这种情况下,必须注意左右千斤顶的长度差的变化量,并及时加以调整。

(3) 在推进过程中如发现小幅度长度差值变化时,直接进行千斤顶油压的调整,使千斤顶长度差值与前一环保持一致,如发现千斤顶行程差与前一环变化很大时,说明此时盾构姿态已经偏离轴线,必须向反方向推进相同长度后再加以调整。

4. 平面曲线段盾构推进

(1) 盾尾与管片间的间隙控制。在曲线段推进过程中,盾构与管片间的间隙控制不仅会影响到管片的拼装质量,也会影响盾构轴线的控制,如各区域间隙分布均匀,如图3-78所示,将便于盾构进行纠偏,但在纠偏时千斤顶长度差值不可过大,防止盾尾与管片产生挤压、摩擦作用,引

起管片碎裂。如当盾构向左进行纠偏时,必须考虑管片左右侧的间隙量,如左侧间隙量太小,在纠偏时不可过猛,如图 3-79 所示。

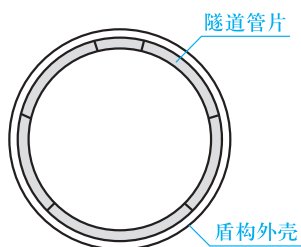


图 3-78 盾尾与管片间隙示意图

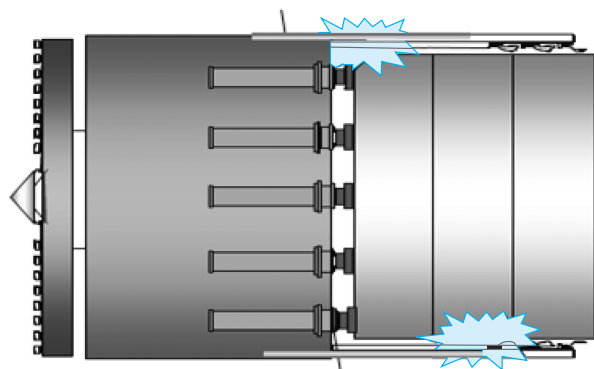


图 3-79 盾尾纠偏与管片的关系

(2) 左右油压差值及左右千斤顶长度差值的控制。在曲线段推进过程中,调整左右油压的差值是完成左右纠偏量的主要方法。在具体的纠偏过程中,盾构司机可根据左右千斤顶的长度差来判断盾构现状是否将完成预计的纠偏量,如图 3-80 所示。当盾构切口刚由直线段进入曲线段(缓和曲线段进入圆弧曲线段)时,由于盾尾管片还未进行曲线段管片的拼装,应通过增加左右千斤顶长度的差值来使盾构正好处于曲线段设计轴线的切线位置;而在同一曲线段推进时,管片的超前量调整正好起到一个调整盾构推进方向的作用,如盾构姿态良好,保持原有的千斤顶差值即能使盾构保持良好姿态。

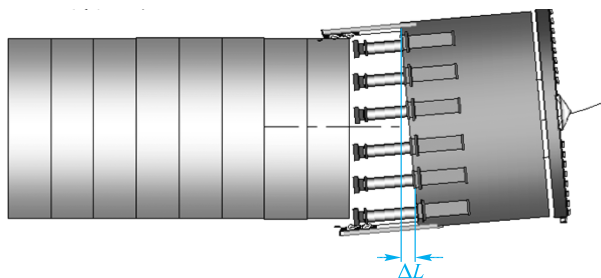


图 3-80 左、右千斤顶长度差曲线段控制

5. 纵坡段推进姿态控制

盾构在线路纵坡段推进过程中姿态控制的方法有两种:一种是变坡法,另一种是稳坡法。

(1) 变坡法:是指在每一环推进施工中,用不同的盾构推进坡度进行施工,最终达到预先指定的纵坡,如图 3-81 所示。其优缺点如下。

① 优点:可根据管片与盾构的相对位置,采用先扬后抑或先抑后扬的措施来完成提升和降低盾构高程,推进结束时盾构坡度调整至与隧道轴线坡度相近,因此盾构四周间隙不受因盾构与管片间折角的影响,便于拼装。

② 缺点:盾构坡度变化较大,加大了盾构周围土体的扰动。

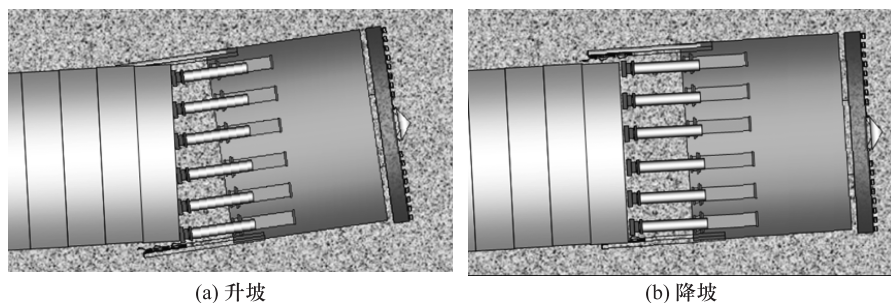


图 3-81 变坡法

(2) 稳坡法:是指盾构始终保持一个固定纵坡进行推进,以符合纠坡要求,如图 3-82 所示。

① 优点:对土体扰动比较小。操作员可根据上环稳坡法推进时推进坡度与高程的变化关系,确定当前环的推进坡度。

② 缺点:在盾构稳坡法推进过程中,特别是在软土地层,盾构与隧道间往往会存在一个夹角。因此,盾构推进结束时,盾构与管片间的夹角会影响管片的四周间隙,进而影响管片的拼装质量。

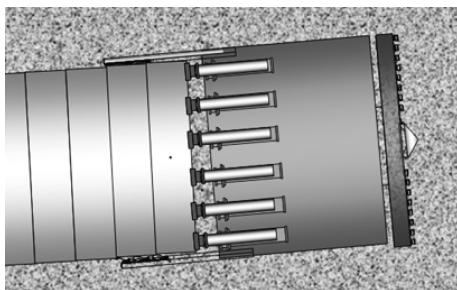


图 3-82 稳坡法

任务7 管片拼装及壁后注浆

一、管片构造

盾构隧道衬砌的主体是由管片拼装组成的管环,如图 3-83 所示,管环通常由标准块、邻接块和封顶块构成,管片之间一般用螺栓连接。封顶块管片根据管片拼装方式的不同,有从隧道内侧半径方向插入的径向插入型和从隧道轴向插入的轴向插入型以及两者并用的类型。

从制作成本、防水、拼装速度等方面考虑,衬砌环分块数越少越好,但从运输和拼装方便而言,又希望分块数多些。在设计时应结合隧道所处的围岩条件、荷载情况、构造特点、运输能力、制作拼装方便等因素综合考虑决定。通常直径 $D \leq 6$ m 的地下铁道区间隧道,衬砌环以分 4~6 块为宜; $D > 6$ m 时,可分为 6~8 块。

衬砌管片厚度应根据地层条件、隧道外径 D 的大小、埋置深度、管片材料、隧道用途、施工工艺、受荷载情况及衬砌所受的施工荷载(主要为盾构千斤顶顶力)等因素计算确定,一般取 $(0.05 \sim 0.06) D$ 。为了充分发挥围岩自身的承载能力,现代的隧道工程中都采用柔性衬砌,其

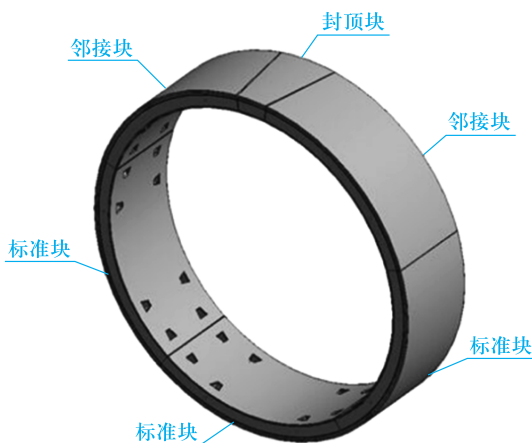


图 3-83 管片的构造

厚度相对较薄。根据日本经验,单层的钢筋混凝土管片衬砌,管片厚度一般为衬砌环外径的 5.5% 左右。地铁盾构隧道管片厚度一般为 300~450 mm。

管片宽度的选择对施工、造价的影响较大。当宽度较小时,虽然需搬运、组装,在曲线上施工方便;但接缝增多,加大了隧道防水的难度,增加管片制作成本,而且不利于控制隧道纵向不均匀沉降。管片宽度太大则施工不便,也会使盾尾长度增长而影响盾构的灵活性。因此,过去单线区间隧道管片的宽度控制在 700~1 000 mm,但随着铰接盾构的出现,管片宽度有进一步提高的趋势,目前,控制在 1 200~1 800 mm。

二、管片拼装

管片拼装方式有通缝拼装和错缝拼装两种,如图 3-84、图 3-85 所示。



动画:衬砌管片生产与运输



动画:衬砌管片选型与拼装

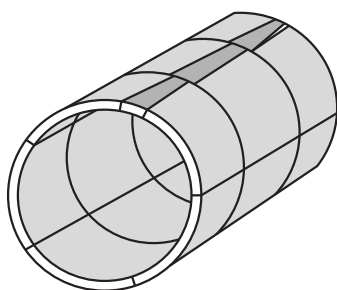


图 3-84 通缝拼装

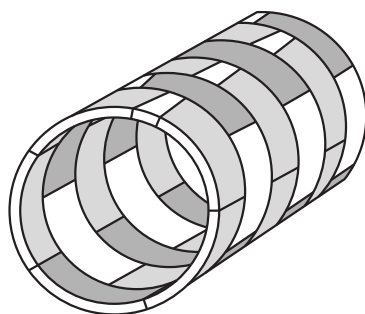


图 3-85 错缝拼装

通缝拼装:各环管片的纵缝对齐的拼装方法,这种拼装方法在拼装时定位容易,纵向螺栓容易穿进,拼装施工应力小,但容易产生环面不平整,并有较大累计误差,导致环向螺栓很难穿进,环缝压密量不够。

错缝拼装:错缝拼装即前后环管片的纵缝错开拼装,一般错开 $1/3 \sim 1/2$ 块管片弧长,用此法建造的隧道整体性好,拼装施工应力大,纵向穿螺栓困难,纵缝压密差。但环面较平整,穿环向螺栓比较容易。

管片拼装要求每安装一片,先人工初步紧固连接螺栓;安装一环后,用风动扳手对所有管片螺栓进行紧固;管片脱出盾尾后,重新用风动扳手进行紧固。其拼装要点如下。

(1) 从隧道底部标准块开始,依次安装相邻块,最后安装封顶块。每装一块管片,立即将管片纵环向连接螺栓插入连接,并戴上螺帽用电动扳手紧固。

(2) 封顶块安装时,先径向搭接 $2/3$ 管片宽度,而后纵向顶推。

(3) 管片安装到位后,及时伸出相应位置的推进油缸顶紧管片,而后移开管片拼装机。

管片拼装控制标准见表 3-4。

表 3-4 管片拼装技术指标

序号	项目	单位	允许偏差
1	管片椭圆度	‰	5D
2	轴线偏差	mm	±50

续表

序号	项目	单位	允许偏差
3	管片环间错台	mm	6
4	管片块间错台	mm	5
5	环、纵缝张开	mm	2

三、壁后注浆

盾构施工引起的地层损失、盾构隧道周围受扰动或受剪切破坏的重塑土的再固结以及地下水的渗透等,是导致地表沉降的重要原因。为减少和防止地表沉降,在盾构掘进过程中,要尽快在脱出盾尾的衬砌管片背后同步注入足量的浆液材料充填盾尾环形建筑空隙,如图 3-86 所示。

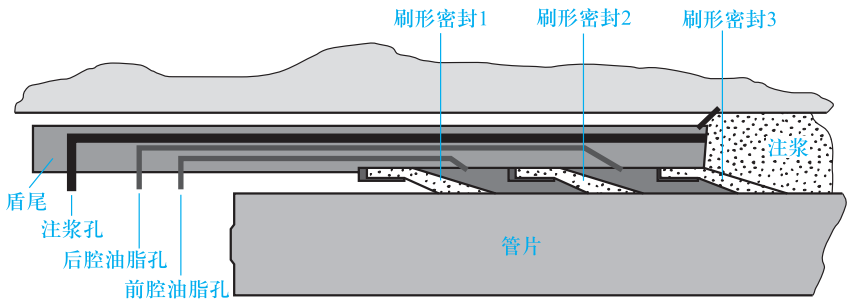


图 3-86 壁后注浆示意图



壁后注浆



动画：水泥浆液拌制与壁后注浆

(一) 注浆目的与方式

1. 注浆目的

- 管片衬砌背后注浆是盾构施工中的一项十分重要的工序,其目的主要有以下 3 个方面。
- (1) 及时填充盾尾建筑空隙,支撑管片周围土体,有效地控制地表沉降。
 - (2) 凝结的浆液作为盾构施工隧道的第一道防水屏障,增强隧道的防水能力。
 - (3) 为管片提供早期的稳定,并使管片与周围土体一体化,有利于盾构掘进轴线的控制,并能确保盾构隧道的最终稳定。

2. 注浆方式和特点

- (1) 同步注浆。同步注浆与盾构掘进同时进行,是通过同步注浆系统及盾尾的注浆管,在盾构向前推进盾尾孔隙形成的同时进行,浆液在盾尾孔隙形成的瞬间及时起到充填作用,使周围岩体获得及时的支撑,可有效防止岩体的坍塌,控制地表的沉降。
 - (2) 二次注浆。二次注浆是在同步注浆结束后,通过管片的吊装孔对管片背后进行补强注浆,以提高注浆的效果,增强管片背后的密实度。二次注浆浆液充填时间滞后于掘进一定的时间,对围岩起到加固和止水的作用。
- 二次注浆一般在管片与岩壁间的空隙充填密实性差而致使地表沉降得不到有效控制或管片衬砌出现较严重渗漏的情况下才实施。施工时采用地表沉降监测信息反馈,结合洞内超声波探测管片衬砌背后有无空洞的方法,综合判断是否需要二次注浆。

(3) 堵水注浆。为提高壁后注浆层的防水性及密实度,在富水地区考虑前期注浆受地下水影响以及浆液固结率的影响,必要时在二次注浆结束后进行堵水注浆。

(二) 同步注浆管理

1. 注浆材料

壁后注浆宜选用具有料源广、可注性强、经久耐用、固结实体强度能达到设计要求、对地下水和周围环境无毒性污染、价格低廉等特点的材料。作为注浆材料,应具备以下性质:不发生材料离析、不丧失流动性、注浆后的体积减少小、尽早达到围岩强度以上、水密性好。通常使用的注浆材料有单液型和双液型。单液浆一般为水泥浆,双液浆为水泥水玻璃混合浆液。不同地层中水泥浆材料配比见表 3-5。

表 3-5 同步注浆材料配比表 (kg)

适用材料	粉质黏土、黏土	粉质黏土	粉质黏土	砂、砾石层	砾石层	火山灰层	
						A 液	B 液
水泥	200	163		200	200	320	210
砂	200	1 118	1 132	680	680	560	
黏土	200						膨胀土 25
水泥、粉煤灰			440				
水	375	352	420	536	400	400	422
发泡剂	1.25l				1.5 L		
缓凝剂				1.3 L			
锯末					15		
水玻璃						400 L	

2. 注浆参数

(1) 注浆压力。同步注浆时要求在地层中的浆液压力大于该点的静止水压力及土压力之和,做到尽量填补同时又不产生劈裂。注浆压力过大,管片周围土层将会被浆液扰动而造成后期地层沉降及隧道本身的沉降,并易造成跑浆;而注浆压力过小,浆液填充速度过慢,填充不充足,会使地表变形增大。一般来说,注浆压力可取 1.1~1.2 倍的静止土压力。泥水平衡盾构施工中,一般同步注浆压力比相应水压高 0.2~0.3 MPa。

(2) 注浆量。同步注浆量理论上是充填盾尾建筑空隙,但同时要考虑盾构推进过程中的纠偏、浆液渗透(与地质情况有关)及注浆材料固结收缩等因素。注浆量可用下式进行计算:

$$Q=V\lambda$$
 (3-4)

式中:Q——注浆量,m³;

λ——注浆系数(取 1.5~2.5,曲线地段及粉细砂地层段取较大值,其他地段根据实际情况选定);

V——盾尾建筑空隙,m³。

$$V=\frac{\pi(D^2-d^2)}{4}L$$
 (3-5)

式中: D ——盾构切削土体直径(即刀盘直径),m;

d ——管片外径,m;

L ——管片宽度,m。

考虑到盾构推进过程中的纠偏、跑浆和浆体的收缩等因素,实际注浆量一般为理论值的120%~180%。

二次补强浆量根据地质情况及注浆记录情况,分析注浆效果,结合监测情况,由注浆压力控制。

注浆结束标准以注浆压力与注浆量进行双重控制,正常情况下要求每环注浆量不得小于 1 m^3 。以下情况例外。

① 在砂土地层,注浆压力很小而注浆量较大时,增加注浆量直至注浆压力达到注浆压力的下限。

② 盾构机位于曲线段,考虑超挖,适当增加注浆量。

③ 自稳能力差的黏土地层,注浆量很小而注浆压力较大时,可能是由于盾壳周围岩土发生坍塌,影响了浆液的流动。在注浆压力达到注浆压力上限时停止注浆,随后应进行二次补强注浆。

(3) 注浆速度及时间。根据盾构机推进速度,以每循环达到总注浆量而均匀注入,盾构机推进开始注浆开始,推进完毕注浆结束。具体注浆速度根据现场实际掘进速度计算确定。

(4) 注浆顺序。同步注浆通过管片预留注浆孔在盾构机推进的同时压注,在每个注浆孔出口设置压力传感器,以便对各注浆孔的注浆压力和注浆量进行检测与控制,从而实现对管片背后的对称均匀压注。为防止注浆使管片受力不均产生偏压导致管片错位,造成错台及破损,同步注浆时对称均匀的注入十分重要。

二次补强注浆应先压注可能存在较大空隙的一侧。

四、管片防水

1. 管片防水

管片防水包括管片本体防水和管片外防水涂层。根据隧道所处的水文地质条件,应对管片本体的抗渗性能作出明确规定,一般要求其抗渗标号不小于S8,渗透系数不大于 10^{-11} cm/s 。

管片外防水涂层需根据管片材质而定,对钢筋混凝土管片而言,一般要求如下。

- (1) 涂层应能在盾尾密封钢丝刷与钢板的挤压摩擦下不损伤。
- (2) 当管片弧面的裂缝宽度达 0.3 mm 时,仍能抗 0.6 Pa 的水压,长期不渗漏。
- (3) 涂层应具有良好的抗化学腐蚀性能、抗微生物侵蚀性能和耐久性。
- (4) 涂层应具有防迷流的功能,其体积电阻率、表面电阻率要高。
- (5) 涂层要有良好的施工季节适应性,施工简便,成本低廉。

2. 管片接缝防水

管片接缝防水包括管片间的弹性密封垫防水、隧道内侧相邻管片间的嵌缝防水,以及必要时向接缝内注入聚氨酯药液等。其中弹性密封垫防水最可靠,是接缝防水重点。当然,管片制作精度对接缝防水的影响不可忽视,一般要求接缝宽度不应大于 1.5 cm 。

(1) 弹性密封垫防水。一般情况下,要求弹性密封垫能承受实际最大水压的3倍。同时,还

要求密封垫传给密封槽接触面的应力大于设计水压力。接触面应力是由扭紧连接螺栓、盾构千斤顶推力、密封垫膨胀等因素产生的,此外,当密封垫一侧受压力作用时也会产生一定的接触面应力,即所谓“自封作用”,如图 3-87、图 3-88 所示。

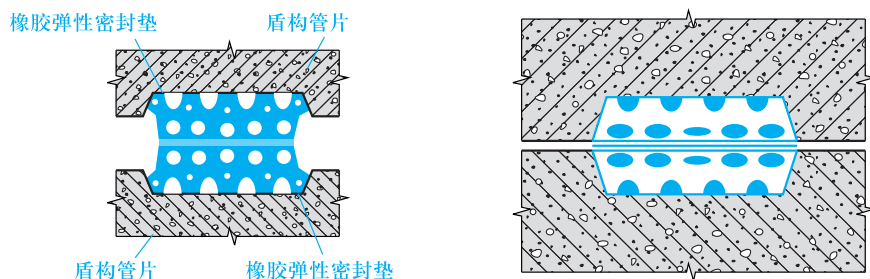


图 3-87 橡胶弹性密封垫

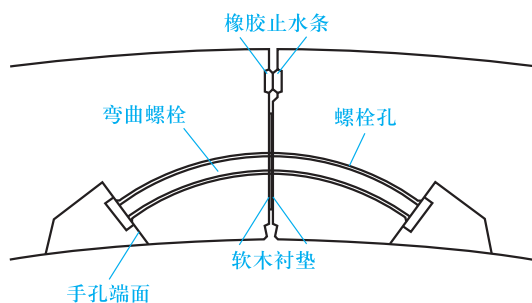


图 3-88 弹性密封橡胶条密封示意图

(2) 接缝嵌缝防水。嵌缝槽的形状要考虑拱顶嵌缝时,不致使填料剥落、流淌,其深度通常为 20 mm,宽度为 12 mm,如图 3-89 所示。嵌缝材料应具有良好的水密性、耐侵蚀性、伸缩复原性及硬化时间短、收缩小、便于施工等特性。满足上述要求的材料有以环氧类、聚硫橡胶类、聚氨酯树脂类为主的材料。

变形缝的嵌缝槽形状和填料必须满足在变形情况下亦能止水的要求。

(3) 接缝注浆。接缝注浆是在管片的四边端面上设置灌注槽,管片拼装成环后,由隧道内向管片的灌注槽内压注砂浆或药液。要求压注的材料流动性好,具有膨胀性,固结后无收缩,如聚氨酯类浆液。

但应注意,接缝注浆常易引起衬砌变形,反而降低防水效果,故需对管片的形状和压注方法仔细考虑。也有文献建议,只有当接缝的密封垫防水和嵌缝防水施作后仍有漏水现象时才使用。

(4) 螺栓孔和压浆孔防水。螺栓与螺栓孔或压浆孔之间的装配间隙是渗水的重要通道,所采取的防水措施就是用塑性(合成树脂类、石棉沥青或铅)和弹性(橡胶或聚氨酯水膨胀橡胶等)密封圈垫在螺栓和螺孔口之间,在拧紧螺栓时,密封圈受挤压变形充填在螺栓与孔壁之间,达到止水效果。

另一种防水方法是采用塑料螺栓孔套管,预埋在管片内,与密封圈结合起来使用,防水效果更佳,如图 3-90 所示。

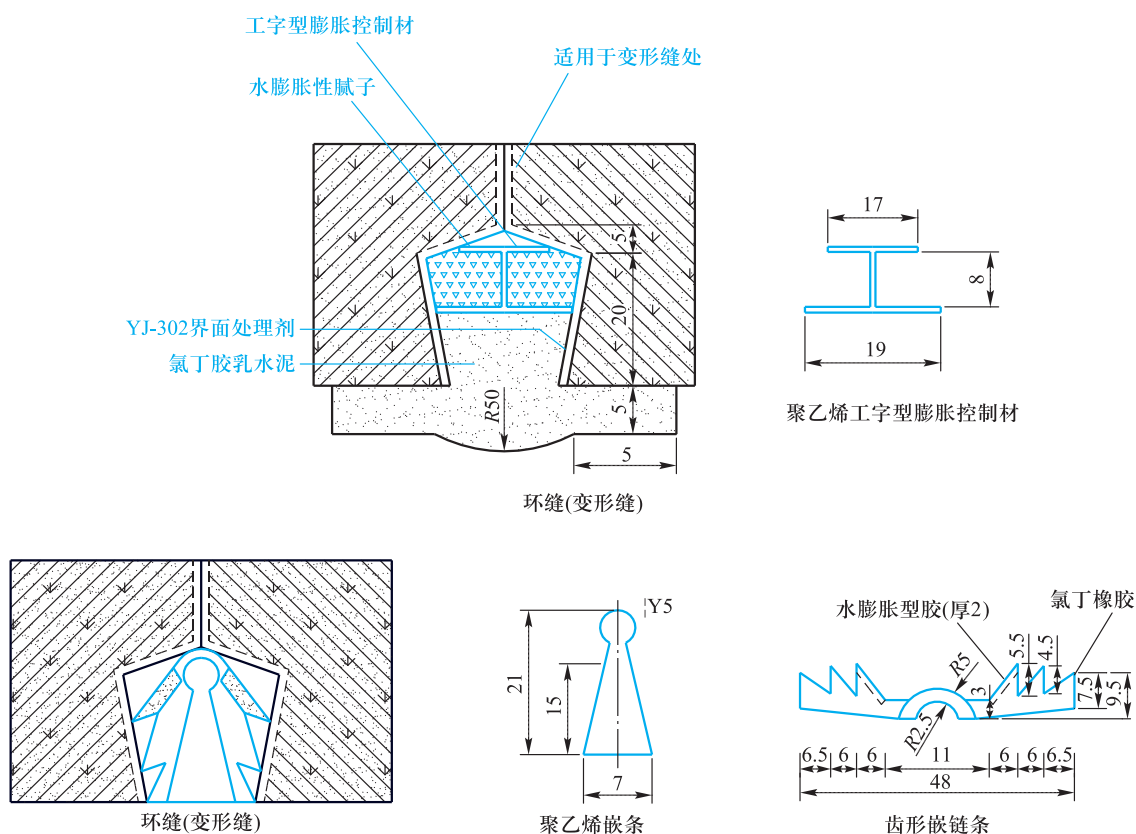


图 3-89 接缝嵌缝防水构造图(单位:mm)

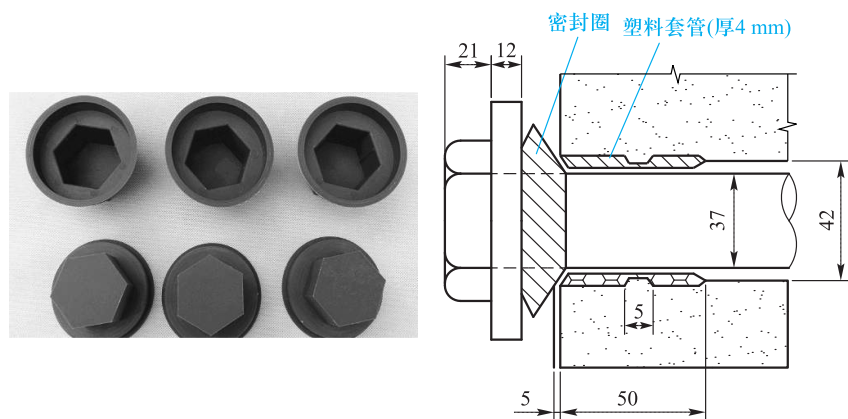


图 3-90 螺栓孔和压浆孔防水(尺寸单位:mm)

密封圈应具有良好的伸缩性、水密性、耐螺栓拧紧力、耐老化等。为提高防水效果,螺栓孔口可做成喇叭状。由于螺栓垫圈会产生蠕变而松弛,为了提高止水效果,有必要对螺栓进行二次拧紧,施工时螺栓位置偏于一边的现象是经常发生的,应充分注意,必要时也可对螺栓孔进行注浆。

任务8 盾构到达



盾构到达

盾构到达是指从盾构到达下一接收井之前 100 m 到盾构进入接收井被推上接收基座的整个施工过程。因此,盾构的到达相对于区间隧道的施工有其特殊性和重要性。其工作内容包括盾构姿态的复核、接收井井内布置、洞门混凝土凿除、洞门圈封堵、盾构到达段掘进、盾构接收及相关注意事项等。

1. 盾构姿态的复核

当盾构施工进入盾构到达范围时,应对盾构机的位置进行准确的测量,明确成洞隧道中心轴线与隧道设计中心轴线的关系,同时应对接收洞门位置进行复核测量,确定盾构机的贯通姿态及掘进纠偏计划。在考虑盾构机的贯通姿态时需注意两点:一是盾构机贯通时的中心轴线与隧道设计中心轴线的偏差;二是接收洞门位置的偏差。综合这些因素在隧道设计中心轴线的基础上进行适当调整。

2. 接收井井内布置

根据盾构姿态在接收井内放置接收基座并固定,接收基座标高比盾构底标高低 1 cm 左右,并按线路纵坡设置相应坡度。

3. 洞门混凝土凿除

当盾构距地下连续墙 3 m 时,在洞圈中心凿出 $\phi 500$ 的孔洞,用于加强对土体的观测并释放应力。盾构切口进入加固土体后,应降低盾构正面推进压力。在靠近洞门 50 cm 时,停止推进,将切口正面推进压力值降至最低(在盾构千斤顶降低推力前应对盾尾处的几环管片的纵向螺栓进行紧固),土仓尽可能清空,然后进行封门的凿除。

4. 洞门圈封堵

为防止盾构机接收进洞时被推出的渣土损坏帘布橡胶板,洞门防水装置应在洞门凿除并清理干净后安装。

在最后一环管片拼装完成后,对洞门圈压注双液浆进行封堵。注浆的过程中要密切关注洞门的情况,一旦发现有漏浆的现象应立即停止注浆并进行处理。

5. 盾构到达段的掘进

盾构到达段的掘进除应达到纠偏的目的外,还尤其应注意最后 10 m 段的掘进控制。因为在临近洞门的最后 10 m 盾构掘进对地层的扰动影响极为明显,直接影响到地层及车站端墙的稳定。

因此应根据到达段的地质情况确定合理的掘进参数。总的要求是:低速度、小推力、合理的土仓压力和及时饱满的回填注浆。盾构进入端头加固地层时要根据具体情况调整掘进参数,必要时可采取加泥或加泡沫的方式对渣土进行改良。在贯通前 0.5 m 时,应尽量出空土仓中的渣土,减小盾构推进对开挖面的挤压,以免引起掌子面的坍塌以及造成车站端墙的损坏。洞门混凝土清理完后盾构应尽快推进并拼装管片,尽量缩短盾构进洞时间。

6. 盾构接收

盾构接收时,洞口 1~10 环管片用拉紧装置连接拉紧,防止因千斤顶顶力释放后,管片环间缝隙增大,引起环缝漏水。

盾构接收末环拼装后,需再作数环推进,方能使盾构到达接收基座上,这数环衬砌可只作底

块拼装,但需同样拧紧纵向连接螺栓,以免进洞环衬砌脱落。

7. 盾构接收施工注意事项

(1) 盾构机进入接收段时,工作人员应明确盾构机适时的里程及刀盘距洞门掌子面的距离,并按确定的施工技术方案进行施工。

(2) 盾构接收前应检查端头井土层加固、堵水情况是否达到要求。

(3) 增加地表沉降监测的频率,并及时反馈监测结果指导施工。

(4) 为防止因刀盘反力不足引起管片环缝接触松弛、张开并造成漏水,盾构到达段最后 10 环管片用 I14b 槽钢将管片沿隧道纵向拉紧。

(5) 在盾构机刀盘距洞门掌子面 0.5 m 时,应尽量出空土仓中的渣土,减小对洞门及车站端墙的挤压以保证凿除洞门混凝土施工安全。

(6) 在盾构机贯通后安装的几环管片,一定要保证注浆饱满密实,防止引起管片下沉与错台。



【典型案例】

兰州地铁泥水盾构钢套筒接收技术

一、工程概况

兰州地铁 1 号线奥体中心站~中间风井区间,盾构机自奥体中心站北端头始发至中间风井南端头接收,区间采用 1 台铁建重工生产的 ZTS6450 型泥水平衡式盾构机施工。区间设计里程为:ZDK9+908.550~ZDK10+903.978,左线长 995.428 m YDK9+908.550~YDK10+900.101,右线长 991.551 m。在 YDK10+335.00/ZDK10+333.00 处设置联络通道一座。盾构机始发后沿深安路下穿黄河,下穿黄河段长度约为 317 m。为了保证深安大桥安全,线路采用双线同侧绕避深安大桥,由大桥上游下穿河底通过。区间隧道最大纵坡为 27‰,线路埋深为 12.8~37 m,最小平面曲线半径为 500 m。

中间风井位于北滨河路北侧在建深安大桥的 NA 匝道内,风井基坑边离深安立交桥桩基最近距离约 63 m,距离黄河河堤约 96 m,无邻近高层建筑物。风井的主体为 5 层现浇钢筋混凝土箱型框架结构,结构外设置全包防水层,明挖逆作法施工。主要结构构件尺寸如下:顶板厚度 800 mm;地下一、三层板厚度 400 mm;地下二、四层板厚度 450 mm;底板厚度 1 500 mm;地下一层侧墙厚度 1 000 mm,地下二、三层侧墙厚度 1 200 mm;地下四、五层侧墙厚度 1 500 mm。

二、盾构机接收

(一) 施工准备

盾构接收是盾构施工中的主要风险之一,根据中间风井同期施工经验,地层静水位为 8.5~9 m,隧底埋深为 41 m。中间风井距离黄河河堤约 96 m,与黄河有直接水利联系,为保证接收安全,经多次专家论证后,采用钢套筒法接收。

1. 盾构机主要参数

ZTS6450 泥水平衡盾构机主要技术参数见表 3-6。

表 3-6 ZTS6450 盾构机主要技术参数

序号	项目名称	参数	备注
1	开挖直径	6 480 mm	
2	作业压力	4.5 bar	主驱轴承密封
3	额定扭矩	6 232 kN · m@ 280 bar	
4	脱困扭矩	7 345 kN · m@ 330 bar	
5	额定推力	36 493 kN@ 300 bar	
6	最大总推力	42 575 kN@ 350 bar	
7	进浆泵 P1.1	380 kW ,1 050 m ³ /h	
8	排浆泵 P2.1	380 kW ,1 100m ³ /h	
9	中继泵 P2.2	450 kW ,1 100 m ³ /h	
10	碎石机	类型:液压颚式 可破碎粒径:500 mm 工作频率:0~6 次/min 功率:90 kW	
11	刀具配置	配置滚刀 41 把、边缘滚刀 10 把(采用双刃滚刀)、正面滚刀 23 把(包括 5 把大轨迹线双刃滚刀和 18 把单刃滚刀)、中心滚刀 8 把、正面切刀 36 把、边缘刮刀 16 把(8 对)	

2. 施工机具准备

根据本工程实际状况,为了满足盾构接收需求,需要制作筒体长 10 500 mm,直径(内径) 6 820 mm 的钢套筒一套,钢套筒接收对钢套筒制作精度、密封性要求很高,由专业公司在工厂内加工制作,试拼检验合格后再运到现场安装调试。套筒安装如图 3-91 所示。



图 3-91 套筒安装实例图

钢套筒一端开口,与洞门钢环焊接在一起,另一端封闭,其长度和直径略大于盾构头部尺寸。

盾构接收前需在钢套筒内注入泥水,使盾构机在破除洞门后,刀盘内外切口压力处于理论平衡状态,能够很好地避免水土流失,减少对周边环境的扰动。

(二) 盾构机到达段掘进

1. 端头加固及降水

中间风井端头加固兼止水帷幕补强采用素混凝土地下连续墙,墙厚 800 mm,墙深达隧道结构以下 9 m。主体围护结构采用钢筋混凝土地下连续墙,地连墙厚度 1 200 mm,在盾构机出洞区域采用玻璃纤维筋可直接通过。在施工完成的帷幕墙体内进行袖阀管注浆加固,平面加固范围 12 m,立面加固范围为洞身上下各 6 m,孔位呈等边三角形布置,间距 1.2 m@1.2 m,浆液跳孔分别采用 1:1 的水泥浆和水泥-水玻璃浆液。双液浆可快速凝固,及时降低地层中水的流速和渗透系数,单液浆填充地层中的孔隙,确保强度,使加固范围内能形成连续、均匀、密实、密贴的加固体。端头加固范围如图 3-92 所示。

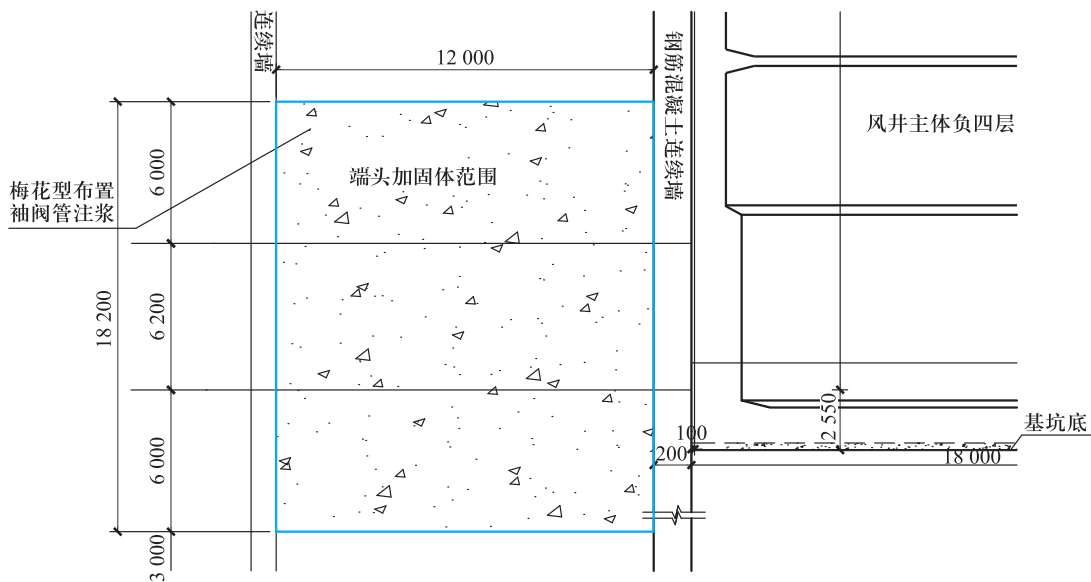


图 3-92 端头加固范围图(尺寸单位:mm)

连续墙分幅长度为 6 m,混凝土标号为 C20、P6。主体围护结构连续墙混凝土标号为 C40、P10。在中间风井主体开挖过程中,随时观察地连墙垂直度及完整良好性。

采用管井降水。降水井离轴线 10 m,降水井间距 6 m,井深 40~50 m,实际坑外布置 25 口降水井、坑内布置 4 口降水井、加固区内布置 4 口降水井。井位布置平面如图 3-93 所示。

根据中间风井同期施工经验,地层静水位为 8.5~9 m,坑外降水井开启后静水位保持在 26~28 m。洞门钢环顶部埋深 37 m,即开启降水井后出洞水头高度为 10 m 左右。

2. 到达段掘进

1) 区间右线掘进参数对比

因区间地层卵石粒径变化较大,呈带状不均匀分布。穿黄前与穿黄段掘进参数及泥浆指标变化较大,参数对比见表 3-7。

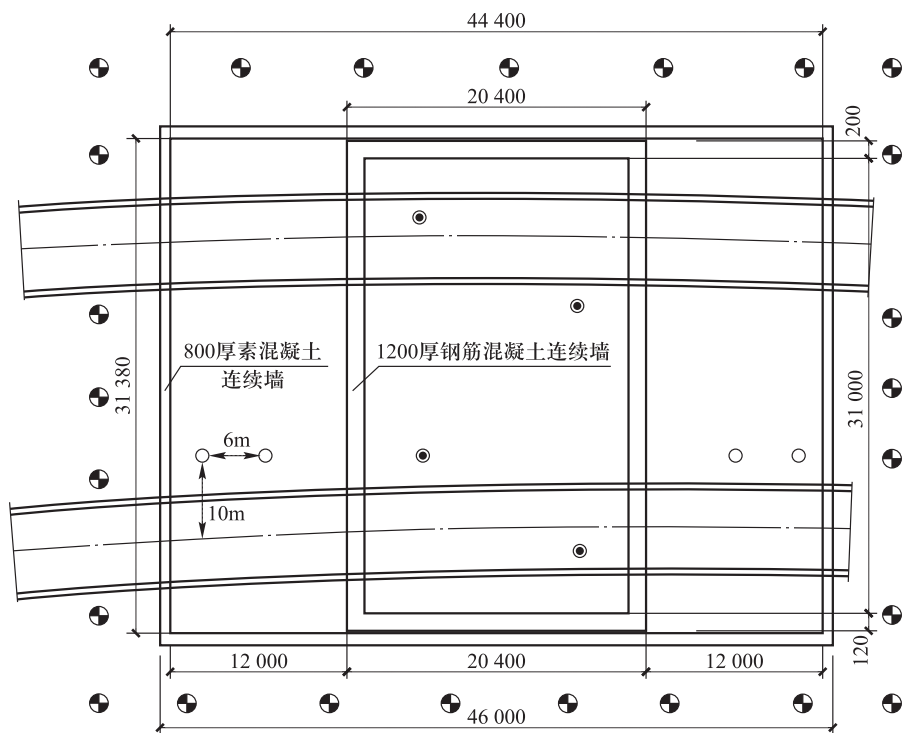


图 3-93 降水井平面布置图(尺寸单位:mm)

表 3-7 掘进参数对比

参数	穿黄前	穿黄段	穿黄后	钢套筒接收
推进速度/(mm/min)	8~20	5~15	15~30	10~20
总推力/kN	10 000~14 000	10 000~12 500	12 000~14 000	10 000~12 000
扭矩/kN·m	800~1 500	350~940	800~1 200	500~1 000
刀盘转速/rpm	0.8~1	0.8~1	0.8~1	0.6
进浆流量/(m ³ /h)	910~1 010	850~960	930~950	900~910
排浆流量/(m ³ /h)	930~1040	880~980	950~970	920~930
泥浆黏度/s	18~22	20~25	18~22	18~20
泥浆比重/(g/cm ³)	1.13~1.16	1.13~1.20	1.13~1.16	1.15~1.20

2) 盾尾脱出风井侧墙停机

当拼装完成 825 环后,盾尾尚未脱离侧墙。需继续拼装 826、827 环,当盾尾脱出侧墙满足拆解距离后停机,拆除 826、827 环,如图 3-94 所示。

注意管片拼装后每环保证 3 次复紧,并进行内弧面连接钢板焊接。当盾尾开始脱出风井侧墙时加大同步注浆量至 200%(12.3 m³),保证洞门钢环内部空间填充密实。

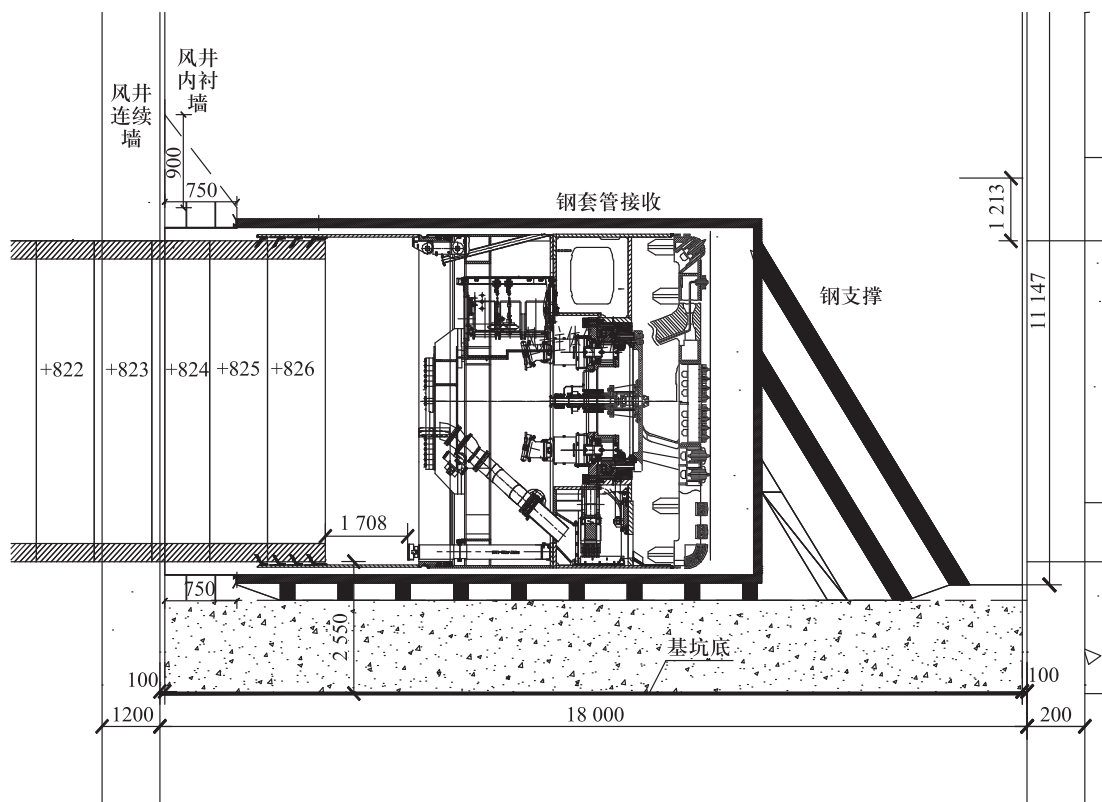


图 3-94 盾尾脱出侧墙后停机(单位:mm)

3. 盾构到站

在盾构停机后,在第 813 到 815 环、第 818 到 824 环做二次注浆,与加固体连成整体,形成两道止水环箍,彻底将隧道后部来水封堵。

在注浆前先选择合适的注浆孔位,装上注浆单向逆止阀后,用电锤钻穿该孔位后 3 cm 保护层,接上三通及水泥浆管和水玻璃管。注双液浆时,先注纯水泥浆液 1 min 后,打开水玻璃阀进行混合注入,终孔时应加大水玻璃的浓度。在一个孔注浆完结后应保持 5~10 min 后将该注浆头打开疏通查看注入效果,至有较少水流出时可终孔,拆除注浆头并用双快水泥砂浆对注浆孔进行封堵。注浆参数见表 3-8。

表 3-8 双液浆配比及浆液主要性质表

试验编号	水灰比	A 液 : B 液 (体积比)	浆液密度 /(g/cm ³)	凝结时间 /s
配比 1	1 : 1	1 : 1	1.44	20~48

二次注浆注意事项如下。

(1) 注浆前应查看管片情况并在注浆过程中进行跟踪观察,如有异常应立即停止,并及时向主管部门进行汇报。

(2) 注浆过程中应严密监视压力情况,控制注浆压力在设计范围以内。

(3) 注浆过程中出现压力过高但注入效果不明显的情况时,应检查注浆泵及注浆管路是否有堵管现象,并立即进行清理。

(4) 注浆过程中出现任何的停机现象时,均应对注浆泵及注浆管路进行清洗;在注浆完结后应做到工完料洁,对所有的机具均应清理干净并归于原处。

(5) 注浆前应将注浆孔全部打开并带上注浆头,在注浆时可将注浆头全部打开放水直至浓浆流出再关闭注浆头。

(6) 每个孔注浆完结应保持 5~10 min 后将该注浆头打开疏通查看注入效果,至水较小时可终孔,拆除注浆头并用双快水泥砂浆对注浆孔进行封堵,带上塑料堵头。

(7) 破孔时应备足水泥及水玻璃,严禁中途停止注入。

(8) 注浆完成后通过管片手孔检查注浆效果。

4. 洞门密封质量检查

盾构接收过程中,为了保证洞门密封的质量,采取以下措施对洞门进行封堵。

(1) 盾构推进时同步注浆严格按照技术交底进行,填充好施工间隙。

(2) 在加固体与原状土的分界面处连续 3~5 环注双液浆,封堵开挖土体与管片外壳之间渗漏通道。

(3) 盾尾进入加固体后,在已成型的隧道内,利用管片上预留的注浆孔,向管片外侧注入双液浆,时刻检查钢套筒是否有漏浆、形变等情况,如有漏浆或者形变过大等情况发生,可以采取调低气压、减小推速等措施。

盾构全部进入钢套筒后,打开钢套筒过渡连板上预留的观测管,观察出水量,若水量较大,则继续通过预留注浆管、注浆孔注浆,直至打开球阀无水流出后方可拆解钢套筒。

5. 钢套筒拆除吊装

盾构到达指定位置停机后,刀盘停止转动,可以利用泥水循环系统开始洗仓。这样可以在拆卸钢套筒后减少大量的清渣时间。在拆卸钢套筒前先泄压,使钢套筒内外压力平衡。

安装与拆卸钢套筒一样是本次施工的主要环节,现场要留一名技术人员、一名管理人员协调施工。钢套筒是重复使用的产品,因此在拆卸吊装过程应减少磕碰,确保其圆度与密封性完好。彻底清理钢套筒与刀盘周围的黏土,准备盾构拆解工作。

洞门注浆封堵完毕后,首先检查过渡段上 4 个观察口是否漏水,若漏水则继续在隧道内注双液浆;若不漏水,则按照以下顺序拆解钢套筒:后端盖→2#、3#传力架上半圆→1#传力架上半圆→4#传力架与过渡段上半圆→盾构机拆机→2#、3#传力架下半圆→1#传力架下半圆→4#传力架与过渡段下半圆。

项目小结

本项目以在建的盾构法区间隧道工程为背景,系统介绍了盾构法施工的基本知识及相关理论,并就盾构机选型、盾构机构造、盾构始发、盾构掘进、管片拼装、壁后注浆、盾构到达等问题做了详细介绍。内容涉及盾构机选型、刀具配置、盾构拼装、盾构始发竖井修建、端头井的加固、洞

门凿除、土压平衡式盾构掘进控制、管片拼装、盾构到达 9 个实操项目。

盾构法区间隧道施工技术复杂,难度大。实际应用中宜结合工程地质条件、水文条件及周围环境、地下管线等条件综合考虑,认真分析,制订切实可行的施工方案是盾构法施工技术的关键,实施中应定期做好监测工作,及时进行数据分析与反馈,以确保盾构机的安全通行。



能力训练

1. 简述盾构法隧道施工的原理、工艺流程和关键技术?
2. 目前城市地铁施工中是如何考虑盾构选型的?
3. 盾构法施工的一般程序包括哪些环节?
4. 盾构在掘进过程中有哪些控制因素和技术手段?
5. 分析盾构施工引起地面沉降的原因,并确定其合理的控制措施。
6. 土压平衡式盾构和泥水平衡式盾构有什么不同?各自适用范围是什么?
7. 盾构法隧道施工中常见问题有哪些?主要采取哪些对策?
8. 通过网络收集并分析当前国内盾构施工技术特点。
9. 通过网络收集当前国内盾构施工的主要技术问题,并尝试提出相应的解决方法。
10. 盾构导向系统的组成有哪些?姿态调整常用方法有哪些?
11. 钢套筒接收工艺有什么优点和不足?



从受制于
人到引领
世界——
大国重器
盾构机的
崛起之路