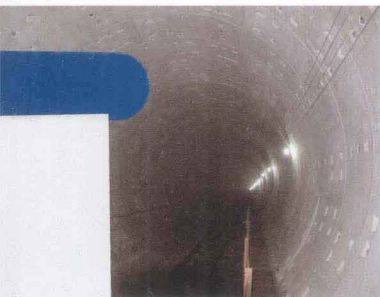




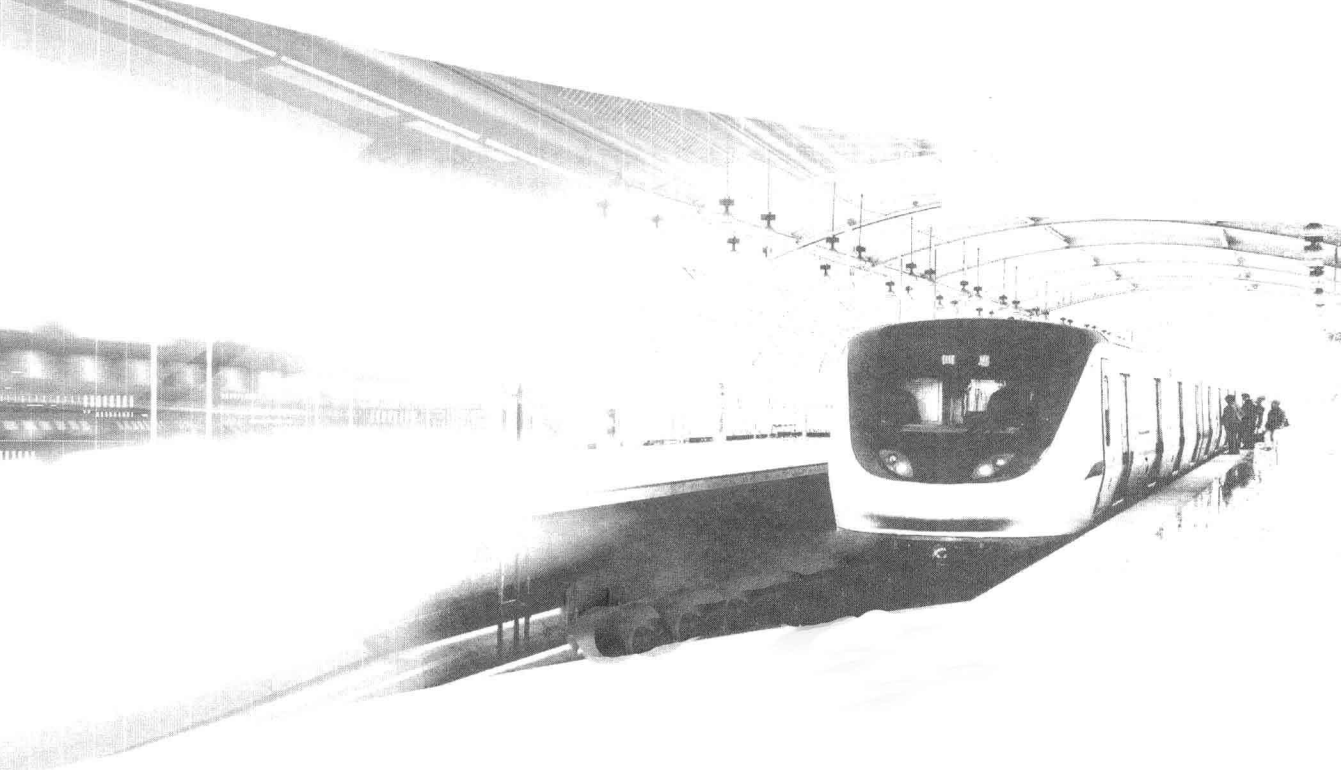
□ 王云江 曾益平 主编

城市轨道交通工程 盾构施工与管理

CHENGSHI GUIDAO
JIAOTONG GONGCHENG
DUNGOU SHIGONG YU GUANLI



 化学工业出版社



城市轨道交通工程 盾构施工与管理

王云江 曾益平 主 编
江泽礼 赵 旭 史文杰 副主编

CHENGSHI GUIDAO
JIAOTONG GONGCHENG
DUNGOU SHIGONG YU GUANLI



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了城市轨道交通工程盾构施工与管理的内容,包括绪论、盾构管片、盾构机、盾构施工准备、盾构掘进施工、施工测量与监控量测、盾构隧道的防水、盾构施工质量控制、施工安全控制、施工进度控制、施工技术资料、施工成本控制、环境保护、工程案例、附表等内容。全书内容全面,贴近实践。

本书可作为城市轨道交通工程盾构施工与管理技术人员学习和参考,亦可作为城市轨道交通工程、隧道及地下工程专业的教材用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通工程盾构施工与管理/王云江,曾益平主编.
北京:化学工业出版社,2013.7
ISBN 978-7-122-17291-4

I. ①城… II. ①王…②曾… III. ①城市铁路-铁路工程-盾构法-工程施工-施工管理 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第093656号

责任编辑:吕佳丽
责任校对:宋夏

装帧设计:韩飞



出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京云浩印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数452千字 2013年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:60.00元

版权所有 违者必究

本书编写人员

主 编 王云江 曾益平
副 主 编 江泽礼 赵 旭 史文杰
参编人员 苏根昌 倪 贺 高 玉 邓小杰
 李新红 雷山川

前言

FOREWORD

随着我国城市建设的飞速发展，地下交通枢纽及越江隧道等在社会公共功能中扮演越来越重要的角色。隧道施工方法有明挖法、暗挖法、矿山法、沉管法、掘进机法、顶管法和盾构法等。其中盾构法在城市地铁区间隧道中广泛应用，目前国内虽然盾构工法大量应用，但规范与工艺规程尚不完整，没有一本完整、系统介绍该工法施工与管理的书。近年来，盾构施工单位和施工人员数量迅速增长，为满足施工人员业务学习的要求，我们编写了这本系统阐述盾构施工与管理的书。

本书共十四章，其内容包括绪论、盾构管片、盾构机、盾构施工准备、盾构掘进施工、施工测量与监控量测、盾构隧道的防水、盾构施工质量控制、施工安全控制、施工进度控制、施工技术资料、施工成本控制、环境保护、工程案例、附表等。

中国中铁一局集团有限公司多年从事盾构施工与管理，其社会效益及经济效益特别显著，使质量保证、施工安全、工期缩短、能耗降低。本书针对公司多年来专业从事的盾构施工项目，以工程实践为基本，融入作者在这一领域多年的积累，系统地总结了该工法的施工管理与技术等实践知识，为推动盾构工程新技术、新材料、新设备、新工艺的发展起到抛砖引玉的作用。书中介绍的有关施工与管理的方法可以供读者参考、借鉴。

本书内容系统完整、图文并茂、内容新颖，充分体现实用性和可操作性，具有较强的指导作用和使用价值。本书由王云江、曾益平担任主编，江泽礼、赵旭、史文杰担任副主编。

限于水平，本书存有疏漏和不当之处，敬请广大读者不吝指正。

编者

2013年5月

第一章	绪论	1
第一节	概述	1
第二节	盾构工法综述	2
第二章	盾构管片	5
第一节	管片的种类	5
第二节	管环的构造	6
第三节	管片的制作	10
第四节	管片的存放与运输	13
第五节	管片的检测	15
第三章	盾构机	19
第一节	盾构机的基本构造	19
第二节	盾构机的功能	23
第三节	盾构机的主要性能和参数	32
第四章	盾构施工准备	36
第一节	盾构施工前的准备工作	36
第二节	施工现场平面管理	45
第三节	端头加固施工	47
第四节	盾构始发准备	51
第五节	盾构组装与调试	55
第五章	盾构掘进施工	60
第一节	土压平衡盾构掘进	60
第二节	泥水盾构掘进	65
第三节	特种盾构工法简介	70
第四节	管片拼装	78
第五节	盾构同步注浆（壁后注浆）	82

第六节	刀具的检查与更换	85
第七节	洞内出渣、运输及弃土外运	87
第八节	隧道通风、循环供水、照明	88
第九节	盾构机到达	90
第十节	盾构调头	91
第十一节	盾构机解体、退场及保养	98
第十二节	地中对接技术	104
第十三节	特殊地段施工	108
第六章	施工测量与监控量测	111
第一节	盾构施工测量	111
第二节	盾构施工监控量测	122
第七章	盾构隧道的防水	132
第一节	衬砌结构防水的目的和漏水的原因	132
第二节	管片结构的自防水	133
第三节	管片接缝的防水	134
第四节	其他措施	138
第五节	盾构隧道附属结构的防水	138
第八章	盾构施工质量控制	142
第一节	工程项目质量控制的原则与程序	142
第二节	施工质量验收标准	144
第三节	工程施工的质量控制	154
第四节	施工质量保证措施	157
第九章	施工安全控制	159
第一节	施工安全技术保证体系与施工安全管理组织	159
第二节	安全技术措施	160
第三节	安全文明施工措施与施工安全检查	161
第四节	安全信息化管理	167
第五节	应急安全技术措施	169
第六节	风险规避与应急预案	173
第十章	施工进度控制	177
第一节	施工进度控制的措施	177
第二节	工程横道图和网络计划图的编制	178
第十一章	施工成本控制	181
第一节	施工成本管理	181

第二节	施工成本管理的措施	181
第三节	盾构施工成本管理案例	182
第十二章	施工技术资料	187
第一节	施工技术资料的分类、作用及要求	187
第二节	施工准备阶段的技术资料	188
第三节	施工过程中的技术资料	194
第四节	工程竣工技术资料	198
第十三章	环境保护	202
第一节	施工环保防治目标	202
第二节	环境污染防治措施	202
第三节	施工环保计划	204
第十四章	工程案例	210
第一节	工程概况	210
第二节	工程质量控制	211
第三节	施工安全控制	216
附表	219
附表 1	盾构区间土建工程验收表格	219
附表 2	盾构区间施工记录表格	232
附表 3	测量施工表格	253
附表 4	监测施工表格	266
参考文献	276

绪 论

第一节 概 述

近些年，城市人口的迅速增加，导致车辆堵塞、道路通行不畅，给城市带来交通拥挤、环境污染与能源危机等一系列问题。面对城市人口不断增加的状况，各大城市都存在乘车难和行路难的问题，因此发展城市公共交通，缓解交通拥挤是当前大城市迫切需要解决的问题。随着我国国民经济及城市建设的飞速发展，城市轨道交通正迎来史无前例的建设高潮。对地下空间的开发利用成为解决城市交通拥挤、土地资源紧张问题的有效途径，城市地铁已经在社会公共功能中扮演越来越重要的角色。城市轨道与城市中其他交通形式相比，除了能避免城市地面拥挤和充分利用地下、高架空间外，还有很多优点：一是运量大，二是速度快，三是无污染，四是时间准，五是能耗低，六是安全舒适。

隧道施工技术在我国的基础设施建设等领域发挥了越来越重要的作用。隧道施工方法有明挖法、矿山法、暗挖法、沉管法、掘进机法、顶管法和盾构法等多种，其中盾构工法在城市地铁区间隧道中大量应用，具有机械化程度高、地面影响小、安全、工人劳动强度低、进度快等优点，该工法特别适合城市地铁区间隧道工程。

我国是 20 世纪 50 年代开始引进盾构法修建隧道工程的。1970 年，上海隧道工程公司使用直径为 10.2m 的挤压式盾构，修建了穿越黄浦江的第一条水下隧道，从而实现了中国用盾构法修建隧道“零”的突破。1988 年完工的另一条黄浦江水下隧道——延安东路北线隧道，盾构施工段长 1476m，线路平面呈 S 形，曲率半径 500m，纵坡 3%。该隧道除穿越黄浦江外，还要在高层建筑群和地下管线等重要环境保护地段通过，是用我国自行设计和制造的直径为 11.3m 的网格式水利机械盾构修建的。进入 20 世纪 90 年代，上海地铁 1 号线采用法国 FCB 公司设计的盾构（其车架、拼装机、螺旋机、皮带机、搅拌机等设备在上海配套制造）完成了总长 18.5km 的单线圆形区间隧道（内径 5.5m，外径 6.2m）施工。

以城市地铁盾构法技术为代表，目前经国家发改委同意建设地铁项目的城市已达 35 座，投入使用近 430 台各类型号盾构，不仅采用了土压平衡盾构，也采用了泥水平衡盾构，还有复合式盾构。除区间单圆盾构外，在上海地铁施工中还采用了双圆盾构一次施工两条平行的区间隧道。盾构隧道地面环境除复杂的建构筑物外，也有在江下、湖下穿越的（上海穿越黄浦江、广州穿越珠江、南京穿越玄武湖）；盾构穿越地层除黏土、淤泥质软土、砂黏土外，还有砂层、砂砾层、卵石层以及较高强度的岩石地层等。需要特别指出的是，广州地铁 2 号线经研究采用了具有土压平衡、气压平衡和局部气压平衡模式的新型复合盾构，成功修建了既有软土又有坚硬岩石以及断裂破碎带等复杂地层的区间隧道，打破了长期以来盾构法应用地质禁区的限制，大大拓宽了盾构法的应用范围。

目前,我国地铁盾构法隧道管片环宽已从1.0m普遍加大到1.2m。广州地铁2号线施工中率先采用了1.5m环宽的管片,为目前地铁区间隧道所用的最宽管片,其有利于提高隧道结构的整体刚度,且拼装接缝减少,安装效率提高,同时节约成本。接缝大多采用遇水膨胀橡胶或三元乙丙橡胶弹性密封防水,使隧道建成后不渗不漏,可达到A级防水标准。

在施工中已采用激光导向或陀螺仪导向,并辅助以人工测量技术,以及运用盾构推进油缸分区操作和姿态控制与纠偏技术、管片排版选型和拼装技术等,可将隧道线性精度控制在30~50mm,管片错台高度控制在5~10mm。管片背后环形间隙注浆除采用日本常用的即时注浆和欧洲采用的惰性浆液同步注浆外,我国已开发出非惰性浆液的同步注浆技术,具有更好的早期稳定管片和控制地层沉降效果。

目前,我国在掘进控制、泥水与土压力和排渣管理、渣土改良、防止刀盘结“泥饼”技术等方面已做得很好;端头加固、联络通道施工、始发到达、安全换刀、信息化施工等技术也已完全掌握;在盾构的故障诊断及管片养修上亦有了较完善技术,可以达到55%~67%的高机时利用率。

我国盾构施工中的地表隆沉量一般可控制在-20~+10mm,可以在距已有建构筑物很近的距离下安全掘进隧道。广州地铁2号线三区间隧道穿越既有14股铁路轨道,轨面沉降控制在5mm以内,轨道沉降差小于2mm。上海地铁2号线近距离下穿地铁1号线区间隧道、引水箱涵和地下室,地面沉降控制在3.5~8.5mm。盾构掘进速度一般平均为180~200m/月以上,广州地铁2号线穿越三区间最高月进度405m,平均进度为236m/月。在相似地层的广州地铁3号线大汉区间,盾构施工进度平均已达334m/月,最高月进度达到562.5m,达到国际先进水平。

根据国家“十二五”交通规划,在“十二五”期间将在北京、上海、广州、深圳等城市建设轨道交通网络化系统,建成天津、重庆等22个城市轨道交通主骨架,规划建设合肥、贵阳、石家庄、太原、厦门、兰州、济南、乌鲁木齐、佛山、常州、杭州、温州等城市轨道交通骨干线路。随着2012年不少城市的地铁项目提前获批,以及2013年仍有大量的项目获得许可,“十二五”规划确定实现3000km的全国城市轨道交通运营里程,有望突破上升到4000km左右。目前,我国投入运营的城市轨道交通里程超过1500km,总投资超过5000亿元。

第二节 盾构工法综述

一、盾构施工法

盾构是在与隧道形状一致的盾构外壳内,装备着推进机构、挡土机构、出土运输机构、安装衬砌机构等部件的隧道开挖专用机械。盾构法就是使用盾构修建隧道的方法,它是使用盾构在地下掘进,在防止开挖面坍塌和保持开挖面稳定的前提下,同时在机内安全地进行隧道的开挖作业和衬砌作业,从而构筑成隧道的施工法。

盾构法是一项综合性的施工技术。盾构法施工的概况如图1-1所示。构成盾构法的主要内容是:先在隧道某段的一端建造竖井或基坑,以供盾构安装就位。盾构从竖井或基坑的墙壁预留孔处出发,在地层中沿着设计隧道轴线,向另一竖井或基坑的设计预留孔洞推进。盾

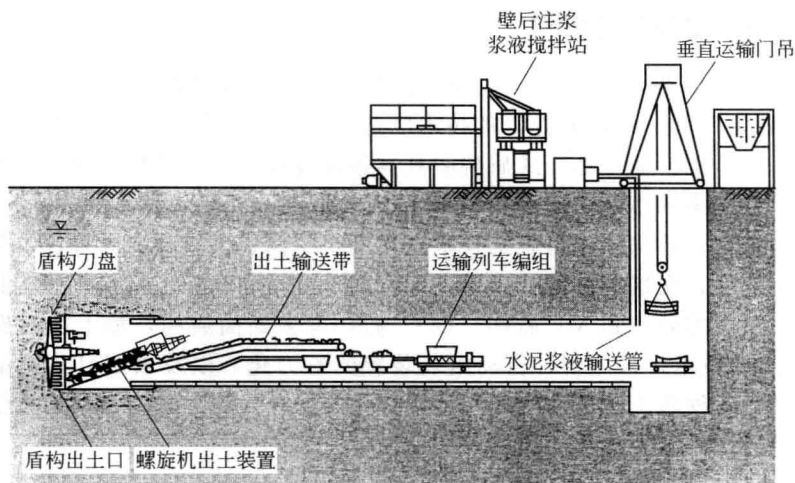


图 1-1 盾构法施工的概况 (土压平衡)

构推进中所受到的地层阻力,通过盾构千斤顶传至盾构尾部已拼装的预制衬砌,再传到竖井或基坑的后靠壁上。盾构是这种施工方法的核心,是一个能支承地层压力,又能在地层中推进的圆形、矩形、马蹄形或其他特殊形状的钢筒结构。盾构隧道的断面形状是圆形,因为圆形断面抵抗地层中的土压力和水压力效果较好,衬砌拼装方便,构件通用性强,易于更换而应用广泛。后陆续开发应用了多圆和异型盾构,其直径稍大于隧道衬砌的直径。在钢筒的前面设置各种类型的支撑和开挖土体的装置,在钢筒中段周围安装顶进所需的千斤顶,钢筒尾部是具有一定空间的壳体,在盾尾内可以安置数环拼成的隧道衬砌环。盾构每推进一环距离,就在盾尾支护下拼装一环衬砌,并及时向盾尾后面的衬砌环外周的空隙中压注浆体,以防止隧道及地面下沉。盾构在推进过程中不断从开挖面排除适量的土方。

盾构法施工时还需要有地下水的降低,稳定地层、防止隧道及地面沉陷的土壤加固措施,隧道衬砌结构的制造,地层的开挖,隧道内的运输,衬砌与地层间的充填,衬砌的防水与堵漏,开挖土方的运输及处理,配合施工的测量、监测技术,合理的施工布置等其他施工技术密切配合才能顺利进行。

二、盾构施工法的主要特点

- (1) 盾构施工机械化程度高,其对地层的适应性好。
- (2) 能够承受围岩压力,施工安全。
- (3) 适用各种土层。
- (4) 地面作业很少(除竖井外),隐蔽性好,由于噪声、振动等因素引起的环境影响小。
- (5) 隧道施工的费用和技术难度基本不受覆土深度的影响,适宜于建造深埋隧道,其埋设深度可以很深而不受地面建筑物和交通的限制。
- (6) 穿越河底或海底时,不影响通航,也不受气候的影响。
- (7) 穿越地面建筑群和地下管线密集的区域时,对周围环境影响较小。
- (8) 盾构推进、出土、拼装衬砌等主要工序循环进行,易于管理,施工人员较少。
- (9) 工程造价经济低。
- (10) 施工工期短。

三、盾构施工的发展动向

盾构施工法开挖面稳定技术从压气施工法的“气”演变到泥水式的“水”和土压式的“土”。“开挖面稳定”和“盾构开挖”的技术已达到较完善的程度。目前盾构一般指密封式的泥水式和土压式盾构。泥土加压式盾构因其具备用地面积小、适用土质广、残土容易处理等优点，在建筑物密集的市区，使用数量正逐年增加。

从世界范围来看，盾构法隧道施工技术正在朝长距离、大直径、大埋深、复杂断面和高度自动化的方向发展，在这些方面处于领先地位的是日本和欧洲。目前，盾构技术的发展动向是：开发超大断面的盾构和 MF 盾构、DOT 盾构等多断面盾构，加上在衬砌和开挖方面采用 ECL 施工法的技术，采用管片自动组装装置的省力化，以及采用自动测量进行开挖控制，用计算机进行各种施工管理而实现管理系统化等的开发研究，为提高盾构法施工的安全性、施工性和经济性展示了更加广阔的应用前景。

盾构管片

管片作为盾构开挖后的一次衬砌，支撑作用于隧道上的土压和水压，防止隧道土体坍塌、变形及渗漏水，是隧道永久性结构物，并且要承受盾构推进时的推力以及其他荷载。

第一节 管片的种类

一、按断面形式分类

管片按断面形式的不同可分为箱形（含中字形）、平板形、波纹形。

箱形管片是指因手孔较大而呈肋板形结构的管片。手孔大不仅方便螺栓的穿入和拧紧，而且也节省了大量的材料，并使单块管片重量减轻。箱形管片通常使用在大直径隧道中，但若设计不当时，在盾构推进油缸的作用下容易开裂。平板形管片是指手孔较小而呈曲板形结构的管片，由于管片截面削弱小，对盾构推进油缸具有较大的抵抗能力，正常运营时对隧道通风阻力也小。

二、按材质分类

目前较常使用的管片主要有钢管片、球墨铸铁管片和钢筋混凝土管片。

1. 钢管片

钢管片的优点是重量轻、强度高、组装运输容易、可任意安装加固材料、加工容易；缺点是耐锈蚀性差、成本昂贵、金属消耗量大。钢管片比钢筋混凝土管片具有更大的承受不均匀荷载和变形的能力，常用于隧道通过高层建筑或桥梁等局部荷载下，以及地层不均匀的地段。

2. 球墨铸铁管片

球墨铸铁管片的特点是强度高、耐久性好、制作精度高；与混凝土管片的相对密度量小、掘削面小，只在少数特殊衬砌和承受特殊荷载的地点选用（如隧道联络通道，急转弯处等）。其缺点是成本较高，焊接困难。

3. 钢筋混凝土管片

由于施工条件和设计方法的不同，钢筋混凝土管片具有不同的形式，按管片手孔成形大小区分，可大致分为箱形和平板形两类。钢筋混凝土管片按照配筋，又可分为浅埋管片、中埋管片以及深埋管片，甚至还有超深埋管片。在管片生产时，根据盾构隧道设计埋深及地下

水文地质情况，对混凝土管片进行分别配筋并使用抗压强度、抗渗强度不同的混凝土，深埋管片的配筋要求严格，管片抗压及抗渗强度要求高；中埋管片次之；浅埋管片要求最低。在我国北方地区，一般均为砂卵石层及粉细砂层，不做深埋浅埋的区分；南方地区由于大都为黏性土层等，需要根据具体情况分为深埋、中埋、浅埋等。钢筋混凝土管片成本低、耐久性好，可构建实用、无障碍衬砌。

管片因使用材料、断面形式及接头方式的不同而异，分类如表 2-1 所示。

表 2-1 管片按材料、断面形式及接头方式分类

材质	断面形式	接头方式
钢筋混凝土管片	箱形	直螺栓
	平板形	直螺栓
		弯螺栓
		榫接头
		铰接头
		楔接头
铁质管片(铸铁、球墨铸铁)	波纹形	直螺栓
	箱形	直螺栓
钢管片	箱形	直螺栓
复合管片(钢板+钢筋混凝土)	平板形	直螺栓
		榫接头

三、按适用线性分

1. 楔形管片

具有一定锥度的管片称为楔形管片。楔形管片主要用于曲线施工和修正轴向起伏。管片拼装时，根据隧道线路的不同，直线段采用标准环管片，曲线段施工时采用楔形管片（左转弯环、右转弯环）。由楔形管片组成的楔形环有最大宽度和最小宽度，用于隧道的转弯和纠偏。用于隧道转弯的楔形管片由管片外径和相应的施工曲线半径而定。楔形环的楔形角由标准管片的宽度、外径和施工曲线的半径而定。采用这类管片时，至少需要三种管模，即标准环管模、左转弯环管模和右转弯环管模。

2. 通用管片

通用管片是针对同一条等直径隧道而言的。该管片既能适用于直线段隧道，也能适用于不同半径的曲线段隧道。通用管片就是由楔形管片拼装而成的楔形管环。所谓通用，就是把楔形管环实施组合优化，使得楔形管环能适用于不同曲率半径的隧道。

第二节 管环的构造

一、管环的构成

盾构隧道衬砌的主体是管片拼装组成的管环。如图 2-1 所示，管环通常由 A 型管片（标

准块)、B型管片(邻接块)和K型管片(封顶块)构成,管片之间一般采用螺栓连接。封顶块K型管片根据管片拼装方式的不同,有从隧道内侧向半径方向插入的径向插入型(图2-2)和从隧道轴向插入的轴向插入型(图2-3)以及两者并用的类型。半径方向插入型为传统插入型,早期施工实例很多。但在B-K管片之间的连接部,除了有弯曲引起的剪切力作用其上外,由于半径方向是锥形,作用于连接部轴向力的分力也起剪切力的作用,从而使得K管片很容易落入隧道内侧。因此,不易脱落的轴向插入型K管片被越来越多地使用。这也与盾构隧道埋深加大,作用于管片上的轴向力比力矩更显著有关系。使用轴向插入型K管片的情况下,需要推进油缸的行程要长些,因而盾尾长度要长些。有时在轴向和径向都使用锥形管片,将两种插入型K管片同时使用。径向插入型K管片为了缩小锥形系数,通常其弧长为A、B管片的1/3~1/4;而轴向插入型K管片,其弧长可与A、B管片同样大小。

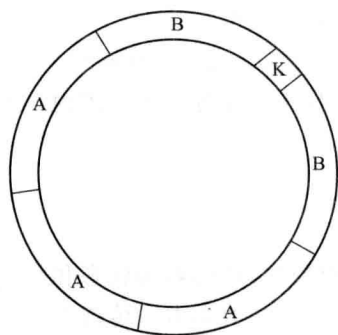


图 2-1 管片的组成

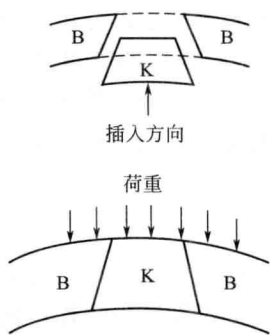


图 2-2 K型管片径向插入

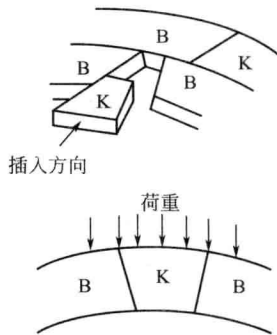


图 2-3 K型管片轴向插入

二、管环的分块

管环的分块数,从降低制作费用、加快拼装速度、提高防水性能角度看,是越少越好。但如果分块过少的话,单块管片的重量增加,从而导致管片在制作、搬运、洞内操作及拼装过程中出现各种各样的问题。管环的分块数应根据隧道的直径大小、螺栓安装位置的互换性(错缝拼装时)而定。地铁隧道常用的分块数为6块(3A+2B+K)和7块(4A+2B+K)。

封顶块有大、小两种,小封顶块的弧长以S为600~900mm为宜。封顶块的楔形量宜取1/5弧长左右,径向插入的封顶块楔形量可适当取大一些,此外每块管片的环向螺栓数量不得少于2根。

管环分块时需要考虑相邻环纵缝和纵向螺栓的互换性,同时尽可能地考虑让管片的接缝安排在弯矩较小的位置。一般情况下,管片的最长弧长宜控制在4m左右,管环的最小分块数为3块,小于3块的管片无法在盾构内实施拼装。

三、管片的厚度和宽度

1. 管片的厚度

管片的厚度要根据盾构外径、土质条件、覆盖土荷载决定,但它必须首先能承受施工时推进油缸的推力。管片的厚度过薄,极易在施工过程中损伤及引起结构的不稳定。管片的厚度一般需根据计算或工程类比而定。根据工程实践,管片厚度可取隧道外径的4%~6%,隧道直径大者取小值,小直径隧道取大值。计算式如下:

$$H_s = (0.04 \sim 0.06)D$$

式中 D ——隧道的外径，m；

H_s ——管片的厚度，m，对钢筋混凝土管片，一般取 0.05m。

2. 管片的宽度

管片的宽度从拼装性、弯道施工性方面讲，越小越好；而从降低管片制作成本、提高施工速度、增强止水性能方面讲，则是越大越有利。在确定管片宽度时，必须考虑以上这些条件和盾构的长度。

管片宽度增加后，如不能确保管片的抗扭刚性，那么应力集中等的影响就会增大，与管片宽度方向的应力分布就不能保持一致，从而起不到梁构件的作用。另外管片宽度加大后，推进油缸的行程需相应增长，从而造成盾尾增长，会直接影响盾构的灵敏度，因此管片也不是越宽越好。在实际工程中，应对各种条件加以分析后再决定管片的宽度。

国内地铁隧道的钢筋混凝土管片最常用的宽度是 1000mm、1200mm、1500mm 三种。近年来，随着生产及吊运水平的提高，以及为节约防水材料、减少连接件等要求，国内 11m 级大直径隧道的钢筋混凝土管片的宽度扩大到 2000mm。

四、管片的接头

管片接头上作用着弯矩、轴向力以及剪切力，但其结构性能根据接面的对接状态和紧固方法有很大的不同。有的拼装方法即使不设紧固装置，也能抵抗基本的剪切力。传统上多使用全面的拼对方式，但最近部分对接、楔式对接及转向对接的使用频率有日趋增长的趋势。为了提高管片环的刚性，管片接头多用金属紧固件连接。为了达到管片拼装高效化、快速化的目的，开发了多种金属紧固件。

管片有环向接头和纵向接头。接头的构造形式有直螺栓、弯螺栓、斜插螺栓、榫槽加销轴等，如图 2-4 所示。为了避免管片采用弯螺栓或大面积开孔，开发了斜插螺栓的形式。直螺栓接头是最普遍常用的接头形式，不仅用于箱形管片，也广泛用于平板形管片。直螺栓连接条件最为优越，在施工方面，该形式的螺栓就位、紧固等最能让施工人员接受。弯螺栓接头是在管片的必要位置上预留一定弧度的螺栓孔，拼装管片时把弯螺栓穿入弯孔，将管片连接起来。

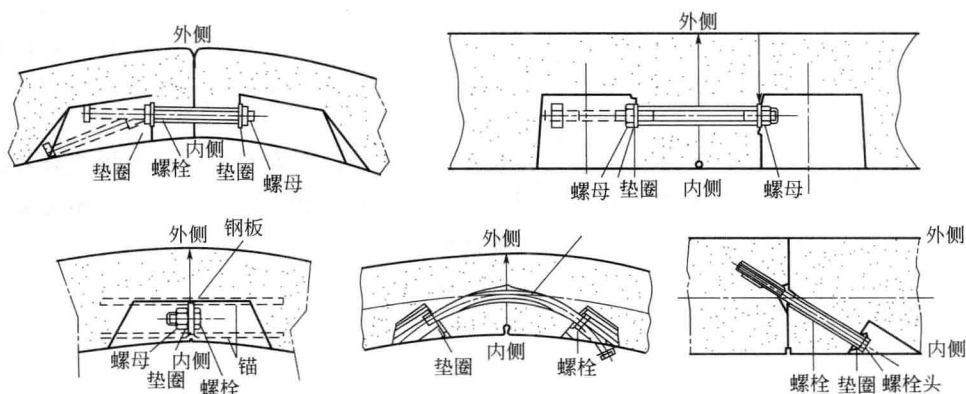


图 2-4 管片接头形式

斜插螺栓在欧洲是最常用的接头形式。因相邻环之间采用有效的榫槽错缝拼装形式，因此隧道掘进到 200 环以后，一般多拆除所有环的纵向螺栓。欧洲专家认为：拆除螺栓以后的

隧道，能适应普通的荷载以及一定烈度（7度）的地震荷载。环向的隧道接缝主要弯矩由相邻环的管片承担，另一部分由接头偏心受压面负担，故斜槽螺栓预埋螺母（螺栓套）的设计至关重要，其直接影响管片的拼装速度及施工质量。目前国内用于管片连接的斜插槽接头是一种改良型接头，该接头形式可避免管片大面积开孔，还可相应减少螺栓的用钢量。

环向接头的螺栓是把分散的管片进行连接的主体部件，螺栓的数量与位置直接影响圆环的整体刚度和强度。我国环向接头普遍采用单排螺栓，布置在管片厚度1/3左右的位置（偏于内弧侧），每处螺栓的接头数量不少于2根。

五、传力衬垫

传力衬垫粘贴在管片的环缝和纵缝内，以起到应力集中时的缓冲作用。它不属于防水措施。衬垫材料根据不同位置、不同受力条件、不同使用习惯，其材料性质、厚度、宽度各有不同。国内最早明确提出使用衬垫的工程是上海地铁1号线试验段，当时主要采用的是2mm厚的胶粉油毡，以后的工程则大多采用丁腈橡胶软木垫，也有采用软质PVC塑料地板，或经防腐处理过的三夹板等。软质PVC塑料地板及胶粉油毡薄片在混凝土预制块中受压时，均反映出加工硬化的特点。

目前，地铁盾构用管片的传力衬垫一般采用厚度为3mm丁腈橡胶软木垫，衬垫使用单组分氯丁-酚醛胶黏剂粘贴在管片上。一般除封顶块贴1块传力衬垫外，其余每块管片上贴3块传力衬垫，见图2-5。

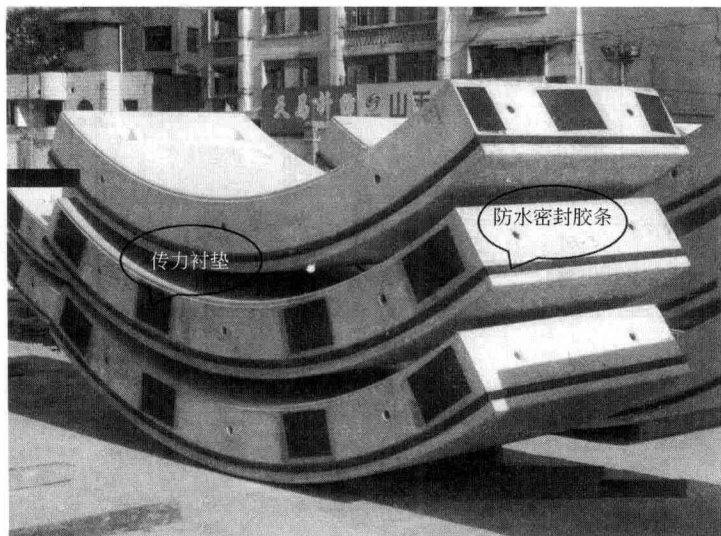


图 2-5 平板形钢筋混凝土管片

六、弹性密封垫与角部防水

管片接缝面防水是盾构隧道防水的重要环节。盾构法隧道防水的核心就是管片接缝防水，接缝防水的关键是接缝面防水密封材料及其设置。一般在管片的接缝面设置密封材料沟槽，在沟槽内贴上框形三元乙丙橡胶或遇水膨胀橡胶弹性密封垫圈进行防水。管片角部防水一般采用自黏性橡胶薄片，其材料为未硫化的丁基橡胶薄片，尺寸一般为长200mm、宽