

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

P

TB 10181 — 2017

J 2372 — 2017

铁路隧道盾构法技术规程

Technical Specification for Shield Method of Railway Tunnel

2017-06-09 发布

2017-09-01 实施

国 家 铁 路 局

发 布

中华人民共和国行业标准

铁路隧道盾构法技术规程

Technical Specification for Shield Method of Railway Tunnel

TB 10181—2017

J 2372—2017

主编单位：中国中铁股份有限公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：2017 年 9 月 1 日

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 1 7 年 · 北 京

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2017 年第 6 批)

国铁科法〔2017〕40 号

现公布《铁路隧道盾构法技术规程》(TB 10181—2017)行业标准,自 2017 年 9 月 1 日起实施。

本标准由中国铁道出版社出版发行。

国家铁路局

2017 年 6 月 9 日

前 言

根据国家铁路局构建铁路工程建设标准体系的要求,为统一铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工、验收技术要求和标准,进一步提高铁路隧道盾构法设计施工水平,保障铁路隧道质量,制定本规程。

本规程在编制过程中,总结了我国铁路隧道盾构法工程实践经验,吸纳了最新科研成果,借鉴了国内外标准,充分体现了铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工、验收技术特点和质量要求,力争做到安全可靠、技术先进、经济合理。

本规程共分为 13 章,包括:总则、术语、基本规定、盾构法隧道勘察、盾构法隧道设计、盾构选型、盾构施工、盾构施工辅助措施、隧道防排水、监控量测、环境保护及施工安全、风险评估与控制、工程验收等。主要内容如下:

1. 明确了本规程适用范围,规定了盾构法设计应遵循的主要原则及施工控制要点等内容。
2. 明确了与盾构法相关专用名词的定义。
3. 明确了铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工和验收基本要求。
4. 规定了盾构法各阶段勘察要点和工作内容。
5. 明确了荷载和结构计算方法,提出了隧道结构和工作井设计技术要求。
6. 规定了盾构设备选型的主要原则,明确了盾构的主要技术参数和设备配备要求。

7. 提出了管片制作、始发及接收、掘进、特殊地段施工、盾构设备维修保养等的施工技术要求。

8. 明确了盾构法施工常用的注浆加固、深层搅拌桩加固、高压旋喷加固、降水施工、冻结法施工、基岩孤石爆破处理等辅助工法的主要内容。

9. 规定了盾构法的防水原则,明确了隧道防水设计、防排水施工的原则和处理措施。

10. 明确了盾构法主要监控量测项目,环境和结构监控量测、资料整理反馈及变形管理等级要求。

11. 提出了环境保护、施工安全卫生的基本要求和措施。

12. 明确了盾构法的风险管理重点、基本流程和主要内容。

13. 明确了验收的基本要求,规定了分部分项和检验批工程验收的主要项目和单位工程综合质量评定内容。

在执行本标准的过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见及有关资料寄交中国中铁股份有限公司(北京市海淀区复兴路 69 号,邮编 100039),并抄送中国铁路经济规划研究院(北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号,邮编:100038),供今后修订时参考。

本规程由国家铁路局科法司负责解释。

主编单位:中国中铁股份有限公司。

参编单位:中铁隧道集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中铁科学研究院、中铁一局集团有限公司、盾构及掘进技术国家重点实验室。

主要起草人:刘 辉、陈唯一、洪开荣、张海波、于兴义、刘建廷、罗世培、周建军、党西锋、宋 冶、林 刚、方俊波、易勇进、琚时轩、张永平、高存成、杨 雄、张 增、杨振兴、郭 俊、李建强、郑宗溪、杨 征、宋同伟、马 青。

主要审查人:关宝树、刘 春、林振球、高 杨、韩亚丽、许和平、田 杨、杨鹏健、张翠兵、唐国荣、肖广智、倪光斌、林传年、秦淞君、谭忠盛、仇文革、李国良、杨木高、刘 鹏、周 勇、王立暖、张继清、马志富、龚彦峰、焦齐柱、李汶京、苏新民、张金夫、杨会军、李光耀、伍晓军、高菊茹。

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基本规定	4
3.1	勘 察	4
3.2	设 计	4
3.3	施 工	5
3.4	工程验收	5
4	盾构法隧道勘察	7
4.1	一般规定	7
4.2	踏 勘	8
4.3	初 测	8
4.4	定测和补充定测	10
4.5	施工勘察	13
4.6	成果分析与勘察报告	13
5	盾构法隧道设计	15
5.1	一般规定	15
5.2	荷 载	15
5.3	主要工程材料	17
5.4	结构计算	18
5.5	结构设计	19
5.6	盾构工作井	21
5.7	洞口及附属构筑物	22

6 盾构选型 23

6.1 选型原则及依据 23

6.2 选型的步骤及方法 24

6.3 盾构设施系统 25

6.4 盾构主要技术参数 26

7 盾构施工 29

7.1 一般规定 29

7.2 施工准备 29

7.3 管 片 30

7.4 始发及接收 31

7.5 盾构掘进 32

7.6 特殊地段施工 35

7.7 盾构设备保养与维修 36

8 盾构施工辅助措施 38

8.1 一般规定 38

8.2 注浆加固 38

8.3 深层搅拌桩加固 39

8.4 高压旋喷加固 39

8.5 降水施工 40

8.6 冻结法施工 41

8.7 基岩孤石爆破处理 43

9 隧道防排水 44

9.1 一般规定 44

9.2 防水设计 44

9.3 管片防水 45

9.4 接缝防水 46

9.5 特殊部位防水 47

9.6 隧道排水 47

10 监控量测 48

10.1 一般规定 48

10.2 环境监控量测 49

10.3 结构监控量测 51

10.4 资料整理和信息反馈 51

10.5 稳定性评判原则和管理等级 51

11 环境保护及施工安全 53

11.1 一般规定 53

11.2 环境保护 53

11.3 施工安全 55

12 风险评估与控制 56

12.1 一般规定 56

12.2 风险评估与控制的主要内容 56

13 工程验收 58

13.1 一般规定 58

13.2 管片安装 59

13.3 同步注浆与二次注浆 61

13.4 管片防水 61

13.5 单位工程综合质量评定 63

本规程用词说明 67

《铁路隧道盾构法技术规程》条文说明 68

1 总 则

1.0.1 为统一铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工、验收标准,使盾构法隧道符合安全可靠、技术先进、绿色环保、经济合理等要求,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工和验收。

1.0.3 新建铁路城市隧道、水下隧道宜优先采用盾构法。

1.0.4 铁路隧道盾构法设计技术方案和盾构选型应根据地质地貌、生态环境、能源状况、设备运输等因素,经技术经济比选后确定。

1.0.5 铁路隧道盾构法设计、施工应重点对环境影响和施工安全进行风险评估。

1.0.6 铁路隧道盾构法施工应根据地质条件及监控量测信息,调整掘进参数,控制推进姿态,实施全过程的动态管理。

1.0.7 铁路隧道盾构法施工宜采用超前地质预报、超前预加固等技术。采用新技术、新工艺、新材料和新设备时,应符合国家及行业有关规定。

1.0.8 铁路隧道盾构法施工应及时填写施工记录、质量检测报告、检查验收记录等工程技术资料。

1.0.9 铁路隧道盾构法的勘察、设计、施工、验收除应符合本规程的规定外,尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 盾构 shield

在钢壳体的保护下完成隧道掘进、管片拼装及渣土排出作业，由主机和后配套组成的机电一体化设备。

2.0.2 工作井 working shaft

盾构组装、解体、调头、空推、吊运管片和输送渣土等使用的竖井，包括盾构始发工作井、盾构接收工作井、检查工作井等。

2.0.3 盾构始发 shield launching

盾构开始掘进的施工过程。

2.0.4 盾构接收 shield arrival

盾构到达接收位置的施工过程。

2.0.5 反力架 reaction frame

为盾构始发掘进提供反力的支撑装置。

2.0.6 管片 segment

隧道预制衬砌环的基本单元，包括钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

2.0.7 负环管片 temporary segment

为盾构始发掘进传递推力的临时管片。

2.0.8 防水密封垫 sealing gasket

镶嵌于管片接缝处的防水材料。

2.0.9 壁后注浆 back-fillgrouting

用浆液填充隧道衬砌环与地层之间空隙的施工工艺。

2.0.10 盾构姿态 position and stance

盾构的空间状态,通常采用横向偏差、竖向偏差、俯仰角、方位角、滚转角和切口里程等数据描述。

2.0.11 刀盘 cutterhead

设置在盾构的前端,与主轴承转接座相连接,通过旋转或其他运动方式对地层进行全断面开挖的钢结构和刀具的总成。

3 基本规定

3.1 勘 察

3.1.1 盾构法隧道工程地质勘察应与预可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计及施工阶段相对应,分阶段开展工作。

3.1.2 盾构法隧道各阶段勘察工作应根据盾构法特点为不同设计阶段和施工提供地质资料,预测工程活动对周边环境的影响。

3.1.3 盾构法隧道工程地质勘察工作应在总结既有隧道勘察、设计、施工经验的基础上,合理确定勘察方法和勘察工作量,获取所需的地质参数,满足设计、施工需要。

3.1.4 盾构法隧道工程地质勘察应按地质调绘、勘探、测试、试验、综合地质分析和报告编制等工作程序进行。工作内容应根据地区特点、勘察阶段和工程要求确定,勘察报告应资料完整、数据可靠、依据充分、建议合理。

3.1.5 盾构法隧道穿越地层及周边环境对工程设计方案和施工有重大影响时,应进行专项勘察或专题研究。

3.2 设 计

3.2.1 盾构法隧道主体结构设计使用年限为 100 年,使用期间可以更换且不影响功能的结构设计使用年限为 60 年。

3.2.2 盾构法隧道结构可采用极限状态法进行设计,设计时应针对承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行计算。

3.2.3 隧道内轮廓宜为圆形,其内径大小应根据建筑限界、设备

及管线安装空间要求、设计速度、道床型式、附属建(构)筑物设置、后期维修补强空间、综合施工误差等要求综合确定。

3.2.4 盾构法隧道宜采用单层预制衬砌结构,必要时可设置二次衬砌。

3.2.5 高速铁路盾构法隧道的防水设计应符合地下工程一级防水标准,其他铁路盾构法隧道应符合地下工程二级防水标准。

3.2.6 隧道附属构筑物应结合盾构法隧道结构特点进行布置。

3.3 施 工

3.3.1 盾构法施工应根据施工组织设计和施工条件,建立安全、质量和环境保证体系,做到节能降耗、保护环境、文明施工。

3.3.2 盾构法施工应对管片安装质量、管片壁后回填注浆质量及隧道底部质量等进行检测,并将检测结果纳入竣工文件。

3.3.3 盾构法施工应根据设计和环保要求做好施工期间的防排水。

3.3.4 盾构法施工应根据贯通误差要求,采取相应的测量方法,保证隧道的中线、高程、管片拼装精度符合设计要求。

3.3.5 施工场地应布置合理,主要设施齐全,相互干扰小。

3.3.6 盾构法施工应进行试掘进,并根据试掘进情况调整确定掘进参数。

3.3.7 盾构法施工应随时收集原始数据、资料,做好施工记录。

3.4 工 程 验 收

3.4.1 隧道质量应达到设计要求的结构安全、耐久性和使用功能,主体结构质量满足设计使用年限内正常运营的需要。

3.4.2 工程验收应采用先进、成熟、合理的检验检测手段,数据应真实可靠,全面反映工程质量状况。所用方法和仪器设备应符合相关标准的规定,仪器精度应能满足质量控制要求。

3.4.3 工程原材料、半成品和成品进场应验收。管片及防水材

料应作为成品进行进场验收。进场验收时应检查每批产品的质量合格证书、性能检验报告、使用说明书、进口产品的商检报告及其他证明文件,并按有关标准规定进行复验,质量合格后方可使用。

3.4.4 质量检测报告、检查验收记录等工程技术管理资料应符合有关行业标准的规定,验收资料应归档。

4 盾构法隧道勘察

4.1 一般规定

4.1.1 盾构法隧道工程地质勘察应结合场地、周边环境及工程特点制定勘察方案,采用综合地质勘察方法,查明工程地质与水文地质条件,进行综合工程地质分析,提供设计施工所需的地质参数和工程措施建议。

4.1.2 盾构法隧道工程地质勘察应为下列工作提供地质资料:

1 隧道选线和盾构工作井及联络通道位置的选定。

2 盾构设备选型、盾构管片结构设计、辅助工程措施选择、盾构施工参数确定。

3 工程风险评估、工程周边环境保护及监测方案设计。

4.1.3 盾构法隧道工程地质勘察应重点查明下列内容:

1 高灵敏度软土层、高塑性黏性土层、强透水松散砂层、含承压水砂层、软硬不均地层、特硬地层的成因、分布和工程特性。

2 含漂石(块石)或卵石(碎石)的地层,应提供颗粒组成、最大粒径及曲率系数、不均匀系数、石质强度、耐磨矿物成分及含量、黏粒含量等。

3 基岩地区岩土分界面、岩石坚硬程度、岩石质量指标(RQD值)、岩石风化程度、风化界面、球状风化体、差异风化、结构面发育情况等。

4 断层、断层破碎带、节理密集带、侵入蚀变带、岩相接触带等空间分布、规模、物质组成、工程性质和水文特征。

5 岩溶及岩溶水、人为坑洞、孤石、流砂、喷涌、放射性、有害气体等的成因、分布和特性。

4.1.4 盾构法隧道工程地质勘察不宜在隧道洞身范围内布置勘探孔；所有勘探孔在勘探、测试工作结束后，应进行封填，并详细记录勘探孔内遗留物。

4.2 踏 勘

4.2.1 踏勘应调查影响线路方案的工程地质、水文地质条件，为编制预可行性研究报告提供工程地质资料。

4.2.2 现场踏勘应搜集分析区域和既有工程地质资料，开展下列工作：

1 调查和搜集区域地质、地形地貌、地震、矿产、水文、气象、工程地质、水文地质、工程环境、当地工程建设经验等资料。

2 了解隧道通过区域的地层岩性、地质构造、地震动参数、水文地质等，初步评价隧道通过区的工程地质与水文地质条件；了解控制线路方案的不良地质、特殊岩土、大型水库和矿区等环境情况，评估其对隧道方案的影响，对线路方案提出优化和比选建议。

3 对地震动峰值加速度大于 $0.4g$ 的地区，提出进行地震危害专题研究建议。

4.3 初 测

4.3.1 初测阶段勘察工作应初步查明控制线路方案的不良地质和特殊岩土及周边环境风险，预测可能出现的工程地质问题，为隧道方案比选、隧道设计、盾构设备选型、环境保护、技术经济论证等提供地质资料。

4.3.2 初测阶段工程地质勘察工作应初步查明下列内容：

1 地形地貌、地层岩性、地质构造等工程地质条件。

2 不良地质、特殊岩土地段及其成因类型、分布规律、对隧道的影响等。

3 地下有害气体、污染土层等的分布、成分及其对隧道的危害。

4 地下水类型、埋藏条件、水位、水质、流速、流向、补给、径流、排泄条件,地下水动态变化规律等水文地质条件;每个地貌单元选择代表性地段进行水文地质试验,提供水文地质参数。必要时应设置地下水位长期观测孔。

5 河、湖、海淤积物的发育、分布及变化情况,调查地下古河道、古建筑、障碍物等情况。

4.3.3 初测阶段勘探工作应符合下列规定:

1 勘探点布置应符合下列规定:

- 1) 勘探、测试的重点应是控制和影响线路方案的不良地质、特殊岩土及地质条件复杂地段,一般地段也应布置适当的勘探测试点,避免遗漏隐蔽的工程地质问题。
- 2) 勘探点间距宜为 100 m~200 m,每个地貌、地质单元均应布置勘探点。在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段,以及不良地质、特殊岩土发育地段,应加密勘探点。
- 3) 在隧道一侧或两侧交叉布置勘探点,宜布置在隧道结构外侧 3 m~5 m 的位置,穿越地表水体段宜布置在隧道结构外侧 8 m~12 m。
- 4) 取样试验和原位测试孔数量不应少于勘探点总数的 2/3。

2 勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定,并符合下列规定:

- 1) 控制性勘探孔深度:应进入结构底板以下不小于 30 m。在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层,应进入结构底板以下不小于 15 m。如遇中等风化、微风化岩石地层,应进入结构底板以下 5 m~8 m。
- 2) 一般性勘探孔深度:应进入结构底板以下不小于 20 m。在结构埋深范围内如遇强风化、全风化岩石地层,应进入结构底板以下不小于 10 m。如遇中等风化、微风化岩石地层,应进入结构底板以下不小于 5 m。

3) 遇岩溶和破碎带时勘探孔深度应适当加深。

4.3.4 初测阶段测试、试验、工程物探工作应符合下列规定：

1 勘探测试方法应根据地质条件和工程特点合理选配,并充分利用工程物探、原位测试等方法。

2 每一主要岩土层均应采取试样,按水文地质单元采取代表性的地表水和地下水样进行测试试验。

3 当隧道通过区存在有害气体或地温异常时,应进行有害气体成分、压力、含量和地温测定;高地应力地段应进行地应力测试。

4 物探成果资料应与钻探及其他勘察资料综合分析、相互验证。

4.4 定测和补充定测

4.4.1 定测和补充定测应结合盾构法隧道及其附属结构物的类型、结构形式、埋置深度等特点,详细查明工程地质与水文地质条件,预测可能出现的工程地质问题,为初步设计、施工图设计、盾构设备选型、地下水控制方案、周边环境保护等提供资料。

4.4.2 定测和补充定测阶段工程地质勘察工作应详细查明下列内容：

1 隧道通过区地层、地质构造等的类型、成因、分布范围和工程特性。

2 不良地质和特殊岩土的类型、分布范围、发育特征、发展趋势及其对隧道的影响程度。

3 地表水体的水位、水深、水质、淤积物及其与地下水的水力联系等。

4 隧道通过区的井、泉分布,地下水类型、补给、径流、排泄、水位、水压、流速、流向、渗透系数等水文地质条件。

5 隧道通过区煤层、气田、矿体及富集放射性物质、有害气体、污染土等的分布、成分、发育特征等,评价其对隧道工程的危害程度。

6 冻土地区的标准冻结深度。

4.4.3 定测和补充定测阶段勘探点布置应符合下列规定：

1 合理布置勘探点和控制性地质横剖面,按工点进行工程地质勘察,以满足设计和施工的需要。

2 勘探点间距可根据工程类别、工程设置、地质条件复杂程度和不良地质、特殊岩土发育情况及设计和施工需要,按表 4.4.3 综合确定。

表 4.4.3 勘探点间距

场地复杂程度	勘探点间距 (m)
简单场地	50~60
中等复杂场地	30~50
复杂场地	10~30

3 每个地质横剖面不少于 2 个勘探点。

4 在隧道洞口、工作井、联络通道等附属结构物以及工法变换部位应布置控制勘探点。

5 遇岩溶、球状风化体等地质条件复杂或有特殊要求的地段宜加密勘探点。

6 勘探点宜沿隧道结构外侧 3 m~5 m 的位置交叉布置。

7 控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的 1/3;取样测试和原位测试孔数量不应少于勘探点总数的 2/3。

8 山岭隧道勘探点的布置可按现行《铁路工程地质勘察规范》TB 10012的有关规定执行。

4.4.4 定测和补充定测阶段勘探孔深度应符合下列规定：

1 勘探孔深度应根据基础类型、基础埋置深度、结构底板埋深、地质条件等综合确定,可根据需要布置代表性的控制性勘探孔。

2 控制性勘探孔深度应满足变形计算、稳定性分析、抗浮设计以及地下水控制的要求。土质地层应进入隧道结构底板以下不

小于 3 倍洞径,岩质地层应进入结构底板以下中等风化、微风化岩石不小于 5 m。

3 一般性勘探孔深度,土质地层应进入隧道结构底板以下不小于 2 倍洞径,岩质地层应进入结构底板以下中等风化、微风化岩石不小于 3 m。

4 当采用承重桩、抗拔桩或抗浮锚杆时,勘探孔深度应满足设计的要求。

5 地震动峰值加速度为 $0.1g$ 及以上地区,地基土为饱和砂土、粉土时,勘探孔深度应大于地震可液化层深度。

6 探明地质构造、水文地质条件以及特殊需要的勘探测试孔深度可视具体情况确定。

4.4.5 定测和补充定测阶段测试、试验、工程物探工作应符合下列规定:

1 每一地质单元的各主要岩土层测试或试验数据不应少于 6 件(组)。

2 选取适合的测试手段进行原位测试,每一地质单元波速测试孔不宜少于 2 个,电阻率测试孔不宜少于 2 个。不利结构面危及施工安全和工程稳定时,宜进行现场剪切试验。

3 隧道范围内的碎石土和砂土应测定颗粒级配,粉土应测定黏粒含量。

4 隧底压缩层范围内宜进行回弹再压缩试验。

5 采取地表水、地下水试样及隧道结构范围内的岩土试样应进行腐蚀性试验。

6 基岩地区应进行岩块的弹性波波速测试,并进行岩石的天然抗压强度、饱和抗压强度试验,必要时进行软化试验。

7 当地下水对隧道工程影响较大或需进行地下水控制时,宜进行水文地质试验,必要时布置长期水文观测孔。

4.4.6 定测和补充定测阶段遇下列情况时,钻孔内宜进行物探测井或原位测试:

- 1 取芯困难,岩芯漏判误判影响施工安全和工程稳定。
- 2 需测定地下水层数、水位、流向、流速、渗透系数和连通性。
- 3 需测定地应力或地温。
- 4 有特殊要求。

4.5 施 工 勘 察

4.5.1 施工勘察应针对施工方法、施工工艺的特殊要求和施工中可能出现的工程地质、水文地质问题等工作,满足施工方案调整 and 风险控制的要求。

4.5.2 施工阶段遇下列情况宜进行施工勘察:

- 1 施工中发现地质条件与施工图差异较大,或出现地质异常,影响施工安全或工程稳定。
- 2 场地内不良地质、特殊岩土异常发育,影响施工安全或工程稳定。
- 3 施工过程中出现突水、涌泥、失稳、坍塌等工程地质问题。
- 4 施工中发生地面沉降过大、地面塌陷、相邻建筑开裂破坏等工程环境问题。
- 5 施工方案有较大变更或采用新技术、新工艺、新方法、新材料,定测和补充定测阶段勘察资料不能满足要求。
- 6 需进行施工勘察的其他情况。

4.6 成果分析与勘察报告

4.6.1 工程地质勘察报告应在搜集已有资料,取得工程地质调绘、勘探、测试、试验等成果的基础上,结合勘察阶段、工程特点、设计方案、施工方法等,进行综合地质分析。

4.6.2 工程地质参数的确定,应结合原位测试、室内试验和当地工程经验等综合选用。

4.6.3 工程地质勘察报告应资料完整、数据真实、内容可靠,工程地质分析评价应论据充分、针对性强。

4.6.4 工程地质分析评价应包括下列内容：

- 1** 工程建设场地的稳定性、适宜性评价。
- 2** 根据地层岩性、地质构造,提出盾构设备选型应注意的工程地质问题。
- 3** 根据不良地质和特殊岩土对施工和工程安全的影响,提出工程措施建议。
- 4** 根据地表水体对盾构施工的影响,地下水对结构的渗透和浮托作用,提供防渗和抗浮设防水位。
- 5** 根据隧道围岩变形、失稳、坍塌等稳定性,提出工程措施建议。
- 6** 根据发生突水、涌泥的可能性,提出预防措施建议。
- 7** 根据煤层、气田、矿体、放射性及有害气体等对施工安全对人体等的危害,提出防护措施建议。
- 8** 划分场地土类型和场地类别,评价场地和地基土地震效应。
- 9** 水和土对建筑材料腐蚀性评价。
- 10** 根据周边建(构)筑物、地下管线等在施工过程中的安全性,提出迁改、防护等措施建议。
- 11** 工程建设与周边环境相互影响的预测,提出预防措施建议。

4.6.5 工程地质勘察报告应包括文字、表格、图件,重要的支持性资料可作为附件。

5 盾构法隧道设计

5.1 一般规定

5.1.1 盾构法隧道线路可采用单洞单线和单洞双线型式。线路平纵断面设计时应综合考虑沿线地形、工程水文地质、既有建构筑物情况、环境及规划条件、附属结构物、运营要求等因素。

5.1.2 隧道覆土厚度不宜小于 1 倍隧道外轮廓直径,当特殊地段埋深较浅时,应采取相应技术处理措施。当隧道穿越江河湖泊时,隧道埋深应考虑河床变迁及冲刷回淤等因素。

5.1.3 相邻盾构法隧道净距应根据工程地质条件、隧道埋深、盾构类型等因素综合确定,一般不小于隧道外轮廓直径,当小于隧道外轮廓直径时,应做评估。

5.1.4 管片宜优先采用错缝拼装方式,衬砌环组合方式可采用通用衬砌环、直线与楔形衬砌环组合、楔形衬砌环组合等。

5.1.5 衬砌管片设计应对制作、吊装、堆放、运输、安装、使用等工况进行检算。

5.1.6 工作井设计应综合考虑结构深度、地质条件、结构尺寸、施工工艺等因素,工作井形状和尺寸除满足盾构组装、始发、接收、拆卸、材料及渣土运输等需要外,还应结合使用阶段功能要求进行设计。

5.1.7 洞门结构应满足功能、受力和防水等要求,洞口段地层应根据地层条件采取加固处理措施。

5.2 荷载

5.2.1 盾构法隧道设计荷载可按表 5.2.1 选用。

表 5.2.1 荷载分类表

荷载类型	荷载名称
永久荷载	结构自重
	附属设备自重
	地层压力
	隧道上部和破坏棱体范围的设施及建筑物压力
	水压力
	地层抗力
可变荷载	地面车辆荷载
	施工荷载
	冻胀力、膨胀力等
偶然荷载	地震荷载
	人防荷载

5.2.2 荷载计算可采用下列原则和方法：

- 1 结构自重按结构实际重量计算。
- 2 地层压力按垂直压力和侧向压力计算：
 - 1) 垂直压力：岩石地层按现行《铁路隧道设计规范》TB 10003计算；土质地层，当覆土厚度 $\leq 2D$ (D 为盾构隧道开挖外轮廓直径)时，按全土柱计算；当覆土厚度 $> 2D$ 时，按卸载拱效应下的全土柱计算。
 - 2) 侧向压力按静止侧压力计算。黏性土地层宜采用水土合算，砂性土地层宜采用水土分算。
- 3 隧道上部和破坏棱体范围的设施及建筑物压力：对既有和已批准待建的建筑物应根据结构物与隧道的相互关系确定荷载取值；当隧道覆土厚度足以形成卸载拱时，可按卸载拱理论考虑其作用力。
- 4 水压力按最高、最低水位分别计算。
- 5 地层抗力根据结构与地层间实际作用取值，可采用单向受

压弹簧模拟。

6 地面车辆荷载可简化为与结构埋深有关的均布荷载。

7 主要施工荷载应考虑以下荷载及其最不利组合：

- 1) 地面堆载。
- 2) 盾构吊装荷载。
- 3) 盾构始发对工作井的附加力。
- 4) 相邻盾构隧道施工相互影响。
- 5) 盾构推进液压缸推力。
- 6) 注浆压力。

8 列车荷载、冻胀力、膨胀力、地震荷载、人防荷载等按相关规范确定。

5.3 主要工程材料

5.3.1 管片结构材料宜采用钢筋混凝土，特殊情况可选用铸铁、钢或纤维混凝土材料；二次衬砌可采用素混凝土、钢筋混凝土、钢纤维或金属等材料；盾构工作井宜采用钢筋混凝土结构，通道洞室可采用组合材料结构。

5.3.2 各部位混凝土最低设计强度等级应满足表 5.3.2 要求。

表 5.3.2 混凝土最低设计强度等级

部 位	工 程 材 料	最低设计强度
盾构管片	钢筋混凝土结构	C50
二衬衬砌/盾构工作井	钢筋混凝土	C35
通道洞室	钢筋混凝土结构/喷射混凝土结构	C35/C25

5.3.3 预制钢筋混凝土管片受力主筋可采用 HRB400、HRB500 或更高等级钢筋，构造钢筋可采用 HPB300、HRB400 或更高等级钢筋。

5.3.4 管片连接螺栓的机械性能等级宜采用 5.6~10.8 级，也可

采用有较好耐腐蚀性和冲击韧性的低合金高强度钢材,螺母机械性能等级应与螺栓匹配。螺栓、螺母均应进行耐腐蚀处理。

5.3.5 防水密封垫应为具有良好弹性、耐久性、耐水性的橡胶类材料,并满足相关规范要求。

5.3.6 当隧道周边有腐蚀性介质时,应按现行《混凝土结构设计规范》GB 50010 和《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 要求选择材料。

5.4 结构计算

5.4.1 隧道结构构件承载能力极限状态设计应符合下式要求:

$$\gamma_0 f_z = f_c \quad (5.4.1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,取 1.1。

f_z ——承载能力极限状态下荷载效应组合设计值,按现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 计算。

f_c ——结构构件承载力设计值。

5.4.2 隧道结构构件正常使用极限状态设计应符合下式要求:

$$f_z \leq C \quad (5.4.2)$$

式中 f_z ——正常使用极限状态的荷载效应标准组合值,根据现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 计算。

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形、裂缝宽度和应力等的限值。

5.4.3 隧道结构计算应符合下列规定:

1 结构计算包括施工阶段和使用阶段两部分。

2 隧道结构的计算简图应根据地层情况、衬砌构造特点及施工工艺等确定,计算中应考虑衬砌与地层共同作用及接头的影响。装配式衬砌环采用具有一定接头刚度的柔性结构模型时,应限制荷载作用下的结构变形和接头张开量。

3 衬砌内力计算可采用“地层结构”模式和“荷载-结构”模式,其中“荷载-结构”模式可采用均质圆环法、惯用法、修正惯用

法、多铰圆环法、梁-弹簧法等模型。

4 当遇到下列情况时,盾构法隧道还应进行纵向强度和变形的验算:

- 1) 沿纵向荷载有较大变化时。
- 2) 基底地层有较大变化时。
- 3) 纵向结构刚度有较大变化时。

5 抗震设防烈度大于 7 度、结构型式复杂、地层软硬不均地段及结构刚度突变段应进行抗震计算,计算方法可参照现行《铁路工程抗震设计规范》GB 50111 采用惯性力法,也可参照现行《城市轨道交通抗震设计规范》GB 50909 采用反应位移法、反应加速度法和时程分析法。

5.4.4 隧道结构抗浮计算应对最不利工况进行验算,安全系数不应小于 1.05。

5.4.5 钢筋混凝土管片结构最大裂缝宽度宜按 0.2 mm 控制,特殊环境条件钢筋混凝土管片结构最大裂缝宽度应满足现行《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 相关要求。

5.5 结构设计

5.5.1 盾构法隧道宜采用圆形内轮廓,隧道内直径的确定应综合考虑设计时速、单双线情况、接触网悬挂方式、疏散救援方式、中隔墙、车辆特点及后期补强空间等因素。

5.5.2 盾构法隧道宜采用单层预制钢筋混凝土结构型式,也可采用铸铁、钢或纤维混凝土等单层预制结构型式。根据需要可设置现浇模筑二次衬砌结构。

5.5.3 盾构法隧道管片厚度应根据隧道直径、工程水文地质条件、建筑材料、结构荷载等因素确定,单层预制钢筋混凝土管片厚度宜为盾构外径的 0.04 倍~0.06 倍。

5.5.4 盾构法隧道衬砌环宽度应根据曲线拟合、运输、拼装、防水等因素确定,单层预制钢筋混凝土管片衬砌环宽度宜为 1.5 m~2.0 m。

5.5.5 盾构法隧道衬砌环分块应根据管片尺寸、管片制作、结构受力、运输及拼装、盾构构造、防水效果等因素确定,盾构法隧道衬砌环可分为 7~12 块。

5.5.6 盾构法隧道楔形衬砌环楔形量应按式计算:

$$\Delta = k B_{cq} D_w / R_q \quad (5.5.6)$$

式中 Δ ——楔形衬砌环理论楔形量;

k ——综合修正系数,根据隧道直径、衬砌环宽度、隧道线路曲线半径、楔形环间距等综合确定,通常可取 1.5~2.5;

B_{cq} ——衬砌环幅宽;

D_w ——衬砌环外径(m);

R_q ——衬砌环所在的平面曲线半径(m)。

5.5.7 盾构法隧道封顶块管片的接头角角度和插入角角度应根据断面力的传递、结构稳定性、组装方式、施工条件、管片制造等因素确定。

5.5.8 盾构法隧道衬砌环细部设计应符合下列规定:

1 衬砌环接头分为环向接头和纵向接头,衬砌环接头选用应根据结构强度和刚度、衬砌环组装准确性、施工作业方便及防水等因素确定。

2 每个衬砌环管片均应考虑注浆孔与吊装设计,当衬砌环管片采用吊装孔安装时,宜将管片吊装孔与注浆孔统筹考虑。

3 管片边缘宜设 5 mm×5 mm 的倒角。

4 管片接缝内侧边缘处应预留嵌缝槽,槽宽不宜小于 10 mm,且嵌缝槽深宽比不小于 2.5,嵌缝槽断面构造形状可按图 5.5.8 选用。

5 每个衬砌环管片均应在内弧面明显位置设置标识。

6 根据地层特点和施工需要,衬砌环可设置定位棒、凹凸棒等。

7 管片螺栓手孔、预埋件等薄弱部位应设置构造钢筋。

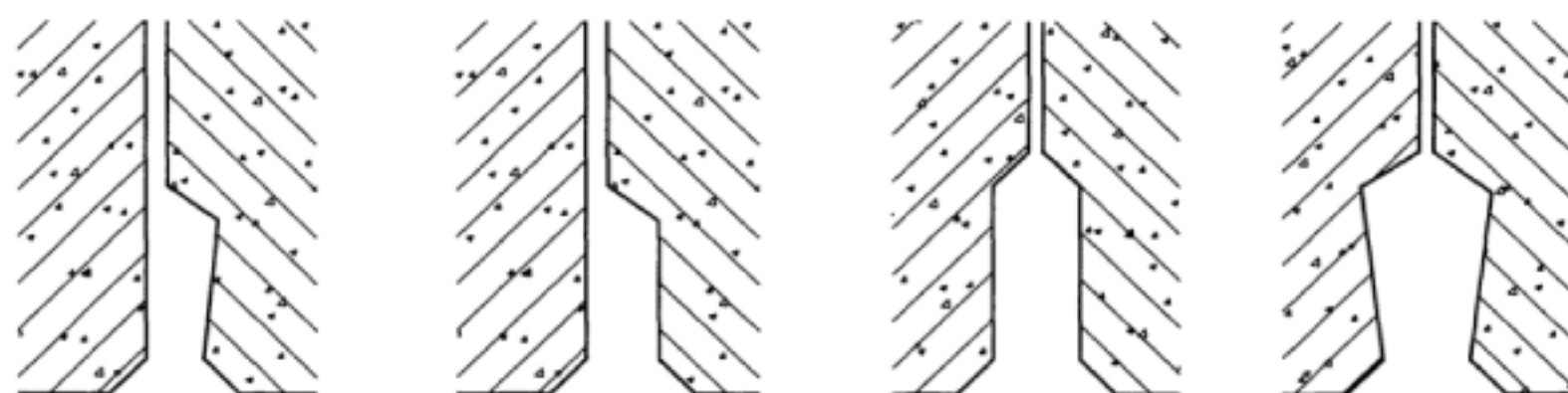


图 5.5.8 嵌缝槽断面构造形式

5.5.9 钢筋混凝土管片结构应采取抗裂、防撞措施。

5.6 盾构工作井

5.6.1 工作井可根据施工工艺和使用功能要求分为始发井、接收井和中间井。

5.6.2 工作井位置应根据线路平纵断面、施工组织及工艺、运输条件、周边环境、隧道特点等综合比选后确定。

5.6.3 工作井宜设计为矩形断面,当开挖深度大、地质条件差时,可采用圆形或多边形断面。工作井设计时应为盾构吊装和施工预留操作空间。

5.6.4 工作井结构设计荷载除常规工况荷载外,还应考虑盾构吊装、盾构始发接收、管片吊装、渣土运输等特殊工况附加荷载,荷载取值可根据实际情况确定。

5.6.5 工作井围护结构类型应根据工程水文地质条件、工作井深度、环境要求等因素确定,可采用地下连续墙、灌注桩、SMW 工法桩、喷锚支护等结构型式,特殊软土地层可采用沉箱法结构型式。

5.6.6 工作井主体结构应对施工和使用阶段最不利工况进行分析,并满足最不利工况荷载组合下的结构强度、变形和稳定性要求。

5.6.7 隧道与工作井(或矿山法洞室)的洞口后浇环梁开口尺寸可按下式计算:

$$D_h = B_z \tan \alpha + \left(\frac{D}{\cos \alpha} \right) + \Delta e \quad (5.6.7)$$

式中 D_h ——洞口后浇环梁孔洞开口值(m);
 D ——盾构隧道开挖外轮廓直径(m);
 B_z ——洞口后浇环梁沿线路方向长(m);
 α ——隧道轴线与洞口轴线的夹角($^{\circ}$);
 Δe ——综合误差,始发井取 0.20 m,接收井取 0.30 m。

5.6.8 洞口后浇环梁高度宜为衬砌环厚度的 1.5 倍~2.5 倍,沿线路方向长度宜为衬砌环宽度的 0.35 倍~1.5 倍。洞口后浇环梁与工作井壁(或矿山法端墙)间宜采用刚性连接,与盾构隧道间宜采用柔性连接。

5.6.9 盾构始发、接收前应对端头周围地层进行加固,加固措施可选用降水、注浆、深层搅拌桩、高压旋喷、冻结法、大管棚等。地层加固范围及效果应根据盾构类型、工程水文地质条件、周边环境等因素确定。地层加固长度不宜小于盾构主机长度,加固深度和宽度应至少延伸至盾构隧道外轮廓 $0.3D\sim 0.5D$ 范围。

5.6.10 当对地层进行结构加固时,加固后地层无侧限抗压强度不应小于 1.0 MPa。当盾构始发、接收过程中不采用降水措施时,加固后的地层渗透系数不应大于 1×10^{-5} cm/s。

5.7 洞口及附属构筑物

5.7.1 隧道洞口位置应根据地形、地质、水文条件及环保要求、施工场地等因素确定。

5.7.2 盾构法隧道应减少附属洞室设置,附属结构物应结合通道洞室进行布置。

6 盾构选型

6.1 选型原则及依据

6.1.1 盾构选型应遵循下列原则：

- 1 适应工程地质、水文地质条件。
- 2 在安全可靠的前提下,统筹考虑技术先进性和经济合理性。
- 3 满足隧道开挖直径、埋深、周围环境等条件。
- 4 满足质量、工期、造价及环保要求。
- 5 后配套设备应与主机相匹配,其生产能力应与主机掘进速度相匹配。

6.1.2 盾构选型应进行技术经济比选并考虑下列因素：

1 隧道沿线工程地质：

- 1) 地貌、地层岩性、地质构造等特性。
- 2) 断层及破碎带的范围、岩性、水文特征。
- 3) 岩层中特殊地质(如球状风化体、溶洞、含有害气体、放射性岩体等)分布。
- 4) 土工试验资料:容重、含水量、液限及塑限、黏聚力、内摩擦角、标贯击数、压缩系数及压缩模量、孔隙率、不排水抗剪强度、土不均匀系数、颗粒分析及粒度分布等。
- 5) 岩石物理力学指标:单轴抗压强度、岩石质量指标(RQD值)、岩石石英含量、磨蚀性等。

2 隧道沿线水文地质：

- 1) 地下水位(最高、最低)、流速、流向、渗透系数、孔隙水压及腐蚀情况。

- 2) 河床变迁情况。
- 3) 沿线水域的分布。
- 3 隧道设计、施工组织与施工条件:
 - 1) 隧道长度、平纵断面及横断面形状及尺寸。
 - 2) 施工组织及节点工期。
 - 3) 施工场地条件及交通情况。
 - 4) 周围环境条件、沿线建(构)筑物和地下管线分布。
 - 5) 辅助工法。

6.2 选型的步骤及方法

6.2.1 盾构选型可按下列步骤进行:

- 1 盾构选型前应对工程所在区段工程地质及水文地质条件、周围环境、工期要求、经济性等进行详细调查和分析。
- 2 对土压平衡盾构和泥水平衡盾构进行技术经济比选,确定盾构类型。
- 3 根据地质勘探资料,确定主要技术参数,选择和设计盾构主要部件。
- 4 根据地质条件,选择与盾构掘进速度相匹配的后配套设备。

6.2.2 盾构选型可根据地层渗透系数、颗粒级配、地下水压力、环保标准、辅助工法、施工环境、安全等因素确定。土压平衡或泥水平衡盾构选型应符合下列规定:

- 1 当地层渗透系数小于 10^{-7} m/s 时,宜选用土压平衡盾构;当地层渗透系数大于 10^{-4} m/s 时,宜选用泥水平衡盾构;当地层渗透系数在 10^{-7} m/s~ 10^{-4} m/s 之间时,可选用土压平衡盾构或泥水平衡盾构。
- 2 地层颗粒级配以粉土、粉质黏土、淤泥等粒径小且小粒径比例高的黏稠地层为主时,宜选用土压平衡盾构;以砾石、粗砂、细砂地层为主时,可选用泥水平衡盾构或土压平衡盾构。
- 3 当地下水水头压力大于 0.3 MPa 时,宜选用泥水平衡盾

构。当采用土压平衡盾构时,应增加螺旋输送机长度,或采用二级螺旋输送机,或增加保压泵。

6.3 盾构设施系统

6.3.1 盾构设施系统配置应对掘进系统、主驱动系统、推进系统、出渣系统、渣土改良系统、泥水处理系统、管片吊运及拼装系统、同步注浆系统、润滑及密封系统、动力系统、数据采集及控制系统、导向系统等主要系统提出技术要求。

6.3.2 盾构系统配置应符合下列要求:

1 掘进系统应该满足结构强度、刚度和耐磨的要求,刀具配置能够适应地层变化,必要时能够预留检修、维护的空间和作业平台,根据实际需求配置刀盘及刀具磨损检测装置。

2 主驱动系统的型式应根据工程、水文地质条件和环境选择,驱动的最大推力和装配扭矩应根据地质条件、施工要求和驱动型式等确定。

3 推进系统应满足盾构推进、调向及管片安装要求。

4 出渣系统应能满足盾构顺利出渣的要求。

5 渣土改良系统的喷口应在刀盘前部、土舱隔板、螺旋输送机等处设置,满足改善渣土的流塑性和止水的要求。

6 管片吊运及拼装系统起吊运输抓举能力应与管片重量相匹配,管片拼装机应具有高的灵活性和可靠性,管片拼装机应具有自由度。

7 同步注浆系统应根据注浆材料、注浆方式、注浆量等选用能够将注浆材料填充到盾尾空隙处,并容易维护管理的设备,注浆系统应配备二次注浆设备。

8 润滑及密封系统应能够满足主驱动、螺旋输送机、盾尾等关键部位的密封、润滑要求。

9 动力系统应能够为盾构掘进、出渣、管片运输及拼装、注浆、润滑及密封、控制系统、测量导向系统、通风及照明系统等提供

相应的动力。电气设备应具有良好的防水、防湿、防尘和防振性能,电气防护等级要求应不低于 IP55,并设置在便于操作、检修和保养的地方。

10 数据采集及控制系统应具有高可靠性、快速及时的响应能力,能使各设备可靠工作,能及时准确地采集传输盾构施工过程中的相关数据。

11 导向系统应满足在高温、潮湿等环境条件下保持测量精度、使用寿命及可靠性的要求。

12 通风系统的供给能力应该与盾构施工需求相匹配,确保盾构施工时人员、设备能够处于适宜的工作环境。

13 通信系统应该能够确保人舱、后配套、主控室之间有畅通的通信联络,相关设备应具备防爆、防水的能力。

14 视频监控系统应能清晰、完整记录相关影像,并说明可存储记录的时长。

15 有害气体监测系统应能准确、及时地监测盾构施工时可能遇到的有害气体,并及时作出预警。

16 消防安全系统应具备过载报警、急停的功能,配备 CO₂ 灭火器、惰性气体灭火器等设备。

17 盾构宜配备人舱及空气自动保压系统。人舱宜采用并联双舱式,应满足作业人员在带压情况下进行检查、更换、维护刀盘刀具及其他部件的安全要求。

6.3.3 设施系统配备应满足工程计划进度、工程规模、施工方法、盾构运转安全、环境保护的要求。

6.3.4 设施系统配备应与盾构类型及施工技术要求相适应。

6.3.5 整机制造完成后应在工厂进行总装调试,验收合格后方可出厂。

6.4 盾构主要技术参数

6.4.1 盾构主要技术参数应包括开挖直径、盾体参数、盾构掘进

系统参数、推进系统参数、主驱动参数、出渣能力、泥水环流系统参数、盾构润滑及密封系统参数、同步注浆系统参数、管片吊运及拼装系统参数、压缩空气系统参数、工业供水及冷却系统参数等。

6.4.2 盾构开挖直径应考虑刀盘外圈耐磨板在磨损后仍能保证正确的开挖直径。

6.4.3 盾体长度应根据围岩条件、隧道线路、盾构型式、铰接装置、管片宽度、封顶块的插入方式等因素综合确定。盾构直径应根据衬砌环外直径、管片安装富余量、盾构结构形式、盾尾壳体厚度及修正蛇行时的最小余量确定。

6.4.4 盾构掘进系统参数确定应符合下列规定：

1 刀盘型式应按适应地质条件、保持开挖面稳定、发挥其功能的原则设计。

2 刀盘支承方式应根据盾构直径、地质条件、出渣方式等选定。

3 刀盘直径应根据衬砌环外直径等确定。

4 刀盘型式、开口率及尺寸应根据地质条件、开挖面稳定性及挖掘、出渣效率来确定。

5 刀具的配置应根据地质条件、切削效果、出土状况与掘进速度选定。

6 刀盘转速应根据地质条件、施工要求确定。

6.4.5 盾构推进系统参数确定应符合下列要求：

1 盾构推进设备应按盾构型式、开挖直径、工程地质和水文地质条件等选定参数，推力应满足克服各种推进阻力的要求。

2 推进系统功率应考虑最大推力、最大推进速度与推进系统的效率。

6.4.6 主驱动系统配置参数确定应符合下列规定：

1 主驱动扭矩应根据地质情况、盾构型式、刀盘结构、开挖直径来确定，应满足克服盾构正面土体抗剪力、渣土搅拌阻力、摩擦阻力、切削刀头轴向载荷、径向载荷引起的扭矩等。

- 2 主驱动的转速范围应满足盾构正常掘进需求。
- 3 主驱动功率应考虑刀盘额定扭矩、刀盘转速、主驱动系统的效率。
- 4 主轴承密封最大承压能力应与最大水土工作压力相匹配。
- 6.4.7 土压式盾构的出渣系统参数确定时应考虑保持土仓内压力与开挖面土、水压力的平衡。螺旋输送机的出渣能力应与刀盘掘进速度相匹配,具备防喷涌的能力。
- 6.4.8 泥水式盾构送排泥装置应根据地质情况、推进速度、开挖面稳定性和渣土输送能力进行设计。
- 6.4.9 盾构润滑及密封系统油泵压力、功率、流量等参数应满足盾构各系统润滑及密封需求。
- 6.4.10 盾构的同步注浆能力应考虑每环管片的理论注浆量、每推进一环的最短时间、理论注浆能力、地层注入率和注浆泵效率。
- 6.4.11 管片吊运及拼装系统的起吊能力应与管片重量相匹配,管片拼装机各个自由度上的行程应满足管片准确、快速拼装需求。
- 6.4.12 压缩空气系统的气体压力、流量应满足盾构用气使用需求。
- 6.4.13 工业供水及冷却系统的能力应满足盾构机用水需求。

7 盾构施工

7.1 一般规定

- 7.1.1 盾构掘进施工分为始发、掘进和接收阶段,并应根据施工安全、工程质量和环境保护要求建立施工管理体系。
- 7.1.2 管片存放、盾构部件临时存放、渣土(泥浆)处理等施工场地应合理布置,满足盾构组装和施工要求。
- 7.1.3 施工前应编制施工组织设计和专项施工方案。
- 7.1.4 盾构施工应建立施工测量和监控量测体系,并对已完成的测量和监测数据进行复核。
- 7.1.5 辅助施工设备应满足施工计划进度要求,与工程规模和施工方法相适应。
- 7.1.6 施工运输应根据隧道长度、直径、坡度、盾构型式、掘进速度选择合理的运输方式、运输机械及其配套设施。运输能力应满足掘进与管片拼装的计划进度要求。
- 7.1.7 盾构穿越特殊地质条件、建(构)筑物、重要管线前应加强现场调查、地质探测和超前预报,选择合理的掘进参数。
- 7.1.8 盾构施工过程中应及时填写交接班记录和盾构故障处理记录,施工过程中设备自动记录应妥善保存。
- 7.1.9 施工作业人员应进行岗位培训,培训合格后上岗。
- 7.1.10 盾构长期停止运行时,应定期维护、检查和保养。

7.2 施工准备

- 7.2.1 施工前应进行工程环境的调查和踏勘,包括下列项目:
 - 1 各种建(构)筑物的使用功能、结构型式、基础类型及其与

隧道的相对位置。

2 地下障碍物及管线的使用功能、结构型式及其与隧道的相对位置。

3 区域道路种类和路面交通情况。

4 施工场地及材料堆放场地、弃土场地、运土路线周边环境情况。

5 施工用电、给排水设施条件。

6 环境保护的法律、法规及技术要求。

7.2.2 施工前应进行设计文件和施工图复核。

7.2.3 施工前应进行盾构施工安全风险评估。

7.2.4 施工前应进行水平控制网和高程控制网复测。

7.2.5 施工前应根据施工环境、工程地质条件、水文地质条件、掘进指标等因素制定施工测量与监控量测方案。

7.2.6 盾构部件存放场地基承载力应满足大型部件存放要求。

7.2.7 施工前应对盾构进行设备机况评估、检修。

7.3 管 片

7.3.1 钢筋混凝土管片应符合现行《铁路隧道钢筋混凝土管片》TB/T 3353 的规定。

7.3.2 钢筋混凝土管片运输应符合下列规定：

1 运输管片时，管片内弧面应向上平稳地置放于运输车辆上，管片之间应垫有柔性材料。管片放置于板车时，注意小心吊运，避免因碰撞产生破损，稳定放置在固定枕木垫块上。

2 满足行车安全与车辆载重规定，每车装载重量不得超过该车安全限重。

7.3.3 管片成品进场验收应符合下列规定：

1 具有完整的试验报告、管片结构性能检验报告和出厂合格证。

2 钢筋混凝土管片外观质量不应有严重缺陷。对一般缺

陷,应由生产单位按技术要求处理后重新验收。几何尺寸偏差应符合现行《铁路隧道钢筋混凝土管片》TB/T 3353 的有关规定。

3 钢管片外观不应有裂缝、咬边、亏焊、焊瘤等质量缺陷,几何尺寸偏差应符合现行《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164 的有关规定。

4 铸铁管片外观质量及结构应符合现行《水及燃气管道用球墨铸铁管、管件和附件》GB/T 13295 的有关规定。

7.3.4 管片进场后应进行预拼装试验。

7.3.5 管片现场贮存应符合下列规定:

1 管片贮存应按生产日期分批放置。

2 储存场地地面应坚实平整,存放时管片应内弧面向上平稳地置放整齐,管片之间应垫有柔性材料。

3 管片型号、合格章和生产日期的标识醒目。

4 管片存放不宜超过 3 层,高度不宜超过 1.5 m。

7.4 始发及接收

7.4.1 始发井及接收井开挖方式应根据地质情况、周边环境、工作井的深度与断面大小选择安全、经济、对周边影响小的施工方法。围护结构可选择钢板桩、地下连续墙、钻孔灌注桩、SMW 工法桩等。

7.4.2 盾构始发和接收前应根据地质条件和设计要求进行端头加固。

7.4.3 端头加固完成后,应进行钻孔取芯试验,检查强度、渗透性、自立性等技术指标。

7.4.4 洞圈、密封及其他预埋件等应在盾构始发或接收前按要求安设,并符合质量要求。

7.4.5 盾构组装完成后,应进行空载调试、试掘进负载调试,验收合格后方可正式交付使用。

7.4.6 盾构始发前应进行反力架的刚度、强度、稳定性验算,满足施工要求。

7.4.7 洞门围护结构破除宜分次分块凿除,并采取密封措施,确保始发安全。

7.4.8 洞门凿除、洞门密封装置安装及盾构组装调试等工作完成后,应进行盾构设备、反力架、始发基座等检查。检查合格后,方可进行掘进,并安装负环管片。

7.4.9 盾构在始发基座上滑行时不得进行盾构纠偏作业。

7.4.10 盾构始发掘进时应进行盾构姿态复核,负环管片应根据隧道轴线定位。

7.4.11 始发掘进时应及时进行洞门圈间隙的封堵和填充注浆。

7.4.12 始发掘进时应严格控制盾构姿态和推力,并根据监测结果调整掘进参数。

7.4.13 分体始发掘进时,应保护盾构的各种管线,及时跟进后配套设备,并确定管片拼装、壁后注浆、出土及材料运输等作业方式。

7.4.14 盾构应在接收前 100 m、50 m 处分两次对盾构姿态进行人工复核测量,并根据复核结果进行姿态控制和调整。

7.4.15 盾构接收前,应对洞门位置及轮廓进行人工复核测量,不满足要求时及时对洞门轮廓进行必要的修整。

7.4.16 盾构隧道贯通前,应对洞口 10 环~15 环衬砌环纵向拉紧,连接成整体,避免管片松动。

7.4.17 盾构主机进入接收井时,应及时填充衬砌环与洞门间隙,确保密封防水效果。

7.4.18 盾构拆卸应对液压和电气等系统进行标识,对已拆卸的零部件应做好清理和储存。

7.5 盾 构 掘 进

7.5.1 盾构盾尾到达洞门段后,应及时同步注浆填充衬砌环与洞门间隙,封堵洞圈。

7.5.2 管片安装应符合下列要求:

1 管片安装宜从隧道底部开始,依次对称安装相邻块,最后安装封顶块。

2 封顶块安装前,应对止水条进行润滑处理,安装时宜先径向插入,调整位置后缓慢纵向顶推。

3 管片块安装到位后,应及时顶紧管片。

7.5.3 盾构掘进应在始发后进行 50 m、100 m 试掘进,掌握、验证盾构适应性,并确定盾构滚转角、俯仰角、偏角、刀盘转速、总推力、土仓压力(或送排泥水压力和流量)、排土量等掘进参数。

7.5.4 盾构掘进过程中,应根据试掘进参数、工程地质和水文地质条件、隧道埋深、线路平面与坡度、周围环境及施工监测结果等进行盾构参数的调整和运行分析。

7.5.5 盾构掘进应实时测量盾构里程、轴线偏差、仰俯角、方位角、滚转角和盾尾管片间隙,根据测量数据和隧道轴线线型调整盾构姿态。

7.5.6 盾构掘进参数异常时,应查找原因,可停机处理。

7.5.7 盾构姿态纠偏时应逐环、小量纠偏。

7.5.8 土仓压力值应根据地质情况、隧道埋深、地表沉降监测等,通过开挖土量与排土量的动态平衡进行控制。

7.5.9 土压平衡盾构应根据工程地质和水文地质条件,宜向刀盘前方及土仓注入添加剂,保持渣土流塑状态。

7.5.10 泥水平衡盾构应根据开挖土量、泥水性质、进排泥浆流量等进行控制,并应符合下列规定:

1 合理确定泥浆参数,对泥浆性能进行检测,并实施动态管理。

2 根据开挖面地层条件与土水压力设定泥浆压力,泥浆压力波动允许偏差为 ± 0.02 MPa。

3 排浆量的设定应与进浆量和开挖的土量相平衡。

4 掘进中遇到大粒径漂石(孤石)应进行破碎,并利用格栅、

沉淀箱等分离装置分离大粒径砾石,防止堵塞管道。

5 泥浆泵的参数及管道尺寸应满足进排泥浆和掘进进度的要求。

6 废弃泥浆应经过处理达标后排放。

7.5.11 刀具检查与更换前应根据地质条件、掘进情况等对换刀风险进行评估。刀具检查与更换宜选择在工作井或地层稳定的地段进行。在不稳定地层更换刀具时,必须采取地层加固或压气法等措施,保持开挖面稳定。

7.5.12 刀具更换前应制订详细的换刀方案、步骤和要求,以及应急救援预案,并做好技术交底和人员培训。

7.5.13 带压进仓作业应制订专项方案。

7.5.14 洞内水平运输宜采用有轨运输。长距离运输时,宜设置会车道。牵引设备的牵引能力应满足隧道最大纵坡和运输重量的要求。

7.5.15 垂直运输应根据工作井深度、盾构施工速度等因素确定。提升设备的提升能力应满足出渣、进料的要求。

7.5.16 泥水平衡盾构泥浆管道输送接力设备应根据输送距离设置。泥浆泵和管道应定期检查和维修。

7.5.17 注浆浆液配合比应通过试验确定。注浆材料的强度、流动性、可填充性、凝结时间、收缩率、环保等应满足设计和施工要求。

7.5.18 注浆压力应根据地质条件、注浆方式、衬砌环结构强度、设备性能、浆液特性和隧道埋深等因素确定。

7.5.19 同步注浆和即时注浆的注浆量应根据地层条件、施工状态和环境保护要求确定。

7.5.20 二次注浆注浆量应根据监测结果确定。

7.5.21 注浆作业应符合下列要求:

1 同步注浆过程中,应对盾尾预置的多个注浆孔同时压注,并在每个注浆孔出口处设置分压器,检测与控制注浆压力和注浆量。

- 2 注浆作业应连续进行。
- 3 注浆结束后,应在规定时间封闭注浆孔。
- 4 注浆作业完成后应及时清洗注浆设备和管路。

7.5.22 洞内盾构空推应控制推力、速度和姿态,并监测管片变形。盾构过站空推用导台或导向轨道,水平和竖直方向的精度应满足设计要求。

7.5.23 盾构法隧道施工应实施信息化管理,宜配置远程监控系统。

7.6 特殊地段施工

7.6.1 盾构掘进通过下列特殊地段时,应采取施工安全确保措施:

- 1 覆土厚度小于盾构直径的浅覆土层。
- 2 地下管线和地下障碍物。
- 3 临近建(构)筑物。
- 4 小净距施工段。
- 5 水域。
- 6 砂卵石、岩溶等复杂地质条件。

7.6.2 盾构掘进通过浅覆土层地段应加强监控量测,控制盾构姿态和地层变形,减少施工对环境影响,亦可进行地表加固。

7.6.3 盾构掘进通过地下管线与地下障碍物地段时应采取下列措施:

- 1 核查地下管线和障碍物的类型、位置、允许变形值等。
- 2 因施工可能产生较大变形的管线,应进行保护。
- 3 从地面处理地下障碍物时,处理后及时回填。
- 4 在开挖面拆除障碍物时,应采取措施确保开挖面稳定。

7.6.4 盾构掘进通过临近建(构)筑物地段时应采取下列措施:

- 1 评估施工对建(构)筑物的影响,并应采取相应的保护措施,控制地表变形。

2 根据建(构)筑物基础与结构的类型、沉降控制值和监控量测结果,调整盾构掘进参数。可采取加固、隔离、托换、拆迁等措施。

3 壁后注浆宜采用快凝早强注浆材料。

7.6.5 小净距施工时应采取措施加固隧道间的土体。可在既有隧道内支设钢支撑等辅助措施控制地层和隧道变形。

7.6.6 盾构掘进通过水域地段时应采取下列措施:

1 设定适当的开挖面压力,加强开挖面稳定管理与掘进参数控制。

2 壁后同步注浆和二次注浆应采用快凝早强注浆材料。

3 穿越前应全面检查盾构密封系统。

4 根据地层条件预测刀具和盾尾密封的磨损,合理选择更换位置。

5 采取措施防止对堤岸和周边建(构)筑物的影响。

7.6.7 盾构掘进通过砂卵石、岩溶等复杂地质条件地段时应采取下列措施:

1 掘进中应加强刀具磨损的监测,及时更换刀具。

2 采用土压平衡盾构通过砂卵石地段时,应进行渣土改良。

3 采用泥水平衡盾构通过砂卵石地段时,应根据漂石(孤石)粒径和强度确定破碎方法。

4 在软硬不均地层掘进时,应采取低转速等措施控制盾构姿态。

5 在富水砂层掘进时,应加强注浆控制和渣土改良措施。

6 在断层破碎带掘进时,可采取超前加固措施,并加强对地下水的控制。

7 在岩溶、洞穴地段掘进时,应采取注浆等处理措施。

7.7 盾构设备保养与维修

7.7.1 盾构的保养与维修应遵循“预防为主、状态检测、强制保

养、按需维修、养修并重”的原则,并由专业人员负责。

7.7.2 盾构掘进应每天进行日常保养。

7.7.3 日常保养应包含下列内容:

- 1 紧固件检查。
- 2 油、脂、水、气、电检查。
- 3 各种管(线)路、元器件、密封件等检查。
- 4 系统运转异常处理。

7.7.4 当设备异常时应停机,查找原因,处理后方可恢复掘进。

7.7.5 盾构在使用过程中,应对盾构及后配套设备进行定期保养。

7.7.6 保养与维修工作应做好记录。

8 盾构施工辅助措施

8.1 一般规定

8.1.1 盾构掘进在软土地层时,应根据盾构型式、工程地质条件、保护对象的特点和控制标准,采取相应的辅助工法。

8.1.2 盾构施工在始发、接收、浅覆土、邻近建(构)筑物及横通道等地段时,应根据具体情况采取相应的地层加固措施。

8.1.3 特殊地段加固处理,应进行室内或现场试验,确保处理效果满足设计要求。

8.2 注浆加固

8.2.1 注浆加固可用于端头加固、特殊地段地质改良、重要建(构)筑物和地下管线保护等。

8.2.2 注浆加固应根据地质条件、施工环境等确定注浆方法、注浆材料及注浆范围。

8.2.3 注浆加固浆液材料可选用主剂为水泥的单液浆,或水泥和水玻璃为主的双液型浆等。浆液应根据工程要求、水文地质情况设计配合比,并进行室内配合比试验。

8.2.4 注浆孔直径宜为 70 mm~110 mm,垂直精度偏差应小于桩长的 1%,孔位允许偏差宜为 50 mm,孔间距宜为 1 m~2 m。

8.2.5 注浆量和注浆压力应根据地层特性、浆液渗透影响,经注浆试验后确定。

8.2.6 注浆加固效果可采用固结强度和透水性试验进行检测。固结强度检查可选用载荷试验、动力触探、标准贯入度测定等方法,透水性检查可采用水文地质试验。

8.3 深层搅拌桩加固

8.3.1 深层搅拌桩法可用于工作井洞门外侧和联络通道等地段软弱地层的加固处理。

8.3.2 深层搅拌桩桩径、间距应根据设计要求、使用设备类型进行选择。搅拌桩注浆范围应满足设计要求。

8.3.3 深层搅拌桩施工场地应平整,并清除桩位处地面和地下障碍物。

8.3.4 施工前应根据设计要求进行成桩试验,确定深层搅拌桩的注浆配比和注浆量、搅拌提升速度等施工参数。喷浆用原材料应通过室内试验检测合格后方可使用。

8.3.5 深层搅拌桩施工应控制搅拌桩机的平整度和导向架的垂直度,搅拌桩的垂直度偏差不得大于桩长的 1.0%,桩位偏差不得大于 50 mm,桩径偏差不得大于设计值的 4%。

8.3.6 深层搅拌桩的 7 天无侧限抗压强度不宜低于 0.5 MPa,浆液黏度宜为 80 s~90 s。

8.3.7 深层搅拌桩加固效果可采用钻孔取芯方法进行检测,验桩数量不应少于成桩数的 2%,且不少于 3 根。加固后无侧限抗压强度应大于 1.0 MPa。

8.4 高压旋喷加固

8.4.1 高压旋喷桩可适用于工作井洞门外侧土体等软弱地层加固。

8.4.2 洞口埋深超过搅拌机械加固深度、洞门有地下管线且采用搅拌桩有困难时,可采用高压旋喷桩加固。深基坑加固与支护、深基坑地下连续墙接缝防水及既有建筑基础补强等宜采用超高压旋喷加固。

8.4.3 旋喷加固参数应根据设计要求、工程地质及场地条件确定。

8.4.4 高压旋喷可选用单管、双重管或三重管法。

- 8.4.5 高压旋喷注浆浆液的主要材料可选用主剂为水泥的单液型,或水泥和水玻璃为主的双液型。单液浆可根据需要掺加适量的速凝、悬浮或防冻等外加剂或掺合料。
- 8.4.6 高压旋喷注浆施工时,注浆管分段提升搭接长度不得小于200 mm。
- 8.4.7 钻孔垂直度偏差不应大于桩长的1.0%,桩位偏差不应大于50 mm,桩体有效直径不得小于设计值。
- 8.4.8 高压旋喷桩质量可采用钻孔取样、标准贯入测试等方法进行检测。检测应在成桩28天后进行。

8.5 降水施工

- 8.5.1 降水施工可适用于防止流砂、稳定开挖面土体、降水预压加固、降低气压施工气压值、减少水压力、降低地下水水位等情况。渗透系数在 10^{-5} cm/s ~ 10^{-2} cm/s 的范围内的粉质砂土或砂砾层宜采用降水施工。
- 8.5.2 降水施工应符合下列规定：
- 1 根据工程地质及水文地质条件、施工现场的环境条件及盾构的要求确定降水方案。
 - 2 降水施工井点类型应根据土层渗透系数、盾构所处地层的具体地质条件,经技术经济比较后确定。
 - 3 各类井点可按表8.5.2选用。

表 8.5.2 各类井点的适用范围

井点类型	适合地层	土的渗透系数(cm/s)	降低水位深度(m)
单层轻型井点	粉砂、粉土	$10^{-5} \sim 10^{-2}$	3~6
多层轻型井点		$10^{-5} \sim 10^{-2}$	6~12(由井点层数而定)
深井井管	砂土、碎石土	$\geq 10^{-5}$	>10
喷射井点	粉质黏土、粉砂	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	8~20
电渗井点	黏性土	$< 10^{-6}$	宜配合其他形式降水使用

8.5.3 降水井点布置应符合下列规定:

1 井点宜布置在盾构隧道外侧 2 m~3 m。井点密度及深度可按工程降水要求、地质条件计算确定。盾构始发井、接收井附近井管布置应适当加密。

2 井点降水泵房位置应设在盾构施工影响较小并便于安装、检修操作和排水处。

3 井点总管布置应考虑沉降变形影响,不宜穿越交通道口,不得穿越盾构推进顶部等不利位置。

8.6 冻结法施工

8.6.1 工作井、横通道遇到下列情况时,可采用冻结法加固:

1 地表有建筑物、地面表层有复杂地下管线。

2 采用其他辅助工法实施有困难或地质条件较差、富含地下水的砂层条件。

3 地层中含水层自然流速和人为抽水后形成的地下水流速 ≤ 5 m/d。

8.6.2 当冻结构筑物穿越下列含水层区域时,应对地下水流向、流速等进行勘测。

1 附近 600 m 范围内有大抽水量($600 \text{ m}^3/\text{h}$)的水源井。

2 抽水量 $\geq 200 \text{ m}^3/\text{h}$ 的连续抽水。

3 有地下古河道。

8.6.3 冻结法施工前应进行人工冻土物理力学性能试验,并对冻结、隔水效果进行工艺试验。

8.6.4 地层冻结加固应保证土方开挖和结构施工的全过程安全,周围环境和建(构)筑物不受损害。

8.6.5 地层冻结法设计应包括下列内容:

1 冻结壁结构方案比较与选择。

2 冻结壁的承载力和变形验算。冻结壁内力和变形计算应考虑设置有内支撑的工况情况,设内支撑时,应明确结构形式、承

载力及其施工时序等设计要求。冻结壁的空帮时间不宜大于 24 h。

3 冻结孔布置参数。主要包括冻结孔成孔控制间距、开孔间距、孔位、深度和偏斜精度要求等。冻结壁形成参数包括冻结壁交圈时间、预计冻结壁扩展厚度和冻结壁平均温度等。

4 冻结制冷系统设计。

5 对冻结壁、周围环境和建(构)筑物的监测与保护要求。

8.6.6 冻结法施工应符合下列规定：

1 在冻结壁形成前，冻结壁内或冻结壁外 200 m 区域内的透水砂层不宜采取降水措施。必须降水施工时，冻结设计应采取措施消除降水产生的不利影响。

2 最低温度应根据设计冻结壁平均温度、地层环境及气候条件确定。

3 冻结法施工应控制温度至设计最低温度。

4 冻结孔成孔控制间距应按冻结工期要求、设计冻结平均温度等确定，但不宜大于冻结壁设计厚度。

5 冻结孔偏差要求可按表 8.6.6 选定。

表 8.6.6 冻结孔偏差要求

冻结孔类型	
冻结孔深度 H_d (m)	
冻结孔最大偏斜 R_p (mm)	

8.6.7 壁后充填注浆和融沉注浆应符合下列规定：

1 注浆应在支护与冻结壁交界面、喷射混凝土与永久结构交界面间预留注浆管。充填注浆宜在混凝土浇筑一周后可进行。

2 注浆压力和注浆量不应超过设计要求，结合监测数据，按照少注多次的原则，控制地层沉降逐步趋于稳定。

3 注浆过程中应对隧道进行收敛变形监测，保证隧道及地表

变形符合设计要求。

4 融沉注浆工艺和压力应通过试验确定。

8.7 基岩孤石爆破处理

8.7.1 当盾构掘进前方出现强度较高、侵入洞身的基岩或直径较大的孤石,且盾构无法正常掘进通过时,宜采用预爆破处理。

8.7.2 盾构施工中应采用物探与钻探结合的勘察方法,查明隧道内基岩、孤石的分布情况。

8.7.3 爆破处理应根据试验的爆破效果调整钻孔间距、深度、装药量等参数。

8.7.4 爆破处理完成后,应进行爆破效果检查。

8.7.5 基岩、孤石爆破后应进行注浆加固。

9 隧道防排水

9.1 一般规定

- 9.1.1 防水设计应遵循防、排、截、堵结合,因地制宜,综合治理的原则。
- 9.1.2 防水设计应包括管片自防水、管片接缝防水及接口防水等内容。
- 9.1.3 变形缝、施工缝、预埋件、预留孔洞等特殊部位,应采取加强措施。
- 9.1.4 大直径盾构施工的隧道管片接缝防水宜采用多道防水设计。
- 9.1.5 管片混凝土抗渗等级的选择应满足隧道防水等级的要求。
- 9.1.6 防水材料选择应符合设计要求,施工前应分批进行抽检。防水材料在运输、存放和拼装前应采取防雨、防潮措施。

9.2 防水设计

- 9.2.1 钢筋混凝土管片衬砌应采用防水混凝土,抗渗等级不小于P12,混凝土还应满足抗裂、抗冻和抗腐蚀性等耐久性要求。
- 9.2.2 管片接缝应至少设置一道密封垫沟槽,密封垫沟槽应沿管片侧面成环设置。
- 9.2.3 密封垫设计应符合下列规定:
 - 1 形状与密封垫沟槽匹配,截面积宜为密封垫沟槽截面积的1.00倍~1.15倍。
 - 2 接缝闭合压缩力小于推进液压缸最大顶力。
 - 3 当管片连接张开、错位时,应及时调整密封垫耐水压力。

在接缝张开 6 mm 时,密封垫耐水压力不应小于 0.8 MPa。

4 长期压应力作用下,压缩永久变形小于 25%。

5 封顶块采用纵向插入拼装方式时,密封垫表面应采取润滑措施。

6 当采用较大直径盾构施工时,可结合防水要求设置 2 道或多道密封垫。

9.2.4 螺栓孔防水应符合下列规定:

1 螺栓孔不得渗水。

2 螺栓孔口应设置锥形倒角的螺孔密封圈沟槽。

3 螺栓孔密封圈的外形应与沟槽相匹配。

4 螺孔密封圈宜采用具有良好弹性、耐久性、耐水性的橡胶类材料。

9.2.5 管片预埋注浆孔应符合下列规定:

1 预埋注浆孔不得渗水。

2 预埋注浆管应至少设置一道密封圈,密封圈在混凝土浇筑前固定。

3 注浆管密封圈宜采用具有良好弹性、耐久性、耐水性的橡胶类材料。

9.2.6 管片与其他结构接头处宜采用柔性材料进行密封处理。

9.2.7 金属材料构件应采取防腐蚀措施,并应符合下列规定:

1 外露的螺栓、螺母、垫片等金属构件应采用环保型材料进行防腐蚀处理。

2 铸铁及钢管片应先作除锈处理,再涂刷防腐涂料。

9.2.8 当中等及以上腐蚀地层采用钢筋混凝土预制管片时,管片迎水面应涂抹防腐涂层。

9.3 管 片 防 水

9.3.1 隧道管片防水的构造形式、截面尺寸和材料性能,应根据隧道纵向变形允许值、衬砌环缝张开值确定。

9.3.2 管片螺栓孔垫圈应为环状垫圈,环状垫圈防水性能应符合设计和构造尺寸要求。

9.3.3 隧道变形缝和柔性接头防水处理和结构施工应符合设计要求。

9.3.4 管片混凝土应进行防水混凝土配合比设计,试配混凝土配合比抗渗等级宜比设计要求提高 0.2 MPa。管片混凝土的制作应符合本规程第 7.3 节的规定。

9.3.5 管片运输、堆放等不得损坏管片防水槽等关键部位,防水密封垫粘贴后,在运输时应采取保护措施。

9.4 接 缝 防 水

9.4.1 管片接缝防水可采用弹性密封垫防水、嵌缝防水和注入密封剂等方式。

9.4.2 接缝防水用橡胶材料应符合设计要求。

9.4.3 当隧道处于侵蚀性介质的地层时,应采用耐侵蚀混凝土或耐侵蚀的防水涂层。

9.4.4 弹性密封材料防水应符合下列规定:

- 1 在设计水位下不漏水,能承受注浆压力以及结构受力的截面内力。
- 2 弹性符合设计要求,在承受往复压力后复原能力强。
- 3 具有足够的粘接力、耐久性、稳定性、抗老化性等。
- 4 施工方便,不影响管片拼装精度,安装完成后即能承受荷载等。

9.4.5 安装密封垫前,应清理管片槽缝,安装应平整、密实。

9.4.6 防水密封垫粘贴应符合下列规定:

- 1 按管片型号选择防水密封垫,尺寸不符或有质量缺陷不得使用。
- 2 变形缝、柔性接头等接缝防水的处理应符合设计要求。
- 3 密封垫在沟槽内应套箍和粘贴牢固,不得有起鼓、超长和

缺口现象,不得歪斜、扭曲。

4 防水密封垫的角联位置应按设计要求设置。

5 采用遇水膨胀橡胶密封垫时,应按设计要求采取措施。

9.4.7 管片上的螺栓孔应采用螺孔密封圈防水,密封圈的外形应与螺孔、螺栓相匹配。

9.5 特殊部位防水

9.5.1 盾构始发掘进前,洞门应设置密封止水装置,宜使用橡胶板、压板、止水箱等及时止水,或预埋注浆管实施注浆止水。

9.5.2 工作井与隧道结合处结构宜采用柔性材料连接。软土地层距结合处一定范围内的衬砌段,宜增设变形缝或采用适应变形量大的密封垫。

9.5.3 双层衬砌的内层衬砌混凝土浇筑前,应将外层衬砌的渗漏水引排或封堵。

9.5.4 管片与土体间的间隙应及时注浆充填,注浆完成后注浆孔应封填密实。

9.6 隧道排水

9.6.1 施工过程中出现地下水渗漏时,应进行注浆堵水处理,当渗漏较大时,应引排至隧道外。

9.6.2 富水区段长大隧道、洞内反坡施工可根据坡度、水量和设备情况,设置集水池、管路及泵站。

9.6.3 工作井底部应配备足够的消防排水设备及设施。

10 监 控 量 测

10.1 一 般 规 定

- 10.1.1 盾构法隧道应在施工阶段对隧道结构、周边环境进行监控量测。
- 10.1.2 盾构法隧道施工前,应结合工程地质、水文地质、环境条件、施工方法与进度计划等制定详细的监控量测实施方案。
- 10.1.3 监控量测对象应包括隧道、工作井及周边环境。
- 10.1.4 监控量测项目可按表 10.1.4 选用。穿越江、河等特殊地段的监控量测项目应根据设计要求制定。

表 10.1.4 监控量测项目

类 别	监 测 项 目	主要监测设备及元器件
必测项目	地表、路面、地下管线沉降	水准仪
	建筑物局部倾斜	水准仪
	建筑物整体倾斜	全站仪、垂线仪
	建筑物裂缝宽度、长度和深度	读数显微镜、测缝计、钢尺
	隧道水平净空变化	全站仪、收敛计
	隧道管片结构竖向位移	水准仪、全站仪
	工作井净空变化	收敛计、全站仪
	工作井横撑受力	轴力计
选测项目	土体分层沉降	分层沉降仪、多点位移计
	土体水平位移	测斜仪
	管片背后土体压力	压力盒
	管片背后孔隙水压力	孔隙水压计

续表 10.1.4

类别	监 测 项 目	主要监测设备及元器件
选测项目	管片钢筋受力	钢筋计
	管片表面应变	表面应变计
	管片工作缝开闭状态	测缝计
	地下水位	水位计

10.1.5 进行沉降监控量测时,应在变形区外埋设量测基准点,基准点不宜少于 3 个,在寒冷地区基准点应埋设在冻土层以下稳定的原状土层中。

10.1.6 测点应埋设在能反映变形、便于量测、易于保存的部位。

10.2 环境监控量测

10.2.1 盾构法隧道环境监控量测应包括地表沉降量测、邻近建(构)筑物变形量测和地下管线变形量测等。

10.2.2 地表沉降量测宜按表 10.2.2 要求设置断面,测点布置间距应能反映影响区变形状况。地表地物、地下物体较少地区断面设置可放宽。

表 10.2.2 地表沉降量测断面设置要求

盾构隧道埋深(m)	量测断面纵向间距(m)	每断面测点间距(m)
$H>2D$	20~50	2~7
$D<H\leq 2D$	10~20	2~6
$H\leq D$	5~10	2~5

注： H 为隧道埋深， D 为盾构隧道开挖外轮廓直径。

10.2.3 对地表监控量测范围内所有建(构)筑物均应监测，重大建(构)筑物应加强监测。

10.2.4 盾构法隧道施工的地表监控量测范围应符合下列规定：

1 隧道监控量测范围可按式确定：

$$W_{db} = (5 \sim 6)i \tag{10.2.4-1}$$

式中 W_{db} ——隧道上方及两侧的地表监控量测范围(m)；
 i ——Peck 地表沉降曲线的沉降槽宽度系数(m)。

2 工作井监控量测范围可按式确定：

$$W_{gz} = h \tan(45^\circ - \varphi/2) \sim (2.0 \sim 3.0)h \tag{10.2.4-2}$$

式中 W_{gz} ——工作井外侧的地表监控量测范围(m)；
 φ ——地体内摩擦角(°)；
 h ——工作井最大开挖深度(m)。

10.2.5 邻近地下管线变形量测应在管线周围土体中埋设沉降仪或位移计监测变形。

10.2.6 施工前,应进行周边环境的初始量测并确定初始值,对重要建(构)筑物及危损建筑应进行调查和评估,确定其安全状态。初始量测应从距盾构掘进面前方 $H+D$ (当 $H<2D$ 时取 $3D$)距离处开始。

10.2.7 变形量测频率可按表 10.2.7—1 和表 10.2.7—2 选取较高频率值。

表 10.2.7—1 变形量测频率

变形速率(mm/d)	量测频率(次/d)
>1	2/1
1~0.5	1/1
0.5~0.2	1/2
<0.2	1/7~15

表 10.2.7—2 变形量测频率

距开挖面距离	量测频率(次/d)
$\pm 1D$	2/1
$\pm (1\sim 3)D$	1/1
$\pm (3\sim 5)D$	1/2
$> \pm 5D$	1/7~1/5

注: D 为盾构隧道开挖外轮廓直径,“+”为开挖面后方距离,“-”为开挖面前方距离。

10.2.8 盾构穿越地面建(构)筑物、铁路、桥梁、管线等时,除应对穿越的建(构)筑物进行量测外,还应增加对其周围土体的变形量测。

10.3 结构监控量测

10.3.1 结构监控量测应包括工作井结构和隧道衬砌环变形量测,特殊情况时还应进行衬砌环应力量测。

10.3.2 衬砌环的变形量测应包括水平净空变化和管片结构竖向位移,特殊情况时还应进行管片表面应变和工作缝开闭状态等量测。

10.3.3 工作井结构的量测应包括净空变化和横撑受力。

10.4 资料整理和信息反馈

10.4.1 监控量测数据处理宜实现采集实时化、处理自动化、输出标准化,并应建立数据库。

10.4.2 监控量测数据应结合施工及周边环境状况定期进行综合分析,并绘制时态曲线(包括散点图和回归曲线图),预测最大值。

10.4.3 对时态曲线进行回归分析,可采用指数函数、对数函数、双曲线函数等经验公式,并选择与实测数据拟合较好的函数。对于不同施工阶段,应采用分段回归进行时态曲线拟合。

10.4.4 监测数据达到或超过预警值时(或时态曲线出现异常),应立即采取相应措施。

10.5 稳定性评判原则和管理等级

10.5.1 地表沉降控制值应根据地层稳定性和周围建(构)筑物的安全或使用要求确定。

10.5.2 一般建(构)筑物可参照现行《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定,结合现场调查结果确定地基变形控制值。重要或有明显损伤的建(构)筑物应进行安全状态评估,提出控制标准。

10.5.3 地下管线控制标准应根据管线的使用功能、埋设年代、材质、管径和接头形式,经安全性评价后确定。

10.5.4 隧道结构和周边环境稳定性评判应符合下列规定：

- 1 实测最大值或回归预测最大值不得超过控制值。
- 2 速率变化趋势评判应符合下列规定：

1) 当变形时态曲线形态为 $d^2u/dt^2 < 0$ 时,围岩将趋于稳定状态。

2) 当变形时态曲线形态为 $d^2u/dt^2 = 0$ 时,围岩向不稳定状态发展。

3) 当变形时态曲线形态为 $d^2u/dt^2 > 0$ 时,围岩进入不稳定状态。
- 3 变形速率小于 $0.1\text{ mm/d} \sim 0.2\text{ mm/d}$,且满足本条第2款1)的要求时,可认为变形达到基本稳定。

10.5.5 监控量测可按表 10.5.5 进行分级管理。

表 10.5.5 铁路隧道盾构法施工监控量测管理等级

管理等级		管理指标	施工对策
V	绿色	量测值<1/3 控制值	正常施工
IV	蓝色	量测值≥1/3 控制值	警戒,应加强监测,检查施工及周围建(构)筑物情况,根据情况商讨并制定预案
III	黄色	量测值≥70%控制值	预警,立即实施预案
II	橙色	量测值≥80%控制值	紧急预警,检查预案实施情况,完善并加强补救措施,必要时考虑停止掘进
I	红色	量测值≥控制值	报警,必须立即停止掘进

注：本表适用于变形监控,其他项目供参考。

11 环境保护及施工安全

11.1 一般规定

11.1.1 项目施工进场前,应根据国家有关法律法规及所在地环境保护管理的规定,制定保护措施。

11.1.2 环境保护应贯穿于勘察、设计、施工全过程。

11.1.3 施工设备宜采用低噪声设备或采取降噪措施。

11.1.4 油污、废水和有毒有害物质等应经处理达标后排放。

11.1.5 场地内可修建集渣坑,对场地内的生活垃圾、建筑垃圾、渣土等集中存放后外运。

11.1.6 盾构施工应重视有毒有害气体的监测工作。

11.1.7 泥水盾构机施工时,泥水处理系统应配备泥水分离系统与压滤机。

11.2 环境保护

11.2.1 隧道施工通风应采用机械通风,宜选用压入式通风。隧道内通风应满足各施工作业面需要的最大风量,风量应按照每人每分钟需供应新鲜空气 3 m^3 计算,风速不宜小于 0.5 m/s 。

11.2.2 隧道内作业环境应符合下列规定:

1 空气中氧气含量,按体积计算不得小于 20% 。

2 粉尘容许浓度,每立方米空气中含有 10% 以上的游离二氧化硅粉尘不应超过 2 mg 。

3 有害气体最高容许浓度:一氧化碳含量不应大于 30 mg/m^3 ; 二氧化碳按体积计不得大于 5% ;氮氧化物(换算成 NO_2)含量不应大于 5 mg/m^3 。

4 隧道内气温不宜超过 28℃。

5 隧道内噪声不宜大于 90 dB。

11.2.3 施工噪声控制应符合下列规定：

1 施工现场噪声控制应符合现行《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的有关规定。城市区域振动控制应符合现行《城市区域环境振动标准》GB 10070 的有关规定。

2 对噪声及振动要求严格控制的地区，应采取降噪、隔音、减振等措施。

11.2.4 地下水保护应符合下列规定：

1 施工中应采用环保材料。

2 在水源地和地下水环境敏感地区应采取堵水、限排、回灌等措施。

3 特殊地区应采用防止地下水流经路线改变的措施。

11.2.5 污染物排放应符合下列规定：

1 施工的废水应经过处理达标后，方可排出施工现场。排入市政排水管网应符合现行《污水综合排放标准》GB 8978 中三级排放标准；排入自然水体应满足二级排放标准。

2 泥水盾构施工时应采用机械方式对废弃泥浆进行分离，固体废弃物按照弃渣处理，液体按废水处理。

3 施工现场应设置沉淀池，沉淀池的大小根据排泥量和所需沉降时间确定。

4 弃渣应集中堆放于带有围护设施的临时渣场，定期由配置覆盖设施的车辆运送到指定地点。

5 施工现场应采取防止扬尘措施。

6 废弃物不得焚烧处理。

11.2.6 施工影响范围内的建(构)筑物及地下管线保护应符合本规程第 7.6 节的有关规定。

11.3 施 工 安 全

11.3.1 存在可燃性气体、爆炸性气体、有害气体及岩溶等不良地质的地段应采用钻探结合物探方法进行详细探测,制定相应施工安全措施。

11.3.2 工作井场地应完善排水设施,井口应采取防止洪水倒灌措施。

11.3.3 盾构机应配备干粉灭火器、二氧化碳灭火器等消防器材,使用人员应经过培训。

11.3.4 盾构施工前应制定主要控制系统、水平运输及垂直运输安全操作规程,并制定设备检测、维修和保养制度。

12 风险评估与控制

12.1 一般规定

12.1.1 盾构法隧道应根据工程技术特点针对安全、社会稳定、质量、环境、工期、投资、第三方等风险进行,以安全风险为风险管理的重点,并高度重视具有突发性和灾难性的风险。

12.1.2 盾构法隧道应根据其工程性质和环境条件,分阶段制定风险接受准则和风险控制原则,针对不同等级的风险,采用不同的风险接受准则。

12.1.3 建设各方应建立内部风险管理制度和风险管理沟通机制,及时传递和反馈信息,协同开展风险管理,并应根据盾构推进和环境变化,对风险实施有效的动态管理。

12.1.4 风险管理工作应按可行性研究、初步设计、施工图和施工四个阶段开展,可行性研究、初步设计及施工图阶段应将风险评估成果纳入阶段设计文件,施工阶段应提交风险管理报告,竣工后风险后期评估报告应随竣工文件一并交付。

12.2 风险评估与控制的主要内容

12.2.1 按风险因素来源,盾构法隧道风险可分为地质风险、技术风险、自然风险和社会稳定风险,各阶段风险识别可采用核对表法、专家调查法、头脑风暴法和层次分析法等方法。

12.2.2 盾构法隧道风险估计应分析各风险因素对目标风险的影响程度,分别确定各风险因素对目标风险发生的概率和损失,评价初始风险等级,制定相应的风险处理方案或措施,对风险进行再评价,提出残留风险。

12.2.3 盾构法隧道风险控制应包括风险处理、风险监测、建立和落实风险防控责任体系、制定风险对策表。风险对策表的内容应包括初始风险、设计或施工应对措施、残留风险等。

12.2.4 盾构法隧道风险后期评估应对风险管理工作的效果进行确认和评价,全面总结风险管理过程中的经验教训,形成闭环管理。

12.2.5 盾构法隧道评估的地质风险因素应包括下列内容:

1 高灵敏度软土、挤压性地层、软硬相间、高水压地层、黏土地层、大粒径卵砾石地层等。

2 溶洞、土洞、花岗岩球状风化体等。

3 断层破碎带、顺层等。

4 瓦斯、硫化氢等有害气体。

12.2.6 盾构法隧道评估的技术风险因素应包括下列内容:

1 盾构始发与接收处理措施。

2 掘进动力系统、掘进系统、出渣系统。

3 掘进控制系统、测量导向系统。

4 掘进机注浆系统、润滑系统、管片拼装系统。

5 盾构带压进舱作业。

6 辅助施工措施。

12.2.7 盾构法隧道评估的自然风险因素应包括下列内容:

1 既有建(构)筑物、道路、管线或其他设施。

2 江河、湖泊、地下水等。

3 洪水、冰冻、风沙、雪崩等自然灾害。

4 暴雨、强风、雷电、极寒等极端气象条件。

5 风景名胜区、自然保护区、水源保护区等。

12.2.8 盾构法隧道评估的社会风险因素应包括下列内容:

1 渣土存放与转运。

2 光线、噪声、振动、粉尘污染等。

3 污水排放、地下水流失等。

4 土地房屋征收补偿、占用地方资源、移民安置等。

5 施工队伍状况及人员管理。

13 工 程 验 收

13.1 一 般 规 定

13.1.1 工程施工质量验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批。

1 单位工程应按一个完整工程或一个相当规模的施工范围划分,一座盾构法隧道宜作为一个单位工程。

2 分部工程应按一个完整部位或主要结构及施工阶段划分。

3 分项工程可按工种、工序、材料、施工工艺等划分。

4 检验批可根据施工质量控制和施工段验收需要划分,其检验项目分为主控项目和一般项目。

13.1.2 分部工程、分项工程划分和检验批检验项目划分应符合表 13.1.2 的规定。

表 13.1.2 分部工程、分项工程和检验批划分及检验项目

序号	分部工程	分项工程	检验批	检验批检验项目条文号	
				主控项目	一般项目
1	洞口工程	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			
2	始发、接收、通风 等功能井	开挖	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验		
		支护	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验		
		衬砌	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验		
3	支护	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			
4	衬砌	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			
5	管片	管片安装	每 10 环	13. 2. 1~13. 2. 3	13. 2. 4~13. 2. 7
		同步注浆	每 10 环	13. 3. 1	13. 3. 2

续表 13.1.2

序号	分部工程	分项工程	检验批	检验批检验项目条文号	
				主控项目	一般项目
5	管片	二次注浆	每 10 环	13.3.1	13.3.2
		管片防水	每 30 环	13.4.1~13.5.4	13.4.5~13.4.8
6	辅助坑道及洞室	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			
7	排水	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			
8	附属设施	按现行铁路隧道工程质量验收标准进行检验			

13.1.3 检验批的质量验收应包括以下内容：

1 实物检查,按下列方式进行：

- 1) 对原材料、构配件和设备等的检验,按国家现行有关标准规定的抽样检验方案执行。
- 2) 对混凝土性能指标的检验,按国家现行有关标准规定的抽样检验方案执行。
- 3) 对本规程中采用计数检验的项目,应按抽查点数符合本规程规定的百分率进行检查。

2 资料检查,包括原材料、构配件和设备等的质量证明文件(质量合格证、规格、型号及性能检测报告等)和检验报告、施工过程中重要工序的自检和交接检验记录、平行检查报告、见证取样检测报告等。

13.2 管 片 安 装

主 控 项 目

13.2.1 管片拼装应严格按拼装设计要求进行,管片无内外贯穿裂缝,无大于 0.2 mm 的推顶裂缝及混凝土剥落现象。

检查数量:施工单位、监理单位逐片检查。

检验方法:用刻度放大镜检查。

13.2.2 螺栓质量及拧紧度应符合设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位逐根检查。

检验方法:扭矩扳手紧固检查;检查材料合格证或试验报告。

13.2.3 衬砌(环)结构不得侵入建筑限界。

检查数量:施工单位、监理单位逐环检查。

检验方法:经纬仪、水准仪测量。

一 般 项 目

13.2.4 管片成品应进行进场验收,进场验收应进行外观质量和技术资料检查。

检查数量:外观质量检查全部,资料检查每一进场批次。

检验方法:观察、检查出厂试验报告和检验报告。

13.2.5 施工中管片拼装允许偏差和检验方法应符合表 13.2.5 的规定。

表 13.2.5 管片拼装允许偏差表

序号	项 目	允许偏差(mm)	检验方法	检查频率数量
1	衬砌环直径椭圆度	$\pm 6\% D_w$	尺量后计算	4 点/环
2	隧道轴线水平偏差	± 70	用经纬仪测中线	1 点/环
3	隧道轴线高程	± 70	用水准仪测高程	1 点/环
4	衬砌环内错台	6	用尺量	4 点/环
5	衬砌环间错台	7	用尺量	1 点/环

注: D_w 为盾构隧道衬砌环外直径,单位:mm。

检查数量:每一环。

检验方法:尺量。

13.2.6 成型隧道其允许偏差值应符合表 13.2.6 的规定。

表 13.2.6 成型隧道允许偏差

项 目	允许偏差(mm)	检验方法	检查频率
衬砌环直径椭圆度	$\pm 6\% D_w$	尺量后计算	4 点/环
隧道圆环平面位置	± 120	用经纬仪测中线	1 点/环

续表 13.2.6

序号	项 目	允许偏差(mm)	检验方法	检查频率
3	隧道圆环高程	±120	用水准仪测高程	1点/环
4	衬砌环内错台	12	用尺量	4点/环
5	衬砌环间错台	17	用尺量	1点/环

注： D_w 为盾构隧道衬砌环外直径，单位：mm。

检查数量：每一环。

检验方法：尺量。

13.2.7 衬砌环表面无裂缝、缺棱、掉角，管片接缝应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查；检查施工日志。

13.3 同步注浆与二次注浆

主 控 项 目

13.3.1 同步注浆的注浆压力和注浆量应符合设计要求。

检查数量：施工单位、监理单位每注浆段。

检验方法：压力表和流量计。

一 般 项 目

13.3.2 注浆材料应符合设计要求和有关标准的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查进货试验记录。

13.4 管 片 防 水

主 控 项 目

13.4.1 管片混凝土防水应符合设计要求。

检查数量：每一进场批次。

检验方法：查验抗渗性试验报告。

13.4.2 防水密封垫品种、规格、性能应满足设计要求。

检查数量:以每6个月同一厂家的防水密封垫为一批,进行耐久性 & 物理性能检验,监理单位按10%见证检验。

检验方法:查验防水密封垫出厂试验报告、进厂(场)检验报告,观察,试验检测。

13.4.3 胶粘剂质量应符合设计要求。

检查数量:施工单位、监理单位以每一批货6个月使用量检查一次。

检验方法:检查胶粘剂出厂材质证明。

13.4.4 防水密封垫安装应符合下列要求:

1 粘贴管片防水密封垫前应将管片密封垫槽清理干净。

2 粘贴后的防水密封垫应牢固、平整、严密、位置正确,不得有起鼓、超长和缺口现象。

3 管片防水密封垫粘贴完毕并达到粘贴时间要求后方可拼装,拼装时不得损坏密封垫。

检查数量:施工单位、监理单位逐块检查。

检查方法:观察检查。

一般项目

13.4.5 螺栓孔密封圈品种、规格、性能应符合设计要求。

检查数量:对进场每一批或使用6个月的材料。

检验方法:检查出厂试验报告和进厂(场)检验报告。

13.4.6 嵌缝材料品种、性能应满足设计要求。

检查数量:监理单位、施工单位对进场每一批或使用6个月的材料。

检验方法:检查出厂试验报告和进厂(场)检验报告。

13.4.7 螺栓孔密封胶圈应按设计要求安装,不得遗漏,且不宜外露。

检查数量:逐块检查。

检验方法:观察检查。

13.4.8 管片嵌缝防水应符合设计要求。

检查数量:逐环检查。
检验方法:检查施工日志,观察检查。

13.5 单位工程综合质量评定

- 13.5.1 单位工程质量控制资料核查应符合下列规定：
- 1 单位工程质量控制资料应齐全完整,全面反映工程施工质量状况。
 - 2 单位工程质量控制资料核查应由监理单位组织施工单位进行,并按表 13.5.1 填写记录。

表 13.5.1 单位工程质量控制资料核查记录

单位工程名称					
施工单位					
序号	资料名称	份数	核查意见	核查人	
1	图纸会审、设计变更、洽商记录				
2	工程定位测量、放线记录				
3	原材料出厂合格证及进场试验报告				
4	施工试验报告				
5	成品及半成品出厂合格证试验报告				
6	施工记录				
7	工程质量事故及事故调查处理资料				
8	施工现场质量管理检查记录				
9	分项、分部工程质量验收记录				
10	新材料、新工艺施工记录				
11	监控量测资料				
结论：					
施工单位项目负责人			总监理工程师		
年 月 日			年 月 日		

注:核查人为监理单位人员。

13.5.2 单位工程实体质量和主要功能核查应符合下列规定：

1 单位工程完成后,应由建设单位组织设计、监理、施工单位对单位工程实体质量和主要功能进行核查,并按表 13.5.2 填写记录。

表 13.5.2 单位工程实体质量和主要功能核查记录

单位工程名称				
施工单位				
序号	项 目	份数	核查意见	检查人
1	隧道线路中线平面与高程检查			
2	隧道衬砌环内轮廓检查			
3	渗水情况检查			
4	衬砌环背后回填密实度检测			
5				
6				
7				
8				
9				
结论：				
施工单位项目负责人		总监理工程师	建设单位项目负责人	
年 月 日		年 月 日	年 月 日	

注：核查项目由验收组协商确定。

2 单位工程实体质量、主要功能核查方法和数量按现行铁路隧道工程施工质量验收有关标准实施。

3 结构实体质量和主要使用功能达不到设计要求的单位工程严禁验收。

13.5.3 单位工程观感质量评定应符合下列规定：

无大面积湿渍。洞口防护设施和警示标志齐全。

变形缝缝身竖直,缝宽基本均匀,填塞密实,无漏水。

检查梯及隧道名牌、号标的设置美观大方。

2) 工作井观感质量合格标准包括下列内容:

混凝土表面色泽均匀、曲线圆顺,整体轮廓清晰。

混凝土接茬处无较大错台、跑模现象。无蜂窝麻面或局部蜂窝麻面已修补。

3) 盾构隧道洞身外观质量合格标准:

管片修补后质量应符合验收要求,管片表面无缺棱、掉角,混凝土无剥落,无大于 0.2 mm 宽的裂缝或贯穿性裂缝等缺陷。

4) 防排水观感质量合格标准包括下列内容:

管片及接缝不渗水,管片表现范围内无湿渍。

水沟畅通,不积淤堵塞。

本规程用词说明

执行本规程条文时,对于要求严格程度的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

(4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

《铁路隧道盾构法技术规程》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

3.1.1 勘察阶段与设计施工阶段的对应关系见说明表 3.1.1。

说明表 3.1.1 勘察阶段与设计施工阶段对应关系表

勘察阶段	踏 勘	初 测	定测和补定测		施工勘察
设计施工阶段	预可行性研究	可行性研究	初步设计	施工图设计	施工

3.1.2 根据工作阶段选择适宜的综合勘察方法和手段,勘察阶段不同,相应的勘察目的、方法、要求、精度等都有所不同。前期研究工作阶段勘察的主要目的是了解控制和影响线路方案的宏观地质条件;设计阶段主要是查明工程场地的地质条件。

3.1.3 准备工作是工程地质勘察的必要环节,充分收集、分析既有资料,既能了解区域地质情况和类似工程建设经验,明确工作重点,又是节约勘察成本的重要手段。对区域地质条件认识、地层划分等需要统一的技术问题,组织勘察技术人员现场踏勘,统一认识标准,这是搞好工程地质勘察的基础。

3.1.5 在隧道穿越地层和影响环境范围内,遇到下列情况视具体情况进行专项勘察或专题研究:

(1)遇到对盾构法隧道设计和施工存在重大影响的地质问题,如活动断裂、地裂缝、沉降区、煤层瓦斯、放射性等。

(2)存在极高风险环境,如隧道下穿高速铁路、大面积地表水体等。

(3)遇到新的工程地质问题,没有成熟的工程处理措施和建设经验。

3.2.1 使用期间可以更换且不影响功能的次要结构构件指紧急疏散平台、内部楼梯等。

3.2.3 圆形盾构法隧道断面不仅有利于结构受力,还有利于盾构施工、管片现场拼装等。

时速低于 160 km 的铁路隧道内净空大小主要根据建筑限界、设备及管线安装空间要求、道床型式、附属建构筑物设置、后期维修补强空间、综合施工误差等因素确定。时速高于 160 km(含)的铁路隧道内净空大小除考虑以上因素外,还要满足空气动力学效应下的隧道轨顶面以上最小净空横断面积要求。

铁路盾构隧道后期维修补强预留空间暂按半径方向 300 mm 取值。

盾构隧道综合施工误差包括施工过程中的蛇形掘进误差、管片拼装误差、测量误差等,其大小与地质条件、线路条件、施工单位水平有关,结合铁路隧道特点,铁路盾构隧道综合施工误差按 150 mm 取值。

3.2.4 目前国内外盾构隧道结构均以单层钢筋混凝土预制管片衬砌为主,特殊情况,如管片补强、管片开口、局部特殊荷载、采用构造配筋作为受力控制的地层,采用钢、铸铁或钢纤维混凝土预制管片衬砌。

当遇到下列情况时,铁路盾构法隧道考虑设置二次衬砌:

(1)当需要对管片补强、防蚀、防渗、修正蛇形、装饰和有防水目的时。

(2)后续隧道局部有大的荷载、因周边地基开挖引起荷载发生变化、土压等荷载的时效变化明显、隧道轴向刚度需要提高等。

通常二次衬砌采用模筑混凝土、钢纤维或最小配筋量的钢筋混凝土结构,其厚度通常为 150 mm~350 mm,也有的采用厚钢板、碳纤维等材料的二次衬砌。

3.2.6 根据《铁路隧道设计规范》TB 10003 要求,铁路隧道附属构筑物包括大小避车洞、电缆槽、增音站、变压器洞室、废水泵房、行人横通道、行车横通道、救援通道和下锚结构段等。但由于隧道采用预制拼装管片结构,除了可以开有限尺寸的口外,几乎不可能专门为附属构筑物专门开口,因此对于大避车洞、行车横通道等附属物多予以取消,对于下锚、救援等研究采用新技术,对于电缆槽等附属构筑物考虑结合隧道实际情况进行布置,对于增音站、变压器洞室、行人横通道等结合废水泵房进行布置。

3.3.5 盾构施工场地布置十分重要,关系到设备组装及施工运输的质量和进度,一般在施工前制订项目工程场地总体筹划,制订施工场地总平面布置方案,使一些主要设施布置合理和齐全,主要设施主要有渣坑、管片堆场、门吊系统、砂浆拌和站、排水系统、冷却塔、通风机、充电间、机修车间、钢构件加工厂、小型机具堆放场、洗车槽、防洪措施、沉淀池等,最好能包含井下场地布置,如轨线布置、循环水池布置、井下沉淀池布置、油脂、泡沫堆场等。

3.3.6 盾构试掘进是盾构施工的必要步骤,在初始推进时需进行各功能系统的带载试验,完善各功能系统,并进行整合。同时在掘进过程寻求最佳施工参数,为全线正常推进提供符合岩土质特点的基本施工参数。试掘进过程基本在 100 环左右。无论是试掘进还是正式掘进都需加强过程管理来保证盾构施工的安全,保证隧道施工质量。

4.1.2 盾构隧道轴线、纵断面以及最小埋置深度,综合考虑地面及地下建筑物的状况、围岩条件、开挖断面大小、施工方法等因素后确定。需确保施工安全,避免对周围环境的不利影响。隧道埋深过小,不仅可能造成漏气、喷发(当采用气压盾构时)、上浮、地面沉降或隆起、地下管线破坏等,而且盾构推进时也容易产生蛇行;隧道埋深过大则会影响施工作业效率,增大工程投入。根据工程

经验,盾构隧道的最小埋置深度以控制在 1 倍开挖直径为宜。

4.1.3 以下地层对盾构施工和环境容易造成的主要工程地质问题包括:

1 高灵敏度软土层:由于土层流动造成开挖面失稳。

透水性强的松散砂卵石层:涌水并引起开挖面失稳和地面下沉。

含有承压水的砂土层:突发性的涌水和流砂,形成地层空洞,从而引起地面大范围的突然塌陷和沉降。

高塑性的黏性土地层:因黏着造成盾构刀盘结泥饼或管路堵塞,使开挖难以进行。

开挖面存在软硬两种地层:因软弱层排土过多引起地层下沉,并造成盾构在线路方向上的偏离。

特硬地层:刀具容易磨损或损坏,掘进困难。

2 含漂石或卵石的地层:难以排除,或因扰动地层,造成超挖和地层下沉。

3 在花岗岩或变质岩的风化层中往往随机分布未(微)风化球形体,且分布不规律,是目前在复合地层中盾构施工尚未能很好解决的难点之一。盾构掘进过程中突遇球状风化体,对刀具甚至刀盘造成很大的损坏,致使工期严重滞后,因此,要通过勘察尽可能做出准确判断,便于设计相适应的盾构。

4 断层破碎带往往存在软弱填充层、碎屑岩块等物质,地层透水性好,地下水丰富。容易发生刀具断裂、盾构姿态变化、喷涌等,给盾构掘进造成严重障碍,因此,需要在勘察阶段查明断层性质、范围、破碎带的物质成分、水文特征等情况。

5 石灰岩中存在的溶洞将给盾构施工带来两大问题:一是盾构在推进过程中一旦遇到溶洞,特别是较大的溶洞,会造成盾构姿态的突然变化,从而引发隧道变形、涌水、涌泥等事故;二是隧道修成后,如何保证通过溶洞地段的隧道结构长期安全稳定。因此,在岩溶发育地区尽可能地加密钻孔或采用物探方法,查明溶洞的空间形态和位置。

综上,在盾构设备选型和确定辅助施工措施时结合地质条件,充分考虑上述对盾构施工不利岩土层的特征,在设计和施工中采取必要的对策。

4.3.2 水文地质试验孔一般布置在对工程有影响的主要含水层、强透水岩层与相对隔水层的接触带、可溶岩与非可溶岩层的交接带、断层破碎带、向斜构造轴部和背斜构造两翼,以及下穿地表水体地段。

4.3.4 原位测试基本上是在原位的应力条件下对岩土体进行测试,其测试结果具有较好的可靠性和代表性,但原位测试评定岩土参数主要是建立在统计的经验基础上,有很强的地区性和岩土类的局限性。因此,在选择原位测试方法时应根据岩土条件、设计对参数的要求、地区经验和测试方法的适用性等综合确定。

勘探取样的数量和质量、取样的位置,试验方法的选择,是保证室内试验成果资料质量的前提,而室内试验成果资料准确、可靠、适用又是保证地质勘察资料质量的基础。

4.4.1 盾构法隧道主要地质参数通常按说明表 4.4.1 选取。

说明表 4.4.1 盾构法隧道主要地质参数选择表

类别	参 数	类别	参 数
地 下 水	1. 地下水位	物理 性质	1. 比重、含水量、密度、孔隙比
	2. 孔隙水压力		2. 含砾石量、含砂量、含粉砂量、含黏土量
	3. 渗透系数		3. d_{10} 、 d_{50} 、 d_{70} 及不均匀系数 d_{60}/d_{10}
力 学 性 质	1. 无侧限抗压强度		4. 砾石中的石英、长石等硬质矿物含量
	2. 黏聚力、内摩擦角		5. 最大粒径,砾石形状、尺寸及硬度
	3. 压缩模量、压缩系数		6. 颗粒级配
	4. 泊松比		7. 液限、塑限
	5. 静止侧压力系数		8. 灵敏度
	6. 标准贯入锤击数		9. 围岩的纵、横波速度
	7. 基床系数		10. 岩石岩矿组成及硬质矿物含量
	8. 岩石质量指标(RQD 值)	有害 气体	1. 土的化学成分
	9. 岩石天然湿度抗压强度		2. 有害气体成分、压力、含量

4.4.3 表 4.4.3 场地复杂程度是根据《岩土工程勘察规范》GB 50021确定的,所列勘探点间距主要针对城市浅埋隧道,对于山区隧道,下穿江、河、湖、海的水底隧道等,一般参照相关国家及行业标准以及设计和施工需要确定。

4.5.1 施工阶段地质工作包括配合施工和施工勘察,是对勘测阶段地质工作的检验。尽管勘测阶段资料做得比较细致,但由于自然界复杂多变,工程地质资料不可能完全如实地反映工程地质条件和准确地预见施工中可能出现的地质问题,特别是地质条件复杂及隐蔽的不良地质作用、特殊岩土地段更是如此。因此,在施工阶段开展工程地质工作十分必要。

4.5.2 施工中需特别重视因地质和环境原因引发的问题,如施工不当产生的工程滑坡,岩溶地区突然发生的地面塌陷或地表水的漏失,有害气体的燃烧或爆炸等。在施工的整个过程中对施工影响范围内地质条件变化和地质灾害发生的可能性进行监测和预报,以确保施工安全和人员安全;对施工影响范围内的建(构)筑物、地下管线等周边环境进行监测,确保周边环境安全。

5.1.2 从提高施工作业效率(出渣、运料及作业人员进出)、简化工作井建造工艺和防水处理措施及便于运营等方面考虑,希望隧道覆土浅。但当盾构法隧道埋深较浅时,盾构施工时容易发生地层沉陷、逸泥、漏气、喷涌等工程事故。通常当隧道覆土厚度大于1倍隧道外轮廓直径时,盾构隧道施工一般不需要采取特殊工程处理措施;当隧道覆土厚度小于1倍隧道外直径时,需结合现场实际情况考虑采取相关辅助措施,特殊情况进行专题研究。

当盾构隧道穿越江河、湖泊时,隧道覆土厚度应从江(河)床冲刷线或湖泊稳定地层面开始算起。

5.1.3 根据铁路隧道特点和目前盾构技术水平,有相当数量铁路盾构隧道会采用单洞单线方案,因此会出现较多的空间平行隧道,空间平行隧道设计时需对线路平纵断面进行研究。

平行隧道是指在一定区域内,在平面或立面上平行且距离较

近的两条或多条隧道。与先期施工隧道外径相比,后续施工平行隧道外径是主要影响考虑因素,通常后续施工隧道的外径越大,其影响也越大。对盾构法隧道而言,后续盾构隧道施工对先期施工隧道的影晌主要包括盾构施工荷载和隧道壁后注浆压力,以上荷载通过隧道间土体对先期施工的隧道产生偏心压力,从而在先期施工隧道的横断面及纵断面方向上引起异常的位移和附加应力。

当平行隧道的净距小于后续隧道外径($1D$)时,有必要对隧道间的距离进行论证,尤其当隧道间的净距小于 $0.5D$ 时,后续盾构隧道施工对先期隧道的影晌非常大,需对安全性进行详细论证。

5.1.4 盾构法隧道管片拼装有通缝和错缝拼装两种方式。通缝拼装管片衬砌整体刚度较小,变形较大,内力较小,管片拼装工艺较简单;错缝拼装管片衬砌整体刚度较大,变形较小,内力较大,拼装管片精度要求较高。为提高盾构隧道整体刚度,减少结构变形,铁路盾构法隧道优先选用错缝拼装。

通用衬砌环为采用一种类型的楔形管片进行直线、曲线地段的衬砌环拼装,它让管片衬砌环在 360° 范围内按照纵向螺栓的模数进行旋转,以适应盾构隧道衬砌环的空间位置。通用衬砌环可减少管片模板类型,简化衬砌环拼装工艺,但对管片拼装要求较高。

直线与楔形衬砌环组合方式需设置直线环、左偏环、右偏环三种衬砌环类型。盾构法隧道拼装时需要根据当时隧道的偏移情况决定下一环的衬砌类型。该拼装方式为我国地铁盾构隧道衬砌环的主流拼装方式。

楔型衬砌环组合方式是采用左偏环和右偏环进行组合的拼装方式,曾在国内某城市地铁盾构隧道中使用过。

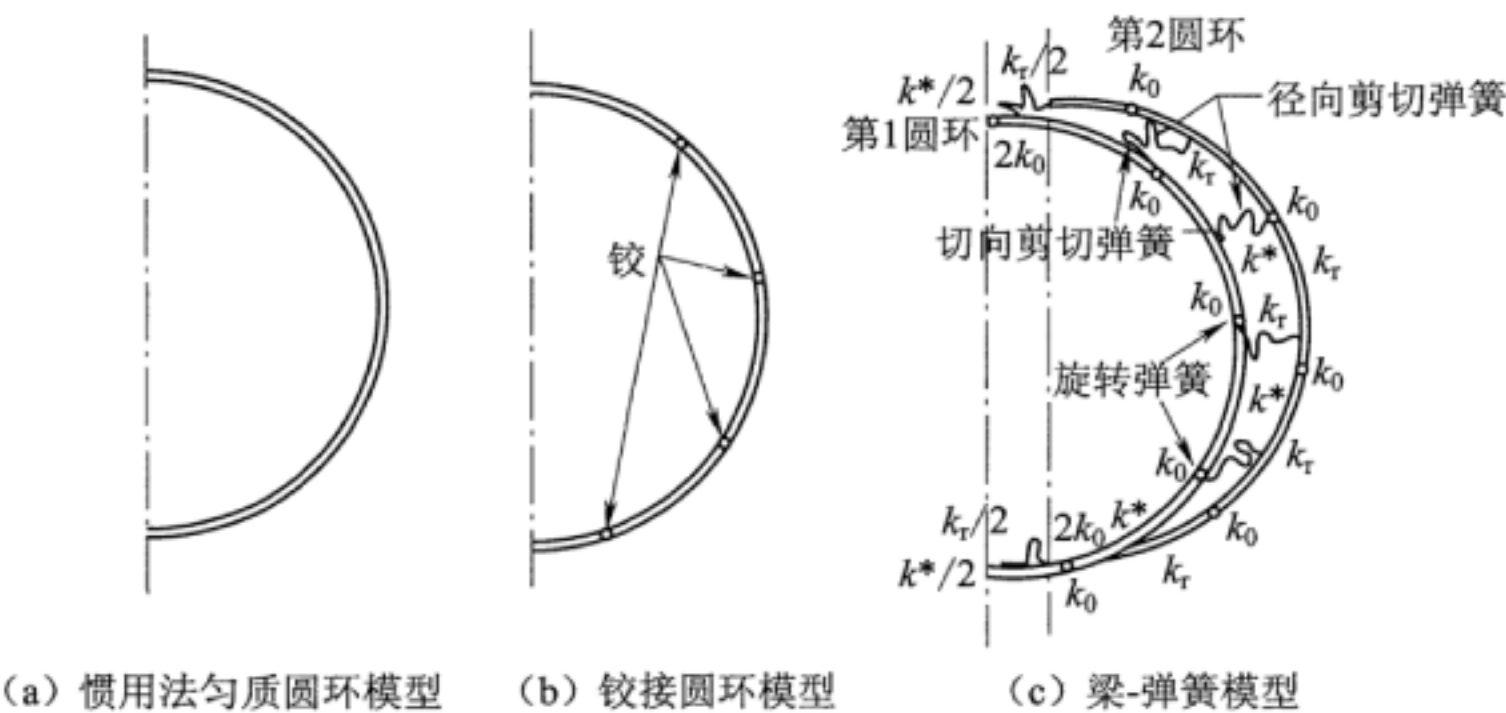
5.4.3

2 目前国内外盾构隧道管片衬砌结构横断面力学分析多采

用荷载-结构模式,该模式主要确定地层与管片结构间的作用模型、盾构管片结构模型。

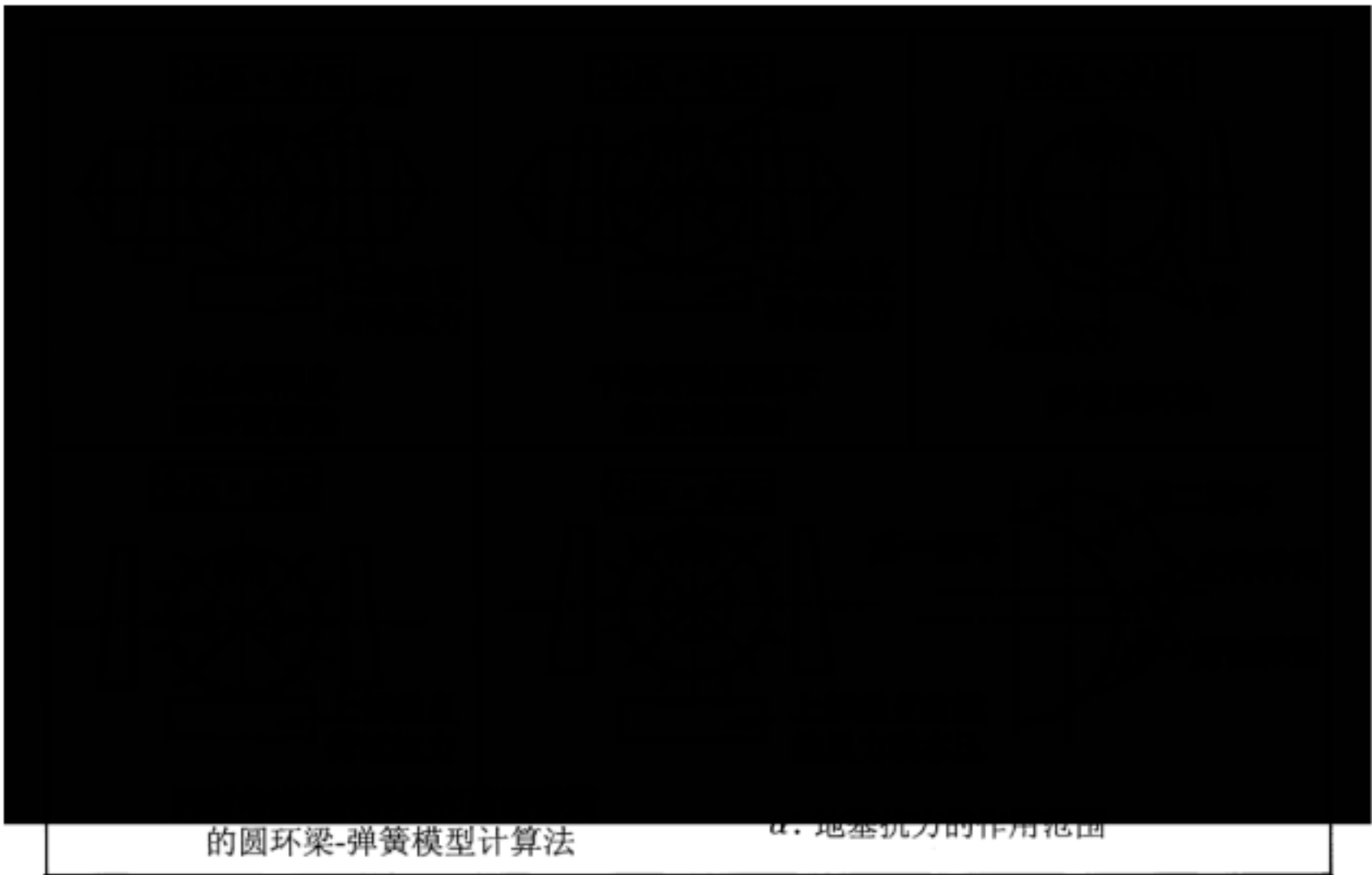
地层与管片结构间的作用模型:该模型主要确定作用在盾构隧道上的土层压力、水荷载等。作用在隧道上方的土层压力,视地层情况,国内外主要采用卸载拱理论(太沙基公式为主体)和全部地层压力计算方法,同时采用现行《铁路隧道设计规范》TB 10003 的方法进行校核,以上方法均带有较大近似性。作用在隧道上的水荷载,黏性土地层按水土压力合算的方式考虑,砂性土地层按水土压分算的方式考虑。隧道衬砌与地层间的相互作用采用假定抗力方法或采用只能受压的弹簧来模拟。

盾构管片结构模型:目前国内外对管片衬砌结构的模型主要有惯用法、修正惯用法、多铰圆环法和梁-弹簧模型算法,见说明图 5.4.3—1。管片结构荷载计算体系见说明图 5.4.3—2。



说明图 5.4.3—1 管片结构计算力学模型

惯用法:该法 1960 年在日本提出,曾得到广泛应用。垂直方向的地层反力假定为等均布荷载,水平方向的地层反力假定为在盾构环的顶部左右各 $45^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 分布的三角形等变荷载,地层反力因是否考虑衬砌自重而有所不同,具体根据说明表 5.4.3 的公式进行计算。(当表中的 η 值取 1 时,就是惯用法的计算公式)。



说明图 5.4.3—2 管片结构荷载计算体系

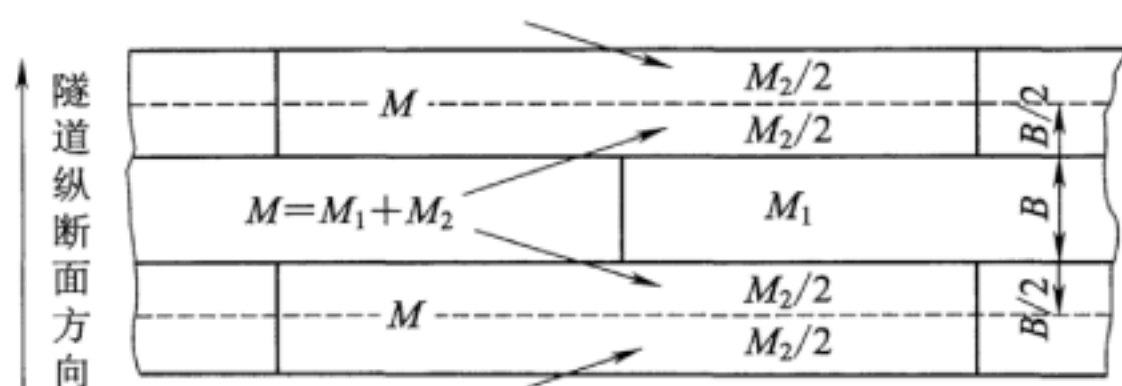
说明表 5.4.3 惯用法和修正惯用法管片截面内力计算式

荷 载	弯 矩	轴 力	剪 力
垂直荷载 $p_{e1} + p_{w1}$	$M = \frac{1}{4} (1 - 2\sin^2 \theta) (p_{e1} + p_{w1}) R_c^2$	$N = (p_{e1} + p_{w1}) R_c \cdot \sin^2 \theta$	$Q = - (p_{e1} + p_{w1}) R_c \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
水平荷载 $q_{e1} + q_{w1}$	$M = \frac{1}{4} (1 - 2\cos^2 \theta) (q_{e1} + q_{w1}) R_c^2$	$N = (q_{e1} + q_{w1}) R_c \cdot \cos^2 \theta$	$Q = (q_{e1} + q_{w1}) R_c \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$
水平三角形荷载 $q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}$	$M = \frac{1}{48} (6 - 3\cos \theta - 12\cos^2 \theta + 4\cos^3 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c^2$	$N = \frac{1}{16} (\cos \theta + 8\cos^2 \theta - 4\cos^3 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c$	$Q = \frac{1}{16} (\sin \theta + 8\sin \theta \cdot \cos \theta - 4\sin \theta \cdot \cos^2 \theta) (q_{e2} + q_{w2} - q_{e1} - q_{w1}) R_c$
地基抗力 $q_r = k \cdot \delta$	$0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $M = (0.2346 - 0.3536 \cos \theta) k \cdot \delta \cdot R_c^2$ $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $M = (-0.3487 + 0.5 \sin^2 \theta + 0.2357 \cos^3 \theta) k \cdot \delta \cdot R_c^2$	$0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $N = 0.3536 \cos \theta \cdot k \cdot \delta \cdot R_c$ $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $N = (-0.7071 \cos \theta + \cos^2 \theta + 0.7071 \sin^2 \theta \cdot \cos \theta) k \cdot \delta \cdot R_c$	$0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$ 时 $Q = 0.3536 \sin \theta \cdot k \cdot \delta \cdot R_c$ $\frac{\pi}{4} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $Q = (\sin \theta \cdot \cos \theta - 0.7071 \cos^2 \theta \sin \theta) k \cdot \delta \cdot R_c$

续表说明 5.4.3

荷 载	弯 矩	轴 力	剪 力
自重 $P_{g1} = \pi \cdot g_1$	$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $M = \left(\frac{3}{8} \pi - \theta \cdot \sin \theta - \frac{5}{6} \cos \theta \right) g \cdot R_c^2$ $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $M = \left\{ -\frac{1}{8} \pi + (\pi - \theta) \sin \theta - \frac{5}{6} \cos \theta - \frac{1}{2} \pi \cdot \sin^2 \theta \right\} g \cdot R_c^2$	$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $N = \left(\theta \cdot \sin \theta - \frac{1}{6} \cos \theta \right) g \cdot R_c$ $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $N = \left(-\pi \cdot \sin \theta + \theta \cdot \sin \theta + \pi \cdot \sin^2 \theta - \frac{1}{6} \cos \theta \right) g \cdot R_c$	$0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时 $Q = \left(\theta \cdot \cos \theta - \frac{1}{6} \sin \theta \right) g \cdot R_c$ $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ 时 $Q = \left\{ (\pi - \theta) \cos \theta - \pi \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta - \frac{1}{6} \sin \theta \right\} g \cdot R_c$
管片环的水平直径点的水平方向变位 δ	不考虑衬砌自重引起的地基抗力 $\delta = \frac{\{2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2})\} R_c^4}{24(\eta \cdot EI + 0.045 \cdot 4k \cdot R_c^4)}$ 考虑了衬砌自重引起的地基抗力 $\delta = \frac{\{2(p_{e1} + p_{w1}) - (q_{e1} + q_{w1}) - (q_{e2} + q_{w2}) + \pi g\} R_c^4}{24(\eta \cdot EI + 0.045 \cdot 4k \cdot R_c^4)}$ EI 为单位宽度的弯曲刚度		

修正惯用法:该法是在惯用法的基础上进行的改进。由于盾构管片环向螺栓的存在将减小衬砌环内的刚度,采用弯曲刚性有效率 η 进行修正,由于盾构管片纵向螺栓效应将增大结构的最大弯矩(原理见说明图 5.4.3—3),采用弯矩增加率 ξ 进行修正。值得说明的是,弯曲刚性有效率 η 和弯矩增加率 ξ 是相互有关的,若 η 接近 1 则 ξ 接近 0,若 η 越小则 ξ 越接近 1。也就是说,接头的弯曲刚性与主断面相同,不会向邻接管片传递弯矩。反之若接头是铰时,邻接管片将分担 100% 的弯矩。需要注意的是,即使管片接头是铰,隧道周边如果有地层的话, η 值也是有限的,可采取为 0。被地层包围的衬砌环,会产生比地面上进行加载试验时大的轴力,一般认为 η 值比试验值大,而 ξ 值则有小的趋势。作为参考,平板形管片设计可取 $\xi=0.3$ 、 $\eta=0.8$ 。具体根据说明表 5.4.3 的公式进行计算。



说明图 5.4.3—3 纵向接头弯矩传递

多铰圆环法:该法在欧洲较多采用。该法把管片接头作为铰结构进行计算,虽然多铰环本身是不稳定结构,但被地层包围后,就成为稳定结构,因此土层抗力的取值将直接影响计算结果,目前多采用 Winkler 假定计算土层抗力。

梁-弹簧模型算法:在衬砌圆环内考虑环向接头的位置和接头的刚度,用曲梁单元模拟管片的实际状况,用接头抗弯刚度来体现环向接头的实际抗弯刚度。当衬砌环采用错缝式拼装方式,计算时还考虑纵向接头引起衬砌圆环间的相互咬合作用,用圆环径向抗剪刚度和切向抗剪刚度来体现纵向接头的环间传力效果。采用该法能够任意考虑盾构环的组合方法和接头的位置,同时还能够计算环接头产生的剪力。虽然目前接头抗弯刚度取值的研究成果较少,但随着研究的不断深入,该方法将得到广泛应用。

我国 20 世纪 90 年代多采用经验性为主的简化模型,包括匀质圆环模型和铰接圆环模型。虽然简化模型计算操作方便,可以用于初步确定盾构隧道管片参数。但简化模型因不能明示接头位置,难于反映管片衬砌结构的实际受力状况。近年来,我国多家单位对盾构管片力学模型进行了深入研究,取得了一定的成果,在盾构隧道设计中已采用了梁-弹簧模型进行计算分析,在参数取值方面总结出了一定的经验。

5.5.3 钢筋混凝土衬砌环管片厚度一般按说明表 5.5.3 取值。

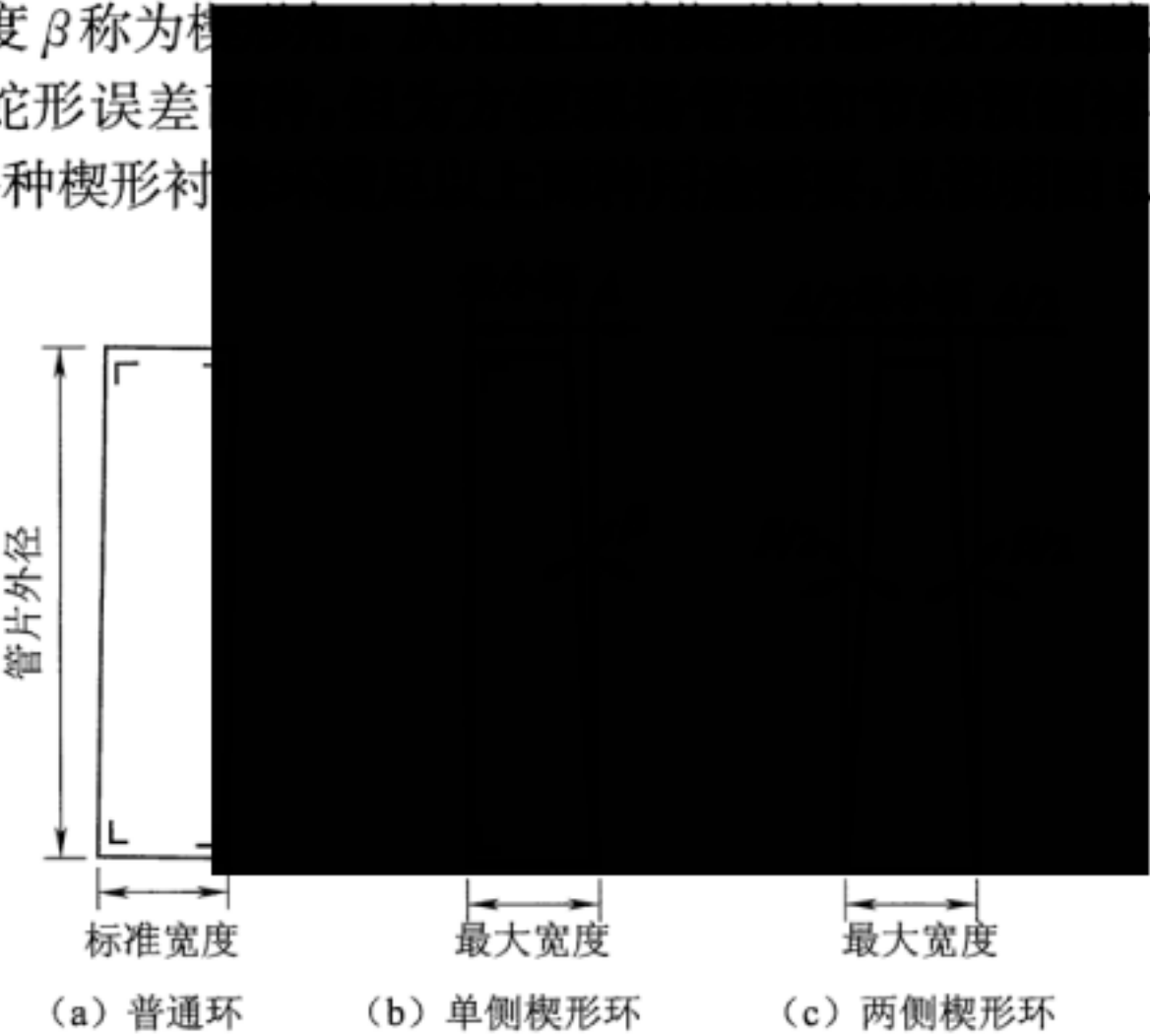
说明表 5.5.3 盾构衬砌环管片厚度取值参照表

盾构衬砌环外径 D_w (m)	$5 \leq D_w < 8$	$D_w \geq 8$
管片厚度 (m)	$0.05D_w \sim 0.06D_w$	$0.04D_w \sim 0.05D_w$

5.5.4 从便于运输、组装及提高曲线段施工精度等方面考虑,管片宽度要小;从减少接头数量、减少漏水缺陷几率、降低工程造价、提高施工速度等方面考虑,管片宽度要大。综合以上主要因素,目前我国铁路盾构法隧道衬砌环宽度推荐选取 1.5 m~2.0 m。

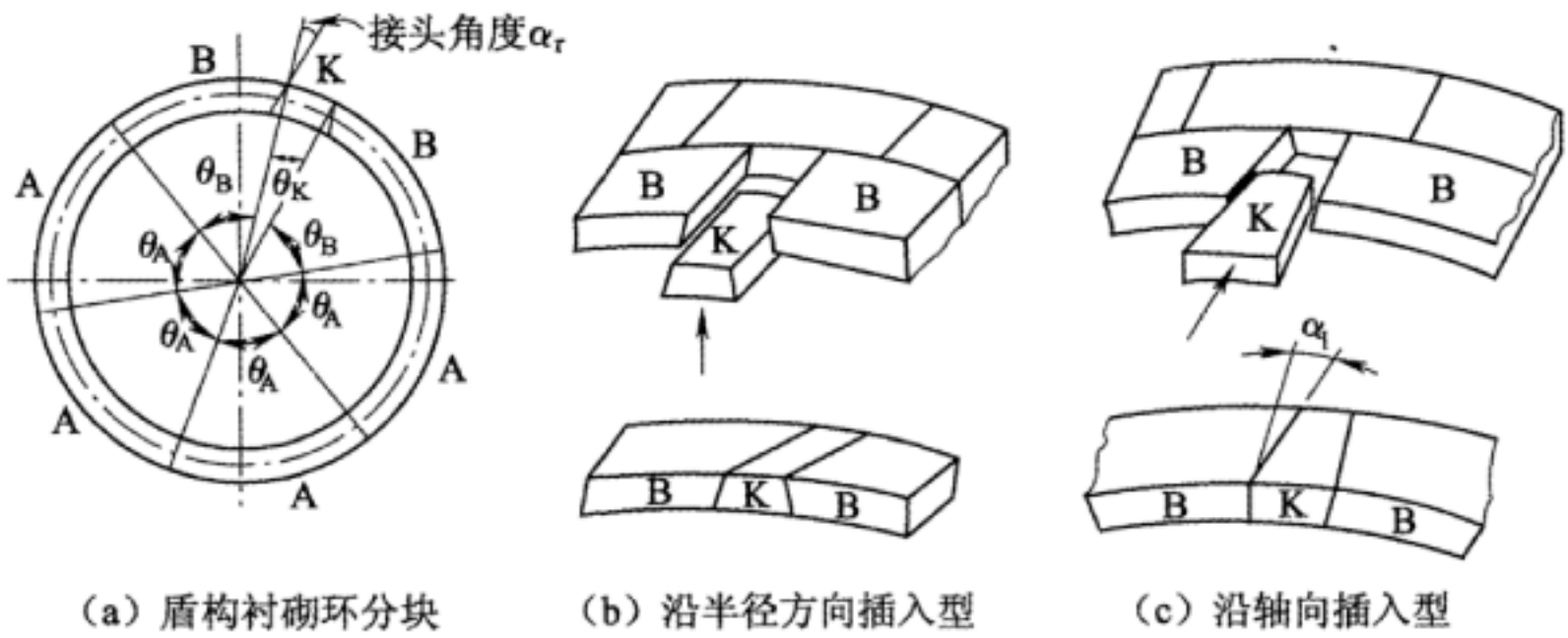
5.5.5 从国内外经验及实际运用情况来看,盾构法隧道外径为 8 m~15 m 时,均采用 7~12 分块方案,其中以 8~10 块的居多。如广深港客运专线狮子洋隧道外径 10.8 m,采用 7+1 分块方式;广深港客运专线皇岗隧道外径 10.1 m,采用 8 等分块方式;武汉长江隧道外径 11.0 m,采用 9 等分块方式;南京长江越江隧道外径 14.5 m,采用“7+2+1”分块方式;上海长江口越江隧道外径 15 m,采用“7+2+1”分块方式。

5.5.6 楔形衬砌环楔形量 Δ 是衬砌环最大宽度与最小宽度之差,对应的角度 β 称为楔形角。楔形衬砌环的楔形量 Δ 与衬砌环的拟合和修正线路蛇形误差 Δ 有关。在满足衬砌环的拟合和修正线路蛇形误差 Δ 的前提下,采用一种楔形衬砌环,其楔形量 Δ 越小,衬砌环的成本越低。说明图 5.5.6 楔形衬砌环。



说明图 5.5.6 楔形衬砌环

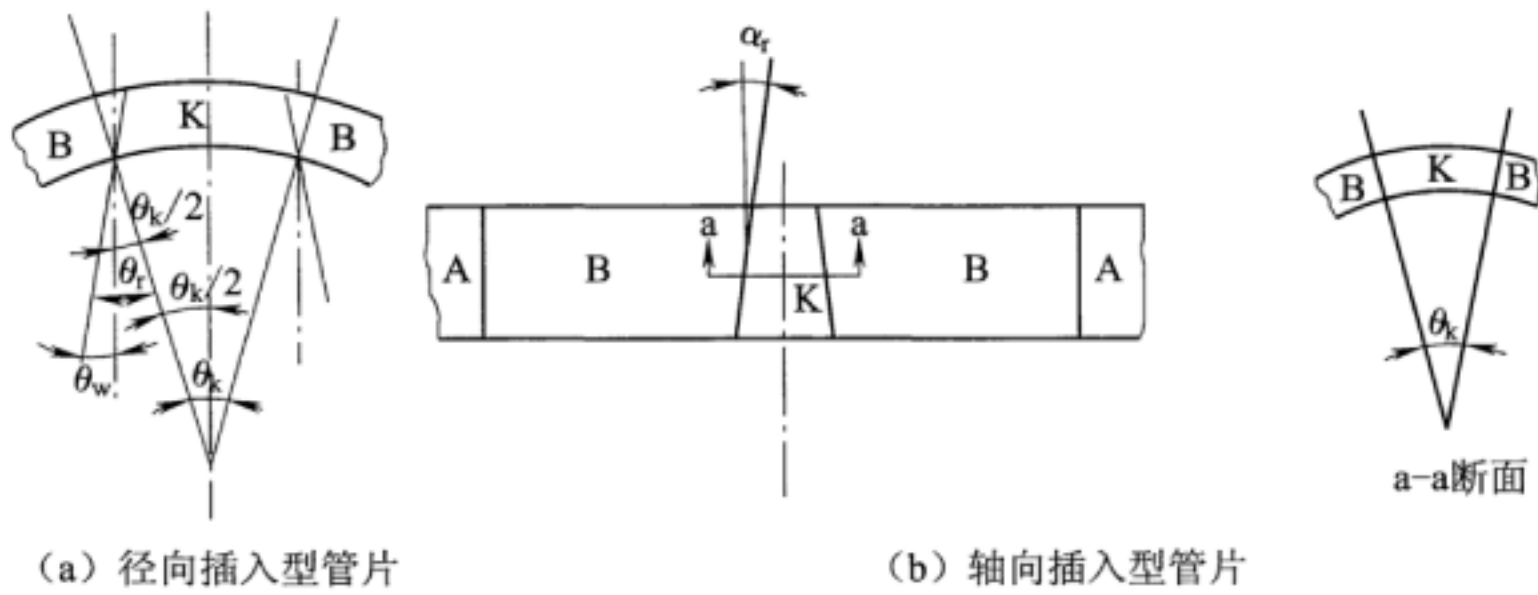
5.5.7 如说明图 5.5.7—1 所示,盾构衬砌环一般由数块 A 型管片、两块 B 型管片和一块封顶的 K 型管片组成。衬砌环拼装时,K 型管片可以从隧道内侧插入(半径方向插入型),也可以从隧道轴方向插入(轴方向插入型)。



说明图 5.5.7—1 K 型管片种类

如说明图 5.5.7—2 所示,径向插入型管片的接头角度按 $\alpha_r = \theta_k/2 + \omega$ 计算。其中 ω 是插入管片所需富裕的角度,一般采用 $2^\circ \sim 5^\circ$,可能条件下取较小值。轴向插入型管片一般可不设接头角度,但考虑包括盾构长度在内的施工条件及管片接头的干扰,有时也需要设定接头角度。

管片插入角一般取 $17^\circ \sim 24^\circ$,具体根据施工条件决定。



说明图 5.5.7—2 管片接头角与插入角

5.5.8

1 目前所采用的接头有螺栓接头、铰接头、插销式接头和榫接头等。螺栓接头:螺栓接头是最常用的接头形式,它采用螺栓将管片连接成环,然后再将衬砌环拼装成隧道衬砌结构。管片设计时需考虑螺栓接头对结构的影响,螺栓孔与螺栓尺寸根据现行相关规范进行配套设计。铰接头:该种接头多为转向接头结构,由于该种接头几乎不承受弯矩,轴向压力占主导地位,在良好地层条件下是一种合理的结构,但在地层条件较差且地下水位高的地层条件下,结构变形及稳定较难达到预期要求。因此,该种接头在地层条件良好的英国和俄罗斯应用比较广泛,但我国及日本等地下水位较高的国家基本不采用。插销式接头:插销式接头在管片纵向接头中应用较多,有作业效率高、对自动化施工适应性强等优点。插销式接头不但能确保衬砌环错缝拼装时的纵向效应(从相邻管片上传递剪力),同时还具有锁销的功能,对确保隧道轴向的连续性以及隧道的防水都具有一定作用。榫接头:榫接头主要用在衬砌环的纵向接头方面,接头部分设有凹凸,通过凹凸部位的啮合作用进行力的传递,一般情况下榫接头都与有紧固力的接头一起使用。由于接头的组装精度高,故对施工管理的要求也相应较高。

管片拼装用的螺栓分为环向和纵向两种,通常是将数个螺栓布置为 1 排或 2 排。螺栓的布置同时考虑管片的可制作性、强度、刚度、防水和施工的难易等。一般情况下管片螺栓布置原则为:当管片厚度不大,螺栓布置为 1 排,设于离管片内侧 $1/4 \sim 1/2$ 管片厚度的位置。当厚度较大时,为确保强度和刚度,一般布置为 2 排。具体管片螺栓孔设置根据自身特点再细化。混凝土平板型管片布置螺栓孔时考虑接头部位的应力传递和配筋问题、与楔形管片的匹配等可制作性和截面缺损部分的平衡等因素。混凝土箱型管片,当管片厚度较小时,沿宽度方向 1 排均匀地布置 3 根螺栓,当管片厚度较大时,通常分为 2 排,外径侧 2 根,内径侧 3 根,均衡交错布置。加大主肋厚度的重荷载箱型管片,主肋上布置螺栓,以

确保接头的强度和刚度。钢管片和球墨管片沿圆周方向布置在各纵肋之间的中心处,螺栓布置时还同时考虑管片的强度、刚度和防水。

2 根据壁后注浆要求,管片需设置注浆孔,通常每个管片至少设 1 个注浆孔。由于注浆孔数量增加会相应增加渗漏水的可能性,因此混凝土平板型管片和球墨铸铁管片大多将壁后注浆孔同时兼作吊装孔。

5.5.9 钢筋混凝土衬砌环管片防撞设计主要指管片在生产、运输及拼装过程中的防撞构造措施,同时钢筋混凝土衬砌环管片还考虑结构耐久性、耐腐蚀等特殊环境及条件下的设计。

5.6.1 特殊情况下,可以先通过盾构井端或竖井先施工一段矿山法洞室,盾构在矿山法洞室内进行始发、接收和通过。以上矿山法洞室可根据现行《铁路隧道设计规范》TB 10003 相关规定和要求进行设计。

5.6.4 盾构工作井的设计应注意以下几点:

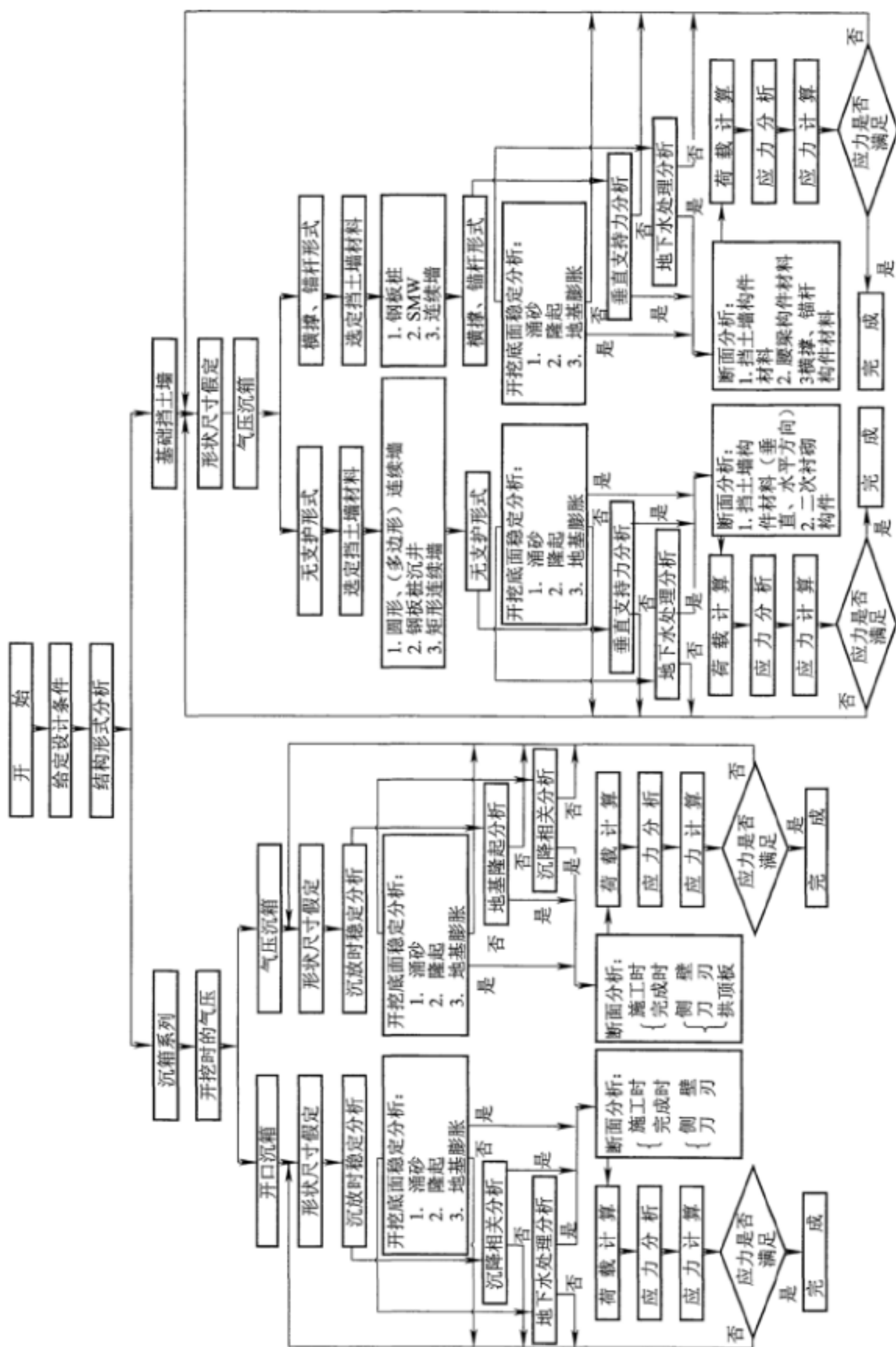
(1)盾构工作井在横断面及长度方向上各留出一定的富裕空间以便盾构组装(拆卸)、初期推进出渣、运送管片等,通常矩形断面盾构工作井宽度至少大于盾构外径 3 m,长度至少大于盾构主机长度 3 m。

(2)盾构下侧留有组装(拆卸)和从工作井向外排水(土)所需的空间。

(3)盾构组装台需能承受盾构的自重和组装盾构时的临时移动荷载,在组装台上面需设置轨道或其他适于移动盾构用的导轨,组装台需能保证盾构在洞内容易推进和不发生摆动。

(4)由于盾构始发时的反力通过临时组装的管片或钢制后背传给后面的井壁或地层,因此设计的井壁及支挡方法需与之匹配。

5.6.5 一般情况下,盾构工作井围护结构按照说明图 5.6.5 进行设计。



说明图 5.6.5 盾构工作井围护结构设计流程图

5.6.8 若洞口后浇环梁与盾构隧道间设计为刚性连接,需在靠近洞门段的衬砌环间设置变形缝。

6.2.1 盾构选型步骤、主要技术参数选用主要有如下内容:

(1)刀盘直径,刀盘驱动功率,推力与扭矩,掘进速度。

(2)刀具配置、刀盘形式及开口率、驱动形式及功率等。

(3)螺旋输送机功率、直径、长度,送排泥管直径,送排泥泵功率、扬程等。

6.3.1 盾构按功能分类,主要包括掘进系统、盾体、人舱及物料舱、主驱动系统、推进系统、出渣系统、渣土改良系统、管片吊运及拼装系统、同步注浆系统、润滑及密封系统、动力系统、数据采集及控制系统、导向系统、通风系统、通信系统、视频监控系统、有害气体监测系统、消防安全系统等。大直径盾构管片拼装系统一般还包括管片卸载系统,其卸载能力也需要与管片重量相匹配。盾构的动力系统为其他系统提供动力,分为高压供电系统和低压供电系统。盾构的控制系统是用来采集、显示、分析和处理各系统参数,使各系统能够按照要求正常工作。通风照明系统的功率与隧道通风需求相匹配,保证隧道内空气正常流通、照明良好。盾构配置应急照明设备,在停电的情况下应急照明时间不低于1 h。盾构的网络通信系统具有高的可靠性和传输能力,或具有远程数据传输的功能。

6.4.2 盾构外径计算方式一般参考下式进行:

$$D_{dw} = D_g + 2(\delta + h_t) \quad (\text{说明 } 6.4.2)$$

式中 D_{dw} ——盾构外径(m);

D_g ——管片外径(m);

δ ——盾尾间隙(m);

h_t ——盾尾壳板厚度(m)。

6.4.5 盾构推力计算方式一般参考下式进行:

$$F_e = k_a F_d \quad (\text{说明 } 6.4.5-1)$$

式中 F_e ——盾构装备总推力(kN);

k_a ——安全储备系数,一般取 1.5~2;

F_d ——盾构推进时的总阻力, $F_d = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$;

F_1 ——盾构推进时的盾壳与周围地层的阻力(kN);

F_2 ——刀盘面板的推进阻力(kN);

F_3 ——管片与盾尾间的摩擦阻力(kN);

F_4 ——切口环贯入地层的贯入阻力(kN);

F_5 ——后配套拖车的牵引阻力(kN)。

(1)盾构推进时的盾壳与周围地层的阻力

1)对于砂质土

$$F_1 = 0.25\pi D_{dw} L_{dk} (2P_e + 2K_t P_e + K_t \gamma D_{dw}) \mu_1 + W_{dg} \mu_1$$

(说明 6.4.5—2)

式中 D_{dw} ——盾构外径(m);

L_{dk} ——盾壳总长度(m);

P_e ——作用在盾构上顶部的竖直土压强度(kPa);

K_t ——开挖面上的静止土压力系数;

γ ——开挖面上的土体浮重度(kN/m³);

μ_1 ——地层与盾壳间的摩擦系数,通常取 $\mu_1 = 0.5/\tan\varphi$,
 φ 为土体的内摩擦角;

W_{dg} ——盾构主机重量(kN)。

或采用以下公式简便计算:

$$F_1 = \mu_1 (\pi D_{dw} L_{dk} P_e + W_{dg}) \quad (\text{说明 6.4.5—3})$$

式中 μ_1 ——地层与盾壳间的摩擦系数,通常取 $\mu_1 = 0.5/\tan\varphi$,
 φ 为土体的内摩擦角;

D_{dw} ——盾构外径(m);

L_{dk} ——盾壳总长度(m);

P_e ——作用在盾构上顶部的竖直土压强度(kPa);

W_{dg} ——盾构主机重量(kN)。

2)对黏性土

$$F_1 = \pi D_{dw} L_{dk} C_t \quad (\text{说明 6.4.5—4})$$

式中 D_{dw} ——盾构外径(m);
 L_{dk} ——盾壳总长度(m);
 C_t ——开挖面上土体的内聚力(kPa)。

(2)刀盘面板上的推进阻力

$$F_2 = 0.25\pi D_{dw}^2 P_f \quad (\text{说明 } 6.4.5-5)$$

式中 D_{dw} ——盾构外径(m);
 P_f ——开挖面前方的压力(kPa)。

(3)管片与盾尾间的摩擦阻力

$$F_3 = n_1 W_s \mu_2 + \pi D_g b P_t n_2 \mu_2 \quad (\text{说明 } 6.4.5-6)$$

式中 n_1 ——盾尾内管片的环数;
 W_s ——一环管片的重量(kN);
 μ_2 ——盾尾刷与管片的摩擦系数,通常取 0.3~0.5;
 D_g ——管片外径(m);
 b ——每道盾尾刷与管片的接触长度(m);
 P_t ——盾尾刷内油脂压力(kPa);
 n_2 ——盾尾刷的层数。

(4)切口环贯入地层的阻力

1)对砂质土

$$F_4 = \pi(D_{dw}^2 - D_{dn}^2)P_3 + \pi D_{dw} t K_p P_m \quad (\text{说明 } 6.4.5-7)$$

式中 D_{dw} ——前盾外径(m);
 D_{dn} ——前盾内径(m);
 P_3 ——切口环插入处的地层平均土压(kPa);
 t ——切口环插入地层的深度(m);
 K_p ——被动土压力系数;
 P_m ——作用在盾构上的平均土压力(kPa)。

2)对黏性土

$$F_4 = \pi(D_{dw}^2 - D_{dn}^2)P_3 + \pi D_{dn}tC_t \quad (\text{说明 } 6.4.5-8)$$

式中 C_t ——开挖面上土体的内聚力(kPa)。

(5)后配套拖车的牵引阻力

$$F_5 = W_b\mu_3 \quad (\text{说明 } 6.4.5-9)$$

式中 W_b ——后配套拖车及拖车上设备的总重量(kN);

μ_3 ——后配套拖车与运行轨道间的摩擦系数。

6.4.6 刀盘主驱动功率计算方式一般参考下式进行:

$$W_0 = A_w T\omega / \eta_1 \quad (\text{说明 } 6.4.6)$$

式中 W_0 ——主驱动功率(kW);

A_w ——功率储备系数,一般为 1.2~1.5;

T ——刀盘额定扭矩(kN·m);

ω ——刀盘角速度(r/s);

η_1 ——主驱动系统传动效率(kW)。

6.4.10 同步注浆能力计算

(1)每环管片的理论注浆量一般参考下式进行:

$$Q = 0.25\pi\eta_2(D^2 - D_w^2)L \quad (\text{说明 } 6.4.10-1)$$

式中 Q ——每环管片的建筑空隙,即每环管片的理论注浆量(m³);

η_2 ——注浆量填充系数,一般取 1.3~2.5;

D ——盾构隧道开挖外轮廓直径(m);

D_w ——衬砌环外径(m);

L ——管片宽度(m)。

(2)每推进一环的最短时间一般参考下式进行:

$$t = L/v \quad (\text{说明 } 6.4.10-2)$$

式中 L ——管片宽度(m);

v ——最大推进速度(m/h)。

3)理论注浆能力一般参考下式进行:

$$q = Q/t = 0.25\pi v(D^2 - D_w^2)L$$

(说明 6.4.10—3)

式中 q ——同步注浆系统理论注浆能力(m^3/h);

D ——盾构隧道开挖外轮廓直径(m);

D_w ——衬砌环外径(m);

v ——最大推进速度(m/h)。

4)额定注浆能力

同步注浆泵需要的额定注浆能力 q_p 主要考虑地层注入率 λ 和注浆泵的效率 η 两个因素:

$$q_p = \lambda/\eta = 0.25\pi\lambda v(D^2 - D_w^2)/\eta$$

(说明 6.4.10—4)

式中 λ ——地层的注入系数,根据地层而异,一般为 $1.5\sim 1.8$;

D ——盾构隧道开挖内轮廓直径(m);

D_w ——衬砌环外径(m);

v ——最大推进速度(m/h);

η ——注浆泵效率。

7.1.2 施工场地总平面布置要最大程度地满足施工进度、方法、工艺流程及施工组织的需求,平面布置要合理、紧凑,尽可能减少施工用地;合理组织运输,保证场地道路畅通,运输方便。

7.1.4 施工前建立统一的施工测量和监控量测系统,避免造成重大失误。施工测量控制点位埋设地点要选在施工影响范围之外,个别埋设在影响范围之内的要经常检核。

7.1.5 辅助施工设备结合工程的特点和施工环境进行优化配置,因围岩条件、施工环境及施工方法的不同而不同。配备辅助施工设备时,要考虑提高施工安全性和施工效率并改善工作环境。主要有以下辅助设施:

(1)材料堆放场和仓库。

(2)联络通信设施。

- (3)施工通风设施。
- (4)充电设备。
- (5)浆液搅拌站及相应管路和运输设备。
- (6)给排水设备。
- (7)压缩空气设备。
- (8)盾构始发、到达及调头设备与设施。
- (9)渣土临时存放场。

7.1.6 隧道施工运输主要包括:渣土、管片以及各种机具设备、材料的运输。选用的运输机械要满足隧道施工进度计划、隧道断面尺寸、施工机具与材料的尺寸、重量等要求。垂直与水平运输的转换作业要重点考虑安全、迅速和方便因素。

7.2.4 水平控制网的点位主要由两部分组成,一部分是 GPS 控制点,另一部分是加密的导线点。导线点与在其旁边所作的附合点组成闭合导线环进行复测,开工前复测一次,以后根据施工进度在复测洞内控制点时进行复测,或根据现场需要组织复测,避免出现错误。

高程控制网的水准点,开工前复测一次,以后根据施工进度在复测动态控制点时进行复测,或根据现场需要组织复测,最大限度避免失误给施工带来损失。

7.2.5 盾构法隧道施工测量的目的是保证盾构隧道掘进和管片拼装按隧道设计轴线施工,建立隧道贯通段两端地面控制网之间的直接联系,并将地面上的坐标、方位和高程适时地导入地下联系测量,作为后续工程(铺轨、设备安装等)的测量依据。

7.2.6 盾构部件一般重量大、体积大、价值大,组装前的部件存放场的地基承载力满足设备存放安全,避免造成损失。

7.3.3 盾构施工过程中,管片起到衬砌隧道、为盾构提供前进推力、防水等主要作用,故要求管片有足够的强度和很好的防水性。同时,管片外表面的不均匀、蜂窝、气泡等对盾尾刷也有很大的损害,影响盾尾刷的密封性和防水性。因此管片进场后需要进行外

观检查,淘汰不符合质量标准的,对管片轻微缺陷进行修饰。

7.3.5 场地不平整容易产生局部应力集中或过大,从而导致管片变形或破坏。

7.4.1 SMW 工法桩。SMW 是 Soil Mixing Wall 的缩写,SMW 工法连续墙于 1976 年在日本问世。SMW 工法以多轴型钻掘搅拌机在现场向一定深度进行钻掘,同时在钻头处喷出水泥系强化剂而与地基土反复混合搅拌,在各施工单元之间采取重叠搭接施工,然后在水泥土混合体未结硬前插入型钢或钢板作为其应力补强材,至水泥结硬,便形成一道具有一定强度和刚度的、连续完整的、无接缝的地下墙体。

7.4.2 在盾构始发掘进和达到掘进时,随着工作井挡土墙的拆除,端头土体的结构、作用荷载和应力将发生变化,对始发掘进和达到掘进的工作井端头需进行土体加固。加固方案要根据洞口附近隧道埋深、工程地质和水文地质条件、盾构类型、盾构外径、地面环境等条件确定,加固方法一般选用注浆、旋喷桩、搅拌桩、玻璃纤维桩、SMW 桩、冻结法、降水法或组合加固等。当洞口处于砂性土或有承压水地层时,一般采取降水、堵漏等防止涌水、涌砂措施。

7.4.3 端头加固后,对洞口段土体的加固效果作检查,加固体强度、抗渗指标经现场取样试验确定,应满足设计要求。如不能满足设计要求时,通过分析原因并采取措施补强,以保证盾构始发和接收的安全。

7.4.5 空载调试阶段的工作是在盾构吊到井底后按照空载调试大纲对其总装质量及各种功能进行检查和调试;试掘进负载调试是通过试掘进期间进行重载调试,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生产要求的工作状态,经调试并验收合格后交付使用。

7.4.7 洞门凿除一般采用人工用高压风镐进行。凿除工作一般分两次进行,第一次先凿除外层 500 mm 厚混凝土并割除钢筋计

预埋件,保留最内层钢筋,外层凿除工作先上部后下部。第二步,当盾构组装、调试完成后,并推进至距离洞门约 1.0 m~1.5 m 时,凿除里层。里层凿除方法是根据断面大小的不同将其分割成 9~20 块。

7.4.10 衬砌环面控制是根据隧道轴线线型和管片形式综合分析后确定。当盾构进入软土时,还要考虑盾构下沉的可能性,因此水平标高按预计下沉量进行抬高。

7.5.5 盾构掘进施工中,经常测量和复核隧道轴线、管片状态及盾构姿态,便于发现偏差,及时纠正。

7.5.7 盾构纠偏是通过调整盾构姿态的方法来纠偏。纠正横向偏差和竖向偏差时,通常采取分区控制盾构推进液压缸的方法进行纠偏;纠正滚动偏差时采用改变刀盘旋转方向、施加反向旋转力矩的方法进行纠偏;曲线段纠偏时通常采取使用盾构超挖刀适当超挖增大建筑间隙的办法来纠偏。当偏差过大时,不能一次完成纠偏,要在较长距离内分次限量逐步完成。

7.5.8 土仓压力是利用开挖下来的渣土填充土仓和气体等平衡介质来建立的,一般根据地层情况、隧道设计埋深、地表沉降监测信息等确定土仓内渣土量,通过使开挖的渣土量与排出的渣土量相平衡的方法来保持。

7.5.9 根据盾构穿越的地层条件,有选择地向土仓内适当注入泥浆或水、泡沫剂、聚合物等添加剂,以改良仓内土质,使其保持一定程度的塑性流动状态。其中,因岩石地层以及岩、土混合地层含泥量小,开挖下来的渣土流塑性差,形成对开挖面支撑和止水作用的平衡压力效果差,并且地层和渣土对刀盘、刀具和螺旋出土机构的磨损大,因此盾构掘进中渣土改良措施不能避免,通过向刀盘前、土仓内和螺旋输送机内注入添加剂,以改善渣土的流塑性,稳定工作面 and 防止喷涌,并降低对刀盘、刀具和螺旋出土机构的磨损。

7.5.23 盾构法隧道施工中建立信息管理体系,制定信息管理制度,目的是便于及时了解施工现场情况,方便及时采取措施。要鼓

励有条件的施工现场配置地面远程监控系统,将盾构掘进参数实时传递到地面监控中心。

7.7.2 盾构保养与维修包括日常保养与维修和定期保养与维修。每日维护保养通常是由盾构操作人员和盾构日常维护人员按规定的检查路线,按照清洁、紧固、调整、润滑、防腐等程序对盾构进行维护保养,清除故障隐患。

7.7.6 保养与维修记录内容一般包括:时间、维保人员姓名、维保部位名称、维保部位运行情况或故障描述、原因分析、维保内容、维保后的设备运行情况等。

施工单位通过定期对盾构保养与维修记录、总结、周期分析报告进行研究,及时调整盾构设备的掘进参数,合理更新相关设备,确保盾构施工效率和施工质量。周期分析报告内容包括:情况统计、原因分析、改进建议等。

8.1.1 在软弱地层或含水地层内进行盾构法隧道施工时,为稳定开挖面,进行涌水处理的同时,还要将施工引起的地表沉陷、邻近建(构)筑的沉降及变形控制在允许范围。为此,盾构工程需根据地质及施工条件,采取各种辅助施工方法。通常采用注浆加固法、深层搅拌桩法、高压喷射旋喷法、降水法、冻结法、孤石爆破处理或几种方法组合处理措施等。当被加固区土质松软,不存在杂填土时,通常采用深层搅拌桩作为防渗帷幕墙;在可处理或排放废弃泥浆的场合,通常采用高压旋喷桩作为地下防渗帷幕墙;在施工场地狭窄、大型设备进出困难、加固深度大的工程条件下,通常采用分层注浆加固。

辅助施工方法用于下列三个方面:

(1)稳定开挖面的辅助工法:目前主要用于开放型或部分开放型盾构施工以及在砂卵石地层中途换刀地点,采用降水、气压或注浆加固等辅助工法,以达到提高地层黏聚力,增大地层强度,降低地层的地下水位和渗透系数,稳定开挖面的目的。

(2)始发井、接收井的辅助工法:盾构始发和接收工作井时,由

于工作井壁的拆除,土体失去侧向支护,致使地下水及土体一起涌入工作井内,造成地面大范围的沉陷。因此,始发井、接收井端部地层加固工程是盾构施工中非常重要的部分,需予以高度重视。其辅助工法的选用、加固的范围根据地质条件、盾构类型、加固深度、周围环境情况进行选择。

工作井的地层加固在盾构始发或接收前提前进行,并抽样进行质量检查,如加固质量和范围未达到设计要求,需进行整改,以确保盾构施工的绝对安全。

(3)特殊地段的辅助工法:

1)联络通道目前国内多采用矿山法施工,为确保盾构管片拆除时地层的稳定以及联络通道施工期间的安全,需对联络通道周围地层进行加固处理。

2)当盾构穿越浅覆土地段,为防止地层过度沉陷或隆起,需对上覆地层进行加固,提高地层强度,增加地层黏聚力。

3)在城市修建盾构法隧道,往往在重要建(构)筑物下方或邻近穿过。由于盾构施工造成周围围岩的变形,将对建(构)筑物的安全及正常使用带来影响,这时仅仅依靠调整施工参数、加强掘进管理已不能完全凑效,需预先采取可靠的保护措施。当盾构已侵入建筑物的基础范围,切断了原有桩基础或紧贴基础下方施工,造成基础有害沉降时,需在盾构开挖影响范围之外增设新的支承桩,以托换建筑物的基础,这种方法称为桩基托换法,已广泛用于国内城市地铁盾构工程中。如深圳地铁1号线百货广场的主动桩基托换工程,被托换桩径达2 m,桩承载力达1 900 t。经检测,施工过程中房屋最大变形3 mm。桩基托换方法防止建筑物的变形最为有效,但工程规模往往很大。

为了防止盾构通过时产生地层松动和沉陷对原有建筑物造成不利影响,在隧道与建筑物之间设置板桩、排桩、地下连续墙、高压喷射注浆等,形成一道隔墙,切断盾构施工地层变形对建筑物的影响,这种方法叫隔墙法。隔墙形成后对控制原有建筑物的变形是

有效的,由于施工比较简单,作为邻近施工防护使用。但是隔墙也是紧靠原有建筑物施工,所以,在建造隔墙时,也考虑施工对建筑物的影响。

除去上述两种方法,在邻近建(构)筑物施工时,向隧道周围地层或者建筑物附近的地层进行注浆,使地基固结,以控制盾构通过时的松动范围,保护建(构)筑物结构的安全,这种方法简单易行,是常用的辅助施工法。但是需要根据地质和地基条件,选用适宜的浆液和注浆方法,而且要进行严格的施工管理,否则不能达到预期的效果。

4)当隧道长度较大且中途不设中间竖井,或者工期紧采用两台盾构对向掘进时,一般采用在地中对接的方法。进行前期策划时,要重视选择条件适宜地点和工法选择,采用辅助工法对周边地层进行加固处理,如冻结法、高压喷射法、注浆加固等,以防止对接时地层坍塌和地下水流入。

5)在盾构掘进中,工作面基岩强度较高,如平均强度高于 120 MPa,如采用盾构直接掘进,基岩、孤石对盾构刀盘损坏将非常严重,这种情况将使用辅助方法对孤石进行预处理。对小的孤石进行碎石机处理,对较大的进行爆破处理。

8.2.1 注浆加固是以增加地基强度或不透水为目的,把注入的浆液强制填充到围岩的间隙或裂缝里。注浆不改变土粒的排列,只是将注入浆液渗透到土的间隙中的渗透注浆,这种方法适用于砂质地层。另一种是使地层出现裂缝或沿层面形成脉状裂缝的劈裂注浆方法,适合于黏土地层。

注浆法还能减少盾构掘进过程中引起的地表沉降。一般密闭式盾构使用最多的是注浆法,盾尾注浆用以填补建筑间隙,以减少地面沉降。

8.3.1 深层搅拌桩是软土地基加固和深基坑开挖侧向支护常用方法之一,深层搅拌桩法适用于处理淤泥质黏土,淤泥质粉质黏土,含水量较高、地基承载力小于 0.12 MPa 的黏土、粉质黏土等

软土地基加固,工艺原理是利用深层搅拌机械,用水泥作为固化剂与地基土进行原位的强制粉碎拌和,待固化后形成不同形状的桩、墙体或块体。

(1)特点

1)固化桩与原地基构成复合地基,改善了地基的承载力和变形模量。

2)能自立支护挡土,不需要支撑和拉锚。

3)桩体连接成壁后有隔水帷幕作用。

4)施工中无振动、无噪声、无污染,对周围建筑物和地下管线影响小。

5)施工机具简单,操作方便,造价低,为文明施工创造了较好条件。尤其在施工场地较小的地方,采用更为合理。

(2)适用范围

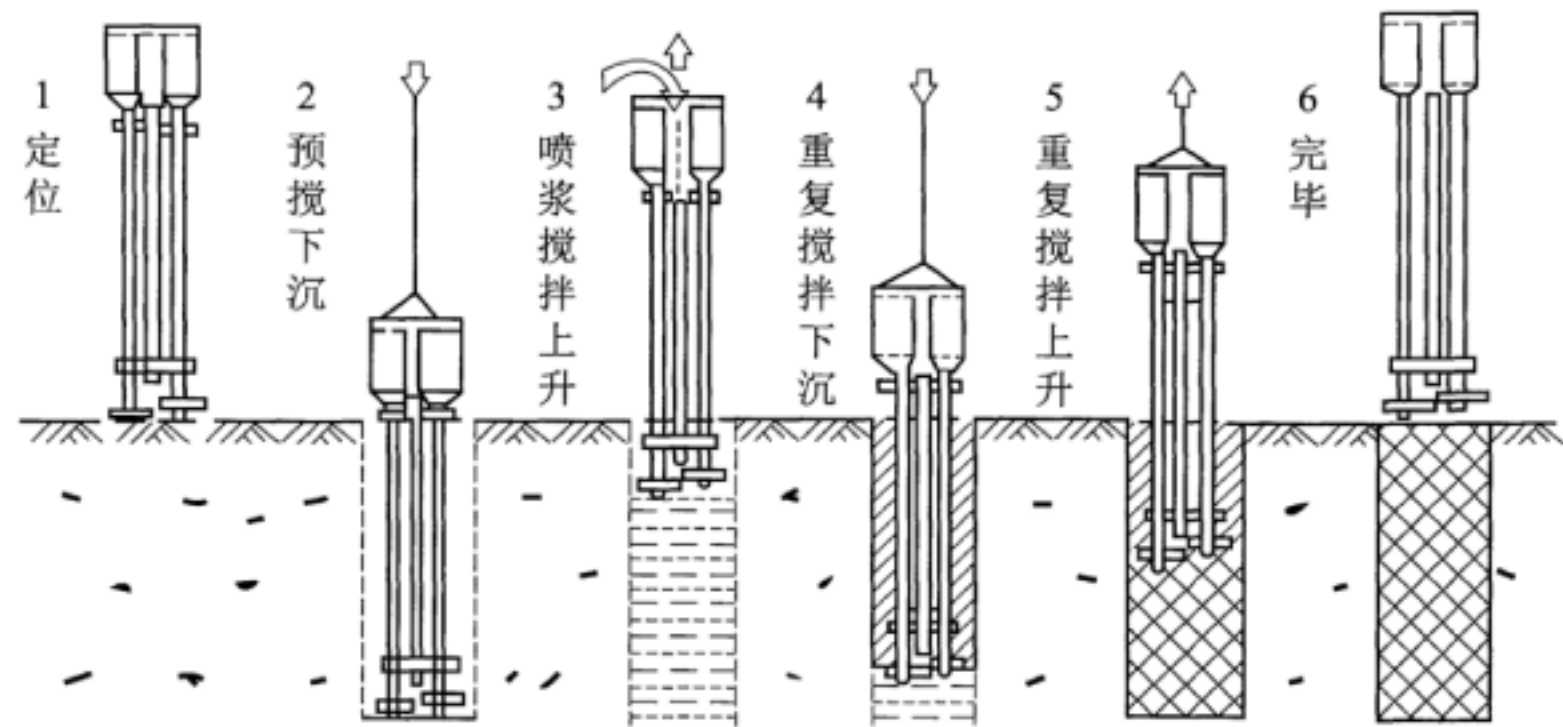
1)软土地基加固,包括盾构进出洞土体加固。

2)侧向挡土支护结构,而且对临近建筑物等有良好的保护作用。

3)隔水、防流砂的帷幕工程。

(3)施工流程

深层搅拌法施工流程见说明图 8.3.1。



说明图 8.3.1 深层搅拌法施工流程

1) 深层搅拌机就位。

2) 搅拌下沉: 启动电动机, 根据土质情况按计算速率, 放松卷扬机, 使搅拌头自上而下切土拌和下沉, 直到设计深度。

3) 注浆搅拌提升: 待水泥浆到达搅拌头后, 按计算要求的速度提升搅拌头, 边注浆、边搅拌、边提升, 使水泥浆和原地基土充分拌和, 直至提升到桩顶设计标高后再关闭泵。

4) 重复搅拌下沉: 再次将搅拌机边搅拌边下沉至设计标高。

5) 重复搅拌提升(不注浆): 边搅拌边提升至自然地面, 关闭搅拌机, 即完成 1 根桩的成桩。

(4) 施工要点

1) 开机前要探明和清除一切地下障碍物, 回填土要分批回填夯实, 以确保桩的质量。

2) 保证桩机行驶路轨和轨枕不下沉, 桩机垂直偏差一般不大于 1%。

3) 水泥一般采用 32.5 级普通硅酸盐水泥, 水泥掺入比一般选用范围 8%~16%, 根据不同地质情况和工期要求掺加不同类型外加剂。

4) 严格控制注浆量和提升速度, 防止出现夹心层或断浆情况。

5) 搅拌头两次提升的速度应该控制在 $2.5 \text{ m/min} \sim 3 \text{ m/min}$ 。注浆泵出口压力控制在 $0.4 \text{ MPa} \sim 0.6 \text{ MPa}$ 。

6) 桩与桩搭接的工程要注意下列事项。

① 桩与桩搭接时间不能大于 24 h。

② 如超过 24 h, 在第二根桩施工时增加注浆量, 一般增加 20%, 同时减慢提升速度。

③ 如相隔时间太长, 第二根桩无法搭接, 在设计认可下采取局部补桩或注浆措施。

7) 预防桩机预搅下沉, 结合原土情况, 保证充分破碎原状土的结构, 使之利于同水泥浆均匀拌和。

8)采用标准水箱,严格控制水灰比,水泥浆搅拌时间不少于 2 min~3 min,滤浆后倒入集料池中,随后不断搅拌,防止水泥离析。压浆连续进行,不可中断。

9)每个台班做试块一组(三块),28 天后测定无侧限抗压强度,需达到设计标号。

(5)质量标准

除了参照国家有关标准外,还需着重注意以下几点:

1)成桩垂直度偏差不超过 1%,桩位布置偏差不大于 50 mm。

2)搅拌桩桩体搅拌均匀,表面要密实、平整。

3)桩顶标高和桩深满足设计要求。

4)水泥浆灌入量无异常、过少现象。

8.4.1 高压旋喷法有单管法、二重管法、三重管法以及近年出现的多重管法。它在地基加固、提高地基承载力、改善土质,进行护壁、挡土、隔水等方面起到了很好的作用。

(1)特点

1)高压旋喷桩法可以指定加固某一深度的土层。

2)可以克服渗透系数很小的细颗粒土层中无法进行灌注浆液的土体加固,并且浆液灌注均匀,范围可调节控制。

3)在上方公用管线间距狭小或构筑物仅有小狭缝的场合,可进行加固土体。

4)结合定喷法,可有效地形成垂直向隔水墙、水平向隔水墙或封闭式的隔水帷幕。

5)使用方便,移动灵活,既能形成单排桩体,又能形成多排桩体,桩径可以适当调节。

6)对排出泥浆可回收利用,改善施工环境,节省外运费用。

(2)适用范围

适用于砂土、黏性土、淤泥土及人工填土等土质。

(3)工艺原理

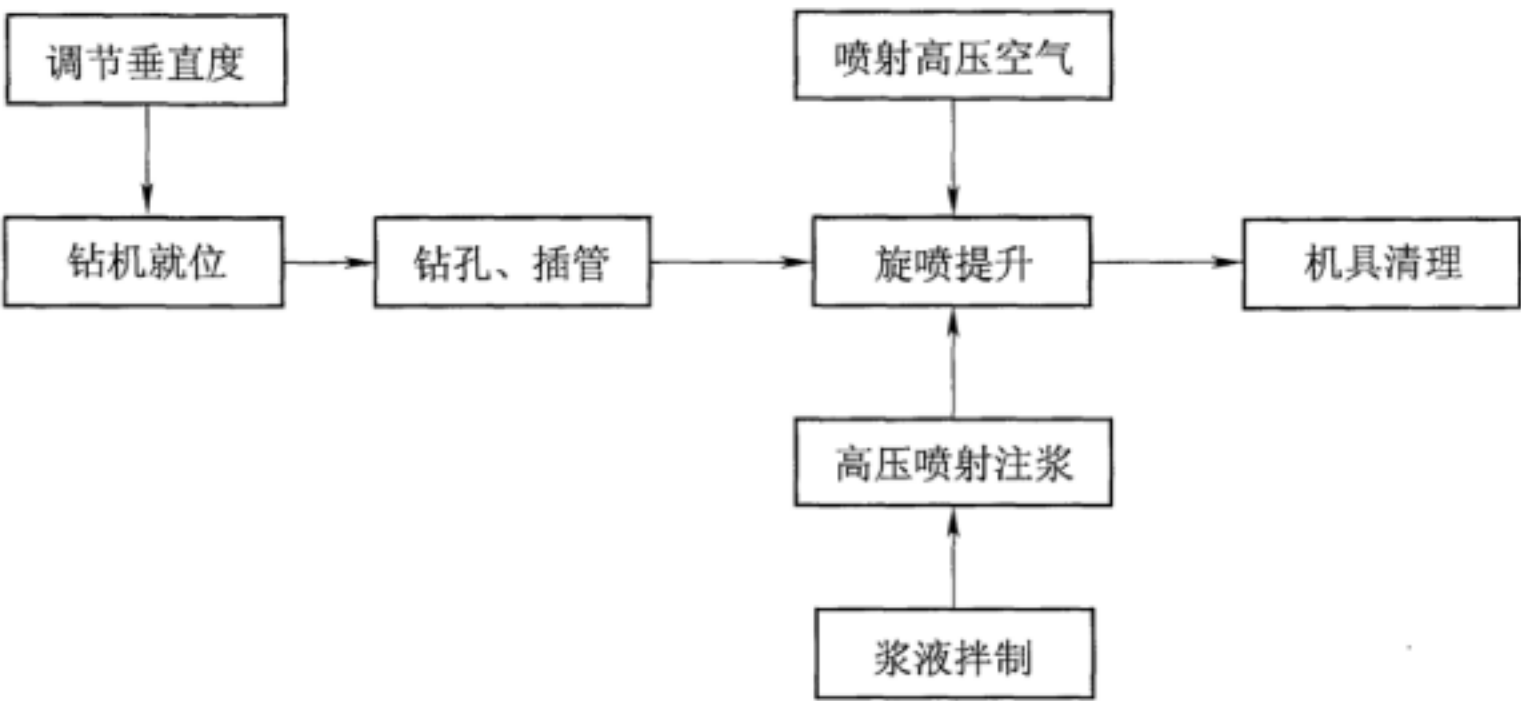
利用工程钻机钻孔到设计深度,将一定压力的水泥浆液和空

气,通过其端部侧面的特殊喷嘴同时喷射,并强制与喷射出来的浆液混合,胶结硬化。喷射的同时,旋转并以一定速度提升注浆管,即在土体中形成直径明显的拌和加固体。

桩间叠合就成了隔水、挡土的护壁墙。

(4) 施 工 流 程

高压旋喷桩施工流程见说明图 8. 4. 1。



说明图 8. 4. 1 高压旋喷桩施工流程

钻机就位:主要是指需要钻孔后才能安放注浆管,若直接打入或沉下注浆管就不必钻孔,但需保证其垂直度。

插管在钻孔后立即进行,不能间隔太长时间。

旋喷提升:同时喷射浆液和气体。提升速度与浆液流量密切配合,以免桩径及桩体质量达不到设计要求。同时提升速度还需与旋转速度相配合。

机具清理:冲洗注浆管。全部完毕或阶段性停顿时,要对拌浆、注浆设备作清理。

(5) 施 工 要 求

1) 水泥:视浆液类型(普通型、早强型、抗渗型等)进行选用,但要求不受潮、不结块、新鲜及各项指标符合国家规定。有抗渗要求的不采用矿渣水泥。

2)拌浆用水:要求清洁、无劣质、无侵蚀性、酸碱度适中。一般可饮用的河水、井水及其他清洁水均可。

3)外掺剂:为改善浆液性能,促使其早强,提高抗渗及可喷性,可用外掺剂如下:

①促凝、早强,外掺 2%~4%氯化钙或 3%~5%三乙醇胺,食盐 1%及氯化钙 2%~3%。

②提高抗渗性能,初凝快,终凝时间长,外掺 2%~4%水玻璃,10%~50%膨润土。

4)浆液:要求搅拌均匀,可喷性好,没有堵塞管道及喷嘴的块状物。要控制在初凝时间内使用。

(6)质量标准

1)开挖检查:待浆液达到一定强度即开挖土体,检查成桩的垂直度、桩间结合状况及桩径大小。

2)钻孔检查:在已旋喷好并固结完成的桩体中取芯样,做成标准试件进行室内物理力学性能试验。

3)进行压力注水或抽水试验,测定桩体渗透系数。

4)标准贯入试验:在旋喷固结体中部进行标准贯入试验。

5)荷载试验:做垂直或水平的载荷试验,测定其承载能力。

8.4.2 在深竖井、深基坑加固过程中,为更高效、更快速施工,经济且提高加固质量时,考虑采用超高压旋喷施工工法,即 RJP 施工工法。

(1)基本原理。

RJP 工法是利用超高压喷流体所拥有的动能破坏地基的组织构成后,混合搅拌这些被破坏的土粒子和硬化材料,从而造成大口径的改良体。具体的机械构造是充分发现根据上段的超高压水与空气喷流体进行造成引导切削,造出一定的空间后根据下段的超高压水与空气喷流体扩大切削能量,比原来的根据闭塞空间扩大切削更有效地利用了切削和破坏土体效果。另外,由于造成桩径扩大切削时的能量,顺利地将产生的泥浆排出。RJP 工法是将超

高压喷射喷嘴和水泥浆喷射嘴向着同一个方向安装,设计成来回的喷射角度,由于喷射的时候是 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 角度范围,所以改良体完全可以喷射成扇柱状,在施工场所、施工条件等方面是一种拥有优越施工性且非常经济的施工方式,这就是 RJP 工法所拥有的特殊性。

RJP 高压旋喷工法采用的三重管构造,高压水、压缩空气、超高压水泥流体采用三点独立喷射,和传统工艺不同的是采用摩擦阻力极小的喷嘴使喷射损失率减小,并使地基切削能力提高了 10% 左右。另外,RJP 高压旋喷工法与传统工艺相比能进行更高效、更快速施工,经济且加固质量高。

(2) RJP 工法特点

- 1) 可实现大深度地基的改良,最大深度达 60 m,桩径大、质量好。
- 2) 能形成扇柱状改良体。
- 3) 能随时改变旋喷参数来控制固结体的大小,大大提高工程质量。
- 4) 实现两次切削土体,确保土粒和浆液搅拌均匀。
- 5) 加固直径可以自由选择,加固范围在 $5^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 自由选择。

(3) RJP 工法适用范围

- 1) 盾构进出洞口加固、隧道间旁通道的施工加固、地下结构物、围堰坝体防渗墙。
- 2) 深基坑地下连续墙接缝止水。
- 3) 对已有建筑结构基础的补强。
- 4) 深基坑裙边、坑底加固,落深坑支护、加固。
- 5) 重力式挡土墙、保护建筑、地铁或场地受限制区域(高架、高压线)的基坑支护。

(4) RJP 工法施工流程

- 1) RJP 设备就位。
- 2) 钻孔。

- 3)喷浆。
- 4)形成加固体。
- 5)完成清洗。

(5)施工参数

1)RJP 工法在各种地质情况下的桩径设计标准,砂质土、黏性土的桩径设计标准,参见说明表 8.4.2—1。

说明表 8.4.2—1 桩径设计标准

设计喷浆 提管速度	土质	设计土层 N 层				
	砂质土	$0 < N \leq 15$	$15 < N \leq 30$	$30 < N \leq 50$	$50 < N \leq 75$	$75 < N \leq 100$
	黏性土	$0 < N \leq 1$	$1 < N \leq 3$	$3 < N \leq 5$		
15 min/m		2.8	2.6	2.4	2.2	2.0
20 min/m		3.0	2.8	2.6	2.4	2.2

- 注:1 对于黏质土壤黏结力 $c_n \leq 0.05 \text{ MN/m}^2$ 的土质。
- 2 表中 N 值为改良土体的最大贯入度值。
- 3 此表是深度小于 30 m 的有效直径。深度超过 30 m 的有效直径=标准设计有效直径—0.3 m。
- 4 有效直径在砂、砾石约 $N \leq 50$,砂质含量约 90%以内,当 $N > 50$ 时需要仔细考虑,根据试验结果确认。
- 5 施工深度超过 25 m 的深度,需要慎重考虑有效直径。
- 6 黏性土 $N \leq 5$,黏结力 c_n 在 0.09 MN/m^2 以上时,根据试验确定有效直径。

2)超高压旋喷法施工中喷射压力和喷射速度见说明表 8.4.2—2。

说明表 8.4.2—2 喷射压力和喷射速度参考表

名 称	使用材料	施工标准值	
上段超高压喷射	水	吐出压力	20 MPa
		吐出量	50 L/m
下段超高压喷射	硬化材料	吐出压力	40 MPa
		吐出量	50 L/m
压缩空气		吐出压力	1.05 MPa
		吐出量	3~7 m ³ /m

8.5.1 由于围岩的透水性好,开挖面涌水而发生开挖面坍塌时,单独采用降低地下水位施工法,也可以与其他辅助施工法并用。

8.5.2 按施工部位的不同一般分为以下几种。

(1)从地表施工的方法:人工降低地下水位是在施工范围内埋设一定数量的滤水管(井),用抽水设备抽取井内水,降低地下水位到有利于工程施工,而在施工过程中仍保持不断抽水,使工作面土体始终保持干燥,从根本上防止流砂现象的发生,同时,由于抽去土中水后,动水压力减少或消除,土体竖直面更为稳定。

采用降水法一般为地面向下打井点,所以其使用的范围、地区受到限制,但是在盾构施工进出洞阶段,这是一个主要方法,并经常使用。

用人工降低地下水位方法有:轻型井点、喷射井点、电渗井点、管井井点、深井井点等。而具体采用哪一种方法应根据土的渗透系数、要求降低水位的深度、工程特点、设备条件及现场施工条件而选择。

(2)从隧道内施工的方法:受地表条件的限制,有时不可能从地面抽水。在这种情况下,对敞开式盾构,采用从隧道内施工的井点降水施工,或利用水平钻孔、导洞等来降低地下水位。从隧道内部实施井点降水施工时,向隧道下方或斜前方设置井点进行抽水。

这时推进速度会受到限制。因为从开挖面进行水平钻孔时,需停止推进作业。

(3)各类井点的适用范围参考现行《地基与基础工程施工及验收规范》GB 50202 有关规定。

1)盾构工作井施工中,防止井内涌泥或产生流砂。

2)盾构法隧道施工中,为稳定开挖面土体,并防止盾尾涌泥漏水,井点设于盾构轴线的两侧。

3)井点降水尤其适用于盾构的进出洞施工。

4)电渗井点是一种特殊的降水方法,主要是针对含水量大、普通降水方法不适用的黏性土。

8.6.1 当用其他方法难以达到稳定开挖面土体时,采用冻结法效果较好。冻结法的主要功能是:使不稳定的含水地层能形成强度很高的冻土体;能够形成完整的防水屏蔽,起到隔水作用;能起到良好的挡土墙作用,以承受外来荷载。

(1)依其冷却地层的方式,分为直接冻结和间接冻结两大类。

1)直接冻结方式

这是一种低温液化气方法。从工厂将低温液化气(液氮 -193°C)直接运送到工地,输入到预先埋设在地层中的冻结管内,液氮在冻结管中气化而使冻结管周围地层的土壤冻结,气化后的氮气放入大气中,如说明图 8.6.1所示。

液氮冻结温度极低,冻结速度快,时间短。一般适用于暂时性的小规模工程施工,常用在一些地下的危急工程。



说明图 8.6.1 某隧道工程冻结法加固示意图

2)间接冻结方式

通常采用盐水冻结法。盐水冻结法是利用氨压缩调节制冷,并通过盐水媒介热传导原理进行冻结。一般是在工地现场设置冻结

设备,冷却不冻液(一般为盐水)至 $-20^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 。然后盐水进入冻结管内使地层土壤冻结,温度升高后的盐水回流到冻结机再冷却。这样,盐水就在热交换过程中循环不息,冻结管周围地层的冻土圆柱体直径不断扩展变大,并与相邻冻土圆柱体相交,在工程施工范围内形成完整的屏蔽,成为具有一定厚度和强度的又能防渗的挡土墙或拱形体。

盐水冻结法一般适用于规模较大的冻结工程。

(2)冻结法依其冷却位置的方式,分为水平冻结和垂直冻结两大类。

1)水平冻结

水平冻结是采用水平圆筒体冻结加固方式,即在盾构进出洞的工作井内,在洞口的周围布置一定数量的水平冻结孔,经冻结后,在洞内形成封闭的冻土帷幕,起到盾构破壁时抵御水土压力,防止土层塌落、地表沉降和泥水涌入工作井内的作用。洞口冻结孔一般布置成圆形,为了有利于施工,冻结孔也有布置成方形的。根据冻土帷幕所需厚度、强度及工期安排,可采用单排孔、双排孔或多排孔冻结,以形成所需要的冻土帷幕厚度和强度。

一般设计水平冻结深度为 $5\text{ m}\sim 10\text{ m}$,冻结孔布置圈比洞口直径大 $1.6\text{ m}\sim 2\text{ m}$,采用水平钻孔机施工。

2)垂直冻结

垂直冻结是根据板状冻结加固理论设计的,对盾构进出洞口上部的土体布置一定数量的垂直冻结孔,经冻结后,在洞门处形成板状冻土帷幕来抵御盾构进出洞破壁时的水土压力,防止土层塌落和泥水涌入工作井内。

垂直冻结可分为全深冻结和局部冻结。全深冻结是对所需要的冻结深度全部冻结,而局部冻结是一种只对盾构穿透的土层范围进行局部冰冻加固,其他土体不进行加固的局部加固方法。

盾构进出洞的两种工况条件:第一种工况条件,即盾构出洞时全部凿除洞口范围内地下连续墙的钢筋混凝土;第二种工况条件,即盾构进洞时凿除洞口范围内的钢筋混凝土。

在第一种工况条件下,冻土板状帷幕要承受水土压力的作用。而第二种工况条件,重点对周围的水进行封闭,即可达到理想的效果,部分承担土压力的作用。

(3)采用冻结法时的注意事项:

1)要根据地中温度的测定来确定地层的冻结状态。隧道内气温高时,需要盐水循环设备及对冻结地面采取保冷措施。

2)要注意由冻结管损坏等引起的盐水泄漏。通常,冻结管铺设后进行耐压试验,开挖冻结管附近的冻土时,在确认冻结管的位置后再进行。

3)地下水的流动(流速在 $1\text{ m/d}\sim 5\text{ m/d}$ 以上)会妨碍冻结的进行。地下水丰富且透水性好的砂及砂砾层中,要注意地下水流的存在。根据情况采用化学加固方法来截断地下水,或降低其流速。

4)冻土接触地中结构物时,地中结构物成了妨碍冻结的热源,所以必须研究地中结构物的冷却措施。另外,穿越河川、湖泊等的施工中使用冻结施工法时,需研究河川底与冻土顶端之间的间距。

5)冻土的强度随着温度下降而增大,但是围岩的含水率小时(10% 以下),不可指望冻土会有较高的强度。另外,冻土的强度受土中含盐量的影响,所以滨海地区要注意。

6)冻结时,地基会隆起、膨胀;解冻时,地基会下沉、收缩。隆起及下沉根据地基条件、冻结时间、冻结规模、解冻速度、荷载条件而异。一般来说,砂及砂砾层小,黏土、粉砂、砂质粉土较大。对解冻产生的地表下沉,采用循环温水强制解冻后,用化学加固等来填充空隙的强制解冻方式进行控制。采用冻结施工法时,要充分研究邻近已设结构物或埋设物的防护对策。

8.7.1 当盾构掘进前方出现强度较高、侵入洞身的基岩或直径较大的孤石时,采用盾构配备破碎设备不能正常破碎时,需采用预爆破处理手段。一般情况下,基岩强度高于 120 MPa 或直径大于 1 m 的掘进面孤石就要进行预爆破处理。

8.7.3 地面基岩、孤石爆破处理施工步骤:根据查明的基岩位置、岩面起伏情况,设计爆破钻孔施工方案→潜孔跟管钻机与地质钻

机配合成孔→跟管钻机在回填层中预先引孔、下套管→地质钻机在跟管钻机套管内下套管至基岩顶面→钻至设计标高→爆破装药→注浆加固。

地面爆破确定冲孔施工方法。测量放线→钻机定位→冲孔→钻机移位→回填→爆破孔施工。爆破时,要考虑钻孔直径、钻孔形式、火工器材选型、炸药消耗量、布孔形式等。

水面基岩孤石处理关键技术控制内容包括:钻爆船定位控制、钻孔定位及成孔控制。

9.1.2 隧道主要渗、漏水通道是管片和衬砌环接缝。管片接缝防水一般采用防水密封垫(止水带),通过螺栓和拼装管片成环后盾构推进液压缸反力(压力、项力)挤压密贴而达到防水目的。管片拼装成环后,要检查接缝是否密贴和有无渗水,并采取再次紧固螺栓方法处理。对于严重渗漏处可采用二次补强注浆的方法处理。对壁后注浆一般采用有密封垫圈的注浆孔塞防水。对隧道沉降缝等特殊部位的防水要按设计要求进行详细施作。

9.3.2 管片螺栓孔的防水按设计要求和构造尺寸制成环状垫圈,依靠紧固螺栓而达到防水目的。必要时,在征得设计许可后进行螺栓孔注浆。

9.3.3 隧道变形缝和柔性接头是变形集中、变形量大的特殊部位,因此防水处理和结构施工要严格按设计要求实施,以达到隧道整体防水的目的。

9.4.1 接缝密封垫需选择具有合理构造形式、良好回弹性及遇水膨胀性、耐久性、耐水性的橡胶类材料。嵌缝防水材料弹塑性、收缩性小、与潮湿混凝土结合力强、便于施工等特性。嵌缝作业一般在盾构掘进影响范围外进行。

9.4.3 侵蚀性介质的地层一般是指化学侵蚀环境达到 H3、H4 级的地层,管片混凝土结构,除了混凝土的配合比和耐久性指标满足相应要求外,管片表面还要采取涂装或设防护面层等附加防腐蚀措施。

9.5.4 在软弱地层中盾构掘进时所产生的掉块、塌落、地层下沉等

现象产生的偏压作用在隧道上的管片接缝张开,这是隧道产生漏水的主要原因,因此在盾构掘进过程中及时在管片壁后进行充分注浆,管片壁后注浆达到一定厚度将不仅能防止由于偏压产生的漏水,而且在其自身作为防水层方面也能发挥较大作用。管片接缝防水是最重要的,具有很高的可靠性。对接头防水而言,在满足衬砌管片的自身抗渗性和管片的制作精度的条件下,密封材料是不可缺少的。

9.6.1 在盾构法隧道长距离掘进过程中,正常掘进用水如管片清洗、盾构清理、掘进过程中的漏浆、喷涌等,还有管片质量引起的渗漏水,当水量过大时,会导致掘进延缓或停止,故在联络通道处设集水井,将隧道多余的污水通过管路引排至集水井,并机械抽排出地面。

10.1.1 隧道开挖过程中使用各种类型的仪表和工具(包括观察)对围岩和支护、衬砌的力学行为以及它们之间的力学关系进行观测,并对其稳定性进行评价,统称为监控量测。

与一般地面工程相比较,隧道工程监控量测具有特殊的作用,是隧道工程施工管理中不可缺少的一个重要环节。工程实践表明,隧道设计单独孤立地使用力学计算或经验方法都不能取得良好的效果。为了使经验方法科学化和力学计算有实际背景,监控量测起到特别重要的作用。把隧道开挖过程中围岩和支护系统力学形态变化动态作为判别围岩稳定和支护系统可靠性的依据,把监控量测所获得的信息加以必要的数学处理,与理论、经验方法相结合,建立一些必要的准则,借以直接利用量测结果及时地调整、确定支护参数和进行施工决策。在动态设计或信息化设计中监控量测起到承上启下的关键作用,通过施工过程中进行的监控量测,及时掌握围岩稳定状态和支护效果,通过量测数据及时调整和变更设计,是目前隧道工程设计的重要依据。本规程中编制监控量测章节,是为了使在盾构隧道监控量测设计、施工和验收有一个统一标准,达到符合安全适用、技术先进、经济合理的要求。

10.1.3 城市环境下盾构一般穿过街道、楼房建筑物、立交桥和地下管线等建(构)筑物,同时盾构隧道的埋深也比较浅,盾构掘进过

程中势必对周边建(构)筑物产生影响,从社会意义上讲周边环境特别是建(构)筑物的安全比盾构隧道本身更要值得关注。因此,城市环境下盾构隧道监控量测的重点是盾构及工作井施工对周边环境的影响。

10.1.4 必测项目是盾构法隧道施工进行的日常必须量测项目,并按本规程规定的量测断面和量测频率进行量测。选测项目是为了满足设计、施工的特殊要求而进行的量测项目,量测断面根据实际状况设置,同等地质条件下不少于两个断面。

变形量测结果直观、数据可靠,仪器的长期稳定性和抗外界干扰性好,同时测点埋设简单、费用低廉,因此选择盾构法隧道施工监控量测项目时将变形量测作为首选项目。

对于盾构后配套范围内的隧道净空变形,常规接触式量测手段(如收敛计、水准仪等)很难奏效。利用盾构后配套设备与隧道周边的纵向通视空间,采用全站仪(通过边墙设站方式)或激光准直法可以解决后配套设备范围内的变形监测。

10.2.1 建筑物变形量测包括建筑物局部倾斜和整体倾斜,相关技术条件和要求可参照《建筑变形测量规范》JGJ8—2007。建筑物局部倾斜即基础沉降差,采用水准仪量测。建筑物整体倾斜,高层建筑采用全站仪或激光垂线法量测,一般刚性建筑根据基础沉降差进行换算。

10.2.4 式(10.2.4—1)基于地层损失的 Peck 地表沉降槽曲线,式中沉降槽宽度系数 i ,Peck 根据实测资料统计给出经验公式如下:

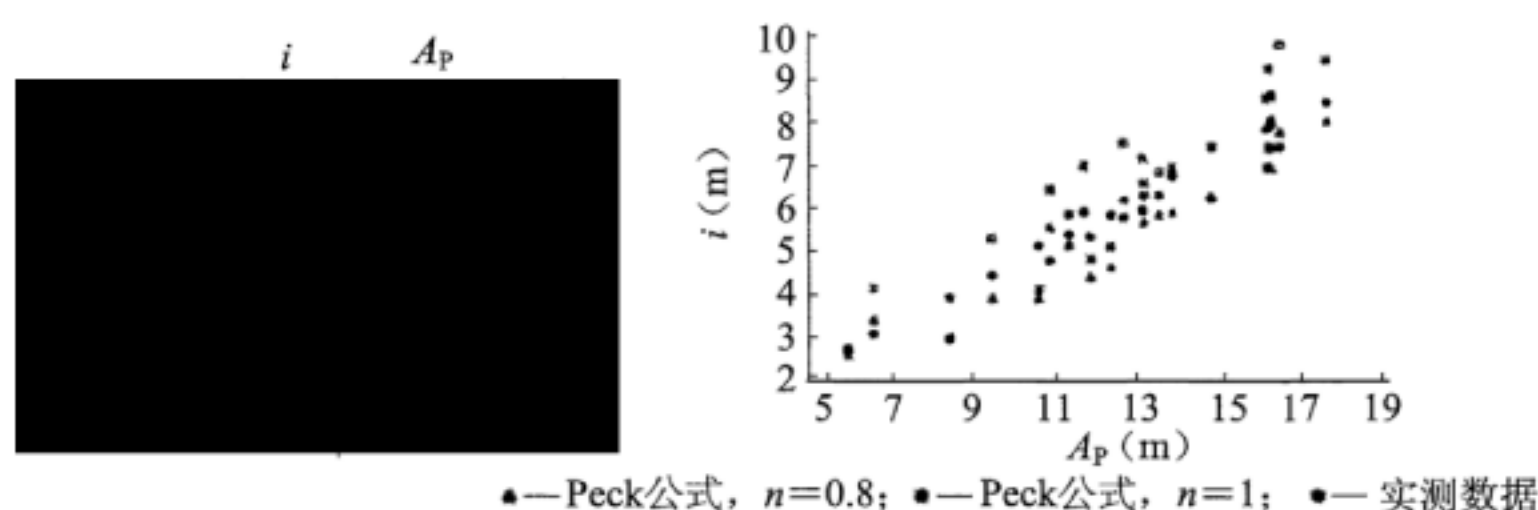
$$i = R [h_s / (2R)]^n \quad (\text{说明 } 10.2.4-1)$$

式中 R ——盾构隧道开挖半径(m);

h_s ——隧道中心处埋深(m)。

$n = 0.8 \sim 1.0$,软土取较大值。

浙江大学根据上海、南京、天津、北京、广州等城市盾构隧道实测数据的调查统计,提出文献“盾构法隧道地面沉降槽宽度系数取值的研究”(魏纲,工业建筑,2009,39(12)),对 i 与破裂面宽度 A_P 的相关性统计,结果如说明图 10.2.4 所示。



说明图 10.2.4 i 与破裂面宽度统计图

如图所示, i 与破裂面宽度 A_p 呈线性关系, 并给出黏性土的统计公式如下:

$$i = m A_p \quad (\text{说明 } 10.2.4-2)$$

式中 $A_p = R + h_s \tan(45^\circ - \varphi/2)$ (m);

$m = 0.45 \sim 0.50$, 平均值 0.475;

φ ——地层内摩擦角。

以上 i 值计算方法, 供参考。对于沉降槽宽度, 根据以往研究成果及工程实践取 $(5 \sim 6)i$, 本条按此确定地表监控量测范围。考虑排水固结引起的沉降因素以及周边有重要建(构)筑物时取较大值。双洞断面的地表监控量测范围按单洞沉降槽叠加来确定。

式(10.2.4-2)基于破裂面方法, 一般用于确定基坑开挖影响范围, 本条参照《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 第 3.2.2 条相关规定给出。

10.2.6 盾构法隧道施工前对建(构)筑物的状态调查十分重要。施工过程中建筑物的损害同建筑物的基础类型和结构形式等多种因素有关, 特别是建筑物自身的安全状态, 将会直接影响建筑物的损害程度。状态调查要特别关注建筑物自身的安全状态, 特别是墙面裂缝要逐条记录, 必要时做影像记录, 这对今后建筑物损害评价和分析十分重要。说明表 10.2.6—1 建筑物状态调查表和说明表 10.2.6—2 沿线主要管线调查表供参考。

说明表 10.2.6—1 建筑物状态调查表

序号	调 查 项 目		内 容
1	建筑物名称		
2	建筑物编号		
3	建筑物位置		中心里程：
4	建筑物距基坑距离		近端(m)： 远端(m)：
5	建筑物所在施工单位		
6	建筑物建筑年代		
7	建筑物规模		长(m)： 宽(m)： 高(层/m)： 面积(m ²)：
8	建筑物结构类型		
9	建筑物基础类型		类型： 深度(m)：
10	建筑物使用单位		
11	建筑物业主		
12	建筑物设计单位		
13	建筑物 现状	外观状态	
		裂缝状态	
		沉降状态	
		其他	
14	建筑物 草图		
15	调查人员		
16	调查日期		
17	编号		

说明表 10.2.6—2 沿线主要管线现状调查表

序号	调查项目		内 容
1	管线名称		
2	管线编号		
3	管线位置		(车站或区间)中心里程:
4	管线方位		近端(m): 远端(m):
5	管线所在施工单位		
6	管线修建年代		
7	管线尺寸		直径(mm): 长度(m):
8	管线材料		
9	管线埋深		类型: 深度(m):
10	管线所属单位		
11	管线现状	外观状态	
		裂缝状态	
		沉降状态	
		其他	
12	管线草图		
13	调查人员		
14	调查日期		
15	编号		

10.2.7 变形量测频率与变形速率和量测断面距开挖面距离有关,表 10.2.7—1 和表 10.2.7—2 分别给出根据一般情况下变形速率和距开挖面距离的量测频率,两者取较高频率值。

表 10.2.7—1 和表 10.2.7—2 参考了《铁路隧道监控量测技术规范》TB 10121—2007 第 4.4.1 条和《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 第 8.2.5 条相关规定。特殊情况(如预警状态)加强、加密量测频率。

10.4.3 现场量测取得的原始数据,不可避免地会有一定的离散性,包括误差甚至错误,不经数学处理的量测数据是难以直接利用的。回归分析是目前量测数据数学处理的主要方法,通过对量测数据回归分析可以预测最大值和各阶段的变化速率。下面给出用于变形回归的经验公式:

$$U = A_1 + B_1 \ln(t_1 + 1) \quad (\text{说明 } 10.4.3-1)$$

$$U = A_1 e^{-B_1/t_1} \quad (\text{说明 } 10.4.3-2)$$

$$U = \frac{t_1}{A_1 + B_1 t_1} \quad (\text{说明 } 10.4.3-3)$$

$$U = A_1 (e^{-B_1 t_0} - e^{-B_1 T_1}) \quad (\text{说明 } 10.4.3-4)$$

$$U = A_1 \ln\left(\frac{B_1 + T_1}{B + t_0}\right) \quad (\text{说明 } 10.4.3-5)$$

$$U = A_1 \left[\left(\frac{1}{1 + B_1 t_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{1 + B_1 T_1} \right)^2 \right] \quad (\text{说明 } 10.4.3-6)$$

式中 U ——变形值(mm);

A_1 ——回归系数;

B_1 ——回归系数;

t_1 ——量测天数(d);

t_0 ——测点初读数时距开挖时的天数(d);

T_1 ——量测时距开挖时的天数(d)。

10.4.4 监控量测首要目的是为工程及时提供可靠的安全信息。当监测数据异常时(达到或超过预警值)或时态曲线异常(曲线形态出现反弯,即 $d^2 u/dt^2 > 0$),要在第一时间向施工主管、现场监理及业主代表通报(口头、电话、短信等方式),随即提交书面预警通

报,报告数据异常情况和相关图表。

10.5.1 控制值即控制标准,是根据安全或使用要求达到一种极限状态的临界值。对于铁路隧道盾构法施工的地表沉降控制值,参考《铁路隧道监控量测技术规范》TB 10121—2007 第 4.5.5 条给出的相关原则,现场根据具体环境条件制定符合工程要求的沉降控制值。

对于城市环境下的盾构隧道,上海过黄浦江盾构工程提出地表允许沉降值为 30 mm,并相继在上海、广州、北京、深圳、成都等城市地铁工程中作为控制值使用。广深港高速铁路狮子洋隧道和长株潭城际铁路湘江隧道、树木岭隧道等盾构法施工的隧道也曾将 30 mm 列为控制标准。从实际使用情况看,地铁盾构隧道基本上满足要求,但铁路盾构隧道超标现象较多(如湘江隧道超标比例达到 50%),因此铁路隧道盾构法施工的地表沉降控制值需要结合具体工程环境条件和要求来确定。

说明表 10.5.1 给出《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 第 9.2.2 条规定的盾构法隧道地表沉降监测项目控制值(表中工程监测等级的划分参见该规范第 3.3.2 条),仅供参考。

说明表 10.5.1 盾构法隧道地表沉降监测项目控制值

监测项目及岩土类型		工程监测等级					
		一级		二级		三级	
		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
地表 沉降	坚硬~中硬土	10~20	3	20~30	4	30~40	4
	中软~软弱土	15~25	3	25~35	4	35~45	5
地表隆起		10	3	10	3	10	3

原表注:本表适用于标准断面的盾构隧道。

10.5.2 建(构)筑物的地基变形控制值,一般建筑物可参照《建筑

地基基础设计规范》GB 50007—2011 第 5.3.4 条地基变形允许值的相关规定,并结合现场建(构)筑物调查结果来确定。说明表 10.5.2—1 列出 GB 50007—2011 规定的部分建筑物地基变形允许值,供参考。

说明表 10.5.2—1 建筑物的地基变形允许值

变 形 特 征		地基土类别	
		中、低压缩性土	高压缩性土
砌体承重结构基础的局部倾斜		0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差	框架结构	$0.002l$	$0.003l$
	砌体墙充填的边排柱	$0.0007l$	$0.001l$
	当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	$0.005l$	$0.005l$
多层和高层建筑的整体倾斜	$H_g \leq 24\text{ m}$	0.004	
	$24\text{ m} < H_g \leq 60\text{ m}$	0.003	
	$60\text{ m} < H_g \leq 100\text{ m}$	0.0025	
	$H_g > 100\text{ m}$	0.002	
高耸结构基础的倾斜	$H_g \leq 20\text{ m}$	0.008	
	$20\text{ m} < H_g \leq 50\text{ m}$	0.006	
	$50\text{ m} < H_g \leq 100\text{ m}$	0.005	
	$100\text{ m} < H_g \leq 150\text{ m}$	0.004	
	$150\text{ m} < H_g \leq 200\text{ m}$	0.003	
	$200\text{ m} < H_g \leq 250\text{ m}$	0.002	

注:1 局部倾斜指砌体承重结构沿纵向 6 m~10 m 内基础两端沉降差与距离的比值。

2 l 为相邻柱基中心距离(mm), H_g 为自室外地面算起建筑物的高度(m)。

对于重大或有明显损害的建(构)筑物由建设方主持协同业主聘请有资质的第三方单位进行该建(构)筑物安全状态评估,在评估基础上提出控制标准。建筑物损害状态的评估,可参考《建筑物

安全鉴定》GB 18208.2—2001 和《危险房屋鉴定标准》JGJ 125—1999。说明表 10.5.2—2 给出英国 BRE CP51/78 标准提出的建筑物可见损害等级建议标准,供参考。

说明表 10.5.2—2 建筑物可见损害等级的建议标准

损害等级	典型损害描述	裂纹宽度(mm)
无损害	裂缝小于 0.1 mm 时可忽略损害	<0.1
极轻微	很细的裂纹,用常规的装饰方法即可修补的裂缝,或在建筑物内部有一些分散的小裂缝,仔细检查,可以发现建筑物外墙有裂缝	<1
轻微	很容易修补的裂缝,可能需要重新装修,在建筑物内部有一些小裂缝,在建筑物外表可看见有裂缝。有些裂缝需用水泥镶填。门窗可能很紧,不易打开	1~5
中等	裂缝开裂大,裂缝较差,互相连通的裂缝,应用特殊的填充材料修补。外墙需重新粉刷一层,可能有少许砖需要更换。门窗打不开,管道有裂缝	5~15 (或裂缝数目≥3 条)
严重	需要大范围内进行修复,包括部分围墙拆除重新砌,特别是门、窗和门窗框的损害严重。地板明显倾斜,墙体明显倾斜、膨胀。管道开裂	15~25
极严重	房体大部分修复工作,或全部重修。屋梁已失去支撑,墙体倾斜严重,门窗完全损坏,整个建筑不稳定	>25

10.5.3 对于地下管线安全状态的控制标准,下面给出承插接口铸铁管线的地方标准及相关研究成果,供参考。

(1)广州市区开挖工程的相关技术规定,管线两接头之间局部倾斜不能超过 $L_{zg}/1\ 000$ (L_{zg} 为铸铁管节长度,m)。

(2)北京地铁、重庆地铁的相关技术标准,地表最大倾斜率 2.55 mm/m。

(3)原铁道第三勘察设计院、西南交大和北京交大通过对深圳地铁的试验研究,提出文献“城市地铁施工对管线的影响研究”(吴波等,岩土力学,2004,25(4)),根据试验数据给出管线接头张开值

A_{ZK} 的控制标准:

$$A_{ZK} = \frac{D_{gx}L_{zg}}{R_{cq}} \leqslant 0.925 \text{ mm} \quad (\text{说明 } 10.5.3)$$

式中 D_{gx} ——管线直径;
 L_{zg} ——铸铁管节长度;
 R_{cq} ——沉降曲线最小曲率半径。

对风险等级较低且无特殊要求的地下管线,说明表 10.5.3 给出《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 第 9.3.3 条规定的地下管线沉降及沉降差控制值,供参考。

说明表 10.5.3 地下管线沉降及沉降差控制值

管线类型	沉 降		沉降差(mm)
	累计值(mm)	变化速率(mm/d)	
燃气管道	10~30	2	$0.3\%L_g$
雨污水管	10~20	2	$0.25\%L_g$
供水管	10~30	2	$0.25\%L_g$

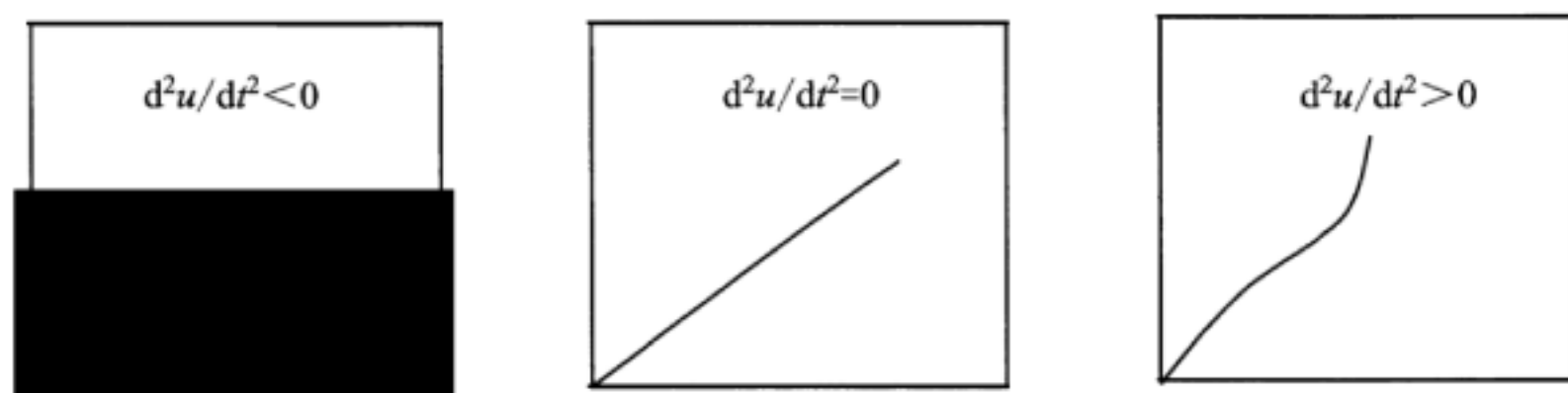
注:1 燃气管道的变形控制值适用于 100 mm~400 mm 的管径。

2 L_g —管节长度。

10.5.4 对隧道结构和周边环境的安全状态,本条根据最大值、速率和时态曲线形态三种条件进行综合评判,其中最大值不得超过控制值是安全状态评判的首要要素,而在量测过程中最大值满足要求时通过时态曲线的形态可提前预判安全状态的发展趋势,对指导施工具有重要意义。

1 实测最大值是指整个量测周期内测到的最大值,如果量测过程因故提前终止,最大值需要根据回归预测来确定。

2 变形时态曲线形态对安全状态的评判基于流变性的研究成果,研究表明隧道围岩变形的时态可分为三类,如说明图 10.5.4 所示。



说明图 10.5.4 隧道围岩变形时态分类

(1)基本稳定区:主要标志为变形速率逐渐下降,即 $d^2u/dt^2 < 0$,该区亦称“一次蠕变区”,表明围岩将趋于稳定状态。

(2)过渡区:变形速率保持不变, $d^2u/dt^2 = 0$,该区亦称“二次蠕变区”,表明围岩处于向不稳定状态发展的趋势,发出警告,加强支护系统。

(3)破坏区:变形速率逐渐增大, $d^2u/dt^2 > 0$,该区亦称“三次蠕变区”,表明围岩已进入不稳定状态,采取相应措施进行控制。

3 根据国内下坑、金家岩、大瑶山等十余座铁路隧道的净空变形量测,表明变形速率是由大变小的递减过程,在变形曲线上可分为三个阶段:

- (1)变形急剧增长阶段:变形速率大于 1 mm/d。
- (2)变形缓慢增长阶段:变形速率 1 mm/d~0.2 mm/d。
- (3)基本稳定阶段:变形速率小于 0.2 mm/d。

上述指标主要针对隧道净空变形。对于铁路盾构法隧道结构及周边环境的安全状态,本条采用 0.1 mm/d~0.2 mm/d 作为变形达到基本稳定的评判指标,对于有邻近建(构)筑物的情况取较小值。该条满足变形速率呈逐渐下降的形态,如果变形速率保持不变即出现 $d^2u/dt^2 = 0$ 的情况,则不能认定变形达到基本稳定。

10.5.5 表 10.5.5 铁路隧道盾构法施工监控量测管理等级采用量测值与控制值的对比关系进行编制,其分级指标和颜色标示参照了《铁路隧道监控量测技术规程》TB 10121—2007 第 4.5.4 条、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911—2013 条文说明第

9.1.4 条、《国家突发事件应对法》第四十二条以及相关地铁规范(地方标准)。根据参考来源,本表适用于变形监控量测项目,其他项目可做参考。表中分级指标延续了铁路隧道监控量测技术规程对于铁路隧道管理等级的划分以及国内城市轨道交通工程监测技术标准关于黄、橙、红预警分级的通行划分,具有一定的代表性和成熟性,实施过程中根据使用情况进行修订,通过实践进一步完善这一指标体系。本表采用单控指标,这是从成熟性和易操作角度考虑的。双控指标相对要精准。说明表 10.5.5 给出北京地铁的预警分级标准,采用变形绝对值和速率双控指标,仅供参考。

说明表 10.5.5 北京市轨道交通工程监测预警分级标准

预警级别	预警状态描述
黄色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值的 70%;或双控指标之一达到控制值的 85%
橙色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值的 85%;或双控指标之一达到控制值
红色预警	变形监测的绝对值和速率值双控指标均达到控制值

11.3.1 目前尚无专门针对可燃性、爆炸性气体、有害气体的特种盾构。只有在施工中,由地面或洞内采取措施加以稀释和排出这些气体。洞内施工,采用专门仪器、仪表测量可燃性气体、有害气体和氧含量并作好记录,选择合适的通风设备、通风方式、通风风量,做好隧道通风,将可燃性气体和有害气体控制在容许值以内。对存在燃烧和缺氧危险时,需要禁止明火火源,防止火灾。当发生可燃气体和有害气体浓度超过容许值时,立即撤出作业人员,加强通风、排气,只有当可燃气体、有害气体得到控制时,才能继续施工。

12.2.1 铁路盾构法隧道各阶段风险识别表示列见说明表 12.2.1—1~说明表 12.2.1—3。

说明表 12. 2. 1—1 可行性研究阶段风险因素表

风险类别	风险因素	风险类别	风险因素
地质风险	区域地形、地貌、地质	自然风险	江河、湖泊
	不良地质、特殊岩土		地下管线
	场地类别		地表水
	土地类型		建(构)筑物
	有害气体		其他
	其他	社会稳定风险	征地拆迁与补偿
技术风险	盾构类型		渣土存放与转运
	辅助工法		污水、泥水处理
	盾构辅助施工设备		粉尘、噪声、光线污染
	断面尺寸		当地文化、生活方式
	管片设计		宗教信仰和社会习俗
	监控量测设计		其他
	其他	其他	

说明表 12. 2. 1—2 初步设计与施工图阶段风险因素核对表

风险事件 风险因素		掘进与 出渣 困难	始发与 接收 风险	缺氧、 有害气 体危害	盾构姿 态变化	地表 变形	涌水 涌砂	其他
地质 风险	岩性及风化程度	★	★		★	★		
	构造(单斜、向斜、 背斜、断层)	★	★		★	★	★	
	地下水	★	★			★	★	
	有害气体			★				
	顺层	★	★		★	★		
	岩溶	★	★		★	★	★	
	挤压性地层	★	★		★			
	复合地层	★	★		★			
	膨胀岩	★	★		★	★		
	其他							

续说明表 12. 2. 1—2

风险因素 \ 风险事件		掘进与 出渣 困难	始发与 接收 风险	缺氧、 有害气 体危害	盾构姿 态变化	地表 变形	涌水 涌砂	其他
技术 风险	常规设计	★	★	★	★	★	★	
	特殊设计	★	★	★	★	★	★	
	监控量测设计	★	★	★	★	★	★	
	设备选型	★		★	★	★	★	
	小净距施工	★			★			
	辅助工法	★	★		★	★	★	
	洞室及通道	★				★	★	
	工作井		★			★	★	
	断面	★	★			★		
	长度	★						
	埋深	★			★	★	★	
	其他							
自然 风险	建(构)筑物	★	★			★		
	江河、湖泊	★	★		★	★	★	
	地表水	★	★		★	★	★	
	暴雨、洪水		★			★	★	
社会 稳定 风险	渣土存放与转运							★
	粉尘、噪声、光线污染							★
	当地文化、生活方式							★
	宗教信仰和社会习俗							★
	征地拆迁与补偿							★
	环境污染							★
	水系破坏							★
	其他							
其他								

说明表 12.2.1—3 施工阶段风险因素核对表

风险因素 \ 风险事件			掘进与 出渣 困难	始发与 接收 风险	缺氧、 有害气 体危害	盾构姿 态变化	地表 变形	涌水 涌砂	衬砌 破损与 渗水	其他
地质因素			见说明表 12.2.1—2 地质风险因素内容						★	
技术因素	隧道特征	埋深	★			★	★	★		
		断面	★	★			★			
		长度	★							
		其他								
	盾构类型	主要技术参数	★			★	★	★		
		适应性	★		★	★	★	★		
		可靠性	★		★	★	★	★		
		其他								
	机械 安装和 吊装	人员		★			★	★	★	
		操作		★			★	★	★	
		设备		★			★	★	★	
		其他								
	盾构 始发与 接收	姿态控制		★		★	★			
		土层加固		★		★	★	★		
		洞口密封		★					★	
		反力支架		★						
		其他								
	设备 情况	掘进系统	★	★		★	★	★		
		出渣系统	★				★	★		
		管片拼装系统							★	
		注浆系统					★	★	★	
		润滑系统	★							
		动力系统	★	★		★	★			
		控制系统	★	★		★	★	★	★	
		导向系统	★			★				
		其他								

续说明表 12. 2. 1—3

风险因素 \ 风险事件			掘进与出渣困难	始发与接收风险	缺氧、有害气体危害	盾构姿态变化	地表变形	涌水涌砂	衬砌破损与渗水	其他
技术因素	操作	姿态控制	★	★			★			
		盾构施工参数	★	★			★			
		注浆	★	★			★		★	
		其他								
	近接辅助措施	既有建(构)筑物保护措施	★	★			★			
		盾构隧道内辅助措施	★	★			★			
		中间地层辅助措施	★	★			★			
	监控量测	压力	★	★			★		★	
		管片	★	★			★		★	
		设备	★	★			★		★	
		构(建)筑物变形	★	★			★			
		有害气体监测			★					
		其他								
自然因素			见说明表 12.2.1—2 自然风险因素内容							★
社会稳定因素	渣土存放与转运								★	
	粉尘、噪声、光线污染								★	
	施工队伍管理								★	
	其他									
其他										

13. 1. 1~13. 1. 2 铁路盾构法隧道工程施工质量验收按四级划分，即单位工程、分部工程、分项工程、检验批。划分的目的是为了便于对工程施工质量的控制、检验和验收。单位工程的划分需要根据具体隧道工程情况来确定。相对于普通钻爆法施工的铁路隧道，盾构法铁路隧道分部工程增加了管片与功能井分部，减少了开挖分部。

13.2.1 管片在吊装和运输过程中,需要严防碰撞,按要求堆放,按顺序运送到工作面,在安装前要对管片质量再一次进行检查,不能将受损管片安装在结构中。在管片拼装过程中发现有本条所指质量问题需要及时调换,后期发现采取可行的技术措施修补或加强处理,修补或加强处理方案需经业主和设计单位认可。管片拼装完成后在下一环推进前需要及时检测管片拼装质量是否符合规定,发现有本条所指质量问题时,将已成环管片局部或全部拆除重新拼装。

13.2.2 管片螺栓采用适当的连接方式,并保证连接质量,以使管片具有整体结构稳定性。

13.2.5 管片拼装误差是参照现行《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 的规定制订的。

13.2.6 成型隧道允许误差是参照现行《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 的规定制订的。

13.4.1 对管片进行抗渗性试验,是直接对加工制作成的衬砌混凝土进行抗渗性检测。由于检漏测试比较复杂,为降低优质产品的生产成本,采用动态检测法。