

JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

JTG/T XX - XXXX

公路盾构隧道施工 技术规范

Technical Specifications of Highway Shield Tunnel Construction

征求意见稿

(2025-08)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据交通运输部《关于下达 2023 年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函〔2023〕270 号），由中交一公局集团有限公司、中交隧道工程局有限公司作为主编单位，承担《公路盾构隧道施工技术规范》（以下简称“本规范”）的制订工作。

本规范基于科学、先进、成熟、实用的原则，充分吸收了国内外盾构隧道在公路工程领域的最新应用成果及标准规范，在借鉴和总结公路盾构隧道领域的工程实践经验和成熟技术应用的基础上编制而成。

本规范共分 18 章，主要内容包括：1 总则，2 术语，3 基本规定，4 施工准备，5 施工测量，6 盾构机制造与安拆，7 管片预制与储运，8 盾构始发与接收，9 掘进施工，10 隧道防水，11 内部结构施工，12 辅助施工与作业，13 特殊地段施工，14 监控量测，15 施工安全与环保，16 风险辨识与应急处置，17 隧道附属工程，18 信息化施工。

本规范有 XXX 负责起草第 1 章，XXX 负责起草第 2 章，XXX 负责起草第 4 章，XXX 负责起草第 5 章，XXX 负责起草第 6 章，XXX 负责起草第 7 章，XXX 负责起草第 8 章，XXX 负责起草第 9 章，XXX 负责起草第 10 章，XXX 负责起草第 11 章，XXX 负责起草第 12 章，XXX 负责起草第 13 章，XXX 负责起草第 14 章，XXX 负责起草第 15 章，XXX 负责起草第 16 章，XXX 负责起草第 17 章，XXX 负责起草第 18 章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：XXX，（地址：XXX，邮编：XXX；电话：XXX，传真：XXX；电子邮箱：XXX），以便下次修订时参考。

主 编 单 位：中交一公局集团有限公司

中交隧道工程局有限公司

参 编 单 位：交通运输部公路科学研究院

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中交公路规划设计研究院有限公司

北京交通大学

河海大学
同济大学

主 编： 赵宗智
主要参编人员：

主 审： 章登精
参与审查人员：

参 加 单 位： 中交天和机械设备制造有限公司
参 加 人 员：

目 次

1 总则	- 1 -
2 术语	- 2 -
3 基本规定	- 4 -
4 施工准备	- 6 -
4.1 一般规定	- 6 -
4.2 技术准备	- 6 -
4.3 施工场地布置	- 7 -
4.4 辅助设施准备	- 7 -
5 施工测量	- 9 -
5.1 一般规定	- 9 -
5.2 地面控制测量	- 9 -
5.3 联系测量	- 10 -
5.4 隧道内控制测量	- 10 -
5.5 掘进施工测量	- 11 -
5.6 贯通测量	- 12 -
5.7 竣工测量	- 12 -
6 盾构制造及安拆	- 13 -
6.1 一般规定	- 13 -
6.2 盾构选型	- 13 -
6.3 盾构组装	- 18 -
6.4 盾构调试与验收	- 19 -
6.5 盾构拆解	- 19 -
7 管片生产与储运	- 20 -
7.1 一般规定	- 20 -
7.2 管片模具	- 20 -
7.3 管片生产	- 22 -
7.4 存储与运输	- 26 -
7.5 质量检验	- 27 -
8 盾构始发与接收	- 28 -
8.1 一般规定	- 28 -
8.2 端头加固	- 28 -
8.3 盾构始发	- 29 -

8.4 盾构接收	- 31 -
9 掘进施工	- 32 -
9.1 一般规定	- 32 -
9.2 盾构掘进	- 33 -
9.3 管片拼装	- 35 -
9.4 壁后注浆	- 36 -
9.5 盾构保养与维修	- 37 -
10 隧道防水	- 38 -
10.1 一般规定	- 38 -
10.2 管片接缝防水	- 38 -
10.3 特殊部位防水	- 39 -
11 内部结构施工	- 40 -
11.1 一般规定	- 40 -
11.2 烟道板施工	- 40 -
11.3 箱涵施工	- 41 -
11.4 双层结构立柱施工	- 41 -
12 辅助施工与作业	- 42 -
12.1 一般规定	- 42 -
12.2 开舱作业	- 42 -
12.3 常压刀盘换刀作业	- 44 -
12.4 盾尾刷更换	- 44 -
12.5 钢套筒接收	- 45 -
12.6 水下接收	- 45 -
12.7 地中对接	- 46 -
13 特殊地段施工	- 48 -
13.1 一般规定	- 48 -
13.2 施工措施	- 48 -
14 监控量测	- 52 -
14.1 一般规定	- 52 -
14.2 专项监测	- 52 -
14.3 隧道结构监测	- 53 -
14.4 现场巡视	- 54 -
15 施工安全与环境保护	- 55 -
15.1 一般规定	- 55 -

15.2	通风	55
15.3	排水	56
15.4	绿色施工	56
16	风险辨识与应急处置	57
16.1	一般规定	57
16.2	突发事件应急处置	57
17	附属设施工程	59
17.1	横通道	59
17.2	防火设施	59
17.3	预留预埋	60
18	信息化施工	61
18.1	一般规定	61
18.2	信息化施工	61
18.3	数字化交付	62
	本规范用词用语说明	63

1 总则

1.0.1 为规范公路盾构隧道施工，保障工程质量和施工安全，提升工程施工技术水平，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于盾构法施工的预制管片拼装式公路隧道工程。

1.0.3 公路盾构隧道施工应坚持“安全可靠、技术先进、绿色环保、经济合理”的基本原则。

1.0.4 公路盾构隧道施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 盾构 shield machine

在钢壳体保护下完成隧道掘进、出渣、管片拼装等作业，由主机和后配套设备组成的全断面推进式隧道施工机械设备。

2.0.2 管片 segment

盾构隧道预制衬砌环的基本单元，有钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片等多种类型。

2.0.3 环面平整度 flatness of circumferential joint surface

同一管片环迎千斤顶端面的平整程度。

2.0.4 泥浆 slurry

由水、黏土和外加剂等材料混合拌制而成的半胶体悬浊液。

2.0.5 箱涵 box culvert

现浇或预制的钢筋混凝土箱形结构，包括边箱涵、中间箱涵等。

2.0.6 反力架 reaction frame

为盾构始发掘进提供反力的支撑装置。

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 工作井 working shaft

供盾构组装、拆卸、调头、吊运管片或出渣等使用的空间结构，包括始发工作井、中间工作井、接收工作井等。

2.0.9 盾构基座 shield cradle

用于保持盾构始发、接收等姿态的支撑装置。

2.0.10 盾构始发 shield launch

使盾构从始发工作井进入地层的一系列作业。

2.0.11 内部结构 Internal structures

隧道内部起支撑或分隔功能的结构，包括分隔墙、车道板、烟道板等。

2.0.12 常压刀盘 accessible cutterhead

具有隔绝开挖面的舱室,使作业人员可在正常大气压条件下进行刀具更换和维护作业的刀盘结构型式。

2.0.13 带压刀盘 conventional cutterhead

不具备隔绝开挖面压力的舱室,作业人员须进入到开挖面与刀盘之间的空间内进行刀具更换或维修作业的刀盘结构型式。

2.0.14 泥浆处理设备 slurry treatment plant

用于处理携渣泥浆,将渣土与泥浆分离的设备。

2.0.15 止水箱体 waterproof tank

盾构始发或接收时,与洞门钢环连接,用于阻断水土涌入工作井的密封结构。

2.0.16 壁后注浆 back-filling grouting

用浆液填充隧道衬砌环与地层间空隙的施工工艺,包括同步注浆、二次注浆。

2.0.17 泥膜 filter-cake

在盾构施工过程中,开挖面表面及一定渗透范围内形成的渗透系数很小的颗粒聚集层。

2.0.18 盾构接收 shield arrival

盾构由地层进入接收工作井内的一系列作业。

2.0.19 防水密封条 sealing gasket

镶嵌于管片接缝处的条状防水材料。

2.0.20 地中对接 underground docking

两台盾构相向掘进,在地层中正面对接,实现隧道贯通的施工方法。

3 基本规定

3.0.1 施工前，应建立安全、质量、环保、职业健康管理体系，并在建设过程中系统落实体系管理要求。

3.0.2 盾构类型和技术性能应满足工程地质、水文地质、周边环境、线路条件、场地条件、隧道结构设计等要求。

3.0.3 施工场地布置应遵循因地制宜、统一规划、安全方便、节地环保的原则。

3.0.4 施工前，应根据盾构类型、地质条件、周边环境和工程实践编制施工专项方案和应急预案。

3.0.5 盾构施工配套变电站应合理规划与设计。

3.0.6 管片、箱涵、烟道板等构件应采用工厂化预制生产，合理规划存储场地，供应与施工生产进度相匹配。

3.0.7 盾构隧道施工应实施信息化管理，并配置远程监控系统。

条文说明

信息管理系统应具备实时采集盾构掘进信息的功能；视频监控系统应包括前端采集、数据传输、视频显示等三个部分。

3.0.8 施工中，应收集记录原始数据，并及时、准确填写施工记录，做好施工和检验资料管理。

3.0.9 隧道路面材料应具备良好的抗裂性能。

条文说明

盾构隧道相较于矿山法隧道、桥梁等其他公路工程，更易发生不均匀沉降，

诱发路面开裂，因此，应选用具备良好抗裂性能的路面材料。

3.0.10 盾构隧道按管片外径可分为4类，见表3.0.10。

表 3.0.10 盾构隧道分类

盾构隧道分类	一般直径盾构隧道	大直径盾构隧道	超大直径盾构隧道	特大直径盾构隧道
管片外径 D (m)	$D < 9$	$9 \leq D < 14$	$14 \leq D < 18$	$D \geq 18$

条文说明

- 1 本条参考《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）制定。
- 2 **超大**侧重于超过常规；**特大**更强调接近极限状态。

公路隧道施工技术规范（JTG/T 3660—2020）

3.0.11 隧道按跨度可分为4类，见表3.0.11。

表 3.0.11 隧道按跨度分类

按跨度分类	开挖宽度 B (m)	说明
小跨度隧道	$B < 9$	平行导洞 服务隧道 车行、人行横洞、风道及施工通道
一般跨度隧道	$9 \leq B < 14$	单洞两车道隧道
中等跨度隧道	$14 \leq B < 18$	单洞三车道隧道 单洞两车道+紧急停车带隧道
大跨度隧道	$B \geq 18$	单洞四车道隧道、单洞三车道+紧急停车带隧道、其他跨度大于等于18m的隧道

条文说明

开挖跨度分类结合公路隧道特点划分：

小跨度隧道，指小于两车道隧道开挖跨度以下的隧道，如：平行导洞、服务隧道、车行、人行横洞、风道及施工通道、单洞两车道隧道、单洞三车道+紧急停车带隧道、单洞四车道隧道、其他跨度大于等于18m的隧道。

4 施工准备

4.1 一般规定

4.1.1 施工前，应熟悉设计文件和地质勘察报告，做好现场调查与图纸核对工作。地质条件或周边条件较为敏感时，应补充地质勘察。

4.1.2 对于工程影响范围内的地质钻孔，应调查核对封堵情况，必要时进行注浆再封堵。

条文说明

盾构隧道施工影响范围为隧道边线向外侧1倍盾构直径投影区域。

4.1.3 盾构大件设备运输前，应对周边道路、桥梁等进行调查，确定运输线路、运输时段，制定专项方案，报备有关管理部门。

4.1.4 盾构始发前，应完成泥水处理、管片运输、内部结构拼装、通风等主要配套设备的选型与配置。

4.2 技术准备

4.2.1 施工前，应具备下列资料：

- 1 施工图设计文件。
- 2 工程地质和水文地质勘察报告。
- 3 隧道沿线环境、地下管线和障碍物等的调查报告。
- 4 工程施工有关合同文件。
- 5 经审批的施工组织设计、专项施工方案和应急预案。
- 6 拟使用的盾构机相关文件。

条文说明

专项施工方案包括盾构安拆、盾构始发、（试）掘进及接收，盾构区间测量、监测等。

4.2.2 施工前，应完成控制桩和水准基点的交接和复核。

4.2.3 盾构施工前，应完成下列工作：

- 1 分析盾构掘进工效，储备合理数量的管片、箱涵等预制构件。
- 2 复核工作井井位坐标。
- 3 检查洞门钢环制作和安装精度。
- 4 设计始发基座和反力架，并检查安装质量。
- 5 复核止水箱体制作和安装精度。
- 6 确定负环管片预埋钢板的数量及位置。

4.2.4 施工前，应对作业人员进行技术培训和安全技术交底。

条文说明

盾构隧道施工中采用新型机械设备时，必须对操作人员进行专项培训和安全教育。

4.3 施工场地布置

4.3.1 施工场地布置规划应满足不同阶段的施工要求。

条文说明

施工场地布置规划主要包括加工车间、材料与备件仓库、管片存储场地、预制构件厂、砂浆搅拌站、混凝土拌和站、钢筋加工厂、泥浆处理场、渣场、施工便道等。

4.3.2 盾构安拆场地条件应满足各盾构部件的吊装要求。

条文说明

- 1 吊装场地地基承载力应满足最重部件的吊装要求。
- 2 吊装场地布置应预留足够的操作空间，避免吊装干涉。

4.4 辅助设施准备

4.4.1 辅助设施应根据盾构设备、掘进方法和施工工艺等进行配置。

4.4.2 工作井内设施应符合下列规定：

1 始发工作井内盾构基座、延伸轨道、反力架装置应满足盾构组装、调试和始发的要求。

2 接收工作井内盾构基座应满足盾构安全接收、拆解的要求。

3 工作井内应布置抽、排水设施。

4 应设置合理的止水箱体，满足盾构安全始发和接收要求。

4.4.3 泥浆处理设备能力应与盾构掘进工效相匹配。

条文说明

泥浆处理设备包括筛分设备、压滤设备和离心设备等。

4.4.4 泥浆调制系统各功能区域面积应根据工程地质、水文地质、开挖直径等条件确定。

条文说明

泥浆调制系统各功能区主要包括沉淀池、调浆池、储浆池、清水池、废浆池、膨润土罐、泥水操控室、泵坑等。

4.4.5 根据场地规划布置，选择合理的水平运输和垂直运输设备。

4.4.6 盾构施工现场临时用电应设置开闭所或高压变电站，宜采用双回路电源配电方案。

4.4.7 洞内泥水中继泵、内部结构施工宜设置专用配电设施。

5 施工测量

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工前，应根据交接桩、设计文件及地形条件做好施工控制网设计。
- 5.1.2 施工控制网坐标系统和高程基准应与勘察设计阶段相一致。
- 5.1.3 盾构隧道施工测量宜积极稳妥地采用新技术、新方法、新仪器。

5.2 地面控制测量

5.2.1 施工平面及高程控制测量应符合下列规定：

- 1 平面控制网测量技术要求应符合表5.2.1-1的规定。

表 5.2.1-1 平面控制网测量技术要求

测量部位	测量方法	测量等级	适用长度 (km)	洞口联系边方向中误差 (")	测角中误差 (")	边长相对中误差	定向边 (m)
洞外	GNSS 测量	一等	4~10	1.0	—	1/250 000	≥400
		二等	2~4	1.3	—	1/180 000	≥350
		三等	<2	1.7	—	1/100 000	≥300
		四等	<1	2.0	—	1/70 000	≥250
	导线测量	二等	4~10	—	1.0	1/250 000	≥400
			2~4	—		1/200 000	≥350
		三等	1~2	—	1.8	1/150 000	≥300
		四等	<1	—	2.5	1/100 000	≥250
	三角形网测量	二等	4~10	—	1.0	1/250 000	≥400
			2~4	—		1/200 000	≥350
		三等	1~2	—	1.8	1/150 000	≥300
		四等	<1	—	2.5	1/100 000	≥250

- 2 高程控制网测量技术应符合表5.2.1-2的规定。

表 5.2.1-2 高程控制网（水准）测量技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪	水准尺	观测次数	往返较差、附和或环线闭合差	
						平地 (mm)	山地 (mm)
二等	±2	-	DS1	钢钢尺或条码尺	往返各 1 次	±4√L	±1√n

注：L 为往返测段、附和或环线的线路长度（单位：km），n 为单程的测站数。

- 5.2.2 当路线跨越水域时，应进行跨水域测量，平面控制网应符合现行《铁路

工程测量规范》(TB10101)及《高速铁路工程测量规范》(TB10601)的有关规定,水准测量应符合现行《国家一、二等水准测量规范》(GB/T 12897)的有关规定。

5.2.3 地面控制网应定期复测,复测频率每半年不少于1次,当控制点不稳定时,应增加复测频率。

5.3 联系测量

5.3.1 联系测量应根据施工现场条件选定合理的测量方法。

条文说明

联系测量方法主要包括联系三角形法、导线直传法、两井定向法、投点定向法等。

5.3.2 工作井平面及高程控制点布设数量均应不少于3个。

5.3.3 盾构始发前应进行联系测量。掘进过程中,联系测量应不少于3次,宜在隧道掘进到200m、1/3隧道长度及距贯通面200m~300m时分别进行一次。当隧道长度超过1500m时,每掘进1000m应增加一次。

5.3.4 每次联系测量应独立进行三次,取平均值作为定向成果,地下近井定向边方位角较差应小于6",地下高程点高程较差应小于3mm。

5.4 隧道内控制测量

5.4.1 隧道洞内平面控制网测量技术要求应符合表5.4.1的规定。

表 5.4.1 平面控制网技术要求

测量方法	测量等级	适用长度 (km)	测角中误差 (")	边长相对中误差	洞内导线边长度 (m)
导线测量	二等	4~10	1.0	1/250 000	≥400
	隧道二等	2.5~4	1.3	1/200 000	≥350
	三等	1~2.5	1.8	1/150 000	≥300
	四等	<1	2.5	1/100 000	≥200

5.4.2 控制点宜设置强制归心观测点。进洞导线点的后视方向不得少于2个,

洞内导线宜布设成交叉双导线，交叉双导线的点位宜前后错位布设。控制点间视线距隧道壁及洞内设施应大于0.5m。

5.4.3 每次延伸控制导线前，应采用已有控制点进行导线测量工作，测量过程中应对已有控制导线点进行校核，角度较差不应大于4"，距离较差不应超过2mm。

5.4.4 洞内水准点设置间距宜为200m，水准测量应符合本规范表5.2.1-2的规定。

5.4.5 当隧道长度大于1500m时，应在每掘进1000m时洞内平面控制网加测1条方位边校核，方位边校核方法根据现场施工条件选择投点法或陀螺定向法。采用投点法时，投点数量不少于2个。采用陀螺定向时，仪器精度不低于I类陀螺全站仪。

5.5 掘进施工测量

5.5.1 始发前，应对洞门钢环、始发基座、仰拱块、反力架、盾构初始姿态、首负环、中间箱涵进行复测，对输入自动导向系统的线路设计参数导入导出二次复核。

5.5.2 掘进测量内容主要有管片姿态测量、盾构姿态测量、盾尾间隙测量、管片上浮测量、环面平整度测量、导向系统换站等。

5.5.3 迁站过程中盾构应停止掘进，并对已知控制点进行复核。

5.5.4 壁后注浆完成后，宜进行衬砌环测量，包括衬砌环中心坐标、底部高程、椭圆度等。

5.5.5 盾构每掘进100环或盾构停机时长超过7d恢复掘进前，应进行盾构姿态人工校核。

5.5.6 盾构接收前，应对洞门钢环和接收基座位置进行复核测量。

5.6 贯通测量

5.6.1 隧道贯通后应进行贯通测量。

5.6.2 贯通误差可利用隧道两侧控制点或贯通面两侧中线偏差确定。

5.7 竣工测量

5.7.1 竣工测量应满足设计要求。

5.7.2 竣工测量应以工作井布设的控制点为基准。

6 盾构制造及安拆

6.1 一般规定

6.1.1 盾构选型与配置应遵循适用、可靠、先进、经济的原则，并满足工程进度、质量、安全、环保、智能的要求。

条文说明

盾构选型通常包括刀盘刀具、盾体、主驱动系统、推进系统、管片拼装系统、盾尾密封系统、泥浆环流系统、渣土改良系统（土压盾构）、排渣系统（土压盾构）、箱涵及管片吊运系统、空气系统、水系统、电气系统、液压系统、导向系统、智能监测系统等的选择和配置。

6.1.2 盾构选型依据应包括下列内容：

- 1 工程地质和水文地质勘察报告。
- 2 隧道线路及结构设计文件。
- 3 施工安全要求。
- 4 施工环境及其保护要求。
- 5 工期及造价要求。
- 6 辅助施工方法。
- 7 类似工程施工经验。
- 8 施工场地条件。

6.1.3 盾构制造应依据合同、设计文件、工艺要求和相关标准，对盾构零部件的采购、结构件制造过程和功能测试进行质量和进度控制。

6.1.4 盾构安拆应编制组装、拆解专项施工方案，审批通过后方可实施。

6.2 盾构选型

6.2.1 刀盘选型应符合下列规定：

1 结构型式应适应工程水文地质条件。

条文说明

盾构刀盘通常分为常压刀盘、带压刀盘两种型式，其优缺点及适用条件见表 6-1。

表 6-1 常压刀盘、带压刀盘优缺点及适用条件一览表

刀盘型式	优势	劣势	适用情况	典型工程
常压刀盘	安全性高、效率高	同等直径刀盘刀具安装数量少、刀盘开口率较小、在黏土地层易结泥饼	长度 $\geq 3\text{km}$ 的隧道，水压 $\geq 0.6\text{MPa}$ 的地层，粉土、砂土等非黏性软土地层	南京和燕路长江隧道、北京东六环改造工程隧道、江阴靖江长江隧道、胶州湾第二海底隧道等
带压刀盘	同等直径刀盘刀具安装数量多、开口率较大、具备更强的破岩能力、渣土流通性能好	高压环境作业安全风险高、换刀施工效率低	抗压强度 $\geq 60\text{MPa}$ 的硬岩地层、水压 $< 0.6\text{MPa}$ 的地层，长度小于 3km 的隧道	上海机场联络线、珠海兴业快线隧道等

2 结构强度、刚度应满足工程要求。

3 具备耐磨、抗冲击性。

4 合理设计刀盘开口率。

5 配置刀盘、刀具磨损监测装置。

6 阶梯式分层布置刀具。

7 常压刀盘刀筒具有耐磨、耐高温、抗冲击等性能，其强度、刚度、密封性能满足施工要求。

8 合理配置冲洗或添加剂注入管路。

6.2.2 盾体结构应符合下列规定：

1 在最不利荷载工况作用下，各结构件强度、刚度处于安全可靠状态。

2 根据工程水文地质、隧道直径、线路曲率半径、管片厚度等因素确定盾体直径和长度。

3 应设置注浆预留孔，宜设置超前钻探孔。

6.2.3 主驱动系统应符合下列规定：

1 扭矩安全系数应符合现行《全断面隧道掘进机 泥水平衡盾构机》(GB/T35019)、《全断面隧道掘进机 土压平衡盾构机》(GB/T34651)的相关规定。

2 宜具备伸缩功能。

3 主驱动密封系统承压能力应满足工程最大水土压力工况要求。

4 应配置良好的润滑与冷却系统,具备压力、流量、温度监测报警功能。

5 主轴承寿命不应少于 10 000h。

6 宜配置主轴承齿轮油同步在线油品监测系统。

6.2.4 推进系统应符合下列规定:

1 应根据地质水文条件、管片尺寸,选择推进油缸的推力、数量、分区、行程,油缸分区不应小于 6 个。

2 推进模式下,推进液压缸的伸出速度应连续可调。

3 单位开挖面积(m^2)的最大推力不应小于 1000kN。

4 推进油缸的撑靴与管片端部压应力不应大于管片设计强度的 70%。

6.2.5 盾尾密封系统应符合下列规定:

1 工作压力应大于工程最大水土压力。

2 油脂注入管道应均匀布置,间距应小于 2.5m,通径宜大于 25mm。

3 每道油脂腔宜配置独立的油脂泵,具备压力检测与报警功能。

4 长距离连续掘进时,盾尾密封系统应满足洞内更换、功能修复、紧急密封等要求。

6.2.6 管片拼装系统应符合下列规定:

1 宜采用真空吸盘式管片抓取装置。

2 断电情况下,真空吸盘吸持管片时间不应小于 30min,且真空度不应低于 80%。降至 80%以下时,应能激活声光报警。

3 应具备 6 个自由度,满足管片精确定位、安装要求。

4 应对抓取装置进行载荷试验,静载试验载荷为设计最重管片吊装重量的 1.25 倍,动载试验载荷为设计最重管片吊装重量的 1.1 倍。

5 应能达到防水密封条完全压缩所需的装配力。

条文说明

防水密封条须在设计压缩状态下才能有效阻断渗漏水通道,管片拼装系统提供的装配力直接影响防水密封条的压缩效果,装配力不足将导致防水密封条无法达到设计压缩状态,引发接缝渗漏水风险。

6 滑动行程应能满足在隧道内更换两道盾尾刷的操作需求。

7 应配备安全装置与声光报警装置。

条文说明

安全装置包括液压锁、刹车、油缸锁紧、限位等,保证拼装机安全运行和紧急情况下停止动作的装置。

6.2.7 箱涵吊机系统应符合下列规定:

- 1 具备箱涵抓取、翻转、平移的功能,各动作均配置制动、行程限位装置。
- 2 具备声光报警功能。

6.2.8 保压系统应符合下列规定:

- 1 具备可靠、灵敏的压力平衡调节能力,调整精度允许偏差为 $\pm 1\text{kPa}$ 。
- 2 配置自动双气路保压系统。
- 3 断电时应能正常工作。

6.2.9 泥浆环流系统应符合下列规定:

- 1 具备掘进、旁通、逆洗、隔离、补浆 5 种工作模式。

条文说明

环流模式 5 种模式:

- (1) 掘进模式是指泥浆循环系统维持开挖面平衡和排渣的工作状态。
- (2) 旁通模式是指泥浆循环系统中进浆泵与排浆泵直接连通,泥浆循环与泥水仓隔绝的状态。
- (3) 逆洗模式是指主机区域的新浆液从排浆管路进入泥水仓,泥水仓中浆

液从进浆管排出的状态。

(4) 隔离模式是指隧道内的泥浆管路与地面上的泥浆管路隔离的状态。

(5) 补浆模式是指在非掘进状态下，自动补充浆液保持泥水仓液位或保持泥水仓压力的工作状态。

2 具备紧急情况自动切换旁通模式。

条文说明

旁通模式下，泥浆循环回路与泥水仓隔离，避免开挖面泥浆通过环流系统流失，防止因舱内压力骤降导致的开挖面失稳坍塌风险。

3 泥水输送能力应满足在工程地质条件下盾构机最大掘进速度的排渣要求。

4 在刀盘、泥水仓、气垫仓、破碎机或搅拌器等位置设置高压冲刷口。

5 管道设计应考虑耐磨、耐压等性能要求，并减少弯管、弯头设置。

6 配置检测进、排浆的压力、密度和流量元件。

7 进、排浆管应具备延伸功能，单次延伸长度不宜小于 10m。

8 管路阀门与泥浆泵启闭应具有安全可靠的联锁功能。

9 硬岩、卵石、断层破碎带等地层中，可配备螺旋机辅助出渣功能。

10 气垫仓应配置液位传感器，满足液位实时监测功能。

6.2.10 同步注浆系统应符合下列规定：

1 注浆能力应满足最大掘进速度要求。

2 注浆管路应便于维护、清洗。

3 同步双液注浆系统宜采用“制-运-注”一体化工艺。

条文说明

“制-运-注”一体化工艺，首次在北京东六环工程成功应用，是将传统地面拌和站集成至盾构机台车上，形成的“制浆-运浆-注浆”一体化集成系统，包括台车式搅拌站、注浆设备、管路、控制系统 4 部分，有效解决了双液浆长距离运输“质损、低效、高耗”等难题。

6.2.11 导向系统应符合下列规定：

- 1 应采用激光自动导向系统。
- 2 测量仪器数据应采用无线传输，数据传输连续可靠。
- 3 具备管片姿态、盾尾间隙自动测量功能。

6.2.12 其它系统应符合下列规定：

- 1 土压盾构渣土改良系统宜采用单管单泵。
- 2 土压盾构螺旋机排渣系统应设置急停开关，且能在本地和主控室控制，并与推进系统互锁。
- 3 应配置功率不小于 55kw，数量不少于 2 台的应急防洪泵，且管路与台车排泥泵吸口处相连接。
- 4 后配套台车应配备应急发电机组，配置双电源自动切换装置，确保断电自动启动。

条文说明

应急发电机组功率应满足拼装机、管片吊机、空压机同时运行需求，确保断电情况下拼装机抓取的管片安全下放、管片吊机能够运输应急物资至前方、保压系统正常工作并维持开挖面压力稳定。

- 5 应配备固定式和移动式多种有害气体自动监测系统。

6.3 盾构组装

6.3.1 组装准备工作应符合下列规定：

- 1 根据盾构分块尺寸、隧道轴线、始发工作井结构等施作始发基座。
- 2 刀盘、盾体焊接时应搭建防护棚。
- 3 根据最大部件尺寸和最重部件规格，选择盾构吊装设备。
- 4 应熟知所组装部件的结构、连接方式及技术要求。

6.3.2 盾构组装工作应符合下列规定：

- 1 所有部件吊装须专人指挥，专职安全员旁站监护。
- 2 盾体组装时基准块应精准测量定位。

- 3 在刀盘焊接过程中应持续监测刀盘平面度。
- 4 刀盘、驱动部件宜采用整体吊装。
- 5 盾尾组装过程中，应加强盾尾结构尺寸的测量。
- 6 6级及以上大风、暴雨、雷电、冰雹、大雾和沙尘暴等恶劣天气严禁作业。

6.4 盾构调试与验收

6.4.1 盾构组装完成后，应进行各子系统空载调试、整机空载调试、负载调试。

6.4.2 应依据盾构技术参数、性能指标、设计图纸，制定现场调试验收大纲，并按验收大纲验收。

6.5 盾构拆解

6.5.1 应保证各部件结构、功能完好，防护到位。

6.5.2 应避免破坏性拆解，根据盾构不同部件采取分类保护措施。

6.5.3 拆机前应对盾构部件、管线等进行清晰标识。

6.5.4 应对拆卸后的各系统部件、零部件标识分类，清点数量。

6.5.5 洞内拆解时，应根据洞内空间及结构形式，合理组织拆解工序。

7 管片生产与储运

7.1 一般规定

7.1.1 管片生产应具有健全的质量管理体系、质量控制和检验制度，并应制定安全生产和绿色生产制度。

7.1.2 管片生产操作人员应进行技术培训，考核合格后方可上岗，特殊工种应持证上岗。

7.1.3 管片质量应满足抗压、抗渗、耐久性等设计要求。

7.1.4 管片厂生产过程中应采用智能化设备，提升管片生产效率和质量。

7.1.5 应建立管片生产信息化系统，对管片全生命周期实施信息化监测与管理。

条文说明

1 管片生产信息化系统，宜包含物料管理、设备管理、质量管理、库存管理、物流发运、安全管理、人员管理、数据集成分析平台等。

2 为实现质量溯源，宜通过预埋或粘贴等方式设置电子标签，内容包括：工程名称、建设单位、施工单位、管片生产企业、监理单位、混凝土强度等级、抗渗等级、每工序的开始及结束时间、出厂时间、检验状态、检验人、安装时间等，标签位置宜统一。

7.2 管片模具

7.2.1 管片模具应具有足够的强度、刚度、稳定性和良好的密封性，并满足管片尺寸和形状等质量要求。

条文说明

为保证模具刚度及抗划性能，型腔面板及受力构件宜采用 Q355B 级以上钢材。

7.2.2 模具应配置专用检测工具和快速检测工具，每生产 15 环应使用专用检测工具对模具尺寸进行检测；每个生产班次应使用快速检测工具对模具变形进行抽检，抽检频次按单套模具数量的 20%控制。

条文说明

为及时掌握管片模具使用过程中变形情况，采用专用检测工具对弧弦长、靠模夹角间隙进行检测，采用快速检测工具，如钢尺、内径千分尺、深度尺、游标卡尺等对宽度、对角线及内腔高度进行检测。

7.2.3 模具应设置管片型号、模具编号、主筋定位、宽度检测点、真空吸盘定位等标识。

7.2.4 模具的内表面应全部进行刨光处理，以保证生产出的管片表面质量。

7.2.5 不同成套模具应保证精度及稳定性，生产同型号管片的模具可完全互换使用。

7.2.6 模具设计时，振捣器数量及布置方式应通过计算确定，振捣能力应能满足混凝土流动性要求。

7.2.7 模具的设计使用寿命应满足不低于生产 1000 环管片的要求。

7.2.8 模具允许偏差见表 7.2.8。

表 7.2.8 管片模具尺寸允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查数量
1	宽度	±0.4	6 点/块
2	弧弦长	±0.4	4 点/块
3	靠模夹角间隙	≤0.2	4 点/块
4	对角线	±0.8	2 点/块
5	内腔高度	±1.0	6 点/块

7.2.9 每套模具应具有出厂合格证及原始出厂数据，并提供三维检测报告，出厂检验证书应能证明钢材、焊材及振捣器等配件符合相关标准要求。

条文说明

模具三维检测是指采用高精度测量设备激光扫描仪或跟踪仪对模具的几何形状、尺寸精度和表面特征进行全尺寸、高精度的数字化测量与质量评估。

7.2.10 新购置的模具应进行管片试生产,每套模具应试生产不少于1环管片。在试生产的管片中,随机抽取2环或3环进行水平拼装试验,拼装合格后方可正式生产。

7.2.11 模具投入使用前及使用过程中的检验,合模与开模的要求,均应符合现行《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446)的有关规定。

7.3 管片生产

7.3.1 钢筋混凝土管片原材料应符合现行《预制混凝土衬砌管片》(GB/T 22082)、《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446)的有关规定。当混凝土中掺加钢纤维、聚丙烯纤维等材料时,除应符合以上标准的规定外,尚应符合现行《混凝土用钢纤维》(GB/T 39147)、《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》(GB/T 21120)、《钢纤维混凝土》(JG/T 472)的有关规定。

7.3.2 钢纤维材料宜选用粘结成排钢纤维。

7.3.3 钢管片的钢材、焊接材料、防腐涂料、稀释剂和固化剂等原材料的品种、规格和性能等应符合设计要求。

7.3.4 混凝土设计强度等级和抗渗等级应符合工程设计要求。混凝土的配合比设计应符合现行《混凝土质量控制标准》(GB 50164)、《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55)的相关规定。钢纤维混凝土及纤维混凝土的配合比设计应符合现行《混凝土用钢纤维》(GB/T 39147)、《钢纤维混凝土》(JG/T 472)、《纤维混凝土应用技术规程》(JGJ/T 221)的有关规定。

7.3.5 管片混凝土的耐久性设计应符合现行《混凝土结构设计规范》(GB 50010)、《混凝土结构耐久性设计标准》(GB/T 50476)、《钢纤维混凝土》

(JG/T 472) 的有关规定。使用场所为腐蚀性环境的,应按《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082)的有关规定进行混凝土耐久性试验验证。

7.3.6 钢纤维混凝土配合比设计后应进行混凝土试拌,以确定各项材料最佳掺量。

7.3.7 管片钢筋加工、焊接及安全生产应按《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)、《预制混凝土衬砌管片》(GB/T 22082)的有关规定执行。

7.3.8 管片钢筋骨架必须在胎膜上组装焊接,钢筋胎膜必须有足够的刚度和精确的定位尺寸来保证钢筋骨架的尺寸精度。骨架连接前,应按下料表检查钢筋级别、规格、长度、根数及胎具型号。

条文说明

钢筋骨架宜全自动化加工、组装、焊接。

7.3.9 模具组装清理及钢筋骨架入模应按现行《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446)、《预制混凝土衬砌管片》(GB/T 22082)的有关规定执行。

7.3.10 管片混凝土搅拌及质量控制应符合现行《混凝土质量控制标准》(GB 50164)、《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》(JC/T 2030)、《钢纤维混凝土》(JG/T 472)的有关规定。当采用钢纤维混凝土时还应符合下列规定:

1 钢纤维混凝土拌合设备宜选用双卧轴机组,拌合能力应根据生产供应需要选定;拌合系统应同步配置钢纤维、聚丙烯纤维等投料及称量设备,纤维投料及称量设备应具备在搅拌站中控室集中控制的功能。

2 钢纤维混凝土搅拌时,宜优先采用将钢纤维和粗细骨料、粉料先干拌,后加水湿拌的方法;也可采用在混合料拌合过程中均匀撒布钢纤维的拌合方法。

3 当钢纤维体积率较高或混凝土强度等级在C50以上时,其搅拌时间应通过试拌确定,宜不少于180s。

7.3.11 管片混凝土运输、浇筑及间歇时间应符合现行《混凝土结构工程施工

规范》（GB 50666）、《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》（JC/T 2030）及设计文件的有关规定。当采用钢纤维混凝土和纤维混凝土时还应符合下列规定：

1 浇筑和成型过程中应保证钢纤维混凝土密实、钢纤维分布均匀以及钢纤维混凝土结构的连续性，避免出现拌合物离析、分层及钢纤维裸露出结构表面。

2 采用分层下料方式，每次布料不宜过多，由两头向中间分层布料，使混凝土在模具内均匀分布。

3 振动时间控制应以混凝土不出现离析分层并密实成型为准，不得过振、欠振，振动时间可根据混凝土坍落度具体确定，每片模具的振动时间宜控制在20min内完成。

4 浇筑过程中宜采用人工辅助进行振捣，振捣时振动棒与模具内表面距离应不小于100mm，严禁与钢模接触，不得支撑在钢筋骨架上。

5 浇筑过程中应观察各紧固螺栓、钢筋骨架及预埋件情况，如发生变形或移位，应立即停止浇筑、振捣，尽快在已浇筑混凝土凝结前修整合格。

6 宜采用平板振捣器或模外振捣器振捣成型。

条文说明

混凝土浇筑宜采用全自动布料、振捣。

7.3.12 模内混凝土收光、抹面宜在混凝土浇筑完成30min后，具体时间视气温及混凝土表面凝结情况而定。

条文说明

1 粗抹面：宜采用数控机械臂进行。当应使用铝合金压尺，应刮平去掉多余混凝土（或填补凹陷处），使混凝土表面平顺。

2 中抹面：待混凝土表面收水后应使用抹刀进行光面，使管片表面平整光滑。

3 精抹面：以手指轻按混凝土有微平凹痕时，应用抹刀精工抹平，力求使表面光亮无灰匙印。

4 直螺栓杆（芯棒）在混凝土浇筑完成后至拔除前应多次进行旋转，并在混凝土终凝前拔除。

5 管片收水抹面后，应及时覆盖塑料薄膜，避免管片出现失水龟裂。

6 每次混凝土收光抹面完成后应将钢模外表面清理干净,以免影响钢模组装精度。

7.3.13 混凝土蒸汽养护分为静停、升温、恒温、降温四个阶段,蒸养前应经试验确定养护控制标准。

7.3.14 管片宜采用蒸养窑养护,配置智能化控温系统,实现数据采集与追溯。

7.3.15 管片收面完成后到覆盖薄膜保湿的时间间隔夏季不得大于 15min,冬季不得大于 30min;管片静停养护时间夏季不得小于 1h,春秋两季不得小于 1.5h,冬季不得小于 2h。

7.3.16 管片升温速度一般不宜大于 13℃/h,降温速度不宜超过 15℃/h,恒温最高温度不宜超过 55℃,相对湿度应不小于 120%,恒温时间可根据起模强度确定,宜为 2~4h,管片出模后管片表面温度与环境温差不得大于 15℃。

条文说明

管片混凝土内外温差,为注浆孔内壁温度最高值与管片外表面温度最低值之差。大直径管片厚度大,蒸养时温度传导性同小管片相比相对较差,相应的其自身保温性更好,蒸养过程中内外温差会更大,更容易出现裂纹。

7.3.17 管片在未脱模前不应揭开混凝土表面的覆盖膜。

7.3.18 管片脱模时的混凝土强度控制,当采用真空吸盘时不应低于 18MPa,当采用其它方式脱模时,不应低于 20MPa。

7.3.19 管片成型后以同条件养护的试块的抗压强度应达到脱模强度后方可脱模、吊运。

7.3.20 出模后管片表面温度与环境温度相差大于 15℃时,应在室内车间进行降温,降温区应设置防风措施。

条文说明

管片脱模后由于水化热反应，管片自身温度持续升高，受外界冷风吹入易造成管片出现温差裂缝。

7.3.21 管片脱模起吊采用真空吸盘或专用吊具，应平衡起吊，不得单侧或强行起吊。

7.3.22 管片后期养护应符合现行《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）、《预制混凝土衬砌管片》（GB/T 22082）、《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》（JC/T 2030）及设计文件的有关规定。当采用水中养护时还应符合下列规定：

1 管片宜采用先水中养护、后喷淋养护、再自然养护的方式。水中养护时管片应全浸没于水面以下，时间不少于7d；喷淋养护要保证混凝土处于湿润状态，时间不少于14d；自然养护宜采取涂刷养护剂或喷淋养护的方式。

2 养护用水应选用地下水或自来水，水质应满足拌合用水标准，养护水宜每半年更换一次。

3 水养池水温的高低应与管片的温度相匹配，且温差不超过15℃。北方冬期施工期间，水池养护水温不应低于5℃，防止水池表面结冰。

4 管片投产前应针对水质进行PH值控制指标试验。水养池用水PH值宜为9~11，每周应检测一次，PH值宜采用生石灰进行调节。

7.4 存储与运输

7.4.1 管片存储、运输除应符合现行《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》（JC/T 2030）、《预制混凝土衬砌管片安全生产规范》（JG/T 2351）的有关规定外，尚应符合以下规定：

1 管片存储前应根据管片堆放高度、管片大小、自重对地基承载力进行验算和检测，合格方可投入使用。

2 管片堆场内排水应流畅，支垫应稳固可靠，管片应按型号分类堆放，并做好堆放记录台账。

3 管片可采取立放或内弧面朝上平放方式堆放。采用内弧面朝上平放时，排

间距不宜小于60cm，层间距不宜小于20cm。

条文说明

优先考虑内弧面朝上的方式存放管片，此方式安全系数高，同时便于管片修补。

4 管片堆放时间超过6个月，应采取防护措施。

条文说明

采取防护措施，旨在避免管片在自然气候交替作用下产生微细裂纹，导致管片耐久性的劣化。

5 管片成品内弧面向上且存放温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时，注浆管预埋件应采取防冻胀措施。

7.5 质量检验

7.5.1 管片成品检测方法及质量验收应符合现行《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）、《预制混凝土衬砌管片》（GB/T 22082）、《盾构隧道管片质量检测技术标准》（CJJ/T 164）的有关规定。

条文说明

1 管片成品检验主要包括外形尺寸测量、强度检测、标识标牌检查、抗渗检漏试验、水平拼装试验、螺栓孔抗拔试验等。

2 管片抗渗试验的频次：每生产 50 环应抽查 1 块做抗渗试验，连续 3 次合格，可改为生产 100 环抽查 1 块，再连续 3 次合格，可改为生产 200 环抽查 1 块，若出现 1 次不达标，则恢复每生产 50 环一次。

8 盾构始发与接收

8.1 一般规定

8.1.1 应编制专项方案，审批完成后方可实施。

8.1.2 全面调查工作井周边建（构）筑物、管线等环境因素，并按方案实施监测。

8.1.3 盾构始发和接收时，应做好关键节点条件验收。

条文说明

1 盾构始发主要工作包括：端头加固、盾构基座安装、盾构组装与调试、反力架安装、止水箱体安装、洞门凿除、负环拼装、始发段掘进、洞门密封等。

2 盾构接收主要工作包括：端头加固、盾构基座安装、止水箱体安装、洞门凿除、接收段掘进、洞门密封等。

3 始发、接收中应对端头加固质量、基座安装精度、盾构组装、反力架安装质量、止水箱体安装精度与质量、负环拼装质量等关键节点进行条件验收。

8.1.4 应检查端头加固质量，合格后方可施工。

条文说明

端头加固是指在盾构工作井洞口区域，对地层进行人工改良的工程措施。其核心目的是确保洞门破除及盾构始发、接收期间端头土体满足强度、稳定性和抗渗性要求。加固范围需结合隧道直径、埋深及地层特性经计算确定，常用方法包括旋喷桩、深层搅拌桩、水平注浆、冻结等。

8.2 端头加固

8.2.1 水泥系端头加固的长度、宽度、深度应符合下列规定：

1 长度应大于盾体长度 3m。

- 2 宽度宜不小于隧道结构外侧各 5m。
- 3 深度宜不小于隧道结构外侧各 5m。

8.2.2 采用冻结法进行端头加固应符合下列规定：

- 1 应实时监测、掌握相关的各种参数，保证冻结壁的安全和有效。

条文说明

监测项目：冻结加固范围内温度场、冻结孔去回路温度、压力变化、测温孔温度等。

- 2 冻结加固应监测工作井结构状态，确保冻胀变形在允许范围内。
- 3 加固范围内的冻结管拔除后，应保证盾构在 48h 内始发、接收完毕。

8.2.3 采用水泥系或冻结加固过程中，工作井及相邻区域不应进行降水作业。

8.2.4 水平探孔孔洞应无泥砂流出等异常现象，孔内每小时汇水总量应符合设计要求，且不超过 $0.03\text{m}^3/\text{d}$ 。

8.3 盾构始发

8.3.1 盾构始发基座应符合下列规定：

- 1 宜采用混凝土结构，混凝土应浇筑密实，混凝土标号不应低于 C40。
- 2 应留有盾体焊接空间，宽度不应小于 1m。
- 3 导轨方钢不应小于 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ ，安装精度误差应控制在 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 4 各分块之间宜通过型钢有效连接。

8.3.2 反力架应符合下列规定：

- 1 反力架结构及反力架后支撑体系应具有足够的强度、刚度和稳定性，满足盾构始发的反力要求。
- 2 与主体结构之间的间隙应填充密实，保证反力可有效传递到主体结构。

8.3.3 止水箱体应符合下列规定：

- 1 宜采用两道橡胶帘布和折页板的型式，必要时可增加一道钢丝刷，钢丝刷

在始发前应均匀饱满涂抹盾尾油脂。

- 2 应预留注浆孔，注浆孔的数量根据注浆工艺确定。
- 3 迎盾构端面应与盾构中心轴线垂直。
- 4 刀盘旋转时，钢丝刷或止水帘布不应与刀盘发生碰触。

8.3.4 洞门凿除应符合下列规定：

- 1 凿除前，应对端头加固效果进行验收，合格后方可作业。
- 2 采用冻结法端头加固时，凿除洞门过程中应加强覆盖保温措施。
- 3 凿除施工完毕后，盾构应尽快抵达开挖面，避免开挖面暴露过久发生失稳坍塌。

8.3.5 负环拼装应符合下列规定：

- 1 负环数量应根据管片宽度、工作井长度、盾构长度、反力架位置、止水箱体结构形式等因素确定。
- 2 钢筋混凝土负环管片应在内外弧面预埋钢板，满足负环连接要求。
- 3 负环管片拼装时，应采取稳定的定位、加固措施。

条文说明

负环拼装是盾构始发关键环节，负环与盾体的垂直度、盾尾间隙及负环的真圆度是控制关键指标。

8.3.6 泥水盾构始发建仓应符合下列规定：

- 1 建仓前，应检查洞门止水箱体安装质量，确保洞门密封止水效果良好。
- 2 建仓作业应在盾构刀盘完全进入洞门密封止水箱体后开始。
- 3 气垫舱加气前，泥水舱泥浆液面应控制在刀盘高度 2/3 以上。
- 4 切口压力达到设计值并维持 15min 后，无泥浆渗漏，即完成始发建仓。

条文说明

应全程监控洞门泥浆渗漏情况，发生小规模渗漏时可采用棉布、棉纱、沙袋、聚氨酯、盾尾密封油脂等材料进行正面封堵，适当增加泥浆和高分子堵漏浆液的粘度；发生较大渗漏应立即停止加注泥浆，查明原因并处理完毕后方可继续作业。

8.3.7 始发段掘进应符合下列规定：

- 1 应做好地面沉降变形监测，及时优化掘进参数。
- 2 在加固体段掘进时，应合理控制掘进参数，避免刀具非正常磨损、滞排、刀盘卡死等问题。
- 3 切口压力设置应根据止水箱体抗压能力、环流携渣要求等情况确定。
- 4 应及时进行管片拉结加固施工。

8.3.8 洞门密封应符合下列规定：

- 1 盾尾最后一道钢丝刷或钢板束完全进入止水箱体后，应在洞门止水箱体最外侧与管片间焊接二次密封板，焊缝应连续、无渗漏。
- 2 应定期巡检洞门止水密封效果，发现渗漏时，立即采取加焊、补焊措施。

8.4 盾构接收

8.4.1 盾构距接收工作井 100m 时，应对盾构姿态进行精确调整。

8.4.2 盾构接收过程中，应增加地面监测测量频次并及时反馈，确保数据及时、准确、有效。

8.4.3 盾构接收段掘进应符合以下规定：

- 1 盾构距接收工作井 10m 时，应动态调整掘进速度、泥水舱压力、推力等掘进参数。
- 2 盾构进入接收工作井前，应采用二次注浆加固，确保壁后注浆止水效果。
- 3 应及时进行管片拉结加固施工。
- 4 最后一环管片脱出盾尾后，及时施作洞门密封。

9 掘进施工

9.1 一般规定

9.1.1 在盾构掘进起始段 200m 范围内进行试掘进，验证盾构设备适应性，摸索总结合理施工参数。

9.1.2 掘进施工应重点关注切口压力、刀盘转速、推进速度、扭矩、推力、盾构姿态、同步注浆压力、泥水循环流速及流量、排渣量等参数，并遵循动态调整原则。

9.1.3 切口压力由地下水压力、土压力、变动土压力组成，压力阈值应根据工程水文地质勘察资料、工程实践综合确定。

9.1.4 同步注浆应与掘进施工同时进行，以控制地表沉降、减少管片位移和提高隧道防水性能。

9.1.5 掘进过程中，应实时监测盾构姿态。发生偏差时，应勤纠缓纠，防止过量纠偏。

9.1.6 掘进过程中，遇到下列情况之一时，应暂停施工，修复或风险解除后方可继续施工：

- 1 盾构前方地层发生坍塌或遇有障碍。
- 2 切口压力异常波动。
- 3 盾构壳体滚转角达到 2° 。
- 4 盾构轴线偏离隧道轴线达到 50mm。
- 5 盾构推力、扭矩、接触力发生异常波动。
- 6 管片严重开裂或严重错台。
- 7 壁后注浆系统发生故障无法注浆。
- 8 动力系统、密封系统和控制系统等发生故障。
- 9 洞内有害气体浓度监测值超出安全限值。

9.2 盾构掘进

9.2.1 试掘进应符合下列规定：

- 1 分析掌握掘进参数与地层变形的关系，及时优化掘进参数。
- 2 验证同步注浆浆液配合比的适用性。
- 3 掌握不同型式管片、箱涵拼装工艺，提高拼装质量。
- 4 试掘进验收通过后，方可进入掘进阶段。

9.2.2 掘进速度控制应符合下列规定：

- 1 每环掘进开始和结束时，速度不宜过快，中间段掘进速度宜保持稳定，不宜波动过大。
- 2 同步注浆量、盾尾油脂压注量、泥水系统进排浆流量、土压盾构排渣量应与掘进速度相匹配。
- 3 掘进速度应与地层相适应。通过复杂地层或敏感地段时，应及时调整掘进速度。

9.2.3 掘进姿态控制应符合下列规定：

- 1 盾构的平面、高程应根据设计要求确定。
- 2 盾构掘进过程中应使盾尾间隙保持均匀。
- 3 设置掘进姿态偏差警戒值与限制值。

9.2.4 泥浆控制应符合下列规定：

- 1 浆液性质应满足地层泥浆成膜要求。
- 2 针对掘进所遇地层宜开展渗透成膜试验，明确泥浆性能指标。
- 3 应采取措施保持泥浆指标在合理范围，满足泥浆携渣功能要求。
- 4 应做好废浆处理工作。

9.2.5 掘进时排渣控制应符合下列规定：

- 1 土压盾构螺旋输送机转速、泥水盾构泥浆泵流量应与掘进速度匹配。
- 2 应每环分析排渣渣样，对比设计地勘报告，指导调整掘进参数。

9.2.6 盾尾密封应符合下列规定：

- 1 盾尾密封控制应结合水文地质、掘进距离、盾尾间隙、盾尾油脂压注方式及数量等因素确定。
- 2 密封油脂应具有良好的粘附性、抗水冲刷性、稠度、泵送性、延展均敷度、稳定性。
- 3 盾尾间隙应保持均匀，并设定盾尾间隙预警值。
- 4 盾尾密封失效时，应采取应急措施。

条文说明

盾尾出现轻微渗漏时，应采用灌浆织物、棉纱、麻绳等应急材料，对盾构尾部漏点进行密封。

盾尾出现严重泄漏时，应连续泵送紧急密封盾尾油脂封堵，同时启动聚氨酯注浆封堵。

9.2.7 刀具管理应符合下列规定：

- 1 刀具类型、刀具材料应满足工程地质条件施工要求。

条文说明

刀具类型、刀具材料应根据不同地层中刀具损坏类型和程度做好动态调整。

2 根据试掘进刀具损耗情况，编制换刀方案，并根据工程地质、水文地质和掘进参数变化及时调整和完善方案。

- 3 制定合理的刀具维修方案。
- 4 刀具维修与更换时，应做好相应记录。

9.2.8 长时间停机前，应采取以下措施：

- 1 稳定盾构姿态。
- 2 降低刀盘停机扭矩。
- 3 适当加大同步注浆量，充分填充管片与地层间隙。
- 4 增加盾尾油脂的注入量，保证盾尾密封效果。
- 5 泥水盾构应控制泥浆指标，保证泥膜质量，保持开挖面稳定。
- 6 砂土地层宜径向注入膨润土等润滑材料，减小启动推力。

7 加强地面监测与巡查，加大管片变形与渗漏水的监测频率。

条文说明

“长时间”一般指大于 24h。

9.3 管片拼装

9.3.1 应根据设计文件、盾构姿态及参数、成型管片姿态、盾尾间隙及设计线路等因素，合理选择管片类型、管片排版、拼装方式和拼装位置。

9.3.2 管片拼装过程中，应逐块测量管片拼装错台量和张开量，允许偏差应符合表 9.3.2 的规定。

表 9.3.2 管片拼装过程检测指标

项次	检查项目	允许偏差 (mm)	检测方法
1	环间错台	≤3	尺量
2	环内错台	≤3	尺量
3	端面错台	≤1	尺量
4	张开量	≤3	尺量

条文说明

端面错台是指拼装过程中管片迎千斤顶面块与块间的错台量。

9.3.3 管片拼装成环后，允许偏差应符合表 9.3.3 的规定。

表 9.3.3 管片拼装成环检测指标

项次	检查项目	允许偏差	检测方法	检测数量
1	衬砌环间错台	≤6mm	尺量	逐环，每环 4 个点
2	衬砌环内错台	≤5mm	尺量	逐环，每环 4 个点
3	衬砌环椭圆度	±6‰	断面仪、全站仪测量	每 10 环
4	环面平整度	≤6mm	断面仪、全站仪测量	每 50 环

9.3.4 管片拼装过程中应对隧道轴线和高程进行控制，允许平偏差和检验方法应符合现行《盾构法隧道施工与验收规范》（GB 50446）的有关规定。

9.3.5 应控制管片脱出盾尾后管片上浮量，最大不宜超过 50mm。

9.3.6 管片连接螺栓紧固扭矩应符合设计要求，管片脱出盾尾后应及时二次紧固。

9.4 壁后注浆

9.4.1 同步注浆材料分为单液浆和双液浆。

9.4.2 浆液类型根据地质条件、设计要求、周边环境等因素确定，浆液性能应满足固结强度、凝结时间、可填充性、流动性、收缩率 and 环境保护等要求。

9.4.3 单液型同步注浆应符合下列规定：

- 1 浆液应具有较好的抗水分散性和可注性。
- 2 应根据不同地层选取浆液流动性参数。
- 3 浆液 28d 强度不应小于 1MPa。

9.4.4 双液型同步注浆应符合下列规定：

- 1 双液型浆液拌和系统宜与盾构设备整体设计。
- 2 浆液胶凝时间应与注浆管路长度相匹配。
- 3 1d 强度不应小于 0.2MPa，28d 强度不应小于 1MPa。
- 4 注浆系统应具备自动高压冲洗功能。
- 5 掘进停止前，应先停止双液型同步注浆施工。

9.4.5 同步注浆宜采用多点注入方式，定期检测同步注浆密实度。

9.4.6 成型管片脱出盾尾后，应进行密实度检测及管片姿态监测，并结合充填密实情况进行二次注浆充填。

条文说明

在盾构隧道同步注浆施工过程中，由于各种因素可能导致管片与地层间的空隙未充填饱满，需要进行二次注浆填充同步注浆未填充部分，从而改善盾构隧道管片衬砌结构的力学状态，减少对地层的扰动和地面沉降，有效抑制隧道上浮，提高隧道止水效果。

9.4.7 二次注浆宜通过管片预留注浆孔施工，也可采用地面或地层注浆等方式。启用后的注浆孔必须采用专用封堵头封堵，并做好记录。

9.5 盾构保养与维修

9.5.1 建立盾构及配套设备的保养与维修管理制度。

9.5.2 盾构维修保养应采用日常巡检保养和定期停机维修保养相结合的方式。

9.5.3 维修保养工作必须制定维保计划，并严格按照计划执行。

条文说明

盾构维保计划严格按照产品使用说明书进行制定。

9.5.4 盾构设备维护保养之前，设备安全装置闭锁，必须按规定要求启动和停机，非司机人员不得擅自操纵主机。

9.5.5 正处于维护与维修状态的盾构设备应进行警戒标识。

9.5.6 维护保养需拆卸安全装置时，应在作业前采取相应的安全防护，作业后应及时恢复安全防护装置。

9.5.7 盾构设备维护后应进行测试，经验收合格后方可运行。

10 隧道防水

10.1 一般规定

10.1.1 隧道防水以管片自防水为基础、接缝防水为重点，并加强特殊部位防水。

条文说明

管片作为隧道结构主体，其自防水性能是防水体系的第一道防线，主要通过混凝土抗渗等级、裂缝控制及耐久性指标保障。管片接缝是防水薄弱环节，受拼装误差、地层及隧道结构变形和运营振动影响易产生渗漏，其防水效果直接决定隧道防水成败，应重点管控。特殊部位（含螺栓孔、二次注浆孔、隧道与工作井或横通道连接处等）因结构形式及受力条件复杂、施工工序繁琐，渗漏风险较高，应加强管控。

10.1.2 防水材料应符合现行《盾构隧道工程设计标准》（GB 51438）的相关规定及设计要求，具有出厂合格证明，并按《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）的规定做好进场检验，严禁使用有毒及污染环境材料。

10.1.3 隧道渗漏水处理方案应根据渗漏原因、部位及水量制定，不得影响结构安全及耐久性，且应符合现行《地下工程防水技术规范》（GB 50108）有关规定。

10.2 管片接缝防水

10.2.1 防水密封条粘贴应符合下列规定：

- 1 防水密封条尺寸应与管片型号匹配。
- 2 粘贴前应检查管片密封条沟槽，缺损或较大气孔部位应修补平整。
- 3 密封条在管片密封槽内应居中安装、粘贴牢固，不得有空鼓、角部堆积。
- 4 遇水膨胀橡胶密封垫表面宜涂刷缓膨胀剂。

10.2.2 遇水膨胀类防水材料在运输及仓储期间，应采取防雨、防潮措施。

10.2.3 防水密封条粘贴完成后应按以下措施做好防护：

- 1 粘贴防水密封条的管片应采取防雨措施，并尽快使用。
- 2 管片吊运过程中，保证防水密封条不脱落、不移位。
- 3 管片拼装时，防止防水密封条脱槽、扭曲，封顶块拼装应保持足够封口尺寸，必要时涂刷润滑剂，避免密封条损坏、变形。

10.2.5 管片嵌缝防水应符合下列规定：

- 1 嵌缝材料应具备良好的不透水性、粘结性、耐久性、弹性及抗下坠性。
- 2 嵌缝前，应清理槽缝，并按规定施工作业。
- 3 嵌缝应填塞平整、密实，与管片基层密贴。

10.3 特殊部位防水

10.3.1 特殊部位防水施工包括螺栓孔、二次注浆孔、隧道与工作井或横通道接口等部位。

10.3.2 螺栓孔防水施工应符合下列规定：

- 1 密封圈应采用遇水膨胀橡胶或合成橡胶。
- 2 密封圈安装应符合设计要求，不得遗漏或外露。
- 3 螺栓垫片应完整，无开裂。
- 4 螺栓拧紧扭矩应满足设计要求，并及时复紧。

10.3.3 采用二次注浆孔施工完成后，应做好防水措施。

10.3.4 隧道与工作井、横通道等附属结构的接口部位，应按设计要求进行防水处理。

11 内部结构施工

11.1 一般规定

11.1.1 内部结构施工包括箱涵施工、烟道板施工、双层结构立柱施工、车道板施工、附属结构施工等。

条文说明

隧道箱涵施工包括中间箱涵拼装、边箱涵施工、箱涵填充等，部分隧道中间箱涵与边箱涵采用整体预制拼装施工。烟道板施工包含烟道板预制、牛腿现浇、烟道板安装等。部分隧道采用单洞双层车道结构，双层结构立柱施工包括基础、立柱、纵梁等。

11.1.2 内部结构施工应突出安全、高效、绿色、经济的特点，宜采用预制拼装工艺。

11.1.3 内部结构施工中模板、钢筋、混凝土应符合现行《混凝土结构工程施工规范》（GB50666）有关规定。

11.1.4 预制构件堆放场地地基承载力应满足要求，码放层数应符合设计要求。

11.1.5 内部结构预制应积极采用新技术、新工艺、新材料和新设备，推进施工机械化、自动化、智能化。

11.2 烟道板施工

11.2.1 预制烟道板安装前，应先施工烟道板牛腿，牛腿承载能力达到设计要求后，方可安装烟道板。

11.2.2 牛腿与管片连接处植筋施工应符合下列规定：

- 1 对管片牛腿位置凿毛，标明植筋位置。
- 2 植筋胶材料性能指标应满足设计规范要求。

3 植筋拉拔力检测应符合设计要求。

11.2.3 烟道板安装设备应进行专项设计和制造。

11.3 箱涵施工

11.3.1 箱涵施工顶面与隧道结构水平轴线偏差应满足设计要求。

11.3.2 箱涵拼装施工宜与盾构掘进保持均匀步距同步进行，边箱涵施工应与盾构掘进施工相协调。

11.3.3 箱涵拼装应满足下列规定：

- 1 拼装前，应检查箱涵底部管片是否渗漏，发现渗漏水点应及时处理。
- 2 箱涵吊具应抓举牢固。
- 3 箱涵底部注浆应饱满。
- 4 箱涵拼装宜采用智能精调装置。

11.4 双层结构立柱施工

11.4.1 基础施工应符合下列规定：

- 1 支模前应测量定位，与管片接触面应按设计要求进行植筋及凿毛处理。
- 2 截面尺寸及顶面高程应满足设计要求。
- 3 混凝土达到设计强度后，方可实施立柱施工。

11.4.2 立柱施工应符合下列规定：

- 1 施工前，应精准测量放线，定位允许偏差及垂直度应满足设计要求。
- 2 现浇立柱达到设计强度后，方可进行上层车道结构施工。
- 3 预制立柱安装后应及时设置临时支撑，防止移动及倾覆。

12 辅助施工与作业

12.1 一般规定

12.1.1 辅助施工作业应编制专项施工方案，并经审批后实施。

12.1.2 操作人员应进行技术培训，合格后方可上岗。特殊工种应持证上岗。

12.2 开舱作业

12.2.1 开舱作业分为常压开舱作业、带压开舱作业。

条文说明

常压开舱作业适用于地层自稳性好、无渗水风险或进行土体加固后的稳定地层。无法实现常压作业的地层，采用带压开舱。

12.2.2 开舱作业前，应全面检查调试通风、供电、照明、排水系统，确保正常运行且满足作业要求。

12.2.3 开舱作业应符合以下规定：

- 1 宜选择地层稳定、埋深适宜、环境扰动小的地段。
- 2 实时监测开挖面稳定性、有毒有害气体浓度、地表沉降及盾构姿态，出现异常时立即终止作业。
- 3 开舱作业时，严禁刀盘转动、出渣、泥水循环等危及舱内安全的操作。
- 4 作业结束后应及时清理舱内杂物。
- 5 出舱前，检查舱门密封装置完好，确保密封可靠。

12.2.4 常压开舱作业应符合以下规定：

- 1 须评估开挖面压力从设定工作压力降至大气压全过程的地层稳定性，并在降压期间实施监测与预警机制。
- 2 保证舱内通风良好，必要时增设局部通风设备。

12.2.5 带压开舱作业包括常规压缩空气作业及饱和带压开舱作业。常规压缩空气作业适用于压力 $\leq 0.5\text{MPa}$ 的欠稳定地层；当带压作业压力 $>0.5\text{MPa}$ 时，宜选用饱和带压开舱作业的方式。

条文说明

1 当压力 $\leq 0.36\text{MPa}$ 时，按现行《盾构法开舱及气压作业技术规范》(CJJ217)的有关规定执行；当压力 $>0.36\text{MPa}$ 时，按现行《空气潜水减压技术要求》(GB/T 12521)的有关规定执行。

2 当带压作业压力 $>0.5\text{MPa}$ 时，常规压缩空气作业人员健康工作时间短、工作效率低，宜选用饱和带压开舱作业。饱和带压开舱作业设施包含生活舱、穿梭舱、盾构人闸、穿梭舱运输设备、快速对接设备及其它配套设施。

12.2.6 带压开舱作业应符合以下规定：

1 对人闸、开挖舱等设备及泥膜进行气密性试验，试验压力不应低于作业最高压力，保压时间不少于 2h，漏气量应满足相关要求。

2 自动保压系统及人闸系统应运行可靠。

3 根据工程地质水文条件、刀盘直径等因素确定合理工作压力。

4 空压机的供气能力应满足维持开挖面稳定的漏气量和正常气体工作循环量，并配置应急发电机。

5 配备气压作业主管、操舱员、进舱作业人员及医护人员。

6 开舱作业时应监视空压机工作频率、开挖舱液位变化。

12.2.7 饱和带压开舱作业除应符合 12.2.5、12.2.6 的规定外，还应符合以下规定：

1 建立饱和带压开舱作业组织机构，进舱作业人员必须经饱和潜水作业专业培训。

2 每天对生活舱气体含量进行检测。

3 混合气体供应充足。

4 保证穿梭舱吊装、运输安全稳定。

5 发现疑似减压病，立即向潜水医生报告。

12.3 常压刀盘换刀作业

12.3.1 建立常压刀盘换刀舱门开、闭审批制度。非换刀作业期间，舱门必须保持关闭状态。

12.3.2 常压刀盘换刀前应做好下列准备工作：

- 1 作业人员须经过地面模拟换刀培训，考核合格后方可作业。
- 2 检查换刀设备、吊运设备等，保证设备可正常运行。
- 3 严格按照有限空间作业要求进行审批。

12.3.3 常压换刀作业过程应符合下列规定：

- 1 舱内作业必须保护舱内管线安全。
- 2 作业完成后，应安装防止刀筒后退的止退装置。

12.4 盾尾刷更换

12.4.1 盾尾刷更换作业应选择在地层稳定、渗透系数较小的位置。主动更换盾尾刷优先采用注浆法，被动更换盾尾刷优先采用冻结法。

12.4.2 应根据盾构掘进距离制定盾尾刷更换计划，更换前应提前预制至少 5 环特殊管片。

条文说明

特殊管片为增设注浆孔或冻结孔的管片，以方便注浆法或冻结法实施。

12.4.3 更换盾尾刷前应采用紧急密封油脂代替普通密封油脂。

12.4.4 停机后应通过特殊管片环向周围土体注浆，并通过盾体中部预留孔向周围土体注入聚氨酯。

条文说明

特殊管片环注浆顺序为：两环管片同时注硬性同步注浆浆液，其次在盾尾内的特殊管片环压注聚氨酯，再对脱离盾尾的特殊管片环二次补强注浆，最后采

用聚氨酯局部封堵。

12.4.5 停机时应确认各区域推进油缸行程，确保拆除管片后，需要更换的盾尾刷完全暴露。

12.4.6 拆除管片前必须检查止水效果，满足条件后方可进行拆除作业。

条文说明

从下至上依次打开特殊管片上的二次注浆孔，检测是否有水渗出，若无水渗出可认为止水效果合格，可进行盾尾刷更换作业；若有水渗出，则对渗水区域预留孔补注聚氨酯。

12.4.7 应实时监测，保障施工安全。

12.5 钢套筒接收

12.5.1 根据盾构尺寸、平纵曲线、接收工作井型式等因素，选择合适的钢套筒结构型式。

12.5.2 钢套筒与洞门连接环板应连接牢靠，套筒端盖支撑强度、刚度等应满足施工要求。

12.5.3 钢套筒安装完毕后应进行密封性能试验。

12.5.4 接收过程中，应严格控制掘进参数，及时反馈监测数据，出现异常情况及时处置。

12.5.5 接收段掘进严格控制盾构掘进姿态，精确控制盾构掘进轴线和套筒轴线位置关系。

12.5.6 盾构机完全进入套筒后，应立即对洞门与管片的间隙进行注浆封堵。

12.6 水下接收

12.6.1 工作井封堵墙应稳固牢靠，满足回填水土压力要求。

12.6.2 工作井内宜回填砂土至刀盘 2/3 处，并注水至地下水位标高。

12.6.3 盾构机主机完全到达接收基座后，应立即对洞门与管片的间隙进行封堵。

12.7 地中对接

12.7.1 根据工程地质水文条件、隧道平纵线型等综合因素，合理选择对接位置。

12.7.2 两台盾构对接掘进过程中应加强姿态控制，先行盾构到达停机位之后，后行盾构距离先行盾构 100m 时，进行盾构姿态精确调整。

条文说明

1 先到达对接点位置的盾构机称为先行盾构机。后到达对接点位置的盾构机称为后行盾构机。

2 根据先行盾构的停机位置、姿态和线路参数以及地层地质等工况，针对对接最后 100m 的对接掘进施工，应编制高精度对接专项方案，方案应包含掘进的参数设置、后行盾构每环姿态的调整计划以及对接精度的偏差计算等内容。

12.7.3 盾构机停机后，应采取加固措施，保证开挖面和盾构姿态稳定。

条文说明：

加固措施一般可选用：

- (1) 盾构机可通过盾体径向孔、超前注浆孔及同步注浆孔向地层注浆加固。
- (2) 可向盾构开挖舱内注入砂浆或水泥-水玻璃双液浆。

12.7.4 采用止退装置和止水措施，确保最后一环管片和盾壳有效连接。

条文说明

止退装置是为了防止管片发生位移而设置的止挡装置。

12.7.5 盾构机拆机应采用洞内拆机方式，盾壳应进行肋板加固，主驱动拆除宜采用特制工装进行整体翻身平移拆除。

12.7.6 洞内拆机应符合以下规定：

- 1 采用主动对接工法时，盾构机应模块化设计，便于运输和后期拆解。

- 2 解体工装及支撑系统应满足盾构机拆解各部件的空间和承载力需求。
- 3 拆解时应加强通风换气，实时监测有毒有害气体含量。

12.7.7 刀盘对接区域加固，软土地层应采用冻结法与注浆法联合加固方法，硬岩地层应采用注浆法。

12.7.8 对接段回填结构的凿除开挖应分层分段进行，减小暴露面，及时支护封闭。

12.7.9 对接段结构应充分利用盾壳结构，可采用钢混组合方式。

12.7.10 应进行施工全过程监控量测，宜采用自动化监测方式。

条文说明

1 监测主体包含先行盾构机及影响段隧道管片、后行盾构机及影响段隧道管片及相邻隧道。

2 监测项目包含盾体位移、管片位移、盾体应力、管片应力、止退结构应力、拉结钢板应力以及管片接缝张开量等内容。

13 特殊地段施工

13.1 一般规定

13.1.1 特殊地段盾构施工包括特殊地质条件、特殊工况、穿越敏感环境等情况下的施工。

条文说明

1 特殊地质条件主要包括：水域地段、土岩复合地层、断层破碎带、孤石、砂卵石地段、岩溶地段、存在有害气体地段等。

2 特殊工况主要包括：覆土厚度不大于盾构直径的浅覆土层地段、小半径曲线地段、坡度大于 30%的地段、隧道净间距小于 0.7 倍盾构直径的地段等。

3 敏感环境主要包括：地下管线和地下障碍物地段、建（构）筑物地段等。

13.1.2 特殊地段施工前应专项勘察。

13.1.3 特殊地段施工前，应符合以下规定：

1 做好盾构状态评估、维修保养，确保盾构设备状态良好。

2 查明施工影响范围内的工程地质和水文地质条件，核实隧道与周边建（构）筑物、管线等相对位置关系。

13.1.4 根据隧道所处位置、工程地质和水文地质条件，确定同步注浆的材料、压力和注浆量，在施工过程中根据监测结果及时调整。

13.1.5 同步注浆应选择体积变化小、早期强度高、速凝型的注浆材料。

13.1.6 及时分析渣土变化特征，结合掘进参数变化，判断盾构掘进状态。

13.2 施工措施

13.2.1 浅覆土段掘进施工应符合下列规定：

1 结合隧道的实际覆土厚度，采取有效措施，减小隧道上浮。针对软弱浅覆

土段，宜采用土体加固处理，增大抗扰动能力。

- 2 控制切口压力，允许偏差值为 $\pm 0.005\text{MPa}$ 。
- 3 加强隧道上浮、管片错台等的监测，及时调整盾构掘进参数。
- 4 控制掘进速度，合理设定泥浆指标，减少地层扰动。

13.2.2 穿越水域地段施工应符合下列规定：

1 掘进前，应对隧道轴线水域范围的水文地质、地形、水深等情况进行全面核查，复核隧道覆土厚度。

2 掘进时，应实时监测水面情况变化，严格控制切口压力、盾构姿态、管片姿态、盾尾间隙、进排泥流量、同步注浆等施工参数，防止开挖面失稳。

- 3 使用优质的盾尾油脂，适当加大油脂注入量，确保盾尾密封效果。

13.2.3 穿越敏感建（构）筑物施工应符合下列规定：

1 与产权单位或授权管理部门建立联系，调查建（构）筑物结构类型、基础型式等，做好现状评估。

- 2 提前布设监测点，并测取初始值，确保初始值可靠、准确。

- 3 掘进时应加强盾构姿态控制，穿越过程中少纠偏。

- 4 合理控制掘进速度，减少土体扰动。

- 5 同步注浆应饱满，必要时进行二次注浆。

13.2.4 穿越土岩复合地层施工应符合下列规定：

- 1 宜采用常压刀盘。

2 应慢速、均匀掘进，减少刀盘在软硬不均界面的冲击变形，根据基岩高度，合理确定推力。

- 3 加大刀具检测频率，避免刀具异常损坏。

4 动态监测泥浆指标变化，及时调整泥浆指标和环流参数，必要时停止推进，加强环流，提高携渣能力。

- 5 根据排泥管管路压力变化，分析判断管路堵塞位置，并采取处置措施。

13.2.5 穿越断层破碎带施工应符合下列规定：

- 1 地面条件允许时，应采用注浆加固提前处理。

- 2 泥水盾构宜采用螺旋机辅助出渣方式。
- 3 合理控制切口压力。
- 4 降低刀盘转速，减小刀具异常损坏，降低对断层破碎带的土体扰动。
- 5 适当增加同步注浆量。

13.2.6 穿越岩溶发育段施工应符合下列规定：

- 1 在盾构掘进范围内的溶洞应提前处理。
- 2 溶洞处理应以地面钻孔注浆为主。地面无法处理时，可在隧道内合理处置。
- 3 全填充溶洞应采用水泥浆加固；半填充或未填充溶洞宜采用回填砂浆和水泥浆加固。
- 4 密切关注切口压力、液位变化，出现异常，应立即停止掘进，并采取相应处理措施。

13.2.7 穿越孤石段施工应符合下列规定：

- 1 在盾构掘进范围内的孤石应采用钻孔爆破方式进行预处理。
- 2 掘进时出现异常，应带压进仓检查，采取合理破碎方式进行处理。
- 3 开启破碎机，避免泥水仓堵塞。

13.2.8 穿越有害气体段施工应符合下列规定：

- 1 必要时，采取抽排和封堵处理。
- 2 全面检查盾构密封系统，确保密封可靠。
- 3 加强通风换气，实时监测有毒有害气体含量。

13.2.9 穿越中间工作井施工应符合下列规定：

- 1 根据中间工作井内部结构形式，可采用空推过站法、回填料等方式通过。
- 2 进入中间工作井前应精确调整盾构姿态。
- 3 盾构完全进入中间工作井内应进行设备维修保养，开展检查刀盘、更换刀具等作业。
- 4 应在进井前 5 环和出井后 5 环壁后进行二次注浆加固，形成止水环箍。
- 5 合理控制掘进参数，避免推力过大造成中间工作井主体结构变形。
- 6 管片拆除应按从中间向两侧、从上至下的顺序。

13.2.10 小半径曲线段施工应符合下列规定：

- 1 合理控制推进液压油缸行程差、盾尾间隙等参数。
- 2 当使用超挖装置时，应控制超挖量。
- 3 加大人工复核盾构姿态的频率。
- 4 采取必要措施防止后配套台车脱轨或倾覆。
- 5 采取必要措施防止管片错台或开裂。

13.2.11 大坡度段施工应符合下列规定：

- 1 运输车辆应采取防溜车措施。
- 2 上坡时，应加大盾构下半部分推力，对后配套设备采取防脱滑措施。
- 3 下坡时，应加强盾构姿态控制，可利用辅助液压油缸等防止盾构栽头。

14 监控量测

14.1 一般规定

14.1.1 公路盾构隧道施工时应应对周边环境、隧道结构、附属结构及周边岩土体进行工程监测。

14.1.2 监测方案与应急预案需结合公路隧道特点，依据设计要求、工程地质及水文地质条件、掘进速度、隧道直径及周边环境等制定。方案应经专家评审后实施。

14.1.3 施工监测影响分区、等级划分、项目、频率、控制值和预警、成果及信息反馈等应符合现行《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911）和《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）的规定。

14.1.4 应结合工程自身及周边环境特点、要求，制定监测项目控制标准，及时整理、分析监测数据，综合评价隧道结构安全状态及隧道施工对周边敏感环境的影响。

14.1.5 工程监测应贯穿公路盾构隧道施工全过程。周边环境及周边岩土体监测初始值应从盾构掘进影响该监测区域前10d开始，直至监测对象稳定后方可结束。

14.1.6 应积极稳妥的采用新型监测技术。

14.2 专项监测

14.2.1 当遇到下列情况时，应进行专项监测：

- 1 穿越或邻近既有轨道交通、铁路设施。
- 2 穿越重要的建（构）筑物、高速公路、桥梁、机场跑道、大坝、江堤等。
- 3 穿越河流、湖泊、海域等水体。

- 4 穿越岩溶、断裂带、地裂缝等不良地质。
- 5 穿越重要的燃气、电力、供水等市政管道。
- 6 采用四新技术或有其他特殊要求。
- 7 引起重大影响的突发风险事件。

14.2.2 监测断面和测点应合理，优先选取不利部位进行监测。

14.2.3 施工时，实际揭露地质条件、周边环境出现重大变更或结构存在严重质量缺陷或病害时，应动态调整监测断面与监测测点。

14.2.4 监测频率应依据监测对象变化规律及结构安全状态动态调整。

14.2.5 突发风险事件时的应急抢险监测应在原有监测工作的基础上，有针对性地加密监测点、提高监测频率或增加监测项目。

14.2.6 盾构穿越水体前，宜做水下地形背景调查。

条文说明

将盾构穿越水体前的水下地形背景调查，作为基础地形数据，在盾构完全穿越后，作一次与背景调查相同范围的水下地形测量，用以了解水下地形的变化及隧道轴线上因施工而产生的水下地表变形。

14.2.7 宜采取远程自动化实时监测。

14.3 隧道结构监测

14.3.1 隧道结构监测内容应包括隧道结构竖向位移、水平位移、净空收敛，必要时，应进行应力监测。

14.3.2 管片脱出盾尾后应立即监测管片上浮量，上浮量控制值应根据工程需要、同步注浆类型、周边环境要求、管片裂缝、管片渗漏水等情况综合确定。

14.3.3 隧道结构监测数据应分别在管片拼装成环时、管片脱出盾尾时、管片壁后注浆凝固后12h内及后配套台车尾部通过时采集。

14.4 现场巡视

14.4.1 现场巡视应以简便、及时为原则。

条文说明

现场巡视工作主要以目测为主，可辅以锤、钎、量尺、放大镜等工器具以及摄影、摄像等设备进行，同时要配合引起监测区段周边环境及建（构）筑物发生变形的相应工况进行。

14.4.2 现场巡查宜包括下列内容：

- 1 盾构端头加固情况。
- 2 盾构始发、接收洞门稳定和渗漏水情况。
- 3 盾构掘进参数变化特征。
- 4 盾构停机、开仓等的时间和位置。
- 5 管片破损、开裂、错台、渗漏水情况。
- 6 联络通道开洞口情况。
- 7 盾构出渣特征，并与地勘报告进行复核。
- 8 盾构常压开仓时掌子面情况。
- 9 盾构刀具磨损情况。

15 施工安全与环境保护

15.1 一般规定

15.1.1 建立安全生产责任制，明确安全职责，制定安全生产管理制度。

15.1.2 盾构隧道施工必须遵守国家环境保护的相关法律法规，制定切实可行的环境保护措施。

15.1.3 隧道内作业位置应保持作业通道顺畅，设置照明设施，并应配备通信设备和应急照明。

15.1.4 施工现场应设置明显的安全警示标志，设置必要的安全防护设施。

15.1.5 应采取措施避免施工噪声、振动、水质和土壤污染及地表下沉等对周边环境造成影响。

15.1.6 应践行绿色、低碳施工相关要求。

15.2 通风

15.2.1 根据盾构设备状况、地质条件、进度和隧道掘进长度等条件，选择通风方式、通风设备，并制定隧道内温度控制措施。

15.2.2 施工通风宜采取机械通风方式。

15.2.3 风机的安装与使用应符合下列规定：

- 1 主风机安装应满足通风设计要求。
- 2 压入式主风机应设在隧道外。
- 3 隧道内辅助风机应安装在新鲜风流中。

15.2.4 通风管安装应符合下列规定：

- 1 送风管宜采用软管，靠近风机的软风管应采用加强型。
- 2 风管位置应根据内部结构形式合理规划布置。
- 3 通风管安装应平顺，接头应严密，每 100m 平均漏风率不应大于 2%。
- 4 通风管应设置专人定期维护、修理。

15.3 排水

15.3.1 工作井场地应配置排水设施，井口应采取防止洪水倒灌措施。

15.3.2 反坡施工阶段盾尾应设置足够的抽排水装置，避免盾尾积水。

15.4 绿色施工

15.4.1 施工中产生的废渣和废水处置应符合现行《盾构法隧道施工与验收规范》（GB50446）的有关规定。

15.4.2 渣土改良剂及泥浆添加剂等应采用环保材料，降低对土壤和地下水的污染风险。

15.4.3 泥浆及渣土处理装置等设备宜采用低噪音设备或采取必要的降噪措施。

16 风险辨识与应急处置

16.1 一般规定

16.1.1 施工前，应编制施工风险识别表、施工风险清单、施工风险记录表。

条文说明

施工风险识别表、施工风险清单和施工风险记录表可按现行《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》(GB50652)的有关规定执行。

16.1.2 盾构隧道工程施工前应根据设计文件、周边环境保护及相关标准的规定，结合施工特点、施工技术水平、工期、施工经验，对施工风险源和风险因素进行辨识与分析，对工程中重大风险源进行详细排查，制定有效的施工安全风险处置措施。

16.1.3 当施工条件发生重大变化时，应重新辨识分析风险源和风险因素。

16.1.4 应根据风险源辨识情况编制冒顶坍塌、盾尾渗漏、有害气体等专项应急预案。

16.1.5 现场应配备充足的应急救援物资。

16.1.6 施工前，应成立应急管理领导小组，建立健全应急管理体系，组建应急管理队伍，施工过程中应定期开展应急演练。

16.1.7 发生应急状况时，应立即启动应急预案，实施应急响应，组织应急救援，并按照规定的程序、时间逐级上报。

16.2 突发事件应急处置

16.2.1 盾构始发与接收涌水涌砂应采取下列措施：

- 1 采用沙袋等进行洞门四周封堵，调用水泵抽水。

- 2 启用降水井进行降水。
- 3 洞门水、砂流速减缓时，应采用快干水泥进行封堵，随后采用注浆封堵。
- 4 加强对周边环境的巡视与监控。

16.2.2 盾尾渗漏应采取下列措施：

- 1 加大盾尾油脂注入量，并对泄漏部位集中压注油脂，尽快恢复密封性能。
- 2 加强二次注浆。
- 3 及时排出泄漏的积水。
- 4 在安全前提下，应更换盾尾刷。
- 5 盾尾渗漏严重时第一时间紧急撤离人员。

16.2.3 突泥冒顶应采取下列措施：

- 1 缓慢降低切口水压，直至不再冒顶。
- 2 提高泥浆比重和黏度，稳定开挖面。
- 3 适当加快掘进速度，尽快穿过冒浆区。
- 4 盾尾过冒顶区后，应进行充分的二次注浆。

16.2.4 盾构下穿过程中引起地面建（构）筑物沉降变形较大时，应采取下列措施：

- 1 控制切口压力、推进速度等掘进参数，减小掘进对建（构）筑物的影响。
- 2 在沉降区范围内通过管片预留注浆孔进行二次注浆。
- 3 提高建（构）筑物监测频率，加强与监理、建设单位、产权单位等的沟通。
- 4 必要时，应采取地面加固措施。

16.2.5 刀盘卡死应采取下列措施：

- 1 回缩主驱动，进行泥浆循环，带出开挖仓内堆积的渣土。
- 2 顺、逆时针低速反复转动刀盘。
- 3 必要时，带压进仓清理堆积物、障碍物。

17 附属设施工程

17.1 横通道

17.1.1 横通道可采用矿山法或机械法施工。

17.1.2 矿山法横通道施工应符合设计要求和现行《公路隧道施工技术规范》(JTG/T 3660)的有关规定。当横通道穿越富水、软弱地层时,应采取地层加固措施。

17.1.3 横通道处特殊管片施工应符合下列规定:

- 1 现场拼装前应进行试拼装。
- 2 特殊管片钢板的防腐处理应符合设计要求和现行《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205)的有关规定。
- 3 应控制安装里程和角度。

17.1.4 横通道施工应符合下列规定:

- 1 施工前,影响范围内的盾构隧道应进行二次注浆,管片内应设置临时加固措施。
- 2 盾构通过至少 200m 且隧道变形稳定后,方可进行管片开洞。
- 3 横通道施工完成后,影响范围内的管片和横通道壁后应及时补充注浆,并复紧管片螺栓。

17.2 防火设施

17.2.1 防火涂料施工应符合下列规定:

- 1 防火涂料除应符合设计规定外,尚应符合现行《混凝土结构防火涂料》(GB 28375)的有关规定。
- 2 施工前应清洗管片表面灰尘、油污等。
- 3 施工前应先进行试验段施工。
- 4 宜采用喷涂工艺,自上而下喷涂。

5 界面处理、喷涂厚度、喷涂层次、施工温度等应符合产品说明书和设计规定。

17.2.2 防火板施工应符合下列规定：

1 防火板应符合设计要求和现行《隧道防火保护板》（GB 28376）的有关规定。

2 安装前应先清除混凝土表面不平整物。

3 安装时应以隧道横向中心线位置开始横向向两边展开，正向朝上安装。

4 安装时应采取临时固定措施。

5 安装时应与管片错缝拼装，接缝宽度不大于 2mm，如遇特殊情况无法避开管片缝或超过要求时，防火板拼缝位置应采用防火密封胶进行防护。

6 有饰面的防火板，表面应清洁干净、平整光滑、色泽一致、无裂缝，接缝应均匀、顺直；无饰面的防火板，表面应美观、色泽一致。

17.3 预留预埋

17.3.1 预埋件品种、规格、性能、位置应符合设计要求。

17.3.2 预埋件和预留孔洞位置允许偏差为±10mm。

17.3.3 预埋钢构件的防腐处理应符合设计要求和现行《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205）的有关规定。

17.3.4 施工后的预埋件应采取保护措施，防止被破坏或污染。

17.3.5 预埋件施工应便于后续施工的定位、安装。

18 信息化施工

18.1 一般规定

18.1.1 盾构隧道信息化施工应用应覆盖设计、施工、验收全过程，其目标、范围及硬件配置应根据项目特点、合同要求和技术水平综合确定。

18.1.2 盾构隧道 BIM 应用宜覆盖工程项目的深化设计、施工实施、竣工验收与交付等施工全过程，也可根据工程项目实际需要应用于某些环节或任务。

18.1.3 盾构隧道信息化施工系统与设备的必备硬件、软件及网络环境应根据现场需求配备，信息化系统与软硬件应能安全、稳定运行。

18.1.4 盾构隧道信息化施工系统应具备数据加密功能，确保工程数据安全。

18.2 信息化施工

18.2.1 项目实施过程中，宜采用物联网、移动互联网、先进监测技术对现场数据进行收集。

18.2.2 盾构始发掘进前，应建设盾构施工监控平台，协助现场安全、质量、进度、环境和设备管理。

条文说明：

盾构施工监控平台是基于物联网技术，主要由本地监控单元、手机 App、公共网络及远程监控中心等组成，用于盾构法隧道施工过程中数据实时存储、显示、分析和管理的平台。信息化施工数据应与管片生产、监控量测等系统实现互联互通。

18.2.3 盾构施工关键参数（推力、扭矩、注浆量等）应实现分钟级采集，数据存储周期不应少于工程竣工后 5 年。

18.2.4 盾构施工过程中，应利用信息化手段，分析总结掘进参数，提升盾构

掘进参数选取的合理性。

18.3 数字化交付

18.3.1 盾构隧道完工后，BIM 模型交付成果的格式和精度等级应符合现行《公路工程信息模型应用统一标准》（JTGT 2420-2021）、《公路工程施工信息模型应用标准》（JTGT 2422-2021）的有关规定，宜包括源格式及通用数据格式。

18.3.2 BIM 模型交付时宜提交模型使用说明，包括版本说明、模型拆分规则、模型视图定义等内容。

18.3.3 应做好电子文件归档和管理工作，电子文件应包括原始监测数据、设备运行日志、三维模型版本记录等，归档格式应符合现行《建设工程文件归档规范》（GB/T 50328）要求。

本规范用词用语说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

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，在条件许可时首先应这样做的用词，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用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定”。

2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合现行《××××××》（×××）的有关规定”。

3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”“应符合本规范第×.×节的有关规定”“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。