

公路隧道泥水盾构施工技术规范
(征求意见稿)

Technical specification for slurry shield tunneling construction of highway tunnel

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

目 次

前言III

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义2

4 总体原则2

5 预制构件3

 5.1 通用要求3

 5.2 原材料检验3

 5.3 构件模具控制3

 5.4 生产质量控制4

 5.5 成品质量检验5

 5.6 储存及运输6

6 泥水盾构系统配置7

 6.1 通用要求7

 6.2 盾构机7

 6.3 后配套系统8

 6.4 泥水处理系统8

7 盾构施工8

 7.1 通用要求8

 7.2 盾构施工准备9

 7.3 盾构机组装与调试9

 7.4 盾构始发10

 7.5 盾构掘进施工11

 7.6 泥水循环与处理14

 7.7 内部结构拼装与施工14

 7.8 防水工程15

 7.9 盾构接收16

 7.10 地中对接16

8 施工测量与监测17

 8.1 通用要求17

 8.2 施工测量17

8.3 施工监测	19
9 特殊作业与施工	21
9.1 通用要求	21
9.2 常压换刀	21
9.3 停机	21
9.4 带压进舱	21
9.5 带压换刀	22
9.6 特殊地段施工	22
10 智能建造	23
11 环境保护	24
11.1 通用要求	24
11.2 废浆处理	24
11.3 废水处理	24
11.4 废弃渣土资源化	25
12 成型隧道验收	25
12.1 通用要求	25
12.2 检验项目	25

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

起草单位：中铁十四局集团有限公司、中铁十四局集团大盾构工程有限公司、中铁十四局集团装备有限公司、济南大学、山东大学、山东建筑大学、广西大学

主要起草人员：陈健，李庆民，苏秀婷，李秀东，吴玉礼，刘燕，王志奎，李克金，杨公标，李利平，王旌，王清标，张稳军，胡云发，陈建福，舒计城，李秀领，王学哲，杨伦磊

公路隧道泥水盾构施工技术规范

1 范围

本文件规定了公路隧道泥水盾构施工技术在预制构件、泥水盾构系统配置、盾构施工、施工测量与监测、特殊作业与施工、智能建造、环境保护、成型隧道验收等方面技术要求。

本文件适用于采用泥水盾构法施工的公路隧道工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥
GB 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
GB 50010 混凝土结构设计规范
GB 50026 工程测量标准
GB 50108 地下工程防水技术规范
GB 50204 混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50208 地下防水工程质量验收规范
GB 50446 盾构法隧道施工及验收规范
GB 50661 钢结构焊接规范
GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
GB 55030 建筑与市政工程防水通用规范
GB/T 8076 混凝土外加剂
GB/T 11345.1 焊缝无损检测 超声检测 第 1 部分：通用方法
GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
GB/T 14684 建设用砂
GB/T 14685 建设用卵石、碎石
GB/T 1499.1 钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋
GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋
GB/T 22082 预制混凝土衬砌管片
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
GB/T 50082 混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
GB/T 50308 城市轨道交通工程测量规范
GB/T 50344 建筑结构检测技术标准
GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
GB/T 50905 建筑工程绿色施工规范
GBZ 1 工业企业设计卫生标准
GBZ 158 工作场所职业病危害警示标识
JGJ 8 建筑变形测量规范

JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
 CJJ/T 164 盾构隧道管片质量检测技术标准
 JTG C10 公路勘测规范
 JTG/T 3371 公路水下隧道设计规范
 JTG/T 3661 公路隧道交通工程与附属设施施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

泥水盾构 slurry shield

以泥浆为主要介质平衡隧道开挖面地层水土压力，通过泥水循环系统出渣的压力平衡式盾构。

3.2

泥水循环系统 slurry circulation system

泥水盾构中为泥水舱输送泥浆并通过管路排出渣土，参与开挖面压力平衡控制的设备及设施，主要由泥浆泵、进出泥浆管路、旁通管路、储浆池、调浆池等组成。

3.3

泥水处理系统 slurry blend and separation system

为泥水盾构提供泥浆调制和渣土分离的装置，主要由振筛、旋流、废弃泥浆脱水等单元组成。

3.4

隧道内部结构 internal structures

盾构隧道内部起支撑或分隔作用的构造物，主要包括箱涵、分隔墙、车道板、烟道板等。

3.5

常压换刀 cutter replacing under atmospheric pressure condition

盾构机处于停止掘进状态，在一个标准大气压下实施更换刀具的作业。

3.6

带压换刀 cutter replacing under high pressure condition

盾构机处于停止掘进状态，在高于一个标准大气压下实施更换刀具的作业。

3.7

智能建造 intelligent construction

公路隧道泥水盾构施工中，融合传感、物联网、大数据、人工智能、数字孪生与自动化控制等新一代信息技术，构建施工全过程感知、分析、决策、执行闭环，实现安全、优质、高效、经济、绿色建造目标的先进建造模式。

4 总体原则

4.1 公路隧道泥水盾构应根据工程地质与水文地质、周边环境、线路条件、设计要求等因素，综合考虑安全、质量、工期等要求，经技术经济比选后确定施工方案和施工方法，并应符合 JTG/T 3371 的相关设计规定。

4.2 公路隧道泥水盾构施工应建立安全管理体系、质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系，健全检验验收等相关管理制度。

4.3 公路隧道泥水盾构施工前应编制施工组织设计，特殊地段施工应编制专项施工方案，

并应进行专家评审。

4.4 泥水盾构机及配套设备应满足工程地质与水文地质、设计文件及施工要求，施工过程中应建立设备运行、检查和维护保养制度。

4.5 公路隧道泥水盾构施工应实行信息化施工，建立施工监测和信息反馈机制，对盾构姿态、掘进参数、开挖面压力、泥浆循环等进行动态监测，并应根据监测结果及时调整施工参数和施工措施。

4.6 施工质量验收应采用先进、成熟的检验检测手段，数据应真实可靠，并能全面反映工程质量状况。

5 预制构件

5.1 通用要求

5.1.1 预制构件生产应在满足功能需求的厂区或场地内完成，并应符合下列规定：

- a) 预制场选址及布置应满足生产、存放、运输机吊装要求；
- b) 场地地基承载力应满足生产设备运行及构件堆放要求；
- c) 场地运输道路应满足重载运输及大型构件运输车辆的通行要求，并应具备良好的排水、防沉降及防变形措施；

5.1.2 预制构件生产前应编制专项生产技术方案，正式生产前应进行试生产，并实施首件验收制度，首件验收合格后方可批量生产。

5.1.3 试生产前应配备满足性能要求的专用模具，模具精度宜采用三维检测方式进行控制，模具偏差应符合 GB 50446 的规定。

5.1.4 构件生产的过程检验、出厂检验、型式检验等应符合 GB/T 22082 的规定，不合格构件应予以报废或返修处理。

5.1.5 预制构件生产应建立健全安全管理体系、质量管理体系、环境管理体系，并应建立原材料管理、生产过程控制、设备管理、检验检测管理、产品标识与追溯及质量信息化管理制度。

5.2 原材料检验

5.2.1 构件生产所用的水泥、沙子、石子、钢筋、预埋件、外加剂等原材料应符合设计文件要求，并应符合 GB 175、GB/T 14684、GB/T 14685、GB/T 1499.1、GB/T 1499.2、GB/T 8076 等国家现行标准规定。

5.2.2 原材料进场应按批次进行验收，并应查验质量证明文件，按规定需要复检的原材料，应按照有关规定进行复检，复检合格后方可使用，原材料验收应符合下列规定：

- a) 原材料的生产厂家、品种、规格、等级和数量等信息应与质量证明文件一致；
- b) 原材料质量证明文件、复检结果及验收记录应完整，并应符合设计文件要求。

5.3 构件模具控制

5.3.1 模具的强度、刚度、密封性及尺寸，应符合设计和构件生产精度要求。

5.3.2 模具制作与构件生产过程中的精度检验应采用靠尺、千分尺和三维激光扫描等方式进行，检验精度应符合设计文的规定

5.3.3 模具的振捣方式及振动参数应与构件结构形式、混凝土性能及成型质量要求相适应，并应满足构件致密性和外观质量要求。

5.3.4 模具配件编号应唯一可追溯，模具组装前应清理配件并均匀喷涂脱模剂；模具合拢前，接触面应无异物，胶条无移位；螺栓紧固应采用扭矩扳手由中间向两端顺序紧固到位。

5.3.5 模具数量应满足生产产能、周转周期及工程进度要求。

5.3.6 模具应采用满足强度、耐磨性和密封性要求的材料制造，每套模具使用周转次数不应大于 1000 次。模具应实行周转管理制度，并应建立使用档案，对周转次数及精度变化进

行记录。

5.3.7 模具精度检验应采用三维激光扫描等数字化检测方法，其精度和检验频次应满足表 1 规定要求。预制箱涵和预制烟道板模具精度和检验频次应符合设计要求。在下列情况下应重新检验并修正模具精度：

- a) 模具受到重击或严重碰撞；
- b) 预制构件几何尺寸不合格；
- c) 模具停用超过 3 个月。

表1 管片模具精度及检验频次

序号	检测项目	允许偏差	检验频次	检测方法
1	宽度	$\pm 0.4 \text{ mm}$	1 次/每周转 100 次。	三维激光扫描 测量法
2	内腔高度	$\pm 1.0 \text{ mm}$		
3	弧弦长	$\pm 0.4 \text{ mm}$		
4	表面平整度	$\pm 0.5 \text{ mm}$, $\pm 0.2 \text{ mm/m}$		
5	纵环向芯棒中心距	$\pm 0.5 \text{ mm}$		

5.4 生产质量控制

5.4.1 生产过程中应对模具安装和拆卸、钢筋加工及制作、混凝土生产等工序进行质量控制，混凝土结构施工质量验收应符合 GB 50204 的规定。

5.4.2 预制构件的钢筋骨架应在符合要求的固定胎模上整体焊接成型，骨架焊接信息应录入生产质量追溯系统，经检验合格后方可使用。

5.4.3 管片、箱涵、烟道板的钢筋骨架安装检验要求和允许偏差应符合表 2 的要求。

表2 管片、箱涵、烟道板的钢筋骨架安装检验要求和允许偏差

序号	检验项目	允许偏差	检验频次	检验方法
1	主筋和构造筋长度	$\pm 10 \text{ mm}$	每班同设备生产 15 环（榀/块）同类型钢筋骨架，应抽检不少于 5 根。	钢卷尺测量
2	主筋折弯点位置	$\pm 10 \text{ mm}$		
3	箍筋外廓尺寸	$\pm 5 \text{ mm}$		
4	主筋间距	$\pm 5 \text{ mm}$	按生产量的 3%进行抽检，每日抽检不少于 3 件，且每件检验 4 点。	钢卷尺或游标卡尺测量
5	主筋层距	$\pm 5 \text{ mm}$		
6	箍筋间距	$\pm 10 \text{ mm}$		
7	分布钢筋间距	$\pm 5 \text{ mm}$		
8	骨架长、宽、高尺寸	-10 mm , $+5 \text{ mm}$		
9	混凝土保护层厚度	-3 mm , $+5 \text{ mm}$		

5.4.4 预制构件的混凝土设计符合下列规定：

- a) 混凝土配合比设计应符合 JGJ 55 的规定；
- b) 混凝土耐久性及环境作用等级应符合 GB 50010、GB/T 50476 的规定；
- c) 不同类型构件混凝土塌落度应符合表 3 的规定。

表3 管片、箱涵、烟道板混凝土塌落度要求

序号	检验项目	塌落度/mm
1	管片混凝土	30~70
2	箱涵混凝土	120~160
3	烟道板混凝土	80~120

- 5.4.5 预制构件的混凝土浇筑应符合下列规定：
- a) 混凝土应连续浇筑，并应分层均匀下料，分层厚度及浇筑顺序应符合施工工艺要求；
 - b) 混凝土振捣应密实，不得漏振、欠振或过振；
 - c) 混凝土试件留置数量应符合 GB 50446 和 GB/T 22082 有关规定；
 - d) 混凝土表面收面应平整、密实，其质量应符合设计要求。
- 5.4.6 脱模应符合下列规定：
- a) 管片脱模宜采用吸盘式脱模设备，箱涵和烟道板宜采用专用吊具脱模起模；
 - b) 脱模强度应符合设计要求，且管片吸盘脱模时混凝土强度不应低于 15MPa，箱涵及烟道板脱模时混凝土强度不应低于设计强度的 75%。
- 5.4.7 预制管片养护宜采用蒸汽养护、水中养护、喷淋养护等方式，水中养护时间不宜少于 7d，喷淋保湿养护时间不宜少于 14d；箱涵、烟道板宜采用喷淋养护，养护时间不宜少于 7d。且养护信息应录入生产质量追溯系统，并应设置预制构件生产信息二维码。

5.5 成品质量检验

5.5.1 预制构件的混凝土性能检验项目和要求应符合表 4 的要求。

表4 预制构件检验项目和要求

序号	检验项目	技术要求	检验频率	检验方法
1	抗压强度	符合设计文件要求	拌制的同配合比混凝土，取样不得少于 1 次/天。	按 GB/T 50081 执行
2	抗渗等级	符合设计文件要求	拌制的同配合比混凝土，取样不得少于 1 次/3 个月。	按 GB/T 50082 执行

5.5.2 预制构件的结构性能检验项目和要求应符合表 5 的要求。

表5 预制构件结构性能检验项目和要求

序号	检验项目	技术要求	检验频率	检验方法	备注
1	管片检漏检验	符合设计文件要求	按设计文件要求	GB/T 22082	管片
2	管片螺栓、注浆孔抗拔性能	符合设计文件要求	按设计文件要求	GB/T 22082	管片
3	烟道板静载试验	符合设计文件要求	按设计文件要求	GB/T 50344	烟道板
4	管片抗弯试验	符合设计文件要求	按设计文件要求	CJJ/T 164	管片

- 5.5.3 预制管片水平拼装试验应符合 GB 50446 的规定。水平拼装试验应定期进行，每 500 环宜进行 1 次，管片制作精度宜采用三维激光扫描等检测方法，并符合设计文件要求。
- 5.5.4 预制构件混凝土表面不应有粘皮、蜂窝、剥落、露筋、空鼓、磕损等缺陷。管片外观质量缺陷等级划分应符合 GB 50446 和 GB/T 22082 的规定。
- 5.5.5 管片成品尺寸检验项目和允许偏差应符合表 6 的要求。

表6 管片成品尺寸检验项目和允许偏差

序号	检验项目	允许偏差	检验方法
1	宽度	±0.4 mm	游标卡尺测量
2	厚度	-1mm， +3mm	游标卡尺测量
3	钢筋保护层厚度	-3mm， +5mm	钢筋扫描仪检测

4	内接触面 2 条对角线弦长		±1.5mm	三维激光扫描测量
5	环缝面和纵缝面	不平整度	0.2mm/m	三维激光扫描测量
		与内外表面的角度偏差	0.1°	
6	密封垫沟槽与凹凸榫	半径	±1mm	三维激光扫描测量
		至边沿的距离	±1mm	
		沟槽宽度与深度	±0.1mm	
7	螺栓孔位及孔径		±1mm	三维激光扫描测量

5.5.6 预制箱涵成品尺寸检验项目和允许偏差应符合表 7 的要求。

5.5.7 预制烟道板成品尺寸检验项目和允许偏差应符合表 8 的要求。

表7 箱涵成品尺寸检验项目和允许偏差

序号	检验项目	允许偏差	检验方法
1	长度	-10mm, +5mm	钢卷尺测量
2	宽度、高度	±5 mm	钢卷尺测量
3	壁厚	0mm, +10 mm	钢卷尺测量
4	接口尺寸	-5mm, +0 mm	钢卷尺测量
5	预埋钢筋接头间距	±10 mm	钢卷尺测量
6	钢筋保护层厚度	-5mm, +8 mm	钢筋扫描仪检测
7	预留孔洞位置	±5mm	钢卷尺测量

表8 烟道板成品尺寸检验项目和允许偏差

序号	检验项目	允许偏差	检验方法
1	长度	±2mm	钢卷尺测量
2	宽度	±2mm	钢卷尺测量
3	厚度	±2mm	钢卷尺测量
4	对角线差	10mm	钢卷尺测量
5	钢筋保护层厚度	-5 mm, +8mm	钢筋扫描仪检测

5.6 储存及运输

5.6.1 预制构件成品贮存应符合下列规定：

- a) 预制构件堆放场地应坚实平整，承载力应满足要求。
- b) 预制构件堆放场应设置排水系统，排水通畅，无积水；
- c) 预制构件堆放场储存容量应满足施工进度要求。

5.6.2 预制构件成品卧式堆放应符合下列规定：

- a) 应按不同型号分类标识码放，堆放顺序应满足发运及施工要求；
- b) 构件堆放时应避免混凝土表面污染及损伤；
- c) 管片卧式堆放应内弧面向上平放，堆放层数不宜超过 4 层；
- d) 箱涵堆放应按其规格及生产顺序分批堆放，堆放层高不宜超过 2 层，超过 2 层时应进行结构受力验算，并采取安全防护措施；
- e) 烟道板堆放层数不宜超过 4 层，超过 4 层时应进行结构受力验算并制定相应的安全防护措施；

5.6.3 预制构件成品立式堆放应符合下列规定：

- a) 管片立式堆放不应超过 3 层；
- b) 应按型号、编号及生产日期分类码放；
- c) 支撑垫应避免管片凸榫位置均匀设置，上下层垫块应在同一竖直线上。

5.6.4 预制构件成品的吊装与运输应符合下列规定：

- a) 运输设备的承载能力、尺寸及稳定性应满足预制构件及运输条件要求，并应保证运输过程中构件受力安全；
- b) 预制构件吊装应根据构件受力特点确定吊装方案，吊点设置应符合设计文件及吊

装计算要求，吊装过程应采取安全防护措施；吊装过程中应防止构件局部受力损伤；

- c) 预制构件吊装应采用专用吊具或柔性吊带；
- d) 运输过程应采取防撞、防滑及固定措施。

6 泥水盾构系统配置

6.1 通用要求

6.1.1 泥水盾构系统配置应包括盾构机及后配套系统，并应满足工程规模、施工安全、工程质量、工程进度、环境保护等要求。

6.1.2 泥水盾构系统配置应由衬砌类型及尺寸、工程及水文地质、周边环境、隧道线形及内部结构施工、管线布置等因素确定。

6.2 盾构机

6.2.1 盾构机配置应明确刀盘、主驱动、推进、盾尾密封、同步注浆、泥水循环、泥水压力调节保压、导向、管片拼装等系统技术要求。

6.2.2 刀盘符合下列规定：

- a) 刀盘结构应进行强度、刚度和耐磨性设计与验算，设计结果应满足工程地质条件及掘进参数要求，并应符合设计文件的规定；
- b) 刀盘开口率应根据地质条件、掘进效率和设备配置等确定，应配备刀盘刀具磨损监测系统及冲刷系统；
- c) 刀具选型与配置应根据地质条件、掘进长度等确定；
- d) 刀具布置应覆盖整个开挖断面。

6.2.3 主驱动符合下列规定：

- a) 主驱动功率应满足开挖地层、盾构机直径、刀具切削力等要求；
- b) 最大设计扭矩应满足地质条件和脱困要求；
- c) 最大输出转速应根据地质条件和施工要求确定；
- d) 主轴承密封性能应根据地质条件、水土压力等确定，密封承受的压力不应小于地层最大水土压力的 1.3 倍~1.5 倍。

6.2.4 推进系统满足盾构推进、调向和管片拼装要求，并应符合下列规定：

- a) 系统应包括推进油缸、管路、液压泵站、电气控制等设备；
- b) 推进油缸的数量、行程、推力、组合及分区应根据管片结构、管片尺寸、盾构直径、总推力等确定；
- c) 推进油泵功率及流量宜根据最大推力、最大推进速度确定。

6.2.5 盾尾密封系统符合下列规定：

- a) 应根据地层水土压力选择盾尾刷和钢板束，盾尾油脂泵应根据油脂腔室、注入点位数量等进行配置；
- b) 当高水压、小曲线、长距离盾构掘进时，应提高盾尾刷耐磨性和保压能力。

6.2.6 同步注浆系统符合下列规定：

- a) 系统应包括注浆泵、压力传感器、浆液罐、浆液转运泵、手动阀门、液动阀门及配套管路等；
- b) 系统配置应根据注浆材料、注浆方式、注浆量、注浆压力、管片抗浮等要求确定；并应满足施工参数调控精度要求；
- c) 注浆孔及管路布置应符合全断面注浆分布要求，并应配备备用管路。

6.2.7 泥水循环系统符合下列规定：

- a) 系统应包括进浆泵、排浆泵、进排浆管路、控制阀门、管路延伸机构、泥浆处理设备，除全断面砂层外宜配备破碎机；
- b) 进排浆泵应根据隧道埋深、隧道长度、端面大小与地面泥浆处理设备位置关系选型配置；
- c) 进排浆管路应配置密度仪与流量计。

- 6.2.8 泥水压力调节保压系统符合下列规定：
- a) 系统应包括压缩空气系统、压力调节及控制、进出气调节阀等；
 - b) 压力调节控制系统应具备双路冗余控制功能；
 - c) 气压调节装置的精度不宜低于 0.001MPa。
- 6.2.9 导向系统符合下列规定：
- a) 系统应包括全自动全站仪、中央控制器、激光靶及数据处理系统等；
 - b) 设备应在高温、潮湿等恶劣环境下设备应保证测量精度、使用寿命及可靠性；
 - c) 系统精度应综合考虑平面位置、高程、俯仰角、距离测量精度及掘进过程中温度、湿度、机械振动等因素的影响，满足工程精度要求。
- 6.2.10 管片拼装系统符合下列规定：
- a) 系统应包括管片吊机、输送设备、拼装机等设备；
 - b) 吊机及拼装机的起吊抓举能力应满足抓取最大吊装运输件重量及尺寸要求；
 - c) 拼装机应满足管片拼装精度、真圆度及管片拼装力要求。

6.3 后配套系统

- 6.3.1 后配套系统应包括管线延伸、物料运输、冷却水循环、污水排放及通风系统。
- 6.3.2 后配套系统应满足盾构掘进过程中物料运输、管线延伸、污水排放等辅助施工要求。
- 6.3.3 后配套系统应具备安全性和可靠性要求，各子系统应设置安全保护及故障报警装置。
- 6.3.4 后配套系统宜具备运行参数监测与信息化管理功能，对压力、流量、通风等关键参数进行动态监测。

6.4 泥水处理系统

- 6.4.1 泥水处理系统应包括泥水分离、制浆调浆、废浆处理及污水处理设备，施工前应根据工程特点、地质条件及施工进度等进行设备选型。
- 6.4.2 泥水分离设备应符合下列规定：
- a) 设备应包括预筛分单元、一级旋流单元、二级旋流单元、振动筛分脱水单元、储浆槽单元等；
 - b) 处理能力应满足盾构机最大进浆、排浆流量要求；
 - c) 应满足浆渣多级分离的需求。
- 6.4.3 制调浆系统应符合下列规定：
- a) 制调浆设备应包含制浆设备、调浆设备、泵组、搅拌器等；
 - b) 制调浆设备的能力应与地质条件、工程实际消耗、泥浆处理系统性能相匹配；
 - c) 应能及时补充新浆，调制后的浆液性能应满足盾构施工的比重、粘度等指标要求。
- 6.4.4 废浆处理设备应符合下列规定：
- a) 废浆处理设备应包含压滤设备或离心设备、加药单元、泵组等；
 - b) 废浆处理设备的性能和数量应满足盾构施工废浆排放量要求；
 - c) 宜配置废浆提浓罐、中转罐等装置；
- 6.4.5 污水处理设备应符合下列规定：
- a) 污水处理设备应包含过滤单元、加药单元、泵组等；
 - b) 污水处理设备的性能应满足废浆处理设备产生的污水排放量的要求；
 - c) 处理后污水的水质、pH 值等应满足当地生态环境主管部门的排放要求；
 - d) 处理后的污水宜优先用于制调浆、箱涵养护、场地冲洗等项目施工作业。

7 盾构施工

7.1 通用要求

- 7.1.1 泥水盾构施工前，应根据周边环境、道路条件、安全要求、已规划的红线用地范围等进行临时场地布置规划。
- 7.1.2 盾构吊装、始发、接收、吊拆，带压换刀、穿越二级及以上风险源等关键工序施工

前，应进行施工条件核查。

7.1.3 泥水盾构应进行 100 环试掘进，并应根据试掘进情况确定正常掘进施工参数。

7.1.4 泥水盾构及配套设备应建立维护与保养制度，并应按规定进行保养检修。

7.1.5 盾构施工应满足当地环境保护要求。

7.1.6 内部结构施工应与盾构推进同步进行。

7.2 盾构施工准备

7.2.1 盾构施工前应根据设计图纸、地质勘察报告、周边环境条件、施工红线用地、供电来源完成技术、场地、供电等各项准备工作。

7.2.2 盾构施工技术准备应符合下列规定：

- a) 施工前应完成施工图设计文件、勘察报告和风险评估报告的会审工作；
- b) 泥水盾构隧道施工前应具备地质详勘报告、周边环境及管线调查资料、设计及施工文件、工程风险评估报告、应急预案等技术资料；
- c) 应根据施工设计图纸、水文地质详勘报告等确定盾构机及地面配套设备选型；
- d) 泥水盾构专项施工方案应包括盾构机吊装组装、始发及试掘进、穿越风险源、带压进舱、接收、拆解、隧道区间测量等内容；
- e) 应根据隧道内部结构形式、运输安全性、设备尺寸及施工方法，确定隧道内物料运输方式。

7.2.3 盾构施工场地准备应符合下列规定：

- a) 施工场地应分区域、分阶段布置，满足盾构机组装、始发、掘进、接收、拆解及内部结构施工需求；
- b) 场地布置应满足当地生态环境保护要求；
- c) 应根据不同施工阶段需求，及时优化调整临时设施布置；
- d) 施工场地应设置泥水处理区、弃渣区、拌合站、预制构件存放区、物资设备存放区、加工车间、风水电设施区、应急物资存放区及运输道路；
- e) 工作井周边吊装作业区及重载道路地基应满足承载力要求；
- f) 施工场所设置的安全警示标识应符合 GBZ 158 的规定。

7.2.4 盾构施工供电准备应符合下列规定：

- a) 现场用电设备主要包括盾构机、泥水分离设备、废浆处理设备、进出浆泵、同步注浆拌合站、龙门吊、隧道通风机、机械加工车间、冷却水塔、现场照明及排污设备等；
- b) 现场中心配电站接入容量，应满足所有用电设备的最大负荷要求，变压器容量及安装位置应根据现场实际情况合理配置；
- c) 瓦斯等特殊地段施工时，隧道内电气设备应具备防爆功能；
- d) 施工现场应配备应急发电机组，并应满足盾构机空压机、拼装机辅助泵、照明等应急设备的用电需求；
- e) 应编制临时用电施工组织设计方案，并经验收合格后方可投入使用。

7.3 盾构机组装与调试

7.3.1 应根据盾构机设计图纸、吊装井口尺寸及数量、周边环境等确定吊装组装工艺，流程应包括组装准备、组装、调试及验收等。

7.3.2 盾构机组装准备符合下列规定：

- a) 应完成管理人员方案交底及作业人员安全技术交底，明确组装吊装顺序及安全注意事项；
- b) 应满足吊装场地的地基承载力和基坑结构安全要求；
- c) 应对盾构机吊装区域及受影响的周边建筑物设置警戒防护；
- d) 起重设备应有资质的单位检测合格，吊具、索具应具有合格证或试验检测报告，经监理单位验收后使用；
- e) 应根据盾构部件情况，准备组装需要的设备、工具、材料等；
- f) 应根据设计要求，核实始发基座、弧形导槽、反力架及洞门钢环的位置。

7.3.3 盾构机组装符合下列规定：

- a) 组装人员应掌握组装部件的结构、连接方式及技术要求；
- b) 应根据运输顺序、组装顺序合理安排盾构机各部件进场；
- c) 气割作业时，应检查气割下方机械设备有无覆盖防火阻燃布；
- d) 焊接作业时，焊点和地线接地点之间的距离不应超过 1m，且不应跨越构件；
- e) 液压千斤顶、手拉葫芦、钢丝绳等机具使用前，应检查质量及吊点牢固性；
- f) 应明确盾构机组装时各部位螺栓预紧力、密封安装及检查要求；
- g) 大件组装时应加强盾构始发井及端头加固区变形监测；
- h) 盾体安装前，应清理各连接面异物，检查密封圈完好性，确认密封良好后安装；
- i) 利用液压千斤顶顶推盾体前，应检查后支撑体系牢固性，顶推过程宜分段、慢速进行，并保持安全距离；
- j) 应委托具有相应资质的机构，对刀盘、盾体、吊耳等关键焊接部位进行超声波或射线探伤，并出具探伤报告。

7.3.4 盾构机调试符合下列规定：

- a) 盾构调试前应检查各润滑系统油品型号，并加注足量油品；
- b) 空载调试应重点检查刀盘系统、主驱动系统、推进系统、拼装系统、盾尾密封系统、同步注浆系统、泥水循环系统、压缩空气调节系统、导向系统、物料运输系统、润滑系统、通风系统、冷却循环系统等是否满足相关技术要求；
- c) 负载调试应采取相应技术及管理措施，保障工程安全、质量及轴线精度。

7.3.5 盾构机验收符合下列规定：

- a) 应根据验收大纲逐项进行功能验收，验收方式包括外观检查、系统动作测试、超声波焊缝探伤及气密性测试等；
- b) 应对盾体、人舱、物料舱、刀盘、主驱动、拼装机、运输吊机、液压设备、机械结构、电气设备等外观进行验收；
- c) 应对开挖、主驱动保压、推进、环流、拼装、物料运输、保压、导向、油脂润滑、冷却循环、同步注浆、管路延伸及通风系统进行测试；
- d) 应对刀盘、盾体、盾尾及压缩气罐的焊缝进行超声波无损检测，检测方法及质量等级符合 GB 50661、GB/T11345.1 的有关规定，检验不合格不得始发；
- e) 应对气垫舱、人舱、物料舱及泥浆管路进行气密性保压测试，检验不合格严禁始发。

7.4 盾构始发

7.4.1 盾构始发应根据端头加固方式、工程地质与水文地质、覆土埋深及周边建（构）筑物等因素进行综合分析并与施工组织设计，始发流程应包括端头加固施工、始发条件验收、始发掘进及试掘进等阶段。

7.4.2 盾构始发端头加固应符合下列规定：

- a) 端头加固方法应结合工程地质、水文地质及周边环境综合选用，可采用深层搅拌法、高压旋喷法、冻结法等；
- b) 加固范围应满足始发安全要求，纵向长度宜比刀盘前端至盾尾末端的总长度大 3m~5m，横向长度宜向两侧延伸至管片外边缘 5m，竖向长度宜向下延伸至隧道底部 5m，并宜向上延伸 5m；
- c) 加固完成后应通过探孔检测、取芯试验检验加固效果，不合格部位应重新加固。

7.4.3 盾构始发基座、反力架和负环管片定位时，管片环面应与隧道轴线相适应，盾构主机宜抬高 20mm~30mm。

7.4.4 洞门破除应符合下列规定：

- a) 采用玻璃纤维筋和普通钢筋的双层配筋洞门，应破除普通钢筋网和保护层；
- b) 应分层、自上而下进行破除；
- c) 应加强破除过程中地面监测与洞门巡查。

7.4.5 降水井位置和数量应根据端头加固方式、水文地质等条件合理布设，抽水试验应满足降水要求。

7.4.6 泥水盾构始发前，应按设计要求在洞门处安装洞门密封环、橡胶帘布等密封装置。

- 7.4.7 应在基座轨道、刀盘外缘刀具、洞门密封装置帘布及翻板上涂抹润滑剂。
- 7.4.8 负环管片应按设计位置预埋钢板，管片内外弧面环与环、块与块间应将筋板与预埋钢板焊接。
- 7.4.9 脱出盾尾的负环管片，其底部与始发基座之间、腰部两侧与临时支撑之间应安装楔形块。
- 7.4.10 泥水盾构建舱及二次密封宜按下列工序进行：
- 盾构刀盘完全穿过洞门密封接触加固体后，向开挖舱和气垫舱注入浆液，逐步将气垫舱加压至 0.1MPa，直至浆液充满开挖舱且气垫舱液位保持中心位置；
 - 通过密封钢环预留注入孔，向两道帘布间注入堵漏材料，封堵帘布与盾构之间的空隙，较大空隙宜采用棉纱、木塞或油脂封堵；
 - 盾尾完全进入密封环后，应焊接密封钢板、圆环板及零环管片外侧预埋钢板，形成二次密封，并对密封环腔体进行检漏及注浆填充。
- 7.4.11 始发时应采用低推力、低转速推进，并应焊接防止盾构扭转装置。
- 7.4.12 始发过程中应监控始发基座、反力架、负环管片和洞门密封等的工作状态。
- 7.4.13 试掘进施工应符合下列规定：
- 应验证切口压力上下限值设定；
 - 应验证同步注浆填充率对管片上浮及箱涵错台的影响；
 - 应确定控制地表沉降的最优参数；
 - 应验证并优化掘进速度、刀盘转速、贯入度、刀盘扭矩及总推力等参数；
 - 应根据预制构件成型质量，制定质量缺陷控制措施；
 - 试掘进结束后，应编制试掘进报告，完成成型隧道质量验收，确定正常掘进参数。

7.5 盾构掘进施工

7.5.1 盾构掘进应根据工程地质与水文地质、隧道埋深、线路平面与坡度、地表环境、施工监测、盾构姿态、刀盘扭矩、千斤顶推力等信息，并结合试掘进段的经验优化掘进参数。

7.5.2 掘进参数应包括切口压力、刀盘转速、扭矩、贯入度、掘进速度、总推力、同步注浆压力及放量、进排浆流量等，并应符合下列规定：

a) 应根据工程地质、水文地质等勘察资料，选择水土合算或水土分算计算盾构中心及切口压力设定值，水土合算切口压力上限、下限分别按照公式（1）、（2）计算，水土分算切口压力上限、下限分别按照公式（3）、（4）计算；全断面硬岩地层应根据地质、地下水位等情况调整切口压力值。

$$p_{\pm} = p_1 + p_2 + p_3 = K_0[\gamma \times (H - h) + \gamma_{sat} \times h] + 20 \quad (1)$$

$$p_{\mp} = p_1 + p_2 + p_3 = K_a[\gamma \times (H - h) + \gamma_{sat} \times h] + 20 \quad (2)$$

$$p_{\pm} = p_1 + p_2 + p_3 = \gamma_w h + K_0 \gamma' h + K_0 \gamma h_w + 20 \quad (3)$$

$$p_{\mp} = p_1 + p_2 + p_3 = \gamma_w h + K_a \gamma' h + K_a \gamma h_w + 20 \quad (4)$$

式中： $p_{\pm}$ ——切口水压上限值（kPa）；

$p_{\mp}$ ——切口水压下限值（kPa）；

p_1 ——地下水压力（kPa）； p_2 为静止土压力（kPa）；

p_3 ——波动压力值，一般取 20kPa； γ_w 为水的重度（kN/m³）；

γ_{sat} ——土的饱和重度（kN/m³）；

γ' ——土的有效重度（kN/m³）；

h ——地下水位以下的隧道埋深（m）；

h_w ——地下水位埋深（m）；

K_0 ——静止土压力系数;
 K_a ——主动土压力系数;
 γ ——土的天然重度 (kN/m^3);
 H ——隧道埋深 (m)。

b) 刀盘转速、扭矩及贯入度应根据地层可掘性、刀具磨损状态及出渣能力确定。刀盘扭矩计算可按公式 (5) 计算, 贯入度计算可按公式 (6) 计算。

$$T = \alpha D^3 \quad (5)$$

式中: T ——刀盘装备总扭矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);
 D ——刀盘外径 (m);
 α ——扭矩系数, $\alpha = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3$;
 α_1 ——支承系数;
 α_2 ——土质系数;
 α_3 ——稳定掘削扭矩系数。

$$P = V/n \quad (6)$$

式中: P ——贯入度 (mm/rpm);
 V ——盾构机推进速度 (mm/min);
 n ——刀盘旋转速度 (rpm)。

c) 总推力应与地层阻力、设备能力相匹配, 并按公式 (7) 计算:

$$F = k_1 \times (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5) \quad (7)$$

式中: F ——盾构总推力 (kN);
 k_1 ——安全系数 (k_1 可取 1.3~1.5);
 F_1 ——盾体与岩土体间的摩擦阻力 (kN);
 F_2 ——刀盘正面土压力和水压力引起的推进阻力, 即开挖面支撑压力 (kN);
 F_3 ——刀具贯入岩土层的阻力, 即刀具推力 (kN);
 F_4 ——盾尾刷与管片间摩擦阻力 (kN);
 F_5 ——后方台车牵引阻力 (kN)。

d) 开挖渣土实际质量应按循环进排泥流量、密度计算, 每环理论排渣量应按式 (8) 计算:

$$V_R = (Q_1 - Q_2) \times t \quad (8)$$

式中: V_R ——实际切削量 (m^3);
 Q_1 ——排泥流量 (m^3/min);
 Q_2 ——送泥流量 (m^3/min);
 t ——掘削时间 (min)。

7.5.3 盾构掘进应根据开挖土量、泥浆性质、进排泥浆流量等进行确定, 并符合下列规定:

- a) 应通过试验确定黏度、相对密度、含砂率、滤失量等泥浆参数, 并实施泥浆动态管理;
- b) 应根据开挖面水土压力设定泥浆压力, 泥浆压力波动允许偏差为 $\pm 0.02 \text{MPa}$;
- c) 穿越江河段或富含承压水地层时, 应增加盾尾油脂压注量, 监测油脂压力波动, 并观察盾尾有无渗漏;
- d) 掘进参数异常时, 应及时排查原因, 必要时停机处理; 长时间停机应采取保压措施, 维持开挖面稳定;
- e) 掘进引起的地面沉降不应影响周边建(构)筑物的结构安全。

7.5.4 盾构姿态控制应符合下列规定:

- a) 应根据导向系统显示的姿态、趋势及滚动角, 结合地层、轴线及坡度, 通过分区

操作推进油缸控制掘进姿态；

- b) 应实时测量盾构里程、轴线偏差、俯仰角及滚转角，并根据测量数据、盾尾间隙、隧道轴线及推进油缸行程差进行管片选环；
- c) 盾构轴线水平偏差、竖向偏差的绝对值不宜大于 50mm，每环姿态调整不宜大于 5mm；
- d) 盾构轴线水平趋势、竖向趋势偏差不宜大于 $\pm 5\text{mm/m}$ ，每环姿态趋势调整不宜大于 2mm/m；
- e) 姿态纠偏应遵循提前纠偏、缓慢纠偏的原则。

7.5.5 管片拼装应符合下列规定：

- a) 应结合盾尾间隙、千斤顶行程及盾构姿态选择管片点位，采用错缝拼装；
- b) 应根据拼装点位安放管片，每次回缩的千斤顶数量不应大于 4 组；
- c) 千斤顶完全受力后，应复核管片端面、内弧面、环向错台及破损情况；
- d) 拼装前应清理盾尾杂物及污水，不得残留硬质材料；
- e) 每环管片螺栓应进行多次复紧；
- f) 管片拼装时应遵循“由下至上、左右对称”的拼装原则；
- g) 安装封顶块前，应对防水密封条进行润滑处理，顶入过程不应损坏密封条；
- h) 管片出现破损、开裂时，应及时上报并按修补方案修复；
- i) 管片拼装质量控制措施应符合现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）的相关规定。

7.5.6 同步注浆应符合下列规定：

- a) 应根据地质条件、隧道形式及工程环境选用单液或双液注浆材料，通过试验确定配合比，浆液的强度、流动性、凝结时间及环保性能应满足设计要求；
- b) 应根据盾构开挖直径及管片外径计算理论注浆量，充填系数应结合地层条件、施工状态及环境要求确定，注浆量应根据地表沉降监测数据动态调整；
- c) 同步注浆量和注浆速率应与推进速度相匹配；
- d) 同步注浆压力宜大于对应位置的静止水土压力 $0.2\text{MPa} \sim 0.3\text{MPa}$ ；
- e) 应严格控制每环注浆量，不得少于规定值；注浆压力较高但注浆量不足时，应检查压力传感器；
- f) 掘进过程中及完成后，应监测浆液罐液位；
- g) 穿越重要建（构）筑物时，应优化注浆工艺，并根据地面监测数据动态调整注浆参数。

7.5.7 二次注浆应符合下列规定：

- a) 应根据地表沉降、管片上浮等情况，结合雷达探测衬砌背后密实度，综合判断是否需进行二次注浆；
- b) 二次注浆宜在管片脱出后 2 环~10 环的位置进行，同一管片应按“先拱顶后两腰，两腰对称”的方式注入；
- c) 二次注浆应以压力控制为主，当压力未达到设定值，而注浆量达到设定值时，应根据监测数据判断是否再次进行注浆。

7.5.8 微扰动施工应符合下列规定：

- a) 宜通过控制掌子面泥膜质量、切口压力、泥浆指标、掘进参数及同步注浆参数实现微扰动施工；
- b) 微扰动施工宜采用高密度、高黏度泥浆推进；
- c) 盾构穿越过程中泥水压力允许偏差为 $\pm 0.02\text{MPa}$ ；
- d) 盾构机掘进应采取“匀速、小推力、低扭矩”控制原则；
- e) 应监测并记录掘进参数变化及出渣状况，及时分析反馈并调整参数。

7.5.9 物资运输应符合下列规定：

- a) 应根据隧道断面、物料特性及安全管控要求，选择有轨或无轨运输方式；
- b) 有轨运输宜采用电瓶车牵引车，轨道应铺设平顺，并设置避让线及信号装置；无轨运输宜采用双头运输车辆，保障行车通道畅通；
- c) 运输设备的配置形式及数量应满足最大掘进工效要求；
- d) 管片、箱涵等大型构件运输时应固定牢靠，防止碰撞移位；

- e) 同步注浆浆液、水玻璃等流体物料应采用密封罐车或管道运输，防止泄漏污染。

7.6 泥水循环与处理

- 7.6.1 泥水分离系统应具备筛分、旋流等多级浆渣分离功能，并符合下列规定：
 - a) 应严格按照盾构机操作人员的指令执行启停操作；
 - b) 设备启动、运行及停机前，应由专业操作人员全面检查，按程序依次操作；
 - c) 应定期检查预筛筛板、旋流鱼尾等部件的运行状态，及时更换损坏部件。
- 7.6.2 制调浆系统应符合下列规定：
 - a) 应根据工程地质与水文地质条件确定泥浆调制指标，并结合排渣状况及时调整；
 - b) 应实时监测泥浆池或泥浆罐的液位及沉淀情况，及时补充或弃置浆液。
- 7.6.3 泥水输送系统应符合下列规定：
 - a) 应根据工程地质确定泥浆管路壁厚，砂层、岩层、卵砾石层施工时应应对管路进行加厚处理，弯头等关键部位应采用耐磨设计；
 - b) 管路的尺寸应与泥水循环系统能力匹配；
 - c) 泥水输送系统应采用可编程逻辑控制器（PLC）集中控制。
- 7.6.4 当循环泥浆性能下降时，应启动废浆处理系统外排废弃泥浆，并根据泥浆比重、粘度计算外排量，弃浆完成后进行调浆。
- 7.6.5 浆渣脱水处理后，渣土含水率应小于 40%，并应满足外运处置的要求。

7.7 内部结构拼装与施工

7.7.1 箱涵施工

- 7.7.1.1 车道板下结构可采用全预制-分离式箱涵、全预制-整体式箱涵或预制-现浇箱涵。
- 7.7.1.2 全预制-分离式箱涵拼装应符合下列规定：
 - a) 中箱涵拼装完成后，应及时跟进拼装边箱涵；
 - b) 边箱涵拼装完成后，应对前方管片底部进行嵌缝；
 - c) 应对密封失效部位、密封条转角不密实处及吊装孔进行封堵；
 - d) 箱涵底部应采用压浆料填充密实，填充完成后应探查有无空洞。
- 7.7.1.3 全预制-整体式箱涵拼装应符合下列规定：
 - a) 拼装前宜完成底部管片手孔封堵及嵌缝处理；
 - b) 应根据成型隧道轴线，放样待拼箱涵的拼装轴线及边线，按放样定位安装；
 - c) 初步拼装完成后，应采用精调装置调整错缝间隙、箱涵间隙及上下错台；
 - d) 应及时填充弧形件下方与管片的间隙。
- 7.7.1.4 预制-现浇箱涵施工应符合下列规定：
 - a) 箱涵安装前应定位中心线及支点安装轴线；
 - b) 平、竖曲线段拼装时，可通过在箱涵曲线外侧粘贴丁腈软木胶板调整间隙，拟合曲线半径；
 - c) 箱涵两侧现浇应及时跟进；
 - d) 现浇混凝土达到设计强度前，应在预制箱涵交界处设置车道行驶分界线。

7.7.2 烟道板施工

- 7.7.2.1 现浇烟道板施工应符合下列规定：
 - a) 现浇烟道板宜设置门洞模架及拱形定位模架，分节施工；
 - b) 模板台车应通过受力验算；
 - c) 台车宜设置预拱度，烟道板强度达到设计要求后方可拆模；
 - d) 应在隧道管片变形稳定后施作，且变形缝间距不宜过大。
- 7.7.2.2 预制烟道板施工应符合下列规定：
 - a) 安装前应先施工现浇牛腿，牛腿强度达到设计要求后方可安装烟道板；
 - b) 宜采用门式起重机进行铺设；
 - c) 铺设完成后，应采用 C40 自密实微膨胀混凝土浇筑烟道板、牛腿与管片之间的空

隙，清理表面并进行嵌缝。

7.7.3 车道板与路面铺装施工

7.7.3.1 车道板施工宜采用现浇钢筋混凝土施工，并符合下列规定：

- a) 车道板应分段浇筑，每段宜浇筑 300 环；
- b) 采用左右双侧浇筑时应分开浇筑，应在一侧具备行车条件后浇筑另一侧；
- c) 采用单次浇筑时应采用中间向两侧的浇筑方式，每次宜浇筑 100 环；
- d) 应采用普通路面施工工艺进行混凝土找平施工。

7.7.3.2 车道板与上部弧形内衬混凝土应一次浇筑成型，并加强振捣。

7.7.3.3 路面铺装施工应符合下列规定：

- a) 路面铺装应在车道板强度达到设计要求后进行，铺装材料应选用耐磨、防滑、抗渗的沥青混凝土或水泥混凝土，并应符合 JTG D50、JTG D40 的有关规定；
- b) 铺装前应清理车道板表面杂物及浮浆，按设计要求设置横坡及纵坡；
- c) 沥青混凝土铺装应按拌制、运输、摊铺、压实流程施工，严格控制摊铺厚度及压实度；水泥混凝土铺装应控制坍落度及浇筑温度，振捣密实并及时切缝；
- d) 铺装完成后应及时养护，水泥混凝土路面养护期不应少于 14d，养护期间严禁车辆通行。

7.7.4 全预制拼装施工

7.7.4.1 全预制拼装施工应符合下列规定：

- a) 全预制拼装适用于标准化程度高、施工条件满足要求的隧道内部结构，构件宜工厂预制、现场拼装；
- b) 预制构件设计应明确拼装连接方式，可采用螺栓连接、企口连接等可靠形式；
- c) 预制构件拼装应与盾构机掘进同步进行，并满足盾构机内部车辆运输和物料吊运空间；
- d) 预制构件运输前应确认型号，拼装前应再次复核型号；
- e) 预制构件拼装时应平稳吊运，遵循“先调高低、后调水平”的调整原则；
- f) 预制构件拼装时应在预制构件顶部使用水平尺辅助测量水平；
- g) 预制构件拼装完成后应检查连接质量，每 10-20 环测量预制构件整体水平度，并按照设计文件要求及时将预制构件底部填充密实。

7.8 防水工程

7.8.1 隧道防水工程应符合 GB 55030 的规定，施工质量验收应符合 GB 50208 的规定，管片自防水并应符合下列规定：

- a) 管片养护龄期达到 28d 时应进行检漏试验；
- b) 每 50 环应抽查 1 块管片进行检漏试验；连续 3 次合格后，可改为每 100 环抽查 1 块；再连续 3 次合格后，可改为每 200 环抽查 1 块；出现 1 次不合格时，应恢复每 50 环抽查 1 块；
- c) 检漏合格标准为按设计水压持压规定时间，管片侧面渗水高度不应大于 5cm。

7.8.2 管片接缝防水应符合下列规定：

- a) 管片接缝防水应符合 GB 50446 的规定；
- b) 接缝防水应包括密封垫防水、嵌缝防水、注入密封剂防水及螺孔密封圈防水，均应符合 GB 50108 的规定；
- c) 防水材料粘贴前，应彻底清理粘贴区域，粘贴应牢固、平整、无气泡；
- d) 防水材料粘贴完成后至拼装前，应避免接触水；阴雨天气施工时，应对遇水膨胀止水条涂抹缓膨剂。

7.8.3 特殊部位防水应符合下列规定：

- a) 注浆孔、隧道与始发/接收井接缝、联络通道接缝等部位的防水，应符合 GB 50446 的规定；
- b) 内部结构的钢边橡胶止水带、背贴式止水带、遇水膨胀止水条、水泥基渗透结晶

防水涂料、聚硫密封胶等工艺应符合 GB 50108 的规定；

c) 盾构接收时，应对洞口 10 环~15 环管片进行纵向拉结及防松弛处理，并注浆填充饱满。

7.9 盾构接收

7.9.1 水中接收施工应符合下列规定：

a) 泥水盾构水中接收应包括端头土体加固、接收基座施工、洞门凿除、井内回填与清理、洞门密封等工序；

b) 水中接收宜采用砂浆接收基座；

c) 采用冷冻加固时，应在刀盘贴近冷冻管 5m~6m、冷冻拔管前完成接收井回填土及回灌水；冷冻拔管分 2 次进行，刀盘到位后先拔管至隧顶 0.5m 并复冻，盾构穿越后全拔并封堵；

d) 水中接收井内回填土宜回填至洞门以上 1m，回填水宜回填至原地下水位以上 1m~2m；

e) 应利用盾构环流系统分次抽排回灌水，每次抽排后停机 0.5h，监测水位变化；

f) 盾构机进入接收范围后，应密切关注排渣口压力波动；

g) 管片止水环箍应重复多次、不同深度注浆，打开球阀应无水流出；

h) 洞门二次密封焊接应随渣土开挖分层进行，焊接完成后对洞门内部注浆加固。

7.9.2 干接收施工应符合下列规定：

a) 泥水盾构干接收应包括端头土体加固、接收基座施工、洞门凿除、刀盘破壁、洞门密封等工序；

b) 洞门区域围护结构宜采用玻璃纤维筋；

c) 接收前应对洞门端头土体进行水平探孔检测；

d) 干接收降水应降至洞门以下；

e) 盾构机刀盘破壁前宜进行开挖舱降压试验直至常压，专人进入检查掌子面、切口后方流动的水情况，确认无流动水后方可刀盘破壁；

f) 破壁时应降低推进速度及推力，防止大块渣土掉落；

g) 破壁后拼装时，应在刀盘前部焊接挡块，在台车行走轮下加楔形垫块提供反力；

h) 采用气囊密封装置时，应确认气囊完全搭接在盾体四周后方可充气；

i) 洞门密封板应自下而上、自中间向两侧同时焊接。

7.9.3 钢套筒接收施工应符合下列规定：

a) 泥水盾构钢套筒接收应包括端头土体加固、钢套筒安装与拆解、过渡环焊接、筒内浇筑砂浆基座、洞门凿除、筒内填料、刀盘破壁、洞门密封等工序；

b) 钢套筒尺寸应根据盾构机主机尺寸确定；

c) 过渡环长度应根据盾构接收井的长度调整；

d) 钢套筒安装后应对钢套筒轴线位置、圆度、密封性、焊缝质量等进行全面检查；

e) 钢套筒组装完成后，应向筒内加气检查各连接部位的密封性；

f) 筒内砂浆基座浇筑范围宜为筒底 60°，高度应超过刀盘外缘 10cm~20cm，并伸入洞门内与加固土体相接；

g) 筒内洞门凿除应自上而下进行，并做好照明、通风及防护措施；

h) 洞门焊接前，应确认洞门注浆密实且无水流出；焊接应分层进行，每割除部分过渡环立即焊接对应区域的密封钢板。

7.10 地中对接

7.10.1 盾构与矿山洞内接收主要包括接收端加固、接收基座施工、刀盘破壁、洞门密封等工序，并符合下列规定：

a) 应严格执行超前注浆加固方案，钻注合格后封孔；

b) 超前注浆范围应为隧道周边 3 m，纵向长度应大于盾构机主机长度；

c) 接收洞门宜安装洞门刷作为密封装置；

d) 刀盘抵达洞门前，若刀盘扭矩正常，可正常掘进切削；若扭矩异常，应常压开仓

检查更换刀具

- e) 盾构步入基座时，宜根据同步注浆浆液溢出情况采取间断注浆；
- f) 盾构机应低转速、慢速度匀速掘进，严控姿态偏差；
- g) 应加强出渣量监控，防止超挖或欠挖；
- h) 应及时封闭洞门并补浆加固。

7.10.2 盾构与盾构原位对接施工符合下列规定：

- a) 泥水盾构与盾尾原位接收应包括先到盾构停机保压、可视化姿态调整、刀盘对接、超前注浆加固、盾体四周空隙封堵、常压开舱检查及止水钢板焊接等工序；
- b) 盾构机接收前 300 环，应加强姿态与轴线人工复测，并应采用全站仪高精度导线测量、自动化检测系统实时测量等多源融合测量技术，提升测量精度，当偏差超出控制要求应进行复测与调整；
- c) 先到盾构停机保压后，应超前探测地质并注浆加固，完成降压试验及常压进仓检查，评估对接可靠性；
- d) 后到盾构宜采用对接可视化系统，结合双盾构姿态与设计轴线，实时计算间距、偏差及夹角；
- e) 两盾构刀盘相距 3 环~5 环时，先到盾构宜开舱焊 20mm 钢板封闭刀盘开口，后到盾构停机配合；封闭完成后，先到盾构应恢复满仓液位并将切口压力提升至 1bar；
- f) 刀盘相距 3m 时，应降低刀盘转速及贯入度；相距 30cm 时，应严控里程，逐步降低贯入度，气垫仓液位大幅波动时立即停机；
- g) 超前注浆加固应分两个阶段加固，先到盾构到达对接点后进行圆周超前注浆；刀盘接触后进行二次超前注浆；
- h) 应通过盾体预留径向注浆孔，采用快硬性水泥浆填充盾体、盾尾与地层的空隙；盾尾末端应采用封堵钢板及密封条形成密封腔，并预留注浆孔；
- i) 盾构停机注浆完成后，应常压开仓核查掌子面及地层情况；
- j) 刀盘对接后，应焊接盾体及刀盘之间的密封钢板，并通过预留注浆孔注浆密实；
- k) 密封钢板外侧注浆应遵循由下至上、两侧同时进行的原理。

8 施工测量与监测

8.1 通用要求

- 8.1.1 公路隧道泥水盾构的施工测量应包括地面控制测量、联系测量、隧道内控制测量、掘进施工测量、隧道贯通测量和竣工测量。
- 8.1.2 公路隧道泥水盾构、箱涵和烟道板的施工测量应符合 GB 50446、GB 50026、GB/T 12897 的规定，隧道内精密控制测量可参照 GB/T 50308 执行。
- 8.1.3 公路隧道泥水盾构施工监测控制网布设应符合 GB 50026、GB 50911、JTG C10 的规定。
- 8.1.4 隧道结构监测、周边环境监测以及周围岩土体的监测点布设、监测频率、监测控制值与预警值、监测成果整理及信息反馈等，应符合设计文件要求，并结合工程实际情况确定。监测方法可参照 GB 50911 或 JGJ 8 的有关规定执行。
- 8.1.5 施工监测应包含仪器监测和现场巡视两部分。现场巡视应覆盖周边环境变化、隧道结构状态、施工工况异常等内容，巡视记录应完整可追溯。

8.2 施工测量

8.2.1 地面控制测量

- 8.2.1.1 公路隧道泥水盾构的施工测量应布设统一的地面控制网，地面控制测量应与工程项目的整体控制网联测。
- 8.2.1.2 跨水域平面及高程控制测量精度不得低于岸上地面控制测量精度。
- 8.2.1.3 跨水域平面控制测量可采用卫星定位测量、导线测量、交会测量等方法；跨水域高程控制测量可采用水准测量、三角高程测量等方法。

- 8.2.1.4 跨水域测量作业应采用岸上经检验合格且长期稳定的控制点。
- 8.2.1.5 跨水域平面及高程控制测量完成后，应与岸上地面控制测量进行联测。
- 8.2.1.6 跨水域测量应满足通视条件。跨水视线应避开草丛、树林、干丘、沙滩等大气折光影响较大区域上方。
- 8.2.1.7 跨水域测量位置应选用岸上地面控制网测线附近，宜布设在两岸地形相似、高度相差不大的较窄河段处，视线高度应大于 2m。
- 8.2.1.8 地面控制网布设初期复测频率不宜低于 1 次/季度，半年后复核频率不宜低于 1 次/半年，控制点不稳定时，应重新选择稳定的位置布设控制点，剔除不稳定控制点。

8.2.2 联系测量

- 8.2.2.1 公路隧道泥水盾构的联系测量应包括地面近井导线测量和近井高程测量、工作井定向测量和高程传递测量、隧道内近井导线测量和近井高程测量。
- 8.2.2.2 盾构机掘进至以下位置时，应开展联系测量：
 - a) 盾构机始发前；
 - b) 盾构掘进至盾尾距离始发面 100m 处；
 - c) 盾构掘进至隧道全长三分之一处；
 - d) 盾构掘进至隧道全长二分之一处；
 - e) 盾构掘进至刀盘距离贯通面 150m~200m 处。
- 8.2.2.3 高程传递测量在工作井内不应少于 3 次，每次高程传递测量应复核原井上和井下的控制点。

8.2.3 隧道内控制测量

- 8.2.3.1 隧道内控制测量应包括隧道内施工导线测量与水准测量、施工控制导线测量与施工控制水准测量。
- 8.2.3.2 应加密控制网，每季度复核不应少于 1 次。
- 8.2.3.3 控制测量平面起算点不应少于 4 个，高程起算点不应少于 3 个。
- 8.2.3.4 宜布设成双导线，分别布设于管片侧壁两侧，尽量采用强制对中，观测时组成导线网或环进行观测，每个闭合环不应超过 6 条导线边。
- 8.2.3.5 导线平均边长宜为 150m，特殊情况下不应小于 60m。
- 8.2.3.6 单向掘进长度超过 1500m 时，应在隧道每掘进 1000m 处，除通过钻孔投测坐标点或加测陀螺方位角等方法提高控制网精度外，还宜将控制导线布设成网或边角锁等。
- 8.2.3.7 控制测量起算点应进行联测校核，联测周期不宜超过 3 个月。

8.2.4 掘进施工测量

- 8.2.4.1 掘进施工测量应包括下列内容：
 - a) 反力架、洞门圈和基座的安装测量；
 - b) 盾构就位后初始姿态测量；
 - c) 盾构姿态测量；
 - d) 管片拼装后盾尾间隙测量。

8.2.5 隧道贯通测量

- 8.2.5.1 公路隧道泥水盾构贯通测量应包括隧道平面贯通误差测量和高程贯通误差测量。
- 8.2.5.2 公路隧道泥水盾构平面贯通误差测量可利用贯通面两侧平面控制点测量。高程贯通误差测量应利用贯通面两侧高程控制点测量。测量精度应符合 GB 50446 的规定。

8.2.6 竣工测量

- 8.2.6.1 公路隧道泥水盾构竣工测量应包括隧道轴线平面偏差、高程偏差、衬砌环椭圆度、隧道纵断面和横断面测量以及错台测量等。
- 8.2.6.2 公路隧道泥水盾构竣工测量可采用全站仪坐标法、断面仪法，也可采用移动三维

激光扫描法、近景摄影测量等技术方法进行测量，测量精度应符合竣工测量精度要求。

8.3 施工监测

8.3.1 周边环境监测

8.3.1.1 公路隧道泥水盾构周边环境监测对象应包括下列内容：

- a) 盾构隧道周边岩土体、地下水及地表；
- b) 盾构隧道周边建（构）筑物、堤坝、地下管线等其他城市基础设施。

8.3.1.2 公路隧道泥水盾构周边环境监测项目应按表 9 执行，必测项目应适用所有工况，选测项目可根据工程实际情况及设计文件要求确定。

表9 公路隧道泥水盾构周边环境监测项目

序号	监测对象	监测项目	监测要求	备注
1	隧道周边岩土体	地表竖向位移	必测	非水下区段
		水土压力	选测	非水下区段
2	周边建（构）筑物	竖向位移	必测	非水下区段
		倾斜	必测	非水下区段
		水平位移	选测	非水下区段
		裂缝	选测	非水下区段
3	周边堤坝	竖向位移	必测	
		深层水平位移	选测	
		分层竖向位移	选测	
		孔隙水压力	选测	
4	周边管线	竖向位移	必测	非水下区段
		水平位移	选测	非水下区段
5	河道滩地河床	河床沉陷	选测	非水下区段
6	水下河床	水下河床扫测	必测	
7	周边环境	巡视	必测	

8.3.1.3 盾构机始发、接收及特殊地段，应加密地表竖向位移监测点，提高监测频率。

8.3.1.4 周边堤坝监测点布设与监测方法应符合下列规定：

- a) 盾构穿越堤坝时，监测断面间距不应大于 20m，堤坝堤顶、迎坡面、背坡面应布设至少 1 个监测断面；
- b) 监测断面应垂直于隧道轴线的方向；
- c) 每个堤坝竖向位移监测断面的监测点数量宜为 7 个~11 个，盾构正上方及盾构边缘 1 倍盾构机直径范围内的监测点间距宜为 3m~5m，其余监测点间距宜为 5m~10m；
- d) 堤坝竖向位移、深层水平位移、分层竖向位移、孔隙水压力监测点应布设在同一监测断面。

8.3.1.5 河道滩地的河床沉陷监测点布设与监测方法应符合下列规定：

- a) 沉降监测桩布设前应获得河道管理部门许可；
- b) 沉降监测桩可采用钢管、混凝土等材料制作，沉降监测桩顶部应安装有测量标志或传感器；
- c) 河道滩地的河床沉陷可采用沉降监测桩监测法、分层沉降仪监测法；
- d) 河道滩地的河床沉陷监测仪器精度应符合设计文件要求。

8.3.1.6 水下河床扫测可采用声呐法、激光扫描法等方法进行测量。

8.3.2 隧道结构监测

8.3.2.1 公路隧道泥水盾构结构监测应包括隧道结构竖向位移与隧道结构净空收敛。

8.3.2.2 盾构管片应力类监测点宜与隧道结构竖向位移、净空收敛监测点布设在同一监测

断面内。

- 8.3.2.3 公路隧道泥水盾构宜进行管片围岩压力、结构应力、连接螺栓应力监测。
- 8.3.2.4 盾构管片应力类监测点在每个监测断面的监测点数量不宜少于 5 个。
- 8.3.2.5 长距离水下隧道、环境敏感区段可采用自动化监测系统，自动化监测数据采集频率、精度应符合 GB 50911 要求。
- 8.3.2.6 自动化监测应定期与人工监测比对校核，对比差异较大时应进行人工复测校核。

8.3.3 监测频率

- 8.3.3.1 公路隧道泥水盾构的监测频率应按 GB 50911 和设计文件的规定执行。
- 8.3.3.2 盾构机停机、盾构机更换刀具、盾构机参数调整、盾构始发与接收阶段、下穿堤坝、下穿河道滩地、盾构掘进至水下前与掘进出水后等重要风险点应提高监测频率，可按表 10 的规定执行。

表10 公路隧道泥水盾构施工监测频率

序号	风险阶段	监测项目	监测频率
1	盾构机停机、盾构机更换刀具、盾构机参数调整及盾构始发接收阶段	所有监测项目	不宜低于 2 次/天，预警时宜对关键项目进行实时监测。
2	盾构下穿堤坝	堤坝监测项目	不宜低于 2 次/天，预警时可对堤坝竖向位移进行实时监测。
3	盾构下穿河道滩地	河床沉陷监测	不宜低于 2 次/天，预警时进行实时监测。
4	盾构掘进至水下前与掘进出水后	水下河床扫测	分别至少进行 1 次。

- 8.3.3.3 盾构机始发、接收及特殊地段，应提高现场巡视频率，巡视频率不宜低于 2 次/天。

8.3.4 监测控制指标

- 8.3.4.1 公路隧道泥水盾构的监测控制标准应按 GB 50911 和设计文件的规定执行。
- 8.3.4.2 公路隧道泥水盾构周边地表竖向位移、周边堤坝竖向位移、盾构管片竖向位移、盾构管片净空收敛等监测项目控制值应根据工程特点及当地施工经验等确定，当无地方经验时，可按表 11 的要求执行。

表11 公路隧道泥水盾构施工监测控制值

序号	监测对象	监测项目	累计值	变化速率
1	隧道周边岩土体	地表竖向位移	隆起不超过 10 mm	3 mm/d
2	周边堤坝（土石坝）	竖向位移	隆起不超过 10 mm， 沉降不超过 30 mm	3 mm/d
3	管片结构	竖向位移	上浮不超过 20 mm	3 mm/d
		净空收敛	20 mm	3 mm/d

注：1. 堤坝竖向位移监测控制值应根据堤坝堤身、护坡类型结合工程实际情况确定，堤坝相关管理部门有具体要求的，按其要求执行；

2. 本表中管片结构竖向位移控制值，是指盾构机盾尾及后配套台车脱出后，管片上浮累计控制值不宜超过 20 mm。

- 8.3.4.3 监测预警标准应根据工程特点、监测项目控制值及当地施工经验等确定。

8.3.5 监测成果与信息反馈

- 8.3.5.1 工程监测成果应反馈给各参建单位，监测完成后应完成资料归档。
- 8.3.5.2 预警反馈及相应处理机制应按 GB 50911 和设计文件的规定执行。

9 特殊作业与施工

9.1 通用要求

- 9.1.1 带压进舱与换刀位置、方式，应根据工程地质与水文地质、周边环境、水土压力、现场条件等因素选择，并应经过技术论证、安全风险评估综合确定。
- 9.1.2 带压进舱与换刀作业前应编制专项施工方案，明确作业流程、安全措施、应急处置方案等，对作业人员进行安全技术交底。
- 9.1.3 带压进舱与换刀作业应配备专职安全员和技术人员，作业人员应配备必要的安全防护用品，严格遵守作业规程。

9.2 常压换刀

- 9.2.1 常压换刀作业流程应包括停机准备、换刀工装安装、刀具抽出、闸板关闭、刀具更换、刀具复位及换刀工装拆除。
- 9.2.2 常压换刀作业应符合下列规定：
- a) 作业前应完成同步注浆管路封堵、循环洗仓、刀盘位置调整、中心锥通风及换刀工装检查；
 - b) 应进行 1h~2h 泥水循环，以进出泥浆参数一致、泥水分离设备预筛无渣土排出为合格标准；
 - c) 刀筒安装前，应清理闸门板内部，更换刀筒密封圈，并涂抹润滑脂；
 - d) 刀具抽出前，应开启冲洗水冲洗刀筒与刀腔间隙，冲洗时间宜为 5min~10min；
 - e) 闸板关闭后，应通过刀筒泄压球阀确认无浆液流出后抽出刀具；
 - f) 正常磨损情况下，刀具磨损量达到 15mm~30mm 时宜更换；非正常磨损时，应根据刀具磨损监测数据及掘进参数变化及时更换；
 - g) 刀具更换前应确认刀具型号和安装方向；
 - h) 单个刀臂换刀完成后，应彻底清理作业区域积水及杂物。

9.3 停机

- 9.3.1 盾构停机位置应根据工程地质与水文地质、地面及周边环境、施工风险等因素确定，不应在下穿建（构）筑物等重大风险源期间实施。
- 9.3.2 停机前应控制泥浆环流系统正常运行，并应将开挖仓内的渣土循环排出，泥水分离设备排出的浆液中不应存在明显渣土。
- 9.3.3 停机前应采用高浓度膨润土封堵同步注浆管路。
- 9.3.4 停机前应置换开挖仓内浆液，置换后浆液黏度不宜小于 50s。
- 9.3.5 停机期间应检查盾尾密封油脂压力及主驱动 HBW 密封油脂和 EP2 密封油脂密封压力，密封油脂压力不应小于相应位置的外部水土压力。
- 9.3.6 停机期间应检查推进系统各组油缸压力，油缸压力低于设置值时应进行调整。
- 9.3.7 停机期间应检查气垫仓压力、气垫仓液位及盾构机姿态，各项参数应符合施工技术文件的规定。

9.4 带压进舱

- 9.4.1 带压进舱作业流程应包括作业准备、有害气体检测、作业人员检查、人舱加压、气体置换、舱内通讯、舱内作业及人舱减压。
- 9.4.2 带压进舱作业应符合下列规定：
- a) 作业前应完成专项方案报审、地层加固、监控量测、设备检查验收、人员体检、环境风险辨识、应急准备、物资准备及条件验收；
 - b) 带压进舱前应根据水文地质、加固情况、作业内容等情况综合确定进舱作业压力和前舱液位高度；
 - c) 进舱过程中应持续进行气体置换和有害气体监测；
 - d) 进舱前应由执业医师对作业人员进行身体检查，由安全管理人员对作业人员进行

物品和着装检查；

- e) 应对人闸、材料闸进行清洁、检修、性能测试与调试，应满足气密性、安全用氧及防火的技术要求；
- f) 应配置应急发电机为空压机提供应急电源；
- g) 作业期间应设一名专职观察员全程值守；
- h) 舱外作业人员严禁进行刀盘转动、出渣等影响舱内安全的作业。

9.5 带压换刀

- 9.5.1 换刀前应将刀盘控制切换至本地控制，处于锁定状态，并设专人监管。
- 9.5.2 应对所换刀具进行检查和编号，观察并详细记录损坏、裂痕、磨损情况。
- 9.5.3 拆卸损坏刀具时应先清除刀具周围的泥土，利用套筒及加力杆卸下固定螺栓。
- 9.5.4 新刀具安装完成后，应利用套筒及加力杆安装固定螺栓。
- 9.5.5 每把刀具更换完成后，应将损坏刀具放入物料舱内，关闭物料舱舱门。
- 9.5.6 根据换刀位置变化，应由作业人员在人舱内通过本地控制模式缓慢旋转刀盘至下一个换刀位置。
- 9.5.7 刀具更换完成后应整理清点所使用设备、工具等，核对无误后方可通过物料舱转运至舱外。
- 9.5.8 关闭开挖舱舱门，作业人员应通过人舱减压出舱。

9.6 特殊地段施工

- 9.6.1 特殊地段包括粉质黏土夹钙质结核地层、大堤、建（构）筑物、断层破碎带、复合地层、水域等施工难度及风险较高的区域；
- 9.6.2 特殊地段施工应符合下列规定：
 - a) 施工前应勘察地质条件及周边环境，开展风险评估，编制专项施工方案并经专家评审；
 - b) 施工中应加强参数管控和施工监测，动态调整掘进参数，配备应急设备及物资，制定应急预案并定期开展应急演练。
- 9.6.3 穿越粉质黏土夹钙质结核施工应符合下列规定：
 - a) 应选用高强度耐磨刀具，合理配置刀具数量及布置方式；
 - b) 掘进过程中应实时监测刀盘扭矩和推力，出现异常突变时应及时停机检查，清理钙质结核或更换刀具；
 - c) 盾构机宜配置碎石机，并开启自动破碎模式；
 - d) 同步注浆应采用高流动性、早强型浆液。
- 9.6.4 穿越大堤施工应符合下列规定：
 - a) 施工前应详细调查大堤结构、地基条件及防汛要求，评估施工影响，制定专项保护方案；
 - b) 施工前宜对大堤地基进行预加固，采用注浆、高压旋喷等方法提高地基承载力及抗渗性；应在大堤两侧布设监测点，实时监控沉降、位移及渗漏水情况；
 - c) 应控制盾构掘进参数，采用匀速、小推力、小扭矩掘进；
 - d) 同步注浆应采用速凝、早强、高流动性浆液，提高注浆充填率，必要时进行二次注浆；
 - e) 施工期间应与防汛部门保持 24 小时通讯畅通，密切关注水位变化，落实防汛应急预案。
- 9.6.5 穿越建（构）筑物施工应符合下列规定：
 - a) 施工前应详细调查建（构）筑物的结构类型、基础形式、使用年限及与隧道的相对位置，评估施工影响，制定保护措施；
 - b) 可根据建（构）筑物情况采取地基加固或桩基托换措施；
 - c) 应加密监测点，提高监测频率，实时反馈数据，动态调整掘进及注浆参数；
 - d) 应控制盾构掘进速度，保持平稳掘进，精准控制开挖面水土压力，同步注浆采用体积变化小、早期强度高、速凝型浆液；

- e) 必要时采取微扰动施工技术, 优化泥浆性能及注浆工艺。
- 9.6.6 穿越断层破碎带施工应符合下列规定:
- a) 施工前应优化调整盾构浆液配比、掘进速度、刀盘转速等参数;
 - b) 应扩大注浆加固范围, 对断层破碎带及周边地层进行加固, 提高地层整体性及稳定性;
 - c) 掘进过程中出现异常时, 应优先清理气垫舱底部、排泥口及格栅处滞留异物;
 - d) 应降低刀盘转速, 减少对地层的扰动, 匀速平稳通过; 掘进前应对设备进行全面维保;
 - e) 应增加同步注浆量, 采用速凝早强浆液, 及时填充管片与地层间隙; 必要时进行二次注浆。
- 9.6.7 盾构穿越复合地层宜符合下列规定:
- a) 盾构机设计推力、扭矩及耐压程度宜满足软硬不均地层施工需求;
 - b) 刀盘刀具配置应复合地层差异性条件, 并应满足耐磨性与可维护性要求;
 - c) 掘进过程中应控制掘进参数的稳定性, 刀盘转速允许偏差宜为 $0.8 \text{ r/min} \sim 1.3 \text{ r/min}$; 实际切口压力与理论计算压力偏差不应大于 0.02 MPa ;
 - d) 掘进参数发生突变时宜暂停施工, 并分析原因;
 - e) 宜根据进出浆流量偏差值和气垫舱液位波动判断开挖面稳定性;
 - f) 宜足量、均匀注入同步注浆浆液及盾尾油脂, 并观测盾尾渗漏以及压注管路压力变化;
 - g) 经评估盾构无法直接掘进的基岩凸起地层, 可采取预先爆破处理, 并编制专项施工方案。
- 9.6.8 穿越水域施工应符合下列规定:
- a) 施工前应详细调查水域水深、流速、河床地质及防汛要求, 制定专项施工方案;
 - b) 深水河道宜采用抛填黏土方式增加上覆土层厚度, 提高地层稳定性及抗渗性; 浅水河道宜采用注浆加固, 形成不透水硬壳层;
 - c) 超浅覆土段宜在注浆加固基础上设置抗拔桩及抗浮板, 控制隧道上浮;
 - d) 应采用低速度、小推力掘进, 开挖面水土压力应略高于静水压力与土压力之和。

10 智能建造

- 10.1.1 公路隧道泥水盾构智能建造应实现盾构施工全过程数据感知、传输、分析与控制, 并形成闭环管理体系。
- 10.1.2 智能建造系统应与盾构机及配套系统同步规划、同步建设、同步运行, 并应满足国家数据安全及工程信息安全相关标准要求。
- 10.1.3 盾构本体感知应符合下列规定:
- a) 刀盘系统宜配置刀具磨损、扭矩、振动传感器;
 - b) 主驱动系统宜配置轴承温度、振动、密封压力传感器;
 - c) 泥水循环系统宜配置进排浆密度、粘度、含砂率、流量传感器;
 - d) 同步注浆系统宜配置注浆压力、流量、密度传感器;
 - e) 盾尾系统宜配置油脂压力、盾尾间隙传感器。
- 10.1.4 地质与环境感知应符合下列规定:
- a) 超前地质预报系统的有效预报距离不应小于 30 m , 预报准确率不应低于 80% ;
 - b) 宜配置泥膜质量监测装置, 实时监测泥膜厚度与稳定性;
 - c) 穿越水域时应配置水下河床高程、流速监测设备。
- 10.1.5 隧道结构感知应符合下列规定:
- a) 应配置管片姿态、错台监测传感器;
 - b) 应配置衬砌背后注浆密实度实时监测装置。
- 10.1.6 宜建立地面-隧道工业以太网与 5G 融合网络, 信号覆盖至盾构后配套末端。
- 10.1.7 智能分析与预警系统应具备施工参数分析、风险识别及故障预警功能, 并符合下列规定:

- a) 应实现刀盘卡阻、刀具异常磨损、泥浆泵堵塞及盾尾泄漏等故障识别;
 - b) 应对开挖面失稳、突水突泥、管片上浮等风险进行分级预警;
 - c) 预警信息应实时推送至监控中心及相关责任人员。
- 10.1.8 自动化作业应符合下列规定:
- a) 宜实现推进速度、刀盘转速及分区油缸推力自动控制
 - b) 管片拼装宜采用自动定位与辅助识别技术
 - c) 泥水处理系统宜实现加药量及压力自动调节
 - d) 自动控制系统应具备人工干预优先级切换功能
- 10.1.9 宜建立施工数字孪生模型, 实现物理世界与数字世界实时映射。数字孪生系统宜具备施工过程可视化、关键工序模拟预演、应急指挥决策支持功能。
- 10.1.10 系统验收应开展工厂验收、现场验收和试运行验收, 试运行验收不应少于 3 个月。

11 环境保护

11.1 通用要求

- 11.1.1 当循环泥浆性能下降至无法满足施工要求时, 应启动废弃泥浆外排, 并根据泥浆比重、粘度计算外排量, 弃浆完成后进行调浆。
- 11.1.2 应根据地层特性和分布确定废弃泥浆再利用, 应根据胶体含量、含砂率及场地条件考虑存储。
- 11.1.3 应根据地层特性选择废弃泥浆脱水处理方案, 脱水后的渣土应按规定外运处置。
- 11.1.4 泥浆制备、循环、分离及弃渣处理过程应采取全过程污染控制措施, 并应符合环境保护及职业健康相关规定。施工作业环境的气体浓度、噪声、通风及温度等指标应符合 GB/T 50905、GBZ 1、GB 12523 的有关规定。

11.2 废浆处理

- 11.2.1 废浆处理应根据检测结果进行分类处置。经检测密度大于 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ 且不满足再利用要求的泥浆, 应采用压滤机、离心机等设备进行脱水处理。
- 11.2.2 废浆压滤处理应符合下列规定:
- a) 压滤设备宜配置提浓罐, 提高压滤设备废浆处理效率;
 - b) 应通过室内试验确定废弃泥浆的含水率、颗粒级配、粘度、密度等参数, 并通过絮凝浓缩试验确定最优絮凝剂种类及添加量;
 - c) 絮凝剂溶液水温宜控制在 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$; 冬季施工时应应对药剂罐体采取加热保温措施;
 - d) 废浆与絮凝剂溶液应在提浓罐顶部溜槽内混合后进入罐体充分搅拌;
 - e) 压滤设备宜采用气体或水作为压榨介质。
- 11.2.3 废浆离心处理应符合下列规定:
- a) 离心机应通过调整液池深度、转鼓转速、螺旋推料器差速, 控制固料含水率和液体澄清晰度;
 - b) 废浆浓度发生较大变化时, 应同步调整絮凝剂进料流量、稀释水流量及泥浆进料流量。

11.3 废水处理

- 11.3.1 废水主要为压滤、离心过程中产生的 pH 值、悬浮物等指标超标, 无法直接排入市政污水管网的污水。
- 11.3.2 废水处理应符合下列规定:
- a) 提浓罐溢出的清水宜优先作为絮凝剂稀释用水;
 - b) 超标废水应单独收集, 经磁吸附、过滤、净化等工艺处理达标后排放;
 - c) 处理后废水宜优先回用于制浆调浆、车辆冲洗、场地降尘、压滤药剂制备及箱涵

养护等施工环节。

11.4 废弃渣土资源化

- 11.4.1 废弃渣土资源化主要包括盾构浆渣分离产生的砾石、砂土及脱水泥饼的资源化利用。
- 11.4.2 盾构渣土宜用于制备流态固化土、碾压固化土、同步注浆填充材料、再生路基填料、泡沫混合土及绿化种植土等。

12 成型隧道验收

12.1 通用要求

12.1.1 管片拼装完成后应对防水体系、管片拼装、隧道形态等项目进行检验；隧道交通工程与附属设施施工验收应符合 JTG/T 3661 的规定；主要检验项目应符合表 12 的规定。

表12 隧道检验项目

序号	项目	主要内容
1	主控项目	结构表面、隧道防水、衬砌结构、隧道轴线位置和高程
2	一般项目	衬砌环椭圆度、衬砌环内错台、衬砌环间错台

12.1.2 隧道检测后应及时上报检测结果，当出现较大误差或不满足使用要求时，应及时制定处理方案。

12.2 检验项目

12.2.1 隧道贯通后应对成型管片进行整体性测量，成型隧道轴线平面位置和高程偏差应符合表 13 的规定。

表13 隧道轴线和高程允许偏差

检验项目	允许偏差	检验方法	检验数量	
			环数	点数
隧道轴线平面位置 (mm)	±75	全站仪测中线	逐环	1 点/环
隧道轴线高程 (mm)	±75	水准仪测高程	逐环	

- 12.2.2 盾构隧道实体检测应包括混凝土强度、净空尺寸和钢筋保护层厚度检测。
- 12.2.3 影响混凝土结构安全的重要部位应按每 100 环不少于 1 处的频率进行结构实体检测。
- 12.2.4 成型隧道衬砌环允许偏差及其他要求应符合现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）的相关规定。