

ICS 93.020  
CCS P98

# 团 体 标 准

T/TMAC ×××—202X

## 超高水压大直径盾构隧道建造技术规程

Technical specification for construction of ultra-high water pressure large-diameter shield tunnel

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布



中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本作品著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：[www.ctm.org.cn](http://www.ctm.org.cn) 电子信箱：[136162004@qq.com](mailto:136162004@qq.com)

## 目 次

前 言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	1
4 基本规定	2
5 勘察补充与超高水压条件评价	3
5.1 一般规定	3
5.2 超高水压分级与工程风险控制原则	3
5.3 补充勘察范围与内容	4
5.4 超高水压段专项勘察要求	5
5.5 地质水文参数核查与取值要求	6
5.6 超高水压分级与工程风险控制原则	6
6 盾构机选型与设备配置	7
6.1 一般规定	7
6.2 盾构机类型选择	7
6.3 刀盘与切口结构设计	8
6.4 密封系统及耐压性能	8
6.5 推进系统与姿态控制系统	9
6.6 同步注浆与充填系统	9
6.7 渣土处理与排出系统	9
6.8 信息化控制与数据采集系统	10
6.9 设备验收与耐压性能测试	10
6.10 关键系统安全保障与保护要求	10
7 衬砌管片	11
7.1 一般规定	11
7.2 材料与性能要求	11
7.3 几何尺寸与极限状态受力验算	12
7.4 接头设计	12
7.5 防水设计	13
7.6 抗震要求	14
7.7 抗渗、抗弯、抗拔要求	16
7.8 耐久性及使用寿命	16
8 超高水压大直径盾构隧道施工	17
8.1 一般规定	17
8.2 施工测量与控制	17
8.3 盾构始发施工	17
8.4 盾构掘进施工	17
8.5 盾构接收施工	18
8.6 特殊工况施工与应急处置	18
8.7 施工过程风险控制措施	18
9 质量检测	19
9.1 一般规定	19
9.2 管片及拼装质量检测	19
9.3 注浆质量检测	22

9.4	防水性能检测 .....	23
10	施工安全与环境保护 .....	23
10.1	一般规定 .....	23
10.2	施工安全管理 .....	24
10.3	施工运输与作业安全 .....	24
10.4	环境保护措施 .....	24
10.5	水资源与水环境保护 .....	24
10.6	渣土与泥浆处理要求 .....	25
附录 A	（资料性附件） .....	26

## 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。

本文件由深圳大学提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：深圳大学、××××××××××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××、×××、×××、×××、×××。

# 超高水压大直径盾构隧道建造技术规程

## 1 范围

本规程规定了超高水压大直径盾构隧道工程的勘察补充与超高水压条件评价、盾构机选型与设备配置、衬砌管片设计、隧道施工、质量检测、施工安全与环境保护的技术要求。

本规程适用于采用盾构法修建、隧道外径不小于 10.0m、工程外部水压达到或超过 0.5MPa（高压）及 0.8MPa（超高水压）条件下的新建盾构隧道工程的勘察、设计、施工、质量检测与验收。

本规程不适用于存在大规模溶洞、深厚采空区、活动性断裂带等特殊不良地质，且未完成专项技术论证的超高水压大直径盾构隧道工程；其他高压、大直径盾构隧道工程可参照执行。

## 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 18306 中国地震动参数区划图
- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- 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 50446 盾构法隧道施工及验收规范
- GB 50911 城市轨道交通工程测量规范
- JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

## 3 术语

### 3.1

**大直径盾构隧道** large-diameter shield tunnel

采用盾构法施工，隧道外径不小于10.0 m 的隧道工程。

### 3.2

**工程外部水压** external water pressure

作用于盾构隧道结构外表面的地下水压力，按围岩中距隧道结构最近位置的最大连续有效水头折算确定。

3.3

**高水压条件 high water pressure condition**

工程外部水压达到或超过0.5 MPa且小于0.8 MPa的工程条件。

3.4

**超高水压条件 ultra-high water pressure condition**

工程外部水压达到或超过0.8 MPa的工程条件。

3.5

**超高水压段 ultra-high water pressure section**

工程中外部水压达到或超过超高水压条件控制值的隧道区段。

3.6

**同步注浆 synchronous grouting**

盾构掘进过程中,在盾尾与衬砌结构之间同步注入浆液以填充空隙并形成支护与防水层的施工工艺。

3.7

**开挖面支护压力 face support pressure**

盾构施工过程中作用于开挖面前方土体或水土混合体的压力,用以维持开挖面稳定。

3.8

**极端水压工况 extreme water pressure condition**

在丰水期、高水位突变或渗流场重分布等不利条件下可能出现的最大工程外部水压状态。

**4 基本规定**

4.1 超高水压大直径盾构隧道工程应以补充勘察与专项水压评价成果为基础开展设计与施工技术控制。

4.2 工程外部水压应作为盾构机选型、衬砌结构设计、防水体系设计及施工参数控制的关键控制因素。

4.3 高水压及超高水压区段应实施分级技术控制,并采取与水压等级相适应的设备配置、结构设计及风险防控措施。

4.4 当高水压或超高水压条件与断层破碎带、软弱夹层、高渗透通道等不良地质条件叠加时,应按不利组合工况进行专项设计与施工控制。

4.5 超高水压区段工程应开展专项技术论证,并通过数值分析与工程验证相结合的方法确定关键设计参数与控制措施。

4.6 超高水压大直径盾构隧道工程应建立补充勘察、设计计算、施工控制、监测验证及质量检测相结合的全过程技术控制体系。

4.7 工程实施过程中,当实际地质水文条件与原设计依据存在较大偏差时,应及时开展补充勘察与专项

分析，并调整相应技术方案。

## 5 勘察补充与超高水压条件评价

### 5.1 一般规定

5.1.1 超高水压大直径盾构隧道工程应在既有工程勘察成果基础上，结合工程水压水平、大直径盾构施工特性及周边环境条件，开展针对性补充勘察与专项评价工作，查明地层结构、水文地质条件及水压分布特征。

5.1.2 补充勘察与超高水压条件评价应满足盾构机选型、衬砌结构设计、施工参数控制及风险防控要求，并作为工程设计与施工组织的重要依据。

5.1.3 工程外部水压应按围岩中距隧道结构最近位置的最大连续有效水头折算确定，水压取值应结合勘察成果、水文监测资料及工程验证分析综合确定。

5.1.4 当工程外部水压达到或超过 0.5MPa 时，应按高压条件进行技术控制；当工程外部水压达到或超过 0.8MPa 时，应按超高水压条件进行专项设计、施工与风险管控。

5.1.5 超高水压条件下的工程补充勘察与评价应重点查明：

- a) 地层渗透特性及其空间分布；
- b) 地下水类型、水力联系及补给条件；
- c) 水位季节性变化及极端工况水压水平；
- d) 断层破碎带、软弱夹层及高渗透通道分布；
- e) 盾构施工对水压场及渗流场的扰动影响。

5.1.6 补充勘察与评价成果应形成专项技术报告，明确水压分布特征、工程风险等级及对应控制措施建议，并作为后续设计与施工参数确定的依据。

### 5.2 超高水压分级与工程风险控制原则

5.2.1 超高水压大直径盾构隧道工程应根据工程外部水压水平及水文地质条件，对施工区段进行分级控制，并实施相应风险管控措施。

5.2.2 工程外部水压分级可按下列标准划分：

- a) 当外部水压小于 0.5MPa 时，为一般水压条件；
- b) 当外部水压达到或超过 0.5MPa 且小于 0.8MPa 时，为高压条件；
- c) 当外部水压达到或超过 0.8MPa 时，为超高水压条件。

5.2.3 在高压条件下，应采取下列风险控制措施：

- a) 加强地质水文补充勘察与水压动态监测；
- b) 提高盾构机密封系统耐压等级；
- c) 加强同步注浆与围岩稳定控制；
- d) 提高衬砌结构抗渗与安全储备要求。

5.2.4 在超高水压条件下，应在高水压条件控制措施基础上，实施专项风险管控，至少包括：

- a) 开展专项水压形成机理分析与极端工况验证；
- b) 实施盾构设备耐压专项设计与验收；
- c) 提高衬砌结构防水等级及结构安全系数；
- d) 实施全过程水压与变形信息化监控；
- e) 制定专项突水突泥应急处置方案。

5.2.5 当高水压或超高水压条件与断层破碎带、软弱夹层、高渗透通道等不良地质体叠加出现时，应按不利组合工况进行风险等级提升控制。

5.2.6 工程风险分级结果应在专项技术报告中明确，并作为盾构机选型、结构设计、施工参数确定及监测预警设置的依据。

### 5.3 补充勘察范围与内容

5.3.1 超高水压大直径盾构隧道工程的补充勘察应在原工程勘察成果基础上，重点覆盖以下区域：

- a) 盾构始发段及其前方影响区；
- b) 盾构接收段及其后方影响区；
- c) 超高水压集中分布区段；
- d) 断层破碎带、软弱夹层及不良地质发育区段；
- e) 下穿水体及高水位覆盖区段；
- f) 邻近既有建（构）筑物及重要地下设施影响区。

5.3.2 补充勘察范围沿隧道纵向不应小于超高水压区段长度两端各 50m，横向不应小于隧道外轮廓两侧各 2 倍隧道外径范围。

5.3.3 补充勘察深度应满足查明隧道结构底部以下主要受力影响范围及水文地质控制层的要求，且不应小于隧道底板以下 1 倍隧道外径。

5.3.4 补充勘察应包括下列基本内容：

- a) 地层分布、结构特征及物理力学指标；
- b) 地下水类型、水位埋深及水力联系；
- c) 地层渗透系数及其空间变化特征；
- d) 高渗透通道、富水带及水力异常区分布；
- e) 不良地质体的规模、性质及稳定性；
- f) 盾构施工可能引起的地层扰动敏感性。

5.3.5 在超高水压区段，补充勘察孔间距不应大于 30m；在始发段、接收段及特殊风险段，勘察孔间距不应大于 20m。

5.3.6 补充勘察应布置专门水文地质观测孔，对地下水水位、水压及其变化规律进行持续观测，观测周期不应少于一个完整水文年 或覆盖主要季节变化过程。

5.3.7 补充勘察应开展原位测试与室内试验，重点获取下列参数：

- a) 渗透系数；
- b) 孔隙比与压缩性指标；
- c) 抗剪强度指标；
- d) 地层变形模量；
- e) 饱和与非饱和状态力学特性参数。

5.3.8 补充勘察成果应形成专项勘察报告，明确：

- a) 超高水压分布区段及其范围；
- b) 关键风险地质体位置与特征；
- c) 主要水文地质控制因素；
- d) 对盾构施工及结构安全的影响分析结论。

#### 5.4 超高水压段专项勘察要求

5.4.1 当工程外部水压达到或超过 0.8MPa 时，应在常规补充勘察基础上实施超高水压段专项勘察，重点查明水压形成条件、水力结构特征及渗流通道分布。

5.4.2 专项勘察应系统识别各含水层的空间分布、厚度、水力联系及补给排泄条件，明确多层含水体系对隧道水压的叠加影响。

5.4.3 专项勘察应对下列内容进行重点调查：

- a) 高渗透地层及透水构造分布；
- b) 断层破碎带及裂隙密集带水力特性；
- c) 富水砂层、卵砾石层及强透水夹层；
- d) 围岩中异常高水头区域；
- e) 可能形成集中渗流通道的结构部位。

5.4.4 专项勘察应采用钻探、抽水试验、压水试验及水位长期观测等方法，获取各含水层渗透参数及水压响应特征。

5.4.5 在超高水压集中区段，应设置多层水压监测孔，对不同深度含水层水压进行分层监测，明确水压垂向分布规律。

5.4.6 专项勘察应分析极端工况条件下的最大可能水压水平，极端工况应包括：

- a) 丰水期或最高水位工况；
- b) 长期降雨或集中补给工况；
- c) 周边水体水位突变工况；
- d) 施工扰动引起渗流场重分布工况。

5.4.7 专项勘察应结合地质构造条件，对潜在突水通道进行风险识别与分级评价。

5.4.8 专项勘察成果应在专项报告中明确：

- a) 超高水压形成机理；
- b) 主要水压控制含水层；
- c) 渗流通道分布特征；
- d) 极端水压工况取值建议；
- e) 对盾构施工与结构设计的要求。

## 5.5 地质水文参数核查与取值要求

5.5.1 超高水压大直径盾构隧道工程应对补充勘察及专项勘察获取的地质水文参数进行系统核查，参数取值应满足设计计算、施工控制及风险评价要求。

5.5.2 地层物理力学参数应以补充勘察成果为基础，结合原位测试与室内试验结果综合确定，不得仅采用区域经验参数或类比取值。

5.5.3 地下水水位及水压取值应采用长期观测成果与极端工况分析结果中的不利组合值作为控制值。

5.5.4 当存在多层含水系统时，工程外部水压取值应考虑各含水层水头叠加影响，并结合水力联系条件确定等效控制水压。

5.5.5 地层渗透系数取值应采用现场试验成果，并根据地层结构非均质性及施工扰动影响进行修正；当试验成果存在离散性时，应采用不利取值。

5.5.6 用于结构设计及施工控制的水压参数应按下列原则确定：

- a) 常规工况取值应基于长期稳定水位条件；
- b) 控制工况取值应基于极端水位与不利渗流条件；
- c) 安全校核工况应考虑突变水压情形。

5.5.7 对断层破碎带、富水夹层及高渗透通道区域的水文参数，应单独核查并作为重点控制区参数使用。

5.5.8 当勘察参数存在明显不确定性时，应通过补充试验或数值反演分析进行验证，不得直接采用未经核实的参数进行设计与施工控制。

5.5.9 经核查确定的地质水文参数应形成参数取值汇总表，明确各区段控制参数及适用工况，并作为设计与施工技术文件组成部分。

## 5.6 超高水压分级与工程风险控制原则

5.6.1 在高水压及超高水压条件下，超高水压大直径盾构隧道工程应开展专项数值分析，对地层稳定性、渗流特性、结构受力及施工扰动影响进行综合验证。

5.6.2 当工程外部水压达到或超过 0.8MPa 时，应开展包含渗流—应力耦合效应的数值分析。

5.6.3 数值分析内容应至少包括下列项目：

- a) 盾构开挖过程中掌子面稳定性；
- b) 围岩及地层变形响应；
- c) 地下水渗流场分布及变化规律；
- d) 衬砌结构受力状态及变形特征；

e) 施工扰动对水压场的影响。

5.6.4 数值分析模型参数应采用经核查确定的地质水文参数，边界条件应反映实际水压分布及极端工况条件。

5.6.5 数值分析应设置常规工况、控制工况及极端不利工况，对关键控制指标进行安全性校核。

5.6.6 当数值分析结果显示存在掌子面失稳、结构安全储备不足或渗流集中风险时，应调整设计参数、施工方案或风险控制措施，并重新进行验证分析。

5.6.7 数值分析成果应形成专项技术报告，明确主要计算工况、关键控制指标及风险控制结论。

5.6.8 在超高水压关键区段，应结合现场监测数据对数值分析结果进行工程验证，并根据验证结果对参数取值与控制措施进行修正。

## 6 盾构机选型与设备配置

### 6.1 一般规定

6.1.1 超高水压大直径盾构隧道工程的盾构机选型与设备配置应以补充勘察及超高水压条件评价成果为依据，并满足不同水压等级条件下施工安全、结构安全及环境控制要求。

6.1.2 盾构机的主要设计参数，包括额定工作压力、总推进力、刀盘扭矩、装机功率及密封系统耐压能力，应与工程控制水压及地层条件相匹配，并应留有安全储备。

6.1.3 在高水压条件下，盾构机设计工作压力不应小于隧道轴线处最大控制水压的 1.2 倍；在超高水压条件下，不应小于 1.3 倍。

6.1.4 主驱动密封系统、盾尾密封系统及铰接密封系统的设计承压能力在高水压条件下不应小于最大控制水压的 1.5 倍，在超高水压条件下不应小于 1.8 倍。

6.1.5 盾构机关键系统应至少包括：

- a) 开挖面压力平衡系统；
- b) 多道密封防水系统；
- c) 高精度姿态控制系统；
- d) 同步注浆与充填系统；
- e) 渣土处理与排出系统；
- f) 信息化监测与控制系统；
- g) 应急保障与安全联锁系统。

6.1.6 盾构机主要承载结构及核心部件的设计使用寿命不应小于工程计划掘进总长度的 1.2 倍，主轴承等关键部件应按全寿命工况进行校核。

6.1.7 在超高水压条件下，应对盾构机进行专项耐压设计论证，并在制造及现场安装阶段实施耐压性能专项验收。

### 6.2 盾构机类型选择

6.2.1 盾构机类型选择应以补充勘察及超高水压条件评价成果为依据，综合考虑地层渗透特性、地下水压力水平、隧道断面尺寸及周边环境条件，经技术论证确定。

6.2.2 在高水压及超高水压条件下，当隧道穿越地层以高渗透性砂层、砂卵石层及强透水复合地层为主时，应采用泥水平衡盾构机。

6.2.3 在高水压条件下，当隧道穿越地层以低渗透性粉土、黏土及粉质黏土为主，且具备形成稳定土压条件时，可采用土压平衡盾构机。

6.2.4 在地层条件复杂多变或同时存在高渗透地层与低渗透地层交互分布的区段，应采用具备模式切换功能的双模式盾构机或复合式盾构机。

6.2.5 在超高水压条件下采用土压平衡盾构机时，应通过专项论证确认其开挖面稳定控制能力及排土保压能力满足施工安全要求。

### 6.3 刀盘与切口结构设计

6.3.1 刀盘结构应满足高水压及超高水压条件下强度、刚度及整体稳定性要求，并按最不利工况组合进行受力校核。

6.3.2 刀盘面板及关键承载构件应采用耐磨、高强度材料，并采取抗疲劳与抗冲击设计措施。

6.3.3 刀盘开口率应根据地层渗透性、颗粒级配及渣土流动特性确定，并应满足下列规定：

- a) 在高渗透性砂层、砂卵石层及富水复合地层中，开口率不应小于 35%；
- b) 在软硬不均或含硬岩地层中，开口率应在满足结构强度要求前提下进行优化配置。

6.3.4 刀具配置应与穿越地层岩土特性相匹配，并满足下列要求：

- a) 在软土地层中，应配置重型刮刀及周边刮刀；
- b) 在含硬岩、孤石或强风化岩地层中，应配置滚刀，并采用高承载能力、高耐磨性能刀具；
- c) 刀具布置应实现全断面覆盖，刀具轨迹应均匀分布。

6.3.5 在高水压及超高水压条件下，刀盘前方换刀作业应采用具备压力隔离功能的换刀系统，优先配置常压换刀装置；当采用带压进舱作业方式时，应设置专用压力控制、安全隔离及应急防护系统，并经专项安全论证。

6.3.6 刀具紧固与连接构造应满足高振动、高冲击工况要求，并采取防松脱措施。

6.3.7 刀盘切口结构应保证渣土顺畅进入开挖舱，并避免形成堵塞、集中冲刷或局部高压区。

### 6.4 密封系统及耐压性能

6.4.1 盾构机密封系统应满足高水压及超高水压条件下防水可靠性与长期耐压性能要求，并按最大控制水压及最不利工况进行整体设计与校核。

6.4.2 主驱动密封系统应采用多道密封组合结构，密封形式、材料性能及结构布置应满足高承压、高耐磨及抗疲劳要求，其设计承压能力不应小于最大控制水压的 1.5 倍。

6.4.3 盾尾密封系统应采用多道刷密封与密封脂联合防水结构，并应保证在高水压条件下连续稳定供脂与压力补偿能力。

6.4.4 在超高水压条件下，盾尾密封系统应配置密封压力自动调节与状态监测装置，实现密封压力与外部水压的动态匹配。

6.4.5 铰接密封系统应具备多道防水结构及压力补偿功能，并满足盾构机姿态调整及曲线掘进工况下的密封可靠性要求。

6.4.6 密封材料应具备耐高压、耐磨损、耐老化及耐化学腐蚀性能，其性能指标应满足长期服役要求。

6.4.7 盾构机密封系统应在出厂前进行专项耐压试验，试验压力不应小于最大控制水压的 1.5 倍，并保持规定压力时间内无渗漏或功能失效。

6.4.8 在超高水压条件下，密封系统应在现场安装完成后实施复验性耐压试验，验证整体密封性能满足设计要求。

## 6.5 推进系统与姿态控制系统

6.5.1 盾构机推进系统与姿态控制系统应满足高水压及超高水压条件下连续稳定掘进与精确姿态调整要求，并按最不利工况进行能力校核。

6.5.2 盾构机额定总推进力不应小于最大计算推进阻力的 1.3 倍，并应具备分级调控及均衡分配能力。

6.5.3 推进油缸应环形均布设置，并应具备分区独立控制功能，以适应姿态调整及不均匀受力工况。

6.5.4 姿态控制系统应具备对盾构机纵向坡度、横向偏移及转角变化的实时监测与自动调节能力，并与推进系统实现联动控制。

6.5.5 在超高水压条件下，推进系统与姿态控制系统应配置高精度传感装置及冗余控制回路，实现关键参数的连续监测与故障保护。

6.5.6 推进系统主要承载构件及连接部位应满足高载荷循环作用要求，并进行疲劳性能校核。

## 6.6 同步注浆与充填系统

6.6.1 同步注浆与充填系统应满足高水压及超高水压条件下盾构隧道衬砌背后空间及时、连续、密实充填的要求，并应具备稳定供浆与压力调控能力。

6.6.2 同步注浆系统应具备多路独立供浆功能，并应实现注浆压力、流量及累计注浆量的实时监测与自动调节。

6.6.3 注浆系统设计工作压力不应小于最大控制水压与衬砌背后充填阻力叠加值，并应留有安全储备。

6.6.4 在超高水压条件下，同步注浆系统应配置高精度压力传感装置及冗余供浆回路，确保注浆过程连续稳定。

6.6.5 同步注浆与充填系统应与盾构推进系统联动控制，实现注浆量与掘进速度的动态匹配。

## 6.7 渣土处理与排出系统

6.7.1 渣土处理与排出系统应满足高水压及超高水压条件下连续稳定排出渣土并保持开挖面压力平衡的要求，并按最不利工况进行能力校核。

6.7.2 渣土输送系统的设计排量不应小于盾构最大掘进能力对应的理论出渣量，并应具备调节与冗余能力。

6.7.3 在泥水平衡盾构机中，渣浆输送系统应具备稳定输送高浓度渣浆的能力，并应配置防沉积与防堵塞装置。

6.7.4 在土压平衡盾构机中，螺旋输送机应满足高水压条件下保压排土要求，并应具备变速调控及密封防渗功能。

6.7.5 在超高水压条件下，渣土处理与排出系统应配置压力监测与异常报警装置，实现排渣过程安全连锁控制。

## 6.8 信息化控制与数据采集系统

6.8.1 信息化控制与数据采集系统应满足高水压及超高水压条件下盾构机关键运行参数实时监测、集中处理及联动控制要求。

6.8.2 数据采集系统应对推进力、推进速度、姿态参数、开挖面压力、密封压力、注浆压力及注浆量等关键指标进行连续监测与记录。

6.8.3 信息化控制系统应具备数据实时显示、历史数据存储及趋势分析功能，并支持施工参数优化调整。

6.8.4 在超高水压条件下，信息化系统应配置冗余采集通道及独立供电保障措施，确保关键数据持续可靠获取。

6.8.5 信息化控制系统应具备异常工况自动报警及安全连锁功能，与盾构机关键控制系统协同响应。

## 6.9 设备验收与耐压性能测试

6.9.1 盾构机及其关键系统在出厂前应进行专项验收，验收内容应包括结构性能、功能完整性及耐压能力验证。

6.9.2 盾构机主要承压系统及密封系统应实施耐压性能测试，测试压力不应小于最大控制水压的 1.5 倍，并应在规定保压时间内无渗漏、无结构损伤及功能失效。

6.9.3 盾构机运抵施工现场并完成安装后，应对关键承压系统及密封系统进行复验性耐压测试，确认整体性能满足设计要求。

6.9.4 推进系统、姿态控制系统、同步注浆系统及渣土排出系统应进行功能调试与联合运行测试，验证系统协同工作能力。

6.9.5 在超高水压条件下，应增加专项验收项目，对高水压相关关键系统实施强化检测与验证。

6.9.6 设备验收与耐压测试结果应形成完整技术文件，作为盾构机投入施工前的重要依据。

## 6.10 关键系统安全保障与保护要求

6.10.1 盾构机关键系统应配置必要的冗余与安全保护措施，以满足高水压及超高水压条件下连续安全施工要求。

- 6.10.2 开挖面压力控制系统、密封系统、推进系统及同步注浆系统应设置冗余供能或备用回路，确保单一部件失效时系统功能持续有效。
- 6.10.3 盾构机关键控制系统应设置安全联锁保护机制，当关键参数超出设定控制范围时应自动触发报警及控制响应措施。
- 6.10.4 在超高水压条件下，关键系统冗余配置等级及安全保护措施应通过专项技术论证确定，并满足极端工况风险控制要求。
- 6.10.5 冗余系统及安全保护装置应纳入设备验收与调试内容，并经验证满足设计要求后方可投入使用。

## 7 衬砌管片

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 盾构隧道的防水设计应结合管片结构特点、拼装方法、维修更换条件，在满足结构耐久性要求的前提下，确定标准合适、措施可靠、经济合理的防水设计方案。
- 7.1.2 盾构隧道的衬砌结构可采用单层衬砌、双层衬砌或局部双层衬砌的形式。在满足隧道结构受力、防水、耐久性及施工等要求的前提下，宜选用单层装配式钢筋混凝土衬砌。
- 7.1.3 盾构隧道宜采用预制钢筋混凝土平板型管片，在连接通道或废水泵房等特殊地段，可采用钢管片、铸铁管片或钢与钢筋混凝土的复合管片。
- 7.1.4 衬砌管片设计应根据超高水压、大直径盾构隧道的力学环境、施工工况及长期运营要求，满足结构安全、防水可靠、耐久性强和使用性能良好的总体目标，并符合现行国家及行业相关标准规定。

### 7.2 材料与性能要求

#### 7.2.1 管片建筑材料应符合下列规定：

- a) 隧道主体结构宜采用钢筋混凝土材料，有特殊需要时可采用金属材料。
- b) 主体结构中钢管片宜选用 Q235 或 Q345 钢，球墨铸铁管片宜选用 QT400。
- c) 连接件的机械性能等级应符合受力要求，并应有较好耐腐蚀性和抗冲击韧性，表面应进行防腐蚀处理。
- d) 钢管片、球墨铸铁管片施工或运营过程中遇低温工作环境，应采用与之相适应的材料等级。

#### 7.2.2 管片构造应符合下列规定：

- a) 管片衬砌块与块、环与环间宜采用螺栓连接。
- b) 连接螺栓可采用直螺栓、斜螺栓或弯螺栓。
- c) 管片的端肋及环肋宽度应与相应的环向螺栓和纵向螺栓的最大受力性能相匹配。
- d) 管片宜采用错缝拼装，错缝拼装时应避免邻接通缝的情况发生，且衬砌环环面上宜设置合适的抗剪构造。
- e) 管片边角应设计为不易损坏的倒角形状。
- f) 管片应根据要求设置管片型号、定位标记、主筋位置等方便施工的标记符号。

### 7.3 几何尺寸与极限状态受力验算

#### 7.3.1 管片的几何设计应符合下列规定：

- a) 衬砌管环可采用直线环或楔形环，楔形环宜设置为双面楔形，楔形量应满足隧道轴线平曲线最小半径的要求。
- b) 双车道盾构隧道的管片环宽度不应小于 1200mm，三车道盾构隧道的衬砌环宽度不应小于 1500mm。
- c) 管片厚度应根据隧道直径、埋深、工程地质及水文地质条件、施工阶段及使用阶段的荷载情况等确定，宜为  $0.040 \sim 0.055D$ （ $D$  为隧道外径）。
- d) 管片环应根据管片制作、运输、盾构设备、施工方法和受力要求等因素进行分块，双车道隧道分块数不宜少于 6 块，三车道隧道不宜少于 9 块。
- e) 封顶块插入方式应根据封顶块圆心角确定，对小封顶块管片宜采用轴向插入方式，对大封顶块管片宜采用径向与轴向混合的插入方式。

7.3.2 盾构法隧道结构计算应考虑地层情况、衬砌构造特点及施工工艺影响，对于空间受力作用明显的结构宜按照空间结构进行分析。采用通缝拼装的衬砌结构可取单环按弹性匀质圆环或弹性较圆环模型进行计算；采用错缝拼装的衬砌结构宜按环间弯矩纵向传递模型或梁—弹簧模型进行计算。

### 7.4 接头设计

7.4.1 管片接头一般包括接头构造形式、连接方式。接头构造设计需要从力学性能、防水方案及施工运输等方面进行考虑。接头的构造一般有连接件、榫槽、传力衬垫、弹性密封垫沟槽和嵌缝沟槽等部分组成。

7.4.2 管片接头的对接方式主要有全面对接式、部分表面对接式、键式、搭接式和凹式等。公路盾构隧道管片宜采用表面对接式或设凹凸榫对接形式。当采用凹凸榫槽对接方式时，应结合盾构推进油缸的作用区域一并考虑。

7.4.3 接头紧固件按照紧固方法不同，可分为有螺栓连接（直螺栓、弯螺栓、斜插螺栓等）、无螺栓连接以及销钉连接等，公路盾构隧道的接头宜采用螺栓连接形式，通常环间螺栓的尺寸小于等于管片与管片之间的连接螺栓直径。采用螺栓连接进行设计时，尚应注意如下方面：

- a) 对于混凝土平板型管片，需考虑接头的应力传递、配筋制约、楔形量等因素，结合管片脱模工艺和截面缺损部分的平衡因素，确定管片宽度方向的螺栓配置。
- b) 管片沿宽度方向一般宜均匀配置 2~3 根螺栓，管片厚度较大时，也可按照双排布置。
- c) 对于环间接头螺栓，宜采用一排螺栓，配置在离管片内侧  $1/4 \sim 1/2$  的位置上。
- d) 钢管片的接头螺栓设计结合结构计算确定其布置位置与数量。

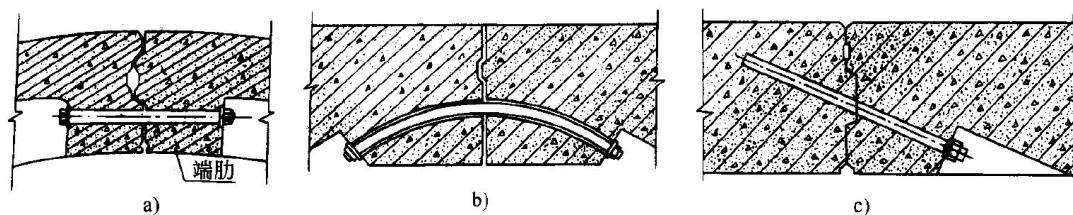


图 7.4.3 管片螺栓连接方案图

7.4.4 在接缝处设置可设置柔性的传力衬垫可作为管片接头受力的缓冲，控制管片开裂。在管片刚度接头要求高的特殊隧道，如承担高水头压力的隧道衬砌，在确保管片制作精度的前提下，也可以采用混凝土凸面替代传力衬垫，凸面高度宜取 2~4mm，不宜超过 5mm。

7.4.5 管片结构宜在内侧设置嵌缝槽，在槽内添加止水材料来达到防水的目的。

7.4.6 盾构管片接缝需结合防水密封垫的要求进行沟槽预留，并根据防水密封垫的指标对沟槽的尺寸进行力学分析，综合确定防水方案。管片防水可根据隧道尺寸、设计水压力的不同，可沿管片厚度方向设置一道或两道密封垫防水。

## 7.5 防水设计

7.5.1 盾构隧道应充分利用衬砌的自防水能力，采用高抗渗性能混凝土，管片的接缝应满足防水设计要求。

7.5.2 盾构隧道防水设计应遵循“以结构自防水为根本，以接缝防水为重点，多道防线，综合治理”的原则，加强隧道与工作井连接部位等特殊地段的防水设计，保证隧道整体防水效果。

7.5.3 盾构隧道防水等级不应低于二级，可按本规范附录 E 表 E-1 确定，防水方案、材料及构造设计应根据外水压力及设计使用年限选用。

7.5.4 盾构隧道结构承受设计水压力时，管片应具有相应的防水抗渗能力，管片接缝在设计的最大张开量和错位量条件下应保持相应的防水能力。

7.5.5 管片接缝防水设计应遵循下列原则：

- a) 应设置防水密封垫。
- b) 螺栓孔应设置防水密封圈。
- c) 重要地段宜附加嵌缝材料密封。
- d) 特殊地段应在衬砌背后注入堵水材料。。

7.5.6 管片接缝的橡胶密封垫材质和断面构造形式，应与材料耐久性要求、制作工艺相适应，其性能指标应符合本规范第 4.3.3 条的规定。

7.5.7 橡胶密封垫的止水性宜通过模拟一字缝、T 字缝和十字缝拼装（如有十字缝）的水密性试验验证。设计最大外水压力不大于 0.6MPa 时，要求在大于或等于 2 倍的最大外水压作用下，接缝张开量或错位量达到最大设计值时，24h 不应产生渗漏；设计最大外水压力大于 0.6MPa 时，应进行专项研究。

7.5.8 密封垫在闭合压缩状态下，管片接缝沟槽应满足管片混凝土沟槽稳定。采用纵向插入拼装管片弹性橡胶密封垫时，宜采取提高密封垫抗拉断能力的措施，并控制插入摩阻力。

7.5.9 同一隧道内的密封垫内部构造或材质性能宜根据水压力变化分段进行相应调整。

7.5.10 环境作用等级为 E 级、F 级的盾构隧道，应在管片背侧和密封垫外侧的环、纵缝面应增加外防水防腐涂层。涂层宜为环氧和改性环氧涂料等封闭型、水泥基渗透结晶型或硅氧烷类等渗透型材料。

7.5.11 密封垫的宽度与高度应与设计的盾构隧道管片错位量、张开量相适应，并应符合下列规定：

- a) 密封垫接触面的宽度可取最大错位量的 3 倍。在管片环、纵缝设有凹凸榫时，密封垫接触面宽度可比同样条件下不设凹凸榫时小。
- b) 管片衬砌接缝在出现最大计算变形量时，仍应保持在最大水压力下不渗漏。管片环间接缝最大张开量可按式(6.5.11)计算。

$$\delta \geq \frac{B \times D}{(\rho_{\min} - \frac{D}{2})} + \delta_0 + \delta_s \dots\dots\dots (7.5.11)$$

式中： $\delta$ ——管片环间接缝最大张开量(m)；  
 $\rho_{\min}$ ——隧道纵向变形曲线最小半径(m)；  
 $D$ ——隧道外径(m)；  
 $B$ ——管片环宽(m)；  
 $\delta_0$ ——生产及施工误差造成的环缝间隙(m)；

7.5.12 管片环、纵缝内侧应设嵌缝槽。变形缝、始发、到达和连接通道、交叉工程区段等变形量大的区域宜整环嵌缝。

7.5.13 在盾构进工作井始发和到达井圈范围内，应采用安全可靠的防水结构。在盾构工作井预留的洞圈内，宜设置帘布橡胶密封圈与压板或气囊组成的洞圈密封装置。

7.5.14 盾构隧道与工作井的连接接头、盾构隧道与横通道的连接接头、盾构隧道环向变形缝的防水宜采取刚柔结合的措施，满足防水要求。

7.5.15 采用双层衬砌的盾构隧道其内层衬砌的防水等级应高于外层衬砌，两层衬砌之间可设防水层，并应做好防水层间的搭接和内层衬砌接缝的止水。

## 7.6 抗震要求

7.6.1 盾构隧道应根据所处位置及结构的重要性划分为重点设防类和标准设防类两个类别进行抗震设计。

- a) 重点设防类：水下隧道结构（含水下横通道），三车道及以上宽度的隧道结构。
- b) 标准设防类：陆域两车道及以下宽度隧道结构、洞门结构。

7.6.2 设计基本地震动峰值加速度  $a_{max}$  II 应根据结构设计使用寿命按表 7.6.2-1 确定；当结构设计使用寿命为 50 年时，可按《中国地震动参数区划图》GB 18306 中地震动峰值加速度分区值确定，见表 7.6.2-2。

表 7.6.2-1 隧道结构的设计地震动峰值加速度

地震类型	设计地震动峰值加速度
E1	设计使用寿命期内超越概率 63% 的地震动峰值加速度
E2	设计使用寿命期内超越概率 10% 的地震动峰值加速度
E3	设计使用寿命期内超越概率 2~3% 的地震动峰值加速度

表 7.6.2-2 隧道结构设计使用寿命为 50 年的地震动峰值加速度  $a_{max}$  II (g)

基本动峰值加速度	0.05	0.1	0.15	0.20	0.30	0.40
E1 的动峰值加速度	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.14
E2 的动峰值加速度	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40
E3 的动峰值加速度	0.12	0.22	0.32	0.40	0.57	0.76

7.6.3 盾构隧道结构在地震作用下应达到表 7.6.3 的性能要求。

表 7.6.3 盾构隧道结构的抗震性能要求

结构设防类别	地震类型	性能要求
重点设防类结构	E1 地震（小震）	性能要求 I
	E2 地震（中震）	性能要求 I
	E3 地震（大震）	性能要求 II
标准设防类结构	E1 地震（小震）	性能要求 I
	E2 地震（中震）	性能要求 II
	E3 地震（大震）	性能要求 III

注：1 性能要求 I：结构处于弹性工作阶段，结构不破坏，震后结构保持震前状态。

2 性能要求 II：结构局部进入弹塑性工作阶段，结构局部发生轻度损伤，不需维修或经简单修补，短期内结构可恢复其正常使用功能。

3 性能要求 III：结构处于弹塑性工作阶段，结构产生破坏但不出现整体坍塌，经修复后可恢复其使用功能。

7.6.4 安装在隧道内的附属机电设施的支座和连接，应符合地震时仍满足使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏。附属构造物和机电设备与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人。

## 7.7 抗渗、抗弯、抗拔要求

7.7.1 钢筋混凝土管片应采用防水混凝土，并根据防水等级的要求采取其他防水措施，确保在隧道承受的水压力范围内，混凝土管片结构具有相应的防水抗渗能力。

7.7.2 管片的刚度计算应符合以下规定：

- a) 管片横断面内力计算时，接头抗弯刚度系数应根据模型试验、管片接头三维有限元分析、经验公式或理论公式计算等方法分析确定。
- b) 当无条件时，接头抗弯刚度可根据盾构直径、分块形式、环宽、螺栓配置情况，参照类似工程对比确定。
- c) 当采用梁-弹簧法和壳-弹簧法进行计算时，环与环之间的径向剪切弹簧和切向剪切弹簧刚度值宜根据试验结果确定，在无条件时，可按最不利情况考虑。

7.7.3 考虑到这种因素对于混凝土管片的影响，要求注浆孔的抗拔承载力超过 1.5 倍管片环重量。

## 7.8 耐久性及使用寿命

7.8.1 盾构隧道结构应根据设计使用年限、环境类别及环境作用等级，并考虑结构因素、材料因素等进行耐久性设计。

- a) 结构因素包括土、水荷载、施工荷载、构造措施与结构裂缝控制；
- b) 材料因素包括水泥品种、骨料与级配、外掺剂、水灰比等；

7.8.2 盾构隧道各部分结构及材料应根据其重要性进行耐久性设计，隧道主体结构的设计使用年限不应低于 100 年，隧道附属结构的设计使用年限不应低于 50 年，可更换的隧道附属结构的设计使用年限不应低于 25 年。

表 7.8.2 隧道耐久性设计分级

隧道结构分类	具体部位	设计使用年限
主体结构及重要材料	管片、地下泵房、螺栓、接缝防水材料等	100
不可更换附属结构	口字键、车道板、风道结构、遮光棚等	50
可更换附属结构	边水沟、电缆沟、临时支护等	25

7.8.3 隧道的环境类别及其作用等级划分应根据结构所处环境条件，通过现场勘察及化验分析确定，应充分考虑结构所处位置及隧道结构内外环境条件的差异。

7.8.4 隧道结构所采用的各类材料应与使用环境相适应，可结合结构安全等级、可维修性以及环境作用等级，采取适当的附加防护措施。

7.8.5 隧道结构布置和构造形式应有利于减轻环境作用效应，应注意结构防排水措施的长期有效性及对结构耐久性的影响。

## 8 超高水压大直径盾构隧道施工

### 8.1 一般规定

- 8.1.1 超高水压大直径盾构隧道施工应依据补充勘察成果、水压分级控制要求及设备配置能力，制定专项施工技术方案，并经技术论证后实施。
- 8.1.2 施工过程中应对开挖面稳定、衬砌结构安全、防水体系完整性及周边环境影响实施全过程控制。
- 8.1.3 在高水压及超高水压条件下，施工参数应根据实时监测数据动态调整，并保持在设计控制范围内。
- 8.1.4 超高水压区段施工应实施专项风险控制措施，并与应急处置方案联动执行。
- 8.1.5 施工技术控制应与信息化监测系统协同运行，实现参数监测、预警及处置闭环管理。

### 8.2 施工测量与控制

- 8.2.1 盾构施工测量与控制应建立统一坐标控制系统，并应满足大直径盾构隧道轴线精度及姿态控制要求。
- 8.2.2 盾构机姿态参数应包括纵向坡度、横向偏移及转角变化，并应进行连续实时监测。
- 8.2.3 施工测量系统应与盾构机姿态控制系统联动运行，实现掘进过程中姿态参数的动态调整。
- 8.2.4 在高水压及超高水压条件下，应加强对盾构轴线偏移及沉降变化的监测频率，并及时修正施工参数。
- 8.2.5 测量控制精度应满足设计及相关规范要求，并应在超高水压区段实施强化控制标准。
- 8.2.6 施工测量数据应实时传输至信息化管理系统，并作为施工参数调整与风险预警的重要依据。

### 8.3 盾构始发施工

- 8.3.1 盾构始发施工前应对始发井结构、防水构造及与盾构机接口部位进行专项检查与验收，确认满足高水压及超高水压条件下密封与承压要求。
- 8.3.2 始发井端头加固范围、加固形式及强度指标应依据地层条件及控制水压经专项设计确定，并满足开挖面稳定要求。
- 8.3.3 盾构始发阶段应建立可靠的开挖面压力控制体系，并应实现压力逐级建立与平稳过渡。
- 8.3.4 始发过程中盾构推进速度、推进力及开挖面压力应协同控制，避免产生突变工况。
- 8.3.5 在高水压及超高水压条件下，始发阶段应同步实施衬砌背后注浆与充填措施，确保结构及时形成稳定支护体系。
- 8.3.6 始发施工全过程应实施重点监测，对开挖面压力、结构变形及渗漏情况进行实时控制与预警。

### 8.4 盾构掘进施工

- 8.4.1 盾构掘进施工应依据地层条件及控制水压等级，合理确定推进速度、推进力及开挖面支护压力，并保持各参数协同稳定。
- 8.4.2 掘进过程中开挖面压力应保持连续稳定，压力波动应控制在设计允许范围内。

8.4.3 盾构推进速度应与渣土排出能力及同步注浆能力相匹配，避免因推进失衡引起开挖面失稳或衬砌背后空隙形成。

8.4.4 在高水压及超高水压条件下，应强化对推进参数变化的实时监测与动态调控，防止出现突变工况。

8.4.5 掘进过程中应持续实施同步注浆与充填作业，确保衬砌背后空间及时密实封闭。

8.4.6 掘进施工应与信息化监测系统联动运行，根据实时数据对施工参数进行优化调整。

8.4.7 当监测数据出现异常趋势时，应及时采取调整推进参数、加强注浆或降低掘进速度等控制措施。

## 8.5 盾构接收施工

8.5.1 盾构接收施工前应对接收井结构、防水构造及盾构机接收接口部位进行专项检查与验收，确认满足高水压及超高水压条件下承压与密封要求。

8.5.2 接收端地层加固范围、加固形式及强度指标应依据地层条件及控制水压经专项设计确定，并满足开挖面稳定要求。

8.5.3 盾构接收阶段应保持开挖面压力连续稳定，并应实现压力平稳调整与逐步释放。

8.5.4 接收过程中盾构推进速度、推进力及开挖面压力应协同控制，避免产生突变工况。

8.5.5 在高水压及超高水压条件下，接收阶段应持续实施同步注浆与充填作业，确保衬砌背后空间密实封闭。

8.5.6 接收施工全过程应实施重点监测，对结构变形、渗漏情况及压力变化进行实时控制与预警。

## 8.6 特殊工况施工与应急处置

8.6.1 在高水压及超高水压条件下，当施工过程中出现开挖面压力异常波动、渗漏增大或地层失稳迹象时，应立即调整施工参数并启动应急处置措施。

8.6.2 当发生突水、突泥等异常工况时，应迅速采取降低推进速度、提高开挖面支护压力及加强同步注浆等控制措施，并同步实施封堵与加固作业。

8.6.3 在盾构机关键系统发生故障影响压力控制、防水性能或推进能力时，应立即停止掘进作业，排查故障原因并采取针对性修复措施。

8.6.4 超高水压区段施工应制定专项应急处置预案，明确应急响应程序、技术措施及责任分工。

8.6.5 应急处置过程应与信息化监测系统联动运行，对关键参数变化实施实时跟踪与评估。

8.6.6 特殊工况处置完成后，应对结构安全、防水性能及周边环境影响进行专项检查与评估，确认满足继续施工条件后方可恢复掘进。

## 8.7 施工过程风险控制措施

8.7.1 超高水压大直径盾构隧道施工应实施全过程风险识别与动态管控，并根据水压等级及地层条件划分风险控制重点区段。

8.7.2 施工过程中应对开挖面稳定风险、突水突泥风险、结构变形风险及防水失效风险实施分级控制。

8.7.3 高水压及超高水压区段施工应强化施工参数控制、同步注浆质量控制及监测预警措施。

8.7.1 风险控制措施应根据实时监测数据动态调整，并形成闭环管理机制。

8.7.2 当风险指标接近或超过控制阈值时，应及时启动相应控制措施或应急处置程序。

8.7.3 施工全过程风险控制情况应形成完整记录，并作为工程验收与运行评估的重要依据。

## 9 质量检测

### 9.1 一般规定

9.1.1 检测工作程序应按图 9.1.1 执行。

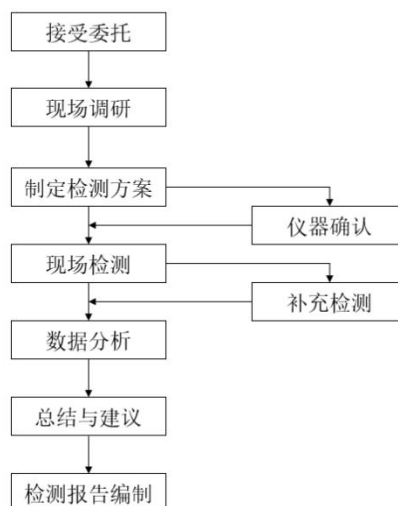


图 9.1.1 检测工作基本流程

9.1.2 应根据隧道检测的要求，收集和分析隧道原始资料，制定检测方案。

9.1.3 检测仪器、设备、量具应具有产品合格证和计量检定机构的有效检定（校准）证书、精度应满足检测要求；辅助工具状况正常，应满足检测项目安全要求。

9.1.4 应根据检测方案开展现场检测，必要时可调整检测内容，检测记录应全面详细。

9.1.5 应对检测数据进行分析，给出结论，并编制项目检测报告。

### 9.2 管片及拼装质量检测

9.2.1 盾构隧道管片及拼装检测，应在接受委托后，进行现场和有关资料调查，指定检测方案并确认仪器设备状况后进行现场检测，根据计算分析和结果评价判断是否进行扩大抽检，并应出具检测报告，程序如图 9.2.1 所示。

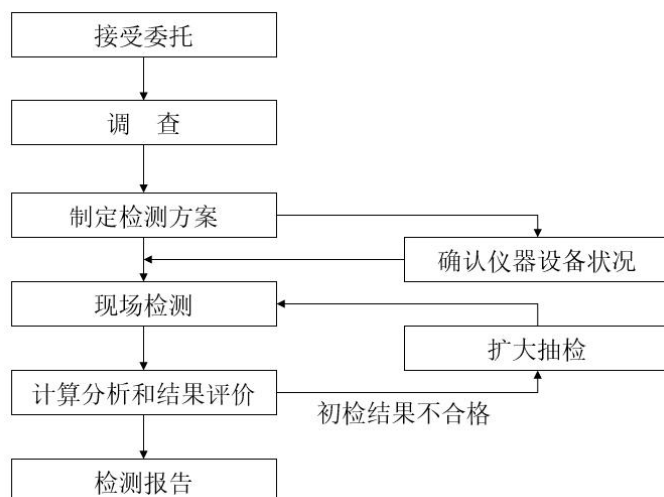


图 9.2.1 盾构隧道管片及拼装检测工作程序

9.2.2 从事盾构隧道管片及拼装质量检测的机构，应符合国家规定的有关结构构件检测资质条件要求。检测人员应经过培训并取得检测资格。

9.2.3 盾构隧道管片及拼装的检测数据应真实可靠，全面反映管片质量状况。检测所用的仪器设备应进行定期检定和校准，并应处于正常状态。

9.2.4 盾构隧道管片及拼装现场检测时，除应执行本标准的有关规定外，还应遵守国家有关安全生产的规定。检测区域应设置明显标志，并应采取适当措施保证检测人员和仪器设备安全。

9.2.5 盾构隧道管片的检验，应合理划分检验批，指定抽样检验方案。检验批宜根据工程验收需要按施工标段划分。抽样检验方案应在检查管片的规格、型号及性能检测报告的基础上制定。

9.2.6 混凝土管片质量检验项目应包括：混凝土强度、外观、尺寸、水平拼接、渗漏、抗弯性能及抗拔性能，抽样检验数量应符合表 9.2.6 规定。

表 9.2.6 混凝土管片质量验收检验数量

序号	检验项目	抽样检验数量
1	混凝土强度	采用回弹法，回弹法抽检数量不少于同一检验批管片总数的 5%
2	外观	每 200 环抽检 1 环，不足 200 环时按 200 环计
3	尺寸	
4	水平拼接	每 1000 环抽检 1 次，不足 1000 环时按 1000 环计
5	渗漏	每 1000 环抽检 1 块，不足 1000 环时按 1000 环计
6	抗弯性能	
7	抗拔性能	

注：外观及尺寸的检验应按标准块、邻接块、封顶块三种类型管片分别抽检；渗漏、抗弯性能检验宜选用标准块。

9.2.7 当采用回弹法对混凝土管片强度进行抽检时，应按现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的规定，计算混凝土强度推定值。当生产过程的混凝土试件强度试验报告评定为合格且回弹法抽检推定值或钻芯法钻样强度试验值满足设计强度要求时，应判定该检验批管片混凝土强度合格。

9.2.8 混凝土管片外观检验应按表 8.2.6 进行判定，当主控项目无缺陷且一般项目缺陷不超过 2 项时，应判定该检验批管片外观质量合格。

表 9.2.8 混凝土管片外观检验项目和质量要求

序号	项目	检验项目	质量要求
1	主控项目	贯穿裂缝	不允许
2		内、外弧面露筋	不允许
3		孔洞	不允许
4		疏松、夹渣	不允许
5		蜂窝	不允许
6		非贯穿性裂缝	裂缝宽度允许范围 0~0.10mm
7	一般项目	侧表面裂缝	拼接面方向长度不超过密封槽，裂缝宽度允许范围 0~0.20mm
8		麻面、粘皮	表面麻面、粘皮总面积不大于表面积的 5%
9		缺棱掉角、飞边	应修补
10		环、纵向螺栓孔	畅通、内圆面平整，不应有塌孔

9.2.9 混凝土管片的几何尺寸应按表 9.2.9 规定的允许偏差进行判定。当混凝土管片宽度、厚度和钢筋保护层厚度检验均符合下列规定时，应判定该检验批管片几何尺寸合格：

- 管片各个测点的宽度校验结果不超过允许偏差，宽度的检验结果应判为合格；
- 管片各个测点的厚度检验结果不超过允许偏差，厚度的检验结果应判为合格；
- 管片钢筋保护层厚度检验应符合下列规定：

1) 当全部钢筋保护层厚度检验的合格点率为 90%及以上时、钢筋保护层厚度的检验结果应判为合格；

2) 当全部钢筋保护层厚度检验的合格点率小于 90%但不小于 80%时，可再抽取相同数量的管片进行检验；当按两次抽样总和计算的合格点率为 90%及以上时，钢筋保护层厚度的检验结果仍应判为合格；

3) 每次抽样检验结果中不合格点的最人偏差均不应大于本标准表 4.1.3 规定允许偏差值的 1.5 倍。

表 9.2.9 混凝土管片尺寸的检验项目和允许偏差

序号	项目性质	检验项目	允许偏差 (mm)
1	主控项目	宽度	±1
2		厚度	±3, -1
3	一般项目	钢筋保护层厚度	±5

9.2.10 混凝土管片水平拼装检验应按表 9.2.10 规定的允许偏差进行判定，当成环后内径、成环后外径、环向缝间隙和纵向缝间隙的各个检测结果均符合本标准表 9.2.10 规定的允许偏差时，应判定该检验批管片水平拼装性能合格。

表 9.2.10 盾构隧道管片水平拼接尺寸的检验项目和允许偏差

序号	项目性质	允许偏差 (mm)
1	成环后内径	±2

2	成环后外径	+6, -2
3	环向缝间隙	0~2
3	纵向缝间隙	0~2

9.2.11 混凝土管片的抗渗性能应按以下规定进行判定：在设计抗渗压力下稳压 2h，管片内弧面不出现渗漏水现象，侧面渗水高度不超过 50mm，应判定该检验批管片抗渗性能合格。

9.2.12 混凝土管片的抗弯性能应按以下规定进行判定：加载达到设计荷载并持荷 30min 后，没有观察到裂缝或裂缝宽度不大于 0.2mm，应判定该检验批管片抗弯性能符合设计要求。

9.2.13 混凝土管片的抗拔性能应按以下规定进行判定：设计荷载下的最后三次所测位移，相邻两个位移差均小于 0.01mm，应判定该检验批管片预埋受力构件抗拔性能符合设计要求。

9.2.14 混凝土管片外观、尺寸、水平拼接、渗漏、抗弯性能、抗拔性能检验的原始记录可按本标准附录 A 的格式记录。

9.2.15 盾构隧道管片及拼装检测报告应包含下列主要内容：

- a) 工程名称，委托单位名称，建设单位，设计单位，施工单位，管片生产单位及监理单位名称；
- b) 检测目的及依据的标准；
- c) 检测项目、检测数量及仪器设备；
- d) 检测结果与数据分析、检测结论；
- e) 检测日期和报告完成日期，检测单位，主要检测人员的签章；
- f) 检测数据图表和照片以及计算资料；

### 9.3 注浆质量检测

9.3.1 注浆过程应实行实时监控，并对注浆压力、注浆量及浆液性能指标进行检测与记录，检测数据应与环号、孔位、地层条件建立对应关系，形成可追溯的注浆质量数据库。

9.3.2 管片拼装完成后，应采用适宜的无损检测方法检测壁后注浆填充情况，推荐以探地雷达检测为主并结合声波检测等进行综合判识，对于受地下水、钢筋等因素干扰严重的区域宜采用经过工程验证的智能识别方法对探地雷达检测图像进行辅助解译。

9.3.3 对壁后脱空、注浆不密实及接触损失缺陷，应记录其所在环号、纵向范围、环向位置、环向范围、径向厚度、估算体积等信息，在有抗震设防要求或处于软弱地层、富水地层、断裂影响区的盾构隧道中，尚应记录缺陷所在位置的地质信息，检测结果应满足后续结构安全评估、抗震性能评价和二次注浆设计的数据接口要求。

9.3.4 当无损检测发现下列情况之一时，应采用钻孔取芯、钻孔内窥镜、钻孔雷达、孔内声波或其他直接验证方法进行复核：

- a) 空洞或脱空体积大于 1m<sup>3</sup>；
- b) 连续不密实区长度超过 3 环；
- c) 缺陷位于管片接缝、连接螺栓附近等结构敏感部位；
- d) 无损检测结果置信度不足、不同检测方法结论不一致，或需对智能识别模型进行标定；

e) 结构响应预测或韧性评价结果表明该缺陷可能引起局部损伤集中或承载性能显著降低。

9.3.5 当采用智能识别方法时，应符合下列规定：

- a) 模型训练数据应来源于现场检测、可靠数值模拟、模型试验或工程验证数据；
- b) 输出结果宜包括缺陷影响范围、结构损伤分布、关键环号、风险等级及建议处置措施；
- c) 模型应经过独立样本验证，验证指标宜包括决定系数  $R^2$ 、均方根误差 RMSE、平均绝对百分比误差 MAPE 或等效精度指标；
- d) 模型适用范围、训练工况、地层类型、隧道断面形式及不确定性应予以说明，超出模型适用范围时，不得直接作为处置依据，应结合数值模拟分析或现场验证进行复核。

9.3.6 对于检测发现的缺陷，应根据缺陷规模、部位及所处水压环境制定专项二次注浆补救方案。补救完成后，应采用相同检测方法复检，并应达到合格要求。对采用智能识别或智能预测方法确定的重点缺陷，复检数据应回填至检测数据库，用于修正缺陷识别模型或结构响应预测模型。

## 9.4 防水性能检测

9.4.1 防水性能检测应结合工程使用功能、结构特点、水文地质条件（特别是最高水头压力）、使用环境及施工条件确定。对于超高水压环境，应编制专项防水检测方案，其检测标准应高于常规工况。

9.4.2 盾构隧道及附属结构的防水设计、材料与施工，除应符合《地下工程防水技术规范》GB 50108、《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 的相关规定外，还应满足超高水压环境下的补充要求。

9.4.3 管片自身防水性能与拼装质量应作为超高水压防水体系的核心控制内容：

- a) 管片混凝土抗渗等级不应低于 P12，宜进行渗透深度试验，以验证其在高水压下的长期抗渗性能。
- b) 管片拼装质量除接缝吻合度和错台量控制外，应增加接缝张开量作为核心指标。环缝与纵缝的实测错台量、张开量均不应超过防水密封垫设计允许值的 80%。

9.4.4 应建立分级渗漏检查与处置制度：

- a) 表观检查：对隧道内所有管片接缝、表面、螺栓孔及注浆孔等部位进行全面目视检查，并记录渗漏点的位置、形态（湿渍、渗、滴、漏、涌）及水量。
- b) 定量测量：对线流、漏泥、涌砂等严重渗漏点，应采用定量容器测量单位时间流量。
- c) 专项检测：对表观无渗漏但处于高水头压力的关键区段，宜采用红外热成像等技术进行隐蔽性渗漏源与渗流路径检测。
- d) 验收标准：隧道整体防水等级应达到《地下工程防水技术规范》GB 50108 规定的一级标准。严禁存在渗漏点，禁止出现线流、漏泥砂现象；湿渍面积应符合规范要求。

## 10 施工安全与环境保护

### 10.1 一般规定

10.1.1 超高水压大直径盾构隧道施工应针对突水突泥、开挖面失稳、结构渗漏及设备失效等主要风险设置专项安全控制措施。

10.1.2 高水压及超高水压区段施工前应完成风险识别与技术论证，并明确相应控制参数与应急处置要求。

10.1.3 施工安全控制措施应与施工参数监测、设备安全联锁及应急处置措施同步实施。

10.1.4 施工过程中安全控制指标应依据实时监测结果动态调整。

## 10.2 施工安全管理

10.2.1 高水压及超高水压区段施工应编制专项施工安全方案，并明确关键工序安全控制要求。

10.2.2 盾构始发、掘进及接收等关键工序应实施专项安全技术交底。

10.2.3 施工过程中应对关键承压系统、密封系统及开挖面压力控制系统运行状态进行重点检查。

10.2.4 超高水压区段施工应实施重点风险源动态管理，并根据监测结果及时调整控制措施。

10.2.5 应急处置预案应覆盖突水突泥、压力失控及设备故障等主要风险工况，并定期演练。

## 10.3 施工运输与作业安全

10.3.1 管片、设备及材料运输路线应提前规划，并满足承载能力与通行安全要求。

10.3.2 管片吊装作业应采用专用吊具，并应进行起吊稳定性校核，严禁超载作业。

10.3.3 盾构施工区域内设备运行应设置安全防护设施，并明确人员作业安全范围。

10.3.4 高水压及超高水压区段施工过程中，带压作业应按照专项作业方案实施，并落实相应安全防护措施。

10.3.5 密闭空间作业应实施通风、气体检测及人员防护措施，确保作业环境安全。

10.3.1 施工运输及作业过程中发现安全隐患时，应立即采取整改措施。

## 10.4 环境保护措施

10.4.1 盾构施工过程中应控制地表沉降及周边建（构）筑物变形在设计允许范围内，并依据监测结果及时调整施工参数。

10.4.2 施工过程中应采取降噪措施，施工噪声应满足现行环境保护标准要求。

10.4.3 土方开挖、渣土运输及材料堆放过程中应采取抑尘措施，防止扬尘扩散。

10.4.4 施工废水应经处理达标后排放，不得直接排入自然水体或市政管网。

10.4.5 穿越敏感区域施工时应采取专项环境保护措施，防止对周边环境产生不利影响。

## 10.5 水资源与水环境保护

10.5.1 高水压及超高水压区段施工应控制地下水扰动范围，防止因施工引起地下水异常流失或水位大幅波动。

10.5.2 盾构掘进过程中发现渗漏水量异常增大时，应及时采取封堵与加固措施。

10.5.3 施工过程中产生的泥浆、废水及含悬浮物水体应经沉淀、过滤或处理达标后排放。

10.5.4 不得将未经处理的施工废水直接排入河道、湖泊及地下水系统。

10.5.5 穿越水体及水源保护区施工时，应设置专项水环境保护措施，防止污染扩散。

## 10.6 渣土与泥浆处理要求

10.6.1 盾构施工产生的渣土应分类堆放，并采取防渗漏及防扬尘措施。

10.6.2 泥浆处理系统应满足高水压及超高水压条件下连续稳定处理能力要求。

10.6.3 施工泥浆应经固液分离及处理达标后方可外运或排放。

10.6.4 渣土及处理后的泥浆应按照规定运输路线和处置场所进行外运处置。

10.6.5 渣土与泥浆运输过程中应采取防泄漏措施，防止污染道路及周边环境。

## 附录 A 混凝土管片检测原始记录表

A.0.1 混凝土管片外观检验可按表 A.0.1 记录。

表 A.0.1 混凝土管片外观检验原始记录表

工程名称			检验地点	
检验标准			管片生产单位	
检验日期			管片编号	
检验仪器			记录编号	
序号	项目	检验项目	检验情况	
1	主控项目	贯穿裂缝		
2		内、外弧面露筋		
3		孔洞		
4		疏松、夹渣		
5		蜂窝		
6		非贯穿性裂缝		
7	一般项目	侧表面裂缝		
8		麻面、粘皮		
9		缺棱掉角、飞边		
10		环、纵向螺栓孔		
检验：		校核：		



T/TMAC XXX—202X

A.0.3 混凝土管片水平拼接检验可按表 A.0.3 记录。

表 A.0.3 混凝土管片水平拼接检验原始记录表

工程名称		检验地点						
检验标准		管片生产单位						
检验日期		管片编号						
检验仪器		记录编号						
序号	项目	几何尺寸 (mm)						备注
		测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	
1	成环后内径							
2	成环后外径							
3	环向缝间隙							
4	纵向缝间隙							
检验:		校核:						



T/TMAC XXX—202X

A.0.5 混凝土管片抗弯性能检验可按表 A.0.5 记录。

表 A.0.5 混凝土管片抗弯性能检验原始记录表

工程名称				检验地点								
检验标准				管片生产单位								
检验日期				管片编号								
检验仪器				记录编号								
次序	分级荷载 (kN)	累计外加 荷载 (kN)	持荷时间 (min)	百分表读数 (mm)							出现裂 缝情况	备注
				D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>		
检验:				校核:								

