

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50446-2017

---

# 盾构法隧道施工及验收规范

Code for construction and acceptance of  
shield tunnelling method

2017-01-21 发布

2017-07-01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部  
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1448 号

---

## 住房城乡建设部关于发布国家标准 《盾构法隧道施工及验收规范》的公告

现批准《盾构法隧道施工及验收规范》为国家标准，编号为 GB 50446 - 2017，自 2017 年 7 月 1 日起实施。其中，第 3.0.3、7.8.6 条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446 - 2008 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部  
2017 年 1 月 21 日

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标[2013]169号)的要求,规范编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订了本规范。

本规范的主要技术内容是:1.总则;2.术语;3.基本规定;4.施工准备;5.施工测量;6.管片生产与验收;7.掘进施工;8.特殊地段施工;9.管片拼装;10.壁后注浆;11.隧道防水;12.施工安全与环境保护;13.盾构保养与维修;14.施工运输;15.施工监测;16.成型隧道验收。

本规范修订的主要技术内容是:1.增加了盾构选型与配置的技术内容;2.增加了油气、市政等隧道的贯通测量限差要求、管片拼装质量和成型隧道质量控制要求;3.增加了平原或山岭地区二等平面控制网测量要求;4.增加了钢管片现场验收的技术要求;5.增加了盾构空推、存在有害气体地段施工的措施要求;6.增加了监测频率和监测预警等技术内容;7.增加了铁路隧道管片拼装质量和成型隧道质量控制要求。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由住房和城乡建设部科技与产业化发展中心负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送住房和城乡建设部科技与产业化发展中心(地址:北京市三里河路9号,邮政编码:100835)。

本规范主编单位:住房和城乡建设部科技与产业化发展

中心

中铁隧道集团有限公司

本规范参编单位：北京城建集团有限责任公司

上海隧道工程有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

中国铁建重工集团有限公司

中铁工程装备集团有限公司

北京京合顺通隧道工程有限公司

中铁十一局集团有限公司

中铁十六局集团有限公司

北京港创瑞博混凝土有限公司

北京城建设计发展集团股份有限公司

上海力信测量技术有限公司

中铁隧道勘测设计院有限公司

本规范主要起草人员：梁 洋 周建军 张晋勋 李 刚

秦长利 李建斌 刘飞香 安 栋

张旭东 马 栋 杨寒冰 武福美

张晓日 毕既华 洪开荣 蔡亚宁

杨建刚 熊琦智 章龙管 程永亮

鲁海波 王更峰 王暖堂 任伟峰

恽 军 杨振兴 贺维国 徐 韬

本规范主要审查人员：傅德明 刘 春 沙明元 张厚美

吴全立 王江卡 郭京波 刘 亮

马保松 季玉国

# 目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	4
4	施工准备	5
4.1	前期调查	5
4.2	技术准备	5
4.3	盾构选型与配置	6
4.4	设施准备	7
4.5	工作井	8
5	施工测量	10
5.1	一般规定	10
5.2	地面控制测量	11
5.3	联系测量	12
5.4	隧道内控制测量	13
5.5	掘进施工测量	14
5.6	贯通测量	16
5.7	竣工测量	17
6	管片生产与验收	18
6.1	一般规定	18
6.2	原材料	18
6.3	钢筋混凝土管片模具	18
6.4	钢筋骨架	19
6.5	混凝土	21
6.6	钢筋混凝土管片	22
6.7	钢管片	24

6.8	管片贮存与运输	25
6.9	管片现场验收	25
7	掘进施工	27
7.1	一般规定	27
7.2	盾构组装与调试	28
7.3	盾构现场验收	28
7.4	盾构始发	29
7.5	土压平衡盾构掘进	29
7.6	泥水平衡盾构掘进	30
7.7	盾构姿态控制	30
7.8	开仓作业	31
7.9	盾构接收	32
7.10	调头、过站和空推	32
7.11	盾构解体	32
8	特殊地段施工	34
8.1	一般规定	34
8.2	施工措施	34
9	管片拼装	38
9.1	一般规定	38
9.2	拼装作业	38
9.3	拼装质量控制	39
9.4	管片修补	40
10	壁后注浆	41
10.1	一般规定	41
10.2	注浆材料与参数	41
10.3	注浆作业	41
11	隧道防水	43
11.1	一般规定	43
11.2	接缝防水	43
11.3	特殊部位防水	43

12	施工安全与环境保护 .....	44
13	盾构保养与维修 .....	46
14	施工运输 .....	47
14.1	一般规定 .....	47
14.2	水平运输 .....	47
14.3	垂直运输 .....	47
14.4	管道运输 .....	48
15	施工监测 .....	49
15.1	一般规定 .....	49
15.2	施工周边环境监测 .....	50
15.3	隧道结构监测 .....	51
15.4	监测频率 .....	51
15.5	监测控制值和预警 .....	52
15.6	监测成果及信息反馈 .....	52
16	成型隧道验收 .....	54
	本规范用词说明 .....	56
	引用标准名录 .....	57
	附：条文说明 .....	59

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms .....	2
3	Basic Requirements .....	4
4	Construction Preparation .....	5
4.1	Investigation .....	5
4.2	Technical Preparation .....	5
4.3	Selection and Configuration of Shield .....	6
4.4	Facilities Preparation .....	7
4.5	Working Shaft .....	8
5	Construction Survey .....	10
5.1	General Requirements .....	10
5.2	Ground Control Survey .....	11
5.3	Connection Survey .....	12
5.4	Control Survey in Tunnel .....	13
5.5	Tunnelling Construction Survey .....	14
5.6	Breakthrough Survey .....	16
5.7	As-built Survey .....	17
6	Segment .....	18
6.1	General Requirements .....	18
6.2	Raw Material .....	18
6.3	Mould of Reinforced Concrete Segment .....	18
6.4	Steel Skeleton .....	19
6.5	Concrete .....	21
6.6	Reinforced Concrete Segment .....	22
6.7	Steel Segment .....	24

6.8	Storage and Carriage of Segment .....	25
6.9	Acceptance for Segment .....	25
7	Driving Construction .....	27
7.1	General Requirements .....	27
7.2	Shield Assembly and Commissioning .....	28
7.3	Shield Site Inspection and Acceptance .....	28
7.4	Shield Launching .....	29
7.5	Earth Pressure-balanced Shield Construction .....	29
7.6	Slurry Shield Construction .....	30
7.7	Shield Position and Stance Control .....	30
7.8	Work in Chamber .....	31
7.9	Shield Arrival .....	32
7.10	U-turn, Station-crossing and Empty-push .....	32
7.11	Shield Disassembly .....	32
8	Construction of Special Section .....	34
8.1	General Requirements .....	34
8.2	Construction Measures .....	34
9	Segment Installation .....	38
9.1	General Requirements .....	38
9.2	Installation .....	38
9.3	Installation Quality Control .....	39
9.4	Repairing .....	40
10	Back-fill Grouting .....	41
10.1	General Requirements .....	41
10.2	Grouting Material and Parameters .....	41
10.3	Grouting .....	41
11	Tunnel Waterproofing .....	43
11.1	General Requirements .....	43
11.2	Joint Waterproofing .....	43
11.3	Special-site Waterproofing .....	43

12	Construction Safety and Environment Protection .....	44
13	Shield Maintenance and Service .....	46
14	Construction Transport .....	47
14.1	General Requirements .....	47
14.2	Horizontal Transport .....	47
14.3	Vertical Transport .....	47
14.4	Pipeline Transport .....	48
15	Construction Monitoring .....	49
15.1	General Requirements .....	49
15.2	Around Tunnel Monitoring .....	50
15.3	Tunnel Structure Monitoring .....	51
15.4	Frequency of Monitoring .....	51
15.5	Control value and Early Warning of Monitoring .....	52
15.6	Monitoring Results and Feedback .....	52
16	Tunnel Acceptance .....	54
	Explanation of Wording in This Code .....	56
	List of Quoted Standards .....	57
	Addition; Explanation of Provisions .....	59

# 1 总 则

**1.0.1** 为加强盾构法隧道工程施工管理，统一盾构法隧道工程的施工技术及质量验收标准，确保施工过程的工程安全、环境安全和工程质量，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隧道工程的施工及验收。

**1.0.3** 盾构法隧道工程的施工及验收除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 盾构 shield

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。根据开挖面的稳定方式，分为土压平衡式盾构、泥水平衡式盾构、敞开式盾构和气压平衡式盾构。

### 2.0.2 工作井 working shaft

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

### 2.0.3 盾构始发 shield launching

盾构开始掘进的施工过程。

### 2.0.4 盾构接收 shield arrival

盾构到达接收位置的施工过程。

### 2.0.5 盾构基座 shield cradle

用于保持盾构始发、接收等姿态的支撑装置。

### 2.0.6 反力架 reaction frame

为盾构始发掘进提供反力的支撑装置。

### 2.0.7 管片 segment

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

### 2.0.8 负环管片 temporary segment

为盾构始发掘进传递推力的临时管片。

### 2.0.9 开模 mould loosening

打开钢筋混凝土管片模具上部或侧部模板的过程。

### 2.0.10 出模 demoulding

钢筋混凝土管片脱离模具的过程。

**2.0.11 防水密封条 sealing gasket**

镶嵌于管片接缝处的条状防水材料。

**2.0.12 壁后注浆 back-fill grouting**

用浆液填充隧道衬砌环与地层之间空隙的施工工艺。

**2.0.13 铰接装置 articulation**

以液压油缸连接，可调节前后壳体相对姿态的装置。

**2.0.14 盾构调头 shield u-turn**

盾构施工完成一段隧道后调转方向的过程。

**2.0.15 盾构过站 shield station-crossing**

利用专用设备把盾构拖拉或顶推通过车站/工作井的过程。

**2.0.16 盾构空推 shield empty-push**

盾构不需要土体开挖的推进过程。

**2.0.17 盾构姿态 shield position and stance**

盾构主机的空间状态，通常采用横向偏差、竖向偏差、俯仰角、方位角、滚转角和切口里程等参数描述。

**2.0.18 椭圆度 ovality**

圆形隧道管片衬砌拼装成环后隧道最大与最小直径的差值与隧道设计内径的比值，以千分比表示。

**2.0.19 错台 step**

相邻管片接缝处的偏差。

## 3 基本规定

- 3.0.1** 盾构法隧道施工应具有施工管理体系，应建立质量控制和检验制度，并应采取安全和环境保护措施。
- 3.0.2** 盾构类型和技术性能应满足工程地质和水文地质条件、线路条件、环境保护和隧道结构设计的要求。
- 3.0.3** 盾构施工专项施工方案和应急预案应根据盾构类型、地质条件和工程实践制定。
- 3.0.4** 工程原材料、半成品和成品进场应进行验收，质量合格后方可使用。
- 3.0.5** 施工现场的场地应满足工作井、龙门吊、管片存放、浆液站、泥浆处理设施、材料、渣土堆放、充电间、供配电站、控制室、库房等生产设施用地和施工运输要求。
- 3.0.6** 施工期间应监控盾构姿态。
- 3.0.7** 盾构法隧道施工应实施项目信息化管理，宜配置远程监控系统。
- 3.0.8** 施工期间应对邻近的建筑物、地下管线、道路与轨道交通线路等进行监测，并应对重要或有特殊要求的建（构）筑物采取必要的技术措施。
- 3.0.9** 质量合格指标应符合下列规定：
- 1 主控项目的质量达到 100% 时，应为合格；
  - 2 一般项目的质量达到 95% 及以上时，应为合格；
  - 3 应具有完整的施工质量验收依据和质量验收记录。

## 4 施工准备

### 4.1 前期调查

- 4.1.1 施工前，应对施工地段的工程地质和水文地质情况进行调查，必要时应补充地质勘察。
- 4.1.2 对工程影响范围内的地面建（构）筑物应进行现场踏勘和调查，对需加固或基础托换的建（构）筑物应进行详细调查，必要时应进行鉴定，并应提前做好施工方案。
- 4.1.3 对工程影响范围内的地下障碍物、地下构筑物及地下管线等应进行调查，必要时应进行探查。
- 4.1.4 根据工程所在地的环境保护要求，应进行工程环境调查。

### 4.2 技术准备

- 4.2.1 隧道施工前，应具备下列资料：
  - 1 工程地质和水文地质勘察报告；
  - 2 隧道沿线环境、地下管线和障碍物等的调查报告；
  - 3 施工所需的设计图纸资料和工程技术要求文件；
  - 4 工程施工有关合同文件；
  - 5 施工组织设计；
  - 6 拟使用盾构的相关资料。
- 4.2.2 盾构掘进施工前，应完成下列工作：
  - 1 复核各工作井井位里程及坐标、洞门圈制作精度和安装后的高程和坐标；
  - 2 盾构基座、负环管片和反力架等设施及定向测量数据的检查验收；
  - 3 管片储备；
  - 4 盾构掘进施工的各类报表；

- 5 洞口前土体加固和洞门圈密封止水装置检查验收。
- 4.2.3 施工组织设计应满足质量、安全、工期和环保要求。
- 4.2.4 施工前应进行技术培训与技术交底。
- 4.2.5 施工前应根据工程特点和环境条件，完成测量和监测的准备工作。

### 4.3 盾构选型与配置

- 4.3.1 盾构选型与配置应适用、可靠、先进、经济，配置应包括刀盘、推进液压缸、管片拼装机、螺旋输送机、泥水循环系统、铰接装置、渣土改良系统和注浆系统等。
- 4.3.2 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；
  - 4 施工环境及其保护要求；
  - 5 工期条件；
  - 6 辅助施工方法；
  - 7 类似工程施工经验。
- 4.3.3 盾构的壳体结构应能保证在其所承受的正常施工荷载作用下，各结构件均应处于安全可靠状态。
- 4.3.4 刀盘应符合下列规定：
  - 1 刀盘结构的强度和刚度应满足工程要求；
  - 2 刀盘结构形式应适应地质条件，刀盘面板应采取耐磨措施，刀盘开口率应能满足盾构掘进和出渣要求；
  - 3 刀具的选型和配置应根据地质条件、开挖直径、切削速度、掘进里程、最小曲线半径及地下障碍物情况等确定；
  - 4 刀盘添加剂喷口的数量及位置应根据地质条件、刀盘结构、刀盘开挖直径等确定。
- 4.3.5 刀盘主驱动应符合下列规定：
  - 1 刀盘主驱动形式应根据地质和环境要求确定，最大设计

扭矩应满足地质条件和脱困要求；

2 刀盘转速应根据地质条件和施工要求确定，转速应可调；

3 刀盘驱动主轴承密封应根据覆土厚度、地下水位、添加剂注入压力、掘进里程等确定。

**4.3.6** 推进液压缸应采取分区控制，每个分区液压缸应具备行程监测功能。总推力应根据推进阻力的总和及所需的安全系数确定。

**4.3.7** 管片拼装机的自由度应满足拼装要求，各动作应准确可靠，操作应安全方便。

**4.3.8** 螺旋输送机的结构和尺寸应根据工程地质和水文地质条件、盾构直径和掘进速度等确定。后闸门应具有紧急关闭功能。

**4.3.9** 泥水循环系统应根据地质和施工条件等确定，并应具备掘进模式和旁通模式，流量应连续可调，可配置渣石处理装置。

**4.3.10** 铰接装置应满足隧道轴线曲率半径的要求，最大推力应大于前后壳体姿态变化引起的阻力，每组铰接液压缸应具备行程监测功能。

**4.3.11** 渣土改良系统和注浆系统应与地质条件相适应。注浆系统应具备物料注入速度和注入压力调节功能。

**4.3.12** 人舱和保压系统应满足作业人员开仓作业要求，人舱宜采用并联双舱式。

**4.3.13** 盾构主机和后配套设备结构应满足导向系统的安装和通视要求，盾构掘进管理系统应与导向系统实现数据交互。

## 4.4 设施准备

**4.4.1** 辅助设施应根据盾构类型、掘进方法和施工工艺要求等配置。

**4.4.2** 辅助设施应符合下列规定：

1 根据工程需要和环境保护要求，应配置符合盾尾同步注浆需要的浆液站，泥水平衡盾构应设置相应的泥水输送和处理装置；

- 2 应选择合理的水平和垂直运输设备；
  - 3 供电设备应满足盾构施工要求。
- 4.4.3 盾构始发和接收工作井内设施应符合下列规定：**
- 1 始发工作井内盾构基座应具备盾构组装、调试和始发条件；
  - 2 接收工作井内盾构基座应能安全接收盾构，并应满足盾构检修、解体或整体移位的要求；
  - 3 工作井内应布置必要的排水或泥浆设施；
  - 4 洞门密封装置应满足盾构始发和接收密封要求。

## 4.5 工 作 井

### 4.5.1 工作井应符合下列规定：

- 1 根据地质条件和环境条件，应选择安全经济和对周边影响小的施工方法。
- 2 始发工作井的长度应大于盾构主机长度 3m，宽度应大于盾构直径 3m。
- 3 接收工作井的平面内净尺寸应满足盾构接收、解体和调头的要求；
- 4 始发、接收工作井的井底板应低于始发和到达洞门底标高，并应满足相关装置安装和拆卸所需的最小作业空间要求。
- 5 工作井预留洞门直径应满足盾构始发和接收的要求，并按下式计算：

$$D_s \geq H \cdot \tan\alpha + (D/\cos\alpha) + \Delta e + \Delta s + \Delta g \quad (4.5.1)$$

式中： $D_s$ ——工作井预留洞门直径（m）；

$H$ ——洞门井壁厚度（m）；

$\alpha$ ——隧道轴线与洞门轴线的夹角（°），通常取平面或纵坡夹角值；

$D$ ——盾构外径（m）；

$\Delta e$ ——设计规定的始发或接收工作井预留口直径大于盾构外径的差值（m），始发工作井取 0.10m，接收

工作井取 0.20m;

$\Delta s$  ——测量误差 (m), 取 0.10m;

$\Delta g$  ——盾构基座安装高程误差 (m), 取 0.05m。

**6** 洞门圈、密封及其他预埋件等应在盾构始发或接收前按要求完成安设, 并应符合质量要求。

**4.5.2** 当洞口段土体不能满足盾构始发和接收对防水、防坍等安全要求时, 应采取加固措施。

## 5 施工测量

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 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、贯通测量和竣工测量。

**5.1.2** 测量前，应对施工现场进行踏勘，收集相关测量资料，办理测量资料交接手续，并应对既有测量控制点进行复测和保护。

**5.1.3** 施工前，应根据周边环境、地面控制网、盾构进入隧道方式、贯通长度和贯通精度，以及盾构配置的导向系统的精度、特点和人工测量仪器精度等，制定施工测量方案。

**5.1.4** 隧道贯通测量限差应符合表 5.1.4 规定。

表 5.1.4 隧道贯通测量限差 (mm)

隧道类型	横向贯通测量限差			高程贯通测量 限差
	$L < 4$	$4 \leq L < 7$	$7 \leq L < 10$	
地铁隧道	100	—	—	50
公路隧道	100	150	200	70
铁路隧道	100	130	160	50
水工隧道	100	150	—	75
市政隧道	100	150	200	70
油气隧道	100	150	200	70

注：L 为隧道贯通长度 (km)。

**5.1.5** 同一贯通区间内始发和接收工作井所使用的地面近井控制点间应进行联测，并应与区间内的其他地面控制点构成闭合路线或闭合网。

**5.1.6** 隧道贯通后应分别以始发和接收工作井的隧道内近井控

制点为起算数据，采用附和路线形式，重新测设地下控制网。

**5.1.7** 地面施工测量控制点应埋设在施工影响的变形区以外。当施工现场条件限制时，埋设在变形区内的施工测量控制点使用前应进行检测。

## 5.2 地面控制测量

**5.2.1** 平面和高程控制网应与线路工程整体控制网联测，线路整体控制网应满足国家现行相关标准的要求。

**5.2.2** 平面控制网应分为两个等级，一等控制网宜采用全球导航卫星系统（GNSS）网，二等控制网宜采用导线网。高程控制网可采用水准测量方法一次布网。

**5.2.3** 控制网应符合下列规定：

1 当一等平面控制网采用 GNSS 布网时，测量技术要求应符合表 5.2.3-1 规定；

表 5.2.3-1 一等平面控制网（GNSS）测量技术要求

平均边长 (km)	固定误差 $a$ (mm)	比例误差 $b$ (mm/km)	相邻点的相对点位 中误差 (mm)	最弱边的相 对中误差
2	$\leq 5$	$\leq 2$	$\pm 10$	1/100000

2 当二等平面控制网采用导线法布网时，测量技术要求应符合表 5.2.3-2 规定；

表 5.2.3-2 二等平面控制网（导线）测量技术要求

平均边长 (m)		导线长度 (km)		每边 测距 中误 差 (mm)	测距 相对 中误 差	测角 中误 差 ( $''$ )	测回数		方位 角闭 合差 ( $''$ )	全长 相对 闭合 差	相邻点 的相对 点位中 误差 (mm)
城镇 地区	平原 或山 岭地区	城镇 地区	平原 或山 岭地区				DJ1	DJ2			
350	500	3	5	$\pm 4$	1/ 60000	$\pm 2.5$	4	6	$\pm 5\sqrt{n}$	1/ 35000	$\pm 8$

3 当高程控制网采用水准法布网时，测量技术要求应符合表 5.2.3-3 规定。

表 5.2.3-3 高程控制网（水准）测量技术要求

每千米高差中数中 误差 (mm)		路线 长度 (km)	水准仪 等级	水准尺	观测次数		往返较差、附和 或环线闭合差	
偶然中 误差	全中 误差				与已知 点联测	附和或 环线	平地 (mm)	山地 (mm)
±2	±4	4	DS1	钢钢尺 或条 码尺	往返 各一次	往返 各一次	$\pm 8\sqrt{L}$	$\pm 2\sqrt{n}$

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

5.2.4 盾构始发和接收工作井间应建立统一的施工控制测量系统，每个井口应布设不少于 3 个控制点。

5.2.5 当水准路线跨越水域时，应进行跨水域水准测量，并应符合现行国家标准《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897 的有关规定。

5.2.6 地面控制网应定期复测，复测频率每年不应少于一次，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、工作井定向测量和导入高程测量，以及隧道内近井导线测量和近井高程测量等。

5.3.2 地面近井导线和近井高程路线应采用附和路线形式，近井导线测量和近井高程测量技术要求应符合本规范表 5.2.3-2 和表 5.2.3-3 的规定。

5.3.3 盾构隧道贯通前的联系测量次数不应少于 3 次，宜在隧道掘进至 100m、1/3 贯通长度和距贯通面 150m 前分别进行一次。当贯通长度超过 1500m 时，应增加联系测量次数或采用高精度联系测量方法，提高联系测量精度。当地下起始边方位角较

差小于  $12''$  时，可取各次测量成果的平均值作为后续测量的起算数据指导隧道掘进与贯通。

**5.3.4** 定向测量应依据施工现场条件选择下列方法：

- 1 联系三角形法；
- 2 陀螺全站仪（经纬仪）与垂准仪（钢丝）组合法；
- 3 两井定向法；
- 4 导线直传法；
- 5 投点定向法。

**5.3.5** 导入高程测量在工作井内可采用悬吊钢尺进行高程传递测量，当盾构平硐或斜井进入时，可采用水准测量方法进行高程传递测量。

**5.3.6** 地下应埋设永久近井点。近井导线点不应少于 3 个，点间边长宜大于 50m。近井高程点不应少于 2 个。

## 5.4 隧道内控制测量

**5.4.1** 隧道内控制测量应包括隧道内施工导线测量、施工控制导线测量和隧道内施工水准测量、施工控制水准测量。

**5.4.2** 隧道内控制测量起算点应采用直接从地面通过联系测量传递到工作井下的平面和高程控制点，隧道内平面起算点不应少于 3 个，起算方位边不应少于 2 条，高程起算点不应少于 2 个。

**5.4.3** 控制点应埋设在稳定的隧道结构上，并应埋设强制对中装置。平面控制点应避开强光源、热源、淋水等地方，控制点间视线距隧道壁及洞内设施应大于 0.5m。

**5.4.4** 隧道内控制网宜为支导线和支水准路线，当有联络通道时，应形成附和路线或结点网。长隧道宜布设成交叉双导线。

**5.4.5** 施工导线和施工水准应随盾构掘进布设，当直线隧道掘进长度大于 200m 或到达曲线段时，应布设施工控制导线和控制水准。

**5.4.6** 施工控制导线测量应符合下列规定：

- 1 直线隧道的导线平均边长宜为 150m，曲线隧道的导线平

均边长宜为 60m，相邻的长短边边长比不应大于 3。

2 应采用不低于 DJ2 级全站仪观测，左右角应各测 2 测回，左、右角平均值之和与  $360^\circ$  较差应小于  $6''$ ，边长应往返观测各 2 测回，往返平均值较差应小于 4mm。测角中误差为  $\pm 2.5''$ ，测距中误差为  $\pm 3\text{mm}$ ；当形成附和或闭合导线时，应符合本规范表 5.2.3-2 的规定。

3 导线点横向中误差  $m_u$  宜满足下式要求：

$$m_u \leq m_\varphi \times 4l_d / (5L_d) \quad (5.4.6)$$

式中： $m_u$ ——导线点横向中误差 (mm)；

$m_\varphi$ ——隧道横向贯通中误差 (mm)，取隧道横向贯通测量限差的 1/2；

$l_d$ ——导线长度 (m)；

$L_d$ ——贯通长度 (m)。

5.4.7 施工控制水准测量应符合下列规定：

1 水准点宜按每 200m 间距设置 1 个；

2 水准点可利用导线点，也可单独埋设；

3 水准测量要求应符合本规范表 5.2.3-3 的规定。

5.4.8 延伸隧道内控制导线和控制水准时，应对现有施工控制点进行检测，并应选择稳定点进行延伸测量。

5.4.9 在隧道贯通前，隧道内控制导线和控制水准测量不应少于 3 次。重合点坐标较差应小于  $30\text{mm} \times l_d / L_d$ ，高程较差应小于 10mm，且应采用平均值作为测量结果。

5.4.10 当采用支导线方法布设隧道内控制网不能满足隧道贯通限差要求时，应采用布设导线网或加测陀螺边等方法，也可使用高精度测量仪器。

## 5.5 掘进施工测量

5.5.1 盾构始发工作井建成后，应采用联系测量方法，将平面和高程测量数据传入隧道内控制点。

5.5.2 反力架、洞门圈和基座的安装测量应符合下列规定：

1 应利用隧道内测量控制点采用极坐标法放样隧道中心线和盾构基座的位置、方向，应利用水准测量方法测设隧道高程控制线以及基座坡度，坐标和高程放样中误差为±5mm；

2 反力架和洞门圈位置应采用三维放样方法放样，反力架安装后和洞门浇筑前应对其经过设计中心的竖直和水平位置进行复测，并提供相应里程的坐标或与中心的距离，放样和复测中误差应为±10mm。

**5.5.3** 盾构就位后应采用人工测量方法测定盾构的初始姿态，人工测量与盾构导向系统测量较差不应大于  $2\sqrt{2}m$  ( $m$  为点位测量中误差)。

**5.5.4** 当采用人工测量时，应符合下列规定：

1 盾构测量标志点应牢固设置在盾构上，且不应少于3个，标志点可粘贴反射片或安置棱镜；

2 盾构测量标志点的三维坐标应与盾构结构几何坐标建立换算关系；

3 盾构测量标志点测量宜采用极坐标法，并宜采用双极坐标法进行检核，测量中误差为±3mm。

**5.5.5** 当采用自动导向系统测量时，应符合下列规定：

1 始发前，应对输入自动导向系统的线路设计参数进行检查，确认无误后方可输入。

2 输入自动导向系统的线路设计参数导出后应进行复核确认。

3 隧道掘进中测量控制点迁站应符合下列规定：

1) 迁站前，自动导向系统应测量盾构姿态；

2) 迁站时，盾构应停止掘进；

3) 迁站后，应对使用的相邻控制点间几何关系进行检核，确认控制点位置正确；

4) 应利用迁站后控制点进行盾构姿态测量；

5) 迁站前后测定的盾构姿态测量较差应小于  $2\sqrt{2}m$  ( $m$  为点位测量中误差)。

### 5.5.6 盾构姿态测量应符合下列规定：

- 1 测量内容应包括横向偏差、竖向偏差、俯仰角、方位角、滚转角和切口里程。
- 2 盾构姿态计算取位精度应符合表 5.5.6 规定。

表 5.5.6 盾构姿态计算取位精度

名称	单位	计算取位精度
横向偏差	mm	1
竖向偏差	mm	1
俯仰角	'	1
方位角	'	1
滚转角	'	1
切口里程	m	0.01

3 当盾构始发和距接收工作井 100m 内时，应提高测量频率。

4 盾构姿态应根据测量成果及时调整。

### 5.5.7 管片拼装后，应进行盾尾间隙测量。

5.5.8 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、水平直径、竖直直径和前端面里程，测量中误差为±3mm。

## 5.6 贯通测量

5.6.1 隧道贯通后应进行贯通测量，测量内容包括隧道的纵横向和高程贯通误差。

5.6.2 贯通测量时，应在贯通面设置贯通相遇点。

5.6.3 纵横向贯通误差，可利用隧道贯通面两侧平面控制点测定贯通相遇点的坐标闭合差确定，也可利用隧道贯通面两侧中线在贯通相遇点的间距测定；隧道的纵横向贯通误差应投影到线路及其法线方向上。

5.6.4 高程贯通误差应利用隧道贯通面两侧高程控制点测量。

## 5.7 竣工测量

5.7.1 隧道贯通后应以始发和接收工作井内的控制点为起算点，对隧道内的导线点和水准点分别重新组成附合路线或附合网，测量结果作为隧道竣工测量以及后续施工测量的依据。

5.7.2 竣工测量应包括隧道轴线平面偏差、高程偏差、衬砌环椭圆度和隧道纵横断面测量等。

5.7.3 竣工测量可采用全站仪解析法、断面仪法、近景摄影测量法或三维激光扫描法。

5.7.4 地铁、铁路隧道应在直线段每 10 环、曲线段每 5 环测量 1 个横断面，横断面上的测点位置、数量应按设计要求确定；公路、水工隧道等其他隧道应按设计要求确定横断面间距和测点位置。

5.7.5 横断面测量中误差应为 $\pm 10\text{mm}$ 。

5.7.6 竣工测量结果应按要求归档。

## 6 管片生产与验收

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 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。
- 6.1.2 管片生产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。
- 6.1.3 管片生产设备和设施应满足生产要求，并应定期对主要设备进行检定或测试。
- 6.1.4 管片生产应编制施工组织设计或技术方案。

### 6.2 原材料

- 6.2.1 钢筋混凝土管片原材料应符合下列规定：
  - 1 应具备产品质量证明文件，并应经复检合格；
  - 2 混凝土骨料宜采用非碱活性骨料；当采用碱活性骨料时，混凝土中碱含量的限值应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；
  - 3 预埋件规格和性能应符合设计要求。
- 6.2.2 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。

### 6.3 钢筋混凝土管片模具

- 6.3.1 模具应具有足够的承载能力、刚度、稳定性和良好的密封性能，并应满足管片尺寸和形状等质量要求。
- 6.3.2 模具应便于安装、拆卸和使用。
- 6.3.3 模具验收应符合下列规定：
  - 1 模具材料应满足质量要求，焊条材质应与被焊物的材质

相适应；

2 模具安装后应进行初验，符合设计要求后可试生产，并在试生产的管片中随机抽取 3 环进行水平拼装检验，合格后方可通过验收；

3 每套模具应有原始出厂数据；

4 每批模具宜配备检测工具。

6.3.4 当出现下列情况之一时，应对模具进行检验，检验结果应满足钢筋混凝土管片的质量控制要求：

1 模具每周转 100 次；

2 模具受到重击或严重碰撞；

3 钢筋混凝土管片几何尺寸不合格；

4 模具停用超过 3 个月，投入生产前。

6.3.5 合模与开模应符合下列规定：

1 合模前应清理模具各部位，内表面不应有杂物和浮锈；

2 模具内表面应均匀涂刷薄层脱模剂，模板夹角处不应漏涂，且应无积聚、流淌现象，钢筋骨架和预埋件严禁接触脱模剂；

3 螺栓孔预埋件、注浆孔预埋件以及其他预埋件和模具接触面应密封良好；

4 合模与开模应按使用说明书规定操作，并应保护模具和管片；

5 合模后应核对快速组装标记，模具接缝处不应漏浆。

6.3.6 管片出模强度应符合设计要求；当设计无要求时，应根据管片尺寸、混凝土强度设计等级、起吊方式和存放形式等因素综合确定。

## 6.4 钢筋骨架

6.4.1 钢筋的品种、级别、规格和位置应符合设计要求。

6.4.2 钢筋加工应符合下列规定：

- 1 应按钢筋下料表进行钢筋切断或弯曲；
- 2 弧形钢筋加工时应防止平面翘曲，成型后表面不得有裂纹，并应验证成型尺寸；
- 3 当设计允许受力钢筋设置接头时，可采用对焊连接或机械连接，接头质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 或《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定；
- 4 钢筋加工允许偏差和检验方法应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 钢筋加工允许偏差和检验方法

序号	检验项目	允许偏差 (mm)	检验 工具	检验数量
1	主筋和构造筋长度	±10	钢卷尺	每班同设备生产 15 环同类型钢骨架，应抽检不少于 5 根
2	主筋折弯点位置	±10		
3	箍筋外廓尺寸	±5		

#### 6.4.3 钢筋骨架应符合下列规定：

- 1 当钢筋骨架连接时，应按钢筋下料表核对钢筋级别、规格、长度、根数及胎具型号；
- 2 焊接前应对焊接处进行检查，不应有水锈、油渍，焊接后不应有焊接缺陷；
- 3 当采用焊接连接时，应根据钢筋级别、直径及焊机性能进行试焊，并应在确定焊接参数后，方可批量施焊；焊接骨架的焊点设置应符合设计要求，当设计无规定时，宜采用对称跳点焊接；
- 4 同一钢筋骨架不得使用多于 2 根带有接头的纵向受力钢筋，且不得相邻布置；
- 5 钢筋骨架允许偏差和检验方法应符合表 6.4.3 的规定。

表 6.4.3 钢筋骨架允许偏差和检验方法

序号	检验项目	允许偏差 (mm)	检验工具	检验数量	
1	钢筋骨架	长	+5, -10	钢卷尺	按日生产量的 3% 进行抽检, 每日抽检数量不少于 3 件, 且每件的每个检验项目检查 4 点
		宽	+5, -10		
		高	+5, -10		
2	主筋	间距	±5		
		层距	±5		
3	箍筋间距	±10			
4	分布筋间距	±5			

**6.4.4 钢筋骨架安装应符合下列规定:**

1 骨架入模时不应应对模具造成损坏, 入模后骨架各部位的保护层应符合设计要求;

2 浇筑混凝土前, 应进行钢筋隐蔽工程验收。

**6.4.5 弧形钢筋和钢筋骨架存放时, 不应发生变形。**

**6.5 混 凝 土**

**6.5.1 混凝土的试验和评定应符合国家现行相关标准的规定。**

**6.5.2 混凝土配合比设计应符合下列规定:**

1 混凝土坍落度不宜大于 120mm;

2 混凝土中碱含量和氯离子含量应符合设计要求; 当设计无要求时, 应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定;

3 混凝土的各项性能应满足设计要求;

4 特种混凝土的配合比设计尚应满足国家现行相关标准的规定。

**6.5.3 混凝土生产与浇筑应符合下列规定:**

1 当混凝土生产时, 应至少留置 1 组检验强度的试件和 1 组同条件养护试件; 检验混凝土其他性能的试件的留置应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的

规定；

- 2 当混凝土浇筑时，不应扰动预埋件；
- 3 混凝土浇筑成型后，应在混凝土初凝前再次进行压面。

**6.5.4** 混凝土养护应符合下列规定：

- 1 混凝土浇筑成型后至开模前，应对混凝土进行保湿；
- 2 当采用蒸汽养护时，应经试验确定养护制度，并应监控和记录温度变化；
- 3 管片出模后应进行养护。

**6.5.5** 混凝土冬期施工应符合现行行业标准《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104 的规定。

## 6.6 钢筋混凝土管片

**6.6.1** 应在钢筋混凝土管片内弧面角部和端侧面，标记管片型号与编号、模具编号、生产日期和生产单位名称。

**6.6.2** 钢筋混凝土管片质量应符合下列规定：

1 应按设计要求进行成品的结构性能检验，检验结果应符合设计要求。

2 混凝土强度等级和抗渗等级等性能应符合设计要求。

3 中心注浆孔预埋件应进行抗拉拔试验，试验结果应符合设计要求；当设计无要求时，抗拉拔力不应低于管片自重的 7 倍。

4 钢筋混凝土管片外观质量不应有严重缺陷；当出现一般缺陷时，应采取技术措施进行处理，管片外观质量缺陷等级划分应符合表 6.6.2-1 的规定。

表 6.6.2-1 钢筋混凝土管片外观质量缺陷等级划分

名称	缺陷描述	缺陷等级
露筋	管片内钢筋未被混凝土包裹而外露	严重缺陷
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	严重缺陷
孔洞	混凝土中出现深度和最大长度均超过保护层厚度的孔穴	严重缺陷
	混凝土中有少量深度或最大长度未超过保护层厚度的孔穴	一般缺陷

续表 6. 6. 2-1

名称	缺陷描述	缺陷等级
夹渣	混凝土内夹有杂物且深度达到或超过保护层厚度	严重缺陷
	混凝土内夹有少量杂物且深度小于保护层厚度	一般缺陷
疏松	混凝土局部不密实	严重缺陷
裂缝	从管片混凝土表面延伸至内部且超过设计给出的允许宽度或深度的裂缝	严重缺陷
	其他少量不影响管片结构性能或使用功能的裂缝	一般缺陷
预埋部位缺陷	管片预埋件松动	严重缺陷
	预埋部位存在少量麻面、掉皮或掉角	一般缺陷
外形缺陷	外弧面混凝土破损到密封槽位置	严重缺陷
	存在少量且不影响结构性能或使用功能的棱角磕碰、翘曲不平或飞边凸肋等	一般缺陷
外表缺陷	密封槽及平面转角部位的混凝土有剥落缺损	一般缺陷
	其他部位的混凝土表面有少量麻面、掉皮、起砂或少量气泡等	一般缺陷

5 钢筋混凝土管片几何尺寸和主筋保护层厚度允许偏差应符合表 6. 6. 2-2 的规定。

表 6. 6. 2-2 钢筋混凝土管片几何尺寸和主筋保护层厚度允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)
1	宽度	±1
2	弧长	±1
3	厚度	+3, -1
4	主筋保护层厚度	设计要求或-3mm~+5mm

6 钢筋混凝土管片水平拼装检验允许偏差应符合表 6. 6. 2-3 的规定。

表 6.6.2-3 钢筋混凝土管片水平拼装检验允许偏差

序号	项目名称	允许偏差 (mm)
1	环向缝间隙	2
2	纵向缝间隙	2
3	成环后内径	±2
4	成环后外径	+6, -2

**6.6.3 钢筋混凝土管片成品检验应符合下列规定：**

1 应逐片检查外观质量，检查结果应符合本规范第 6.6.2 条第 4 款的规定；

2 每生产 15 环管片应抽检 1 环管片进行几何尺寸和主筋保护层厚度检验，检验结果应符合本规范表 6.6.2-2 的规定；

3 每生产 200 环管片应进行水平拼装检验 1 次，检验结果应符合本规范表 6.6.2-3 的规定。

**6.7 钢 管 片**

**6.7.1 钢管片制作应符合下列要求：**

1 应按设计要求或制作说明制作；

2 钢管片材质应符合设计要求，钢管片背板应采用整块钢材，严禁拼接；

3 钢材弯曲矫正后，表面不应有明显的凹面或损伤，划痕深度不应大于 0.5mm，且不得大于钢材厚度负允许偏差值的 1/2；

4 钢材焊接宜采用二氧化碳气体保护焊，并应符合现行行业标准《二氧化碳气体保护焊工艺规程》JB/T 9186 的规定，焊接时应控制变形；

5 钢管片外露表面的防腐处理和涂层加工应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

**6.7.2 钢管片质量应符合下列规定：**

1 钢管片的外观质量和尺寸偏差应符合现行行业标准《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164的有关规定；

2 钢管片外观应清洁，不得有裂缝、毛边或飞溅物；

3 钢管片的螺栓孔应畅通，内圆面应平整；

4 钢管片焊缝表面不应有焊接缺陷，焊缝和涂层质量检验应符合设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的规定；

5 钢管片表面锈蚀应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1规定的C级及以上。

6.7.3 钢管片成品检验应符合下列规定：

1 应逐片检查外观质量；

2 每生产15环管片应抽检1环管片进行几何尺寸检验；

3 每生产200环管片应进行水平拼装检验1次；

4 检验结果应符合现行行业标准《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164的规定。

## 6.8 管片贮存与运输

6.8.1 管片贮存场地应坚实平整。

6.8.2 管片可采用内弧面向上或单片侧立的方式码放，每层管片之间应设置垫木，码放高度应经计算确定。

6.8.3 在管片翻转、吊装和运输过程中，应采取防护措施。

## 6.9 管片现场验收

### I 主控项目

6.9.1 钢筋混凝土管片进场时的混凝土强度、抗渗等级等性能和管片结构性能应符合设计要求。

检查数量：符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验

收规范》GB 50204 的规定或设计要求。

检验方法：检查混凝土试件的强度和抗渗等性能实验报告、管片结构性能检验报告和出厂合格证。

#### **6.9.2 钢筋混凝土管片外观质量不应有严重缺陷。**

检查数量：全数检查。

检验方法：观察或尺量。

#### **6.9.3 钢管片外观不应有裂缝。**

检查数量：全数检查。

检验方法：目测或放大镜观察。

## II 一般项目

**6.9.4 存在一般缺陷的管片数量不得大于同期生产总数的10%；对于一般缺陷，应由生产单位按技术要求处理后重新验收。**

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术方案。

**6.9.5 钢筋混凝土管片几何尺寸和主筋保护层厚度允许偏差应符合本规范表 6.6.2-2 的规定。**

检查数量：每 200 环抽查 1 环。

检验方法：尺量。

**6.9.6 钢管片表面锈蚀应符合本规范第 6.7.2 条第 5 款的规定。**

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**6.9.7 钢管片几何尺寸偏差应符合现行行业标准《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164 的规定。**

检查数量：每 100 环抽查 1 环。

检验方法：尺量。

**6.9.8 钢管片焊缝不应有裂缝、咬边、亏焊、焊瘤等质量缺陷。**

检查数量：全数检查。

检验方法：目测或放大镜观察。

## 7 掘进施工

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 盾构现场组装完成后应对各系统进行调试并验收。
- 7.1.2 掘进施工可划分为始发、掘进和接收阶段。施工中，应根据各阶段施工特点及施工安全、工程质量和环保要求等采取针对性施工技术措施。
- 7.1.3 试掘进应在盾构起始段 50m~200m 进行。试掘进应根据试掘进情况调整并确定掘进参数。
- 7.1.4 掘进施工应控制排土量、盾构姿态和地层变形。
- 7.1.5 管片拼装时应停止掘进，并保持盾构姿态稳定。
- 7.1.6 掘进过程中应对已成环管片与地层的间隙充填注浆。
- 7.1.7 掘进过程中，盾构与后配套设备、抽排水与通风设备、水平运输与垂直运输设备、泥浆管道输送设备和供电系统等应能正常运转。
- 7.1.8 掘进过程中遇到下列情况之一时，应及时处理：
- 1 盾构前方地层发生坍塌或遇有障碍；
  - 2 盾构壳体滚转角达到  $3^{\circ}$ ；
  - 3 盾构轴线偏离隧道轴线达到 50mm；
  - 4 盾构推力与预计值相差较大；
  - 5 管片严重开裂或严重错台；
  - 6 壁后注浆系统发生故障无法注浆；
  - 7 盾构掘进扭矩发生异常波动；
  - 8 动力系统、密封系统和控制系统等发生故障。
- 7.1.9 在曲线段施工时，应采取减小已成环管片竖向位移和横向位移对隧道轴线的影晌。
- 7.1.10 掘进应按设定的掘进参数沿隧道设计轴线进行，并应进

行记录。

**7.1.11** 根据横向、竖向偏差和滚转角偏差，应采取措施调整盾构姿态，并应防止过量纠偏。

**7.1.12** 当停止掘进时，应采取措施稳定开挖面。

**7.1.13** 应对盾构姿态和管片状态进行复核测量。

## **7.2 盾构组装与调试**

**7.2.1** 组装前应完成下列准备工作：

1 根据盾构部件情况和场地条件，制定组装方案；

2 根据部件尺寸和重量选择组装设备；

3 核实起吊位置的地基承载力。

**7.2.2** 盾构组装应按作业安全操作规程和组装方案进行。

**7.2.3** 现场应配备消防设备，明火、电焊作业时，必须有专人负责。

**7.2.4** 组装后，应先进行各系统的空载调试，然后应进行整机空载调试。

## **7.3 盾构现场验收**

**7.3.1** 盾构现场验收应满足盾构设计的主要功能及工程使用要求，验收项目应包括下列内容：

1 盾构壳体；

2 刀盘；

3 管片拼装机；

4 螺旋输送机（土压平衡盾构）；

5 皮带输送机（土压平衡盾构）；

6 泥水输送系统（泥水平衡盾构）；

7 泥水处理系统（泥水平衡盾构）；

8 同步注浆系统；

9 集中润滑系统；

10 液压系统；

- 11 铰接装置；
- 12 电气系统；
- 13 渣土改良系统；
- 14 盾尾密封系统。

7.3.2 当盾构各系统验收合格并确认正常运转后，方可开始掘进施工。

7.3.3 当盾构现场验收时，应记录运转状况和掘进情况，并进行评估，满足技术要求后方可验收。

## 7.4 盾构始发

7.4.1 盾构掘进前如需破除洞门，应在节点验收后进行。

7.4.2 始发掘进前，应对洞门外经改良后的土体进行质量检查，合格后方可始发掘进；应制定洞门围护结构破除方案，并应采取密封措施保证始发安全。

7.4.3 始发掘进前，反力架应进行安全验算。

7.4.4 始发掘进时，应对盾构姿态进行复核。

7.4.5 当负环管片定位时，管片环面应与隧道轴线相适应。拆除前，应验算成型隧道管片与地层间的摩擦力，并应满足盾构掘进反力的要求。

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

7.4.7 盾尾密封刷进入洞门结构后，应进行洞门圈间隙的封堵和填充注浆。注浆完成后方可掘进。

7.4.8 始发掘进时应控制盾构姿态和推力，加强监测，并根据监测结果调整掘进参数。

## 7.5 土压平衡盾构掘进

7.5.1 开挖渣土应充满土仓，渣土形成的土仓压力应与刀盘开挖面外的水土压力平衡，并使排土量与开挖土量相平衡。

**7.5.2** 应根据隧道工程地质和水文地质条件、埋深、线路平面与坡度、地表环境、施工监测结果、盾构姿态以及始发掘进阶段的经验，设定盾构刀盘转速、掘进速度和土仓压力等掘进参数。

**7.5.3** 掘进中应监测和记录盾构运转情况、掘进参数变化和排出渣土状况，并应及时分析反馈，调整掘进参数和控制盾构姿态。

**7.5.4** 应根据工程地质和水文地质条件，向刀盘前方及土仓注入添加剂，渣土应处于流塑状态。

## **7.6 泥水平衡盾构掘进**

**7.6.1** 泥浆压力与开挖面的水土压力应保持平衡，排出渣土量与开挖渣土量应保持平衡，并应根据掘进状况进行调整和控制。

**7.6.2** 应根据工程地质条件，经试验确定泥浆参数，应对泥浆性能进行检测，并实施泥浆动态管理。

**7.6.3** 应根据隧道工程地质与水文地质条件、隧道埋深、线路平面与坡度、地表环境、施工监测结果、盾构姿态和盾构始发掘进阶段的经验，设定盾构刀盘转速、掘进速度、泥水仓压力和送排泥水流量等掘进参数。

**7.6.4** 泥水管路延伸和更换，应在泥水管路完全卸压后进行。

**7.6.5** 泥水分离设备应满足地层粒径分离要求，处理能力应满足最大排渣量的要求，渣土的存放和运输应符合环境保护要求。

## **7.7 盾构姿态控制**

**7.7.1** 应通过调整盾构掘进液压缸和铰接液压缸的行程差控制盾构姿态。

**7.7.2** 应实时测量盾构里程、轴线偏差、俯仰角、方位角、滚转角和盾尾管片间隙，应根据测量数据和隧道轴线线型，选择管片型号。

**7.7.3** 应对盾构姿态及管片状态进行测量和复核，并记录。

**7.7.4** 纠偏时应控制单次纠偏量，应逐环和小量纠偏，不得过

量纠偏。

**7.7.5** 根据盾构的横向和竖向偏差及滚转角，调整盾构姿态可采取液压缸分组控制或使用仿形刀适量超挖或反转刀盘等措施。

## **7.8 开仓作业**

**7.8.1** 宜预先确定开仓作业的地点和方法，并应进行相关准备工作。

**7.8.2** 开仓作业地点宜选择在工作井、地层较稳定或地面环境保护要求低的地段。

**7.8.3** 开仓作业前，应对开挖面稳定性进行判定。

**7.8.4** 当在不稳定地层开仓作业时，应采取地层加固或压气法等措施，确保开挖面稳定。

**7.8.5** 气压作业前，应完成下列准备工作：

- 1 应对带压开仓作业设备进行全面检查和试运行；
- 2 应配置备用电源和气源，保证不间断供气；
- 3 应制定专项方案与安全操作规定。

**7.8.6** 气压作业前，开挖仓内气压必须通过计算和试验确定。

**7.8.7** 气压作业应符合下列规定：

1 刀盘前方的地层、开挖仓、地层与盾构壳体间应满足气密性要求；

2 应按施工专项方案和安全操作规定作业；

3 应由专业技术人员对开挖面稳定状态和刀盘、刀具磨损状况进行检查；

4 作业期间应保持开挖面和开挖仓通风换气，通风换气应减小气压波动范围；

5 进仓人员作业时间应符合国家现行标准《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521 和《盾构法开仓及气压作业技术规范》CJJ 217 的规定。

**7.8.8** 开仓作业应进行记录。

## 7.9 盾构接收

- 7.9.1** 盾构接收可分为常规接收、钢套筒接收和水（土）中接收。
- 7.9.2** 盾构接收前，应对洞口段土体进行质量检查，合格后方可接收掘进。
- 7.9.3** 当盾构到达接收工作井 100m 时，应对盾构姿态进行测量和调整。
- 7.9.4** 当盾构到达接收工作井 10m 内，应控制掘进速度和土仓压力等。
- 7.9.5** 当盾构到达接收工作井时，应使管片环缝挤压密实，确保密封防水效果。
- 7.9.6** 盾构主机进入接收工作井后，应及时密封管片环与洞门间隙。

## 7.10 调头、过站和空推

- 7.10.1** 调头和过站前，应进行施工现场调查、编制技术方案及现场准备工作。调头和过站设备应满足安全要求。
- 7.10.2** 调头和过站时应有专人指挥，专人观察盾构的移动状态，避免方向偏离或碰撞。
- 7.10.3** 掉头和过站后应完成盾构管线的连接工作，连接后应按本规范第 7.2.4 条执行。
- 7.10.4** 盾构空推应符合下列规定：
- 1 导台或导向轨道水平和竖直方向的精度应满足设计要求；
  - 2 应控制盾构推力、速度和姿态，并应监测管片变形；
  - 3 应采取措施挤紧管片防水密封条，并应保持隧道稳定。

## 7.11 盾构解体

- 7.11.1** 盾构解体前，应制定解体方案，并应准备解体使用的吊

装设备、工具和材料等。

**7.11.2** 盾构解体前，应对各部件进行检查，并应对流体系统和电气系统进行标识。

**7.11.3** 对已拆卸的零部件应进行清理。

## 8 特殊地段施工

### 8.1 一般规定

8.1.1 当盾构进入下列特殊地段时，应采取施工安全措施：

- 1 覆土厚度不大于盾构直径的浅覆土层地段；
- 2 小半径曲线地段；
- 3 坡度大于 30‰的地段；
- 4 地下管线和地下障碍物地段；
- 5 建（构）筑物的地段；
- 6 隧道净间距小于 0.7 倍盾构直径的地段；
- 7 水域地段；
- 8 地质条件复杂地段、砂卵石地段以及岩溶地段；
- 9 存在有害气体地段。

8.1.2 特殊地段施工应符合下列规定：

1 应查明和分析地质状况和隧道周边环境状况，并应制定专项施工技术措施和应急预案；

2 根据隧道所处位置与地层条件，应合理设定开挖面压力，并应控制地层变形；

3 根据隧道所处位置与工程地质和水文地质的条件，应确定壁后注浆的材料、压力和注浆量，在施工过程中应根据量测结果及时调整；

4 应对地表、建（构）筑物、管线等变形进行监测分析，并应根据监测结果及时调整掘进参数。

### 8.2 施工措施

8.2.1 浅覆土层地段施工应控制掘进参数和盾构姿态。

8.2.2 小半径曲线地段施工应符合下列规定：

- 1 应控制推进液压缸行程差、盾尾间隙等参数；
- 2 应控制推进反力引起的管片环变形、移动等；
- 3 当使用超挖装置时，应控制超挖量；
- 4 壁后注浆应选择体积变化小、早期强度高、速凝型的注浆材料；

- 5 应提高施工测量频率；
- 6 应采取防止后配套设备脱轨或倾覆的措施；
- 7 应采取防止管片错台或开裂的措施。

#### 8.2.3 大坡度地段施工应符合下列规定：

1 当选择牵引机车时，应进行必要的计算，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，对后配套设备应采取防脱滑措施；

3 下坡时，应加强盾构姿态控制，可利用辅助液压缸等防止盾构栽头；

4 壁后注浆宜采用收缩率小、早期强度高的注浆材料。

#### 8.2.4 地下管线与地下障碍物地段施工应符合下列规定：

1 应查明地下管线和障碍物的类型、位置、允许变形值等，并应制定专项施工方案；

2 对受施工影响可能产生较大变形的管线，应根据具体情况保护；

3 应及时调整掘进速度和出渣量；

4 当从地面处理地下障碍物时，应选择合理的处理方法，处理后应进行回填；

5 当在开挖面拆除障碍物时，可选择气压作业或加固地层的施工方法，应控制地层的开挖量，并应配备所需的设备及设施。

#### 8.2.5 建（构）筑物地段施工应符合下列规定：

1 施工前，应对建（构）筑物地段进行详细调查，评估施工对建（构）筑物的影响，并应采取相应的保护措施，控制地表

变形；

2 根据建（构）筑物基础与结构的类型、现状和沉降控制值等，可采取加固、隔离或托换等措施；

3 应加强地表和建（构）筑物变形监测及反馈，及时调整盾构掘进参数；

4 壁后注浆应使用快凝早强注浆材料。

**8.2.6** 当隧道净间距小于 0.7 倍盾构直径时，施工应符合下列规定：

1 施工前，应分析施工对既有隧道的影响，或隧道同时掘进时的相互影响，并应采取相应的施工措施；

2 施工时，应控制掘进速度、开挖仓压力、出渣量和注浆压力等；

3 对既有隧道应加强监测，根据反馈调整盾构掘进参数；

4 可采取加固隧道间的土体，在既有隧道内支设钢支撑等辅助措施控制地层和隧道变形。

**8.2.7** 水域地段施工应符合下列规定：

1 应查明工程地质、水文地质条件和河床状况，并应设定适当的开挖面压力，应加强开挖面管理与掘进参数控制；

2 应配备足够的排水设备与设施；

3 应采用快凝早强注浆材料，加强壁后同步注浆和二次注浆；

4 穿越前，应对盾构密封系统进行全面检查和处理；

5 应根据地层条件预测刀具和盾尾密封的磨损，制定更换方案；

6 应采取防止对堤岸和周边建（构）筑物影响的措施。

**8.2.8** 地质条件复杂地段、砂卵石以及岩溶地段施工应符合下列规定：

1 应根据穿过地段的地质条件，合理选择刀盘形式和刀具形式及组合方式和数量；

2 应在掘进中加强刀具磨损的检测，并应采取刀具保护

措施；

3 应根据地质条件、地下水状况和地表沉降控制要求等选择掘进模式，掘进模式的转换宜采用局部气压模式作为过渡模式，并应在地质条件较好地层中完成；

4 当采用土压平衡盾构通过砂卵石地段时，应进行渣土改良；

5 当采用泥水平衡盾构通过砂卵石地段时，应根据砾石含量和粒径确定破碎方法和泥浆配合比；

6 当在软硬不均地层掘进时，应采取措施控制地表变形；

7 当在富水砂层掘进时，应加强注浆控制和渣土改良，并快速通过；

8 当通过断层破碎带时，可采取超前加固措施，并加强对地下水的控制；

9 当遇有大孤石影响掘进时，应采取措施处理；

10 对掘进施工影响范围内的岩溶和洞穴，应采取注浆等措施处理。

**8.2.9** 存在有害气体地段施工应符合下列规定：

1 施工前应对盾构密封系统进行全面检查和处理；

2 施工中应加强通风换气，必要时可采取提前排放等措施；

3 应对有害气体进行监测预警；

4 当存在易燃易爆气体地段施工时，相关设备应满足防爆要求。

## 9 管片拼装

### 9.1 一般规定

9.1.1 拼装前，管片防水密封材料的粘贴效果应验收合格。

9.1.2 管片选型应符合下列规定：

1 应根据设计要求，选择管片类型、排版方法、拼装方式和拼装位置；

2 当在曲线地段或需纠偏时，管片类型和拼装位置的选择应根据隧道设计轴线和上一环管片姿态、盾构姿态、盾尾间隙、推进油缸行程差和铰接油缸行程差等参数综合确定。

9.1.3 管片应按便于拼装的顺序存放，存放场地基础条件应满足承载力要求。

9.1.4 拼装管片时，拼装机作业范围内严禁站人和穿行。

### 9.2 拼装作业

9.2.1 管片拼装前，应对上一衬砌环面进行清理。

9.2.2 应控制盾构推进液压缸的压力和行程，并保持盾构姿态和开挖面稳定。

9.2.3 应根据管片位置和拼装顺序，逐块依次拼装成环。

9.2.4 管片连接螺栓紧固扭矩应符合设计要求。管片拼装完成，脱出盾尾后，应对管片螺栓及时复紧。

9.2.5 拼装管片时，应防止管片及防水密封条损坏。

9.2.6 对已拼装成环的衬砌环应进行椭圆度抽查

9.2.7 当盾构在既有结构内空推并拼装管片时，应合理设置导台，并应采取控制管片拼装质量和壁后填充效果。

9.2.8 当在富水稳定岩层掘进时，应采取防止管片上浮、偏移

或错台的措施。

**9.2.9** 当在联络通道等特殊位置拼装管片时，应根据特殊管片的设计位置，预先调整盾构姿态和盾尾间隙，管片拼装应符合设计要求。

### 9.3 拼装质量控制

**9.3.1** 管片不得有内外贯穿裂缝、宽度大于 0.2mm 的裂缝及混凝土剥落现象。

**9.3.2** 管片防水密封质量应符合设计要求，不得缺损，粘结应牢固、平整。

**9.3.3** 螺栓质量及拧紧度应符合设计要求。

**9.3.4** 管片拼装过程中应对隧道轴线和高程进行控制，其允许偏差和检验方法应符合表 9.3.4 的规定。

**表 9.3.4 隧道轴线和高程允许偏差和检验方法 (mm)**

检验项目	允许偏差						检验方法	检验数量	
	地铁隧道	公路隧道	铁路隧道	水工隧道	市政隧道	油气隧道		环数	点数
隧道轴线平面位置	±50	±75	±70	±100	±100	±100	用全站仪测中线	逐环	1点/环
隧道轴线高程	±50	±75	±70	±100	±100 (隧道底高程)	±100	用水准仪测高程	逐环	

注：本表中市政隧道包括给水排水隧道、电力隧道等。

**9.3.5** 施工中管片拼装允许偏差和检验方法应符合表 9.3.5 的规定。

表 9.3.5 管片拼装允许偏差和检验方法

检验项目	允许偏差						检验方法	检验数量	
	地铁隧道	公路隧道	铁路隧道	水工隧道	市政隧道	油气隧道		环数	点数
衬砌环椭圆度 (%)	±5	±6	±6	±8	±5	±6	断面仪、全站仪测量	每 10 环	—
衬砌环内错台 (mm)	5	6	6	8	5	8	尺量	逐环	4 点 / 环
衬砌环间错台 (mm)	6	7	7	9	6	9	尺量	逐环	

注：本表中市政隧道包括给水排水隧道、电力隧道等；

**9.3.6** 粘贴管片防水密封条前应将管片密封槽清理干净，粘贴后的防水密封条应牢固、平整和严密、位置应正确、不得有起鼓、超长和缺口现象。

**9.3.7** 螺栓孔橡胶密封圈安装应符合设计要求，不应遗漏，且不宜外露。

**9.3.8** 管片嵌缝防水应符合设计要求。当无设计要求时，应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

## 9.4 管片修补

**9.4.1** 当已拼装完成的钢筋混凝土管片表面出现本规范第 6.6.2 条中规定的一般缺陷时，应及时修补。修补后质量应符合验收要求。

**9.4.2** 管片修补时，应分析管片破损原因及程度，制定修补方案。

**9.4.3** 修补材料强度不应低于管片强度。

## 10 壁后注浆

### 10.1 一般规定

10.1.1 应根据工程地质条件、地表沉降状态、环境要求及设备性能等选择注浆方式。

10.1.2 管片与地层间隙应填充密实。

10.1.3 壁后注浆过程中，应采取减少注浆施工对周围环境影响的措施。

### 10.2 注浆材料与参数

10.2.1 根据注浆要求，应通过试验确定注浆材料和配比。可按地质条件、隧道条件和工程环境选用单液或双液注浆材料。

10.2.2 注浆材料的强度、流动性、可填充性、凝结时间、收缩率和环保等应满足施工要求。

10.2.3 应根据注浆量和注浆压力控制同步注浆过程，注浆速度应根据注浆量和掘进速度确定。

10.2.4 注浆压力应根据地质条件、注浆方式、管片强度、设备性能、浆液特性和隧道埋深等因素确定。

10.2.5 同步注浆和即时注浆的注浆量充填系数应根据地层条件、施工状态和环境要求确定，充填系数宜为 1.30~2.50。

10.2.6 二次注浆的注浆量和注浆压力应根据环境条件和沉降监测结果等确定。

### 10.3 注浆作业

10.3.1 注浆前，应根据注浆施工要求准备拌浆、储浆、运浆和注浆设备，并应进行试运转。

10.3.2 注浆前，应对注浆孔、注浆管路和设备进行检查。

**10.3.3** 浆液应符合下列规定：

1 浆液应按设计施工配合比拌制；

2 浆液的相对密度、稠度、和易性、杂物最大粒径、凝结时间、凝结后强度和浆体固化收缩率均应满足工程要求；

3 拌制后浆液应易于压注，在运输过程中不得离析和沉淀。

**10.3.4** 合理制定壁后注浆的工艺，并应根据注浆效果调整注浆参数。

**10.3.5** 宜配备对注浆量、注浆压力和注浆时间等参数进行自动记录的仪器。

**10.3.6** 注浆作业应连续进行。作业后，应及时清洗注浆设备和管理路。

**10.3.7** 采用管片注浆口注浆后，应封堵注浆口。

# 11 隧道防水

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 隧道防水应包括管片自防水、管片接缝防水和特殊部位防水。

**11.1.2** 遇水膨胀防水材料在运输、存放和拼装前应采取防雨、防潮措施。

**11.1.3** 隧道渗漏水处理应符合现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的规定。

## 11.2 接缝防水

**11.2.1** 防水材料应按设计要求选择，施工前应分批进行抽检。

**11.2.2** 防水密封条粘贴应符合下列规定：

- 1 应按管片型号选用；
- 2 变形缝、柔性接头等接缝防水的处理应符合设计要求；
- 3 密封条在密封槽内应套箍和粘贴牢固，不得有起鼓、超长或缺口现象，且不得歪斜、扭曲。

**11.2.3** 当采用遇水膨胀橡胶密封垫时，应按设计要求粘贴。

**11.2.4** 当采用嵌缝防水材料时，应清理管片槽缝，并应按规定进行嵌缝作业，填塞应平整、密实。

## 11.3 特殊部位防水

**11.3.1** 当采用注浆孔注浆时，注浆后应对注浆孔进行密封防水处理。

**11.3.2** 注浆孔及螺栓孔处密封圈应定位准确，并应与密封槽相贴合。

**11.3.3** 隧道与工作井、联络通道等附属构筑物的接缝处，应按设计要求进行防水处理。

## 12 施工安全与环境保护

**12.0.1** 施工前，应根据盾构设备状况、地质条件、施工方法、进度和隧道掘进长度等条件，选择通风方式、通风设备和隧道内温度控制措施。

**12.0.2** 隧道内作业场所应设置照明和消防设施，并应配备通信设备和应急照明。

**12.0.3** 隧道和工作井内应设置足够的排水设备。

**12.0.4** 隧道内作业位置与场所应保证作业通道畅通。

**12.0.5** 当存在可燃性或有有害气体时，应使用专用仪器进行检测，并应加强通风措施，气体浓度应控制在安全允许范围内。

**12.0.6** 施工作业环境气体应符合下列规定：

1 空气中氧气含量不得低于 20%（按体积计）。

2 甲烷浓度应小于 0.5%（按体积计）。

3 有害气体容许浓度应符合下列规定：

1) 一氧化碳不应超过  $30\text{mg}/\text{m}^3$ ；

2) 二氧化碳不应超过 0.5%（按体积计）；

3) 氮氧化物换算成二氧化氮不应超过  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4 粉尘容许浓度，空气中含有 10% 及以上的游离二氧化硅的粉尘不得大于  $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，空气中含有 10% 以下的游离二氧化硅的矿物性粉尘不得大于  $4\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**12.0.7** 隧道内空气温度不应高于  $32^\circ\text{C}$ 。

**12.0.8** 隧道内噪声不应大于 90dB。

**12.0.9** 施工通风应符合下列规定：

1 宜采取机械通风方式；

2 按隧道内施工高峰期人数计，每人需供应新鲜空气不应小于  $3\text{m}^3/\text{min}$ ，隧道最低风速不应小于  $0.25\text{m}/\text{s}$ 。

**12.0.10** 施工中产生的废渣和废水等应及时处置。

**12.0.11** 施工中，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。

## 13 盾构保养与维修

- 13.0.1 盾构的保养与维修应由专业人员负责。
- 13.0.2 根据盾构相关技术文件，应制定并实施保养与维修计划。
- 13.0.3 当出现下列情况之一时，应对盾构及时保养与维修：
  - 1 超过正常负荷水平长时间运行；
  - 2 通过特殊地段前；
  - 3 调头或过站期间；
  - 4 发生故障或运转不稳定；
  - 5 长时间停机或拆机贮存期间。
- 13.0.4 保养与维修工作应及时记录。

## 14 施工运输

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 施工运输应根据隧道直径、长度、纵坡、盾构类型和掘进速度，选择运输方式、运输设备及其配套设施。运输设备性能应安全可靠，运输能力应满足施工要求。

**14.1.2** 隧道内水平运输可采用有轨、无轨或连续皮带机等运输方式，垂直运输宜采用门式或悬臂式起重机等运输方式。

**14.1.3** 泥水平衡盾构应采用泥浆泵和管道组成的管道输送系统。

**14.1.4** 根据最大起重量，应对提升设备能力和索具、挂钩和杆件的强度等进行检算。

**14.1.5** 运输设备应有防溜车或防坠落措施，操作、维护和保养应符合操作规程要求。

### 14.2 水平运输

**14.2.1** 有轨运输的轨道应保持平稳、顺直、牢固，并应进行养护。当采用卡车、内燃机车牵引时，不应对环境空气造成影响。

**14.2.2** 当长距离运输时，宜在适当位置设置会车道。

**14.2.3** 牵引设备的牵引能力应满足隧道最大纵坡和运输重量的要求。

**14.2.4** 车辆配置应满足出渣、进料及盾构掘进速度的要求。

**14.2.5** 隧道内水平运输宜设置专用通道。

### 14.3 垂直运输

**14.3.1** 垂直运输方式应根据工作井深度和盾构施工速度等因素确定。

- 14.3.2 提升设备的提升能力应满足出渣和进料的要求。
- 14.3.3 当垂直运输时，应根据安全需要采取稳定措施。
- 14.3.4 操作人员应按指令作业，物件吊运应平稳。
- 14.3.5 垂直运输通道内不得有障碍物。

#### 14.4 管道运输

- 14.4.1 当采用泥水平衡盾构时，管道运输系统应满足出渣和掘进速度的要求。
- 14.4.2 当长距离运输时，应在适当距离设置管道运输接力设备。
- 14.4.3 输送泵和管道应定期检查和维修。

# 15 施工监测

## 15.1 一般规定

- 15.1.1 施工监测范围应包括周边环境、隧道结构和岩土体。
- 15.1.2 施工监测方案和应急预案应根据设计要求，并结合施工环境、工程地质和水文地质条件、掘进速度等制定。
- 15.1.3 施工监测方案应根据监测对象变形量和变形速率等进行调整，对突发的变形异常情况应及时启动应急预案。
- 15.1.4 地面和隧道内监测点宜在同一断面布设；盾构通过后，处于同一断面内的监测数据应同步采集，并应收集同期盾构掘进参数。
- 15.1.5 施工监测仪器和设备应满足测量精度、抗干扰性和可靠性等要求。
- 15.1.6 施工监测项目应符合表 15.1.6 的规定。当穿越水域、建（构）筑物及其他有特殊要求地段时，应根据设计要求确定。

表 15.1.6 施工监测项目

类别	监测项目
必测项目	施工区域地表隆沉、沿线建（构）筑物和地下管线变形
	隧道结构变形
选测项目	岩土体深层水平位移和分层竖向位移
	衬砌环内力
	地层与管片的接触应力

- 15.1.7 竖向位移监测可采用水准测量方法，水准基点应埋设在变形影响范围外，且不得少于 3 个。
- 15.1.8 水平位移监测可采用边角测量或 GNSS 等方法，并应建立水平位移监测控制网，水平位移监测控制点宜采用具有强制对中装置的观测墩和照准装置。
- 15.1.9 当采用物理传感器监测时，传感器埋设应符合仪器埋设

规定和监测方案的规定。

**15.1.10** 当竖向位移监测采用静力水准测量方法时，静力水准的埋设、连接、观测、数据处理等应符合国家现行相关标准要求，测量精度应与水准测量要求相同。

**15.1.11** 监测点应埋设在能反映变形、便于观测、易于保存的位置。

**15.1.12** 监测方法和测量精度应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 和《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 的规定。

**15.1.13** 工作井及附属结构的监测应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定。

## 15.2 施工周边环境监测

**15.2.1** 施工周边环境监测对象应包括邻近建（构）筑物、地表和地下管线等，监测项目应符合表 15.2.1 的规定。

表 15.2.1 施工周边环境监测项目

监测对象	监测项目
建（构）筑物	高层、超高层、古建筑、危房等建筑、桥梁、市政设施、轨道交通线路等变形
地表	地面道路、地表等变形
地下管线	燃气、热力、供水、排水等主要管线变形

**15.2.2** 地表沉降观测点布设应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 规定；特殊地段的地表沉降观测断面和观测点的设置应编制专项方案。

**15.2.3** 邻近建（构）筑物变形监测应根据结构状况、重要程度和影响范围有选择地进行变形监测；监测点的布设应反映邻近建（构）筑物的不均匀沉降及倾斜等情况。

**15.2.4** 邻近地下管线的监测点应直接设置在管线上。对无法直接观测的管线应采取周边土体分层沉降代替管线沉降监测。

15.2.5 初始值应从盾构掘进将影响该监测区域前 10d 开始，到监测对象稳定时结束。

15.2.6 当穿越地面建（构）筑物和地下管线等时，除应对穿越建（构）筑物监测外，宜对邻近土体进行变形监测。

### 15.3 隧道结构监测

15.3.1 隧道结构监测内容应包括隧道结构竖向位移和水平位移。必要时，应进行净空收敛和应力监测。

15.3.2 应力监测元器件应预埋在管片内相应位置，并应在管片拼装前进行测试。

15.3.3 应力监测宜采用应力计。

15.3.4 隧道结构监测初始值宜在管片壁后注浆凝固后 12h 内测量。

### 15.4 监测频率

15.4.1 监测频率应根据监测对象的变形量和变形速率确定，并能及时、系统地反映施工情况及监测对象的动态变化。

15.4.2 盾构隧道施工中的周边环境、周围岩土体和隧道结构的监测频率可按表 15.4.2 确定。

表 15.4.2 监测频率

监测部位	监测对象	开挖面与监测点或监测断面的距离	监测频率
掘进面 前方	周围岩土体和周边环境	$5D < L \leq 8D$	1 次 / (3d ~ 5d)
		$3D < L \leq 5D$	1 次 / (2d)
		$L \leq 3D$	1 次 / (1d)
掘进面 后方	隧道结构、周围岩土体和周边环境	$L \leq 3D$	(1 次 ~ 2 次) / (1d)
		$3D < L \leq 8D$	1 次 / (1d ~ 2d)
		$L > 8D$	1 次 / (3d ~ 7d)

注：1  $D$  为隧道开挖直径（m）， $L$  为掘进面与监测点或监测断面的水平距离（m）；

2 隧道结构位移、净空收敛在衬砌环脱出盾尾且能通视时进行监测；

3 监测数据趋于稳定，监测频率宜为 1 次 / (15d ~ 30d)。

**15.4.3** 对穿越既有轨道交通、重要建（构）筑物等周边环境风险等级较高的工程，应提高监测频率，宜对关键监测项目进行实时监测。

**15.4.4** 施工期间应由专人进行现场巡查，每天不宜少于一次，并应进行记录，特殊情况应增加巡查次数。

### **15.5 监测控制值和预警**

**15.5.1** 监测预警标准和预警等级应根据工程特点、监测项目控制值及当地施工经验等确定。

**15.5.2** 监测项目控制值应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 的规定。

**15.5.3** 当监测数据达到预警标准或实测变形值大于允许变形的 $2/3$ 时，应进行警情报送。

**15.5.4** 预警管理制度应根据监测预警等级和预警标准制定，预警管理制度应包括不同预警等级的警情报送对象、时间、方式和流程。

**15.5.5** 当现场巡查过程中发现下列警情之一时，应根据警情紧急程度、发展趋势和造成后果的严重程度按预警管理制度进行警情报送：

- 1 周边地表出现突然明显沉降（隆起）或较严重的突发裂缝、坍塌；
- 2 建（构）筑物等周边环境出现危害正常使用功能或结构出现过大变形、沉降、倾斜或裂缝等；
- 3 周边地下管线变形明显增长或出现裂缝、泄漏等；
- 4 隧道结构出现明显变形、较大裂缝、较严重漏水；
- 5 根据工程经验判断可能出现的其他警情。

### **15.6 监测成果及信息反馈**

**15.6.1** 监测数据采集、计算和处理宜实现计算机管理，并应建立数据库。

**15.6.2** 监测数据应结合施工经验和现场环境状况定期进行分  
析，并应绘制变形时态曲线图。

**15.6.3** 时态曲线回归分析宜选择与实测数据拟合较好的函数，  
并应对变形趋势进行预测。

**15.6.4** 监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、各种曲  
线图表和文字报告等，资料应完整、清晰。

**15.6.5** 监测完成后应及时向有关单位提供阶段性监测成果。

**15.6.6** 工程竣工或监测工作完成后应提供监测技术总结报告。

## 16 成型隧道验收

### I 主控项目

**16.0.1** 结构表面应无贯穿性裂缝、无缺棱掉角，管片接缝应符合设计要求。

检验数量：全数检验。

检验方法：观察检验，检查施工记录。

**16.0.2** 隧道防水应符合设计要求。

检验数量：逐环检验。

检验方法：观察检验，检查施工记录。

**16.0.3** 隧道轴线平面位置和高程偏差应符合表 16.0.3 的规定。

表 16.0.3 隧道轴线平面位置和高程偏差 (mm)

检验项目	允许偏差						检验方法	检验数量
	地铁隧道	公路隧道	铁路隧道	水工隧道	市政隧道	油气隧道		
隧道轴线平面位置	±100	±150	±120	±150	±150	±150	用全站仪测中线	10 环
隧道轴线高程	±100	±150	±120	±150	±150	±150	用水准仪测高程	10 环

**16.0.4** 衬砌结构严禁侵入建筑限界。

检验数量：每 5 环检验 1 次。

检验方法：全站仪、水准仪等测量。

### II 一般项目

**16.0.5** 隧道允许偏差应符合表 16.0.5 的规定。

表 16.0.5 隧道允许偏差

检验项目	允许偏差						检验方法	检验数量	
	地铁 隧道	公路 隧道	铁路 隧道	水工 隧道	市政 隧道	油气 隧道			
衬砌环椭圆度 (%)	±6	±8	±6	±10	±8	±8	断面仪、全站 仪测量	10 环	—
衬砌环内错台 (mm)	10	12	12	15	15	15	尺量	10 环	4 点/环
衬砌环间错台 (mm)	15	17	17	20	20	20	尺量	10 环	4 点/环

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
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：  
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：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 3 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 4 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 5 《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308
- 6 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 7 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1
- 8 《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521
- 9 《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897
- 10 《盾构隧道管片质量检测技术标准》CJJ/T 164
- 11 《盾构法开仓及气压作业技术规范》CJJ 217
- 12 《二氧化碳气体保护焊工艺规程》JB/T 9186
- 13 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18
- 14 《建筑工程冬期施工规程》JGJ/T 104
- 15 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

中华人民共和国国家标准

盾构法隧道施工及验收规范

GB 50446 - 2017

条文说明

## 修 订 说 明

《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 - 2017，经住房和城乡建设部 2017 年 1 月 21 日以第 1448 号公告批准、发布。

本规范是在《盾构法隧道施工与验收规范》GB 50446 - 2008 基础上修订而成的。上一版的主编单位是住房和城乡建设部科技发展促进中心。参编单位有北京城建集团有限责任公司、中铁隧道集团有限公司、上海隧道工程股份有限公司、北京城建地铁地基市政工程有限公司、北京城建勘测设计研究院有限责任公司、北京城建建材工业有限公司。主要起草人是张庆风、王甦、万姜林、杨国祥、杜文库、李桢祥、傅德明、华东、叶慷慨、吴惠明、梁洋、秦长利、蔡亚宁、何云、张峰、蒙先君、汪恭胜、陈立生、朱建春、高立新、虞祖艺、恽军、高万春、魏新良、朱海良、李朝忠、于静、王建林、吴鸣冈、章龙管。

为了便于广大设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《盾构法隧道施工及验收规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

# 目 次

1	总则	64
2	术语	65
3	基本规定	66
4	施工准备	68
4.1	前期调查	68
4.2	技术准备	68
4.3	盾构选型与配置	69
4.4	设施准备	75
4.5	工作井	75
5	施工测量	78
5.1	一般规定	78
5.2	地面控制测量	79
5.3	联系测量	80
5.4	隧道内控制测量	83
5.5	掘进施工测量	84
5.6	贯通测量	85
5.7	竣工测量	85
6	管片生产与验收	87
6.1	一般规定	87
6.2	原材料	87
6.3	钢筋混凝土管片模具	87
6.4	钢筋骨架	89
6.5	混凝土	90
6.6	钢筋混凝土管片	91
6.7	钢管片	92

6.8	管片贮存与运输 .....	93
6.9	管片现场验收 .....	93
7	掘进施工 .....	94
7.1	一般规定 .....	94
7.2	盾构组装与调试 .....	95
7.3	盾构现场验收 .....	96
7.4	盾构始发 .....	98
7.5	土压平衡盾构掘进 .....	99
7.6	泥水平衡盾构掘进 .....	100
7.7	盾构姿态控制 .....	101
7.8	开仓作业 .....	101
7.9	盾构接收 .....	103
7.10	调头、过站和空推 .....	104
7.11	盾构解体 .....	104
8	特殊地段施工 .....	105
8.1	一般规定 .....	105
8.2	施工措施 .....	105
9	管片拼装 .....	110
9.1	一般规定 .....	110
9.2	拼装作业 .....	111
9.3	拼装质量控制 .....	113
9.4	管片修补 .....	114
10	壁后注浆 .....	115
10.1	一般规定 .....	115
10.2	注浆材料与参数 .....	115
10.3	注浆作业 .....	116
11	隧道防水 .....	118
11.1	一般规定 .....	118
11.2	接缝防水 .....	118
12	施工安全与环境保护 .....	119

13	盾构保养与维修	120
14	施工运输	124
14.1	一般规定	124
14.2	水平运输	124
14.3	垂直运输	124
14.4	管道运输	124
15	施工监测	126
15.1	一般规定	126
15.2	施工周边环境监测	126
15.4	监测频率	126
15.5	监测控制值和预警	128
15.6	监测成果及信息反馈	130
16	成型隧道验收	133

# 1 总 则

**1.0.1** 编制本规范的目的是为了加强盾构法隧道工程的施工管理，确保施工过程的工程安全、环境安全和工程质量，统一盾构法隧道工程的施工技术与质量验收标准。本规范不包括盾构隧道的设计、使用和维护方面的内容。

**1.0.3** 本规范未规定的内容应按照国家现行相关标准执行。

## 2 术 语

本章给出了本规范有关章节引用的 19 条术语。目前盾构及其施工技术在术语上存在地区和习惯差异，通过本规范统一盾构法施工及验收的相关术语。

本规范的术语主要参考现行国家标准《地铁设计规范》GB 50157、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307、《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911、《地下铁道工程施工及验收规范》GB 50299 及《地下铁道设计与施工》等资料，经编制组集中归纳和整理，编入本规范。

本规范的术语是从盾构法隧道施工及验收角度赋予其含义，同时还给出相应的推荐性英文翻译，仅供参考。

## 3 基本规定

**3.0.1** 施工管理体系包括质量管理体系、环境管理体系、职业健康安全管理体系。对于施工现场管理，除应具有健全的施工管理体系外，还要求有相应的施工技术标准、施工质量控制和检验制度，以及施工人员和设备安全保障和环境保护措施。

对具体的施工项目，要求有经审查批准的施工组织设计和施工技术方案，并能在施工过程中有效运行。对于涉及隧道结构安全、人身安全和环境保护的内容，应有明确的规定和相应的措施。

**3.0.3** 本条为强制性条文。规范操作盾构，并制定应急预案，使其在预定条件和正确操作下正常使用是确保盾构法隧道施工的重中之重。因此，在施工前应根据盾构类型、地质条件和工程实践，首先有针对性地进行危险源和环境因素的辨识和评估，根据分析结论制定包括盾构安全操作技术规程、对周边环境的影响及应对措施等在内的专项施工方案和应急预案，确保施工作业在安全和卫生环境下进行。

**3.0.7** 盾构法隧道施工应建立信息管理体系，制定信息管理制度。为便于及时了解施工现场情况，鼓励有条件的施工现场配置地面远程监控系统，将盾构掘进参数实时传递到地面监控中心。

**3.0.8** 盾构法隧道工程施工期间，对重要或有特殊要求的建（构）筑物，应及时采取注浆、加固、支护等技术措施，保证邻近建（构）筑物、地下管线、道路及轨道交通线路等安全。

**3.0.9** 质量验收包括实物检验和资料检查。资料检查包括施工质量验收依据和质量验收记录等。施工质量验收层次为：生产班组的自检、交接检；施工单位质量检验部门的专业检查和评定，监理单位（建设单位）组织的验收。

根据有关规定和工程合同的规定，对工程质量起重要作用或有争议的检验项目，由各方参与见证检测，以确保施工过程中关键部位的质量得到控制。

## 4 施工准备

### 4.1 前期调查

**4.1.2~4.1.4** 为防止资料与实际工况条件不符，施工前应进行工程环境的调查和实地踏勘，为制定施工组织设计提供足够的依据，调查的主要内容有：

- 1 实地踏勘调查各种建（构）筑物的使用功能、结构形式、基础类型及其与隧道的相对位置等；
- 2 道路种类和路面交通情况；
- 3 工程用地情况，主要对施工场地及材料堆放场地、弃土场地、运输路线等做必要的调查；
- 4 施工用电和给水排水设施条件；
- 5 有关环境保护的法律法规。

### 4.2 技术准备

**4.2.1** 盾构法隧道施工是一项综合性的施工技术，施工方法的确定关键在于全面掌握与工程有关的资料。施工前全面了解工程规模、要求、地质和环境条件，有利于正确采取经济合理的施工措施。

**4.2.3** 盾构法施工过程中很难改变施工方法。因此，在施工前应依据工程特点、工程地质和水文地质条件、隧道结构、环境条件及环境保护等级、盾构类型与性能等制定施工组织设计，作为施工依据。

**4.2.4** 对盾构主控室操作人员、管片拼装操作人员、电气与机械保养维修人员等进行技术培训。加强重点环节和风险源的防控措施技术培训。

**4.2.5** 施工前，应建立施工测量控制网并完成掘进前的联系测

量工作，同时应根据施工组织设计和地面建（构）筑物保护专项方案等预先布设地面监测网点。

### 4.3 盾构选型与配置

**4.3.1 盾构施工段工程地质的复杂性**主要反映在基础地质（主要是围岩岩性）和工程地质特性的多变方面。盾构选型时应综合考虑，并对不同选择进行风险分析后择其优者。从保持工作面的稳定、控制地面沉降的角度来看，使用泥水平衡盾构要比使用土压平衡盾构的效果好一些，特别是在江河湖等水域、存在密集在建（构）筑物，以及上软下硬的地层中施工时。采用泥水平衡盾构还可以降低地质变化差异大造成的施工风险。在特殊施工环境中，施工安全是盾构选型时的一项极其重要的因素。盾构选型的主要方法包括地层渗透系数法、地层颗粒级配法等。

**地层渗透系数法：**当地层的渗透系数小于  $10^{-7}$  m/s 时，可选用土压平衡盾构；当地层的渗透系数为  $1.0 \times 10^{-7}$  m/s  $\sim$   $1.0 \times 10^{-4}$  m/s 时，既可以选用土压平衡盾构也可以选用泥水平衡盾构；当地层渗透系数大于  $1.0 \times 10^{-4}$  m/s 时，宜选用泥水平衡盾构。对于渗水系数较大的地层，如果采用土压平衡式盾构施工，螺旋输送机“土塞效应”难以形成，螺旋输送机出渣会发生大量“喷涌”现象，这样对施工非常不利；同时土仓压力波动大，地面沉降很难控制。对于渗透系数较小的隧道，如果采用泥水平衡式盾构施工，主要制约因素是隧道渣土排放需要较长的管道，及需要昂贵的泥水处理设备，在环境要求高的场合还应采用渣土压滤设备，同时耗费大量的膨润土，工程造价较高。

**地层颗粒级配法：**土压平衡盾构主要适用于粉土、粉质黏土、淤泥质粉土、粉砂层等地层的施工；砾石粗砂地层宜选用泥水平衡盾构施工；粗砂、细砂地层既可选用泥水平衡盾构，也可在土质改良后选用土压平衡盾构；含漂石、砂卵石地层宜选用土压平衡盾构。当岩土中的粉粒和黏粒的总量达到 40% 以上时，通常会选用土压平衡盾构，相反的情况则选择泥水平衡盾构比较

合适。

**4.3.2 盾构选型**主要依据工程地质及水文条件、隧道线路和结构设计要求，周边环境条件，采用的辅助施工方法，以及施工安全、环保和工期要求，并结合以往施工经验等方面因素综合判断。

1 工程地质及水文地质条件包括：地层岩性及分布状况、地层软硬程度、地下水位、地层渗透性等，同时要特别注意大粒径卵砾石地层、漂石、高灵敏度软土、松散沙层、软硬混合地层、地中障碍物、可燃及有害气体等。

2 隧道线路及结构设计条件包括：线路平纵断面（最小曲线半径、最大坡度）、建筑限界、隧道埋深、连续掘进长度、衬砌结构形式及分度参数等。

4 环境条件包括：工程周边的建（构）筑物状况、地下管线情况、道路交通状况、控制沉降要求。盾构施工过程中应注重对环境的保护，防止施工过程中产生的废弃物、噪声等对环境产生污染。对泥水平衡盾构而言，泥浆处理不彻底，泥浆中的悬浮或半悬浮状态的细土颗粒不能完全分离出来，弃浆量大，会对周围环境造成影响。

**4.3.4 刀盘**是盾构的关键部件，其质量和性能直接影响土体开挖效率，以及施工质量和安全。刀盘的结构和刀具等应满足地质条件和工程要求等。

2 砂土、粉土和黏性土地层宜采用辐条式结构或开口率较大的面板式结构，复合地层宜采用面板式结构。泥水平衡盾构一般采用面板式刀盘，土压平衡盾构根据工程地质可选用面板式或辐条式刀盘。

采用面板式刀盘时，由于渣土经刀盘面板的开口进入开挖仓，开挖仓内的土压力与开挖面的土压力之间产生压力降，其大小受面板开口的影响不易确定，从而使得开挖面的土压力不易控制。由于受面板开口率的影响，渣土进入开挖仓不顺畅、易粘结和易堵塞。面板式刀盘的优点是通过刀盘的开口可以限制进入开

挖仓的卵石粒径，在风化岩及软硬不均地层或上软下硬地层掘进时，应采用面板式刀盘。

辐条式刀盘渣土流动顺畅，不易粘结和堵塞。由于没有面板的阻挡，渣土从开挖面进入开挖仓时没有土压力的衰减，开挖面土压等于测量土压，因而能对土压进行有效的管理，能有效地控制地面沉降。因此，辐条式刀盘对单一软土地层的适应性比面板式刀盘好。

面板式刀盘与辐条式刀盘的特点对比见表 1。

表 1 面板式刀盘与辐条式刀盘特点对比

比较项目		刀盘形式	
		面板式	辐条式
1	开挖面土压保持的难易性	开挖面土压从面板开口经过到开挖仓内隔壁土压计测出后进行土压管理，相对不易控制	开挖面土压直接由开挖仓内隔壁的土压计测出后进行土压管理，相对容易控制
2	开挖面砂土的流动性	砂土从刀盘面板的开口经过进入开挖仓内。砂土流动性影响开口形状及尺寸，开口部的砂土容易产生附着和凝结	没有面板，砂土流动性很好
3	开挖面的不稳定因素	通常情况下，通过注入泡沫、膨润土等添加剂，可以改良砂土流动性能	
		受面板开口率的影响，渣土进入开挖仓不顺畅、易粘结和易堵塞，导致掘进困难	土压值偏小时，开挖面砂土流进过多，造成开挖面不稳定
4	刀盘负荷和扭矩	刀盘扭矩阻力大，需增加设备能力，造价高	刀盘扭矩阻力小，设备造价低
5	开仓作业	止土效果好	没有面板，安全风险高
6	开挖面出现障碍物时	出现大粒径障碍物时，螺旋输送机都无法排出，必须由作业人员进入到开挖仓内清除	

3 刀具配置是盾构刀具设计中非常重要的内容，其配置是否适合应用工程的地质条件，直接影响刀盘的使用寿命、切削效果、出土状况、掘进速度和施工效率等。

切刀和刮刀等切削类刀具一般适用于砂、卵石、黏土等松散地层。岩石强度较大时应配置滚刀。

4.3.5 刀盘主驱动是刀盘的动力系统，应根据地质条件、环境和施工要求等确定主驱动形式、刀盘转速和驱动主轴密封。

1 刀盘主驱动形式主要分为两种：变频电机驱动和液压驱动。变频电机驱动设备费用高，但是具有较高的传动效率，较低的能源消耗；液压驱动具有良好的抗冲击能力和过载保护性能，维修保养相对简单，可靠性高。因此两种驱动方式在盾构上都得到广泛的使用。变频电机驱动适用于较为单一地质，扭矩突变情况较少的地层；液压驱动能够适应所有地质，但配置较大驱动功率时，系统复杂，可靠性有所下降。

刀盘主驱动方式特点对比见表 2。

表 2 刀盘主驱动方式特点对比

项 目	变频电机驱动	液压驱动
外形尺寸	大	小
设备费用	高	低
效率 (%)	95	65
起动电流	起动电流小	无负荷起动电流小
起动力矩	起动力矩可达到额定力矩的 120%	小
抗冲击能力	弱	具有良好的抗冲击能力和过载保护性能
维护保养	较困难	维修保养相对简单，可靠性高

刀盘最大设计扭矩指刀盘机构所能提供的最大扭矩，主要考虑切削土体阻力及附加阻力。刀盘扭矩计算可按下式计算：

$$T = \alpha D^3 \quad (1)$$

式中： $T$ ——刀盘装备总扭矩（ $\text{kN} \cdot \text{m}$ ）；

$D$ ——刀盘外径（ $\text{m}$ ）；

$\alpha$ ——扭矩系数， $\alpha = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_0$ ，土压平衡盾构不宜小于 16；

$\alpha_1$ ——支承系数；

$\alpha_2$ ——土质系数；

$\alpha_0$ ——稳定掘削扭矩系数。

2 在复合地层施工时，刀盘应具有较大的转速范围，刀盘转速宜达到  $2.5\text{r}/\text{min}$  以上。但刀盘转速较高时对软弱围岩的扰动较大，有可能造成围岩失稳而坍塌。因此，在软弱围岩的地质情况下，刀盘转速主要选用低速。如地层有全断面硬岩，刀盘最大设计转速应达到  $1.5\text{r}/\text{min}$  以上。

4.3.6 盾构推进阻力的总和应按下列式计算：

$$F_z = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \quad (2)$$

式中： $F_z$ ——推进阻力的总和（ $\text{kN}$ ）；

$F_1$ ——盾体的摩擦阻力（ $\text{kN}$ ）；

$F_2$ ——盾尾与管片间的摩擦阻力（ $\text{kN}$ ）；

$F_3$ ——开挖面的支撑压力（ $\text{kN}$ ）；

$F_4$ ——后配套拖车的拖拉力（ $\text{kN}$ ）；

$F_5$ ——刀盘上刀具的推力（ $\text{kN}$ ）。

系统配备的最小推力应按下列式计算：

$$F = \tau F_z \quad (3)$$

式中： $\tau$ ——安全系数。

盾构总推力可按下列经验计算公式复核：

$$F = F' \cdot A \quad (4)$$

式中： $F$ ——盾构装备总推力（ $\text{kN}$ ）；

$F'$ ——单位推力（开挖面单位面积的推力，单位  $\text{kN}/\text{m}^2$ ），软土地层不宜低于  $1050\text{kN}/\text{m}^2$ ，硬岩地层不宜低于  $1250\text{kN}/\text{m}^2$ ；

$A$ ——开挖断面面积（ $\text{m}^2$ ）。

**4.3.7** 管片拼装机应具有锁紧、升降、平移、回转、仰俯、横摇和偏转七种动作能力，除锁紧动作外的其余六种动作与管片的六个自由度相对应。管片的拼装精度主要依靠拼装机的调整性能，拼装机必须把管片精确定位，并形成足以压紧管片的接触压力，因此管片拼装机各动作需准确可靠，操作安全方便。

**4.3.8** 按照螺旋轴的形式不同可以分为轴式螺旋输送机 and 带式螺旋输送机。当地质为一般性土砂、卵石时，可采用轴式螺旋输送机；当地质为较大颗粒砂砾和块石，且含水量很少时，可采用带式螺旋式输送机。

**4.3.9** 泥水循环系统有直接控制和间接控制两种类型。

直接控制型泥水循环系统结构简单，渣土在泥水仓内直接进入排浆口，少有堵塞问题。但必须对盾构区间地质勘探得非常清楚，确保区间地层不含大于排浆口直径的卵砾石。

间接控制型（气垫式）泥水循环系统的特征是设有气垫仓，其破碎机设在气垫仓内，开挖的渣土进入盾构机上第一个排浆泵之前预先经过破碎机，确保大块的卵砾石预先经过破碎才进入排浆口。因此在区间地层中含有大块卵砾石时，间接控制型（气垫式）泥水盾构仍可适用。

**4.3.10** 为确保小半径曲线隧道顺利施工，盾构一般配置有铰接装置。铰接形式主要有被动铰接和主动铰接两种。被动铰接的铰接油缸只承受尾盾的摩擦阻力，所以铰接力小，盾构姿态靠推进液压缸控制。主动铰接可使刀盘回退，方便换刀。主动铰接与推进液压缸配合使用，有利于小半径曲线隧道掘进过程中纠偏及掘进姿态控制。

**4.3.13** 盾构掘进管理系统除具备实时显示与存储盾构各种参数外，还应具备环号计算、每环注浆量等基本统计分析功能。为方

便相关单位对盾构进行远程管理，通常需要开放盾构主控系统中 PLC（可编程逻辑控制器）控制器的各变量地址或开放掘进管理系统中变量的数据结构表等实现与导向系统数据交互。

## 4.4 设施准备

**4.4.1** 辅助设施应与盾构类型和施工工艺要求等相适应，主要包括：

- 1 材料堆放场和仓库；
- 2 联络通信设施；
- 3 施工通风设施；
- 4 充电设备；
- 5 浆液搅拌站及相应管路和运输设备；
- 6 给水排水设备；
- 7 压缩空气设备；
- 8 盾构始发、到达及调头设备与设施；
- 9 渣土临时存放场。

**4.4.2** 盾构法施工是一项综合性的施工工艺，为保证盾构掘进施工顺利进行，应配备辅助设施。

1 浆液站的规模应满足施工需要，站内还须配有浆体质量测定的设备。泥水平衡盾构应设置相应的泥水分离和处理设备，选用的浆液和泥水分离处理效果应符合环保要求。

2 在确定水平运输和垂直运输方案及选择设备时，应根据作业循环所需的运输量详细考虑，同时还应符合各种材料运输要求，所有的运输车辆、起重机械、吊具要按有关安全规程的规定定期进行检查、维修、保养与更换。

## 4.5 工作井

**4.5.1** 工作井应满足盾构法施工要求。

1 根据地质条件与周边环境条件以及工作井的深度与断面大小，通常采用明挖法施工，其围护结构可选择钢板桩、连续墙

法、各种钻孔桩等，也可采用沉井法施工工作井。

采用盾构法施工时，一般需在盾构掘进的始端和终端设置工作井，按工作井的用途，分为盾构始发工作井和接收工作井，而在竣工后多被用作地铁车站、排水、通风等永久性结构。工作井一般设在隧道轴线上，用明挖法施工。本节内容主要是说明工作井施工后应满足盾构法施工的必要条件。

2 盾构始发工作井是用于组装、调试盾构，隧道施工期间作为管片、其他施工材料、设备、出碴的垂直运输及作业人员的出入通道。井的平面净尺寸应满足上述各项的要求。一般情况下在盾构两侧各留 1.5m 作为盾构安装作业的空间。盾构的前后应留出洞口封门拆除、初期推进时出碴、管片运输和其他作业所需的空间，因此，规定工作井的长度应大于盾构主机长度 30m。

3 根据盾构的安装、拆除作业、洞口与隧道的接头处理作业等需要，确定洞口底至工作井底板顶面的最小高度。

从理论上来说，井壁预留洞口大小略比盾构的外径大一些即可（盾构外径含外壳突出部分），但考虑到井壁洞口的施工误差、隧道设计轴线与洞口轴线间的夹角、密封装置的需要，需留出足够的余量。接收工作井的宽度应大于盾构直径 1.5m，长度应大于盾构主机长度 2.0m。

4 始发、接收工作井的井底板通常低于始发、到达洞门底标高 700mm。

**4.5.2** 对于洞口段需要加固的土体，采用不同方法或组合加固后均需达到设计要求的强度，起到防坍、防水作用。加固方案可根据洞口附近隧道埋深、工程地质和水文地质条件、盾构类型、盾构外径、地面环境等条件确定，加固方法可选用注浆、旋喷桩、搅拌桩、玻璃纤维桩、SMW 桩、冻结法、降水法或组合加固等。当洞口处于砂性土或有承压水地层时，应采取降水、堵漏等防止涌水、涌砂措施。对于加固的钻孔位置进行复核，钻孔位置无地下管线后才能开钻。孔位允许偏差为±40mm，垂直度允许偏差为 1%，并确保桩体相互搭接。

为了保证洞口段土体的加固效果，应对加固效果进行检查。加固体强度、抗渗指标应经现场取样试验确定，并满足设计要求。当不能满足设计要求时，应分析原因并采取措施补强，以保证盾构始发和接收的安全。

## 5 施工测量

### 5.1 一般规定

**5.1.3** 全线或部分采用盾构法施工都应了解施工地区坐标、高程系统和已有控制网布设的方法、层次、精度等情况，这样才能制定合理的盾构施工控制测量方案。测量方案应全面考虑影响的因素，如地面控制的布设与测量应考虑施工区域的周边环境影响，根据盾构采用竖井还是平硐或斜井进入隧道可以选择最优的联系测量方法。

**5.1.4** 根据盾构法施工隧道的不同用途和贯通长度确定贯通测量限差。地铁隧道、铁路隧道、水工隧道的贯通测量限差分别参考了《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 - 2008、《铁路工程测量规范》TB 10101 - 2009、《水利水电工程施工测量规范》SL 52 - 93 中贯通测量限差的要求，公路隧道、市政隧道、油气隧道由于没有相关的行业规范进行参考，确定贯通测量限差时参考了《工程测量规范》GB 50026 - 2007 中贯通误差的要求。当地铁隧道贯通长度大于 4km，水工隧道贯通长度大于 7km，其他隧道贯通长度大于 10km 时，应进行贯通测量限差设计。

贯通限差与贯通测量中误差相比，更便于测量的直观体现。进行贯通设计时，贯通测量中误差取贯通测量限差的 1/2。

贯通误差主要受地面控制测量、联系测量、隧道内控制测量三项测量误差影响，以地铁横向贯通误差为例，在上述各环节横向贯通中误差的一般分配原则分别为  $\pm 25\text{mm}$ 、 $\pm 25\text{mm}$ 、 $\pm 35\text{mm}$ ，总横向贯通中误差为  $\pm 50\text{mm}$ 。也有工程根据各个环节中误差控制的实际情况按 1 : 1 : 2 的比例进行分配，无论怎样分配，总的贯通误差控制应满足表 5.1.4 的限差要求。

**5.1.5** 始发和接收工作井所使用的地面近井控制点间进行直接

联测，可以减少测量环节，提高测量精度，是保证隧道贯通的必要措施。

**5.1.6** 贯通后隧道内控制网形成附合线路，应进行整体平差，才能作为贯通误差调整、隧道中线调整、竣工测量以及后续施工测量的依据。对于需要进行铺轨和设备安装的铁路、地铁隧道，利用工作井进入隧道施工时，可利用近井控制点进行两井定向。

## 5.2 地面控制测量

**5.2.1** 盾构法施工隧道地面平面和高程控制网是在线路工程整体控制网下加密的施工控制网。当布设成独立的专用平面和高程控制网时，应与线路工程整体控制网进行联测。

根据隧道的用途，线路整体控制网应符合国家现行相关标准的要求，如地铁隧道的线路控制网应符合现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 的规定，铁路隧道应符合现行行业标准《铁路工程测量规范》TB 10101 的规定，公路隧道应符合现行行业标准《公路勘测规范》JTG C10 的规定，水工隧道应符合现行行业标准《水利水电工程施工测量规范》SL 52 的规定。

**5.2.2** 平面一等控制网可在已有的国家二等三角网或 C 级以上 GNSS (Global Navigation Satellite System, 即全球导航卫星系统) 控制网下布设。二等控制网可在本规范平面一等控制网、国家 D 级以上 GNSS 控制网或国家三等三角网下布设。

高程控制网应在已有的国家二等水准网的基础上一次布设全面网。

**5.2.3** 本规范表 5.2.3-1~表 5.2.3-3 规定的技术要求主要是根据现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308，并结合不同隧道类型的实际工程条件确定的。

上述技术要求是以贯通测量长度小于 4km，平面贯通测量误差 $\pm 50\text{mm}$ ，高程贯通测量误差 $\pm 25\text{mm}$ 设计的。若依据的技术条件发生变化，则应重新制定技术要求。

对应的观测要求应参照本规范第 5.2.1 条文说明中国家相关测量技术标准的规定。

**5.2.5** 跨水域水准测量可采用光学测微法、倾斜螺旋法、经纬仪倾角法、测距三角高程法和 GPS 测量法。当跨水域视线长度不超过 100m 时，可采用一般方法进行水准观测。

**5.2.6** 地面控制测量的复测频率视控制点的稳定情况而定，控制点相对稳定时一般一年一次，如果区域沉降或施工对控制点稳定性有影响，复测频率宜至少半年一次。

### 5.3 联系测量

**5.3.2** 地面近井导线和近井高程路线采用附和路线形式可进行路线检核，提高测量精度。为了提高近井点测量精度，近井导线和高程测量技术要求与地面控制相同。

**5.3.3** 一般盾构始发前也需要进行一次联系测量，但始发前观测条件较差，隧道内定向边较短，方位角误差比较大，一般掘进 100m 后进行联系测量导入的定向边才适合指导后续掘进施工。

根据现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 规定，并结合各地盾构隧道的测量经验，当各次联系测量定向的地下起始边方位角较差小于  $12''$  时，可有效保证隧道的贯通。

**5.3.4** 联系三角形法和陀螺全站仪（经纬仪）与垂准仪（钢丝）组合法一般应用于单工作井开挖且井口较小的施工条件；施工现场有两个工作井口或工作井敞口较大时可采用两井定向法；平洞和斜井进洞或者工作井敞口较大时可采用导线直传法；采用投点定向法的隧道地面须具备钻孔条件。

**1** 当采用联系三角形法时，一般每次独立定向 3 次；悬吊钢丝间距（ $c$  值）在工作井井筒范围内宜取满足测量条件的最大值；联系三角形成直伸形； $a/c$ （或  $a_1/c$ ）一般不大于 1.5（ $a$  和  $a_1$  分别为地面和地下连接点与其最近钢丝的距离）；仪器至钢丝的距离可采用钢尺量距或在钢丝上粘贴反射片进行电磁波测距，

地面、地下同一边测量较差小于 2mm；角度观测应使用 DJ2 经纬仪或同等测角精度的全站仪，采用全圆测回法观测 4 测回，测角中误差为  $\pm 2''$ ；两次测定的地下起始边方位角较差小于  $12''$ ，方位角平均值中误差为  $\pm 8''$ 。

联系三角形定向方法是竖井定向测量的常用方法，对传统联系三角形定向精度可以按下式计算：

$$M_{\alpha\theta} = \pm \sqrt{M_{\text{上}}^2 + M_{\text{下}}^2 + \theta^2} \quad (5)$$

式中： $M_{\text{上}}$ ——地上连接误差；

$M_{\text{下}}$ ——地下连接误差；

$\theta$ ——投向误差。

根据现行国家标准《城市轨道交通工程测量规范》GB 50308 在地铁定向测量中限定的误差要求，地上的连接误差一般为  $5''$ ，计算公式如下：

$$M_{\text{上}} = \pm \sqrt{M_{\text{aDC}}^2 + M_{\text{q}}^2 + M_{\alpha}^2} \quad (6)$$

地下的连接误差一般为  $7''$ ，计算公式如下：

$$M_{\text{下}} = \pm \sqrt{M_{\text{a1}}^2 + M_{\text{q}}^2 + M_{\beta 1}^2} \quad (7)$$

投向误差  $\theta = \pm e/c \times \rho''$ ；当  $c$  为 5m， $e$  为 0.5mm 时，此时  $\theta$  的中误差将达到  $20.6''$ 。

$$M_{\alpha\theta} = \pm \sqrt{M_{\text{上}}^2 + M_{\text{下}}^2 + \theta^2} = \pm \sqrt{5^2 + 7^2 + 20.6^2} = \pm 22.3$$

因此，在上述总误差中，地上测量误差占 5%，地下测量误差占 10%。投向误差占 85%。若想提高定向精度，提高钢丝的投向误差是关键。为此，除满足上述联系三角形一般最有利的形状外，为减弱风流对悬吊钢丝的影响，沿隧道风流方向合理布设垂线位置可提高投向误差。另外除布设单一联系三角形外，也可采用布设组合联系三角形的办法，提高地下起始边的定向精度。

2 当采用陀螺全站仪（经纬仪）与垂准仪（钢丝）组合法时，陀螺全站仪（经纬仪）角度标称精度不低于  $2''$ ，陀螺全站仪测距标称精度不低于  $2\text{mm} + 2\text{mm} \times 10^{-6} \times D$ （ $D$  为测量距离，

单位：km)；陀螺全站仪（经纬仪）1次定向精度小于 $15''$ ；垂准仪（钢丝）投点中误差为 $\pm 3\text{mm}$ ；同一边定向3次，每测回间陀螺方位角较差小于 $12''$ ，独立3次定向陀螺方位角平均值中误差为 $\pm 8''$ 。

陀螺全站仪（经纬仪）与垂准仪（钢丝）组合定向法也是竖井定向测量常用的一种方法，陀螺全站仪与垂准仪联合定向方法的定向精度取决于陀螺全站仪本身的定向精度。陀螺全站仪与垂准仪联合定向采用双投点、双定向的作业方法，采用定向精度比较高的陀螺全站仪进行定向，一次定向中误差可以小于 $5''$ 。现代的陀螺定向已经实现全自动定向，在定向精度、定向操作上都有了很大提高和改变，与传统定向测量相比精度高、速度快。该方法的特点是：陀螺全站仪定向以前的各个环节的方向测量误差不累计，垂准仪投点误差比较大，但其作为一个误差常量影响贯通误差。

**3** 当采用两井定向法时，两个工作井中悬挂的钢丝距离宜取满足测量条件的最大值；也可采用铅垂仪代替钢丝，投点中误差为 $\pm 2\text{mm}$ ；架设钢丝时，按联系三角形法的相关要求测量钢丝的平面坐标。当采用垂准仪代替钢丝时，每次在基座旋转 $120^\circ$ 的三个位置，对垂准仪的平面坐标各测一测回；地下两投测点之间沿连通最短路径布设精密导线，并按照本规范第5.2.3条第2款要求施测。两井定向的数据按照无定向导线平差方法计算处理；两次测定的地下起始边方位角较差不大于 $12''$ ，方位角平均值中误差为 $\pm 8''$ 。

**4** 当采用导线直传法时，按本规范第5.2.3条第2款的要求进行；独立测量两次，地下定向边方位角互差不大于 $12''$ ，平均值中误差为 $\pm 8''$ ；宜采用具有双轴补偿的全站仪，无双轴补偿时进行竖轴倾斜改正；垂直角不大于 $30^\circ$ ；仪器和觇牌安置宜采用强制对中或三联脚架法；测回间检查仪器和觇牌气泡的偏离情况，气泡偏离超限时重新整平。

**5** 当采用投点定向法时，如采用钢丝或垂准仪利用工作井

或钻孔投点测量时，投测的两点相互通视，其间距不小于 60m；架设钢丝或垂准仪投点时，独立测量三次，并按两井定向的相关要求测量钢丝或垂准仪中心的平面坐标；与钢丝或垂准仪的联测要符合本规范第 5.2.3 条第 2 款规定；投点中误差为  $\pm 3\text{mm}$ 。两次地下定向边方位角互差不大于  $12''$ ，平均值中误差为  $\pm 8''$ 。

**5.3.5** 在工作井内悬吊钢尺进行高程传递测量，一般地面、地下的两台水准仪同时读数，并在钢尺上悬吊与检定钢尺时相同质量的重锤；传递高程时独立进行 3 次测量，高程较差不大于 3mm；计算高差时进行温度、尺长改正。

盾构平硐或斜井进入，采用水准测量方法进行高程传递测量时，测量精度要符合本规范第 5.2.3 条第 3 款的规定。

**5.3.6** 规定地下近井导线点和近井高程点数量的目的是使各点间构成检核条件。

## 5.4 隧道内控制测量

**5.4.2** 规定隧道内控制测量起算点数量的目的是使隧道内具有足够的检核测量条件。

**5.4.3** 根据测量实践，盾构掘进 60m 后隧道结构已经趋于稳定，在稳定处设置地下控制点。控制点的稳定情况可通过重复测量确定，一般不少于 3 次。控制点可在隧道两侧交叉设置，在曲线隧道，特别是在连续同向曲线隧道，要注意旁折光的影响，而控制点间视线距隧道壁及隧道内设施大于 0.5m 可有效避免旁折光的影响。直接用于盾构施工测量的控制点，可设置在隧道两侧或顶、底板上便于观测的位置。

**5.4.4** 贯通长度较长的隧道（大于 2km）内平面控制宜布设交叉双导线，双导线可形成结点导线网，提高隧道内控制网的精度。

**5.4.5** 盾构掘进初期，根据施工现场条件一般先布设精度较低的施工导线和施工水准，当具备条件后及时选择部分施工导线和施工水准点组成施工控制导线。隧道曲线半径较小时，施工控制

可不受曲线要素点的限制，选择较长的导线边。

**5.4.6** 施工控制导线点横向中误差是依据导线长度与贯通距离之比并乘以  $4/5$  计算的。施工控制导线最远点横向中误差通常不大于贯通中误差即满足要求，但是为提高施工控制导线点精度，并考虑下一级施工导线的误差，取  $4/5$  作为比例系数。

**5.4.8** 当隧道结构不稳定时，埋设的隧道内控制导线点和控制水准点易变动，故每次控制测量必须对施工控制点进行检测。

**5.4.9** 隧道内控制测量重合点平面坐标较差和导线长度及贯通长度有关，根据贯通误差控制较小的地铁隧道内控制测量经验，贯通面附近控制点两次测量较差一般不大于  $30\text{mm}$ ，相应的其他点的较差可依据导线长度与贯通长度比值确定。

高程控制点较差一般不大，在地铁隧道中，重合点高程较差要求不大于  $5\text{mm}$ ，而有些隧道竖向贯通限差相对低一些，取高程较差小于  $10\text{mm}$  作为最低要求较为合理。

**5.4.10** 当贯通限差要求不变，隧道贯通距离大于本规范规定的长度时，应采取下列措施增强地下控制网强度，提高测量精度：

1 地下控制测量布设形式可以采用图形强度比较高的布网形式；

2 在地下导线测量中，加测一定数量的陀螺方位角，可以限制测角误差的积累，提高定向精度。同时，在某些受旁折光影响大的导线边上加测陀螺方位角，还可以消除和减弱系统误差对方位的影响；

3 从地面向地下钻孔，增加地上和地下联系测量次数。

## 5.5 掘进施工测量

**5.5.1、5.5.2** 始发与接收环节的测量工作是盾构施工质量的重要保障，洞门圈安装完成后应进行复测，并根据安装偏差指导盾构的始发与接收。

**5.5.3** 一般盾构导向系统测量没有测量中误差显示，可认为其测量中误差与人工测量精度相同。取人工测量的点位测量中误差

为  $m$ ，按误差传播理论，人工测量与盾构导向系统测量的较差中误差为  $\sqrt{2}m$ ，其较差的限差为  $2\sqrt{2}m$ 。

**5.5.4** 有条件时，宜在盾构上设置两套测量标志，以便于检核和提高测量精度。

**5.5.5** 盾构导向系统设计数据输入的正确性和迁站测量都是保障盾构隧道按设计要求顺利掘进的关键环节，有必要进行具体的规定。

**5.5.8** 衬砌环测量可采用人工测量方法，衬砌环测量成果可作为施工监测的初始测量成果。

## 5.6 贯通测量

**5.6.1** 贯通测量误差反映了盾构施工控制测量的质量，其误差应满足隧道贯通测量限差的要求。

**5.6.3** 贯通误差分解至线路法线方向可直观反映出贯通结果与线路、限界的关系。

## 5.7 竣工测量

**5.7.1** 隧道贯通后进行贯通导线的附合路线测量，并重新平差后，可为断面测量、限界测量、铺轨测量和设备安装测量等提供较高精度的测量控制点。

**5.7.2** 竣工测量工作内容可根据设计要求选择，平面偏差、高程偏差是指相对于衬砌环设计轴线的偏差。

**5.7.3** 常用的竣工测量方法包括全站仪解析法和断面仪法。全站仪解析法可在一个测站进行多个断面的测量，测站迁移后应对上一站所测断面进行抽测。采用断面仪法时，应对每个断面的隧道中线点进行放样，并测高程。

随着新技术、新方法的应用，近景摄影测量法和三维激光扫描法也应用于隧道竣工测量，其测量结果能更为全面、细致地反映隧道结构。采用近景摄影测量和三维激光扫描时，标靶点的测量中误差为  $\pm 10\text{mm}$ 。

**5.7.4** 横断面上的测点位置、数量应根据隧道结构形状、设备、行车条件等对断面的要求，由设计确定。

盾构隧道以环为单位进行横断面测量更易于操作，并且与后续章节成型隧道验收的要求相一致。

## 6 管片生产与验收

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 管片生产推行全过程质量控制是确保管片质量稳定并不断改进的最基本条件。此外，管片生产还需建立安全生产和绿色生产的相关制度，并配备相应的设施或设备。

**6.1.2** 管片生产有严格的生产工艺和技术要求，要有相应的技术人员对生产质量进行管理。操作人员在上岗前应进行培训，特殊工种要取得相应的证书才能上岗。

**6.1.3** 管片生产设备和设施，如混凝土搅拌、运输、振捣、养护和管片起吊等设备，应定期进行检定或测试，满足生产要求后方可使用。

**6.1.4** 编制施工组织设计或技术方案应对涉及结构安全和人身安全的内容做出明确的规定，其目的是在保证安全的前提下使管片生产有序、安排合理，采取各种预控措施以保证质量。

### 6.2 原材料

**6.2.2** 钢板的厚度、型钢的规格尺寸是影响承载力的主要因素，进场验收时应重点抽查钢板厚度和型钢规格尺寸。

对水工隧道尤其是排污隧道应按设计要求采取防腐蚀措施。通常钢管片的防腐要求严格，故对防腐涂料、稀释剂和固化剂等材料提出要求。

### 6.3 钢筋混凝土管片模具

**6.3.1** 本条文是保证混凝土管片成型质量关键项目。其中，模具的稳定性是指模具在设计周转次数内不变形，以满足对反复振捣、高温和温度重复变化等抗疲劳性能的要求。

**6.3.3** 模具验收是检验模具质量的关键环节，应对验收标准提出明确要求。

1、2 模具是保证管片质量的最重要的环节，其材质和制作精度要求高，在实际生产中，不仅要对模具进行实测实量，还应考虑荷载和振动等影响因素，进行管片试生产，并经水平拼装检测合格才能通过验收。

3、4 由于管片的检测以原始出厂数据为依据，且不同批次的管片因检测工具的不同会带来可能超过预期的偏差。因此，管片厂家在采购和验收模具时，最好要求模具制作厂家提供配套的数据和工具。

**6.3.4** 本条文所列条件是可能发生的导致模具精度出现较大偏差的情况，但没有给出模具检验的项目和控制精度要求，强调以满足成品的质量要求为最终要求。

**6.3.5** 合模与开模是影响混凝土管片成型质量的关键环节。

2 脱模剂过多或过少都不利于混凝土管片的脱模质量，因此应均匀薄层涂刷。钢筋骨架和预埋件与脱模剂接触会降低其与混凝土的握裹力，不利于结构安全。

3 各种预埋件和模具接触面的密封良好利于保证预埋质量。

4 合模和开模不当会对模具造成损害，影响模具精度。因此，要严格按照使用说明书的规定顺序操作，并加强对模具和管片的保护。

5 模具厂家需在端模和长侧模的上部两端以及紧固螺丝的周边设有快速组装标记，该标记可以起到核验模具精度的作用。如果接缝漏浆，脱模后管片表面将出现疏松或蜂窝等缺陷，因此要确保接缝严密。

**6.3.6** 管片出模强度可参考国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 - 2008 第 6.1.2 条的规定。当采用吸盘脱模时，管片出模时的混凝土强度应不低于 15MPa；当采用其他方式脱模时，应不低于 20MPa。

## 6.4 钢筋骨架

**6.4.2** 钢筋加工是管片生产的关键环节，本条提出了明确要求。

2 钢筋弯弧时进料应轻送，进入弯弧机时应保持平衡、匀速，防止平面翘曲。弯后的钢筋应在靠模上校核，弧度不符合要求时应重新进行弯制，合格后方可使用。

3 为了减少钢筋加工中的浪费，经设计允许后方可在受力钢筋设置接头，且接头数量和位置应满足设计或有关标准要求。当采用对焊连接时，应按现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 对接头进行拉伸试验、弯曲试验及外观检查。机械连接的接头比对焊连接的接头有更好的力学性能和质量保证，应依据现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 对接头钢筋进行检验。但由于盾构管片的钢筋具有一定弧度，当采用机械连接时，可采用以下步骤：首先要根据钢筋丝扣的数量和丝距选用与之匹配的套筒，以避免连接后的钢筋发生扭曲、错位；其次对钢筋进行套丝、弯曲；之后再再用套筒进行连接；最后应控制连接后钢筋的弧长在允许误差范围之内。

**6.4.3** 钢筋骨架是混凝土管片的主要受力结构，本条对其焊接质量和成品验收提出要求。

2 为了防止焊接部位产生夹渣、气孔等缺陷，在焊接区域内应清除钢筋表面锈蚀、油污等。

3 在正式焊接之前，应采用与生产相同条件进行焊接工艺试验，以便了解钢筋焊接性能，选择最佳焊接参数。每种牌号、每种规格钢筋至少做 1 组试件。当不合格时，应改进工艺，调整参数，直至合格为止。

4 为了保证钢筋骨架整体结构性能，带接头的受力钢筋不应过多，且不能置于受力较大或可能出现应力集中的位置。

**6.4.4** 钢筋骨架安装应注意不要损坏模具，安装后要进行验收。

1 钢筋骨架的起吊点宜在主筋和构造筋的交叉点，避免骨架钢筋错位。钢筋骨架就位时，应从模板上方垂直轻放且缓慢调

整其位置，避免骨架撞击模具成型面，造成模具表面的坑坑洼洼，影响管片成品的表现质量。

2 钢筋隐蔽工程的验收内容包括：纵向主筋的品种、规格、数量、位置等；箍筋、横向钢筋的品种、规格、数量、间距等；预埋件的规格、数量、位置等；钢筋的连接方式、接头位置、接头数量和接头面积百分率等。

## 6.5 混 凝 土

6.5.1 检验混凝土性能的试件成型方法、养护条件及试验方法应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081和《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082的规定，混凝土的强度评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107的规定，混凝土耐久性性能评定应符合现行行业标准《混凝土耐久性检验评定标准》JGJ/T 193的规定。

6.5.2 应以经济、合理的原则进行混凝土配合比设计，并按普通混凝土拌合物性能试验方法等标准进行试验、试配，以满足混凝土强度、耐久性和和易性的要求。

1 低坍落度混凝土虽然有利于减少管片成品裂缝的出现，但如果欠振可能出现蜂窝或孔洞等外观质量缺陷。随着混凝土技术的发展和聚羧酸系高性能减水剂的使用，在保证混凝土黏聚性和保水性良好的情况下，坍落度可适当放大，但要与工艺要求相适应。经过调研，国内大型的钢筋混凝土管片生产单位综合考虑模具周转要求和经济性，一般将坍落度控制在 120mm 左右。

2 对混凝土中碱含量和氯离子含量加以限制是保证管片耐久性的有效措施。

3 管片用混凝土最常见的性能要求是强度等级和抗渗等级。但是随着成型隧道功能以及所处环境的不同，也可能对混凝土的冻融性能、耐久性能和长期性能提出要求。

4 目前，纤维混凝土管片、自密实混凝土管片和预应力混

凝土管片在国外均有应用，但是在国内尚处于试验研究阶段。当采用纤维混凝土、自密实混凝土或需要进行预应力施工时，使用的混凝土还需要满足现行相关标准的要求。

**6.5.3 混凝土浇筑环节直接影响管片成型质量，应留置试件备检。**

1 留置的检验混凝土强度的试件作为验证配合比的依据，如果混凝土采取加热养护，则该试件应与混凝土完成同条件加热养护后再转标准养护至 28d；留置同条件养护试件作为脱模或检查养护效果的依据。

3 施工经验表明：初凝前压面有利于减少混凝土表面的塑性裂缝。对于完成混凝土浇筑的外弧面，应强调压面密实。

**6.5.4 混凝土养护不当易导致混凝土开裂，因此需要对养护环节进行规定。**

1 混凝土养护可采用加热养护或自然养护，但无论哪种养护方式，均需采取保湿措施以便起到减少表面裂缝的效果。

3 出模后的管片可采用水中养护、喷淋养护、涂刷养护剂及其他可以达到预期养护效果的方法；在条件允许时，优先采用水中养护。但对于采用潮湿养护特别是水中养护时，要避免管片内部温度与水温存在过大温差而导致混凝土开裂。

**6.5.5 在北方冬期生产管片时，骨料中不得含有冰、冻块以及其他易冻裂物质。混凝土浇筑温度不宜低于 10℃。浇筑后应及时覆盖，宜采用适当的措施进行保温和防护。当采用蒸汽养护时，还应避免因管片出模时余汽造成的吊运工况不良进而导致的安全问题。**

## 6.6 钢筋混凝土管片

**6.6.1 管片标记的作用是便于其质量的可追溯性，对于采用倒班作业的生产厂家，还应增加生产流水号码。**

**6.6.2 钢筋混凝土管片质量包括结构性能、混凝土强度和抗渗等级、外观质量、几何尺寸和主筋保护层厚度允许偏差，以及水**

平拼装检验允许偏差等方面。

1 管片的成品检验包括：局部承压、抗弯和检漏等任何以单个管片为试验对象进行的所有检验，所有成品的检验均按照设计要求进行。

2 混凝土除了强度和抗渗要求外，还可能有抗冻融或防腐蚀等性能方面的要求。

3 根据生产经验，中心注浆孔预埋件是管片拼装时的主要受力件。因此，应对其进行抗拉拔试验。根据设计经验，抗拉拔力一般不低于管片自重的 7 倍。

4 本规范表 6.6.2-1 依据钢筋混凝土管片在隧道内基本呈均匀受力的实际情况，并参考国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 - 2015 中表 8.1.2 的内容确定。其中，严重缺陷通常是指那些会对钢筋混凝土管片的结构性能或使用功能等产生影响的缺陷。

钢筋混凝土管片正常生产中，很少出现漏筋、蜂窝、孔洞、疏松或夹杂等质量缺陷，最常见的缺陷有气泡、细小裂缝、局部少量麻面或掉皮、棱角处和预埋件周边少量飞边和缺棱掉角问题。

通过查询大量地铁、水利、电力和热力等盾构施工的工程设计图纸，均未提及气泡直径和数量要求，仅要求密封槽及平面转角处没有剥落缺损，不合要求应进行修补，故作为一般缺陷。

5 主筋保护层厚度会影响钢筋混凝土管片的耐久性。因此，有必要将主筋保护层厚度作为管片正常生产时的检测指标之一。

## 6.7 钢管片

6.7.1 钢管片采用的钢材、焊接方式和防腐处理等是决定钢管片成型质量的关键点。

4 二氧化碳气体保护焊具有焊接变形小、质量好、效率高且操作性好等优点。

## 6.8 管片贮存与运输

**6.8.1** 场地不平整容易产生局部应力过大，从而导致管片变形或破坏。

**6.8.2** 管片码放高度需要结合存放场地的地基承载力和管片承压强度（钢筋混凝土管片还要考虑出模强度）验算后确定。管片应按型号分别码放，可采用内弧面向上或侧面立放的方式码放，每层管片之间应使用垫木分隔，且每层支撑点应在同一平面上，各层支垫物应在同一直线上，以避免局部受压过大造成损坏。

当采取内弧面向上的方式码放且存放温度在 0℃ 及以下时，钢筋混凝土管片的注浆管预埋件必须有防冻胀的措施。

**6.8.3** 管片翻转时应使用柔性材料保护，并避免柔性材料对管片表面造成污染或损伤。管片运输设备上应设有卡槽，并应在卡槽与管片以及管片之间均应垫入通长木方，每层支撑点应在同一平面上，各层支垫物应在同一直线上，并应用钢丝绳或夹具将管片与车体绑扎牢固，锁链接触部位的管片应采用柔性垫衬材料保护。

## 6.9 管片现场验收

**6.9.4** 一般缺陷可参照现行行业标准《预制混凝土衬砌管片生产工艺技术规程》JC/T 2030 的规定修补，但不得满搓或满刷水泥浆。

## 7 掘进施工

### 7.1 一般规定

**7.1.2** 盾构始发阶段是指从盾构离开始发基座到盾构掘进、管片拼装、壁后注浆、渣土运输等全工序展开前的施工阶段；盾构接收阶段是指从盾构刀盘进入距离到达洞门或贯通面一倍盾构主机长度范围内到盾构主机完全进入接收基座的施工阶段。

**7.1.3** 在盾构起始段 50m~200m 内进行试掘进（针对超大直径隧道的试掘进为 200m），是为了掌握、摸索、了解、验证盾构适应性能及施工规律。

**7.1.7** 对于配备测量导向系统的盾构，需保持导向系统正常运转。

**7.1.8** 当盾构掘进过程中出现异常现象时，在确保不出现灾难性后果情况下，谨慎掘进以查明原因，采取针对性处理措施。

**3** 当盾构处在小半径曲线等特殊工况时，可能出现盾构偏离轴线大于 50mm 的现象，需加以重视，并合理控制盾构姿态。

**8** 当盾构配备的测量导向系统发生故障时，需及时处理。

**7.1.10** 监测土压力值、盾构掘进速度、纵坡、刀盘扭矩与转速、螺旋机扭矩与转速，进土速率以及盾构左右腰对称液压缸伸出长度等是否在优化的施工参数范围内，发现异常情况及时调整。

**7.1.11** 盾构的内径与管片外径有一定施工间隙，盾构纠偏只能在此范围内调整，过量纠偏会引起盾构壳体卡住管片而导致管片挤压损坏或增加新一环管片拼装的困难。

根据施工经验，盾构纵坡和平面纠偏量最大值可分别按以下公式求得。

**1** 盾构纵坡最大纠偏量可按下式计算：

$$i = (i_{\text{盾}} - i_{\text{衬}}) \leq [i] \quad (8)$$

式中： $i$ ——盾构与管片相对坡度；

$i_{\text{盾}}$ ——盾构掘进后实际纵坡；

$i_{\text{衬}}$ ——已成隧道管片纵坡；

$[i]$ ——允许坡度差值。

2 盾构平面最大纠偏量可按下式计算：

$$\Delta L < S \times \tan \alpha \quad (9)$$

式中： $\alpha$ ——盾构与衬砌允许的水平夹角；

$S$ ——两腰对称液压缸的中心距（mm）；

$\Delta L$ ——两腰对称液压缸伸出长度的允许差值（mm）。

要控制一次最大纠偏值在允许范围之内。纠偏可采用盾构铰接系统实施，纠偏量按盾构机设计要求。盾构滚转角纠偏一般不大于 $3^\circ$ 。

盾构纠偏要做到及时、连续、限量，过量纠偏会使盾构与隧道的轴线产生较大的夹角，影响盾尾密封效果；同时过量纠偏也会增加盾构对地层的扰动。

**7.1.12** 当盾构因故停止掘进时，根据停止时间长短、开挖面地层、隧道埋深、地表变形等条件，对开挖面进行保压或加固，对盾尾与管片间的空隙进行嵌缝密封处理。可在盾构支承环环面与已拼装的管片环面间加设支撑，防止盾构后退。

对于泥水平衡盾构还应关闭泥浆管阀门，保持压力以稳定开挖面，必要时对泥水仓进行补液。

## 7.2 盾构组装与调试

**7.2.1** 盾构组装前制定组装方案，选择组装设备，并确保地基承载力满足起吊要求。

1 盾构组装方案需确定盾构始发和设备吊运方式。盾构始发包含盾构本体和后配套设备两部分，一般可分为整体始发和分体始发；设备吊运方式应针对盾构部件的分解形式确定。大件吊装作业由具有资质的专业队伍负责。

3 地基承载力不满足要求时，可对承载土体实施加固或加铺钢板等措施。

7.2.2 盾构组装时需注意下列内容：

- 1 结构件、动力线的连接螺栓需按紧固扭矩的要求拧紧；
- 2 连接销安装到位并紧固；
- 3 液压管线保持清洁；
- 4 电线、电缆连接牢固。

7.2.4 盾构是集机、电、液、控为一体的、复杂的大型设备，包含了多个不同功能系统，若在掘进中发生问题，处理十分困难且易导致地层坍塌。因此，在现场组装后，应首先对各个系统进行空载调试，使其满足设计功能要求。然后必须进行整机联动调试，使盾构整机处于正常状态，以确保盾构始发掘进的顺利进行。调试通电前检测核查高压电缆及变压器要求。低压送电符合现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的规定。

### 7.3 盾构现场验收

7.3.1 盾构验收项目可按设计功能、参数、图纸和说明书的内容进行补充，并符合相关技术要求。

1 盾构壳体的外径和长度符合设计要求，盾壳表面平整。在盾构掘进液压缸活动范围内，盾尾内表面平整，无突出焊缝，盾尾椭圆度在允许的范围。

2 刀盘连接用的高强度螺栓按盾构制造厂家的设计要求配置，使用扭力扳手检查达到设计扭矩值，采用焊接形式时符合设计要求。刀盘空载运行各档正向、反向各 15min，各减速机及传运部分无异常响声。集中润滑系统进行流量和压力测试，各润滑部件受油情况达到设计要求。刀具装配牢固，不得出现松动，刀具硬质合金焊接可靠坚固，且不得有裂纹。

3 拼装机空载测试时，各部件的行程、回转角度、提升距离、平移距离、调节距离符合设计要求，各系统的工作压力满足

设计要求；负载测试时，拼装机作回转、平移、提升、调节等动作运行平稳，回转运动停止可靠，各滚轮、挡轮安装定位准确、安全可靠，各系统的工作压力正常。

4 螺旋输送机在掘进过程中进行验收，驱动部分负载运转平稳，不应有卡死或异常响声，液压工作压力小于设计值。手动调节比例阀时，螺旋输送机的转速有相应变化。螺旋输送机伸缩液压缸、前后仓门的相关传感器灵敏度符合设计要求。

5 皮带输送机空载测试时，不应有皮带跑偏现象。负载测试时，运转平稳，无振动和异常响声，全部托辊和滚筒均运转灵活。

6 泥水输送系统的各泵压力、流量符合设计要求，电气系统操作灵敏、可靠、安全。

7 根据地质情况设计泥水处理系统，处理能力满足盾构掘进要求，分离效果应环保节能。

8 同步注浆系统的搅拌机安装完毕，管路布置合理。

9 集中润滑系统的管路布置合理，润滑部位无油脂溢出，循环开关动作次数达到设计值。

10 液压系统的管路配管布置合理，泵组工作声音正常，无异常振动；各系统的调定压力符合设计要求，空载压力正常；系统工作的泄油压力正常；各传感器、压力开关、压力表等工作正常；系统经耐压试验，无泄漏；系统处于工作状态时，油箱温度正常。

11 铰接液压缸的配管线路、阀组等布置合理，状态良好，伸缩动作状况、动作控制和行程良好，工作压力符合设计要求；密封装置集中润滑工作正常，密封圈充满油脂。

12 电气系统通电前验收内容包括：电器型号、规格符合设计要求；高、低压箱柜等符合要求；电器安装牢固、平正；电器接地符合设计要求；电器和电缆绝缘电阻符合安全标准。

通电后验收内容包括：操作动作宜灵活、可靠；电磁器件无异常噪声；线圈及接线端子温度不超过规定值。

13 渣土改良系统的泡沫泵性能符合设计要求，运转状况正常，积压式输送泵能力符合设计要求，管路布置连接正确。

14 盾尾密封系统的密封刷安装质量和密封油脂注入泵性能符合设计要求，运转正常。

**7.3.3** 盾构验收在试掘进后进行。根据盾构实际运转状况、掘进状况对照约定的验收考核内容及指标，由盾构设计、制造和使用方共同进行评估，达到设计制造和约定的技术要求后，履行验收手续，完成盾构验收。

## 7.4 盾构始发

**7.4.2** 盾构始发前，进行始发条件验收，满足验收条件后方可实施盾构始发。始发条件验收包含但不限于施工方案、应急预案、监测措施、人机料筹备、技术交底等项目。土体改良的质量检查是对改良效果进行检验，内容包括土体改良范围、止水效果和强度，土体强度和止水效果达到设计要求，防止地层发生坍塌或涌水。改良范围考虑始发洞门封堵安全。对于无需改良的地层，也应进行检验。

**7.4.3** 盾构始发掘进前，对反力架进行状态。如发现问题应采取补强措施。

**7.4.4** 盾构姿态复核前，预先复核工作井尺寸、洞门圈尺寸坐标、基座和反力架等部件尺寸。

**7.4.5** 稳定盾构姿态和负环管片定位正确，是为了确保盾构始发进入地层沿设计的轴线掘进。管片环面与隧道轴线应根据隧道轴线线型和管片形式综合分析确定，但管片环面必须平整。当盾构进入软土时，盾构可能下沉，水平标高可按预计下沉量抬高。

**7.4.6** 当工作井内场地受限时，可选择分体始发方式，将盾构后配套设备放置地面，通过接长管线来使盾构掘进，此阶段尚不能形成正常的施工掘进、管片拼装、壁后注浆、出土运输等。因此，应随盾构掘进适时延长并保护好管线，跟进后配套设备，并尽快形成正常掘进全工序施工作业流程。

**7.4.7** 洞门圈间隙封堵和注浆时，应重视对盾尾密封刷的保护。

**7.4.8** 当盾构始发掘进时，根据控制地表变形和环保要求，沿隧道轴线和与轴线垂直的横断面，布设地表变形量测点，施工时跟踪监测地表的沉降、隆起变形，并分析调整盾构掘进推力、掘进速度、盾构正面土压力及壁后注浆量和压力等掘进参数，为盾构后续掘进阶段取得优化的施工参数和施工操作经验。

## **7.5 土压平衡盾构掘进**

**7.5.1** 保持土仓压力的目的是控制地表变形和确保开挖面的稳定。如果土仓压力不足，可能发生开挖面漏水或坍塌；如果压力过大，会引起刀盘扭矩或推力的增大而导致掘进速度下降或开挖面隆起。土仓压力是利用开挖下来的渣土填充土仓和气体等平衡介质来建立的，根据地层情况确定土仓内渣土量，通过使开挖的渣土量与排出的渣土量相平衡的方法来保持。因此，根据地层特性和盾构掘进中所产生的地表变形、刀盘扭矩、推力和掘进速度等变化及时调整土仓压力。根据地层自稳能力和土仓压力的变化及时观测并适当地控制螺旋输送机的转速。

**7.5.2** 可从盾构掘进两环以上的状态测量资料分析出盾构掘进趋势，并通过地表变形量测数据判定预设的土仓压力的准确程度，从而调整掘进参数，制定出当班的盾构掘进指令。盾构掘进指令包括每环掘进时的盾构姿态纠偏值、注浆压力与每环的注浆量、管片类型、最大掘进速度和油缸行程差、最大扭矩、螺旋输送机的最大转速等。

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

塑性，稳定工作面和防止喷涌，并降低对刀盘、刀具和螺旋出土机构的磨损。

## 7.6 泥水平衡盾构掘进

**7.6.2 泥浆管理**主要包括泥浆制作、泥浆性能检测，进排泥浆压力、排渣量的计算与控制，泥浆分离等。

根据开挖面地层特性合理确定泥浆参数，宜进行泥浆配合比试验。泥浆性能包括物理稳定性、化学稳定性、相对密度、黏度、含砂率、pH值等。为了控制泥浆特性，特别是在选定配合比和新浆调制期间，对上列泥浆性能进行测试。在盾构掘进中，泥浆检测的主要项目是相对密度、黏度和含砂率。

根据地层条件的变化以及泥水分离效果，需要对循环泥浆质量进行调整，使其保持在最佳状态。调整方法主要采用向泥水中添加分散剂、增黏剂、黏土颗粒等添加剂进行调整，必要时须舍弃劣质泥浆，制作新浆。

**7.6.3 泥水平衡盾构掘进施工**的特征是循环泥浆，用泥浆维持开挖面的稳定，又将开挖渣土与泥浆混合用管道输送出地面。要根据开挖面地层条件，地下水状态、隧道埋深条件等对排土量、泥浆质量、进排泥浆流量、排浆流速进行设定和管理。

**1 泥浆压力的设定与管理：**根据开挖面地层条件与土水压力合理地设定泥浆压力。如果泥浆压力不足，可能发生开挖面的坍塌；泥浆压力过大，又可能出现泥浆喷涌。保持泥浆压力在设定的范围内，一般压力波动允许范围为 $\pm 0.02\text{MPa}$ 。

**2 排土量的设定与管理：**为了保持开挖面稳定和顺利地掘进开挖，排土量的设定原则是使排土与开挖的土量相平衡。理论开挖土量可用掘进距离与开挖面面积乘积得出；实际开挖量为排浆量与进浆量的差值。排土量可用在盾构配备的流量计和密度计进行检测，通过采集数据进行计算，即排浆流量与相对密度的乘积减去进浆流量与相对密度的乘积。泥水平衡主要是流量平衡和质量平衡。

通过计算求出偏差，以检查开挖面状态，也可据此推断开挖面的地层变化。

**7.6.5** 当掘进过程遇有大粒径石块进入泥水仓内，将其破碎或处理，防止其堵塞管道。

## 7.7 盾构姿态控制

**7.7.1** 控制盾构姿态是为实现对管片拼装允许偏差的控制要求，其控制指标可参考本规范第 16.0.3 条的规定。当地铁隧道平面曲线半径小于等于 350m、其他隧道小于等于 40D（D 为盾构外径）时，盾构宜配备铰接系统和超挖刀系统。

**7.7.4** 当偏差过大时，在较长距离内分次限量逐步纠偏。纠偏时需防止损坏已拼装的管片和防止盾尾漏浆。

**7.7.5** 盾构掘进施工中，经常测量和复核隧道轴线、管片状态及盾构姿态，发现偏差应及时纠正。应采用调整盾构姿态的方法来纠偏，纠正横向偏差和竖向偏差时，采取分区控制盾构掘进液压缸的方法进行纠偏；纠正滚动偏差时采用改变刀盘旋转方向、施加反向旋转力矩的方法进行纠偏；曲线段纠偏时可采取使用盾构超挖刀适当超挖增大建筑间隙的办法来纠偏。

## 7.8 开仓作业

**7.8.3** 开仓作业选择在地层较稳定地段时，也需判定开挖面稳定情况，应重视地下水的不利影响，并采取措施加以控制。

**7.8.4** 由于开仓作业复杂而且时间比较长，容易造成盾构整体下沉、地层变形、地表沉降、损坏地表和地下建（构）筑物等。因此，需采取地层加固措施，保持开挖面稳定。

**7.8.5** 气压作业前确保作业设备运行正常、作业时不间断供气，并制定专项方案和操作规定。

2 气压作业需配备备用发电机和备用空压机，并可实现与供电系统、既有供气系统的快速切换，以保持电源和气源的持续供应。

**7.8.6** 本条为强制性条文。盾构掘进施工过程中，由于地质条件的复杂性和不可预见性，通常需要专业技术人员进入盾构开挖仓进行刀具等设备检查、更换作业。开仓作业包括常压作业和气压作业。对于气压作业，开挖仓内气压与开挖工作面土侧压力相适应，以保证开挖面稳定和防止地下水渗漏。因此需要通过理论计算和保压试验确定合理气压值。

开挖仓内工作气压可按下式计算：

$$P = P_w + P_r \quad (10)$$

式中： $P$ ——工作压力值；

$P_w$ ——计算至隧道开挖中心的水头压力；

$P_r$ ——考虑不同地质条件、地面环境及开挖面位置的压力调整值，通常情况下可取 0~20kPa。

对于土压平衡盾构，在开仓前进行渣土输出，同时加入气体进行置换。当开挖仓内压力达到预定值时（预定值不得低于计算所得的理论工作压力），打开自动保压系统。当仓内土体降低到设定高度后，若开挖仓压力保持 2h 无变化或不发生大的波动时，表明保压试验合格。对于泥水平衡盾构，采用优质泥浆置换开挖仓泥浆，在高于掘进时开挖仓泥水压力下制造泥膜，根据泥水、气体逸散速率判断泥膜保压性能，必要时采用浆气多次置换保障泥膜的厚度和强度，若供气量小于供气能力的 10% 时，开挖仓气压能在 2h 内无变化或不发生大的波动时，表明保压试验合格。在气压开仓过程中，若供气量大于供气能力的 50%，则应停止气压作业并重新采用浆气置换修补泥膜至保压试验合格。

**7.8.7** 气压作业具有较高的危险性，一旦处理不当将造成严重后果。因此，需要对其作业要求提出明确规定。

1 地层、开挖仓和地层与盾构壳体间满足气密性要求是为了保证开挖仓内气压不会随作业时间而降低，造成失稳。

2 气压作业顺序一般为先除去土仓中的泥水、渣土，必要时支护正面土体和处理地下水，然后人员进入仓内进行作业。

3 刀具检查时，需清除刀头上粘附的砂土，确认需更换的

刀具。

**4** 保持开挖面和开挖仓空气新鲜是保证进仓人员安全的重要条件。

**5** 由带高压氧舱科室的医院对进仓作业人员进行身体状况检查，体检合格后方可进仓施工。带压进仓作业时间，当压力不大于 0.36MPa 时，应按现行行业标准《盾构法开仓及气压作业技术规范》CJJ 217 的有关规定执行；当压力大于 0.36MPa 时，应按现行国家标准《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521 的有关规定执行。

**7.8.8** 记录内容包括仓内情况、设备状况、刀具编号、原刀具类型、刀具磨损量、刀具运行时间、更换原因、更换刀具类型、位置、数量、更换时间和作业人员等。

## 7.9 盾构接收

**7.9.1** 常规接收是指盾构正常进入接收工作井的施工工艺。

钢套筒接收是指在接收井内安装钢套装置，接收时盾构整体进入钢套筒的施工工艺。钢套筒装置是具有一定密封性能的圆筒形钢结构，其长度尺寸大于盾构机本体，内径尺寸大于盾构机本体外径。钢套筒装置的强度和防水要求达到接收位置的水土压力。

水（土）中接收是在接收井内回填水（土），接收时盾构进入回填水（土）的施工工艺。一般情况下，为减少回填水（土）的工作量，需建立封闭空间，空间应满足盾构机及封堵洞圈的作业尺寸。封堵墙应专项设计，且满足抵抗隧道埋深的水土压力和抗渗的性能要求。水（土）中接收需计算盾构和隧道的抗浮安全系数，必要时可采取增加盾构上方填土厚度、盾构内压重等措施，同时加强盾构姿态的测量工作。

**7.9.2** 盾构接收前，需进行接收条件验收，满足验收条件后方可实施盾构接收。接收条件验收应包含但不限于施工方案、应急预案、监测措施、人机料筹备、技术交底等项目。

**7.9.3** 为了达到隧道贯通误差的要求和使盾构准确进入工作井已设置的洞门位置，在盾构到达前 100m，对盾构姿态轴线进行复测与调整。

**7.9.4** 为防止由于盾构推力过大以及盾构开挖面前方土体挤压而损坏工作井洞口门结构，当开挖面离洞门 10m 起保证出土量，开挖面离洞门结构 30cm~50cm 时盾构停止掘进，并使开挖仓压力降到最低值，以确保洞门破除施工安全。

**7.9.5** 盾构接收时，由于盾构开挖仓压力降低，管片间压紧力也相应减小，因此需采取措施使环缝挤压密实。一般采用隧道纵向拉紧装置。

## **7.10 调头、过站和空推**

**7.10.1** 盾构调头和过站可选择方案较多，可根据工作井尺寸、盾构直径、重量及移动距离等确定。由于盾构重量和体积大，起吊、移动、调头工作时间长，需预先编制安全、可靠的调头和过站技术方案。当盾构在工作井内调头时，可采用临时转向台调头；小直径且重量轻的盾构，可采用起重机直接起吊调头。当盾构在井下通过车站移动至另一个区间掘进施工时，其移动距离较大，可采用移车台或在预设轨道上使用顶推、牵引等方法调头。

**7.10.4** 盾构空推时无周边围压，管片易变形、接缝易渗漏，需采取管片壁后注浆、管片纵向拉紧等措施。注浆时避免浆液窜至刀盘前方。当盾构刀盘重新切削岩土时，控制盾构滚转角。

## **7.11 盾构解体**

**7.11.1** 盾构解体可参考本规范第 7.2 节规定执行。

## 8 特殊地段施工

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 由于工程地质条件和施工条件的复杂性，盾构施工中经常遇到特殊情况。对于特殊情况，采取有针对性的施工措施，保证工程质量，避免出现施工安全事故。

2 地铁隧道平面曲线半径小于 300m，其他隧道平面曲线小于 40 倍盾构直径的曲线地段。

6 小净距地段包括了邻近隧道间平行、重叠等情况，施工造成的影响与隧道间距、断面尺寸及形式、支护体系、围岩特性等密切相关。

9 有害气体主要成分为甲烷 ( $\text{CH}_4$ )，其次为  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NO}_2$  及  $\text{SO}_2$  等。有害气体浓度过高会导致隧道内施工人员窒息伤亡，当甲烷浓度在 5.3%~15% 时遇火可能引起爆炸。

**8.1.2** 盾构在特殊地段施工与在一般地段施工不同，其掘进施工难度大、控制沉降要求严、安全风险高，如穿过建（构）筑物施工时必须严格控制地表沉降以保证建（构）筑物的安全；遇到地下障碍物盾构可能无法掘进；穿过水域时，若措施不当可能引起突水或灾难性后果。因此，盾构在特殊地段的施工技术及管理需遵守的规定比一般地段的施工要求更严格，制定并执行更详细的针对性计划和措施。

### 8.2 施工措施

**8.2.1** 由于覆土荷载减小，使开挖面压力允许范围缩小，在盾构掘进中，严格控制开挖面压力，特别注意使用的泥浆或添加剂的性能，尽量减小对地表的影响。在浅覆土层地段，由于盾尾空隙会立即影响到地面或地下建（构）筑物，需对壁后注浆进行严

格管理以控制地层变形。

当穿越水域浅覆土层施工时，采取保持开挖面稳定、防止泥浆或添加剂泄漏、喷出等措施。同时，还应采取防止隧道上浮和变形的相应措施。

**8.2.2** 小半径曲线地段施工时盾构转向幅度较大，因此要采取措施保证盾构顺利转向，并确保成型隧道质量。

2 管片环位置、宽度和楔形量应满足小半径曲线拟合要求。

3 使用超挖刀进行开挖时，超挖越大，小半径盾构掘进越容易，但是会引起隧道变形过大，采用相关措施控制超挖量。

4 当壁后注浆时，根据超挖量，适当增加浆液注入量。

**8.2.3** 当大坡度地段施工时，分别针对上坡段和下坡段采取相应措施。

2 由于盾构前部较重，自重向前方倾斜，因此盾构在上坡掘进时，需要加大下半部范围盾构千斤顶的推进能力。

**8.2.5** 当施工地段的地面存在建（构）筑物时，应采取措施防止对建（构）筑物的安全性造成影响。

2 如果调整盾构掘进参数和注浆参数不能满足对地面建（构）筑物的保护要求时，可对建（构）筑物的基础或结构进行加固或托换。

**8.2.6** 隧道净间距小于 0.7 倍盾构直径的地段，通常称为小净距地段。小净距地段施工主要注意隧道间的相互影响。

1 小净距隧道施工的相互影响，一般考虑下列四种影响：

1) 后续盾构的推进对既有隧道的挤压和松动效应；

2) 后续盾构的盾尾通过对既有隧道的松动效应；

3) 后续盾构的壁后注浆对既有隧道的挤压效应；

4) 先行盾构引起的地层松弛而造成或引起后续盾构的偏移等。

伴随以上效应会发生管片变形、接头螺栓变形、断裂、漏水、地表下沉等现象。因此要采取相应措施，如加强变形监测等。

4 盾构紧邻既有隧道施工时，当采取土体加固、洞内钢支撑等措施仍不能满足既有隧道变形控制要求时，可先施作暗挖隧道，然后盾构切削暗挖隧道的二衬素混凝土通过。

**8.2.7 水域地段**是指盾构施工穿越江、河、湖、海等地段。水域地段施工主要受地下水压高的影响。

1 江河等水域地段地层情况复杂，需进行详细地质和水文地质调查，还应考虑地质钻孔的位置与对施工的影响，防止冒浆和地层坍塌。

5 通常河床下水量大、水压高且地质条件复杂，在水底地段更换刀具时，为防止涌水、坍塌，通常需要带压进仓更换刀具，其作业难度大、危险性高。因此在盾构长距离穿越水域地段施工时，盾构采用高可靠性的耐磨刀具和盾尾密封，尽量减少换刀和更换盾尾密封的次数和数量。施工中根据地质条件、隧道长度、采用的掘进刀具、掘进参数以及盾构掘进状况等预测刀具的磨损和盾尾密封的磨损情况，预先制定水底地段更换刀具和盾尾密封的计划和专项方案及防止涌水、坍塌的预案，做好包括换刀设备、设施、料具及应急抢险等在内的各项准备，并严格实施。

**8.2.8 地质条件复杂地段**，以及砂卵石和岩溶地段施工时地层情况复杂，视具体情况采取相应措施，必要时需提前对地层进行处理。

1 不同的刀具其破岩（土）机理不同，相同的刀具对不同地层掘进效果差异大。在掘进前，针对盾构掘进通过的地层在隧道纵向和横断面的分布情况来确定刀具的组合布置方式和更换刀具的计划。如：对于全断面为岩石地层宜采用盘形滚刀破岩；全断面软土（岩）宜采用齿刀切削；断面内为岩、土且软硬不均互层的复合地层宜采用滚刀和齿刀进行混合安装布置。

2 地层的软硬不均会对刀具产生非正常的磨损（如弦磨、偏磨等）甚至损坏。因此，在软硬不均地层的复合地层的盾构掘进中，通过对盾构掘进速度、刀具贯入度、参数和排出渣土等的变化状况的观察分析或采取开仓等方法加强对刀具磨损的检测，

据此及时调整参数保护刀具或更换刀具，以较少的刀具消耗实现较高的掘进效率。换刀时应合理选择换刀点，并做好预加固处理，以适应前方地层的掘进。

**3** 在盾构穿过软硬不均且复杂变化的复合地层时，根据地层强度情况、地下水状况、地表沉降控制要求等选择合适的掘进模式。当地层软弱、地下水丰富且地表沉降要求高时，采用土压平衡模式掘进；当地层较硬且稳定时，可采用敞开模式掘进；当地层软硬不均时，则可采用局部气压（半敞开模式）或土压平衡模式掘进。当采用土压平衡模式掘进时，盾构掘进技术要求、操作方法及掘进管理等与土压平衡盾构相同。在确保地表沉降控制前提下，可根据地层条件酌情选择敞开模式、局部气压（半敞开模式）和土压平衡模式，也可在掘进中进行模式转换。掘进模式转换视地质条件和工况环境等因素决定。在掘进模式转换过程中，特别是土压平衡和敞开模式相互转换时，采用局部气压（半敞开模式）逐步过渡，并在地层条件较好、稳定性较高的地层中完成掘进模式转换，有利于防止在掘进模式转换期间发生涌水、地层过大沉降或坍塌，从而确保施工安全。

**4** 为保证渣土改良效果，需先进行渣土改良试验。

**9** 先探明孤石的大小、强度及分布等情况，并根据现场条件制定合理的处理方法，优先采用地面预处理，不具备条件的采取洞内处理。对于长距离孤石地层盾构掘进，提前布局换刀点并做好预加固处理，避免刀具严重损伤造成被迫停机。采用地表钻孔爆破排除孤石应根据孤石大小、刀盘开口尺寸、螺旋输送机出渣能力等制定爆破方案。孤石洞内处理必须先对影响范围内的地层进行加固，达到加固要求后才能开仓作业。

**10** 先探明岩溶、洞穴的发育情况，包括大小、形状及分布等，在盾构掘进前进行注浆处理，可采用抽芯钻孔和标贯钻孔检查注浆质量和岩溶、洞穴的充盈程度。盾构掘进中，加强出土量或泥浆量、同步注浆压力等参数的监控，发现异常时停止掘进。

**8.2.9** 施工地段中存在甲烷等有害气体，如处理不当将会引发

安全事故。因此，需要采取措施确保施工安全。

2 有害气体主要通过螺旋输送机、刀盘与盾壳接缝、盾尾间隙、管片接缝等处渗入隧道。施工中加强通风，通过稀释和排放，防止有害气体聚集、局部循环。特殊情况下，可以在开挖面钻孔或地表设置排气孔等，对有害气体进行提前抽排，以确保施工安全。

3 配置必要的检测或监测设备，对有害气体进行监测、预警，必要时撤离作业人员。

4 在存在瓦斯等易燃易爆气体地段施工时，通风、供电、供水、车辆等设备应满足防爆要求。

## 9 管片拼装

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 场内管片吊运下井前，应在地面对防水密封材料粘贴效果进行验收。由施工单位全数检查，监理单位抽查。施工单位检查验收后，填写验收记录，报监理验收。管片在下井前，除粘贴好管片接缝防水密封条外，还需粘贴传力缓冲衬垫，并备齐管片接缝的连接件和配件、防水密封圈等，随管片同时运至拼装作业区。

**9.1.2** 管片选型和拼装位置是管片拼装过程中的关键技术环节，管片姿态控制和成型管片轴线偏差控制是管片拼装质量控制的重要内容。

#### 1 管片选型应符合设计要求。

- 1) 管片类型按照材质可分为钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等；按照构造可分为平板型、箱型等；按照衬砌环适用线性的组合方式可分为普通环管片、通用环管片；按照有无楔形设计可分为楔形环管片、标准环管片。
- 2) 通用环管片一般分为梯形（等腰梯形、直角梯形），平行四边形，六边形。通过有序旋转和组合，可以适用于不同曲率半径的隧道，可用于直线段、左转弯段、右转弯段和竖曲线段等工况。
- 3) 楔形环管片是具有一定锥度的管片环，主要用于曲线地段和蛇形修正纠偏。楔形量由设计根据管片种类、管片宽度、管片环外径、曲线半径、曲线段楔形管片环使用比例、盾尾间隙和管片制作的方便性等计算确定。

- 4) 盾构隧道平、竖曲线的线路可以通过以下三种管片衬砌组合来拟合：①标准环+左转弯环+右转弯环，国内使用较为普遍；②左转弯环+右转弯环；③通用环，我国南方地区使用较多，有不断拓宽使用的趋势。
- 5) 管片排版包括两阶段：一是施工前，根据设计轴线的走向和管片的几何特征，对管片进行预先统筹安排，称为管片的设计排版，用以确定管片类型、组合方式、各类型管片的使用数量等；二是施工过程中，根据现场实测的盾构姿态、趋势和管片姿态，对设计排版进行修正，确定新的排版方案。
- 6) 管片拼装方式分为通缝拼装和错缝拼装。通缝拼装能够使衬砌结构获得较好的柔性，在良好地层中，能够充分调动周围土体的抗力，在保证衬砌结构满足使用要求的情况下，使衬砌设计更加经济合理，但在变形量大的软弱土体中或环境条件复杂的特殊地段，采用此种拼装方式衬砌结构容易发生较大变形。错缝拼装能够使衬砌环接缝刚度分布均匀，提高了管片环纵向刚度，减小管片接缝和整体结构的变形，利于防水质量，但截面内力也相应增大。错缝拼装时，管片环、纵缝相交处仅三缝交汇，相对于通缝拼装的环、纵缝十字形相交，在接缝防水上较易处理。因此在防水要求较高（如水域隧道）或软土地区盾构法隧道中，通常采用错缝拼装。

**9.1.3 管片在地面上按拼装顺序和管片类型排列堆放。**堆放场地基面需进行硬化处理，平整坚实，达到管片堆放荷载的承载力要求，防止发生差异沉降或沉陷，而导致堆放管片倾覆或地面塌陷等事故发生。

## 9.2 拼 装 作 业

**9.2.1 拼装区容易积存泥水、杂物，影响管片拼装质量，易引**

起错台、拼缝不紧密、管片姿态偏差、环缝防水密封垫损坏、拼缝漏水等质量问题。

**9.2.2** 当反复伸缩盾构推进液压缸时，应保持盾构不后退、不变坡、不变向。非拼装原因而需要伸缩液压缸时，临时或长期停机时，均需合理选择与设置有效的液压缸数量、油压，以保持推力和行程，保证盾构姿态稳定。

**9.2.3** 管片拼装应按照拼装位置和拼装顺序，分组有序地回缩单块拼装位置的液压缸，并及时复位。

管片拼装时，先安装拱底落底块管片，作为第一块定位管片，然后自下而上，左右交叉，对称依次拼装标准块和临接块管片，最后纵向插入安装封顶块管片，封顶成环。

**9.2.4** 螺栓紧固为管片螺栓连接质量控制要点，其紧固扭矩应符合设计要求。每环管片拼装过程中，随管片定位的同时用螺栓连接，并对螺栓进行初紧。待掘进下一环后，管片脱出盾尾，已具备拧紧螺栓的工作面，此时应对该环螺栓进行再次拧紧。后续盾构掘进时，在每环管片拼装之前，对相邻已拼装成环的3环范围内连接螺栓进行全面检查并复紧。

**9.2.6** 管片衬砌环椭圆度测量，可以反映衬砌结构收敛变形特征。椭圆度分两个阶段进行测量，第一阶段为管片拼装成环尚未脱出盾尾，即无外荷载作用；第二阶段为管片脱出盾尾承受外荷作用。两阶段椭圆度测量在通视条件下进行。椭圆度抽查频次结合地域特征确定。

**9.2.7** 盾构空推时，根据已建结构断面尺寸、隧道线型等条件，合理设计施作底部导台。导台可选用素混凝土、钢筋混凝土、钢结构等结构形式，并在导台基面预埋安装导向轨。导台结构的承载力满足盾构空推施工要求，防止盾构穿越时导台发生变形，对管片结构质量和轴线控制产生影响。盾构空推前进时，应提供充足的顶推反力，以保证管片拼装质量和管片防水效果。管片壁后填充材料和工艺应满足设计要求，达到填充密实、固结及时、强度满足、防水有效的要求，以保证管片结构稳定，受力均匀，防

止产生管片变形、错台、偏位、渗漏水等质量问题。

**9.2.8** 管片上浮、偏移、大范围错台是受工程地质和水文地质条件、盾构掘进控制、管片拼装质量、壁后注浆效果等各种因素综合作用形成的，但管片上浮和偏移的外部条件主要是盾构与地层间的开挖间隙的存在和地下水产生的整体浮力造成的。在饱和软土地层盾构掘进时，通过同步注浆使用“厚浆”浆液等同步注浆材料，以及采用多次补浆等方法，已使此现象得到了较好控制。而富水硬岩地层，盾构管片上浮、偏移和大范围错台、裂缝的出现，较难控制，成为盾构隧道质量控制的重点。

盾构在富水硬岩地层掘进时，通常采取必要的堵水或排水措施，减小地层水压力对管片稳定性的影响，以及地下水量对壁后浆液的稀释和冲蚀作用，管片壁后注浆选择凝结速度快、后期强度高、遇水不易稀释或离析的浆液材料和工艺方法，以及根据地层条件和监控量测结果，及时进行管片壁后补充注浆。

### 9.3 拼装质量控制

**9.3.4**、**9.3.5** 本条增加了铁路隧道、市政隧道、油气隧道等工程盾构管片拼装的质量控制标准。

1 铁路隧道管片拼装质量应符合《高速铁路隧道工程施工质量验收标准》TB 10753-2010 第 13.5.4 条的规定。

2 市政隧道管片拼装质量应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008 第 6.7.6 条中表 6.7.6-1 的规定，且高程采用管片环底高程。

当管片衬砌作为给水排水管道的套管或管廊时，应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008 第 6.7.6 条中表 6.7.6-2 管道贯通后的允许偏差规定，盾构隧道贯通后，其管底高程允许偏差为 $\pm 100\text{mm}$ 。按照过程预控、预留变形富裕量的原则，管片拼装过程中的允许偏差值小于隧道贯通后成型隧道验收的允许偏差值，同时结合以往盾构施工经验，则对应盾构掘进时，盾尾内管片拼装成环的管片环底高程允许偏差值取

±50mm。

3 电力隧道管片拼装质量的控制标准在现行规范中无明确规定，鉴于本条中市政隧道管片拼装允许偏差值可满足电力隧道施工过程控制要求，故将其归入市政隧道，执行相同标准。

4 油气隧道贯通后成型隧道的轴线允许范围及管片拼装质量允许偏差值在现行国家标准《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424 中进行了规定。按照过程预控、预留变形富裕量的原则，管片拼装过程中的允许偏差值小于隧道贯通后成型隧道验收的允许偏差值，同时结合以往盾构施工经验，规定了本条油气隧道拼装过程质量控制标准。

## 9.4 管片修补

9.4.2 管片修复方案按设计要求制定。目前，国内已有隧道内张钢圈加固施工工法，可以提高隧道结构承载力。

# 10 壁后注浆

## 10.1 一般规定

**10.1.1** 壁后注浆分为同步注浆、即时注浆和二次注浆。同步注浆和即时注浆与盾构掘进同步进行，二次注浆根据隧道稳定状态和环境保护要求进行。

同步注浆是在盾构掘进的同时通过盾构注浆管和管片的注浆孔进行壁后注浆的方法；即时注浆是在掘进后迅速进行壁后注浆的方法；二次注浆是对壁后注浆的补充，其目的是填充注浆后的未填充部分，补充注浆材料收缩体积减小部分，处理渗漏水和处理由于隧道变形引起的管片、注浆材料、地层之间产生剥离，通过填充注浆使其形成整体，提高止水效果等。注浆方法、工艺和单、双液材料等应根据地层性质、地面荷载、允许变形速率和变形值、盾构掘进参数等进行合理选定。惰性浆液一般不宜用于对环境地表沉降和隧道变形有严格要求的工程。

**10.1.2** 管片注浆工程为永久工程的一部分，管片与地层间隙填充密实。可采用地质雷达扫描或打开管片注浆孔进行放水试验等对填充质量进行检测。

**10.1.3** 根据地质条件、水土压力、上覆土厚度、注浆压力分布等严格控制壁后注浆压力、注浆量，选择合适的注浆材料，避免注浆量和注浆压力选择不当引起地层劈裂、地层变形、隧道上浮以及注浆材料对环境的污染。

## 10.2 注浆材料与参数

**10.2.2** 注浆材料的选用按地质条件及环保要求并经试验合理选定，浆液一般要求如下：

- 1 注浆作业全过程浆液不易产生离析；

- 2 具有较好的流动性，易于注浆施工；
- 3 压注后浆液固化收缩率小；
- 4 有较好的不透水性能；
- 5 使用前进行材料试验，符合要求后方可正式用于工程。

**10.2.3** 注浆量和注浆压力是同步注浆的两个重要的控制参数，注浆过程中密切关注意浆量和注浆压力的变化。

**10.2.4** 注浆压力过大会导致浆液溢出地面或造成地表隆起，应力过小会降低注浆作用。注浆出口压力稍大于注浆出口处的静止水土压力，注浆压力一般大于出口压力 0.1MPa~0.3MPa。

**10.2.5** 同步和即时注浆的注浆量宜按下式计算：

$$Q = \lambda \times \pi(D^2 - d^2)L/4 \quad (11)$$

式中：Q——注浆量（m<sup>3</sup>）；

$\lambda$ ——充填系数，根据地质情况，施工情况和环境要求确定；

$D$ ——盾构切削外径（m）；

$d$ ——预制管片外径（m）；

$L$ ——每次充填长度（m）。

在施工中注浆量根据注浆效果作调整，注浆量与盾构掘进时扰动土层范围有关系，扰动范围是变量，一般情况下充填系数取 1.30~1.80；在裂隙比较发育或地下水量大的岩层地段，充填系数一般取 1.50~2.50。

### 10.3 注浆作业

**10.3.1** 根据注浆工艺合理选择注浆设备。注浆设备包括：注浆泵、软管、管接头、阀门控制系统等。选用的设备需保证浆液流动畅通，接点连接牢固，防止漏浆。

拌浆设备宜采用强制式搅拌机，其容量要与施工用浆量相适应。拌浆站应配有浆液质量测定的稠度仪，随时测定浆液流动性能。

**10.3.6** 同步注浆、即时注浆和二次注浆过程应连续进行，防止

浆液凝结，堵塞管路。注浆孔注浆宜从隧道两腰开始，注完底部再注顶部，当有条件时也可多点同时进行。

注浆结束后在一定压力下关闭浆液分配系统，同时打开回路管，停止注浆。注浆管路内压力降至零后拆下管路进行清洗。

# 11 隧道防水

## 11.1 一般规定

**11.1.1** 隧道主要渗漏水通道是管片和管片环接缝。管片接缝防水一般采用防水密封条（止水带），通过螺栓和拼装管片成环后盾构千斤顶反力（压力、顶力）挤压密贴达到防水目的。管片拼装成环后，应检查接缝是否密贴和有无渗水，并采取再次紧固螺栓方法处理。对于严重渗漏处可采用二次补强注浆的方法处理。

对壁后注浆孔一般采用有密封垫圈的注浆孔塞防水。

对隧道沉降缝等特殊部位的防水按设计要求进行。

**11.1.3** 盾构隧道渗漏水以管片接缝渗水为主，堵漏方案、材料和施工等可参考现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 的相关规定。

## 11.2 接缝防水

**11.2.4** 嵌缝作业时间根据施工方法、隧道稳定性、施工进度以及现场测试资料等确定，且在无明显渗水后进行。嵌填防水材料时，先刷涂基层处理剂，嵌塞应表面平整，密实、连续、饱满、牢固。

## 12 施工安全与环境保护

**12.0.6~12.0.9** 条文相关数据是根据《铁路隧道工程施工安全技术规程》TB 10304-2009 的有关规定和实际施工经验确定的。

**12.0.10** 盾构法隧道施工产生的废渣、废水应分类定点存放，及时清理清运。施工现场的渣土池、排水设施和污水处理设施布设合理，对含有化学污染物的废水、废液，采用密闭容器收集处理。渣土池采取必要的覆盖措施，防止扬尘扬土。

**12.0.11** 盾构法隧道施工需采取针对性措施加强现场环境保护：

1 施工现场噪声排放应符合现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的规定，振动控制符合现行国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070 的规定；

2 施工中选择噪声、振动较小的施工方法及机械，必要时设置隔声设施或防振装置，特殊情况下可安装防声罩、消声装置等对机械进行降噪处理；

3 施工污水进行沉淀过滤处理，符合现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 的规定后排入污水管网；

4 降水施工时对影响范围内的建（构）筑物进行监测，防止地下水位下降造成建筑物不均匀沉降、地表下沉等。

## 13 盾构保养与维修

**13.0.1** 盾构的保养与维修遵循预防为主、状态检测、强制保养、按需维修、养修并重的原则。

**13.0.2** 盾构相关技术文件是指制造企业提供的产品图纸、系统原理图、产品使用说明书和产品保养手册等。盾构保养与维修包括日常保养与维修和定期保养与维修。

日常保养与维修在每施工班组作业前后及设备运转时进行，内容是“检查、调整、紧固、润滑、清洁”，并对检查中发现的问题及时处置。由专业人员对盾构运转状况进行外观目测和仪表数据观测，采用视、听、触、嗅等手段，检查盾构及后配套设备的运转情况，观测主控室的运转参数，检查机件的异响、异味、发热、裂纹、锈蚀、损伤、松动、油液色泽、油管滴漏等，初步判断盾构的工作状态。必要时可应用专业化便携式仪器仪表进行辅助。

日常保养与维修包括以下内容：

- 1 各部位的螺栓、螺母松动检查并拧紧；
- 2 异常声音、发热检查；
- 3 液压油、润滑油、润滑脂、水、空气的异常泄漏检查；
- 4 各润滑部位供油、供脂情况检查并补充；
- 5 油位检查及补充；电源电压及掘进参数检查确认；
- 6 电气开关、按钮、指示灯、仪表、传感器检查并处置；
- 7 液压、电气、泥浆、水、空气等管线检查确认并处置；
- 8 安全阀设定压力检查并确认；
- 9 滤清器污染状况检查确认并处置。

定期保养与维修是指按规定的运转周期或掘进长度对盾构主机及后配套设备进行检查和维护。

定期保养与维修分为周、月、季、半年和年保养。

**1 周保养与维修包括以下内容：**

- 1) 检查油位、液压油滤清器有无泄漏；
- 2) 检查旋转接头，用润滑脂加注枪给轴承注油；
- 3) 检查刀盘驱动主轴承，检测油污染程度、含水量；
- 4) 检查刀盘驱动行星齿轮的油位，监听运行声音；
- 5) 检查推进油缸，润滑关节轴承；
- 6) 检查螺旋输送机变速器的油位，润滑螺旋输送机轴承、后闸门、伸缩导向（土压平衡盾构）；
- 7) 检查螺旋输送机前闸门的密封性能；
- 8) 清理电动机、液压油泵的污物；
- 9) 检查铰接油缸，对润滑点注脂；
- 10) 润滑管片拼装机、管片吊机、管片输送机的润滑点，润滑所有轴承和滑动面；
- 11) 检查送排泥浆泵的密封及送排泥浆管道的磨损情况（泥水平衡盾构）；
- 12) 检查碎石机相关管路的磨损情况（泥水平衡盾构）；
- 13) 检查空压机温度，检查凝结水和冷却器污染；
- 14) 液压油箱油位开关操作测试；
- 15) 检查皮带运输机各滚子的转动、刮板磨损情况（土压平衡盾构）；
- 16) 检查壁后注浆系统所有接头处的密封情况，润滑所有润滑点，彻底清理管线；
- 17) 检查并清洁主控室 PLC 及控制柜，检查旋钮、按钮、LED 显示的工作情况；
- 18) 检查并清洁风水管卷筒及控制箱、高压电缆卷筒及控制箱、传感器及阀组、接线盒及插座盒，送排泥浆泵站、照明系统等；
- 19) 检查变压器的油温、油标，清除变压器上的水污，监听变压器运行声音；

- 20) 检查刀具的磨损情况，当刀具磨损达到一定程度或由于地层条件变化时，进行刀具更换；刀具更换必须在确保安全的前提下进行，并做好更换记录。
- 2 月保养与维修包括以下内容：
- 1) 润滑人闸的铰链；
  - 2) 检查螺旋输送机的螺旋管的壁厚（土压平衡盾构）；
  - 3) 检查皮带运输机变速器油位、皮带张力（土压平衡盾构）；
  - 4) 液压油取样检测，按质换油；检查或更换滤芯；
  - 5) 检查管片拼装机轴承的紧固螺栓；
  - 6) 检查空压机皮带、更换机油过滤器、按质换油；
  - 7) 润滑后配套拖车行走轮的调节螺栓和轮轴；
  - 8) 检查注浆压力表及传感器；
  - 9) 检查蓄能器氮气压力，必要时添加；
  - 10) 检查刀盘驱动装置行星齿轮的冷却水系统；
  - 11) 检查主驱动密封的承压情况。
- 3 季保养与维修包括以下内容：
- 1) 润滑膨润土泵轴承（土压平衡盾构）；
  - 2) 更换油脂泵齿轮油；
  - 3) 更换后配套空压机空滤器、油滤器，检测溢流阀，紧固电气接头；
  - 4) 检查循环水回路的水质；
  - 5) 润滑进排浆泵的轴承（泥水平衡盾构）；
  - 6) 用超声检测仪检查进排浆弯管、进排浆泵壳体的壁厚（泥水平衡盾构）；
  - 7) 测量进排浆泵电动机的绝缘电阻（泥水平衡盾构）。
- 4 半年保养与维修包括以下内容：
- 1) 更换所有液压油滤清器；
  - 2) 检查刀盘驱动的齿轮油；必要时更换；
  - 3) 检查电缆卷筒、水管卷筒传动装置油位，检查链条张

紧并润滑；

4) 用压缩空气清洁后配套空压机溢流阀。

5 年保养与维修包括以下内容：

1) 注浆泵进行安全检查，检查主轴密封；

2) 更换空压机空滤器，检查分离器，按质换油；

3) 润滑电缆卷筒、水管卷筒的轴承，按质更换变速箱齿轮油；

4) 检查紧固变压器接头，用干燥压缩空气清除灰尘；

5) 更换皮带输送机齿轮油（土压平衡盾构）；

6) 后配套拖车操作运行安全检查。

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

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

## 14 施工运输

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 隧道施工运输包括：渣土、管片以及各种机具机械设备、材料器材的运输装卸。垂直运输与水平运输的转换作业应保证作业人员联络通畅。

### 14.2 水平运输

**14.2.1** 隧道内采用有轨运输时，可根据隧道净空选用单轨、双轨运输，并按施工需要配备足够数量的编组列车。通常配备专用管片运输车、出渣斗车等。当使用平板车装运管片、轨料、钢管等大尺寸材料时，需固定牢靠。对于空间狭小，无法使用道岔时，可以采用回转台、转运车等辅助方式。

采用卡车、内燃机车牵引时考虑对空气造成的污染，确保隧道内的通风满足人、机工作的需求。

### 14.3 垂直运输

**14.3.5** 垂直运输通道内标识明确，不得有障碍物，并与人行道通道分开管理。

### 14.4 管道运输

**14.4.1** 管道运输具有占用空间小、运输能力强等特点，通常适用于泥水平衡盾构的掘进施工。通常情况下，泥浆泵能通过最大尺寸为管道直径的固体颗粒，泵送泥水混合物的最大密度为  $1.5\text{t}/\text{m}^3$ 。

进排泥浆的管道按需要设置泵和阀门。依据管道上设置的压力计、流量计、密度计等的实测值计算排泥浆量。根据盾构外

径、开挖面的地层条件、盾构制造厂提供的参考数据确定排泥管道直径。

输送过程中稳定控制和调节开挖面的泥浆压力，保证管道内无渣土沉淀。

**14.4.2** 盾构后部的可调速式泥浆泵在盾构掘进时，经过可伸缩管或柔性软管把混合物输送到后部的管道中。在长距离输送时，按需要设置泥浆泵和阀门。

**14.4.3** 管道接头处、管道拐弯处磨损较快，定期进行检查和维修，避免发生爆裂。

## 15 施工监测

### 15.1 一般规定

**15.1.2** 对施工区域及沿线周边环境复杂（特殊）地段的构（建）筑物及重要设施进行安全评估或评定，并制定应急预案，以便满足突发异常变形或抢险等对施工监测的需要。

**15.1.4** 同步采集地面和隧道内监测数据，便于全面了解、分析变形动态。

### 15.2 施工周边环境监测

**15.2.1** 施工周边环境监测是指盾构施工穿越区域，因土体扰动影响土力平衡引起的地面道路、管线、建（构）筑物、桥梁、既有轨道交通等产生的沉降、隆起、倾斜、错位等变化与变形的测量。本规范表 15.2.1 中的危房是指经过鉴定或进行评估所确定的。

**15.2.5** 建（构）筑物沉降稳定标准，由沉降量与时间关系曲线判定，当最后 100d 的沉降速率小于  $0.01\text{mm/d}\sim 0.04\text{mm/d}$  时，认为已进入稳定阶段，具体取值宜根据各地区地基上的压力性能确定，也可按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定执行。道路和地下管线等其他周边环境的沉降稳定标准宜根据地方经验或评估结果确定。

### 15.4 监测频率

**15.4.2** 本条文对盾构法隧道掘进面前方和后方分别提出了不同的监测频率。掘进面前方的监测对象主要是周围岩土体和周边环境，具体监测频率根据掘进面与监测点或监测断面的水平距离确定。开挖面后方的监测对象主要是除了周围岩土体和周边环境外，还有管片结构变形、位移。隧道结构变形、位移监测在衬砌

环脱出盾尾能通视时进行，具体监测频率根据掘进面与监测点或监测断面的水平距离确定。沿隧道方向主要影响范围是根据实际工程经验确定为 5 倍洞径至 8 倍洞径之间。

#### 15.4.4 现场巡查报表可采用表 3。

表 3 盾构法隧道现场巡查报表

监测工程名称：

编号：

巡查时间：            年 月 日 时

天气：

分类	巡查内容	巡查结果	备注
施工 工况	盾构始发端、接收端土体加固情况		
	盾构掘进位置（环号）		
	盾构停机、开仓等的时间和位置		
	联络通道开洞口情况		
	其他		
管片 变形	管片破损、开裂、错台情况		
	管片渗漏水情况		
	其他		
周边 环境	建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施能否正常使用		
	地下构筑物积水及渗水情况，地下管道的漏水、漏气情况		
	周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况		
	河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现漩涡、气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等		
	工程周边开挖、堆载、打桩等可能影响工程安全的其他生产活动		
	其他		
监测 设施	基准点、监测点的完好状况、保护情况		
	监测元器件的完好情况、保护情况		
	其他		

现场巡查人：

监测项目负责人：

监测单位：

第 页 共 页

## 15.5 监测控制值和预警

**15.5.1** 监测预警是整个监测工作的核心，通过监测预警能够使相关单位对异常情况及时作出反应，采取相应措施，控制和避免工程自身和周边环境等安全事故的发生。工程监测预警需要有一定的标准，并按照不同的等级进行预警，因此，盾构隧道工程监测需制定监测预警等级和预警标准。

目前，我国采用盾构法隧道施工的地区或城市较多，由于各地的建设管理水平、施工队伍的素质和施工经验以及工程地质条件和施工环境不同，对工程监测预警的分级不尽相同，每级的分级标准也不完全一致。为了便于预警工作的统一管理，通常由建设单位组织设计单位、施工单位、监理单位及相关专家，根据工程特点、监测项目控制值、当地施工经验等，研究制定监测预警等级和预警标准。

**15.5.2** 监测项目控制值是工程施工过程中对结构自身及周边环境安全状态或正常使用状态进行判断的重要依据，也是工程设计、工程施工及施工监测等工作的重要控制点。监测项目控制值的大小直接影响到结构自身和周边环境的安全，对施工进度和监测手段的确定有一定影响。因此，合理确定监测控制值是一项十分重要的工作。隧道管片结构竖向位移、净空收敛及隧道周边环境等监测控制值，根据工程地质条件和当地施工经验确定，也可参照表 4~表 7 执行。

表 4 隧道管片结构竖向位移、净空收敛监测控制值

监测项目		累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
管片结构沉降	坚硬~中硬土	10~20	2
	中软~软弱土	20~30	3
管片结构差异沉降		$0.04\%L_i$	—
管片结构净空收敛		$0.2\%D$	3

注： $L_i$ —沿隧道轴向两监测点间距， $D$ —隧道开挖直径。

表 5 地表沉降（隆起）监测控制值

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

注：1 本表主要适用于标准断面的盾构隧道；

2 本表中工程监测等级参考国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911-2013第 3.3.5 条规定划分，可根据当地经验结合地质条件进行调整。

表 6 地下管线沉降及差异沉降控制值

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

注：1 燃气管道的变形控制值适用于 100mm~400mm 的管径；

2  $L_g$ —管节长度。

表 7 城市轨道交通既有有线隧道结构变形控制值

监测项目	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
隧道结构沉降	3~10	1
隧道结构上浮	5	1
隧道结构水平位移	3~5	1
隧道差异沉降	$0.04\%L_i$	—
隧道结构变形缝差异沉降	2~4	1

#### 15.5.4 监测预警等级的划分要与工程所在地区、工程项目特

点、施工经验相适应，具体的预警等级可根据工程实际需要确定，一般取监测控制值的 70%、85%和 100%划分为三级。北京市轨道交通工程监测预警体系较为成熟，其监测预警分级标准见表 8。

表 8 监测预警分级

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

## 15.6 监测成果及信息反馈

**15.6.2** 对监测数据进行校核，签字齐全，同时进行可靠性分析，排除仪器、读数等操作过程中的误差，剔除和识别各种粗大、偶然和系统误差，避免漏测和测错，保证监测数据的可靠性和完整性。对监测数据进行整理，包括各种物理量的计算、图表制作、物理量的时间速率曲线和空间分布图的绘制等。数据分析通常采用比较法、作图法和数值计算等，分析各测项物理量值大小、变化规律、发展趋势等。

**15.6.3** 常用回归分析函数如下：

$$U = A \times \lg(1 + t) \quad (12)$$

$$U = A \times e^{-B/t} \quad (13)$$

$$U = t/(A + Bt) \quad (14)$$

$$U = A(1 - e^{-Bt}) \quad (15)$$

$$U = A + B/[\lg(1 + t)] \quad (16)$$

$$U = A\{1 - [1/(1 + Bt)]^2\} \quad (17)$$

式中：U——位移值 (mm)；

A、B——回归系数；

$t$ ——测点埋设后的时间。

**15.6.4** 监测成果分为日报、警情快报和阶段性报告。监测成果采用文字、表格、图形、照片等形式，表达直观、可读性强。监测成果具体内容参考如下：

**1 日报**

- 1) 工程施工概况；
- 2) 现场巡视信息：巡视照片、记录等；
- 3) 监测项目日报表：仪器型号、监测日期、观测时间、天气情况、监测项目的累计变化值、变化速率值、控制值、监测点平面位置图等；
- 4) 监测数据分析与说明；
- 5) 结论与建议。

**2 警情快报**

- 1) 警情发生的时间、地点、情况描述、严重程度、施工工况等；
- 2) 监测数据表及累计变化值、变化速率值、监测点平面位置图、巡视照片、记录等；
- 3) 警情原因初步分析；
- 4) 处理措施建议。

**3 阶段性报告**

- 1) 工程概况及施工进度；
- 2) 现场巡视信息：巡视照片、记录等；
- 3) 监测数据表及累计变化值、变化速率值、时程曲线、必要的断面曲线图、等值线图、监测点平面位置图等；
- 4) 监测数据、巡视信息的分析与说明；
- 5) 结论与建议。

**15.6.6** 总结报告包括下列主要内容：

- 1 工程概况；
- 2 监测目的、监测项目和监测依据；
- 3 监测点布设；

- 4 采用的仪器型号、规格和元器件标定资料；
- 5 监测数据采集和观测方法；
- 6 现场巡视信息：巡视照片、记录等；
- 7 监测数据图表：监测值、累计变化值、变化速率值、时程曲线、必要的断面曲线、等值线图等；
- 8 监测数据、巡视信息的分析与说明；
- 9 结论与建议。

## 16 成型隧道验收

**16.0.1** 当发现有本条所指质量问题时，采取可行的技术措施修补或加强处理。修补或加强处理方案需经业主和设计单位认可。

**16.0.2** 发现隧道防水效果达不到设计要求时，应采取注浆、堵漏等可行的技术措施予以处理。处理方案需经业主和设计单位认可。