

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. 挖进施工; 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 挖进施工测量	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 挖进施工.....	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

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

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，并应按下式计算：

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

式中： D_s ——工作井预留洞门直径（m）；

H ——洞门井壁厚度（m）；

α ——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）；

Δe ——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；

Δs —— 测量误差 (m)，取 0.10m；

Δg —— 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附合路线或附合网。

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，采用附合路线形式，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	$\leqslant 5$	$\leqslant 2$	± 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	± 4	$1/60000$	± 2.5	4	6	$\pm 5\sqrt{n}$	$1/35000$	± 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、附合或环线闭合差	
偶然中误差	全中误差				与已知点联测	附合或环线	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	±8√L	±2√n

注： L 为往返测段、附合或环线的路线长度（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合路线形式，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，应形成附合路线或结点网。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° 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 $\pm 3\text{mm}$ ；当形成附合或闭合导线时，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_{φ} ——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，并应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，并应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 坯。

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，并应保持盾构姿态稳定。

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°；
- 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，应采取措施减小已成环管片竖向位移和横向位移对隧道轴线的影响。

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，并应进行评估，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，并应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，并应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%₀ 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，应根据具体情况进行保护；
- 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，并应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，并应采取措施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℃。

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, 并应能及时、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	$5D < L \leqslant 8D$	1 次 / (3d ~ 5d)
		$3D < L \leqslant 5D$	1 次 / (2d)
		$L \leqslant 3D$	1 次 / (1d)
掘进面 后方	隧道结构、 周围岩土体 和周边环境	$L \leqslant 3D$	(1 次 ~ 2 次) / (1d)
		$3D < L \leqslant 8D$	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