

ICS *****
R11

DB

长江三角洲区域地方标准

DB 32/T XXXXX—2021

DB 31/T XXXXX—2021

DB 33/T XXXXX—2021

DB 34/T XXXXX—2021

盾构隧道运营期结构安全评价与病害处置 技术规程*

Technical specification for structural safety evaluation and disease treatment of large
diameter shield tunnel during operation period

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

江苏省市场监督管理局
上海市市场监督管理局
浙江省市场监督管理局
安徽省市场监督管理局

发布

目 次

1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语、定义和符号	3
3.1 术语	3
3.2 符号	5
4 基本规定	5
4.1 一般规定	5
4.2 结构安全状态等级划分	5
4.3 结构安全状态评价流程	6
5 检查	6
5.1 一般规定	6
5.2 使用环境及荷载条件检查	6
5.3 初始检查	7
5.4 日常检查	8
5.5 定期检查	8
5.6 特殊检查	9
5.7 专项检查	12
5.8 处置后复查	12
6 监测	12
6.1 一般规定	12
6.2 常规监测	13
6.3 特殊监测	13
6.4 监测频率	14
6.5 预警管理和信息反馈	14
7 评价方法与等级划分	15
7.1 一般规定	15
7.2 盾构隧道结构安全状态评价方法	15
8 状态评价	16

8.1 一般规定	16
8.2 环境作用等级评价	17
8.3 日常检查安全状态等级评定	18
8.4 定期检查安全状态等级评定	19
8.5 特殊检查、专项检查和处置后复查	26
9 病害处置	27
9.1 一般规定	27
9.2 渗漏水治理	27
9.3 裂缝治理	29
9.4 隧道变形治理	29
附录 A (资料性) 隧道检查记录表和病害展示图	32
附录 B (资料性) 渗漏水治理效果检查与验收表	37
本规范用词说明	38

盾构隧道运营期结构安全评价与病害处置技术规程

1 范围

本文件规定了盾构隧道运营期安全管理的技术要求，包括结构安全状态检查、监测、评价及病害处置工作的程序及方法等内容。

本文件适用于盾构隧道结构安全状态的检测评价工作，结构安全评价结果用于反映隧道结构实际安全状态，并指导隧道的日常养护及病害处置工作。盾构法隧道结构安全状态检查、监测、评价和病害处置等，除应符合本规范的规定以外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

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

GB 50157-2013 地铁设计规范
GB/T 38707-2020 城市轨道交通运营技术规范
GB 50911-2013 城市轨道交通工程监测技术规范
GBT 30012-2013城市轨道交通运营管理规范
GB 50446-2017盾构法隧道施工及验收规范
GB/T 50299-2018地下铁道工程施工质量验收标准
GB/T 50476-2008混凝土结构耐久性设计规范
GB 50108-2008地下工程防水技术规范
CJJ/T 289-2018城市轨道交通隧道结构养护技术标准
DG/TJ08-2123-2013盾构法隧道结构服役性能鉴定规范
DG/TJ08-2231-2017地铁盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范
DGJ 32-J195-2015 江苏省城市轨道交通工程监测规程
JGJ/T 23-2001回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
JGJ/T 212-2010地下工程渗漏治理技术规程
JTG H12-2015公路隧道养护技术规范
JTG/T 5540-2018公路隧道加固技术规范
TG/GW103-2010铁路桥隧建筑物维修规则
T/CECS 788-2020城市轨道交通盾构隧道结构病害检测技术规程

3 术语、定义和符号

3.1 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

盾构隧道结构 shield tunnel structure

保障盾构隧道运行安全和结构体系稳定的主要受力结构。

3.1.2

内部结构 internal structure

盾构隧道内部用于承担运营荷载的混凝土构件，主要有：道床、车道板、牛腿、口型件、烟道板、中隔墙等。

3.1.3

安全状态 safety performance

在运营期间，隧道结构自身安全性能、使用功能和耐久性能等所处的状态或水平。

3.1.4

使用环境 service environment

隧道结构所处的工作环境，如一般环境、冻融环境、氯化物环境、化学腐蚀环境等。

3.1.5

安全状态等级（或安全状态等级） safety index

隧道结构所处状态的完好程度，是反映隧道结构安全状态的评价指标。

3.1.6

日常检查 daily inspection

按照规定时间和频次对隧道结构表观状态进行的以目测为主要手段的检查。

3.1.7

定期检查 periodic inspection

按照规定时间和频次对隧道结构进行的全面检查。

3.1.8

特殊检查 special inspection

事件后对影响范围内隧道结构实施的详细检查。

3.1.9

专项检查 detailed inspection

依据日常检查、定期检查和特殊检查的结果，对于需要进一步查明病害详细情况的隧道结构而进行的检测、分析等工作。

3.1.10

处置后复查 reinspection after treatment

隧道病害处置后，依据日常检查的要求对隧道结构进行的检查。

3.1.11

单项指标法 single index method

依据隧道检查结果，采用单项指标进行隧道结构安全状态等级评价，将最不利指标确定的安全状态等级作为隧道结构安全状态等级的方法。

3.1.12

综合评价法 comprehensive evaluation method

考虑到各评价指标间的复合作用，采用考虑分项权重，以危害程度、发展趋势及对正常

使用和结构安全状态影响等相关因素的综合量化评价法。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

S_{sd} —盾构隧道结构总体安全状态评分；

S_{fx} —盾构隧道结构分项安全状态评分；

S_{zx} —盾构隧道结构分项中的子项（单一病害）安全状态评分；

ω_i —盾构隧道结构分项评价指标权重；

G_{sd} —盾构隧道结构整体安全状态等级；

G_{fx} —盾构隧道结构分项安全状态等级；

G_{zx} —盾构隧道结构分项中的子项安全状态等级。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 盾构运营隧道应根据设计规定、使用时间、使用条件和使用状态，进行结构安全状态评价。

4.1.2 盾构隧道运营期结构检查分为日常检查、定期检查、特殊检查、专项检查和处置后复查。

4.1.3 盾构隧道运营期结构安全状态评价的工作内容应包括结构使用条件检查、结构性能的检查以及结构安全状态评价。

4.1.4 隧道结构的检查应查明隧道使用条件与变化情况、查验与检测隧道结构及其材料的性能、分析隧道结构及其材料的性能变化。

4.1.5 隧道结构的变形检测应包括结构沉降、横断面收敛等内容。

4.1.6 隧道结构安全状态评价包括耐久性、适用性、以及安全性三个方面，应采用统一的隧道结构安全状态等级表示。

4.1.7 隧道结构检查周期应符合表1的规定。

表1 隧道结构检查周期表

检查类型		实施周期或时间
日常检查		(1~3)次/季度
定期检查	常规定期检查	(1~2)次/年
	特别定期检查	(1~2)次/10年
特殊检查	控制保护区内施工作业期间	隧道结构出现异常时
	极端或突发事件：火灾、地震、洪灾、脱轨、恐怖袭击	事件发生后
专项检查		日常、定期和特殊检查的结果中存在4级或5级隧道结构时
处置后复查		处置后不少于(1~3)次/月，病害不再发展时停止处置后复查

4.2 结构安全状态等级划分

4.2.1 盾构隧道结构安全状态等级按表 2 分为五级。

表2 盾构隧道结构安全状态分级表

安全状态等级	安全状态	对运营安全影响	对隧道结构安全影响
1 级	安全	无影响	无影响
2 级	轻微受损	目前尚无影响	目前尚无影响
3 级	重度受损	将来影响运营安全	将来影响隧道结构安全
4 级	严重受损	已经影响运营安全	已经影响隧道结构安全
5 级	极端受损	严重影响运营安全	严重影响隧道结构安全

4.3 结构安全状态评价流程

4.3.1 盾构隧道结构安全状态评价的工作程序应包括资料收集、目测及仪器设备检查和安全状态等级评价。

4.3.2 盾构隧道安全状态评价流程如图 1 所示。

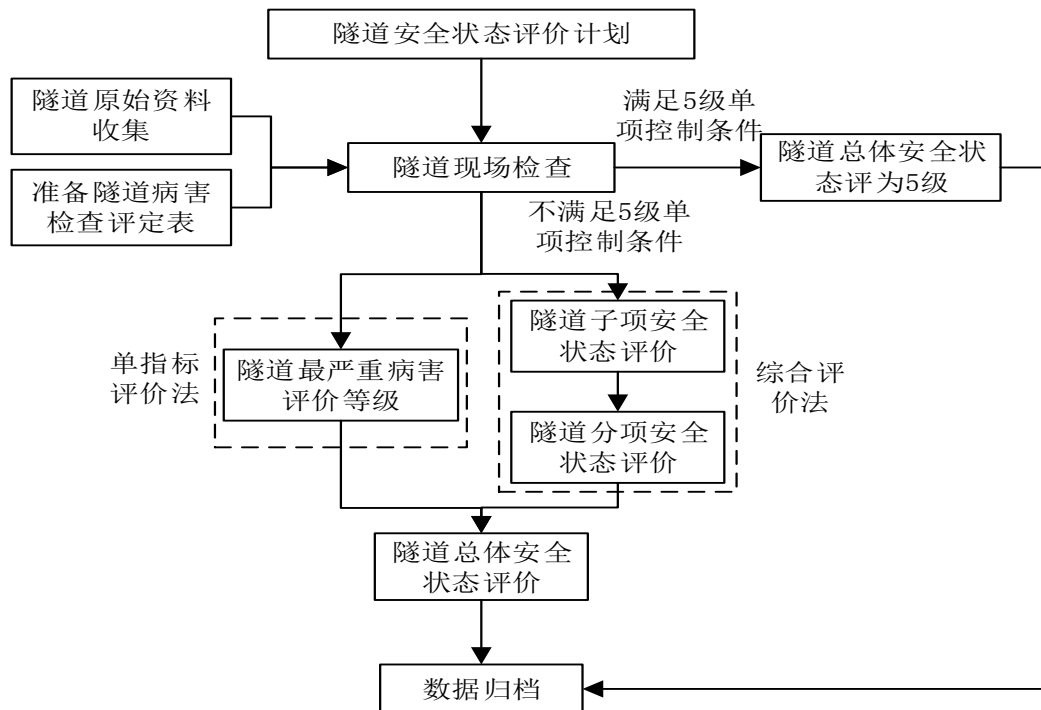


图1 盾构隧道安全状态评价流程

5 检查

5.1 一般规定

5.1.1 检查范围包括盾构管片和内部结构。

5.1.2 检查人员携带常规检查和记录工具，配备防护器材和通信器材。

5.2 使用环境及荷载条件检查

5.2.1 物理环境的检查应按如下要求执行：

- a) 宜对隧道内、外环境进行检查；
- b) 测试项目宜包括温度、湿度、空气流动速度；
- c) 宜按检查要求给出这些物理量的日变化、月变化、或年变化；
- d) 物理量的调查可采用自动监测系统测试。

5.2.2 化学环境的检查 宜检查隧道内的空气和隧道外水土体中的侵蚀性化学成分，当含有 CO_2 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 时，测定其含量。

5.2.3 应查明实际使用的荷载与设计荷载之间的差异，包括地表水和地下水的水位及其变动、使用荷载及其变化、隧道周边的工程活动及荷载变化。

5.2.4 应查明使用历史中与隧道结构原设计使用条件的偏离状态，包括运营隧道所经历的非正常使用条（如交通事故、爆炸、火灾等）及处置记录。

5.2.5 使用条件的调查结果应汇总统计隧道结构区段所处的环境条件、所受的作用和程度。

5.2.6 隧道荷载条件调查首先需搜集盾构隧道所处地层条件（土层、岩层、复合地层等），核实隧道结构所受荷载的类型、荷载作用，分析因温度变化、差异沉降等间接作用产生的组合效应，必要时核实特殊荷载。

5.3 初始检查

5.3.1 初始检查的项目、内容和密度应符合表 3 的规定

表3 盾构隧道初始检查的项目、内容和密度

检查项目	检查内容	检查密度
管片	裂缝、压溃等破损的位置、范围、类型、长度、宽度	全检
	起毛、酥松、起鼓等材料劣化的位置、范围和程度	
	剥落剥离的位置、范围和深度	
	渗漏水的位置、范围、状态、水量、浑浊和冻结状态	
	钢筋、螺栓和钢管片锈蚀的位置、范围和程度	
	断面轮廓检查	不少于 1 个断面/50m
管片接缝、变形缝	错台的位置、范围和程度	目测明显错台位置
	压溃的位置、范围和程度	全检
	渗漏水的位置、范围、状态、水量、浑浊和冻结状态	
	接缝止水条的脱落位置和范围	
螺栓孔、注浆孔	填塞物脱落的位置	全检
	渗漏水的位置、状态、水量、浑浊和冻结状态	
道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水的位置、范围和程度	全检

- 5.3.2 初始检查宜采用隧道检测设备。
- 5.3.3 初始检查与竣工验收相同的检查内容宜采用竣工验收结果。
- 5.3.4 初始检查应填写初始检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价，初始检查记录表应作为隧道运营期养护管理的原始资料。
- 5.3.5 初始检查完成后，应形成初始检查报告，检查报告应包括下列内容：
- 初始检查记录表、隧道病害展布图和检查记录资料；
 - 统计分析病害类型、分布位置、严重程度，评价安全状态等级；
 - 需要实施专项检查的建议；
 - 需要采取保养维修措施的建议。

5.4 日常检查

- 5.4.1 盾构隧道日常检查的项目主要包括管片，管片接缝、变形缝，螺栓孔、注浆孔及内部结构等，各检测项目主要检测内容和密度应符合表4的规定。

表4 盾构隧道日常检查的项目、内容和密度

检查项目	检查内容	检查密度
管片	裂缝、压溃等破损	全检
	起毛、酥松、起鼓等材料劣化	
	剥落剥离	
	渗漏水	
	钢筋、螺栓和钢管片的锈蚀	
管片接缝、变形缝	错台	存在病害的接缝、变形缝
	压溃	全检
	渗漏水	
	接缝止水条脱落	
螺栓孔、注浆孔	填塞物脱落	全检
	渗漏水	
道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水	全检

- 5.4.2 盾构隧道日常巡查频率宜1次/周，在雨季或冰冻季节，日常检查应增加检查频次。
- 5.4.3 日常检查宜采用目测和常规检查工具进行，必要时可采用信息化手段相结合的检查方式。
- 5.4.4 日常检查应填写日常检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价。
- 5.4.5 发现结构存在缺陷和对通行有影响的设施缺陷应做好检查记录，并及时处置。
- 5.4.6 对结构破损严重、可能危及交通安全，应立即上报并尽快采取措施。

5.5 定期检查

- 5.5.1 常规定期检查宜在春季或秋季进行。
- 5.5.2 常规定期检查的项目、内容、密度和方法应符合本标准初始检查的规定，首次常规定期检查应在初始检查1年后开展。
- 5.5.3 常规定期检查应填写常规定期检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价。
- 5.5.4 常规定期检查完成后，应形成常规定期检查报告。
- 5.5.5 特别定期检查的项目、内容和密度应符合表5的规定。

表5 特别定期检查的项目、内容和密度

检查项目	检查内容	检查密度
管片	裂缝、压溃等管片破损位置、范围、类型、长度、宽度、深度 Δ 和发展趋势 Δ	全检
	起毛、酥松、起鼓等材料劣化的位置、范围和程度	
	剥落剥离的位置、范围和深度	
	渗漏水的位置、湿渍面积、pH值*、水量、浑浊和冻结状态	
	钢筋、螺栓和钢管片锈蚀的位置、范围和程度	
	管片强度 Δ	不少于3处/区间
	背后空洞 Δ	全检，3条测线
	混凝土碳化深度 Δ	不少于3处/区间
	断面轮廓检查	不少于1个断面/50m
管片接缝、变形缝	错台的位置、范围和程度	存在病害的接缝、变形缝
	压溃的位置、范围和程度	全检
	渗漏水的位置、范围、pH值*、状态、水量、浑浊和冻结状态	
	接缝止水条脱落位置和范围	
螺栓孔、注浆孔	填塞物脱落的位置	全检
	渗漏水的位置、pH值*、状态、水量、浑浊和冻结状态	
道床	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水位置、范围和程度	

注：带“*”的内容为选测内容；带“ Δ ”的内容为特别定期检查相对常规定期检查增加内容。

5.5.6 特别定期检查应按初始检查、日常检查和常规定期检查结果进行抽检，抽检隧道区间数量不应少于隧道区间总数的50%。

5.5.7 特别定期检查应填写特别定期检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价。

5.5.8 特别定期检查完成后，应形成特别定期检查报告，检查报告应包括下列内容：

- a) 隧道以往资料分析和周边环境状态描述；
- b) 检查的组织实施过程、时间节点和工作内容；
- c) 检查中采用的检查设备、方法、依据；
- d) 特别定期检查记录表、隧道病害展布图和检查记录资料；
- e) 统计分析病害类型、分布位置、严重程度，评价安全状态等级；
- f) 需要采取保养维修措施的建议。

5.6 特殊检查

5.6.1 特殊检查在不同检查情况下的项目、内容和密度宜符合表6的规定。

表6 特殊检查在不同检查情况下的项目、内容和密度

检查情况分类	检查项目	检查内容	检查密度
火灾	资料调查	火灾温度	—
		火灾持续时间	—
	洞内检查	裂缝、龟裂、爆裂、掉块的位置、范围和程度	火灾影响范围：全检
		混凝土碳化深度*和损伤厚度	火灾影响范围：不少于 1 处/5m
		断面轮廓变形的的位置、范围和程度	火灾影响范围：不少于 1 个断面/5m
		衬砌背后空洞的位置、范围和程度	火灾影响范围：不少于 5 条测线
		螺栓脱帽松动	火灾影响范围：全检
止水带破损程度			
钢筋劣化的位置、范围和程度			
地震	资料调查	滑坡、垮塌等不良地质	—
		节理、断层等地层构造	
		烈度、震源、震级等地震信息	
	洞内、外检查	边（仰）坡滑塌破坏	全检
		裂缝、压溃、错台、掉块等破损的位置、范围和程度	
		渗漏水的位置、湿渍面积、pH 值*、水量、浑浊和冻结状态	
		断面轮廓变形的的位置、范围和程度	存在病害的区段，不少于 1 个断面/10m
管片背后空洞的位置、范围和程度	全检，不少于 3 条测线		
道床裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水的位置、范围和程度	全检		
螺栓脱帽松动			
洪灾	资料调查	降水量	—
		受灾历史	
	洞内检查	裂缝的位置、范围、类型、长度和宽度	洪灾影响范围：全检
渗漏水的位置、湿渍面积、pH 值*、水量、浑浊和冻结状态			

检查情况分类	检查项目	检查内容	检查密度	
		断面轮廓变形的位臵、范围和程度	洪灾影响范围：不少于 1 个断面/5m	
脱轨	洞内检查	擦痕的位臵、范围和程度	脱轨影响范围：全检	
		掉块的位臵、范围和程度		
		断面轮廓变形的位臵、范围和程度	脱轨影响范围：不少于 1 个断面/5m	
		螺栓脱帽松动	脱轨影响范围：全检	
其他异常情况（恐怖袭击）	洞内检查	裂缝的位臵、范围、类型、长度和宽度	异常情况影响范围：全检	
		压溃的位臵、范围和程度		
		剥落剥离的位臵、范围和深度		
		渗漏水的位置、湿渍面积、pH 值*、水量、浑浊和冻结状态		
控制保护区内施工期间	资料调查	历史病害资料	—	
		运营期监测数据		
		控制保护区内施工及与隧道之间的相互关系		
	洞内检查	裂缝的位臵、范围、类型、长度和宽度	施工影响区段：全检	
		压溃的位臵、范围和程度		
		剥落剥离的位臵、范围和深度		
		渗漏水的位置、湿渍面积、pH 值*、水量、浑浊和冻结状态		
		道床裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水的位置、范围和程度		
			断面轮廓变形的位臵、范围和程度	施工影响区段：不少于 1 个断面/5m

注：带“*”的内容为选测内容。

5.6.2 特殊检查应填写特殊检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价。

5.6.3 特殊检查完成后，应形成特殊检查报告，检查报告应包括下列内容：

- a) 资料调研情况和现场记录资料；
- b) 检查部位结构受损原因和影响程度的分析评价安全状态等级；
- c) 需要采取维修措施的建议。

5.7 专项检查

5.7.1 专项检查范围应包括病害所在区段及前后不少于 30m 范围内的隧道结构。

5.7.2 专项检查前应进行资料调查，资料调查应符合表 7 的规定。

表7 资料调查

分类	调查项目	依据资料
隧道信息	线路名，里程桩号	设计资料 竣工资料 监测资料 检查记录 灾害记录 养护记录
	建设年份	
	设计、施工、监理单位	
	隧道长度	
	纵坡，平纵曲率半径	
隧道结构	断面形状、尺寸	地质勘察资料* 巡查报告
	结构厚度	
	结构强度	
	配筋（螺栓）	
	结构形式	
隧道历史	使用历史	
	灾害历史	
	维修、加固历史	
隧道环境	气象条件	地质勘察资料* 巡查报告
	水文、工程地质条件	
	隧道周边作业活动	

注：带“*”的资料为可选资料。

5.7.3 专项检查的项目、内容、密度和方法应符合特别定期检查的规定，其中断面轮廓检查密度不应少于 1 个断面/10m。

5.7.4 专项检查应填写专项检查记录表，并应对隧道结构安全状态等级进行评价。

5.7.5 专项检查完成后，应形成专项检查报告。

5.8 处置后复查

5.8.1 当隧道采取维修、更换措施后，应进行处置后复查。

5.8.2 处置后复查的项目、内容、密度和方法应符合本标准日常检查的规定。

6 监测

6.1 一般规定

6.1.1 隧道运营期间应进行常规监测。

6.1.2 当隧道结构安全状态等级为 3 级、4 级和 5 级且存在影响到隧道结构安全和运营安

全的病害时，应对病害分布范围进行特殊监测。

6.1.3 控制保护区内施工期间，应对受施工影响的隧道结构进行特殊监测。

6.1.4 运营期间监测应与施工阶段监测衔接，位移和收敛监测宜采用施工阶段已布设的控制点。特殊监测宜采用自动化监测。

6.1.5 监测期间应建立信息反馈渠道。

6.2 常规监测

6.2.1 常规监测应符合表 8 的规定。

表8 常规监测

序号	监测项目	监测点布设	监测断面间距	
			土质隧道	岩质隧道
1	竖向位移	至少布设1个测点	10~20m	50m~100m
2	水平位移*	两侧边墙至少各布设1个测点		
3	净空收敛	竖向和水平向至少各布设1个测线		
4	道床竖向位移*	道床两侧至少各布设1个测点		

注：带“*”的内容为选测项目。

6.2.2 变截面、不同施工工法结合处、泵房、大断面、曲线段和联络通道位置前后 20m 范围内应加密监测断面，土质隧道宜按 5m~10m 间距布设，岩质隧道宜按 10m~20m 间距布设。

6.3 特殊监测

6.3.1 特殊监测应符合表 9 的规定

表9 特殊监测

序号	监测项目	监测点布设	监测断面间距		
			土质隧道	岩质隧道	
1	隧道结构	竖向位移	至少布设1个测点	10~20m	50m~100m
2		水平位移*	两侧边墙至少各布设1个测点		
3		净空收敛	竖向和水平向至少各布设1个测线		
4		道床竖向位移*	道床两侧至少各布设1个测点		
5		结构裂缝、变形缝张开量*	典型裂缝位置、结构变形缝两侧	按实际情况布设	
6		盾构隧道管片接缝张开量和错台量*	管片两侧接缝位置		
7		沉管隧道剪力键三向	管节接头剪力键位置		

		位移*		
8	周边环境	地表沉降*	垂直于隧道结构外边线两侧各50m范围内布设	5m~10m
9		地下水水位*	各地下水层分层布设	15m~25m
10		岩土体分层竖向位移*	各岩土层的中部布设	与变形监测断面一致
11		岩土体深层水平位移*	各岩土层的中部布设	与变形监测断面一致

注：带“*”的内容为选测项目。

- 6.3.2 特殊监测项目测点布设位置宜和常规监测同一项目测点位置相同。
- 6.3.3 特殊监测断面布设范围应覆盖隧道病害段，并应向两侧各延伸50m。
- 6.3.4 当特殊监测数据已稳定半年后，且控制保护区内无施工影响时，可结束监测工作。

6.4 监测频率

- 6.4.1 监测频率宜符合表10的规定。

表10 监测频率

监测类型		隧道结构监测频率	周边环境监测频率
常规监测		(1~2)次/年	-
特殊监测	3级	1次/周	-
	4级	(2~3)次/周	1次/周
	5级	1次/d	(2~3)次/周
	控制保护区施工期间	(2~3)次/周	-

- 6.4.2 当遇到下列情况之一时，应提高监测和日常检查的频率：

- 监测数据变化速率持续增大；
- 地表、建(构)筑物等周边环境因不均匀沉降产生破损；
- 控制保护区内存在邻近施工、超载、卸载和振动作业；
- 暴雨、长时间连续降雨或隧道内因漏水导致洞内积水；
- 在过江(河)隧道段，上部存在挖沙、疏浚河道。

6.5 预警管理和信息反馈

- 6.5.1 城市轨道交通隧道结构和周边环境监测控制值、监测预警等级和预警标准，应符合现行国家标准《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911-2013的规定。

- 6.5.2 当出现下列情况之一时，应进行预警：

- 监测数据超过预警标准；
- 隧道地表出现开裂、坍塌、隆起等现象；
- 隧道内部结构变形持续增大、病害持续发展；
- 根据现场经验判断，出现其他需要报警的情况。

- 6.5.3 监测成果应包括现场监测资料、计算分析资料、图表、曲线、文字报告等。

- 6.5.4 监测成果应按时反馈给相关单位，监测数据宜采用信息化管理。

7 评价方法与等级划分

7.1 一般规定

7.1.1 日常检查、特殊检查、专项检查和处置后复查宜采用单指标评价法，定期检查宜采用综合评价法。

7.2 盾构隧道结构安全状态评价方法

7.2.1 单指标评价法是采用单一病害指标进行盾构隧道结构安全状态评价，将最严重的病害的评价等级作为盾构隧道结构安全状态评价等级的方法，可按公式（1）进行计算。

$$G_{sd} = \max(G_{zx}^i) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

G_{sd} ——盾构隧道结构整体安全状态等级；

G_{zx}^i ——盾构隧道结构分项中的子项（单一病害）安全状态等级。

7.2.2 综合评价法是在考虑各病害指标间复合作用的基础上，采用考虑分项权重，以病害程度、病害发展趋势及对行车和结构安全影响等相关因素的盾构隧道结构综合量化评价法，综合评价法应符合下列规定：

a) 盾构隧道结构总体安全状态评分应按公式（2）计算。

$$S_{sd} = 100 \cdot \left[1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \left(S_{fx}^i \times \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S_{sd} ——盾构隧道结构总体安全状态评分；

S_{fx}^i ——盾构隧道结构分项安全状态评分，值域 0~4；

ω_i ——盾构隧道结构分项评价指标权重。

b) 盾构隧道结构分项安全状态评分应按公式（3）计算。

$$S_{fx}^i = \max(S_{fx}^{ij}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

S_{fx}^{ij} ——盾构隧道结构分项检查段落安全状态评分；

j ——检查段落号，按实际分段数量取值，建议按 5 环、10 环、15 环或 20 环为一检查段落。

c) 盾构隧道结构分项检查段落安全状态评分应按公式（4）计算。

$$S_{fx}^{ij} = \max(S_{zx}^{ijk}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

S_{zx}^{ik} ——在 j 检查段落，第 i 个盾构隧道结构分项中的第 k 个子项（单一病害）安

全状态评分；

k ——隧道结构分项中子项（单一病害）的数量取值。

- d) 盾构隧道结构分项权重宜采用层次分析法加以确定。
e) 盾构隧道结构总体安全状态分类界限值宜按表 11 规定执行。

表11 盾构隧道结构安全状态分类

安全状态等级	隧道结构总体安全状态分类				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
G_{sd}					
评分区间	$S_{sd} \geq 85$	$70 \leq S_{sd} < 85$	$55 \leq S_{sd} < 70$	$40 \leq S_{sd} < 55$	$S_{sd} < 40$

f) 在运营盾构隧道结构安全状态评价中，有下列情况之一时，盾构隧道结构安全状态等级直接定为 5 级：

- 1) 病害导致构造物侵入建筑限界；
- 2) 隧道衬砌出现大范围开裂、结构性裂缝深度贯穿衬砌混凝土；
- 3) 隧道衬砌结构发生明显的永久变形，且有危及结构安全和行车安全的趋势；
- 4) 地下水大规模涌流、喷射，道床出现涌泥沙或大面积严重积水等威胁交通安全的现象；
- 5) 道床发生严重隆起、下沉，道床板严重错台、断裂及翻浆冒泥，严重影响行车安全；
- 6) 当各分项指标安全状态达到 3，且使用环境等级达到 E~F 时。

7.2.3 对评定划定的各类隧道结构安全状态，应分别采取不同的养护措施：

- a) 1 级，正常养护；
- b) 2 级或存在 1 级的分项，按需保养维修；
- c) 3 级或存在 2 级的分项，对局部实施病害处置；
- d) 4 级，交通管制，尽快实施病害处置；
- e) 5 级，关闭隧道，尽快实施病害处置；
- f) 重要分项以外的其他分项安全状态等级为 3 或 4 时，应尽快进行病害处置。

8 状态评价

8.1 一般规定

8.1.1 隧道结构安全状态等级应根据检查结果进行评价。

8.1.2 隧道结构总体安全状态等级应以隧道单个区间为基本单位评价。

8.1.3 采用综合评价法进行隧道结构安全状态等级评价时，宜选取 5 环、10 环、15 环或 20 环为一检查段落。

8.1.4 采用综合评价法进行隧道结构安全状态等级评价时，地铁盾构隧道结构分项中的子项（单一病害）安全状态评分值与安全状态等级的对应关系按表 12 取值。

表12 安全状态评分值与安全状态等级对应关系

安全状态等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级

安全状态评分	0	1	2	3	4
--------	---	---	---	---	---

注：当使用环境得到D级以上时，受使用环境影响较大的病害，如衬砌开裂、渗漏、钢筋锈蚀等子项评分应降低1分，或子项安全状态应提高1级。

8.2 环境作用等级评价

8.2.1 隧道使用环境类别与作用等级的确认应按如下规定执行：

a) 一般环境及其环境作用等级可参照表 13 评价。

表13 一般环境作用等级

环境作用等级	环境条件
A	室内干燥环境（年平均湿度低于 60%）
B	室内潮湿环境（年平均湿度大于 60%）或长期湿润环境
C	干湿交替环境

b) 氯化物环境及其环境作用等级可参照表 14 评价。对于存在冻融或其他化学腐蚀的环境，可根据具体情况参考现行的国家相关规范确定作用等级，水中氯离子浓度（mg/L）的高低划分为：较低 100~500，较高 500~5000；高>5000；土中氯离子浓度（mg/L）的高低划分为：较低 150~750，较高 7500~7500；高>7500。因此，对于沉管隧道渗漏水氯离子浓度分级参考表 15。

表14 氯化物环境作用等级

环境作用等级	环境条件
C	水下区和土中区：周边永久浸没于海水或埋于土中
D	大气区（轻度盐雾）
E	大气区（重度盐雾）；潮汐区和浪溅区，非炎热地区
F	潮汐区和浪溅区，炎热地区

表15 渗漏水离子浓度分级表

分级	渗漏水中离子浓度（mg/L）				
	≤100	100~500	500~2000	2000~5000	5000≤
分级	A	B	C	D	E

c) 化学腐蚀环境及其环境作用等级可参照表 16 评价。

表16 化学腐蚀环境作用等级

环境作用等级 作用因素	水中硫酸根离子浓度 SO_4^{2-} (mg/L)	土中硫酸根离子浓度（水溶值） SO_4^{2-} (mg/kg)	水中镁离子浓度 (mg/L)	水中酸碱度 (PH 值)	水中侵蚀性二氧化碳浓度 (mg/L)
----------------	--	--	-------------------	-----------------	-----------------------

C	200~1000	300~1500	300~1000	6.5~5.5	15~30
D	1000~4000	1500~6000	1000~3000	5.5~4.5	30~60
E	4000~10000	6000~15000	≥3000	<4.5	60~100

8.2.2 当有多种环境共同作用时应取最高环境作用等级。

8.3 日常检查安全状态等级评定

8.3.1 应通过日常检查,及时发现隧道结构安全状态早期缺陷、显著病害或其他异常情况,确定对策措施。日常检查隧道结构安全状态等级评定应按表 17 执行。

表17 日常检查隧道结构安全状态等级评定标准

项目		评定标准		
		安全状态等级 1级	安全状态等级2级或3级	安全状态等级4级或5级
隧 道 结 构	破损	无	轻微开裂, 裂缝以 环向 裂缝为主	纵向或斜向裂缝, 结构因开裂、压溃 出现剥落掉块
	材料劣化	无	起毛、酥松、起鼓	剥落掉块
	剥落剥离	无	轻微剥离、敲击有 空响	剥落掉块
	渗漏水	无	湿渍、浸渗、滴漏	线漏、涌流、漏泥沙、挂冰
	锈蚀	无	表层锈迹、浅层 锈蚀	钢筋(螺栓) 锈蚀有效截面减少, 表 层混凝土胀裂, 螺栓帽锈蚀脱落; 钢管片表 层普遍存在点蚀
施工缝(管片 接 缝)、变形缝		无	轻微错台、压溃、 湿 渍、浸渗、滴漏	严重错台、压溃, 出现破损、剥落, 变形导致止水带 脱落、防水失效, 出现线漏、 涌流、漏泥沙、挂冰
螺栓孔、注浆孔		无	局部脱落、湿渍、 浸渗、滴漏	孔位堵塞物多处存在脱落并伴有 线漏、涌流、漏泥沙、 挂冰
管节接头		无	局部变形、破损、 湿渍	剪力键存在严重的错台或破损; OMEGA止水带严重 变形或破损, 并 存在浸渗、 滴漏、线漏、涌流
病害发展性		无	缓慢发展	较快或迅速发展

8.3.2 当日常检查评定结果为安全状态等级 2 级或 3 级时,应在后续日常检查中重点检查;

评定结果为安全状态等级 4 级或 5 级时，应进行专项检查。

8.4 定期检查安全状态等级评定

8.4.1 定期检查应配备必要的检查工具或设备，进行目测或量测检查。检查时，应尽量靠近结构，依次检查各个结构部位，注意发现异常情况和原有异常情况的发展变化；对有异常情况的结构，应在其适当位置做出标记；此外，检测结果等级宜量化。常规定期检查隧道结构安全状态等级评定应按表 18 执行。

表18 盾构隧道定期检查结构安全状态等级评定标准

项目		评定标准				
		安全状态等级1级	安全状态等级2级	安全状态等级3级	安全状态等级4级	安全状态等级5级
管片	破损	无	表层存在轻微开裂，存在少量轻微的环向裂缝	裂缝以环向裂缝为主，存在少量纵向裂缝或斜裂缝	局部存在纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃混凝土存在掉块的可能性	裂缝发育密集，出现多处纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃已出现掉块
	材料劣化	无	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松	材料劣化导致混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化导致混凝土酥松、起鼓，存在掉块的可能性	材料劣化导致混凝土起鼓，并出现掉块
	剥落剥离	无	表层出现少量轻微的剥离	表层出现剥离，敲击有空响。尚未出现剥块	表层出现大面积剥离，管片存在剥落掉块的可能性	表层多处出现大面积的剥离，并多处剥落，混凝土掉块侵入建筑限界
	渗漏水	无	轻微渗漏水，表现为湿渍	渗漏点较稀疏，渗水量较小，以湿渍和浸渗为主；洞内积水较少；封顶块以外位置出现挂冰	渗漏水类型以滴漏为主，局部存在线漏、涌流；洞内已出现积水；封顶块出现少量挂冰	渗漏点密集，以线漏、涌流为主，伴有漏泥沙；洞内积水严重；封顶块出现明显的挂冰

项目	评定标准				
	安全状态等级1级	安全状态等级2级	安全状态等级3级	安全状态等级4级	安全状态等级5级
锈蚀	无	混凝土表层出现轻微的锈迹；螺栓表层存在锈迹；钢管片表层出现轻微锈迹	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露；螺栓浅层锈蚀；钢管片表层多处出现锈蚀	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层起鼓，敲击有空响，主筋出现锈蚀；螺栓因锈蚀部分截面减少；钢管片表层存在少量点蚀	钢筋混凝土主筋严重锈蚀，混凝土表层已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露；螺栓锈蚀全周截面明显减少，螺栓帽锈蚀脱落；钢管片表层普遍存在点蚀
管片接缝、变形缝	无	个别接缝位置或变形缝存在轻微的压溃、错台、湿渍，对结构无影响	压溃、错台分布稀疏，持续发展可能出现掉块现象；因接缝张开、止水条松动出现渗漏水，水质清澈，以浸渗、滴漏为主	多处存在压溃、错台，局部已出现混凝土掉块、明显错台；局部接缝张开、止水条脱落出现线漏、涌流或漏泥沙；顶部出现少量挂冰	出现严重的压溃、错台，多处出现混凝土掉块，已影响建筑限界；渗漏水严重，以线漏、涌流为主，伴有漏泥沙；顶部出现明显的挂冰
螺栓孔、注浆孔	无	填塞物存在轻微的脱落、孔位附近存在湿渍	局部孔位填塞物存在脱落、浸渗、滴漏	多处孔位填塞物存在脱落、滴漏、线漏；出现少量挂冰	孔位填塞物均存在连续的脱落、涌流或伴有漏泥沙；封顶块或邻接块孔位出现明显的挂冰
病害发展性	无	趋于稳定	较慢发展	较快发展	迅速发展

8.4.2 盾构隧道管片特别定期检查应包括管片裂缝、材料劣化、渗漏水、锈蚀、变形、错台等内容。基于压溃、剥落剥离、渗漏水、背后空洞、强度不足、道床病害及变形缝、螺栓

孔和注浆孔病害安全状态等级参考表 19-31.

a) 管片裂缝安全状态等级的评定应根据裂缝有无发展、裂缝位置、裂缝形式、裂缝尺寸等因素进行确定。

1) 当裂缝存在发展是可参考表 19-20 进行评定。

表19 裂缝存在发展时分级标准（纵向裂缝）

裂缝	宽度 w (mm)			长度 l (m)			分级
	$2 < b$	$1 < b \leq 2$	$b \leq 1$	$10 < l$	$5 < l \leq 10$	$l \leq 5$	
管片裂缝	√			√			5
	√				√		5
	√					√	5
		√		√			4
		√			√		3
		√				√	3
			√	√			2
			√		√		2
		√			√	1	

表20 裂缝存在发展时分级标准（斜向裂缝、横向裂缝）

裂缝	宽度 w (mm)			长度 l (m)			分级
	$2 < b$	$1 < b \leq 2$	$b \leq 1$	$10 < l$	$5 < l \leq 10$	$l \leq 5$	
管片裂缝	√			√			5
	√				√		5
	√					√	4
		√		√			4
		√			√		3
		√				√	2
			√	√			2
			√		√		1
		√			√	1	

2) 隧道不同位置裂缝无明显发展情况下的分级标准可参考表 21-22 进行评定。

表21 裂缝无明显发展时分级标准（纵向裂缝）

裂缝	宽度 w (mm)	长度 l (m)	分级
----	-------------	------------	----

	$2 < b$	$1 < b \leq 2$	$b \leq 1$	$10 < l$	$5 < l \leq 10$	$l \leq 5$	
管片裂缝	√			√			5
	√				√		4
	√					√	3
		√		√			3
		√			√		2
		√				√	2
			√	√			1
			√		√		1
			√			√	1

表22 裂缝无明显发展时分级标准（斜向裂缝、环向裂缝）

裂缝	宽度 w (mm)			长度 l (m)			分级
	$2 < b$	$1 < b \leq 2$	$b \leq 1$	$10 < l$	$5 < l \leq 10$	$l \leq 5$	
管片裂缝	√			√			4
	√				√		3
	√					√	3
		√		√			3
		√			√		2
		√				√	2
			√	√			1
			√		√		1
			√			√	1

b) 管片材料劣化的安全状态等级评定标准应按表 23 进行确定。

表23 基于管片材料劣化的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级1级	安全状态等级2级	安全状态等级3级	安全状态等级4级	安全状态等级5级
材料劣化	无	混凝土有轻微的起毛、酥松	混凝土表层多处出现起毛、酥松	材料劣化，稍有外力或震动，即会崩塌或剥落，对行车	材料劣化严重，经常发生剥落，危及行车安全

				安全产生重大影响	
--	--	--	--	----------	--

c) 管片强度不足的安全状态等级评定标准应按表 24 进行确定。

表24 基于强度不足的安全状态等级评定标准

结构	有效强度（厚度）/设计强度（厚度）				长度		分级
	<0.65	0.65~0.75	0.75~0.85	0.85<	<5m	>5m	
顶部	√					√	5
		√				√	4
			√			√	3
				√		√	2
	√				√		4
		√			√		3
			√		√		2
				√	√		2
侧墙	√					√	5
		√				√	3
			√			√	2
				√		√	2
	√				√		4
		√			√		3
			√		√		2
				√	√		1

d) 管片钢筋、螺栓、锈蚀等安全状态等级评定标准应按表 25 进行确定。

表25 基于钢筋、螺栓、钢管片锈蚀的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级2 级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级5 级
钢筋、螺栓截 面损失率 r	$0\% \leq r < 3\%$	$3\% \leq r < 10\%$	$10\% \leq r < 25\%$	$25\% \leq r < 40\%$	$r \geq 40\%$
钢筋、螺栓、 钢管片锈蚀	无锈蚀	表层存在轻微 锈蚀	部分表层存在 浅层锈蚀	部分断面因锈 蚀导致截面减	全断面存在锈 蚀，断面截面

				少或者大部分 钢筋表层存在 浅层锈蚀	明显减少
--	--	--	--	--------------------------	------

e) 管片变形的安全状态等级评定标准应按表 26 进行确定。

表26 基于管片变形的按照状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级5 级
通缝管片收敛 (直径变化量 $c, \%D$)	$0 \leq c < 5$	$5 \leq c < 8$	$8 \leq c < 12$	$12 \leq c < 16$	$c \geq 16$
错缝管片收敛 (直径变化量 $c, \%D$)	$0 \leq c < 4$	$4 \leq c < 6$	$6 \leq c < 9$	$9 \leq c < 12$	$c \geq 12$

注：D为盾构隧道直径。

f) 管片变形的安全状态等级评定标准应按表 27 进行确定。

表27 基于管片接缝错台的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级5 级
接缝错台量 f (mm)	$0 \leq f < 4$	$4 \leq f < 8$	$8 \leq f < 10$	$10 \leq f < 12$	$f \geq 12$

g) 管片压溃、剥落剥离的安全状态等级评定标准应按表 28 进行确定。

表28 基于压溃、剥落剥离的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状 态等级 1级	安全状态等级2级	安全状态等级3级	安全状态等级4级	安全状态等级5级

压溃、剥落剥离	无	压溃范围很小，剥落剥离区域直径小于50mm	压溃范围小于1m ² ，剥落块体厚度小于3cm，剥落剥离区域直径50mm~75mm	压溃范围为1m ² ~3m ² 、剥落剥离区域直径75mm~150mm，或有可能掉块	压溃范围大于3m ² 或衬砌掉块最大厚度大于衬砌厚度的1/4，剥落剥离区域直径大于150mm，危及行车安全
---------	---	-----------------------	--	--	--

h) 渗漏水的安全状态等级评定标准应按表 29 进行确定。

表29 基于渗漏水的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级 5级
渗漏水	无	渗漏水使得道床状态恶化，钢轨腐蚀，养护周期缩短，继续发展将会升至3级	隧道湿渍、渗水及排水不良引起洞内局部道床积水	隧底涌流、拱部滴漏，严寒地区边墙涌流、漏泥沙，道床下沉，不能保持轨道几何尺寸，影响正常运行	水（沙）突然涌入隧道，淹没钢轨，危及行车安全；拱部线漏、涌流或直接传至接触网
冻害	无	冻融使线路的养护周期缩短	① 冻害致使洞内排水设施破坏； ② 冻融使道床漏泥、轨道几何状态恶化； ③ 冻害造成衬砌变形、开裂，但未形成纵横交错裂缝	冰楔和围岩冻胀的反复作用使衬砌变形、开裂并构成纵横交错的裂缝	① 冰溜、冰柱、冰锥等不断发展，侵入限界，危及行车安全； ② 接触网及电力、通信上挂冰，危及行车安全和洞内作业人员安全； ③ 道床结冰（丘状冰锥），覆盖轨面，严重影响行车安

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级 5级
					全

i) 渗漏水的安全状态等级评定标准应按表 30 进行确定。

表30 基于背后空洞的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级 5级
背后空洞 (k: 连续长度, m; s: 面积, m ²)	无	$k \leq 3$ 或 $s < 1$	$3 < k \leq 5$ 或 $1 < s \leq 3$	$5 < k \leq 10$ 或 $3 < s \leq 5$	$k > 10$ 或 $s > 5$

j) 道床病害的安全状态等级评定标准应按表 31 进行确定。

表31 基于道床病害的安全状态等级评定标准

项目	评定标准				
	安全状态等级 1级	安全状态等级 2级	安全状态等级 3级	安全状态等级 4级	安全状态等级 5级
道床病害	无	道床两侧边缘出现轻微的破损、变形、湿渍、浸渗	道床存在破损、下沉、隆起，道床和主体结构之间出现脱空	道床多处存在破损、变形，道床和主体结构之间多处出现脱空，脱空量已超过3mm，局部涌流、漏泥沙，影响轨道的稳定性	道床出现严重破损、变形，出现环向裂缝，道床出现脱空，脱空量已超过5mm或涌流、漏泥沙，已导致轨道无法满足正常运营要求

8.5 特殊检查、专项检查和处置后复查

8.5.1 特殊检查隧道结构安全状态等级评定应按本标准第 8.4.2 条中特别定期检查的安全

状态等级评定标准执行。

8.5.2 专项检查应基于现场检查结果对隧道结构状态进行评估分析，隧道结构安全状态等级评定应按本标准第 8.4.2 中特别定期检查的安全状态等级评定标准执行。

8.5.3 处置后复查隧道结构安全状态等级评定应按本标准表 8.4.1 中日常检查的安全状态等级评定标准执行。

9 病害处置

9.1 一般规定

9.1.1 为确保盾构隧道安全运营，按照隧道结构安全状态等级，对隧道土建设施实行计划修、状态修、故障修相结合的养护维修管理模式。

9.1.2 通过科学合理的安排维修养护修程，对土建设施实施专业检查、检测、养护维修工作。维保人员通过日常巡检、定期检查、专项检查。根据检查结果进行相对应的维修，维修包括日常养护维修、专项维修、大修、应急抢险抢修。

9.2 渗漏水治理

9.2.1 隧道内发生线漏、涌流、喷射及渗漏水中夹泥时应及时进行处理。

9.2.2 变形缝止水带损坏造成漏水应进行及时的堵翻和修理。

9.2.3 由于结构变形严重而造成的翻水应及时进行处理。

9.2.4 因漏水影响隧道内轨道交通通行及运行设备正常工作时应及时进行处理。

9.2.5 渗漏水治理前应进行现场调查，调查内容包括：

- a) 工程所在周边环境；
- b) 渗漏水水源及变化规律；
- c) 渗漏水的部位、现状及影响范围；
- d) 结构损坏程度及变形情况；
- e) 气候变化的影响。

9.2.6 隧道管片接缝渗漏水治理应符合以下要求：

- a) 隧道管片接缝渗漏水治理宜根据现场情况采取注浆止水或嵌填密封等手段；
- b) 对于明显渗水的环缝、纵缝宜采取注浆方式进行治理，同时应符合以下要求：
 - 1) 预先在附近无明显水渗出的环缝、纵缝部位骑缝垂直钻孔至遇水膨胀止水条或防水密封条，并在孔内形成以灌浆材料形成的浆液阻断点；
 - 2) 在浆液阻断点附近的区域，骑缝埋设注浆嘴，注入注浆材料；
 - 3) 注浆嘴间距不宜大于 1m，注浆压力不宜大于 0.6MPa；
 - 4) 注浆顺序宜先下后上，并从渗漏部位向两侧的顺序进行；
 - 5) 注浆结束后，应按要求拆除注浆嘴并封堵。
- c) 对于潮湿而无明水的接缝，宜采用嵌填密封的方式进行治理应符合以下要求：
 - 1) 存在影响结构防水的混凝土破损，应先进行修补，修补材料的强度不应小于管片混凝土的强度；
 - 2) 根据实际情况需要凿槽的先凿槽并清理，沟核尺寸视湿迹大小而定，沟槽内部应坚实、平整、无杂物；
 - 3) 嵌缝沟槽中依次涂刷基层处理剂、设置背衬材料，最后采用柔性密封材料填嵌；
 - 4) 有施工条件的，宜整环嵌填；
 - 5) 接缝嵌填范围应以渗漏接缝为中心，沿盾构推进方向前后不小于 2 环；
 - 6) 嵌填作业应在无水情况下进行，若有明水应预先进行注浆止水。

- d) 隧道管片螺栓孔位置渗漏水治理应符合以下要求：
- 1) 隧道管片螺栓孔处理可采用沿孔扩缝、封堵内腔、化学注浆和封闭密封的方法；
 - 2) 对于普通渗漏可封堵内腔处理；
 - 3) 对于严重渗漏应进行注浆止水后再封堵内腔。
- e) 结构裂缝、施工缝的渗漏水治理应符合下列要求：
- 1) 嵌缝法：先凿槽，尺寸视漏水量大小而；根据渗漏水量大小选择止水方法，渗漏量较小时，可采用速凝水泥环氧胶泥直接填嵌，渗漏水量较大时，可采用引水方法后进行填嵌；待填嵌胶泥固化后，涂刷环氧底胶一层，在底胶要固化时再涂刷面胶一道。
 - 2) 堵塞法：沿裂缝凿成八字型槽，深为 30mm，宽为 15mm，并用清水冲洗干净；把配置好的速凝水泥胶泥形成条状，待胶泥将要凝固时，迅速堵塞于裂缝的沟槽中，挤压密实；堵漏完毕无渗漏后，再在表面涂抹水泥防水砂浆。
 - 3) 注浆法：注浆孔宜交叉布置在裂缝两侧，钻孔应斜传裂缝；钻孔垂直深度宜为混凝土结构厚度的 1/3-1/2，钻孔与裂缝的水平距离宜为 100mm-250mm，斜孔倾角宜为 45°-60°；对于有结构补强要求的，在注入聚氨醋灌浆止水后，应进行二次钻斜孔，注入可在潮湿环境下固化的环氧树脂灌浆料或水泥基灌浆材料，达到结构补强要求；对于厚度不足 200mm 的混凝土结构，应处置裂缝钻孔，钻孔深度宜为结构厚度的 1/2；对于大面积分布密集的结构裂缝，在止水完成后应大面积抹压聚合物水泥防水砂浆；注浆宜按照自下而上的顺序进行，临近注浆嘴出浆时，停止该注浆嘴的注浆。
- f) 管片表面渗水的治理应符合以下要求：
- 1) 隧道结构面渗水处理可采用抹面法、渗透法和注浆法；
 - 2) 结构表面混凝土有轻微渗水可采用普通硅酸盐水泥中掺加外掺剂，拌匀后，抹在混凝土表面，反复抹搓多遍直至不见湿渍为止；
 - 3) 结构表面有少量渗水可采用混凝土结晶渗透剂掺水拌匀后，抹在经清洗湿润的混凝土表面，厚度为 30mm 左右。

9.2.7 隧道管片接缝渗漏水治理质量验收应符合以下要求：

- a) 主控项目隧道管片接缝渗漏水治理质量验收应符合以下要求：
- 1) 材料性能应符合设计要求。检验方法：检查出厂合格证、质量检测报告等。进场抽检复验的材料还应提交进场抽样复检合格报告。
 - 2) 浆液配合比应符合设计要求。检验方法：检查计量措施或试验报告及隐蔽工程验收记录。
 - 3) 注浆效果应符合设计要求。检验方法：观察检查或采用钻孔取芯等方法检查。
 - 4) 止水带与紧固件压板以及止水带与基层之间应结合紧密。检验方法：观察检查。
 - 5) 涂料的用量或防水层平均厚度应符合设计要求，最小厚度不得小于设计厚度的 90%。检验方法：检查隐蔽工程验收记录或用涂层测厚仪量测。
 - 6) 柔性涂膜防水层在管道根部等细部做法应符合设计要求。检验方法：观察检查和检查隐蔽工程验收记录。
 - 7) 聚合物水泥砂浆防水层与基层及各层之间应粘结牢固，无脱层、空鼓和裂缝。检验方法：观察和用小锤轻击检查。
 - 8) 渗漏治理效果应符合设计要求。检验方法：观察检查。
 - 9) 治理部位不得有渗漏或积水现象，排水系统应畅通。检验方法：观察检查。
- b) 一般项目隧道管片接缝渗漏水治理质量验收应符合以下要求：
- 1) 注浆孔的数量、钻孔间距、钻孔深度及角度应符合设计要求。检验方法：检查

隐蔽工程验收记录。

- 2) 注浆过程的压力控制和进浆量应符合设计要求。检验方法：检查施工记录及隐蔽工程验收记录。
- 3) 涂料防水层应与基层粘结牢固，涂刷均匀，不得有皱折、鼓泡、气孔、露胎体和翘边等缺陷。检验方法：观察检查。
- 4) 水泥砂浆防水层的平均厚度应符合设计要求，最小厚度不得小于设计值的 85%。
检验方法：观察和尺量检查。
- 5) 盾构隧道衬砌的嵌缝材料表面应平滑，缝边应顺直，无凹凸不平现象。检验方法：观察检查。

9.3 裂缝治理

9.3.1 盾构隧道管片结构裂缝、破损渗漏治理应符合下列规定：

- a) 清除管片上的积水及粘附物，对管片结构裂缝宽度进行检测；
- b) 对小于 0.2mm 宽度的裂缝，用钢丝刷将裂缝表面的灰尘、油污等清除，清洗干净并充分湿润后，采用环氧树脂胶对裂缝进行修补封闭；
- c) 对大于 0.2mm 宽度的裂缝，在裂缝的两端一定距离设置浆液阻断点，采用速凝微膨胀水泥封孔，裂缝钻孔，沿缝开槽、清孔、清槽，槽内要求无浮尘、泥垢。采用速凝微膨胀水泥嵌缝、埋管，要求压贴紧密。随后在浆液阻断点围成区域内，沿裂缝开“V”型槽，槽的宽度及深度不小于 10mm，并按不大于 200mm 的间距钻设注浆孔，清理孔壁和基面后用速凝水泥骑缝埋设注浆嘴并封堵接缝，并通过注浆嘴注入超细水泥或环氧树脂灌浆材料（参考图 2）。
- d) 对于管片混凝土破损处出现渗漏的情况，宜先进行修补，修补材料的强度不小于管片混凝土的强度。
- e) 开槽缝填补的水泥要求压贴紧密，表面颜色、平整度应与原管片表面基本一致，最后采用打磨装饰表面。

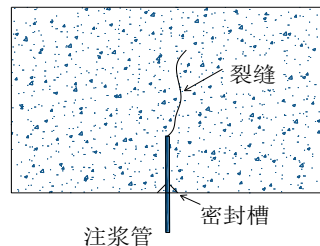


图2 裂缝注浆示意图

9.4 隧道变形治理

9.4.1 盾构隧道钢环加固。通过盾构实际内径监测与设计标准圆对比计算变形量，或现场隧道结构存在较为严重损伤，当符合下列条件之一时，采用隧道内贴钢环的工艺进行加固（参考图 3），以提高隧道整体受力性能和抗变形能力。

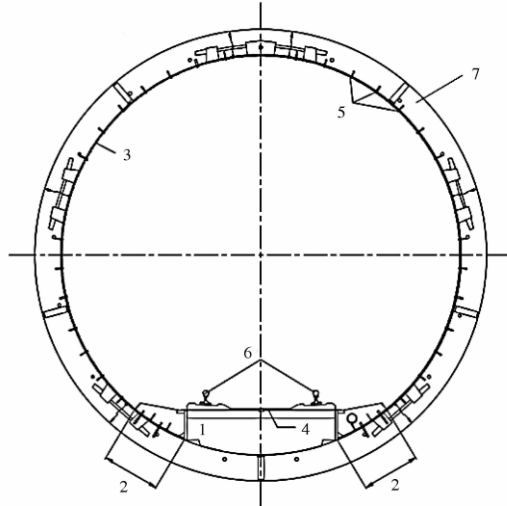


图3 钢内衬结构图

说明：1—道床；2—钢牛腿；3—钢环板；4—钢拉板；5—锚栓；6—钢轨；7—隧道管片

a) 收敛变形：

- 1) 运营 1 年以内隧道，变形量 $\geq 80\text{mm}$ ；
- 2) 运营 1 年以上隧道，变形量 $\geq 90\text{mm}$ ；

注：隧道周边存在工程活动和影响作用时，应待隧道结构稳定后再予以实施。但隧道收敛变形量 $\geq 100\text{mm}$ 时，须立即采取钢环加固，同时一并采取其它措施以控制隧道进一步变形。

b) 管片损伤：

- 1) 受拉区有纵向贯通裂缝，3 条及以上，且裂缝宽度 $\geq 0.3\text{mm}$ ；
- 2) 受压部位出现挤压崩块，造成 2 根及以上主筋外露。

c) 管片错台：隧道周边存在工程活动和影响作用时，环缝错台变化增量 $\geq 6\text{mm}$ ，纵缝错台变化增量 $\geq 3\text{mm}$ 。

注：如隧道出现影响运营安全的病害时，需综合判断和处置。

9.4.2 微扰动注浆加固。隧道周边存在工程活动和影响作用时，通过在盾构隧道两侧注入水泥+水玻璃双液浆，保护控制隧道进一步外扩变形：

- a) 收敛变形量 $\geq 70\text{mm}$ ；
- b) 微扰动注浆应考虑外部环境，条件允许时优先实施隧外地面注浆，否则采取隧内壁后注浆。

9.4.3 壁后堵漏注浆。隧道存在下列较严重的渗漏水情况时，需通过向隧道外侧注入聚氨酯等材料进行整体堵漏。

- a) 连续 5 环管片有明显渗漏水，在管片表面或环纵缝内形成淌水；
- b) 隧道局部出现喷（涌）水或有吐泥砂现象。

9.4.4 隧底注浆加固。当隧道因长期沉降或差异沉降达到下列数值时，需采取隧道底部注浆以控制和减小隧道沉降的发展。

- a) 隧道与车站、区间风井或联络通道处差异沉降量大于 10mm，并伴有漏水漏土等不良现象；
- b) 结构沉降导致轨道高低差大于 10mm 或接触网导高调整量范围低于 10mm。

9.4.5 道床加固。道床存在下列结构性病害时，需对道床底部压注环氧等化学浆液，以粘接道床与结构底板，保持道床稳定性：

- a) 道床面出现渗漏水，并持续伴有吐沙；

- b) 道床存在 5mm 以上脱空层或有明显空洞；
- c) 道床横向折断，或在伸缩缝处短期内产生 10mm 以上高差。

附 录 A
(资料性)
隧道检查记录表和病害展示图

A.1 隧道检查记录表

使用环境检查宜按表 A.1 规定的信息采集要求，填写记录表。

表A.1 使用环境检查记录表

路线名称： 隧道名称： （上行线□/下行线□）
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 保存期限：
检查单位： 检查日期： 年 月 日 天气：

采集参数	测试方法	取样位置	测试结果	影像或照片编号	备注
空气中 CO ₂	气象色谱法				
水、土中氯离子	硝酸银滴定法				
水、土中硫酸根离子	硫酸钡重量法 EDTA 络合容量法				
温度	高精度温度计				
湿度	高精度湿度计				

检查人员：

记录人员：

A.3 日常检查记录表

日常检查宜按表 A.3 规定的信息采集要求，填写记录表。

表A.3 日常检查记录表

路线名称： 隧道名称： （上行线/下行线）
 起讫桩号： 隧道全长： 结构类型： 保存期限：
 检查单位： 检查日期： 年 月 日 天气：

序号	管片环号	检查内容	异常描述	影像或照片编号	安全状态等级	养护措施			
						重点关注	特殊监测	专项检查或维修	限制使用

检查人员：_____

记录人员：_____

A. 4 特别定期检查和专项检查记录表

特别定期检查和专项检查宜按表 A. 4 规定的信息采集要求，填写记录表。

表A. 4 特别定期检查和专项检查记录表

路线名称：
起讫桩号：
检查单位：
隧道名称：
隧道全长：
检查日期： 年 月 日
(上行线/下行线
结构类型：
保存期限：
天气：

序号	管片 环号	位置 (范围)	检 查 内容	病害描述(性质、范 围和程度)	以往养护情 况描述	影像或照片 编号	安全状 态等级

检查人员：

记录人员：

A.5 盾构隧道结构病害展示图

盾构隧道结构病害展示图宜按规定（图 A.1）制定，病害表述图例宜按规定（图 A.2）制定。

管片环号		1	2	3	4	5	6	7	N
管片	标准块3									
	标准块2									
	标准块1									
	邻接块1									
	封顶块									
	邻接块2									
	标准块4									
	标准块5									
标准块6										
标准块7										
道床										
口型件										
牛腿										
烟道板										
疏散平台										

图 A.1 盾构隧道结构病害展示

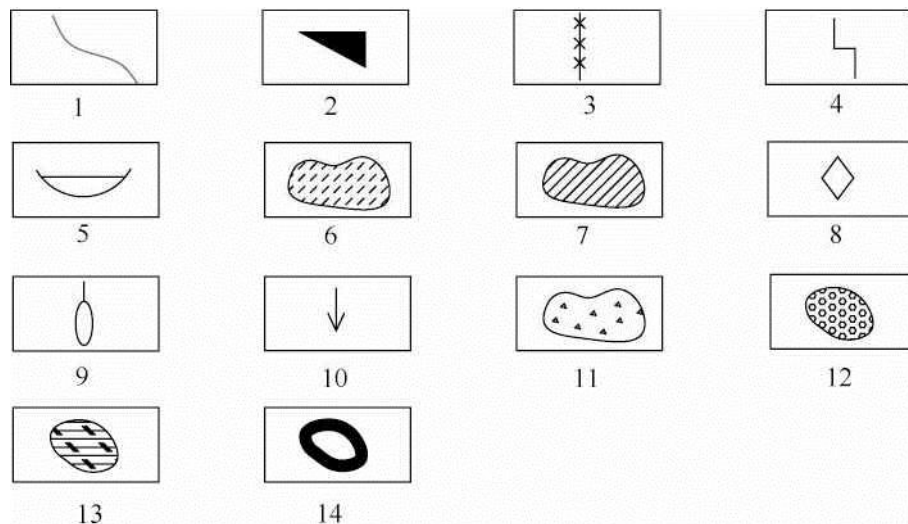


图 A.2 病害表述图例

1—裂缝；2—缺角；3—压溃；4—错台；5—道床脱空；6—湿渍；
7—浸渗；8—滴漏；9—线漏；10—涌流；11—漏泥沙；12—材料劣化；
13—锈蚀；14—剥落剥离

附录 B

(资料性)

渗漏水治理效果检查与验收表

B.1 渗漏水治理效果检查与验收表

表 B.1 渗漏水治理效果检查与验收表

工程名称		施工单位	
结构形式		抗渗等级	
防水种类		防水等级	
边界条件		检查日期	
验收资料完整程度	1 调查报告、专项方案、图纸会审记录、专项方案变更、洽商记录单；		
	2 施工方案及技术、安全交底；		
	3 材料的产品合格证、质量检验报告；		
	4 隐蔽工程验收记录；		
	5 工程检验批质量验收记录；		
	6 施工队伍的资质证书及主要操作人员的上岗证书；		
	7 缺陷处理、技术总结报告、竣工图纸等其他必需提供的资料。		
检查部位及检查结果			
渗漏处(点)的处理意见与处理结果			
建设单位意见：	监理单位意见：	施工单位意见：	
项目专业负责人：	监理工程师：	项目专业负责人：	
年 月 日	年 月 日	年 月 日	

本规范用词说明

1 本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。