

长 江 三 角 洲 区 域 地 方 标 准

DB 32/T 310019—2024
DB 31/T 310019—2024
DB 33/T 310019—2024
DB 34/T 310019—2024

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 shield
tunnel in operation period

2024-01-14 发布

2024-05-01 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

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
3.1 术语	1
3.2 符号	3
4 基本规定	3
4.1 一般规定	3
4.2 结构安全状态等级划分	3
4.3 结构安全评价流程	4
5 检 查	4
5.1 一般规定	4
5.2 环境调查	4
5.3 初始检查	5
5.4 日常检查	5
5.5 定期检查	6
5.6 特殊检查	6
5.7 专项检查	8
5.8 处置后复查	8
6 监 测	8
6.1 一般规定	8
6.2 常规监测	8
6.3 特殊监测	9
6.4 监测频率	9
6.5 预警管理	10
7 评价方法与等级划分	10
7.1 一般规定	10
7.2 评价方法	10
8 状态评价	12
8.1 一般规定	12

8.2 安全状况评分	12
9 病害处置	14
9.1 一般规定	14
9.2 病害处置措施	14
附录 A （资料性）检查记录表	16
附录 B （资料性）盾构隧道结构病害展布图	19
参考文献	20

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省交通运输厅、上海市交通委员会、浙江省交通运输厅、安徽省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：南京地铁运营有限责任公司、南京交通运营管理集团有限公司、上海城投公路投资(集团)有限公司、浙江数智交院科技股份有限公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司、交通运输部公路科学研究院、苏交科集团股份有限公司、上海城建城市运营(集团)有限公司、华设设计集团股份有限公司、山东大学、同济大学、中铁第四勘察设计院集团有限公司。

本文件主要起草人：赵振江、乔小雷、沈阳、王兆洋、张霆、游楠、陈宁威、王跃锋、李伟、周鹏、彭良亮、苏东华、池瑜、韦学健、王飞、张有桔、沈洪波、资谊、许崇帮、鲁志鹏、柳献、姜海西、曹永勇、刘艳滨、侯剑锋、张玉富、钟方杰、郭洪雨、刘海智、孙飞、俞先江、高才驰、林春金、刘浩、徐筱、杨磊、谢云海、黄俊、韩冬、董飞、陈飞。

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

本文件规定了城市轨道交通盾构隧道运营期结构设施的检查及监测的基本要求、安全状态评价的方法和隧道病害处置的措施。

本文件适用于长三角地区城市轨道交通盾构隧道运营期结构设施的检查、监测、安全状态评价及病害处置,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。其他行业盾构隧道可参照此文件执行。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

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 shield tunnel

使用盾构机掘进并通过预制管片拼装形成衬砌的地下隧道。

3.1.2

主体结构 main structure

盾构隧道用于承担外部荷载的主要构件,主要是混凝土或钢管片。

3.1.3

接缝结构 joint structure

用于连接盾构隧道管片的结构构件。

3.1.4

隧底结构 bottom structure

盾构隧道底部支撑列车运行的结构构件,主要是道床板及轨枕。

3.1.5

附属设施 ancillary facilities

盾构隧道内满足疏散、逃生、指示等功能非主要受力构件,主要是联络通道、疏散平台、烟道板、口子件、中隔墙等。

3.1.6

使用环境 service environment

隧道结构所处的工作环境,如一般环境、氯化物环境、化学腐蚀环境等。

3.1.7

结构安全评价 Structural safety evaluation

根据隧道检查和监测结果，对隧道结构是否安全做出的评价。

3.1.8

初始检查 initial inspection

在隧道正式运营前对隧道结构进行的全面检查。

3.1.9

日常检查 daily inspection

按照规定的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。

3.1.10

定期检查 periodic inspection

按照规定的频次对采用专业的仪器对隧道结构进行的全面检查。

3.1.11

特殊检查 special inspection

发生地震、火灾、洪灾等灾难性事件后或地铁控制保护区内外部施工期间对隧道结构进行的详细检查。

3.1.12

专项检查 detailed inspection

针对初始检查、日常检查、定期检查和特殊检查安全状态等级较差的隧道结构进行的加密检查。

3.1.13

处置后复查 reinspection after treatment

隧道病害处置完成后，依据日常检查的要求对隧道结构进行的跟踪复查。

3.1.14

单项指标评价法 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。

3.1.15

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，考虑病害程度、发展趋势、对行车的影响等相关因素的综合量化评价法。

3.1.16

结构安全状态 Structural safety status

依据隧道运营检查和监测结果，对隧道的结构安全状态的评价。

3.1.17

安全状态等级 Safety status level

依据隧道运营检查和监测结果，对隧道运营安全以及结构安全的影响程度分级。

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_{rx} —盾构隧道分项结构安全状态评分；

S_{zx} —盾构隧道分项结构中的子项（单一病害）安全状态评分；

ω_i —盾构隧道分项结构评价指标权重；

G_{sd} —盾构隧道分项结构整体安全状态等级；

G_{zx} —盾构隧道分项结构中的子项（单一病害）安全状态等级。

4 基本规定

4.1 一般规定

- 4.1.1 盾构隧道运营期检查分为初始检查、日常检查、定期检查、特殊检查、专项检查和处置后复查。
- 4.1.2 盾构隧道运营期监测分为常规监测和特殊监测。
- 4.1.3 盾构隧道初始检查、定期检查，特殊检查以及完成监测后应形成报告。
- 4.1.4 结构安全评价的工作内容应包括结构使用条件检查、结构病害的检查、病害的分级及结构安全状态等级评定。
- 4.1.5 隧道结构的检查应查明隧道运行条件与变化情况、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。
- 4.1.6 盾构隧道运营接管时建设单位应向运营单位移交隧道施工期间监测资料及运营前调查报告。
- 4.1.7 盾构隧道运营期检查周期应符合表 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
初始检查		正式运营前
日常检查		1 次/月
定期检查		1 次/年
特殊检查	保护区内施工作业影响期间	1~2 次/周
	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		≥2 次/月
处置后复查		2 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应按表 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	中度受损	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 结构安全评价流程

- 4.3.1 盾构隧道结构安全评价的工作程序应包括初始资料收集、设施检查、病害分类及等级判定等。
- 4.3.2 初始资料收集内容包含隧道三维激光扫描数据、轨后沉降数据、隧道地勘报告等
- 4.3.3 盾构隧道结构安全评价流程如图 1 所示。

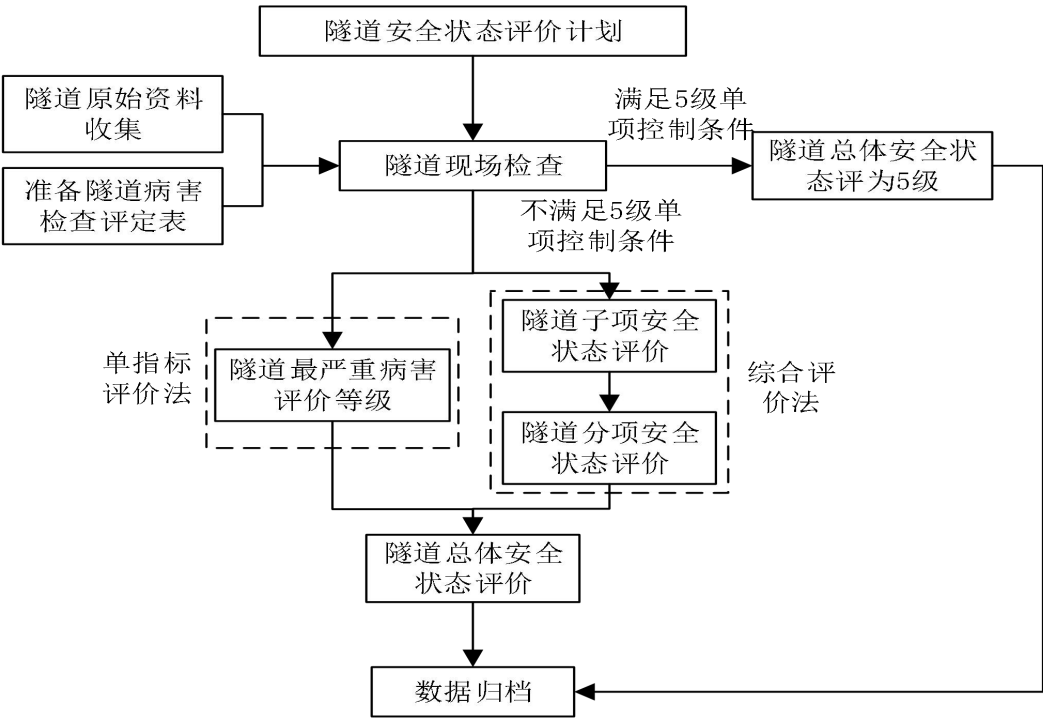


图 1 盾构隧道安全评价流程

5 检查

5.1 一般规定

- 5.1.1 盾构隧道运营期现场检查的对象应包括隧道主体结构、接缝、道床结构和附属设施。
- 5.1.2 检查人员应携带检查工具并及时记录检查结果，配备防护器材和通信器材。

5.2 环境调查

- 5.2.1 环境调查应包含如下内容：
- a) 对隧道内、外环境进行调查；
 - b) 对隧道外部的施工活动进行调查；

- c) 对隧道内渗漏水 pH 值和氯离子浓度进行检测。
- 5.2.2 应查明实际荷载与设计荷载之间的差异，包括地下水变化和隧道周边荷载的变化。
- 5.2.3 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件（如交通事故、爆炸、火灾等）及处置记录。

5.3 初始检查

- 5.3.1 盾构隧道初始检查宜在正式运营前开展，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、浑浊状态	
	钢筋、螺栓和钢管片锈蚀的位置、范围和程度	
	断面轮廓限界及椭圆度检查	不少于 1 个断面/5 环
管片接缝	错台的位置、范围和程度	全检
	压溃的位置、范围和程度	
	渗漏水的位置、范围、状态、水量、浑浊状态	
	接缝止水条的脱落位置和范围	
	螺栓孔堵塞物脱落的位置	
	螺栓孔渗漏水的位置、状态、水量、浑浊状态	
道床结构	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水的位置、范围和程度	全检
附属设施	联络通道混凝土结构裂缝、压溃等破损的位置、范围、类型、长度、宽度	全检
	联络通道渗漏水的位置、范围、状态、水量、浑浊状态	全检
	中隔墙及牛腿混凝土结构裂缝、压溃等破损的位置、范围、类型、长度、宽度	全检

- 5.3.2 初始检查宜由运营养护单位组织开展。
- 5.3.3 初始检查宜采用激光扫描等专业检测设备对隧道轮廓，椭圆度开展检测。
- 5.3.4 初始检查可采用锤击法对隧道拱顶和拱肩部位管片开展检查，检查管片是否存在剥离隐患。
- 5.3.5 初始检查应填写初始检查记录表（见附录 A.1），并对隧道结构开展安全评价，初始检查记录表应作为运营期养护管理和其它检查的原始资料。
- 5.3.6 初始检查报告应包括下列内容：

a) 初始检查记录表、隧道病害展布图（见附录 B）和检查记录资料；

b) 统计分析病害类型、分布位置、严重程度，评价安全状态等级；

c) 专项检查的建议；

d) 保养维修措施。

5.4 日常检查

- 5.4.1 盾构隧道运营期日常检查的项目、内容、密度和检查方法应符合表 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	检查方法
管片	裂缝、压溃等破损	全检	目测、尺量
	起毛、酥松、起鼓等材料劣化		目测
	剥落剥离		目测
	渗漏水		目测
	螺栓锈蚀、松动		目测
	钢筋、螺栓和钢管片的锈蚀		目测
管片接缝	错台	存在病害的接缝	尺量
	压溃	全检	目测
	渗漏水		目测
	接缝止水条脱落		目测
	螺栓孔堵塞物脱落		目测
道床结构	裂缝、脱空、下沉、隆起、渗漏水	全检	目测、尺量
附属设施	联络通道混凝土结构裂缝、压溃	全检	目测、尺量
	联络通道渗漏水	全检	目测
	中隔墙及牛腿混凝土结构裂缝、压溃	全检	目测

- 5.4.2 日常检查频率为 1 次/月，当结构安全评价为 3 级及以上时应应对病害地段开展专项检查。
- 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、可能危及安全，应立即上报并尽快采取措施。

5.5 定期检查

- 5.5.1 定期检查宜在春季或秋季集中进行。
- 5.5.2 定期检查的项目、内容、密度和方法应符合表 4 的规定。
- 5.5.3 定期检查应填写定期检查记录表（附录表 A.2），并对隧道结构进行安全评价。
- 5.5.4 定期检查完成后，应形成定期检查报告，报告要求参照 5.3.6 执行。

5.6 特殊检查

- 5.6.1 检查项目、内容和密度应符合表 5 的规定。

表 5 检查项目、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

表 5（续）

检查情况分类	检查项目	检查内容	检查密度	
火灾	洞内检查	螺栓脱帽松动	火灾影响范围：全检	
		钢筋劣化的位置、范围和程度		
地震	资料调查	隧道所处土层地质情况	—	
		节理、断层等地层构造		
		烈度、震源、震级等地震信息		
		地面喷水、冒砂、沉陷位置、范围和程度		
		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、浑浊状态		
		断面轮廓变形的位置、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、浑浊状态		
		断面轮廓变形的位置、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	擦痕的位置、范围和程度	脱轨影响范围：全检	
		掉块的位置、范围和程度	脱轨影响范围：不少于 1 个断面/5m	
		断面轮廓变形的位置、范围和程度		
		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	裂缝的位置、范围、类型、长度和宽度	异常情况影响范围：全检	
		压溃的位置、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、浑浊状态		
保护区外部施工作业	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	裂缝的位置、范围、类型、长度和宽度	施工影响区段：全检	
		压溃的位置、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		
断面轮廓变形的位置、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（附录表 A.2），并对隧道结构进行安全评价。

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 在初始检查、日常检查、定期检查及特殊检查中安全评价为 3 级、4 级和 5 级的结构应开展专项检查。

5.7.2 专项检查的项目、内容、密度和方法参考表 3 规定。

5.7.3 专项检查应填写专项检查记录表(附录表 A.3)。

5.8 处置后复查

5.8.1 当隧道采取维修、加固措施后，应进行处置后复查。

5.8.2 处置后复查的项目、内容、密度和方法参考表 3 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 当隧道结构安全评价等级为 3 级时宜对病害分布范围内隧道结构开展加密监测、当隧道结构安全评价等级为 4 级和 5 级时，应对病害分布范围内隧道结构进行加密监测。

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，常规监测的位移和收敛监测宜采用施工阶段已布设的控制点。

6.1.5 特殊监测宜优先采用运营期已布设的隧道监测布点，宜采用自动化监测。

6.1.6 除采用常规监测方法外，宜积极采用新技术、新方法，采用新技术、新方法应用时，应进行对比验证。

6.2 常规监测

6.2.1 常规监测项目与监测点布设应符合表 6 的规定。

表 6 常规监测项目与监测点布设

序号	监测项目	监测点布设	监测断面间距
1	竖向位移	拱顶至少布设1个测点	10环～15环一个断面
2	水平位移*	两侧边墙至少各布设1个测点	
3	净空收敛	竖向或水平向至少布设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 条件允许时，隧道结构净空收敛与竖向位移、水平位移监测点应布设在同一断面。

6.2.3 在下列位置应布设监测点或监测断面：

- a) 地基或围岩采用加固措施的隧道区段；
- b) 下穿或邻近重要建（构）筑物、地下管线、河流湖泊等的隧道区段；
- c) 在联络通道中部布设 1 个竖向位移监测断面，在联络通道两端各布设 1 个净空收敛监测断面；
- d) 建设施工阶段发生过程较大扰动等区段；

e) 隧道洞门环内及环外应各布设 1 个竖向位移监测断面。

6.3 特殊监测

6.3.1 特殊监测项目与监测点布设宜符合表 7 的规定。

表 7 特殊监测项目与监测点布设

序号	监测项目		监测点布设	监测断面间距
1	隧道结构	竖向位移	拱顶至少布设1个测点	5环一个断面,可根据实际情况适当加密
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	周边环境	地表沉降	垂直于隧道结构外边线两侧各50 m范围内布设	5 m~10 m
6		地下水位	各地下水层布设	15 m~25 m
7		岩土体分层竖向位移	隧道影响范围内岩土层	与变形监测断面一致
8		岩土体深层水平位移	隧道影响范围内岩土层	与变形监测断面一致

6.3.2 特殊监测断面布设范围应覆盖隧道病害段，并至少向两侧各延伸 20 m。

6.3.3 特殊监测数据保持稳定三个月后，且控制保护区内无开挖卸载、堆载类施工时，可停止特殊监测。

6.4 监测频率

6.4.1 监测频率宜符合表 8 的规定。

表 8 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	安全等级	运营第一年1次/6月，运营一年后1次/12月	—
特殊监测	3级（常规）	1 次/月	—
	4级（常规）	1 次/周	1 次/周
	5级（常规）	1次/天	1 次/天
	控制保护区施工期间	宜 1 次/天，不应少于 1 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(特殊监测)：

- a) 监测数据变化速率持续增大；
- b) 发生报警或突发结构病害等情况；
- c) 地表、建(构)筑物等周边环境因不均匀沉降产生破损；
- d) 暴雨、长时间连续降雨或隧道内因漏水导致洞内积水；
- e) 在过江(河)隧道段，上部存在挖沙、疏浚河道。

6.5 预警管理

6.5.1 监测预警等级应根据结构监测数值的大小和变化趋势，以及相应的结构安全控制指标进行划分。等级划分及应对管理措施应符合表 9 的规定。

表 9 监测预警

监测预警等级	监测比值 G	应对管理措施
—	$G < 0.6$	按要求开展巡查
黄色预警	$0.6 \leq G < 0.8$	监测数值预警，采取加密监测点或提高监测频率等措施加强对城市轨道交通结构的监测，同时开展结构设施专项巡查
橙色预警	$0.8 \leq G < 1.0$	立即开展专项巡查，召开评估会，开展隧道安全状态评价，采取对应的维修或加强措施。
红色预警	$1.0 \leq G$	启动安全应急预案
注：监测比值 $G = \text{监测项目实测值} / \text{结构安全控制}$		

6.5.2 城市轨道交通结构变形监测数据趋于稳定的标准为最后 100 天的平均变形速率小于 0.04 mm/d。

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项指标评价法，定期检查宜采用综合评价法。

7.1.2 盾构隧道分项结构包括主体结构、接缝结构、隧底结构及附属设施，一般取 10 环为一评价单元。

7.2 评价方法

7.2.1 单项指标评价法，按公式（1）计算。

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

式中：

G_{sd} ——盾构隧道分项结构安全状态等级；

G_{zx}^i ——盾构隧道分项结构中的子项（单一病害）安全状态等级。

7.2.2 综合评价法，应符合以下要求：

a) 盾构隧道结构总体安全状态评分按公式（2）计算。

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

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。盾构隧道结构分项权重宜采用层次分析法加以确定，各盾构隧道结构分项权重之和应为 1。主体结构可取 0.50，接缝结构可取 0.20，隧底结构可取 0.20，附属设施可取 0.10。

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 ——检查单元，按实际分段数量取值，建议按 10 环为一检查单元。

c) 盾构隧道结构分项检查单元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}^{ijk} ——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（见表 12）；

k ——隧道结构分项中子项（单一病害）的数量取值（见表 12）。

d) 盾构隧道结构分项权重宜采用层次分析法加以确定，各盾构隧道结构分项权重之和应为 1。主体结构可取 0.50，接缝结构可取 0.20，隧底结构可取 0.20，附属设施可取 0.10。

e) 盾构隧道结构总体安全状态分类界限值宜按表 10 规定执行。

表 10 盾构隧道结构安全状态分类

安全状态等级 G_{sd}	隧道结构安全状态分类				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
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、破损掉块，严重威胁行车及结构安全；
- 3) 隧道衬砌结构发生明显突变，且有危及结构安全和运营安全的趋势；
- 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，严重影响运营安全。

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，按正常周期频率开展检查；
- b) 2 级，正常保养；
- c) 3 级，开展专项检查和特殊监测，有计划采取维修措施或加固措施；
- d) 4 级，开展专项检查和特殊监测，尽快采取维修或加固措施；
- e) 5 级，启动应急预案立即采取维修或加固措施，同步开展专项检查和特殊监测。

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 10 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，各子项（单一病害）安全状况评分值与安全状态等级的对应关系按表 11 取值。

表 11 安全状态评分值与安全状态等级对应关系（单项指标评价法）

安全状态等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
病害标度值	0	1	2	3	4

8.2 安全状况评分

- 8.2.1 在对病害程度、发展趋势和对行车影响等多因素综合判断基础上对盾构隧道运营期病害进行评分，标度值为 1~4, 分值越大代表病害程度越高或发展趋势越快对运营的影响越大，评分值参考表 12。

表 12 病害评分值

项目		标度值			
		1分	2分	3分	4分
主体结构	裂缝	1) 结构表面存在轻微开裂，以干缩、温缩裂缝为主，或有少量轻微的环向裂缝； 2) 受力裂缝宽度小于 0.2 mm	1) 结构裂缝以环向裂缝为主； 2) 出现少量纵向裂缝或斜裂缝； 3) 受力裂缝宽度大于或等于 0.2 mm，小于 0.5 mm	1) 局部出现多处纵向裂缝或斜裂缝，因裂缝或压溃混凝土存在掉块的可能性； 2) 受力裂缝宽度大于或等于 0.5 mm，小于 2.0 mm	1) 裂缝发育密集，且拱部部位出现交叉裂缝，因裂缝发育或压溃已出现掉块； 2) 受力裂缝宽度大于或等于 2.0 mm
	材料劣化	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松、蜂窝麻面	材料劣化导致混凝土表层出现起毛、酥松、蜂窝麻面	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
	剥离掉块	1) 表层出现少量轻微的剥离； 2) 压溃范围小于 0.5 m²； 3) 剥离直径小于 50 mm、剥离最大深度小于 6 mm	1) 表层多处出现剥离，敲击有空响，尚未出现剥落掉块； 2) 压溃范围大于等于 0.5 m²小于 1 m²； 3) 剥离直径大于或等于 50 mm，小于 10 mm、剥离最大深度大于或等于 6 mm，小于 18 mm	1) 表层出现剥离，敲击有空响，混凝土多处出现剥落掉块； 2) 压溃范围大于或等于 1 m²，小于 3 m²； 3) 剥离直径大于或等于 10 mm，小于 150 mm、剥离最大深度大于或等于 18 mm，小于 25 mm	1) 表层出现大面积的剥离，并多处剥落，混凝土掉块侵入建筑限界； 2) 压溃范围大于或等于 3 m² 或衬砌掉块最大厚度大于衬砌厚度的 1/4； 3) 剥离直径大于或等于 150 mm、剥离最大深度大于或等于 25 mm

表 12 (续)

项目		标度值			
		1分	2分	3分	4分
主体结构	渗漏水	表面有少量湿渍，无肉眼可见漏水源	有滴水，无漏泥，滴水频率小于60/min，位于侧面，不影响行车安全	滴水成线，无漏泥；滴水至接触网、钢轨等专业设备，影响行车安全	危及行车及结构安全的涌水；漏泥漏砂
	净空收敛（错缝）	$c < 6\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$6\%D \leq c < 9\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$9\%D \leq c < 12\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$c \geq 12\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径
	净空收敛（通缝）	$c < 8\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$8\%D \leq c < 12\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$12\%D \leq c < 16\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径	$c \geq 16\%D$ ，c为隧道收敛变形量，D为隧道直径
	沉降变形	1) 变形速度小于1mm/a； 2) 纵向变形相对曲率小于1/5000	1) 变形速度大于或等于1mm/a，小于3mm/a； 2) 纵向变形相对曲率大于或等于1/5000，小于1/2500	1) 变形速度大于或等于3mm/a，小于10mm/a； 2) 纵向变形相对曲率大于或等于1/2500，小于1/1500	1) 变形速度大于或等于10mm/a； 2) 纵向变形相对曲率大于或等于1/1500
管片接缝		错台量 $\leq D-d$ ，错台无发展，D表示盾构管片对穿螺栓孔直径，d代表盾构管片对穿螺栓外径	错台量 $\leq D-d$ ，错台有发展，趋势较慢，D表示盾构管片对穿螺栓孔直径，d代表盾构管片对穿螺栓外径	$D-d < \text{错台量} \leq D-3/4d$ ；错台有发展，趋势较慢，D表示盾构管片对穿螺栓孔直径，d代表盾构管片对穿螺栓外径	$D-3/4d < \text{错台量} \leq D-5/3d$ mm；错台有发展，趋势较快，D表示盾构管片对穿螺栓孔直径，d代表盾构管片对穿螺栓外径
隧底结构	道床脱空剥离	脱空剥离量 $\leq 5\text{mm}$ ；局部翻浆冒泥	$5\text{mm} < \text{脱空剥离量} \leq 10\text{mm}$ ；局部翻浆冒泥	$5\text{mm} < \text{脱空剥离量} \leq 10\text{mm}$ ；道床板出现多道横向贯通裂缝；道床板上连续翻浆冒泥	脱空剥离量 $> 10\text{mm}$ ；道床出现多道横向贯通裂缝，扣件弹条出现断裂；道床板连续冒泥冒沙
	轨枕剥离	轨枕与道床轻微剥离，且剥离量 $\leq 0.5\text{mm}$	$0.5\text{mm} < \text{剥离量} \leq 1.0\text{mm}$ ；剥离有发展，趋势较慢	剥离量 $> 1.0\text{mm}$ ；剥离有发展，趋势较快，出现崩角破损	轨枕与道床完全脱开
附属设施	联络通道	破损	同主体结构	同主体结构	同主体结构
		劣化	同主体结构	同主体结构	同主体结构
		剥落剥离	同主体结构	同主体结构	同主体结构
		渗漏水	同主体结构	同主体结构	同主体结构
	中隔墙、烟道板、牛腿等	破损	同主体结构	同主体结构	同主体结构
		劣化	同主体结构	同主体结构	同主体结构

9 病害处置

9.1 一般规定

- 9.1.1 根据隧道结构安全状态等级，宜按 7.2.3 条对隧道结构设施病害分级处置。
- 9.1.2 当隧道安全状态等级达到 3 级时宜进行维修专项论证。当安全状态等级达到 4 级和 5 级时应进行专项论证。
- 9.1.3 应选择治理效果稳定，对运营影响小的治理方案。

9.2 病害处置措施

- 9.2.1 盾构隧道不同病害类别与分级对应治理措施宜按表 13~14 执行。

表 13 病害治理措施

类别	措施	
不均匀沉降	a1	隧底微扰动注浆
	a2	隧外MJS注浆
	a3	地表卸载换填
	a4	轨道调坡
	a5	限速运营
收敛变形	b1	钢环加固或复合腔体加固
	b2	隧内两侧微扰动注浆
	b3	地表卸载换填
	b4	隧外MJS注浆
渗漏水	c1	壁后注浆
	c2	骑缝注浆配合弹性环氧封缝
	c3	嵌缝封堵
	c4	接水槽引流
管片破损	d1	钢环加固
	d2	粘贴芳纶布
	d3	植筋或挂网植筋修复
	d4	环氧胶泥修补
道床脱空	e1	环氧加固
	e2	灌浆料填充
管片裂缝	f1	表面封闭
	f2	注射环氧加固
	f3	粘贴芳纶布
短轨枕剥离	g1	环氧加固
	g2	环氧胶泥或UHPC修补
	g3	轨枕重筑
管片错台	h1	骑缝钢环
	h2	骑缝钢拉条
	h3	砂浆修补

表 14 病害分类分级治理措施

病害分级指标		治理措施	说明
类别	安全状态级		
不均匀沉降	4级、5级	a3、a5、a4、a1、e1	①应兼顾沉降绝对值，沉降速率以及变坡值。变坡按线路不设竖曲线控制为2‰； ②不均匀沉降影响大，治理难，若2级病害，但变形仍持续发展宜尽早介入； ③ a2、a3类措施应根据外部实际情况采用。依据轨道养护标准，经常保养高低不平顺为7mm，对应曲率半径约为8km，因此建议3级以上加强a3类措施； ④不均匀沉降会导致道床脱空，病害治理需结合道床注浆综合处置。
	3级	a1、a2、e1	
	2级	a1、e1	
收敛变形	4级、5级	b1、b4	①在治理隧道收敛变形病害之前，均需配合进行c类渗漏水修复； ②管片若存在裂缝、破损病害应先采取措施治理裂缝及破损病害； ③对于上部堆土引起的收敛变形，应配合采用b3类上部卸载措施； ④具备隧外注浆施工条件的地段，3级及4级病害可增加b4类措施
	3级	b2、b4	
渗漏水	4级、5级	c1、c2、c4	先采取c1类治理，再采取c2类治理，壁内外注浆堵漏相结合；涌水至接触网等电气设备上时可采取c4类措施临时处置，后采取c1、c2类措施
	3级	c1、c2	先采取c2类，再根据治理效果决定是否进行c1类治理。
	2级	c2、c3、c4	以堵为主，无作业面时可安装接水槽进行引排
管片破损	4级、5级	d1、d2	待隧道沉降、收敛稳定后，管片破损处于稳定状态时采取d1、d2类措施。
	3级	d2、d3	对位于两腰侧的裂损可降低一个等级。
	2级	d4	对于拱顶部位的破损掉块可视情增加d2类措施。
道床脱空	4级、5级	e1、e2	无
	3级	e1	
管片裂缝	4级、5级	f3	待隧道沉降、收敛稳定后，管片裂缝处于稳定状态时采取f3类措施。
	3级	f2、f3	先采取骑缝注射环氧树脂对裂缝内部进行填充补强，如果裂缝依然发展应对隧道沉降及周边活动进行调查，待裂缝发展稳定后采取f3类措施。
	2级	f1	裂缝表面封闭材料应选择环氧砂浆类材料，禁止使用快干水泥、堵漏王等材料。
管片错台	4级、5级	h1	错台有发展时应先对隧道沉降、收敛及周边活动开展调查，此时治理措施应根据沉降及收敛情况开展综合治理
	3级	h2	
	2级	h3	
	1级	无	

附录 A

(资料性)

检查记录表

A.1 初始检查记录表

表 A.1 初始检查记录表

路线名称：隧道名称：（上行线□/下行线□）

环号：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	位置 (范围)	检查内容	病害描述	影像或照片 编号	安全状态等级

检查人员：记录人员：

A.2 定期检查和特殊检查记录表

表 A.2 定期检查和特殊检查记录表

检查单位: 检查日期: 年 月 日 天气:

[illegible]

检查人员:

记录人员:

A.3 日常检查记录表

表 A.3 日常检查记录表

检查单位: 检查日期: 年 月 日 天气:

[illegible]

检查人员:

记录人员:

附录 B

(资料性)

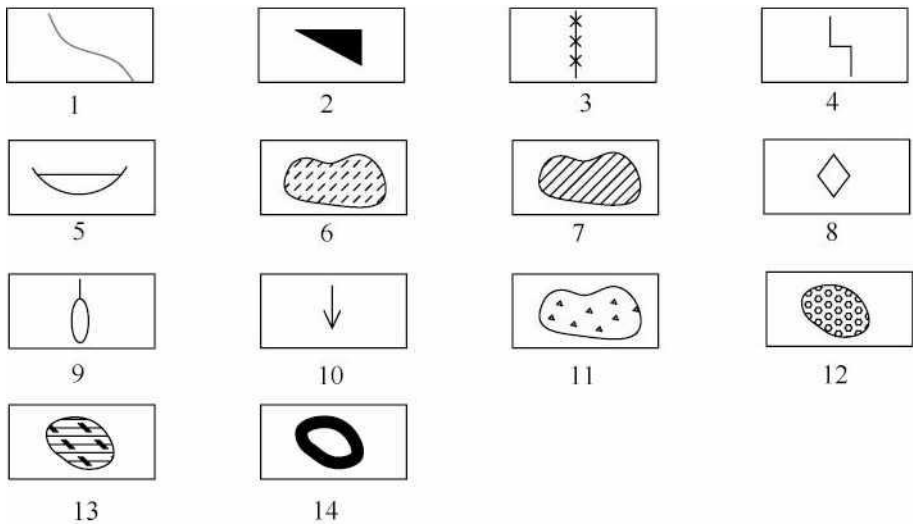
盾构隧道结构病害展布图

B.1 盾构隧道结构病害展布图

盾构隧道结构病害展布图宜按规定（图 B.1）制定，病害表述图例宜按规定（图 B.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 B.1 盾构隧道结构病害展布图



标引序号说明：

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

图 B.2 病害表述图例

参 考 文 献

- [1] GB/T 30012 城市轨道交通运营管理规范
 - [2] GB/T 38707 城市轨道交通运营技术规范
 - [3] GB/T 39559.3 城市轨道交通设施运营监测技术规范第3部分隧道
 - [4] GB 50108 地下工程防水技术规范（附条文说明）
 - [5] GB 50157 地铁设计规范
 - [6] GB/T 50299 地下铁道工程施工质量验收标准
 - [7] GB 50446 盾构法隧道施工及验收规范
 - [8] GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计标准
 - [9] GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
 - [10] CJJ/T 289 城市轨道交通隧道结构养护技术标准
 - [11] DB32/T 4351 城市轨道交通结构安全保护技术规程
 - [12] DG/TJ08-2123 盾构法隧道结构服役性能鉴定规范
 - [13] DG/TJ08-2231 地铁盾构法隧道修复加固工程施工质量验收规范
 - [14] DGJ 32-J195 江苏省城市轨道交通工程监测规程
 - [15] JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
-