

城市轨道交通地下结构健康检测监测 技术规范

Technical specification for health monitoring of metro underground
structure

征求意见稿

2019-xx-xx 发布

2019-xx-xx 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言.....	3
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 病害巡查.....	2
5 病害检测.....	6
6 安全监测.....	7
7 评价方法.....	21
8 管理信息系统建设.....	21
附 录 A（资料性附录） 隧道结构快速检测设备.....	33
附 录 B（资料性附录） 区域病害面积计算方法.....	35
附 录 C（资料性附录） 混凝土中氯离子含量的测定.....	36
附 录 D（资料性附录） 地质雷达检测.....	36
附 录 E（资料性附录） 监测点埋设.....	39
附 录 F（资料性附录） 综合评定法评定健康度.....	41

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则进行起草。

本标准由北京城建勘测设计研究院有限责任公司提出。

本标准由中国科技产业化促进会归口。

本标准起草单位：北京城建勘测设计研究院有限责任公司、上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、浙江省建设工程质量检验站有限公司、山东华鉴工程检测有限公司、国投工程检验检测有限公司、上海宝冶工程技术有限公司、东通岩土科技股份有限公司、南京市测绘勘察研究院股份有限公司、中铁科工集团轨道交通装备有限公司、宁波市轨道交通集团有限公司、北京智博联科技股份有限公司、上海同禾工程科技股份有限公司、深圳市爱华勘测工程有限公司、中铁上海设计院集团有限公司等

本标准主要起草人：王思锴、余永明、曹玉新、洪开荣、陈湘生、余弘婧等

城市轨道交通地下结构健康检测监测技术规范

1 范围

本标准规定了城市轨道交通地下结构病害巡查、病害检测、安全检测、评价方法及管理信息系统建设等内容。

本规范适用于已运营或试运营的城市轨道交通地下结构健康检测监测范围。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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。

JTJ 270 水运工程混凝土试验规程
DL/T 5152 水工混凝土水质分析试验规程
JGJ/T 23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程
JGJ/T 384 钻芯法检测混凝土强度技术规程
GB 50367 混凝土结构加固设计规范
CJJ/T 289 城市轨道交通隧道结构养护技术标准
GB 50026 工程测量规范
GB/T 50308 城市轨道交通工程测量规范
GB 50911 城市轨道交通工程监测技术规范
GB 50621 钢结构现场检测技术标准
GB/T 50344 建筑结构检测技术标准

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1 缺陷 defect

影响结构安全性和耐久性的现象，包括裂缝、渗漏水、剥落剥离、冻害、锈蚀、材料劣化、变形等。

3.1.2 健康度 health degree

评价隧道结构健康程度的指标。

3.1.3 隧道结构病害检测 inspection of tunnel structure disease

为评定既有隧道结构的性能，对隧道结构出现的病害进行的现场测试、试验、观测、检查与记录描述等工程活动。

3.1.4 数字摄影测量法 digital photogrammetry method

利用数字相机或摄像机获取隧道表面数字影像或图像，根据像点与相应目标点间的数学关系，获取隧道结构表面病害位置、范围等特征的方法。

3.1.5 隧道结构快速检测法 tunnel structure detection method

利用搭载数字相机或摄像机、激光扫描仪、红外热像仪、雷达等一种或多种传感器设备的平台，对隧道结构病害进行动态连续的数据采集的无损检测方法。

3.1.6 超声波法 ultrasonic method

利用超声波在介质中的传播特性及有关参数，对介质特征和内部的构造与缺陷进行探测的方法。

3.1.7 钻芯法 drilled core method

通过从结构或构件中钻取圆柱状试件检测材料强度的方法。

3.1.8 红外热成像法 infrared thermography

利用红外热成像装置将物体表面的温度分布拍摄成可视图像进行分析的方法。

3.1.9 容积法 volumetric method

将渗漏水引入容器内，测定渗漏水的容积和充水时间，求得渗漏水量的方法。

3.1.10 半电池电位法 Half-cell potential method

通过测定钢筋电极与参比电极的相对电位差，确定钢筋锈蚀性状的方法。

3.1.11 混凝土电阻法 concrete resistivity method

通过测定混凝土表面的电阻率变化，确定混凝土中的钢筋锈蚀状况的方法。

3.1.12 回弹法 rebound method

通过测定回弹值及有关参数检测材料抗压强度和强度均质性的方法。

3.1.13 超声回弹综合法 ultrasonic-rebound combined method

通过测定混凝土的超声波声速值和回弹值检测混凝土抗压强度的方法。

3.1.14 地质雷达法 ground penetrating rader method

利用电磁波在介质中反射特性及有关参数，对介质内部的构造和缺陷（或其他不均匀体）进行探测的方法。

3.1.15 三维激光扫描法 three-dimensional laser scanning method

利用激光测距的原理，采用非接触式扫描测量方法，获取隧道结构表面点云数据，建立隧道三维影像模型，辨识隧道结构变形或病害的方法。

3.1.16 手持式病害记录法 Hand-held diseases data recording method

采用手持式记录仪，采集、上传病害图像信息，实现检测数据快速记录、统计的方法。

3.1.17 单项指标法 single index method

依据检测结果，采用单一病害指标进行隧道结构健康度评定，将最严重的病害确定的健康度作为隧道结构健康度的方法。

3.1.18 综合评定法 comprehensive index method

根据单一病害健康度评定结果，采用加权求和得到评分值，确定隧道结构健康度的方法。

3.1.19 数字化管理

将隧道病害检测的数据进行标准化，运用数字化技术实现数据存储、统计、管理的方法。

4 病害巡查

4.1 一般规定

4.1.1 病害巡查包括盾构隧道、暗挖隧道和车站日常巡查。盾构隧道、暗挖隧道和车站日常巡查应及时发现结构缺损、明显病害或其它异常情况。

4.1.2 日常巡查应以目测观察为主、以简单工具(锤子、卷尺、照明设备、摄像设备、手持终端巡检设备等)为辅，进行定性检查。

4.1.3 日常巡查的频率应符合下列规定：

- 1) 日常巡查频率不应低于1次/月，围岩级别为VI级和V级的区域的巡查频率不应低于1次/周；
- 2) 符合规范特殊规定的地段巡查频率不应低于1次/日；
- 3) 发现病害、异常情况的区域应提高巡查频率。

4.1.4 日常巡查发现可能影响结构安全、行车安全的状况，或保护区内未经审批备案的施工活动时，应立即上报。

4.1.5 日常巡查记录表应及时整理，并按时归入检查对象的技术档案。

4.2 日常巡查内容

4.2.1 盾构及暗挖隧道日常巡查内容

(1) 主体结构检查

针对模筑混凝土结构、管片结构、管段(节)结构及跨三轨平台的具体检查内容如下：

- 1) 模筑混凝土结构
 - a) 衬砌表面裂缝情况；
 - b) 有无剥落剥离、局部掉块现象；
 - c) 是否出现压溃、起鼓现象；
 - d) 是否出现错台现象；
 - e) 是否出现酥松、起毛、蜂窝麻面现象；
 - f) 衬砌表面有无钢筋外露、腐蚀现象；
 - g) 是否出现渗漏水、结晶现象；
 - h) 是否存在挂冰、冰柱等冻害现象。
- 2) 管片结构
 - a) 管片是否出现裂缝；
 - b) 是否出现剥落剥离、局部掉块现象；
 - c) 是否出现压溃、起鼓现象；
 - d) 管片间是否存在错台现象；
 - e) 管片表面是否出现酥松、起毛、蜂窝麻面现象；
 - f) 管片螺栓有无脱落，螺栓孔、注浆孔堵塞物有无脱落；
 - g) 固定螺栓是否完好；
 - h) 是否出现钢筋外露、腐蚀现象；
 - i) 表面有无渗漏水、结冰现象；
 - j) 是否存在挂冰、冰柱等冻害现象。
- 3) 管段(节)结构
 - a) 管段是否出现裂缝；
 - b) 有无剥落剥离、局部掉块现象；
 - c) 是否出现压溃、起鼓现象；
 - d) 管段间是否出现错台现象；
 - e) 管段表面是否出现酥松、起毛现象；
 - f) 固定螺栓是否完好；
 - g) 是否出现钢筋外露、腐蚀现象；
 - h) 表面有无渗漏水、结冰现象；

- i) 是否存在挂冰、冰柱等冻害现象。
- 4) 跨接触轨平台
 - j) 平台面板有无脱落、破损或开裂；
 - k) 平台支座螺栓有无松动、断裂、缺失；
 - l) 楼梯扶手有无开焊。
- (2) 基床结构

基床结构检查内容如下：

 - 1) 是否出现裂缝；
 - 2) 有无错位；
 - 3) 是否出现下沉、隆起现象；
 - 4) 是否存在翻浆冒泥现象。
- (3) 接缝或接头

接缝或接头检查内容如下：

 - 1) 施工缝中是否有杂物；
 - 2) 变形缝填塞物有无脱落；
 - 3) 变形缝开合、压溃、错台；
 - 4) 施工缝、变形缝止水带是否外露；
 - 5) 管段接头剪力键是否破损、变形；
 - 6) 管段接头处止水带是否完好；
 - 7) 接缝或接头处防排水设置是否完好，有无渗漏水。
- (4) 防排水设施

防排水设施检查内容如下：

 - 1) 是否出现破损，有无渗漏水；
 - 2) 排水沟、集水井是否堵塞、沉砂、积水；
 - 3) 是否有结冰现象。
- (5) 洞口、洞门

洞口、洞门检查内容如下：

 - 1) 洞口上方仰坡有无危岩、落石；
 - 2) 洞口上方有无挂冰；
 - 3) 洞口边沟有无淤塞；
 - 4) 洞口、洞门构造物有无开裂、倾斜、沉降；
 - 5) 洞门结构有无错台现象；
 - 6) 洞门结构是否出现起层、剥落剥离现象。
- (6) 附属结构及设施

附属结构及设施检查内容如下：

 - 1) 检查联络通道、迂回风道、区间风道、活塞风道等是否出现裂缝、渗漏水等现象；
 - 2) 吊顶及各种预埋件有无缺损、松动、变形、漏水、挂冰等现象；
 - 3) 检查内装饰有无缺损、松动、脏污、变形；
 - 4) 标志、标线、轮廓线是否完好、有无遮挡；
 - 5) 区间防火门检查
 - a) 门框与墙体是否松动；
 - b) 铰链、拉手顺位器、闭门器、锁具等五金螺丝是否松动；

- c) 表面涂层有无脱落、锈蚀；
- d) 门体有无变形、翘曲或破损。
- 6) 疏散平台检查
 - a) 平台上是否有杂物、破损；
 - b) 支架与墙体的固定螺栓是否松动、完好；
 - c) 平台板有无掉角现象；
 - d) 检查钢结构有无开焊现象；
 - e) 疏散标志牌有无脱落、不牢固、破损现象。

4.2.2 车站日常巡查内容

(1) 车站巡查一般规定

1) 车站的日常检查主要包括对地下、地面、高架车站的外露主体结构、附属结构、装饰面及附属设施的外观检查。主体结构的日常检查包括钢结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构的外观检查；附属结构的日常检查包括出入口、疏散口、风道、炮台、过街天桥、地下通道的外观检查；装饰面的日常检查包括墙面、顶面、柱面、地面、屋面、门窗、盥洗设施、安全疏散标志及排水设施的外观检查；附属设施的日常检查主要包括栏杆、雨棚等；

- 2) 装饰面的日常检查每周至少一次；
- 3) 日常检查以人工检查为主，辅以简单的检测工具。

(2) 钢结构

- 1) 检查钢结构表面油漆是否脱落、锈蚀；
- 2) 检查钢结构表面有无裂纹；
- 3) 检查钢结构柱脚螺栓有无松动、脱落或断裂。

(3) 钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构

- 1) 检查结构表面有无渗漏水；
- 2) 检查结构表面混凝土有无锈斑、剥落；
- 3) 检查结构有无露筋、开裂、破损。

(4) 屋面

1) 检查车站屋顶、屋面装饰面伸缩缝盖板孔（门）、透气孔网等外观是否完好；对于地上车站，还要检查采光板屋面及金属屋面是否有污点、腐蚀，采光是否良好，隔热层及防潮板功能是否有效。

- 2) 检查屋面防水卷材是否起鼓、开裂，封边是否牢固，屋顶是否积水、漏水，女儿墙是否尿檐。

(5) 墙面

1) 对涂饰类装饰面，检查有无起皮、脱落或开裂；对干挂类装饰面，检查是否平整，有无开裂，嵌缝是否密实，金属挂件是否结实，吊挂是否牢固、翘起；对于湿贴类装饰面，检查表面是否平整，有无空鼓、裂缝，绑扎或粘贴是否牢固。

- 2) 检查变形缝是否完好，局部是否翘起，装饰面是否开胶，每周不少于一次。

(6) 柱面

按照本规范第4.2.2条第5款的规定执行。

(7) 地面

1) 对于整体铺设地面，检查是否平整，有无脱皮、空鼓、裂纹、麻面和起砂等现象；对于板块地面，检查是否平整，有无松动、空鼓、裂纹、掉角、缺楞、翘曲等现象；对于大理石地面，检查是否有开裂、破损、渗漏水等现象。

- 2) 检查站内沟盖板有无出槽、变形、断裂或丢失，胶皮是否脱落。

- 3) 检查站台板是否松动，有无空鼓、破损。
 - 4) 检查盲道砖是否空鼓，防滑功能是否有效；检查无障碍标志是否翘起、脱落和破损。每周不少于一次。
 - 5) 检查散水是否破损。
- (8) 门窗
- 1) 对普通门窗，检查是否完好，有无松动、开焊、开裂和变形；开关是否灵活；小五金是否有缺损；玻璃安装是否牢固，有无缝隙裂纹等。
 - 2) 对特种门，检查开启是否正常，配件是否齐全、位置是否正确、是否牢固，插销件是否损坏、掉漆，骨架是否腐蚀，功能是否满足使用及性能要求。
- (9) 盥洗设施
- 检查站内卫生间洁具设施是否完好、小五金配件是否缺失，每周不少于一次。
- (10) 安全疏散标志
- 检查站厅、售票厅、出入口、通道柱、墙面和台阶等处的安全疏散标志及导向标识是否清晰，有无翘起、脱落或破损，每周不少于一次。
- (11) 楼梯
- 1) 检查台阶有无破损、松动、露筋或裂缝；防滑条有无破损、翘起；水泥抹灰有无脱落。
 - 2) 检查木质扶手、栏杆是否存在缺失、线条不顺直、对缝不严密整齐的情况。
 - 3) 检查不锈钢扶手、栏杆是否存在变形、连接处开焊的情况。
 - 4) 检查钢质扶手、栏杆是否存在变形、开焊、锈蚀、掉漆的情况。
- (12) 出入口
- 检查出入口顶面、墙面、地面以及楼梯有无渗水情况。
- (13) 风道
- 检查风道外观是否有破损，运行是否正常。
- (14) 炮台
- 检查炮台外立面是否破损。
- (15) 过街天桥
- 检查内容参照本规范第4.2.2条第2、3款规定执行；同时检查过街天桥栏杆、扶手是否存在变形、开焊、锈蚀及掉漆情况，每年不少于两次。
- (16) 地下通道
- 检查内容参照本规范第4.2.2条第12款规定执行。
- (17) 附属设施
- 检查栏杆和雨棚等附属设施是否破损或锈蚀，雨棚是否漏水。
- (18) 排水设施
- 检查雨落管、排水管和排水漏斗是否堵塞、破损，水算子是否破损。
- (19) 汛期检查
- 1) 每年汛前对车站出入口、地面厅、屋面等处防洪、排水设施进行检查。检查内容参照本规范第4.2.2条第(4)、(7)、(12)款规定执行。
 - 2) 汛期应每天对车站出入口、地面厅等处防洪、排水设施进行一次检查。

4.3 成果要求

- 4.3.1 日常巡查记录表格内容见资料性附录 A 的有关要求。
- 4.3.2 日常巡查成果应包括日常巡查记录表，以及必要的图示、照片。

5 病害检测

5.1 一般规定

- 5.1.1 隧道、暗挖和车站结构出现病害时，应及时检测病害参数，确定隧道暗挖和车站结构健康度。
- 5.1.2 检测病害类型及参数应根据《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T289 的检查类型确定。
- 5.1.3 病害检测方法宜根据检测病害参数、精度要求和场地条件等综合确定，并应遵循下列规定：
- 1) 当同一病害存在多种检测方法时，宜选择便捷、无损、经济的检测方法。
 - 2) 当选用有损的检测方法时，应保证隧道结构的安全性。
- 5.1.4 检测精度应根据病害类型及特征、健康度评定标准等因素确定。
- 5.1.5 隧道结构健康度宜根据病害程度、发展趋势以及病害对运营安全和结构安全的影响进行评定。
- 5.1.6 检测数据宜标准化，应以单个区间隧道为单元进行数字化管理。
- 5.1.7 检测新技术、新设备应用前，应与传统方法比对验证，检测精度应满足要求。
- 5.1.8 现场的检测人员应培训上岗，人数不少于两名。应采取安全保障措施确保现场检测人员的安全和轨道交通正常运营。
- 5.1.9 盾构隧道结构病害类型应包括裂缝、渗漏水、剥落剥离、压溃、材料劣化、钢筋（螺栓、钢管片）锈蚀、管片强度、混凝土碳化深度、管片背后空洞、隧道变形、接缝张开或错台、道床病害等。
- 5.1.10 盾构隧道结构病害检测宜采用目测与仪器相结合的方法。
- 5.1.11 目测时应符合下列规定：
- 1) 表观病害的位置、走向、状态进行目测法预判。
 - 2) 目测时应采用手持照明灯具辅助。
- 5.1.12 仪器检测时宜符合下列规定：
- 1) 同一检测回次，同一检测参数宜采用同一检测仪器。
 - 2) 检测结果应为相同环境下连续3次观测值的平均值；如最大值和最小值之差超过平均值的15%，应重新测量。
- 5.1.13 采用隧道结构快速检测设备检测时，应按附录 A 执行。

5.2 裂缝

- 5.2.1 裂缝检测参数宜包括裂缝位置、走向、长度、宽度、深度。
- 5.2.2 裂缝检测宜采用目测法确定位置及走向后，按表 1 选择检测方法及仪器设备。

表 1 裂缝检测方法及仪器设备

检测参数	检测方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
走向	直接量测法	量角器或地质罗盘
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
长度	直接量测法	钢卷尺
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备

宽度	直接量测法	游标卡尺
	显微镜测量法	裂缝显微镜、裂缝宽度检测仪
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
深度	超声波法	裂缝测深仪

5.2.3 裂缝位置宜以纵向和环向位置标识，裂缝纵向位置应以里程桩号或管片环号标识；环向应以块号、量测距离和部位标识。宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 裂缝位置应以裂缝中间位置确定。
- 2) 可采用目测法、直接量测法量测。
- 3) 采用目测法时，纵向位置目测标记管片环号；环向位置目测标记分块号。
- 4) 采用直接量测法时，纵向位置使用钢卷尺量测裂缝中间位置与隧道起始桩号距离。环向位置使用钢卷尺测量裂缝中间与隧道拱顶中线或道床边线的距离，并标明部位。
- 5) 直接量测法时，裂缝位置检测精度不宜低于5cm。

5.2.4 裂缝按走向应分为纵向裂缝、环向裂缝和斜裂缝。宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 检测点宜布置在裂缝起始端与终端的连线与隧道任一纵轴平行线的夹角位置。
- 2) 宜采用量角器、地质罗盘直接量测法。
- 3) 采用量角器时，应将量角器中心与角顶点重合，零刻度线与角的一条边重合，读取角另一条边对应的角刻度即裂缝走向。
- 4) 采用地质罗盘时，应将罗盘长边与裂缝起始端和终端连线紧贴，并使底盘水准器水泡居中，读取指针所指刻度即裂缝走向。
- 5) 裂缝走向检测精度不应低于 1° 。

5.2.5 裂缝长度宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 应测量裂缝起始端沿裂缝轨迹到终点的距离。
- 2) 可采用钢卷尺直接量测。
- 3) 裂缝长度检测精度不应低于1cm。

5.2.6 裂缝宽度宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 检测点宜布置在裂缝最宽处。混凝土表面应保持清洁、平整，裂缝内部不应有灰尘或泥浆。
- 2) 可采用游标卡尺直接量测，也可采用裂缝显微镜、裂缝测宽仪量测。
- 3) 采用游标卡尺检测时，应先在裂缝最宽处两侧贴、埋检测标志固定点，使两侧量爪分别内贴两标志点，且量爪平行于裂缝两侧延伸线，卡尺不应倾斜，读出宽度值。
- 4) 采用裂缝显微镜时，应在裂缝最宽处的两侧标记检测点，检测时应将物镜对准待测裂缝检测点处，旋转旋钮使图像聚焦，通过目镜读出裂缝宽度。
- 5) 采用裂缝宽度检测仪检测时，应符合以下规定：
 - a) 应在裂缝最宽处的两侧标记检测点。
 - b) 应调试好仪器后将探头（摄像头）放置在待测裂缝测点上。
 - c) 应使裂缝图像与刻度尺垂直，根据裂缝图像所占刻度线长度读取宽度值。
 - d) 读数时应确保裂缝最宽处位于测宽仪屏幕正中央，并及时保存、记录数据。
- 6) 裂缝宽度检测精度不应低于0.1mm。

5.2.7 裂缝深度宜采用裂缝测深仪检测，应符合以下规定：

- 1) 检测点宜与宽度测点位置保持一致，待测部位混凝土表面应清洁、平整，必要时采用工具磨平，被测裂缝内不得有耦合介质（如水、泥浆等）。
- 2) 调试好仪器后应设置构件名和裂缝编号。

3) 宜将仪器发射和接收换能器置于裂缝测点位置，两个换能器与砼表面之间应使用耦合剂耦合，采集不少于三组波形图。

4) 拟合波形图，计算裂缝深度，并保存数据。

5) 检测精度不应低于1cm。

5.3 渗漏水

5.3.1 渗漏水状态应分为湿渍、浸渗、滴漏、线漏、涌流、漏泥沙六类，具体判定标准按表 2 执行。

表 2 渗漏水状态判定标准

分类	判定标准
湿渍	呈现明显色泽变化，干手触摸有潮湿感，无水分浸润感觉，用吸墨纸或报纸贴附时纸不变色。
浸渗	明显观察到水分浸湿和流挂水膜范围，干手触摸有水分浸润，手沾有水分或可观察到移动的水膜，用吸墨纸或报纸贴附时纸浸润变色。
滴漏	水量达到一定程度时，水珠滴落。
线漏	滴漏速度大于 60 滴/min 时，水珠连成一条线成股流出。
涌流	渗漏水量较大，处于喷水、涌水状态。
漏泥沙	渗水通道扩大或防水失效，渗水量增加，同时夹带泥沙。

5.3.2 渗漏水检测参数应包括渗漏水位置、范围、水量、浑浊、冻结、PH 值和水质。

5.3.3 渗漏水检测宜先采用目测法初判其位置、水量、浑浊、冻结情况后，按表 3 选择检测方法及仪器设备。

表 3 渗漏水病害检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
范围	直接量测法	粉笔、钢卷尺
	红外热像法	红外热成像仪
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
水量	触摸法、吸墨纸或报纸贴附法	吸墨纸、报纸
	容积法	量杯、量筒、秒表、粉笔
	计数法	秒表
	流速法	流量计
浑浊	容积法	量杯、量筒、天平
冻结	直接量测法	钢卷尺
PH 值	直接量测法	PH 试纸、PH 测量仪
水质	试验室法	分光光度计、气相色谱仪、余氯测定仪等

5.3.4 渗漏水位置宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 检测点应布设在渗水点或渗漏水区域中心处。
- 2) 可采用目测法或直接量测法量测。
- 3) 采用目测法时，宜符合以下规定：

a) 管片环向接缝渗漏水,纵向位置标记管片环号-管片环号,环向位置标记分块号-分块号;管片纵向接缝渗漏,纵向位置标记管片环号,环向位置标记分块号-分块号。

b) 螺栓孔、注浆孔渗漏水、管片裂缝漏水位置按本规范第5.2.3条中目测法执行。

4) 采用直接量测法时,按本规范第5.2.3条中直接量测法执行。

5.3.5 渗漏水范围宜采用下列方法和要求实施检测:

1) 可采用直接量测,也可采用红外热成像仪检测。

2) 采用直接量测法时,宜采用粉笔或油笔圈出渗漏水范围,宜按附录B用钢卷尺测量渗漏水面积计算尺寸,根据区域形状计算面积。

3) 采用红外热成像仪检测时,应符合以下规定:

a) 应选择适当测点位置安放仪器,开启并调整仪器,使其处于稳定工作状态,并应根据隧道材料和表面状态设置仪器发射率值。

b) 检测时应保持安全距离和适当角度测量,拍摄时应选择目标物表面拍到最少反射物的角度,拍摄角度不宜超过45°,超过45°时则需在红外热像图旁注明。

c) 应对准渗漏水区域拍摄红外热像,进行同角度的可见光图像拍摄并保存。当一幅热像图或照片不能拍完整个渗漏水区域时,应分区拍摄,分区间重叠部分面积应不少于分区面积的10%。

d) 应准确记录、标识拍摄部位,时间及红外热像图和可见光照片,并保存、处理数据,计算渗漏水面积。

4) 检测精度不宜低于10cm²。

5.3.6 渗漏水宜采用以下方法和要求实施检测:

1) 检测点宜通过目测布置在渗水明显位置。

2) 渗水量可根据渗水状态,采用触摸法或吸墨纸报纸贴附法、容积法、计数法、流速法确定。

3) 采用触摸法或吸墨纸报纸贴附法时,宜用干手触摸或吸墨纸、报纸直接贴附后观察颜色变化。

4) 采用容积法时,可直接用有刻度的容器收集测量,或用带有密封缘口的规定尺寸方框,安装在规定量测的隧道内表面,将渗漏水导入量测容器内,计算24h的渗水量。

5) 采用计数法时,可用秒表结合目测法计取每分钟或数分钟内的滴落数目,计算出该点24h的渗水量。

6) 采用流速法时,应将渗漏水引入排水沟中利用流量计检测。

5.3.7 渗漏水浑浊状态宜采用以下方法和要求实施检测:

1) 宜采用目测法或容积法检测。

2) 采用目测法时,按浑浊程度可分为透明、浑浊和明显浑浊3种。

3) 采用容积法时,沉淀处理后测出单位体积沙的质量。

5.3.8 渗漏水冻结应检测冻结位置、范围,宜采用以下方法和要求实施检测:

1) 冻结位置检测应按5.2.3执行。

2) 冻结范围宜采用钢卷尺直接量测。

3) 检测精度不宜低于10cm²。

5.3.9 PH值宜采用以下方法和要求实施检测:

1) 可采用PH试纸或PH测量仪检测。

2) 采用PH试纸检测时,应取一试纸置于表面皿或玻璃片上,将待测渗漏水滴于试纸的中部,颜色变化稳定后与标准比色卡对比,读取PH值。

3) 采用PH测量仪检测时,应用干净容器收集渗漏水,纯净水清洗电极,启动仪器后应将PH极放入被测渗漏水中直至浸没线处,待数据稳定后读取PH值。

5.3.10 存在溶出性腐蚀、结晶性腐蚀等水体腐蚀时应进行水质检测，检测方法及要求宜按《水工混凝土水质分析试验规程》DL/T 5152 执行。

5.4 剥落剥离、压溃

5.4.1 剥落剥离、压溃检测参数应包括位置、范围、深度。

5.4.2 剥落剥离、压溃检测宜先采用目测法对位置初判后，按表 4 选择检测方法及仪器设备。

表 4 剥落剥离、压溃检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
范围	直接量测法	粉笔、钢卷尺
	数字摄像测量法	隧道结构快速检测设备
深度	直接量测法	钢直尺、深度游标卡尺

5.4.3 剥落剥离、压溃位置宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 检测点应布设于剥落剥离、压溃区域中心位置。
- 2) 剥落剥离、压溃位置检测方法及要求应按本规范第5.2.3条执行。

5.4.4 剥落剥离、压溃范围宜采用直接量测法，应利用铁锤敲击管片表面圈定其面积，按附录 B 用钢卷尺测量计算尺寸，根据区域形状计算面积。检测精度不应低于 10cm²。

5.4.5 剥落剥离、压溃深度宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 剥落剥离、压溃深度应布置在病害最大深度处。
- 2) 可采用直尺和深度游标卡尺直接量测，测量时直尺应沿着管片的纵向轴线紧贴在管片表面，用深度游标卡尺测量剥落剥离、压溃最深处至管片表面的最大距离。
- 3) 检测精度不宜低于5mm。

5.5 材料劣化

5.5.1 起毛、酥松、起鼓等材料劣化检测参数应包括位置、范围、程度。

5.5.2 起毛、酥松、起鼓等材料劣化检测方法及要求宜按本规范第 5.4 节剥落剥离、压溃执行。

5.6 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀

5.6.1 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀检测参数应包括位置、范围和程度。有害物质含量检测宜包括氯离子含量、硫酸根离子含量等。

5.6.2 螺栓、钢管片锈蚀应先采用目测初判位置。钢筋、螺栓、钢管片锈蚀检测方法及仪器设备宜按表 5 确定。

表 5 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
钢筋、螺栓范围或程度	剔凿检测方法	铁锤、錾子、游标卡尺

	自然电位法	钢筋锈蚀检测仪
	混凝土电阻法	混凝土电阻率检测仪
钢管片涂层厚度	磁感应测厚方法、电涡流测厚方法	干漆膜测厚仪
氯离子含量	滴定条法	滴定条、石蕊试纸
	试验室化学分析法	酸度计和电位计、电极、电磁搅拌器、滴定管移液管
硫酸根离子	试验室化学分析法	钻机、切片机、陶瓷研钵、烧杯、天平

5.6.3 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀位置检测方法及要求应按本规范第 5.2.3 条执行。

钢筋、螺栓锈蚀范围和程度宜采用以下方法和要求实施检测：

1) 应根据构件的环境差异及外观检查的结果确定测区，每种条件的测区数量不宜少于3个；测区面积不宜大于 $5\text{m}\times 5\text{m}$ ；测区混凝土表面应平整、清洁，无涂料、浮漆、油脂、污物或尘土等。

2) 可采用半电池电位法、混凝土电阻法、剔凿检测法检测。

3) 采用半电池电位法时，可选用钢筋锈蚀检测仪检测，应符合以下规定：

a) 测区中测点数不宜少于20个，测点与构件边缘的距离不应大于50mm；应在测区布设测试网格，网格间距宜选 $20\text{cm}\times 20\text{cm}$ ， $30\text{cm}\times 30\text{cm}$ 或 $20\text{cm}\times 10\text{cm}$ 等，网格节点应为电位测点。测点处混凝土应湿润，两测点间不应留有自由表面水。

b) 电极铜棒应清洁、无明显缺陷。应连接好仪器将仪表的负输入端接钢筋，且应保证仪器连接点钢筋与测点钢筋连通，导线与连接钢筋有良好的电连接。

c) 检测时应先设置参数再进行电位测试，且应在测点读数稳定后读数并保存记录，电位读数变动不超过2mV，重复读数差异不得超过10mV。

d) 测试时应避免各种地磁场的干扰，应注意环境温度对测试结果的影响，必要时应进行修正。

f) 测试结果应按一定的比例绘制测区平面图得到数据阵列，并应绘制电位等值线图。

g) 检测精度不宜低于1mV。

5.6.4 钢管片涂层厚度宜采用干漆膜测厚仪进行检测。可按《钢结构现场检测技术标准》GB 50621 实施检测。

5.6.5 混凝土中氯离子的含量宜采用滴定条法和试验室化学分析法。滴定条法宜按附录 C 执行。试验室化学分析法宜按《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 中附录 C 执行。

5.6.6 混凝土中硫酸根离子的含量检测方法宜按《水运工程混凝土试验规程》JTJ 270 执行。

5.7 管片强度

5.7.1 管片强度检测方法及设备宜按表 6 确定。

表 6 管片强度检测方法及设备

检测参数	方法	仪器设备
管片强度	回弹法	回弹仪
	超声回弹综合法	超声回弹仪
	钻芯法	钻芯机、锯切机、磨平机

5.7.2 混凝土强度位置检测方法及要求应按本规范第 5.2.3 条执行。

5.7.3 回弹法混凝土抗压强度的检测应按现行行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的规定执行。

5.7.4 超声回弹仪检测方法和技术要求应按《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS02的规定执行。

5.7.5 当隧道受到环境侵蚀或遭受火灾、碰撞、高温等影响、对回弹法、超声回弹法结果有争议时，宜采用钻芯法进行混凝土强度检测。检测技术要求应按《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384的规定执行。

5.7.6 对于龄期超过 1000d，且由于结构构造等原因无法采用钻芯法对回弹检测结果进行修正的混凝土结构强度推定，宜按《混凝土结构加固设计规范》GB50367 确定推定值。

5.8 混凝土碳化深度

5.8.1 混凝土碳化深度检测方法及仪器设备宜按表 7 确定。

表 7 混凝土碳化深度检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
碳化深度	滴定法	铁锤、毛刷、1%~2%的酚酞酒精溶液、碳化深度测量仪或游标卡尺

5.8.2 混凝土碳化深度位置检测方法及要求应按本规范第 5.2.3 条执行。

5.8.3 混凝土碳化深度宜采用以下方法和要求实施检测：

1) 测点应布置在有代表性的混凝土强度测区，测点数不应少于强度测区数的30%，且不应小于3个。

2) 应采用工具在测区混凝土表面形成直径约15mm的孔洞，每个测区应不少于3个测孔。

3) 应清除孔洞中的粉末和碎屑，且不得用水擦洗。

4) 应采用浓度为1%~2%的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界限清晰时，应采用碳化深度测量仪或游标卡尺测量已碳化与未碳化混凝土碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离，并应测量3次，每次读数应精确至0.25mm。

5) 应取3次测量的平均值作为检测结果，并应精确至0.5mm。

5.9 管片背后空洞

5.9.1 管片背后空洞检测参数应包括位置、范围、程度。

5.9.2 管片背后空洞检测方法及仪器设备宜按表 8 确定。

表 8 管片背后空洞检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置、范围、程度	电磁波法	地质雷达
	钻孔测量法	钻机，带直角钩的铁丝

注：当对地质雷达检测结果有争议或空洞处理核实时，可采用钻孔测量法检测。

5.9.3 管片背后空洞位置检测方法及要求应按本规范第 5.2.3 条执行。

5.9.4 管片背后空洞范围、程度检测宜采用以下方法和要求实施检测：

1) 可采用地质雷达检测，也可采用钻孔测量法。

2) 采用地质雷达检测时，应符合以下规定：

a) 在分辨率满足且场所条件许可时，应选择中心频率低的天线。

b) 现场测线应环向测线为主，纵向为辅。环向测线间距离宜按5~8m或1环设置。需确定背后空洞规模和范围时，应加密测线或测点。

c) 地质雷达检测操作、数据处理及解释、管片背后空洞判读宜按附录D执行。

5.10 隧道变形

5.10.1 隧道变形检测应包括水平变形、竖向变形、断面轮廓。检测参数应包括变形位置、最大变形量。

5.10.2 隧道变形检测方法及其仪器设备宜按表 9 确定。

表 9 隧道变形检测方法及其仪器设备

检测参数		方法	仪器设备
水平变形	位置、最大变形量	坐标法、测回法	全站仪
		极坐标法	三维激光扫描仪
竖向变形	位置、最大变形量	几何水准测量法	精密水准仪
		极坐标法	三维激光扫描仪
断面轮廓	位置、最大变形量	坐标法	全站仪
		极坐标法	激光断面仪、全站仪
			三维激光扫描仪
		隧道结构快速检测装备	

5.10.3 隧道变形位置检测方法及其要求应按本规范第 5.2.3 条执行。断面轮廓位置宜采用纵向位置标识。

5.10.4 隧道水平变形宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 可采用全站仪检测，也可采用三维激光扫描仪检测。
- 2) 采用全站仪检测时，应符合以下规定：
 - a) 全站仪的测距精度不低于 $1\text{mm}+2\times 10^{-6}D$ （ D 测量距离），测角精度不宜低于 $1''$ 。
 - b) 沿线路方向可每5~8环布设一个观测断面；每个断面上左右等高布设各1个观测点；应在有较明显张开或错台的管片环缝位置附近加密观测断面。
- 3) 采用三维激光扫描仪检测时，应满足以下规定：
 - a) 检测时应先对三维激光扫描仪进行整平，各测站的局部坐标系 Z 轴均垂直水平面。
 - b) 扫描仪宜架设在隧道中线上，若测站无法架设在中心线上，则应距离中线先就近布置。扫描站扫描范围应覆盖整个扫描目标物，均匀布设，且设站数量尽量少，通视困难或线路有拐角时应增加扫描站。
 - c) 标靶应在扫描范围内均匀布置，且高低错落；每一扫描站的标靶个数应不少于4个，相邻两扫描站的公共标靶个数应不少于3个。
 - d) 扫描时应先扫描靶点，结束后再进行隧道全景扫描，并保存扫描数据。
 - e) 室内扫描数据处理时应先进行拼接后，数据处理得出隧道变形值。
 - f) 三维激光扫描仪标靶点的测量中误差应小于 $\pm 2\text{mm}$ ，连续传递配准次数不应超过4次。
- 4) 测量精度应不低于《建筑变形测量规范》JGJ8中的二级要求。
- 5) 检测成果应包含单次水平变形量、累计水平变形量、变化速率。

5.10.5 隧道竖向变形宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 可采用精密水准仪检测，也可采用三维激光扫描仪检测。
- 2) 采用精密水准仪检测时，应符合以下规定：
 - a) 精密水准仪仪器精度应不低于DS1或DSZ1。
 - b) 观测点宜布置于便于测量的隧道侧墙或道床上，可每5~8环布设一个观测点；也可采用水平变形检测点，边墙两侧各布设一处测点。应在有较明显张开或错台的管片接缝位置附近加密观测点。

- c) 可采用闭合水准线路或附合水准线路。
 - 3) 采用三维激光扫描仪检测时, 宜按本规范第5.10.4条执行。
 - 4) 检测成果应包含单次竖向变化量、累计竖向变化量和变化速率。
- 5.10.6 隧道断面轮廓宜采用以下方法和要求实施检测:**
- 1) 可采用全站仪检测, 也可采用激光断面仪、三维激光扫描仪检测。
 - 2) 采用全站仪检测时, 应符合以下规定:
 - a) 应采用钢卷尺测定各断面处轨道中心点位置, 并将中心点沿铅垂方向投射到道床上做好标记。
 - b) 宜将全站仪架设与检测断面中心点位置, 以轨道中心线为基点, 采用免棱镜方式采集各测量点的极坐标数据。
 - c) 测量并记录隧道断面上不少于20测点距全站仪中心的距离及天顶角。
 - d) 测量过程中, 宜避开隧道内部的电缆支架及电线管道等配套附属物影响。
 - e) 断面里程中误差不应超过 $\pm 50\text{mm}$, 断面限界控制点与线路中线法距的测量中误差不应超过 $\pm 10\text{mm}$, 除道床的线路中线点外, 其他限界控制点高程的测量中误差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ 。
 - f) 测量完成后, 应编制断面测量成果表, 并绘制断面图。
 - 3) 采用激光断面仪检测时, 应符合以下规定:
 - a) 检测断面观测断面应沿线路方向布置, 曲线段适当加密, 平面曲线的关键控制点处、竖曲线变坡点处应增设观测断面。
 - b) 应先采用全站仪按一定间距放出测量断面中线测点, 并记录该点的管片号位置、实际高程和与中线偏位值。
 - c) 应在断面测点位置安装调整仪器, 应使仪器水平且垂直归零后光点在测量点上; 开始测量后应使仪器能自动测量仪器中心点相对于基准点的高度; 测量时应保证扫描断面与隧道轴线垂直。
 - d) 测量时应设置起始角度、终止角度、测量点数等参数。扫描断面上的测点间距宜不大于 5° 。
 - e) 测量扫描断面时应去除在检测过程中被电缆或其它障碍物遮挡的测点, 并记录保存数据。
 - f) 数据处理应使用专门软件在计算机上编辑设计标准断面或历史扫描断面, 并编辑导入检测断面曲线, 对比分析判断断面是否变形或侵限、检测断面变形或侵界的最大值等信息。
 - g) 测量精度不宜低于 $\pm 2\text{mm}$ 。
 - h) 应量测和记录隧道断面的形状, 并宜给出随时间的收敛量及变化速率。
 - 4) 采用三维激光扫描仪检测时, 应符合以下规定:
 - a) 检测时应应对三维激光扫描仪进行整平, 各测站的局部坐标系Z轴均垂直水平面。
 - b) 测站应设置在稳定的位置, 宜选择合适的测点距离。
 - c) 扫描仪宜架设在隧道中线上, 若测站无法架设在中心线上, 则应距离中线先就近布置。扫描站扫描范围应覆盖整个扫描目标物, 均匀布设, 且设站数量尽量少, 通视困难或线路有拐角时应增加扫描站。
 - d) 标靶应在扫描范围内均匀布置, 且高低错落; 每一扫描站的标靶个数应不少于4个, 相邻两扫描站的公共标靶个数应不少于3个。
 - e) 扫描时应先扫描靶点, 结束后再进行隧道全景扫描, 并保存扫描数据。
 - f) 室内扫描数据处理时应先进行拼接, 完成后应根据隧道设计断面或历史扫描断面提取相应的断面数据并进行对比, 得出隧道断面轮廓变形值。
 - g) 三维激光扫描仪标靶点的测量中误差应小于 $\pm 2\text{mm}$, 连续传递配准次数不应超过4次。

5.11 接缝张开或错台

- 5.11.1 接缝张开或错台检测参数应包括管片接缝张开或错台的位置、范围和程度。**

5.11.2 接缝张开或错台检测宜先采用目测法对位置初判后，按表 10 确定检测方法及仪器设备。

表 10 接缝张开与错台检测方法及其仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
	极坐标法	三维激光扫描仪/隧道结构快速检测设备
范围	直接量测法	钢卷尺
	极坐标法	三维激光扫描仪/隧道结构快速检测设备
程度	直接量测法	钢尺、游标卡尺
	极坐标法	三维激光扫描仪/隧道结构快速检测设备

5.11.3 接缝张开或错台位置检测方法及要求应按本规范第 5.3.4 条执行。

5.11.4 接缝张开或错台范围宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 可采用钢卷尺直接量测，也可采用三维激光扫描仪检测。
- 2) 采用直接量测法时，宜采用钢卷尺量测接缝张开或错台起始端到终端的长度。
- 3) 采用三维激光扫描仪检测时，宜按本规范第 5.10.4 条执行，数据处理后读出接缝张开或错台范围。
- 4) 检测精度不宜低于 1cm。

5.11.5 接缝张开或错台程度宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 测点宜布设在张开量或错台量最大位置处。
- 2) 可采用钢尺、游标卡尺量测，也可采用三维激光扫描仪检测。
- 3) 采用直接量测法时，宜采用钢尺、游标卡尺量测接缝张开最大处的位置。
- 4) 采用三维激光扫描仪时，宜按本规范第 5.10.4 条执行，数据处理后读出接缝张开或错台量。
- 5) 检测精度不宜低于 1mm。

5.12 螺栓孔或注浆孔填塞物、接缝止水条脱落

5.12.1 螺栓孔或注浆孔填塞物脱落检测参数应为位置。接缝止水条脱落检测参数应包括位置和范围。

5.12.2 螺栓孔或注浆孔填塞物脱落位置检测方法及要求宜按本规范第 5.2.3 条执行。接缝止水条脱落位置检测方法及要求宜按本规范第 5.3.4 条中管片接缝渗漏检测要求执行。

5.12.3 接缝止水条脱落范围宜采用钢卷尺直接量测，检测精度不宜低于 1cm。

5.13 道床病害

5.13.1 道床病害检测应包括道床裂缝、下沉、隆起、渗漏水、翻浆冒泥、道床脱空等。

5.13.2 道床裂缝检测可按本规范第 5.2 节执行。

5.13.3 道床下沉、隆起检测可按本规范第 5.10.5 条执行。

5.13.4 道床渗漏水检测可按本规范第 5.3 节执行。

5.13.5 道床翻浆冒泥检测参数应包括位置、范围。应先采用目测法初判位置。位置检测方法及要求宜按本规范第 5.2.3 条执行。范围宜按本规范第 5.4.4 条执行。

5.13.6 道床脱空检测参数应包括位置、范围和程度。宜先采用目测法对位置初判后，按表 11 确定检测方法及仪器设备。

表 11 道床脱空检测方法及仪器设备

检测参数	方法	仪器设备
位置	直接量测法	钢卷尺
	电磁波法	地质雷达
范围	直接量测法	钢卷尺
	电磁波法	地质雷达
程度	直接测量法	直尺、游标卡尺
	电磁波法	地质雷达
	钻孔取芯	钻机、内窥镜

5.13.7 道床脱空位置宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 道床脱空纵向位置应以管片号标记，环向位置用左右侧或中间标记。
- 2) 检测精度不宜低于5cm。

5.13.8 道床脱空范围宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 当道床两侧边缘与管片脱开时，宜采用直接量测、地质雷达检测。
 - a) 采用直接量测法时，宜采用钢卷尺测量道床脱空起始端沿到终端的距离。
 - b) 采用地质雷达检测时，应通过数据分析确定道床脱空范围。
- 2) 当道床中间底部轨枕区域与管片脱开时，宜采用地质雷达检测。
- 3) 检测精度不宜低于2cm。

5.13.9 道床脱空程度宜采用以下方法和要求实施检测：

- 1) 宜采用地质雷达检测，必要时采用钻孔取芯法验证。
- 2) 采用地质雷达检测时，应符合以下规定：
 - a) 地质雷达主机及天线的技术指标除符合一般通用标准之外，宜采用单体天线或分离天线，天线应具有屏蔽功能，天线的有效探测深度应大于道床的厚度。
 - b) 测线布置应以纵向布线为主，环向布线为辅。现场检测以纵向布线进行时，测线布置在整体道床上，每方向线路测线不少于2条。现场检测以点测方式进行时，测点连线方向为纵向，测点间距不大于0.5m。检测中发现不合格地段，应加密测线。
 - c) 地质雷达检测操作、数据处理及解释、道床脱空判定宜按附录D执行。
- 3) 采用钻孔取芯检测时，应符合以下规定：
 - a) 取芯点应避开钢筋、预埋件或管线位置，每个测区取芯数量不得少于3个。
 - b) 钻孔深度不应破坏管片。取芯后宜在孔内用直尺量测数据，或用内窥镜观察道床脱空情况。
 - c) 检测结束后应立即修复钻孔破坏位置。
 - d) 地质雷达检测精度不宜低于2cm，钻孔取芯检测精度不宜低于1cm。

5.14 结构健康度评定

5.14.1 隧道结构健康度应以隧道单个区间为基本单位评定，可采用单项指标法和综合评定法分别评定，健康度等级宜划分为五级。

5.14.2 隧道结构病害检测后，应根据检测结果采用单项指标法评定结构健康度，当遇到下列情况之一时，应在单项指标法健康度评定的基础上，采用综合评定法分区段对隧道结构健康度进行评定：

- 1) 隧道病害类型3种以上且覆盖区间隧道30%以上管片。
- 2) 受到灾害、环境侵蚀等重大影响时。

5.14.3 隧道结构单项指标宜包括裂缝、渗漏水、剥落剥离、压溃、材料劣化、钢筋（螺栓、钢管片）锈蚀、管片强度、混凝土碳化深度、管片背后空洞、隧道变形、接缝张开与错台、螺栓孔或注浆孔堵塞物、接缝止水条脱落、道床病害等。

5.14.4 采用综合评定法评定隧道结构健康度应按附录 F 执行。

5.14.5 应依据健康度评价结果，采取不同的养护措施。单项指标法评定的健康度对应的养护措施应按《城市轨道交通隧道结构养护技术规范》CJJ/T 289 中第 3.0.6 条执行。综合评定法评定的健康度对应的养护措施应按表 12 执行。

表 12 综合评定法评定的健康度对应的养护措施

健康度	养护措施
1	日常养护：日常检查与清扫。
2	经常保养：对隧道结构设施进行经常性、局部性、预防性的养护。
3	小修：对结构表观病害进行维修，以保证结构耐久性的维护。
4	中修：对结构病害进行综合维修整治，以恢复或部分恢复结构的功能。
5	大修：大规模整治或部件等进行更换和加固，以恢复结构正常使用功能。

6 安全监测

6.1 一般规定

6.1.1 为掌握车站、隧道结构及道床的变形动态，保证地铁安全运营，降低车辆损耗，应由专业队伍对运营期地铁进行安全监测。

6.1.2 编制安全监测方案，监测方案应根据地铁结构埋深、结构特点、支护类型、开挖方式以及岩土工程条件、建筑场区变形区内环境状况和施工设计等因素制定，并应包括地铁结构和环境条件产生异常时的应急监测方案。

6.1.3 监测可采用几何测量、物理传感器测量方法。

6.1.4 监测网应分为平面监测网和高程监测网，并应分别由基准点、工作基点和变形监测点组成。

6.1.5 监测必须事先确定预警值，监测预警值应满足工程设计、地下结构设计及周边环境中被保护对象的控制要求。监测预警值由监测项目的累计变化量和变化速率值共同控制。实测值超出控制值应及时上报，加强监测频率并启动对应预案。

6.2 监测内容

6.2.1 监测内容应综合考虑工程地质条件与水文地质条件、工程规模与施工技术特点及周边环境条件的等因素，同时兼顾经济性的要求，根据设计要求和实际情况选择。

6.2.2 地铁运营监测不限于以下监测项目：

- 1) 轨道线路沉降监测。
- 2) 轨道线路水平位移监测。
- 3) 隧道断面收敛监测。
- 4) 车站结构物的沉降监测。

6.2.3 重点监测对象、特殊区段、变形缝均需要加密布设测点。

- 1) 重点监测对象指穿越或临近铁路、高速公路、桥梁、河流湖泊、重要建构筑物的区段，以及地层较差沉降较大的区段。
- 2) 特殊区段指施工过程中发生过线路偏差或结构变形，需进行线路和限界调整的区段。
- 3) 变形缝指车站及区间纵向变形缝，明挖车站和盾构区间接口也应按变形缝考虑。

- 4) 不良地质地段是指岩堆、崩塌、滑坡、岩融、偏压地层、高应力、高强度地层、软土地段等不利于隧道工程的不良地质区段。

6.3 点位埋设

6.3.1 点位埋设可在轨通后现场具备条件时埋设。

6.3.2 监测点需按照专家评审及运营管理机构审批后的监测方案要求布设。

6.3.3 轨道线路沉降、水平位移以及隧道断面收敛均按照一定的间距布设监测点，重点监测对象、特殊区段及变形缝均需要根据实际情况加密布设监测点，监测布点原则如下表所示。

表 13 监测点布设原则表

序号	监测对象	监测项目	监测布点原则
1	轨道线路	轨道线路沉降监测	测点布设在道床床面位置，每条隧道每隔 30m 布设 1 个测点
2		轨道线路水平位移监测	测点布设在道床床面位置，每条隧道每隔 60m 布设 1 个测点
3	盾构及矿山法隧道结构	断面收敛监测	每条隧道每隔 120m 布设 2 组（4 个）测点
4	车站与隧道交接处	轨道线路沉降、水平位移监测；断面收敛监测	测点布设在车站与隧道交接处两侧线路道床以及隧道结构上，距交接处约 1 米，左右线各布设 1 组，每座车站共布设 4 组
5	车站结构物	车站结构物的沉降观测	①监测点应布设在外墙或承重柱上，间距宜为 10m~15m，或每隔 2 根承重柱布设 1 个监测点；在外墙转角处应有监测点控制；②在高低悬殊、建（构）筑物变形缝、不同结构分界、不同基础形式和不同基础埋深等部位的两侧应布设监测点
6	变形缝	轨道线路沉降、水平位移监测；断面收敛监测	测点布设在变形缝处两侧线路道床以及隧道结构上，每条变形缝两侧布设 1 对断面
7	重点监测对象	轨道线路沉降、水平位移监测；断面收敛监测	根据实际情况加密布设，原则上轨道线路沉降监测点间距不超过 10m，轨道线路水平位移监测点间距不超过 20m，隧道断面收敛监测断面不超过 30m

6.3.4 沉降基准点应布设在车站道床结构上，采用 $\Phi 8\text{mm}$ 膨胀螺栓监测标志，打入道床内，缝隙用锚固剂填充。埋设形式见附图 1。

6.3.5 水平位移监测基准点布设在车站道床结构上，采用强制归心标志，用冲击钻钻出深约 10cm 的孔，再把强制归心监测标志放入孔内，缝隙用锚固剂填充。埋设形式见附图 2。

6.3.6 沉降监测点布设在区间道床结构上，标志采用 $\Phi 8\text{mm}$ 膨胀螺栓，采用钻孔埋入。对于铺设一般道床、中等减震措施的地段而言，沉降监测点应布设在整体道床上，沉降监测点布设在线路中心线上的两根轨枕中间。监测点应避开道床伸缩缝以及隧道结构变形缝，且确保监测点避开道床上层钢筋。埋设形式见附图 3。

- 6.3.7 水平位移监测点布设在区间道床结构上，采用强制归心标志，用冲击钻钻出深约 10cm 的孔，再把强制归心监测标志放入孔内，缝隙用锚固剂填充。埋设形式见附图 4。
- 6.3.8 隧道断面收敛点以不破坏隧道结构为前提，采用专用测量标记，并与轨道线路沉降、水平位移监测点在同一断面处。埋设形式见附图 5。
- 6.3.9 监测基准点及监测点点位埋设要牢固，能够长期保存，并且不能影响列车运行。
- 6.3.10 监测点编号采用模板喷涂于车站壁上，不得随意手写，应便于识别。编号与点位对应，距地面约 1.5m 高。

6.4 监测实施

- 6.4.1 轨道线路沉降监测及水平位移监测采用的坐标及高程系统宜与建设期一致。
- 6.4.2 监测需建立稳定的高程及水平监测基准网。基准网应定期复测，初测应在基准网布设完成后进行，之后每年至少复测一次，且应根据点位稳定情况适当调整复测频次，原则上 3 年内不少于 4 次复测。
- 6.4.3 沉降基准网监测符合《工程测量规范》GB50026-2007 中二等水准测量技术要求相关规定。
- 6.4.4 水平位移监测基准网测量符合《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308-2017 中精密导线测量技术要求相关规定。
- 6.4.5 监测宜以“两站一区间”为作业单元进行，车站基准点与隧道内监测点形成附合导线或附合水准路线。
- 6.4.6 沉降监测可采用几何水准测量方法，水准仪精度每公里往返侧高差中误差不大于 0.3mm。
- 6.4.7 水平位移监测可采用导线测量方法。仪器精度要求不低于 1”， $1\text{mm}+1.5\text{ppm}\times D$ 。
- 6.4.8 断面收敛监测采用收敛计或全站仪配合棱镜测量。每个断面至少需测量 4 条收敛线。
- 6.4.9 沉降监测及水平位移监测等级划分及精度要求符合《城市轨道交通工程测量规范》GB/T 50308-2017 中表 15.1.8 的相关技术要求规定。
- 6.4.10 不同周期监测时，应该基本相同的环境下采用相同的观测路线和观测方法，使用相同的仪器和设备，并应固定观测人员。
- 6.4.11 一般监测频率如表 14 所示。监测频率应根据变形速率和变形量进行调整，变形量或变形速率超过预定报警值后应及时上报并增加监测频率。

表 14 监测频率要求

序号	监测项目	监测频率
1	轨道线路沉降监测	试运营期变形监测完成后测取初始值（独立观测两次取平均值），第一年每 3 个月监测一次，并提供监测报告；第二年之后每半年监测一次，并提供监测报告。特殊情况，如：地质不良地段、发现变形地段或变形趋势地段适当增加监测频率数。
2	轨道线路水平位移监测	试运营期变形监测完成后测取初始值（独立观测两次取平均值），第一年每半年监测一次，并提供监测报告；第二年之后每年监测一次，并提供监测报告。特殊情况，如：地质不良地段、发现变形地段或变形趋势地段适当增加监测频率数。

序号	监测项目	监测频率
3	区间隧道断面收敛	试运营期变形监测完成后测取初始值（独立观测两次取平均值），第一年每半年监测一次，并提供监测报告；第二年之后每年监测一次，并提供监测报告。特殊情况，如：地质不良地段、发现变形地段或变形趋势地段适当增加监测频率数。
4	周边建筑物的沉降观测	在进行轨道线路沉降监测同时进行相应的建筑物不均匀沉降监测，与轨道线路沉降监测同时提交成果报告。

6.4.12 在监测过程中，如有隧道附近地表荷载突然增减、隧道内渗水突然加剧、隧道结构出现异常裂缝等情况，需增大监测频率，当隧道突然发生大量沉降、不均匀沉降或严重裂缝时，应立即进行连续观测。

6.4.13 对于地铁保护区范围内在施项目，建议引进自动化监测手段，对在建项目进行实时监测。

7 评价方法

7.1 一般规定

7.1.1 城市轨道交通隧道结构评价分为技术状况评价、结构安全评价和运营性能评价。

7.1.2 定期检查后应进行技术状况评价，定期监测后应进行技术状况评价和运营性能评价。

7.1.3 专项检查与专项监测后应进行结构安全评价和运营性能评价。

7.1.4 隧道评价单元划分宜满足下列规定：

- 1) 明（盖）挖法、矿山法隧道宜以1个模板长度为一个评价单元；
- 2) 沉管隧道宜以1管段(节)为一个评价单元；
- 3) 盾构隧道宜以(3~5)环管片为一个评价单元。

7.2 技术状况评价

7.2.1 技术状况的评价应采用计权重的多项指标综合评价和单项指标评定相结合的方法。综合评定采用分值制。

7.2.2 隧道结构技术状况评价等级分为1类、2类、3类、4类和5类，评价等级描述如表15所示。

表15 隧道结构技术状况分类

等级	分值 SI	隧道状态	病害程度	发展趋势	处置措施
1类	[90,100]	好	无	无	不需要维修，正常监测
2类	[75,90)	较好	轻微	趋于稳定	正常使用，需加强监测
3类	[60,75)	较差	中度	较慢	正常使用，需维修
4类	[40,60)	差	严重	较快	根据结构安全和运营性能评价结果判定是否限制使用
5类	[0,40)	很差	极严重	迅速	根据结构安全和运营性能评价结果判定是否停止使用

7.2.3 有下列情况之一时，评价单元的技术状况应评定为 5 类：

- 1) 隧道拱部衬砌出现大范围交错开裂、结构性裂缝贯穿衬砌混凝土；
- 2) 隧道衬砌结构发生明显变形，且有危及结构安全和行车安全的趋势；
- 3) 隧道拱部渗漏水至接触网，影响行车安全；
- 4) 地下水大规模涌流、喷射，出现涌泥、涌砂或严重积水，威胁运营安全；
- 5) 隧道道床发生明显隆起、错台、断裂，影响列车安全；
- 6) 隧道内各种悬吊件严重锈蚀、断裂、脱落，威胁运营安全；
- 7) 出现影响行车安全的其他情况。

7.2.4 隧道结构技术状况评定应先划分评价单元逐一评定分项技术状况，按隧道区间分段进行综合评定，每个评价单元分为主体结构、接缝结构、隧底结构和附属设施四类。评价方法应符合下列规定：

1 隧道结构技术状况评分应按式(1)计算：

$$SI = 100 \times \left[1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n SI_i \times \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (1)$$

式中：

w_i —— 分项权重；

SI_i —— 分项技术状况值。

2 分项技术状况值应按式(2)计算：

$$SI_i = \max(SI_{ij}) \quad (2)$$

式中：

SI_{ij} —— 分项标度值；

i —— 分项编号；

j —— 检查单元号，按区间隧道段落实际划分的单元数量取值。

3 各分项权重宜按表16取值：

表 16 隧道结构技术状况评价各分项权重表

分项	分项权重 w_i
主体结构	40
接缝结构	25
隧底结构	25
附属设施	10

注：在实际评价中，可根据隧道修筑形式的不同及隧道围岩分级及地质复杂程度对权重进行适当调整。

4 隧道技术状况评定时，当分项标度值达到3或4时，应对隧道结构技术状况直接评定为4类或5类。

7.2.5 隧道结构的分项技术状况值应从主体结构、接缝结构、隧底结构和其他设施4个方面，采取定性和定量相结合的方式确定。按照不同的隧道形式，取值依据可参考表17~表20确定。

表17 明（盖）挖法隧道技术状况评定标准

项目		标度值			
		1类	2类	3类	4类
主体结构	破损	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	结构裂缝以环向裂缝为主； 侧墙位置出现少量纵向裂缝或剪切性斜裂缝； 裂缝宽度大于0.1mm，小于0.2mm	裂缝发育较为密集，顶板以少量环向裂缝为主； 侧墙位置出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝，因裂缝发育侧墙混凝土可能掉块或已出现掉块； 裂缝宽度大于0.2mm，小于0.3mm	裂缝发育密集，且顶板部位出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝，因裂缝发育可能掉块或已出现掉块； 裂缝宽度大于0.3mm
	劣化	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松、蜂窝麻面； 混凝土碳化深度未超过20mm	材料劣化导致混凝土表面多处出现起毛、酥松、蜂窝麻面； 混凝土碳化深度普遍超过20mm	侧墙材料劣化，混凝土酥松、起鼓，并出现掉块； 混凝土碳化深度普遍超过25mm，或达钢筋表面	材料劣化导致混凝土起鼓，并在顶板部位出现掉块
	剥落剥离	混凝土表面出现少量轻微的剥离； 剥离直径 $D < 50\text{mm}$ 、剥离最大深度 $T < 6\text{mm}$	侧墙混凝土表面多处出现剥离，敲击有空响，尚未出现剥落掉块； 剥离直径 $50\text{mm} \leq D < 100\text{mm}$ 、剥离最大深度 $6\text{mm} \leq T < 18\text{mm}$	顶板混凝土表层出现剥离，敲击有空响，侧墙混凝土多处出现剥落掉块； 剥离直径： $100\text{mm} \leq D < 150\text{mm}$ 、剥离最大深度： $18\text{mm} \leq T < 25\text{mm}$	顶板混凝土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； 剥离直径： $D \geq 150\text{mm}$ 、剥离最大深度： $T \geq 25\text{mm}$
	渗漏水	轻微渗漏水，表现为湿渍或湿迹； 渗漏量 $< 3\text{L/d}$	侧墙部位渗漏点较稀疏，渗水量较小，以点线渗漏为主； 路面积水较少； 顶板以外位置出现挂冰和冰柱； 渗漏量 $(3 \sim 30)\text{L/d}$	顶板位置渗漏点较密集，渗水量较大，渗水类型以线渗、面渗为主； 侧墙出现以喷射、涌流为主的渗水位置； 洞内已出现积水； 顶板出现少量挂冰和冰柱； 渗漏量 $(30 \sim 100)\text{L/d}$	顶板位置渗漏点密集，以喷射、涌流为主； 洞内积水严重； 顶板出现明显的挂冰和冰柱； 渗漏量 $> 100\text{L/d}$
	钢筋锈蚀	混凝土表面出现轻微锈迹； 钢筋截面损失率 $< 5\%$	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露； $5\% \leq$ 钢筋截面损失率 $< 15\%$	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层鼓起，敲击有空响，主筋出现锈蚀； $15\% \leq$ 钢筋截面损失率 $\leq 25\%$	钢筋混凝土主筋严重锈蚀，混凝土表面已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露； 钢筋截面损失率 $\geq 25\%$
	净空限界	限界余量大； 竖向、水平直径的变化量 $< 0.2D\%$	限界有一定余量； $0.2D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.3D\%$	限界紧张； $0.3D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.4D\%$	限界不满足车辆限界； 竖向、水平直径的变化量 $\geq 0.4\%D$
	沉降变形	变形速度 $V < 1\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化小于1/5000	变形速度 $1\text{mm/a} \leq V < 3\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化大于小于1/5000，小于1/2500	变形速度 $3\text{mm/a} \leq V < 10\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化大于1/2500，小于1/1500	变形速度 $V \geq 10\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化超过1/1500

	水平位移	变形速度 $V < 1$ mm/a; 平曲线曲率半径变化小于1/5000	变形速度 $1 \text{ mm/a} \leq V < 3$ mm/a; 平曲线曲率半径变化大于小于1/5000, 小于1/2500	变形速度 $3 \text{ mm/a} \leq V < 10$ mm/a; 平曲线曲率半径变化大于1/2500, 小于1/1500	变形速度 $V \geq 10$ mm/a; 平曲线曲率半径变化超过1/1500
	施工缝、变形缝	个别接缝位置存在轻微的压溃、错台、湿渍, 对结构无影响; 相邻结构差异沉降小于2mm	压溃、错台分布稀疏, 持续发展可能出现掉块; 渗水量较小, 水质清澈, 以滴漏为主; 相邻结构差异沉降大于2mm, 小于10mm	多处存在压溃、错台, 侧墙位置已出现混凝土掉块、明显错台; 侧墙位置渗水严重, 或伴有泥沙渗出, 顶板少量渗水; 顶板出现少量挂冰和冰柱; 相邻结构差异沉降大于10mm, 小于15mm	顶板出现严重的压溃、错台, 出现混凝土掉块, 已影响建筑限界; 漏水严重, 以喷射、涌流为主, 同时伴有泥沙; 顶板出现明显的挂冰和冰柱; 相邻结构差异沉降大于15mm
	隧底结构	基床两侧边缘出现轻微的破损、变形和渗漏水	基床存在破损、下沉、隆起, 基床和主体结构之间出现裂缝、脱空和渗水; $2 \text{ mm} \leq$ 基床和主体结构脱空量 $< 5 \text{ mm}$	基床多处存在破损、变形, 基床和主体结构之间多处出现脱空, 局部存在翻浆冒泥, 影响轨道的稳定性; $5 \text{ mm} \leq$ 基床和主体结构脱空量 $< 10 \text{ mm}$	整体基床出现严重破损、变形, 出现横向裂缝, 基床和主体结构间产生严重剥离, 翻浆冒泥, 已导致轨道无法满足正常运营要求; 基床和主体结构脱空量 $\geq 10 \text{ mm}$
	附属设施	疏散平台、设备支架等存在局部轻微松动, 不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围的轻微松动, 不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围松动, 标志标线有缺损, 可能会影响列车运行	疏散平台、设备支架等存在大范围严重松动, 有脱落可能, 标志标线有缺损, 严重影响列车运行安全

注: 分项标度值域为0~4, 0代表完好无病害。

表 18 矿山法隧道技术状况评定标准

项目	标度值			
	1类	2类	3类	4类
主体结构	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; 洞口的山体及岩体、挡土墙、护坡等有轻微裂缝产生; 洞门的墙身存在轻微的开裂; 洞口排水设施存在轻微破坏	结构裂缝以环向裂缝为主; 侧墙位置出现少量纵向裂缝或剪切性斜裂缝; 洞口的山体及岩体裂缝发育, 存在滑坡、崩塌的初步迹象, 坡面树木或电线杆轻微倾斜; 挡土墙、护坡等产生开裂、变形, 土石零星掉落; 洞门的墙身结构局部开裂; 洞门的墙身轻微倾斜、沉陷或错台; 洞口排水设施存在一定裂损、阻塞; 裂缝宽度大于0.1mm, 小于0.2mm	裂缝发育较为密集, 顶板以少量环向裂缝为主; 侧墙位置出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝, 因裂缝发育侧墙混凝土可能掉块或已出现掉块; 洞口的山体及岩体严重开裂, 坡面树木或电线杆明显倾斜; 挡土墙、护坡产生严重开裂、明显的永久变形, 墙角或坡面有土石堆积; 洞口排水设施完全堵塞、破坏, 排水功能失效; 洞口的墙身结构严重开裂、错台; 裂缝宽度大于0.2mm, 小于0.3mm	裂缝发育密集, 且顶板部位出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝, 因裂缝发育可能掉块或已出现掉块; 洞口的山体及岩体有明显而严重的滑动、崩塌现象; 挡土墙、护坡断裂、外倾失稳、部分倒塌, 坡面树木或电线杆倾倒; 洞门结构大范围开裂、砌体断裂、混凝土块可能掉落或已有掉落; 洞门墙身出现部分倾倒、倒塌; 裂缝宽度大于0.3mm
	劣化	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松; 洞门的墙身存在轻微的起层; 混凝土碳化深度未超过20mm	材料劣化导致混凝土表面多处出现起毛、酥松; 混凝土碳化深度普遍超过20mm	侧墙材料劣化, 混凝土酥松、起鼓, 并出现掉块; 混凝土碳化深度普遍超过25mm, 或达钢筋表面

	剥落剥离	混凝土表面出现少量轻微的剥离； 洞门的墙身存在轻微的剥落； 剥离直径 $D < 50\text{mm}$ 、剥离最大深度 $T < 6\text{mm}$	侧墙混凝土表面多处出现剥离，敲击有空响，尚未出现剥落掉块； 剥离直径 $50\text{mm} \leq D < 100\text{mm}$ 、剥离最大深度 $6\text{mm} \leq T < 18\text{mm}$	顶板混凝土表层出现剥离，敲击有空响，侧墙混凝土多处出现剥落掉块； 洞口的边墙起层、剥落，混凝土块可能掉落或已有掉落； 洞门的边墙起层、剥落，混凝土块可能掉落或已有掉落； 剥离直径： $100\text{mm} \leq D < 150\text{mm}$ 、剥离最大深度： $18\text{mm} \leq T < 25\text{mm}$	顶板混凝土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； 剥离直径： $D \geq 150\text{mm}$ 、剥离最大深度： $T \geq 25\text{mm}$
主体结构	净空限界	限界余量大； 竖向、水平直径的变化量 $< 0.2D\%$	限界有一定余量； $0.2D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.3D\%$	限界紧张； $0.3D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.4D\%$	限界不满足车辆限界； 竖向、水平直径的变化量 $\geq 0.4\%D$
	钢筋锈蚀	混凝土表面出现轻微的锈迹； 钢筋截面损失率 $< 5\%$	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露； $5\% \leq$ 钢筋截面损失率 $< 15\%$	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层鼓起，敲击有空响，主筋出现锈蚀； 洞门的钢筋外漏、锈蚀； $15\% \leq$ 钢筋截面损失率 $\leq 25\%$	钢筋混凝土主筋严重锈蚀，混凝土表面已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露； 钢筋截面损失率 $\geq 25\%$
	沉降变形	变形速度 $V < 1\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化小于 $1/5000$	变形速度 $1\text{mm/a} \leq V < 3\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化大于小于 $1/5000$ ，小于 $1/2500$	洞门的墙身有明显倾斜、沉陷或错台趋势； 变形速度 $3\text{mm/a} \leq V < 10\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化大于 $1/2500$ ，小于 $1/1500$	变形速度 $V \geq 10\text{mm/a}$ ；竖曲线曲率半径变化超过 $1/1500$
	水平位移	变形速度 $V < 1\text{mm/a}$ ；平曲线曲率半径变化小于 $1/5000$	变形速度 $1\text{mm/a} \leq V < 3\text{mm/a}$ ；平曲线曲率半径变化大于小于 $1/5000$ ，小于 $1/2500$	变形速度 $3\text{mm/a} \leq V < 10\text{mm/a}$ ；平曲线曲率半径变化大于 $1/2500$ ，小于 $1/1500$	变形速度 $V \geq 10\text{mm/a}$ ；平曲线曲率半径变化超过 $1/1500$
施工缝、变形缝	个别接缝位置存在轻微的压溃、错台、湿渍，对结构无影响； 相邻结构差异沉降小于 2mm	压溃、错台分布稀疏，持续发展可能出现掉块； 渗水量较小，水质清澈，以滴漏为主； 邻结构差异沉降大于 2mm ，小于 10mm	多处存在压溃、错台，边墙位置已出现混凝土掉块、明显错台； 边墙位置渗水严重，或伴有泥沙渗出，拱顶少量渗水； 拱部出现少量挂冰和冰柱； 相邻结构差异沉降大于 10mm ，小于 15mm	拱顶出现严重的压溃、错台，出现混凝土掉块，已影响建筑限界；漏水严重，以喷射、涌流为主，同时伴有泥沙； 拱部出现明显的挂冰和冰柱； 相邻结构差异沉降大于 15mm	
附属设施	疏散平台、设备支架等存在局部轻微松动，不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围的轻微松动，不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围松动，标志标线有缺损，可能会影响列车运行	疏散平台、设备支架等存在大范围严重松动，有脱落可能，标志标线有缺损，严重影响列车运行安全	

隧底结构	基床两侧边缘出现轻微的破损、变形和渗漏水	基床存在破损、下沉、隆起，基床和主体结构之间出现裂缝、脱空和渗水； 2mm≤基床和主体结构脱空量<5mm	基床多处存在破损、变形，基床和主体结构之间多处出现脱空，局部存在翻浆冒泥，影响轨道的稳定性； 5mm≤基床和主体结构脱空量<10mm	整体基床出现严重破损、变形，出现横向裂缝，基床和主体结构间产生严重剥离，翻浆冒泥，已导致轨道无法满足正常运营要求； 基床和主体结构脱空量≥10mm
-------------	----------------------	---	---	--

注：分项标度值域为0~4，0代表完好无病害。

表 19 盾构法隧道技术状况评定标准

项目		标度值			
		1类	2类	3类	4类
管片	破损	管片表面存在轻微开裂，以干缩、温缩裂缝为主或有少量轻微的环向裂缝	管片裂缝以环向开裂为主；标准块位置出现少量纵向裂缝或剪切性斜裂缝； 裂缝宽度大于0.1mm，小于0.2mm	裂缝发育较为密集，封顶块或邻接块以少量环向裂缝为主；标准块出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝，因裂缝发育两侧管片可能掉块或已出现掉块； 裂缝宽度大于0.2mm，小于0.3mm	裂缝发育密集，且封顶块或邻接块部位出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝，因裂缝发育可能掉块或已出现掉块； 裂缝宽度大于0.3mm
	劣化	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松； 混凝土碳化深度未超过20mm	材料劣化导致混凝土表面多处出现起毛、酥松； 混凝土碳化深度普遍超过20mm	侧墙材料劣化，混凝土酥松、起鼓，并出现掉块； 混凝土碳化深度普遍超过25mm，或达钢筋表面	材料劣化导致混凝土起鼓，并在顶板部位出现掉块
	剥落剥离	混凝土表面出现少量轻微的剥离； 剥离直径 D<50mm、剥离最大深度 T<6 mm	侧墙混凝土表面多处出现剥离，敲击有空响，尚未出现剥落掉块； 剥离直径50 mm≤ D <100 mm、剥离最大深度6mm≤ T<18mm	顶板混凝土表层出现剥离，敲击有空响，侧墙混凝土多处出现剥落掉块； 剥离直径： 100mm≤D<150mm、剥离最大深度：18mm≤T<25 mm	顶板混凝土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； 剥离直径： D≥150mm、剥离最大深度： T≥25 mm
	渗漏水	轻微渗漏水，表现为湿渍或湿迹； 渗漏量<3 L/d	管段渗漏点较稀疏，渗水量较小，以点线渗漏为主；路面积水较少； 顶板以外位置出现挂冰和冰柱； 渗漏量(3~30) L/d	顶板位置渗漏点较密集，渗水量较大，渗水类型以线渗、面渗为主； 侧墙出现以喷射、涌流为主的渗水位置； 洞内已出现积水； 顶板出现少量挂冰和冰柱； 渗漏量(30~100) L/d	顶板位置渗漏点密集，以喷射、涌流为主； 洞内积水严重；顶板出现明显的挂冰和冰柱； 渗漏量>100 L/d

	钢筋锈蚀	混凝土表面出现轻微的锈迹； 钢筋截面损失率<5%	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露； 5%≤钢筋截面损失率<15%	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝，保护层鼓起，敲击有空响，主筋出现锈蚀； 15%≤钢筋截面损失率≤25%	钢筋混凝土主筋严重锈蚀，混凝土表面已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露； 钢筋截面损失率≥25%
	净空限界	限界余量大； 竖向、水平直径的变化量<0.2D‰	限界有一定余量； 0.2D‰≤竖向、水平直径的变化量<0.3D‰	限界紧张； 0.3D‰≤竖向、水平直径的变化量<0.4D‰	限界不满足车辆限界； 竖向、水平直径的变化量≥0.4%D
	沉降变形	变形速度 V<1mm/a；竖曲线曲率半径变化 小于1/5000	变形速度1 mm/a≤ V<3 mm/a；竖曲线曲率半径变化大于小于 1/5000，小于1/2500	变形速度3 mm/a≤V<10 mm/a；竖曲线曲率半径变化 大于1/2500，小于1/1500	变形速度V≥10 mm/a；竖曲线曲率半径变化超过1/1500
	水平位移	变形速度V<1 mm/a；平曲线曲率半径变化小于 1/5000	变形速度1 mm/a≤ V<3 mm/a；平曲线曲率半径变化大于小于 1/5000，小于1/2500	变形速度3 mm/a≤V<10 mm/a；平曲线曲率半径变化 大于1/2500，小于1/1500	变形速度V≥10 mm/a；平曲线曲率半径变化超过1/1500
管缝处	管片接缝、变形缝	个别接缝位置存在轻微的压溃、错台、湿渍，对结构无影响； 环缝、纵缝接缝变形<4mm； 环缝、纵缝错台<5mm	压溃、错台分布稀疏，持续发展可能出现掉块现象； 渗水量较小，水质清澈，以滴漏为主； 4mm≤环缝、纵缝接缝变形<6mm； 5mm≤环缝错台<16mm、5mm≤纵缝错台<10mm	多处存在压溃、错台，两侧接缝位置已出现混凝土掉块、明显错台； 标准块位置渗水严重，或伴有泥沙渗出； 顶部接缝位置少量渗水或出现少量挂冰和冰柱； 6mm≤环缝、纵缝接缝变形<8mm； 16mm≤环缝错台<20mm、10mm≤纵缝错台<12mm	顶部接缝出现严重的压溃、错台，出现混凝土掉块，已影响建筑限界； 漏水严重，以喷射、涌流为主，同时伴有泥沙； 顶部出现明显的挂冰和冰柱； 环向接缝变形≥8mm；纵缝接缝变形：≥20mm
	螺栓孔、注浆孔	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、滴漏	多处孔位填塞物存在脱落、渗水；封顶块或邻接块孔位存在少量渗水或出现少量挂冰和冰柱	管片内孔位填塞物均存在连续的脱落、涌水或渗泥沙；封顶块或邻接块孔位出现明显的挂冰和冰柱
	螺栓	个别螺栓螺母轻微松动	螺栓受管片张开、错位有一定影响，应力集中；个别螺栓螺母松动	螺栓受管片张开、错位影响较大，应力集中，存在断裂可能；多处螺栓螺母松动	螺栓出现异响、螺栓拉裂；螺栓螺母掉落失效
隧底结构	基床两侧边缘出现轻微的破损、变形和渗漏水	基床存在破损、下沉、隆起，基床和主体结构之间出现裂缝、脱空和渗水； 2mm≤基床和主体结构脱空量<5mm	基床多处存在破损、变形，基床和主体结构之间多处出现脱空，局部存在翻浆冒泥，影响轨道的稳定性； 5mm≤基床和主体结构脱空量<10mm	整体基床出现严重破损、变形，出现横向裂缝，基床和主体结构间产生严重剥离，翻浆冒泥，已导致轨道无法满足正常运营要求； 基床和主体结构脱空量≥10mm	
附属设施	疏散平台、设备支架等存在局部轻微松动，不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围的轻微松动，不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围松动，标志标线有缺损，可能会影响列车运行	疏散平台、设备支架等存在大范围严重松动，有脱落可能，标志标线有缺损，严重影响列车运行安全	

注：分项标度值域为0~4，0代表完好无病害。

表 20 沉管法隧道技术状况评定标准

项目		标度值			
		1类	2类	3类	4类
管段	破损	中隔墙存在轻微开裂,以干缩、温缩裂缝为主或有少量轻微的环向裂缝	裂缝以环向裂缝为主;侧墙位置出现少量纵向裂缝或剪切性斜裂缝;裂缝宽度大于0.1mm,小于0.2mm	裂缝较为密集,顶板以少量环向裂缝为主;侧墙位置出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝,因裂缝发育侧墙混凝土可能掉块或已出现掉块;裂缝宽度大于0.2mm,小于0.3mm	裂缝发育密集,且顶板部位出现多处纵向裂缝或剪切性斜裂缝,因裂缝发育可能掉块或已出现掉块;裂缝宽度大于0.3mm
	劣化	材料劣化引起少量轻微的起毛、酥松;混凝土碳化深度未超过20mm	材料劣化导致混凝土表面多处出现起毛、酥松;混凝土碳化深度普遍超过20mm	侧墙材料劣化,混凝土酥松、起鼓,并出现掉块;混凝土碳化深度普遍超过25mm,或达钢筋表面	材料劣化导致混凝土起鼓,并在顶板部位出现掉块
管段	剥落剥离	混凝土表面出现少量轻微的剥离;剥离直径 $D < 50\text{mm}$ 、剥离最大深度 $T < 6\text{mm}$	侧墙混凝土表面多处出现剥离,敲击有空响,尚未出现剥落掉块;剥离直径 $50\text{mm} \leq D < 100\text{mm}$ 、剥离最大深度 $6\text{mm} \leq T < 18\text{mm}$	顶板混凝土表层出现剥离,敲击有空响,侧墙混凝土多处出现剥落掉块;剥离直径: $100\text{mm} \leq D < 150\text{mm}$ 、剥离最大深度: $18\text{mm} \leq T < 25\text{mm}$	顶板混凝土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;剥离直径: $D \geq 150\text{mm}$ 、剥离最大深度: $T \geq 25\text{mm}$
	渗漏水	轻微渗漏水,表现为湿渍或湿迹;渗漏量 $< 3\text{L/d}$	管段渗漏水点较稀疏,渗水量较小,以点线渗漏为主;路面积水较少;顶板以外位置出现挂冰和冰柱;渗漏量 $(3 \sim 30)\text{L/d}$	顶板位置渗漏水点较密集,渗水量较大,渗水类型以线渗、面渗为主;侧墙出现以喷射、涌流为主的渗水位置;洞内已出现积水;顶板出现少量挂冰和冰柱;渗漏量 $(30 \sim 100)\text{L/d}$	顶板位置渗漏水点密集,以喷射、涌流为主;洞内积水严重;顶板出现明显的挂冰和冰柱;渗漏量 $> 100\text{L/d}$
	钢筋锈蚀	混凝土表面出现轻微的锈迹;钢筋截面损失率 $< 5\%$	构造筋存在局部锈蚀或因保护层过薄而出现外露; $5\% \leq$ 钢筋截面损失率 $< 15\%$	钢筋混凝土沿主筋出现严重的纵向裂缝,保护层鼓起,敲击有空响,主筋出现锈蚀; $15\% \leq$ 钢筋截面损失率 $\leq 25\%$	钢筋混凝土主筋严重锈蚀,混凝土表面已因锈蚀出现掉块并出现钢筋外露;钢筋截面损失率 $\geq 25\%$
	净空限界	限界余量大;竖向、水平直径的变化量 $< 0.2D\%$	限界有一定余量; $0.2D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.3D\%$	限界紧张; $0.3D\% \leq$ 竖向、水平直径的变化量 $< 0.4D\%$	限界不满足车辆限界;竖向、水平直径的变化量 $\geq 0.4\%D$
	沉降变形	变形速度 $V < 1\text{mm/a}$; 竖曲线曲率半径变化小于 $1/5000$	变形速度 $1\text{mm/a} \leq V < 3\text{mm/a}$; 竖曲线曲率半径变化大于小于 $1/5000$, 小于 $1/2500$	变形速度 $3\text{mm/a} \leq V < 10\text{mm/a}$; 竖曲线曲率半径变化大于 $1/2500$, 小于 $1/1500$	变形速度 $V \geq 10\text{mm/a}$; 竖曲线曲率半径变化超过 $1/1500$

	水平位移	变形速度 $V < 1$ mm/a; 平曲线曲率半径变化小于1/5000	变形速度 $1 \text{ mm/a} \leq V < 3$ mm/a; 平曲线曲率半径变化大于小于1/5000, 小于1/2500	变形速度 $3 \text{ mm/a} \leq V < 10$ mm/a; 平曲线曲率半径变化大于1/2500, 小于1/1500	变形速度 $V \geq 10$ mm/a; 平曲线曲率半径变化超过1/1500
管段接头	剪力键	剪力键轻微变形、破损	相对沉降引起剪力键受力较大, 局部变形、破损, 结构物功能可能受到损害	剪力键有破损现象, 结构物功能受到一定损害	剪力键存在严重的错位或破损, 严重威胁结构安全
	止水带	止水带出现轻微变形或湿渍	止水带局部出现变形或滴漏	止水带出现多处变形或渗漏	OMEGA 止水带破损或严重变形, 涌水或涌泥
隧底结构		基床两侧边缘出现轻微的破损、变形和渗漏水	基床存在破损、下沉、隆起, 基床和主体结构之间出现裂缝、脱空和渗水; $2\text{mm} \leq$ 基床和主体结构脱空量 $< 5\text{mm}$	基床多处存在破损和变形, 基床和主体结构之间多处出现脱空, 局部存在翻浆冒泥, 影响轨道的稳定性; $5\text{mm} \leq$ 基床和主体结构脱空量 $< 10\text{mm}$	基床整体出现严重破损、变形, 出现横向裂缝, 基床和主体结构间产生严重剥离, 翻浆冒泥, 已导致轨道无法满足正常运营要求; 基床和主体结构脱空量 $\geq 10\text{mm}$
附属设施		疏散平台、设备支架等存在局部轻微松动, 不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围的轻微松动, 不影响列车正常运行	疏散平台、设备支架等存在一定范围松动, 标志标线有缺损, 可能会影响列车运行	疏散平台、设备支架等存在大范围严重松动, 有脱落可能, 标志标线有缺损, 严重影响列车运行安全

注: 分项标度值域为0~4, 0代表完好无病害。

7.3 结构安全评价

7.3.1 隧道结构安全评价应依据检查和监测的结果, 结合相关规范、隧道结构设计资料、竣工验收资料等进行安全性计算分析。

7.3.2 隧道结构安全评价应结合隧道结构的工程条件, 可采用数值模拟、位移反分析等方法结合工程类比进行, 隧道结构构件应结合其设计时采用的规范和计算方法进行设计验算。

7.3.3 隧道技术状况评价等级为3类、4类时, 应对隧道结构的正常使用极限状态进行安全评价, 安全评价分析应满足GB50157、GB/T 50299等相关规范要求。

7.3.4 隧道技术状况评价等级为4类、5类时, 应对隧道结构的承载能力极限状态行安全评价, 安全评价分析应满足GB50157、GB/T 50299等相关规范要求。

7.3.5 隧道结构安全评价结果可分为A、B两类, 见表21。

表21 隧道结构安全评价分类

类别	描述
A类	满足正常使用相关要求
B类	不满足结构裂缝宽度、变形收敛、混凝土强度、钢筋强度等的安全要求, 应结合实际情况采取试验验证、限速、加固或停止使用等措施

7.3.6 当现有结构安全评价的结果不满足要求, 应采取相应措施进行处理, 重新进行安全评价, 直至满足相关规范要求为止。

7.4 运营性能评价

7.4.1 隧道结构运营性能评价对象宜包括隧道结构裂缝、接缝处差异沉降、累积收敛变形、隧道整体纵向曲率变化等，其评价标准可分为预警值和控制值。

7.4.2 运营安全性评价预警值和控制值可参照表 22 确定。

表 22 运营性能评价指标

类型		预警值	控制值
受力裂缝	明挖法、矿山法	0.24mm	0.3mm
	盾构法、沉管法	0.16mm	0.2mm
接缝处差异沉降	明挖法、矿山法	5mm	8mm
	盾构法	6mm/12m	9mm/12m
	沉管法	3mm	6mm
累积收敛变形		0.48D/%	0.6D/%
隧道整体纵向曲率变化		1/2000	1/1500

注：D为隧道内径。

7.4.3 运营性能评价等级分为 I 级、II 级、III 级，各级评价标准及对应措施可参照表 23 确定。

表 23 隧道运营性能评价等级

运营性能评价等级	评价标准	处置措施
I 级	不大于预警值	正常运营
II 级	介于预警值和控制值之间	应加强监测和巡查，根据具体情况采取相应处理措施
III 级	大于控制值	可能危及运营安全，应综合分析评估后采取保护性运行、限速或停运等处置措施

8 管理信息系统建设

8.1 一般规定

8.1.1 管理信息系统宜包括安全巡查、在线审批、在线监测、数据管理、数据应用和系统管理等功能，并应预留数据接口以满足地铁运营部门的业务需求。

8.1.2 系统建设宜按照可靠性、标准性、科学性、先进性、经济性、安全性、开放性、扩展性的原则进行。系统的设计应充分利用当前先进、实用的技术手段，采用成熟的设计方案、技术标准、硬件平台和软件环境，保障系统稳定可靠地运行。

8.1.3 系统建设过程宜涵盖需求分析、总体设计、详细设计、系统实现、测试、试运行、成果提交与验收、维护等阶段。

8.1.4 制定系统管理制度，明确系统管理人员工作内容和工作职责，保证系统 7×24 小时正常稳定运行。

8.1.5 系统管理人员应执行相关国家和行业的公共安全标准，应进行有关应急响应知识和技术的培训。

8.2 系统架构

8.2.1 系统架构搭建遵从“统一规划、分期实现”的原则，实现地铁运营安全保护的信息化、数字化、规范化管理。

8.2.2 系统为独立的子系统，担负自身地铁运营保护的功能。同时，该系统又可以与所在城市地铁综合管理一体化信息平台对接。

8.2.3 地铁运营病害检测监测综合管理信息系统由网上办事窗口、监测管理模块、手机客户端 APP、手持巡查终端和系统管理等模块组成。

8.2.4 系统的结构宜分为基础设施层、数据层、应用支撑层、服务层和应用层五个层次。

8.3 系统功能

8.3.1 管理信息系统审批模块应包含如下功能：

- 1) 项目审批工作情况说明，此处应说明审批工作具体流程、所需资料、涉及审批部门。
- 2) 地铁运营主管部门内部审批：涉及部门应按系统设计顺序对项目逐个进行审批，当项目到达本部门时设计消息提醒，方便技术高效的对项目进行审批管理。
- 3) 政府审批：对于涉及其他政府部门审批应设置相关接口，连接政府审批界面，系统管理者能实时监控项目审批进程。
- 4) 项目申报人（项目建设单位）应能通过系统查询项目审批实施情况，并设置项目审批办结提醒，以便安排项目建设工作。
- 5) 相关资料下载：系统应提供审批所需资料的下载功能。

8.3.2 对于地铁运营病害检测监测沿线巡查管理，系统建设宜分为系统平台的模块搭建和现场巡线人员手持巡检设备（手机）APP 的开发。系统沿线巡查模块包括巡线日常管理（巡线人员的现场巡线情况）、巡线报告、问题及整改情况等子模块。系统宜支持全景相机巡检的实时景象发布。

8.3.3 系统权限管理应与内网门户平台集成，用户及权限需按照规定统一配赋，实现单点登录。

8.3.4 系统应设立一个总体数据库，存储、管理各个功能模块的所有数据，包括用户单位信息、作业项目各种基础信息、巡查信息、安全监测信息数据等。可以实现数据输入、存储、查询、管理、可视化、传输、在线分析等功能。系统需采用多级加密模式确保安全运行。

8.4 系统安全

8.4.1 机房及重要涉密部位、设备应采用有效的安全措施。

8.4.2 系统运行的环境安全包括供配电安全、防雷防静电安全、防火防水安全、防电磁辐射、门禁监控安全等，可按国家相应规范执行。

8.4.3 系统管理人员应采用技术手段，控制可移动设备的非授权接入，加强对输出设备的安全管理，防止输出结果被非授权查看和获取。

8.4.4 数据存储介质按所存储数据的内容设置密级标示，并按保密要求进行管理。

8.4.5 针对可能发生的安全事件（如病毒破坏、拒绝服务攻击等）以及所造成的系统损坏（如数据篡改、系统瘫痪等），制定相应的应急响应和补救措施。

8.4.6 定期进行漏洞扫描，对发现的系统安全漏洞及时进行修补。

8.4.7 系统的更新、计算机的更换和维修必须在确保系统数据安全的前提下由系统管理人员完成。

8.5 系统维护

8.5.1 制定系统运行维护管理制度，配备系统管理员，监测系统运行状况、数据库状况、数据备份情况等。

8.5.2 对操作系统、数据库系统、应用系统和网络设备设置权限，阻止非授权用户读取、修改、破坏或窃取数据。

- 8.5.3 制定有效的备份管理制度，及时对各类地理空间数据和业务数据进行备份。在进行系统更新和维护时，应做好软件和数据备份工作。
- 8.5.4 定期分析应用系统日志、数据库日志和业务操作日志等系统运行日志，及时发现系统异常情况。
- 8.5.5 制定有效的系统运行应急预案，并由系统管理员定期组织演练。
- 8.5.6 应急预案包括呼叫中心异常、网络异常、数据库服务器异常、应用服务器异常、磁盘阵列异常、平台软件系统异常、应用软件系统异常等情况的处置方案。
- 8.5.7 应急预案应能在系统出现异常后 8h 内恢复正常运行。

附 录 A
(资料性附录)
隧道结构快速检测设备

A.1 基本原理

基于数字摄影测量、三维激光扫描及图像分析技术，可连续、动态、完备地采集隧道结构表观病害和隧道变形信息，在后台进行数据分析、图像识别测量获得隧道表观病害的几何参数及状况，实时显示病害图像和激光点云数据，实现对隧道结构变形的快速非接触无损数据采集及数据自动化处理。

A.2 检测系统

隧道结构病害快速检测设备检测系统包括隧道检测数据采集系统、隧道病害识别提取系统、隧道检测数据综合分析系统、隧道检测车搭载载人机械臂等。

数据采集系统包括定位采集系统、影像采集系统、激光扫描采集系统。采集信息宜包括定位信息、行车姿态信息、隧道结构表观影像和点云数据结构等。

A.3 检测内容

附表 A.1 检测内容

序号	检测内容	
	检测病害	检测参数
1	裂缝	位置、走向、长度、宽度
2	渗漏水	位置、范围
3	剥落剥离、压溃	位置、范围
4	材料劣化	位置、范围
5	隧道变形：断面轮廓	位置、变形量、最大变形量
6	接缝张开或错台	位置、范围
7	螺栓孔或注浆孔堵塞物脱落、接缝止水条脱落	位置、范围

A.4 仪器设备

(1) 快速检测设备成像系统于隧道暗环境中须自带补光系统，补光系统不应受隧道已有照明影响，且不得干扰周边行车安全，宜采用对人体无害的不可见光源。

(2) 隧道衬砌结构表观影像数据完整、清晰均匀，图像分辨率满足病害识别要求，可选用面阵或线阵相机快速采集。

1) 面阵相机分辨率要求：每幅点像素纵向和环向精度均不低于 0.3mm。

2) 线阵相机分辨率要求：每线点像素纵向和环向精度均不低于 0.3mm。

(3) 隧道轮廓三维激光扫描分辨率要求：激光测距分辨率不应低于 0.1mm。

A.5 检测精度**(1) 数据采集精度**

1) 隧道表观病害采集精度不应低于 0.2mm。

2) 隧道结构变形测量精度不应低于 $\pm 2\text{mm}$ ，隧道超限探测分析精度为 $\pm 8\text{mm}$ 。

3) 隧道病害环向空间定位误差不应超过 0.3m。

4) 隧道病害里程定位精度不应低于 1‰。

(2) 数据处理精度

- 1) 裂缝宽度识别精度不应低于 0.2mm。
- 2) 实际裂缝宽度小于 0.5mm 的识别误差不宜超 20%，实际裂缝宽度大于或等于 0.5mm 的识别误差不宜超 15%。
- 3) 裂缝计算长度与裂缝实际长度误差不宜超 10%。
- 4) 线状病害漏检率不应超 20%，误检率不应超 10%。
- 5) 点渗漏病害漏检率不应超 20%，误检率不应超 20%。
- 6) 区域病害检测识别面积不应小于 100cm²，检测计算面积与实际面积误差不宜超 10%。
- 7) 隧道内轮廓变形精度不应低于 2mm，内轮廓变形检测间隔不宜大于 10m。

A.6 检测流程

隧道病害快速检测主要是完成病害图像采集和病害图像识别，对应的检测流程分为外业作业（图像采集）和内业作业（图像处理）两部分。

（1）外业工作主要由图像采集人员完成，获取到附带隧道病害的图像，并记录采集图像时对应的检测参数信息、检测位置与距离、检测时间等。

（2）内业工作：针对设备系统的储备照片进行隧道病害识别处理，并完成病害统计和病害数据库的建立。主要流程包括图像提取、图像识别、病害统计分析、隧道检测数据库录入以及自动生成检测报告。

图像拼接技术：快速检测设备沿隧道弧形分布有多个工业相机，采集结束后可以通过后处理软件实现多相机的图像拼接。每个相机一次曝光都可以获得一定隧道表观图像，成像时得到多张部分重叠的隧道实景图像，这些重叠的图像在不同弧形半径处拼接缝合，通过后处理软件一系列转换形成隧道完整的二维表面图像。

病害识别：一般先采用中值滤波等方法预处理图像，消除图像中的噪点，然后通过边缘算子等提取裂缝、渗水、剥落等病害的数量化信息，裂缝主要以长度、宽度等特征表征，渗水、剥落等主要以面积等来描述。

A.7 检测成果

隧道检测数据处理完后，编制隧道结构检测报告，隧道检测成果要求：

（1）隧道检测原始数据：包括图像影像、隧道轮廓数据、GPS、行车姿态等原始数据，并整理成数据图表。

（2）典型病害的照片及说明：以单个区间隧道为单位进行病害汇总，所有检测的隧道病害应汇总。

（3）隧道病害展示图：以单个区间隧道为单位生成隧道病害展示图，展示图应包括隧道底图、病害描述、隧道名称、里程刻度、隧道左右侧及隧道上下行标志。

（4）检测报告：报告内容除 1~3 条外，还应说明整个检测过程的实施方案、检测程序、评定过程和评定结果，找准病害产生的原因，并提出隧道养护建议及措施。

A.8 应用快速检测设备注意事项

（1）隧道管片表观病害自动化检测是将现场检测工作带回室内，但它并不能完全取代现场人工工作，对检测获得的现场数据采用人工、自动与人工相结合或全自动的方式进行判读，然后再对结果进行数据分析和统计。

（2）自动化检测系统获得的检测数据，特别是采用高清视频获得的现场图像，需进行必要的人工判读和现场校核。

（3）对一些老旧隧道，管片内表面污染严重，各种渗水痕迹、结露痕迹、脏污等图像即使人工判读也很可能出现误判，易出现误判、漏判等，需仔细判别。

附录 B
(资料性附录)
区域病害面积计算方法

B.1 区域病害包括渗漏水、剥落剥离、压溃、材料劣化等。

B.2 当区域病害形状近似为圆形时，在其大约中心位置，测其相互垂直的纵、横两个方向的长度（见图B.0.2），其面积应按下列公式计算：

$$D = \frac{D_h + D_z}{2} \quad (\text{B.0.2-1})$$

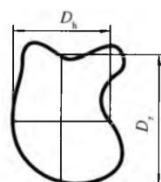
$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中：D—区域病害平均直径（mm）；

S—区域病害面积（mm²）；

D_h—区域病害横向直径（mm）；

D_z—区域病害纵向直径（mm）。



附图 B.1 区域病害直径的测量图

B.3 当区域病害形状近似为矩形时，应测最大长度L、最大宽度B_{max}和最小宽度B_{min}，取其平均宽度（见图B.0.3），其面积应按下列公式计算：

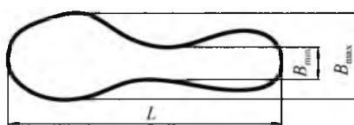
$$S = L \frac{B_{max} + B_{min}}{2} \quad (\text{B.0.3})$$

式中：S—区域病害面积（mm²）；

L—区域病害长度（mm）；

B_{max}—区域病害最大宽度（mm）；

B_{min}—区域病害最小宽度（mm）。



附图 B.2 区域病害直径的测量图

B.4 当区域病害形状难以确定时，其面积应取本标准公式（B.0.2-2）与公式（B.0.3）计算所得的较大值。

附 录 C
(资料性附录)
混凝土中氯离子含量的测定

- C.1 滴定条法可在现场完成氯离子含量的测定。
- C.2 测区内取样时每个测区取粉的钻孔数量不宜少于 3 个，测区与测孔应统一编号。
- C.3 应使用直径 20mm 以上的冲击钻在混凝土表面钻孔，分层收集粉样，深度间距可取 3mm、5mm、10mm、15mm、20mm、25mm、50mm 等，同一测区不同孔相同深度粉末可收集一个塑料袋内。
- C.4 应将采回的样品过筛，去掉其中最大的颗粒。试样置于烘箱中于 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 烘箱内烘 2h 后，冷却至室温。
- C.5 称取 5g 样品粉末（精确度 $\pm 0.1\text{g}$ ）放入烧杯中。缓慢加入 50ml（1.0mol） HNO_3 并彻底搅拌直至嘶嘶声停止。
- C.6 应采用石蕊试纸检查溶液是否呈酸性（石蕊试纸变红），如不呈酸性，再加入适量硝酸。
- C.7 加入约 5g 无水碳酸钠（ Na_2CO_3 ），应用石蕊试纸检查溶液是否呈中性（石蕊试纸不变），否则再加入少量无水碳酸钠直至溶液呈中性。
- C.8 应用过滤纸做一锥斗加入液体，当纯净的溶液渗入锥斗后，把滴定条插入液体中。
- C.9 待到滴定条顶端水平黄色细条转变为蓝色，取出滴定条应顺着由上至下的方向将其擦干。
- C.10 应读取滴定条颜色变化处的最高值，在该批滴定条表中查出对应的氯离子百分比含量。若分析过程取样 5g，加硝酸 50mL，则将查表所得的值处于 1000 即为百分比含量。
- C.11 若使用样品质量不是 5g 或使用过量的硝酸，则应按式（C.0.11）修正百分比含量。

$$\text{氯离子百分比含量} = \frac{a \times b}{1000c} \quad (\text{C.0.11})$$

式中： a ——查表所得值；
 b ——硝酸体积（mL）；
 c ——样品质量（g）。

附录 D

(资料性附录)

地质雷达检测

D.1 地质雷达法的原理是通过研究高频脉冲电磁波在介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，解决相关问题的方法。

D.2 地质雷达法适用于检测管片背后空洞和道床脱空等病害检测。

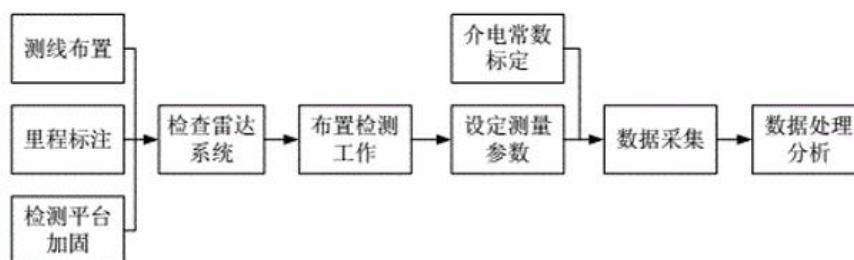
D.3 地质雷达主机技术指标应符合下列要求：

- 1) 系统增益不低于 150dB；
- 2) 信噪比不低于 60dB；
- 3) 模/数转换不低于 16 位；
- 4) 信号迭加次数可选择；
- 5) 采样间隔一般不大于 0.5ns；
- 6) 实时滤波功能可选择；
- 7) 具有连续测量功能；
- 8) 具有手动或自动位置标记功能；
- 9) 具有现场数据处理功能。

D.4 可采用不同频率的天线，技术指标应符合下列要求：

- 1) 具有屏蔽功能；
- 2) 最大探测深度应大于 2cm；
- 3) 垂直分辨率应高于 2cm；
- 4) 在分辨率满足且场所条件许可时，应尽量选择中心频率低的天线。

D.5 检测流程见附图D.1。



附图 D.1 地质雷达检测流程图

D.6 测线和测点布置应符合下列规定：

- 1) 测线位置宜避开地形及其它干扰的影响，测线长度应保证异常的完整和具有足够的异常背景；
- 2) 检测范围内有已知点时，测线应通过或靠近该已知点布设，或与其他方法测线重合布设；
- 3) 测网密度、天线间距和天线移动速度应能反映探测对象的异常；
- 4) 沿测线间隔 5~8m 进行测点或 1 环管片位置标记；
- 5) 管片背后空洞和道床脱空检测时测线和测点布置应按 4.9 和 4.13 布置。

D.7 介质参数标定应符合下列规定：

- (1) 检测前应对管片、道床混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定，且每个区间隧道应不少于 1

处，每处实测不少于 3 次，取平均值为该隧道的介电常数或电磁波速。当区间隧道长度大于 3km、管片或道床材料或含水量变化较大时，应适当增加标定点数。

(2) 介质参数标定可采用下列方法：

- 1) 在已知厚度部位或材料与隧道相同的其他预制件上测量标定；
- 2) 在具有相对立面的结构物处使用直达波法检测标定；
- 3) 通过钻孔实测介质厚度标定。

(3) 介质参数的标定应具备的条件：

- 1) 标定目标体的厚度一般不小于 15cm，且厚度已知；
- 2) 标定记录中界面反射信号应清晰、准确。

(4) 标定结果应按下式计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \quad (\text{D.0.7-1})$$

$$v = \frac{2d}{t} \times 10^9 \quad (\text{D.0.7-2})$$

式中 ε_r ——相对介电常数；

v ——电磁波速 (m/s)；

t ——双程旅行时间 (ns)；

d ——标定目标体厚度或距离 (m)。

D.8 测量时窗由下式确定：

$$\Delta T = \frac{2d\sqrt{\varepsilon_r}}{0.3} \alpha \quad (\text{D.0.8})$$

式中 ΔT ——时窗长度 (ns)；

α ——时窗调整系数，一般取 1.5~2.0；

其他参数意义同式 (D.0.7-1)。

D.9 扫描样点数由下式确定：

$$S = 2 \times \Delta T \times f \times K \times 10^{-3} \quad (\text{D.0.9})$$

式中 S ——扫描样点数；

ΔT ——时窗长度 (ns)；

f ——天线中心频率 (MHz)；

K ——系数，一般取 6~10。

D.10 纵向布线应采用连续测量方式，扫描速度不得小于 40 道 (线) /s；特殊地段或条件不允许时可采用点测方式，测量点距不得大于 20cm。环向测线宜尽量采用连续方式检测；也可采用点测方式，每道测线不小于 10 个测点。

D.11 地质雷达检测操作应符合以下规定：

- 1) 检测前应检查主机、天线以及运行设备，确保仪器均处于正常状态。
- 2) 应设置检测起始位置、管片号及分块号，必要时每隔 5~10 个管片号做一标记，直至所要检测的终点。并应设置时窗、采样点数等检测参数。
- 3) 当需要分段测量时，相邻测量段接头重复长度不应小于 1m。
- 4) 数据采集应符合下列要求：
 - a) 检测时应确保天线与管片表面密贴 (空气耦合天线除外)，记录管片表面和测区地面的平整情况；

检测天线应沿设计的测线方向移动，且移动平稳、速度均匀。

b) 随时检查采集信号的质量，及时判断实测信号曲线是否完整、是否反映或出现缺陷异常特征、程度级位置是否反映；

c) 当出现重要异常反映时，应在同一位置重复观测 3 次，并应作一致性分析，根据现场踏勘情况分析信号异常原因，并在现场标记其位置。

d) 信号波形曲线不应失真、畸变、有毛刺和产生漂移，信号幅值不应超过测量系统的量程。

5) 应记录测线号、方向、标记间隔、天线类型、测量位置及管片号等信息。

6) 检测过程应随时记录可能对测量产生电磁影响的物体（如渗水、电缆、铁架等）及其位置，遇到干扰影响或处在异常点位置应在记录中予以标注。

D.12 地质雷达检测数据处理及解释

(1) 数据处理应符合下列规定：

1) 原始数据处理前应回放检验，数据记录完整、信号清晰、里程标记准确。不合格的原始记录不得进行处理和解释。

2) 数据处理和解释软件应使用正式认证的软件或经鉴定合格的软件。

3) 数据处理应确保位置标记准确、无误。

4) 确保信号不失真，有利于提高信噪比。

(2) 解释工作应符合下列规定：

1) 解释工作应在掌握测区内物性参数和管片结构的基础上，按由已知到未知和定性指导定量的原则进行。

2) 根据现场记录，分析可能存在的干扰体位置与雷达记录中异常的关系，准确区分有效异常与干扰异常。

3) 应准确区分有效异常与干扰异常、准确读取双程旅行时的数据。

4) 解释结果和成果图件应符合管片和围岩状况探测要求。

D.13 管片背后空洞的主要判定特征应符合下列要求：

1) 密实：信号幅度较弱，甚至没有界面反射信号。

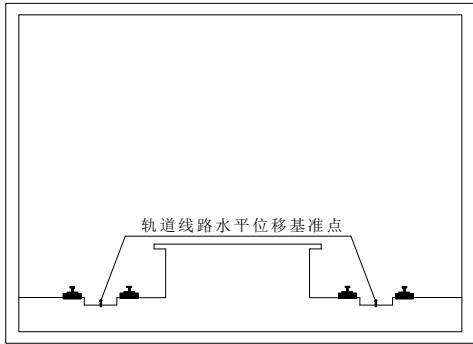
2) 不密实：衬砌界面的强反射信号同相轴呈绕射弧形，且不连续，较分散。

3) 空洞：衬砌界面反射信号强，三振相明显，在其下部仍有强反射界面信号，两组信号时程差较大，同相轴呈弧形，并与相邻管片之间有相位错位。

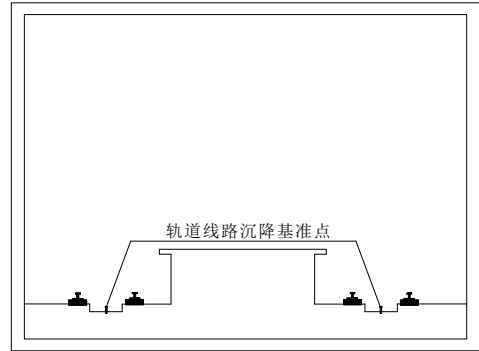
D.14 道床脱空的主要判定特征应符合下列要求：

道床脱空判定应为道床界面反射信号强，三振相明显，在其下部仍有强反射界面信号，两组信号时程差较大。

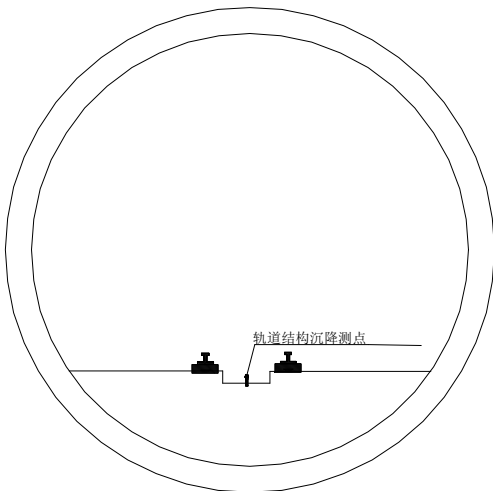
附录 E
(资料性附录)
监测点埋设



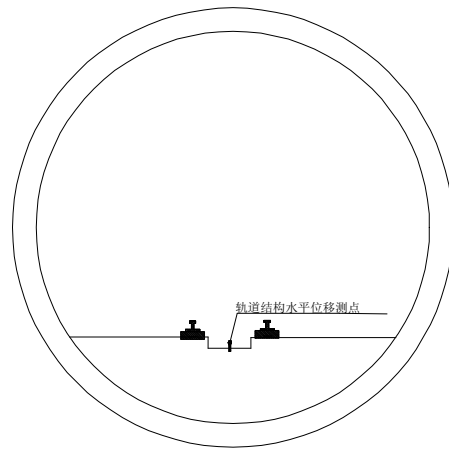
附图 E.1 沉降监测基准点



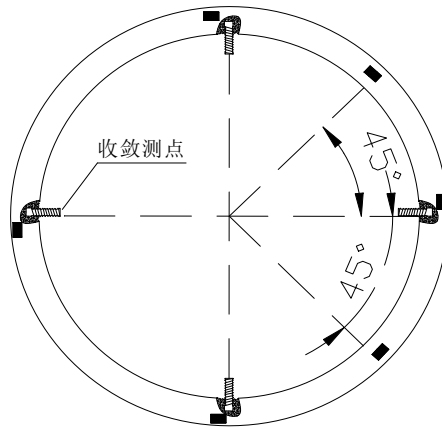
附图 E.2 水平位移监测基准点



附图 E.3 沉降监测点



附图 E.4 水平位移监测点



附图 E.5 断面收敛监测点

附录 F

(资料性附录)

综合评定法评定健康度

F.1 盾构隧道结构综合评定法评定健康度应按照式F.0.1计算：

$$ZJKD = 100 \cdot \left[1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n \left((DJKD_i - 1) \times \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \right) \right] \quad (\text{式 F.0-1})$$

式中： ω_i —分项权重； $DJKD_i$ —单项指标法评定健康度值，值域 1~5；；

F.2 单项指标法评定结构健康度按式F.0.2计算：

$$DJKD_i = (DJKD_{ij}) \quad (\text{式 F.0-2})$$

式中： $DJKD_{ij}$ ——各分项检查区段健康度值；

j——检查区段号，按实际区段数量取值。

F.3 盾构隧道结构各分项权重宜按表F.1取值。

附表 F.1 盾构隧道结构各分项权重值

分项		分项权重 ω_i	分项		分项权重 ω_i
裂缝		20	隧道变形	水平变形	22
渗漏水		22		竖向变形	
管片背后空洞		6		断面轮廓	
管片劣化	剥落剥离、压溃	12	道床病害	接缝张开或错台	18
	材料劣化			裂缝	
	钢筋、螺栓、钢管片锈蚀			下沉、隆起	
	管片强度			渗漏水	
	混凝土碳化深度			道床脱空	
螺栓孔或注浆孔堵塞物、接缝止水条脱落				翻浆冒泥	

注：管片劣化、隧道变形、道床病害项权重，分别根据存在病害类型种类数量等比例取值。

F.4 综合评定法隧道结构健康度评定分类界限值按表F.2执行。

附表 F.2 综合评定法隧道结构健康度评定分类界限值

综合健康度评分	综合评定法评定隧道结构健康度评定分类				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
ZJKD	≥ 85	$\geq 70, < 85$	$\geq 55, < 70$	$\geq 40, < 55$	< 40
