



T/CECS XXX-201X

中国工程建设协会标准

城市轨道交通盾构隧道结构病害分 级与检测技术规程

Technical specification for inspection of tunnel structures

in urban rail transit

（征求意见稿）

同济大学

中国建筑股份有限公司技术中心

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2017年第二批工程建设协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字[2017]031号）的要求，规程编制组经在广泛调查研究、~~认真总结实践经验~~、~~参考有关国内外先进标准~~、~~并在广泛~~征求意见的基础上，~~制定编制~~本规程。

本规程共分为 6 章和 8 个附录，~~的主要技术内容~~包括是：~~1-总则~~、~~2-术语~~、~~3-基本规定~~、~~4-病害类型与检测方法~~、~~5-结构健康度评定~~、~~6-数据管理~~等。

本规程由中国工程建设标准化协会城市轨道交通专业委员会归口负责管理，由同济大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄往解释单位送同济大学（地址：上海市四平路1239号，邮政编码：200092）。

本 规 范 主 编 单 位： 同济大学

中国建筑股份有限公司技术中心

本 规 范 参 编 单 位： 上海申通地铁集团有限公司

北京交通大学

广州地铁集团有限公司

昆明轨道交通集团有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

上海同济检测技术有限公司

郑州地铁集团有限公司

济南轨道交通集团有限公司

南京地铁集团有限公司

上海同岩土木工程科技股份有限公司

本规范主要起草人员：

本规范主要审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	5
4	病害类型与检测方法	6
4.1	一般规定	6
4.2	裂缝	8
4.3	渗漏水	11
4.4	剥落剥离、压溃	14
4.5	材料劣化	15
4.6	钢筋、螺栓、钢管片锈蚀	15
4.7	管片强度	18
4.8	混凝土碳化深度	19
4.9	管片背后空洞	20
4.10	隧道变形	21
4.11	接缝张开或错台	24
4.12	螺栓孔或注浆孔填塞物、接缝止水条脱落	25
4.13	道床病害	26
5	结构健康度评定	29
6	数据管理	31
6.1	一般规定	31
6.2	数据记录	32
6.3	数据分析	33
6.4	数字化管理	35
附录 A	隧道结构快速检测设备	36
附录 B	区域病害面积计算方法	39
附录 C	混凝土中氯离子含量的测定	40
附录 D	地质雷达检测	41
附录 E	单项指标法评定健康度	45
附录 F	综合评定法评定健康度	49
附录 G	隧道病害检测记录表	50
附录 H	隧道病害检测数据标准	57

1 总则

1.0.1 为规范城市轨道交通盾构隧道结构病害检测方法，提高检测技术水平，保证检测工作质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于已运营或试运营的城市轨道交通盾构隧道结构病害的检测工作。

1.0.3 城市轨道交通盾构隧道结构病害检测应积极采用新技术、新设备。

1.0.4 城市轨道交通盾构隧道结构病害的检测除应符合本规程外，尚应符合国家、行业现行的相关标准、规范的规定。

2 术语

2.0.1 病害 defect/disease

影响盾构隧道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。

2.0.2 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。

2.0.3 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。

2.0.4 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。

2.0.5 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。

2.0.6 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。

2.0.7 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。

2.0.8 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。

2.0.9 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。

2.0.10 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。

2.0.11 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。

2.0.12 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。

2.0.13 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。

2.0.14 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。

2.0.15 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。

2.0.16 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。

2.0.17 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。

2.0.18 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。

3 基本规定

3.0.1 隧道结构出现病害时，应及时检测病害参数，确定隧道结构健康度。

3.0.2 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/T 289 的检查类型确定。

3.0.3 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。

3.0.4 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。

3.0.5 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。

3.0.6 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。

3.0.7 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。

3.0.8 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行。

【条文说明】

3.0.8 城市轨道交通盾构隧道结构病害检测工作时，需穿着具有反光标识的服装和安全帽，登高作业时需佩戴安全带，确保检测作业安全。

4 病害类型与检测方法

4.1 一般规定

4.1.1 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。

4.1.2 盾构隧道结构病害检测宜采用目测与仪器相结合的方法。

4.1.3 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。

4.1.4 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。

4.1.5 采用隧道结构快速检测设备检测时，应按附录 A 执行。

【条文说明】

4.1.5 目前国内外已开发了多款隧道病害检测设备，利用检测设备可以对隧道结构表面、变形进行快速非接触无损数据采集，通过配套软件，可以自动进行数据处理、病害识别和检测报告生成。近年来国内外典型隧道自动检测设备见表 4.1.5。

表 4.1.5 国内外典型隧道病害检查设备

名称	产地	仪器设备	检测病害	设备优点
MIS&MMS 隧道检测系统	日本计测检测株式会社	CCD 相机、LED 照明设备、激光扫描仪、数码相机、编码器及 GPS 定位系统	隧道表面平整度、漏水、裂缝等表观病害	扫描裂缝宽度 0.2mm，行进速度 5~50km/h，实时数据存储并转成静止图像
隧道裂缝检测车	韩国检测技术研究所	CCD 可见光成像技术	隧道裂缝、表面龟裂、漏水、剥离等表观病害	实时摄录，生成静止图像
德国 SPACETEC 系统检测车	德国 SPACETEC 公司	集三维激光扫描与红外线为一体	隧道变形、开裂、渗水、露筋、剥离、掉块等	有配套数据管理软件，提供隧道检测方案
TunnelScan 隧道表面检测系统	瑞士 AMBERG 技术公司	超高速相位式三维激光扫描仪	隧道断面收敛、侵界、裂缝、渗水等	可对隧道表面高密度扫描

名称	产地	仪器设备	检测病害	设备优点
隧道检测设备 Tunnelings	西班牙欧洲咨 询公司	激光相机	隧道裂缝、碎片、损 伤等	检测速度可达 40km/h, 检测精度 0.5mm
GRP5000 移动 式扫描测量系 统	瑞士安伯格公 司	激光扫描仪、全站 仪	净空断面、裂缝等	隧道表面成像测量速度 2~4km/h; 裂缝识别宽度 0.3mm
ATLAS 70 多传 感器隧道检测 系统	法国 HGH 红 外系统公司	红外扫描仪、镭射 激光成像技术	隧道变形、断面、衬 砌裂缝、渗漏水、剥 落病害	探测距离可达 6m, 扫描 裂缝精度可达 0.1mm
同济曙光地铁 隧道结构综合 检测车	上海同岩土木 工程科技股份 有限公司	集数字摄影、激光、 红外多种高精度测 量装置	隧道衬砌裂缝、剥落、 渗漏水、露筋、隧道 变形	检测速度 3~20km/h; 裂 缝宽度精度 0.2mm; 区域 病害面积识别达 10cm ² ; 收敛变形 2mm
隧道衬砌病害 集成检测车	同济大学	CCD 线阵相机、红 外摄像机及探测雷 达等	隧道裂缝、渗漏水、 空洞等进行检测	裂缝识别精度 0.3mm, 检 测速度 5km/h
隧道智能检测 设备	北京雷德华澳 检测技术有限 公司	工业相机、红外热 像仪、车载计算机	隧道裂缝、渗水、剥 落等外观病害	采集宽度 4m; GPS 定位 精度±0.2%、水平精度 1.2m; 裂缝识别精度 0.2mm
隧道智能检测 系统 (SXJK-TIDS)	山西省交通科 学研究院	机器视觉、惯性导 航、激光测量	裂缝、渗水、剥落、 衬砌变形等隧道病害	定位精度 0.5m; 裂缝识 别精度 0.2mm; 断面扫描 精度 5mm, 角分辨率 0.25°
基于机器视觉 的快速移动式 地铁隧道机构 病害检测分析 系统	同济大学及上 海通芮斯克土 木工程责任有 限公司	高精度线阵 CCD 相 机及线性光源	隧道内渗漏水、裂缝	检测速度达到 3-5km/h, 检测精度达 0.3mm

近年来国内外对隧道地铁病害自动化检测技术研究,主要是采用数字摄像测量自动检测技术、激光扫描自动检测技术、红外线以及多功能集成的自动检测技术,实现对隧道结构裂缝、渗漏水、剥落剥离等表观病害及隧道变形的非接触式无损自动检测。国际上以日本、韩国及西班牙为代表的国家将研究重点放在基于摄影测量的自动检测技术,而以瑞士、德国以及法国为代表的国家将研究重点放在基于激光扫描的自动检测技术。国内将研究重点放在集数字摄影和激光扫描集成的自动化检测技术,开发了诸多隧道病害快速检测设备。目前多项研究成果已应用国内各省诸多隧道病害检测,检测过程中获得了隧道病害检测数据,并对隧道病害状况作出了综合评价,检测精度已满足隧道日常、定期检查的要求,取得了良好的实用应用效果。

地铁隧道检测具有其特殊性,由于要保持地铁每天的正常运营,检测工作只能在每天运营结束后实施地铁检测,且需在第二天运营开始前完成检测工作并撤离隧道。各区地铁隧道运营时间不同,允许检测时间也有差异,平均检测时间在 2~2.5h,导致检测时间紧、任务重、工作量大,此时采用隧道病害快速检测设备,可提高检测效率,避免检测的主观性,也保证了地铁正常运营。

4.1.6 现场检测采用的仪器、设备应满足以下规定:

1 检测仪器、设备的适用范围、测量精度、分辨率、量程等应满足检测参数的要求。

2 检测仪器、设备应进行定期检查、标定和保养，使用时应在检定或校准周期内，并应处于正常状态。

4.1.7 现场检测的测区、断面和测点应有明晰标注和统一规则编号。

4.2 裂缝

4.2.1 裂缝检测参数宜包括裂缝位置、走向、长度、宽度、深度。

4.2.2 裂缝检测宜采用目测法确定位置及走向后，按表 4.2.2 选择检测方法及仪器设备。

表 4.2.2 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

4.2.3 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。

【条文说明】4.2.3 裂缝位置检测前，应明确上下行及区间，然后确定纵向环向位置。

4.2.3-2 区间隧道的管片、分块号标记连续时，裂缝位置可采用目测法。采用里程桩号标记位置时，目测法则不适用，宜选用直接量测法。

4.2.3-3 目测法时某裂缝位置标记：下行区间 205 环管片 L1 块。

4.2.3-4 直接量测法时某裂缝位置标记：上行区间 200 环管片 L2 分块左拱腰、距隧道拱顶轴线 1.25m；某裂缝位置标记：下行区间 150 环管片 L3 块-右边墙、距隧道道床边线 1.20m。其中可依据就近原则选择隧道拱顶中线或道床边线量测。盾构隧道管片部位描述可分为拱顶、左右拱腰、左右边墙。

4.2.4 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° 。

【条文说明】

4.2.4 纵向裂缝是指走向平行（接近平行）隧道纵轴线的裂缝，走向为 $-22.5^{\circ} \sim 22.5^{\circ}$ 的裂缝。环向裂缝是指走向垂直（接近垂直）隧道纵轴线的裂缝，走向为 $67.5^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$ 的裂缝。斜裂缝是指走向和隧道纵轴线呈 45° 左右角的裂缝，走向为 $22.5^{\circ} \sim 67.5^{\circ}$ 的裂缝。

4.2.5 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。

4.2.6 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：

- 1) 应在裂缝最宽处的两侧标记检测点。
- 2) 应调试好仪器后将探头（摄像头）放置在待测裂缝测点上。
- 3) 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。
- 4) 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。

4.2.7 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。

【条文说明】

4.2.7-3 发射、接收换能器尽量与裂缝走向垂直，尽量放置在垂直裂缝两根钢筋中间位置。

4.3 渗漏水

4.3.1 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 4.3.1 执行。

表 4.3.1 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。

4.3.2 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。

4.3.3 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 4.3.3 选择检测方法及仪器设备。

表 4.3.3 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

4.3.4 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：

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

2) 螺栓孔、注浆孔渗漏水、管片裂缝漏水位置按本规程第 4.2.3 条中目测法执行。

4 采用直接量测法时，按本规程第 4.2.3 条中直接量测法执行。

【条文说明】

4.3.4 渗漏水根据通径不同应分为管片接缝（环缝与纵缝）、管片裂缝、螺栓孔、注浆孔渗漏。

4.3.4-3 目测法举例：某纵向接缝渗漏标记：上行区间 250 环、L1-L2 块；某环向接缝渗漏标记：下行区间 160-161 环、L1-L2 块；某裂缝渗漏标记：下行区间 320 环、L2 块。

4.3.5 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：

1) 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。

2) 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。

3) 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%。

4) 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 10cm^2 。

【条文说明】

4.3.5-3 拍摄角度是指红外热像仪观察方向与被测物体辐射表面法线方向的夹角。

红外热像仪检测数据处理及结果要求按《红外热像法检测 建设工程现场通用技术要求》GB/T 29183 执行。

4.3.6 渗漏水量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 渗漏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 的渗漏水量。

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 的渗漏水量。

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。

【条文说明】

4.3.6-2 湿渍、浸渗采用目测、触摸法、吸墨纸报纸贴附法检测;滴漏宜采用容积法或计数法、线漏宜采用容积法;涌流宜采用流速法。漏泥沙宜根据实际水量确定检测方法。

4.3.6-5 通常当滴落速度 $3\text{滴}/\text{min}\sim 4\text{滴}/\text{min}$ 时,24h 的渗水量就是 1L。

4.3.7 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。

4.3.8 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 4.2.3 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。

4.3.9 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。

4.3.10 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。

4.4 剥落剥离、压溃

4.4.1 剥落剥离、压溃检测参数应包括位置、范围、深度。

4.4.2 剥落剥离、压溃检测宜先采用目测法对位置初判后，按表 4.4.2 选择检测方法及仪器设备。

表 4.4.2 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

4.4.3 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程第 4.2.3 条执行。

4.4.4 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。

4.4.5 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。

4.5 材料劣化

4.5.1 起毛、酥松、起鼓等材料劣化检测参数应包括位置、范围、程度。

4.5.2 起毛、酥松、起鼓等材料劣化检测方法及要求宜按本规程第 4.4 节剥落剥离、压溃执行。

4.6 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀

4.6.1 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。

4.6.2 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 4.6.2 确定。

表 4.6.2 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

【条文说明】

4.6.2 剔凿检测法，一般适用于混凝土表面已经出现锈痕、顺筋裂缝或保护层被胀裂、剥落处。

半电池电位法、混凝土电阻法适用于定性评估隧道管片混凝土结构中钢筋的锈蚀性状，

不适用于带涂层的钢筋以及混凝土已饱和和接近饱水、干燥到绝缘状态的混凝土、已发生脱空层离的混凝土表面等结构检测。

4.6.3 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀位置检测方法及要求应按本规程第 4.2.3 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：

1) 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。

2) 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。

3) 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。

4) 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。

5) 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。

6) 检测精度不宜低于 1mV。

【条文说明】

4.6.3-3 钢筋锈蚀检测仪仪器性能及技术要求可参照《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152 的要求。

1) 测区不应有明显锈蚀胀裂、脱空或层离现象。测区不应覆盖管片接缝。当测区混凝土有绝缘涂层介质隔离时，应清除绝缘涂层介质。

2) 若在远离钢筋连接点的测区进行测量，应用万用表检查内部钢筋的连续性，如不连续，应重新进行钢筋的连接。

4) 当检测环境温度在 $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$ 之外时，应对测点的电位值进行温度修正。

当温度 $T \geq 27^\circ\text{C}$ 时， $V = 0.9 \times (T - 27.0) + V_R$ ；

当温度 $T \leq 17^\circ\text{C}$ 时， $V = 0.9 \times (T - 17.0) + V_R$ ；

式中： V ——温度修正后电位值，精确至 1mV ； V_R ——温度修正前电位值，精确至 1mV ；
 T ——检测环境温度，精确至 1°C ； 0.9 ——系数（ $\text{mV}/^\circ\text{C}$ ）。

5) 测试结果按一定的比例绘制测区平面图，标出相应测点位置的钢筋锈蚀电位，得到数据阵列；并绘制电位等值线图，通过数值相等的各点或内插各等值点绘出等值线，等值线差值宜为 100mV 。

钢筋电位与钢筋锈蚀状况的判别见表 4.6.3-3。

表 4.6.3-3 钢筋电位与钢筋锈蚀状况判别

序号	钢筋电位状况（ mV ）	钢筋锈蚀状况判别
1	-350 ~ -500	钢筋发生锈蚀的概率为 95%
2	-200 ~ -350	钢筋发生锈蚀的概率为 50%，可能存在坑蚀现象
3	-200 或高于-200	无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定，锈蚀概率为 5%

4 采用混凝土电阻法时，可选用混凝土电阻率仪检测，应符合以下规定：

1) 测区与测位布置宜参照钢筋锈蚀电位测量的要求，电位应在网格间进行测量，并应做好编号工作。混凝土存在碳化时应去掉表面碳化层。

2) 应调节好仪器电极的间距，电极间距宜为 50mm ，且应在电极前端涂上耦合剂，测量时探头应垂直置于混凝土表面，并施加适当的压力。

3) 测量，读数计算电阻率值并保存。

4) 检测精度不宜低于 $1\text{ k}\Omega\text{cm}$ 。

【条文说明】

4.6.3-4 混凝土电阻率与钢筋锈蚀状况判别见表 4.6.3-4。

表 4.6.3-4 混凝土电阻率与钢筋锈蚀状况判别

序号	混凝土电阻率（ $\text{k}\Omega\text{cm}$ ）	钢筋锈蚀状况判别
1	>100	钢筋不会锈蚀
2	50 ~ 100	低锈蚀速率
3	10 ~ 50	钢筋活化时，可出现中高锈蚀速率
4	<10	电阻率不是锈蚀的控制因素

5 采用剔凿检测法时，应选定区域用铁锤、錾子等敲掉混凝土保护层，漏出钢筋，用游标卡尺直接量测钢筋的剩余直径、蚀坑深度、长度及锈蚀物的厚度，计算钢筋的截面损失率，也可截取一段在试验室量测，检测精度不宜低于 0.1mm 。

4.6.4 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。

4.6.5 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。

4.6.6 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。

4.7 管片强度

4.7.1 管片强度检测方法及设备宜按表 4.7.1 确定。

表 4.7.1 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

【条文说明】4.7.1 当混凝土龄期未超过 1000d 时,宜选择回弹法;当混凝土龄期超过 1000d,宜选择超声回弹综合法检测;当受到环境侵蚀或遭受火灾、碰撞、高温等影响、或对回弹法、超声回弹法结果有争议时,宜选择钻芯法检测。

4.7.2 混凝土强度位置检测方法及要求应按本规程第 4.2.3 条执行。

4.7.3 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。

4.7.4 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。

4.7.5 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。

【条文说明】4.7.5

- 1 为了便于修补,芯样高径比宜为 1:1。
- 2 采用钻芯法检测,在加工芯样试件时,应将芯样上混凝土受影响层去除;混凝土受影响层的厚度可依据具体情况分别按最大碳化深度、混凝土颜色产生变化的最大厚度、明显损伤层的最大厚度确定,也可按芯样侧面硬度测试情况确定。
- 3 混凝土受影响层能剔除时,可采用回弹法或回弹加钻芯修正的方法检测,但回弹测区的质量应符合《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23 的要求。

4.7.6 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。

【条文说明】4.7.6 当采用本规程第 4.7.6 节规定的龄期修正系数对回弹法检测得到的测区混凝土抗压强度换算值进行修正时需注意以下事项：

- 1 龄期已超过 1000d，但处于干燥状态的普通混凝土。
- 2 混凝土外观质量正常，未收环境介质作用的侵蚀。
- 3 经超声波或其他探测法检测结果表明，混凝土内部无明显的不密实区和蜂窝状局部缺陷。
- 4 混凝土抗压强度等级在 C20 级~C50 级之间，且实测的碳化深度已大于 6mm。
- 5 混凝土抗压强度换算值可乘以表 4.7.6 的修正系数予以修正。

表 4.7.6 测区混凝土抗压强度换算值龄期修正系数

龄期 (d)	1000	2000	4000	6000	8000	10000	15000	20000	30000
修正系数	1.00	0.98	0.96	0.94	0.93	0.92	0.89	0.86	0.82

4.8 混凝土碳化深度

4.8.1 混凝土碳化深度检测方法及仪器设备宜按表 4.8.1 确定。

表 4.8.1 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

4.8.2 混凝土碳化深度位置检测方法及要求应按本规程第 4.2.3 条执行。

4.8.3 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。

【条文说明】

4.8.3-4 碳化深度值的测量准确与否，直接影响推定混凝土强度的准确性，因此在测量碳化深度值时应为垂直距离，并非孔洞中显现的非垂直距离。碳化深度测量仪测量时应将仪器的底座平面贴紧孔洞一侧平整的混凝土表面上，当孔洞周围的混凝土表面不平整时，应用砂轮磨平，以免造成测量误差。

当测区的碳化深度的极差大于 2.0mm 时，可能预示着该管片混凝土强度不均匀，因此要求每一个测区均需要测量碳化深度值。

4.9 管片背后空洞

4.9.1 管片背后空洞检测参数应包括位置、范围、程度。

4.9.2 管片背后空洞检测方法及仪器设备宜按表 4.9.2 确定。

表 4.9.2 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。

4.9.3 管片背后空洞位置检测方法及要求应按本规程第 4.2.3 条执行。

4.9.4 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：
 - 1) 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。
 - 2) 现场测线应环向测线为主，纵向为辅。环向测线间距宜按 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。
 - 3) 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。

【条文说明】

4.9.4-2 天心中心频率选择需兼顾目标体最小尺寸和天线尺寸是否符合场所需要。如果探测深度小于目标深度，需降低频率以获得适宜的探测深度。一般来讲，管片厚度小于 30cm 时采用 900 MHz 天线，管片厚度为 30~70cm 时采用 400 MHz 或 500 MHz 天线，管片厚度大于 70cm 时要考虑 300MHz 或更低频率的天线。

3 采用钻孔量测法检测时，应符合以下规定：

- 1) 钻孔位置应布置在探测部位，并提前做好钻孔部位标记和编号，记录其纵向和环向位置。

2) 先在待检测部位用冲击钻打孔,将已知长度带直角钩的高强度铁丝直接插入底部,量取外露长度,并将测得的管片厚度扣除,量测空洞深度。

3) 检测精度不宜低于 1cm。

4) 检测结束后应注意对破损部位修复,防止诱发渗漏水病害。

4.10 隧道变形

4.10.1 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。

4.10.2 隧道变形检测方法及仪器设备宜按表 4.10.2 确定。

表 4.10.2 隧道变形检测方法及仪器设备

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

4.10.3 隧道变形位置检测方法及要求应按本规程第 4.2.3 条执行。断面轮廓位置宜采用纵向位置标识。

4.10.4 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：

1) 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 $1''$ 。

2) 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：

1) 检测时应将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。

2) 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。

3) 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。

4) 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。

5) 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。

6) 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。

4.10.5 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:

1) 精密水准仪仪器精度应不低于 DS1 或 DSZ1。

2) 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。

3) 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, 宜按本规程第 4.10.4 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。

4.10.6 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:

1) 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。

2) 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。

3) 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。

4)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。

5)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 $\pm 20\text{mm}$ 。

6)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:

1)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。

2)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。

3)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。

4)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° 。

5)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。

6)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。

7)测量精度不宜低于 $\pm 2\text{mm}$ 。

8)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:

1)检测时应将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。

2)测站应设置在稳定的位置,宜选择合适的测点距离。

3)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。

4) 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。

5) 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。

6) 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。

7) 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。

【条文说明】

4.10.6-4 2) 测点距离可按照公式 4.10.6 计算。假设仪器架设位于隧道中心轴线上，入射角最大的测点位于点 B，可得

$$\theta_{\max} = \arctan (S/D) \quad (\text{公式 4.10.6})$$

式中： $\theta_{\max}$ 为测站扫描范围内的最大入射角，°；

S 为测点间距，m；

D 为隧道内径，m。

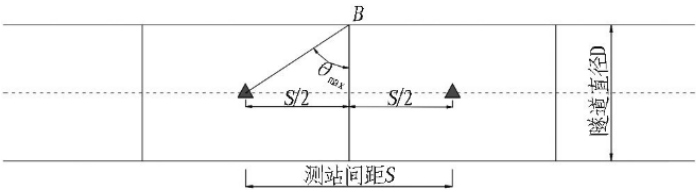


图 4.10.6 测站间距、隧道内径与入射角关系图

4.11 接缝张开或错台

4.11.1 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。

4.11.2 接缝张开或错台检测宜先采用目测法对位置初判后，按表 4.11.2 确定检测方法及仪器设备。

表 4.11.2 接缝张开与错台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
	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

【条文说明】

4.11.2 管片错台初步判断通过目测进行，对疑似处可通过手触确认，也可将探照灯平贴于管片疑似错台处照明，如存在错台现象，则光束在错台处会出现明显明暗对比。

管片接缝张开初步判断可采用目测，不确定时采用探照灯照射，接缝张开幅度较大处，灯光照射后能发现螺栓。

4.11.3 接缝张开或错台位置检测方法及要求应按本规程第 4.3.4 条执行。

【条文说明】

4.11.3 目测法时与管片纵缝、环缝渗漏水位置标记一致，如某环向接缝张开位置标记：上行区间 145-146 环、L2-L2 块；某纵缝张开位置标记：下行区间 230 环、L1-L2 块。

4.11.4 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，宜按本规程第 4.10.4 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。

4.11.5 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，宜按本规程第 4.10.4 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。

4.12 螺栓孔或注浆孔填塞物、接缝止水条脱落

4.12.1 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。

4.12.2 螺栓孔或注浆孔堵塞物脱落位置检测方法及要求宜按本规程第 4.2.3 条执行。接缝止水条脱落位置检测方法及要求宜按本规程第 4.3.4 条中管片接缝渗漏检测要求执行。

4.12.3 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。

4.13 道床病害

4.13.1 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。

4.13.2 道床裂缝检测可按本规程第 4.2 节执行。

4.13.3 道床下沉、隆起检测可按本规程第 4.10.5 条执行。

4.13.4 道床渗漏水检测可按本规程第 4.3 节执行。

4.13.5 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程第 4.2.3 条执行。范围宜按本规程第 4.4.4 条执行。

4.13.6 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 4.13.6 确定检测方法及仪器设备。

表 4.13.6 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

【条文说明】

4.13.6 对于整体式道床，由于两侧排水沟混凝土后于轨枕区域道床浇筑，道床脱空通常表现为两种形式，道床两侧边缘与管片脱开和道床中间底部轨枕区域与管片脱开。在脱开现象较为明显的区域，道床混凝土可能会出现横向裂缝。

隧道整体变形形式有横鸭蛋和竖鸭蛋式变形。横鸭蛋式变形引起道床道床两侧边缘与管片脱空，竖鸭蛋式引起道床中间底部与道床脱空。

当道床两侧边缘与管片脱开时可采用直接量测法；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。当结果有争议或病害处理时，宜选择钻孔取芯法。

4.13.7 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。

【条文说明】

4.13.7 当道床两侧边缘与管片脱开时，宜采用目测法或直接量测法。脱开不明显或疑似脱空时，宜采用目测法，通过插硬卡片的方式确认。直接量测法采用钢卷尺等测量道床脱空位置与道床边线的距离。当道床中间底部轨枕区域与管片脱开时，宜采用地质雷达探测道床脱空位置。

4.13.8 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。
 - 1) 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。
 - 2) 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。

4.13.9 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：
 - 1) 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。
 - 2) 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。
 - 3) 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：
 - 1) 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。
 - 2) 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。

3) 检测结束后应立即修复钻孔破坏位置。

4 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。

【条文说明】

4.13.9 检测过程中隧道检测段障碍物尽量清理掉,检测时由于障碍物的阻挡不得不绕避,使得检测数据断断续续,影响数据分析质量,特别是道床检测,表面越是平整、干净、测得的数据越是清晰。

5 结构健康度评定

5.0.1 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。

5.0.2 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。

【条文说明】

5.0.2 综合评价法分区段评价时，软土地区盾构隧道一般取 10 环为一个区段，其他地区取 20 环为一个分区段评定。

5.0.3 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。单项指标法健康度评定应按附录 E 执行。

【条文说明】

5.0.3 隧道结构单项指标法健康度评定可根据《城市轨道交通隧道结构养护技术规范》CJJ/T 289 中第 5.4 节确定。依据隧道检测结果，采用单一病害指标进行隧道结构健康度评定，将最严重病害确定的健康度作为隧道结构健康度。

5.0.4 采用综合评定法评定隧道结构健康度应按附录 F 执行。

【条文说明】

5.0.4 隧道结构综合评定法健康度评定的划分应根据病害检测参数、病害种类和单个隧道区间三个层次依次进行评价。

- 1 根据检测参数中各项检测指标的检测结果，确定每个检测参数的健康度。
- 2 根据病害种类中各项检测参数的评价结果，确定隧道结构单一病害的健康度。
- 3 根据每个区间隧道中，各项隧道结构单一病害健康度的评价结果，确定单个隧道区间的结构综合评定法健康度等级。

5.0.5 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 5.0.5 执行。

表 5.0.5 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 数据管理

6.1 一般规定

6.1.1 检测数据、资料整理应考虑检测目的和检测内容，满足检测参数的需要。

6.1.2 检测数据、资料应按手绘、试验和现场仪器（包括隧道结构病害快速检测设备）检测数据资料分类管理、归档。

6.1.3 检测成果资料宜采用文字、图表及影像相结合的方式表述检测对象性状，检测资料应完整、清晰。

6.1.4 现场检测数据记录格式应符合下列要求：

- 1 人工记录时应及时录入病害检测记录表，并应保证数据准确、字迹清晰、信息完整，不应追记、涂改，如有笔误时，应进行杠改并签字确定。
- 2 仪器自动记录或手持式病害记录仪的数据应妥善保存。
- 3 病害照片、影像信息应完整清晰，标明位置和编号等。
- 4 检测数据应及时保存和备份。

6.1.5 检测数据分析前，应进行数据整理，宜包括基础性资料、养护检查资料、隧道运营期间加固维修资料。

- 1 基础性资料宜包括工程地质勘察报告、设计资料及竣工资料等。
- 2 养护检查资料宜包括日常检查、定期检查、特殊检查、专项检查等资料。
- 3 隧道运营期间加固维修资料宜包括隧道的病害状况、环境条件、运营期间的加固与维修情况。

6.1.6 检测数据分析应以单个区间隧道为单位，可采用比较法、图表法、数值模拟算法等方法。

【条文说明】

6.1.6 比较法、图表常用于初步分析，确定检测数据变化原因和规律；数值模拟算法常用于系统分析，以建立各检测参数之间的相关性，辅助隧道结构安全状态评价。

6.1.7 所有检测数据、成果资料宜录入数字化管理系统。

6.2 数据记录

6.2.1 病害检测数据成果应包括病害检查记录表、病害展示图及照片、影像资料、病害属性统计表及检测报告。

6.2.2 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脱离、接缝止水条脱离、道床病害等病害检测记录表宜附录 E 中表格式进行。

6.2.3 病害检测记录表应满足以下要求：

- 1 病害记录应详实且准确，明确位置、特征。
- 2 每个病害应分别标记病害位置、范围、程度等检查要求所需的项目，并拍照存档。病害照片应至少包括病害全景、局部特征、现场所标记内容等。
- 3 病害长度应以 **m** 为单位标注；宽度和深度应以 **mm** 为单位标注；范围应以 **m²** 为单位标注，走向应以 **°** 为单位标注，其他项目应采用相应的国标进行标注。
- 4 数码照片编号宜按 **Px**（**P** 表示照片，**x** 表示顺序号）记录；录像编号可按 **Vx** 表示（**V** 表示录像，**x** 表示顺序号）。
- 5 在检测记录中，应在备注栏对结构基本信息予以记录，包括小转弯半径、旁通道、泵站、钢管片以及道床等。

6.2.4 病害展示状态宜用素描病害展示图和拍照、摄影的方式记录。应满足以下规定：

- 1 展示图应绘制管片结构展开简图，包括管片基本要素（如接缝、注浆孔、螺栓孔），各要素相对位置关系应与实际一致，并在图上表明方位。
- 2 绘制病害时应明确各病害编号、位置、范围、形态、特征，并等比例标示。
- 3 病害重叠区域宜采用不同颜色加以区分。
- 4 展示图上病害位置应标注该病害照片、影像资料编号；照片、影像资料应标记管片号、分块号和编号。
- 5 所有病害现象均应拍摄照片或影像留存。影像资料的文件号应包含位置、时间等信息。

【条文说明】

6.2.4-5 所有病害现象均应拍摄照片留存，当病害具有明显动态特征，照片不能完整反

映时，应拍摄录像。各照片内应以所记录病害所处环及块为主，不宜包含过多环，且病害影像应在照片内居中，照片边界应平行于纵、环缝。如现象连续多环相似，比如道床与管片脱开，可不重复拍照，取典型照片即可。

6.2.5 病害统计表应满足以下要求：

- 1 宜以单个区间隧道为单位，以检测参数进行病害特征统计分析。
- 2 可采用比较法、作图法初步分析病害产生的原因及规律。

6.2.6 病害检测报告宜包括以下内容：

- 1 工程概况，包括工程名称、结构类型、规模及现状等。
- 2 检测目的、以往检测情况概述。
- 3 检测内容及依据的标准。
- 4 检测方法及采用的仪器和设备。
- 5 检测工作量。
- 6 检测数据、分析汇总、结构健康度评价、检测评价结果。
- 7 检测结论及建议。
- 8 检测照片、影像资料。

6.3 数据分析

6.3.1 数据分析宜根据《城市轨道交通隧道结构养护技术规范》CJJ/T289 不同的检查阶段要求确定内容。

6.3.2 日常检查阶段数据分析宜结合历年病害检测数据，通过对比法，绘制时程曲线等方法，分析判断既有病害的发展趋势及新病害。

6.3.3 定期、专项和特殊检查阶段裂缝检测数据分析应符合以下规定：

1 宜对裂缝位置、长度、走向、深度、错台量进行统计，用图表法分析裂缝的分布规律及各检测参数间的关系。

2 宜结合历年裂缝检测数据，通过对比法，绘制时程曲线等方法，分析判断既有裂缝的发展趋势。

3 分析隧道变形检测数据与裂缝位置、长度、走向、深度、错台量的关系，判断裂缝的成因。

4 对结构安全造成影响的裂缝,宜采用数值模拟法对隧道结构安全状态进行评价。

6.3.4 定期、专项和特殊检查阶段渗漏水检测数据分析宜符合以下规定:

1 宜对渗漏水位置、状态、面积、水量、浑浊进行统计,用图表法分析渗漏水的分布规律及各检测参数间的关系。

2 宜结合历年渗漏水检测数据,通过对比法,绘制时程曲线等方法,分析判断既有渗漏水的发展趋势。

3 根据 pH 值、水质检测数据,分析渗漏水腐蚀性及其对材料劣化、钢筋锈蚀的影响。

4 分析渗漏水位置、状态、面积、水量、浑浊与裂缝、管片背后空洞等检测结果的关系,判断渗漏水成因。

6.3.5 定期、专项和特殊检查阶段剥落剥离、压溃、材料劣化检测数据分析宜符合以下规定:

1 宜对剥落剥离、压溃、材料劣化位置、面积、程度进行统计,用图表法分析其分布规律及各检测参数间的关系。

2 宜结合历年剥落剥离、压溃、材料劣化检测数据,通过对比法,绘制时程曲线等方法,分析判断既有剥落剥离、压溃、材料劣化的发展趋势。

3 分析隧道变形、钢筋(螺栓、钢管片)锈蚀检测数据与其关系,判断剥落剥离、压溃、材料劣化的成因。

4 对结构安全造成影响的剥落剥离、压溃、材料劣化,宜采用数值模拟法对隧道结构安全状态进行评价。

6.3.6 定期、专项和特殊检查阶段钢筋、螺栓、钢管片锈蚀检测数据分析宜符合以下规定:

1 宜对钢筋、螺栓、钢管片锈蚀位置、范围、程度进行统计,用图表法分析其分布规律及各检测参数间的关系。

2 宜结合历年钢筋、螺栓、钢管片锈蚀检测数据，通过对比法，绘制时程曲线等方法，分析判断既有钢筋、螺栓、钢管片锈蚀的发展趋势。

3 分析水质、有害物质检测数据与其关系，判断钢筋、螺栓、钢管片锈蚀的成因。

6.3.7 定期、专项和特殊检查阶段道床下沉、隆起、脱空检测数据分析应符合下列规定：

1 宜对道床下沉、隆起、脱空位置、范围、程度进行统计，用图表法分析其分布规律及各检测参数间的关系。

2 宜结合历年道床下沉、隆起、脱空检测数据，通过对比法，绘制时程曲线等方法，分析判断既有道床下沉、隆起、脱空的发展趋势。

3 分析道床下沉、隆起、脱空与隧道变形、裂缝检测数据的关系，判断下沉、隆起、脱空成因。

6.4 数字化管理

6.4.1 应建立包含隧道交竣工资料、养护检查及评定资料、保养维修等各类资料的养护技术档案。

6.4.2 隧道结构病害检测数据应设定统一规定和填写标准。隧道病害检测数据标准应按附录 H 执行。

6.4.3 应建立信息化管理系统，实现检测成果资料的全过程管理，应符合下列规定：

- 1 定期进行数据的保存和备份。
- 2 能够对有效数据进行统计分析，并自动生成各种报表和分析图表等。
- 3 能够自动发送预警信息。
- 4 可人工录入检测数据、检测报告、影像资料等。
- 5 宜与隧道养护管理数据库对接。
- 6 具备安全管理功能。

附录 A 隧道结构快速检测设备

A.0.1 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.0.2 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.0.3 检测内容

表 A.0.3 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.0.4 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.0.5 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 100cm^2 ，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.0.6 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.0.7 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.0.8 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 区域病害面积计算方法

B.0.1 区域病害包括渗漏水、剥落剥离、压溃、材料劣化等。

B.0.2 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）。

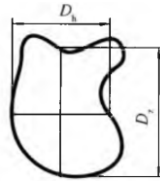


图 B.0.2 区域病害直径的测量图

B.0.3 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）。

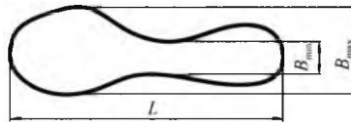


图 B.0.3 区域病害直径的测量图

B.0.4 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 混凝土中氯离子含量的测定

C.0.1 滴定条法可在现场完成氯离子含量的测定。

C.0.2 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.0.3 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.0.4 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.0.5 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.0.6 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.0.7 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.0.8 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.0.9 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.0.10 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.0.11 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 地质雷达检测

D.0.1 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.0.2 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.0.3 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.0.4 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.0.5 检测流程见图 D.0.5。

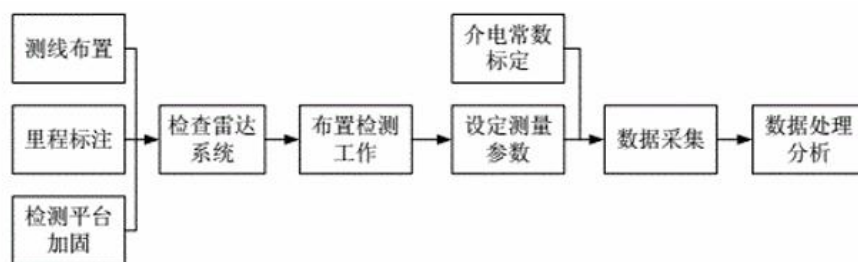


图 D.0.5 地质雷达检测流程图

D.0.6 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.0.7 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.0.8 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.0.9 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.0.10 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.0.11 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：
 - 1) 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。
 - 2) 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；
 - 3) 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。
 - 4) 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.0.12 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.0.13 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.0.14 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 单项指标法评定健康度

E.0.1 基于裂缝病害隧道结构健康度标准宜按裂缝宽度、长度、深度划分，按表 E.0.1 执行。

表 E.0.1 基于裂缝病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4级	5级
裂缝宽度 b(mm)	$0 \leq b < 0.2$	$0.2 \leq b < 0.5$	$0.5 \leq b < 1.0$	$1.0 \leq b < 2.0$	$b \geq 2.0$
裂缝长度 (m)	无	未超过管片块范围	$l > 1\text{m}$, 且裂缝跨2块管片	$l > 2\text{m}$, 且裂缝跨3块管片	$l > 3\text{m}$, 裂缝连续跨3块管片
裂缝深度 (mm) 最宽	无	不超过管片厚度的0.1, 即不超过保护层厚度	不超过管片厚度的0.4	不超过管片厚度的0.7	超过管片厚度的0.7

E.0.2 基于渗漏水病害隧道结构健康度标准宜按渗漏水状态、PH 值、冻害等划分，按表 E.0.2 执行。

表 E.0.2 基于渗漏水病害隧道结构健康度分级标准

项目	评定标准				
	1 级	2 级	3 级	4 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、漏泥砂，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
渗漏水 S_{PH}	$0 \leq S_{\text{PH}} < 1$	$1 \leq S_{\text{PH}} < 2$	$2 \leq S_{\text{PH}} < 3$	$3 \leq S_{\text{PH}} < 4$	$S_{\text{PH}} \geq 4$
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冻害造成管片变形、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管片变形、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、通讯上挂冰，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

注： $S_{\text{PH}} = |7 - \text{PH}|$ 。

E.0.3 基于剥落剥离、压溃病害隧道结构健康度分级标准宜按剥落剥离块体厚度、区域直径、压溃范围划分，按表 E.0.3 执行。

表 E.0.3 基于剥落剥离、压溃病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4级	5级
剥落剥离、压溃	无	剥落剥离区域直径小于50mm，压溃范围很小	剥落块体厚度小于3cm，剥落剥离区域直径50mm~75mm，压溃范围小于1m²	剥落剥离区域直径75mm~150mm，或有可能掉块，压溃范围为1m²~3m²	管片掉块最大厚度大于管片厚度的1/4，剥落剥离区域直径大于150mm，压溃范围大于3m²，危及行车安全

E.0.4 基于材料劣化病害隧道结构健康度分级标准宜按劣化程度、对行车安全影响等划分，按表 E.0.4 执行。

表 E.0.4 基于材料劣化病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4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，对行车产生重大影响	材料劣化严重，经常发生剥落，危及行车安全

E.0.5 基于钢筋、螺栓或钢管片锈蚀病害隧道结构健康度分级标准宜按钢筋、螺栓截面损失率、锈蚀程度或氯离子含量等划分，按表 E.0.5 执行。

表 E.0.5 基于钢筋、螺栓或钢管片锈蚀病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4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少或者大部分钢筋表层存在浅层锈蚀	全断面存在锈蚀，断面截面明显减少
氯离子含量	< 0.15	0.15~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	> 1.0

E.0.6 基于管片强度不足病害隧道结构健康度分级标准宜按实际强度与设计强度之比和缺陷长度划分，按表 E.0.6 执行。

表 E.0.6 基于管片强度不足病害隧道结构健康度分级标准

项目	评定标准				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
强度不足 (q_i : 实际强度; q : 设计强度; l : 缺陷长度, m)	管片混凝土强度 $0.85 \leq q_i/q < 1$	管片混凝土强度 $0.75 \leq q_i/q < 0.85$, 且长度 $l < 5$;	①管片混凝土强度 $0.65 \leq q_i/q < 0.75$, 且长度 $l < 5$; ②管片混凝土强度 $0.75 \leq q_i/q < 0.85$, 且长度 $l \geq 5$	①管片混凝土强度 $q_i/q < 0.65$, 且长度 $l < 5$; ②管片混凝土强度 $0.65 \leq q_i/q < 0.75$, 且长度 $l \geq 5$	混凝土强度 $q_i/q < 0.65$, 且长度 $l \geq 5$

E.0.7 基于管片背后空洞病害隧道结构健康度分级标准宜按背后空洞连续长度或面积划分, 按表 E.0.7 执行。

表 E.0.7 基于管片背后空洞隧道结构健康度分级标准

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

E.0.8 基于管片收敛变形病害隧道结构健康度分级标准宜按管片直径变化量划分, 按表 E.0.8 执行。

表 E.0.8 基于管片收敛变形病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4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。

E.0.9 基于管片接缝张开与错台病害隧道结构健康度分级标准宜按接缝张开量、错台量划分, 按表 E.0.9 执行。

表 E.0.9 基于管片接缝张开和错台病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1级	2级	3级	4级	5级
接缝张开量 e (mm)	$0 \leq e < 1$	$1 \leq e < 2$	$2 \leq e < 3$	$3 \leq e < 4$	$e \geq 4$
接缝错台量 f (mm)	$0 \leq f < 4$	$4 \leq f < 8$	$8 \leq f < 10$	$10 \leq f < 12$	$f \geq 12$

E.0.10 基于道床病害病害隧道结构健康度分级标准宜按道床破损程度、脱空量等划分，按表 E.0.10 执行。

表 E.0.10 基于道床病害隧道结构健康度分级标准

项目	分级标准				
	1 级	2 级	3 级	4 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、漏泥砂，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、漏泥砂，已导致轨道无法满足正常运营要求

附录 F 综合评定法评定健康度

F.0.1 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.0.2 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.0.3 盾构隧道结构各分项权重宜按表 F.0.3 取值。

表 F.0.3 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		接缝张开或错台	
	材料劣化		道床病害	裂缝	18
	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.0.4 综合评定法隧道结构健康度评定分类界限值按表 F.0.4 执行。

表 F.0.4 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

附录 G 隧道病害检测记录表

表 G.0.1 裂缝检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	位置					走向/°	长度（m）	深度（mm）	宽度（mm）	形态	照片或影像编号	备注
	□里程桩号		□环号管片号			□纵向裂缝 □环向裂缝 □斜裂缝-角度						
	里程号	部位	环号	分块号	部位							

表 G.0.2 渗漏水检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	位置					范围 (m²)	渗水 状态	水量/L/ (m²·d)	浑浊度		冻结		PH 值	水质 数据	照片或影 像编号	备 注
	□里程桩号		□环号管片号						□透明 □浑浊 □明显浑浊	泥沙量 (g/l)	位置	范围 (m²)				
	里程号	部位	环号	分块号	部位											

表 G.0.3 剥落剥离、压溃检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	位置					范围（m²）	深度（mm）	照片或影像编号	备注
	□里程桩号		□环号管片号						
	里程号	部位	环号	分块号	部位				

表 G.0.4 材料劣化检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	劣化类型	位置					范围（m²）	深度（mm）	照片或影像编号	备注
	☐ 起毛 ☐ 酥松 ☐ 起鼓 ☐ 其他	☐ 里程桩号		☐ 环号管片号						
		里程号	部位	环号	分块号	部位				

表 G.0.5 钢筋、螺栓或钢管片锈蚀检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：
仪器名称： 仪器型号： 仪器编号： 仪器状态：

序号	锈蚀类型	位置					钢筋锈蚀数据					照片或影像编号	备注
	□钢筋 □螺栓 □钢管片	□里程桩号		□环号管片号			测点 1	测点 2	测点 3	...	锈蚀数据		
		里程号	部位	环号	分块号	部位							

表 G.0.6 管片强度检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：
仪器名称： 仪器型号： 仪器编号： 仪器状态：

序号	位置					强度检测数据（MPa）			强度换算值（MPa）				混凝土强度 推定值 （MPa）	照片或 影像编 号	备注
	□里程桩号		□环号管片号			测点 1	测点 2	...	平均值	标准差	最大值	最小值			
	里程号	部位	环号	分块号	部位										

表 G.0.7 混凝土碳化深度检测记录表

路线名称: 区间隧道名称: (上行线□/下行线□) 总环数: 接缝类型: 螺栓类型:
 起讫桩号: 区间隧道全长: 结构类型: 出发车站: 环号与里程关系:
 检查日期: 天气: 温度: 检查人员:

序号	位置					碳化深度（mm）				照片或影像 编号	备注
	□里程桩号		□环号管片号			读数 1	读数 2	读数 3	平均值		
	里程号	部位	环号	分块号	部位						

表 G.0.8 管片背后空洞检测记录表

路线名称: 区间隧道名称: (上行线□/下行线□) 总环数: 接缝类型: 螺栓类型:
 起讫桩号: 区间隧道全长: 结构类型: 出发车站: 环号与里程关系:
 检查日期: 天气: 温度: 检查人员:
 仪器名称: 仪器型号: 仪器编号: 仪器状态:

序号	测线	检测位置						检测长度（m）	缺陷分布	缺陷描述	备注
		□里程桩号		□管片环号、分块号							
		开始里程	结束里程	开始环号	开始分块号	结束环号	结束分块号				

表 G.0.9 隧道变形检测记录表

路线名称: 区间隧道名称: (上行线□/下行线□) 总环数: 接缝类型: 螺栓类型:

起讫桩号: 区间隧道全长: 结构类型: 出发车站: 环号与里程关系:

检查日期: 天气: 温度: 检查人员:

仪器名称: 仪器型号: 仪器编号: 仪器状态:

序号	检测位置						测量读数 (mm)	变形最大量 (mm)	照片或影像编号	备注
	□里程桩号		□管片环号、分块号							
	开始里程	结束里程	开始环号	开始分块号	结束环号	结束分块号				

表 G.0.10 接缝张开与错台检测记录表

路线名称: 区间隧道名称: (上行线□/下行线□) 总环数: 接缝类型: 螺栓类型:

起讫桩号: 区间隧道全长: 结构类型: 出发车站: 环号与里程关系:

检查日期: 天气: 温度: 检查人员:

序号	位置					类型	□张开量 □错台量（mm）	照片或影像编号	备注
	□里程桩号		□环号管片号			□纵缝 □环缝			
	里程号	部位	环号	分块号	部位				

表 G.0.10 螺栓孔或注浆孔堵塞物或接缝止水条脱落检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	脱落类型	位置					□纵缝 □环缝	脱落范围（cm）	照片或影像编号	备注
	□螺栓孔堵塞物脱落 □注浆孔堵塞物脱落 □接缝止水条脱落	□里程桩号		□环号管片号						
		里程号	部位	环号	分块号	部位				

表 G.0.11 道床病害检测记录表

路线名称： 区间隧道名称： （上行线□/下行线□） 总环数： 接缝类型： 螺栓类型：
起讫桩号： 区间隧道全长： 结构类型： 出发车站： 环号与里程关系：
检查日期： 天气： 温度： 检查人员：

序号	位置				病害类型	检测数据	病害描述	照片或影像编号	备注
	□里程桩号		□环号管片号						
	里程号	□左侧 □右侧	环号	□左侧 □右侧					



说明：本病害调查主要依据设计管片铺设方式绘制，未包括B3块病害调查及道床部分。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B1	B	B	B1	B1	B1	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B	B1	B
B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1	B	B	L1
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B											

图 G.0.1 病害展示图示例

附录 H 隧道病害检测数据标准

表 H.0.1 项目信息

Table Name: PROJ-Project Information					
表名：PROJ-项目信息					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	PROJ_NAME		STRING	区间隧道名称	四平路站-同济大学站区间
	PROJ_RINN		INT	总环数	1000
	PROJ_JOIT		STRING	接缝类型	错缝
	PROJ_LENG	m	3DP	区间全长	1200.000
	PROJ_STAT1		STRING	区间开始站名	四平路站
	PROJ_MILE1		STRING	区间开始桩号	K1+000.000
	PROJ_STAT2		STRING	区间终止站名	同济大学站
	PROJ_MILE2		STRING	区间终止桩号	K2+200.000
	PROJ_TYPE		STRING	结构类型	盾构
	PROJ_ORGA		STRING	检测单位	同济大学
	PROJ_NSP		STRING	检测人员	张三
	PROJ_DATE	yyyy-mm-dd	DATE	检测日期	2019-08-01
	PROJ_WEAT		STRING	天气	晴
	PROJ_TEMP	DegC	1DP	隧道温度	10.5
	PROJ_REMA		STRING	备注	

注：* 符号代表关键字段。ID—唯一标识符；STRING—文本；INT—整数； nDP—n 位小数的数 DATE—日期。

表 H.0.2 裂缝

Table Name: CARC-Crack					
表名：CARC-裂缝					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	CRAC_ID		ID	裂缝 ID	1
	CRAC_DIRE		STRING	上下行	上行线
	CRAC_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	CRAC_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	CRAC_RING1		INT	开始环号	20
	CRAC_RING2		INT	终止环号	21
	CRAC_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	CRAC_POSI		STRING	部位	拱顶
	CRAC_TYPE		STRING	类型	环向裂缝

Table Name: CARC-Crack					
表名：CRAC-裂缝					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
	CRAC_TREN	deg	INT	走向	90
	CRAC_LENG	m	2DP	长度	2.23
	CRAC_WIDT	mm	1DP	宽度	0.3
	CRAC_DEPT	mm	INT	深度	80
	CRAC_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.3 渗漏水

Table Name: LEAK-Leakage					
表名：LEAK-渗漏水					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	LEAK_ID		ID	渗漏水 ID	1
	LEAK_DIRE		STRING	上下行	上行线
	LEAK_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	LEAK_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	LEAK_RING1		INT	开始环号	20
	LEAK_RING2		INT	终止环号	21
	LEAK_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	LEAK_POSI		STRING	部位	拱顶
	LEAK_RANG	m2	4DP	范围	1.2535
	LEAK_STAT		STRING	渗水状态	涌流
	LEAK_VOLU	l/min	1DP	水量	0.5
	LEAK_MUDD		STRING	浑浊	透明
	LEAK_SEDV	g/l	1DP	泥沙量	1.5
	LEAK_FORL		STRING	冻结位置	拱部
	LEAK_FORR	m2	4DP	冻结范围	5.3545
	LEAK_PHVA		1DP	PH 值	8.2
	LEAK_WAQD		STRING	水质数据	Cl— 离子含量 10mg/L
	LEAK_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.4 剥落剥离

Table Name: SPAL-Spalling					
表名：SPAL-剥落剥离					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	SPAL_ID		ID	剥落剥离 ID	1
	SPAL_DIRE		STRING	上下行	上行线
	SPAL_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	SPAL_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	SPAL_RING1		INT	开始环号	20
	SPAL_RING2		INT	终止环号	21
	SPAL_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	SPAL_POSI		STRING	部位	拱顶
	SPAL_RANG	m2	4DP	范围	1.2525
	SPAL_DEPT	mm	INT	深度	15
	SPAL_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.5 压溃

Table Name: CRUS-Crushing					
表名：CRUS-压溃					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	CRUS_ID		ID	压溃 ID	1
	CRUS_DIRE		STRING	上下行	上行线
	CRUS_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	CRUS_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	CRUS_RING1		INT	开始环号	20
	CRUS_RING2		INT	终止环号	21
	CRUS_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	CRUS_POSI		STRING	部位	拱顶
	CRUS_RANG	m2	4DP	范围	1.2535
	CRUS_DEPT	mm	INT	深度	15
	CRUS_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.6 材料劣化

Table Name: MADE- Material Deteriorat					
表名: MADE-材料劣化					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	MADE_ID		ID	材料劣化 ID	1
	MADE_DIRE		STRING	上下行	上行线
	MADE_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	MADE_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	MADE_RING1		INT	开始环号	20
	MADE_RING2		INT	终止环号	21
	MADE_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	MADE_POSI		STRING	部位	拱顶
	MADE_RANG	m2	4DP	范围	1.2535
	MADE_DEPT	mm	INT	深度	15
	MADE_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.6 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀

Table Name:CSBS- Corrosion (Steel Bar、Bolt、Steel Segment)					
表名: CSBS-钢筋、螺栓、钢管片锈蚀					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	CSBS_ID		ID	钢筋、螺栓、钢管片锈蚀 ID	1
	CSBS_TYPE		STRING	锈蚀类型	钢筋锈蚀
	CSBS_DIRE		STRING	上下行	上行线
	CSBS_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	CSBS_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	CSBS_RING1		INT	开始环号	20
	CSBS_RING2		INT	终止环号	20
	CSBS_PART		STRING	分块号	L1
	CSBS_POSI		STRING	部位	拱顶
	CSBS_DESC		STRING	锈蚀描述	表层点蚀
	CSBS_DATA1		STRING	钢筋锈蚀电位数据	测点 1:20mv, 测点 2:30mv.....
	CSBS_DATA2		STRING	钢筋锈蚀电阻率数据	测点 1:20k Ω cm, 测点 2:30 k Ω cm, 测点 3:32 k Ω cm.....
	CSBS_DATA3	mm	INT	钢管片涂层厚度	3
	CSBS_DATA4		2DP	氯离子含量	1.00%
	CSBS_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.7 混凝土强度

Table Name:STCO- Strength of Concrete					
表名：STCO-混凝土强度					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	STCO_ID		ID	混凝土强度 ID	1
	STCO_DIRE		STRING	上下行	上行线
	STCO_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	STCO_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	STCO_RING1		INT	开始环号	20
	STCO_RING2		INT	终止环号	20
	STCO_PART		STRING	分块号	L1
	STCO_POSI		STRING	部位	拱顶
	STCO_DATA1		STRING	强度检测数据	测区 1: 测点 1:34MPa.....
	STCO_DATA2	MPa	1DP	强度换算平均值	38.7
	STCO_DATA3		1DP	强度换算标准差	1.6
	STCO_DATA4	MPa	1DP	强度换算最大值	40.4
	STCO_DATA5	MPa	1DP	强度换算最小值	34.9
	STCO_DATA6	MPa	1DP	强度换算推定值	36.1
	STCO_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.8 混凝土碳化深度

Table Name:CDOC- Carbonation Depth Of Concrete					
表名：CDOC-混凝土碳化深度					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	CDOC_ID		ID	混凝土碳化深度 ID	1
	CDOC_DIRE		STRING	上下行	上行线
	CDOC_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	CDOC_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	CDOC_RING1		INT	开始环号	20
	CDOC_RING2		INT	终止环号	20
	CDOC_PART		STRING	分块号	L1
	CDOC_POSI		STRING	部位	拱顶
	CDOC_DATA1		STRING	碳化深度数据	读数 1:2.25mm, 读数 2: 3.30mm, 读数 3:3.0mm
	CDOC_DATA2	mm	1DP	碳化深度平均值	2.5
	CDOC_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.9 管片背后空洞

Table Name:CABS- Cavities behind segments					
表名：CABS-管片背后空洞					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	CABS_ID		ID	管片背后空洞 ID	1
	CABS_DIRE		STRING	上下行	上行线
	CABS_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	CABS_MILE2		STRING	终止桩号	K1+025.200
	CABS_RING1		INT	开始环号	20
	CABS_RING2		INT	终止环号	21
	CABS_PART		STRING	分块号	L1 和 L2
	CABS_POSI		STRING	部位	拱顶
	CABS_DESC		STRING	空洞描述	管片背后连续脱空
	CABS_LENG	m	2DP	轴向长度	3.10
	CABS_WIDT	m	2DP	环向宽度	0.50
	CABS_DEPT	mm	INT	深度	65
	CABS_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.10 隧道变形

Table Name:TUND- Tunnel Deformation					
表名：TUND-隧道变形					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	TUND_ID		ID	隧道变形 ID	1
	TUND_TYPE		STRING	变形类型	水平变形
	TUND_DIRE		STRING	上下行	上行线
	TUND_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	TUND_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	TUND_RING1		INT	开始环号	20
	TUND_RING2		INT	终止环号	20
	TUND_PART		STRING	分块号	F
	TUND_POSI		STRING	部位	拱顶
	TUND_DEFO	mm	2DP	变形量	0.02
	TUND_DEFM	mm	2DP	最大变形量	0.12
	TUND_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.11 接缝张开、错台

Table Name:SDOJ- Splaying Or Dislocation of Joints
--

表名: SDOJ -接缝张开、错台					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	SDOJ_ID		ID	隧道变形 ID	1
	SDOJ_JTYP		STRING	接缝类型	纵缝
	SDOJ_SDTY		STRING	张开、错台类型	错台
	SDOJ_DIRE		STRING	上下行	上行线
	SDOJ_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	SDOJ_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	SDOJ_RING1		INT	开始环号	20
	SDOJ_RING2		INT	终止环号	20
	SDOJ_PART		STRING	分块号	F-L1
	SDOJ_POSI		STRING	部位	拱顶
	SDOJ_DEFO	mm	1DP	变形量	5.2
	SDOJ_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.12 螺栓孔或注浆孔堵塞物、接缝止水条脱落

Table Name:FOST- Falling Off of Stuffing in Bolt Holes , Grouting Holes or Joints					
表名: FOST -螺栓孔或注浆孔堵塞物、接缝止水条脱落					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	FOST_ID		ID	隧道变形 ID	1
	FOST_TYPE		STRING	类型	环缝止水带脱落
	FOST_DIRE		STRING	上下行	上行线
	FOST_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	FOST_MILE2		STRING	终止桩号	K1+024.000
	FOST_RING1		INT	开始环号	20
	FOST_RING2		INT	终止环号	21
	FOST_PART		STRING	分块号	F
	FOST_POSI		STRING	部位	拱顶
	FOST_POSI	cm	INT	止水条脱落长度	25
	FOST_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg

表 H.0.13 道床脱空

Table Name:VOTB- Void of Track Bed

表名：VOTB -道床脱空					
状态	字段	数据单元	数据类型	描述	示例
*	PROJ_ID		ID	区间隧道 ID	1
*	VOTB_ID		ID	隧道变形 ID	1
	VOTB_DIRE		STRING	上下行	上行线
	VOTB_MILE1		STRING	开始桩号	K1+024.000
	VOTB_MILE2		STRING	终止桩号	K1+026.000
	VOTB_RING1		INT	开始环号	20
	VOTB_RING2		INT	终止环号	22
	VOTB_POSI		STRING	部位	道床两侧
	VOTB_VOIV	mm	INT	最大脱空量	5
	DOTB_REMA		STRING	备注	
	FILE_FSET		STRING	关联文件	Pic0001.jpg