



T/CECS G: XXXX-2026

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路隧道专项检查技术规程

Technical Specification for Special Inspection of Highway Tunnel

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道专项检查技术规程

Technical Specification for Special Inspection of Highway Tunnel

(征求意见稿)

T/CECS G: XXXX-2026

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2026 年**月**日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会《关于开展2024年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路〔2024〕116号）的要求，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司承担《公路隧道专项检查技术规程》（以下简称本规程）的制订工作。

本规程主要内容包括：1 总则、2 术语、3 基本规定、4 检查准备、5 衬砌几何尺寸检查、6 衬砌结构检查、7 裂损检查、8 防排水检查、9 隧底结构检查、10 材质检查、11 其他检查、12 作业安全管理、附录。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），以便修订时研用。

主 编 单 位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位：

主 编：宫成兵

主要参编人员：

主 审：蒋强

参与审查人员：

目 次

1	总则	1
2	术语	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	4
4	检查准备	6
4.1	一般规定	6
4.2	资料收集	6
4.3	现场踏勘	7
4.4	人员设备	8
5	衬砌几何尺寸检查	9
5.1	一般规定	9
5.2	检查要求	9
6	衬砌结构检查	12
6.1	一般规定	12
6.2	衬砌厚度检查	12
6.3	衬砌内部缺陷检查	13
6.4	配筋及钢架检查	15
7	裂损检查	16
7.1	一般规定	16
7.2	裂缝调查	16
7.3	裂缝检测	16
7.4	混凝土起层、剥落检查	17
8	防排水检查	18
8.1	一般规定	18
8.2	漏水调查	18
8.3	漏水检测	19
8.4	排水管沟检查	20

9 隧底结构检查	22
9.1 一般规定	22
9.2 地下水分布检查	22
9.3 隧底结构层检查	22
10 材质检查	24
10.1 一般规定	24
10.2 衬砌表面缺陷检查	24
10.3 混凝土强度检查	25
10.4 混凝土碳化深度检查	26
10.5 混凝土中钢筋锈蚀检查	27
11 其他检查	28
11.1 一般规定	28
11.2 线形、高程检查	28
11.3 钢架内力监测	28
11.4 衬砌内力检查	29
11.5 衬砌拱背压力检查	30
11.6 水压力检查	30
11.7 冻胀力检查	31
12 检查作业安全管理	32
12.1 一般规定	32
12.2 人员安全管理	32
12.3 设备安全管理	33
12.4 现场交通组织	33
附录 A 隧道专项检查项目选取表	35
附录 B 隧道专项检查实施方案	38
附录 C 土建结构专项检查记录表	44
附录 D 隧道病害等级评定准则	48
附录 E 专项检查报告示例（资料性附录）	55
附录 F 地质雷达检测法	76
附录 J 隧道部位划分	80

附录 H 半电池电位法	82
本规程的用词用语说明	84

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路隧道专项检查工作，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各等级山岭公路隧道的专项检查工作。

1.0.3 公路隧道专项检查应遵循技术可靠、适宜高效、经济合理的原则，合理选择专项检查方法和仪器设备。

1.0.4 公路隧道专项检查应贯彻国家技术经济政策，积极、稳妥地采用新方法，新技术和新设备。

1.0.5 公路隧道专项检查应制定安全保障方案，采取安全防护措施，保障现场作业安全。

1.0.6 公路隧道专项检查工作除应符合本规程规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准规定。

2 术语

2.1 术语

2.1.1 专项检查 special examination

为查明公路隧道土建结构病害原因、缺损程度等详细情况而开展的调查、检查和分析工作。

2.1.2 结构性裂缝 structural crack

由围岩荷载、地下水压等受力因素引起，对结构承载能力和安全性产生不利影响的裂缝。

2.1.3 地质雷达检测 geological radar inspection

利用地质雷达发射电磁波对介质内部结构进行探测并进行分析处理。

2.1.4 无损检测 method of non-destructive test

在不损害或不影响材料、结构使用性能的前提下，检测其内部或表面缺陷的方法。

2.1.5 混凝土碳化 carbonation of concrete

空气中的二氧化碳或水溶液中的碳酸根、碳酸氢根离子与混凝土中的氢氧化钙或水化铝酸钙等碱性物质，在水分的作用下发生的一种中性化反应。

2.1.6 比浊法 turbidimetric method

通过测量光散射或透射程度确定悬浮颗粒浓度的方法。

2.1.7 直接法 direct method

混凝土剔凿后，直接测量钢筋的间距、直径、力学性能、锈蚀性状以及混凝土中钢筋保护层厚度的方法。

2.1.8 编号规则 numbering rule

为开展公路隧道专项检查而制定的结构与构件的编号规则与方法。

2.2 符号

R_i ——测区第 i 个测点的回弹值；

b ——裂缝宽度；

L_c ——衬砌厚度不足的测线连续长度；

L_q ——衬砌强度不足段的测线连续长度；

k ——空洞深度；

kL_c ——隧底空洞连续测线长度；

sL_c ——隧底不密实连续测线长度；

T ——检测环境温度；

NTU——浊度。

3 基本规定

3.0.1 出现以下情况之一时应开展专项检查：

- 1 养护决策或养护工程设计需要时；
- 2 经常检查、定期检查或应急检查后需做进一步检查时；
- 3 经结构监测或经风险评估后需要时；
- 4 超过设计使用年限时；
- 5 其他需开展专项检查的情形。

条文说明

其他需开展专项检查的情形，包括隧道内火灾、地震等情况后，且结构出现明显病害，这时要开展专项检查。

3.0.2 专项检查的项目、内容及其要求，应根据养护需求、技术状况等确定，可按照附录 A 的规定选择。

条文说明

1 专项检查项目的确定根据隧道的病害类型或特殊工况条件进行选择，使专项检查工作更具有针对性、时效性；

2 病害类型包括衬砌缺陷、衬砌开裂、衬砌渗水、衬砌掉块、衬砌劣化、路面隆沉、路面翻水等；

3 特殊工况条件包括火灾、水害、冻害、震害等。

3.0.3 专项检查开始前应编制实施方案，方案的编制可参照附录 B 执行，检查过程中应符合《公路养护安全作业规程》（JTG H30）的有关规定，做好相关防护工作。

3.0.4 根据检查内容、精度要求和交通条件等因素，宜选择便捷、无损、交通干扰小的检查方法。

3.0.5 仪器设备应具有产品合格证及检定（校准）证书，精度应满足检查要求。

3.0.6 原始记录表应由检测及记录人员现场签名确认。当为电子化数据时，数据移交

应签名确认。记录表的格式可参照附录 C 执行。

3.0.7 专项检查评定应结合定性描述与定量检查结果进行，评定标准应按照附录 D 执行。

3.0.8 专项检查应对检查数据进行分析，编制报告，报告格式可参照附录 E 执行。

3.0.9 专项检查工作实施程序应按图 3.0.9 执行。

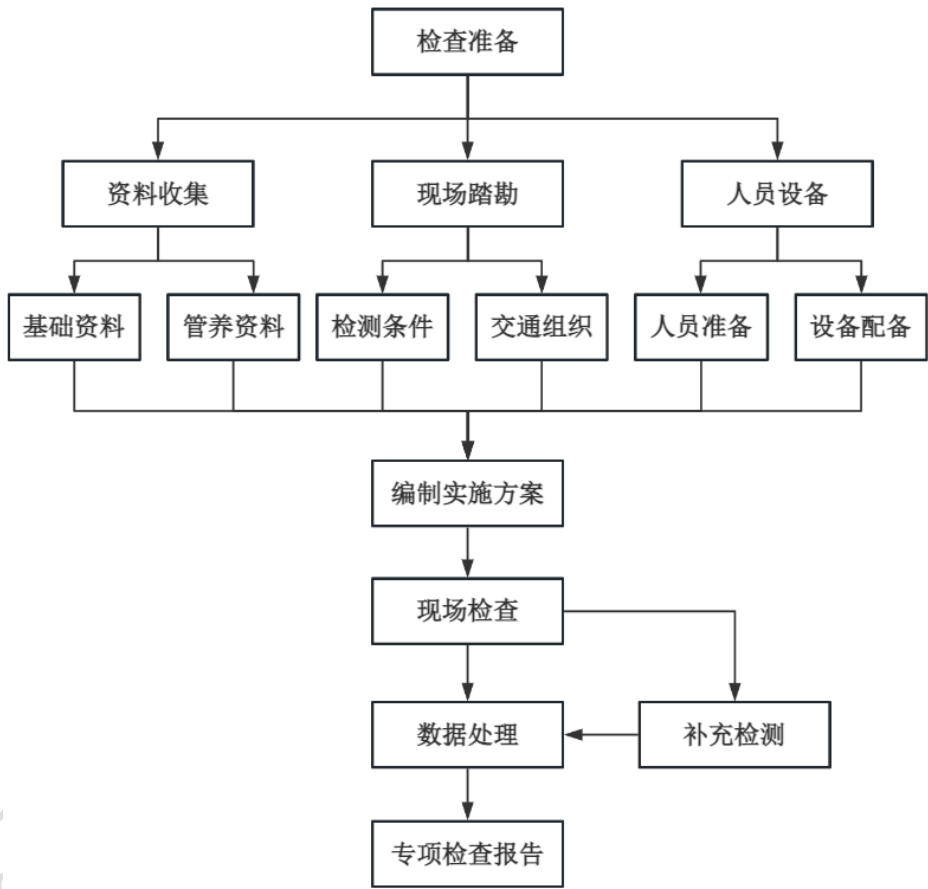


图 3.0.9 专项检查工作实施程序图

4 检查准备

4.1 一般规定

4.1.1 检查准备应包括资料收集、现场踏勘、人员设备、编制实施方案等。

4.1.2 专项检查准备工作宜至少于现场检查开始前 3 天完成。

4.1.3 应结合资料分析，开展必要的现场踏勘，全面掌握隧道现状。

4.1.4 实施方案应根据隧道特点、资料分析、现场踏勘、交通组织形式等因素进行编制，具体要求参照附录 B 执行

4.2 资料收集

4.2.1 应根据专项检查需求开展必要的资料收集工作，资料收集包括基础资料与管养资料两部分。

- 1 基础资料主要包括：隧道施工图、竣工图、变更文件等。
- 2 管养资料主要包括：隧道近年各类检查报告、养护工程文件、运营管理资料等。

4.2.2 基础资料分析应掌握隧道建设情况和不良地质等。

1 隧道建设情况包括：隧道围岩类型、支护参数、路面形式、防排水系统、其他附属设施等。

2 隧道不良地质包括：类型及分布，施工过程中冒顶、塌方、突涌水等事件位置及处理措施等。

条文说明

1 分析隧道建设情况资料掌握以下关键信息：一是隧道工程环境特征，包括地表地物分布、围岩物理力学性质、水文地质条件和区域气象特征；二是隧道结构设计参数，包括衬砌结构、防排水系统、路面结构及其他附属设施等详细设计参数；三是施工全过程数据，包括施工基本信息、施工地质揭露信息、施工设计变更信息 and 施工其他信息等。

2 分析隧道不良地质资料掌握隧址区总体地质情况、病害段详细地质情况等。

4.2.3 管养资料分析宜掌握重点病害、维修加固、交通事故等情况。

- 1 隧道各类检查资料包括：隧道日常巡查、经常检查、定期检查、专项检查、应急检查、汛期检查、结构监测等。
- 2 养护工程文件包括：隧道养护工程设计文件、交竣工验收报告等。
- 3 运营管理资料包括：交通量、交通事故等。

条文说明

- 1 分析各类检查资料掌握隧道近年技术状况、重点病害位置及发展、季节性病害发生规律、隧道健康监测、工程活动（或人类活动）影响等。
- 2 分析养护工程文件掌握养护工程实施时间、工程内容、工程目的、实施效果等信息。
- 3 分析运营管理资料掌握交通量及变化、交通事故类型、诱因及位置等。

4.3 现场踏勘

4.3.1 现场踏勘应了解现场检查条件、确定检查重点、拟定检查时间及路线等。

4.3.2 现场检查条件宜包括下列内容：

- 1 隧道洞内作业环境：包括洞内照明条件、空气质量等；
- 2 隧道洞内通行条件：包括交通量大小、交通流变化、超限车辆情况等；
- 3 隧道疏散通道设置：包括隧道内横通道、避险洞、服务通道设置，洞口联络通道及其护栏开口情况；
- 4 隧道洞内桩号标记：应明确隧道洞内公里牌、百米牌、检测桩号标记情况；
- 5 其它可能影响隧道专项检查现场工作安全的潜在风险因素。

条文说明

专项检查现场作业环境复杂，检查人员需要全面掌握现场存在的风险及潜在的风险因素，主要掌握检查时天气条件、与其他养护作业干扰情况等。

4.3.3 隧道检查时间的确定宜考虑以下因素：

- 1 专项检查宜避开恶劣天气进行；
- 2 专项检查宜避开节假日、重大活动日及交通量高峰时段；

- 3 专项检查宜与日常养护协调开展，减少交通影响时间。

4.3.4 对于隧道检查路线的拟定宜考虑以下因素：

- 1 隧道前后服务区或停车区位置及距离；
- 2 隧道所处线路范围内交通管制及养护施工情况；
- 3 隧道所处线路范围内交通流向、交通流变化；
- 4 隧道周边交通绕行条件。

4.4 人员设备

4.4.1 现场检查工作开始前应开展专门的技术及安全交底会。

条文说明

交底内容主要包括项目概况、技术要求、安全生产要求等方面内容。项目概况包括项目工作内容及范围、工期进度计划、人员分工等；技术要求包括规范技术要求、检查重点、记录要求、视频图像采集要求等；安全生产要求包括现场作业环境特点、安全作业要求、特种作业及设备、风险告知、疏散路线、应急预案等。

4.4.2 专项检查应配备个人防护、应急照明、通信等必要的防护装备及安全保障设备。

条文说明

- 1 个人防护装备，如安全帽、反光背心、防滑鞋、防护手套等。
- 2 应急照明设备，如便携式照明灯、头灯等，用于在能见度低的情况下正常进行检查工作。
- 3 通信设备，如对讲机、卫星电话等，保障检查期间通信畅通。

4.4.3 设备宜安排专人管理，并应做好每日检查、维护工作。

4.4.4 设备的转运宜置入抗震、防水箱体内进行，避免损伤。

4.4.5 检查过程中所使用的耗材应每日进行统计，并应根据检查工作消耗及时增补。

5 衬砌几何尺寸检查

5.1 一般规定

5.1.1 衬砌几何尺寸检查包括隧道内轮廓断面尺寸、内轮廓高度、内轮廓宽度等。

条文说明

隧道内轮廓尺寸是指隧道衬砌结构内边界所形成的几何截面尺寸，隧道内轮廓高度指隧道内从路面设计标高至隧道中线处拱顶的垂直距离，隧道内轮廓宽度指隧道内轮廓的最大水平距离。

5.1.2 衬砌几何尺寸检查按照检查目的，应分为初始检查与对比检查两类。

- 1 初始检查应对比与原设计差异，测量数据作为对比检查基准。
- 2 对比检查是以长期、多次检查数据变化判断结构变形情况。

条文说明

隧道初始检查一般用于隧道交竣工检测，首次检查等方面的单次尺寸测量，主要为收集隧道尺寸数据，确认隧道实际尺寸与原设计差异及为后期对比测量提供基准数据。隧道对比检查主要针对某一测点或某一测量断面的长期多次测量，通过对比数据发现测点位置或断面形状变化，以了解隧道结构变化趋势。

5.1.3 衬砌几何尺寸测量精度不宜低于 0.1mm，对于附属结构尺寸测量精度不宜低于 1mm。

5.1.4 衬砌几何尺寸检查宜在隧道洞外设置稳定的测量工作基点，并应对工作基点进行定期复核。

5.1.5 衬砌几何尺寸的对比检查，宜采用激光测距仪、机器视觉智能测量仪等智能化监测设备。

5.2 检查要求

5.2.1 衬砌内轮廓断面的检查宜采用激光断面仪、全站仪、三维激光扫描仪等进行。

- 1 采用激光断面仪检查时，一般先确定隧道中线位置，并在隧道中线上设置洞内基点，然后再进行断面检查。
- 2 采用全站仪检查时，一般先从隧道洞口测量基点转站至隧道洞内，并在拱顶及两侧拱腰位置共选取 3 个位置布设测点，然后再进行断面检查。
- 3 当采用全站仪时应标记洞内测点，一般采用反光片、膨胀螺栓等。
- 4 当采用三维激光扫描仪时需布设洞内基点，并在内轮廓断面上设置标靶。
- 5 当隧道内轮廓断面检查为对比检查时，测量过程中设置的洞内基点及测点一般采用永久性标志，并在每次测量之前对洞内基点进行复核。

5.2.2 衬砌内轮廓高度及拱顶沉降的检查宜采用全站仪、水准仪、挂尺等进行。

- 1 内轮廓高度的测量，应从稳定的测量基点转站至测量位置。
- 2 拱顶测点的布设宜采用反光片、膨胀螺栓等。

5.2.3 衬砌内轮廓宽度及周边收敛的检查宜采用全站仪、收敛仪等进行。

- 1 衬砌内轮廓宽度的检查应在两侧边墙各布设一个测点，两侧测点的连线水平并垂直于隧道纵向。
- 2 当采用全站仪检查时，应从稳定的测量基点转站至测量位置。
- 3 采用收敛仪进行检查时，应保证收敛仪水平。

5.2.4 隧道路面标高及沉降的检查宜采用全站仪、水准仪进行。

- 1 隧道路面标高及沉降的检查可利用衬砌断面检查中的工作基点作为测点。
- 2 测量应从稳定的测量基点转站至测量位置。

5.2.5 隧道附属结构尺寸的测量包括检修道、预留洞室、预留孔等，宜采用钢尺、水平尺、激光测距仪、全站仪等进行。

- 1 附属结构尺寸的测量应在测量位置做好标记，以便于后期测量数据对比。
- 2 当采用钢尺测量距离较大时，宜在钢尺中部增设持尺人，使钢卷尺保持平直。

5.2.6 衬砌几何尺寸检查还应符合以下要求：

- 1 现场检查测量应填写原始记录单，并应对数据进行复核签字确认。
- 2 单个测点应测取 3 组数据，数据基本一致后取算数平均值作为初读数，否则应

继续测读，直至满足要求。

3 现场检查时，每处检查测量部位应拍摄不少于一张清晰的标准现场工作照片，照片中应包含测量位置部位信息及读数信息。

4 对于需要计算偏差值的检查项目，记录及报告中应注明与设计差值，低于设计为负值，高于设计为正值。

6 衬砌结构检查

6.1 一般规定

6.1.1 衬砌结构检查对象包括初期支护、二次衬砌以及运营期隧道套拱加固衬砌等。

6.1.2 衬砌结构检查内容包括衬砌厚度、衬砌内部缺陷和衬砌钢架、配筋检查。

6.1.3 衬砌结构检查宜采用地质雷达检测法，必要时采用钻孔取芯法、钻孔量测法，地质雷达检测法见本规程附录 F。

6.1.4 衬砌结构检查应绘制展示图，展示图应包括以下内容：

- 1 隧道桩号、工程地质、原设计衬砌结构类型等。
- 2 二衬厚度曲线图，并重点标出衬砌厚度小于原设计 $1/2$ 厚度、介于原设计 $1/2 \sim 2/3$ 厚度的范围。
- 3 衬砌背后脱空、空洞、及不密实区的范围、长度。
- 4 衬砌钢架、钢筋位置及间距。
- 5 衬砌钻孔取芯位置、芯样长度及芯样描述，与原设计厚度对比情况。
- 6 检测过程发现的埋设管线、电缆、铁件等。

6.2 衬砌厚度检查

6.2.1 衬砌厚度检查内容宜包含初期支护厚度、二次衬砌厚度及套拱厚度等。

6.2.2 衬砌厚度检查宜采用连续探测方式，检查条件不允许或需对内部缺陷详细检查时，也可采用点测方式。

6.2.3 地质雷达法检测衬砌厚度时，测线布置应满足以下要求：

- 1 对于纵向测线的布置，两车道隧道不宜少于 5 条，三车道及以上隧道不宜少于 7 条，隧道拱顶和两侧拱腰部位必须布置测线。
- 2 现场检查应记录测线准确位置，包括测线高度，测线范围桩号等。
- 3 重点段落宜增加环向测线，环向测线间距宜为 5m~10m。

4 隧道测线布置划分见本规程附录 J。

6.2.4 必要时宜采用钻孔法对地质雷达法测量结果进行验证，钻孔位置宜设置在衬砌欠厚严重处。

6.2.5 地质雷达检测法无法进行检测时，可采取钻孔量测法检测，宜在每模衬砌检查 1 个断面，每个断面拱顶、两侧拱腰、两侧边墙各布置 1 个测点。

6.2.6 钻孔量测法检查衬砌厚度应满足以下要求：

- 1 钻孔宜避开衬砌钢筋位置。
- 2 钻孔宜结合衬砌厚度，控制钻孔速度，防止破坏防水板。
- 3 钻孔结束后应进行填充，填充材料的强度不应低于原衬砌设计标准，并采取必要的防水堵漏措施。

6.2.7 地质雷达检测法或钻孔量测法检查衬砌厚度时，检查精确不宜小于 1mm。

6.2.8 衬砌厚度检测结果应沿测线等间距提取测点进行分析，纵向测线测点间距应符合下列规定：

- 1 交（竣）工检测时，二次衬砌厚度测点间距不应大于 25m。
- 2 养护检测时，衬砌厚度测点间距不应大于 5m。
- 3 养护工程过程检测及养护工程交（竣）工检测时，套拱厚度测点间距不应大于 2m，换拱模筑混凝土厚度测点间距不应大于 1m。

条文说明

本条主要规定不同阶段衬砌厚度检测的测点间距，交（竣）工检测、养护工程交（竣）工检测测点间距按照《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660）、《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1）及《公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG 5220）的有关规定。

6.3 衬砌内部缺陷检查

6.3.1 衬砌内部缺陷检查包括初期支护背后空洞、初期支护与二次衬砌之间的脱空、

套拱与原衬砌结构之间的脱空以及衬砌内部的空洞、不密实情况等。

条文说明

空洞指初期支护背后或者混凝土结构内部存在的空腔，脱空指不同混凝土结构层之间存在的空隙，不密实指衬砌结构内部出现的造成混凝土强度及均匀性变差的蜂窝状结构。

6.3.2 衬砌内部缺陷宜采用地质雷达检测法进行检查，宜与衬砌厚度检查同步进行。

6.3.3 采用地质雷达法检查衬砌内部缺陷时，应采用连续测线方式，检测条件不允许或需对内部缺陷详细检测时，也可采用点测方式。测线布置应符合本规程第 6.2.3 条的有关规定。

6.3.4 衬砌内部缺陷纵向长度大于 3m 时，宜在缺陷位置加密纵向测线或补充环向测线。当需加密或补充多条测线时，相邻两条测线的间距不宜大于 2m。

条文说明

衬砌内部缺陷平面分布是不规则的，参考《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》的有关规定，当一条纵向雷达测线测出衬砌背后空洞长度大于 3m 时，缺陷等级判定为严重，对结构影响显著。当需要准确探测其平面规模时，可加密纵向测线或补充环向测线。为保证探测精度，加密的测线间距一般控制在 2m 以内。

6.3.5 衬砌内部缺陷进行验证时，可采用敲击方式，必要时采用钻孔法进行检查，钻孔法检查应符合本规程第 6.2.6 条的有关规定。

6.3.6 钻孔法检查衬砌空洞、脱空时，宜在孔内测量缺陷深度，同时可采用内窥镜观察空洞、脱空范围。

6.3.7 检测结果中内部缺陷纵向、环向位置宜准确到 0.1m，内部缺陷对应深度宜准确到 0.01m。

6.3.8 检测结果应明确内部缺陷段落起止桩号、缺陷类型、具体部位、规模等信息。

6.3.9 对于衬砌背后脱空、空洞，宜给出对应段落衬砌厚度最小值和最大值。

6.4 配筋及钢架检查

6.4.1 衬砌配筋检查宜包括钢筋保护层厚度、钢筋设置情况、主筋数量及分布等。

6.4.2 钢架检测宜包括钢架数量及分布情况。

6.4.3 衬砌配筋宜采用钢筋检测仪、地质雷达等无损检测方法，钢架检测宜采取地质雷达等方法，当钢筋混凝土保护层厚度超出钢筋检测仪的量程时，宜采用地质雷达法进行检查，必要时可采取凿孔、钻孔等方法进行验证。

6.4.4 钢筋设置情况、主筋数量及分布可采用电磁感应法进行检测，并应符合《混凝土中钢筋检测技术标准》（JGJ/T 152）的有关规定。

条文说明

测试部位要避开其他金属材料 and 较强的铁磁性材料，表面要清洁、平整；将测试面所有主筋逐一检出，并在构件表面标注出每个检出钢筋的相对位置，同时进行测量和记录。

6.4.5 采用地质雷达法单独进行钢架检测时，宜分别在拱顶、拱腰及边墙布置不少于 3 条纵向测线。

6.4.6 单独检测衬砌主筋数量及分布情况时，单洞两车道测线数量不宜少于 5 条，三车道及以上隧道测线数量不宜少于 7 条。

6.4.7 衬砌钢架间距拱顶、拱腰、边墙 3 条测线检测结果的平均值，钢架间距检查结果宜精确至 1mm。

6.4.8 衬砌主筋间距宜按测线给出被测钢筋的最大间距、最小间距和平均间距，检查结果宜精确至 1mm。

7 裂损检查

7.1 一般规定

7.1.1 裂损检查分为裂缝调查、裂缝检测和混凝土起层、剥落检查。

7.1.2 衬砌裂损检查应绘制展示图，标明裂损位置、长宽、面积及深度等基本信息，病害严重段落宜附典型裂损现场影像。

7.1.3 由于结构内部缺陷或受力原因导致的衬砌裂损，宜结合检测目的开展针对性的检测项目。

7.2 裂缝调查

7.2.1 衬砌裂缝检查应区分涂装裂缝与混凝土裂缝，对混凝土典型结构性裂缝检查时，应清除测点位置的局部涂装。

7.2.2 衬砌裂缝调查包括位置、走向、缝长、宽度等内容的定量检查。

7.2.3 裂缝调查可采用成像扫描设备、裂缝检测仪等检测，当采用成像扫描设备时，设备参数要求应符合《公路隧道检测车》（T/CECS 10024）的有关规定。

7.2.4 衬砌施工缝、变形缝存在“月牙形”裂缝时，宜测量“月牙形”裂缝包含的面积及主裂缝宽度，必要时检测主裂缝深度，并做好重点记录。

7.3 裂缝检测

7.3.1 衬砌裂缝检测内容可包括裂缝深度、错台、倾角等。

7.3.2 结构性裂缝检测应符合下列规定：

- 1 对于典型的结构性裂缝，宜对裂缝进行深度检测。
- 2 对于尚在发展裂缝应进行长期观测。

7.3.3 在结构存在严重隐患段落宜选择典型裂缝测量其深度、错台量，根据需要监测

裂缝发展变化。

条文说明

结构存在严重隐患段落是指：

- 1 路面或检修道变形严重的段落。
- 2 膨胀性围岩、湿陷性黄土、断层破碎带、高地应力等不良地质段，且衬砌存在大面积开裂的段落。

7.3.4 衬砌裂缝深度宜采用超声法、钻孔法检测，裂缝错台宜采用游标卡尺检测，裂缝倾角宜采用钻孔法检测。

7.3.5 裂缝深度、错台检测精度不宜低于 1mm，每条裂缝应取不少于 3 个测点，以最大值作为其代表值。

7.3.6 裂缝宽度发展变化可采用标点测量法、砂浆涂抹法和裂缝测量计观测；裂缝长度发展可采用尖端标记法、砂浆涂抹观测；可采用裂缝自动监测装置对裂缝的宽度和长度进行长期观测。

7.4 混凝土起层、剥落检查

7.4.1 起层、剥落的位置和范围可用钢卷尺或钢板尺测量，也可以用成像扫描设备与裂缝调查同步进行。

7.4.2 混凝土起层、剥落的深度可采用游标卡尺量测，或将 2m 直尺沿隧道中线方向放置，用塞尺测量最深处深度。

7.4.3 混凝土起层、剥落深度检查应对表面涂装和表层劣化的混凝土层进行清理后进行。

8 防排水检查

8.1 一般规定

8.1.1 隧道防排水检查包括漏水调查、漏水检测、排水管沟检查。

8.1.2 隧道防排水检查应根据检查内容，选择合适的时间开展，并提出针对性的处治建议。

8.1.3 隧道防排水检查应将洞内防排水与洞外出水情况相结合，依据重点位置或部位检查情况以点代面的判断隧道防排水系统整体情况。

8.1.4 隧道防排水检查宜以定性判断为主、定量判断为辅，以确定水源，发现堵点、漏点为主要目的。

8.2 漏水调查

8.2.1 隧道漏水调查宜在雨季或渗漏水明显时间段开展。

8.2.2 隧道漏水调查包括表观检查及水量、浑浊度等内容。

8.2.3 隧道漏水表观检查应符合以下要求：

- 1 宜收集隧道日常巡查、经常检查、定期检查等记录，对比分析渗水变化规律。
- 2 漏水调查应详细记录隧道每处渗水的位置、分布情况。
- 3 由渗水导致路面、排水边沟、电缆槽等位置出现持续水流的隧道，应记录水源汇入、流出位置。

8.2.4 隧道漏水量的调查宜采用目测、量筒、秒表等进行，并应符合以下要求：

- 1 隧道上半部的明显滴漏和连续渗流，可直接用带有刻度的容器收集量测，或采用引水管槽将水引入量测容器内，然后计算每小时漏水量。
- 2 滴漏状渗水，若检测器具收集或登高困难时，可采用目测计取 10 分钟内滴落数目，并应计取 3 组数据取平均值计算该处每小时漏水量。
- 3 边墙或拱腰位置沿衬砌表面流动的漏水，可在衬砌漏水位置下方切缝并嵌入槽

形导流板, 并采用防水胶液固定, 下部采用带有刻度的容器收集量测计取每小时漏水量。

4 渗漏水水量的计量单位宜为 L/h。

条文说明

通常当滴落速度 3 滴/min~4 滴/min 时, 24 小时的渗水量就是 1L, 当滴落速度大于 300 滴/min 时, 则形成连续线流。

8.2.5 隧道漏水浑浊度的调查宜采用目测、量筒等进行, 并应符合以下要求:

1 漏水浑浊度的现场检查可采用比浊法进行, 将水样与标准溶液进行比较确定漏水浊度。

2 漏水浑浊度的实验室测试可采用浊度仪进行, 测量范围不小于 0.5~300NTU, 分辨率不低于 1NTU。

3 水样的采集尽量贴近漏水点, 防止隧道内尘土、汽车尾气进入试样内。

8.3 漏水检测

8.3.1 隧道漏水检测宜包括水温、pH 值、电导率、水质化学分析等。

8.3.2 隧道漏水水质检测采样应符合以下要求:

1 隧道水样的采集应首先对出水点进行隔离, 防止外部水体掺入。

2 水样容器的选择应具有化学性和生物学惰性, 容器壁吸附性弱, 且具有良好的密封性, 在转运过程中尽量减少晃动。

3 样品采集后应立即检测, 若不能及时检测, 应采取适当的保存措施。

条文说明

一般情况下, 水样宜保存在 4℃左右的低温环境中, 并尽量在 24 小时内完成检测。

8.3.3 隧道漏水 pH 值的检测, 宜采用 pH 试纸、pH 计等方法进行测定, 并应符合以下要求:

1 漏水 pH 值检测前, 应采用蒸馏水清洗测定器具, 避免污染样品。

2 根据 pH 值试纸使用要求, 将试纸浸入水样或采用棉签蘸取水样涂抹至试纸上, 待试纸颜色稳定后与标准比色卡进行对比, 读取相应的 pH 值。

3 采用 pH 计检测时,应首选根据检测需求和精度要求,选择合适的仪器进行测量。

4 采用 pH 计检测时,同一样品应测量 3 次,取平均值作为测量结果,每次测量之间应将电极用蒸馏水冲洗干净,并用滤纸吸干水分。

8.3.4 隧道漏水电导率的检测应采用电导率仪进行测定,仪器精度不小于 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$,并应符合以下规定:

1 将水样导入干净的容器中,若水样中含有明显的悬浮物或沉淀物,应先行过滤或离心处理,以避免影响测量结果。

2 电导率测定同一样品应测量 3 次,取平均值作为测量结果,每次测量之间应将电极用蒸馏水冲洗干净,并用滤纸吸干水分。

8.3.5 隧道漏水化学分析包括总硬度、总碱度、离子含量等,宜根据检测项目选用水质分析仪、离子分析仪等进行检测,并应符合以下要求:

1 应根据检测项目采用专用采样瓶(如硼硅玻璃瓶或聚乙烯瓶),并提前浸泡清洗。采样时应避免搅动水体。

2 对于离子含量的分析宜包括硫酸盐、氯化物、硝酸盐等。

8.4 排水管沟检查

8.4.1 隧道排水管沟的检查包括隧道中心排水沟、两侧排水暗沟、纵向排水管、横向排水管、路面排水边沟以及纵向管检查井、中心排水沟检查井、路面排水边沟沉沙井等。

8.4.2 对于隧道中心排水沟、两侧排水暗沟的检查宜采用管道机器人进行,现场对管沟内堵塞、错位、变形等情况进行图像视频采集,并记录位置信息。

8.4.3 对于隧道纵向排水管、横向排水管等管道的检查可采用内窥镜进行,现场对管道内堵塞、变形等情况进行图像视频采集,并记录位置信息。

8.4.4 对于隧道中心排水沟检查井的检查,应符合以下要求:

1 隧道中心排水沟检查井盖开启宜采用吊装设备进行,并应采取有效措施防止开启、安装过程中损伤。

2 中心排水管（沟）检查包含检查井深度、积水或淤积深度、中心排水管出水、井身结构等。

8.4.5 对于隧道纵向排水管检查井、路面排水边沟沉沙井的检查宜在打开盖板或铁篦子后检查，并应符合以下要求：

- 1 纵向管检查井应明确纵向排水管与横向排水管连通情况及内部泥沙淤积、积水、结晶、杂物等情况。
- 2 路面排水边沟沉沙井应明确其淤积、堵塞、破损、滞水等情况。

8.4.6 根据检查需求可在隧道检查井或管沟内设置监测设备，监测水量变化。

9 隧底结构检查

9.1 一般规定

9.1.1 隧底结构检查包括隧底地下水分布检查和隧底结构层检查。

9.1.2 隧底结构检查应避开隧道中心排水沟位置。

9.1.3 隧底结构检查宜采用地质雷达检测法进行检测，结合钻芯取样结果进行综合评定。

9.1.4 隧底钻孔时应避免破坏隧底防排水系统，并应及时回填。

9.2 地下水分布检查

9.2.1 隧底地下水分布检查宜采用无损检查方法，特殊情况可进行钻孔检查。

9.2.2 隧底地下水分布宜采用高分辨率直流电法进行检查，探测地层中存在的地下水位置及相对含水量大小。

9.2.3 地下水分布采用钻孔进行检查时，地下水位可采用水位计进行测量，利用孔口高程与水位计读数差值计算水位。

9.3 隧底结构层检查

9.3.1 隧底结构层检查包括厚度检查、回填密实性检查、钢架数量及分布、结构层横断面轮廓等内容。

9.3.2 采用地质雷达法进行隧底状况检查时，宜沿纵向布线测线，每车道测线数量不宜少于 1 条，并记录测线准确位置，具体检测方法见附录 F。

条文说明

为避免或降低检测行进过程中由于人为因素导致偏离既定测线，纵向测线可以路面标线作为参照，固定与标线的横向距离，并每隔 20m 做一次修正。

9.3.3 在出现隧底厚度不足、空洞、衬砌开裂、路面隆起等缺陷或病害的区段宜加密测线，测线布置应符合下列规定：

- 1 可沿隧道路面纵向、横向“井”字形布置测线。
- 2 每条车道宜布置 2 条纵向测线。
- 3 横向测线间距不宜大于 3m。
- 4 测线布置范围应向缺陷或病害区段两端延伸不少于 10m。

9.3.4 钻孔取芯法验证地质雷达检测结果时，宜在隧底结构层缺陷严重位置处进行取芯，并应与地质雷达测线位置一致，每种衬砌类型取芯数量不少于 1 处。

9.3.5 隧底结构层横断面检测时，应沿垂直隧道轴线的方向布置横向测线，测线间距不宜大于 5m，测点数量每车道不宜少于 5 个。

9.3.6 单独采用钻孔取芯法检查隧底结构层厚度时，纵向间距宜为 50~200m，病害或缺陷严重区段宜加密，钻孔位置宜尽量靠近隧道中线。

9.3.7 隧底钻孔取芯深度宜超出原设计隧底结构层不少于 0.5m，芯样直径不宜小于 100mm。

9.3.8 隧底结构层厚度检查结果宜精确至 1mm。

9.3.9 应根据隧底钻孔结果绘制隧底结构层断面示意图，对比隧底结构层现状与原设计情况的差异。

10 材质检查

10.1 一般规定

10.1.1 隧道衬砌材质检查包括衬砌表面缺陷检查、混凝土强度检查、碳化深度检查及钢筋锈蚀检查。

10.1.2 隧道衬砌材质检测应优先采用无损检测方法，必要时可采用直接法进行验证。

10.1.3 隧道衬砌检测中切割或钻孔结束后留下的孔洞应进行填充，填充材料的强度不应低于原衬砌设计标准，并采取必要的防水堵漏措施。

10.2 衬砌表面缺陷检查

10.2.1 衬砌表面缺陷检查应包括蜂窝、麻面、孔洞、露筋等内容

10.2.3 衬砌蜂窝、麻面的位置和范围可采用钢卷尺或皮尺测量。

10.2.4 衬砌孔洞大小、深度可采用钢卷尺、钢板尺、游标卡尺测量。

10.2.5 衬砌露筋长度可采用钢卷尺或皮尺测量。

10.2.6 表面缺陷可采用数字摄像测量法、三维激光扫描法（公路隧道检测车）等对其位置和范围进行快速检测。

条文说明

公路隧道检测车是基于数字摄影测量、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缺陷的几何参数及状况，实时显示病害图像和激光点云数据，实现对表观缺陷或病害的快速非接触无损数据采集及数据自动化处理。

10.2.7 衬砌表观缺陷检查结果应绘入衬砌展示图中。

10.3 混凝土强度检查

10.3.1 混凝土强度检查宜采用回弹法、超声-回弹综合法测定混凝土强度。在冻害、化学侵蚀、火灾、超出龄期等条件下，宜采用钻孔取芯法测试芯样强度。

10.3.2 混凝土强度检测的测区或取样位置应布置在重点病害段落或部位。

10.3.3 采用回弹法进行混凝土抗压强度推定时，被检测混凝土的表层质量应具有代表性，混凝土的抗压强度和龄期不应超过相应技术规程限定的范围。

条文说明

采用回弹法进行混凝土抗压强度推定时，混凝土龄期需在 14~1000d 的范围内，混凝土强度需在 10~60MPa 的范围内。

10.3.4 采用超声-回弹综合法进行混凝土抗压强度检测时，被检测混凝土的内外质量应无明显差异，混凝土的抗压强度和龄期不应超过相应技术规程限定的范围。

条文说明

采用超声-回弹综合法进行混凝土抗压强度推定时，混凝土龄期需在 7~2000d 的范围内，混凝土强度需在 10~70MPa 的范围内。

10.3.5 采用回弹法、超声-回弹综合法检测隧道混凝土抗压强度时，应符合《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784）附录 A 的有关规定。

10.3.6 必要时宜采用钻孔取芯法对回弹法、超声-回弹综合法测量结果进行修正或验证，应符合《混凝土结构现场检测技术标准》（GB/T 50784）附录 C 的有关规定。取芯位置应与回弹法、超声-回弹综合法设置在同一测区。

10.3.7 混凝土强度检查测区布设应满足下列规定：

1 同一检测断面应布设不少于 3 个测区，包括左侧边墙、右侧边墙、拱顶（见本规程附录 J）。

2 当检测断面跨度较大或病害严重段落，宜增加左侧拱腰、右侧拱腰测区。

- 3 测区宜避开施工缝，伸缩缝和沉降缝的位置。

10.3.8 钻芯法检测混凝土强度时，应符合下列规定：

- 1 抗压芯样试件宜使用直径为 100mm 的芯样，且其直径不宜小于骨料最大粒径的 3 倍；也可采用小直径芯样，但其直径不应小于 70mm 且不得小于骨料最大粒径的 2 倍。
- 2 抗压芯样试件的高径比（ H/d ）宜为 1；劈裂抗拉芯样试件的高径比（ H/d ）宜为 2，且任何情况下不应小于 1。
- 3 芯样试件抗压试验的操作应符合现行《普通混凝土力学性能试验方法标准》（GB/T 50081）中对立方体试件抗压试验的有关规定。

条文说明

芯样抗压强度的测试，参照现行《钻芯法检测混凝土强度技术规程》（JGJ/T 384）规定。当有可靠试验依据时，芯样试件强度换算系数也可根据混凝土原材料和施工工艺情况通过试验确定。

10.4 混凝土碳化深度检查

10.4.1 混凝土碳化深度宜采用酚酞指示剂法检测，应满足下列规定：

- 1 在同断面布设不应少于 3 个测区，包括左侧边墙、右侧边墙、拱顶（见本规程附录 J）；
- 2 测区宜选在每模板中间部位。

10.4.2 混凝土碳化深度检查现场操作，应符合下列规定：

- 1 应在混凝土测区表面形成直径 15mm、深度超过混凝土的碳化深度，且不小于 10mm 的孔洞。
- 2 孔洞中粉末和碎屑应清除干净，且不得用水清洗。
- 3 应采用浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁，当已碳化与未碳化界限清晰时，应采用碳化深度测量仪测量已碳化与未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；应取 3 次测量的平均值作为检测结果。

10.4.3 混凝土碳化深度检查，应满足下列规定：

- 1 作为回弹法检测混凝土抗压强度修正措施时，应与回弹法检测同步进行。

2 火灾或改扩建时，隧道混凝土碳化深度检查应根据需要进行。

10.5 混凝土中钢筋锈蚀检查

10.5.1 钢筋锈蚀检测可根据测试条件和测试要求选择直接法和半电池电位法。

10.5.2 钢筋锈蚀状况宜采用直接法，直接测定钢筋的剩余直径。

10.5.3 半电池电位法适用于定性评估隧道混凝土结构中钢筋锈蚀性状，不适用于带涂层的钢筋、已饱水、接近饱水、已经干燥到绝缘状态或已发生脱空层离的混凝土结构。检测方法参照本规程附录 H 执行。

条文说明

半电池电位法适用于已硬化混凝土中钢筋检测，不受混凝土构件尺寸和钢筋保护层厚度的限制；若已经干燥到绝缘状态或已发生脱空层离的混凝土，测试时不能提供稳定的电回路，则半电池电位法不适用。

10.5.4 半电池电位法检测数据应符合下列规定：

- 1 半电池电位法检测结果可采用电位等值线图表示被测混凝土结构中钢筋的锈蚀状况。
- 2 按一定的比例绘出测区平面图，标出相应测点位置的钢筋锈蚀电位，得到数据阵列；通过数值相等各点或内插各等值点绘出等值线，等值线差值宜为 100mV。
- 3 当采用半电池电位法评价钢筋锈蚀状况时，应根据表 10.5.1 进行判断。

表 10.5.1 半电池电位值评价钢筋锈蚀状况的判据

电位水平 (mV)	钢筋锈蚀状况
>-200	不发生锈蚀的概率 $>90\%$
$-200\sim-350$	锈蚀状况不确定
<-350	发生锈蚀的概率 $>90\%$

11 其他检查

11.1 一般规定

11.1.1 隧道线形、高程检查宜包括隧道中线位置、路面高度、以及纵、横坡度等测量。

11.1.2 采取衬砌拆换、增设套拱加固时，可根据工程需要进行钢架内力、衬砌背后压力、衬砌内力等监测。

11.1.3 隧道高水压衬砌裂损、渗漏水严重的段落，宜对衬砌背后水压力进行监测。

11.1.4 高寒地区出现衬砌冻害的隧道，宜对衬砌结构背后冻胀力进行监测。

11.2 线形、高程检查

11.2.1 应以洞外稳定基准点为基准，对隧道线形、高程进行测量。

11.2.2 隧道横坡检查时断面应垂直于隧道中线，采用水准仪、全站仪等对测点进行测量。

11.2.3 隧道中线线形测量宜采用导线测量，将实测中线线形的测量数据与设计中线相比较，计算出中线偏差值。

11.2.4 隧道高程测量宜采用水准测量，将实测线形高程的测量数据与设计高程相比较，计算出高程偏差值。

11.3 钢架内力监测

11.3.1 钢架内力可采用钢筋计、电阻应变片进行量测。

条文说明

隧道衬砌采用钢架套拱加固时，通过钢架内力量测了解套拱钢架应力的的大小，为钢架选型与修改设计提供依据；根据钢架的受力状态，判断隧道套拱结构的稳定性。

11.3.2 套拱加固代表性段落可设置 1~2 个钢架内力监测断面。

11.3.3 钢架内力测点布置应符合下列规定：

- 1 测点不宜少于 5 个。
- 2 测点宜布置在拱顶、拱腰、边墙、中墙等控制结构强度的部位。

11.3.4 钢架内力量测应符合下列规定：

- 1 采用钢筋计量测格栅钢架内力，钢筋计直径应与格栅主筋直径相同，且宜与钢筋中线重合对焊。
- 2 采用电阻应变片量测型钢应力，应变片应成对粘贴在型钢翼缘内侧测点位置处。
- 3 监测元器件应在监测断面上成对布置在钢架的内外两侧。

条文说明

钢筋计安装时，需要尽量使其与钢筋同心，防止钢筋计偏心而影响元件的使用和读数的准确性。将钢筋计焊接在格栅主筋上，要注意给钢筋计降温，以防止温度过高烧坏钢筋计的钢弦。在埋设时，需要注意对测试元件、测线的保护，防止由于埋设不当而使元件不能正常工作，或者埋设后测线扯断。

11.3.5 钢架内力量测应分别在钢架安装前后测试仪器读数。

11.4 衬砌内力检查

11.4.1 衬砌内力可采用混凝土应变计、钢筋计或电阻应变片监测，量测精度不宜低于 0.01MPa。

条文说明

衬砌内力监测主要包括衬砌拆换二次衬砌内力、套拱混凝土内力等内容。

11.4.2 隧道衬砌拆换、套拱加固代表性段落宜设置 1~2 个衬砌内力监测断面，每个监测断面应布 3~9 个测点。

11.4.3 采用钢筋计监测钢筋应力时，应选择与主筋直径相同的钢筋计，钢筋应力计应对称布置在衬砌内外侧钢筋上；采用电阻应变片监测钢筋应力时，应变片与钢筋应粘贴

牢固，电阻应变片应对称布置在衬砌内外侧钢筋上。

11.4.4 采用混凝土应变计测量衬砌内力时，应变计应对称布置在衬砌内外两侧。

11.4.5 衬砌内力监测元器件应在混凝土浇筑前埋设，并应在混凝土降至常温状态后测得初读数。

11.4.6 衬砌内力监测应及时处理监测数据，绘制衬砌内力-时间曲线图。

11.5 衬砌拱背压力检查

11.5.1 衬砌拱背压力可采用压力盒检测，量测精度不宜低于 0.01Mpa。

11.5.2 隧道衬砌拆换、套拱加固代表性段落宜设置 1~2 个衬砌拱背压力量测监测断面，双车道隧道每个监测断面应布 3~7 个测点，三车道及以上隧道的断面宜增加测点。

11.5.3 测量各支护层间拱背压力应在浇筑混凝土前埋设压力盒，并在浇筑后及时测得初始读数。

条文说明

各支护层间拱背压力测量主要包括初期支护与二次衬砌之间、二次衬砌与套拱结构之间的接触压力，用以评价初期支护与二次衬砌之间、二次衬砌与套拱结构之间的相互受力状况，评估设计的合理性，为今后类似工程设计提供依据。

11.5.4 拱背压力量测应及时处理监测数据，绘制拱背压力-时间曲线图。

11.6 水压力检查

11.6.1 水压力检查宜采用钻孔安装水压表的方式，钻孔前应安装孔口管和防喷装置。监测时，应在防喷装置处安装套管、阀门和水压力表。

11.6.2 高水压代表性段落宜设置 1~2 个水压力检查断面，每个监测断面应布 7~9 个测点。

11.6.3 及时处理分析水压力监测数据，绘制水压力-时间曲线图。

11.7 冻胀力检查

11.7.1 隧道衬砌背后冻胀力检查宜采取压力盒进行测量，并应结合温度传感器配合使用。

条文说明

隧道衬砌背后冻胀力与围岩温度相关，测量隧道围岩温度场并分析得到围岩温度正负变化规律，进而测试围岩在不同温度条件下的衬砌背后压力，定义围岩冻结前后对应的衬砌背后压力差值为衬砌背后测试冻胀力。

11.7.2 寒区隧道衬砌拆换、套拱加固代表性段落宜设置 1~2 个衬砌拱背冻胀压力量测监测断面，双车道隧道每个监测断面应布 3~7 个测点，三车道及以上隧道的断面宜增加测点。

11.7.3 压力盒应与接触面紧密接触，不得损坏压力盒及引线。

11.7.4 围岩温度测点宜与冻胀力检查测点布置在同一断面，每断面不宜少于一个测孔，每测孔不宜少于 3 个测点，温度可采用温度计进行量测，精度不宜低于 0.1℃。

条文说明

测孔深度应根据围岩温最大冻结深度确定，钻孔安装后应及时封堵。

11.7.5 依据围岩温度数据以及衬砌拱背冻胀压力量测数据，及时绘制围岩温度-衬砌背后冻胀力曲线。

12 检查作业安全管理

12.1 一般规定

12.1.1 隧道专项检查作业应严格实施安全管理,包括人员安全管理、设备安全管理、现场交通组织。

12.1.2 专项检查应按照实施方案中的交通组织形式、作业内容开展。

12.1.3 公路隧道专项检查应在保障专项检查人员、设备和车辆运行安全的前提下,充分考虑专项检查对交通安全保通状况的影响,保障交通通行。

12.1.4 检查作业应在划定的作业区内进行,检查人员、设备、车辆、材料等均应置于作业区内。

12.1.5 新型设备、新检测手段,应在制定可行的安全技术方案后实施。

12.1.6 大雪、暴雨、大雾等恶劣天气,不应进行检查作业。

12.2 人员安全管理

12.2.1 检查人员应穿戴反光服、安全帽等个人防护装备。

12.2.2 检查人员进入服务通道、设备洞室、检查井、泄水横洞等有限空间前,应对空间内有毒、有害气体进行检测,确认安全后再开展检查工作。

12.2.3 隧道内车辆通行影响现场作业安全时,应立即警示,必要时检查人员应立即采取避让措施。

条文说明:

本条所指的车辆通行影响现场作业安全的情况,一般包括隧道洞内超限车辆驶入、车辆违规闯入封闭作业区等。

12.2.4 检查人员高空作业应满足下列要求:

- 1 检查人员高空作业时宜两人一组，配备地面引导员，并不超出设备举升载重标准。
- 2 高空作业时宜配备对讲机，保证高空作业人员与地面引导员、车辆或设备操作员通讯。
- 3 高空作业车辆前方障碍物，应立即清除，若无法清除时应停止作业。
- 4 高空作业时应注意避让风机、车道指示器等机电设施及其他障碍物，必要时停止作业，待越过障碍后继续进行作业。
- 5 高空作业车行驶晃动导致作业篮或作业平台剐蹭衬砌，应立即停止作业，并调整高度。
- 6 高空作业人员在车辆掉头、倒车等非检测工作时，不得在作业平台内停留。

12.3 设备安全管理

12.3.1 专项检查现场作业机械、作业台架应布设反光标志、警示灯等。

12.3.2 专项检查所采用的高空作业车、作业平台等设备应检验合格，并应有明确的举升载重标识。

条文说明：

高空作业车检验需参照《高空作业车》（GB/T 9465）、《高空作业车 检查与维护规程》（T/CCMA 0113）等规范。高空作业平台检验需参照《建筑施工升降设备设施检验标准》（JGJ 305）、《高处作业分级》（GB/T 3608）。

12.3.3 检测设备通电前应对电池进行检查，电池应无损伤和漏液，正负极连接正确可靠。

12.3.4 高空作业、特种设备等有特别要求的维护，应按有关部门的安全操作规程执行。

12.4 现场交通组织

12.4.1 隧道专项检查限制、阻断、改变交通流的作业，应制定专项交通组织方案。

12.4.2 交通组织方案的编制应符合《公路养护安全作业规程》（JTG H30）及《道路交通标志和标线第 4 部分：作业区》（GB5768.4）的有关规定。

12.4.3 现场交通组织应严格按照交通组织方案执行，不得改变作业区控制范围、延长交通管制时间、改变交通管制方式。

12.4.4 特长、长隧道专项检查交通管制期间，应配置交通引导人员；中、短隧道宜配置交通引导人员。交通引导人员轮换时间不宜超过 4h。

12.4.5 现场布设的安全设施应定期巡查，对损坏、移位的应及时恢复。

12.4.6 现场检查作业完毕后应及时上报，经确认后撤除现场交通管控安全设施。

12.4.7 交通安全设施布设及回收，应配备警示引导车辆。现场交通管控安全设施撤除完毕后，方可开放交通。

附录

附录 A 隧道专项检查项目选取表

表 A 隧道专项检查项目选取表

检查项目		病害类型或特殊工况											检查目的
		衬砌缺陷	衬砌开裂	衬砌渗水	衬砌掉块	衬砌劣化	路面隆沉	路面翻水	火灾	水害	冻害	震害	
衬砌几何尺寸检查	内轮廓断面检查	☆	☆		★	☆	★		★	☆	☆	★	与设计内轮廓及设计建筑限界对比，通过激光断面仪、全站仪等测量隧道内轮廓的侵限值
	周边位移测量	☆	☆		★	☆	★		★	☆	☆	★	与相邻或完好断面对比，通过激光断面仪、全站仪、水准仪等测量隧道周边位移值
	净空收敛测量	☆	☆		★	☆	★		★	☆	☆	★	与自身变化对比，通过激光断面仪、全站仪、水准仪等测量隧道净空收敛值
衬砌结构检查	衬砌厚度	★	☆	○	★	☆	○		★	☆	☆	☆	通过地质雷达法、钻孔量测法等手段测量衬砌厚度
	衬砌内部缺陷	★	☆	○	★	☆	○		★	☆	☆	☆	通过地质雷达法、钻孔取芯法、钻孔量测法等手段测量衬砌脱空、空洞、不密实等内部缺陷
	衬砌钢架间距、配筋检查	★	☆	○	★	☆	○		★	○	○	○	通过地质雷达、超声法、电磁感应法等无损检测手段测量衬砌钢架间距、配筋等情况

检查项目		病害类型或特殊工况											检查目的
		衬砌缺陷	衬砌开裂	衬砌渗水	衬砌掉块	衬砌劣化	路面隆沉	路面翻水	火灾	水害	冻害	震害	
裂损检查	裂缝调查	★	★	☆	★	★	★	○	★	★	★	★	通过成像扫描设备、裂缝检测仪等测量裂缝的位置、宽度、长度、开裂范围或程度等
	裂缝检测	★	★	☆	★	★	★	○	★	★	★	★	通过超声法、钻芯法、标点测量法、砂浆涂抹法和尖端标记法等方法测量裂缝的发展趋势及速度；裂缝的方向及深度等
	混凝土起层、剥落检查	★	★	☆	★	★	★	○	★	★	★	★	通过钢卷尺、游标卡尺等测量衬砌表面起层、剥落的位置、范围或程度等
防排水检查	漏水调查	☆	☆	★	☆	☆		★	○	★	★	☆	通过漏水检测仪、流量计、浊度仪检查漏水的位置、水量、浑浊及排水管沟状态等
	漏水检测	☆	☆	★	☆	☆		★	○	★	★	☆	通过温度计、pH计、电导率测定仪、水质分析仪等进行水温测量，pH值检查、电导度检测、水质化学分析
	排水管沟检查	○	○	★	○	☆		★	○	★	★	☆	通过管道机器人、内窥镜等检查排水管沟的堵塞、冻结、破坏情况
隧底结构检查	隧底密实度、地下水分布检查		☆	☆	○		★	★	☆	☆	☆	★	通过地质雷达法、超声法、钻芯法等测量隧底密实度、地下水分布等情况
	隧底路面结构层、回填、仰拱厚度检查		☆	☆	○		★	☆	☆	☆	☆	★	通过地质雷达法、隧底钻孔取芯测量路面结构层、回填、仰拱厚度、回填材质等情况

检查项目		病害类型或特殊工况										检查目的	
		衬砌缺陷	衬砌开裂	衬砌渗水	衬砌掉块	衬砌劣化	路面隆沉	路面翻水	火灾	水害	冻害		震害
材质检查	混凝土强度检查	☆	☆	○	★	★			★	★	★	★	通过超声-回弹法、回弹法、取芯法等方法测量衬砌混凝土强度
	衬砌表面病害（蜂窝、麻面、孔洞、露筋等）检查	☆	☆		★	★			★	☆	★	★	通过钢卷尺、游标卡尺等测量衬砌表面蜂窝、麻面、孔洞、露筋的位置、范围或程度
	衬砌碳化深度检测	☆	☆		★	★				☆	☆	○	通过酚酞试剂滴定法测量衬砌混凝土的碳化深度
	钢筋锈蚀检测	☆	☆	○	☆	★				☆	☆	○	通过直接法、半电池电位法测量衬砌钢筋锈蚀程度
其他检查	线形、高程检查						★					☆	通过全站仪、水准仪等测量中线位置、路面高度、缘石高度，纵、横坡度
	衬砌应力及拱背压力检查	☆	☆	☆	☆	☆							通过混凝土应变计、钢筋应力计等测量衬砌的应力及其变化、拱背压力的分布及变化
	水压力检查			☆			☆	☆		★	☆		通过水压力表测量衬砌背后水压力大小、分布及变化规律
	冻胀力检查										☆		通过压力盒、混凝土应变计等测量衬砌背后冻胀力大小、分布及变化规律

注：1.符号说明：★-应进行的专项检查；☆-宜进行的专项检查；○-可进行的专项检查。

2.病害类型说明：衬砌缺陷包括：衬砌欠厚、脱空、不密实等；衬砌开裂指衬砌结构性裂缝或大面积网状开裂；衬砌渗水指衬砌表面存在明显渗水现象；衬砌劣化指衬砌的混凝土材料因风化、腐蚀等原因而导致的混凝土性能降低；衬砌掉块指衬砌表面的混凝土出现剥落、碎裂、坍塌等现象；路面隆沉包括：路面隆起、沉陷、错台等病害现象；路面翻水指隧道内由于隧道内排水系统不完善或堵塞等原因导致路面出现积水现象。

附录 B 隧道专项检查实施方案

B.1 工程概况

B.1.1 任务来源

宜包括专项检查项目的委托单位、委托检测目的及检测内容等。

B.1.2 隧道概况

隧道概况部分宜包括隧道所在位置、路线编号、起讫点桩号；隧道长度、类型、路面类型、路面宽度、洞门形式以及隧道原设计衬砌情况等；近三年隧道定期检查情况、隧道病害处治和维修加固资料。

B.2 检查依据

B.2.1 检查依据章节应包括检查参数对应的受控标准规范。

条文说明

示例如下：

- (1) 《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017）；
- (2) 《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）；
- (3) 《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》（TB 10223-2004）。

B.2.2 评定依据章节宜包括非受控标准规范以及评定所依据的标准规范、设计文件、合同文件等。

条文说明

示例如下：

- (1) 《公路工程竣（交）工验收办法实施细则》（交公路发[2010] 65 号）；
- (2) 《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017）；
- (3) 隧道施工图设计文件。

B.3 检查内容和方法

B.3.1 检查内容部分宜包含本次隧道专项检查的检查段落、检查对象、检查项目及检查频率等。

B.3.2 检查方法部分宜包含仪器选型、检查测区布置等内容。

B.4 检查人员及仪器设备

B.4.1 检查人员部分宜包括投入的主要人员、职称、专业和工作内容等。

条文说明

人员投入部分的说明宜采用列表形式。示例如下：

表 B.4.1 投入本项目主要试验人员及安排

序号	姓名	本组中职务	职称	主要工作内容
1	XX	项目负责人	高级工程师	统筹本项目隧道检查所有事宜
2	XX	现场负责人	高级工程师	现场负责
3	XX	隧道检测工程师	工程师	现场检查及数据处理
4	XX	隧道检测工程师	工程师	
5	XX	隧道检测人员	助理工程师	
6	XX	隧道检测人员	助理工程师	
7	XX	安全员	工程师	现场检查及 现场安全保障

B.4.2 仪器设备部分宜包括设备名称、型号、编号、数量、检定（校准）有效期及设备状态等。

条文说明

仪器设备投入部分的说明宜采用列表形式。示例如下：

表 B.4.2 投入本项目的仪器设备表

序号	设备名称	功能	规格型号	仪器编号	数量	溯源有效期至	设备状态
1	地质雷达	结构检测	XX-XX	XX-XX	1 台	X 年 X 月 X 日	合格
2	激光断面仪	净空断面检测	XX-XX	XX-XX	1 台	X 年 X 月 X 日	合格
3	钢卷尺	辅助检测	50m	XX-XX	1 把	X 年 X 月 X 日	准用
4	...	...					

B.5 专项检查工作组织计划

工作进度计划宜包括检查项目具体时间安排，包括前期准备阶段、现场实施阶段、数据处理阶段和报告编制阶段等。

B.6 保障措施

保障措施宜包括质量保证措施、安全措施和进度措施。

条文说明

示例如下：

1、质量保证措施

（1）项目部成立以项目负责人为组长，项目技术负责人为副组长，项目全体成员为组员的质量管理小组，组成项目质量管理组织机构。项目质量管理小组负责全面控制本

项目检查及报告审核的质量管理工作。

(2) 根据项目具体工作内容选派经验丰富,检测业务熟练、能力强的骨干人员组成项目部。人员梯队包括教授级高级工程师,高级工程师,工程师,主要检测人员持交通运输部颁发的检测资格证,且具有从事类似检测项目的丰富工作经历,确保项目成员的业务素质满足本项目的各项工作要求。

(3) 根据项目的具体情况,将相关仪器设备派驻现场,保证检测使用的仪器经过检校合格,且计量证齐全,仪器的精度满足检测精度的要求。

(4) 初步调查期间,组织技术人员学习隧道检查的有关技术文件,进行岗位分工、分组,建立岗位责任制,使工作按计划有条不紊地进行,保证专人专职。

(5) 检查过程中,对关键的工序进行抽检、复查,以确保所采集的数据准确、有效。严格按有关规范规程进行检查结果的记录、分析和整理工作。

(6) 检查中的读数应准确、迅速,记录要清楚、真实。切实履行记录和复核制度,发现疑点或异常的数据应及时检测,保证测试数据的准确可靠。

(7) 在项目实施的各阶段,充分做好各种信息的收集、整理和归档,并保证现场记录、试验、检测以及质量检测等资料完整、清晰、准确。

(8) 检查报告严格执行内部三级审查制度:初步审查、专业审查、总体审查。审查人之间有不同意见时,原则上以后一级审查人的意见为准进行修改。如存在重大分歧,由公司技术负责人组织进行专项讨论,最终以授权签字人意见为准。

2、安全保证措施

(1) 成立交通安全保障领导小组,由项目负责人担任组长,由持有安全工程师证书的人员担任现场督导组长,由现场检查组组长担任安全保障组副组长,配备安全员一名。

(2) 确保检查工作正常有序,严密防范公共车辆意外驶入作业区域。科学组织渠化使车辆平稳减速、安全改道。标志务必规范标志产品的规格、布设间距、数量要满足规范。加强标志维护做好动态巡查,加强标志维护。

(3) 现场作业前,现场作业人员及安全员应熟悉方案,做到心中有数。高空作业车进行作业时,车身上应设置明显的警示标志。交通事故后,应及时与监控中心联系,并联系路政、交警等部门。

(4) 出现事故及时通知交警大队和路政大队,与他们共同疏导交通,注意防止非施工车辆进入施工封闭区。疏导交通时考虑小车的灵活性特点,指挥小车先行,货车大车后行。交通阻塞严重时,应采取应急疏导措施等。

3、进度保证措施

(1) 选择具有丰富检测经验的员工担任项目负责人工作，同时下设各保障小组，组建坚强有力的项目部，明确职责，严格岗位责任，各司其职，各负其责，既保证项目负责人的领导权威性，又注意发挥各职能部门的主观能动性，齐心协力做好工作。

(2) 选择从事过大型及类似项目的检查工程，素质高、信誉好、作风硬的队伍进行本项目检查，确保工程按计划进行。

(3) 在进场前与业主进行充分沟通，在检查过程中以工作简报的形式对检查进展情况进行汇报，如发现可能严重影响结构安全的病害或遇突发事件，第一时间通知业主采取相应处理措施。

(4) 采用先进的检测技术仪器设备以及检测车等大型机械进行检测，以保证检查进度。同时考虑关键仪器的备用和维修，确保检查施工的正常运转。

(5) 开展检查相关技术研究工作，制定比较方案与推荐方案，在安全性、经济性、技术性等多方面进行比较，选择最优方案。

(6) 检查期间，加大协调管理力度，主动与业主联络，积极配合，提供方便，为快速优质检查创造有利条件；加强服务，主动配合和协助业主在检查过程中涉及到的一些问题，及时解决检查过程中出现的各种问题，保证检查工作正常进行。

(7) 项目负责人及时掌握有关检查工程的法律、法规、政策，并及时下发、宣传；实施电子化管理，对检查的进度、质量、安全等有关信息及时准确传达到有关人员，使检查进度得到全面控制。利用网络计划，对检查工作进度进行动态管理，制定周密的网络计划，抓关键线路，突出重点难点，检查工作计划实行动态管理，根据实际情况及时调整。进度计划安排充分考虑可能遇到的各种因素，进度安排留有余地。

B.7 隧道专项检查交通组织方案

B.7.1 专项检查交通组织方案宜包含在隧道专项检查期间，采取封闭一条车道或封闭全幅的总体方案以及现场检查作业控制区布置。

B.7.2 专项检查现场作业应满足《公路工程施工安全标志设置规范》(JT/T 1507)、《公路工程施工现场安全防护技术要求》(JT/T 1508)、公路工程施工安全技术规范(JTGF90)、《公路养护安全作业规程》(JTG H30)、《中华人民共和国安全生产法》等法律法规的有关规定。

条文说明

双洞单向通行隧道专项检查交通组织方案示例如下：

(1) 上游过渡区应布置在隧道入口前。以设计速度 80km/h 为例，控制区布置示例见下图：

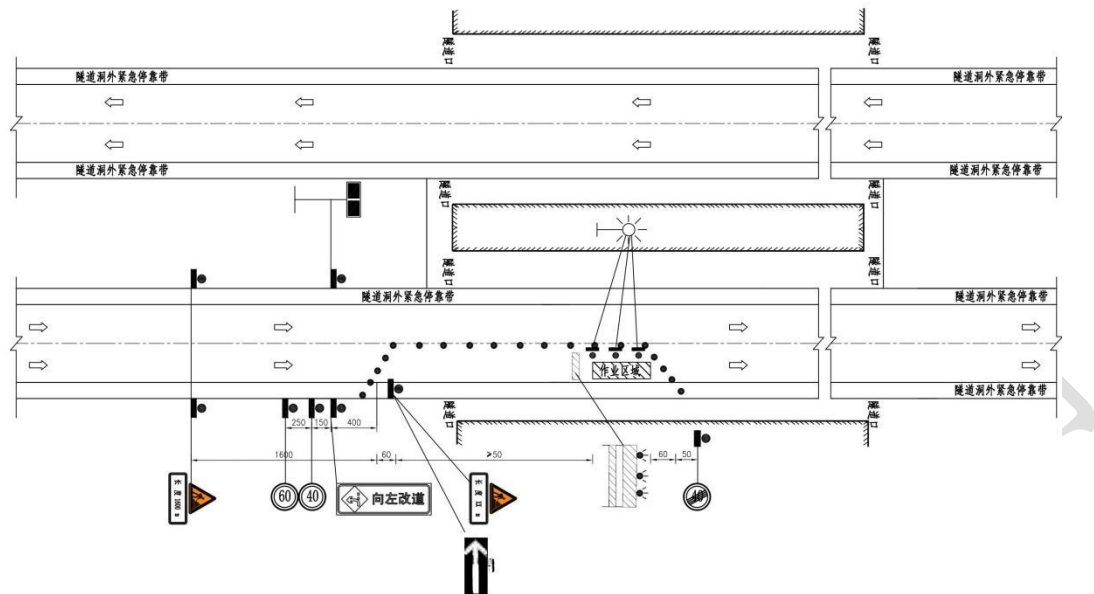


图 B.7.2-1 双洞单向通行的隧道专项检查作业区布置（入口）

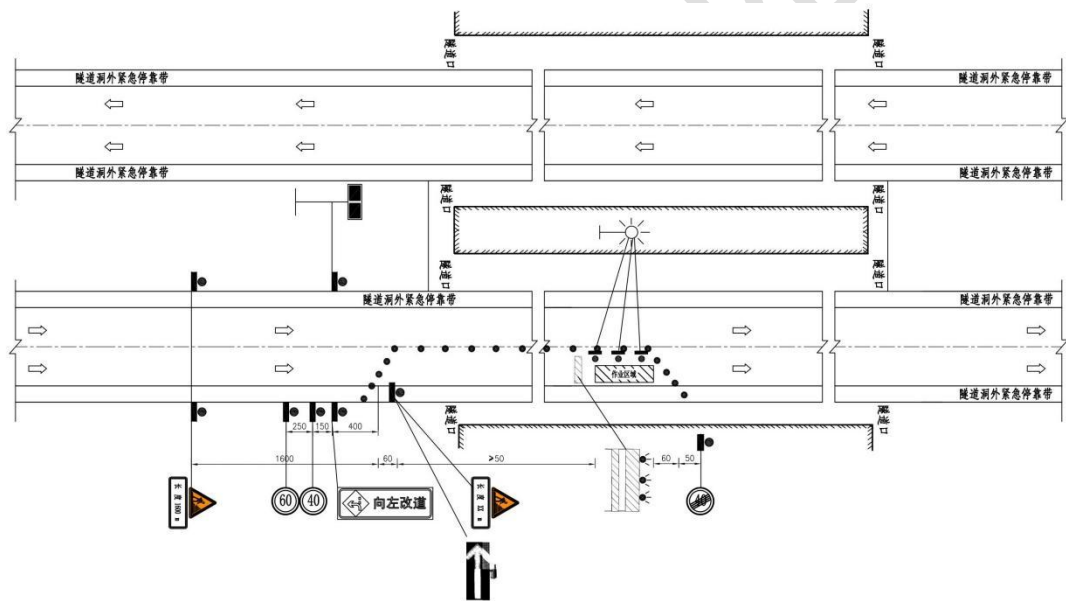


图 B.7.2-2 双洞单向通行的隧道群专项检查作业区布置（洞内）

(2) 以设计速度 80km/h 为例，单洞全幅封闭并借用另一侧通行的隧道，专项检查控制区布置示例见下图：

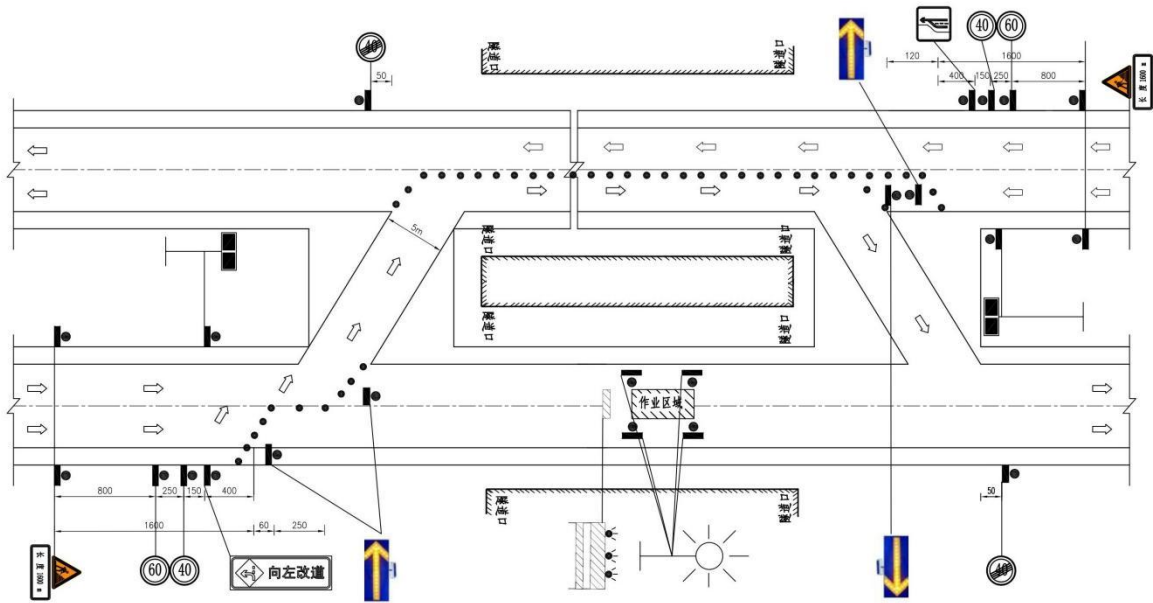


图 B.7.2-3 双洞单向通行的单洞全封闭专项检查作业区布置

附录 C 土建结构专项检查记录表

表 C-1 地质雷达检测记录表

路线名称：_____ 隧道名称：_____ 检测日期：_____

仪器/型号：_____ 仪器编号：_____ 天气/气温：_____

序号	检测部位	检测里程范围	文件编号	备注

检查/记录：_____ / _____ 复核：_____ 项目负责人：_____

表 C-2 激光断面仪检测记录表

路线名称：_____ 隧道名称：_____ 检测日期：_____

仪器/型号：_____ 仪器编号：_____ 天气/气温：_____

隧道名称	检测部位	桩号	备注

检查/记录：_____ / _____ 复核：_____ 项目负责人：_____

[illegible]

表 C-4 混凝土材质强度检查记录表（超声回弹综合法）

路线名称：_____

隧道名称：_____

检测日期：_____

管道类型：_____

管道类型：_____

天气/气温：_____

测试面：_____

骨料类型：_____

超声测试方式：_____

构件 编号	测区	角度	回弹值 R_i								平均回弹值 R_{ma}	测点测距 l_i /声时 t_i			备注
			1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	
	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
	8														

检查/记录：_____

复核：_____

项目负责人：_____

附录 D 隧道病害等级评定准则

D.1 隧道病害等级评定标准

隧道病害等级评定标准按照表 D.1 执行。

表 D.1 隧道病害等级评定标准表

评定因素				病害等级
缺损程度	发展趋势	对行人、行车安全的影响	对隧道结构安全的影响	
无或非常轻微	无	无影响	无影响	1
轻微	趋于稳定	目前尚无影响	目前尚无影响	2
中等	较慢	将来会影响行人、行车安全	将来会影响结构安全	3
较严重	较快	已经妨害行人、行车安全	已经影响结构安全	4
严重	迅建	严重影响行人、行车安全	严重影响结构安全	5

D.2 衬砌裂缝等级划分

D.2.1 衬砌裂缝

隧道衬砌裂缝病害等级划分按照表 D.2.1 执行。

表 D.2.1 隧道衬砌裂缝病害等级划分表

定量描述		发展趋势	病害等级
裂缝宽度b/mm	裂缝长度L/m		
$b \leq 3$	-	存在发展趋势	2
$b > 3$	$L \leq 5$		2或3
$b > 3$	> 5		3或4
$b \leq 3$	-	无法确定是否发展	1或2
$3 < b \leq 5$	$L \leq 5$		2
$3 < b \leq 5$	$5 < L \leq 10$		2或3
$3 < b \leq 5$	$L > 10$		3
$b > 5$	$L \leq 5$		2或3
$b > 5$	$5 < L \leq 10$		3
$b > 5$	$L > 10$		3或4

注1：表中的裂缝以纵向、斜向裂缝为对象，对于环向裂缝病害等级应降低1个级别。
 注2：对于网状裂缝，病害等级应升高1个级别。
 注3：当裂缝众多时，应将宽度最大的裂缝作为主要检查对象。

D.2.2 衬砌起层剥落

隧道衬砌起层剥落病害等级划分按照表 D.2.2 执行。

表 D.2.2 隧道衬砌起层剥落病害等级划分表

定性描述	定量描述		剥离掉落可能性	起层剥落部位	病害等级
	起层直径d mm	起层深度t mm			
起层不明显	$d < 50$	$t < 6$	-	-	1
起层明显	$50 \leq d < 75$	$6 \leq t < 12$	-	-	2
起层较严重 可能危及行人或车辆	$75 \leq d < 150$	$12 \leq t < 25$	无	-	2
			有	-	3或4
起层严重，危及行人或车辆	$d \geq 150$	$t \geq 25$	有	拱腰、边墙	3
			有	拱顶	4

注：起层直径指起层范围的等效圆直径，起层深度是指起层范围内最大深度。对于拱部可能存在的剥离掉落情况，应按照较高等级进行评定。

D.2.3 衬砌钢筋锈蚀

隧道衬砌钢筋锈蚀病害等级划分按照表 D.2.3 执行。

表 D.2.3 隧道衬砌钢筋锈蚀病害等级划分表

参数				病害等级
混凝土电阻率		混凝土中钢筋锈蚀电位		
电阻率 $\Omega\cdot\text{cm}$	可能锈蚀速率	电位水平 mV	钢筋锈蚀性状	
≥ 20000	很慢	-200	无锈蚀活动性或锈蚀活动性不确定	0
[15000, 20000)	慢	(-200 ~ -300)	有锈蚀活动性，但锈蚀状态不确定，可能锈蚀	1
[10000, 15000)	一般	(-300 ~ -400)	有锈蚀活动性，发生锈蚀概率大于90%	2
[5000, 10000)	快	(-400 ~ -500)	有锈蚀活动性，严重锈蚀可能性极大	3
< 5000	很快	< -500	构件存在锈蚀开裂区域	4

D.2.4 衬砌变形

隧道衬砌变形病害等级划分按照表 D.2.4 执行。

表 D.2.4 隧道衬砌变形病害等级划分表

定性描述	定量描述		病害等级
	变形速率 v mm/年	变形/内限距 s	
衬砌存在裂缝	$v < 1$	$s < 1/4$	1
衬砌裂缝可能发展	$1 \leq v < 3$	$1/4 \leq s < 1/2$	2
衬砌开裂较严重	$3 \leq v < 10$	$1/2 \leq s < 1$	3
衬砌开裂严重	$v \geq 10$	$s \geq 1$	4
注1: 内限距是指隧道内轮廓至建筑限界的距离。			
注2: 因山体滑动等导致衬砌变形, 应判定为3级以上。			

D.2.5 衬砌缺陷

衬砌缺陷病害等级划分, 应按衬砌厚度、背后空洞等项目, 先分别评价每个项目的病害等级, 取其中最高一级作为该评价单元衬砌缺陷病害等级。隧道衬砌厚度等级划分按照表 D.2.5-1 执行。隧道衬砌强度等级划分按照表 D.2.5-2 执行。隧道衬砌背后空洞等级按照表 D.2.5-3 执行。

表 D.2.5-1 隧道衬砌厚度等级划分表

定量描述	病害等级			
	1	2	3	4
$h_i/h \geq 0.9$	L_c 不限			
$0.75 \leq h_i/h < 0.9$	$L_c < 5$	$L_c \geq 5$		
$0.5 \leq h_i/h < 0.75$		$L_c < 5$	$L_c \geq 5$	
$h_i/h < 0.5$			$L_c < 5$	$L_c \geq 5$
注1: L_c 是指衬砌厚度不足的测线连续长度, 单位 h 表示设计衬砌厚度; h_i 表示检测衬砌厚度, 当衬砌混凝土存在劣化时, 检测衬砌厚度应换算为有效衬砌厚度, 即将检测衬砌厚度减去劣化削弱的部分厚度。				
注2: 当相邻测线3条及以上均连续不定时, 其病害等级提高1级。				

表 D.2.5-2 隧道衬砌强度等级划分表

定量描述	病害等级			
	1	2	3	4
$q_i/q \geq 0.85$	L_q 不限			
$0.75 \leq h_i/h < 0.85$	$L_q < 3$	$L_q \geq 3$		
$0.65 \leq h_i/h < 0.75$		$L_q < 3$	$L_q \geq 3$	
$h_i/h < 0.65$			$L_q < 3$	$L_q \geq 3$
注1: L_q 是指衬砌强度不足段的测线连续长度, 单位m; q 表示设计衬砌混凝土强度; q_i 表示检测断面衬砌混凝土测点的平均强度。 注2: 当检测断面衬砌混凝土的最低强度低于平均值的0.85时, 其病害等级提高1级。				

表 D.2.5-3 隧道衬砌背后空洞等级划分表

定性描述	定量指数		病害等级
	空洞深度 k mm	连续测线长度 L m	
存在空洞, 暂无明显扩大迹象	$k \leq 100$		2
空洞较大, 上部落石可能掉落至衬砌	$100 < k < 500$	$L \leq 1$	2
		$1 < L \leq 3$	2或3
		$L > 3$	3或4
存在大的空洞, 而且衬砌有效厚度很薄, 上部落石可能掉落至衬砌	$k \geq 500$		4
注1: 应根据衬砌背后空洞深度、长度与衬砌厚度、裂缝情况综合评定。 注2: 当拱部空洞深度100mm以上, 衬砌有效厚度小于原设计厚度1/2, 且发育裂缝时, 应按3或4病害等级评定。 注3: 对曾经发生坍塌的段落或节理发育、漏水严重的段落, 应提高1个等级评定。			

D.2.6 衬砌材料劣化

衬砌材料劣化病害等级划分, 应按衬砌混凝土强度、钢筋锈蚀、衬砌起层剥落等项目, 分别评价每个项目的病害等级, 取其中最高一级作为该评价单元衬砌材料劣化的病害等级。

D.3 衬砌渗漏水等级划分

隧道渗漏水病害等级划分按照表 D.3 执行。

表 D.3 隧道渗漏水病害等级划分表

部位	主要异况	漏水程度				是否影响行车		病害等级
		喷射	涌流	滴漏	浸渗	是	否	
拱顶	漏水	√				√		4
						√		3
				√		√		2
					√		√	1
	挂冰					√		3
							√	1
拱腰、边墙	漏水	√				√		3
			√					2
				√		√		2
								1
	冰柱							3
							√	1
路面	沙土流出							3或4
							√	1
	积水					√		3或4
							√	1
	结冰					√		3或4
							√	1

D.4 隧底缺陷及病害等级划分

隧道冻害等级划分按照表 D.4 执行。

表 D.4 隧道冻害等级划分表

气候条件			冻害特征	病害等级
寒冷程度	最冷月平均气温/°C	冻结深度/m		
轻微	-5~-10	0.6~1.0	轻微，不影响交通	1
较轻	-10~-15	1.0~1.5	衬砌冻裂，洞内渗水挂冰，路面结冰，冻害发生于12月至翌年2月	2
较重	-15~-25	1.5~2.5	衬砌破裂较严重，含水围岩较大面积发生渗漏，较大范围挂冰，路面冻冰，冻结期大于4~5个月	3
严重	< -25	> 2.5	衬砌层破裂严重，大面积渗漏水，挂冰严重，路面结冰，排水系统被冰堵塞，冻结期大于5个月	4

D.5 隧底缺陷及病害等级划分

隧底缺陷及病害等级划分按照表 D.5 执行。

表 D.5 隧底缺陷及病害等级划分表

定性描述	定量指标			病害等级
	路面变形、裂损	隧底空洞或不密实	隧底混凝土厚度不足	
路面有轻微裂缝，引起使用者轻微不舒适感	路面连续裂损小于1m	$kL_c \leq 1m$ $sL_c \leq 3m$	$0.75 \leq t_i/t < 0.9$ ，且长度小于5m或 $0.9t_i/t < 1$	1
路面或墙脚局部沉陷、隆起变形，引起使用者明显不舒适，可能会影响行车安全、结构安全	路面连续裂损1m~3m且路面变形小于10mm	$1m < kL_c \leq 3m$ $3m < sL_c \leq 9m$	$0.6 \leq t_i/t < 0.75$ ，且长度小于5m或 $0.75 \leq t_i/t < 0.9$ ，且长度大于等于5m	2
路面较大面积沉陷、隆起变形，墙脚较明显下沉，已影响行车安全、结构安全	路面连续裂损3m~5m且路面变形10mm~25mm	$3m < kL_c \leq 5m$ $9m < sL_c \leq 15m$	$t_i/t < 0.6$ ，且长度小于5m或 $0.6 \leq t_i/t < 0.75$ 且长度大于等于5m	3
路面大面积沉陷、隆起变形，墙脚明显下沉，严重影响行车安全、结构安全	路面连续裂损大于5m且路面变形大于2mm	$kL_c > 5m$ $sL_c > 15m$	$t_i/t < 0.6$ ，且长度大于等于5m	4

注1: kL_c 隧底空洞连续测线长度; sL_c 隧底不密实连续测线长度; t_i 钻孔位置隧底混凝土实测厚度; t 钻孔位置隧底混凝土设计厚度。

注2: 采用钻孔取芯检测隧底结构时，宜按同一横断面多个测点设置，依据芯样长度、密实度及各点之间的对比综合判断隧底缺陷程度。对于原设计设置仰拱的，若各点之间芯样长度大小相差较大，超出结构设计几何形状范围，宜判定为无仰拱。

定性描述	定量指标			病害等级
	路面变形、裂损	隧底空洞或不密实	隧底混凝土厚度不足	
注3：隧底结构及路面变形影响，应结合衬砌裂损及变形情况综合判断，总体以定性判断为主，参照定量标准判断。				

附录 E 专项检查报告示例（资料性附录）

编号：（隧检）字

专 项 检 查 报 告

委托（受检）单位：

产品（工程）名称：

检 测 项 目：

检 测 类 别：

报告发出日期：

XXXXXX 有限公司

E.1 工程概况

E.1.1 任务来源

受××的委托，××检测公司承担了 2025 年××隧道专项检测工作，主要工作内容是采用地质雷达检测法对委托段落的隧道钢架数量及分布、二次衬砌厚度、衬砌内部缺陷、钢筋设置情况、隧底结构层厚度及缺陷；对衬砌结构横断面进行检查。

E.1.2 隧道概况

××隧道位于××市××区/县境内，为双向四车道长隧道，设计时速 80 公里/小时，隧道建筑限界净宽 10.25m，净高 5.0m。隧道运营期起讫桩号 KX+XXX~KX+XXX，全长 XXm。隧道衬砌结构为复合式衬砌，路面为沥青混凝土路面。

E.1.3 隧道原设计情况

1、平、纵线形设计

XXX 隧道平面设计采用分离式隧道，隧道平、纵面指标见下表。

条文说明

平、纵面指标宜采用列表形式，示例如下：

表 E.1.3-1 隧道路线平、纵面指标一览表

隧道名称	洞内路线线型	
	纵坡（%）	平曲线
XXX 隧道上行线		
XXX 隧道下行线		

2、建筑限界及内轮廓

隧道建筑限界净宽为 10.25m，其横断面组成为：0.75+0.5+2×3.75+0.75+0.75=10.25m；建筑限界高度 5.0m；隧道设双侧检修道，衬砌断面内轮廓采用单心圆方案。

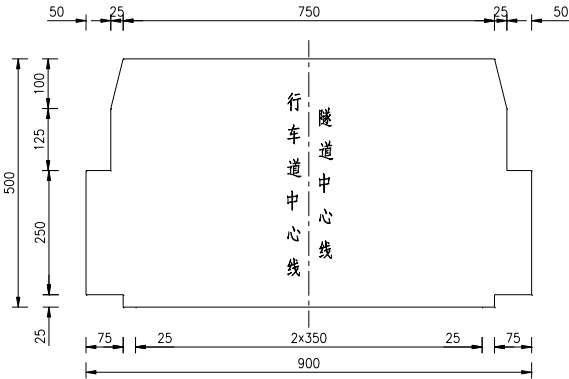


图 E.1.3-1 隧道主洞建筑限界 (单位: cm)

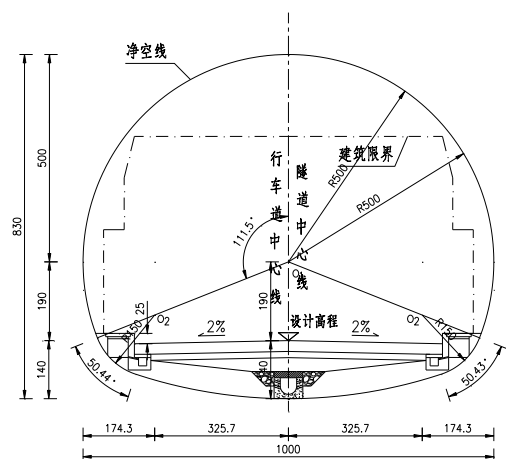


图 E.1.3-2 隧道主洞内轮廓（单位：cm）

3、衬砌结构

隧道洞身按新奥法设计，采用复合式衬砌，初期支护采用喷射混凝土+系统锚杆+钢筋网+型钢支撑（格栅钢架）的综合防护系统，二次衬砌采用 C30 素混凝土或钢筋混凝土。

条文说明

衬砌结构支护参数宜采用列表形式，示例如下：

表 E.1.3-2 隧道主洞衬砌结构支护参数表

项 目		单位	围 岩 级 别				
			V（浅埋偏压）	V（深埋）	V（加强）	IV	IV加强
喷射混凝土	C25 混凝土	cm					
径向锚杆	直 径	mm					
	长 度	cm					
	锚杆布置	cm					
钢筋网	直径	mm					
	钢筋布置	cm					
钢 架	工字钢架	型号					
	格栅	型号					
	纵距	cm					
二次模注衬砌	C30 混凝土	cm					
	C30 钢筋混凝土	cm					
仰拱厚度	喷 C25 混凝土	cm					
	二次 C30 混凝土	cm					
	二次 C30 钢筋混凝土	cm					

4、隧道防排水

隧道防排水采取“防、排、截、堵相结合，因地制宜，综合治理”的原则，达到防水可靠、排水畅通、经济合理的目的。

洞口排水：根据洞口地形条件，隧道洞口设置洞顶截、排水沟、将洞口地表水排入自然沟谷。

明洞防排水：明洞衬砌外侧铺设双层土工布夹防水板、洞顶回填并设置粘土隔水层等措施进行防水；明洞衬砌拱脚设置纵向排水管，并通过横向引水管与深埋排水边沟相接。

洞身段防排水：初期支护与二次衬砌之间铺设由防水板与土工布（一膜一布）组成的防水层，在沉降缝设置中埋式橡胶止水带和背贴式止水带，二次衬砌混凝土抗渗等级不低于 S8。采用环向排水盲沟将围岩水引至拱脚，排入衬砌背后边墙脚设置的纵向排水管，纵向排水管与横向引水管相接，最终将水引到深埋排水边沟中排至洞外。为了增加排水系统的可维修性，设置纵向管检查井。

路面排水：在隧道路面两侧设置排水边沟排除路面污水。

5、隧道路面

隧道主洞两端洞口 400m 采用复合式路面外其余均采用混凝土路面，后在隧道提质升级过程中在原混凝土路面上加铺了沥青罩面。

洞口段复合式路面结构型式为：4cm 厚细粒式密级配沥青混凝土 AC-13+6cm 厚中粒式密级配沥青混凝土 AC-20+24cm 厚水泥混凝土+15~20cm 厚 C20 水泥混凝土基层+仰拱填筑或 10cm 厚 C15 水泥混凝土调平层。

中间段路面结构型式为：3cm 厚沥青混凝土（后期加铺）+26cm 厚水泥混凝土+15~20cm 厚 C20 水泥混凝土基层+仰拱填筑或 10cm 厚 C15 水泥混凝土调平层。

人行横通道路面为：15cm 厚水泥混凝土。

车行横通道路面为：20cm 厚水泥混凝土面层+10cm 厚 C15 水泥混凝土调平层（无仰拱段设置）。

E.1.4 历年检查和维修情况

通过调查 XXX 隧道 2023 年土建结构技术状况评定为 2 类（72.50），2024 年土建结构技术状况评定为 3 类（68.00），2025 年土建结构评定为 3 类（66.00）。

通过调查管养单位委托专业养护公司对 XXX 隧道实施专业化养护，近年来主要实施工作为清洁维护及小修保养工作，未实施专项养护工程。

E.2 检查评定依据

E.2.1 检测依据

- (1) 《公路隧道设计规范 第一册 土建工程》（JTG 3370.1-2018）；
- (2) 《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》（JTG D70/2-2014）；
- (3) 《公路隧道养护技术规范》（JTG H12-2015）；
- (4) 《公路养护技术标准》（JTG 5110—2023）；
- (5) 《公路技术状况评定标准》（JTG 5210-2018）；
- (6) 《公路工程技术标准》（JTG B01—2014）；
- (7) 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017）；
- (8) 《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》（TB 10223-2004/ J341-2004）；
- (9) 《公路养护安全作业规程》（JTG H30-2015）；
- (10) 隧道相关施工图、竣工图纸、运营养护资料等；
- (11) 业主为检测工作下发的有关标准、要求和通知、规定等。

E.2.2 评定依据

- (1) 《公路隧道施工技术规范》（JTG/T 3660-2020）；
- (2) 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》（JTG F80/1-2017）；
- (3) 隧道设计施工文件。

E.3 检查内容及方法

E.3.1 构件编号规则

为准确地对隧道各部位和病害进行定位描述，便于统一检查记录，作以下规定：

(1) 隧道上下行方向说明

按照行车方向区分，车辆由××（地点）行进至××（地点）方向为上行方向；车辆由××（地点）行进至××（地点）方向为下行方向。

(2) 隧道洞内左右侧说明

隧道洞内左右侧按照车辆行进方向确定，沿车辆行进方向，左手为左侧，右手为右侧。

E.3.2 检查内容

按照委托方要求，本次隧道专项检查范围为隧道 KX+XXX~KX+XXX，具体检测内容见下表。

条文说明

隧道专项检查内容宜采用列表形式。示例如下：

表 E.3.2-1 ××隧道专项检查内容

序号	检测对象	检测项目
1	初期支护	内部缺陷、钢架数量及分布
2	二次衬砌	厚度、钢筋设置情况、内部缺陷
3	隧底结构层	厚度、结构层内部缺陷
4	内轮廓检查	隧道衬砌内轮廓净空断面检查

E.3.3 检查方法

本次检测所采用的检测方法详见下表。

条文说明

隧道专项检查方法宜采用列表形式。示例如下：

表 E.3.3-1 ××隧道专项检测方法

序号	检测对象	检测项目	检测方法
1	初期支护	内部缺陷、钢架数量及分布	采用地质雷达 400MHz 天线，在隧道拱顶、拱腰、边墙共设置 5 测线
2	二次衬砌	厚度、钢筋设置情况、内部缺陷	采用地质雷达 400MHz 天线，在隧道拱顶、拱腰、边墙共设置 5 测线
3	隧底结构层	厚度、结构层内部缺陷	采用地质雷达 100MHz 天线，在隧道路面共布设 3 条测线
4	内轮廓检查	隧道衬砌内轮廓净空断面检查	采用激光断面仪，每 50m 布置一个断面

隧道二次衬砌、初期支护检测共布置 5 条测线，分别位于隧道拱顶、左右拱腰及左右边墙位置，测线布置情况如下图所示。

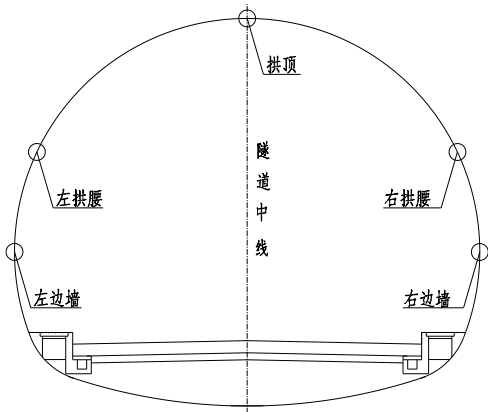


图 E.3.3-1 地质雷达检测测线布置图

隧道隧底结构层检测共布置 3 条测线，分别位于行车道中央和隧道中线位置，布置情况如下图所示。

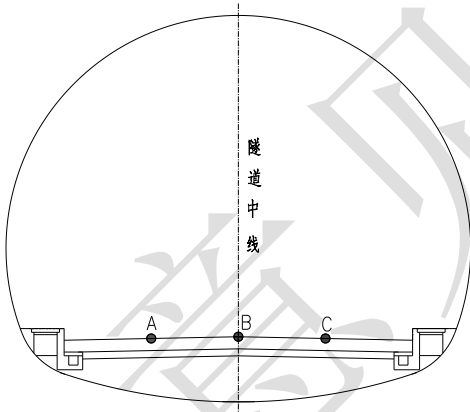


图 E.3.3-2 隧底结构层检测测线布置图

注：上图中测线代码与位置对应关系为：A→左行车道中线，B→隧道中线，C→右行车道中线。

采用 BJSD-3 型激光断面仪对隧道衬砌内净空尺寸进行检查，从而得出隧道衬砌的实际内轮廓与设计内轮廓的相互关系。



图 E.3.3-3 隧道激光断面仪检查

E.4 检测人员及仪器设备

E.4.1 检测人员

根据本项目检查内容，配备的主要检测人员见下表。

条文说明

隧道专项检查人员配置宜采用列表形式。示例如下：

表 E.4.1-1 项目投入人员一览表

序号	姓名	本组中职务	职称	主要工作内容
1	XX	项目负责人	高级工程师	统筹本项目隧道检测所有事宜
2	XX	现场负责人	高级工程师	现场负责
3	XX	隧道检测工程师	工程师	现场检查及数据处理
4	XX	隧道检测工程师	工程师	
5	XX	隧道检测人员	助理工程师	
6	XX	隧道检测人员	助理工程师	
7	XX	安全员	工程师	现场检查及 现场安全保障

E.4.2 仪器设备

根据本项目检查内容，配备的主要仪器设备见下表。

条文说明

隧道专项检查仪器设备配置宜采用列表形式。示例如下：

表 E.4.2-1 仪器设备及检查内容

序号	设备名称	功能	规格型号	仪器编号	数量	溯源有效期至	设备状态
1	地质雷达	衬砌检查	XX-XX	XX-XX	1 台	X 年 X 月 X 日	合格
2	激光断面仪	断面检查	XX-XX	XX-XX	1 台	X 年 X 月 X	合格
3	钢卷尺	长度测量	XX-XX	XX-XX	1 把	X 年 X 月 X 日	准用
4	激光测距仪	距离测量	XX-XX	XX-XX	1 台	X 年 X 月 X	合格

E.5 检查结果

E.5.1 初期支护钢架数量及分布

本次检测区段涉及 n 种衬砌结构，本次检测钢筋混凝土衬砌段由于钢筋信号干扰较

强，无法准确判别该段落钢拱架间距，因此本次检测仅分析素混凝土段初支钢架数量及分布情况。具体情况如下所示：

- (1) KX+XXX~KX+XXX (S3a) 钢拱架设计间距 100cm，实测间距 XXcm；
- (2) KX+XXX~KX+XXX (S4b) 钢拱架间距 120cm，实测间距 XXcm；

.....

检测结果见下表，典型雷达图像见下图。

条文说明

隧道钢架数量及分布情况宜采用列表形式。示例如下：

表 E.5.1-1 XX 隧道钢架数量及分布情况检测结果

序号	里程桩号	衬砌类型	钢架型号	设计间距 (mm) /榫数	实测 榫数	最大间距 (mm)	平均间距 (mm)
1							
2							

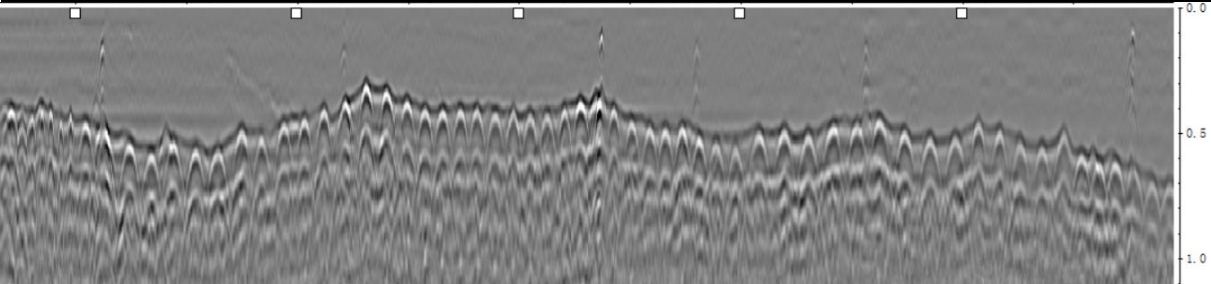


图 E.5.1-1 KX+XXX~KX+XXX 段初支钢架设置情况

E.5.2 二次衬砌厚度

采用地质雷达对××隧道下行方向（左洞）K+XXX~KX+XXX 段落二次衬砌厚度进行连续扫描检测，测线分别布设于隧道拱顶、左右拱腰及左右边墙位置。本次检测段落中共涉及2种衬砌类型，分别为：S3a(KX+XXX~KX+XXX)和 S4b(KX+XXX~KX+XXX)，设计厚度分别为 400mm 和 450mm。

按 5m 抽检间距统计检测段落内二次衬砌厚度结果，有效测点共计 XX 个，其中小于设计厚度的测点有 X 个，均位于隧道拱顶处。X 个测点中小于 1/2 设计厚度的测点有 X 个（KX+XXX，拱顶位置处空洞导致），各测点衬砌厚度检测结果详见附件 2-1。

E.5.3 衬砌内部缺陷

检测段落内共发现衬砌缺陷 3 处，其中：拱顶处二次衬砌内部空洞 1 处，拱顶二次衬砌与初期支护间脱空 2 处。检测结果见下表，典型地质雷达图像见下图。

条文说明

隧道衬砌内部缺陷情况宜采用列表形式。示例如下：

表 E.5.3-1 检测段落衬砌内部缺陷统计表

序号	起讫桩号	测线	缺陷类型	缺陷长度 (m)	缺陷范围 (深度/m)	二次衬砌厚度最 小值和最大值 (mm)
1	KX+XXX~KX+XXX	拱顶	初期支护与二次 衬砌之间的脱空	8.4	0.25~0.56	Max=462 Min=251
2	KX+XXX~KX+XXX	拱顶	二衬空洞	3.4	0.11~0.76	Max=389 Min=118
3	KX+XXX~KX+XXX	拱顶	初期支护与二次 衬砌之间的脱空	11.3	0.27~0.64	Max=488 Min=378

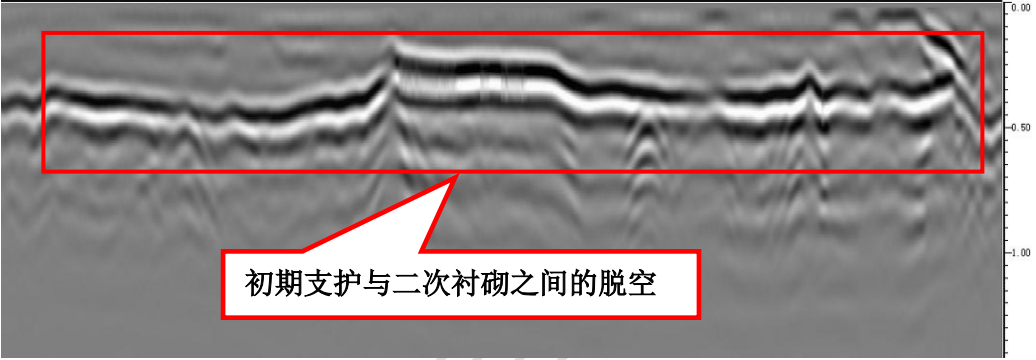


图 E.5.3-1 KX+XXX~KX+XXX 初期支护与二次衬砌之间的脱空（拱顶）

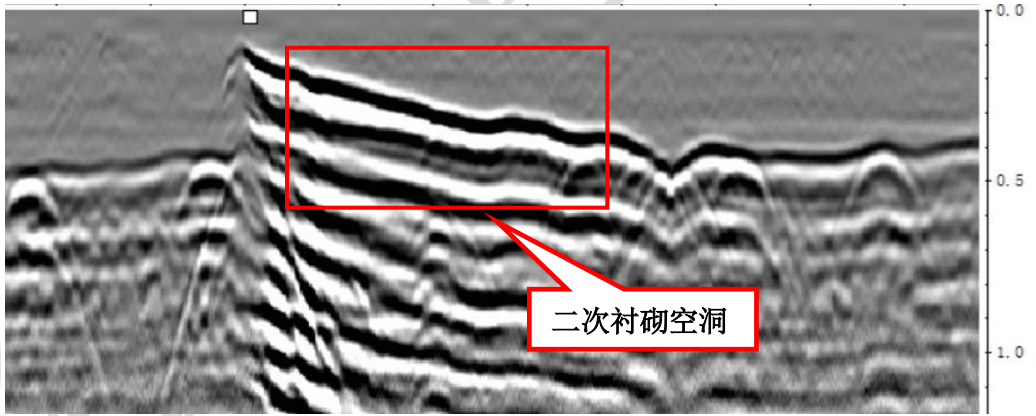


图 E.5.3-2 KX+XXX~KX+XXX 二衬空洞（拱顶）

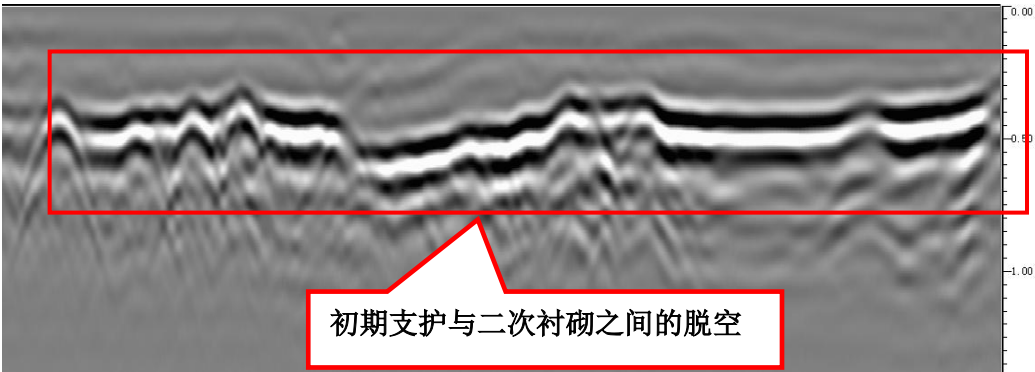


图 E.5.3-3 KX+XXX~KX+XXX 初期支护与二次衬砌之间的脱空（拱顶）

E.5.4 二次衬砌钢筋设置情况

本次检测段落共涉及 2 种衬砌类型，分别为：分别为：S3a（KX+XXX~KX+XXX）和 S4b（KX+XXX~KX+XXX），其中 S4b 类型二次衬砌为钢筋混凝土衬砌。二次衬砌钢筋设置情况检查结果见下表，典型雷达图像见下图。

条文说明

隧道二衬钢筋主筋数量及分布宜采用列表形式。示例如下：

表 E.5.4-1 KX+XXX~KX+XXX 段落二衬钢筋主筋数量及分布情况

序号	检测段落	衬砌类型	是否设置钢筋	第一层钢筋深度（mm）
1	KX+XXX~KX+XXX	S4b	是	35~45
2				

图 E.5.4-2 KX+XXX~KX+XXX 二衬钢筋设置情况（左边墙）

E.5.5 隧底结构层厚度及缺陷

E.5.5.1 隧底结构层厚度

采用地质雷达对隧道 KX+XXX~KX+XXX 段隧底结构层进行连续扫描检测，按 5m 抽检间距统计隧底初支钢架上方结构层厚度。检测结果表明，隧底结构层厚度抽检测点数共 XX 个，其中小于设计厚度的测点有 X 个，具体厚度情况详见附件。

E.5.5.2 隧底结构层缺陷

采用地质雷达对隧道 KX+XXX~KX+XXX 段隧底结构层进行连续扫描检测。检测结果表明，隧底结构层部分位置存在结构层层间脱空等情况，共计 X 处。统计结果详见

下表，典型缺陷图像见下图。

条文说明

隧道隧底结构层缺陷宜采用列表形式。示例如下：

表 E.5.5-1 检测段落隧底结构层缺陷统计表

序号	起讫桩号	测线代码	缺陷类型	缺陷长度 (m)	缺陷范围 (深度/m)
1	KX+XXX~KX+XXX	A	隧底结构层层间脱空	7.2	1.4~1.7
2	KX+XXX~KX+XXX	A	隧底结构层层间脱空	5.3	1.2~1.6

注：测线代码与测线位置对应关系：A→左行车道中线，B→隧道中线，C→右行车道中线。

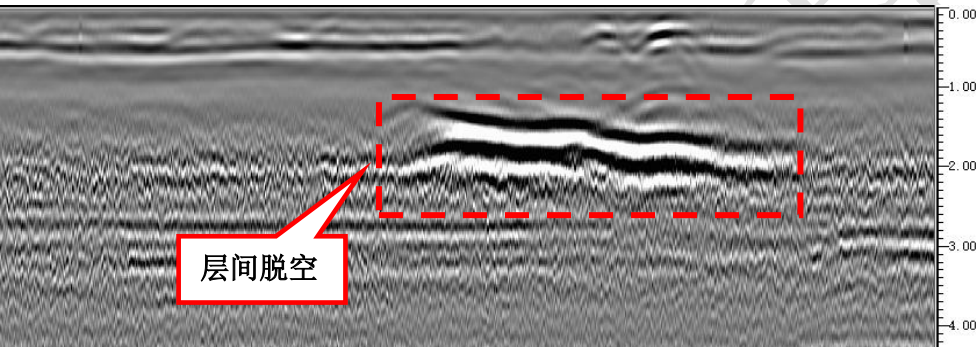


图 5.5-1 KX+XXX~KX+XXX 隧底结构层层间脱空（测线 A）

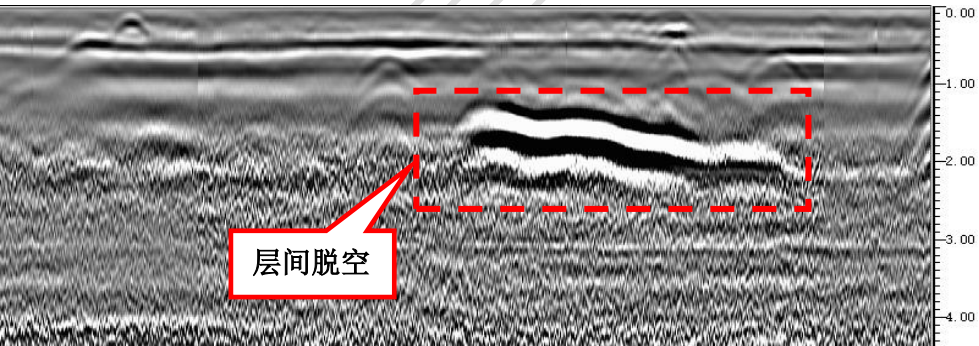


图 5.5-2 KX+XXX~KX+XXX 隧底结构层层间脱空（测线 A）

E.5.6 隧道净空断面检查

本次 XX 隧道净空断面检测沿隧道纵向约每 50m 抽取一个断面，共抽取了 XX 个断面进行检测。在隧道病害发展严重段落，检测断面进行加密；隧道病害一般段落，选取典型断面进行检测。

XX 隧道通过实测内轮廓与设计内轮廓相对比，内轮廓最大线性超出点位于 KX+XXX 处拱顶位置，超出值为 0.205m；内轮廓侵入较为严重的段落主要集中在 KX+XXX~KX+XXX 段、KX+XXX~KX+XXX 段及 KX+XXX~KX+XXX 段，其中最大线性侵入点位于 KX+XXX 处拱顶位置，侵入值为 0.333m，该断面侵限部位未发现结构

性开裂。经检测断面与原设计建筑限界对比，**隧道无侵入建筑限界情况**。具体检查结果详见附件。

条文说明

隧道断面检测结果宜采用列表形式。示例如下：

表 E.5.6-1 XX 隧道断面检测结果统计表

序号	检测桩号 (m)	实测内轮廓与原设计内轮廓对比		实测内轮廓与原设计建筑限界对比
		最大超出 (m)	最大侵入 (m)	
1	KX+XXX	0.122	0.167	未超限
2	KX+XXX	0.129	0.15	未超限
3	KX+XXX	0.139	0.207	未超限
4	KX+XXX	0.144	0.274	未超限
5	KX+XXX	0.155	0.333	未超限
6	KX+XXX	0.116	0.24	未超限
7	KX+XXX	0.131	0.284	未超限

E.6 结论及建议

E.6.1 检查结论

(1) 初支钢架数量及分布：素混凝土段 (KX+XXX~KX+XXX) 初支钢架为设计间距 XXcm 的 I18 工字钢，设计榀数 XX，实测榀数 XX，最大间距 XXcm，平均间距 XXcm。

(2) 二次衬砌厚度：按 5m 抽检间距统计检测段落内二次衬砌厚度结果，有效测点共计 XX 个，其中小于设计厚度的测点有 XX 个，均位于隧道拱顶处。XX 个测点中小于 1/2 设计厚度的测点有 XX 个 (KX+XXX，拱顶位置处空洞导致)。

(3) 衬砌内部缺陷：检测段落内共发现衬砌缺陷 XX 处，其中：二次衬砌内部缺陷 XX 处，为拱顶处空洞 (KX+XXX~KX+XXX)；二次衬砌与初期支护间缺陷 XX 处，均为拱顶处脱空 (KX+XXX~KX+XXX、KX+XXX~KX+XXX)。初期支护内部及背后未发现明显缺陷。

(4) 二次衬砌钢筋设置情况：KX+XXX~KX+XXX 二次衬砌未设置钢筋。

(5) 隧底结构层厚度：按 Xm 抽检间距统计检测段落内隧底结构层厚度结果，有效测点共计 XX 个，其中小于设计厚度的测点有 XX 个。

(6) 隧底结构层缺陷：隧底结构层存在 XX 处结构层层间脱空情况，均位于左行

车道中线下方（ $KX+XXX\sim KX+XXX$ 、 $KX+XXX\sim KX+XXX$ ）。

（7）隧道净空断面：隧道断面检查本次共抽检 XX 个断面，通过与设计文件对比，均未侵入隧道建筑限界，局部断面存在侵入设计内轮廓现象，隧道内轮廓侵入较为严重的段落主要集中在 $KX+XXX\sim KX+XXX$ 段、 $KX+XXX\sim KX+XXX$ 段及 $KX+XXX\sim KX+XXX$ 段，最大线性侵入点位于 $KX+XXX$ 处拱顶位置，侵入值为 0.333m。

E.6.2 主要病害原因分析

结合隧道地质、设计、施工、病害排查台账等相关文件对主要病害进行原因分析，具体如下：

1、地质因素

不均匀地层或软弱夹层导致沉降或承载力的变化，使得拱顶承受非均匀的压力。

2、支护因素

初期支护钢拱架安装不规范，落底不密实，拱脚存在松散虚渣现象，垫块不固定，易松动；不能起到承载的作用，导致二衬过早、过大的承担超比例荷载。

3、隧底因素

仰拱回填与仰拱同时浇筑，总体上评价隧底存在不符合原设计的情况，导致二衬不闭环，结构承载力减弱，造成边墙环向开裂，二衬拱顶受牵引拉裂。

4、衬砌质量因素

隧道衬砌存在不同程度的脱空、欠厚，这主要是由于隧道局部段落衬砌厚度不均匀，且局部段落存在明显的脱空、欠厚等缺陷，导致衬砌受力不均，产生应力集中而开裂。

E.6.3 维修处治建议

1、日常养护

（1）按照《公路隧道养护技术规范》（JTG H12—2015）要求，加强对其进行日常巡查和清洁维修工作，通过日常养护及时发现隧道病害，对于排水系统定期采用高压水进行清洗，防止病害进一步发展，对延长隧道的使用寿命有重要意义。

（2）对于本次专项检查出的二次衬砌欠厚、脱空严重段落，在衬砌加固处治前，建议管养单位加强养护观测，对重点段落必要时应予以标记。

2、衬砌结构补强

对于本次专项检查出的二次衬砌欠厚、脱空严重段落，在衬砌加固处治前，建议管养单位加强养护观测，加固处治建议采取以下措施：

（1）对于衬砌厚度 $<1/2$ 倍设计厚度的段落，建议采取套拱、局部换拱、全断面钢

板等措施进行衬砌加固，提高衬砌结构的承载能力；

（2）对于 $1/2$ 倍设计厚度 $<$ 衬砌厚度 $<2/3$ 倍设计厚度的段落，建议采取粘贴钢板（带）、嵌入钢拱架等措施进行衬砌加固，提高衬砌结构的承载能力；

（3）对于衬砌厚度 $>2/3$ 倍设计厚度，且衬砌表面无明显缺陷的段落，建议加强该段落的养护观测，必要时可采取进一步的措施进行加固。

3、隧底加固处治

（1）建议对于隧底存在结构层厚度不足、仰拱回填和仰拱同时浇筑情况，采取仰拱拆换，隧底地梁加固、钢管锁脚、钢管锁脚+隧底注浆等方式进行处治。

（2）对隧底结构层欠厚但路面未出现明显表观病害的段落，建议加强养护观测，如路面进一步发生开裂、沉陷等病害，应及时采取措施对隧底进行加固处治。

E.7 隧道展示图

隧道展示图应对隧道专项检查的病害进行展示，隧道展示图应符合《公路隧道养护技术规范》（JTG H12-2015）的有关规定。

图例： 0.1 裂缝及宽度（mm） 裂缝不密实 衬砌背后脱空		L=2.5m	
表观病害	左边墙		
	左拱腰		
	拱顶	L=12m, W=0.22mm	L=12m, W=0.75mm
	右拱腰		L=12m, W=0.37mm
	右边墙		
专项检查情况	左边墙衬砌缺陷		
	左拱腰衬砌缺陷		衬砌背后脱空L=10m
	拱顶衬砌缺陷		
	右拱腰衬砌缺陷		衬砌背后脱空L=9m
	右边墙衬砌缺陷		
	左边墙衬砌厚度		
	左拱腰衬砌厚度		
	拱顶衬砌厚度		
	右拱腰衬砌厚度		
	右边墙衬砌厚度		
	隧道底孔重芯情况		
	钢拱架间距	100cm	
原设计情况	钢拱架设计间距	100cm	
	变更情况		
	原设计支护型式	S3	S4-B
	围岩情况	隧道衬砌围岩为中风化砂页岩，岩体较破碎，岩体完整性差，围岩等级为Ⅲ级，[RQ]=355，地下主要衬砌渗漏水，且点状衬砌渗漏水，围岩时增大。 隧道衬砌围岩为中风化砂页岩，岩体较破碎，岩体完整性差，围岩等级为Ⅲ级，[RQ]=260，地下主要衬砌渗漏水，且点状衬砌渗漏水，围岩时增大。	
里程桩号		K0+000	010 020 030 040 050 060 070 080 090 100
XX隧道专项检查项目		隧道上行线病害展示图	
		XX公司	日期

E.8 附件

附件 E.8.1 隧道基本状况卡片

XX 隧道基本状况卡片					
A.行政识别数据					
隧道名称		路线等级		设计单位	
路线名称		中心桩号		施工单位	
隧道代码		建成年限		管养单位	
B.结构技术数据					
隧道长度		地层岩性		通风方式	
建筑限界		围岩级别		照明设施	
车道宽度		隧道纵坡		消防设施	
洞门型式		路面类型		监控设施	
断面型式		施工方法		供配电设施	
C.技术档案数据					
设计图纸		历次维修资料		交通量记录	
施工文件		定期检查报告		事故记录	
竣工图纸		专项检查报告		档案号	
验收文件		应急检查报告		建档时间	
D.交通标志、逃生通道与排水设施					
隧道信息标志		紧急电话指示标志		人行横通道	
开车灯标志		消防设备指示标志		车行横通道	
疏散指示标志		紧急停车带		限速标志	
轮廓标		洞口立面标记		洞内排水沟	
E.历次检查情况					
检查时间	检查类别	隧道洞别	土建结构	其他工程设施	
F.隧道照片					
洞口照片			洞内照片		

附件 E.8.2 检测结果统计表

表 E.8.2-1 二次衬砌厚度及钢架间距统计表

序号	桩号		部位	支护类型	设计厚度 (cm)	衬砌平均厚度 (cm)	钢拱架间距 (cm)
1	KX+XXX	KX+XXX	左边墙	S4b	40	41	100
			左拱腰			42	
			拱顶			48	
			右拱腰			53	
			右边墙			55	
2	KX+XXX	KX+XXX	左边墙	S4b	40	43	100
			左拱腰			48	
			拱顶			51	
			右拱腰			51	
			右边墙			50	
3	KX+XXX	KX+XXX	左边墙	S4b	40	42	100
			左拱腰			45	
			拱顶			48	
			右拱腰			54	
			右边墙			46	
4	KX+XXX	KX+XXX	左边墙	S4b	40	43	100
			左拱腰			47	
			拱顶			49	
			右拱腰			47	
			右边墙			48	
5	KX+XXX	KX+XXX	左边墙	S4b	40	40	100
			左拱腰			49	
			拱顶			52	
			右拱腰			49	
			右边墙			47	

表 E.8.2-2 隧底结构层厚度统计表

序号	里程桩号	测线代码					
		A		B		C	
		设计厚度 (mm)	实测厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	实测厚度 (mm)	设计厚度 (mm)	实测厚度 (mm)
1	KX+XXX						
2	KX+XXX						
3	KX+XXX						
4	KX+XXX						
5	KX+XXX						
6	KX+XXX						
7	KX+XXX						

附件 E.8.3 现场工作照

	
衬砌内轮廓断面检查	
	
隧道地质雷达检测	
XX 检测	

附录 F 地质雷达检测法

F.0.1 地质雷达检测法适用的检测范围包括：

- 1 初期支护：厚度、内部空洞及不密实区域、钢拱架分布等。
- 2 二次衬砌：厚度、内部空洞及不密实区域、钢筋、预埋管件分布等。
- 3 仰拱：仰拱厚度及回填密实性。

F.0.2 地质雷达主机的技术指标应包括下列内容：

- 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 采样间隔一般不大于 0.2ns。
- 5 信号叠加次数可选择或自动叠加。
- 6 数据的触发和采集模式为距离/时间/手动。
- 7 具有点测与连续测量功能。
- 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。

F.0.3 地质雷达天线的选择应符合下列规定：

表 F.1 公路隧道地质雷达天线参照表

检测内容	天线选用
二次衬砌（厚度、内部空洞及不密实区域、钢筋、预埋管件分布等）	宜选用 400MHz~900MHz 天线
仰拱及回填层厚度、密实性	宜选用 150MHz~400MHz 天线

注：在保障探测深度的前提下，为提高检测精度，尽量选择高频天线。

F.0.4 现场勘察与准备：

- 1 检测前应对隧道待测位置进行现场勘察，了解检测作业条件。
- 2 收集资料，了解施工过程中出现的地质灾害情况和处置措施，并记录其准确位置。
- 3 标记里程桩号，为保证地质雷达图像上各测点的位置与实际检测里程的位置相对应，标记间距宜为 5~10m，并每隔 100m 进行一次距离校准；当天线对齐某一标记时，向仪器输入标记信号，采用时间采集模式时应尽量使天线匀速移动，保证数据信号不会因速度不均造成畸变。
- 4 记录隧道车行横洞、人行横洞、电缆位置，统计隧底积水段落，对衬砌表面潮湿

或有凝结水珠的部位进行统计，记录明显病害的位置和类型。

5 确定隧道高度，搭建检测台车，台车检测架上面的护栏须超过人的腰部高度，可采用带侧耳式检测架，即主检测架区域两侧添加两个小平台，检测拱腰时人员站在该侧耳位置。

6 查明工作范围内是否存在如电线等对雷达检测产生影响的电干扰源。

F.0.5 介质参数的标定应符合下列规定：

1 检测前应对支护（衬砌）混凝土的介电常数或电磁波速做现场标定，且每座隧道不应少于 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。对于特长隧道，应增加标定点数。

2 标定方法包括：钻孔实测；在已知厚度部位或材料与隧道相同的其他预埋件上测量；在洞口或洞内避车洞处使用双天线直达波法测量。

3 求取参数时应具备的条件：标定目标体的度不宜小于 15cm，且度已知；标定记录中界面反射信号应清晰、准确。

4 标定结果应按式（F.0.5-1）或式（F.0.5-2）计算：

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \quad (\text{F.0.5-1})$$

$$\nu = \frac{2d}{t} \times 10^9 \quad (\text{F.0.5-2})$$

式中： ε_r ——相对介电常数；

ν ——电磁波速（m/s）；

t ——双程旅行时间（ns）；

d ——标定目标物的厚度（m）。

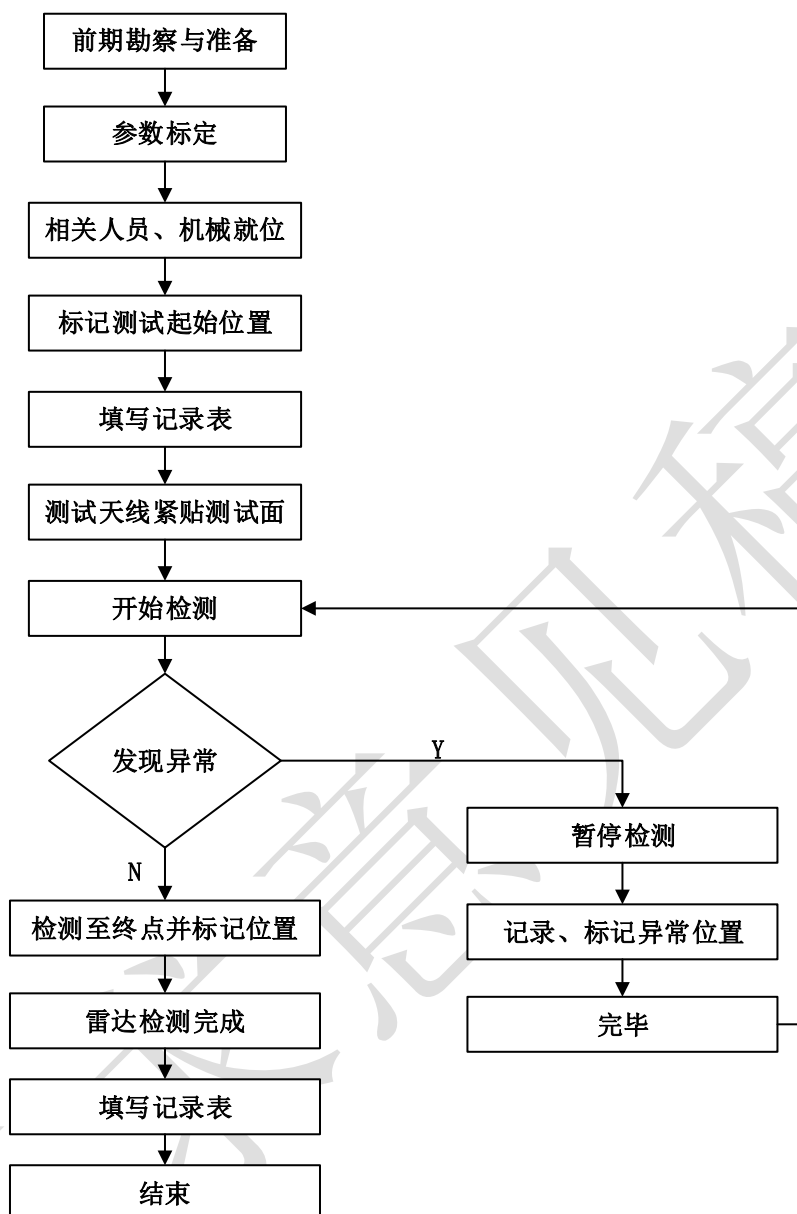
F.0.6 地质雷达检测现场操作流程：

图 F.0.6 现场检查流程图

F.0.7 仪器操作应符合下列规定：

- 1 检测人员应事先经过培训，了解仪器性能及工作原理，并且具备一定的图像识别经验后，才可以进行仪器操作。
- 2 检测前应正确连接雷达系统，确保其处于正常连接状态，并在检测前进行试运行，确保主机、天线及输入输出设备运行正常。
- 3 检测前应在支护（衬砌）表面准确标记隧道里程桩号。
- 4 检测（采集雷达图像）时，应确保天线与支护（衬砌）表面密贴（空气耦合天线除外）。

- 5 检测（采集雷达图像）时，天线移动速度应平稳、均匀，移动速度宜为 3~5km/h。
- 6 检测记录应包括测线位置、编号、天线移动方向、标记间隔以及天线类型等。
- 7 当需要分段检测时，相邻检测段接头重合长度不应小于 1m。
- 8 应随时记录可能对检测产生电磁影响的物体（如渗水、电缆、铁架及预埋管件等）及其位置。
- 9 检测过程中应严格遵守相关的安全操作规定。

F.0.8 数据处理应符合下列规定：

- 1 数据处理前应检查原始数据是否完整，信号是否清晰，里程记录是否正确。
- 2 应使用正式认证的软件或经过鉴定合格的软件进行数据处理与解释。
- 3 数据处理过程中应选择正确的滤波方式，从而根据数据图像对隧道衬砌质量作出正确的分析与解释。

F.0.9 数据解释应符合下列规定：

- 1 雷达数据解释时，应根据现场记录，分析可能存在干扰的预埋管件等刚性构件的位置，准确区分衬砌内部缺陷异常与预埋管件异常。
- 2 雷达数据解释完后，对有异常的部位应现场钻孔验证。

F.0.10 衬砌背部回填密实度的主要判释特征应符合下列规定：

- 1 密实：反射信号弱，图像均一且反射界面不明显。
- 2 不密实：反射信号强，图像变化杂乱，同向轴不连续。
- 3 脱空：反射信号强，图像呈连续的扁平状且反射界面明显。
- 4 空洞：反射信号强，图像呈弧形且反射界面明显，下部仍有多重反射界面信号。

F.0.11 衬砌内部钢架、钢筋、预埋管件的分布主要判释特征应符合下列规定：

- 1 单层钢筋：反射信号强，图像呈连续的小双曲线形。
- 2 双层钢筋：在衬砌不同深度处出现连续小双曲线形强反射信号。
- 3 型钢钢架：分散的月牙状强反射信号。
- 4 格栅钢架：分散的成对小双曲线形强反射信号。

附录 J 隧道部位划分

J.0.1 隧道主洞衬砌横断面中边墙、拱腰、拱顶三个部位可按图 J.0.1 划分。

- 1 拱顶范围：建筑限界高度以上部位的衬砌范围；
- 2 左拱腰范围：左侧电缆槽盖板顶标高以上 2.5m 位置至隧道建筑限界高度以下的衬砌范围；
- 3 右拱腰范围：右侧电缆槽盖板顶标高以上 2.5m 位置至隧道建筑限界高度以下的衬砌范围；
- 4 左边墙范围：左侧电缆槽盖板顶标高位置至以上 2.5m 衬砌范围；
- 5 右边墙范围：右侧电缆槽盖板顶标高位置至以上 2.5m 衬砌范围。

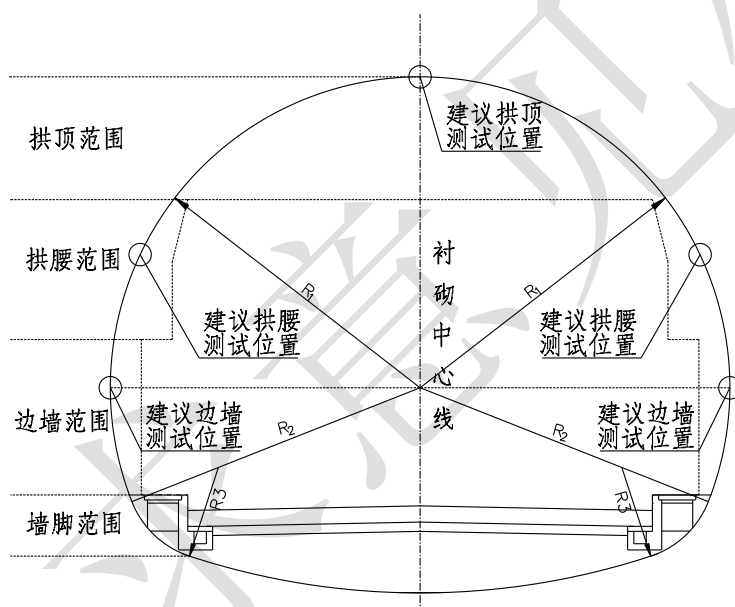


图 J.0.1 主洞衬砌隧道部位划分及雷达建议测试位置

J.0.2 隧道横通道横断面中边墙、拱顶两个部位可按图 J.0.2 划分。

- 1 拱部范围：建筑限界高度以上部位的衬砌范围；
- 2 边墙范围：建筑限界高度以下部位的衬砌范围。

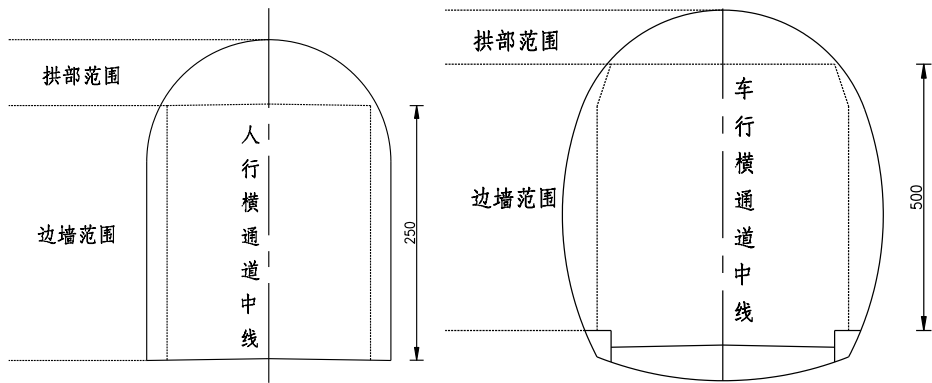


图 J.0.2 隧道横通道横断面部位划分

J.0.3 隧道纵断面中上下行线、左右侧、横通道编号可按图 J.0.3 划分。

- 1 隧道按路线方向区分隧道上、下行及洞内左、右侧。
- 2 横通道与隧道主洞里程增大方向的交叉口位置为横通道桩号零点，按里程增大方向分左右侧。

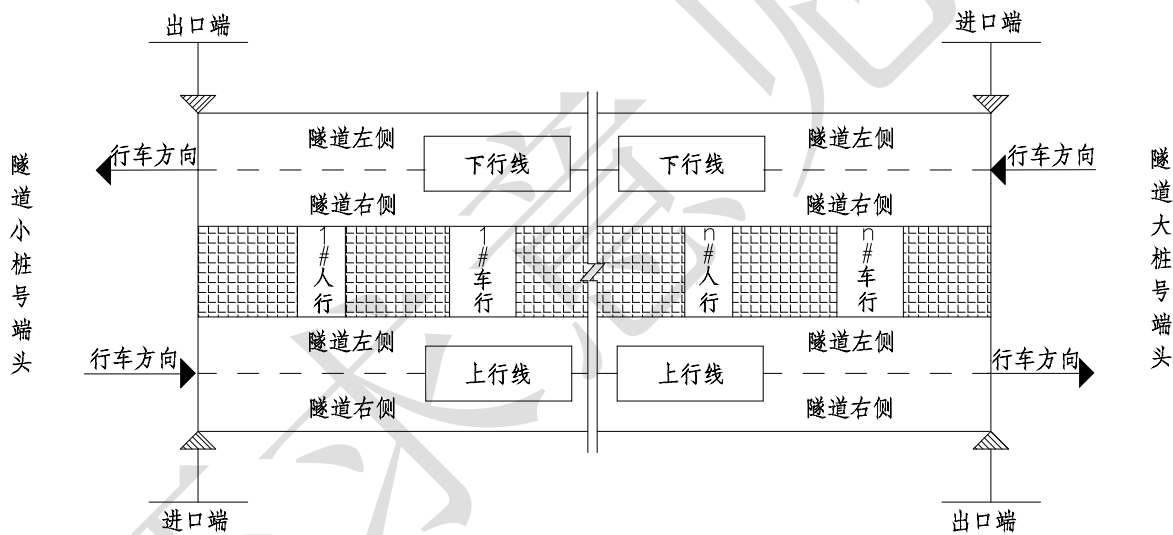


图 J.0.3 隧道纵断面中上下行线、左右侧、横通道编号划分

附录 H 半电池电位法

H.1 一般规定

H.1.1 钢筋锈蚀状况检测前应使用钢筋探测仪探测并确定钢筋位置。

H.1.2 钢筋锈蚀应采用钢筋锈蚀检测仪检测。

H.1.3 钢筋锈蚀检测仪由铜-硫酸铜半电池、电压仪和导线组成。

H.2 钢筋锈蚀检测仪参数要求

H.2.1 半电池的电连接垫应预先浸湿，多孔塞和混凝土构件表面应形成电通路。

H.2.2 电压仪应具有采集、显示和存储数据的功能，满量程不宜小于 1000mV。在满量程范围内的测试允许误差为+3%。

H.2.3 连接电压仪与混凝土中钢筋的导线宜为铜导线，导线长度不宜超过 150m、截面积宜大于 0.75mm^2 ；在使用长度内因电阻干扰所产生的测试回路电压降不应大于 0.1mV。

H.2.4 钢筋锈蚀检测仪保养、维护与校准应符合下列规定：

- 1 仪器使用后应及时清洗刚性管、铜棒和多孔塞，并应密闭盖好多孔塞。
- 2 铜棒可采用稀释的盐酸溶液擦洗，并用蒸馏水清洗干净，并不得用钢毛刷擦洗铜棒和刚性管。
- 3 硫酸铜溶液室温 $22^{\circ}\text{C}+1^{\circ}\text{C}$ 时，铜-硫酸铜电极与甘汞电极之间的电位差应满足 $68\text{mV}\pm 10\text{mV}$ 。

H.3 检测方式与工作要求

H.3.1 测区应能代表不同环境条件和不同锈蚀外观表征，每种条件的测区数量不宜少于 3 个，测区面积不宜大于 $5\text{m}\times 5\text{m}$ ，各测区应编号。

H.3.2 测区应采用矩阵式（行列）布置测点，宜用 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ 、 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ 或 $200\text{mm}\times 100\text{mm}$ 划分网格，网格节点为电位测点，测点数不宜少于 20 个。

H.3.3 测区不应覆盖衬砌施工缝，测点与施工缝边缘距离宜大于 100mm。

H.3.4 测点处混凝土表面应平整、清洁，无绝缘涂层介质。

H.3.5 在与测区同模板衬砌混凝土中应剔凿出钢筋作为连接钢筋（钢筋应无锈迹、污物）连接钢筋与测点处钢筋应连通，导线与连接钢筋应有良好的电连接。

H.3.6 测点读数应符合下列规定：

- 1 电位读数时，电位变动不得超过 2mV。

- 2 同一测点相同半电池重复 2 次读数差异不得超过 10mV。
- 3 同一测点不同半电池重复读数差异不得超过 20mV。

H.3.7 检测环境温度应在 22℃+5℃之内。当不满足时，电位值应按式（H.3.7-1）和式（H.3.7-2）的规定进行修正。

当温度 $T \geq 27^{\circ}\text{C}$ 时，

$$V = 0.9 \times (T - 27) + V_R \quad (\text{H.3.7-1})$$

当温度 $T \leq 17^{\circ}\text{C}$ 时，

$$V = 0.9 \times (T - 17) + V_R \quad (\text{H.3.7-2})$$

式中：V--温度修正后电位值（mV），精确至 1mV；

V_R --温度修正前电位值（mV），精确至 1mV；

T--检测环境温度（℃），精确至 1℃；

0.9--系数（mV/℃）。

H.3.8 检测测区环境温度可采用温度计直接读取。

H.3.9 检测过程中应注意下列事项：

- 1 在测试过程中应保证整个测试系统有良好的电连接，包括导线与钢筋连接、导线与半电池连接、半电池与混凝土表面良好耦合等。
- 2 为使铜-硫酸铜电极与混凝土表面有较好的电接触，可在水中加适量的家用液态洗涤剂对被测表面进行润湿，减小接触电阻和电路电阻。
- 3 使用接触液后仍然无法得到稳定的电位差时，应分析是否电回路的电阻过大或附近存在连通的大地波动电流，在以上情况下不应使用半电池电位法。

本规程的用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

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

2 引用标准的用语采用下列写法：

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