

JTG

中华人民共和国行业标准

JTG/T -2021

公路隧道工程 现场测试技术规程

Technical Regulation for Field Test of Highway Tunnel Engineering

(征求意见稿)

2021-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

公路隧道工程现场测试技术规程

Regulation for Field Test of Highway Tunnel Engineering

JTG -2021

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：2021年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中华人民共和国交通运输部交便字〔2018〕254号《关于做好2019年度公路工程行业标准制修订项目准备工作的通知》，由招商局重庆交通科研设计院有限公司承担《公路隧道工程现场测试规程》制订工作。

随着我国公路网日渐形成，公路隧道建设的投资不断增加，建设进程大大加快，公路隧道里程快速增长，积累了丰富的现场测试经验。为合理、科学指导隧道现场测试、保障隧道建设质量，同时完善公路隧道技术标准体系，编写组通过对大量隧道施工现场的调研，与隧道建设管理部门、建设单位、现场测试机构的调研，以及资料调研等多种方式，对公路隧道工程的现场测试技术进行了总结，开展公路隧道工程现场测试技术的制订工作。

本规程由11章和2个附录构成，即：1 总则、2 主要术语与符号、3 现场取样、4 结构与安装尺寸、5 轮廓、6 厚度与平整度、7 强度、8 锚杆抗拔力、长度与注浆饱满度、9 排水系统畅通性与排水能力、10 焊缝密实性、11 灌灌质量与背部密实性、附录A 附录B。

本规范第1章由吴梦军起草，第2章由吴梦军、胡学兵起草，第3章由刘永华、丁浩起草，第4章由张琦、刘永华起草，第5章由刘秋卓、刘永华起草，第6章由郭鸿雁、漆贵荣起草，第7章由沈小俊、胡学兵起草，第8章由叶建虎、陈力华起草，第9章由刘国强、曹鹏起草，第10章由胡学兵、陈力华起草，第11章由刘学增、丁浩起草，附录由严孝平起草。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：刘秋卓（地址：重庆市南岸区学府大道33号，招商局重庆交通科研设计院有限公司，邮政编码：400067，电话：023-62653128，传真：023-62653128，电子邮箱：liuqiuzhuo@cmhk.com），以便修订时研用。

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

参编单位：重庆市交通规划与技术发展中心

同济大学

浙江省交通规划设计研究院有限公司

重庆交通建设（集团）有限责任公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

主 编： 吴梦军

主要参编人员：

主 审： 窦光武

参与审查人员：

参加人员：

征求意见稿

目 录

1	总 则.....	1
2	术语、符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	3
3	现 场 取 样.....	4
3.1	适用范围.....	4
3.2	仪器与材料技术要求.....	4
3.3	方法与步骤.....	4
3.4	数据处理.....	6
3.5	报 告.....	6
4	结构与安装尺寸.....	7
4.1	一般规定.....	7
4.2	尺量法.....	7
4.3	全站仪轴线测量.....	9
4.4	全站仪测钢架安装偏差.....	10
4.5	地质雷达法检测钢架间距.....	12
5	轮 廓.....	17
5.1	测距仪法测定轮廓.....	17
5.2	水准仪法测定轮廓.....	18
5.3	全站仪法测定轮廓.....	20
5.4	激光断面仪法测定轮廓.....	21
5.5	三维激光扫描仪法测定轮廓.....	23
6	厚度与平整度.....	27
6.1	尺量法检测衬砌混凝土厚度.....	27
6.2	凿孔法检测喷射混凝土厚度.....	28
6.3	钻芯法测定（支护）衬砌混凝土厚度.....	29
6.4	雷达法检测（支护）衬砌混凝土厚度.....	31
6.5	电磁法检测衬砌保护层厚度.....	36

6.6	两米直尺检测衬砌表面平整度.....	39
7	强 度.....	41
7.1	喷大板切割法测定喷射混凝土强度.....	41
7.2	凿方切割法测定喷射混凝土强度.....	43
7.3	取芯法测定混凝土强度.....	44
7.4	回弹法测试衬砌混凝土强度.....	48
7.5	超声-回弹综合法测定衬砌混凝土强度.....	53
8	锚杆抗拔力、长度与注浆饱满度.....	63
8.1	一般规定.....	63
8.2	拉拔仪测试锚杆拉拔力.....	63
8.3	无损检测仪测试锚杆长度与内部缺陷.....	65
9	排水系统畅通性与排水能力.....	73
9.1	CCTV 视频检测法测试排水系统畅通性.....	73
9.2	电磁式流量法测试隧道排水能力.....	73
10	焊缝密实性.....	76
10.1	目测法测试焊缝气密性.....	76
10.2	负压法测试焊缝气密性.....	77
10.3	充气法检测焊缝气密性.....	78
11	外观质量与背部密实性.....	81
11.1	裂缝探测仪-测试裂缝.....	81
11.2	人工法测试渗漏水.....	82
11.3	人工法测试剥落剥离.....	84
11.4	人工法测试表面缺陷.....	85
11.5	地质雷达测试背部密实性.....	86
11.6	车载式快速检测法-测试外观质量和断面轮廓.....	89
附录 A	现场测试记录表格.....	91
附录 B	隧道基本参数.....	104
本规范	用词用语说明.....	105

1 总则

1.0.1 为提升我国公路隧道建设和管理水平，提升公路隧道工程施工质量，规范和统一各类现场测试项目的技术要求，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于钻爆法为主要开挖手段的公路隧道土建工程的现场测试，不包含隧道路面测试、回填层测试等内容。

条文说明：隧道路面测试、回填层测试等的技术要求与一般路面一致，当需要开展隧道路面、回填层等测试时，现场测试可参照《公路路基路面现场测试规程》（JTG 3450）执行。

1.0.3 本规程测试方法规定的仪器设备应经计量技术机构检验合格，应保证结果准确可靠，仪器设备的操作应符合其产品使用要求。

1.0.4 本规程采用国家法定计量单位制。

1.0.5 公路隧道现场测试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。

征求意见稿

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 水泥混凝土强度 strength of cement concrete

水泥混凝土标准试件在规定条件夏养生后的抗压强度。

2.1.2 内轮廓 inner contour

隧道某种结构沿隧道横断面方向的内缘边线,包括隧道开挖内轮廓、初期支护内轮廓和二次衬砌内轮廓。

2.1.3 内轮廓宽度 width of inner contour

隧道内轮廓沿水平向的最大宽度。

2.1.4 轴线偏位 axis deviation

实际施工轴线偏差设计轴线的距离。

2.1.5 倾斜度 inclination

指初期支护内钢支撑或二次衬砌内环向主筋设置方向与隧道横断面之间的夹角。

2.1.6 注浆饱满度 grouting fullness

锚杆或超前支护注浆后,钻孔和杆(管)体外缘之间的注浆浆液体积与实际空隙体积的比值。

2.1.7 平整度 flatness

隧道衬砌表面相对于设计面的径向偏差。

2.1.8 错台 faulting

相邻非同次浇筑的二次衬砌表面在接缝处产生的相对径向位移。

2.1.9 外观质量 quality of appearance

隧道衬砌内空表面的施工质量,主要表现为衬砌表面的平整度、颜色、裂缝、蜂窝、麻面和气泡,以及施工缝之间的错台等。

2.2 符 号

征求意见稿

3 现场取样

3.1 适用范围

3.1.1 本方法适用于采用混凝土切割机现场切割制取喷射混凝土芯样或采用取芯钻机在现场钻取支护(衬砌)混凝土的代表性试样。

3.1.2 本方法适用于对初期支护喷射混凝土、衬砌混凝土、仰拱及填充层取样,以测定混凝土强度、厚度或质量缺陷。

3.1.3 本方法钻孔采取芯样的公称直径不宜小于骨料最大粒径的3倍,当采用小直径芯样试件时,公称直径不应小于70mm且不得小于骨料最大粒径的2倍。

3.2 仪器与材料技术要求

3.2.1 混凝土切割机:混凝土切割机由发动机或电力驱动,宜采用集成了翻转台的新型混凝土切割机。喷射混凝土大板试件可移动时,可采用电动碟锯机或马路切割机切割制取喷射混凝土强度试样。

3.2.2 取芯钻机:混凝土取芯钻机由发动机或电力驱动,钻头直径根据需要确定,宜为100mm,最大钻孔取芯深度不得小于400mm,并应配备淋水冷却装置。

3.2.3 盛样器(袋)或铁盘等。

3.2.4 试样标签。

3.2.5 其他:铁锤、螺丝刀、长度不小于30cm的钢锹、钢卷尺、直尺、量角器、毛刷、棉纱、粉笔、记号笔等。

3.3 方法与步骤

3.3.1 准备工作

- 1) 确定取芯段落。宜为一个循环作业段落、一定方量的混凝土段落,或按相关规范的规定选取一定长度的检查段落。
- 2) 按相关规范的规定确定取样的位置。
- 3) 将取样位置清扫干净。

- 4) 确保取样人员在取样位置工作安全。
- 5) 准备并确保相关仪器设备能正常运转。
- 6) 准备相关原始记录资料。
- 7) 收集设计及变更资料。

3.3.2 取样步骤

1) 在选取采样地点的喷射混凝土大板试样或混凝土结构表面，先用粉笔对钻孔位置作出桩号及部位标记。

2) 使用混凝土切割机切割制取喷射混凝土强度试块时，应先根据大板上拟制取芯样的数量，使用直尺、量角器、粉笔或记号笔等工具在喷射混凝土大板上对每一个芯样的边界作出标记，芯样边界离大板边缘距离不得小于 100mm，每个芯样高度、宽度及厚度等三个方向的尺寸均不得小于 120mm。

3) 使用钻孔取芯机钻取芯样时，先用钻机在取样地点垂直对准混凝土结构表面放下钻头，牢固安放钻机，使其在运转过程中不得移动，固定的方法应根据钻芯机的构造和施工现场具体情况确定。开放冷却水，启动发动机或电动机。将钻头缓慢靠近取芯结构物，待钻头在结构物表面刻出印痕后，即可均匀用力压住钻机，使得钻头逐步深入结构物内，待钻至结构物厚度的 3/4 时，即可停止取芯工作，慢慢回退钻头。待钻头全部退出后，即可使用铁锤和钢钎取出混凝土芯样。注意取出时不应损坏芯样，有效芯样长度不得小于芯样直径的 1.5 倍。

条文说明：本规程所涉及的现场取样主要为喷射混凝土和二次衬砌混凝土强度试验芯样，二次衬砌钢筋焊接质量取样参考《钢筋焊接的及验收规程》

（JGJ18-2018）执行。

4) 芯样不得破碎，将钻取的芯样用清水漂洗干净，妥善盛放于盛样器中，必要时用塑料袋封装。

5) 对钻孔的孔洞，待取样时孔洞内留下的水分干燥后，用同类型材料填补压实。

6) 现场切割混凝土或钻孔取芯时，应填写原始记录单。

7) 取样完毕后，应收拾好所有检测工具并清理现场，填写设备运行记录，必要时填写设备维护记录。

3.4 数据处理

每个试样均应填写样品标签，一式两份，一份粘贴在试样上，另一份作为记录备查，试样标签的示例如下图。

隧道名称:	_____
试样编号:	_____
试样部位:	桩号_____ 中线左 m 右 m
施工日期:	_____
取样日期:	_____
取样人:	_____
保管人:	_____

图 3.4-1 试样标签示例

3.5 报告

- 1) 取样报告应对芯样类型、数量、位置、状态等进行记录和说明。
- 2) 报告应附切割或钻孔取样工作照片，所有钻孔部位均应至少提供一张有效照片，照片中应同时包含位置标记信息及切割机或钻机信息。
- 3) 报告应附所有芯样照片。

4 结构与安装尺寸

4.1 一般规定

4.1.1 隧道分项结构的几何尺寸、隧道偏位、钢架间距等应根据现场几何尺寸测量结果进行评定。

4.1.2 几何尺寸现场测量在满足测量精度的前提下，宜优先选择效率高的测量方法，运营管理阶段的现场测量应尽可能减少对隧道运营的影响。

4.2 尺量法

4.2.1 适用范围

本方法适用于公路隧道行车道宽度、衬砌错台、防水层搭接长度、明洞每层回填层厚度、锚杆孔位、孔深及孔径、钢筋（钢架）间距、钢筋搭接长度、止水带偏离衬砌中线距离、止水带固定点间距等几何尺寸的现场检测，以提供公路隧道施工过程、交竣工验收使用。

4.2.2 仪器与材料技术要求

- 1) 长度量具：钢卷尺。使用的钢卷尺长度可根据检测结构物的尺寸选择合适的型号，刻度应读数清晰，无锈蚀，各部分配件及使用功能齐全。
- 2) 其他：粉笔、记号笔、喷漆等。

4.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 确定检测段落。根据相关规范的规定选取一定长度的检查段落。
- (2) 按相关规范的规定确定检测的位置，并做好标记。
- (3) 将检测位置清扫干净。
- (4) 确保检测人员在取样位置工作安全。
- (5) 准备并确保相关检测工具能正常使用。
- (6) 准备相关原始记录资料。

2) 测试步骤

- (1) 在现场标识明确准备开展尺检测量项目的分项结构的桩号和部位。
- (2) 使用钢卷尺对分项结构物尺寸进行检测,并对检测结果进行现场记录。
- (3) 检测时应根据检测参数的具体定义读取相关读数,钢卷尺读数起点与读数终点的基准一致,检测起点和终点均应使用粉笔作标记。
- (4) 检测时应控制钢卷尺的松弛度、倾斜度等参数。测量时钢卷尺应处于拉紧状态,且尺面应平整,不得扭曲。尺量方向应与检测参数保持平行状态。

条文说明:尺量法检测操作简单,但检测结果受人为因素影响较大。检测时应注意严格按照所检测参数的物理定义开展检测工作,同时注意控制卷尺的倾斜角度等影响因素,尽量减小检测误差。
- (5) 测试距离较大时,测量人员间应相互配合,一人拿住钢卷尺起始端头,一人拿住终点端头,必要时钢卷尺中间部位应增设人手,使得钢卷尺保持平整状态。
- (6) 现场测试时,应注意填写原始记录单。检测完毕后,应收集设计及变更资料,以便了解检测段落的实施参数。
- (7) 检测完毕后,应清理并收拾好所有检测工具,并填写设备运行记录,必要时填写设备维护记录。

4.2.4 数据处理

1) 以评定段落为单位列出桩号行车道宽度、错台尺寸、防水层搭接长度、明洞回填每层回填层厚度、锚杆孔位、孔深及孔径、钢筋(钢架)间距、钢筋搭接长度、止水带偏离衬砌中线距离、止水带固定点间距等的测定记录表,记录实测值或实测差值及规范或设计要求值或差值,并注明不符合规范或设计要求的断面或部位。

2) 对于需要计算偏差值的检测项目,测试报告中应报告实测值与设计值的差值,低于设计值为负,高于设计值为正。

4.2.5 报告

1) 采用尺量法对检测参数进行测试时,应依据相关规范、规程或设计文件的标准对检测参数进行合格评定,给出评定结论。

2) 尺量时应注意每处检测部位均应拍摄至少一张清晰的标准现场工作照片，该照片中应同时包含尺量位置部位信息及钢卷尺读数信息。检测范围过大，同一张照片无法同时包含以上两种信息时，应单独拍摄钢卷尺终点读数信息。

4.3 全站仪轴线测量

4.3.1 适用范围

本方法适用于采用全站仪检测隧道轴线偏位。

4.3.2 仪器与材料技术要求

1) 测量仪器：全站仪、断面仪。使用的全站仪、断面仪精度应满足相关设计或规范的要求，全站仪、断面仪应检定合格且在检定有效期内。

2) 其他：三脚架、棱镜杆、棱镜、测钉、喷漆、记号笔等。

4.3.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 确定检测段落。按相关规范的规定选取一定长度的检查段落。
- (2) 按相关规范的规定确定检测的位置，可根据现场情况加密测量点。
- (3) 通过设计图纸，计算出隧道轴线设计坐标。
- (4) 确保检测人员在取样位置工作安全。
- (5) 准备并确保相关检测工具能正常使用。
- (6) 准备相关原始记录资料。

2) 测试步骤

- (1) 在现场标识明确准备开展全站仪轴线测量项目的桩号。
- (2) 从洞口基准点开始，将坐标引入洞内工作基点。
- (3) 工作基点需定期复核，复核结果应满足相关规范要求，并出具复核平差报告。
- (4) 以洞内工作基点为参照，使用全站仪对待检测断面的设计轴线坐标进行放样，并做好轴线放样点标记。
- (5) 将断面仪放置在隧道轴线放样点上，然后开展二衬的断面测量，记录实测值。
- (6) 将断面仪的测量结果导入相关软件，计算出隧道的实际轴线坐标。

(7) 将软件计算出的隧道实际轴线坐标与设计轴线坐标相比较, 计算出轴线偏差。

(8) 若不采用断面仪, 则用全站仪对隧道轴线放样点进行导线测量, 并将测量结果进行平差, 将平差后的坐标与设计轴线坐标相比较, 计算出轴线偏差。

4.3.4 数据处理

1) 将测量平差后的隧道实际轴线坐标与设计轴线坐标相比较, 计算出轴线偏差, 其值应按式(4.3.4-1)计算:

$$\Delta Y_i = Y_{li} - Y_{0i} \dots \dots \dots (4.3.4-1)$$

式中:

ΔY_i ——该断面轴线偏移距离 (m)

Y_{li} ——该断面轴线点实测 Y 坐标值 (m);

Y_{0i} ——该断面轴线点设计 Y 坐标值 (m)。

2) 隧道轴线偏位测量检测项目需要与设计值比较, 计算偏差值。测试报告中应报告实测值与设计值的差值, 注明不符合要求的断面或部位。

4.3.5 报告

1) 以评定段落为单位列出桩号轴线的测定记录表, 记录实测值。

2) 隧道轴线偏位测量检测项目需要与设计值比较, 计算偏差值。测试报告中应报告实测值与设计值的差值, 注明不符合要求的断面或部位。

3) 测试报告应写明测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。

4.4 全站仪测钢架安装偏差

4.4.1 适用范围

本方法适用于采用全站仪检测钢架安装偏差。

4.4.2 仪器与材料技术要求

1) 测量仪器: 全站仪。使用的全站仪精度应满足相关设计或规范的要求, 全站仪应检定合格且在检定有效期内。

2) 其他: 三脚架、棱镜杆、棱镜等。

4.4.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 确定检测检测段落。按相关规范的规定选取一定长度的检查段落。
- (2) 按相关规范的规定确定钢架检测的根数，可根据现场情况加密测量点。
- (3) 计算出钢架检测位置的设计坐标。
- (4) 确保检测人员在取样位置工作安全。
- (5) 准备并确保相关检测工具能正常使用。
- (6) 准备相关原始记录资料。

2) 测试步骤

- (1) 在现场标识明确准备开展全站仪测钢架安装偏差项目的桩号。
- (2) 从洞口基准点开始，将坐标引入洞内工作基点。
- (3) 工作基点需定期复核，复核结果应满足相关规范要求，并出具复核平差报告。
- (4) 以洞内工作基点为参照，使用全站仪的免棱镜模式或采用拱架上贴反射片的方式，测量出钢架的拱顶以及两侧拱脚坐标，并记录实测值。
- (5) 将钢架的拱顶坐标的测量结果与设计坐标相比较，计算偏差值，判断拱架安装位置的准确性。低于设计值为负，高于设计值为正。
- (6) 利用测量的钢架的两侧拱脚坐标，计算出两侧拱脚连线的距离，得到钢架拱脚连线中点位置。
- (7) 计算出钢架拱脚连线中点位置与设计中心位置在隧道横向上的偏移距离 ΔY ，以及设计的钢架拱顶与中点位置的高差 H 。利用公式 $\tan \alpha = \Delta Y/H$ ，计算出垂直度偏差 $\alpha = \arctan(\Delta Y/H)$ ，并将角度 α 与规范比较是否满足要求。

4.4.4 数据处理

1) 使用全站仪检测隧道钢架安装偏差时，将钢架的拱顶坐标的测量结果与设计坐标相比较，计算偏差值，判断拱架安装位置的准确性。低于设计值为负，高于设计值为正；利用测量的钢架的两侧拱脚坐标，计算出两侧拱脚连线的距离，得到钢架拱脚连线中点位置。

2) ΔY_i 为钢架拱脚连线实测中点位置与设计中心位置在隧道横向上的偏移距离， ΔH_i 为钢架的拱顶高程与设计高程之差， α_i 值为垂直度偏差，其值应按式（4.4.4-1）、式（4.4.4-3）计算：

$$\Delta Y_i = Y_{1i} - Y_{0i} \dots \dots \dots (4.4.4-1)$$

$$\Delta H_i = H_{1i} - H_{0i} \dots \dots \dots (4.4.4-2)$$

$$\alpha_i = \arctan (\Delta Y_i / \Delta H_i) \dots \dots \dots (4.4.4-3)$$

式中:

Y_{0i} ——该断面钢架拱脚连线设计中点位置 (m) ;

Y_{1i} ——该断面钢架拱脚连线实测中点位置 (m) ;

ΔY_i ——该断面钢架拱脚连线实测中点位置与设计中点位置在隧道横向上的偏移距离 (m) ;

H_{0i} ——该断面钢架拱顶设计高程 (m) ;

H_{1i} ——该断面钢架拱顶实测高程 (m) ;

ΔH_i ——该断面钢架拱顶实测高程与设计高程之差 (m) ;

α_i ——该断面拱架安装垂直度偏差 (°)。

3) 隧道钢架拱脚连线实测中点位置与设计中点位置在隧道横向上的偏移距离 ΔY_i 、钢架拱顶实测高程与设计高程之差 ΔH_i 和钢架安装垂直度偏差角 α_i 需要与规范比较, 计算偏差值。测试报告中应报告实测偏差值与规范值的差值, 注明不符合要求的钢架桩号。

4.4.5 报告

1) 以评定段落为单位列出钢架拱顶以及两侧拱脚的测定记录表, 记录实测值。

2) 钢架安装偏差检测项目需要与设计值比较, 计算偏差值。测试报告中应报告实测值与设计值的差值, 注明不符合要求的断面或部位。

3) 测试报告应写明测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。

4.5 地质雷达法检测钢架间距

4.5.1 适用范围

1) 本方法适用于隧道初期支护钢架间距检测。

2) 本方法的数据采集、传输、记录和数据分别由专用软件自动控制进行。

4.5.2 仪器与材料技术要求

1) 检测仪器: 地质雷达。对钢架间距进行测试的地质雷达须包含全套配件, 包括雷达主机、不低于 400MHz 频率的天线、不短于 15m 的电缆连接线、检测台架等。

2) 其他: 全站仪、粉笔、记号笔、喷漆、钢卷尺、激光测距仪、口哨等。

4.5.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 确定检测段落。根据工作要求和现场实际情况确定检查段落。

(2) 按以下方法进行检测测线布置: 1) 采用纵向连续测线。根据现场实际情况, 在能将天线全程连续密贴于初期支护表面的位置布置纵向测线。测线位置应避开预留洞室、锚杆或导管出露部位、洞内施工电缆架设位置及其他对雷达信号干扰较严重或走行不便的部位。

2) 现场检测条件良好, 干扰小、数据质量良好的情况下, 布置一条纵向连续测线即可, 若在某一部位上布置的测线位置信号质量较差, 则应在其他条件较好的位置再布置一条测线进行检测。

(3) 清理测线位置初期支护表面, 确保无钢筋网片、施工电缆、施工机具等可能干扰雷达信号的物品。

(4) 确保检测人员在测线位置工作安全。

(5) 准备并确保相关检测仪器设备能正常使用。

(6) 准备相关原始记录资料。

2) 测试步骤

(1) 使用全站仪标定出检测段落的起始点和终止点, 起始点和终止点的连线坡度与隧道纵坡一致, 同时应使得起始点和终止点的连线即为检测测线位置。

(2) 在检测起始点和终止点位置分别打入水泥钉, 在同一测线部位的两颗水泥钉上绑上拉紧的细绳索, 或沿绳索位置喷漆标记出测线位置。

(3) 在检测起始点和终止点位置用喷漆喷上断面里程桩号, 中间以整 5m 间距打上标记, 在整 10m 桩号位置用喷漆做好桩号标记。

(4) 连接地质雷达仪各配件, 检查无误后开机启动仪器, 将天线密贴于初期支护结构表面测线位置附近, 调试相关参数, 必要时移动天线进行调试。

(5) 仪器设备调试完成后, 应将天线移动至检测起始点外延伸约 2m 的位置, 由雷达主机操作人员发出开始检测的信号, 天线操作人员应以大约 5km/h 的速度将天线密贴于初期支护表面, 沿检测起始点与终止点间的细绳索移动。移动天线时应尽量保持匀速, 同时控制上下摆动的幅度不得超过 10cm。

(6) 雷达天线到达检测起始点、终止点、整 5m 及整 10m 桩号时, 雷达检测观察员应采用吹口哨或其他具有明显提醒作用的方法警示主机操作人员在采集软件输入相应标记, 标记应便于识别。

(7) 若单次检测纵向长度较长, 可将雷达主机及主机操作人员置于车辆上, 随雷达天线同向移动。

(8) 若单次检测纵向长度较长, 雷达天线操作人员中途需要休息时, 可采用在某一具有固定标记点位置暂停主机数据采集后继续在同一标记点开始检测的方式或重新设置参数后继续在同一标记点检测下一段落等方式完成检测工作。

(9) 整个检测过程中, 雷达天线与测线标记的相对位置应始终固定, 用以控制雷达天线上下摆动的幅度和范围。

(10) 检测时应注意每测线均应拍摄至少一张现场工作照片, 标准工作照片应清晰, 同一张照片中应包含测线起止点桩号信息及地质雷达操作信息。检测范围过大, 同一张照片无法同时包含以上两种信息时, 应单独拍摄地质雷达现场开机使用信息。

(11) 现场检测时, 应注意填写原始记录单。检测完毕后, 应收集设计及变更资料, 以便了解检测段落的实施参数。

(12) 检测完毕后, 应清理并收拾好地质雷达所有配件, 并填写设备运行记录, 必要时填写设备维护记录。

4.5.4 数据处理

1) 数据采集通常采用时间模式和距离模式。

(1) 时间模式: 是以时间为记录单位, 每一秒采集 N 个扫描数, 为自由模式。

(2) 距离模式: 是以距离为记录单位, 每一米采集 N 个扫描, 需要测距轮, 轮子转动才能采集。

(3) 原始数据采集：通过人工采用标尺或测量放线按固定长度进行桩号标记（一般 5~10 米），在记录过程中详细记录管线、管道或其它障碍物等信息。当通过时间模式采集数据时，遇到隧道内障碍物的阻挡停顿导致天线单点延长扫描数，在现场雷达原始记录表上做好相应记录且应先在处理原始数据距离归一化前选择删除无用数据，保留有效数据。当通过距离模式采集数据时，遇到隧道内障碍物的阻挡，测距轮相应的停止转动，停止采集，并在雷达原始记录表上做好相应记录。

2) 信号处理以简单、真实、有效为原则，按以下步骤进行。

(1) 设置数据路径：打开文件，设置颜色表格和颜色对比表。

(2) 数据编辑：通过现场采集记录，标点用户标记，删除无用数据，保留有效数据。

(3) 距离归一化：使每单位扫描数量相同。

(4) 添加里程信息：对应里程计量相应的钢架数量。

(5) 时间零点地面位置调整：将表面以上的信号截掉或隐藏，显示表面以下图像，可以通过延时和隐藏表面百分比实现。

(6) 设置介电常数：通过不同介质的介电常数差异显示深度剖面。

(7) 调整增益：目的提高振幅能量，信号整体增强（压制），信号局部放大（缩小）。

(8) 水平信号增强：通过滤波处理，提高信噪比，消除雪花高频噪音。

(9) 水平背景去除（背景去除会消除直达波，从而难以确定时间零点位置。为了保证数据的完整性，在数据采集时不做背景去除，在后处理中有必要时才做必要时做）：消除水平信号的干扰信号。

(10) 垂直滤波：首先做频谱分析，再做频率滤波。显示剖面频谱，设置高通滤波参数。

(11) 偏移归位。

(12) 反褶积处理：目的去除多次反射。

(13) 希尔伯特变换。

(14) 通道合并。

（15）界面划分：在完成所有资料编辑和资料处理，最后选择交互式解释。在数据窗口选择解释或者目标体解释。

3）探测结果，理论根据雷达波相，并结合现场详细记录进行综合分析。钢架在地质雷达图像显示以下明显的特点：

（1）工字钢钢架：单个的月牙形强反射信号，月牙波幅较宽，

（2）格栅钢架：连续的两个双曲线强反射信号。

4.5.5 报告

1）隧道初期支护钢架间距检测报告应列表说明检测段落钢支撑设计参数、检测日期、雷达及天线型号、相关规范及标准要求等信息，同时写明相同衬砌类型段落的钢架数量、间距平均值、与设计间距的差值、是否符合相关规范或标准要求等检测结果信息。

2）必要时测试报告可附录原始测试数据及典型雷达图像等。

3）测试报告应写明测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。

5 轮 廓

5.1 测距仪法测定轮廓

5.1.1 适用范围

本方法适用于公路隧道支护（衬砌）结构轮廓高度、轮廓宽度的测试。

5.1.2 仪器与材料技术要求

1) 激光测距仪主要技术参数包括：

- (1) 激光等级：2级激光；
- (2) 最小测量范围：0.05-25m；
- (3) 测量精度： $\pm 2\text{mm}$ ；
- (4) 激光类型：630~670nm, $<1\text{mW}$ ；
- (5) 操作温度范围： $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ；

2) 辅助工具：全站仪（水准仪）、喷漆或粉笔等位置标识工具。

5.1.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 先采用全站仪按一定间距放出用于轮廓高度测量的隧道拱顶最高点(H_u 点)、最高点正下方路面投影点(H_d 点)，以及用于轮廓宽度测量的隧道左右边墙两侧相应位置的水平测量点(W_l 点和 W_r 点)，并用喷漆或粉笔等位置标识工具对放样点进行标记。

(2) 使用全站仪或水准仪测量最高点正下方路面投影点 H_d 点位置的路面高程 H_1 。

(3) 其中，隧道拱顶最高点和最高点正下方路面投影点的连线必须垂直于隧道设计路面，隧道左右边墙两侧相应位置的水平测量点的连线必须水平于隧道设计路面并垂直于隧道纵向方向。

2) 测试步骤

(1) 测量轮廓高度时，将测距仪放置于路面 H_d 点位置，打开测距仪，将测距点投射于拱顶最高点 H_u 位置，待仪器距离读数稳定后，读取并记录显示数值 h 。

(2) 测量轮廓宽度时, 将测距仪放置于左边墙 W_l 点位置 (或右边墙 W_r 点位置), 打开测距仪, 将测距点投射于右边墙 W_r 点位置 (或左边墙 W_l 点位置), 待仪器距离读数稳定后, 读取并记录显示数值 w 。

条文说明: 当测量读取轮廓宽度时, 测距仪放置于左边墙投射于右边墙、或放置于右边墙投射于左边墙, 结果一致。

5.1.4 计算和分析

1) 计算轮廓高度检查结果时, 应用相应高程值 H_d 与 H_l 的高差来对 h 值进行修正, 得到最终的轮廓高度至 h_r , 并将 h_r 与相应设计值进行对比。 h_r 按式 (5.1.4-1) 计算:

$$h_r = h - (H_l - H_d) \dots\dots\dots (5.1.4-1)$$

2) 计算轮廓宽度检查结果时, 可直接用测量结果 w 作为最终的检查结果, 并与相应设计值进行对比。

5.1.5 报告

报告中应分段列表报告轮廓的高度与宽度等尺寸, 列表中包括检测断面桩号里程、设计高度或宽度、实测高度或宽度、设计值与实测值对比值以及标明合格与否。

5.2 水准仪法测定轮廓

5.2.1 适用范围

本方法适用于公路隧道支护 (衬砌) 结构轮廓高度的测试。

5.2.2 仪器与材料技术要求

1) 电子水准仪主要技术参数包括:

- (1) 1km 测距精度: $\leq 0.3\text{mm}$;
- (2) 最短视距: 不大于 0.6m。

2) 光学水准仪主要技术参数包括:

- (1) 1km 测距精度: $\leq 1.0\text{mm}$;
- (2) 最短视距: 不大于 1.6m。

3) 辅助工具: 全站仪、塔尺或铟钢尺、钢卷尺、锚固剂、挂钩、喷漆或粉笔等位置标识工具。

5.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 采用全站仪按一定间距确定隧道轮廓高度测量点, 并用喷漆或粉笔等位置标识工具对放样点进行标记。

(2) 轮廓高度测量点应在拱顶最高点位置选取 1 个位置布设。

(3) 测量点应垂直向上钻孔, 用锚固剂将带挂钩的测桩锚在钻孔内, 挂钩向下外露, 挂钩下方应与拱顶混凝土表面在同一水平面上。

条文说明: 应保证挂钩下方与混凝土表面在同一水平面上, 才能保证隧道轮廓高度测量结果的准确性。

(4) 需要在通视条件好、稳定不变形、监测期间不被扰动和破坏的坚硬岩石或构造物上布设基点, 基点应用全站仪测量其坐标值。

条文说明: 基点位置的选取应慎重, 如果基点位置发生了位移, 将对测量结果产生影响。

2) 测试步骤

(1) 在仪器架设安装、调平完成后, 先在后方基点立塔尺或铟钢尺、钢卷尺, 读取基点(后视)读数。

(2) 将钢卷尺(或塔尺)吊挂在拱顶挂钩上, 在钢卷尺(或塔尺)基本不摆动的状态下通过水准仪测取(前视)读数。

(3) 每次测取读数填入记录表, 多个拱顶测点尽可能使用同一基点, 并一站完成。

(4) 测读时须在连续 3 次测得数值基本一致后才能取算术平均值作为初读数, 否则应继续测读, 直至满足要求为止。

5.2.4 计算和分析

1) 设基点高程为 h_0 , 后视点读数为 A_1 , 前视点读数为 B_1 , 则轮廓高度 h_1 的计算如式(5.2.4-1)所示:

$$h_1 = h_0 + A_1 + B_1 \dots \dots \dots (5.2.4-1)$$

2) 对比轮廓高度检查结果时, 可用测量结果 h_1 与相应设计值进行对比。

5.2.5 报告

报告中应列表报告各检测断面轮廓的高度尺寸，列表中包括检测断面桩号里程、设计高度、实测高度、设计值与实测值对比值以及标明合格与否。

5.3 全站仪法测定轮廓

5.3.1 适用范围

本方法适用于公路隧道支护（衬砌）结构轮廓高度、轮廓宽度的测试。

5.3.2 仪器与材料技术要求

1) 全站仪主要技术参数包括：

- (1) 1km 测距精度：≤1.0mm；
- (2) 最短视距：不大于 0.50m；
- (3) 激光类型：630~670nm，<1mW；
- (4) 操作温度范围：0℃~40℃。

2) 辅助工具：反光片、喷漆或粉笔等位置标识工具。

5.3.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 采用全站仪按一定间距确定隧道轮廓高度及轮廓宽度测量点，并用喷漆或粉笔等位置标识工具对放样点进行标记。

(2) 轮廓高度测量点通常应在拱顶及两侧拱腰位置共选取 3 个位置布设。

(3) 轮廓宽度测量点通常应在两侧边墙各布设一个测点，两侧测量点的连线应水平于隧道设计路面并垂直于隧道纵向方向。

(4) 施工隧道的测量工作开展测量工作时，应在测点位置垂直向上钻孔，用锚固剂将测桩锚固在钻孔内，将反光片粘贴在测桩上。

条文说明：应保证反光片与混凝土表面在同一水平面上，才能保证隧道轮廓高度测量结果的准确性。

(5) 运营隧道在测量时可直接在测量点位置粘贴反光片。

(6) 需要在通视条件好、稳定不变形、监测期间不被扰动和破坏的坚硬岩石或构造物上布设基点，基点应用全站仪测量其坐标值。

2) 测试步骤

(1) 在仪器架设安装、调平完成后，应先使用全站仪测量后方基点，读取基点（后视）读数。

(2) 通过全站仪对准测量轮廓高度及宽度的反光片位置，测取各位置（前视）读数。

(3) 每次测取读数填入记录表，多个拱顶测点尽可能使用同一基点，并一站完成。

(4) 测读时须在连续 3 次测得数值基本一致后才能取算术平均值作为初读数，否则应继续测读，直至满足要求为止。

5.3.4 计算和分析

1) 计算轮廓高度时，设基点高程为 h_0 ，后视点读数为 A_1 ，前视点读数为 B_1 ，则轮廓高度 h_1 的计算如式 5.3.4-1 所示：

$$h_1=h_0+A_1+B_1\cdots\cdots(5.3.4-1)$$

2) 计算轮廓宽度时，通过计算两侧宽度测量点水平距离获得轮廓宽度。

3) 对比轮廓高度及轮廓宽度检查结果时，可用两者测量结果与相应设计值进行对比。

5.3.5 报告

报告中应列表报告各检测断面轮廓的高度尺寸和宽度尺寸，列表中包括检测断面桩号里程、设计高度或设计宽度、实测高度或实测、设计值与实测值对比值以及标明合格与否。

5.4 激光断面仪法测定轮廓

5.4.1 适用范围

本方法适用于公路隧道支护（衬砌）结构轮廓宽度、轮廓高度、及断面整体轮廓的测试。

5.4.2 仪器与材料技术要求

1) 隧道激光断面仪主要技术参数包括：

(1) 检测半径：1~45m。

(2) 检测点数：自动检测，一般为 35 个点/断面。

- (3) 测距精度：优于±1mm。
 - (4) 测角精度：优于 0.01°。
 - (5) 方位角范围：30° ~330°（仪器测头垂直向下为 0°），连续测量 60° ~300°。
 - (6) 手动测头转动方位角范围：0° ~350°。
 - (7) 定位测量方式：具有垂直向下激光定心标志、测距功能。
- 2) 辅助工具：全站仪（水准仪）、喷漆或粉笔等位置标识工具。

5.4.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 先采用全站仪按一定间距放出隧道中线点，并用喷漆或粉笔等位置标识工具对放样点进行标记。
- (2) 使用全站仪或水准仪测量被标识放样点的地面高程 H1。

2) 测试步骤

- (1) 将隧道激光断面仪设置在所需检测断面的隧道中线点上，安装并调整好仪器，使仪器对中。
- (2) 在仪器安装好并对中、调平、归零后，测量仪器高度 Z₁ 并记录（仪器高为相对地面的高度）。
- (3) 在操作过程中需要明确输入所检测断面的桩号、设置好所检测断面的起始和终止角度、所检测的断面包含的激光点个数等参数，并选在“等角测量”的方法进行测量。
- (4) 待仪器测头自动完成断面的检测后，将所测数据连同角度、斜距等辅助参数保存在文件中，在现场可以看到所测断面的轮廓线。

5.4.4 计算和分析

- 1) 在进行轮廓计算前应首先在计算机上编辑隧道设计轮廓线（标准断面曲线），并将检测断面曲线导入到计算机中。
- 2) 对导入的检测断面曲线进行编辑。因为检测时仪器架设在隧道中线点上，所以 X 坐标值为零，Z 值为相对于路面设计高程的仪器高度，其值应按式(5.4.4-1)计算：

$$Z=Z_1-(H_2-H_1) \dots\dots\dots(5.4.4-1)$$

式中：

Z_1 ——现场所测量到的仪器高（m）；

H_2 ——隧道该点的中线设计高程（m）；

H_1 ——隧道现场检测时的地面高程（m）。

3) 根据 Z 值的计算结果，完成当前检测断面的编辑，生成相关结果图表。

4) 根据结果图表中的标准断面曲线和检测断面曲线，判断隧道开挖断面是否存在超欠挖，超欠挖的部位及超欠挖最大值和面积，可以判断隧道断面是否侵入支护（衬砌）限界，在哪些部位存在超限，同时给出检测断面超限最大值、超限面积等信息。

5.4.5 报告

1) 对于初支轮廓检测，报告中应根据检测结果，列表报告各检测断面是否存在超挖或欠挖等情况。

2) 对于存在初支超欠挖情况的断面，应在列表中写明超欠挖情况存在的断面桩号、超欠挖在轮廓中的具体部位、超欠挖的具体数值等信息。

3) 对于衬砌轮廓检测，报告中应根据检测结果，列表报告各检测断面是否存在超限等情况。

4) 对于存在衬砌超限的断面，应在列表中写明超限情况存在的断面桩号、超限在轮廓中的具体部位、超限的具体数值等信息。

5) 轮廓检测报告中应后附各检测断面的轮廓断面图，并标明各轮廓断面图所在桩号位置。

5.5 三维激光扫描仪法测定轮廓

5.5.1 适用范围

本方法适用于公路隧道支护（衬砌）结构轮廓宽度、轮廓高度、断面整体轮廓，以及隧道超欠挖的测试。

5.5.2 仪器与材料技术要求

1) 三维激光扫描仪主要技术参数包括：

(1) 激光等级：1 级激光；

(2) 激光束发散角： $\leq 0.3\text{mrad}$ (1/e)；

- (3) 出设光束直径: 2~4mm (1/e) ;
- (4) 测程: 最小测量距离小于 0.6m, 最大测量距离大于 50m;
- (5) 最大视野范围: $\geq 300^\circ$ (纵向) / 360° (横向) ;
- (6) 步长: $\leq 0.010^\circ$ (纵向/横向) ;
- (7) 最小测量速度: 122000pts/秒;
- (8) 测量误差: $\leq 5\text{mm}$;
- (9) 角精度: ≤ 20 角秒 (竖直角/水平角) ;
- (10) 三维位置精度: 10m: $\leq 2\text{mm}$ /25m: $\leq 3.5\text{mm}$;
- (11) 工作温度: $-5\sim 40^\circ\text{C}$ 。

2) 辅助工具: 公共标靶 6 个、断面或测点位置标示 (棋盘格、反光片)、全站仪、喷漆或粉笔等位置标识工具。

5.5.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 使用隧道三维激光扫描仪开展断面轮廓测试工作, 可分为布设基点和
不布设基点两种方法情况。

(2) 使用隧道三维激光扫描仪开展超欠挖测试工作, 则须布设基点。

(3) 若采用布设基点的测量方法, 需在检测段落周边选择通视条件好、稳定不变形、监测期间不被扰动和破坏的位置布设一处基点, 使用全站仪测量出基点位置的具体坐标参数, 同时准备 6 个公共标靶, 用于两站扫描测量结果图像的拼接工作。

条文说明: 不同品牌的三维扫描仪所使用的用于拼接的公共标靶可能会有所不同, 但基于 3 点确定一个面的基本原理, 两站扫描工作结果拼接式所参照的公共标靶应为 3 个。

(4) 若采用不布设基点的测量方法, 需要使用全站仪确定待测轮廓断面, 同时用断面或测点位置标示 (棋盘格、反光片) 对断面或测点进行标定。使用该方法进行测试时, 应尽量将三维激光扫描仪假设在待测断面或测点位置下方的路面中线位置。

条文说明：基于激光测距原理，激光激发位置与待测位置距离越近，其测距精度相对越高。因此当应用三维激光扫描仪来进行单个断面轮廓测量时，将三维扫描仪放置于待测断面下方可让测量精度达到相对最高。

(5) 为提高测试精度，可将布设基点和不布设基点两种方法结合使用。

2) 测试步骤

(1) 将三维激光扫描仪架设在基点附近位置或待测断面/测点位置附近，同时在本站测量位置和上一站测量位置（如有）的中间（a 位置）放置 3 个公共标靶，同时在本站测量位置和下一站测量位置（b 位置）的中间放置 3 个公共标靶，公共标靶应尽量成三角形放置。

条文说明：三维激光扫描仪的整体成像来自于各站扫描数据的连续拼接，而两站数据拼接时需借助标靶进行图像的定位，因此当每站扫描工作开展时，应在其前后各放置 3 个（1 组）公共标靶，各用于该站数据与其前一站扫描数据的拼接、以及与其后一站数据的拼接。当每组公共标靶被前一站扫描和被后一站扫描时，其位置必须保证未被移动，才能保证数据拼接后整体结果坐标信息的准确性。

(2) 测量时，扫描仪距离待测基点、待测断面/测点、以及公共标靶的距离不宜超过 20m。

条文说明：受限于隧道内空气较为环境恶劣的特殊情况，激光的投射可能会受到空气中的漂浮物或颗粒物的影响，因此三维扫描结果较之室外开阔环境应用时较差。所以建议测量时，测量的有效数据使用距离应保证在 20m 以内，以保证测量结果的准确性。

(3) 在仪器安装好并调平后，开展测量工作，扫描过程中应有人看守公共标靶，避免工人触摸或误动。

(4) 待仪器测头自动完成断面的检测后，将数据进行储存，移动仪器至下一站测量位置，同时将 a 位置的 3 个公共标靶移动到此站位测量位置和下再一站测量位置的中间，成为 b 位置，上一站的 b 位置标靶自动成为此站位的 a 位置，并开展测量工作，依次循环，直至最后一站测量完成。

5.5.4 计算和分析

1) 将外业扫描获取的点云数据导入到数据处理软件中,进行点云数据预处理(滤波、去噪)操作,为后续操作做准备。

2) 在配准流程中,利用靶标拟合工具,对公共靶标进行拟合,提取出靶标中心在扫描仪坐标系中的三维坐标。

3) 靶标中心坐标提取完成后,就可以进行点云配准。若采用布设基点的测量方法,将用全站仪测得的基点坐标保存在TXT文件中,在配准时通过管理已知靶标导入全站仪坐标,可以将点云数据转换到控制坐标系中。如果布设的公共点较多,配准时就可以选择质量较好的公共点点进行点云配准。

4) 最后将配准后的点云数据坐标信息导出到TXT文件中,完成数据处理工作。

5.5.5 报告

1) 对于初支轮廓(超欠挖)检测,报告中应根据检测结果,列表报告各检测断面是否存在超挖或欠挖等情况。

2) 对于存在初支超欠挖情况的断面,应在列表中写明超欠挖情况存在的断面桩号、超欠挖在轮廓中的具体部位、超欠挖的具体数值等信息。

3) 对于衬砌轮廓检测,报告中应根据检测结果,列表报告各检测断面是否存在侵限等情况。

4) 对于存在衬砌侵限的断面,应在列表中写明侵限情况存在的断面桩号、侵限在轮廓中的具体部位、侵限的具体数值等信息。

5) 轮廓检测报告中应后附各检测断面的轮廓断面图,并标明各轮廓断面图所在桩号位置。

6 厚度与平整度

6.1 尺量法检测衬砌混凝土厚度

6.1.1 适用范围

本方法适用于公路隧道施工阶段二次衬砌厚度的测试。

6.1.2 仪器与材料技术要求

- 1) 量具：钢卷尺、钢板尺。
- 2) 其他：粉笔、记号笔、喷漆等。

6.1.3 方法与步骤

1) 准备工作。

(1) 在二次衬砌结构的边墙上准确恢复里程桩号，并进行标记。

(2) 根据有关施工规范或《公路工程质量检验评定标准（土建工程）》（JTGF80/1）要求，二次衬砌每 20 米选取 1 个待测定断面，宜布置在衬砌结构端头位置进行尺量法测定。

(3) 在选定的待测断面上标出测点位置，通常选取拱顶、左右拱腰以及左右边墙 5 个测点进行测定。

2) 测试步骤。

(1) 测定时宜按照一定的顺序依次测试，通常从左边墙测点开始至右边墙测点结束。

(2) 在选定的待测点位置用钢尺量取二次衬砌衬砌结构的厚度尺寸（内外表面间的距离），测量时钢尺应出垂直于结构内表面测点位置的切线方向。

(3) 厚度测定的同时须依次记录测试断面桩号、测点位置与测点部位厚度等。

6.1.4 数据处理

1) 对测试断面上所有测点部位的厚度测定值进行统计分析，计算获得测定厚度 \geq 设计厚度所占的比率，即为厚度合格率。

2) 计算小于设计厚度的测点的厚度测定值与设计厚度的比值。

6.1.5 报告

- 1) 报告应列表填写测试断面桩号、测点部位、测定厚度以及设计厚度等。
- 2) 报告应结论性的给出测试断面的衬砌厚度合格率与厚度小于 0.5 倍设计厚度的测点部位等。

条文说明：衬砌厚度是二次衬砌结构质量评定的关键指标，尺量法是一种普遍采用的简单易行的现场测定方法，本规程根据实际经验编写，受方法的限制，现场测定只能在施工完的二次衬砌端头进行。

6.2 凿孔法检测喷射混凝土厚度

6.2.1 适用范围

本方法适用于隧道喷射混凝土厚度的测试。

6.2.2 仪器与材料技术要求

- 1) 电钻、冲击钻、带直角钩的高强度铁丝。
- 2) 量具：钢卷尺、钢板尺。
- 3) 其他：记号笔、喷漆等。

6.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 在初期支护边墙上准确恢复里程桩号，并进行标记。
- (2) 根据有关施工规范或《公路工程质量检验评定标准(土建工程)》(JTG F80/1) 要求，喷射混凝土每 10 米选取 1 个待测定断面。

(3) 在选定的待测断面上从拱顶中线起每 3m 布置一个厚度测点，并标出测点位置。

2) 测试步骤

(1) 宜按照一定的顺序依次测试，通常从左边墙第一个测点开始至右边墙最后一个测点结束。

(2) 在选定的待测点位置用冲击钻或风钻进行钻孔，孔深至岩面，孔径应不小于 20mm。

(3) 用钢尺深入至钻孔孔底测定测点部位的喷射混凝土厚度。

(4) 厚度测定的同时须依次记录测试断面桩号、测点位置与测点部位厚度等。

6.2.4 数据处理

- 1) 计算测试断面内所有测点厚度测定值的平均值。
- 2) 对测试断面内所有测点部位的厚度测定值进行统计分析，计算获得测定厚度 \geq 设计厚度所占的比率，即为厚度合格率。
- 3) 计算小于设计厚度的测点的厚度测定值与设计厚度的比值。

6.2.5 报告

- 1) 报告应列表填写测试断面桩号、测点部位、测定厚度、设计厚度以及厚度合格率等。
- 2) 报告应结论性的给出测试断面厚度平均值、厚度合格率以及厚度小于 0.6 倍设计厚度的测点部位等。

条文说明：初期支护喷射混凝土厚度是初期支护质量评定的关键指标，凿孔法是一种普遍采用的简单易行的现场测定方法，本规程根据实际经验编写。

6.3 钻芯法测定（支护）衬砌混凝土厚度

6.3.1 适用范围

本方法适用于隧道初期支护、二次衬砌、仰拱和仰拱回填层厚度的测试。

6.3.2 仪器与材料技术要求

- 1) 混凝土取芯样钻机及钻头：钻头的标准直径为 $\phi 100\text{mm}$ ，对仰拱或者仰拱回填层材料有可能损坏事件时，可用 $\phi 150\text{mm}$ 的钻头，但钻孔深度必须达到层底。
- 2) 量尺：钢板尺，钢卷尺、卡尺。
- 3) 补孔材料：与检查部位相同的材料。
- 4) 其他：搪瓷盘、棉纱、喷漆、记号笔等。

6.3.3 方法与步骤

- 1) 准备工作
 - (1) 在（支护）衬砌结构上准确恢复里程桩号，并进行标记。
 - (2) 根据有关施工规范，随机取样决定取芯检测的位置，并进行标记。
- 2) 钻芯法测定喷射混凝土厚度的测试步骤

(1) 在喷射混凝土层选定的检测位置,按照本规程第三章的方法用混凝土取芯钻机进行钻孔取样,芯样直径应符合本章 6.2.2 条的相关要求。

(2) 仔细取出芯样,清除地面灰土,找出与喷射混凝土与围岩的分界面。

(3) 用钢板尺或卡尺沿圆周对称的十字方向四处量取表面至分界面的取其平均值,即为喷射混凝土层的厚度,精确至 1mm。

3) 钻芯法测定二次衬砌厚度的测试步骤

(1) 在二次衬砌选定的检测位置,按照本规程第三章的方法用混凝土取芯钻机进行钻孔取样,芯样直径应符合本章 6.2.2 条的相关要求。

(2) 仔细取出芯样,清除地面灰土,找出与二次衬砌混凝土与初期支护的分界面(通常为防水层)。

(3) 用钢板尺或卡尺沿圆周对称的十字方向四处量取表面至分界面的取其平均值,即为二次衬砌厚度,精确至 1mm。

4) 钻芯法测定仰拱厚度的测试步骤

(1) 在仰拱回填层表面选定的检测位置,按照本规程第三章的方法用混凝土取芯钻机进行钻孔取样,芯样直径应符合本章 6.2.2 条的相关要求,钻芯过程中如遇钢筋时,应在附近重新选点钻进取芯。

(2) 仔细取出芯样,清除地面灰土,找出仰拱与仰拱回填层以及围岩分界面。

(3) 用钢板尺或卡尺沿圆周对称的十字方向四处量取表面至分界面的取其平均值,即为仰拱厚度,精确至 1mm。

5) 钻芯测试完后,须用与取样层相同的材料填补钻孔,填补步骤为:

(1) 适当清理坑中的残留物,钻孔时留下的积水应用棉纱吸干。

(2) 按照相同配合比的材料填补孔洞,并用小锤压实,水泥混凝土中宜掺加水泥质量的 3~5%快凝早强剂。

(3) 填补孔洞时,宜比原层面略鼓出少许,用重锤击实平整。

6.3.4 数据处理

1) 喷射混凝土厚度

(1) 计算测试段落内所有测点厚度测定值的平均值。

(2) 对测试段落内所有测点部位的厚度测定值进行统计分析, 计算获得测定厚度 \geq 设计厚度所占的比率, 即为厚度合格率。

(3) 计算小于设计厚度的测点的厚度测定值与设计厚度的比值。

2) 二次衬砌与仰拱厚度

(1) 对测试段落上所有测点部位的厚度测定值进行统计分析, 计算获得测定厚度 \geq 设计厚度所占的比率, 即为厚度合格率。

(2) 计算小于设计厚度的测点的厚度测定值与设计厚度的比值。

6.3.5 报告

1) 喷射混凝土厚度

(1) 报告应列表填写测试断面桩号、测点部位、测定厚度、设计厚度以及厚度合格率等。

(2) 报告应结论性的给出测试断面厚度平均值、厚度合格率以及厚度小于0.6倍设计厚度的测点部位等。

2) 二次衬砌与仰拱厚度

(1) 报告应列表填写测试断面桩号、测点部位、测定厚度以及设计厚度等。

(2) 报告应结论性的给出测试断面的衬砌厚度合格率与厚度小于0.5倍设计厚度的测点部位等。

条文说明

衬砌厚度是二次衬砌结构质量评定的关键指标, 钻芯法是一种比较常见的现场测定方法, 本规程根据实际经验编写。

本方法属于破坏性试验, 在进行二衬厚度检测时极易破坏防水层, 导致防水层失效, 因此, 在实际实施工程应尽量采用无损的方法进行检测, 以免对结构或防水层造成损坏甚至留下隐患。

6.4 雷达法检测(支护)衬砌混凝土厚度

6.4.1 适用范围

1) 本方法适用于公路隧道初期支护、二次衬砌厚度的测试。

2) 本方法的数据采集、传输、记录和处理分别由专用软件自动控制进行。

6.4.2 仪器与材料技术要求

1) 地质雷达主机, 其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) 信号叠加次数可选择;
- (5) 采样间隔一般不大于 0.5ns;
- (6) 实时滤波功能可选择;
- (7) 具有点测和连续测量功能;
- (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。

2) 地质雷达天线, 其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 3m;
- (3) 垂直分辨率应高于 2cm。

3) 量尺: 皮尺、钢卷尺或激光测距仪。

4) 其他: 高空作业车、喷漆、记号笔等。

6.4.3 方法与步骤

1) 准备工作:

(1) 根据现场施工条件以及路面行车条件, 选取合适的检测段落。

(2) 在选取的检测段落内的(支护)衬砌结构上准确恢复里程桩号, 并进行标记, 标记间距宜 5~10m。

(3) 布置测线: 隧道施工过程质量检测应以纵向布线为主, 布线的位置应分布再隧道拱顶、左右拱腰、左右边墙各布 1 条, 检测中发现不合格地段应加密测线或测点。三车道及以上隧道应在拱顶部位增加 2 条测线。

(4) 介电常数标定:

a. 检测前应对衬砌混凝土的节点常数或电磁波速做现场标定, 且每座隧道应不少于 1 处, 每处实测不少于 3 次, 取平均值作为该隧道的介电常数或电磁波速。当隧道长度大于 3km、衬砌材料或含水量变化较大时, 应适当增加标定点数。

b. 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;
- ②在洞口或洞内避车洞使用双天线直达波法测量;
- ③钻孔实测。

c. 求取参数时应具备以下条件:

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

d. 标定结果应按式 (6.4.3-1)、式 (6.4.3-2) 计算:

$$\varepsilon_r = \left(\frac{0.3t}{2d} \right)^2 \dots\dots\dots (6.4.3-1)$$

$$\nu = \frac{2d}{t} \times 10^9 \dots\dots\dots (6.4.3-2)$$

式中:

- ε_r —相对介电常数;
- ν —电磁波速 (m/s);
- t —双程旅行时间;
- d —标定目标体厚度或距离。

e. 确定测量时窗:

测量时窗由下式确定:

$$\Delta T = \frac{2d\sqrt{\varepsilon_r}}{0.3} \cdot \alpha \dots\dots\dots (6.4.3-3)$$

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 (6.4.3-1)。

f. 确定扫描样点数:

扫描样点数由下式确定:

$$S = 2 \cdot \Delta T \cdot f \cdot K \times 10^{-3} \dots\dots\dots (6.4.3-4)$$

式中:

ΔT —时窗长度（ns）；

S —扫描样点数；

f —天线中心频率；

K —系数，一般取 6~10；

（5）确定扫描速度：

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；特殊地段或条件下不允许时可采用点测方式，测量间距不得大于 20cm。

2) 测试步骤：

（1）测量前应检查主机、天线以及运行设备，使之均处于正常状态；

（2）测量时应确保天线与衬砌表面密贴（空气耦合天线除外）；

（3）检测天线应移动平稳、速度均匀，移动速度宜为 3~5km/h；

（4）记录应包括记录测点号、方向、标记间隔以及天线类型等；

（5）当需要分段测量时，相邻测量段接头重复长度不应小于 1m；

（6）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；

（7）应准确标记测量位置。

6.4.4 数据处理

1) 原始数据处理前应回放检验，数据记录应完整、信号清晰、里程标记准确。不合格的原始数据不得进行处理与解释。

2) 数据处理与解释应使用正式认证软件或经鉴定合格软件。

3) 数据处理与解释可采用下列流程：

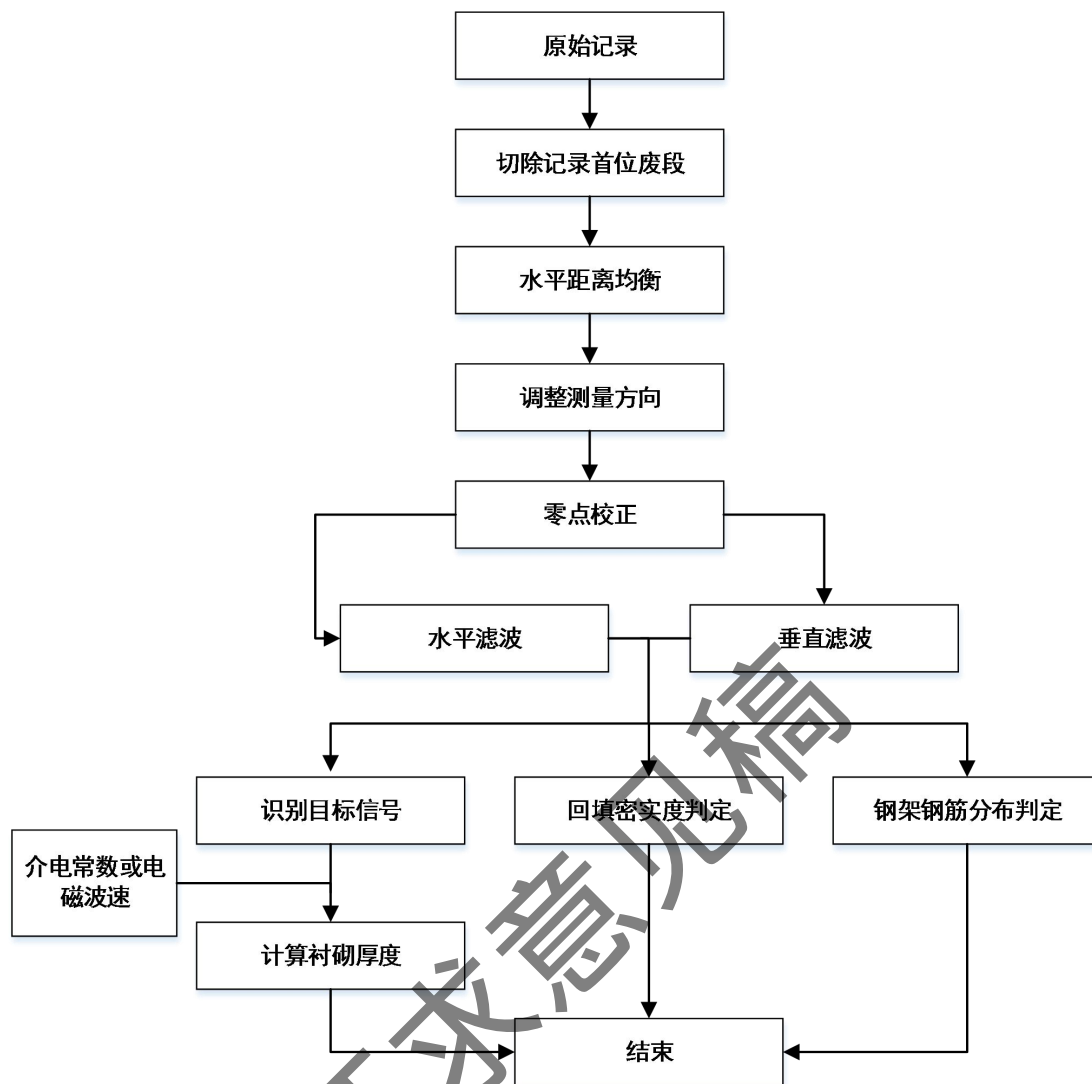


图 6-1 雷达法检测（支护）衬砌混凝土厚度数据处理与解释流程示意图

4) 数据处理应符合下列规定：

- (1) 确保位置标记准确、无误。
- (2) 确保信号不失真，有利于提高信噪比。

5) 解释工作应符合下列规定：

(1) 解释应在掌握测区内物性参数和衬砌结构的基础上，按由已知到未知和定性指导定量原则进行。

(2) 根据现场记录，分析可能存在的干扰与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) 应准确读取双程旅行时的数据。

(4) 解释结果和成果图件应符合衬砌质量检测要求。

6) 衬砌界面应根据反射信号的强度、频率变化及延伸情况确定。

7) 衬砌厚度应由式(6.4.4-1)、式(6.4.4-2)确定:

$$d = \frac{0.3t}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \dots \dots \dots (6.4.4-1)$$

$$d = \frac{1}{2} v \cdot t \times 10^{-9} \dots \dots \dots (6.4.4-2)$$

6.4.5 报告

1) 隧道(支护)衬砌混凝土厚度测试报告应列表填写测试厚度,并记录与设计厚度的差值、比值与合格率等,不足设计厚度为负,大于设计厚度为正。

2) 测试报告应报告(支护)衬砌混凝土欠厚段落起止桩号、部位、长度、最大欠厚值等。

3) 测试报告应包括地质雷达测线部位、高度等,必要时测试报告可包括专用设备测试的原始数据。

4) 测试报告应报告测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。

条文说明:衬砌厚度是二次衬砌结构质量评定的关键指标,地质雷达法是一种无损探测的方法,目前已广泛的应用与隧道二衬施工质量检测、交竣工检测以及运营专项检测。本方法根据实践经验及国内外有关试检方法修订。现场检测过程中,地质雷达天线的中心频率的选择,应既能满足分辨率的要求又能满足检测深度的要求。根据隧道衬砌设计厚度、围岩类型及检测部位的不同,天线中心频率可在400~1000MHz之间选择,待测结构厚度大时宜选用低值。仪器扫描速度宜控制在3~5km/h进行现场测定。

6.5 电磁法检测衬砌保护层厚度

6.5.1 适用范围

本方法适用于隧道衬砌钢筋保护层厚度的测试。

6.5.2 仪器与材料技术要求

1) 钢筋探测仪,其技术指标应符合下列要求:

(1) 钢筋保护层厚度的测量精度应 $\leq 1\text{mm}$ 。

(2) 钢筋直径的测量精度应 $\leq 2\text{mm}$ 。

(3) 在钢筋最小净间距 t 与钢筋保护层厚度 c 之比 ≥ 1 的条件下, 检测仪器对相邻的钢筋应能够分辨。

(4) 检测仪器应能在 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 环境条件下正常使用。

2) 量具: 钢卷尺、钢板尺。

3) 其他: 记号笔、喷漆等。

6.5.3 方法与步骤

1) 准备工作:

(1) 在衬砌结构上准确恢复里程桩号, 并进行标记。

(2) 根据有关施工规范或《公路工程质量检验评定标准(土建工程)》(JTG F80/1) 要求, 在待测衬砌混凝土选取检查测点(每模板检查 3 点), 检查点应选在有代表性部位, 一般为拱顶与拱腰部位等受力不利的部位, 并进行标记。

2) 测试步骤:

(1) 检测前应进行预扫描, 电磁感应法钢筋探测仪的探头在检测面上沿探测方向移动, 直到仪器保护层厚度示值最小, 此时探头中心线与钢筋轴线应重合, 在相应位置做好标记, 并初步了解钢筋埋设深度。重复上述步骤将相邻的其他钢筋位置逐一标出。

(2) 在准确确定了钢筋位置后, 应按下列方法进行混凝土保护层厚度的检测:

a. 应根据预扫描结果设定仪器量程范围, 根据原位实测结果或设计资料设定仪器的钢筋直径参数。将探头放在与钢筋轴线重合的检测面上读取保护层厚度检测值。

b. 应对同一根钢筋同一处检测 2 次, 读取的 2 个保护层厚度值相差不大于 1mm 时, 取二次检测数据的平均值为保护层厚度值, 精确至 1mm; 相差大于 1mm 时, 该次检测数据无效, 并应查明原因, 在该处重新进行 2 次检测, 仍不符合规定时, 应该更换电磁感应法钢筋探测仪进行检测或采用直接法进行检测。

c. 当实际保护层厚度值小于仪器最小示值时, 应采用在探头下附加垫块的方法进行检测。垫块对仪器检测结果不应产生干扰, 表面应光滑平整, 其各方向厚度值偏差不应大于 0.1mm。垫块应与探头紧密接触, 不得有间隙。所加垫块厚度在计算保护层厚度时应予扣除。

6.5.4 数据处理

1) 当采用直接法验证混凝土保护层厚度时, 应先按式(6.5.4-1)计算混凝土保护层厚度的修正量:

$$c_c = \frac{\sum_i^n (c_i^z - c_i^t)}{n} \dots\dots\dots (6.5.4-1)$$

式中:

c_c —混凝土保护层厚度修正量 (mm), 精确至 0.1mm;

c_i^z —第 i 个测点的混凝土保护层厚度直接法实测值 (mm), 精确至 0.1mm;

c_i^t —第 i 个测点的混凝土保护层厚度电磁感应法钢筋探测仪器示值 (mm), 精确至 1mm;

n —钻孔、剔凿验证实测点数。

2) 混凝土保护层厚度测点检测值应按式(6.5.4-2)计算:

$$c_m^t = \frac{c_1^t + c_2^t + c_c - 2c_0}{2} \dots\dots\dots (6.5.4-2)$$

式中:

c_m^t —混凝土保护层厚度检测值 (mm), 精确至 1mm;

c_1^t 、 c_2^t —第 1、2 次混凝土保护层厚度电磁感应法钢筋探测仪器示值 (mm), 精确至 1mm;

c_c —混凝土保护层厚度修正量 (mm); 当没有进行钻孔剔凿验证时, 取 0;

c_2 —探头垫块厚度 (mm), 精确至 0.1mm; 无垫块时取 0。

6.5.5 报告

1) 报告应列表给出钢筋保护层厚度实测值, 设计值以及偏差等, 不足设计值为负, 大于设计值为正。

2) 测试报告应报告测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。

条文说明：钢筋保护层是为了保证钢筋与其周围混凝土能共同工作，并使钢筋充分发挥计算所需强度。防止钢筋受到锈蚀，以保证衬砌结构构件在设计使用年限内钢筋不发生降低结构可靠度的锈蚀。

本节内容在满足《公路工程质量检验评定标准(土建工程)》(JTG F80/1)的要求的基础上，引入电磁法进行钢筋混凝土保护层厚度检测，其基本原理是根据钢筋对仪器探头所发生的电磁场的感应强度来判定钢筋的大小和深度。检测时，对于同样强度的感应信号，当钢筋公称直径较大时，其保护层厚度较深，因此，为了准确得到钢筋保护层厚度值，应该根据钢筋的实际公称直径进行设定。当保护层厚度过小时，有些钢筋探测仪无法进行检测或示值偏差较大，可采用在探头下附加垫块来人为增大保护层厚度的检测值。

6.6 两米直尺检测衬砌表面平整度

6.6.1 适用范围

本方法适用于二次衬砌表面平整度的测试。

6.6.2 仪器与材料技术要求

1) 两米直尺：测量基准面长度为2m长，基准面应平直，用硬木或铝合金钢等材料制成。

2) 最大间隙测量器具：

(1) 楔形塞尺：硬木或金属制的三角形塞尺，有手柄。塞尺的长度与高度之比不小于10，宽度不大于15mm，边部有高度标记，刻度读数分辨率小于或等于0.2mm。

(2) 深度尺：金属制测深度测量尺，有手柄。深度尺测量杆端头直径不小于10mm，刻度读数分辨率小于等于0.2mm。

3) 其他：皮尺或钢尺、粉笔、喷漆等。

6.6.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 按有关规定选择测试段落，并在测试段落的衬砌结构是准确恢复里程桩号。

(2) 测量单元划分：每 20m 为一个测量单元，每一个测量单元，每个测量连续测 5 尺，每尺测最大间隙。

2) 测试步骤

(1) 将两米直尺水平贴于衬砌混凝土表面。

(2) 目测两米直尺底面与衬砌混凝土表面之间的间隙情况，确定最大间隙位置。

(3) 用有高度标线的塞尺塞进间隙处，检测其最大间隙的高度（mm）；或者用深度尺在最大间隙位置检测直尺顶面距衬砌混凝土表面的深度，该深度减去尺高即为测试点的最大间隙高度，准确至 0.2mm。

6.6.4 数据处理

连续测定 5 尺时，依次判定每个测定值是否合格，根据要求计算合格百分率，并计算 5 个最大间隙的平均值。

6.6.5 报告

连续测定 5m 尺时，应报告平均值、不合格尺数、合格率。

条文说明：表面平整度是二衬混凝土外观质量评定重要指标之一。为保证与《公路工程质量检验评定标准（土建工程）》（JTG F80/1）保持一致，本规程将两米直尺适用范围进行了修改。本方法适用于测定二衬混凝土施工施工完成后的表面以及施工缝、变形缝平整度，以评定二衬混凝土的施工质量，详细的要求参照相关的规范执行。两米直尺检测平整度目前在施工过程中还广泛应用。本方法根据实践经验及国内外有关试检方法修订。

7 强 度

7.1 喷大板切割法测定喷射混凝土强度

7.1.1 适用范围

本方法适用于隧道喷射混凝土抗压强度的测试。

7.1.2 仪器与材料技术要求

1) 模具: 尺寸有 450mm*200mm*120mm 或 450mm*350mm*120mm 两种规格。

2) 锯切机、磨平机、压力机等。

3) 量尺: 钢直尺, 钢卷尺、游标卡尺。

4) 其他: 搪瓷盘、棉纱、喷漆、记号笔等。

7.1.3 方法与步骤

1) 准备工作:

(1) 按照本规程第三章的方法确定测试喷射混凝土位置, 试件 3 件为 1 组。双车道或三车道隧道每 10 延米, 至少在拱部和边墙各制取 1 组试件。其他工程, 每喷射 50~100m³ 混合料的独立工程, 不得少于 1 组。材料或配合比变更时应重新制取试件。

(2) 模具按所需组数准备, 保持试模内清洁, 涂刷脱模剂。

2) 测试步骤

(1) 按以下步骤制备试件

a. 在喷射作业面附近, 将模具敞开一侧朝下, 以与水平夹角 80° 左右置于墙脚。先在模具外的边墙上喷射待操作正常后将喷头移至模具位置由下而上逐层向模具内喷满混凝土。

b. 将喷满混凝土的模具移至安全地方, 用三角抹刀刮平混凝土表面。

c. 在潮湿环境中养护 1d 后脱模。将混凝土板件移至试验室, 在标准养护条件下养护 7d, 用切割机去掉周边和上表面(底面可不切割)后加工成边长 100mm 的立方体试块或钻芯成高 100mm 直径为 100mm 的圆柱状试件, 立方体试块的

边长允许偏差应为±10mm，直角允许偏差应为±2°。喷射混凝土板件周边120mm范围内的混凝土不得用作试件。

(2) 加工后的试块应继续在标准条件下养护至28d龄期。

(3) 试件抗压试验步骤：

a. 至试验龄期时，自养护室取出试件，应尽快测试，避免其湿度变化。

b. 取出试件，检查其尺寸及形状，相对两面应平行。量出棱边长度，精确至1mm。试件受力截面积按其于压力机上下接触面的平均值计算。在破型前，保持试件原有湿度，测试时擦干试件。

c. 以成型时侧面为上下受压面，试件中心应与压力机几何对中。

d. 强度等级小于C30的混凝土取0.3MPa/s~0.5MPa/s的加荷速度；强度等级大于等于C30小于C60时，则取0.5MPa/s~0.8MPa/s的加荷速度；强度等级大于C60的混凝土取0.8MPa/s~1.0MPa/s的加荷速度。当试件接近破坏而开始迅速变形时，应停止调整试验机油门，直至试件破坏，记下破坏极限荷载F(N)。

7.1.4 数据处理

1) 混凝土立方体试件抗压强度按式(7.1.4-1)计算：

$$f_{cu} = F/A \dots \dots \dots (7.1.4-1)$$

式中：

f_{cu} —混凝土立方体抗压强度(MPa)；

F—极限荷载(N)；

A—受压面积(mm²)。

2) 以3个试件测值的算术平均值为测定值，计算精确至0.1MPa。三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值之差超过中间值的15%，则取中间值为测定值；如最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的15%，则该组试验结果无效。

3) 混凝土抗压强度推定值计算方法：标准试验方法所测得极限抗压强度乘以0.95系数为试件的抗压强度值(强度小于C60的非标准试件取用系数)。

7.1.5 报告

本方法应报告以下技术内容：

- 1) 测试喷射混凝土信息(测试位置、数量等)。
- 2) 取样信息、养护条件。
- 3) 测试方法、测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。
- 4) 抗压强度实测值、计算值、推定值。

7.2 凿方切割法测定喷射混凝土强度

7.2.1 适用范围

本方法适用于隧道喷射混凝土抗压强度的测试。

7.2.2 仪器与材料技术要求

- 1) 凿岩机、锯切机、磨平机、压力机等。
- 2) 量尺: 钢直尺, 钢卷尺、游标卡尺。
- 3) 其他: 搪瓷盘、棉纱、喷漆、记号笔等。

7.2.3 方法与步骤

1) 准备工作:

(1) 按照本规程第三章的方法确定测试位置, 选取喷射混凝土龄期 3d 以上适合凿岩机钻孔且厚度大于 120mm 的位置, 用红油漆或记号笔做好标记。

(2) 试件 3 件为 1 组。双车道或三车道隧道每 10 延米, 至少在拱部和边墙各制取 1 组试件。其他工程, 每喷射 50~100m³ 混合料的独立工程, 不得少于 1 组。材料或配合比变更时应重新制取试件。

2) 测试步骤:

(1) 用凿岩机打密排钻孔, 取出长约 350mm、宽约 150mm 的混凝土块。

(2) 取出的混凝土块在标准养护条件下养护 7d, 加工成 100mm 的立方体试块, 立方体试块的边长允许偏差应为 $\pm 10\text{mm}$, 直角允许偏差应为 $\pm 2^\circ$ 。喷射混凝土块周边 120mm 范围内的混凝土不得用作试件。在标准条件下养护至 28d。

3) 试件抗压试验, 步骤同第 7.1.3 条 2) - (3) 款。

7.2.4 数据处理

- 1) 抗压强度的计算按 7.1.4 条的方法进行数据处理。
- 2) 抗压强度测定值的计算按 7.1.4 条的方法进行数据处理。

3) 抗压强度推定值的计算按 7.1.4 条的方法进行数据处理。

7.2.5 报告

报告应包括以下技术内容:

- 1) 测试位置信息, 包括测试位置、数量等。
- 2) 凿方取样信息、养护条件。
- 3) 测试方法、测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。
- 4) 抗压强度实测值、计算值、推定值。

7.3 取芯法测定混凝土强度

7.3.1 适用范围

本方法适用于隧道初期支护或二次衬砌混凝土抗压强度的测试。

7.3.2 仪器与材料技术要求

- 1) 混凝土取芯样钻机及钻头、锯切机、磨平机、压力机等。
- 2) 钢筋检测仪: 适用于现场操作, 最大探测深度不应小于 60mm, 探测位置偏差宜不大于 3mm。
- 3) 量尺: 钢直尺, 钢卷尺、游标卡尺。
- 4) 其他: 搪瓷盘、棉纱、喷漆、记号笔等。

7.3.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 按照本规程第三章的方法确定测试位置。
- (2) 将取样位置清扫干净。

2) 测试步骤

- (1) 按照本规程第三章的方法在测试位置钻取芯样。
- (2) 按以下要求加工芯样:
 - ① 芯样直径为 150mm 或 100mm; 高度与直径之比应为 1。
 - ② 芯样试件内不得含有钢筋或钢纤维。
 - ③ 锯切后的芯样应进行端面处理, 可采取在磨平机上磨平端面的处理方法。
 - ④ 加工好的芯样应按下列规定测量尺寸:

a.用游标卡尺在芯样试件两端及中部相互垂直的位置上测量,取算术平均值作为芯样直径,精确至 0.5mm;

a.用游标卡尺在芯样端面两个垂直直径方向测量,取算术平均值作为芯样高度,精确至 0.5mm;

c.用万能角度尺测量芯样试件两个端面与母线的夹角,精确至 0.1° ;

d.将钢板尺侧面紧靠在芯样试件承压面(线)上,用塞尺测量钢板尺和承压面(线)的之间的缝隙,最大缝隙为芯样试件的平整度。

e.芯样试件尺寸偏差超过下列数值时,相应的测试数据无效:

- a) 芯样试件的实际高径比小于 0.95 或大于 1.05;
- b) 沿芯样试件高度的任一直径与平均直径相差大于 2mm;
- c) 芯样试件端面与轴线的不垂直度大于 1° ;
- d) 不平整度在每 100mm 长度内超过 0.1mm。

(3) 芯样试件应在自然干燥状态下进行抗压试验。当结构工作条件比较潮湿,需要确定潮湿状态下混凝土的抗压强度时,芯样试件宜在 20℃±5℃的清水中浸泡 40h~48h,从水中取出后应去除表面水渍,并立即进行试验。

(4) 试件放置试验机前,应将试件表面与上、下承压板面擦拭干净。

(3) 试件抗压试验,步骤同第 7.1.3 条 2) - (3) 款。

7.3.4 数据处理

1) 芯样试件抗压强度计算方法

(1) 芯样试件抗压强度值可按式(7.3.4-1)计算:

$$f_{cu,cor} = \beta_c F_c / A_c \dots\dots\dots (7.3.4-1)$$

式中:

$f_{cu,cor}$ —— 芯样试件抗压强度值(MPa),精确至 0.1MPa;

F_c —— 芯样试件抗压试验的破坏荷载(N);

A_c —— 芯样试件抗压截面面积(mm²);

β_c —— 芯样试件强度换算系数,取 1.0。

(2) 当有可靠试验依据时, 芯样试件强度换算系数 β_c 也可根据混凝土原材料和施工工艺情况通过试验确定。

2) 混凝土抗压强度推定值计算方法

(1) 钻芯法确定检测批的混凝土抗压强度推定值时, 取样应遵守下列规定:

① 芯样试件的数量应根据检测批的容量确定。直径 100mm 的芯样试件的最小样本量不宜小于 15 个, 小直径芯样试件的最小样本量不宜小于 20 个。

② 芯样应从检测批的结构构件中随机抽取, 每个芯样宜取自结构的不同局部部位。

(2) 检测批混凝土抗压强度的推定值应按下列方法确定:

① 检测批的混凝土抗压强度推定值应计算推定区间, 推定区间的上限值和下限值应按式 (7.3.4-2) ~式 (7.3.4-5) 计算:

$$f_{cu,e1} = f_{cu,cor,m} - k_1 s_{cu} \dots\dots\dots (7.3.4-2)$$

$$f_{cu,e2} = f_{cu,cor,m} - k_2 s_{cu} \dots\dots\dots (7.3.4-3)$$

$$f_{cu,cor,m} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,cor,i}}{n} \dots\dots\dots (7.3.4-4)$$

$$s_{cu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,cor,i} - f_{cu,cor,m})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (7.3.4-5)$$

式中:

$f_{cu,cor,m}$ ——芯样试件抗压强度平均值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,cor,i}$ ——单个芯样试件抗压强度值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,e1}$ ——混凝土抗压强度推定上限值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,e2}$ ——混凝土抗压强度推定下限值(MPa), 精确至 0.1MPa;

k_1, k_2 ——推定区间上限值系数和下限值系数, 按规程 CECS03 附录——推定区间系数表查得;

s_{cu} ——芯样试件抗压强度样本的标准差(MPa), 精确至 0.01MPa。

② $f_{cu,e1}$ 和 $f_{cu,e2}$ 所构成推定区间的置信度宜为 0.90; 当采用小直径芯样试件时, 推定区间的置信度可为 0.85。 $f_{cu,e1}$ 和 $f_{cu,e2}$ 之间的差值不宜大于 5.0MPa 和 $0.10 f_{cu,cor,m}$ 两者的较大值。

③ $f_{cu,e1}$ 和 $f_{cu,e2}$ 之间的差值大于 50MPa 和 $0.10 f_{cu,cor,m}$ 两者的较大值时, 可适当增加样本容量, 或重新划分检测批, 直至满足本条第(2)款的规定。

④ 当不具备本条第③款条件时, 不宜进行批量推定。

⑤ 宜以 $f_{cu,e1}$ 作为检测批混凝土强度的推定值。

(3) 钻芯法确定检测批混凝土抗压强度推定值时, 可剔除芯样试件抗压强度样本中的异常值。剔除规则应按现行国家标准《数据的统计处理和解释 正态样本离群值的判断和处理》GB / T 4883 规定执行。当确有试验依据时, 可对芯样试件抗压强度样本的标准差 s_{cu} 进行符合实际情况的修正或调整。

(4) 钻芯法确定单个构件混凝土抗压强度推定值时, 芯样试件的数量不应少于 3 个; 单个构件的混凝土抗压强度推定值不再进行数据的舍弃, 而应按芯样试件混凝土抗压强度值中的最小值确定。

(5) 钻芯法确定构件混凝土抗压强度代表值时, 芯样试件的数量宜为 3 个, 应取芯样试件抗压强度值的算术平均值作为构件混凝土抗压强度代表值。

7.3.5 报告

本方法应报告以下技术内容:

- 1) 测试位置信息, 包括测试位置、数量等。
- 2) 钻芯取样信息、养护条件。
- 3) 测试方法、测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。
- 4) 抗压强度实测值、计算值、推定值。

7.4 回弹法测试衬砌混凝土强度

7.4.1 适用范围

- 1) 本方法适用于隧道泵送衬砌混凝土抗压强度的测试。
- 2) 所试验的混凝土构件应处于干燥状态、龄期不超过 730d，厚度不得小于 100mm，温度不得低于 10℃。
- 3) 回弹法测试衬砌混凝土强度，不作为强度评定、仲裁试验或工程验收使用。

7.4.2 仪器与材料技术要求

- 1) 混凝土回弹仪，其技术指标要求主要包括：
 - (1) 回弹仪除应符合国家标准《回弹仪》GB/T9138 和《回弹仪检定规程》JJG 817 的规定外，尚应符合下列规定：
 - ①水平弹击时，在弹击锤脱钩的瞬间，回弹仪的标称能量应为 2.207J。
 - ② 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，且弹击锤起跳点应位于指南针指示刻度上的“0”处。
 - ③在洛氏硬度 HRC 为 60 ± 2 的钢砧上，回弹仪的率定值应为 80 ± 2 。
 - ④ 数字式回弹仪应带有指针直读示值系统；数字显示的回弹值与指针直读示值相差不应超过 1。
 - ⑤回弹仪使用时，环境温度应为 $(-4 \sim 40) ^\circ\text{C}$ 。
 - (2) 回弹仪检定周期为半年，当回弹仪有下列情况之一时，应由法定计量检定机构按现行行业标准《回弹仪检定规程》JJG 817 进行检定：
 - ①新回弹仪启用前；
 - ②超过检定有效期；
 - ③数字式回弹仪数字显示的回弹值与指针直读示值相差大于 1；
 - ④经常规保养后，钢砧率定值不合格；
 - ⑤累计弹击次数超过 6000 次；
 - ⑥遭受严重撞击或其他损害。
 - (3) 回弹仪的率定试验应符合下列规定：
 - ①率定试验应在室温 $5 \sim 35^\circ\text{C}$ 的条件下进行；

- ② 钢砧表面应干燥、清洁，并应稳固地平放在刚度大的物体上；
- ③ 回弹值应取连续向下弹击三次的稳定回弹结果的平均值。
- ④ 率定试验应分四个方向进行，且每个方向弹击前，弹击杆应旋转 90° ，每个方向的会谈平均值均应为 80 ± 2 。

(4) 回弹仪有下列情况之一时，应进行保养：

- ① 弹击超过 2000 次；
- ② 对检测值有怀疑时；
- ③ 在钢砧上的率定值不合格。

(5) 回弹仪保养应按下列步骤进行：

① 先将弹击锤脱钩，取出机芯，卸下弹击杆，取出缓冲压簧，并取出弹击锤、弹击拉簧和拉簧座；

② 清洗机芯各零部件，重点清洗中心导杆、弹击锤和弹击杆的内孔和冲击面。清洗后在中心导杆上薄薄涂抹钟表油，其他零部件均不得抹油；

③ 清理机壳内壁，卸下刻度尺，并检查指针，其摩擦力应为 $(0.5 \sim 0.8) \text{ N}$ ；

④ 对数字式回弹仪，还应按产品要求的维护程序进行维护；

⑤ 保养时，不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝，不得自制或更换零部件；

⑥ 保养后按本节 (3) 的要求进行率定试验。

(6) 回弹仪使用完毕后，应使弹击杆伸出机壳，清除弹击杆、杆前端球面、刻度尺表面和外壳上的污垢、尘土。回弹仪不使用时，应将弹击杆压入仪器内，经弹击后用按钮锁住机芯，将回弹仪装入仪器箱，平放在干燥阴凉处。当数字式回弹仪长期不用时，应取出电池。

2) 碳化深度测定仪 (分度值 0.2mm)。

3) 辅助工具应包括：酚酞酒精溶液 (浓度 $1\% \sim 2\%$)、手提式砂轮、钢砧。

4) 其他工具应包括：钢卷尺、游标卡尺、凿子、锤吸耳球。

7.4.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 按照本规程第三章的方法确定测试位置。测区混凝土表面应为混凝土原浆面，并应清洁、平整，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面。

对于泵送混凝土,测区应选在混凝土浇筑侧面;测区应均匀分布,并应避免预埋件。

(2) 测区与测点布置:相邻两测区间距不应大于 2m,测区离构件端部或施工缝边缘的距离不宜大于 0.5m,且不宜小于 0.2m。测区应有清晰的编号,并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。测区的面积不宜大于 0.04m²。

2) 测试步骤

(1) 测量回弹值时,回弹仪的轴线应始终垂直于混凝土检测面,并应缓慢施压、准确读数、快速复位。

(2) 每一测区应读取 16 个回弹值,每一测点的回弹值读数应精确至 1。测点宜在测区范围内均匀分布,相邻两测点的净距离不宜小于 20mm,测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm;测点不应在气孔或外露石子上,同一测点应只弹击一次。

(3) 回弹值测量完毕后,应在有代表性的测区上测量碳化深度值,测点数不应少于构件测区数的 30%,应取其平均值作为该构件每个测区的碳化深度值。当碳化深度值极差大于 2.0mm 时,应在每一测区分别测量碳化深度值。

(4) 碳化深度值的测量应符合下列规定:

- a. 可采用工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞,其深度应大于混凝土的碳化深度。
- b. 应清除孔洞中的粉末和碎屑,且不得用水擦洗。
- c. 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线清晰时,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。

7.4.4 数据处理

1) 测区回弹平均值计算方法:计算测区平均回弹值时,应从该测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值,其余的 10 个回弹值按式(7.4.4-1)计算:

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \dots\dots\dots (7.4.4-1)$$

式中:

R_m —测区平均回弹值, 精确至 0.1;

R_i ——第 i 个测点的回弹值。

2) 回弹值修正值计算方法: 非水平方向检测混凝土浇筑侧面时, 测区的平均回弹值应按下式修正:

$$R_m = R_{ma} + R_{aa} \dots\dots\dots (7.4.4-2)$$

式中:

R_{ma} ——非水平方向检测时测区的平均回弹值, 精确至 0.1;

R_{aa} ——非水平方向检测时回弹值修正值。

3) 平均碳化深度计算方法: 取三次测量的平均值作为检测结果, 并应精确至 0.5mm。

4) 混凝土强度推定值计算方法

(1) 构件第 i 个测区混凝土强度换算值, 可按本规程 7.4.4-1 所求得平均回弹值(R_m)及按第 7.4.4 条 3) 款所求得平均碳化深度值 (d_m), 由附录-泵送混凝土测区强度换算表查表或根据曲线方程 $f = 0.034488R^{1.9400}10^{(-0.0173d_m)}$ 计算得出。当有地区或专用测强曲线时, 混凝土强度的换算值宜按地区测强曲线或专用测强曲线计算或查表得出。

(2) 构件的测区混凝土强度平均值应根据各测区的混凝土强度换算值计算。当测区数为 10 个及以上时, 还应计算强度标准差。平均值及标准差应按式 (7.4.4-3) 和式 (7.4.4-4) 计算:

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \dots\dots\dots (7.4.4-3)$$

$$S_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (7.4.4-4)$$

式中:

$m_{f_{cu}^c}$ ——构件测区混凝土强度换算值的平均值(MPa), 精确至 0.1MPa;

n ——对于单个检测的构件, 取该构件的测区数; 对批量检测的构件, 取所有被抽检构件测区数之和;

$S_{f_{cu}^c}$ ——结构或构件测区混凝土强度换算值的标准差(MPa), 精确至 0.01MPa。

(3) 构件的现龄期混凝土强度推定值 ($f_{cu,e}^c$)应符合下列规定:

① 当构件测区数少于 10 个时,应按下式计算:

$$f_{cu,e}^c = f_{cu,\min}^c \dots\dots\dots (7.4.4-5)$$

式中:

$f_{cu,\min}^c$ ——构件中最小的测区混凝土强度换算值。

②当构件的测区强度值中出现小于 10.0MPa 时, 应按下式确定:

$$f_{cu,e}^c < 10.0\text{MPa} \dots\dots\dots (7.4.4-6)$$

③当构件测区数不少于 10 个时,应按下式计算:

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}^c} - 1.645S_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (7.4.4-7)$$

④ 当批量检测时, 应按下式计算:

$$f_{cu,e}^c = m_{f_{cu}^c} - kS_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (7.4.4-8)$$

式中:

k ——推定系数, 宜取 1.645。当需要进行推定强度区间时, 可按国家现行有关标准的规定取值。

注: 构件的混凝土强度推定值是指相应于强度换算值总体分布中保证率不低于 95% 的构件中混凝土抗压强度值。

(4) 对批量检测的构件，当该批构件混凝土强度标准差出现下列情况之一时，该批构件应全部按单个构件检测：

- a. 当该批构件混凝土强度平均值小于 25MPa、 $S_{f_{cu}}^{fc}$ 大于 4.5 MPa 时；
- b. 当该批构件混凝土强度平均值不小于 25MPa 且不大于 60MPa、 $S_{f_{cu}}^{fc}$ 大于 5.5 MPa 时。

7.4.5 报告

本方法应报告以下技术内容：

- 1) 测试位置信息（测试位置、数量等）。
- 2) 测试方法、测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。
- 3) 各测区混凝土回弹代表值（修正值）。
- 4) 各测区的强度换算值、标准差、最小值。
- 5) 强度推定值。

7.5 超声-回弹综合法测定衬砌混凝土强度

7.5.1 适用范围

1) 本方法适用于采用回弹仪、超声波检测仪在现场对隧道混凝土按综合法快速测试抗压强度，所测试的混凝土厚度不得小于 100mm，温度不得低于 10℃。

2) 在正常情况下，隧道衬砌混凝土强度的验收和评定应按现行的《公路工程质量检验评定标准第一册土建工程》（JTG F80/1）执行。当对结构中的混凝土有强度检测要求时，可按本规程进行测试，并推定结构混凝土的强度，作为混凝土结构处理的一个依据。

3) 本方法所推定的混凝土强度，不作为强度评定、仲裁试验或工程验收使用。

4) 本方法不适用于下列情况的水泥混凝土：

- (1) 隐蔽或外露局部缺陷区。
- (2) 裂缝或微裂区（包括工作缝）。

(3) 角隅钢筋和边缘钢筋处,特别是超声波与钢筋方向相同时。

(4) 距边缘小于 100mm 的部位。

7.5.2 仪器与材料技术要求

1) 混凝土回弹仪(按照本规程 7.4.2-1 要求)。

2) 混凝土超声波检测仪。

(1) 一般规定

① 所采用的混凝土超声波检测仪应通过技术鉴定,必须具有产品合格证和检定证书。

② 用于混凝土的超声波检测仪可分为下列两类:

模拟式: 接收的信号为连续模拟量,可由时域波形信号测读声学参数;

数字式: 接收的信号转化为离散数字量,具有采集、储存数字信号、测读声学参数和对数字信号处理的智能化功能。

③ 所采用的超声波检测仪应符合现行行业标准《混凝土超声波检测仪》JG/T 5004 的要求,并在计量检定有效期内使用。

(2) 超声波检测仪应满足下列要求:

① 具有波形清晰、显示稳定的示波装置。

② 声时最小分度值为 $0.1\mu\text{s}$ 。

③ 具有最小分度值为 1dB 的信号幅度调整系统。

④ 接收放大器频响范围 10~500kHz,总增益不小于 80dB,接收灵敏度(信噪比 3:1 时)不大于 $50\mu\text{V}$ 。

⑤ 电源电压波动范围在标称值 $\pm 10\%$ 情况下能正常工作。

⑥ 连续正常工作时间不少于 4h。

(3) 模拟式超声波检测仪还应满足下列要求:

① 具有手动游标和自动整形两种声时测读功能。

② 数字显示稳定,声时调节在 20~30 μs 范围内,连续静置 1h 数字变化不超过 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

(4) 数字式超声波检测仪还应满足下列要求:

① 具有采集、储存数字信号并进行数据处理的功能。

② 具有手动游标测读和自动测读两种方式。当自动测读时,在同一测试条件下,在 1h 内每 5min 测读一次声时值的差异不超过 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

③自动测读时,在显示器的接收波形上,有光标指示声时的测读位置。

④超声波检测仪器使用时,环境温度应为 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 换能器技术要求:

① 换能器的工作频率宜在 $50\sim 100\text{kHz}$ 范围内。

②换能器的实测主频与标称频率相差不应超过 $\pm 10\%$ 。

(6) 耦合剂:采用易于变形,有较大的声阻,有较好粘性且不流淌的材料,通常采用黄腊油、凡士林等。

(7) 校准和保养

① 超声波检测仪的声时计量检验,应按“时-距”法测量空气中声速实测值 v^0 ,并与按下列公式计算的空气中声速计算值 v_k 相比较,二者的相对误差不应超过 $\pm 0.5\%$ 。

$$v_k = 331.4\sqrt{1 + 0.00367T_k} \dots\dots\dots (7.5.2-1)$$

式中:

331.4— 0°C 时空气中的声速值 (m/s);

v_k — 温度为 T_k 时空气中的声速计算值 (m/s);

T_k — 测试时空气的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

②测试时,应根据测试需要在仪器上配置合适的换能器和高频电缆线,并测定声时初读数 t_0 。检测过程中如更换换能器或高频电缆线,应重新测定 t_0 。

③超声波检测仪应定期保养。

3) 其他辅助工具:手提式砂轮、钢卷尺、游标卡尺。

7.4.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 测试前宜具备下列资料:

①工程名称和设计、施工、建设、委托单位名称。

② 结构或构件名称、施工图纸和混凝土设计强度等级。

③ 水泥的品种、强度等级和用量，砂石的品种、粒径，外加剂或掺合料的品种、掺量和混凝土配合比等。

④ 模板类型，混凝土浇筑、养护情况和成型日期。

⑤ 结构或构件检测原因的说明。

2) 测区与测点布置方法：

(1) 检测数量应符合下列规定：

① 按单个构件（一模衬砌混凝土）检测时，应在构件上均匀布置测区，每个构件上测区数量不应少于 10 个。

② 同批构件（若干模衬砌混凝土）按批抽样检测时，构件抽样数不应少于同批构件的 30%，且不应少于 10 件。

(2) 按批抽样检测时，符合下列条件的构件可作为同批构件：

① 混凝土设计强度等级相同。

② 混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件和龄期基本相同。

③ 构件种类相同。

④ 施工阶段所处状态基本相同。

(3) 衬砌结构的测区和测点布置宜满足下列规定：

① 测区应布置在构件混凝土浇筑方向的侧面（边墙）；

② 测区可在构件的两个对应面、相邻面或同一面上布置；

③ 测区宜均匀布置，相邻两测区的间距不宜大于 2m；

④ 测区应避开钢筋密集区和预埋件；

⑤ 测区尺寸宜为 200 mm×200 mm；采用平测时宜为 400mm×400mm；

⑥ 测试面应清洁、平整、干燥，不应有接缝、施工缝、饰面层、浮浆和油垢，并应避免蜂窝、麻面部位。必要时，可用砂轮片清除杂物和磨平不平整处，并擦净残留粉尘。

⑦ 测区应进行编号，并记录测区位置和外观质量情况。

⑧ 应先进行回弹测试，后进行超声测试。

⑨ 计算混凝土抗压强度换算值时，非同一测区内的回弹值和声速值不得混用。

3) 回弹值测试方法与步骤(同 7.4.3)

4) 超声声速测试方法与步骤

(1) 超声测点应布置在回弹测试的同一测区内,每一测区布置 3 个测点。超声测试宜优先采用对测或角测,当被测构件不具备对测或角测条件时,可采用单面平测。

(2) 超声测试时,换能器辐射面应通过耦合剂与混凝土测试面良好耦合。

(3) 声时测量应精确至 $0.1\mu\text{s}$, 超声测距测量应精确至 1.0mm , 且测量误差不应超过 $\pm 1\%$ 。声速计算应精确至 0.01km/s 。

(4) 超声波平测方法:当结构或构件被测部位只有一个表面可供检测时,可采用平测方法测量混凝土中声速。每个测区布置 3 个测点。换能器布置如图 7-1 所示。

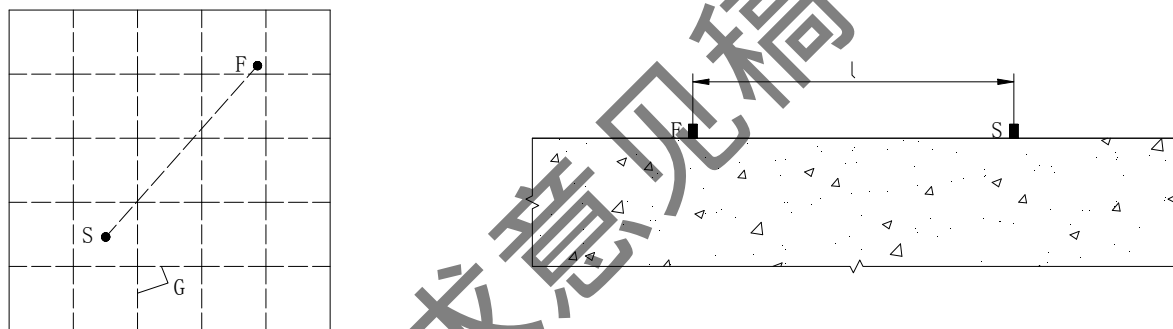


图 7.4.3-1 超声波平测方法换能器布置示意图

F—发射换能器; S—接收换能器; G—钢筋轴线

(5) 超声声速测试步骤:

- a. 取常用平面换能器一对,接于超声波仪器上。
- b. 开机预热 10min。
- c. 在空气中将两个换能器的辐射面对准,依次改变两个换能器辐射面之间的距离 l (如 50mm , 60mm , 70mm , 80mm , 90mm , 100mm , 110mm , 120mm , ……)。
- d. 在保持首波幅度一致的前提下,读取各间距所对应的声时值 t_1 、 t_2 、 t_3 、……

t_n 。

- e. 同时测量空气温度 T_k , 精确至 0.5°C 。

(6) 测量时应注意下列事项:

- a. 两个换能器辐射面的轴线始终保持在同一直线上;
- b. 换能器辐射面间距的测量误差应不超过±1%，且测量精度为0.5mm;
- c. 换能器辐射面宜悬空相对放置；若置于地板或桌面上，必须在换能器下面垫以吸声材料。

(7) 实测空气中声速可采用下列两种方法之一计算：

a. 以换能器辐射面间距为纵坐标，声时读数为横坐标，将各组数据点绘在直角坐标图上。穿越各点形成一直线，算出该直线的斜率，即为空气中声速实测值 v^0 。

b. 以各测点的测距 l 和对应的声时 t 求回归直线方程 $l=a+bt$ 。回归系数 b 便是空气中声速实测值 v^0 。

c. 空气中声速计算值 v_k 可按式(7.5.2-1)求得。

(8) 误差计算

a. 空气中声速计算值 v_k 与空气中声速实测值 v^0 之间的相对误差 e_r ，可按下列公式计算：

$$e_r = (v_k - v^0) / v_k \times 100\% \dots\dots\dots (7.5.3-1)$$

b. 计算所得的 e_r 值不应超过±0.5%。否则，应检查仪器各部位的连接后重测，或更换超声波检测仪。

7.4.4 数据处理

1) 测区混凝土回弹代表值计算方法（同7.4.4）。

2) 测区混凝土中声速代表值计算方法：

(1) 布置超声平测点时，宜使发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线成40~50°，超声测距 l 宜采用350~450mm。

(2) 宜采用同一构件的对测声速 v_d 与平测声速 v_p 之比求得修正系数 λ ($\lambda = v_d/v_p$)，对平测声速进行修正。

(3) 当被测结构或构件不具备对测与平测的对比条件时,宜选取有代表性的部位,以测距 $l=200\text{mm}$ 、 250mm 、 300mm 、 350mm 、 400mm 、 450mm 、 500mm ,逐点测读相应声时值 t ,用回归分析方法求出直线方程 $l=a+bt$ 。以回归系数 b 代替对测声速 v_d ,再按本规程前述规定对各平测声速进行修正。

3) 测区混凝土中声速代表值修正计算方法

(1) 平测时,修正后的混凝土中声速代表值应按下列公式计算:

$$v_a = \frac{\lambda}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \dots\dots\dots (7.5.4-1)$$

式中:

v_a — 修正后的平测时混凝土中声速代表值 (km/s);

l_i — 平测第 i 个测点的超声测距 (mm);

t_i — 平测第 i 个测点的声时读数 (μs);

λ — 平测声速修正系数。

(2) 平测声速可采用直线方程 $l=a+bt$,根据混凝土浇筑的顶面或底面平测数据求得,修正后的混凝土中声速代表值应按下列公式计算:

$$v = \frac{\lambda\beta}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_0} \dots\dots\dots (7.5.4-2)$$

式中:

β — 超声测试面的声速修正系数,顶面平测 $\beta=1.05$,底面平测 $\beta=0.95$ 。

4) 混凝土强度推定值计算方法

(1) 结构或构件中第 i 个测区的混凝土抗压强度换算值,可按本规程第 7.4.4 节和本节的规定求得修正后的测区回弹代表 R_{ai} 和声速代表值 v_{ai} 后,优先采用专用测强曲线或地区测强曲线换算而得。

(2) 当无专用和地区测强曲线时,按 CECS 02 规程附录——综合法测定混凝土强度曲线的验证方法通过验证后,按下列全国统一测区混凝土抗压强度换算公式计算:

a. 当粗骨料为卵石时:

$$f_{cu,i}^c = 0.0056v_{ai}^{1.439} R_{ai}^{1.769} \dots\dots\dots (7.5.4-3)$$

b. 当粗骨料为碎石时:

$$f_{cu,i}^c = 0.0162v_{ai}^{1.656} R_{ai}^{1.410} \dots\dots\dots (7.5.4-4)$$

式中:

$f_{cu,i}^c$ — 第 i 个测区混凝土抗压强度换算值(MPa), 精确至 0.1 MPa。

(3) 当结构或构件中的测区数不少于 10 个时, 各测区混凝土抗压强度换算值的平均值和标准差应按下列公式计算:

$$m_{f_{cu}^c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c \dots\dots\dots (7.5.4-5)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c)^2 - n(m_{f_{cu}^c})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (7.5.4-6)$$

式中:

$f_{cu,i}^c$ — 结构或构件第 i 个测区的混凝土抗压强度换算值 (MPa);

$m_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的平均值 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$s_{f_{cu}^c}$ — 结构或构件测区混凝土抗压强度换算值的标准差 (MPa), 精确至 0.01 MPa。

n —测区数。对单个检测的构件, 取一个构件的测区数; 对批量检测的构件, 取被抽检构件测区数之总和。

(4) 当结构或构件所采用的材料及其龄期与制定测强曲线所采用的材料及其龄期有较大差异时, 应采用同条件立方体试件或从结构或构件测区中钻取的

混凝土芯样试件的抗压强度进行修正。试件数量不应少于 4 个。此时,采用式(7.5.4-3、7.5.4-4)计算测区混凝土抗压强度换算值应乘以下列修正系数 η 。

①采用同条件立方体试件修正时:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i}^o / f_{cu,i}^c \dots\dots\dots (7.5.4-7)$$

②采用混凝土芯样试件修正时:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cor,i}^o / f_{cu,i}^c \dots\dots\dots (7.5.4-8)$$

式中:

η — 修正系数, 精确至小数点后两位;

$f_{cu,i}^c$ — 对应于第 i 个立方体试件或芯样试件的混凝土抗压强度换算值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cu,i}^o$ — 第 i 个混凝土立方体(边长 150mm)试件的抗压强度实测值(MPa), 精确至 0.1MPa;

$f_{cor,i}^o$ — 第 i 个混凝土芯样($\Phi 100 \times 100$ mm)试件的抗压强度实测值(MPa), 精确至 0.1MPa;

n — 试件数。

(5) 结构或构件混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$, 应按下列规定确定:

① 当结构或构件的测区抗压强度换算值中出现小于 10.0MPa 的值时,该构件的混凝土抗压强度推定值 $f_{cu,e}$ 取小于 10MPa。

②当结构或构件中测区数少于 10 个时 $f_{cu,e}$

$$f_{cu,e} = f_{cu,\min}^c \dots\dots\dots (7.5.4-9)$$

式中

$f_{cu,min}^c$ — 结构或构件最小的测区混凝土抗压强度换算值 (MPa), 精确至 0.1MPa。

③ 当结构或构件中测区数不少于 10 个或按批量检测时

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu}}^c - 1.645s_{f_{cu}}^c \dots\dots\dots (7.5.4-10)$$

(6) 对按批量检测的构件, 当一批构件的测区混凝土抗压强度标准差出现下列情况之一时, 该批构件应全部重新按单个构件进行检测:

① 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}}^c < 25.0$ MPa, 标准差 $s_{f_{cu}}^c > 4.50$ MPa;

② 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}}^c = 25.0 \sim 50.0$ MPa, 标准差 $s_{f_{cu}}^c > 5.50$ MPa;

③ 一批构件的混凝土抗压强度平均值 $m_{f_{cu}}^c > 50.0$ MPa, 标准差 $s_{f_{cu}}^c > 6.50$ MPa。

7.5.5 报告

本方法应报告以下技术内容:

- 1) 测试位置信息 (测试位置、数量等)。
- 2) 测试方法、测试设备型号、测试单位、测试人员、测试环境条件。
- 3) 各测区混凝土回弹代表值 (修正值)。
- 4) 修正后的混凝土中声速代表值。
- 5) 各测区的强度换算值、标准差。
- 6) 强度推定值。

8 锚杆抗拔力、长度与注浆饱满度

8.1 一般规定

- 8.1.1 在进行试验检测前，锚杆外观检查应合格。
- 8.1.2 针对不同类型的锚杆，检测的内容不同。全长粘结锚杆检测锚杆拉拔力、锚杆杆体长度、锚固密实度；自钻式锚杆检测锚杆拉拔力、锚杆杆体长度、锚固密实度；端头锚固锚杆检测：锚杆拉拔力、锚杆杆体长度、锚固段锚固密实度；摩擦型锚杆检测锚杆拉拔力、锚杆杆体长度。
- 8.1.3 在粘结材料完全形成强度后，方可进行锚杆拉拔试验检测。
- 8.1.4 锚杆锚固质量检测可在锚固 7 天后进行。

8.2 拉拔仪测试锚杆拉拔力

8.2.1 适用范围

本方法适用于隧道系统锚杆拉拔力的测试。

8.2.2 器具与材料技术要求

锚杆拉拔仪（油压表、油压泵、千斤顶、夹片、测力计）、 $20\times 20\times 1\text{cm}$ 钢垫板（中间设置直径 4cm 的孔）、秒表

锚杆拉拔仪器的量程宜为设计值的 1.5~3.0 倍，读数精度不低于 0.1KN，中空液压缸中心孔径大于被检锚杆直径，且夹具与锚杆直径适配。

条文说明：现场测试应根据被测锚杆的设计指标选定合适的锚杆拉拔仪型号。

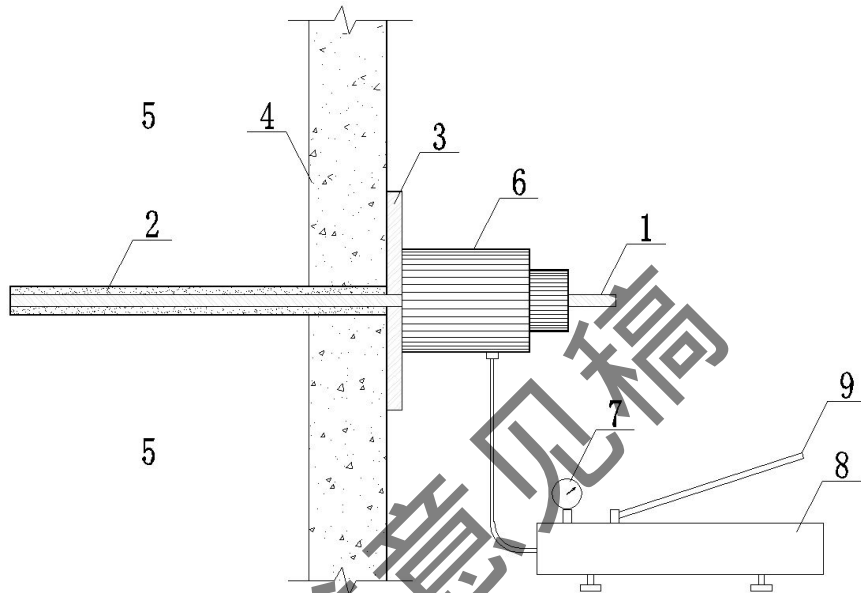
8.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

确定抽检段落及抽检锚杆的部位。抽检一定长度段落（10~30m）同一种规格的锚杆为一个检验批，一个检验批抽检锚杆占总锚杆数不少于 1%，且不少于 3 根，按照部位随机抽检。

2) 测试步骤

- (1) 调整锚杆及喷射混凝土基面，使锚杆垂直于喷射混凝土表面。
- (2) 根据锚杆轴力设计值选取合适量程的锚杆轴力计，并进行检查油量、排气等锚杆轴力计的调试工作。
- (3) 安放 20×20×1cm 钢垫板，钢垫板穿过锚杆并紧贴初期支护表面，根据锚杆直径选择合适尺寸的夹具，安装锚杆拉拔仪；锚杆拉拔仪现场安装如图 6.1 所示。



1—锚杆；2—砂浆或药卷；3—钢垫板；4—初期支护；5—围岩；
6—油压千斤顶；7—油压表；8—油压泵；9—加压手柄

图 8.2.3-1 锚杆拉拔仪现场安装图

- (4) 撬动加压手柄给千斤顶供均匀的供油，并且关注油压表的数，在 3 分钟以上加载不小于设计值停止加载，并记录当前读数，精确到 0.1KN。
- (5) 持荷 10min，再次记录轴力值，精确到 0.1KN，该值作为锚杆拉拔力的测定值。
- (6) 逐步卸载逆进针方向拧松泄阀，使压力表读数为零，再把各部件由锚杆上卸下。
- (7) 拉拔试验期间锚杆拉拔方向严禁站人。
- (8) 拉拔试验结束，安装锚杆垫板，割掉多余长度的锚杆，并用砂浆将锚杆端头封闭。

条文说明：调研显示，目前工程隧道内锚杆拉拔力测试大多以拉拔力到设计值锚杆不被拉出即认定锚杆合格。

8.2.4 数据处理

按每抽检检验批进行一次评定，锚杆拉拔合格须满足以下要求：

- 1) 拉拔力平均值 \geq 设计值；
- 2) 最小拉拔力 ≥ 0.9 设计值；
- 3) 拉拔试验过程中锚杆无拔出和明显松动迹象；

8.2.5 报告

检测报告应包含以下方面内容：

- 1) 工程概况：包括隧道概况、隧道锚杆的设计参数及指标等、锚杆施工概况等；
- 2) 检测依据：规范、合同文件、设计图纸等；
- 3) 检测工作概况：检测时间、现场测试区段、现场抽样情况、检测的方法、检测设备、检测人员等。
- 4) 检测数据及评定；
- 5) 结论及建议；
- 6) 附件：现场检测照片，现场检测原始记录等。

8.3 无损检测仪测试锚杆长度与内部缺陷

8.3.1 适用范围

本方法适用于隧道内各类锚杆的长度、锚杆与围岩粘结质量的检测。

8.3.2 器具与材料技术要求

- 1) 锚杆无损检测仪由激发与接收设备、采集仪器三部分组成。
- 2) 激发与接收设备技术要求包括：
 - (1) 激振器激振频率范围应在 10Hz~50KHz，宜使用超磁致伸缩声波振源。
 - (2) 接收传感器感应面直径应小于锚杆直径，可通过强力磁座或其他方式与杆头耦合。

(3) 接收传感器频率响应范围宜在 10Hz~50KHz.当响应频率为 160Hz 时,加速度擦传感器的电荷灵敏度宜为 $10\text{pc}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ ~ $20\text{pc}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$;当响应频率为 50Hz 时,加速度传感器的电压灵敏度宜为 $50\text{mV}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ ~ $300\text{mV}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ 。

条文说明:接收传感器宜采用加速度型。

3) 采集仪器技术要求包括:

(1) 检测仪器的采集器应既有现场显示、输入、保存实测波形信号、检测参数的功能,宜具有对现场检测信号进行分析处理、与计算机进行数据通信的功能,一屏应能显示不少于三条波形。

(2) 采集器模拟放大的频率宽带不宜窄于 10Hz,应具有滤波频率可调功能,A/D 不应低于 16 位,采集间隔应小于 $25 \mu\text{s}$ 。

(3) 采集器宜采用轻便节能、手持式操作设计,应能与超磁致伸缩声波振源或其他瞬态冲击振源匹配工作。

(4) 检测资料的软件宜具有数字滤波、幅频谱分析、瞬时相位谱分析、能量计算等信号处理功能,以及锚杆杆长计算、缺陷位置计算和密实度分析功能,可检测波形、计算参数、分析结果导入相应电子文档。

8.3.3 方法与步骤

条文说明:无损检测仪测试锚杆长度与内部缺陷测试方法可参照《锚杆锚固质量无损检测技术规程》JGJ/T 182-2009、《水电水利工程锚杆无损检测规程》DL/T 5424、《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401-2017。

1) 准备工作

(1) 锚杆的抽检

a. 抽检频率:抽检一定长度段落(10~30m)同一种规格的锚杆为一个抽检单元,一个抽检单元抽检锚杆占总锚杆数不少于 10%,且不少于 20 根;当抽检不合格率大于 10%时,应对未检测的锚杆进行加倍抽检。

b. 抽检要求:按照部位随机抽检。

(2) 基础参数的获取:

a. 具备条件时在开展检测工作前应开展现场试验工作,获得“相同材质和规格的锚杆杆体波速平均值”及“杆系波速平均值”。

b. 应以现场锚杆检测同样的方法，在自由状态下检测工程所用各种材质和规格的锚杆杆体波速值，杆体波速应按式(8.3.3-1)计算平均值：

$$C_b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{bi} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-1)$$

$$C_{bi} = \frac{2L}{\Delta t_e} \quad \dots\dots\dots (8.3.2-2)$$

$$\text{或 } C_{bi} = 2L \cdot \Delta f \quad \dots\dots\dots (8.3.3-3)$$

式中：

C_b ——相同材质和规格的锚杆杆体波速平均值 (m/s)；

C_{bi} ——相同材质和规格的第 i 根锚杆的杆体波速值 (m/s)，且

$$|C_{bi} - C_b|/C_b \leq 5\% ;$$

L ——杆体长度 (m)；

Δt_e ——杆底反射波旅行时间 (s)；

Δf ——幅频曲线上杆底相邻谐振峰间的频差 (Hz)；

n ——参加波速平均值计算的相同材质和规格的锚杆数量 ($n \geq 3$)。

c. 宜在现场锚杆试验中选取不少于 5 根相同材质和规格的同类型锚杆的杆系波速值按式(8.3.3-4)计算平均值：

$$C_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ti} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-4)$$

$$C_{ti} = \frac{2L}{\Delta t_e} \quad \dots\dots\dots (8.3.3-5)$$

$$\text{或 } C_{ti} = 2L \cdot \Delta f \quad \dots\dots\dots (8.3.3-6)$$

式中：

C_t ——杆系波速平均值 (m/s)；

C_{ti} ——第 i 根试验锚杆的杆系波速值 (m/s)，且 $|C_{ti} - C_t|/C_t \leq 5\% ;$

L ——杆体长度 (m)；

Δt_0 ——杆底反射波旅行时间 (s) ;

Δf ——幅频曲线上杆底相邻谐振峰间的频差 (Hz) ;

n ——参与波速平均值计算的试验锚杆的锚杆数量 ($n \geq 5$) 。

(3) 现场工作开始前的准备:

- a. 检测前应清除外露端周边浮浆, 分离待检锚杆外露端与喷护体的连接, 保持外露端面平整。
- b. 调直钢筋, 外露钢筋宜与内锚杆体呈直线, 外露端不宜过长, 对被测锚杆的外露自由端长度和控制段锚固情况进行测量记录。
- c. 开始检测工作前须停止有机械振动、电焊作业等对检测数据有明显干扰的施工作业。

2) 测试步骤

(1) 仪器设备调试及设定检测参数: 仪器设备在使用前需要调试, 开始测试前须设定检测参数。需要设定的参数有采样时间间隔、预设杆长、预设波速、记录点数、工程及项目名称。

(2) 数据激发与接收:

- a. 激振与接收宜使用端发端收或端发侧收的方式。
- b. 接收传感器宜使用强磁或其他方式固定, 传感器轴心与锚杆杆轴线应平行; 安装有托板的锚杆, 接收传感器不应直接安装在托板上。
- c. 应采用瞬态激振方式, 激振器激振点与锚杆杆头应充分紧密接触; 应通过现场试验选择合适的激振方式和适度的冲击力;
- d. 激振器激振时应避免触及接收传感器;
- e. 实心锚杆的激振点宜选择杆头靠近中心位置, 保持激振器的轴线与锚杆杆轴线基本重合;
- f. 中空式锚杆的激振点宜紧贴在靠近接收传感器一侧的环状管壁上, 保持激振器的轴线与杆轴线平行;
- g. 激振点不宜在托板上。

(3) 检测记录: 同一根锚杆的有效波形记录不少于 3 个, 且一致性较好。

8.3.4 数据处理

1) 锚杆杆体长度计算

(1) 锚杆杆底反射信号识别可采用时域反射波法、幅频域频差法等。

(2) 杆底反射波与杆端入射首波波峰间的时间差即为杆底反射时差，若有
多次杆底反射信号，则应取各次时差的平均值。

(3) 时间域杆体长度应按式(8.3.4-1)计算：

$$L = \frac{1}{2} C_m \times \Delta t_e \dots\dots\dots (8.3.4-1)$$

式中：

L ——杆体长度；

C_m ——同类锚杆的波速平均值，若无锚杆模拟试验资料，应按下列原则取
值：当锚固密实度小于 30%时，取杆体波速 (C_b) 平均值；当锚固密实度大于
或等于 30%时，取杆系波速 (C_t) 平均值 (m/s)；

Δt_e ——时域杆底反射波旅行时间。

(1) 频率域杆体长度应按式(8.3.4-2)计算：

$$L = \frac{C_m}{2\Delta f} \dots\dots\dots (8.3.4-2)$$

式中：

Δf ——幅频曲线上杆底相邻谐振峰间的频差。

2) 缺陷判断及缺陷位置计算

(1) 时间域缺陷反射波信号到达时间应小于杆底反射时间；若缺陷反射波
信号的相位与杆端入射波信号反相，二次反射信号的相位与入射波信号同相，依
次交替出现，则缺陷界面的波阻抗差值为正；若各次缺陷反射波信号均与杆端入
射波同相，则缺陷界面的波阻抗差值为负。

(2) 频率域缺陷频差值应大于杆底频差值。

(3) 锚杆缺陷反射信号识别可采用时域反射波法、幅频域频差法等。

(4) 缺陷反射波信号与杆端入射首波信号的时间差即为缺陷反射时差，若
同一缺陷有多次反射信号，则应取各次缺陷反射时差的平均值。

(5) 缺陷位置应按式 (8.3.4-3) 或式 (8.3.4-4) 计算:

$$x = \frac{1}{2} \cdot \Delta t_x \cdot C_m \dots\dots\dots (8.3.4-3)$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_m}{\Delta f_x} \dots\dots\dots (8.3.4-4)$$

式中: x ——锚杆杆端至缺陷界面的距离 (m);

Δt_x ——缺陷反射波旅行时间 (s);

Δf_x ——频率曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

3) 锚固密实度判定:

(1) 锚杆锚固密实度按照表 8.3.4-1 进行判定。

表 8.3.4-1 锚固密实度评判标准

质量等级	波形特征	时域信号特征	幅频信号特征	密实度 D
A	波形规则, 呈指数快速衰减, 持续时间短	$2L/C_m$ 时刻前无缺陷反射波, 杆反射波信号微弱或没有	呈单峰形态, 或可见微弱的杆底谐振峰, 其相邻频差 $\Delta f \approx C_m/2L$	$\geq 90\%$
B	波形较规则, 呈较快速衰减, 持续时间较短	$2L/C_m$ 时刻前有较弱的缺陷反射波, 或可见较清晰的杆底反射波	呈单峰或不对称的双峰形态, 或可见较弱的谐振峰, 其相邻频差 $\Delta f \geq C_m/2L$	90%~80%
C	波形欠规则, 呈逐步衰减或间歇衰减趋势形态, 持续时间较长。	$2L/C_m$ 时刻前可见明显的缺陷反射波或清晰的杆底反射波, 但无杆底多次反射波	呈不对称多峰形态, 可见谐振峰, 其相邻频差 $\Delta f \geq C_m/2L$	80%~75%
D	波形不规则, 呈慢速衰减或间歇增强后衰	$2L/C_m$ 时刻前可见明显的缺陷反射波及多次反射波, 或清晰的、多次杆底	呈多峰形态, 杆底谐振峰明显、连续, 或相邻频差 $\Delta f > C_m/2L$	<75%

质量等级	波形特征	时域信号特征	幅频信号特征	密实度 D
	减形态，持续时间长。	反射波信号		

(2) 锚固密实度可根据式 (8.3.4-5) 按长度比例估算：

$$D = 100\% \times (L_r - L_x) / L_r \quad \dots\dots\dots (8.3.4-5)$$

式中：D——锚杆密实度；

L_r ——锚杆入岩深度；

L_x ——锚杆不密实段长度。

4) 锚固质量等级的判定：

锚杆锚固质量等级按照表 8.3.4-2 进行判定。

表 8.3.4-2 锚固密实度评判标准

锚固质量等级	评价标准
I	密实度为 A 级，且长度合格
II	密实度为 B 级，且长度合格
III	密实度为 C 级，且长度合格
IV	密实度为 D 级，或长度不合格

5) 合格标准的判定

(1) 锚杆长度不小于设计长度，锚固长度不小于设计长度的 95%，可评定被检锚杆长度合格。

(2) 锚固质量在 III 级及 III 级以上，可以判定为被检锚杆锚杆质量合格。

(3) 一个检验批的锚杆的锚固质量合格率不低于 80%，可判定该检验批锚杆锚固质量合格。

8.3.5 报告

检测报告应包含以下方面内容：

1) 工程概况：包括隧道概况、隧道锚杆的设计参数及指标等、锚杆施工概况等；

2) 检测依据：规范、合同文件、设计图纸等

3) 检测工作概况：检测时间、现场测试区段、现场抽样情况、检测的方法、检测设备、检测人员等。

4) 检测数据及评定；

5) 结论及建议；

6) 附件：现场检测照片，现场检测原始记录等。

征求意见稿

9 排水系统畅通性与排水能力

9.1 CCTV 视频检测法测试排水系统畅通性

9.1.1 适用范围

本方法适用于隧道中心水沟、路侧深埋水沟、纵向盲管、横向导水管畅通性的测试。

9.1.2 仪器与材料技术要求

CCTV 检测仪，主要包括主控制器、操纵电缆盘（架）、摄像爬行器（带摄像头和照明灯的“机器人”）等。

9.1.3 方法与步骤

1) 准备工作

检测前对检测对象的相关资料进行收集，同时进行现场踏勘。

2) 测试步骤

(1) 首先通过电缆盘连接主控制器与管道内的摄像爬行器；

(2) 操作人员通过主控制器控制爬行器在管道内的行进速度及方向、控制摄像头的摄像方向、镜头焦距、灯光亮度等；

(3) 拍摄的管道内部影像和相关参数则通过电缆传输到主控制器显示屏上，操作员实时监测管道内部情况，同时记录、存储原始影像数据。

9.1.4 数据处理

对测试对象的录像资料进行缺陷编码和抓取缺陷图片，进行缺陷分析。

9.1.5 报告

检测报告应包括项目信息、检测工程概况、检测设备介绍、作业流程、排水系统评估、排水系统检测缺陷情况详表、排水系统缺陷 CCTV 图片汇总等内容。

9.2 电磁式流量法测试隧道排水能力

9.2.1 适用范围

本方法适用于隧道中心排水沟排水能力的测试。

9.2.2 仪器与材料技术要求

1) 电磁式流量检测仪, 主要包括流量传感器、电极、测量管、变换器(励磁电路、信号滤波放大电路、微处理器电路、变送电路等)等。

2) 电磁式流量检测仪的技术要求和参数如下:

(1) 流量测量范围上限值的流速在 0.5m/s~10m/s 范围内选定, 测量范围的范围度应大于等于 5:1;

(2) 精确度等级应符合表 9.2.2-1 的规定;

表 9.2.2-1

适用情况	精确度等级	基本误差限
仪表	1.5	量程的±1.5%
系统	2.5	量程的±2.5%

(3) 被测流体的温度 0~+40℃;

(4) 被测流体电导率不得低于 50 μ s/cm;

(5) 环境温度与相对湿度应符合表 9.2.2-2 的规定。

表 9.2.2-2

	传感器, 仿真传感器	转换器
环境温度	-10~40℃	-10~55℃
相对湿度	—	5%~95%

9.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

检测前对检测对象的相关资料进行收集, 同时进行现场踏勘。

2) 测试步骤

(1) 使用电磁式流量仪开展检测工作时, 应在隧道洞口处建设蓄水池, 将中心排水沟与蓄水池进行连接, 蓄水池外接排水管道, 排水管道出口位置须低于中心排水沟水位, 且保证排水管道处于满流, 排水管道检测区段位于排水管道水平段, 流体处于匀速状态。

(2) 操作人员在检测区段安装电磁式流量计，流量计自动记录中心水沟排水流量。测量中心排水沟出口处断面尺寸及实际排水水位，以便做进一步的评估分析。

9.2.4 数据处理

根据获得的数据，按式（9.2.4-1）计算隧道中水沟的时机排水能力。

$$Q=v \times S \dots\dots\dots (9.2.4-2)$$

$$S=a \times h \dots\dots\dots (9.2.4-2)$$

式中：Q——中心水沟实际排水能力；

v——电磁式流量检测仪记录的流量计算排水沟出口处的平均流速；

S——中心水沟出水口处过水断面面积；

a——中心水沟出水口处过水断面的宽度；

h——中心水沟出水口处水位深度。

9.2.5 报告

检测报告应包括项目信息、检测工程概况、检测设备介绍、作业流程、明渠排水能力评估、现场作业图片汇总等内容。

征求意见稿

10 焊缝密实性

10.1 目测法测试焊缝气密性

10.1.1 适用范围

本方法适用于隧道防水板的所有焊（连）接部位（包括横向焊缝、纵向焊缝、局部补焊）气密性的测试。

10.1.2 仪器与材料技术要求

- 1) 强光手电筒、放大镜、平口螺丝刀、钢卷尺、作业台架、水彩笔等。
- 2) 应准备防水板焊缝气密性检查记录表。

10.1.3 方法与步骤

1) 准备工作

防水板接缝焊接完毕，并且已冷却，作业台架就位。

2) 测试步骤

(1) 从焊缝一侧起点顺序观察焊缝内是否有气泡、空隙、烤焦、焊穿、熔浆均匀溢出等现象，若无，用水彩笔在检查的焊缝位置做出目测合格的标识；若有应进行机械检查。

(2) 机器检测时用平口螺丝刀沿焊缝外边缘（没有熔浆均匀溢出的部位）稍用力，检查是否有虚焊、漏焊部位，若有漏点，应做好标及并及时修补。

(3) 在观察纵向焊缝、横向焊缝焊接质量的同时，选取相对薄弱的位置用钢卷尺测量焊缝的搭接宽度和缝宽，并做好记录。

10.1.4 数据处理

无

10.1.5 报告

检测报告应包含以下方面内容：

- 1) 工程概况：包括隧道概况、隧道防水板的设计情况及设计指标、防水板搭接的总体情况等；
- 2) 检测依据：规范、合同文件、设计图纸等；

3) 检测工作概况: 检测时间、现场测试数量及位置、现场抽样情况、检测的方法、检测人员等。

4) 目测结果: 防水板搭接的宽度及缝宽的均值、最大值、最小值、合格率等;

5) 结论及建议;

6) 附件: 现场检测照片等。

10.2 负压法测试焊缝气密性

10.2.1 适用范围

本方法适用于隧道防水板局部补焊处气密性的测试。

条文说明: 局部补焊主要是指防水板在施工过程中, 由于其表面受到损坏, 而在损坏处周边增加一块防水板进行焊接覆盖, 是对防水板损坏的一种补救措施。

10.2.2 仪器与材料技术要求

1) 应配备强光手电筒、真空罩、真空泵、肥皂水、水彩笔、作业台架、抹布等。

2) 应准备隧道防水板焊缝气密性检查记录表。

10.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

隧道防水板焊缝气密性检测应在防水板局部补焊完毕, 并且已冷却。根据目测法检测结果, 选取焊接质量存在不确定的部位。

2) 测试步骤

检测过程中, 应按以下步序进行:

(1) 作业台架就位;

(2) 将局部补焊周边的防水板擦拭干净;

(3) 沿焊缝周边涂抹肥皂水;

(4) 安装真空罩, 保持真空罩底座与防水板密贴不透气;

(5) 用真空泵抽取真空罩内的空气, 保持真空罩内的工作压力为 0.25MPa 左右;

(6) 保持真空罩与防水板间尽量不漏气，持续 15 分钟，观察焊缝周边是否有气泡；

(7) 若有气泡，应做好标及并及时修补；若无气泡，说明焊缝质量合格，做好检查合格标志。

10.2.4 数据处理

无

10.2.5 报告

检测报告应包含以下方面内容：

- 1) 工程概况：包括隧道概况、隧道防水板的设计情况及设计指标、锚杆防水板施工情况等；
- 2) 检测依据：规范、合同文件、设计图纸等；
- 3) 检测工作概况：检测时间、现场测试区段、现场抽样情况、检测的方法、检测人员等。
- 4) 检测结果；
- 5) 结论及建议；
- 6) 附件：现场检测照片等。

10.3 充气法检测焊缝气密性

10.3.1 适用范围

本方法适用于隧道防水板采用双焊缝连接的焊缝气密性的测试。

10.3.2 仪器与材料技术要求

- 1) 应配备手动针式隧道防水板焊缝气密性检测仪或电动恒压隧道防水板焊缝气密性检测仪、夹具、肥皂水、秒表、强光手电筒、钢卷尺等。
- 2) 应准备隧道防水板焊缝气密性检查记录表。
- 3) 隧道防水板焊缝气密性检测仪应包括打气筒或充气泵、气压表、5 号注射针。气压表量程-1~60Mpa，准确度等级不大于 0.05 级。
- 4) 电动恒压隧道防水板焊缝气密性检测仪工作电源为 AC220V，工作压力为 0.25MPa。

10.3.3 方法与步骤

1) 准备工作

隧道防水板焊缝气密性检测应在防水板接缝焊接完毕,并且已冷却,目测外观质量合格的情况下进行。根据要求确定进行从检查的数量及焊缝位置。

条文说明:隧道防水板焊缝气密性检查采取水机抽样方法,环向焊缝每衬砌循环抽试2条,纵向焊缝每衬砌循环抽试1条。现场检测时,可根据需要抽取完整的环向或纵向焊缝进行检测,充气检测的长度不宜大于40m。

2) 测试步骤

检测过程中,应按以下步序进行:

(1) 选定拟抽查的焊缝,用钢卷尺确定其里程桩号及横断面位置。

(2) 将待检焊缝的两端采用夹具加紧,保证端头不漏气。

(3) 采用手动针式隧道防水板焊缝气密性检测仪时,先将5号注射针与压力表相连接,然后将注射针插入拟检测的焊缝内,用打气筒或者气泵进行充气,当压力表达达到0.25MPa时停止充气。

(4) 采用电动恒压隧道防水板焊缝气密性检测仪时,将5号注射针插入拟检测的焊缝内,接通电源,打开开关,机器开始工作,当压力表达达到0.25MPa时自动停止充气。

(5) 保持充气针尽量不漏气,持续15分钟后记录终结压力表读数。

(6) 判定焊缝气密性是否合格。

(7) 若合格,排放焊缝内气体,并采用塑料片热熔封堵针眼,试验结束。

(8) 若不合格,用肥皂水涂在焊缝上,重新对焊缝进行充气,有气泡的地方应重新补焊,直到不漏气为止。

条文说明:电动恒压隧道防水板焊缝气密性检测仪出厂时工作参数一般已设定好,当焊缝内的气压达到0.25MPa时,会自动停止充气。

10.3.4 数据处理

充气法检测焊缝气密性时充气压力一般为0.25Mpa,15分钟后压力下降不超过10%即判定为合格,计算式如公式(10.4-1):

$$\Delta P = \frac{P_{始} - P_{终}}{P_{始}} \times 100\% \leq 10\% \quad \dots\dots\dots (10.4-1)$$

式中:

ΔP ——15 分钟后压力下降值；

$P_{\text{始}}$ ——气密性检测初始值，一般为 0.25MPa；

$P_{\text{终}}$ ——气密性检测终结压力值。

10.3.5 报告

检测报告应包含以下方面内容：

- 1) 工程概况：包括隧道概况、隧道防水板的设计情况及设计指标、防水板施工情况等；
- 2) 检测依据：规范、合同文件、设计图纸等；
- 3) 检测工作概况：检测时间、现场测试区段、现场抽样情况、检测的方法、检测人员等。
- 4) 检测结果：现场测试结果的均值、最大值、最小值、合格率等。
- 5) 结论及建议；
- 6) 附件：现场检测照片等；

征求意见稿

11 外观质量与背部密实性

11.1 裂缝检测仪-测试裂缝

11.1.1 适用范围

本方法适用于公路隧道衬砌裂缝的测试。

11.1.2 仪器与材料技术要求

- 1) 主要使用工具：裂缝计、裂缝检测仪。
- 2) 裂缝检测仪技术要求：裂缝测试深度适用范围应满足 10mm~500mm；检测准确度应不大于 5%。
- 3) 辅助使用工具：量角器、地质罗盘、钢卷尺、游标卡尺、数码相机、手电筒等。

11.1.3 方法与步骤

- 1) 准备工作
 - (1) 清理裂缝表层防火涂料或防火板。
 - (2) 采用目测法确定裂缝延伸范围，并明确裂缝起止位置，做好标识。
 - (3) 依据裂缝附近运营桩号确定裂缝中心位置所处桩号信息。
- 2) 测试步骤
 - (1) 裂缝位置应采用裂缝中点与隧道中线或墙底线的距离定位，部位采用拱部、曲墙、路面标识。
 - (2) 裂缝走向宜采用量角器或地质罗盘在裂缝起始端处开展，测量裂缝起始端和终端的连线与隧道中线或墙底线的夹角。
 - (3) 长度宜采用钢卷尺测量裂缝起始端到终端的距离。
 - (4) 宽度宜采用游标卡尺或裂缝计测量裂缝最宽处的宽度。
 - (5) 裂缝深度检测可采用凿孔检查法、钻孔取芯方法、裂缝检测仪等无损检测方法。裂缝检测仪检测深度应符合以下规定：
 - a. 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，被测裂缝内有耦合介质（如水、泥浆等）时，应清理或更换检测点。

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

c. 拟合波形图，计算裂缝深度，并保存数据。

（6）裂缝发展性观测应对裂缝宽度和长度进行定期或不定期多次检测和观测。裂缝的宽度可采用标点检测法、砂浆涂抹法和裂缝测量计的方法观测，裂缝长度扩展可采用尖端标记法、砂浆涂抹法观测。条件允许时，也可采用裂缝自动检测装置进行长期检测。

11.1.4 数据处理

1) 裂缝宽度值通过自动判读得到，一条裂缝宽度判读 3 组数据，取平均值。

2) 裂缝深度现场检测之后，可将保存在仪器内部的检测数据通过 U 盘拷贝到计算机中，使用配套的裂缝综合测试分析软件对所有检测数据进行分析处理，完成对隧道衬砌裂缝评定。

11.1.5 报告

本测试宜报告以下技术内容：

- 1) 裂缝的位置信息（桩号等）。
- 2) 裂缝具体参数描述（裂缝长度、宽度、深度等）。
- 3) 检测照片、影像资料。

11.2 人工法测试渗漏水

11.2.1 适用范围

本方法适用于公路隧道渗漏水的测试。

11.2.2 仪器与材料技术要求

- 1) 主要使用工具：带刻度容器、秒表、数码相机。
- 2) 应准备渗漏水检测记录表，包括位置、水量、浑浊、冻结、水质检测等。

11.2.3 方法与步骤

1) 准备工作

- （1）采用目测法明确渗漏水范围，并沿渗漏水边界做好标识。
- （2）依据渗漏水附近运营桩号确定渗漏水中心位置所处桩号信息。

2) 测试步骤

(1) 渗漏水位置：衬砌表面或路面有明显出水点的渗漏水，可直接观察渗漏水的位置，并做好文字和影像记录。衬砌表面或路面无明显出水点的渗漏水，宜进行含水探测。

(2) 渗漏水水量：喷射或涌流可用带有刻度的容器收集检测，并记录容器内水量到达某一刻度所用的时间，取短时间内多次观测计算的平均值作为结果。浸渗、滴漏等流量较小的渗漏水，应检查记录其渗漏的日期，并做好渗漏水处的影像记录。

(3) 渗漏水浑浊时应检查渗漏水的浑浊程度、浑浊物及其颜色等形态特征。

(4) 冻结检查应包括隧道内温度、冻结位置、冻结程度等：

- a. 隧道内温度可采用温度计测定渗漏水冻结位置的环境温度，并记录。
- b. 冻结位置检查应查明冻结渗漏水在隧道内横纵断面的具体位置以及分布情况。
- c. 冻结程度检查应确定路面结冰、堆冰、拱部挂冰等病害的规模大小，并预测其中短期发展趋势。
- d. 隧道日常检测应加强隧道冻害观测，并及时采取措施清除病害。

(5) 水质检测应包括渗漏水的水温、PH 值、电导度、水质化学分析。

- a. 水温现场检测采用温度计来测定。
- b. PH 值现场检测可采用 PH 试纸测定渗漏水的酸碱度。
- c. 电导度现场检测可采用导电仪来测定。
- d. 渗漏水水质化学分析应先用蒸馏水洗净的玻璃瓶对渗漏水取样，并送至室内实验室进行化验分析。
- e. 水质腐蚀性检测可按照现行标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021）中水和土腐蚀性评价方法进行。

(6) 衬砌背后含水探测宜采用综合工程物探方法，先采用物探无损探测，探测到有含水体时，采用钻探法验证。

11.2.4 数据处理

- 1) 喷射或涌流渗漏水水量，取短时间内多次观测计算的平均值作为结果。

2) 滴漏渗漏水水量可通过目测计取每分钟的滴落数目, 估算渗漏量。一般滴落速度 3 滴/min~4 滴/min 时, 24h 渗水量约为 1L; 滴落速度大于 300 滴/min, 则形成连续线流。

11.2.5 报告

本测试宜报告以下技术内容:

- 1) 渗漏水类型和位置;
- 2) 渗漏水面积;
- 3) 渗漏水量;
- 4) 渗漏水水质数据。

11.3 人工法测试剥落剥离

11.3.1 适用范围

本方法适用于公路隧道衬砌剥落剥离的测试。

11.3.2 仪器与材料技术要求

- 1) 主要使用工具: 钢卷尺、直尺、游标卡尺、数码相机。
- 2) 应准备剥落剥离检测记录表, 包括位置、范围、深度等。

11.3.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 结合目测法和锤击法明确剥落剥离范围, 并沿剥落剥离边界做好标识。
- (2) 依据剥落剥离附近运营桩号确定剥落剥离中心位置所处桩号信息。

2) 测试步骤

(1) 剥落剥离位置应采用剥落剥离中点与隧道中线或墙底线的距离定位, 部位采用拱部、曲墙、路面标识。

(2) 剥落剥离范围宜采用直接检测法, 应利用铁锤敲击衬砌表面圈定其面积, 用钢卷尺测量计算尺寸。

(3) 剥落剥离深度可采用直尺和深度游标卡尺直接检测, 测量时直尺应沿着隧道的纵向轴线紧贴在衬砌表面, 用深度游标卡尺测量剥落剥离最深处至衬砌表面的最大距离。

11.3.4 数据处理

- 1) 剥落剥离位置应测量剥落剥离区域中心位置。
- 2) 剥落剥离范围宜根据区域形状计算面积,精度不应低于 10cm^2 。
- 3) 剥落剥离深度应测病害最大深度处,精确至 1mm 。

11.3.5 报告

本测试宜报告以下技术内容:

- 1) 剥落剥离区域中心位置;
- 2) 剥落剥离区域形状计算面积;
- 3) 剥落剥离区域最大深度。

11.4 人工法测试表面缺陷

11.4.1 适用范围

本方法适用于公路隧道衬砌表面缺陷(起层、蜂窝、麻面和孔洞等)的测试。

11.4.2 仪器与材料技术要求

- 1) 主要使用工具:钢卷尺、皮尺、游标卡尺、数码相机。
- 2) 应准备表面缺陷检测记录表,包括类型、位置、范围、程度等。

11.4.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 结合目测法明确表面缺陷范围,并沿表面缺陷边界做好标识。
- (2) 依据表面缺陷附近运营桩号确定表面缺陷中心位置所处桩号信息。

2) 测试步骤

- (1) 起层的位置和范围可采用钢卷尺或皮尺直接测量。蜂窝、麻面的位置和范围可用钢卷尺或皮尺直接测量。
- (2) 孔洞直径可采用钢卷尺或皮尺直接测量,深度可采用游标卡尺测量。
- (3) 露筋长度可用钢卷尺或皮尺直接测量。
- (4) 起层、蜂窝、麻面、孔洞、露筋等表观缺陷或病害可采用数字摄像测量法、三维激光扫描法(公路隧道检测车)等信息化手段对其位置和范围进行快速检测。

11.4.4 数据处理

- 1) 表面缺陷位置应测量表面缺陷区域中心位置。

- 2) 表面缺陷范围宜根据区域形状计算面积，精度不应低于 10cm^2 。
- 3) 表面缺陷深度应测病害最大深度处，精确至 1mm 。

11.4.5 报告

本测试应包括以下技术内容：

- 1) 缺陷类型；
- 2) 区域中心位置；
- 3) 区域形状计算面积；
- 4) 缺陷最大深度。

11.5 地质雷达测试背部密实性

11.5.1 适用范围

本方法适用于公路隧道衬砌背部密实性的测试。

11.5.2 仪器与材料技术要求

地质雷达技术要求：

- 1) 应选择有屏蔽功能的天线；
- 2) 在分辨率满足且场所条件许可时，应采用 400MHz 、 500MHz 主频天线；
- 3) 数据采集、传输、记录和处理分别由专用软件自动控制进行。

11.5.3 方法与步骤

1) 准备工作

- (1) 收集设计图纸、施工日志等资料，以确定检测范围和检测天线频率。
- (2) 通过对已知尺寸结构部位测试进行仪器标定。

2) 测试步骤

- (1) 采用地质雷达测试时，测线布置应符合以下规定：

a. 隧道施工阶段测试时，测线布置应以纵向布线为主，环向布线为辅。单洞两车道隧道应分别在隧道的拱顶、左右拱腰、左右边墙布置共 5 条测线；单洞三车道、四车道隧道应在隧道的拱腰部位增加两条测线，遇到衬砌有缺陷的位置应加密测线。

b. 交工验收阶段测试时，测线布置应以纵向布线为主，环向布线为辅。单洞两车道隧道应分别在隧道的拱顶、左右拱腰布置共 3 条测线；单洞三车道、四车道隧道应在隧道的拱腰部位增加两条测线，遇到衬砌有缺陷的位置应加密测线。

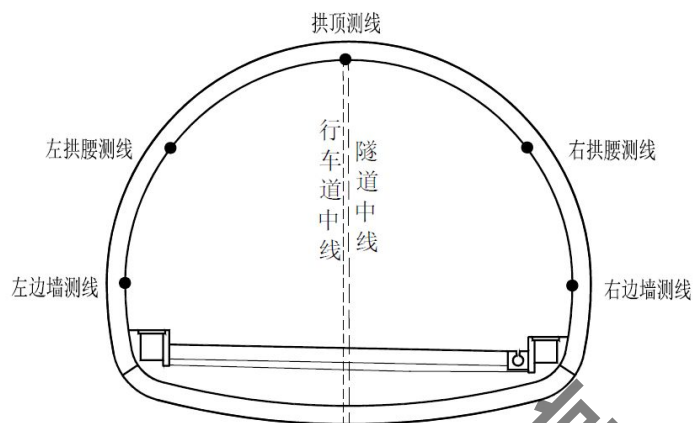


图 11.5.3-1 背部密实度检测测线布置图

c. 环向测线可按测试内容和要求布设测线，也可沿隧道纵向的布置间距为 8~12m。若测试中发现不合格地段，应加密测线或测点。

(2) 测试方式应符合以下规定：

a. 纵向测线宜采用连续测量方式测试；若遇特殊地段或条件不允许时，可采用点测方式。测线每 5~10m 应有里程标记。

b. 环向测线宜采用连续方式测试；也可采用点测方式，每道测线不小于 20 个测点。

c. 天线的定位方法可采用手动打标定位法和测量轮测距定位法，测试过程中应加强定位的误差标定或实施分段标定。

3) 测试时应符合以下规定：

(1) 正确连接雷达系统，测试前进行试运行，确保主机、天线及输入输出设备运行正常。

(2) 测试前，应在支护（衬砌）表面准确标记隧道里程桩号，严格控制误差。

(3) 测试时，须保持天线与被测衬砌表面密贴（空气耦合天线除外）。

(4) 测试时，天线移动速度应保持平稳、均匀，移动速度宜为 2~5km/h。

(5) 测试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。

(6) 当需要分段测试时，相邻测试段接头重合长度不应小于 1m。

(7) 应记录可能对测试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。

4) 采用钻孔取芯法测试时，应符合以下规定：

(1) 可与钻孔取芯法测试二次衬砌厚度项目同时进行。

(2) 先采用取芯机在待测试部位取芯，取芯后可在孔内用直尺检测空洞深度。

(3) 可采用内窥镜观察空洞情况。

5) 采用钻孔检测法测试时，应符合以下规定：

(1) 钻孔应避开主要受力钢筋，钻孔前应对钢筋进行探测，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) 先在待测试部位开孔，钻孔后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，并将测得的衬砌厚度扣除，检测空洞深度。

(3) 钻孔孔径应不小于 15mm，测试精度不宜低于 10mm。

(4) 测试结束后应注意对破损部位修复，防止诱发渗漏水病害。

11.5.4 数据处理

1) 背部密实性地质雷达检测数据处理与解释，参照本规程 6.4.4 执行。

2) 地质雷达法测试衬砌混凝土结构密实性，判定特征按以下规定：

(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，信号同相轴呈绕射弧形，图像变化杂乱。

(3) 空洞：反射信号强，反射界面明显，下部有多次反射信号，两组信号时程差较大。

11.5.5 报告

本测试应包括以下技术内容：

1) 填写测试区域，并记录合格区段、长度、范围、程度等。

2) 背部密实性欠佳段落起止桩号、部位、长度、范围、程度等。

3) 地质雷达测线部位、高度等，必要时测试报告可包括专业设备测试的原始数据。

11.6 车载式快速检测法-测试外观质量和断面轮廓

11.6.1 适用范围

本方法适用于公路隧道衬砌外观质量和断面轮廓的测试。

11.6.2 仪器与材料技术要求

车载式快速检测设备（以下简称检测车）由承载车、影像采集系统、激光扫描采集系统、车辆定位系统和主体控制系统组成，基本的技术参数要求如下：

测试速度：0~80km/h；

影像采集精度：不应低于 0.2mm；

激光扫描采集精度：不应低于±2mm；

里程定位精度：不应低于 1%。

11.6.3 方法与步骤

1) 准备工作

(1) 测试前，应启动车辆和全部测试系统，并应检测车辆及各子系统运转情况；

(2) 隧道信息应建立详细的隧道信息表；

(3) 开始检测任务前，应根据隧道信息表制作检测记录表。

2) 测试步骤

(1) 检测车应停在距离洞口前 50~100m 处启动所有检测系统；

(2) 驾驶员应按照要求的测试速度匀速驾驶检测车，应避免急加速和急减速；

(3) 在进入隧道洞口前，应依据项目要求启动影像采集系统、激光扫描采集系统的采集和记录程序；

(4) 当检测车驶出检测隧道后，测试人员应停止数据采集和记录，并应恢复仪器到初始状态；

(5) 检查测试数据文件应完整，内容应正常，否则应重新测试；

(6) 关闭测试系统电源，结束测试。

11.6.4 数据处理

（1）应采用数据处理软件分别对影像采集系统的采集数据和激光扫描采集系统的采集数据进行处理；

（2）影像采集系统采集的外观质量数据处理时，应对裂缝、渗漏水、剥落剥离、表面缺陷等病害的信息进行识别，并宜形成二维病害展布图；

（3）激光扫描采集系统采集的断面轮廓数据处理时，宜按 50m 一处提取断面轮廓，分析建筑界限的侵限情况。

11.6.5 报告

本测试宜报告以下技术内容：

- （1）测试隧道基本信息（隧道起止桩号、隧道长度、断面轮廓设计信息）；
- （2）隧道外观质量数据统计情况（裂缝、渗漏水、剥落剥离、表面缺陷等病害的统计清单）；
- （3）隧道病害展布图；
- （4）隧道实测断面轮廓图和侵限断面信息。

附录 A 现场测试记录表格

表 A-1 工字钢间距检测原始记录表

检测单位名称:

记录编号:

工程部位/ 用途		委托/任务 编号			
样品名称		样品编号			
试验依据		样品描述			
试验条件		试验日期			
主要仪器 设备及编号					
序号	检测项目	设计值 (mm)	实测平均值(mm)	合格率 (%)	备注
1	工字钢 间距	纵 向			/
	检测 示意图	<p style="text-align: right;">隧道纵向</p>			
2	检测项目	设计值 (mm)	实测平均值(mm)	合格率 (%)	备注
	工字钢 间距	纵 向			
2	检测 示意图	<p style="text-align: right;">隧道纵向</p>			

试验:

复核:

日期: 年 月 日

表 A-2 锚杆间距分布检测原始记录表

检测单位名称:

记录编号:

工程部位/用途				委托/任务编号			
样品名称				样品编号			
试验依据				样品描述			
试验条件				试验日期			
主要设备及编号							
测环	桩号	锚杆间距				10 延米内数量 (根)	
		设计值 (cm)	部位	实测值 (cm)	合格率 (%)	设计数量	实测数量
1			拱顶至左拱脚				
			拱顶至右拱脚				
2							
3							
4							
检测示意图							

试验:

复核:

日期:

年

月

日

表 A-3 隧道混凝土取芯厚度试验原始记录表

检测单位名称：

记录编号：

路线名称				委托/任务编号			
检测标段				样品编号			
样品名称				检测依据			
评定依据				检测日期		年 月 日	
主要设备及编号							
编号	隧道名称	左\右幅	取芯位置	设计厚度 (mm)	芯样厚度 (mm)	芯样描述	照片号
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
备注							

试验：

复核：

日期： 年 月 日

表 A-4 隧道初衬厚度检测原始记录表

检测单位名称:

记录编号:

路线名称				委托/任务编号							
检测标段				样品编号							
样品描述				检测依据							
检测内容				检测日期							
主要设备及编号											
序号	隧道名称	左/右幅		桩号		初衬设计厚度 (mm)					
1	测值 (mm)										
	测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	部位										
	拱顶至左拱脚										
	拱 顶										
	拱顶至右拱腰										
	平均值 (mm)						最小厚度 (mm)				
	合格率 (%)										
	隧道名称	左/右幅		桩号		初衬设计厚度 (mm)					
2	测值 (mm)										
	测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	部位										
	拱顶至左拱脚										
	拱 顶										
	拱顶至右拱腰										
	平均值 (mm)						最小厚度 (mm)				
	合格率 (%)										
备注											

检测:

复核:

日期: 年 月 日

表 A-5 隧道衬砌质量检测（雷达法）原始记录表

检测单位名称：

记录编号：

路线名称				委托/任务编号			
检测标段				样品编号			
样品描述				检测依据			
检测内容				检测日期			
主要设备及编号							
序号	隧道名称	左/右幅	部位	文件名称	检测桩号		
1	采集情况	1、					
		2、					
		3、					
		4、					
2	采集情况	1、					
		2、					
		3、					
		4、					
3	采集情况	1、					
		2、					
		3、					
		4、					
备注							

检测：

复核：

日期： 年 月

表 A-6 隧道锚杆锚固质量无损检测原始记录表

检测单位名称：

记录编号：

项目名称					委托/任务编号						
检测标段					样品编号						
样品描述					检测依据						
检测内容					检测日期						
主要仪器设备及编号		锚杆质量检测仪（ ） 钢卷尺（ ）									
序号	隧道名称	左/右幅	桩号	部位	锚杆类型	设计长度 (m)	自由段长 (cm)	杆体长度 (m)	密实度 (%)	锚固等级	文件名
备注：											
电子文档存储名称及路径：											

检测：

复核：

日期： 年 月 日

表 A-7 地质雷达法检测（支护）衬砌厚度现场检测记录表

工程名称:	隧道名称:		洞别:		检测段落:			
检测单位:			检测设备型号:		检测时间:			
桩号	标记							
	测线 1	测线 2	测线 3	测线 4	测线 5	测线 6	测线 7	测线 8
	高度:	高度:	高度:	高度:	高度:	高度:	高度:	高度:
	文件 名:	文件 名:	文件 名:	文件 名:	文件 名:	文件 名:	文件 名:	文件 名:

征求意见稿

检测:

复核:

审核:

表 A-8 电磁法钢筋保护层厚度现场测试记录表

工程名称:		隧道名称:		洞别:		检测段落:		
检测单位:				检测设备型号:		检测时间:		
测点序号	检测部位	设计值 (mm)	钢筋公称 直径 (mm)	保护层厚度测定值 (mm)				
				第 1 次 检测值	第 2 次 检测值	修正 值	垫块 厚度	测定 值

征求意见稿

检测:

复核:

审核:

表 A-8 衬砌混凝土表面平整度现场测试记录表

工程名称:	隧道名称:	洞别:	检测段落:					
检测单位:		检测设备型号:			检测时间:			
分段起	测量最大间隙 (mm)						合格率	备注
止桩号	第 1 尺	第 2 尺	第 3 尺	第 4 尺	第 5 尺	平均值		

检测:

复核:

审核:

征求意见稿

表 A-9 锚杆拉拔力测试记录表

_____项目锚杆拉拔力记录及计算表

报告编号:

分 组	编 号	里 程	衬砌类 型	实测部 位	锚杆类 型	检测拉拔力 (KN)		平均值 (KN)	设计值 (KN)	最小值 (KN)	设计值 ×0.9 (KN)	检 测 结 论
						最大 值	10min 持荷读 数					

备注：28 天拉拔力平均值 ≥ 设计值；最小拉拔力 ≥ 0.9 设计值；

检测:

复核:

审核:

表 A-10 单根锚杆检测记录表

单根锚杆检测结果表

工程名称:

项目名称:

锚杆编号:

检测单位:

仪器型号:

检测日期:

检测波形及解释示意图							
	设计参数	类型	Φ (mm)	L (m)	L_0 (m)	L_r (m)	D (%)
检测参数	类型	Φ (mm)	L (m)	L_0 (m)	L_r (m)	D (%)	其他
检测结果							

试验:

计算:

复核:

表 A-11 单元工程锚杆检测记录表

单元工程锚杆检测成果表

工程名称:

项目名称:

锚杆编号:

检测单位:

仪器型号:

检测日期:

序号	锚杆编号	设计参数		检测参数		分级	检测评价	备注
		L (m)	D (%)	L (m)	D (%)			

征求意见稿

试验:

计算:

复核:

表 A-12 防水板焊缝气密性测试记录表

报告编号：

工程名称				检测日期			
施工单位				测试单位			
取样位置				防水板规格型号			
检测方法				焊接形式			
试件 编号	搭接长度 (mm)	单缝宽度 (mm)	焊缝外观	保持时间 ≥15min	初始气压 (MPa)	终结压力表读 数 (MPa)	气压下降 量 (%)
备注		1.试件外观有漏焊、假焊、熔穿现象直接判为不合格； 2.焊缝在 0.25MPa 气压作用下，15 分钟后压力下降在 10%以内。					
检测结论							

测试：

计算：

复核：

附录 B 隧道基本参数

表 A-1 隧道基本参数表编码要求

表名称		TunYYYYMM			
字段英文名	字段中文名	类型	可空	顺序	备注
TunName	隧道名称	Varchar(20)	否	1	
TunBegin	起点桩号	Numeric(7,3)	否	2	单位: km
TunEnd	止点桩号	Numeric(7,3)	否	3	单位: km
TunCentre	中心桩号	Numeric(7,3)	否	4	单位: km
ClaCode	分类代码	Varchar(20)	否	5	
Length	长度	Numeric(6,2)	否	6	单位: km
CleWidth	净宽	Numeric(6,2)	否	7	单位: m
CleHeight	净高	Numeric(6,2)	否	8	单位: m
HoMode	洞口形式	Varchar(20)	否	9	
SecMode	断面形式	Varchar(20)	否	10	
LinMaterial	衬砌材料	Varchar(20)	否	11	
LighMode	照明状况类型	Varchar(20)	否	12	
VenMode	通风类型	Varchar(20)	否	13	
FaciMode	机电设施类型	Varchar(20)	否	14	
ComDate	竣工日期	Datetime	否	15	
DesUnit	设计单位	Varchar(20)	否	16	
ConsUnit	施工单位	Varchar(20)	否	17	
SupUnit	监理单位	Varchar(20)	否	18	
ManUnit	管理单位	Varchar(20)	否	19	
MainUnit	养护单位	Varchar(20)	否	20	
SendMan	发送人名字	Varchar(20)	是	21	
SectTime	日期时间	Datetime	是	22	
Reserve	预留字段	Varchar(20)	是	23	

本规范用词用语说明

1) 本规范执行严格程度的用词,采用下列写法:

(1) 表示很严格,非这样做不可的用词,正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词,正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择,在条件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) 在标准总则中表述与相关标准的关系时,采用“除应符合本规范的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。

(2) 在标准条文及其他规定中,当引用的标准为国家标准和行业标准时,表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。

(3) 当引用本标准中的其他规定时,表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第×.×.×条的有关规定执行”。