

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路隧道检测规程

(征求意见稿)

Technical specification for the test in road tunnel

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于征求〈2016 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉（草案）意见的通知》（建标协字[2016]33 号）的要求，由交通运输部公路科学研究所成立标准编制组，经广泛调查研究，结合工程实践，认真总结经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本标准的主要内容是：1. 总则；2. 术语、符号；3. 一般规定；4. 几何尺寸；5. 隧道衬砌混凝土；6. 隧道路面；7. 渗漏水；8. 锚杆拉拔；9. 防水板施工质量。

本标准由中国工程建设标准化协会工程管理专业委员会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究所负责具体技术内容解释。如有需要修改和补充之处，请将有关意见和建议寄至交通运输部公路科学研究所（地址：北京市海淀区西土城路8号，邮编100088）。

主 编 单 位：交通运输部公路科学研究所

主编：王华牢

主要参编人员：许崇帮 陶双江 刘学增 陈建勋

邓 刚 田燕卿 林 志 周 宁

夏才初 万 飞 李永红 李 磊

目 录

1 总 则.....	- 1 -
2 术语、符号.....	- 1 -
2.1 术语	- 1 -
2.2 符号	- 2 -
3 一般规定.....	- 3 -
3.1 检测工作程序	- 3 -
3.2 检测内容	- 3 -
3.3 检测资料整理	- 3 -
4 几何尺寸.....	- 3 -
4.1 开挖尺寸	- 3 -
4.2 隧道初期支护断面	- 4 -
4.3 隧道内轮廓	- 5 -
5 隧道衬砌混凝土.....	- 6 -
5.1 喷射混凝土强度	- 6 -
5.2 模筑混凝土强度	- 7 -
5.3 混凝土抗渗等级	- 8 -
5.4 混凝土碳化.....	- 9 -
5.5 钢筋锈蚀	- 10 -
5.6 混凝土衬砌平整度.....	- 12 -
5.7 衬砌裂缝	- 12 -
5.8 二次衬砌厚度检测	- 16 -
5.9 表面病害	- 18 -
5.10 衬砌背后空洞.....	- 18 -
6 隧道路面.....	- 19 -
6.1 路面隆起与沉陷	- 19 -
6.2 路面开裂与错台	- 21 -
7 渗漏水.....	- 21 -
7.1 一般规定	- 21 -
7.2 形态检测	- 22 -
7.3 水质检测	- 23 -
7.4 防排水系统检查	- 25 -
7.5 衬砌背后围岩状态及含水体探测.....	- 25 -
7.6 渗漏水水源检测	- 27 -
8 锚杆拉拔.....	- 28 -
8.1 检测目的	- 28 -
8.2 检测方法	- 28 -
8.3 检测要求	- 29 -
9 防水板施工质量.....	- 30 -
9.1 一般规定	- 30 -

9.2 检测目的	- 30 -
9.3 检测内容及标准	- 30 -
9.4 焊缝检测方法	- 30 -
附录 A 激光断面仪检测隧道断面方法	- 32 -
附录 B 锚杆直接测量方法	- 34 -
附录 C 半电位法	- 36 -
附录 D 隧道沉降监测	- 37 -
附录 E 裂缝探测仪	- 38 -
附录 F 地质雷达检测隧道衬砌质量方法	- 41 -

征求意见稿

1 总 则

1.01 为使公路隧道检测满足技术可行、操作规范、数据可靠、结果可信、经济合理和环境保护的要求，制订本规程。

1.02 本规程适用适用于高速公路、一级公路、二级公路的山岭隧道检测，其他公路隧道可参照执行。

1.03 隧道检测应贯彻国家技术经济政策，积极、慎重地采用新技术、新设备和新工艺。

1.04 隧道检测除按本规程执行外，尚应符合国家和行业现行的有关标准、规范和试验测试规程。

2 术语、符号

2.1 术语

1 湿渍 wet stained

隧道衬砌内表面可直接观察到的具有明显色泽变化的潮湿斑块，用干手触摸湿斑无水分浸润感。

2 浸渗 infiltration

隧道衬砌内表面可直接观察到的明显流挂水膜，称为浸渗。

3 点渗 Point seepage

浸渗的形式之一，即浸渗源头呈点状。

4 线渗 Line seepage

浸渗的形式之一，即浸渗源头呈线状。

5 面渗 Surface seepage

浸渗的形式之一，即浸渗源头呈面状。

6 滴漏 Drop leakage

拱部或者曲边侧墙点状渗水点出现的间歇性水滴掉落现象。

7 喷射 Spray

隧道衬砌内表面凌空的小股喷射状水流，一般流量较小。

8 涌流 Flashy flow

隧道衬砌内表面或者路面出现的呈股状喷涌流淌的水流，一般流量较大。

2.2 符号

—— 湿渍

○ —— 浸渗

⊙ —— 点渗

| —— 线渗

◇ —— 面渗

▽ —— 滴漏

↗ —— 喷射

√ —— 涌流

P —— 混凝土抗渗标号

H —— 试件渗水时的水压力 (MPa)。

3 一般规定

3.1 检测工作程序

- 3.1.1 接受委托：根据委托人要求，确定公路隧道检测内容、范围和目标等。
- 3.1.2 现场调研：收集和分析隧道原始资料，并进行现场查勘，制订检测工作方案。
- 3.1.3 现场检测：在确认仪器、设备状况正常后，对隧道现状进行现场调查和检测。

3.2 检测内容

- 3.2.1 在建隧道，检测对象主要为：隧道几何尺寸、混泥土（初衬与二衬）强度与抗渗等级、锚杆抗拉拔和防水板焊接质量等。
- 3.2.2 已建运营隧道，检测对象主要为：隧道二衬混泥土强度、混凝土碳化、钢筋锈蚀、混凝土平整度、衬砌裂缝、衬砌厚度、表面病害（起层、剥落、蜂窝、麻面等）和空洞，以及隧道路面和渗漏水等。

3.3 检测资料整理

- 3.3.1 检测资料整理应充分考虑检测目的和检测内容，满足检测项目的需要。
- 3.3.2 检测资料应按手绘测试资料、试验测试资料和现场仪器（包括隧道检测车）探测数据资料分类整理，并注意对原始数据的保存工作。
- 3.3.3 检测资料宜采用文字和图表相结合的方式表述，能形象表述隧道检测对象性状。
- 3.3.4 检测资料整理需充分结合隧道检测的技术手段，在编制过程中根据检测的仪器、方法和测试指标补充对检测资料整理工作的技术要求。

4 几何尺寸

4.1 开挖尺寸

- 4.1.1 隧道开挖应符合下列基本要求：

应严格控制欠挖，拱脚、墙脚以上 1m 范围内严禁欠挖；当石质坚硬完整且岩石抗压强度大于 30MPa 并确认不影响衬砌结构稳定和强度时，岩石个别凸出部分（每 1m^2 不大于 0.1m^2 ）可突入衬砌断面，锚喷支护时凸入不得大于 30mm，衬砌时欠挖值不得

大于 50mm。

4.1.2 隧道开挖实测项目应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 洞身开挖实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	拱部超挖 (mm)	I 级围岩 (硬岩)	平均 100, 最大 200	全站仪或激光断面仪 (按附录 A 检查): 每 20m 检查 1 个断面, 每个断面自拱顶起每 2m 测 1 点
		II、III、IV 级围岩 (中硬岩、软岩)	平均 150, 最大 250	
		V、VI 级围岩 (破碎岩、土)	平均 100, 最大 150	
2	边墙超挖 (mm)	每侧	+100, 0	
		全宽	+200, 0	
3	仰拱、隧底超挖 (mm)		平均 100, 最大 250	水准仪: 每 20m 检查 3 处

4.2 隧道初期支护断面

4.2.1 隧道初期支护断面应符合下列基本要求:

(1) 隧道初期支护断面不得侵入衬砌外轮廓线。

(2) 初期支护最终变形量应根据量测反馈信息及时调整, I-IV 级围岩隧道初期支护应达到基本稳定 (参考值: 周边位移速率小于 0.2mm/d, 拱顶下沉速率小于 0.15mm/d)。

(3) 初期支护表面应平整, 无空鼓、裂缝、松酥, 对支护表面外露的尖硬物和局部漏水处应先进行处理, 不平处用喷射混凝土或砂浆找平。表面平整度宜符合式 (4.2.1) 规定。

$$D/L \leq 1/6 \quad (4.2.1)$$

式中: L - 初期支护表面相邻两凸面间的距离;

D - 初期支护表面相邻两凸面之间凹进去的深度。

4.2.2 初期支护断面实测项目应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 初期支护断面实测项目

项次	检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	拱部超挖 (mm)		平均 100, 最大 150	全站仪或激光断面仪 (按附录 A 检查): 每 20m 检查 1 个断面, 每个断面自拱顶起每 2m 测 1 点
2	边墙超挖 (mm)	每侧	+100, 0	
		全宽	+200, 0	

4.3 隧道内轮廓

4.3.1 隧道内轮廓应符合基本要求：

隧道衬砌内轮廓及所有运营设施均不得侵入建筑限界。

4.3.2 隧道内轮廓实测项目应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 隧道总体实测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	行车道宽度 (mm)	± 10	丈量或激光断面仪法(按附录 Q 检查): 曲线每 20m、直线每 40m 检查 1 个断面
2	内轮廓宽度 (mm)	不小于设计值	
3Δ	内轮廓高度 (mm)	不小于设计值	激光测距仪或激光断面仪法(按附录 A 检查): 曲线每 20m、直线每 40m 检查 1 个断面, 每个断面测拱顶和两侧拱腰共 3 点
4	隧道偏位 (mm)	20	全站仪: 曲线每 20m、直线每 40m 测 1 处
5	边坡或仰坡坡度	不大于设计值	丈量: 每洞口检查 10 处

5 隧道衬砌混凝土

5.1 喷射混凝土强度

5.1.1 检测内容

喷射混凝土强度检测主要是指喷射混凝土的抗压强度检测，必要时进行喷射混凝土与岩面的粘结力检测。

5.1.2 抗压强度检测

1、检测试件制作

(1) 喷大板切割法

在 施 工 时 ， 将 混 凝 土 喷 射 在 $450\text{mm} \times 350\text{mm} \times 120\text{mm}$ （可制成 6 块）或 $450\text{mm} \times 200\text{mm} \times 120\text{mm}$ （可制成 3 块）的模型内，当混凝土达到一定强度后，加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块，在标准条件养护至 28d 进行试验（精确至 0.1MPa）。

(2) 凿方切割法

在具有一定强度的支护上，用凿岩机钻孔或切割机切割，取出长约 350mm、宽约 150mm 的混凝土块，加工成 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体试块，在标准条件下养护至 28d 进行试验（精确到 0.1MPa）。

2、检测试件组数

试件 3 件为 1 组。双车道隧道每 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 $50 \sim 100\text{m}^3$ 混合料或小于 50m^3 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。

3、合格标准

(1) 试件组数大于或等于 10 时，试件抗压强度平均值不低于设计值，且任一组试件抗压强度不低于 0.85 倍的设计值。

(2) 试件组数小于 10 时，试件抗压强度平均值不低于 1.05 倍的设计值，且任一组试件抗压强度不低于 0.9 倍的设计值。

5.1.3 喷射混凝土与岩面粘结力的检测方法

1、成型试验法

在模型内放置面积为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 、厚 50mm 且表面粗糙度近似于实际情况的岩块，用喷射混凝土掩埋。当混凝土达到一定强度后，加工成 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的立方体试块，在标准条件下养护至 28d 后，用劈裂法进行试验。

2、直接拉拔法

在围岩表面预先设置带有丝扣和加力板的拉杆，用喷射混凝土将加力板埋入，喷层厚度约为 100mm ，试件面积约为 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$ （周围多余的部分应予清除）。经 28d 养护，进行拉拔试验。

5.2 模筑混凝土强度

5.2.1 强度检测分类

模筑混凝土强度检测分为：模筑混凝土试件强度检测和模筑混凝土结构强度检测。

（1）模筑混凝土试件强度检测是指模筑混凝土在浇筑施工时，利用同批次混凝土直接浇筑试验试件，然后进行标注养护，养护完成后测试 28 天抗压强度。

（2）模筑混凝土结构强度检测是指对已浇筑完成的混凝土结构体的强度进行原位检测或取样检测。

5.2.2 隧道模筑混凝土结构强度

隧道模筑混凝土结构强度检测可分为：无损检测和破坏性钻芯检测。在建设期质量检测和运营期定期检测时一般选用无损检测方法；当隧道出现较为严重病害（地质病害或结构病害）或气候地质条件较为复杂（如冻融严重）及运营时间在 10 年以上时，应以破坏性钻芯检测为主，无损检测为辅。

5.2.3 模筑混凝土试件强度检测技术要求参见《普通混凝土力学性能试验标准》（GB/T 50081）。

5.2.4 模筑混凝土结构强度无损检测以超声回弹综合法为主，其检测技术要求参见《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》（CECS02）。

5.2.5 模筑混凝土结构强度破坏性钻芯法检测，其检测技术要求参见《钻芯法检测混凝土强度技术规程》（JGJT 384）。

5.2.6 测试点布设。

（1）隧道模筑混凝土结构强度检测在同一隧道断面布设不少 3 个检测区：左侧拱腰、右侧拱腰、拱顶；宜增加左侧拱肩、右侧拱肩检测区。

(2) 测区在纵向上宜选在每模板中间部位,不得选在靠近施工缝、伸缩缝和沉降缝的部位。

5.3 混凝土抗渗等级

混凝土抗渗等级检测主要测定隧道混凝土按照施工配合比和施工工艺硬化后的防水性能,应采用逐级加压法进行试验测定。

5.3.1 试件制备

试件宜在隧道施工现场利用现场搅拌好、待施工的混凝土按照正常施工工艺进行制作,每次制作不少于两组,每组试件为六块;试件养护时至少一组应在标准条件下养护,其余试件与隧道混凝土结构相同条件下养护,试块养护应不少于 28d、不超过 90d。

5.3.2 试验步骤

试件到期后取出,擦干表面,用钢丝刷刷净两端面,待表面干燥后,在试件侧面滚涂一层溶化的密封材料(黄油掺滑石粉)装入抗渗仪上进行试验;试验时,水压从 0.1Mpa 开始,每隔 8h 增加水压 0.1Mpa,并观察试件端面渗水情况。当 6 块试件中 3 块试件表面出现渗水,或,压力加至 1.2Mpa、8h 内表面渗水试件少于 3 块时,可停止试验,记下此时的水压力。

5.3.3 试验结果处理

(1) 当某一次加压后,在 8h 内 6 块试件中 2 块试件出现渗水时,则此组混凝土抗渗等级为: $P=10H$ 。

(2) 当某一次加压后,在 8h 内 6 块试件中 3 块试件出现渗水时,则此组混凝土抗渗等级为: $P=10H-1$ 。

(3) 当加压至规定数字或设计指标后,在 8h 内 6 块试件中出现渗水的试件少于 2 块时,则此组混凝土抗渗等级为: $P>10H$ 。

5.3.4 检测频率

(1) 混凝土材料或配合比发生变更时必须进行检测。

(2) 同种混凝土材料或同一配合比情况下,若地下水不发育时,初衬混凝土、二次衬砌混凝土每 30m(或 3 个模板长度)检测一次;若地下水发育或设计有特殊要求时,应每 10m(或 1 个模板长度)检测一次。

5.4 混凝土碳化

5.4.1 混凝土的碳化是混凝土所受到的一种化学腐蚀，空气中 CO_2 气渗透到混凝土内，与其碱性物质起化学反应后生成碳酸盐和水，使混凝土碱度降低。混凝土碳化作用一般不会对混凝土性能造成劣化，对于素混凝土，碳化还有提高混凝土耐久性的效果，但对于钢筋混凝土，碳化会使混凝土的碱度降低，同时，增加混凝土孔溶液中氢离子数量，因而会使混凝土对钢筋的保护作用减弱。

5.4.2 混凝土碳化速度主要受水泥品种、周围介质中 CO_2 的浓度高低及湿度大小、石灰的溶出速度影响。此外，混凝土的渗透系数、透水量、混凝土的过度振捣、混凝土附近水的更新速度、水流速度、结构尺寸、水压力及养护方法与混凝土的碳化都有密切的关系。

5.4.3 混凝土碳化深度检测应符合下列规定：

(1) 在混凝土表面可采用适当的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（大于 10mm）；

(2) 应清除孔洞中的粉末和碎屑，且不得用水擦洗；

(3) 应采用浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界限清晰时，应采用碳化深度测量仪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；

(4) 应取 3 次测量的平均值作为检测结果，并应精确至 0.5mm。

5.4.4 混凝土碳化的防治措施主要有：

(1) 在施工中应根据建筑物所处的地理位置、周围环境，选择合适的水泥品种；对于水位变化区以及干湿交替作用的部位或较严寒地区选用抗硫酸盐普通水泥；冲刷部位宜选高强度水泥；

(2) 分析骨料的性质，如抗酸性骨料与水、水泥的作用对混凝土的碳化有一定的延缓作用；

(3) 选好配合比，适量的外加剂，高质量的原材料，科学的搅拌和运输，及时的养护等各项严格的工艺手段，减少渗流量和其它有害物的侵蚀，以确保混凝土的密实性；

(4) 若建筑物地处环境恶劣的地区，宜采取环氧基液涂层保护效果较好，对建筑

物地下部分在其周围设置保护层

(5) 若建筑物发生了混凝土碳化, 采用环氧材料修补, 若碳化深度较大, 可凿除混凝土松散部分, 洗净进入的有害物质, 将混凝土衔接面凿毛, 用环氧砂浆或细石混凝土填补, 最后以环氧基液做涂基保护。

5.5 钢筋锈蚀

5.5.1 一般规定

(1) 钢筋锈蚀状况的检测可根据测试条件和测试要求选择剔凿检测方法和半电池电位法。

(2) 半电池电位法适用于定性评估隧道衬砌混凝土结构中钢筋的锈蚀性状, 不适用于带涂层的钢筋以及混凝土已饱和和接近饱水的构件检测。

(3) 钢筋的实际锈蚀状况宜采用剔凿检测方法, 剔凿出钢筋直接测定钢筋的剩余直径。

5.5.2 半电池电位法仪器性能要求

(1) 钢筋锈蚀检测仪应由铜—硫酸铜半电池、电压仪和导线构成。饱和硫酸铜溶液应采用分析纯硫酸铜试剂晶体溶解于蒸馏水中制备。应使刚性管的底部积有少量未溶解的硫酸铜结晶体, 溶液应清澈且饱和。

(2) 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。

(3) 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 $\pm 3\%$ 。

(4) 用于连接电压仪与混凝土中钢筋的导线宜为铜导线, 其总长度不宜超过 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。

5.5.3 半电池电位法仪器保养、维护与校准

(1) 钢筋锈蚀检测仪使用后, 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轻轻擦洗, 并用蒸馏水清洗干净。不得用钢毛刷擦洗铜棒和刚性管。

(3) 硫酸铜溶液应根据使用时间给予更换, 更换后宜采用甘汞电极进行校准。在

室温（ 22 ± 1 ）℃时，铜—硫酸铜电极与甘汞电极之间的电位差应为（ 68 ± 10 ）mV。

5.5.4 半电池电位法检测技术

（1）测区选择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，并按位置编号，测区面积不宜大于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 。

（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，网格的节点即为电位测点，测点数不宜少于 20 个。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。

（3）当测区混凝土有绝缘涂层介质隔离时，应清除绝缘涂层介质。测点处混凝土表面应平整、清洁。必要时应采用砂轮或钢丝刷打磨，并应将粉尘等杂物清除，并用接触液将表面预先充分浸湿。

（4）在与测区同一板衬砌混凝土适当位置剔凿出钢筋作为连接钢筋（钢筋表面应除锈或清除污物），保证连接钢筋与测点处钢筋连通，导线与连接钢筋有良好的电连接。

（5）测点读数应稳定，电位读数变动不超过 2mV；同一测点相同半电池重复 2 次读数差异不得超过 10mV，同一测点不同半电池重复读数差异不得超过 20mV。

（6）当检测环境温度在（ 22 ± 5 ）℃之外时，应对测点的电位值进行温度修正。

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

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

式中：V——温度修正后电位值，精确至 1mV；

V_R ——温度修正前电位值，精确至 1mV；

T——检测环境温度，精确至 1℃；

0.9——系数（mV/℃）。

5.5.5 半电池电位法检测结果评判

（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 100 mV。

（3）当采用半电池电位法评价钢筋锈蚀状况时，应根据表 5.5.1 进行判断。

表 5.5.1 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 $>90\%$

5.6 混凝土衬砌平整度

5.6.1 一般要求

在隧道施工期和交竣工验收期均应进行检测，应在混凝土表面进行，不得将防火涂料平整度测试作为隧道混凝土衬砌平整度。

5.6.2 检测范围

隧道二次衬砌上部结构（边墙以上至拱顶）。

5.6.2 检测仪器与方法

检测仪器：2m 直尺和塞尺。

检测时 2m 直尺应水平紧贴衬砌表面，用塞尺测量直尺与衬砌表面最大缝隙宽度后记录。

5.6.3 检测密度与标准

隧道二次衬砌每 100m 检测 1 个断面，每断面检测两侧。

检测数据小于等于 5mm 时视为合格。

5.6.4 现场检测

（1）每延米的隧道面积中，蜂窝麻面和气泡面积不超过 0.5%，否则隧道混凝土表面密实度不合格。

（2）结构轮廓线条顺直美观，混凝土颜色均匀一致。

（3）施工缝平顺无错台。

5.7 衬砌裂缝

5.7.1 检测内容

隧道二次衬砌裂缝检测内容包含纵向位置、环向位置、走向、形态、长度宽度和深度。

5.7.2 常规裂缝检查

(1) 位置：系指裂缝中点的位置，可简单的分为隧道拱部、边墙、路面 3 个部位，可用裂缝中点与隧道中线或墙底线的距离进行定位。

(2) 方向：用量角器或地质罗盘测量在裂缝起始端处，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：用钢卷尺测量裂缝起始端到终端的距离。

(4) 宽度：用游标卡尺或裂缝计测量，裂缝宽度系指裂缝最宽处的宽度，其描述方法见表 5.7.1。

表 5.7.1 裂缝宽度描述

裂缝特征	宽度限值 (mm)
微裂缝	<0.2
微张开	2~3
张开	3~5
宽张开	>5

(5) 裂缝形态即裂缝展布状态，其描述方法见表 5.7.2。

5.7.2 裂缝形态描述

形态特征	备注
平直	裂缝基本呈一条直线
起伏	裂缝总体上呈一条直线，细部有弯曲起伏
弧形	裂缝呈弧形
分叉	裂缝从某一处向多于一个方向发展
交叉	多条裂缝相交呈交叉状
龟裂	多条裂缝闭合在局部区域形成多个闭合状

裂缝展布状态一般用素描裂缝展布图和拍照的方法记录，并标注该里程的素描图编号和照片编号，图 5.7-1 是隧道衬砌裂缝展布图示意。

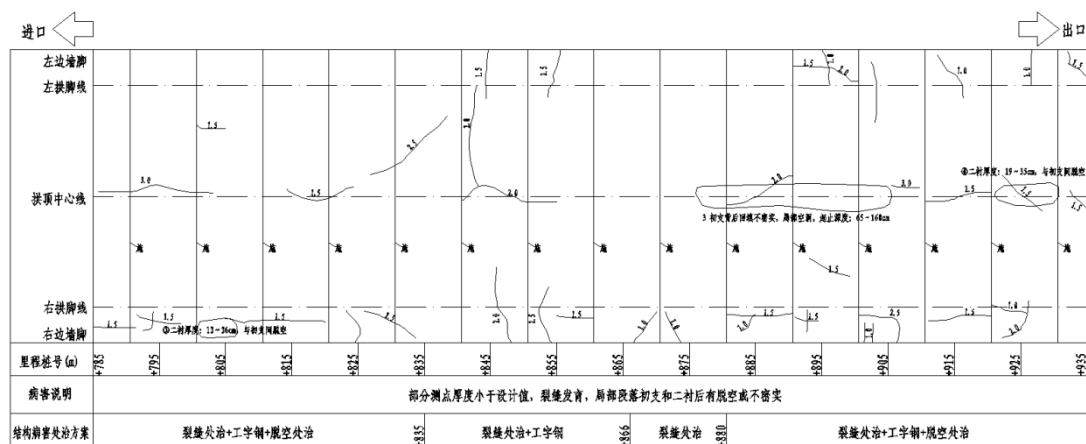


图 5.7-1 衬砌裂缝展布图

5.7.3 详细裂缝检查

除了常规裂缝检测, 为了深入了解裂缝特征, 还可对裂缝进行全面的检测, 裂缝全面检测是在常规检测的基础上, 增加以下内容:

(1) 裂缝深度和倾角检测: 检查裂缝的深度和倾角, 可利用钻孔取样方法或无损检测的方法进行, 也可以采用凿孔检查的方法。

(2) 裂缝发展性观测: 隧道在荷载或其他外界因素作用下, 裂缝的宽度、长度和深度可能会不断发展的, 所以需要观测其变化规律。通常是对裂缝宽度和长度进行定期或不定期多次检测和观测。裂缝的宽度可以采用标点量测法、砂浆涂抹法和裂缝测量计的方法进行观测, 裂缝长度扩展可采用尖端标记法、砂浆涂抹法进行观测。见图 5.7-2~图 5.7-5。

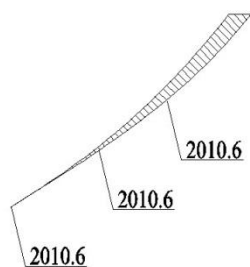


图 5.7-2 尖端标记法

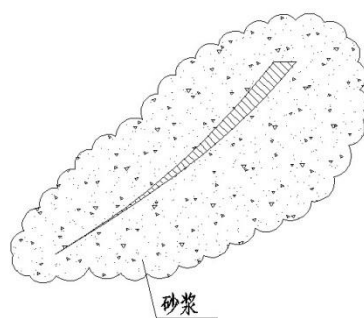


图 5.7-3 砂浆涂抹法

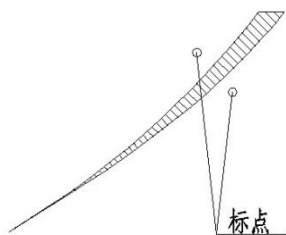


图 5.7- 4 裂缝标点法

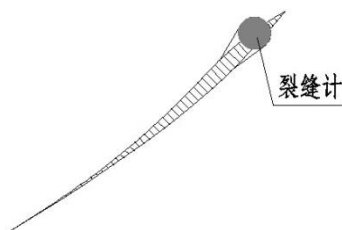


图 5.7- 5 裂缝计测量法

5.7.4 裂缝检测工具

隧道衬砌裂缝检测和观测需要准备以下工具：

裂缝宽度检测仪、数码相机、卷尺、游标卡尺、裂缝计（尺、卡）、探针、手持钻机、锤子、电筒、声波检测仪、砂浆，水泥钉、高空作业车等。

5.7.5 衬砌裂缝检测结果的判定

根据隧道衬砌裂缝检测结果，可对存在裂缝段落的衬砌结构进行技术状况评定，判断隧道裂缝发育规模及病害程度。对于已知裂缝扩展和裂缝扩展性无法确定的情况，可分别参照表 5.7.3、表 5.7.4 进行衬砌结构技术状况值评定。

表 5.7.3 当裂缝存在开展时的评定标准

结构	裂 缝 宽 度 b (mm)		裂 缝 长 度 l (m)		评定状况值
	$b > 3$	$b \leq 3$	$l > 5$	$l \leq 5$	
衬砌	√		√		3/4
	√			√	2/3
		√	√		2
		√		√	2

5.7.4 当无法确定裂缝是否存在开展时的评定标准

结构	裂 缝 宽 度 b (mm)			裂 缝 长 度 l (m)			评定状况值
	$b > 5$	$5 \geq b > 3$	$3 \geq b$	$l > 10$	$10 \geq l > 5$	$5 \geq l$	
衬砌	√			√			3/4
	√				√		2/3
	√					√	2/3
		√		√			3
		√			√		2/3
		√				√	2
			√	√	√	√	1/2

5.8 二次衬砌厚度检测

5.8.1 钻孔取芯法

钻孔取芯法是检查二次衬砌厚度最直观、可靠和准确的方法。但由于其成本较高、费时、费力，且为破坏性检测方法，实际操作中易破坏防水层，因此仅适用于衬砌厚度典型位置的验证性量测，当隧道衬砌厚度变化范围较大时，此方法不能全面反映厚度情况。

现场检测中，钻孔取芯法是通过量测钻孔取出的混凝土芯样长度，得到该位置处衬砌混凝土的厚度。

5.8.2 钻孔量测法

钻孔量测法是先在待检测部位用普通冲击钻打孔，然后量测孔深。现场检测中，可采用已知长度的带直角钩的高强度铁丝深入钻孔中至孔底，使直角钩挂在衬砌混凝土外表面，量测孔内铁丝长度即为衬砌厚度；如果铁丝直钩不能够挂在衬砌混凝土外表面，则表明衬砌背后无孔洞或较大缝隙，直接量测铁丝外露部分，然后用铁丝总长减去外露部分长度即得该位置处的衬砌厚度。

5.8.3 断面检测法

断面检测法是将激光断面仪检测的喷锚衬砌内轮廓线与二次模筑混凝土衬砌内轮廓线进行对比，即可得二次衬砌的厚度尺寸。利用该方法须满足以下条件：

(1) 初期支护内轮廓线的实测结果与二次衬砌内轮廓线的实测结果在同一坐标系中的同一断面位置。

(2) 衬砌背后不存在空洞或间隙。

5.3.4 直接量测法

直接测量法是以二次模筑混凝土衬砌内模为参照物，直接测量。二次衬砌模板台车就位后，在模板台车端头沿台车内模以不大于 2.0m 的间距布置测点，以内模法线方向用直尺量取模板距初期支护表面的距离，可得到二次模筑混凝土衬砌厚度。

5.8.5 地质雷达法

地质雷达法是一种无损检测方法，检测时在混凝土衬砌表面布置纵向连续测线，采用地质雷达设备配合高频天线对衬砌结构进行扫描，得到衬砌结构厚度数据。

(1) 天线选择：二次衬砌厚度检测宜选择 400MHz、500MHz、800MHz、900MHz 等主频天线。

(2) 测线布置

①隧道施工阶段检测时，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，遇到衬砌有缺陷的地方应加密测线。

②交工验收阶段检测时，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，遇到衬砌有缺陷的地方应加密测线。

③环向测线实施较困难，可按检测内容和要求布设测线，一般环向测线沿隧道纵向的布置间距为 8~12m。若检测中发现不合格地段，应加密测线或测点。

(3) 检测方式

①纵向布线采用连续测量方式，特殊地段或条件不允许时，可采用点测方式，测量点距不宜大于 200m，测线每 5~10m 应有里程标记。

②环向测线尽量采用连续方式检测；也可采用点测方式，每道测线不小于 20 个测点。

③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，检测过程中应加强定位的误差标定或实施分段标定。

(4) 注意事项

①正确连接雷达系统，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。

②检测前，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检测时，须保持天线与被测衬砌表面密贴（空气耦合天线除外）。

④检测时，天线移动速度应保持平稳、均匀，移动速度宜为 3~5km/h。

⑤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。

⑥当需要分段检测时，相邻检测段接头重合长度不应小于 1m。

⑦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。

5.9 表面病害

5.9.1 一般规定

- (1) 二次衬砌表面病害检测应在铺设防火涂料前进行。
- (2) 二次衬砌表面病害包括起层、剥落、蜂窝、麻面、孔洞、露筋等，调查时应记录衬砌表面病害的种类、位置和范围。
- (3) 二次衬砌表面病害检测宜采用人工与信息化手段相结合的方式，配以简单的检测工具进行。
- (4) 检测时应针对病害较多或较复杂的部位进行素描和拍照。

5.9.2 检测方法与仪器

1、二次衬砌表面病害的现场检测主要采用下列方法进行检测：

- (1) 起层、剥落的位置和范围可用钢卷尺或皮尺测量，剥落的深度可采用将 2m 直尺沿隧道轴线方向放置，用塞尺测量最深处深度；
- (2) 蜂窝、麻面的位置和范围可用钢卷尺或皮尺测量；
- (3) 孔洞直径可用钢卷尺或皮尺测量，深度可用游标卡尺测量；
- (4) 露筋长度可用钢卷尺或皮尺测量。

2、二次衬砌表面病害应按病害类别进行分类汇总，并绘制衬砌病害展布图。

5.10 衬砌背后空洞

5.10.1 钻孔取芯法

可与钻孔取芯法检测二次衬砌厚度项目同时进行。取芯后，可在孔内用直尺量测数据，或用内窥镜观察空洞情况。

5.10.2 钻孔量测法

钻孔量测法是先在待检测部位用普通冲击钻打孔，然后量测空洞深度。可与钻孔取芯法检测二次衬砌厚度项目同时进行。检测时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，即为空洞深度。

5.10.3 地质雷达法

衬砌混凝土密实性及空洞的检测方法、现场操作与衬砌厚度检测相同，见 5.8 节。

6 隧道路面

6.1 路面隆起与沉陷

6.1.1 一般规定

(1) 路面隆起与沉陷是路面施作完成后高程发生了变化，并达到肉眼可见的程度的一种病害。

(2) 检测程序遵循先看再测的原则，即首先通过目测定性判断是否发生隆起与沉陷变形，再利用水准仪或全站仪开展定量测量。

6.1.2 检测设备

(1) 长度量具：钢卷尺

(2) 经纬仪，精密水准仪、塔尺或全站仪。

(3) 其它辅助工具：粉笔、油漆等。

6.1.3 方法与步骤

1、准备工作

(1) 在隧道边墙上准确标记桩号，一般标记到 5m 桩号。

(2) 收集设计、施工资料。

2、目测检测

宜采用步行方式，配备必要的检查工具或设备，进行目测或量测检查。检查时，应依次检查路面结构各部分，注意发现路面隆起与沉陷情况。对于有异常情况的结构，应在其适当位置做出标记。

3、相对控制网建立

根据目测结果，在距已标记出的隆起或沉陷病害一定距离，无明显病害的段落布置三个水准点作为控制点形成闭合导线，建立一个相对独立的基准测量系统（见附录 D），并沿隧道路面中心线布设支导线，纵向测点宜 5m 布设一点，将控制导线引入路面隆起或沉陷段落。横向测点宜布置在路面边线、行车道中线处。

4、纵断面高程检测步骤

(1) 将精密水准仪架设在路面上并调平，将塔尺竖立在路面中线的测点上，以控制点高程作为基准，测记纵向测点的高程读数，以 m 表示，准确至 0.001m。

(2) 连续测定全部测点，并与水准点闭合。

5、横断面高程检测步骤

(1) 以纵断面高程测点高程作为基准，将塔尺依次竖立在路面边线、车道中线的测定点上。测记横向测点的高程读数，以 m 表示，准确至 0.001m。

(2) 用钢卷尺测量横向测点的水平距离，以 m 表示。

6、测量结果处理

(1) 相对坡度计算

按下式相对初始点的坡度：

$$e_z = \frac{H_{zi} - H_{z0}}{B_{z0}}$$
$$e_H = \frac{H_{Hij} - H_{Hi0}}{B_{Hi0}}$$

式中： e_z (e_H) ——纵向（横向）坡度（%）
 B_{z0} (B_{H0}) ——纵向（横向）测点距初始点的间距（m）
 H_{zi} (H_{Hij}) ——第 i (ij) 个测点纵向（横向）测点实测高程（m）

(2) 多次测量高程计算

按下式计算各测点的本次实测高程 H_{zi} (H_{Hij}) 与上次实测高程 H_{z0i} (H_{H0ij}) 之差。

$$\Delta H_{zi} = H_{zi} - H_{z0i}$$
$$\Delta H_{Hij} = H_{Hij} - H_{H0ij}$$

式中： i ——纵向测点

j ——横向测点

ΔH_{zi} (ΔH_{Hij}) ——本次实测高程与上次实测高程的差值（m）

H_{zi} (H_{Hij}) ——纵向（横向）测点本次实测高程（m）

H_{z0i} (H_{H0ij}) ——纵向（横向）测点上次实测高程（m）

(3) 检测报告

检测报告应包括桩号、纵向高程、横向高程、各点纵向相对坡度、各点横向相对坡度等内容。

相对实测坡度小于设计坡度，路面为沉陷；相对实测坡度高于设计坡度，路面为隆起。

6.2 路面开裂与错台

6.2.1 一般规定

- (1) 路面开裂一般需检查其位置、长度、宽度等。
- (2) 开裂位置有明显垂直方向的高差时，还应测量其错台距离。

6.2.2 检测设备

- (1) 长度宽度量具：钢卷尺、裂缝测宽仪
- (2) 3m 直尺、钢板尺、钢卷尺。
- (3) 其它辅助工具：粉笔、油漆等。

6.2.3 方法与步骤

(1) 准备工作

在隧道边墙上准确标记桩号，一般恢复到 5m 桩号。

(2) 裂缝检测

找到路面裂缝的起始位置，确定对应的桩号，量出裂缝的长度。

裂缝宽度指裂缝的最大宽度。使用裂缝测宽仪沿路面裂缝的开裂方向间隔一定距离检测裂缝宽度 W ，找到其最大宽度 W_m ，并记录，精确至 0.01mm。

(3) 错台检测

当裂缝存在肉眼可见的错台时，需检测错台高度，错台高度指裂缝最大错台高度。用 3m 直尺垂直放在路面裂缝上方，其一端紧贴裂缝一侧，作为基准线。用钢板尺或钢卷尺量取裂缝另一侧路面与基准线之间的高度 D 作为错台高度。间隔一定距离检测裂缝错台高度，找到其最大错台高度 D_m ，并记录，精确至 1mm。

(4) 检测报告

- ① 填写路面裂缝记录表，包括桩号、位置、长度、宽度、错台高度等内容。
- ② 绘制路面裂缝展布图，包括桩号、位置、长度、宽度、错台高度内容。

7 渗漏水

7.1 一般规定

7.1.1 检测内容

公路隧道渗漏水检测包括形态检测、水质检测、防排水系统检查、衬砌背后含水探测和渗漏水源检测等。

对隧道渗漏水检测可按照表 7-1 进行记录。

表 7-1 渗漏水检测表

序号	检测内容	检测结果	备注
1	路线名		
2	隧道名		
3	检测单位		
4	检测时间		
5	渗漏水区段		
6	渗漏水部位	☐ 拱顶 ☐ 拱腰 ☐ 边墙	
7	渗漏水区域大小	☐ 点漏 ☐ 线漏 ☐ 面漏	
8	渗漏水裂缝类型	☐ 衬砌裂缝 ☐ 施工缝 ☐ 防水板接缝 ☐ 其他	
9	渗漏水产生时间		
10	渗漏水持续时间		
11	渗漏水状态	☐ 浸渗 ☐ 滴漏 ☐ 渗水 ☐ 涌流	
12	渗漏水长度		
14	渗漏水宽度		
15	渗漏水速度	☐ 慢渗 ☐ 快渗 ☐ 急流 ☐ 涌流	
16	渗漏水量最大值		
17	渗漏水量平均值		
18	中央排水沟流量		
19	侧沟流量		
20	渗漏水 PH 值		
21	渗漏水导电度		
22	渗漏水是否浑浊	☐ 是 ☐ 否	
23	渗漏水冻害		
24	是否有析出物	☐ 是 ☐ 否	
25	对车辆通行有无影响	☐ 无 ☐ 轻微 ☐ 中度 ☐ 严重	
	调查人员		

7.2 形态检测

隧道渗漏水形态检测内容包括：位置、水量、浑浊与冻结等；

7.2.1 位置

检查渗漏水所处的位置，判断其是否会对行车安全以及隧道内设施设备功能的正常使用造成影响，尤其是在冬季严寒的地区，路面结冰对车辆行车有重大安全隐患。

对于衬砌表面与路面有明显出水点的渗漏水，可以直接目视观察渗漏水的位置，并做好相关影像记录；对于衬砌表面渗水但无明显出水点的渗漏水，需进行含水率探测。

7.2.2 水量

渗漏水根据渗水流量可分为浸渗、滴漏、涌流和喷射四类，渗漏水量是专项检查的重要指标。

对于水量较大的渗漏水，如喷射或者涌流，可以用带有刻度的容器（如量筒等）收集量测，并记录容器内水量到达某一刻度所用的时间，进而计算渗漏水的流量 L ，可以取短时间段内多次观测计算的平均值作为结果。

对于浸渗、滴漏等流量较小的渗漏水，不易测得渗漏水流量，应检查记录其渗漏的日期，并做好渗漏水处的影像记录，以便持续观测渗漏水随时间的变化规律。其中滴漏，可通过目测计取每分钟的滴落数目，以估算出该点的渗漏量。（通常，当滴落速度 3 滴/min~4 滴/min 时，24h 的渗水量就是 1L。当滴落速度大于 300 滴/min，则形成连续线流。）

7.2.3 浑浊

若渗漏水呈现浑浊状态，需要进一步检查渗漏水的浑浊程度、浑浊物及其颜色等形态特征。

7.2.4 冻结

冬季渗漏水的冻结，可能会引起衬砌结构发生冻胀破坏，路面的结冰和拱部的冰柱也会对行车安全造成威胁。对隧道渗漏水冻结的检查主要包括隧道内温度、冻结位置、冻结程度等。对冻结位置的检查，需要查明冻结渗漏水在隧道横纵断面的具体位置以及分布情况；对冻结程度的检查，需要确定路面结冰、堆冰、拱部挂冰等病害的规模大小，并预测中短期的发展趋势。对隧道的日常检测应注意隧道冻害的观测，并及时采取措施清除病害。

7.3 水质检测

隧道渗漏水水质检测内容包括：水温、PH 值、电导度、水质化学分析等。

7.3.1 水温

现场检测可采用温度计来测定渗漏水的温度。

7.3.2 PH 值

酸性腐蚀物质对隧道衬砌劣化最为严重，现场检测可采用 PH 试纸来测定渗漏水的酸碱度。

7.3.3 电导度

现场检测可采用导电仪来测定渗漏水的电导度。

7.3.4 水质化学分析

对渗漏水的水质进行分析，需要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，水质试验分析内容如表 7-2 所示。

表 7-2 水质试验分析表

序号	试验项目	试验结果	备注
1	检测单位		
2	取样日期		
3	取样地点		
4	渗漏水温度		
5	渗漏水颜色		
6	PH 值		
7	Mg ²⁺ 含量		单位：mg/L
8	Ca ²⁺ 含量		单位：mg/L
9	SO ₄ ²⁻ 含量		单位：mg/L
10	Cl ⁻ 含量		单位：mg/L
11	CO ₃ ²⁻ 含量		单位：mg/L
12	HCO ₃ ⁻ 含量		单位：mg/L
13	游离 CO ₂ 含量		单位：mg/L
14	侵蚀性 CO ₂ 含量		单位：mg/L
15	NH ₄ ⁺ 含量		单位：mg/L
16	OH ⁻ 含量		单位：mg/L
17	水质腐蚀性总体评价	☐ 弱 ☐ 中 ☐ 强	
	试验人员		

7.4 防排水系统检查

检查防排水系统，如防水系统是否失效，排水沟、集水井、排水盲管等是否因发生淤堵而导致排水不畅、路面积水等，防排水系统检查内容如表 7-3 所示。

表 7-3 防排水系统病害检测表

序号	检测内容	检测结果	备注
1	病害里程		
2	病害部位	☐ 拱顶 ☐ 拱腰 ☐ 边墙 ☐ 仰拱	
3	产生时间		
4	防水系统失效部位	☐ 防水层 ☐ 施工缝 ☐ 沉降缝 ☐ 衬砌	
5	边沟病害描述	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
6	中心排水沟病害描述	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
7	集水井病害描述	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
8	路面下横向排水盲管	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
9	纵向排水盲管	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
10	环向排水盲管	☐ 堵塞 ☐ 沉砂 ☐ 滞水 ☐ 结冰	
9	其他		
	检测人员		

7.5 衬砌背后围岩状态及含水体探测

公路隧道衬砌背后含水体探测主要采用物探无损检测法和钻探法，物探无损检测法包括地质雷达法、地震映像法、电法、红外探测法、瞬变电磁法等。对于隧道衬砌背后含水体的探测宜采用综合工程物探。

7.5.1 地质雷达法

地质雷达法利用电磁波在隧道衬砌背后岩体中传播及反射，根据电磁波的传播速度、反射波走时和波形特征对含水体进行探测，具有快速、无损、可连续单点方式探测、实时显示等特点。

地质雷达法宜探测衬砌背后 30 米范围内的含水体，测线宜沿隧道走向和环向均匀布设。

7.5.2 地震映像法

地震映像法（又称高密度地震勘探和地震多波勘探），是基于反射波法中的最佳偏

移距技术发展起来的一种常用浅地层勘探方法。

地震映像法可在隧道内向围岩探测，也可在隧道浅埋段从地表向洞内探测。

7.5.3 电法

电法基于含水层与岩石的电性差异（电阻率差异），利用电流通过布置在隧道内的供电电极，在围岩中建立起全空间稳定电场，通过研究地下电场的分布规律，并且根据电阻率分布图对衬砌背后储水、导水构造以及发育情况进行探测。

电法可分为两大类。一为直流电法，包括电阻率法、充电法、自然电场法和直流激发极化法等；二为交流电法，包括交流激发极化法、大地电磁场法、无线电波透视法和微波法等。

高分辨直流电法适用于探测地层中存在的地下水体位置及定性判断含水量，如断层破碎带、溶洞、溶隙、暗河等地质体中的地下水。

7.5.4 红外探测法

红外探测法基于红外辐射原理，即一切物质都在向外辐射红外电磁波的原理，通过接收和分析衬砌背后的红外辐射信号，探测局部低温异常现象，对地下脉状流、脉状含水带以及隐伏含水体等所在的位置进行判断。

红外探测适用于定性判断探测点前方有无水体存在及其方位，不能定量给出含水量大小。

7.5.5 瞬变电磁法

其他方法如瞬变电磁法，区别于电磁波法利用电磁波反射的原理，该方法是一种时间域的电磁探测方法，基于电磁场的变化推断衬砌背后的含水体状况。

瞬变电磁法通过在衬砌面布设一定波形电流的发射线圈，向衬砌背后发射一次脉冲磁场，并在背面低阻异常带产生感应电流；在一次脉冲磁场间断期间，感应电流不会立即消失，在其周围空间形成随时间衰减的二次磁场；通过衬砌面接收线圈接收二次磁场的变化，判断前方低阻异常带电性要素，并推断出前方地质异常体位置和规模，进而推断围岩的含水等情况。换言之，衬砌背后地质体的导电性越好，二次磁场（瞬变场）的强度越大且热损耗越小，故而衰减越慢，延迟时间越长。

瞬变电磁法既可在隧道内向周边围岩探测，也可从地表向地下探测。

7.5.6 钻探法

对已探测到的含水层，可采用钻探法进行验证。

7.6 渗漏水水源检测

公路隧道渗漏水水源检测可分为水文地质调查法（分析法）、水连通试验法。

渗漏水水源检测可采用地质调查法和水连通试验法。

7.6.1 水文地质调查法

地质调查法是根据隧道已有勘察资料，结合渗漏水发生位置、地层岩性、地质构造等信息，通过踏勘、现场调查等方法对隧道周边的不良地质体、含水层分布以及汇水面积等进行综合分析计算，从而推测渗漏水源可能位置及地表汇水量的一种分析方法。

7.6.2 水连通试验法

水连通试验是通过投放各种示踪剂并观测其在水中的移动规律以及浓度变化等，从而测定含水层或含水层之间，或泉水、地下暗河出露处等地下水露头点之间水力联系的一种野外试验方法。

8 锚杆拉拔

8.1 检测目的

- (1) 测定锚杆的锚固力是否达到设计要求；
- (2) 判断所使用的锚杆长度是否适宜；
- (3) 检测锚杆安装质量。

8.2 检测方法

锚杆拉拔力检测主要有直接量测法、电阻量测法以及快速量测法等。

8.2.1 直接量测法

直接量测法详见附录 B。

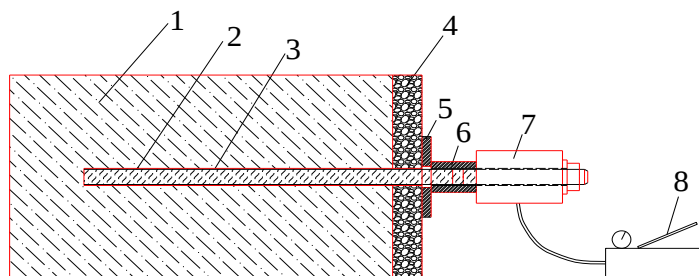
8.2.2 电阻量测法

电阻量测法的量测装置与直接量测法基本相同，在锚杆安设前在锚杆上贴应变片，并增加量测锚杆应变值的应变仪，电阻量测法除可得直接量测法所得数据外，还可得到锚杆轴向抗拔力分布状况，锚杆粘结状态等资料。

量测装置安装完毕即可开始加载量测，加载方法与直接法相同，每次加载后分别记录贴应变片点的应变值，绘出不同拉拔力荷载作用时，沿锚杆长度方向不同位置的应变曲线，以分析锚杆质量和锚杆长度是否适宜。

8.2.3 快速量测法

采用锚杆拉力计进行量测，此设备主要有千斤顶和手压泵两部分组成。具体量测时，先把锚杆测力计接头固定在锚杆上，然后上下均匀摇动手压泵，当压力表上的读数达到要求时，停止摇动手柄，回油、卸下设备即可。



1-围岩；2-锚杆；3-充填砂浆；4-喷射混凝土；
5-垫板；6-连接器；7-液压油缸；8-油压泵

图 3.17 锚杆拉拔力快速量测法

8.3 检测要求

(1) 每安装 100 根锚杆至少随机抽样一组（3 根），或每个检测断面在拱顶、两侧墙位置各取 1 根（共 3 根）。

(2) 锚杆拉拔力检测应在锚杆安装后 0.5h-4.0h 内进行。

(3) 同组锚杆拉拔力的平均值，应大于或等于设计值；同组单根锚杆的拉拔力，不得低于设计值的 90%。

(4) 试验终止加载条件：锚杆拔升量持续增长，且在 1 小时内未出现稳定的迹象；新增加的上拔力无法施加，或施加后无法使上拔力保持稳定；锚杆钢筋已被拔断，或锚杆钢筋被拔出；累计加载量等于或超过设计荷载的 2 倍。

(5) 千斤顶应牢固可靠，并有必要的安全保护措施。特别应注意的是，试验操作人员要避开锚杆的轴线延长线方向，在锚杆的侧向并远离锚杆尾部的位置上加压读数；测位移时停止加压。

9 防水板施工质量

9.1 一般规定

防水板焊接质量检测目的主要保证防水板的密封性能,防止防水板铺设过程中漏焊或焊接不牢等搭接问题引起的防水板搭接质量问题。

9.2 检测目的

- (1) 焊缝的强度: 焊缝拉伸强度和焊缝抗剥离强度。
- (2) 焊缝的密封性。
- (3) 防水板搭接宽度

9.3 检测内容及标准

防水板施工质量应符合以下规定。

- (1) 搭接宽度: $\geq 100\text{mm}$, 采用尺量, 每个搭接检查 3 处。
- (2) 缝宽: 当采用焊接时, 两侧焊缝宽 $\geq 25\text{mm}$, 防水板焊接焊缝应全部进行充气检查; 当采用粘接时, 粘缝宽 $\geq 50\text{mm}$. 采用尺量检测, 每个搭接检查 5 处。
- (3) 固定点间距: 尺量, 检查总数的 10%
- (4) 接缝与施工缝错开距离 $\geq 500\text{mm}$, 采用尺量检测, 每个搭接检查 5 处。

9.4 焊缝检测方法

防水板焊缝施工质量检测方法为:

- (1) 防水板焊缝一般用肉眼检查, 当两层焊接在一起的防水板呈透明状、无气泡。即熔为一体, 表明焊接牢固严密。
- (2) 防水板焊缝可抽样用充气检查, 首先, 气压泵与压力表相接, 充气至所需压力, 停止充气。当压力表读数达到 0.25MPa 时, 保持 15min , 若压力下降在 10%以内, 则焊接质量合格, 如果压力下降超过 10%, 证明有未焊好之处, 用肥皂水涂在焊接缝上, 产生气泡的地方为焊接质量不合格之处, 应予以修补; 若压力表读数不讲或因材料继续变形压力有所下降, 但下降幅度在 20%以内, 且保证 2min 不漏气, 则说明焊接良好; 反之进行检查和修补。
- (3) 焊缝拉伸强度不得小于防水板强度的 70%, 焊缝抗剥离强度不小于 70N/cm 。焊缝若有漏焊、假焊应予以补焊, 若有烤焦、焊穿处以及外漏的固定点, 应采用同材质防水板焊接覆盖。

征求意见稿

附录 A 激光断面仪检测隧道断面方法

A.0.1 适用范围

激光断面仪检测隧道断面方法（简称激光断面仪法），适用于检测隧道开挖断面、初期支护断面和二次衬砌断面，评价隧道开挖质量和判断支护（衬砌）断面是否侵入限界。

A.0.2 仪器

隧道激光断面仪主要由三大部份组成：检测主机、掌上电脑、数据处理软件。

主要技术参数：

- 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 ± 1 mm。
- 4 测角精度：优于 0.01° 。
- 5 方位角范围： $30^\circ \sim 330^\circ$ （仪器测头垂直向下为 0° ），连续测量 $60^\circ \sim 300^\circ$ 。
- 6 手动测头转动方位角范围： $0^\circ \sim 350^\circ$ 。
- 7 定位测量方式：具有垂直向下激光定心标志、测距功能。

A.0.3 检测方法

采用隧道激光断面仪对隧道断面检测前，先采用全站仪按一定间距（根据检测频率要求，一般开挖断面检测为 20m，初期支护断面检测为 10m，二次衬砌断面检测为 20m）放出隧道中线点，并用水准仪测量该点的地面高程 H_1 ，同时在隧道边墙上放出对应的横断面点。

隧道激光断面仪检测隧道断面的步骤：

- 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归零后，测量仪器高度 Z_1 并记录（仪器高为相对地面的高度）。

-
- 3 在掌上电脑的软件主界面中选择“测量断面”。
 - 4 再选择“新测”，输入所检测断面的桩号，并设置好所检测断面的起始和终止测量角度及所需检测的点数等参数。
 - 5 最后选择“测量”，隧道激光断面仪测头自动完成断面的检测，并将角度及斜距等参数保存在文件中，在现场可以看到所检测断面的轮廓线。
 - 6 提示栏中显示检测完成的信息后即可退出，数据自动保存在掌上电脑中，然后进行下一个断面检测。检测断面数据可带回室内进行处理，以减少对施工的影响。

A. 0. 4 检测数据处理

现场检测完成后，将掌上电脑的检测数据传输到计算机上，采用专用数据处理软件处理检测数据。

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。其次编辑导入的检测断面曲线，检测时仪器架设在隧道中线点上，所以 X 坐标值为零，Z 值为相对于该检测断面桩号的路线设计高程的仪器高度，其值应按下式计算：

$$Z = Z_1 - (H_2 - H_1) \quad (\text{Q. 0. 4})$$

式中 Z_1 ——现场所测量到的仪器高（m）

H_2 ——隧道该检测断面桩号的路线设计高程（m）

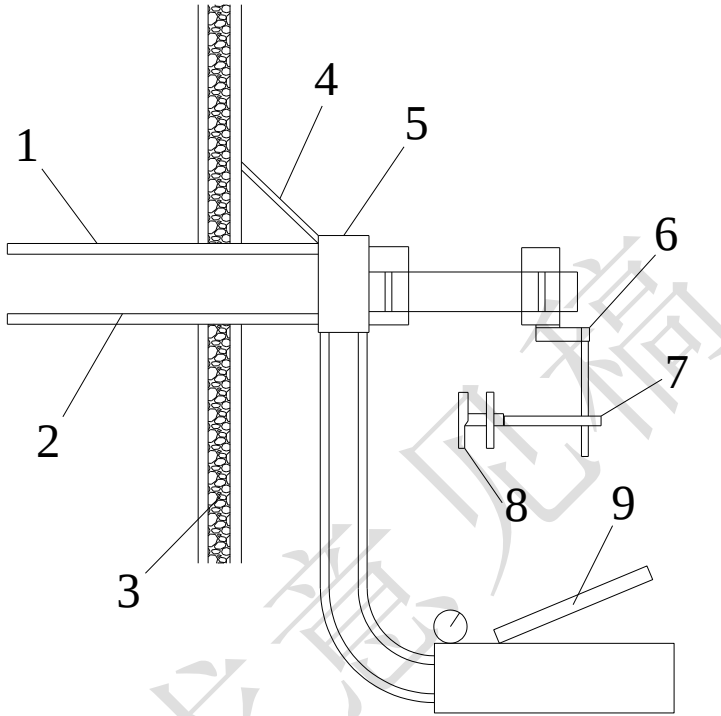
H_1 ——隧道现场检测时的地面高程（m）

输入 Z 值，然后输入量测的一些相关信息（如检测时间，检测单位和检测人等），即完成当前检测断面的编辑。计算机可自动生成相关图表。

最后根据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，超欠挖的部位以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，在哪些部位存在侵界，同时给出检测断面侵界最大值、侵界面积等信息。

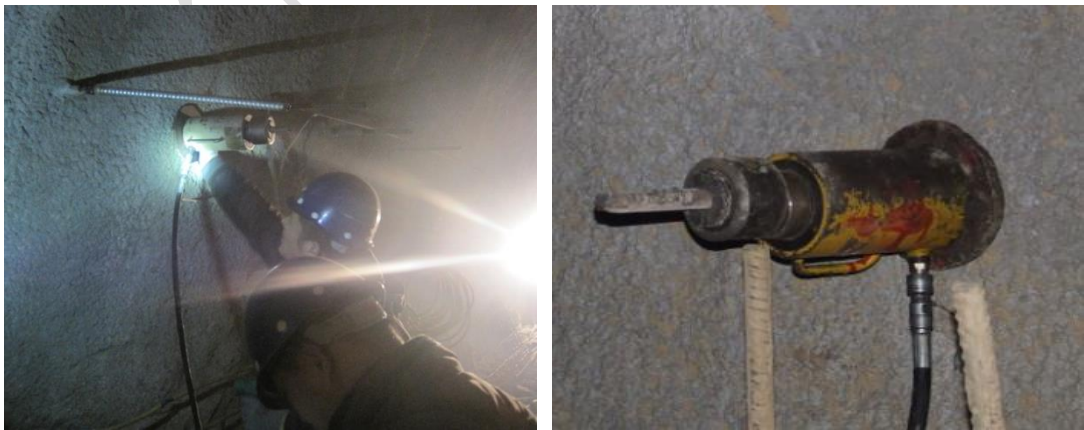
附录 B 锚杆直接测量方法

直接量测法的量测装置如附图 B-1、B-2 所示，是直接量测施加给锚杆的荷载值和锚杆的变形量，然后根据所绘出的荷载-锚杆变形曲线求出锚杆拉拔力，量测时所采用的锚杆拉力计主要由千斤顶和油压泵以及相应的辅助配件组成。



1-锚杆；2-充填砂浆；3-喷射混凝土；4-反力板；
5-油压千斤顶；6-千分表；7-固定梁；8-支座；9-油压泵

附图 B-1 锚杆拉拔力直接量测法



附图 B-2 锚杆拉拔力现场检测

(1) 消除待测锚杆周围岩面上的混凝土喷层，安装反力板，使反力板与锚杆轴线垂直。

(2) 将待测锚杆加长，用砂浆将锚杆口部抹平，在锚杆尾部安装承压垫板，套上中空千斤顶，将锚杆外端与千斤顶内缸固定在一起，并装设位移量测设备与仪器（千分表）。

(3) 分级加载并读取相应荷载下百分表读数，每级荷载为 10kN，由于应变滞后于应力的关系，加载时间间隔不小于 2min（一般为 5min），待本级荷载下千分表读数稳定后再加下一级荷载，最大试验荷载为设计拉力的 1.2 倍。

(4) 每次加载后，记录千分表指示的锚杆尾部变形量。

(5) 绘制荷载-锚杆变形曲线求拉拔力，具体求法如图 B-3 所示，把曲线按斜率变化状态不同划分为 A、B、C 三个区段，A 段是初期近似线性关系段，B 段是中期非线性关系段，C 段是后期近似线性关系段，然后分别作 A 段曲线和 C 段曲线的切线，两条切线的交点 D 所对应的荷载值就是锚杆的拉拔力。另外拉拔力的大小也可通过破坏试验时，从油压表读取油压值，再根据油压千斤顶活塞面积计算出锚杆的拉拔力。

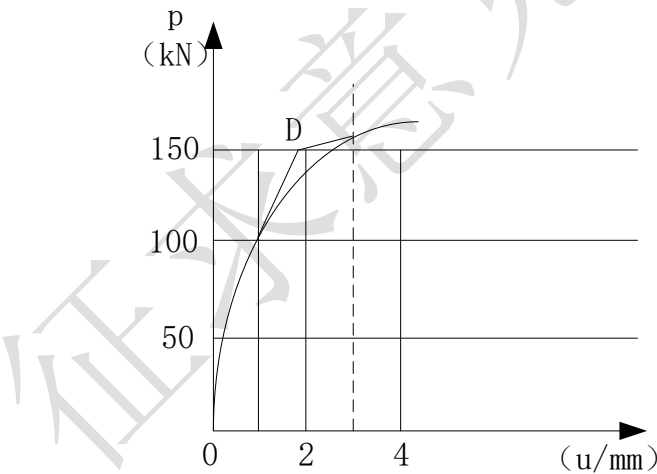


图 B-3 图解法求锚杆拉拔力示意

附录 C 半电位法

半电池电位法是一种电化学方法。隧道衬砌结构中混凝土通常是由于自然电化学腐蚀引起的，因此采用测量电化学参数来进行判断。半电池电位法将铜—硫酸铜半电池作为一个半电池，同时将混凝土与钢筋作为另一个半电池。测量时，将铜—硫酸铜半电池与钢筋混凝土连接检测钢筋的电位，根据研究积累经验判断钢筋的锈蚀状况。该方法适用于已硬化混凝土中钢筋的半电池电位检测，不受混凝土构件尺寸和钢筋保护层厚度的限制。

已经干燥到绝缘状态的混凝土或已发生脱空层离的混凝土表面，测试时不能提供稳定的电回路，半电池电位法不适用。

注意事项：

（1）钢筋锈蚀状况检测前应使用钢筋探测仪探测到钢筋位置，以便于检测中提高工作效率。

（2）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。

（3）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。

（4）在使用接触液后仍然无法得到稳定的电位差时，应分析是否为电回路的电阻过大或是附件存在连通的大地波动电流，以上情况下不应使用半电池电位法。

附录 D 隧道沉降监测

因现阶段大多数隧道内并没有布控与国家大地测量网联系控制点，且隧道内路面隆起与沉陷病害位置不确定，所以本条建议在远离病害区段无明显病害的位置布置控制点。为了对路面隆起或沉陷病害进行持续观测，了解病害的发展趋势，建议布置三个水准点作为控制点形成闭合导线，建立相对独立的基准测量系统。

征求意见稿

附录 E 裂缝检测仪

1. 裂缝宽度检测

1) 主要技术指标要求

表 E-1 裂缝宽度检测仪主要技术指标

类别	要求
检测范围	0~12.00mm
检测精度	±0.01mm
图像存储方式	标准 USB 和 SD 卡插口
记录类型	裂缝实际图像、裂缝编号、宽度值、电子刻度尺、放大倍数， 拍摄日期，测量人员等信息
工作环境温度	-10℃~+40℃

2) 使用方法

测量裂缝宽度时，将摄像头放在待测裂缝上（如图 E-1 所示），摄像头将裂缝图片实时传输到仪器并显示在液晶屏上，待图像清晰后，可自动识别裂缝轮廓，进行自动实时判读，从而得到裂缝自动判读的宽度，停止捕获后仪器获得当前帧图片，然后可对当前图片进行手动判读处理，从而得到裂缝手动判读的宽度。

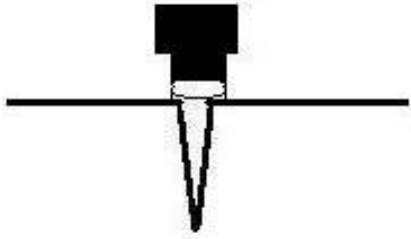


图 E-1 裂缝宽度检测示意图

2. 裂缝深度检测

1) 主要技术指标要求

表 E-2 裂缝深度检测仪主要技术指标

类别	要求
检测范围	5~500mm
检测精度	±5mm
图像存储方式	标准 USB 和 SD 卡插口
记录类型	裂缝实际图像、裂缝编号、深度值、测量人员等信息
工作环境温度	-10℃~+40℃

2) 使用方法

对结构混凝土裂缝深度检测时，要求被测的裂缝内无耦合介质（如水、泥浆

等)，以免造成超声波信号经过这些耦合介质“短路”。其具体操作步骤为：

(1) 跨缝测试，得到构件的平均声速

在构件的完好处（平整平面内，无裂缝）测量一组特定测距的数据，并记录每个测距下的声时，通过该组测距及对应的声时，回归计算出超声波在该构件中的传播速度。

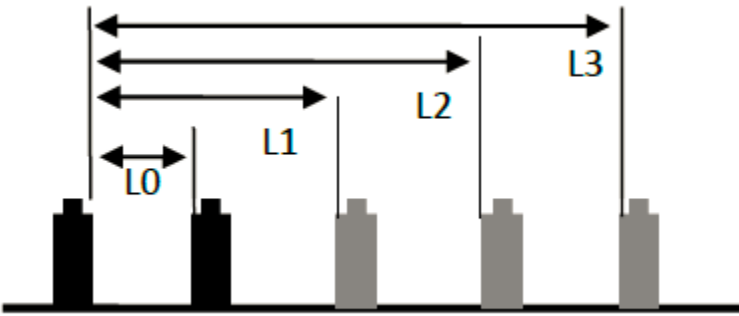


图 E-2 不跨缝测试

如图 E-2 所示，在构件的完好处布置好测线，并在测线上每隔一定距离（一般为 50mm）布置一个测点，然后将发射换能器用黄油耦合在第一个测点，分别将接收换能器耦合在第二个测点、第三个测点……，分别测量测距为 L_0 、 L_1 、 L_2 以及 L_3 …时的声时，计算出被测构件混凝土的声速，以获得准确的声速和修正值。

(2) 跨缝测试，得到一组测距与相应的声参量

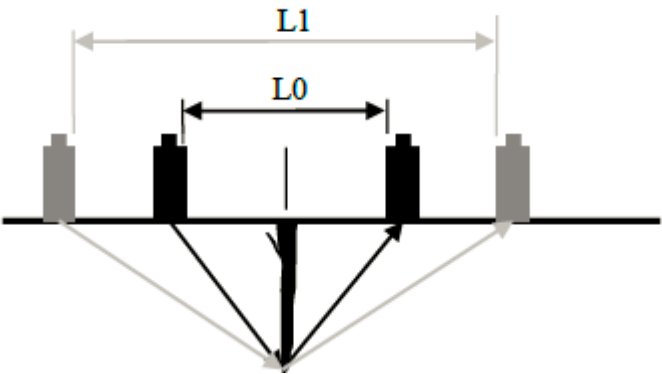


图 E-3 跨缝测试

如图 E-3 所示，垂直于待测裂缝画一条测线，并在裂缝两侧对称布置测点，测点间距一般为 25mm。将发射、接收换能器分别耦合在裂缝两侧的对称测点上，测量测距分别为 L_0 、 L_1 、 L_2 …时超声波在混凝土中的传播声时，为第三步的计算准备数据。计算裂缝宽度，完成设备现场调试。

(3) 裂缝深度检测

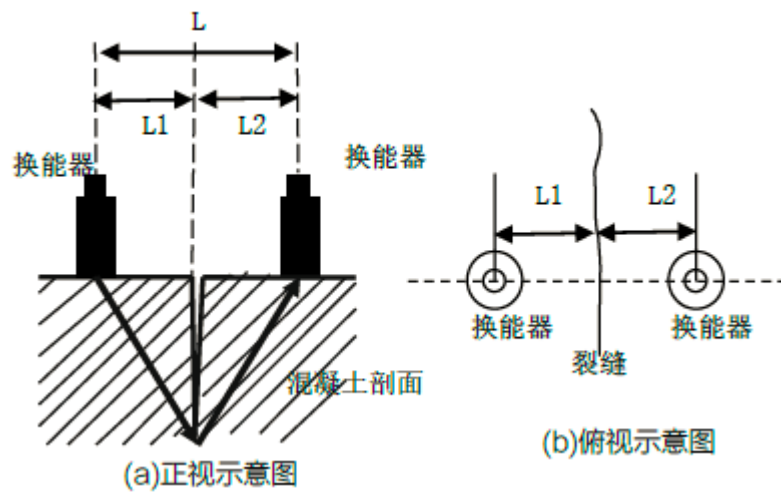


图 E-4 裂缝深度检测

自动检测时的测距是指发射、接收换能器内侧的净间距。跨缝与不跨缝测试的测点数至少为 3，测点数越多，测量精度有可能会越高

3. 检测数据处理

完成隧道病害现场检测之后，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。

附录 F 地质雷达检测隧道衬砌质量方法

地质雷达检测隧道支护（衬砌）质量方法，适用于检测隧道支护（衬砌）厚度、背后的回填密实度和内部钢架、钢筋等分布的情况。

（1）地质雷达探测系统组成

地质雷达探测系统由地质雷达主机、天线、数据采集软件、数据分析处理软件等组成。

（2）地质雷达天线的选择

1) 应选择有屏蔽功能的天线；

2) 二次衬砌厚度检测宜选择 400MHz、500MHz、800MHz、900MHz 等主频天线；

3) 支护（衬砌）混凝土密实性及空洞检测宜选择 400MHz、500MHz 等主频天线。

（3）地质雷达主要参数设置

1) 介质常数标定

①检测前应对二次衬砌的介电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，取平均值为该隧道的介电常数或电磁波速。对特长隧道或衬砌材料含水率变化较大时，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；在洞内、洞口或洞内横洞位置使用双天线直达波法测量。

③求取参数时应具备的条件：标定目标体的厚度不宜小于 150mm，且厚度已知；标定记录中界面反射信号应清晰、准确。

④标定结果按式（F-1）、式（F-2）计算。

$$\varepsilon_r = \frac{c^2}{v^2} = \frac{c^2}{(\frac{2d}{t})^2} = \frac{t^2 c^2}{4d^2} = (\frac{3 \times 10^8 t}{2d})^2 \quad (\text{F-1})$$

$$v = \frac{2d}{t} \quad (\text{F-2})$$

式中：

ε_r ——相对介电常数，无量纲；

v ——雷达波速度 (m/s);

d ——标定目标物体的厚度 (m);

t ——雷达波传播的往返旅行时间 (s)。

2) 时窗长度确定: 时窗长度可根据探测深度和介电常数进行估算 (理论计算法); 也可采用实用经验法确定, 对衬砌厚度检测时窗长度一般控制在 30~60ns。

3) 采样率或采样间隔: 应根据仪器性能和要求设置, 衬砌厚度检测时单道信号不宜小于 512 个采样点。

4) 探测扫描速率: 探测扫描速率与天线移动速率是相对应的。探测扫描速率一般宜设置为 50~100scans/s (扫描线/秒), 其对应的天线移动速率不宜大于 5km/h。

5) 显示增益设置和调试: 最大正负波形幅度宜占调试框宽度的 50%~70%, 避免反射信号微弱或饱和失真。

(4) 数据处理、解释与分析

1) 数据处理与解释

①数据处理主要包括滤波处理、增益调整、色彩变换、显示方式变换、复杂情况下的速度分段处理和折算处理等内容。

②数据处理前应检查原始数据是否完整, 信号是否清晰, 里程记录是否准确。

③数据处理与解释应使用正式认证的软件或经过鉴定合格的软件。

④应结合现场检测时所注意到的检测环境和条件变化情况进行解释。

⑤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二次衬砌厚度做出正确的解释。

⑥雷达数据解释完后, 对存在异常的部位可以现场钻孔验证。

2) 二次衬砌结构厚度分析

雷达数据反映的混凝土厚度界面为反射波同相轴连续的强反射界面, 在确认目标界面后, 可以手动或借助后处理软件的厚度追踪功能, 得到间隔一定距离的对应桩号的厚度数据, 并按要求绘制出厚度图。需注意点测方式确定衬砌厚度对数据解译能力的要求较高, 在数据量较小的情况下, 不易确定目标位置。

3) 衬砌混凝土结构密实性及背后空洞分析

地质雷达法检测衬砌混凝土结构密实性及背后空洞，主要判定特征如下：

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。

征求意见稿