

ICS 93.060
CCS P 66

DB 14

山 西 省 地 方 标 准

DB 14/T 2551—2022

公路隧道缺陷与病害处治及验收技术规范

2022 - 09 - 30 发布

2022 - 12 - 30 实施

山西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
4.1 一般要求	2
4.2 施工组织设计	2
4.3 涉路交通组织	2
4.4 施工安全及环境保护	3
5 缺陷处治及验收	3
5.1 一般规定	3
5.2 衬砌厚度和混凝土强度不足处治及验收	3
5.3 衬砌背后空洞处治及验收	7
5.4 衬砌混凝土外观质量缺陷处治及验收	8
6 病害处治及验收	10
6.1 一般规定	10
6.2 隧道渗漏水处治及验收	10
6.3 隧道冻害处治及验收	11
6.4 隧道衬砌侵蚀处治及验收	13

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山西省交通新技术发展有限公司。

本文件主要起草人：刘涛、牟开、黄帅、郭慧敏、付渊、连慧慧、和兆建、王晋璧、雷志军、武胜兵、张明欣。

公路隧道缺陷与病害处治及验收技术规范

1 范围

本文件规定了公路隧道缺陷与病害处治施工的术语和定义、基本规定、缺陷处治及验收、病害处治及验收等内容。

本文件适用于公路隧道缺陷与病害处治施工与验收，市政及铁路隧道可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50367 混凝土结构加固设计规范
- JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
- JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
- JTG F90 公路工程施工安全技术规范
- JTG H12 公路隧道养护技术规范
- JTG H30 公路养护安全作业规程
- JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范
- JTG/T 5440 公路隧道加固技术规范
- JTG/T B07-01 公路工程混凝土防腐蚀技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

隧道缺陷

隧道可见的或隐蔽的质量缺陷，主要包括衬砌厚度和混凝土强度不足、衬砌背后空洞、衬砌混凝土外观质量缺陷等。

3.2

隧道病害

影响隧道使用功能的损伤及劣化状态，主要包括衬砌渗漏水、隧道冻害、衬砌侵蚀等。

3.3

衬砌渗漏水

围岩或岩体的水通过衬砌裂缝或间隙渗透到衬砌表面发生的浸渗、滴漏、涌流、喷射现象。

3.4

衬砌侵蚀

衬砌混凝土结构受到水土中所含盐类化合物的侵蚀破坏作用，而产生的酥松、软化、剥落和强度下降等现象。

3.5

隧道冻害

渗漏水在寒冷环境下产生的影响隧道行车安全的衬砌冻裂、拱部挂冰、边墙结冰、路面结冰、排水沟冻裂等病害。

3.6

缺陷处治

针对隧道缺陷，采取粘贴纤维复合材料、粘贴钢板（带）、喷射混凝土、嵌入钢拱架、衬砌置换、套拱、水泥砂浆修补、混凝土修补、注浆等措施，为消除隧道质量缺陷而进行的处理和整治工作。

3.7

病害处治

针对隧道病害，采取凿槽埋管引排、明装接水盒、增打泄水孔、加固补强衬砌、加固围岩、喷涂防腐材料、隧道保温、电伴热供热等措施，为恢复隧道使用功能而进行的处理和整治工作。

4 基本规定

4.1 一般要求

4.1.1 隧道缺陷与病害处治及验收除执行本文件外，尚应符合 JTG 5220、JTG F80/1、JTG F90、JTG H12、JTG H30、JTG/T 3660、JTG/T 5440 等现行的国家标准、规范的规定。

4.1.2 隧道缺陷与病害处治原则：在不降低隧道结构的安全性、设计标准和使用功能的前提下，采用动态设计和信息化施工。

4.1.3 隧道缺陷与病害处治施工应按照设计要求、施工技术标准和合同约定进行。

4.1.4 隧道缺陷与病害处治应积极推广应用经工程验证成型的新技术、新材料、新工艺和新设备。

4.2 施工组织设计

4.2.1 应按照设计文件和技术规范要求编制施工组织设计，施工组织设计应包括但不限于以下内容：编制说明、编制依据、工程概况、施工总体部署、主要工程项目的施工方案、施工进度计划、各项资源需求计划、施工总平面布置图、主要分项工程施工工艺、季节性施工技术措施、质量管理与质量控制的保证措施、安全管理与安全保证措施、项目职业健康安全管理措施、环境保护和节能减排的措施和文明施工等。

4.2.2 施工方案编制应符合下列规定：

- a) 依据工程量、施工难易程度及对交通影响程度等因素，确定合理的施工方案和施工进度；
- b) 应严格控制对原隧道结构的损伤；
- c) 对隧道机电附属设施等有影响时，应制定临时改迁方案或采取保护措施；
- d) 根据缺陷与病害处治施工对隧道结构、围岩可能产生的影响，应提出监控量测方案。

4.3 涉路交通组织

4.3.1 施工前应与公路交通管理部门办理手续，按批准的时间、范围进行施工，并向社会发布相关公告信息。

4.3.2 施工中应设置相应的安全通行保障设施，制定专项应急预案。

4.3.3 中断交通施工时，应合理利用隧道内联络通道进行交通导行。

4.3.4 不中断交通施工应符合下列规定：

- a) 根据隧道缺陷与病害处治施工的内容与要求、时间和周期、交通量等因素设定作业控制区和渠化设施；
 - b) 施工未完成前，不得擅自改变作业控制区的范围和安全设施的布设位置；
 - c) 交通量大、重载车辆多的路段，宜适当延长作业控制区、设置减速带。
- 4.3.5 应指派专人负责交通引导并符合下列规定：
- a) 交通引导人员应面向来车方向，站在可视性良好的非行车区域内；
 - b) 高速公路及一级公路施工作业时，交通引导人员宜站在警告区非行车区域内。

4.4 施工安全及环境保护

- 4.4.1 施工时应应对施工人员进行安全培训和安全技术交底，各类特殊岗位人员均应持证上岗。
- 4.4.2 采用化学材料施工时，应远离施工现场，远离火源，应采取防火、防爆、防泄漏等措施，并避免污染环境。

5 缺陷处治及验收

5.1 一般规定

- 5.1.1 施工前，基面处理应先清除表面的剥落、疏松、蜂窝、腐蚀等劣化部分及附着物，表面应保持平整、干燥、清洁。
- 5.1.2 施工中应加强监控量测，缺陷处治后的二次衬砌不得侵入隧道建筑限界。

5.2 衬砌厚度和混凝土强度不足处治及验收

- 5.2.1 处治方法可采用粘贴纤维复合材料、粘贴钢板（带）、喷射混凝土、衬砌置换、嵌入钢拱架、套拱等。
- 5.2.2 粘贴纤维复合材料
- 5.2.2.1 底层处理：
对底层应进行清洗、打磨，待表面干燥后，用修补材料将混凝土表面凹凸部位修复平整。
- 5.2.2.2 涂刷底胶：
a) 调制底胶并及时用一次性软毛刷或特制滚筒将底胶均匀涂抹于混凝土表面，不得漏刷、流淌或有气泡。待底胶固化后检查涂胶面，如涂胶面上有毛刺，应用砂纸打磨平顺，如胶层被磨损，应重新涂刷；
b) 底胶固化后进行下一道工序。
- 5.2.2.3 粘贴纤维复合材料：
a) 按照设计图纸放样，确定纤维复合材料粘贴的位置；
b) 裁剪纤维复合材料并预留不宜小于 100mm 的搭接长度，裁剪后的纤维材料应呈卷状妥善摆放并编号，已裁剪的纤维复合材料应尽快使用；
c) 粘贴前应对基面再次擦拭，确保粘贴面清洁。涂刷胶黏剂时，应做到胶体不流淌，涂刷均匀；
d) 粘贴时用滚筒将纤维复合材料从一端向另一端滚压，除去胶体与纤维复合材料之间的气泡，使胶体渗入纤维复合材料，浸润饱满；
e) 当采用多条或多层纤维复合材料时，在前一层纤维材料表面干燥后，涂胶黏剂并粘贴后一层纤维复合材料；
f) 最后一层纤维复合材料施工结束后，在其表面均匀涂抹一层浸渍树脂，自然风干；

g) 纤维复合材料粘贴宜在 5℃~35℃环境温度条件下进行，空气潮湿条件下不宜施工。

5.2.2.4 粘贴纤维复合材料处治及验收实测项目应符合表 1 的要求。

表 1 粘贴纤维复合材料处治及验收实测项目

控制项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
基面处理后平整度 (mm)	±5	2m靠尺测量
粘贴位置偏差 (mm)	≤10	尺量或全站仪定位
粘贴数量 (条数、层数)	符合设计要求	现场量测
总有效粘贴面积	≥总面积的95%	敲击法检查
与C20混凝土的正拉黏结强度 (MPa)	≥1.5 (混凝土内聚破坏)	黏结强度试验检查

注：衬砌混凝土实测强度≥C45时，正拉黏结强度≥2.5MPa；实测强度介于C20~C45时，以线性插值法确定其合格标准。

5.2.3 粘贴钢板 (带)

5.2.3.1 钢板 (带)：

- 钢板 (带) 下料宜采用工厂自动、半自动切割方法，切割边缘表面光滑，无毛刺、咬口及翘曲等缺陷；
- 钢板 (带) 黏合面可用喷砂或平砂轮打磨直至露出金属光泽，黏合面应有一定的粗糙度；外露面必须除锈至呈现金属光泽并保持干燥，并按设计要求做好防腐处理；
- 按锚栓设计位置进行钻孔，孔的边缘应清除毛刺。

5.2.3.2 胶黏剂应满足设计要求的各项力学指标和耐久性要求，其质量应符合 JTG/T 5440、GB 50367 的相关要求。

5.2.3.3 锚栓施工：

- 施工流程为：孔位标定、钻孔、清孔、植入锚栓；
- 在钻孔前应探明钢筋位置，并作标记，当钻孔与钢筋位置冲突时，适当调整孔位，并按调整的孔位安装钢板 (带)；
- 钻孔应清理干净，保持干燥，不得有油污。

5.2.3.4 钢板 (带) 的安装与锚固：

- 钢板 (带) 粘贴应选择干燥环境下进行；
- 将配好的胶黏剂均匀地涂抹在清洁的混凝土和钢板 (带) 粘结面上，钢板 (带) 上抹胶可中间厚两边薄，中间抹胶的厚度宜为 3mm~5mm，立面涂胶应自上而下进行；
- 将钢板 (带) 平稳对准螺栓孔并迅速拧紧螺帽，使钢板 (带) 与混凝土紧密黏合，清除挤出的多余胶黏剂。加压顺序应由中间向两边对称进行；
- 采用压力注胶时，先用封边胶将钢板周围封闭，留出排气孔，在钢板低端黏贴注胶嘴并通气试漏后，以不小于 0.1MPa 的压力压入胶黏剂，当排气孔出现胶液后停止加压，并用封边胶封堵，再维持 10min 以上；
- 钢板 (带) 粘贴应在衬砌表面干燥条件下进行，施工完成后按设计要求进行涂装、防护处理。

5.2.3.5 粘贴钢板 (带) 处治及验收实测项目应符合表 2 的要求。

表 2 粘贴钢板 (带) 处治及验收实测项目

控制项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢板 (带)	平面尺寸 (mm)	±3	尺量

控制项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
	厚度 (mm)	+0.5, 0	尺量
	粘贴位置 (mm)	±5	尺量
锚栓	钻孔直径 (mm)	+2, 0	尺量
	锚固深度 (mm)	+20, 0	尺量
钢板有效粘贴面积		≥95%	敲击法检验
与C20混凝土的正拉黏结强度 (MPa)		≥1.5 (混凝土内聚破坏)	黏结强度试验检查
钢板防腐涂装厚度		符合设计要求	漆膜测厚仪检查: 每块钢板检查两处

注: 衬砌混凝土实测强度 \geq C45时, 正拉黏结强度 \geq 2.5MPa; 实测强度介于C20~C45时, 以线性插值法确定其合格标准。

5.2.4 喷射混凝土

- 5.2.4.1 施工前基面应冲洗干净并保持湿润, 并预先设置厚度标志, 喷层厚度应满足设计及规范要求。
- 5.2.4.2 喷射混凝土应采用湿喷工艺, 当加固层厚度大于 70mm 时, 宜分层喷射; 同时应采取相应的集料收集措施, 废料不得重新使用。
- 5.2.4.3 喷射作业面积较大时, 应分段、分片由下而上顺序进行, 每次作业区段纵向长度不宜超过 6m, 变形缝位置应与原衬砌一致。
- 5.2.4.4 喷射混凝土表面应平整, 对超喷或欠喷部位应进行刮除或补喷, 与周边衬砌混凝土连接圆顺。
- 5.2.4.5 挂网喷射混凝土时, 按设计要求在衬砌表面埋设锚固筋, 钢筋网应与锚固筋连接牢固。
- a) 钢筋网与锚固筋绑扎连接时, 锚固筋应预留弯钩与钢筋网进行连接;
- b) 钢筋网与锚固筋焊接连接时, 应采取降温措施防止锚固筋温度过高使锚固端的胶黏剂失效。
- 5.2.4.6 喷射混凝土处治及验收实测项目应符合表 3 的要求。

表 3 喷射混凝土处治及验收实测项目

控制项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
喷射混凝土强度(MPa)		符合设计要求	抗压强度试验
喷层厚度 (mm)	有衬砌	平均厚度 \geq 设计值; 检查点的 80% \geq 设计值; 最小厚度 \geq 0.8 设计值, 且 \geq 50	凿孔或地质雷达法: 凿孔法, 每10m检查1个断面, 每个断面从拱顶中线起每3m检查1点; 地质雷达法, 沿隧道纵向分别于拱顶和两侧拱腰、两侧边墙各布置1条测线, 连续检测。每10m检查1个断面, 每个断面检查5处, 作为厚度平均值。
喷层与接触层状况		无空洞, 无杂物	
黏结强度 (MPa)		I、II级围岩 \geq 0.8, III级围岩 \geq 0.5	直接拉拔法或成型试验法: 每 50m~100m 检查1组3处

5.2.5 衬砌置换

- 5.2.5.1 衬砌置换要对原有衬砌进行拆除, 施工风险较大, 须根据地质条件、隧道技术状况等编制专项施工方案。施工方案内容包括但不限于拆除方案、临时防护措施、衬砌施工方案、应急预案等。
- 5.2.5.2 衬砌拆除:
- a) 宜采用机械切割、静态爆破、凿除等工艺, 拆除时应做好施工监控量测, 减少对周边围岩和衬砌的扰动;

- b) 施工前应检查拆除段落、部位和衬砌形式，确定拆除顺序、工艺，并按设计要求对相关段落围岩进行预加固；
- c) 施工时应采取临时支撑等防护措施，临时支撑一般设置在每次拆除段落的两侧，设置长度应满足设计要求。

5.2.5.3 局部衬砌置换：

- a) 衬砌拆除时应注意保护背后防水板，对于破损的防水板应进行修复；
- b) 衬砌拆除、基面处理后，应及时浇筑混凝土；
- c) 后浇筑混凝土与原衬砌混凝土需结合牢靠，当二者采用钢筋连接时，植筋应牢固，锚固长度满足设计及规范要求。原衬砌钢筋混凝土拆除时宜保留原环向、纵向钢筋，与新增钢筋可靠连接；
- d) 局部衬砌置换应精细作业保证混凝土衬砌表面平整，并与原衬砌平顺相连。

5.2.5.4 整体衬砌置换：

- a) 原衬砌整体拆除施工风险较大，宜采取先拱部后边墙、先中间后两边的顺序进行拆除。每次拆除纵向长度不宜大于 2m，并及时支护；当拆除作业接近两端时，对交接处纵向 0.5m~1m 范围的衬砌先行拆除，断开两段的衬砌衔接，避免拆除时在不拆除段落产生牵引作用；
- b) 钢筋等结构拆除宜采用乙炔切割。乙炔切割作业人员需经培训考核后持证上岗，并按操作规程进行作业，确保施工安全；
- c) 拆除原衬砌支护后，应及时进行喷射混凝土、架设钢架、打设锚杆等；
- d) 整体衬砌置换混凝土宜采用模板台车浇筑施工，衬砌置换段落较短时可采用小模板浇筑施工，应满足衬砌表面平整度要求；
- e) 新浇筑衬砌与原衬砌相接处及围岩变化处应设置变形缝，且连接平顺。

5.2.5.5 衬砌置换施工时需对隧道技术状况进行核查，先对塌方体、富水段分别进行加固，再进行更换施工，并加强监控量测。

5.2.5.6 衬砌拆除施工隧道内存在围岩、衬砌混凝土坠落风险时，严禁进行弃渣装运。弃渣装运必须在拆除作业停止并确认无落石、掉块后进行。

5.2.5.7 衬砌置换处治及验收实测项目应符合表 4 的要求。

表 4 衬砌置换处治及验收实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
混凝土强度 (MPa)	符合设计要求	抗压强度试验
衬砌厚度 (mm)	不小于设计值	凿孔或地质雷达法：凿孔法，每6m检查1个断面，每个断面从拱顶中线起每3m检查1点；地质雷达法，沿隧道纵向分别于拱顶和两侧拱腰、两侧边墙各布置1条测线，连续检测。每1m检查1个断面，每个断面检查5处，作为厚度平均值
墙面平整度 (mm)	20	2m直尺：每20m每侧检查3处
传力杆间距 (mm)	±20	尺量：每10m检查5处
传力杆埋置深度 (mm)	≥15d	尺量：每10m检查5处
施工缝错台 (mm)	≤10	尺量：每个断面检查5处
注：表中d指传力杆直径。		

5.2.6 嵌入钢拱架

5.2.6.1 钢拱架的结构形式、断面尺寸、加工工艺等应符合设计要求。钢拱架加工前，应对隧道断面尺寸进行复核，若实际断面尺寸与设计不符，应进行调整。

5.2.6.2 衬砌开槽：

- a) 开槽前应在衬砌表面放样，按标示位置进行开槽施工；
- b) 开槽宜采用机械切割工艺，开槽尺寸应满足设计要求，槽内应平顺；
- c) 开槽时应对开槽部位衬砌加强观测，必要时采取钢管、钢架支撑等临时措施；
- d) 开槽应采取跳槽施工，跳槽间距应根据设计要求并结合实际情况确定，开槽后及时嵌入钢拱架并封闭。

5.2.6.3 采用锁脚锚杆、锚固筋等固定钢拱架时，其设置角度、长度应满足设计要求，并与钢拱架焊接牢固。

5.2.6.4 槽内封闭材料应填充密实，固化后在修复区域表面涂刷防水层。

5.2.7 混凝土套拱

5.2.7.1 套拱施工前，应对原衬砌进行局部补强及防渗漏处理。

5.2.7.2 套拱施工要点：

- a) 施工时首先凿除墙角混凝土及侵限混凝土，并将原衬砌混凝土表面凿毛并冲洗干净；
- b) 在墙角处将主筋植入边墙基础，并与套拱钢筋或钢架焊接，套拱与原衬砌之间应用钢筋连接，钢筋须植入原衬砌内；
- c) 浇筑套拱前应在原衬砌混凝土表面涂刷混凝土界面剂；
- d) 增设套拱时应按新建衬砌的标准设置防排水系统；
- e) 施工时应预留回填注浆管，待模筑完成后进行回填注浆。

5.2.7.3 套拱拆模后应进行注浆，填充套拱背后空隙保证新旧衬砌密贴，不留空隙。

5.2.7.4 嵌入钢拱架和套拱处治及验收实测项目应符合表5的要求。

表5 嵌入钢拱架和套拱处治及验收实测项目

控制项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
钢拱架	榀数（榀）	符合设计要求	目测：逐榀检查
	间距（mm）	±50	尺量：逐榀检查
混凝土强度（MPa）		符合设计要求	抗压强度试验
保护层厚度（mm）		符合设计要求	钢筋位置测定仪检查：每10m检查3处
嵌槽	纵向宽（mm）	0,10	尺量：每10m检查5点
	深（mm）	0,10	尺量：每10m检查5点
倾斜度（°）		±2	测量仪器：逐榀检查
拼装偏差（mm）		±3	尺量：逐榀检查
安装偏差（mm）	横向	±50	尺和水准仪：逐榀检查
	竖向	不低于设计高程	
连接钢筋	数量（根）	符合设计要求	目测：逐榀检查
	间距（mm）	±50	尺量：逐榀检查3处

5.3 衬砌背后空洞处治及验收

5.3.1 衬砌背后空洞处治方法以注浆为主，注浆前应对衬砌背后空洞进行详细调查。

5.3.2 注浆前应对衬砌施工缝及缺陷进行检查，对漏浆部位进行封堵处理，防止产生跑浆漏浆现象。

5.3.3 注浆施工要点

- 5.3.3.1 注浆孔应根据设计要求布设，并结合钻孔情况核查空洞，适当调整注浆孔位置。上方的注浆孔可作为排气孔和检查孔。
- 5.3.3.2 注浆孔孔径应与注浆管径相匹配，满足注浆需要即可。注浆管外径宜小于孔径 10mm~20mm，注浆管应埋入衬砌，不得外露，以防侵限。
- 5.3.3.3 注浆前应进行注浆试验，确定注浆量、注浆压力，检查设备运行情况，并根据实际情况调整注浆参数。
- 5.3.3.4 衬砌背后注浆施工顺序：由两端向中央，由低处向高处依次注浆。
- 5.3.3.5 衬砌背后注浆宜采取渐进式控制钻进方式，避免损伤原有防水板。
- 5.3.3.6 注浆时应连续作业，不得任意停泵，防止堵塞管路；注浆时应设置孔口封闭器等止浆措施。
- 5.3.3.7 注浆时应时刻注意注浆压力，观察衬砌变形情况，一旦出现变形应立即停止注浆，并采取相应措施。
- 5.3.3.8 达到设计终压条件时，注浆孔停止吸浆，稳压 5min 后结束注浆。
- 5.3.3.9 注浆完成后，应从拱顶检查孔检查注浆填充情况，必要时钻孔取芯验证注浆效果；然后采用防水砂浆等材料将注浆孔及检查孔封堵密实。
- 5.3.3.10 衬砌背后空洞注浆处治及验收实测项目应符合表 6 的要求。

表 6 衬砌背后空洞注浆处治及验收实测项目

控制项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
注浆孔	深度 (mm)	不小于设计值	丈量
	孔间距 (mm)	±50	丈量
	孔径 (mm)	+5, 0	丈量
浆液	配合比	符合设计要求	试验
	强度 (MPa)	符合设计要求	试验
	填充率 (%)	≥90	压力控制、稳压时间、完成时进浆量满足要求
注浆管	数量 (根)	不小于设计值	统计
	长度 (mm)	+5, 0	丈量
	排距 (mm)	±10	丈量

5.4 衬砌混凝土外观质量缺陷处治及验收

- 5.4.1 衬砌混凝土外观质量缺陷主要包括混凝土表面缺损（麻面、露筋、蜂窝、孔洞、剥落掉角）和混凝土裂缝。
- 5.4.2 混凝土表面缺损处治可采用水泥砂浆及混凝土修补，混凝土裂缝处治可采用裂缝表面封闭或裂缝注胶。
- 5.4.3 混凝土表面缺损修补
- 5.4.3.1 水泥砂浆适用于衬砌混凝土表面蜂窝、麻面、剥落、露筋等小面积的缺陷修补。水泥砂浆等修补材料的性能应符合 GB 50367 的相关规定。
- 5.4.3.2 用混凝土进行缺陷修补时，应采用比原结构强度等级高一级的混凝土，混凝土施工技术要求应符合 JTG/T 3660 的相关规定。
- 5.4.3.3 水泥砂浆及混凝土修补施工工艺：

- a) 将缺损部位的混凝土凿除。凿除时，禁止使用冲击力较大的设备，以确保结构钢筋和相邻混凝土不受损伤；缺损部位的混凝土应清除至坚实的基层混凝土，凿除区域应凿成矩形或方波型，且必须凿出新鲜混凝土骨料；
- b) 对于锈蚀的钢筋，清除表层锈迹，并喷涂钢筋阻锈剂；对锈蚀严重的部位按上述方法处理后，再局部加筋补强；
- c) 将缺损部位清扫干净并保持混凝土的干燥，然后使用拌和好的砂浆及混凝土对缺陷区域进行填充抹平修补。
- 5.4.3.4 修补部位的砂浆及混凝土终凝前，需采取保护措施并及时养护。
- 5.4.3.5 混凝土表面缺损修补处治及验收实测项目应符合表7的要求。

表7 混凝土表面缺损修补处治及验收实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
混凝土或砂浆强度 (MPa)	符合设计要求	抗压强度试验
保护层厚度 (mm)	+8, -5	钢筋检测仪：抽查30%，每处测3~5点
大面积平整度 (mm)	≤5	2m直尺：每处测2尺
注：大面积平整度仅当修补面积大于5m ² 时进行检查。		

5.4.4 混凝土裂缝修补

5.4.4.1 裂缝修补方法及所采用材料的性能规格应符合相关技术规范的规定并满足设计要求。

5.4.4.2 裂缝表面封闭施工工艺：

- a) 对混凝土表面进行处理，清除松散灰浆、砂砾、油垢，混凝土表面保持干净，并使裂缝处于干燥状态；
- b) 使用裂缝封闭胶进行封缝。封缝宽度不应小于5cm，且封闭胶表面平整、无毛刺。

5.4.4.3 裂缝注胶施工工艺：

- a) 沿裂缝走向打磨出宽度5cm的混凝土裂缝走向带，露出坚实的混凝土面和清晰的裂缝纹路，并清除表面浮尘和油污；
- b) 根据裂缝情况和设计要求，标记和埋设注胶嘴和排气嘴。在裂缝变宽处、交错处、端处、裂缝贯穿处等部位必须设置注胶嘴，相邻注胶嘴间距宜为20cm~40cm；
- c) 采用裂缝封闭胶进行封缝，封缝须严密。密封完毕后，封闭胶自然固化的过程中要注意防水；
- d) 胶体固化后，沿裂缝周测涂一层肥皂水，从注胶嘴向缝中通压缩空气，若无冒泡表示封缝效果良好；其他嘴口若有气流，说明注胶嘴间裂缝畅通；
- e) 在每一个注胶嘴处各安装一个独立的低压渗透注胶器，其注胶压力控制在0.1MPa~0.4MPa为宜。注胶结束后应先堵塞排气嘴然后拆除注胶器并对其进行清理，封堵注胶嘴，防止胶液溢流；
- f) 裂缝内胶液达到初凝不外流时，拆下注胶嘴等设施，用裂缝封闭胶将原注胶嘴处修补抹平。

5.4.4.4 混凝土裂缝表面封闭、裂缝注胶处治及验收实测项目应符合表8的要求。

表8 混凝土裂缝表面封闭、裂缝注胶处治及验收实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
表面封闭涂敷厚度 (μm)	平均厚度≥设计厚度，80%点的厚度>设计厚度，最小厚度≥80%设计厚度	测厚仪：每100m ² 测10点，且不少于10点，7d后检查

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
黏结强度 (MPa)	在合格标准内	按JTG 5220规定
注胶嘴间距 (mm)	符合设计要求	尺量: 抽查10%
注胶压力 (MPa)	符合设计要求	压力表读数: 全部
停胶后持压时间 (min)	符合设计要求	计时器: 全部
注胶饱满程度	饱满	观察芯样、压力机: 按设计规定, 设计未规定时每检验批取3~5个芯样
劈裂抗拉强度 (MPa)	符合设计要求	

6 病害处治及验收

6.1 一般规定

隧道病害处治施工前, 应先对病害部位进行处理, 凿除劣化及松动混凝土, 保证基面平整、干燥、清洁。

6.2 隧道渗漏水处治及验收

6.2.1 渗漏水处治施工应按先拱后墙的顺序进行, 并减少破坏原有结构和防水层。

6.2.2 渗漏水处治施工前, 应先清除原衬砌表面的附着物及衬砌劣化部分, 清除范围应比处治范围增大 100mm~200mm。

6.2.3 渗漏水处治过程中应及时检查处治效果, 不满足要求时应采取补救措施。

6.2.4 凿槽埋管引排:

- a) 对衬砌施工缝、变形缝、裂缝渗漏水, 采用凿槽埋管引排的方式进行处治;
- b) 将渗漏水裂缝周围混凝土表面清洗干净, 除去原表面泛碱、尘土、薄膜、油漆、表面涂层及其它杂物, 并铲除疏松、空鼓和蜂窝结构;
- c) 沿渗漏水裂缝处开凿倒梯形槽, 嵌入半圆管并接入排水沟内。凿槽采用机械开槽, 半圆管采用铝合金管卡固定, 管卡两端用钢钉固定在槽中;
- d) 沿半圆管两侧用膨胀止水条封堵凿槽凹凸不平缝隙, 用堵漏剂填实半圆管周围;
- e) 倒梯形槽其余空间用聚合物水泥砂浆充填实; 倒梯形槽两侧各 100mm 范围内环向涂刷两层厚 1mm~2mm 高效防水剂。

6.2.5 明装接水盒:

- a) 对衬砌施工缝、变形缝、裂缝渗漏水严重, 凿槽埋管施工困难的段落, 采用明接不锈钢排水盒的方式进行处治;
- b) 将渗漏水部位进行表面清理, 确保清理后的衬砌表面平整、洁净, 安装时渗漏水部位应位于接水盒中间位置;
- c) 涂刷密封胶粘铺不锈钢接水盒两翼, 采用螺钉固定接水盒, 做到接水盒与衬砌接触面平顺、密封;
- d) 接水盒的搭接处应确保接水盒的搭接长度不小于 100mm, 并且下侧的接水盒包住上侧的接水盒, 使水不能从接水盒漏出。

6.2.6 增打泄水孔:

- a) 对边墙部位严重渗漏水段落, 采用在边墙钻孔引排的方式对该区域进行疏排;
- b) 钻孔内置排水管, 沿钻孔部位在边墙凿槽埋管, 然后在电缆沟、边沟设置排水通道将水引排至中央排水管。

6.2.7 衬砌防水涂层：

- a) 对隧道衬砌表面出现的大面积浸渍，在没有明水流出的情况下，采用衬砌表面施作防水涂层进行处治；
- b) 基面检查与处理，处理混凝土基面缺陷，做到无浮浆，无油污；
- c) 基面湿润，充分湿润待施工基面，需湿润 12 小时以上；
- d) 防水涂层大面积作业采用喷涂，局部涂刷时需专用尼龙刷；
- e) 防水涂层采用纵横来回、分层涂刷，保证凹凸处均可涂刷到位。分层涂刷时，若第一涂层已干，则应先洒水湿润后再进行第二层的涂刷；天气炎热时，应在早晚时进行施工，防止防水涂层过快干燥影响渗透；
- f) 在防水涂层表面干燥后及时进行喷水养护，采用喷雾式洒水或无冲击力的水流养护，养护时间应满足设计要求及防水涂层要求，养护期间应避免磕碰。

6.2.8 凿槽埋管引排、明装接水盒、增大泄水孔、衬砌防水涂层等隧道渗漏水处治及验收实测项目应符合表 9 的要求。

表 9 隧道渗漏水处治及验收实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
排水管、接水盒、防水涂料		符合设计要求	检验出厂合格证、质量检验报告、试验报告等
凿槽埋管引排	开槽尺寸、质量	符合设计要求	观察、尺量
	设置位置	符合设计要求	观察、尺量
明装接水盒	安装位置、质量	符合设计要求	观察、尺量
衬砌防水涂层	厚度	平均厚度应符合设计要求，最小厚度不得小于设计值的 85%	观察法、针测法或尺量
	防水涂层与基层黏结	符合设计要求	基面处理、防水层涂刷满足要求

6.3 隧道冻害处治及验收

6.3.1 隧道冻害处治措施主要包括表面铺设保温层、中间铺设隔温层、保温排水沟、保温出水口及电伴热供热法防冻等。

6.3.2 隧道防冻保温层施工前，应先检查隧道二次衬砌表面的平整度和渗漏水情况，清除衬砌表面污物，保证二衬表面无浮尘、油污、空鼓及翘边等现象，基层干燥、坚实、平整；对渗漏水部位进行防水处理，保证二衬表面平顺、干燥，才能安装保温材料。

6.3.3 表面铺设保温层：

- a) 衬砌保温层设置在二次衬砌表面，应便于安装和维护，且符合防火要求；
- b) 衬砌保温层施工前应进行专项试验，试验内容包括：材料的隔热效果、耐久性、耐高温性能、设置厚度、长度及施工工艺等；
- c) 按照待安装保温板的尺寸，在二次衬砌表面定位、放线、打眼，并安装螺栓；
- d) 龙骨采用热镀锌型钢材料，并沿隧道纵向进行固定；
- e) 将保温板填装在龙骨 U 形槽内，保温板之间连接紧密，相邻两环保温板之间按错峰设置；
- f) 将防火板锚固在龙骨框架上，防火板之间留伸缩缝；用专用腻子及网带将防火板之间缝隙密封，然后将嵌缝处打磨平整；

- g) 整个施作面要保持圆顺、平整、牢固。
- 6.3.4 中间铺设保温层：
- 在隧道衬砌表面铺设防排水板和透水管，采用涂胶粘贴的方法将防水板黏结到衬砌表面。施工时从拱顶向两侧黏结，最后黏结墙角和仰拱部位，防水板与衬砌混凝土表面粘贴牢固；
 - 防排水板表面铺设保温层，在保温板和防水板上均匀涂抹树脂胶，并将保温板平整地粘贴在防水板上，拼装平顺，采用骨架钢筋进行固定，使其粘贴牢固。在保温板侧面均匀涂抹胶黏剂，使保温板间接缝黏结紧密；
 - 在保温层外侧再施作一层防水板，施工方法同第一层防水板；
 - 外侧立模浇筑衬砌混凝土。
- 6.3.5 保温排水沟：
- 在排水沟上部设双层盖板，在上下两层盖板之间充填保温材料，保温层厚度应满足设计要求；
 - 保温材料可采用矿渣、沥青玻璃棉、矿渣棉、泡沫塑料等，并设置防潮措施；
 - 将保温材料定期进行翻晒；
 - 渗漏水地段应将水沟盖板用水泥砂浆勾缝或沥青涂抹，以防漏水渗入保温材料。
- 6.3.6 保温出水口：
- 选择背风、朝阳、排水通畅的位置设置保温出水口；
 - 出水口处地形较陡时，宜采用端墙式；地势平坦宜采用掩埋保温圆包头式；
 - 宜尽可能提高排水管的排水坡度；
 - 表面采用沥青涂黑或采用稻草等覆盖；
 - 出水口管外侧铺设岩棉保温层，并确保岩棉保温层不浸水。
- 6.3.7 电伴热供热法防冻：
- 对于严寒地区的隧道冻害处治，可采用伴热电缆与保温层相结合的方式；
 - 清污、打磨，清除隧道伴热电缆铺设范围内衬砌表面上的浮尘、油污、尖锐凸起，错台较大处应打磨，保证铺设面干净、圆顺；
 - 布置加热电缆，以每模衬砌为一个独立单元布设加热电缆，相邻两模衬砌采用一个控制子系统，各子系统并联成总系统；
 - 埋设测温元件，按照一定间距钻孔布置测温元件，根据测温结果增大或调小发热电缆功率；
 - 依次按照保温板和外保护层，保温板的固定采用扁钢环向布置，再用螺栓分别固定；
 - 最后进行装饰及抹面处理。
- 6.3.8 表面铺设保温层、中间铺设隔温层、保温排水沟、保温出水口及电伴热供热法防冻等隧道冻害处治及验收实测项目应符合表 10 的要求。

表 10 隧道冻害处治及验收实测项目

检查项目		规定值或允许偏差	检查方法和频率
防冻保温层设置	保温层厚度 (mm)	+6	插针法：每1m ² 检查1处
	保温层长度 (mm)	符合设计要求	尺量：每50m检查1处
搭接长度 (mm)		≥100	尺量：每5环搭接抽查3处
缝宽 (mm)	焊接	焊缝宽≥10	尺量：每5环搭接抽查3处
	粘接	粘缝宽≥10	
固定点间距 (m)		符合设计要求	尺量：每20m检查3处
焊缝密实性		符合设计要求	充气法：每20m检查1处焊缝

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
龙骨安装偏差 (mm)	≤5	尺量：每榀检查1处

6.4 隧道衬砌侵蚀处治及验收

6.4.1 隧道衬砌侵蚀处治措施主要包括喷涂防腐材料、喷射混凝土或防水砂浆、衬砌置换、混凝土套拱等。

6.4.2 衬砌侵蚀处治前，应先查明隧道工程地质和水文地质资料，明确环境水含侵蚀性介质的来源和成分，并根据衬砌混凝土侵蚀破坏的原因和程度，制定针对性的处治方案。

6.4.3 喷涂防腐材料：

- a) 喷涂施工前混凝土基面保持湿润，且表面不得有明水；
- b) 防腐材料的拌制应采用双层低速搅拌机搅拌，拌制好的材料色泽应均匀，无结块。在喷涂施工过程中应保持搅拌防腐材料，不得向已搅拌好的防腐涂料中另外加水；
- c) 防腐材料喷涂施工采用专用的喷涂设备，从隧道腰部向顶部（从下而上）进行，保持连续、均匀地把防腐材料喷涂到混凝土上；
- d) 喷涂施工应符合设计规定，并通过多次喷涂达到设计厚度。后一层材料的施工要在前一层达到一定强度后进行；
- e) 防腐材料喷涂施工时要喷涂均匀，无漏涂，喷涂要平整。在喷涂过程中对局部缺陷要及时采取措施改进，以使喷涂表面平整；
- f) 喷涂与涂抹应相结合。喷涂施工时，喷枪的喷嘴要垂直于基面，合理调整压力、喷嘴与基面距离；
- g) 防腐材料喷涂施工达到设计厚度后进行保湿养护。

6.4.4 喷射混凝土或防水砂浆、衬砌置换、混凝土套拱施工应满足本标准第 5.2.4、5.2.5、5.2.7 条规定，并按照 JTG 5220、JTG/T 5440、JTG F80/1 有关要求执行。

6.4.5 喷涂防腐材料处治及验收实测项目应符合表 11 的要求。

表 11 喷涂防腐材料处治及验收实测项目

检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
所用防腐材料的品种、型号和性能	符合设计要求	检查产品合格证书、性能检测报告和进场验收记录
喷涂均匀、粘接牢固，不应有空鼓、漏涂等	符合设计要求	观察：手摸检查