

# 城市道路隧道渗漏水维修治理应用技术

文 / 黄扬阳 福建省炬陆建设工程有限公司

**摘要：**隧道作为交通工程建筑物，一般可分为两大类：一类是修建在岩层中的山岭隧道，具有较高的结构强度和稳定性，适合于长距离、深埋的隧道工程；另一类是修建在土层中的软土隧道，常见于城市立体交通、水底隧道等场合，故称为水底隧道和城市道路隧道。隧道渗漏水问题是隧道工程中的一个常见问题，尤其是在地质条件复杂和水文环境多变的情况下，长期的隧道渗漏水不仅影响隧道的整体稳定性，还对隧道的耐久性和安全性产生深远的影响。对此，本文主要是以江西省婺源县外蔡坞隧道维修加固工程为例，针对城市道路隧道渗漏水维修治理应用技术进行分析与探讨。

**关键词：**城市道路隧道渗漏水治理；原因分析；施工工艺；创新技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.039

## 引言

城市道路隧道工程渗漏水属于一种常见的工程缺陷，这种缺陷的出现与多方面因素有关：例如水文地质条件、设计缺陷、结构取材或施工中工艺不当等因素。隧道工程的渗漏水可能导致隧道结构的腐蚀、劣化，甚至引发坍塌等安全事故；也会影响周围土壤的稳定性，导致地基沉降或滑坡，进而影响周边建筑物的安全；甚至导致地下水位的变化，影响周围水文环境，进而影响生态系统和地下设施的安全。治理隧道渗漏水前需针对不同工况进行原因分析，采取对应的改善治理措施，并建立可追溯的过程档案，以利于后期管养工作的运营维护，确保隧道安全运营。

### 一、城市道路隧道渗漏水原因

#### (一) 工程概况

外蔡坞隧道位于江西省婺源县紫阳东路上，为双洞单向行驶隧道，隧道采用双联拱结构形式，全长190m，左洞起终点桩号：ZK0+540~ZK0+730；右洞起终点桩号：YK0+540~YK0+730。隧道净宽2×12.50m，中间墙厚度为2.50m；单洞隧道建筑界限：行车道宽度为2×3.50m，左侧向宽度为0.50m，右侧向宽度为0.50m，左侧设人行道宽度2.00m，右侧设人行道宽度2.00m，非机动车道宽2.50m（包括隔离带宽0.50m）。隧道净高5.00m，洞门采用端墙式设计；路面为沥青混凝土路面。外蔡坞隧道自建成运行多年，目前已出现局部裂缝、衬砌脱空、渗漏水等现象，严重影响隧道行车安全及行车舒适性，故需对隧道混凝土开裂及渗漏水问题进行治理并采取补强加固处理。



图1 外蔡坞隧道位置图



图2 现场施工概况图

### (二) 城市道路隧道渗漏水原因分析

1. 施工中未能严格控制衬砌混凝土浇筑厚度，导致局部衬砌因截面变小而造成结构强度不足，引起水平或斜向混凝土开裂或剥离现象，导致渗漏水；
2. 隧道衬砌在施工过程中未严格控制背后围岩的空洞、欠实等现象，引起围岩局部松弛及土压力增加，致使混凝土衬砌开裂，导致渗漏水；
3. 混凝土衬砌浇筑时温度过高、水泥水化热过大，未采取有效的防治措施，导致衬砌浇筑后混凝土产生收缩裂缝，导致渗漏水；
4. 施工中遇到地质构造中的弱面，周围岩土体的强度降低形成断层，附近的岩土体发生变形和位移引起混凝土衬砌开裂，导致渗漏水；
5. 断层等不良地质带在隧道工程后期的运营阶段发生变化，对结构断面产生偏压或局部受力过大导致衬砌开裂；同时会形成地下水流动的通道，通过结构裂缝形成滴水、渗水，从而进一步加剧结构破坏。

### 二、隧道渗漏水维修治理应用技术

#### (一) 设计思路

针对隧道漏水治理工作，系统性分析渗漏水产生的原因是非常重要的，这一过程不仅有助于确定问题的根源，还能够为后续的防治措施提供科学依据。需结合防水耐久性、结构补强性提出相对应的治理措施，通过运用注浆方式将浆液从混凝土裂缝中置换出地下水，浆液可有效保障混凝土重新形成内部结构强度<sup>[1]</sup>。堵漏

基础工作完成后,需根据实际情况加作防水补强层或预防性排水措施,以实现先堵后防的目标。

## (二) 方式顺序

在进行城市道路隧道渗漏水治理的时候,需先组织工作人员对隧道内壁、地面、结构缝隙、周遭地理环境等进行排查,寻找裂缝、水迹、湿斑、滴水、明显渗漏等现象,现场标记并详细记录具体位置、数量和渗漏的严重程度;遵循先排后堵、防治结合的原则:先堵大漏(将大漏逐渐弱化成小漏)再堵小漏,堵漏完成后根据渗漏情况的个性特征,采取相应的预防性措施,使隧道渗漏水治理效果得到有效保障<sup>[2]</sup>。

## 三、隧道渗漏水治理主要施工工艺

### (一) 施工前准备

在隧道渗漏水治理之前,需制定详细的针对性方案,将涉及的专用材料按方案要求准备到位,主要涉及以下3种主要材料:

1. 堵漏材料。该材料是用于注浆孔的封堵及所开槽体的封堵上,堵漏材料须具备快速凝结(避免水流带走材料)、高强度(承受外部压力和应力)、抗渗性强(有效阻止水分渗透)、黏着力强(与基材具有良好的黏结性能,能够牢牢附着在基材上)等方面的特性;水泥基堵漏材料:常见的堵漏材料如水泥基堵漏材料,适合于各种基材的封堵。

2. 防水材料。这种材料需要具备较强的防水性、抗渗性(防止水分通过微小的裂缝或孔隙渗入)、耐久性(抵抗老化、磨损和环境变化)、耐腐蚀性等,常见的防水材料有R1型防水涂料(以聚合物为基础的水性涂料)、硅烷、硅氧烷等(能够渗透到混凝土中,增强防水性能)。

3. 注浆材料。这种浆液是用于从混凝土裂缝中置换出地下水,浆液可有效保障混凝土重新形成内部结构强度,采用的注浆材料应具备较强渗透性(确保注浆材料充分填充)、可灌性(在重力和压力的作用下均匀分布)、耐腐蚀性(确保在恶劣环境下的长期稳定性)、无污染性、高强度(有效增强结构承载力)、耐久性(可抵抗老化及周遭环境变化)等,例如快速凝固的超早强自流平水泥、改性环氧树脂混合物等材料<sup>[2]</sup>。

### (二) 渗漏水维修治理施工

#### 1. 施工流程

隧道裂缝渗漏水治理工艺涉及8个重要流程:预设注浆孔→凿槽→清洗注浆孔→界面清理→埋入注浆管→堵漏材料封堵→试漏→注浆封闭及基面恢复。

#### 2. 施工工艺

裂缝渗漏的施工工艺体现在以下8个方面:

(1) 预设注浆孔。通常情况的混凝土裂缝与结构本身在法向方向形成通缝,因此需确保预设的注浆孔处于混凝土裂缝上(形成有效路径)。注浆孔钻进宜采用直径 $\geq 8\text{mm}$ 的冲击钻头操作,深度宜在5—10cm,间距宜在20—30cm;钻孔的位置尽量设在裂缝较宽的部位,按

宽缝稀、窄缝密的原则预设注浆孔,裂缝交错处应单独钻孔,且应注意不要打穿防水板。

(2) 凿槽。凿槽的起止位置应囊括裂缝首末端并向外延伸10cm左右。凿槽时先用定制的高强钢碟片沿裂缝两侧切割,切割宽度宜控制在15cm以内,再沿切割边界采用扁平冲击钻头剔凿出U型沟槽,沟槽的深度不得暴露主筋,一般深度需要控制在7cm以内(钢筋保护层+主筋直径+1cm填充空间)。

(3) 清洗注浆孔。在进行注浆孔清洗的时候,一般是采用高压水枪冲洗的方式完成,在水压的作用下清洗掉注浆孔中的污秽物,一般需人工反复多次清洗并认真检查,方可最大程度上确保注浆孔中不存在杂物。

(4) 界面清理。基面的清理效果将直接影响堵漏材料的使用效果,故清理界面的最终效果必须确保清理后的界面无灰尘、无浮渣、干净整洁。清理完成后,及时安排封堵工人进行下一道工序,防止界面受到二次污染。

(5) 埋入注浆管。注浆管埋设的关键在于预留底部空间,确保浆液进入预定部位的便利性。在注浆管嵌入后,结合堵漏粉(或环氧树脂胶体)进行注浆孔的环向密封,确保注浆孔四周密实且注浆管有效固定。

(6) 堵漏材料的封堵。该工序最关键要确保材料封堵的密实性,封堵的顺序为从两侧向中间,从轻微向严重,施工前要确保堵漏材料搅拌均匀,且堵漏材料凝固速度快,宜选择经验较丰富的工作人员操作,封堵表层应光滑,无蜂孔,无麻粒。

(7) 试漏。需待封堵材料有一定强度时进行。试漏前沿开凿部位涂一层肥皂水,从注浆嘴通入0.4Mpa无油压缩空气并观察,凡漏气处,应进行二次修补密封至不漏为止。

(8) 注浆封闭及基面恢复。注浆时需重点控制以下两点:其一是浆液的配制,应根据当天气候温度来调整材料的具体配合比,并以预估的浆液的凝固时间和注浆速度来确定每次浆液的配制量;其二是注浆操作顺序,须根据从下往上的原则先从底部的注浆管开始,若是裂缝 $\geq 0.3\text{mm}$ ,注浆压力可控制在0.3—0.5MPa之间,若裂缝宽度 $< 0.3\text{mm}$ ,需提升注浆的压力以确保浆液有效进入混凝土裂缝或孔隙中;每个注浆管注满后,要在该注浆管尾部预留一段长度(5cm以内)剪断反折,并将其扎紧(或将阻塞器上的进浆阀门关闭),再转移到下一个注浆管注浆,后续皆是按照从下往上的原则逐孔进行,直至每个注浆孔被注满<sup>[2]</sup>。

## 四、隧道渗漏水治理工程预防措施

从隧道渗漏水施工技术创新的角度上来看,主要通过增加特殊部位的预防性措施及局部防水补强的两个方面:

### (一) 变形缝预处理技术

隧道二次衬砌根据设计图及施工规范要求应设置变形缝、施工缝及环向裂缝,该部位若出现大量渗漏水时,先采用前述注浆堵漏工艺处置,再进行暗装不锈钢接水盒预引排措施。在隧道该类渗漏水部位,预先沿衬砌内表面环向凿浅槽(深度 $\leq 5\text{cm}$ ),再暗敷不锈钢接水盒,

将后期可能二次渗漏水排入两侧边沟。如图所示，其主要措施及施工流程如下：

1. 调查、分析隧道渗漏水具体位置及形式，确定预处理部位；
2. 在二衬表面，用定制的高强钢碟片沿裂缝两侧切割，切割宽度根据接水盒宽度左右侧各预留 1cm，切割深度根据接水盒深度深 1cm；再沿切割边界采用扁平冲击钻头剔凿出预备安装接水盒的沟槽；
3. 在预备安装接水盒的沟槽内底部涂刷高弹性密封胶，将预制好的不锈钢接水盒，用膨胀螺栓固定，最后再用密封胶对接水盒四周缝隙进行全面封边；
4. 安装接水盒时，应注意搭接方式和安装顺序，按照先上后下、先拱部后两侧边墙的顺序进行，下节压上节搭接，钢板搭接长度为 10 ~ 15cm；
5. 预先埋设 DN50 以上的排水管于电缆沟侧壁，接水盒在拱脚处与排水管相接，由排水管将接水盒内的汇集水排至边沟内<sup>[3]</sup>。

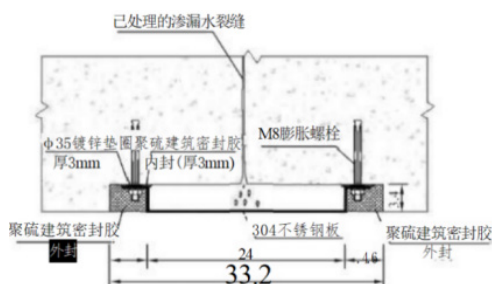


图 3 暗埋接水盒示意图

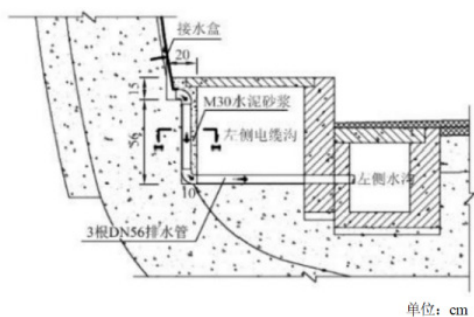


图 4 接水盒连接边沟示意图

## (二) 外包碳纤维布补强加固及防水技术

这种技术的应用是在隧道渗漏水维修治理施工后，通过结合补强加固技术，不仅可提升混凝土自身抗裂能力，又能给治理好的渗漏水裂缝加一道防水抗渗保护层；进而防止渗水裂缝二次开裂现象，对渗漏水的情况起到防治效果。

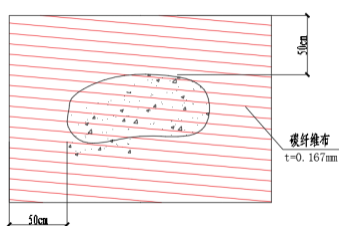


图 5 外包碳纤维布补强加固及防水示意图 (面性渗漏)

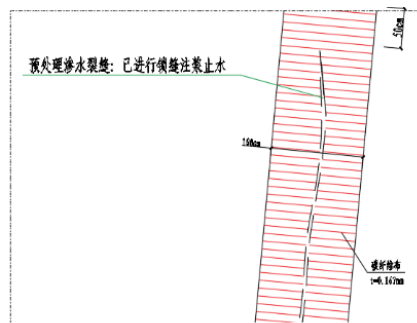


图 6 外包碳纤维布补强加固及防水示意图 (线性渗漏)

粘贴碳纤维结构加固技术是指采用高性能粘结剂将碳纤维布(一种高性能的复合材料)粘贴在结构构件表面，使两者共同工作，提高构件的承载能力，由此而达到对结构加固、补强的目的。使用碳纤维布加固具有以下几个优点：

1. 强度重量比优：与钢材相比，碳纤维布的强度更高，但其密度远低于钢材，因此具有更好的强度重量比，经济性好；
2. 效果好：加固后能大大提高结构的耐腐蚀性及耐久性，且环氧树脂粘结剂与碳纤维布形成坚固的外防水层；
3. 自重轻：通常采用密度在 (200-300) g/ m<sup>2</sup> 的碳纤维布，基本不增加结构自重及截面尺寸；
4. 柔性好：碳纤维在与专用的胶黏剂形成整体前，其柔性类似普通布艺材料，与原始截面可紧密贴合；
5. 施工简便：碳纤维易于裁剪，不需大型施工机械辅助，粘贴碳布采用滚筒按压，易于操作；

因此，碳纤维结构加固技术在混凝土结构的治理应用中已产生较大的效益。碳纤维加固技术适用于各种混凝土结构类型、各种异型结构部位的加固补强<sup>[4]</sup>。

## 结语

城市道路中隧道作为一种重要的交通构造物，对推动地区经济发展有着至关重要的作用，而城市隧道日常运营管养最主要的一个问题就是隧道的防渗漏治理，它直接影响到隧道的整体质量和使用寿命。治理隧道渗漏水的时候，依照防治结合的总体思想，根据实际情况采取对应的治理措施，加强对施工工艺的关注与质量控制；以保障隧道渗漏水的治理工作圆满完成。

## 参考文献

- [1] 苏彦鸿，黄振明. 城市道路隧道防水措施与对策[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(4): 37-38.
- [2] 陈春林. 地铁渗漏水治理工程施工中的施工工艺与技术创新[J]. 水上安全, 2023(9): 97-99.
- [3] 王璐石，王道良，刘罡，等. 真武山隧道渗漏水处治[J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36(11): 69-74.
- [4] 吕军辉. 碳纤维布加固原理与施工技术[J]. 山西建筑, 2007, 33(4): 71-72.