

# 富水地层隧道防渗施工技术

周文朋

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

**摘要:** 本文概述了富水地层隧道防渗施工的关键技术方法,包括超前地质预报以预测涌水风险,注浆防渗技术以封堵地下水,防水卷材与涂料的应用以增强防水层性能,排水系统的设置以有效排水,以及衬砌结构的防渗设计以提高整体抗渗性。这些措施共同构成了隧道防渗的综合体系,确保了施工安全与工程质量。

**关键词:** 富水地层; 隧道防渗; 施工技术

引言: 在隧道工程领域,富水地层施工面临严峻挑战,尤其是地下水丰富导致的涌水、突泥等问题,严重影响施工安全与质量。探索并应用有效的防渗施工技术方法,对于保障隧道工程顺利进行具有重要意义。本文旨在综述富水地层隧道防渗施工的关键技术,以期为类似工程提供借鉴与参考。

## 1 富水地层隧道的特点与挑战

### 1.1 富水地层的地质特征

#### 1.1.1 含水层类型与分布

富水地层显著特征在于其含水层的多样性和复杂性。主要含水层包括孔隙含水层、裂隙含水层和喀斯特含水层。孔隙含水层多见于松散沉积物如砂砾石层,呈层状分布,广泛存于地表浅层。裂隙含水层则位于基岩中,由各种成因的裂隙构成,多呈带状或脉状,常见于构造复杂区。而喀斯特含水层,集中于石灰岩等可溶性岩石区,其溶洞、溶隙和管道系统形成高富水性和高渗透性环境。

#### 1.1.2 地下水的补给与排泄

地下水动态平衡通过补给与排泄维持。补给主要源自大气降水、地表水、凝结水及含水层间水力联系。特别是大气降水,通过土壤层渗透成为主要补给方式。排泄途径包括向地表水体排放、蒸发及人工开采,共同维持富水地层的动态稳定。

## 1.2 隧道在富水地层中的施工挑战

### 1.2.1 涌水、突水风险

隧道施工面临的重大挑战之一是涌水和突水。富水地层中,高水压、高渗透性导致开挖时易揭露含水层,引发大量地下水涌入。这不仅威胁施工人员安全,还淹没施工机具和坑道,严重影响进度和成本。突水还可能引发地表沉降、塌陷,破坏<sup>[1]</sup>。应对措施包括地质勘探、超前预报、注浆堵水、帷幕注浆及加强排水系统。

### 1.2.2 围岩稳定性问题

地下水作用下,围岩力学性质变化,如软化、膨胀,降低强度和稳定性。开挖临空面加剧变形破坏。需采取合理开挖方法、支护措施、预应力加固,并加强监测预警,以保障围岩稳定。

### 1.2.3 对施工进度和成本的影响

富水地层施工显著增加施工难度和成本。预防和治理涌水、突水需大量资源投入,延长工期。围岩稳定性问题也需加强支护,进一步提升成本。因此,需合理制定施工方案和预算,加强管理和技术创新,提高施工效率和质量,以应对这些挑战。

## 2 富水地层隧道防渗施工技术原理

### 2.1 防水与排水相结合的理念

#### 2.1.1 防水的目的与方法

防水的目的在于阻止地下水渗透到隧道内部,从而保护隧道结构和内部设施免受水侵蚀,确保隧道的安全性和耐久性。防水工作主要通过以下几种方法实现:

(1) 高性能防水材料的应用: 采用高性能的防水材料,如防水涂料、防水卷材等,在隧道衬砌的内外表面形成连续的防水层。这些材料具有优异的防水性能,能够有效地阻隔地下水渗透。(2) 防水层的施工工艺: 在施工过程中,需要严格控制防水层的施工质量。例如,在涂刷防水涂料时,应确保涂层均匀、无漏涂、无气泡等缺陷;在铺设防水卷材时,应确保卷材之间的搭接宽度和密封性满足设计要求。(3) 防水构造设计: 通过合理的防水构造设计,如设置环向止水带、纵向止水条等,增强隧道结构的防水性能。这些止水构造能够在隧道衬砌的接缝处形成有效的防水屏障,防止地下水通过接缝处渗透。

#### 2.1.2 排水的重要性与方式

排水在隧道防渗施工中同样具有重要作用。排水的主要目的是将渗透到隧道周围的地下水及时排出,降低隧道周围的水压,从而减轻防水层的负担,提高隧道

的稳定性和安全性。排水工作主要通过以下几种方式实现：（1）分段排水技术：在隧道初支面钻孔并设置排水带，使二衬背后积压的水分能够分区段独立引排至隧道侧沟。这种方式可以避免地下水在隧道内部串流引发渗漏，提高排水的针对性和效率。（2）分区减压技术：在隧道中心水沟内埋设减压管，使隧底积压的水分能够排放至隧道中心水沟<sup>[2]</sup>。这种方式能够解决仰拱施工缝渗水问题，降低隧底水压，提高隧道的稳定性。（3）侧沟防渗技术：通过降低隧道侧沟底部的标高，并在纵向缝设置止水条，解决隧道侧沟底部的渗漏问题。这种方式能够确保隧道侧沟的排水畅通，防止地下水在侧沟内积聚。

## 2.2 围岩加固与防渗协同作用

### 2.2.1 围岩加固技术对防渗的贡献

围岩加固技术对于提高隧道的防渗性能具有重要作用。通过加固围岩，可以改善围岩的物理力学性质，提高围岩的强度和稳定性，从而增强隧道的整体防渗能力。注浆加固是围岩加固的一种常用方法，其贡献主要体现在以下几个方面：（1）固结破碎岩石：注浆可以固结隧道周边破碎岩石，形成一定厚度的止水圈。这些止水圈能够有效地阻隔地下水渗透到隧道内部，提高隧道的防水性能。（2）改善岩体力学参数：注浆加固可以显著提高岩体的内聚力和内摩擦角等力学参数，增强岩体的整体稳定性。这有助于减少围岩变形和破坏，降低地下水渗透的风险。（3）封堵裂隙渗水：岩体中常存在互相连通的裂隙，这些裂隙是地下水渗透的主要通道。通过注浆封堵这些裂隙，可以显著减少裂隙中的渗水，达到保护地下水资源和提高隧道防渗性能的目的。

### 2.2.2 防渗材料与围岩的适应性

防渗材料的选择应充分考虑其与围岩的适应性。理想的防渗材料应能够与围岩紧密结合，形成稳定的防水层，同时具有良好的耐久性和抗渗性。在富水地层隧道防渗施工中，常用的防渗材料包括水泥基渗透结晶型防水材料、防水涂料、防水卷材等。（1）水泥基渗透结晶型防水材料：这种材料具有优异的防水性能和耐久性，能够与混凝土结构紧密结合，形成封闭式的防水层。在富水地层中，水泥基渗透结晶型防水材料能够借助水的引导，在混凝土微孔及毛细管中传输、充盈，形成不溶于水的枝蔓状结晶体，从而有效封堵地下水渗透通道。（2）防水涂料与防水卷材：防水涂料和防水卷材也是常用的防渗材料。在富水地层中，这些材料需要具有较高的抗渗性和耐久性，以应对复杂的地质条件和恶劣的施工环境。同时，防水涂料和防水卷材的施工应严格控制质量，确保其与围岩紧密结合，形成有效的防水屏障。

## 3 富水地层隧道防渗施工技术方法

### 3.1 超前地质预报

#### 3.1.1 预报方法与技术手段

超前地质预报是隧道施工前期不可或缺的重要环节，它通过对隧道前方地质条件的精准探测，为施工决策提供科学依据。常用的预报方法包括地质雷达法、TSP（隧道地震波反射法）、超前钻探等。地质雷达法利用高频电磁波在介质中的传播与反射特性，探测隧道掌子面前方的地质结构；TSP则通过激发地震波并接收其反射信号，分析地层岩性、构造及含水情况；超前钻探则直接获取岩芯样本，进行直观的地质判断<sup>[3]</sup>。这些技术手段各有优劣，通常需结合使用，以提高预报的准确性和可靠性。

#### 3.1.2 对涌水风险的预测作用

超前地质预报在预测涌水风险方面发挥着至关重要的作用。通过精确探测隧道前方地层的岩性、节理裂隙发育情况、地下水赋存状态等信息，可以初步评估涌水发生的可能性及规模。对于潜在的高风险区域，可提前制定应对措施，如加强支护、调整施工方案、增设排水设施等，从而有效降低涌水灾害的发生概率，保障施工安全。

## 3.2 注浆防渗技术

### 3.2.1 注浆材料的选择

注浆材料的选择直接关系到注浆防渗效果的好坏。在富水地层中，常用的注浆材料包括单液浆（如水泥浆）、双液浆（如水泥-水玻璃双液浆）、化学浆液等。单液浆成本低廉，但凝结时间长，适用于地层稳定性较好的情况；双液浆凝结速度快，能有效封堵裂隙，适用于紧急止水；化学浆液则具有更高的渗透性和粘结强度，适用于细小裂隙的封堵。根据具体地质条件和施工需求，合理选择注浆材料，是实现有效防渗的关键。

### 3.2.2 注浆工艺与参数确定

注浆工艺包括注浆孔的布置、注浆压力的控制、注浆量的计算等。注浆孔的布置需根据地质勘察结果和隧道断面尺寸确定，确保注浆浆液能够均匀扩散至目标地层。注浆压力的选择应综合考虑地层压力、浆液性质及注浆设备能力，既要保证浆液能够充分渗透至裂隙中，又要避免对隧道围岩造成过大压力。注浆量的计算则需根据地层孔隙率、浆液扩散半径等因素进行估算，确保注浆效果达到设计要求。

### 3.2.3 注浆效果的检测与评价

注浆效果的检测与评价是注浆防渗施工的重要环节。常用的检测方法包括钻孔取芯、压水试验、声波测

试等。钻孔取芯可直接观察注浆浆液在裂隙中的填充情况；压水试验通过测量单位时间内的注水量，评估注浆后地层的渗透性；声波测试则利用声波在介质中的传播速度，反映注浆后地层的密实程度。综合多种检测手段，对注浆效果进行全面评价，确保防渗效果满足设计要求。

### 3.3 防水卷材与涂料的应用

#### 3.3.1 不同类型防水卷材的特点

防水卷材是隧道防水的重要材料之一，根据其材质可分为沥青类、高分子类、合成高分子类等多种类型。沥青类防水卷材具有良好的耐水性和耐久性，但施工温度要求较高；高分子类防水卷材则具有优异的弹性、耐候性和抗老化性能，适用于复杂多变的地质环境；合成高分子类防水卷材则结合了多种材料的优点，具有更广泛的应用前景<sup>[4]</sup>。在选择防水卷材时，需根据隧道工程的具体要求、地质条件及施工环境等因素综合考虑。

#### 3.3.2 防水涂料的性能要求

防水涂料作为另一种重要的防水材料，其性能要求主要包括良好的粘结性、耐水性、耐候性和抗裂性等。粘结性要求涂料与基面紧密结合，形成连续、致密的防水层；耐水性要求涂料在长时间浸泡下仍能保持防水性能；耐候性则要求涂料在恶劣的自然环境下仍能保持稳定的性能；抗裂性则要求涂料在隧道结构变形时不易产生裂缝。

#### 3.3.3 施工工艺与质量控制

防水卷材与涂料的施工工艺需严格按照相关规范进行。施工前需对基面进行清理、修补和湿润处理，确保基面平整、无杂物。施工过程中需注意卷材或涂料的搭接宽度、粘贴质量及涂布均匀性等问题。还需加强施工过程中的质量监控和检测，确保防水层的质量满足设计要求。

### 3.4 排水系统的设置

#### 3.4.1 环向排水盲管与纵向排水盲管的布置

排水系统是隧道防渗的重要组成部分，其中环向排水盲管和纵向排水盲管的布置尤为关键。环向排水盲管通常沿隧道周边布置，用于收集隧道壁面的渗水；纵向排水盲管则沿隧道轴线方向布置，将环向排水盲管收集的渗水汇集并排出隧道外。在布置排水盲管时，需根据隧道断面尺寸、地质条件及渗水量等因素合理确定管径、间距及坡度等参数。

#### 3.4.2 排水沟与集水井的设计

排水沟和集水井是排水系统的重要组成部分，用于收集和储存隧道内的渗水。排水沟的设计需考虑其位置、尺寸、坡度及与排水盲管的连接方式等因素，确保渗水能够顺畅排出。集水井则需设置在隧道低洼处或渗水集中区域，并配备相应的水泵和排水管道，以便及时将积水排出隧道外。

### 3.5 衬砌结构的防渗设计

#### 3.5.1 衬砌混凝土的抗渗性能要求

衬砌混凝土作为隧道的主要承载结构，其抗渗性能对于隧道的整体防渗效果至关重要。在设计衬砌混凝土时，需根据工程要求、地质条件及环境条件等因素合理确定混凝土的强度等级、水灰比、抗渗等级等参数。还需采取必要的施工措施，如加强振捣、控制浇筑速度、采用抗渗外加剂等，以提高混凝土的密实度和抗渗性能。

#### 3.5.2 施工缝与变形缝的防渗处理

施工缝和变形缝是隧道衬砌结构中的薄弱环节，也是渗水的主要通道之一。在防渗设计中需特别关注施工缝和变形缝的防渗处理。常用的处理方法包括设置止水带、注浆管及嵌缝材料等。止水带具有良好的弹性和密封性，能够有效阻止渗水通过施工缝；注浆管则可在后期通过注浆加固，提高施工缝的防渗性能；嵌缝材料则用于填充变形缝的空隙，防止渗水渗透。

### 结束语

在富水地层隧道施工中，防渗技术的应用是确保工程顺利进行和长期安全稳定的关键。通过精准的超前地质预报、科学的注浆防渗技术、高效的防水材料应用、合理的排水系统设置以及严格的衬砌结构防渗设计，我们能够构建起多层次的防渗体系，有效应对富水地层的挑战。这些措施的实施，不仅保障了隧道施工的安全与质量，也为类似地质条件下的隧道工程提供了宝贵的经验和参考。

### 参考文献

- [1]高恒.高速公路隧道注浆加固施工技术[J].工程机械与维修,2023(02):77-79.
- [2]张舜,蒋云东,王余.公路隧道软弱围岩大变形段的注浆加固施工分析[J].建筑安全,2022,37(10):70-73.
- [3]喻建云.地表注浆加固在高速公路隧道施工中的应用[J].中国住宅设施,2022(06):142-144.
- [4]雷明林,武刚,潘俊涛.公路隧道穿越富水断层破碎带预注浆加固处理技术[J].工程建设与设计,2020(07):247-249.