

# 南水北调水利施工中防渗控制要点

兰征宇

中国南水北调集团中线有限公司河南分公司 河南 郑州 450000

**摘要：**南水北调工程是缓解我国北方水资源短缺、优化水资源配置的重大战略性工程。本文围绕南水北调水利施工中的防渗控制展开研究，阐述了防渗控制的概念、原理及该工程中防渗控制的特殊性。分析了施工中渠道、建筑物接缝及特殊地质条件下常见的渗漏问题及成因，重点提出了防渗材料选择与应用、渠道工程、建筑物及特殊地质区域的防渗控制要点。研究旨在为南水北调工程防渗施工提供技术参考，以保障工程的安全稳定运行，提高水资源利用效率。

**关键词：**南水北调；水利施工；防渗控制要点

引言：南水北调工程施工过程中，防渗控制至关重要，直接关系到工程的质量、安全和效益。由于工程规模大、跨度广、地质条件复杂且输水方式多样，防渗控制面临诸多挑战。本文针对南水北调水利施工中的防渗控制进行探讨，分析相关问题并提出控制要点，为工程施工提供指导，确保工程顺利推进。

## 1 南水北调水利工程防渗控制概述

### 1.1 防渗控制的概念与原理

防渗控制是水利工程建设中的核心技术环节，指通过工程措施、材料应用和技术手段，减少或阻止水体在输水、储水过程中发生不必要渗漏的系统性工程行为。其核心目标是提高水资源利用效率，保护工程结构安全，避免因渗漏引发地质灾害或生态环境问题。从工程本质来看，防渗控制既是对水体流动路径的优化管理，也是对工程周边地质环境的保护性干预。防渗控制的基本原理可从水力学、材料学和地质学三个维度解析。在水力学层面，基于达西定律，通过改变渗流路径的长度、断面面积或介质渗透性，降低渗透流速和流量。例如，在渠道底部铺设防渗层，能有效延长水体下渗的路径，减少单位时间内的渗漏量。在材料学层面，利用具有低渗透系数的材料（如土工膜、水泥土、沥青混凝土等）作为屏障，阻断水体渗透通道。这些材料通过自身的密实性或化学稳定性，抵抗水体的侵蚀和渗透。在地质学层面，针对工程区域的地质构造（如断层、裂隙、松散土层等），采取灌浆、帷幕、换填等措施，改良地质体的防渗性能，避免因地质缺陷导致集中渗漏。

### 1.2 南水北调工程中防渗控制的特殊性

南水北调工程作为全球规模最大的跨流域调水工程，其防渗控制的特殊性主要体现在以下三个方面：

（1）工程规模与跨度带来的复杂性。该工程分为东、

中、西三条线路，总长度超过4000公里，途经平原、山地、河流、城市等多种地貌单元。不同区域的气候条件、水文特征和工程要求差异巨大，例如中线工程从丹江口水库至北京，需穿越华北平原的多个沉降区，而东线工程则依托京杭大运河，面临沿线湖泊水网的交叉渗透问题。（2）地质条件的多样性与不确定性。工程沿线涉及黄土高原、岩溶地貌、软土平原等特殊地质区域。以中线工程为例，河南段部分区域存在深厚黄土层，易因渗漏引发湿陷性灾害；河北段则分布有较多岩溶裂隙，可能导致水体快速下渗并引发地面塌陷。（3）输水方式的混合。工程采用明渠、隧洞、渡槽、倒虹吸等多种输水形式，不同形式的防渗重点差异显著。明渠需应对大面积表层渗漏和边坡稳定问题；隧洞则面临高压水头下的衬砌渗漏风险；渡槽和倒虹吸作为交叉建筑物，其接缝处的防渗处理成为关键<sup>[1]</sup>。

## 2 南水北调水利施工中常见的防渗问题

### 2.1 渠道渗漏问题及成因

明渠段普遍存在局部点渗漏，多因混凝土衬砌浇筑时振捣不密实，形成蜂窝麻面或细微裂缝，在高水头压力下逐渐发展为渗漏通道。渠道底部渗漏尤为突出，部分区段因地基处理不到位，原状土被扰动后形成松散夹层，水体下渗速率可达0.5-2m/d，导致渠道周边出现湿地或塌陷。边坡渗漏呈现区域性分布特征，在粉质黏土区段易发生顺坡渗透，雨水入渗后使边坡土体饱和软化，引发衬砌板空鼓甚至滑移。部分填方渠道因分层碾压厚度超标（超过30cm设计值），层间结合带形成水平渗漏通道，实测渗漏量可达设计值的1.5-3倍。伸缩缝止水材料老化或安装偏差，会导致沿缝渗漏，在冬季冻融循环作用下渗漏范围持续扩大。

### 2.2 建筑物接缝渗漏问题及成因

跨河建筑物接缝是防渗薄弱环节,渡槽支座与槽身连接部位常出现渗漏。由于温度变形差异,橡胶止水带易产生拉伸疲劳,在水头作用下形成渗水路径,实测渗水量可达0.1-0.3L/s。倒虹吸进出口渐变段与渠道衔接处,因不均匀沉降导致混凝土开裂,裂缝宽度多在0.2-0.5mm,形成集中渗漏点。隧洞施工中,管片接缝渗漏问题频发。盾构法施工的隧洞,管片拼装时止水条压缩量不足1/3,密封性能失效;明挖隧洞变形缝处,止水钢板焊接质量不合格,存在未焊透或夹渣现象,导致渗漏率高达25%。建筑物与地基接触面因回填土压实度不够,形成环形渗漏带,严重时引发管涌。

### 2.3 特殊地质条件下的渗漏问题及成因

黄土地区渠道面临潜蚀渗漏风险,黄土具有大孔隙结构,水体入渗后产生机械潜蚀,使孔隙扩大形成渗漏通道,实测渗透系数可达 $1 \times 10^{-3}$ cm/s。在自重湿陷性黄土区段,渗漏引发的地基沉降可达20-50cm,导致衬砌结构断裂。岩溶发育区存在隐蔽性渗漏,溶洞与裂隙网络贯通形成地下输水系统,部分区段单孔渗流量超过100m<sup>3</sup>/h。施工中若未探明岩溶分布,帷幕灌浆范围不足,会出现绕渗现象。软土地区因地基承载力不足,渠道不均匀沉降导致防渗层拉裂,淤泥质土的高压缩性使裂缝持续扩展,形成贯通性渗漏。高地震烈度区建筑物因抗震措施不到位,地震作用下接缝止水结构破坏,引发突发性渗漏。某地震烈度7度区段,渡槽伸缩缝止水带在震动后撕裂长度达1.5m,造成严重渗漏<sup>[2]</sup>。

## 3 南水北调水利施工中防渗控制要点

### 3.1 防渗材料的选择与应用要点

防渗材料的选择需结合工程所处环境的气候特征、地质条件以及施工部位的功能需求,其要点如下:(1)对于露天渠道,优先选用耐紫外线老化、抗冻融性能强的材料,其抗冻等级应不低于F200,同时考虑材料对温度变化的适应性,确保在-30℃至60℃范围内不会产生明显开裂。在地下隧洞等封闭环境中,材料需具备抗水性能,能承受不小于0.6MPa的水压,且具有耐腐蚀性,以应对可能存在的地下水侵蚀。(2)材料的物理性能指标要满足设计要求,渗透系数应小于 $1 \times 10^{-7}$ cm/s,拉伸强度不低于10MPa,撕裂强度不小于25kN/m。在采购环节,需对材料的出厂检验报告进行严格核查,确保各项指标符合标准。进场后,应按每批次抽样不少于3组的频率进行检测,杜绝不合格材料进入施工环节。(3)材料的铺设要遵循施工规范,确保铺设平整,无褶皱、空鼓现象,铺设偏差控制在±5cm以内。对于接缝处理,热熔焊接时接缝宽度应控制在10-15cm,焊接温度根据材料特

性设定在180-220℃,胶粘连接时涂胶厚度均匀,不小于0.5mm,保证接缝处的密封性。铺设过程中,需避免材料与尖锐物体接触,防止出现破损。铺设完成后,应及时进行保护层施工,保护层厚度不小于5cm,避免材料在后续施工中受到损坏。

### 3.2 渠道工程防渗施工技术要点

渠道工程防渗施工技术要点如下:(1)渠道基础处理。要对地基进行压实处理,压实度应达到93%以上,确保地基承载力均匀,承载力偏差不得超过10%。对于存在软弱夹层的地基,当夹层厚度超过50cm时,应进行换填处理,换填材料采用级配砂石,分层压实厚度控制在20-30cm;对于厚度小于50cm的夹层,可采用注浆加固,注浆压力控制在0.3-0.5MPa。基础表面需平整、坚实,平整度偏差不大于5mm,清除表面的杂物、浮土和积水,为后续防渗层施工创造条件。(2)渠道衬砌施工。要控制好混凝土的配合比,水灰比不大于0.5,砂率控制在35%-40%,保证混凝土的强度不低于C25,抗渗等级达到P8。浇筑过程中,应采用机械振捣,振捣时间控制在20-30s,确保混凝土密实,避免出现蜂窝、麻面等缺陷,蜂窝面积不得超过构件表面积的0.5%。衬砌板的分缝设置需合理,缝间距应根据混凝土的收缩特性和温度变化情况确定,一般控制在5-10m,分缝处的止水材料需安装牢固、紧密贴合,止水带嵌入深度不小于10cm,确保止水效果。(3)渠道边坡防渗施工。要注重边坡的稳定性,边坡坡度应符合设计要求,偏差不得超过±5°,坡面需修整平整,平整度偏差不大于10mm,清除坡面的松动岩土体。对于岩质边坡,若存在裂隙,裂隙宽度大于0.2mm时需进行灌浆处理,灌浆压力为1.5-2倍的水头压力,封闭裂隙通道。在边坡表面铺设防渗材料时,应从上至下铺设,铺设搭接宽度不小于10cm,确保材料与坡面紧密结合,必要时采用锚固措施固定,锚固间距为1-1.5m,防止材料滑移<sup>[3]</sup>。

### 3.3 建筑物防渗施工技术要点

建筑物防渗施工技术要点如下:(1)渡槽防渗施工。重点关注槽身与支撑结构的连接部位,该部位易因受力不均产生缝隙。在施工中,应确保连接部位的混凝土浇筑密实,混凝土密实度达到98%以上,采用止水带、遇水膨胀橡胶等材料加强止水,止水带宽度不小于30cm,遇水膨胀橡胶的膨胀倍率在200%-300%之间。渡槽的伸缩缝设置需合理,缝宽控制在2-3cm,缝内填充的止水材料应具有良好的弹性和耐老化性,使用寿命不低于50年,同时需做好伸缩缝的密封处理,密封深度不小于2cm,防止雨水渗入。(2)倒虹吸施工。管道接口是防渗的关键

部位,接口处的密封材料需选用适配的型号,安装时保证接口对齐、紧密连接,接口同心度偏差不大于5mm。管道安装完成后,需进行水压试验,试验压力为设计压力的1.5倍,且不小于0.6MPa,稳压30min,压力降不超过0.05MPa,检查接口的密封性,若发现渗漏,应及时进行处理。倒虹吸进出口与渠道的衔接部位,需做好渐变段的防渗处理,渐变段长度不小于5m,确保水流平稳过渡,避免因水流冲刷导致渗漏。(3)隧洞防渗施工。要对洞壁进行处理,对于岩质隧洞,先进行喷锚支护,喷射混凝土厚度不小于10cm,锚杆长度不小于2m,间距为1-1.5m,封闭岩面裂隙,然后铺设防渗层,防渗层厚度不小于2mm。防渗层的铺设应与洞壁紧密贴合,接缝处采用焊接或胶粘方式密封,焊接接缝强度不低于母材强度的80%。对于盾构隧洞,管片之间的密封垫需安装到位,压缩量控制在30%-50%,保证管片接缝的密封性,同时要对管片的螺栓孔进行防渗处理,采用遇水膨胀止水环,止水环直径比螺栓孔直径大2-3mm,防止渗水。

#### 3.4 特殊地质区域防渗控制要点

特殊地质区域防渗控制要点如下:(1)软土地基施工。施工前对软土地基进行处理,可采用排水固结、深层搅拌等方法提高地基承载力,处理后地基承载力特征值不小于120kPa,减少地基沉降,最终沉降量控制在50mm以内。在渠道或建筑物基础施工中,应设置防渗帷幕,帷幕深度需穿透软土层,进入下部不透水层不小于1m,帷幕渗透系数小于 $1 \times 10^{-6}$ cm/s,阻断地下水的渗透路径。施工过程中,需控制施工速度,日填筑高度不超过0.5m,避免因荷载增加过快导致地基失稳。(2)岩溶地区防渗控制。其核心是封堵岩溶裂隙和溶洞,施工前需通过地质勘察查明岩溶分布情况,勘察钻孔间距不大于10m。对于较小的裂隙,裂隙宽度小于5mm时,可采用

灌浆法填充,灌浆压力为0.5-1MPa;对于较大的溶洞,溶洞体积大于 $10\text{m}^3$ 时,需采用混凝土回填或设置格栅等方法处理。同时在岩溶发育区设置防渗铺盖,铺盖长度不小于20m,厚度不小于0.5m,延长渗径,降低渗透压力,使渗透比降小于允许值。在施工过程中,需加强对地下水的监测,监测频率为每天1次,防止因防渗措施不当导致地下水下降引发地质灾害。(3)黄土地区施工。注重黄土的湿陷性处理,可采用强夯、灰土挤密桩等方法消除黄土的湿陷性,处理后黄土的湿陷系数小于0.015。渠道衬砌应采用刚性材料,厚度不小于15cm,减少因黄土湿陷产生的变形对防渗层的破坏。在渠道边坡和底部设置排水系统,排水坡度不小于2%,及时排出雨水和渗水,避免雨水入渗引发黄土湿陷。对于黄土中的裂隙,裂隙长度大于1m时需进行灌浆处理,灌浆压力为0.3-0.6MPa,封闭裂隙通道,提高黄土的整体性和防渗性能<sup>[4]</sup>。

结束语:南水北调水利施工中防渗控制涉及多个方面,要充分考虑工程的特殊性和各类渗漏问题。通过科学选择防渗材料、严格把控施工技术要点,能有效提升防渗效果。后续施工中,应持续关注实际情况,不断优化防渗措施,以保障南水北调工程长期稳定发挥作用,为北方地区水资源保障提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]蒋琪.水利工程中防渗墙施工技术与质量控制研究[J].中国新技术新产品,2023(4):79-81.
- [2]马文自.水利工程防渗处理中的灌浆施工技术分析[J].建筑与装饰,2024(11):169-171.
- [3]胡卫中,肖明,牟君之.研究水利水电工程防渗施工技术的要点[J].水上安全,2023(12):79-81.
- [4]廖东建.水利工程施工中的全库盘防渗质量控制要点研究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(2):327-328.