

# 水利渠道渗漏原因分析及防渗施工技术探讨

刘德政 杨 港 张 港

四川省玉溪河灌区运管中心 四川 玉溪 625100

**摘要:**水利渠道作为农业灌溉、城乡供水和水力发电等水资源调配系统的核心组成部分,其运行效率直接关系到国家粮食安全、生态安全和经济社会可持续发展。然而,渠道渗漏问题长期困扰着水利工程的高效运行,造成了巨大的水资源浪费,并可能引发次生地质灾害。本文旨在系统性地剖析水利渠道渗漏的成因,从工程地质、设计、施工、材料及运行管理等多个维度进行深入探讨。在此基础上,全面梳理并评述当前主流的防渗施工技术,包括土料防渗、砌石防渗、混凝土衬砌防渗、膜料防渗以及复合防渗等,并对其适用条件、技术要点、优缺点及经济性进行对比分析。最后,结合现代科技发展趋势,对防渗技术的智能化、绿色化和长效化方向提出展望,以期为提升我国水利渠道的防渗性能、保障水资源高效利用提供理论参考与实践指导。

**关键词:**水利渠道;渗漏原因;防渗技术;施工工艺;水资源保护

## 引言

全球水资源紧缺,提高利用效率成各国重大课题。我国农业用水占比超60%,传统土质渠道输水损失率达30%-50%,大量淡水在输送中流失,加剧区域水资源供需矛盾,制约农业现代化与生态文明建设。水利渠道防渗是关键,采取有效工程措施减少渠水渗透,能提高渠系水利用系数、节约水资源,还可防止土地盐碱化等,延长工程寿命、降低运维成本。但渠道渗漏成因复杂,是自然与人为因素交互作用的结果,且防渗技术选择与应用需因地制宜,综合考虑工程规模、地质条件等多重因素。因此,精准诊断渠道渗漏原因,科学评估与优化选择防渗施工技术意义重大。本文将围绕这两大核心议题展开系统论述。

## 1 水利渠道渗漏原因分析

### 1.1 工程地质与水文地质因素

这是导致渠道渗漏最根本的自然因素。当渠道穿越砂土、粉砂、砾石等粗颗粒土层时,由于其孔隙大、连通性好,渗透系数高,渠水极易下渗。即使在黏性土地区,若土层中存在裂隙或虫洞,也会形成优先流通道,加速渗漏。地下水位的高低同样扮演着关键角色,当渠道处于高地下水位区域时,若地下水位高于渠底,会产生反向渗透压力,可能导致渠底隆起甚至破坏防渗层;反之,在低地下水位区域,渠水与地下水之间形成较大的水头差,会驱动渠水持续向地下渗透。更为严重的是,渠道沿线若存在断层、溶洞、古河道或软弱夹层等地质构造,这些区域往往是渗漏的集中通道<sup>[1]</sup>。特别是喀斯特地貌区,地下暗河系统发达,一旦渠道与其连通,将造成灾难性的水量损失。

### 1.2 渠道设计缺陷

在四川玉溪河灌区,受早期建设条件和技术水平限制,部分渠段存在明显的设计缺陷。例如,为适应山区地形起伏,局部渠段纵坡设计偏陡,导致水流流速过高,长期冲刷渠床与边坡;而平缓段又因流速过低造成泥沙淤积,破坏渠底结构稳定性。边坡多采用经验性陡坡设计,在玉溪河灌区频繁降雨和高地下水位作用下,易发生滑塌、开裂,形成渗漏通道。此外,上世纪六七十年代修建的许多干支渠未设置系统防渗措施,或仅采用简易浆砌石衬砌,防渗标准远低于现行规范要求。更关键的是,多数渠段缺乏有效的排水减压系统——玉溪河灌区属亚热带湿润气候,雨季集中、降雨量大,防渗层后若无排水沟、反滤层或减压井,极易因雨水入渗或渠水侧渗产生高扬压力,导致混凝土板鼓胀、脱空甚至掀翻,使防渗体系失效。

### 1.3 施工质量问题

玉溪河灌区早期渠道多由地方组织群众施工,技术力量薄弱,施工质量控制不严。渠基清理常不到位,残留树根、腐殖土或未压实的回填土在后期沉降中形成空隙,尤其在穿越冲积扇、古河床等松软地基段更为突出。所用防渗材料如混凝土标号偏低、砂浆配比随意、土工膜厚度不足或老化严重,难以满足长期抗渗要求。混凝土衬砌普遍存在振捣不密实、养护时间不足等问题,表面蜂窝麻面及干缩裂缝广泛存在;伸缩缝间距过大或止水带安装歪斜、搭接不牢,在玉溪河灌区温差变化和地基不均匀沉降作用下极易拉开,成为贯穿性渗漏路径。土工膜施工时,因山丘区基面整平困难,膜下常有碎石、树根等尖锐物刺穿膜体,且焊接工艺粗糙,虚焊、漏焊

频发；后期覆土保护层施工多采用人工作业，踩踏、抛掷石块等操作进一步损伤膜体。对于大量存在的浆砌石渠段，砂浆饱满度普遍不足，勾缝多为“假缝”，雨水和渠水沿石缝快速下渗，防渗效果形同虚设。

#### 1.4 运行管理与外部环境因素

渠道投入运行后的维护状况和外部环境变化同样深刻影响其防渗性能。在四川等气候温和、无严寒冻土的地区，虽然不存在冻融循环导致的破坏，但长期的干湿交替仍会使某些土料防渗层产生收缩裂缝。渠道两侧深根系植物（如树木、灌木）的根系生长可能穿透防渗层，形成生物通道。水中的微生物、藻类附着生长可能堵塞微小孔隙，也可能分泌酸性物质腐蚀防渗材料；工业废水或高矿化度地下水的化学侵蚀作用，则会缓慢但持续地劣化混凝土等材料的物理化学性能<sup>[2]</sup>。渠道在汛期超设计流量运行时，水流冲刷力剧增，易冲毁防渗层；此外，人为活动（如耕作、取土、车辆碾压）或动物活动也可能对渠道造成意外的物理破坏。所有这些问题，如果缺乏一套健全的定期巡检和维护制度，使得已出现的微小裂缝、局部破损未能被及时发现和修补，任其发展扩大，最终都将演变成严重的渗漏问题。

## 2 主要防渗施工技术探讨

### 2.1 土料防渗

这是最古老、最经济的防渗方法之一，适用于小型渠道或作为其他防渗层的辅助措施。其基本原理是利用黏性土（如壤土、黏土）压实后形成的低渗透性层来阻隔水流。在施工过程中，首先需要优选塑性指数在7-17之间的壤土或轻黏土，确保含沙量不宜过高；随后，必须彻底清除基面上的杂物并洒水湿润；接着，采用分层填筑的方式，每层铺土厚度控制在15-20厘米，并通过机械或人工夯实至设计要求的干密度（通常要求达到最大干密度的95%以上）；最后，压实完成后还需覆盖保水养护，以防止干裂。这种方法的优势在于成本低廉、施工简单且能就地取材，但其防渗效果相对较差，渗透系数一般仅能达到 $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ cm/s，且抗冲刷、抗冻融能力弱，易受干缩开裂影响，往往需要较厚的断面，占用较多土地资源。

### 2.2 砌石防渗

包括浆砌石和干砌石（常内衬黏土或灰土）两种形式，历史悠久，稳定性好。其防渗机理在于利用石块间的紧密砌筑或砂浆胶结，形成连续的阻水层。施工时，应选用质地坚硬、无风化、无裂纹的块石或片石<sup>[3]</sup>。对于浆砌石，通常采用坐浆法砌筑，确保砂浆饱满度超过80%，石块间需错缝搭接，砌筑完成后还需及时用具有

良好防水性的砂浆进行勾缝。而干砌石则更依赖于背后的黏土或灰土防渗层，因此石块需精心挑选，砌筑紧密，缝隙用小石子塞紧，背后防渗层的施工质量便成为成败的关键。砌石防渗的优点是抗冲刷、抗冻融、耐久性好，能适应一定的地基变形。然而，其施工工序繁琐，劳动力消耗大，整体性较差，砂浆易老化脱落，防渗效果不如混凝土，加之石材资源日益稀缺，成本也在不断上升。

### 2.3 混凝土衬砌防渗

这是目前应用最广泛、技术最成熟的防渗形式，尤其适用于大中型渠道。其核心在于在渠床和渠坡表面浇筑一层具有一定厚度和强度的混凝土板，形成坚固、致密的防渗屏障。根据施工方式不同，可分为现浇混凝土和预制混凝土板。现浇混凝土整体性好，适应地形能力强，但需支立模板、现场浇筑、振捣和养护，受天气影响较大；预制混凝土板则在工厂预制，现场拼装，施工速度快，质量易于控制，但接缝多，是防渗的薄弱环节，需做好接缝止水处理。无论哪种形式，其施工的关键技术都极为重要。首先是基础处理，必须保证基面坚实、平整、干净，对于软基，需进行换填、夯实或铺设砂砾垫层。其次是伸缩缝的设置，为防止温度应力和干缩应力导致开裂，必须按规范设置伸缩缝（通常4-6米一道），缝内填充弹性、耐老化的闭孔材料，并用柔性密封胶或沥青砂浆封口。再次是止水系统，在伸缩缝、施工缝及与其他建筑物连接处，必须设置可靠的止水带。最后是养护，浇筑后12小时内开始覆盖保湿养护，养护期不少于14天，以保证混凝土强度和抗裂性能。混凝土衬砌防渗效果极佳，渗透系数可达 $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$ cm/s，强度高，耐久性好，糙率小，输水能力强，便于管理。但其一次性投资较高，对地基变形敏感，易产生裂缝，且一旦损坏修复困难。

### 2.4 膜料防渗

以土工合成材料（主要是土工膜）为核心的防渗技术，近几十年发展迅速。其原理是利用高分子聚合物薄膜（如HDPE、LDPE、PVC、EVA等）极低的渗透性（渗透系数 $< 10^{-11}$ cm/s）来阻隔水流。主要形式包括单膜防渗和复合防渗，后者更为常用，通常采用“两布一膜”（即土工膜上下各覆一层土工织物）或“膜+保护层”（如膜上覆混凝土板、预制块、砂土等）的结构，其中土工织物起到保护、加筋、排水和反滤的作用。其施工关键技术环环相扣：基面必须平整、密实、无尖锐物，通常需铺设一层细砂或土工布作为下垫层；铺设时应预留足够的松弛度以适应地基变形，而膜与膜之间的连接是核心，主要采用热熔焊接，需严格控制焊接参数，并进行气压或真空检测确保焊缝质量；膜的周边必须牢固锚固于岸

坡或专门的锚固沟内,膜上也必须设置有效的保护层,以防止紫外线老化、机械损伤和生物破坏<sup>[4]</sup>。膜料防渗的优势在于防渗性能卓越,重量轻,运输方便,施工速度快,适应变形能力强,造价相对较低。但其对施工质量要求极高,一旦破损难以定位和修复,长期耐久性(尤其是抗紫外线、抗化学腐蚀)受材料本身和施工保护水平影响较大。

### 2.5 复合防渗技术

为了克服单一防渗技术的局限性,工程中常采用两种或多种技术相结合的复合防渗方案。常见的组合形式包括在混凝土衬砌下铺设土工膜,这种“混凝土+土工膜”的结构既能利用混凝土提供结构强度和抗冲刷能力,又能依靠土工膜提供终极防渗保障,即使混凝土出现裂缝,土工膜仍能有效阻止渗漏,是目前高标准防渗渠道的首选方案。另一种组合是在浆砌石或干砌石背后铺设土工膜,有效解决了传统砌石防渗效果不佳的问题。此外,对于已建成的土渠,还可通过向渠床土体注入化学浆液,使其固化形成低渗透性帷幕,实现“土料+化学灌浆”的复合防渗。复合防渗技术的最大优势在于能够兼具各单一技术的优点,防渗可靠性高,综合性能优越,但其设计和施工更为复杂,成本也相应增加。

### 3 防渗技术选择与经济性分析

防渗技术的选择绝非简单的技术比较,而是一个多目标决策过程。选择时应遵循因地制宜的原则,首要考虑当地的工程地质、水文气象、材料资源等自然条件;其次要确保所选技术能满足渠道的设计流量、防渗标准和耐久性要求;再次要进行全生命周期成本分析,不仅要考虑初期建设投资,更要权衡长期的节水效益、运行维护费用和工程寿命;同时还需考虑当地施工技术水平、机械设备和劳动力状况;最后,应优先选择环境影响小、可回收利用的绿色材料和技术。从经济性角度看,各类技术的初期投资大致为:土料防渗最低,其次是砌石防渗

和膜料防渗,混凝土衬砌较高,复合防渗最高。然而,从年运行费(含维护)来看,土料防渗因维护频繁而费用最高,砌石防渗次之,而混凝土衬砌、膜料防渗及优质复合防渗的维护费用则相对较低。在节水效益方面,复合防渗与膜料防渗表现最为突出,远优于其他形式。因此,综合效益分析表明,对于大型骨干渠道,虽然混凝土或复合防渗初期投资高,但其卓越的防渗效果、长久的使用寿命和低维护成本,使其全生命周期成本往往最低,经济效益和社会效益最为显著。而对于小型田间渠道,则可优先考虑成本更低的土料或膜料防渗。

### 4 结语

水利渠道渗漏受自然、设计、施工、管理等多因素影响,治理需坚持“预防为主、防治结合”,全过程管控。规划设计阶段,要做好地质勘察和水文分析,合理选定防渗标准与形式;施工阶段,严把材料和工艺关,确保关键工序质量;运行管理阶段,健全巡检维护制度,利用现代监测手段及时发现处理隐患。未来,水利渠道防渗技术将向智能化(集成传感器等构建监测预警系统)、绿色化(研发环保新型材料)、长效化与自修复(探索自愈合材料)、标准化与装配化(推动构件标准化设计和工厂化预制)发展。通过技术创新、工程管理和决策支持,能降低渠道渗漏损失,为国家水安全和水资源可持续利用提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]杨旭东.农田水利渠道渗漏的原因及防渗技术分析[J].新农业,2023,(18):93-94.
- [2]董维龙.水利工程渠道渗漏的原因及防渗施工技术探讨[J].清洗世界,2021,37(10):160-161.
- [3]郭腾,呼磊.水利工程现浇混凝土衬砌渠道防渗漏技术探究[J].建材发展导向,2025,23(19):67-69.
- [4]任晓雯.水利渠道防渗漏控制技术及其应用[J].水利技术监督,2025,(01):272-274+278.