

水利工程防渗施工技术探讨

牛珍民

摘要：水利工程在我国基础设施建设中占据着重要地位，在国民经济可持续发展中起着关键性作用。水利工程施工中防渗施工技术在保证水工建筑物能够安全、平稳运行的重点环节之一。防渗施工不但关系到整体工程质量，而且在水资源高效利用及环境保护等方面也发挥了重要作用。伴随着我国水利事业的发展，防渗技术得到了创新和提高。文章旨在通过对水利工程防渗施工技术最新发展及应用情况进行论述，从而提升防渗施工技术水平，保障工程安全及经济效益。

关键词：水利工程；防渗施工；技术要点

引言

近些年来，我国水利工程建设不断扩大，复杂程度不断提高，水工建筑物防渗问题也日益突出。防渗施工对于确保水利工程长期稳定运行至关重要，特别是大坝、渠道和库区等关键部位，防渗技术应用显得更为重要。传统防渗技术对于处理复杂地质条件及高水准防渗要求往往有局限性。于是，各种新型防渗材料，技术及装备层出不穷，例如复合防渗材料、混凝土帷幕灌浆、HDPE土工膜等等。这些技术的运用不仅改善了项目防渗效果，而且显著促进了施工效率与环保水平。

一、防渗施工技术的分类与原理

1. 传统防渗技术

传统防渗技术被广泛应用于水利工程当中，有着较长的发展历史以及成熟的运行经验。黏土防渗最早出现在堤坝及渠道防渗施工中。黏土可塑性好、渗透性低、能有效地阻碍水流渗透，常用于防渗层材料。它的施工工艺比较简单，成本也比较低，但是黏土材料对于施工场地以及气候条件要求比较高，干燥地区或者施工周期比较长的情况下易出现裂缝而影响防渗效果。帷幕灌浆防渗技术又是目前常用的手段，它主要应用于大坝基础渗漏的预防。灌浆方法是通过在地基中加入水泥浆或其他的填充材料来创建一个不透水的帷幕层，这样可以有效地防止水通过裂缝或空隙进入地基。该项技术应用在地质复杂大坝基础及渗漏风险较大工程部位。水泥混凝土

土作为一种防渗材料，经常被用于渠道和水库的衬砌工作。这种混凝土因其出色的强度和持久性，能够有效地抵御水流的侵蚀，从而避免渗漏问题。但混凝土施工成本比较高、施工环境及基础处理要求严格、温差大地区易出现裂缝、需要附加修补措施维持防渗效果。这些传统的防渗技术仍然是水利工程的重要组成部分，但是伴随着科技的进步，逐渐得到了更加有效的新型防渗技术的辅助。

2. 新型防渗技术

新型防渗技术在水利工程中的应用日益广泛，极大提升了防渗效果和施工效率。土工膜防渗技术是一项重要的创新，尤其是高密度聚乙烯（HDPE）土工膜，以其高抗拉强度、良好的耐腐蚀性和低渗透系数（通常小于 1×10^{-14} m/s），在大坝和水库的防渗施工中表现出色。HDPE膜的厚度通常在0.5 mm到2.5 mm之间，通过焊接形成连续不透水层，能够有效防止水体的渗漏。与传统材料相比，土工膜的施工便捷，能够适应复杂的地形和多样的环境条件，且材料轻便，降低了施工运输成本。

复合防渗材料是另一类备受关注的新型技术，将多种材料组合使用，如土工布与防渗膜复合或土工格栅与混凝土结合，形成高强度且耐久的防渗体系。该技术不仅提高了防渗效果，还具备较好的抗拉性能和延展性，适应工程变形的能力更强，渗透系数可低至 1×10^{-12} m/s，能够显著延长水工建筑物的使用寿命。此外，反滤层与垂直防渗墙技术在防止水流渗漏和地基加固方面表现优异。反滤层通过多层材料逐步减小颗粒直径，防止细颗粒的流失，确保工程的稳定性；而垂直防渗墙则通过在地基或坝体内部设置一道连续的防水屏障，深度可达几

作者简介：牛珍民（1987.06——）女，汉族，本科学历，中级工程师，主要从事水利工程施工方面的研究工作。

十米，进一步增强了防渗效果。这些新型防渗技术的出现，显著提升了水利工程的施工质量和安全性。

二、不同水利工程中的防渗技术具体应用

1. 大坝防渗技术

大坝防渗技术在水利工程中至关重要，直接关系到大坝的安全性和使用寿命。均质坝的防渗技术通常采用黏土心墙或黏土斜墙形式，通过利用天然黏土材料的低渗透性，构建一道具有良好防渗性能的屏障。黏土心墙的厚度一般在3到5米之间，渗透系数可达到 $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 以下，有效阻挡水流的渗透。然而，黏土材料易受到温度和湿度变化的影响，需要精细的施工和养护以确保其长期稳定性。

复合坝的防渗技术则更为复杂，通常结合多种材料与工艺进行防渗处理。在坝体内部，复合防渗材料如土工膜、混凝土防渗层和帷幕灌浆等多种防渗体系同时应用。土工膜防渗层，特别是HDPE土工膜，具有优异的防渗性能，其厚度一般在1.5 mm左右，渗透系数通常小于 $1 \times 10^{-14} \text{ m/s}$ ，能够有效阻止水流通过坝体。帷幕灌浆技术通过在大坝基础或坝体中注入水泥浆或化学灌浆材料，形成防渗帷幕，灌浆深度根据坝体高度和地基渗漏情况可达20米甚至更深，从而提高坝基的防渗效果。

为了增强大坝整体的防渗性能，防渗墙技术也在复合坝中广泛应用。防渗墙一般采用塑性混凝土或沥青混凝土作为主要材料，其厚度通常在0.5到1.5米之间，深度可达大坝全高的三分之二至四分之三，有效阻止水流穿透坝体和坝基。结合现代监测技术，如渗漏监测系统和自动化检测设备，能够实时监测坝体的渗漏状况，确保大坝的长期安全运行。整体而言，大坝防渗技术的进步极大提升了水利工程的安全性、可靠性和耐久性，在面对复杂地质和环境条件下，能够有效应对各种防渗难题。



图1 大坝防渗施工

2. 渠道防渗技术

渠道防渗技术在水利工程中起着关键作用，特别是

在灌溉和输水工程中，防渗技术直接影响水资源的利用效率和渠道的长期稳定性。常见的防渗措施包括渠道衬砌、土工膜应用以及复合防渗技术。渠道衬砌技术广泛使用水泥混凝土和砂浆衬砌，其厚度一般为10 cm到20 cm，具有良好的抗渗和抗侵蚀性能。混凝土衬砌渠道的渗透系数可降低至 $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 以下，大大减少了水流渗漏。然而，在气候较为寒冷的地区，混凝土容易受到冻融循环的影响，导致裂缝产生，因此需要采取加强措施如膨胀缝和防裂网布等，以延长衬砌的使用寿命。

土工膜在渠道防渗中也得到了广泛应用，特别是高密度聚乙烯（HDPE）土工膜，由于其高抗拉强度和优异的耐化学腐蚀性能，适用于各种水利环境。HDPE膜通常铺设在渠道底部和侧墙，其厚度一般在1.0 mm到2.0 mm之间，通过焊接或搭接形成连续的防渗层，渗透系数可以低至 $1 \times 10^{-13} \text{ m/s}$ ，能够有效阻止水流的渗透。相比传统的混凝土衬砌，土工膜施工速度快，成本相对较低，且能够适应复杂的地形条件。

复合防渗技术结合了土工布、土工膜和混凝土衬砌等多种材料，在防渗效果和工程稳定性方面表现突出。土工布作为加固层，具有良好的抗拉和抗剪性能，能够与土工膜配合使用，增强防渗层的稳定性和耐久性。此外，在渗漏风险较高的渠段，还可以采用灌浆技术，通过在渠道底部和侧墙注入水泥或化学浆液，形成防渗屏障，渗透系数可达 $1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 以下。结合这些新型材料和工艺，现代渠道防渗技术不仅提高了防渗效果，还在施工效率、成本控制和环境适应性上取得了显著进步。



图2 渠道防渗施工

3. 水库及库区防渗技术

水库及库区防渗技术是确保水库安全和高效运行的关键环节，直接关系到水库蓄水能力和防止渗漏带来的环境影响。常见的防渗措施包括土工膜、混凝土衬砌、帷幕灌浆和复合防渗技术。土工膜防渗在库区中应用广泛，尤其是高密度聚乙烯（HDPE）土工膜，由于其低渗

透性和耐腐蚀性,成为水库库区防渗的优选材料。HDPE膜通常厚度在1.5 mm到2.5 mm之间,铺设于库区底部和侧坡,通过焊接技术形成连续的防渗层,其渗透系数可达到 1×10^{-14} m/s,能够有效阻止水体的渗漏。

混凝土衬砌也是库区防渗的重要手段,特别是在地质条件复杂或承受高水压力的库区。混凝土衬砌的厚度通常在20 cm到40 cm之间,能够有效承受水压和外部荷载,且其渗透系数较低(通常在 1×10^{-6} m/s以下),可以有效减少水库渗漏。然而,混凝土衬砌对施工环境的要求较高,在高温或低温条件下容易产生裂缝,需要采用防裂处理和定期维护以保证其防渗效果。

帷幕灌浆技术主要用于库区地基的防渗处理,特别是在地基岩层存在裂隙或孔隙较大时,灌浆技术通过注入水泥浆或化学浆液,填充地基裂隙,形成连续的防渗帷幕。灌浆深度通常根据地基情况可以达到几十米,甚至超过库区水位高度,以确保库区地基的防渗性能。复合防渗技术则结合了多种材料与工艺,如土工布、土工膜、混凝土和灌浆等,形成多层防渗体系,适用于库区渗漏风险较高的区域。通过这些防渗措施,水库库区能够显著降低渗漏风险,提升水库运行的安全性和稳定性,并减少水资源的浪费。



图3 水库防渗施工

三、防渗技术的未来发展趋势

防渗技术未来趋势是以绿色环保、智能化施工、新材料应用为核心。在全球环境保护与可持续发展要求越来越高的今天,防渗材料与工艺的环保性就显得非常重要。今后防渗材料会更强调生态友好,如可降解复合材料、无毒土工膜,它们能降低长期环境影响,又能有效地防渗。多采用环保材料既符合国家绿色发展战略又能减少水利工程全生命周期碳排放及资源消耗。

智能化的施工技术在今后的防渗工程当中也会起到举足轻重的作用。在大数据、物联网以及人工智能技术不断发展的背景下,防渗施工检测监测技术也会越来越准确,效率越来越高。如自动化防渗监测系统能够实时采集坝体,渠道或者库区渗漏数据并利用传感器和无人机实现防渗结构动态监测,通过大数据分析,及时发现潜在渗漏问题,并加以解决。智能化灌浆及土工膜铺设设备会提高施工精度、降低人工操作失误、进一步提高工程质量。

新材料研究与开发,也是当今防渗技术的一个核心发展趋势。今后防渗材料耐久性强,抗腐蚀性强,对复杂地质条件适应性强。例如,通过引进纳米材料和复合高分子材料,可以显著增强防渗层的强度和持久性,其渗透系数可以进一步减少到 1×10^{-16} m/s或更低,从而实现几乎完全隔绝水流的效果。这些新材料与新技术的使用会显著提升水利工程防渗效果,保障工程的长期平稳运行,促进防渗技术向着更高效、更环保以及更智能化等方向不断发展。

结束语

水利工程防渗施工技术对于确保工程安全,提高水资源利用效率,保护生态环境等都有着十分重要的作用。随着水利工程的不断扩大,地质条件日益复杂化,防渗技术得到了不断地进步与创新。通过将传统防渗技术和新型材料,智能化施工相结合,防渗效果明显提高。未来的进展将更加重视绿色环保材料的使用、智能施工技术的推广和新型高效材料的研发,从而进一步提高水利工程的安全性、耐久性和可持续性。对当前防渗技术进行总结和展望,可为水利工程不断完善提供科学依据,促进水利建设向更加高效、环保和智能方向发展。

参考文献

- [1] 黄勇. 水利工程防渗墙施工技术探讨运用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022.
- [2] 张金龙. 水利水电工程建筑中混凝土防渗墙施工技术的运用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022(19): 141-143, 168.
- [3] 高新颖, 李秋生. 水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术探讨[J]. 水上安全, 2023(7): 167-169.