

道路桥梁工程防水排水技术研究

骆 恒

武汉市市政工程机械化施工有限公司 湖北 武汉 430050

摘 要：道路桥梁作为国家基础设施体系的关键组成部分，其结构安全与服役寿命直接关系到交通运输效率与公共安全。在长期服役过程中，水害是导致桥梁结构性能退化、耐久性降低乃至安全事故频发的主要诱因之一。因此，科学、系统地开展道路桥梁工程防水排水技术研究，具有重要的理论价值与现实意义。本文围绕道路桥梁防水排水技术的核心要素，从基本原理出发，系统梳理了防水材料的分类、性能特征及适用条件；深入分析了桥面、桥墩、伸缩缝等关键部位的排水系统设计原则与技术方法；详细阐述了防水层施工工艺流程、质量控制要点及常见缺陷成因；最后，结合新材料、新工艺与数字化技术的发展趋势，展望了未来道路桥梁防水排水技术的智能化、绿色化与全生命周期管理方向。本研究旨在为提升我国道路桥梁工程的耐久性与安全性提供理论支撑与技术参考。

关键词：道路桥梁；防水技术；排水系统；防水材料；施工工艺；质量控制

引言

随着我国交通基础设施规模空前扩大，全国公路桥梁总数已超万座。然而，庞大存量桥梁面临严峻养护挑战：长期暴露于复杂环境中，受车辆荷载、温度循环、冻融及化学侵蚀等多因素耦合作用，表面及内部易产生微裂缝。水作为最具破坏性的环境介质，一旦渗入结构，会加速混凝土碳化（速率提升45%-60%）、诱发钢筋锈蚀（风险增加近4倍）、降低材料强度并加剧冻融破坏，严重威胁桥梁安全。早期建设的桥梁因设计标准偏低、施工质量不足，防水排水系统缺陷频现，暴雨季节常出现桥面积水与结构渗漏，既影响行车安全，又缩短使用寿命、推高维护成本。因此，构建高效、可靠、耐久的道路桥梁防水排水体系，已成为保障基础设施长寿命、高韧性运行的迫切需求，也是支撑交通强国战略的关键技术举措。

1 道路桥梁防水技术体系

1.1 防水材料的分类与性能

防水材料是防水体系的物质基础，主要分为涂料与卷材两大类。防水涂料可形成无缝膜层：聚合物改性乳化沥青涂料（如SBS）抗裂性与粘结力好，与混凝土和沥青层相容性佳；聚氨酯涂料延伸率高、能追随微裂缝，但对施工湿度敏感；环氧树脂涂料粘结强、抗渗性极佳，常用于箱梁内腔，但柔性不足；水泥基渗透结晶型涂料（CCCW）通过活性物质渗入混凝土生成不溶结晶，实现永久防水，但养护要求严格。防水卷材厚度均匀、施工快：高分子复合卷材（如TPO、PVC）耐候、耐腐蚀、抗穿刺，适应桥梁变形；传统改性沥青卷材（SBS/APP）力学性能优良，但极端温度下易流淌或变脆，且自重较大。

1.2 防水体系的结构设计

一个完整且高效的桥面防水体系并非单一材料的简单应用，而是由多层功能各异的构造共同组成的有机整体。首先，基层处理层是整个体系的基础，通过对水泥混凝土桥面板进行彻底清理、打磨并涂刷界面剂或底涂，可以极大地增强后续防水层与基层之间的粘结力，这是确保防水效果长期有效的前提。主防水层则是整个体系的核心，无论是采用涂料还是卷材，其主要功能都是形成一道连续、致密、牢固的屏障，有效阻隔外部水分的侵入^[1]。这一层的施工质量，包括其厚度、均匀性和完整性，是整个防水工程质量控制的关键所在。在主防水层之上，通常会设置保护层或直接铺设沥青混凝土铺装层，这一层不仅起到保护下方防水层免受后续施工机械损伤的作用，还能在车辆荷载作用下起到应力缓冲和荷载分散的效果，从而延长整个体系的使用寿命。

1.3 特殊部位的防水处理

桥梁结构中的伸缩缝、防撞墙根部、泄水孔周边等节点部位，由于几何形状复杂、应力集中且存在相对位移，历来是防水体系的薄弱环节和渗漏的高发区。针对这些特殊部位，必须采取专项的加强处理措施。对于伸缩缝，应选用与主防水层具有良好相容性的专用密封胶，如聚硫、硅酮或聚氨酯密封胶，进行填充密封，并在缝的两侧设置附加防水层，形成“U”形包裹结构，以确保其在桥梁热胀冷缩引起的反复位移下仍能保持可靠的密封性能。对于所有阴阳角以及泄水管、预埋件等穿透防水层的管根部位，应预先用水泥砂浆将其抹成光滑的圆弧形，以消除直角带来的应力集中。在此基础上，还需采用专用密封膏对这些穿透点进行严密封堵，并增设附加防水层，形成多重防护，杜绝任何可能的渗漏路径。

2 道路桥梁排水技术体系

2.1 排水系统的设计原则

如果说防水技术的核心在于“堵”，那么排水技术的精髓则在于“疏”。一个高效、可靠的排水系统能够迅速将桥面积水引导并排出结构之外，从根本上减少水与桥梁结构接触的时间和机会，是对防水体系不可或缺的有力补充。在进行桥梁排水系统设计时，必须遵循若干基本原则。首要原则是快速排除，即系统必须能够在设计暴雨强度下，于短时间内将桥面雨水完全排走，避免任何形式的积水，从而保障行车安全。其次，排水路径必须清晰顺畅，设计时应力求简洁，尽量减少不必要的转弯和高程变化，以防止泥沙杂物淤积和管道堵塞。第三，必须坚持防排结合的理念，确保排水系统与防水层紧密结合，任何在结构上可能滞留水的低洼区域都必须有明确、有效的排水出口。最后，设计还应充分考虑后期维护的便利性，排水设施如泄水管、集水井等的构造应便于清淤和检修，以保证其在整个桥梁服役期内持续有效工作。

2.2 主要排水设施与技术方法

桥梁排水系统的实现依赖于一系列相互配合的设施和技术方法。桥面纵横坡设计是最基础、最重要的排水措施。通过在桥面精心设置纵向和横向坡度（通常横坡控制在1.5%至2%之间），巧妙地利用重力作用，使雨水能够自然、快速地向桥面两侧或中央分隔带汇集。泄水管系统则是连接桥面汇水区与桥下水系的关键通道。其设计需要综合考虑桥面汇水面积、纵坡长度以及当地的降雨强度，通过精确的水文计算来确定泄水管的数量、管径和合理间距^[2]。一般而言，在桥台背墙、伸缩缝上游、凹竖曲线底部等极易形成积水的区域，需要加密设置泄水管。在选型上，金属泄水管（如铸铁、不锈钢）因其内壁光滑、排水效率高而备受青睐，但成本较高；钢筋混凝土泄水管则成本低廉，但重量大且内壁相对粗糙。在构造细节上，泄水管的进水口必须设置格栅以拦截杂物，而出水口则需伸出结构外足够距离，以防排出的水流冲刷桥墩基础或锥坡。现代高性能桥面铺装技术还引入了桥面铺装层内部排水的概念，例如采用多孔隙沥青混合料（如OGFC）作为表层，允许雨水迅速下渗，并通过铺装层内部预设的横向排水通道（如碎石盲沟或专用排水板）将水高效引至泄水管，有效解决了传统密级配路面因表面水膜导致的行车安全隐患。此外，对于跨越河流、山谷或城市道路的桥梁，其桥下空间的排水同样不容忽视，应通过设置截水沟、急流槽等设施，将从桥面排出的雨水有序引导至指定地点，避免对桥下环境和

交通造成不利影响。

3 防水排水施工工艺与质量控制

3.1 防水层施工工艺流程

再完美的设计方案，若缺乏严谨的施工过程，也无法转化为可靠的工程实体。以应用最为广泛的聚合物改性乳化沥青涂料为例，其标准的施工流程是一个环环相扣、精细操作的过程。首先，必须对水泥混凝土桥面板进行彻底的基层处理，清除所有浮浆、油污、灰尘等杂物，并对蜂窝、麻面等结构缺陷进行修补，确保基层处于干燥、坚实、平整的理想状态。随后，进入细部加强环节，在伸缩缝、阴阳角、泄水管周边等所有关键节点部位，预先涂刷一遍涂料，并铺设无纺布或玻纤网格布作为附加增强层，以应对这些区域的复杂应力。接下来是核心的涂料喷涂工序，需采用专用喷涂设备，分2至3遍均匀喷涂。每遍涂层都必须等待前一遍完全实干后才能进行，且各遍喷涂的方向应相互垂直交叉，以最大程度地保证涂层厚度的均匀性，杜绝漏涂和薄弱点的产生。施工完成后，必须进行严格的质量检验，包括目视检查涂层是否存在气泡、裂纹、脱皮等外观缺陷，使用针测法或无损检测设备测量涂层的实际厚度是否达标，并最终通过闭水试验或淋水试验来全面验证其实际防水效果。

3.2 质量控制关键点

防水排水工程的质量控制贯穿于施工的每一个环节。环境控制是首要前提，防水施工严禁在雨天、雪天、大风天或环境温度低于5℃及高于35℃的条件下进行，因为这些不利环境会严重影响涂料的成膜质量和最终性能。材料控制同样至关重要，所有进场的防水材料都必须具备完整的出厂合格证和权威的第三方检测报告，并严格按照规范要求按批次进行复检，确保其各项性能指标均能满足设计文件的规定。工序控制则强调过程管理，必须严格执行“三检制”，即施工人员的自检、班组间的互检以及专职质检员的专检，确保上一道工序未经检验合格，绝不允许进入下一道工序，形成严密的质量闭环^[3]。人员控制也不容忽视，所有参与施工的操作人员都必须经过严格的专业培训，深刻理解所用材料的特性、熟悉标准化的操作规程，坚决杜绝任何野蛮施工行为，从源头上保障工程质量。

3.3 常见质量问题与成因

在实际工程中，防水排水系统常会出现一些质量问题，其背后都有特定的成因。粘结不良是最常见的问题之一，通常是由于基层处理不彻底、残留污染物或基层过于潮湿，或者在施工前未按规定涂刷底涂所导致，使得防水层与基层之间无法形成牢固的结合。涂膜开裂则

多源于施工操作不当,例如一次性涂刷过厚导致内外干燥收缩不一致,或是在昼夜温差过大的环境下施工,又或是所选涂料本身的柔韧性和低温柔性不足,无法适应基层的正常变形。鼓泡和起皮现象往往是由于基层含水率过高,水分在涂层固化过程中受热蒸发形成蒸汽压力,或是施工时空气被包裹在涂层之下无法逸出所致。而排水不畅的问题,则更多地反映出设计或施工的疏漏,可能是泄水管在后期被泥沙杂物堵塞,也可能是桥面纵横坡度设置错误,甚至可能是最初的排水路径规划不合理,未能形成有效的汇水和排水通道。

4 技术发展趋势与挑战

4.1 新材料与新工艺

面向未来,道路桥梁防水排水技术正以前所未有的速度向着更高性能、更智能、更可持续的方向演进。在新材料领域,自修复防水材料的研发取得了突破性进展,这类材料通过在基体中引入微胶囊或可逆化学键,使其在服役过程中一旦出现微小损伤,便能触发自动修复机制,从而极大地延长防水层的使用寿命,减少维护成本。纳米技术的应用也为传统防水材料带来了革命性的提升,通过掺入纳米二氧化硅等粒子,可以显著改善涂料的致密性、机械强度和耐久性。与此同时,绿色环保理念深入人心,水性、无溶剂、低VOC排放的防水材料正逐步取代传统的溶剂型产品,这不仅减少了对环境的污染,也极大地改善了施工人员的职业健康与安全条件。

4.2 数字化与智能化

数字化与智能化技术正在深刻地重塑防水排水工程的全链条。建筑信息模型(BIM)技术的集成应用,使得工程师可以在设计阶段就利用三维模型对复杂的排水路径进行精确模拟和碰撞检查,从而优化管线布局,避免施工返工。在施工阶段,BIM模型可以作为指导精细化施工的“数字蓝图”,确保每一个细节都精准落地。进入运维阶段,基于BIM构建的数字孪生体,能够实现对桥梁防水排水系统状态的可视化管理^[4]。更进一步,通过在关键部位预埋湿度、渗压等传感器,并结合物联网技术,可

以建立起一套实时在线的智能监测系统,对防水层的健康状况进行全天候监控,实现从传统的“被动维修”模式向先进的“主动预警”模式的根本性转变。

4.3 全寿命周期管理

未来的防水排水工程理念将发生根本性的转变,不再仅仅局限于建设期的短期目标,而是将视野拓展至涵盖规划、设计、施工、运营、养护直至最终拆除的全寿命周期。这种全寿命周期管理(LCC)的视角,要求决策者在项目初期就综合考虑不同技术方案在未来几十年内的所有成本,包括初始建设成本、定期维护成本、大修成本以及因性能不足导致的间接损失。通过建立科学的评估模型和成本效益分析工具,可以选择出在全寿命周期内综合效益最优的技术方案,从而实现基础设施资产价值的最大化,为国家和社会创造长远的经济与社会效益。

5 结语

道路桥梁工程的防水排水技术是一项复杂的系统工程,其有效性直接关乎基础设施的安全与耐久。本文系统地阐述了防水材料、排水设计、施工工艺及质量控制等核心内容,并展望了未来的发展趋势。研究表明,成功的防水排水体系依赖于科学的设计理念、高性能的材料、精细化的施工以及前瞻性的运维管理。未来,随着新材料、新技术的不断涌现和深度融合,道路桥梁防水排水技术必将迈上新的台阶,为构建安全、耐久、智慧的现代化交通基础设施网络提供坚实保障。

参考文献

- [1]文博.道路桥梁工程施工中的桥梁防水排水技术研究[J].四川水力发电,2026,45(1):98-101.
- [2]姜存梅.道路桥梁工程施工中的桥梁防水排水技术研究[J].汽车周刊,2025,(4):255-257.
- [3]叶文彬,王蓓蓓.道路桥梁工程防水排水技术研究[J].运输经理世界,2025,(5):116-118.
- [4]王鹏贺,杜春源.道路桥梁工程施工中的桥梁防水排水技术分析[J].运输经理世界,2025,(4):118-120.