

公路排水系统设计对道路寿命的影响研究

周溟宇

温州信达交通工程试验检测有限公司设计分公司 浙江 温州 325000

摘要: 公路排水系统在道路基础设施中起着至关重要的作用，其设计质量直接影响道路的使用性能和寿命。为了提升道路寿命，本文通过对公路排水系统设计进行研究，分析道路排水系统对道路寿命的影响，对排水系统优化设计提出合理化建议，通过公路排水系统提升道路使用寿命，为道路设计人员提供参考。

关键词: 公路；排水系统；破坏机理；道路寿命；设计优化

引言：随着现代交通运输需求的不断增长，公路作为经济社会发展的重要基础设施，其质量和使用寿命直接影响到运输效率和社会运营成本。然而，在实际使用过程中，许多公路因设计或维护不当而提前出现损坏或老化现象，其中排水系统的设计和发挥着至关重要的作用^[1]，据统计，约80%的道路损坏与水的作用有关。研究发现，路基积水、路面渗水和冻胀等问题，常因排水系统设计不当或维护不足而引发^[2-4]。这些问题不仅降低了公路的使用性能，还大幅度缩短了道路的使用寿命，增加了维修和养护的成本。通过优化排水系统设计，能够有效延长公路的使用寿命，降低道路全生命周期中的维护费用，从而提升公路的经济性和安全性。

本研究将深入分析公路排水系统设计对道路寿命的影响，探讨排水系统设计的关键要素及其对道路结构的具体作用。通过对典型案例和实践经验的总结，提出优化排水设计的方法和策略，为公路工程的规划、设计及维护提供科学依据。

1 公路排水系统的重要性

1.1 水对公路结构的破坏机理

1.1.1 物理作用

道路的排水系统设计对道路寿命有着至关重要的影响，水损害是影响道路结构完整性和使用寿命的主要因素之一。在物理作用方面，动水压力对道路基层材料的冲刷作用显著，尤其是在流速超过0.5米每秒的情况下，实验数据显示，骨料流失率增加达200%。这种现象主要是因为高流速的水流在道路基层表面产生了较大的剪切力和压力，导致基层材料的松动和流失。随着水流冲刷的持续，基层材料的空隙率增加，结构强度逐渐减弱，最终导致路面出现沉降、开裂等病害。

此外，冻融循环是另一种重要的物理作用机制，尤其是在寒冷地区表现尤为明显。当环境温度降至-15℃以下时，路面材料中的水分结冰膨胀，随着含水率的增

加，每增加1%，会产生0.8MPa的膨胀应力。这种膨胀应力在冻融循环过程中反复作用，导致材料内部产生微裂纹，这些微裂纹在后续的冻融循环中进一步扩展，最终导致路面结构的破坏和使用寿命的缩短。

动水压力和冻融循环的共同作用，加速了路面材料的劣化，特别是在排水系统不完善的情况下，水分难以有效排除，导致水分长期滞留在路面结构中，加剧了上述物理破坏作用。因此，合理设计和维护排水系统，确保水分的迅速有效排出，是延长道路使用寿命的关键所在。

1.1.2 化学作用

化学作用在公路排水系统设计中同样不可忽视，尤其是其对路面材料粘附力和结构完整性的影响。沥青与集料之间的粘附力在道路承载和耐久性中起到至关重要的作用，实验表明，当pH值低于5时，沥青与集料的粘结强度下降高达45%。这种现象主要是由于酸性环境下，沥青中的部分化学成分被溶解或改变，导致其与集料表面的粘附力减弱，最终导致路面的剥落和坑洞问题。

此外，盐分结晶压力是化学作用的另一个重要方面。在公路冬季除冰过程中，常使用氯化钠（NaCl）等除冰剂，这些盐分溶解后渗入混凝土结构的孔隙中，随着水分蒸发，盐分重新结晶，产生的结晶压力可达2.3MPa。这种压力对混凝土结构造成显著的破坏，特别是在孔隙率较高的混凝土中，容易导致微裂缝的扩展和结构强度的降低。

1.1.3 力学性能退化

水分的存在显著影响道路材料的力学性能，特别是回弹模量和疲劳寿命等关键指标。实验研究表明，路面材料的含水量从3%增加至8%时，其回弹模量下降达62%。回弹模量的降低意味着材料的承载能力和结构刚度显著减弱，容易导致路面变形和裂缝的产生。这种退化过程与水分在路面结构中的分布密切相关，水分的增加导致材料颗粒间的摩擦力减小，结构承载能力降低。

在水饱和状态下,道路结构的疲劳寿命显著缩短,实验数据显示,水饱和状态下的疲劳寿命(Nf值)仅为干燥状态的35%。疲劳寿命的下降直接影响道路的使用寿命和维护成本,频繁的修补和重铺不仅增加了经济负担,也对交通产生了负面影响。水分的长期滞留加速了路面材料的劣化,特别是在应力集中区域,如车辙和接缝处,容易形成疲劳裂纹并迅速扩展。

1.2 排水系统的基本功能与作用

公路排水系统的主要功能是迅速排除路面、路基及周边区域的积水,降低地下水位,防止水分对公路结构的侵蚀和破坏。根据功能及位置的不同,公路排水系统通常包括路面排水、路基排水、地下排水及边坡排水四大部分。路面排水主要负责将雨水从路面迅速排出,避免积水对路面结构的侵害。路基排水则通过排水沟、渗沟等设施将路基中的渗水导出,降低路基含水量,从而提高路基的承载能力。地下排水系统通过暗管或排水井等设施,降低地下水位,减少地下水对路基的侵蚀作用。边坡排水主要用于防止边坡滑坡、土体流失及雨水对边坡稳定性的影响。

2 排水系统设计对道路寿命的具体影响

2.1 排水系统与路面寿命的关系

路面的使用寿命受多种因素的影响,其中排水系统的作用尤为关键。合理的排水设计能够有效降低路面病害的发生率,从而延长路面的服役时间。路面排水系统的主要任务是将雨水迅速从行车道移除,减少水体对路面表层及底层的渗透。在沥青路面中,雨水的渗入会使沥青混合料的粘结性能下降,导致路面剥落、松散甚至坑槽的形成。在水泥混凝土路面中,雨水的长期浸泡可能引发基层材料松散、板块翘曲等问题。此外,由于水的存在,路面结构层之间的摩擦力和粘结力会显著降低,导致路面结构层的整体性下降,承载能力随之减弱。在实际应用中,许多路面早期损坏的案例表明,积水和渗水问题是主要原因之一。

2.2 排水系统与路基稳定性的关系

路基作为公路结构的基础,其稳定性直接影响到公路的整体质量和使用寿命。路基中含水量的变化会显著影响路基土体的强度和变形特性,当路基含水量过高时,土体的抗剪强度下降,容易引发路基沉降、不均匀变形及坍塌等问题。因此,排水系统的设计和维护对于路基稳定性至关重要。

通过合理布置排水沟、渗沟及其他排水设施,可以有效降低路基中的水分含量,减小地下水位对路基的影响。在实际工程中,为提高路基的排水能力,通常会在

路基范围内设置纵向和横向排水设施,确保路基中的水能够快速排出。此外,在特殊地质条件下,例如软土路基或高水位地区,更需要结合工程实际进行排水系统的优化设计,例如采用加固处理、设置滤水层等措施,以保证路基的长期稳定性。

3 公路排水系统设计的关键要素

公路排水系统设计是一个复杂的工程过程,需要考虑多个关键要素。首先,水文分析是排水系统设计的基础。这包括对设计区域降雨特征的分析,如降雨强度、降雨历时和降雨频率等。通过分析历史降雨数据,可以确定设计降雨量,为后续的水力计算提供依据。同时,还需要考虑流域特征,如地形坡度、地表覆盖类型和土壤渗透性等,这些因素都会影响地表径流的形成和汇集。

水力计算是排水设计的核心环节。它主要包括径流量计算、排水设施容量计算和水流速度计算等。径流量计算通常采用推理法或单位线法,以确定设计排水量。排水设施容量计算则需要根据设计径流量,确定排水沟、管道等设施的尺寸和坡度。水流速度计算对于防止冲刷和淤积至关重要,需要确保水流速度在允许范围内。此外,还需要考虑排水系统的水力衔接,确保各排水设施之间的顺畅连接。

结构设计是排水系统功能实现的保证。这包括排水设施的几何尺寸、布置形式和结构强度等。例如,排水沟的断面形状和尺寸需要根据设计流量确定,同时考虑施工和维护的便利性。对于地下排水设施,如渗沟和盲沟,需要考虑其埋深、间距和过滤层的设计。结构设计还需要考虑排水设施与道路其他结构的协调,如与路面、路基和桥梁的衔接。

4 排水系统设计优化策略

路面排水设计的优化主要体现在迅速排除雨水、减少积水对路面的侵蚀。

4.1 合理设计路面横坡和纵坡

路面横坡是确保雨水迅速流向路缘的关键设计要素。通常,双向行车道的横坡设计在1.5%~2.5%之间,以确保水流的排泄速度,同时避免坡度过大会导致行车困难。此外,路面的纵坡也应与横坡协调设计,以提高整体排水效率。

4.2 提高路面材料的抗水性能

使用高质量的沥青混合料或抗水性良好的混凝土材料,可以显著降低水对路面的侵害。例如,采用改性沥青混合料或在水泥混凝土中添加防水剂,可以增强路面抵抗水渗透的能力。

4.3 设置路缘排水设施

在路缘设置排水沟、边沟或泄水孔等设施，可以快速引导雨水离开路面。例如，城市道路常使用雨水井作为收集设施，而高速公路则多采用开放式边沟。

4.4 防止积水区域的形成

在路面凹陷区域（如桥涵连接处、交叉口等）设计防积水设施，如设置排水泵站或低点排水口，以防止因积水导致的路面病害。

5 路基排水设计优化

路基排水设计是确保公路长期稳定运行的核心环节，以下是优化路基排水的关键措施^[5-6]：

5.1 设置合理的排水沟和渗沟

在路基两侧布置排水沟和渗沟，可以有效地将路基中的渗水排出。排水沟的深度和宽度应根据路基土质和降雨量合理设计，确保排水能力充足。

5.2 应用透水性材料

在路基填料中引入透水性材料，如砂砾石或透水性土工布，可以增强路基内部水分的排泄能力，同时防止细颗粒土随水流失。

5.3 采用地下排水系统

对于地下水位较高的地区，可以设置暗管排水系统，降低地下水位，避免地下水对路基的长期侵蚀。此外，采用井点降水等技术也能有效控制地下水位。

5.4 边坡排水设计

在高填方或挖方路基的边坡区域，设置截水沟、排水孔等设施，可以避免雨水侵蚀边坡或导致边坡滑坡。

6 综合排水系统设计优化

为了提高排水系统整体的运行效率，优化设计时需要综合考虑以下几点：

6.1 因地制宜的设计

排水系统设计应根据公路所处的地理位置、气候条件及水文环境因地制宜。例如，在降雨量大的地区，排水系统的设计流量应适当放大；在寒冷地区，应充分考虑冻胀问题，设计防冻排水设施。

6.2 系统化规划

公路排水系统的设计应形成整体网络，包括路面、路基、地下及边坡排水系统，确保各部分之间协调运行。例如，路面排水设施应直接与边沟或排水管网相连，避免形成独立的排水死角。

6.3 使用新型排水技术与材料

随着科技的发展，许多新型排水材料和技术被引入公路工程中。首先，可以考虑使用高性能混凝土，如纤维增强混凝土或自密实混凝土，以提高排水设施的强度和耐久性。其次，可以探索新型复合材料的使用，如玻璃钢或高分子聚合物，这些材料具有重量轻、耐腐蚀、

易安装等优点。对于过滤层材料，可以考虑使用土工合成材料，如土工布或土工格栅，以提高过滤效果和长期性能。此外，还可以考虑使用可再生材料或回收材料，如再生混凝土或塑料，以提高排水系统的可持续性。

6.4 智能排水系统的应用是未来排水系统设计的重要方向

通过集成传感器、控制器和通信技术，可以实现排水系统的实时监测和智能控制。例如，可以在关键位置安装水位传感器和流量计，实时监测排水系统的运行状态。通过建立预测模型，可以提前预警潜在的排水问题，如堵塞或溢流。此外，还可以实现排水设施的远程控制 and 自动化操作，如自动调节闸门或泵站的运行。智能排水系统不仅可以提高排水效率，还可以降低运营成本，为道路维护提供数据支持^[5]。

6.5 维护与监测

设计合理的排水系统，同时必须加强维护和监测。例如，定期清理排水沟、检查排水管道的通畅性，并利用监测设备实时掌握地下水位和排水效果，确保排水系统长期有效运行。

7 结论

公路排水系统的设计对公路寿命有着决定性的影响。水分是公路结构损害的主要诱因之一，通过合理的排水设计，可以有效减少水分对路面及路基的侵蚀，从而延长公路的使用寿命。优化排水系统设计，需要在充分了解公路所处环境及结构特点的基础上，综合考虑路面、路基及地下水的排水需求，制定科学的设计方案。同时，加强排水系统的维护和监测，也是确保其长期功能发挥的重要手段。

未来，随着新材料和新技术的应用，公路排水系统的设计将更加智能化和高效化，为公路工程的可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]李焯栋.路基路面水毁沉降病害分析及处治[J].内蒙古公路与运输,2015(3):20-22.
- [2]唐建国.城市雨水排水系统提标改造与建设途径[J].给水排水,2021,57(5):1-6.
- [3]李国玺,祁伟.黄土地区路基路面排水病害浅析[J].公路,2014,59(6):68-70.
- [4]何维维.关于公路排水系统的设计及应用[J].交通科技与管理,2023,4(18):35-37.
- [5]阴洁亮.探讨公路路基路面排水设计[J].工程建设与设计,2017,(23):124-126.
- [6]张赞.公路路基设计常见问题及对策分析[J].四川水泥,2016,(08):91.