

环境因素对路桥工程稳定性的影响及应对策略

王念欣

菏泽市规划建筑设计研究院有限公司 山东 菏泽 274000

摘要：本文聚焦环境因素对路桥工程稳定性的影响及应对策略。环境因素涵盖自然与人为两方面，自然环境如气候、地质、水文等，人为环境如城市建设、工业生产等均影响路桥稳定性。介绍了工程地质勘察、结构健康监测、环境影响评估模型等评估方法，并从设计、施工、施工工艺控制、运营维护阶段提出应对策略，以保障路桥工程质量与安全，延长其使用寿命。

关键词：环境因素；路桥工程；稳定性；影响；应对策略

1 环境因素对路桥工程稳定性的影响分析

1.1 自然环境因素

自然环境因素是路桥工程稳定性的首要挑战，其复杂与不确定带来诸多难题。气候条件中，温度变化影响显著。昼夜或季节温差大的地区，路桥结构因热胀冷缩产生应力变化，长期作用可能致混凝土开裂，影响整体性与耐久性。极端气候事件破坏更直接，暴雨或引发山体滑坡、泥石流，冲毁路桥基础；洪水淹没桥梁，对桥墩产生水压力与冲刷；暴雪积压桥面，超载时可能破坏结构；台风强风对桥梁上部结构产生风荷载，威胁稳定性。地质条件也是关键，不同地质构造和岩土性质影响各异。软土地基承载力低、压缩性大，易致路桥不均匀沉降，出现裂缝、错台，影响行车^[1]。岩溶地区地下溶洞、暗河发育，施工未处理可能引发地面塌陷。地震活动不容忽视，地震波使路桥结构振动，产生内力和变形，甚至破坏。水文条件同样重要，地下水位变化影响地基稳定性，上升时地基土含水量增加、强度降低，承载力下降，可能致路桥下沉或倾斜。河流冲刷威胁桥墩基础，削弱支撑能力，水中化学物质还可能腐蚀结构材料，降低强度与耐久性。

1.2 人为环境因素

随着人类活动频繁，人为环境因素对路桥工程稳定性的影响愈发显著。城市建设活动是常见因素，城市发展，周边建筑施工可能影响路桥地基。深基坑开挖等可能导致地下水位变化，引发不均匀沉降。城市交通流量增加也带来更大荷载压力，车辆超载现象频发，长期超载行驶会使路桥结构承受荷载超出设计标准，加速疲劳损伤，缩短使用寿命。工业生产活动也有负面影响，部分工厂排放的废气、废水和废渣含大量有害物质，可能渗入地下，污染土壤和地下水，进而影响路桥地基和结构材料。人类活动对自然环境的破坏也会间接影响路

桥工程稳定性。过度砍伐森林会加剧水土流失，使河流含沙量增加、河床抬高，影响桥梁通航和行洪能力，还可能引发山体滑坡等地质灾害，威胁路桥安全。

2 路桥工程稳定性的评估方法

2.1 工程地质勘察与评估

工程地质勘察是路桥工程建设前期的重要工作，通过现场调查、钻探、原位测试等手段，获取工程场地的地质资料，包括地层岩性、地质构造、地下水情况等。基于这些资料，对工程场地的地质条件进行评估，分析可能存在的地质灾害风险，如滑坡、泥石流、岩溶塌陷等，并提出相应的处理措施建议。例如，在软土地基地区，通过地质勘察确定地基土的物理力学性质，为选择合适的地基处理方法提供依据，如采用换填法、强夯法、桩基础等，以提高地基的承载力和稳定性。

2.2 结构健康监测技术

结构健康监测技术是实时掌握路桥工程运行状态的重要手段。通过在路桥结构上安装各种传感器，如应变传感器、位移传感器、加速度传感器等，实时监测结构的应力、应变、变形、振动等参数。利用数据采集与传输系统，将监测数据传输到监控中心，通过数据分析软件对监测数据进行分析处理，评估结构的健康状况。当监测数据出现异常时，及时发出预警，以便采取相应的维护措施，确保路桥工程的安全运行^[2]。

2.3 环境影响评估模型

环境影响评估模型是综合考虑环境因素对路桥工程稳定性影响的重要工具。该模型基于环境因素与路桥工程稳定性之间的相互作用关系，建立数学模型或物理模型，对不同环境因素下的路桥工程稳定性进行模拟和预测。例如，在考虑气候条件影响时，通过建立温度场模型，模拟温度变化对路桥结构应力分布的影响；在考虑水文条件影响时，建立水流冲刷模型，预测河流冲刷对

桥墩基础稳定性的影响。通过环境影响评估模型，可以提前发现潜在的安全隐患，为工程设计和运营维护提供决策支持。

3 环境因素对路桥工程稳定性的影响分析

3.1 气候条件的影响

气候条件对路桥工程稳定性的影响是多方面的，且具有长期性和复杂性。温度变化引起的热胀冷缩效应在路桥工程中普遍存在。以混凝土桥梁为例，混凝土的热膨胀系数相对较小，但在长期反复的温度变化作用下，微小的变形积累也可能导致严重后果。在夏季高温时段，桥梁表面温度可能达到50℃甚至更高，混凝土膨胀，而在冬季低温时，温度可能降至零下十几度，混凝土收缩。这种热胀冷缩产生的应力可能导致混凝土表面出现微裂缝，随着时间推移，裂缝逐渐扩展，影响结构的防水性能和耐久性。温度变化还会影响桥梁的伸缩缝性能。伸缩缝的作用是适应桥梁因温度变化而产生的伸缩变形，但如果伸缩缝设计不合理或维护不当，在温度变化作用下，伸缩缝可能损坏，导致桥面不平整，影响行车安全。极端气候事件对路桥工程的破坏往往是突发性和灾难性的，暴雨引发的山体滑坡和泥石流具有强大的冲击力，能够直接冲毁路桥的基础和上部结构。例如，在一些山区公路桥梁中，暴雨导致的泥石流常常将桥墩冲倒，桥梁整体垮塌。洪水对桥墩的冲刷作用也不容忽视。洪水携带大量的泥沙和杂物，水流速度大，对桥墩基础产生强烈的冲刷，使桥墩基础周围的土体被掏空，桥墩的稳定性受到严重威胁。在一些河流桥梁中，由于长期受到洪水冲刷，桥墩基础外露，承载能力大幅下降。暴雪积压在桥面上，增加了桥梁的恒载。如果积雪厚度超过桥梁的设计承载能力，桥梁结构可能因过载而发生破坏。另外，融雪过程中产生的积水还可能渗入桥梁结构内部，对钢筋和混凝土造成腐蚀。台风带来的强风会对桥梁的上部结构产生风荷载。对于大跨度桥梁，如悬索桥、斜拉桥等，风荷载的作用更为显著。强风可能使桥梁产生振动，当振动频率与桥梁的自振频率接近时，可能引发共振现象，导致桥梁结构破坏。

3.2 地质条件的影响

地质条件是路桥工程稳定性的基础，不同的地质条件对路桥工程的影响差异较大。软土地基是路桥工程中常见的地质难题，软土具有含水量高、压缩性大、强度低等特点。在软土地基上修建路桥工程，地基容易产生较大的沉降。如果沉降不均匀，会导致路面出现裂缝、错台，影响行车舒适性和安全性。软土地基的稳定性较差，在外部荷载作用下，可能发生侧向滑动，影响路桥

工程的整体稳定性。岩溶地区的地质条件更为复杂，岩溶发育地区存在大量的溶洞、暗河等，这些地质隐患在施工前可能难以完全发现。如果在桥墩基础施工过程中遇到未探明的溶洞，可能会导致基础悬空，使桥墩失去支撑，引发桥梁垮塌事故，岩溶地区的地下水活动频繁，地下水位的变化会对地基稳定性产生影响^[3]。当地下水位下降时，溶洞顶板的有效应力增加，可能导致顶板坍塌；当地下水位上升时，地基土的含水量增加，强度降低，也会影响地基的稳定性。地震活动对路桥工程的破坏是毁灭性的，地震产生的地震波会使路桥结构产生强烈的振动，导致结构产生内力和变形。在地震作用下，桥梁的墩台可能发生位移、倾斜甚至倒塌，上部结构可能发生落梁、断裂等破坏。例如，在2008年汶川地震中，大量的路桥工程遭受了严重破坏，许多桥梁垮塌，交通中断，给抗震救灾工作带来了极大困难。地震对路桥工程的影响程度与地震的震级、震中距、场地条件以及桥梁的结构形式等因素有关。

3.3 水文条件的影响

水文条件对路桥工程稳定性的影响主要体现在地下水位变化和河流冲刷作用两个方面。地下水位的变化会影响地基的物理力学性质，当地下水位上升时，地基土的含水量增加，土体的孔隙水压力增大，有效应力减小，导致地基的承载力降低。地下水位的变化还可能引起地基的不均匀沉降。如果路桥工程两侧的地下水位变化不一致，会导致地基的沉降不均匀，影响路桥工程的稳定性。河流的冲刷作用对桥墩基础是长期的威胁，水流对桥墩基础的冲刷方式主要有一般冲刷和局部冲刷。一般冲刷是指整个河床在水流作用下普遍下切，使桥墩基础埋深减小；局部冲刷是指水流在桥墩周围形成漩涡，对桥墩基础周围的土体进行淘刷。长期的冲刷作用会使桥墩基础周围的土体被掏空，桥墩的稳定性受到严重威胁。在一些大型河流桥梁中，为了防止河流冲刷，通常需要采取护岸、护基等措施，如抛石护基、沉排护岸等。水中的化学物质对路桥结构材料的腐蚀作用也不容忽视。

4 应对环境因素影响的路桥工程策略

4.1 设计阶段策略

在设计阶段，应充分考虑环境因素的影响，进行科学合理的设计。在地质勘察方面，要加强对工程场地的地质调查和勘探工作，准确掌握地质条件，为设计提供可靠依据。对于软土地基地区，应根据地基土的性质和承载能力要求，选择合适的地基处理方法，并进行详细的地基处理设计。在岩溶地区，要采用先进的地质探

测技术，如地质雷达、地震勘探等，查明溶洞、暗河的分布情况，采取相应的处理措施，如跨越、填充、加固等。在结构设计方面，要考虑气候条件的影响。对于温度变化较大的地区，应合理设置伸缩缝，选择合适的伸缩缝装置，以适应结构的伸缩变形。要优化结构的截面形式和配筋，提高结构的抗裂性能。在抗震设计方面，要根据工程场地的地震烈度和桥梁的重要性，确定合理的抗震设防标准，采用抗震性能良好的结构形式和构造措施，如设置减震、隔震装置等，提高桥梁的抗震能力。在设计阶段还应充分考虑水文条件的影响，合理确定桥梁的跨径和桥墩基础的形式，以减少河流冲刷对桥墩基础的影响。对于可能受到洪水威胁的桥梁，要合理确定桥梁的净空高度和行洪能力，确保桥梁在洪水期间的安全运行。同时要采取有效的防腐措施，提高路桥结构材料对水中化学物质的耐腐蚀性能。

4.2 施工阶段策略

施工阶段是确保路桥工程稳定性关键环节，应严格按照设计要求和相关规范进行施工。在基础施工方面，要加强对地基处理质量的控制，对于软土地基处理，要严格按照施工工艺要求进行操作，确保地基处理效果达到设计要求。在岩溶地区施工时，要采取有效的防护措施，防止施工过程中的塌方等事故发生。对于桥墩基础施工，要严格控制基础的埋深和施工质量，确保基础的稳定性。在结构施工方面，要加强对混凝土施工质量的控制。严格控制混凝土的配合比、浇筑工艺和养护条件，确保混凝土的强度和耐久性。对于钢筋的加工和安装，要严格按照设计要求进行操作，保证钢筋的位置和间距准确无误。同时要注意施工过程中的环境保护，减少施工活动对周边环境的影响。

4.3 施工工艺控制

施工工艺的合理性直接影响路桥工程的稳定性。在混凝土浇筑过程中，要采用分层振捣的工艺，确保混凝土密实。避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷。对于大体积混凝土施工，要采取有效的温度控制措施，如埋设冷却水管、降低混凝土入模温度等，防止混凝土因温度应力过大而产生裂缝。在预应力施工方面，要严格按照预应力张拉工艺要求进行操作，确保预应力的施加准确无误。定期对张拉设

备进行校准和维护，保证张拉力的精度。同时要注意预应力管道的密封性，防止漏浆现象发生。

4.4 运营维护阶段策略

运营维护阶段是保障路桥工程长期稳定运行的重要环节。要建立健全的路桥工程监测体系，定期对路桥结构的应力、应变、变形、振动等参数进行监测。通过数据分析，及时发现结构存在的安全隐患，并采取相应的维护措施。例如，当发现桥梁的伸缩缝损坏时，要及时进行更换；当发现桥墩基础出现冲刷现象时，要及时采取护基措施^[4]。加强对路桥工程的日常巡查和维护，定期清理桥面杂物，保持桥面排水畅通；检查桥梁的栏杆、照明等附属设施是否完好，及时进行修复和更换。同时加强对交通流量的管理，严格控制车辆超载现象，减少超载车辆对路桥结构的损害。另外，还要根据路桥工程的实际情况，制定科学合理的维修加固计划。对于出现严重病害的路桥工程，要及时进行维修加固，恢复其使用功能和稳定性。例如，对于出现裂缝的混凝土结构，可以采用压力灌浆、粘贴碳纤维布等方法进行加固处理。

结束语

环境因素对路桥工程稳定性的影响不容忽视，自然与人为因素从多方面威胁着路桥的安全与耐久。通过科学合理的评估方法，能提前掌握路桥状况。在设计、施工、施工工艺控制及运营维护各阶段采取针对性策略，可有效降低环境因素带来的不利影响。未来，还需不断深入研究，完善相关技术和措施，以更好地保障路桥工程长期稳定运行，为交通运输安全保驾护航。

参考文献

- [1]邹兰林,管洪正,周兴林.悬浇时差下不同施工方案对连续刚构桥的影响研究[J].机械设计与制造,2022,(05):163-166.
- [2]李明超,余建民,王荣彦.CFG桩不同施工方案对基坑周边环境的影响研究[J].土工基础,2021,35(02):130-134+138.
- [3]宋熙龙,杨琪.中等跨径变高度连续梁不同施工方案综合分析[J].上海公路,2024,(01):72-75+80+190.
- [4]高兴杰.公路交通荷载对公路路基的稳定性影响[J].内蒙古公路与运输,2024(1):29-3252