

山区高速公路桥梁安全风险防控策略

吴立高

浙江交投高速公路建设管理有限公司 浙江 杭州 310051

摘要：山区高速公路桥梁因地形复杂、气候多变等特点，面临诸多安全风险。自然环境中的地震、暴雨、强风，设计施工缺陷，运营管理不足及人为破坏等因素，威胁桥梁结构安全与使用寿命。针对上述风险，需从强化前期勘察设计、严格把控施工质量、完善运营管理体系、加强安全宣传保护等多维度构建防控策略，提升桥梁安全性与可靠性，保障山区高速公路交通的高效与安全。

关键词：山区；高速公路桥梁；安全风险；防控策略

引言

随着我国交通基础设施建设向山区纵深推进，山区高速公路桥梁的建设规模与日俱增。然而，山区独特的地质条件、复杂的气候环境，叠加设计施工与运营管理等环节的潜在问题，使得桥梁安全风险加剧。桥梁作为高速公路的关键节点，其安全直接关系到交通网络畅通与人民生命财产安全。本文通过系统剖析山区高速公路桥梁安全风险因素，针对性提出防控策略，旨在为提升山区桥梁安全水平提供理论与实践参考。

1 山区高速公路桥梁特点及安全风险防控重要性

山区高速公路桥梁受复杂地形地貌影响，展现出独特的工程特性与安全风险。其线路常需跨越深切峡谷、陡峭山坡，致使桥梁多为高墩大跨结构，墩柱高度超百米、主跨跨径达数百米的桥梁屡见不鲜，这种结构形态在施工与运营阶段都面临着巨大的力学挑战。山区地质条件复杂多变，断层、破碎带、岩溶等不良地质发育，桥梁基础施工易遭遇坍塌、突泥涌水等难题，且建成后基础长期受地质灾害潜在威胁，稳定性面临持续考验。山区气候环境恶劣，强风、暴雨、冰雪、浓雾等极端气象频繁，不仅影响施工进度与质量，还会在运营期间加剧桥梁结构疲劳损伤，降低其安全储备。鉴于山区高速公路桥梁的上述特点，安全风险防控至关重要。在施工阶段，高墩模板安装与拆除、大跨径桥梁悬臂浇筑等高空作业环节，因作业面狭窄、环境复杂，稍有不慎就可能引发高处坠落、支架坍塌等重大事故。桥梁结构在复杂荷载与环境作用下，若不能对施工过程中的应力、线形进行精准监控，极易导致结构失稳破坏，造成不可挽回的损失。进入运营期，长期承受车辆荷载与环境侵蚀，加之山区特殊的气候、地质影响，桥梁结构病害会加速发展。若缺乏有效的安全风险防控措施，裂缝扩展、支座失效、桥墩倾斜等问题可能逐渐恶化，最终威

胁桥梁承载能力与行车安全，一旦发生事故，不仅会造成重大经济损失，还可能阻断区域交通命脉，严重影响山区经济社会发展与人民群众生命财产安全。对山区高速公路桥梁的安全风险进行全面、科学防控，是保障桥梁全寿命周期安全稳定运行的必然要求。

2 山区高速公路桥梁安全风险因素分析

2.1 自然环境因素

山区复杂的地质地貌条件是桥梁安全的首要威胁。高海拔山区常伴随岩性破碎、断层发育的地质特征，桥梁墩台基础易受岩土层蠕变、滑坡体侧向推力影响，导致基础不均匀沉降或倾斜。例如，在页岩与砂岩互层的地质区域，风化作用使表层岩土体强度降低，暴雨期地下水渗透引发的土体软化，会显著削弱基础承载能力。山区河流多呈深切峡谷形态，洪水期水位暴涨形成的巨大冲击力，配合裹挟的砂石、树木等漂浮物，对桥墩产生强烈的局部冲刷和撞击，长期作用可导致桩基外露、承台悬空。气象条件同样对桥梁结构安全构成严峻挑战。强风作用下，大跨度桥梁易发生涡激共振、颤振等空气动力学现象，威胁结构稳定性。在西南山区，年均风速超过25m/s的强风日数可达30天以上，对悬索桥主缆、斜拉桥拉索的疲劳寿命产生显著影响。冻融循环则是高寒山区桥梁的特有威胁，混凝土结构孔隙内的水分反复结冰膨胀、融化收缩，造成材料剥落、钢筋锈蚀，缩短结构使用寿命。山区频繁出现的浓雾、暴雨等恶劣天气，不仅影响桥梁结构耐久性，还会降低能见度，增加车辆碰撞桥梁护栏、伸缩缝等附属设施的风险^[1]。

2.2 设计与施工因素

桥梁设计阶段的参数取值直接关系到结构安全冗余度。山区地形起伏大，桥梁设计需精确考量路线纵坡、竖曲线半径与桥梁跨径的匹配关系，若计算模型未充分考虑地形突变导致的荷载集中效应，易造成局部应力

超限。在复杂地质条件下,桩基选型与持力层判定若出现偏差,会使桥梁基础承载能力不足。例如,嵌岩桩设计时未准确勘察中风化岩层厚度,导致桩端嵌入深度不够,在长期荷载作用下产生滑移。山区桥梁抗震设计若低估地震动峰值加速度或场地土类型,遭遇强震时易发生墩柱塑性铰破坏、支座移位等严重后果。施工过程中的技术偏差同样带来安全隐患。钻孔灌注桩施工中,泥浆护壁控制不当易引发塌孔事故,导致桩基充盈系数不足;大体积混凝土浇筑时,温控措施缺失会产生温度裂缝,削弱结构整体性。预应力张拉施工若张拉力控制不精准,或管道压浆不密实,将降低构件承载能力。在高墩施工中,模板支撑体系的稳定性对施工安全至关重要,若钢管支架间距过大、剪刀撑设置不足,可能引发高空坠落或支架坍塌事故。山区交通不便导致的施工材料运输困难,可能出现材料二次搬运损伤、存放条件不达标等问题,影响混凝土、钢材等主材性能。

2.3 运营管理因素

交通荷载的长期作用对桥梁结构产生累积损伤。山区高速公路常承担重型货车运输任务,超载车辆频繁通行会使桥梁结构产生超出设计限值的应力,加速桥面铺装层破坏、支座老化和梁体开裂。据统计,轴重超过设计标准50%的超载车辆,会使桥梁结构疲劳寿命缩短60%以上。桥梁结构的病害检测与养护不及时,也是导致安全风险加剧的重要原因。常规巡检手段难以发现桥梁内部缺陷,如斜拉桥拉索的钢丝锈蚀、预应力孔道空洞等隐蔽病害,若未采用超声检测、磁通量传感器等先进技术进行定期监测,病害将持续发展,最终危及结构安全。环境侵蚀与结构老化问题在运营阶段逐步显现。山区空气中的硫化物、氯离子等有害物质,会加速钢结构的腐蚀和混凝土的碳化进程。特别是靠近工业区或沿海的山区桥梁,在酸雨、盐雾环境下,钢结构防腐涂层失效速度显著加快,混凝土保护层厚度不足时,钢筋锈蚀导致体积膨胀,引发混凝土剥落。桥梁伸缩缝、排水系统等附属设施的损坏,会使雨水渗入结构内部,加剧材料劣化。长期的结构老化与环境侵蚀相互作用,导致桥梁承载能力逐年下降,安全风险不断累积^[2]。

2.4 人为破坏因素

恶意撞击是威胁桥梁安全的典型人为破坏行为。山区高速公路桥梁常穿越地形险要路段,部分急弯、陡坡区域若未设置足够的警示标志和防护设施,车辆失控后易撞击桥墩、桥台。特别是油罐车、危化品运输车等特种车辆发生碰撞事故时,不仅对桥梁结构造成物理损伤,还可能引发火灾、爆炸等次生灾害,严重威胁桥梁

安全。非法采砂、采石等行为会改变桥梁周边地形地貌,破坏河岸稳定,造成桥墩基础局部冲刷加剧,降低桥梁整体稳定性。人为疏忽与不当操作也会对桥梁安全构成潜在威胁。桥梁维修养护过程中,若施工人员违规使用氧乙炔焰切割设备,可能损伤桥梁主体结构;在桥面铺装层铣刨作业时,过度铣刨会削弱桥面板厚度,影响结构承载能力。未经审批的桥梁周边施工活动,如深基坑开挖、爆破作业等,可能引发土体扰动,导致桥梁基础沉降或水平位移。人为破坏行为具有突发性和不可预测性,其造成的结构损伤往往难以通过常规检测手段提前发现,修复难度大,对桥梁安全运营构成严重威胁。

3 山区高速公路桥梁安全风险防控策略

3.1 强化前期勘察与设计

(1) 采用多维度勘察技术全面掌握地质状况,运用地质雷达、三维地震勘探等先进手段,对山区复杂地形下的岩土层分布、断裂带走向及水文地质条件进行精准探测,建立包含地形地貌、地质构造、水文信息的数字化模型,为设计提供详实数据支撑。针对喀斯特地貌区域,着重探测溶洞、暗河分布,评估其对桥梁基础稳定性的潜在影响,通过超前钻探与物探相结合,将勘察精度控制在工程可接受范围内。(2) 优化桥梁结构设计选型需综合考量山区特殊环境,对于高墩大跨桥梁,采用有限元分析软件模拟强风、地震等荷载作用下的结构响应,合理选择刚构、斜拉或悬索等结构形式,增强桥梁整体刚度与抗震性能。在地形起伏剧烈区域,通过调整桥墩高度与跨径组合,降低施工难度与风险,同时确保桥梁与周边自然环境协调,减少边坡开挖对山体稳定性的破坏。(3) 引入BIM技术进行全生命周期设计管理,在设计阶段建立精细化三维模型,实现各专业协同设计,提前发现管线碰撞、结构冲突等问题并优化解决方案。通过模拟施工过程,评估不同施工工艺对桥梁安全的影响,制定合理的施工组织方案。利用BIM模型的信息集成优势,为后续施工监控、运营维护提供数据基础,实现从设计到运营的无缝衔接。

3.2 严格把控施工质量

(1) 加强施工材料与设备管控,对进入施工现场的钢筋、水泥、预应力钢束等主材进行多批次抽样检测,采用超声波探伤、化学分析等手段确保材料性能符合设计标准。建立设备动态管理系统,对大型吊装设备、混凝土浇筑设备定期进行安全性能检测与维护,实时监控设备运行参数,避免因设备故障引发施工安全事故,确保施工过程中材料与设备的可靠性。(2) 优化施工工艺与过程控制,针对山区桥梁高墩施工,采用翻模、爬模

等先进工艺,通过设置高精度测量控制系统,实时监测墩身垂直度与高程偏差,将误差控制在毫米级。在大跨径桥梁悬臂浇筑施工中,运用线形监控技术,结合施工过程中的温度、应力变化数据,动态调整挂篮位置与混凝土浇筑参数,保证桥梁成桥线形与结构内力符合设计要求。(3)构建全方位施工质量监测体系,在关键施工部位埋设应力传感器、位移监测点,利用物联网技术实现数据实时采集与传输,通过数据分析及时发现异常变形与应力集中现象,采取针对性措施进行处理。建立施工质量追溯机制,对每道工序进行影像记录与数据留存,确保施工过程可查可溯,从源头保障桥梁施工质量^[3]。

3.3 完善运营管理体系

(1)建立智能化监测预警系统,在桥梁关键构件如桥墩、主梁、索塔等部位安装光纤光栅传感器、加速度计等设备,实时监测桥梁结构的应力、位移、振动等参数。运用大数据分析与机器学习算法,对监测数据进行深度挖掘,识别结构性退化趋势,当监测指标超过阈值时及时发出预警,为桥梁维护决策提供科学依据。

(2)制定科学的养护维修计划,基于桥梁结构健康监测数据与定期检查结果,采用寿命周期成本分析方法,合理安排预防性养护、修复性养护与大修工程。针对山区桥梁易受冲刷、风化等环境影响的特点,加强对桥梁基础、防护设施的检查与维护,定期清理伸缩缝、排水系统,确保桥梁排水畅通,延长桥梁使用寿命。(3)提升应急处置能力,建立桥梁突发事件应急预案,针对洪水、泥石流、地震等自然灾害以及交通事故等突发情况,开展多部门联合应急演练,优化应急响应流程。储备充足的应急物资与设备,如临时支座、快速抢修材料等,确保在突发事件发生时能够迅速采取有效措施,降低灾害损失,保障桥梁运营安全。

3.4 加强安全宣传与保护

(1)开展多样化安全宣传活动,在高速公路服务区、收费站等场所设置桥梁安全宣传展板,通过图文并

茂的方式展示桥梁结构特点、安全使用常识以及破坏桥梁行为的危害。利用高速公路沿线电子显示屏滚动播放桥梁安全宣传视频,向过往司乘人员普及桥梁保护知识,提高公众对桥梁安全重要性的认识。(2)加强桥梁周边环境管控,针对桥梁上下游划定明确管控范围,对范围内的采砂、采石等活动实施严格的审批与监管制度。通过安装高清视频监控设备,全方位实时监测周边环境变化,及时发现并制止不合理人类活动对桥梁基础稳定性的破坏。在桥梁保护区内设置明显警示标识,明确禁止行为与处罚措施,引导自觉保护桥梁安全。(3)建立公众参与桥梁保护机制,通过媒体宣传、社区宣讲等多种方式,让公众了解桥梁保护的重要性。开通桥梁安全问题举报热线与网络平台,安排专业人员及时受理。鼓励公众对桥梁结构损坏、非法占用桥梁用地等行为进行监督举报,对提供有效线索的公众给予适当奖励,构建桥梁安全保护的社会防线^[4]。

结语

综上所述,山区高速公路桥梁安全风险防控是一项系统性工程,需综合考量自然环境、设计施工、运营管理等多方面因素。通过强化前期勘察设计、严格施工质量把控、完善运营管理体系及加强安全宣传保护,可有效降低桥梁安全风险,保障桥梁结构稳定与运营安全。未来,随着技术发展与管理创新,需持续优化防控策略,推动山区高速公路桥梁安全保障能力迈向新台阶。

参考文献

- [1]黄洪亮.山区高速公路桥梁施工安全风险评价与控制[J].工程技术研究,2020,2(1):16-17.
- [2]陈紫薇.山区高速公路桥梁施工安全风险[J].百科论坛电子杂志,2021(2):1587-1588.
- [3]徐凯鹏,冯涛.山区高速公路桥梁工程施工风险评估及研究[J].建筑安全,2021,36(4):55-59.
- [4]王志勇.山区高速公路桥梁施工安全管理与控制[J].运输经理世界,2023(17):79-81.