

高原地区公路施工适应性技术研究

姚尧

河北光太路桥工程集团有限公司, 河北 邯郸 056000

DOI:10.61369/ERA.2025110004

摘要 : 高原地区由于地质条件复杂、气候环境恶劣, 公路施工面临诸多挑战, 如冻胀、滑坡、低氧及季节性施工限制等问题, 严重影响工程进度与质量。为提升施工适应性与工程效率, 需结合高原特有环境, 采取科学合理的施工技术与管理措施。通过优化施工工艺、应用适宜的材料与装备、加强环境保护与安全管理, 能有效提高高原地区公路工程的适应能力, 确保施工质量, 推动区域交通基础设施可持续发展。

关键词 : 高原地区; 公路施工; 适应性技术; 施工管理; 环境影响

Research on Adaptive Construction Technologies for Highway Projects in Plateau Regions

Yao Yao

Hebei Guangtai Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Handan, Hebei 056000

Abstract : Due to complex geological conditions and harsh climatic environments in plateau regions, highway construction faces numerous challenges, such as frost heave, landslides, hypoxia, and seasonal construction constraints, which significantly impact project progress and quality. To enhance construction adaptability and project efficiency, it is essential to adopt scientifically sound construction techniques and management measures tailored to the unique environmental conditions of plateau regions. By optimizing construction processes, utilizing appropriate materials and equipment, and strengthening environmental protection and safety management, the adaptability of highway projects in plateau regions can be effectively improved, ensuring construction quality and promoting sustainable development of regional transportation infrastructure.

Keywords : plateau regions; highway construction; adaptive technologies; construction management; environmental impact

引言

高原地区地势起伏大、气候多变, 地质构造复杂, 公路施工面临着严峻的自然环境考验。随着国家对西部地区交通基础设施投入的不断加大, 高原公路建设步伐日益加快, 其施工技术的适应性问题愈发凸显。如何在高寒、低氧、冻融频繁等极端条件下实现高效、安全、环保的施工, 成为工程实践中的核心议题。探索并推广具有针对性的适应性技术, 对提升施工质量、保障工程进度及促进区域发展具有重要意义。

一、高原地区公路施工面临的环境挑战

高原地区地处海拔较高地带, 普遍存在氧气稀薄、气压低、昼夜温差大等极端气候特征, 这些自然环境因素对公路施工活动构成了全方位的挑战。首先, 空气稀薄导致施工人员在高原作业时容易出现高原反应, 工作效率明显下降, 施工强度难以持续。其次, 强烈的紫外线辐射和多变的气候条件, 如暴雪、强风和突发性降雨, 也极易破坏施工现场的工作环境, 造成设备损坏和人员伤害。此外, 高原地区的冬季时间较长、气温极低, 冻结和融化循环频繁, 对路基稳定性、混凝土强度及施工周期产生显著影

响, 增加了项目的复杂性和不确定性^[1]。

在地质方面, 高原区域广泛分布着冻土、软土、滑坡体及岩溶地貌, 地质结构极其不稳定。特别是多年冻土区, 土体受温度变化影响剧烈, 容易引起冻胀和融沉现象, 严重影响路基的稳定性和耐久性。在施工过程中, 一旦未能合理预测和处理这些地质异常情况, 极可能造成边坡失稳、路面沉陷甚至隧道坍塌等重大质量和安全事故发生。同时, 由于高原地区生态环境较为脆弱, 一旦发生水土流失、植被破坏等问题, 恢复难度大, 对工程建设与环境保护形成双重压力。这些地质与生态因素, 要求施工单位具备高度精准的地质勘查与风险预判能力。

交通不便与物资供应困难也是高速公路施工面临的现实问题。高原地区多处于偏远山区，道路通行能力弱，施工材料、机械设备和劳动力的运输成本高、周期长，影响工程进度和施工效率。在复杂多变的自然环境中，常规施工技术与设备往往难以发挥应有效能，必须针对性地进行技术改良和设备适配。此外，高原地区居民点分散、基础设施薄弱，也给生活保障、医疗救护与突发事件应对带来挑战。因此，高速公路施工需构建科学系统的适应性技术体系，以应对多重挑战，保障工程顺利实施^[2]。

二、高原特殊地质与气候条件对施工的影响

高原地区以其独特的地质构造和复杂的气候条件闻名，这些因素直接关系到公路施工的可行性与施工过程的技术选择。首先，在地质方面，高原地区常见的多年冻土、活动断裂带、软弱土层和滑坡体，对施工提出了极高的要求。特别是多年冻土的存在，在温度变化时容易出现冻胀与融沉，对路基稳定性构成严重威胁。一旦设计与施工不当，将导致路面开裂、下沉甚至整体结构失稳。此外，频繁的地质运动带来的地震风险也不容忽视，要求工程在结构抗震设计和基础加固方面做出充分准备。同时，软土层的承载力低、压缩性强，易造成路基沉降不均，对桥梁与隧道等结构物安全构成隐患。滑坡体和崩塌区域更是建设中的高危点，需通过深入的勘探和加固工程进行处理，否则易引发施工中断或安全事故^[3]。

气候条件方面，高原地区普遍存在低气压、低氧、高辐射、昼夜温差大等特点，对施工活动产生深远影响。首先，氧气稀薄使得施工人员体能消耗加快，作业效率下降，尤其在高强度施工任务中，容易诱发高原反应，增加健康风险。此外，气温波动剧烈，特别是早晚温差过大，导致混凝土、水泥等材料养护困难，施工质量难以保障。冻融交替则是影响高原地区路基稳定的关键因素，在融化期水分渗入土体，在冻结期产生膨胀，反复作用下会破坏结构整体性。强烈的紫外线和频繁的强风，也对施工设备和人员造成影响，减少设备使用寿命，增加维修频次。暴雨、冰雹和雪灾等突发性天气也极易造成施工现场淤积、设备受损甚至工期延误，对施工组织和资源调配提出更高要求^[4]。

高原地区的特殊气候与地质条件往往叠加出现，造成施工风险叠加放大。在多年冻土区施工过程中，气候变化不仅影响施工工期，还会改变冻土分布与深度，加剧地质不稳定性。例如，夏季气温升高可能使原本稳定的冻土层发生融化，造成地基沉降；而冬季极端严寒又使施工难以持续，甚至需要完全停工。此外，地质灾害的突发性也与气候密切相关，降雨集中期极易诱发山体滑坡、泥石流等灾害。因此，高速公路施工需动态监测地质气候，科学预测并制定灵活策略，确保建设安全、连续、可持续。

三、高原公路施工适应性技术体系构建

构建适应高原环境的公路施工技术体系，是提升工程质量、保障施工安全的关键途径。面对高原地区独特的地质和气候条

件，施工技术体系必须从整体出发，统筹规划、科学部署，涵盖勘察设计、施工工艺、材料选择、设备配置等多个方面。在前期勘察设计阶段，应重点强化对多年冻土、滑坡体、软弱土层等特殊地质的识别与分析，结合气候数据，合理安排工程选线与结构形式，避免穿越高风险地段。设计中还应充分考虑地质活动性和温差影响，通过灵活的结构设计提高工程的适应能力，如采用可调式桥墩、柔性加固结构等，以增强整体稳定性和延展性^[5]。

在施工工艺方面，需因地制宜采用具有针对性的技术措施，最大限度降低环境对施工质量的影响。例如，在多年冻土区，应采用换填、保温或冷却等技术控制冻土层的温度变化，避免因冻胀和融沉引发的路基破坏。在软弱地基区域，可以通过强夯、预压排水、注浆加固等方式提高土体承载力。在边坡施工中，结合锚杆支护、格构梁与植被恢复技术，既能防止滑坡和水土流失，又兼顾生态保护。同时，针对高原气候变化剧烈、气象灾害频发的特点，施工周期应充分考虑气候窗口期，合理安排施工节奏，确保关键工程节点能够避开极端天气的影响。在具体作业操作中，应引入信息化施工管理平台，实时监控气象、地质变化，提升工程应急反应能力。

在材料与设备应用方面，也需进行系统优化。高原低气压、低温环境对材料性能提出了更高要求，应优先选用耐冻、抗裂、高强度的建筑材料，并加强施工过程中材料的储存与养护管理，如对混凝土进行加热搅拌、低温养护等工艺处理。同时，引进专为高原环境设计的机械设备，如低温启动型挖掘机、保温型搅拌运输车、高原动力系统等，不仅提高作业效率，也提升了施工机械的耐用性与安全性。此外，施工技术体系的构建还应融合绿色施工理念，注重生态保护与资源节约，如推广节水型施工工艺、使用环保型材料、建设临时排水系统等，减少对高原脆弱生态的干扰^[6]。通过构建全面、科学、可持续的适应性施工技术体系，能够有效应对高原地区复杂的自然环境，为高质量完成公路建设任务提供坚实技术支撑。

四、关键施工工艺与装备的优化应用

高原地区的公路施工对施工工艺提出了更高的适应性要求，传统平原地区常用的技术在高寒、低压、冻土频发的环境下常常无法达到预期效果。因此，优化关键施工工艺，成为保障工程质量与施工效率的核心举措。在路基处理方面，应采用适合高原地区冻融特性的工艺手段，如在多年冻土区域采用换填砂砾、设置保温层或铺设冷却管道，以有效调控地温，防止路基因冻胀或融沉而失稳。对于滑坡地带或软弱地基，则需采用注浆加固、抗剪挡墙与排水系统相结合的综合处理措施，以提高土体强度与排水能力，确保路基稳定。隧道施工方面，可引入超前地质预报技术与冷凝防水施工技术，提升施工安全性与效率^[7]。

沥青路面施工是高速公路建设中的另一关键环节。在低温和氧气稀薄的条件下，沥青混合料的拌和、运输、摊铺和碾压都面临技术挑战。为此，应选择适应高原低温环境的改性沥青材料，合理调整配合比，并在拌和站增加加热保温装置，确保混合料出

厂温度稳定。运输过程中采取保温车或保温覆盖措施，减少热量损耗。摊铺作业要在温度窗口期内进行，严格控制摊铺厚度与碾压时间，防止低温造成压实度不足和早期裂缝。此外，为提高施工质量和效率，可使用摊铺自动找平系统、智能温控系统等先进技术，实现精细化管理。桥梁施工则需考虑高空作业安全、结构抗冻性能与构件预制质量，采用工厂化预制与高原专用运输装配技术，有效提升施工效率和安全保障水平^[9]。

在施工装备方面，高原环境对设备性能与使用可靠性提出了严峻考验。为适应低气压和大温差等环境，应对施工机械进行定制化改进，例如选用具备高原动力系统的挖掘机、推土机和装载机，确保在低氧环境下也能维持稳定功率输出。对关键部件进行保温、防冻和高原润滑优化，延长设备寿命并减少故障率。同时，强化设备的智能化与信息化管理，采用GPS定位、远程监控、运行数据分析等系统，提高设备运行效率和运维水平。针对特定工艺还需配套专业设备，如混凝土加热搅拌站、低温沥青运输车、坡面绿化喷播机等，确保施工工艺与装备相互协同。通过优化施工工艺与装备应用，不仅提升了工程质量与进度控制能力，也为高原地区交通基础设施建设提供了有力支撑。

五、提升高原地区施工适应性的管理策略与保障措施

高原地区公路施工不仅对技术提出高要求，更对施工管理策略与保障体系构建提出挑战。首先，应从项目规划层面强化统筹管理，依据地质、气候和生态数据进行科学评估，制定差异化的施工计划。合理安排施工时序，避开严寒与多雨时段，确保关键工程节点处于适宜的气候窗口期。同时，建立完善的风险预警与应急机制，对可能发生的地质灾害、极端天气等进行动态监测与快速响应，保障施工连续性与人员安全。强化项目组织协调能力，优化资源配置，提升工程整体运行效率^[9]。

在现场管理方面，需特别注重人员与物资的保障措施。高原施工人员面临低氧、强紫外线等生理挑战，应定期组织健康体检，配备高原反应药品与氧气供应装置，合理安排作息时间，减轻高原反应带来的影响。施工现场应配备临时营地、食堂与卫生设施，保障人员生活条件。物资供应则应建立完善的后勤支持系统，提前储备关键材料与易耗品，缩短运输周期，防止因交通中断或供应延误影响工程进度。此外，针对高原生态环境脆弱的特点，应严格执行环保标准，落实水土保持、噪声控制与植被恢复等环保措施，保障生态安全^[10]。

制度建设与技术培训是提升高原施工适应性的重要保障。在管理体系上，应建立健全适应高原施工特点的质量、安全、环境一体化管理体系，加强标准化流程建设与执行力监督。在人员培训方面，应定期开展高原施工专项培训，涵盖高原气候下的技术操作规范、安全防护要点与应急处置技能，提升一线施工人员与管理人员的专业能力。鼓励技术创新与工艺优化，推动高原施工实践经验转化为标准指南，实现管理科学化、规范化、精细化。通过多层次的管理策略与全方位的保障措施，能有效提升高原公路施工的适应能力与工程品质。

六、结束语

高原地区特殊的地质构造与严峻的气候条件，对公路施工提出了前所未有的挑战。通过深入分析环境影响，构建适应性施工技术体系，优化关键工艺与装备，并辅以科学的管理策略与保障措施，能够有效提升施工的安全性、适应性与可持续性。高原公路建设不仅是工程技术的考验，更是对施工组织与管理能力的全面检验。面向未来，需持续推动技术创新与标准化建设，为高原交通发展和区域经济振兴提供坚强支撑。

参考文献

- [1] 王波. 云贵高原地区高速公路软岩高填方路堤填筑施工技术 [J]. 工程建设与设计, 2021, (01): 168–170. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2021.01.065.
- [2] 苗祥达, 陈泽盟, 王豪, 等. 高原冻土地区公路边坡稳定性及加固施工技术 [J]. 中外公路, 2021, 41(04): 1–5. DOI: 10.14048/j.issn.1671–2579.2021.04.001.
- [3] 黄明文. 高原高海拔地区特长公路隧道施工的通风技术探究 [J]. 低碳世界, 2023, 13(03): 145–147. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10–1007/tk.2023.03.010.
- [4] 伍超. 高原大跨段隧道 CRD 法施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2023, (32): 115–117.
- [5] 王南, 刘有为, 王浩楠. 高原地区公路机电项目电气设备施工技术研究 [J]. 运输经理世界, 2023, (33): 140–142.
- [6] 李杨留. 高原地区对公路工程造价的影响研究 [J]. 运输经理世界, 2024, (02): 53–55.
- [7] 陈惠光. 高原大风地段公路施工中地质灾害防治技术研究 [J]. 交通科技与管理, 2024, 5(07): 60–62+59.
- [8] 卢锋. 高原公路施工隧道增氧数值模拟与实验研究 [D]. 昆明理工大学, 2024. DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2024.000265.
- [9] 丁姣月, 张耀宗, 王若晨. 基于净值法的高原冻土地区公路施工进度及成本管理 [J]. 科技与创新, 2024, (17): 90–92. DOI: 10.15913/j.cnki.kjycx.2024.17.023.
- [10] 孙引浩. 基于生命周期的高原地区公路施工碳排放评价体系研究 [J/OL]. 铁道建筑技术, 1–4 [2025–07–11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3368.TU.20250708.1004.010.html>.