

# 复杂地质条件下公路与桥梁工程施工技术探讨

陈水林

江西昇捷建筑工程有限公司 江西抚州 344000

**摘要：**我国地域辽阔，地质条件复杂多样，岩溶、滑坡、深厚软土等复杂地质给公路与桥梁工程施工带来严峻挑战。本文围绕复杂地质条件下公路与桥梁工程施工技术展开研究，首先分析复杂地质对路基稳定、桥梁基础及施工方案的影响；进而阐述公路工程中特殊路基处理、高边坡防护等关键技术；最后探讨桥梁深基础施工、大跨径上部结构施工及风险监控技术，为复杂地质区域公路桥梁工程施工提供理论与实践支撑，助力提升工程建设质量与安全水平。

**关键词：**复杂地质；公路桥梁；施工技术；路基处理

## 引言

公路与桥梁作为交通基础设施的重要组成，是连接区域经济、保障民生出行的关键载体。随着交通建设向山区、丘陵等复杂地质区域延伸，施工过程中面临的地质难题日益突出。复杂地质条件往往伴随地质构造不稳定、岩土体性质多变等问题，易导致施工过程中出现路基失稳、基础沉降、结构开裂等风险，不仅影响工程进度与成本控制，更对施工安全与工程耐久性构成严重威胁。在交通强国战略推进过程中，攻克复杂地质施工技术瓶颈，实现工程建设与地质条件的精准适配，成为行业发展的重要课题。深入研究复杂地质下的施工技术，对于提升工程施工质量、保障施工安全、推动交通建设高质量发展具有重要现实意义。

## 1 复杂地质条件对公路桥梁施工的影响

复杂地质条件通过改变工程建设的基础环境，从路基稳定、基础选型到方案设计等多维度对公路桥梁施工产生影响。明确这些影响是制定针对性施工技术与管理措施的前提，为工程施工提供科学指引。

### 1.1 对路基稳定与施工安全的影响

路基作为公路工程的基础承载结构，其稳定性直接决定公路整体质量。复杂地质条件下，岩土体的物理力学性质差异大，易导致路基稳定问题频发。在岩溶发育区域，地下溶洞、溶沟的存在使路基承载体系不连续，施工中若未及时发现处理，易引发路基塌陷，造成施工机械倾覆等安全事故。滑坡体分布区域的路基施工，受岩土体抗剪强度低、水敏感性强等因素影响，雨水渗透或施工扰动都可能触发滑坡，导致路基整体滑动破坏。

深厚软土区域的路基施工则面临沉降难题，软土具有含水率高、压缩性大的特点，路基填筑后易产生不均匀沉降，引发路面开裂、桥头跳车等病害。此外，在冻土、膨胀土等特殊地质区域，岩土体随温度、湿度变化易发生体积变形，直接作用于路基结构，导致路基出现冻胀、融沉或胀缩开裂等问题，增加施工安全管控难度，需通过特殊技术措施平衡地质条件与路基稳定性的矛盾。

### 1.2 对桥梁基础选型与施工的影响

桥梁基础作为传递上部结构荷载的关键部位，其选型与施工质量直接关系桥梁整体安全。复杂地质条件下，地质勘察的精准度与基础形式的适配性成为施工核心难点。岩溶地质区域进行桥梁基础施工时，溶洞的分布位置、大小及填充情况直接影响基础选型，若采用传统桩基施工，可能出现桩体漏浆、断桩等问题，需根据溶洞分布特征调整基础形式。

在断层破碎带区域，岩土体松散破碎、承载力低，桥梁基础需穿透破碎带至完整岩层，这对钻孔设备、成孔工艺提出更高要求，同时需强化基础与周围岩土体的结合强度，避免基础不均匀沉降。深厚砂层地质中，桥梁桩基施工易面临孔壁坍塌、沉渣超标等问题，需通过优化泥浆性能、控制钻进速度等措施保障成孔质量。复杂地质条件下，桥梁基础施工需突破传统技术模式，实现基础形式与地质条件的精准匹配，确保基础承载能力满足设计要求<sup>[1]</sup>。

### 1.3 对施工方案选择与工期成本的影响

复杂地质条件直接决定施工方案的技术路线与实施难度，进而对工期与成本控制产生显著影响。与常规地质相比，复杂地质区域施工需增加地质勘察的深度与广度，通过

补充勘察、动态勘察等方式明确地质分布，这无疑延长了施工准备周期。施工方案制定中，需针对地质风险增设专项技术措施，如滑坡区域需先实施抗滑桩支护再进行路基施工，岩溶区域需提前进行溶洞填充处理，这些措施不仅增加施工工序，更提升了技术复杂度。

施工过程中，地质条件的不确定性易导致设计变更与施工返工。若施工中发现未探明的溶洞或断层，需暂停施工重新调整方案，既延误工期又增加额外成本。同时，复杂地质施工需配备专业设备与技术人员，如隧道施工中的超前地质预报设备、高边坡防护的专用锚固机械等，设备投入与人员培训成本显著上升。因此，复杂地质条件下的施工方案需实现技术可行性与经济合理性的平衡，通过精准勘察与科学规划降低工期与成本风险<sup>[2]</sup>。

## 2 公路工程的关键施工技术

针对复杂地质对公路施工的影响，需围绕路基稳定、边坡安全等核心需求，采用针对性的关键施工技术，通过技术创新与工艺优化，实现公路工程与复杂地质条件的适配，保障工程施工质量与安全。

### 2.1 特殊路基的处理与加固技术

特殊路基处理需根据地质类型采取差异化加固策略，核心是通过改善岩土体性质或增强结构约束，提升路基承载能力与稳定性。岩溶区域路基施工中，首先需通过地质雷达、钻孔勘察等手段明确溶洞分布，对于小型干溶洞，采用片石混凝土或灌浆填充方式处理，填充材料需与周围岩土体紧密结合；对于大型溶洞，需设置钢筋混凝土盖板或桩基础跨越处理，确保路基荷载均匀传递至下部完整岩层。

软土路基处理可采用复合地基技术，通过设置碎石桩、CFG桩等增强体，与软土协同承载，减少路基沉降。其中，CFG桩结合了水泥土桩与碎石桩的优势，通过水泥、粉煤灰等材料的胶结作用提升桩体强度，同时利用碎石的透水性加速软土固结。在施工中需控制桩体间距与深度，确保增强体均匀分布，形成稳定的复合承载体系。对于膨胀土路基，需采用换填法与防水措施相结合的方式，换填非膨胀性土降低土体胀缩潜力，同时设置完善的排水系统，减少雨水渗透对路基的影响<sup>[3]</sup>。

### 2.2 高边坡的开挖与防护技术

高边坡施工需遵循“开挖与防护同步、动态调整方案”的原则，在保障开挖效率的同时，防止边坡失稳坍塌。开挖

过程中采用分层分段开挖方式，根据边坡高度与地质条件划分开挖层级，每层开挖深度控制在3~5米，避免一次性开挖导致边坡应力集中。开挖前需清理坡顶危石，设置截水沟拦截坡顶雨水，减少雨水对边坡岩土体的浸润。

边坡防护需结合地质特性选择适配技术，对于岩土体较完整的边坡，采用锚杆喷射混凝土支护，通过锚杆深入稳定岩层提供锚固力，喷射混凝土形成封闭保护层，防止岩土体风化剥落；对于破碎岩层边坡，采用格构梁与锚索组合防护，格构梁将边坡划分为独立区域，锚索提供强大的抗滑拉力，共同约束边坡变形。在边坡较高或地质极不稳定区域，可增设抗滑桩作为深层防护结构，抗滑桩嵌入下部稳定岩层，通过桩体抗弯能力阻挡边坡滑动，形成多层次防护体系。

### 2.3 隧道工程的超前地质预报与开挖技术

隧道工程在复杂地质中施工，超前地质预报是规避风险的关键，通过提前探明掌子面前方地质情况，为开挖施工提供精准指导。超前地质预报采用“长距离探测与短距离验证相结合”的方式，长距离采用地质雷达、地震波探测等技术，探明前方100~200米范围内的地质构造、含水情况等；短距离采用超前钻孔、加深炮孔等方式，验证长距离探测结果，确保地质信息准确可靠。

开挖技术需根据地质条件动态调整，在硬岩地质区域采用光面爆破技术，通过精准控制炸药用量与炮孔间距，减少对围岩的扰动，保持隧道轮廓平整；在软岩或破碎带区域，采用台阶法或CD法开挖，缩短开挖循环进尺，及时进行初期支护。初期支护需紧跟开挖面，采用喷射混凝土、锚杆、钢拱架组合支护形式，快速形成支护体系，控制围岩变形。对于富水地质区域，开挖前需进行超前注浆堵水，通过注入水泥浆或化学浆液封堵地下水通道，降低隧道涌水风险，为开挖施工创造安全环境<sup>[4]</sup>。

## 3 桥梁工程的关键施工技术

复杂地质条件下桥梁工程施工需聚焦基础稳定性与结构安全性，通过精准的基础施工、高效的上部结构施工及实时的风险监控，实现桥梁工程与复杂地质的适配，保障工程建设质量。

### 3.1 复杂地质下的深基础施工技术

复杂地质下桥梁深基础施工需突破岩土体阻碍与地质不确定性难题，确保基础嵌入稳定岩层，满足承载要求。岩溶地质区域的桩基施工常面临溶洞漏浆问题，某山区桥梁项

目在桩基施工中，通过超前钻孔探明桩位下方 3 处溶洞，最大溶洞高度达 4 米，施工中采用“片石填充 + 分级注浆”工艺，先填入片石形成骨架支撑，再注入水泥浆填充缝隙，随后采用冲击钻成孔，有效避免漏浆导致的塌孔问题，确保桩基混凝土灌注质量。

深厚砂层地质中的桩基施工易出现孔壁坍塌，施工中需优化泥浆性能，采用高黏度、高比重的膨润土泥浆，在孔壁形成稳定泥皮，同时控制钻进速度，避免钻进过快破坏泥皮稳定性。对于需穿越断层破碎带的桩基，采用套管跟进成孔技术，套管随钻孔深度同步跟进，隔离破碎岩土体，防止孔壁坍塌，待桩基混凝土灌注完成后逐步拔出套管。沉井基础在软土地质中施工时，需通过设置减压井加速软土固结，控制沉井下沉速度，避免沉井倾斜或突沉，确保基础施工精度。

### 3.2 大跨径桥梁的上部结构施工技术

大跨径桥梁上部结构施工受复杂地质影响，需兼顾施工精度与结构稳定性，采用适配的施工工艺减少外部环境对施工的干扰。某峡谷大跨径连续刚构桥，桥位处风速大、地质坡度陡，传统支架施工难度大，施工中采用悬臂浇筑法，通过在桥墩两侧对称浇筑梁段，利用挂篮作为施工平台，挂篮采用轻量化设计并增设抗风装置，确保在复杂环境下的施工安全。施工中严格控制梁段浇筑顺序与混凝土强度，通过预应力张拉调整梁体应力，避免因地质不均匀沉降导致梁体开裂。

对于跨越深山峡谷的大跨径桥梁，可采用缆索吊装施工技术，利用两岸山体设置塔架与缆索系统，将预制梁段或钢桁梁通过吊装设备精准就位。施工前需对两岸塔架基础进行加固处理，确保基础在吊装荷载作用下稳定，同时通过精确计算确定缆索张力与吊装顺序，避免吊装过程中结构碰撞或受力失衡。在钢混组合梁施工中，采用工厂预制、现场拼装的方式，减少现场施工对复杂地质环境的依赖，通过焊接与螺栓连接确保组合梁的整体受力性能，提升施工效率与结构质量。

### 3.3 施工过程中的风险监控与预警技术

复杂地质条件下桥梁施工风险高，建立实时风险监控与预警体系是保障施工安全的关键。某岩溶区域桥梁基础施工中，部署了包含位移监测、应力监测与地下水监测的综合监控系统，在桩基及周边岩土体布设振弦式位移计，实时监测桩基沉降与水平位移；在钢拱架与锚杆上安装应力传感

器，掌握支护结构受力状态；通过水位计监测地下水位变化。监控数据通过无线传输至控制中心，当某桩基水平位移达到 3mm 预警值时，系统自动发出预警，施工团队及时调整注浆参数，加固周边岩土体，避免风险扩大。

风险监控需覆盖施工全流程，基础施工阶段重点监控沉降、位移与地下水变化；上部结构施工阶段聚焦结构应力、线形偏差与吊装姿态；施工完成后进行长期沉降观测。监控频率根据施工阶段调整，关键工序实施加密监测，数据处理采用大数据分析技术，通过建立地质 - 施工 - 变形关联模型，预测风险发展趋势，实现从“被动应对”到“主动预警”的转变。同时建立预警响应机制，明确不同预警等级的处置流程，确保风险发生时能够快速启动应对措施，保障施工人员安全与工程稳定<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

复杂地质条件下公路与桥梁工程施工技术的创新与应用，是突破交通建设瓶颈、推动工程高质量发展的关键。复杂地质通过影响路基稳定、基础选型及施工方案，给工程建设带来多重挑战；公路工程中特殊路基处理、高边坡防护等技术，能够有效适配复杂地质特性；桥梁工程的深基础施工、大跨径上部结构施工及风险监控技术，为工程安全推进提供有力保障。随着地质勘察技术与施工工艺的不断发展，复杂地质施工技术将朝着精准化、智能化方向升级。工程建设单位需充分重视地质勘察工作，结合项目实际制定差异化施工方案，强化技术创新与质量管控。

### 参考文献：

- [1] 李林. 岩溶复杂地质与公路桥梁桩基施工探讨 [J]. 华东科技 ( 综合 ), 2021(10):0262-0262.
- [2] 肖必飞. 岩溶复杂地质条件下的高速公路桥梁桩基施工技术 [J]. 工程技术研究 , 2020, 5(7):2.DOI:CNKI:SUN:YJCO.0.2020-07-029.
- [3] 李金兴. 厚沉积地质条件下桥梁下部结构施工技术研究 [J]. 中文科技期刊数据库 ( 全文版 ) 工程技术 , 2023.
- [4] 祝俊宝. 复杂不良地质条件下的公路桥梁桩基施工技术 [J]. 设备管理与维修 , 2023(14):158-159.DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2023.07D.68.
- [5] 狄大为. 复杂地质条件下桥梁桩基施工质量控制 [J]. 数码精品世界 , 2023(2).