

复杂地质条件下风电道路施工技术探究

王儒梁

中国安能集团第二工程局有限公司厦门分公司 江西 新余 338000

摘要：随着风电行业拓展至复杂地质区，风电道路施工面临诸多挑战，如软土地基沉降、岩石地基开挖难、陡坡与高填方稳定性等问题，影响施工质量和安全，还可能损害环境。深入研究复杂地质下施工技术对提升风电场建设质量和保障安全至关重要。本文总结分析复杂地质条件下风电道路施工关键技术，提出质量控制和安全保障措施，旨在为类似工程提供借鉴，助力风电行业在复杂地质区域的高质量发展。

关键词：复杂地质；风电道路；施工技术

引言：针对软土地基、岩石地基、陡坡与高填方路段等复杂地质情况，详细阐述了换填法、排水固结法、深层搅拌法等软土地基处理技术，以及岩石爆破与开挖技术、边坡防护与加固技术、填方压实技术等关键施工技术。并提出了包括原材料质量控制、施工过程质量控制、质量检测与评估在内的质量控制措施，以及安全教育培训、安全管理制度、安全防护设施、安全检查与隐患排查等安全保障措施，以确保复杂地质条件下风电道路施工的质量与安全。

1 复杂地质条件下风电道路施工面临的问题

1.1 软土地基

在一些低洼、湿地或河流冲积平原地区，风电道路常遇到软土地基。软土具有含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低等特点，在道路荷载作用下容易产生较大的沉降和不均匀沉降，导致路面开裂、变形，严重影响道路的正常使用寿命。例如，在滨海滩涂地区建设风电道路时，由于软土层深厚，地基处理难度极大，如果处理不当，可能会引发道路塌陷等严重事故。

1.2 岩石地基

山区或丘陵地区的风电道路多涉及岩石地基。岩石的硬度、完整性和节理裂隙发育程度等因素对道路施工影响显著。对于坚硬完整的岩石，开挖难度大，需要采用爆破等高强度施工手段，但爆破作业可能会对周边环境和岩体稳定性产生不利影响，如引发山体滑坡、飞石伤人等安全事故。而对于节理裂隙发育的岩石，在开挖过程中容易出现崩塌、掉块等现象，增加施工风险，也需要考虑如何保证开挖后的边坡稳定性。

1.3 陡坡与高填方路段

复杂地质区域常存在陡坡地形，风电道路在穿越陡坡时，面临着边坡防护与道路稳定性的双重挑战。陡坡路段的土体或岩体在重力作用下容易发生滑坡、泥石

流等地质灾害，需要采取有效的边坡防护措施，如挡土墙、抗滑桩、锚杆锚索支护等。此外，高填方路段也是风电道路施工中的难点，填方高度大，压实难度高，如果压实度不足，容易导致填方路基沉降、坍塌，影响道路质量和行车安全。

2 复杂地质条件下风电道路施工技术要点

2.1 软土地基处理技术

2.1.1 换填法

当软土层较薄时，可采用换填法；将软土全部或部分挖除，换填强度较高、压缩性较低的材料，如砂石、灰土、粉煤灰等。换填材料应分层铺筑并压实，每层厚度一般不超过30cm，压实度应满足设计要求；例如，在某滨海风电项目中，对于厚度小于2m的软土地基，采用换填砂石的方法，有效提高了地基的承载能力，减少了沉降量。

2.1.2 排水固结法

对于软土层较厚的情况，排水固结法较为适用，该方法通过在地基中设置排水系统（如砂井、塑料排水板等），缩短排水路径，加速软土中的孔隙水排出，使土体固结，从而提高地基强度^[1]。也可在地基表面施加预压荷载（如堆载预压、真空预压等），进一步促进固结过程；在某内陆湿地风电项目中，采用塑料排水板结合堆载预压的方法处理软土地基，经过一段时间的预压后，地基沉降量明显减小，满足了道路施工要求。

2.1.3 深层搅拌法

深层搅拌法是利用深层搅拌机将水泥、石灰等固化剂与软土强制搅拌，使软土硬结形成具有一定强度的复合地基。搅拌桩的间距、深度和固化剂掺量应根据软土的性质、道路设计要求等因素确定；例如，在某河流冲积平原风电道路施工中，采用深层搅拌法，根据地质勘察结果确定搅拌桩间距为1.2m，深度为10m，水泥掺量为

15%，处理后的地基承载力显著提高，且沉降均匀。

2.2 岩石爆破与开挖技术

2.2.1 爆破方案设计

在岩石地基开挖前，应根据岩石的性质、地形地貌、周边环境等因素进行详细的爆破方案设计。确定合理的爆破参数，如炮孔间距、排距、深度、装药量、起爆顺序等，以确保爆破效果和施工安全。对于靠近居民区、建筑物或重要设施的区域，应采用控制爆破技术，如预裂爆破、光面爆破等，减少爆破震动和飞石对周边环境的影响。例如，在某山区风电道路施工中，距离民房较近的路段采用预裂爆破，先沿设计边坡轮廓线爆破形成预裂面，然后再进行主爆区爆破，有效控制了爆破震动，保护了民房安全。

2.2.2 钻孔与装药

按照爆破方案进行钻孔作业，确保炮孔的位置、深度和角度符合设计要求。钻孔完成后，进行装药作业，应严格控制装药量，根据岩石的硬度和爆破效果进行调整。并采用合适的装药结构，如连续装药、间隔装药等，以提高爆破能量的利用率^[2]。在装药过程中，要注意做好炮孔的堵塞工作，堵塞材料一般采用黏土或砂与黏土的混合物，堵塞长度应满足设计要求，防止爆炸气体过早逸出，影响爆破效果。

2.2.3 爆破安全防护

爆破作业前，应在爆破区域周围设置明显的警戒标志，疏散无关人员和车辆。对爆破飞石、震动、空气冲击波等危害因素采取有效的防护措施。如在爆破区域设置防护排架、覆盖防护网等，减少飞石的散落范围；采用减震沟、减震孔等措施降低爆破震动对周边环境的影响。在某丘陵风电项目爆破施工中，在爆破区域周围设置了双层防护排架，并开挖了减震沟，有效保障了周边环境和施工人员的安全。

2.3 边坡防护与加固技术

2.3.1 挡土墙

挡土墙可分为重力式、悬臂式、扶壁式等多种类型。重力式挡土墙依靠自身重力维持稳定，适用于高度较低、地基较好的边坡；悬臂式和扶壁式挡土墙则适用于较高的边坡。挡土墙的基础应埋置在稳定的地基中，墙身材料应具有足够的强度和耐久性。在设计挡土墙时，应根据边坡的高度、坡度、土体性质以及荷载情况等因素进行结构计算，确定挡土墙的尺寸和配筋。例如，在某山区风电道路陡坡路段，采用重力式挡土墙，墙高4m，基础埋深1.5m，采用片石混凝土浇筑，有效防止了边坡土体的滑落。

2.3.2 锚杆锚索支护

锚杆通过将拉力传递到稳定的岩层中，增加边坡的抗滑力；锚索则由钻孔穿过软弱岩层或滑动面，将一端固定在稳定的岩体上，另一端施加预应力，对边坡进行主动加固。在施工过程中，应先进行钻孔作业，钻孔深度、角度和孔径应符合设计要求。然后安装锚杆或锚索，并注入水泥砂浆或树脂等锚固材料，确保锚固力满足设计要求。在某丘陵风电道路岩石边坡支护中，采用锚杆锚索联合支护，锚杆长度为6m，间距2m×2m，锚索长度为12m，预应力为200kN，有效提高了边坡的稳定性。

2.3.3 坡面防护

坡面防护措施包括喷射混凝土防护、浆砌片石防护、植被防护等。喷射混凝土防护适用于岩石边坡，可增强坡面的抗风化能力；浆砌片石防护可用于土质或破碎岩石边坡，具有较好的防护效果；植被防护则具有生态环保、美化环境的优点，可在边坡稳定后进行实施。在某风电道路边坡防护中，对于岩石坡面采用喷射混凝土防护，厚度为10cm；对于土质坡面采用浆砌片石防护，厚度为30cm；在部分缓坡路段采用植被防护，种植了草籽和灌木，既保护了边坡又改善了生态环境。

2.4 填方压实技术

2.4.1 填料选择与处理

填方路基的填料应符合设计要求，优先选用强度高、水稳定性好的材料，如碎石、砾石、砂性土等。对于不符合要求的填料，如淤泥、腐殖土、膨胀土等，应进行处理或更换。例如，对于含水量较大的填料，可采用翻晒、掺灰等方法降低含水量；对于膨胀土，可进行改良处理或采用包边法施工，即在膨胀土路基两侧填筑非膨胀性土。

2.4.2 分层填筑与压实

填方路基应分层填筑，每层厚度一般根据填料类型、压实机具等因素确定，不宜超过30cm。在填筑过程中，应严格控制填料的粒径，避免出现粒径过大导致压实不均匀的情况。压实作业应采用合适的压实机具，如压路机、振动压路机、冲击压路机等，按照先轻后重、先慢后快、先边缘后中间的原则进行碾压。压实度应满足设计要求，一般通过压实度检测来控制，如采用灌砂法、环刀法等检测方法。在某风电道路高填方路段施工中，采用分层填筑碎石土，每层厚度25cm，先用振动压路机静压2遍，然后振压4遍，最后静压1遍，压实度达到了96%以上，保证了填方路基的质量。

3 复杂地质条件下风电道路施工质量控制措施

3.1 原材料质量控制

对风电道路施工所需的原材料,如水泥、钢材、砂石、填料等进行严格的质量控制。原材料应具有质量证明文件,并按照相关标准进行检验和试验。不合格的原材料严禁进入施工现场,确保施工质量从源头上得到保障。例如,对水泥的强度、凝结时间、安定性等指标进行检验,对砂石的粒径、含泥量等进行检测,对填料的含水量、压实特性等进行试验分析。

3.2 施工过程质量控制

建立完善的质量管理体系,明确各部门和人员的质量职责,制定质量管理制度和质量控制流程。从施工准备、施工过程到竣工验收,实行全过程质量监控^[1]。例如,设立质量检查小组,定期对施工现场进行质量检查,对发现的质量问题及时下达整改通知,跟踪整改情况,确保问题得到彻底解决。在施工过程中,严格按照设计要求和施工技术规范控制施工参数。如软土地基处理中的排水板间距、预压荷载、搅拌桩参数等;岩石爆破中的炮孔参数、装药量等;边坡防护中的挡土墙尺寸、锚杆锚索长度和预应力等;填方压实中的分层厚度、压实机具参数、压实度等;并对施工参数进行实时监测和记录,如有偏差及时调整,保证施工质量符合标准。

4 复杂地质条件下风电道路施工安全保障措施

4.1 安全教育培训

对参与风电道路施工的全体人员进行安全教育培训,包括施工管理人员、技术人员、操作人员和特种作业人员等。培训内容涵盖安全生产法律法规、安全操作规程、安全防护知识、事故应急处理等方面。通过培训提高施工人员的安全意识和自我保护能力,确保施工过程中的人身安全。例如,定期组织安全知识讲座、安全技能培训和应急演练等活动,使施工人员熟悉安全操作流程和应急处理方法。

4.2 安全管理制度

建立健全安全管理制度,明确安全管理目标、安全管理职责和安全管理流程。制定安全生产奖惩制度,对遵守安全规定、安全工作表现突出的人员进行奖励,对违反安全规定、造成安全事故的人员进行处罚。例如,设立安全奖励基金,对安全无事故的施工班组进行奖励,对违规操作导致安全事故的责任人进行罚款、降职等处罚,形成良好的安全管理氛围。

4.3 安全防护设施

在风电道路施工现场配备完善的安全防护设施,如安全帽、安全带、安全网、防护栏、警示标志等。在爆破作业区域设置专门的防护排架、减震沟、防护网等安全设施,防止爆破飞石、震动等危害因素对人员和周边环境的伤害。在陡坡、临边等危险部位设置牢固的防护栏,并悬挂警示标志,提醒施工人员注意安全。例如,在高填方路段边缘设置防护栏,防护栏高度不低于1.2m,每隔2m设置一道立柱,确保施工人员在安全范围内作业。

4.4 安全检查与隐患排查

定期开展安全检查与隐患排查工作,由安全管理部门组织相关人员对施工现场进行全面检查,重点检查安全防护设施是否齐全有效、施工设备是否正常运行、施工人员是否遵守安全操作规程等。对检查中发现的安全隐患及时下达整改通知,明确整改责任人、整改期限和整改要求,跟踪整改情况,确保安全隐患得到及时消除。例如,每周进行一次例行安全检查,每月进行一次全面安全隐患排查,对重大安全隐患实行挂牌督办,直至隐患彻底消除。

结语:综上所述,复杂地质条件下的风电道路施工是一项极具挑战性的任务。通过采用先进的施工技术和科学的管理方法,可以有效解决施工过程中的各种难题,确保道路的质量和安。未来,随着技术的不断进步和经验的积累,相信在复杂地质条件下进行风电道路施工将会更加高效、安全、环保。也应继续加强相关研究和实践,不断推动风电道路施工技术的创新和发展,为风电行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]谢弘帅,李正阳,何林南,郑鹏亮,王宗生,杜维彬.软土地区复杂边界条件下深大基坑钢前撑支护应用研究[J].建筑施工,2021,43(11):2231-2233.
- [2]刘红波,刘勇,张雄,何作文,彭勇.海岸沿线复杂地质条件箱梁现浇支架设计及施工技术[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(07):228-231.
- [3]阎岩,刘仰鹏,沈立伟,项婉,董淑棉.复杂地质条件下热力暗挖隧道穿越道路的关键技术研究[J].区域供热,2020(06):111-121.