

复杂负荷环境下电气系统供电可靠性提升策略研究

邵琳君

龙湖物业服务集团有限公司上海分公司

DOI:10.32629/btr.v8i9.4899

[摘要] 为提升复杂负荷环境下电气系统供电可靠性,本文以嘉吉肉鸡养殖产业链项目为例,探讨了在EPC模式下面临设计资源匮乏、山石地质条件恶劣、负荷参数动态变化以及铜铝电化学腐蚀等多重挑战时的系统性解决方案。项目采用基于动态负荷计算的精准化电气设计方法精确核定电缆规格,应用低压杆型架空线路替代传统直埋敷设以克服施工障碍,实施土壤置换与接地极加深工艺保障接地电阻达标,并采用铜铝过渡线夹彻底解决接头腐蚀问题。结果表明,该方法体系成功解决了项目临时用电、精准出图、线路敷设、系统接地与接头防护等核心难题,为类似复杂环境下的电气工程提供了可靠的技术路径与实践范本。

[关键词] 电气系统; 供电可靠性; 复杂负荷; 架空线路; 接地电阻

中图分类号: F407.6 **文献标识码:** A

Research on Power Supply Reliability Improvement Strategy of Electrical System in Complex Load Environment

Linjun Shao

Chief thesis of Longhu Property Service Group Co., Ltd.

[Abstract] In order to improve the reliability of electrical system power supply in complex load environment, this paper takes Cargill broiler breeding industrial chain project as an example, and discusses the systematic solution when faced with multiple challenges such as lack of design resources, harsh geological conditions of rocks, dynamic changes of load parameters and electrochemical corrosion of copper and aluminum under EPC mode. In this project, the precise electrical design method based on dynamic load calculation is used to accurately verify the cable specifications, low-voltage pole overhead lines are used to replace the traditional direct buried laying to overcome the construction obstacles, soil replacement and grounding electrode deepening processes are implemented to ensure the grounding resistance reaches the standard, and copper-aluminum transition clamps are used to completely solve the joint corrosion problem. The results show that this method system successfully solves the core problems such as temporary power consumption, accurate drawing, line laying, system grounding and joint protection, and provides a reliable technical path and practice model for electrical engineering in similar complex environments.

[Key words] electrical system; Power supply reliability; Complex load; Overhead line; earthing resistance

引言

随着产业升级与自动化、智能化进程加速而日趋多元复杂的电气负荷构成中,不仅包含连续平稳运行的常规负荷,更涌现出大量冲击性、间歇性及具有特殊工艺要求的敏感负荷,由此对电网电能质量与供电连续性提出严苛挑战。在农业工业化、偏远地区开发等场景中,电气系统常需部署于地理环境恶劣、基础设施薄弱,面临特殊地质地形、高腐蚀性气候等不利外部条件的区域。传统基于静态负荷与理想环境的电气设计、敷设及防护方法,难以适应复杂负荷与严苛环境交织的工况,易引发规划失

准、线路故障、接地失效、接头腐蚀等一系列威胁系统安全稳定运行的问题。在此背景下,研究并实践一套能系统性应对负荷复杂性与环境严酷性双重压力的供电可靠性提升策略,对保障各类关键产业链的稳定运营及推动相关领域在不利条件下的可持续发展,具有迫切的理论价值与现实意义。

1 项目电气系统概况

本项目电气系统为嘉吉动物蛋白肉鸡生产加工产业链的68.1号、19&81号、17号农场提供全面电力支撑,系统架构复杂,涵盖从10kV高压电源引入至末端低压设备供电的全过程。项目

地处偏远山区,无市政电网依托,其核心负荷集中于鸡舍环控系统,包含通风、加热、自动投料等连续性设备,辅助区域负荷包括焚烧房、污水处理系统、泵房等特殊工艺负荷以及宿舍办公生活用电,整体负荷分散且环境湿度高、腐蚀性强。

2 项目供电可靠性面临的关键挑战

2.1 设计阶段专业资源缺失

项目采用EPC总承包模式,投标阶段仅提供简易图纸,设备用电参数笼统模糊,缺乏准确的供电需求基础数据。关键的设计院机电专业人员配备不全,电气与给排水等专业设计支持长期缺位,导致总承包方电气技术负责人不得不承担本应由专业设计单位完成的电气设计任务。投标阶段鸡舍用电容量估算为26.92kW,计算电流约51.089A,依据此数据选用的YJV-5X16mm²电缆在穿管敷设条件下下载流量为61A,看似满足要求。但后续设备厂家提供的实际用电容量大幅增加,母鸡舍达到44.04kW,公鸡舍达到41.79kW,加上生活预留6kW,母鸡舍总容量约50.04kW,计算电流激增至76.57A,原设计电缆载流量已严重不足,存在过载发热的严重安全隐患。

2.2 特殊地质地形导致的线路敷设与接地难题

项目场区位于山脚区域,地下地质构造以坚硬的山石为主,给电缆敷设路径的选择与实施带来了前所未有的困难。传统的直埋电缆敷设方式在山石地层中开挖沟槽成本极高、进度极其缓慢,根本无法满足项目工期要求。主干线需要承载JKLYJ-1*400mm²和JKLYJ-1*240mm²大截面架空铝导线,其路径必须穿越此类复杂地质区域。更大的挑战来自于接地系统,电力系统规范要求变压器中性点接地电阻值不得大于4Ω,这是保障系统安全、防止过电压和确保保护装置可靠动作的基础。然而,现场山石地质的土壤电阻率极高,初始开挖回填后使用接地电阻测试仪进行测量,接地电阻值远超过4Ω的规范限值^[1]。高接地电阻将导致故障电流无法有效泄放,可能引起变压器中性点电位漂移,造成系统电压不稳定,威胁到后端所有敏感养殖设备的正常运行,更可能在发生雷击或操作过电压时危及人身和设备安全,严重影响了项目后期正常生产经营的电力保障。

2.3 电化学腐蚀风险

项目试运行阶段,主干架空线路采用的铝导线JKLYJ与各单体建筑供电支线采用的铜芯电缆YJV在接头处发生了严重的电化学腐蚀。铜和铝两种金属的电极电位存在显著差异,铜的标准电极电位约为+0.34V,而铝约为-1.66V,当它们在潮湿空气中通过传统方式直接连接时,会形成一个原电池效应。铝作为阳极被加速氧化腐蚀,生成高电阻的氧化铝膜,导致接头接触电阻急剧增大。接头处在大电流通过时产生异常高温,进一步加剧氧化,形成恶性循环,最终表现为供电线路电压不稳定、接触点过热甚至烧毁。铝材料的硬度较低,热膨胀系数高达23x10⁻⁶/°C,远高于铜的17x10⁻⁶/°C,在负荷变化引起的冷热循环中,接头容易松动,物理连接稳定性差^[2]。

3 供电可靠性提升的具体策略与实践

3.1 基于动态负荷计算的精准化电气设计

面对投标阶段初始数据严重不足与设计资源缺失的困境,项目采用了基于动态负荷计算的精准化电气设计方法。核心在于主动追踪并整合最终用户的准确设备参数,取代初期笼统的估算值。具体流程是督促业主协调所有设备分包商提供详细的用电负荷清单,在此基础上进行严格的负荷计算与电缆选型复核。计算采用三相平衡负荷电流公式作为基础:

$$I = \frac{P \times K_c}{\sqrt{3} \times U \times \cos\phi}$$

其中,I代表计算电流,P为设备总容量,K_c为需要系数,用以表征负荷同时使用的程度,U是系统线电压,cosφ是功率因数。以母鸡舍为例,设备厂家提供的实际用电容量为44.04kW,考虑空调、电饭锅等生活预留6kW,总设备容量P=50.04kW。根据养殖负荷特性,需要系数K_c取0.8,功率因数cosφ取0.8,系统电压U=0.38kV。代入公式计算:

$$I = \frac{50.04 \times 0.8}{1.732 \times 0.38 \times 0.8} = 76.57A$$

查阅YJV电缆在空气中敷设的持续载流量表,原设计采用的5芯16mm²电缆载流量为84A,但考虑到项目现场穿管敷设、多根电缆并列以及高温高湿环境的影响,实际安全载流量需打折扣,经核实穿管敷设时载流量约为61A,远小于76.57A的计算电流。据此,电缆规格必须升级,最终选定YJV-4×25+1×16mm²电缆,其在空气中敷设的参考载流量为80A,经校正后仍能满足76.57A负荷需求并留有适当余量^[3]。在整合了各单体计算负荷后,项目总计算负荷达到207kW。重新计算主干线电流:

$$I = \frac{207}{1.732 \times 0.38 \times 0.8} \approx 393A$$

对照铝导线载流量表,原考虑的JKLYJ-185mm²架空导线在空气中的载流量约为360A,已不能满足393A的负荷电流要求,存在过载风险^[4]。基于计算数据,将主干线铝导线截面升级为JKLYJ-240mm²,其载流量约为430A,安全承载393A的计算电流,确保了从末端出线回路到总配电干线的整个配电链路的协调性与安全性,实现了电气设计的精准化与适应性。

3.2 架空线路优化

项目创新性地采用了全架空输电线路方案,方案的核心是设计一套完整的低压杆型架空系统,其组成为加强型水泥电杆、镀锌钢横担、悬式绝缘子、承力索、导线固定金具等,具体见表1所示。架空线路的优势在于极大减少了土石方开挖量,10m高的加强型水泥电杆基础开挖面积远小于电缆沟,有效克服了坚硬岩层的阻碍,显著降低了施工难度和土建成本。同时,导线架设在高空,避免了地面腐蚀性环境和潜在机械损伤的影响,提升了线路的安全性。导线选择JKLYJ型铝芯交联聚乙烯绝缘线,这种导线重量较轻、机械强度适中且耐候性好,适合架空敷设。主干线采用JKLYJ-1×300mm²和JKLYJ-1×240mm²两种截面,以满足不同支路的负荷需求。

表1 项目采用的主要架空导线型号及参数

导线型号	标称截面 (mm ²)	参考载流量 (A, 空气中)	主要应用场景
JKLYJ-1×300	300	500	项目供电主干线
JKLYJ-1×240	240	430	区域供电支线
JKLYJ-1×185	185	360	原设计主干线(后升级)
YJV-4×25+1×16	25 (相线)	80 (空气中参考值)	母鸡舍/公鸡舍进线

为确保线路在山区可能遭遇的强风条件下保持稳定,项目选用了GJ-70型钢绞线作为承力索,其较高的抗拉强度为线路提供了主要的机械支撑。电杆采用10m高的加强型水泥杆,其埋深经过计算能满足山区风压要求。绝缘子选用避雷式绝缘子,兼具绝缘与防雷功能。导线与承力索的固定使用400mm²并沟线夹实现电气连接,使用NX-2型楔形线夹用于钢绞线的终端固定。所有金具均采用热镀锌处理,以抵抗山区高湿度环境的腐蚀。



图1 架空线路优化

3.3 接头防护与接地系统强化

针对电化学腐蚀问题,项目使用专用的铜铝过渡线夹,线夹一端为铝质,采用摩擦焊接或闪光焊等工艺与另一端的铜质部分形成分子级的冶金结合,产生一个可靠的过渡接头。线夹的铝端与JKLYJ架空铝导线使用铝质并沟线夹或压接方式连接,铜端则与YJV铜电缆的铜端子连接,从而彻底隔绝了铜铝金属的直接接触,阻断了因电极电位差形成的原电池反应路径,从根本上防止了铝导体的电化学腐蚀^[5]。

接地系统的强化是应对高土壤电阻率地质条件的核心措施,

项目动用土方机械,从附近村庄的农耕地运输电阻率低的黏性土壤至施工现场,完全更换接地极周围原有的高电阻率山石碎屑回填土。接地极采用热镀锌角钢或圆钢,其埋设深度在规范基础上额外加深30-50 cm,以利用更深层含水量相对稳定、电阻率较低的土壤层。接地极之间采用热镀锌扁钢可靠焊接,形成连续的接地网络。回填过程中,分层回填低电阻率土壤并逐层加水夯实,确保土壤与接地极表面紧密接触,减小接触电阻。施工完成后使用接地电阻测试仪测量,接地电阻值成功降至1Ω以下,远低于4Ω的规范要求,为变压器中性点接地、设备保护接地及防雷接地提供了低阻抗的泄流通道,极大地提高了系统在发生接地故障或雷击时的安全性和稳定性。

4 结论

本研究表明,在复杂负荷与恶劣环境交织的农业产业化项目中供电可靠性的提升作为一项系统性工程,在设计资源缺失、参数不清的初始条件下通过动态负荷计算与自主设计实现电气系统的精准化构建,针对特殊地质地形创新采用架空线路方案有效克服敷设难题,针对接地电阻超标与铜铝接头电化学腐蚀两大技术瓶颈分别采用土壤置换深埋法与专用过渡线夹工艺予以彻底解决,成功实现安全稳定供电并保障生产线的连续运行。所形成的方法体系对于类似偏远地区、复杂负荷工业项目的电气系统建设与可靠性提升具有显著参考价值和推广意义。

[参考文献]

- [1]陈祥杰.高压供电系统中照明负荷继电保护技术研究[J].中国照明电器,2025,(11):87-90.
- [2]韩文元,郜尚焕,曹栋阳.高压供电系统继电保护风险远程不停电告警研究[J].电器工业,2025,(11):89-93.
- [3]黎锋.供电系统中10kV配电工程电气安装技术的运用探究[J].中国设备工程,2025,(20):237-239.
- [4]颜岩,李杨.高负荷环境下架空线路高温应急处理办法[J].电子元器件与信息技术,2025,9(03):140-142.
- [5]程智余,王军燕.低功耗状态下的架空线路短时过负荷能力确认算法[J].微型电脑应用,2024,40(01):154-156+165.

作者简介:

邵琳君,男,汉族,黑龙江省双鸭山市人,身份证号码:23052319850129001X,本科,工程师,单位名称:龙湖物业服务集团有限公司上海分公司,研究方向:建筑设备电气方向。