

老旧冶金厂区高压配电系统扩容改造中带电过渡施工安全控制技术

王向荣 刘海波 蒋兴辉

中国二冶集团有限公司 内蒙古 包头 014020

摘 要: 针对老旧冶金厂区高压配电扩容改造存在生产连续、设备老化、空间狭小、带电施工风险高等问题,以济源钢铁 1×300m² 烧结机脱硫脱硝配套配电改造工程为依托,梳理带电过渡施工核心风险,构建“风险预判-技术防控-过程管控-应急处置”四位一体安全控制体系。通过优化施工方案、创新防护技术、规范作业流程,有效规避短路、触电、设备误动等隐患,实现改造与生产无缝衔接。工程实践表明,该技术可实现施工零安全隐患,供电可靠性 99.9%,减少停机损失 400 余万元,可为同类冶金高压配电改造工程提供参考。

关键词: 老旧冶金厂区; 高压配电系统; 扩容改造; 带电过渡施工; 安全控制技术

引言

老旧冶金厂区高压配电设备长期满负荷运行,普遍存在老化、容量不足、保护装置滞后问题,无法匹配产线环保改造、产能提升后的用电需求。为避免停产改造造成大额经济损失,扩容工程多采用带电过渡施工。但老旧厂区场地狭小、设备工况复杂、多工种交叉作业,带电施工易引发触电、短路、保护误动作等安全隐患,现场管控难度极大。本文以济源钢铁 1×300m² 烧结机脱硫脱硝配套扩容项目为例,梳理带电施工关键风险,搭建成套安全管控体系,总结不停产改造实操工艺,为同类老旧冶金厂区高压配电升级工程提供实践借鉴。

1 工程概况

河南济源钢铁 1×300m² 烧结机脱硫脱硝环保升级工程,是区域钢铁行业环保达标重点项目,改造后烟气排放可满足 GB 28662-2012《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》要求。本次配套 10kV 高压配电扩容改造针对投运超 15 年的老旧配电系统实施升级,新增 10kV 高压开关柜 8 台、干式变压器 4 台,扩容后系统额定电压 10kV,额定电流 630~3150A,额定短路开断电流 31.5kA,主要为脱硫脱硝设备、循环风机、增压风机等核心环保设备供电,总装机容量由 18MW 提升至 28MW。

本工程为典型老旧厂区带电扩容改造项目,施工难点突出:一是生产连续性要求极高,烧结生产线无停机窗口期,所有改造作业必须带电过渡实施,保障供电不间断;二是原有配电设备锈蚀、绝缘老化、母线连接松动,带电作业易引发短路、漏电故障;三是配电室设备

排布密集,作业空间狭窄,新旧设备交叉施工,安全防护难度大;四是厂区长期高温、高粉尘、腐蚀性气体及强电磁干扰,大幅提升带电作业风险;五是工序繁杂,涵盖带电搭接、母线改造、保护定值调整等多环节,工序衔接精度要求高,失误易引发安全事故与生产中断。为攻克上述难题,本文针对性开展带电施工安全控制技术研究,通过方案优化与全过程管控,实现改造与生产无缝衔接^[1]。

2 高压带电过渡施工核心风险分析

结合河南济源钢铁 1×300m² 烧结机脱硫脱硝配套配电扩容工程现场实际,通过现场勘查、隐患排查、专家论证等方式,识别出老旧冶金厂区高压配电系统扩容改造中带电过渡施工的核心风险主要分为 4 大类,具体如下^[2]:

2.1 设备自身风险

老旧设备长期服役于恶劣工况,隐性隐患较多:开关柜锈蚀积尘严重,带电作业易引发相间短路;母线绝缘层脆化、螺栓松动,带电搭接易产生电弧、局部过热;原有保护装置灵敏度衰减,无法及时响应异常电流电压,易造成故障扩大;互感器、变压器绝缘性能下降,电压波动易引发绝缘击穿,导致设备损坏与供电中断。

2.2 施工操作风险

带电过渡施工操作规范性直接影响施工安全,结合工程实践,主要存在以下操作风险:一是带电搭接母线时,作业人员操作不当,未严格控制安全距离,易发生触电事故;二是施工人员对老旧设备结构不熟悉,误碰

带电部位、误操作开关设备，引发设备误动或短路；三是母线搭接工艺不规范，接头处理不到位，导致接触电阻过大，运行中产生过热，引发电弧故障；四是交叉作业时，不同工序施工人员协调不当，工具、材料掉落至带电设备上，引发短路故障。

2.3 环境与工况风险

冶金厂区恶劣工况为带电过渡施工带来额外安全风险：一是现场高温环境加速绝缘材料老化，降低绝缘性能，增加触电、短路风险；二是高粉尘环境中，金属粉尘易附着在带电设备表面，形成导电层，引发相间或对地短路；三是 SO₂、NO_x 等腐蚀性气体侵蚀设备绝缘件和导电部件，进一步降低设备安全性能；四是生产过程中设备启停频繁，负荷冲击大，带电过渡施工时电压、电流波动较大，易引发保护误动或设备故障。

2.4 安全管控风险

管控体系漏洞是事故诱因：专项施工方案针对性不足，未适配老旧设备工况；安全技术交底流于形式，作业人员风险认知不足；现场专职监护不到位，违规作业未及时制止；突发事件应急预案不完善，应急物资与处置流程不健全，易导致事故扩大。

3 四位一体安全控制体系构建与实施

结合工程施工痛点，构建“风险预判-技术防控-过程管控-应急处置”四位一体安全控制体系，全方位管控带电施工风险，保障施工与生产同步稳定开展。

3.1 风险预判：精准识别，分级管控

施工前开展全域风险排查研判：组织技术、安全、施工人员联合勘查现场，排查老旧设备隐患，登记设备老化参数与接线情况；结合施工工序梳理各环节风险点，明确风险等级、责任人与防控措施；采用风险矩阵分级管控，重大风险挂牌督办、专人盯守，较大风险专项防控；依据预判结果优化施工方案，编制专项风险报告。针对两大重大风险，采用 2500V 兆欧表全员检测母线绝缘，对不达标部位包覆绝缘防护；开展作业人员专项考核培训，持证上岗，从源头规避核心风险。

3.2 技术防控：优化方案，创新防护

采用“分段过渡、分区作业、无缝衔接”模式，将改造区域划分为 3 个施工单元，逐区施工、逐区调试验收，避免大范围带电作业；核心负荷采用“双电源切换”模式，新增设备调试合格后带电搭接切换，保障供电无中断；规范母线搭接流程，遵循“先空载、后带载，先试运、后投用”原则，标准施工流程为：施工准

备 → 风险排查 → 安全防护 → 带电搭接 → 调试检测 → 负荷切换 → 竣工验收。

3.2.1 安全防护技术创新

针对性创新适配老旧厂区的防护技术：一是优化绝缘防护，采用≥2mm 厚、120℃耐温硅橡胶绝缘护套全包覆带电部位，配套全套高压绝缘工具，强化绝缘保障；二是应用电弧防护，作业区域加装阻燃耐高温电弧防护罩，配置≤30ms 快速动作电弧光保护装置，抑制电弧故障扩散；三是落实粉尘防护，设置防尘围挡与负压除尘设备，作业前后清理设备积尘，杜绝粉尘导电隐患；四是加装智能监测装置，实时采集母线电压、电流、温度数据，搭配红外测温仪动态监测接头温度，异常实时报警。

3.2.2 核心施工工艺规范

严格落实标准化施工工艺：母线搭接前打磨氧化层、涂抹电力复合脂，控制接触电阻≤20μΩ，M12 主母线螺栓紧固力矩 80N·m，偏差≤±5%，10kV 带电作业安全距离不小于 0.7m；施工前全面调试新旧保护装置，模拟故障验证联动可靠性；严格按照 GB 50150-2016 标准开展交接试验，绝缘、耐压、联动试验全部合格后方可投运。母线连接螺栓紧固力矩标准见表 1，确保搭接工艺符合规范要求。

表 1 母线连接螺栓紧固力矩标准

螺栓规格	紧固力矩 (N·m)	允许偏差	适用部位
M10	30	±5%	分支母线连接
M12	80	±5%	主母线连接
M16	160	±5%	变压器接线端子连接

3.3 过程管控：严格规范，全程监督

建立“事前管控-事中监督-事后验收”全过程质量安全管控体系，确保带电过渡施工每一个环节都符合安全规范：

3.3.1 事前管控

一是编制专项带电过渡施工方案和安全技术措施，经专家论证合格后，方可组织施工；二是开展安全技术交底，向施工人员、监护人员详细讲解施工方案、风险点、操作规范、安全防护措施，交底记录签字确认，确保人人知晓、人人落实；三是对施工人员进行专项培训，包括带电作业操作技能、安全防护知识、应急处置方法等，培训后进行考核，考核不合格者严禁上岗；四是对施工设备、工具进行全面检查，确保绝缘工具、监测设备等性能完好，符合使用要求。

3.3.2 事中监督

一是严格执行带电作业监护制度,每个作业点配备1名专职监护人员,监护人员不得擅自离开作业现场,及时制止违规作业行为;二是实行关键工序旁站监督制度,母线带电搭接、负荷切换等关键工序,安排专业技术人员和安全管理人員旁站监督,确保施工工艺符合规范;三是加强现场巡查,每小时对施工区域进行一次巡查,排查安全隐患,发现问题及时整改,严禁带隐患作业;四是严格控制施工进度,避免盲目赶工,确保各工序衔接有序,施工质量和安全得到保障。

3.3.3 过程管控:全程闭环,规范监督

建立“事前、事中、事后”全过程闭环管控机制。事前完成专项方案论证、安全技术交底、人员考核、工具绝缘校验;事中落实专人监护、关键工序旁站、每小时现场巡查,严禁违规赶工、带隐患作业;事后逐区调试验收,完工后开展第三方全面检测,建立完整施工档案,留存试验数据与整改记录。

3.4 应急处置:完善预案,快速响应

编制短路、触电、设备误动专项应急预案,明确岗位职责与处置流程,定期开展应急演练;配齐绝缘防护、消防、急救、应急电源等物资,定期维保校验;建立快速响应机制,突发故障立即停工、断电处置、上报报备,快速控制险情,事后复盘整改,杜绝同类问题复发。

3.5 核心参数计算分析

通过核心公式计算校核施工参数,为安全防控提供理论支撑:母线接触电阻计算值 $10\mu\Omega$,满足 $\leq 20\mu\Omega$ 规范要求;系统三相短路电流 28.87kA ,小于设备 31.5kA 开断电流,设备选型适配;电弧能量计算值可控,防护罩与快速保护装置可有效抵御电弧故障风险^[3]。

4 工程应用效果与现场试验数据

本工程带电过渡施工完成后,经第三方检测机构和现场调试,各项安全控制指标均符合规范要求,主要试验数据如下:

第三方检测与现场调试结果表明,各项指标均达标:高压母线绝缘电阻 $\geq 2000\text{M}\Omega$,远高于 $300\text{M}\Omega$ 规范阈值;母线接触电阻 $10\sim 18\mu\Omega$,无局部过热问题;电弧保护动作时间 $22\sim 28\text{ms}$,故障切除快速可靠;施工期间电压波动 $\leq \pm 5\%$,设备运行温度 $\leq 65^\circ\text{C}$;全程排查整改隐患8项,整改合格率100%,实现施工零安全事故。

4.1 应用效果

安全效益方面,施工全程无触电、短路、误动等

事故,改造后系统供电可靠性达99.9%,设备运行稳定。经济效益方面,不停电施工规避生产线停机,直接减少停产损失400余万元,施工效率提升30%,工期缩短15天,有效节约工程成本。社会效益方面,保障环保改造顺利落地,实现烟气达标排放,同时形成成熟的老旧厂区带电施工技术体系,为行业同类工程提供可复制经验。

4.2 技术推广价值

本技术体系适配钢铁、焦化、有色等老旧冶金厂区复杂工况,针对性解决设备老化、环境恶劣、不能停机的施工难题;体系覆盖风险、技术、管控、应急全流程,可操作性强、适配性广;兼具安全、经济与社会效益,推广应用价值显著,可有效提升冶金高压带电施工安全水平。

结语

(1) 老旧冶金厂区高压配电系统扩容改造中,带电过渡施工面临设备老化、操作复杂、环境恶劣、安全风险突出等难题,核心风险主要包括设备自身风险、施工操作风险、环境与工况风险、安全管控风险,其中母线绝缘老化引发短路、带电作业触电事故为重大风险,需重点防控。

(2) 构建的“风险预判-技术防控-过程管控-应急处置”四位一体安全控制体系,通过精准识别风险、优化施工方案、创新安全防护技术、强化全过程管控、完善应急处置,可有效解决带电过渡施工安全隐患,确保施工安全 and 生产连续性。

(3) 工程实践表明,该安全控制技术应用后,带电过渡施工安全隐患发生率降至0,供电可靠性达99.9%,施工效率提升30%,减少停机损失超400万元,各项安全控制指标均符合规范要求,实现了扩容改造与生产运行的无缝衔接。

(4) 同类老旧冶金厂区高压配电系统扩容改造带电过渡施工提供可靠的技术支撑和实践参考,对推动冶金行业高压带电作业安全技术进步具有重要意义。

参考文献

- [1] 王建国,李勇,张磊.老旧冶金厂区高压配电系统扩容改造带电作业安全技术[J].冶金动力,2022,(8):45-48.
- [2] 刘军,赵伟,王丽.高压带电过渡施工安全防护技术创新与应用[J].电气应用,2021,40(11):89-93.
- [3] 张庆华,李娜,张强.冶金厂区高压配电系统带电搭接施工工艺优化[J].电力安全2020.22(7):36-40.