

露天煤矿箱变 PLC 综合保护系统的设计与实现

李早光

神延煤炭公司西湾露天煤矿 陕西 榆林 719302

【摘要】：露天煤矿运行环境复杂，设备长期处于高粉尘、高负荷和多变气候条件下，传统箱变保护手段难以满足安全与智能化的需求。PLC 综合保护系统的引入，为电力设备的实时监控、故障诊断和远程管理提供了可行途径。该系统通过模块化设计实现电气参数采集、故障类型判别以及自动切换保护逻辑，有效提升了箱变的运行稳定性和事故响应速度。结合可视化人机交互界面与数据存储分析功能，能够为煤矿电力管理提供决策依据。该研究设计与实现的 PLC 综合保护系统具有较强的适应性和扩展性，能够满足露天煤矿电力安全运行与智能化发展的双重需求。

【关键词】：露天煤矿；箱变；PLC 综合保护系统；电力安全；智能化

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.032

引言

露天煤矿电力系统承担着输送和分配电能的重要任务，其稳定性直接关系到矿区生产的连续性与安全性。箱式变电站因安装便捷、维护简而易被广泛应用，但在极端环境下，常出现保护功能不完善、故障反应滞后等问题，难以适应智能化矿山的发展需求。PLC 技术的应用为保护系统提供了更高的灵活性与可靠性，它不仅能够实现电气参数的实时采集与逻辑判断，还能通过编程扩展实现多层次的保护策略。设计一套适用于露天煤矿运行条件的 PLC 综合保护系统，不仅能够有效降低因电气故障带来的停产风险，还能推动煤矿电力系统由传统防护模式向智能化、数字化方向转型。这一探索为煤矿电气装备的升级提供了技术支撑，也为未来智慧矿山建设积累了实践经验。

1 露天煤矿电力系统运行环境特点与箱变常见故障隐患

1.1 复杂环境对电气设备稳定运行的影响因素

露天煤矿的生产现场普遍处于风沙大、湿度变化剧烈和温差幅度较大的自然环境中，电气设备长期运行在这种条件下会受到显著影响。高浓度粉尘会导致散热器片间隙堵塞，造成散热性能下降，引起变压器内部温度过高而缩短绝缘材料寿命。雨雪天气易造成设备表面受潮，形成电气绝缘降低或局部放电的隐患。昼夜温差变化使箱体内部产生凝露，加速金属部件的锈蚀，影响开关接触可靠性。强烈的太阳辐射和高温也可能导致箱体内部温度急剧上升，增加电缆和元器件老化速度，影响整体运行稳定性。综上所述，环境因素对箱变的长期稳定运行具有显著制约作用。

1.2 箱变保护装置存在的薄弱环节与风险点

传统箱变配置的保护装置多以简单的过流、过压保护为主，功能单一，难以满足复杂运行条件下的安全需求。部分保护继电器的动作时间较长，故障隔离延迟容易造成更大范围的停电事故。箱体内部空间有限，部分保护设备散热不佳，在高温环境下容易误动作或拒动作。保护参数通常为固定值设定，

缺乏自适应能力，在负荷波动或非典型工况下不能准确识别异常信号，存在保护死角。监测信号的采集精度不足，也可能导致保护装置误判，增加设备运行风险。

1.3 煤矿安全生产对箱变保护系统提出的迫切要求

煤矿生产连续性要求极高，电力系统任何短时故障都可能导致井下运输、通风及排水等关键环节停运，从而带来安全隐患。箱变保护系统必须具备快速、准确的故障识别能力，能够在极短时间内完成隔离与切换，减少电力中断的范围。随着煤矿机械化和智能化水平不断提高，设备电压等级和功率容量持续增加，对保护系统的实时性、可靠性和智能化程度提出更高要求。未来的保护系统需要集成监测、分析和远程控制等功能，实现对电力运行全过程的全方位保障。

2 PLC 技术在电力保护系统中的功能优势与应用潜力

2.1 PLC 编程控制对多参数实时监测的实现路径

PLC 具备灵活的编程功能，可以通过多通道采集模块对电流、电压、温度、频率等运行参数进行实时监测。采集到的数据经由高速处理单元快速计算后，可与预设阈值进行比对，一旦发现异常立即触发保护逻辑。与传统继电器保护相比，PLC 能够同时监测更多运行参数，并通过逻辑运算实现多条件的综合判断，从而有效减少误动作和漏动作情况。通信接口的开放性还支持与上位机或监控系统联动，实现数据的实时上传和集中管理。

2.2 逻辑判断与模块化结构提升保护系统可靠性

PLC 的内部逻辑单元能够按照预先设定的控制程序完成复杂运算与判断，从而实现多层次、多路径的保护动作。当运行参数出现异常波动时，系统能够迅速分级响应，根据不同故障等级执行相应措施，轻微异常时发出预警提示，严重故障时立即强制切断电源，确保设备和供电安全。其模块化结构设计不仅便于维护，还能在电力系统规模扩大或运行工况发生变化时，通过增加采集模块或调整控制逻辑来实现功能扩展和升级，具备高度的灵活性与适应性。与传统继电保护相比，PLC

保护装置能够有效避免因硬件老化、固定阈值设置不合理或逻辑僵化所带来的误动作与漏保护风险,大幅提升了保护系统的稳定性与可靠性,为露天煤矿复杂环境下的电力系统提供了更安全的运行保障。

2.3 数据采集与远程控制推动电力保护智能化

PLC 不仅能够完成运行参数的实时采集与逻辑保护,还可以依托通信模块实现远程控制与集中监测功能。系统采集到的电流、电压、功率因数等关键数据会实时传输至监控平台,使管理人员能够在控制中心全面掌握矿区箱变的运行状态。遇到故障时,无需人员亲临现场,即可通过平台执行切换、复位或隔离等操作,大幅降低了人员暴露在高粉尘、高风险环境下的可能性。系统具备完善的数据存储与分析机制,长期积累的运行数据可以生成趋势曲线和统计报表,用于研究设备运行规律和电力负荷变化特征。这些功能不仅提高了电力系统的管理效率,也为智能矿山的建设提供了技术支撑,实现了由传统被动维护向主动监控与预测性维护的转变。

3 露天煤矿箱变 PLC 综合保护系统的设计总体思路

3.1 系统结构构成与硬件选型的合理性分析

PLC 综合保护系统的设计应充分结合露天煤矿运行的复杂环境,系统由数据采集模块、控制单元、执行机构和通信平台组成。采集模块的任务是对电流、电压、温度等关键参数进行实时监测,保证运行数据的准确性。控制单元以 PLC 为核心,完成逻辑分析和保护指令的下达;执行机构包括断路器、接触器等,用于快速完成隔离与切换。通信平台承担数据传输与远程操作的功能,实现集中化管理。在硬件选型时需注重高防护等级,选择具备抗电磁干扰、防尘防潮、耐高低温的工业级产品,以保证在矿区粉尘大、昼夜温差显著、湿度变化大的情况下,系统仍能保持稳定运行和较长的使用寿命。

3.2 保护功能模块划分与多层级逻辑控制实现

PLC 综合保护系统在功能设计上采取模块化划分方式,主要包括过流、短路、过压、欠压、过温和接地故障六大模块。各模块之间通过编程逻辑实现互联互通,能够根据故障类型和严重程度采取分级响应措施。轻载过流状态下,系统会采用延时保护,避免不必要的停电;若遇到严重短路情况,则立即执行切断,确保设备和人员安全。逻辑控制具备动态调节功能,能够根据实时运行数据对阈值进行修正,以适应煤矿负荷波动大的特点。预警模块与声光报警装置结合,确保在故障发展到严重阶段之前及时发出警示,形成多层次、多路径的综合保护机制。

3.3 人机交互界面与数据管理平台的功能拓展

系统设计中加入了可视化的人机交互界面,操作人员能够通过触摸屏直观获取电气参数和保护动作状态,并在界面上完成模式切换与参数设置。该界面具有实时刷新功能,能够快速

反映运行工况的变化。数据管理平台则具备长期数据存储、趋势分析和报表生成的功能,可以输出电能质量、负荷曲线等信息,为生产管理提供参考。平台还设置了权限分级机制,不同角色的人员可在权限范围内进行数据查询和操作控制,既提高了系统的安全性,也保证了操作的规范化。通过平台扩展,系统能够与上位机和矿山调度系统实现联动,进一步提升自动化管理水平。见表 1:

表 1 某露天煤矿典型箱变运行参数统计表

参数类别	数值范围	单位	数据来源
额定电压	10.5	kV	《中国煤炭工业年鉴 2023》
最大运行电流	650	A	《煤矿供电设计规范》GB 50257-2014
峰值负荷功率	5.2	MW	国家能源局《煤矿用电统计数据 2022》
年均用电量	3.4×10^7	kWh	国家能源局《煤矿用电统计数据 2022》
夏季环境最高温	38	℃	《内蒙古能源矿区气象公报 2022》
冬季环境最低温	-32	℃	《内蒙古能源矿区气象公报 2022》

4 PLC 综合保护系统在露天煤矿的实施与运行成效

4.1 系统在实际应用中的运行稳定性与响应速度

在露天煤矿投运后,PLC 综合保护系统展现出较强的稳定性和灵敏度。高速采集模块与逻辑处理单元配合,使故障信号能够在毫秒级完成分析和响应,显著缩短了传统继电保护的动作时间。即使在电网波动频繁、负荷突变较大的情况下,系统仍然能够保持稳定运行,有效降低因误动作或拒动作引发的大面积停电风险。长期运行实践表明,该系统能够在极端气候条件下保持较低的故障率,保证电力供应的连续性,满足矿区大型设备对电力系统高可靠性的需求。其快速响应能力显著提升了煤矿电力系统的安全性和可靠性。

4.2 故障诊断与自动切换功能对生产安全的保障

系统依托内置的智能诊断算法,对采集到的运行数据进行实时分析,能够在毫秒级时间内完成故障识别并执行对应措施。当主回路出现短路时,系统立即跳闸切断故障线路,同时自动切换至备用电源,保证供电不中断,避免关键生产环节停机。若发生接地或过温故障,系统则会触发声光报警装置进行提示,并同步执行降负荷或隔离操作,以防止隐患进一步扩大。自动化的切换和保护逻辑有效减少了人工操作带来的延迟,使应急处置更加高效。在实际运行中,该系统显著降低了因电气故障导致的停产事故率,全面提升了煤矿电力系统的安全保障能力。

4.3 能耗监测与数据分析在管理决策中的应用价值

在日常运行过程中,PLC 综合保护系统不仅承担着对电力设备的安全防护职责,还能够对能耗数据进行连续监测和分析。系统实时采集电流、电压、功率因数等多项关键运行参数,并将其存储于数据库中。通过内置的能耗分析模块,这些数据被处理生成趋势曲线、峰谷负荷分布报表等,为电力调度和运行优化提供直观依据。管理层能够据此制定科学合理的用电策略,实现对能源消耗的动态管控,从而有效降低能耗水平。长期积累的数据还可用于评估设备运行的健康状态和寿命周期,指导检修计划的合理安排,避免过度检修或延迟检修造成的资源浪费。能耗分析结果的深度应用,使煤矿电力系统的运行管理更加精细化与科学化,既提高了能源利用效率,也在一定程度上提升了生产的经济效益与安全效益。

5 露天煤矿电力保护系统智能化发展的前景与改进方向

5.1 系统扩展性在适应未来智能矿山中的应用潜能

PLC 综合保护系统具备良好的扩展性,能够适应煤矿未来规模化与智能化发展的需求。随着矿山电力负荷的不断增长和用电设备的多样化,系统只需增加采集模块或调整控制程序,即可完成功能扩展,避免重新构建保护系统的高成本投入。硬件层面采用模块化设计,具备快速更换与组合的优势,保证了灵活性与可维护性。未来在智慧矿山整体规划中,该系统能够与自动化调度、远程运维平台实现无缝对接,形成一体化的电力保护与管理体系统,为煤矿数字化转型提供重要技术支撑。

5.2 人工智能与大数据融合提升电力保护水平路径

智能化发展趋势对电力保护系统提出了更高要求,其核心在于与人工智能和大数据技术的深度融合。通过长期积累的运行数据,系统能够依托机器学习算法提取关键特征,识别出潜

在故障的规律性模式,从而实现提前预警和预测性维护。大数据平台的应用不仅支持单一矿区的运行分析,还能够将多个矿区的电力数据集中处理与对比,形成跨区域的优化调度方案,提高整体资源配置效率。智能算法能够根据实时工况动态修正保护参数,使系统具备更强的自适应能力,以应对负荷波动、环境变化及突发性故障。这种多技术融合的模式,正在推动煤矿电力保护由传统的事后故障处理,向事前预警与主动预测控制方向转变,全面提升电力系统运行的智能化水平和安全保障能力。

5.3 设备维护模式转型促进电力系统长周期安全运行

基于 PLC 系统提供的实时监测和数据分析能力,设备维护模式正逐步由定期检修向状态检修转型。状态检修根据设备实际运行情况和健康指数来决定维护时机,避免过度检修造成的资源浪费,也防止因延误检修引发故障风险。通过在线监测,管理者能够在设备性能下降到临界点之前实施针对性维护,延长运行周期。维护模式的转型不仅降低了煤矿电力系统的运营成本,还增强了电力供应的可靠性,为矿山安全生产和长周期稳定运行提供了保障。

6 结语

本文围绕露天煤矿箱变 PLC 综合保护系统的设计与实现展开研究,结合矿区复杂运行环境与电力安全需求,对系统结构、功能模块、逻辑控制及智能化发展方向进行了深入分析。研究表明,PLC 技术在提升箱变保护系统的稳定性、智能化水平和应急响应能力方面具有显著优势。通过引入能耗监测与数据分析功能,不仅优化了电力资源调度,也为设备维护提供了科学依据。未来在人工智能与大数据的加持下,该系统将具备更强的预测性和自适应能力,为煤矿电力系统的长周期安全运行提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 周楠,胡洁.基于 PLC 的煤矿供电系统综合保护技术研究[J].煤矿机械,2023,44(6):87-90.
- [2] 孙凯,蒋涛.矿山电气设备智能监测与故障诊断技术探索[J].煤炭科学技术,2024,52(3):112-118.
- [3] 陈伟,丁雪.PLC 在露天矿电力系统保护中的应用与优化[J].电气技术,2022,19(4):45-49.
- [4] 郑鹏,马晨.煤矿变电站智能化保护装置设计与实现[J].能源与自动化,2023,41(2):72-76.
- [5] 赵晨曦,吕杰.大数据驱动下矿区电力系统智能化保护路径分析[J].工矿自动化,2024,50(5):96-101.