煤矿工程中电气自动化技术运用分析

孙林艳

（中煤天津设计工程有限责任公司，天津 300120）

摘要：在煤矿工程中有效运用电气自动化技术，是目前维护煤矿开采安全、实现高效生产和保障机电设备稳定运行的重要途径。以电气自动化技术的运用目的为切入点，阐明该技术应用于煤矿工程规划管理场景内，有利于达成高精度监测、灵活控制与低能耗运行等既定目标，并强调煤矿开采单位有必要落实采煤作业机械自动化技术、运输活动监控自动化技术和安全检测控制自动化技术要点，确保煤矿工程在电气自动化技术助力下取得满意的工作成果。

关键词：煤矿电气工程；电气自动化技术；采掘设备；PLC 技术；CNN 模型；机电设备

Analysis on the application of electrical automation technology in coal mine electrical engineering

SUN Linyan

（China Coal Tianjin Design Engineering Co., Ltd., Tianjin 300120, China）

Abstract: The effective application of electrical automation technology in coal mine engineering has become a crucial approach to maintaining mining safety, achieving efficient production, and ensuring stable operation of electromechanical equipment. This paper explores how the implementation of electrical automation technology in coal mine engineering planning and management can facilitate high-precision monitoring, flexible control, and low-energy operation. It emphasizes that mining enterprises must implement key technologies such as mechanized coal mining operations, automated transportation monitoring systems, and automated safety detection and control mechanisms. These measures will enable coal mine engineering to achieve satisfactory operational outcomes through the support of electrical automation technology.

Keywords: coal mine electrical engineering; electrical automation technology; mining equipment; PLC technology; CNN model; mechanical and electrical equipment

0 引言

煤矿电气工程涉及电力系统规划、管理等多项内容，为促进煤矿开采活动的顺利实施，要求工程师有必要结合煤矿生产条件，制定电气自动化技术可行性应用方案，在该技术指导下建立良好的煤矿开采条件，使开采人员、管理人员、运煤人员均能在自动化控制的有利条件下获得可靠的安全工作保障，进而满足现代煤矿生产的现实需求，促进煤矿事业发展壮大。

1 煤矿工程中电气自动化技术的运用目的

1.1 实现高精度监测

电气自动化技术应用于煤矿电气工程中，由工程师采用自动化技术开展电气设计、设备调试等工作。该技术不仅能提升煤矿机电设备的精度，还能通过快速处理电气数据，动态显

示设备结构异常表现，并且提升现场管理有效性，维护机电设备运行安全。特别是在现场配置并应用自动化视频监控系统后，该系统作为依据GB50198—2011《民用闭路监视电视系统工程技术规范》与GB500395—2007《视频安防监控系统工程设计规范》研发的自动化监测系统，其瞬态电位差小于1 000 V；定时采集间隔在10 min～3d范围内；防雷电感应在500～1 000 W之间；单点采集时间小于30 ms；巡测时间小于0.5 h；存储容量大于50次，且系统配有无线视频接入端与语音调度等功能模块。该系统实际运行中能指引相关人员全方位监测机电设备运行状态，获取可靠的监测反馈结果。相较于传统监控系统，该系统的稳定性更强，监测精度更高，且更能促进煤矿开采事项的高效落实。

1.2 实现灵活控制

电气自动化技术是以电气系统自动化控制的形式，对煤矿开采、运输等活动实施自动监控、自动调节的一项关键技术。该技术对阀门、电动机等控制执行机构进行自动化控制，通过传感器采集设备参数信号，而后经过逻辑控制与信号处理，达到控制目的。配置的自动化传感器也能对矿井内温度、气体浓度、构造特点进行实时监控，保证煤矿工程具有安全性。与传统技术进行，电气自动化技术无须工程师在实际工作中建立复杂算法及程序，也无须实时跟进数据变化规律，而是可直接利用简化公式进行分析，运用电气自动化技术，可提升煤矿机电设备控制的灵活性。

1.3 实现低能耗运行

应用电气自动化技术，还能显著降低能耗水平。以无功补偿能量为观察主体，计算机电设备的对应指标，计算式为

$$U(t)=\frac{M_{\mathrm{p}}[m(p)]}{T} \tag{1}$$

式中，$U(t)$为机电设备无功补偿能量；M_{p}为电气量比例系数；$m(p)$为机电设备电能输入偏差；T为调度时间。当$U(t)>1$时，证明机电设备当下电气调度能量处于高消耗状态；当$U(t)<1$时，表明能耗较小，以此通过能耗有效调度达到节能效果。

然后，在150～600 mA电气量条件下，与传统技术比较电气工程调度中的能量消耗量。传统技术能量消耗量变化区间102.126～120.446 kW；而采用电气自动化技术以后，不同电气量下能量消耗量最小值为102.135 kW，最大值为120.487 kW，与标准值的差值约为0.05 kW，显然差值高于传统技术，故认定融入电气自动化技术，能适当减小能耗水平，使机电设备保持低能耗运行状态，符合煤矿电气工程绿色环保发展要求。

从上述研究内容可知：煤矿工程中有效运用电气自动化技术，对机电设备能耗量、控制效果及监测精度均有积极影响。为达到上述预期目的，围绕煤矿工程中机电设备管理控制实际需求，归纳了技术要点，以期煤矿企业中工程师能借鉴本文所述细节，加强电气自动化技术的应用推广[1]。

2 煤矿工程中电气自动化技术的运用要点

2.1 运输活动监控自动化技术

煤矿运输活动中可应用电气自动化技术，以达到提高运输效率，维护运输安全的预期效果。实际上，早在20世纪80年代，电气自动化技术就已经在煤矿运输环节发挥关键性作用，为井下运输作业创造了有利条件。该技术应用研究中，从智能化、集成化、绿色化三个发展方向阐明应用效果，给定了具体的预期量化指标，证明在煤矿运输活动中推广该技术具有一定的可行性[2]。煤矿运输期间使用高精度传感器，能保证自主导航覆盖率高于90%；路径规划优化率及协同作业效率增幅分别高于15%和20%；使用大数据分析工具，能将全流程调度优化效率提升25%左右；利用节能优化算法可将单位运输量能耗降幅突破

20%；空驶率降幅将超过30%；可再生能源利用率最小为50%。

一般情况下，运输活动作为影响煤矿生产效益的关键事项，为避免机电设备出现故障影响运输进度，需在运输环节利用煤矿电力监控系统监测煤矿运输中机电设备的运行状况，一旦出现设备运行异常，有关人员需立即停用设备，待排除故障结束后启用设备，以高效运输。该系统具备遥测、遥控、告警、事故画面显示等多样性功能模块。其中，遥测功能模块可对运行中机电设备的电流、三相电压、绝缘电阻等参数进行实时显示，以便在远程监测场景内，预防短路、过电压等异常现象；遥控功能模块采用远程控制高低压开关分合闸动作，以及促进保护信号复归等方式，使煤矿生产中的机电设备具备无人值守服务条件。面对电流电压越限、开关变位及保护动作异常响应等行为，有关人员能快速获取预警信息，通过文字弹窗、动画显示、音频提示等方法，督促相关人员快速处置机电设备异常问题，并且可进行事故回路画面回顾操作。最关键的是，该系统应用于煤矿运输活动中，其电压和电流测量精度均为0.5%，功率因数与频率测量精度均为1%；为保障运输效率及其安全性，系统采样回路相电流范围在6%I_N～1 200%I_N值之间，线电压整定值允许偏差为±5%；时间定值不大于1 s时，系统监控动作响应时间误差不大于20 ms；时间定值大于1 s时，则不大于1.5%，且具有0.01 A的整定级差电流。负责煤矿运输的工作人员可在该系统辅助下获取60 min内监控指标，且每月结算1次计量数据，系统功率脉冲输出参数脉宽为50～70 ms。通过应用电气自动化监控技术，能为煤矿运输活动的高效开展与安全操作提供有力支撑。

2.2 安全检测控制自动化技术

煤矿工程中可采用安全检测控制自动化技术，以提高煤矿生产安全水平。其中应用较为普遍的有PLC技术，其基本原理如下图所示。配备24 V直流继电器与工控机，其中包含重力传感器配件，能随时检测定量斗装煤重量，随着重力传感器内部密封液体压力的增长情况，给定重量检测结果，且压力传感器在液体压力变化下，将释放4～20 mA电流信号，并由PLC控制器处理数据。而后在显示面板上显示测量信息[3]。煤矿生产安全检测环节应用电气自动化技术后可具有自动化检测工作特性，其启动程序为：自动启动→判定闸门开关状态→未关闸门则自动闭合→闸门已关后判断是否为满仓状态→满仓状态时停止给煤机/未满仓则运行给煤机→判定给煤机超载状态→超载则声光报警/未超载则分析箕斗到位情况→到位后允许装煤并打开闸门→空仓后关闭闸门。此种自动控制模式与传统人工操作模式相比，能使机电设备在煤矿生产中始终保持可调控的运行状态。

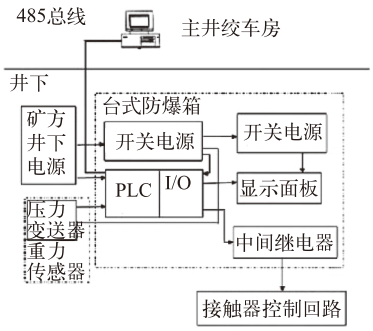

图 PLC 工作原理演示图

Fig. PLC working principle demonstration diagram

除该技术以外，也可在异常检测与预警中融合人工智能技术，以突破传统技术的局限性。传统技术中以传感器反馈数据进行安全检测。即每秒采集1次电流、电压、功率因数等参数，其数据范围分别为1～1 000 A、1～1 000 V、0～1；检测功率指标公式为

$$P=UI\cos\varphi \tag{2}$$

式中，P、U、I、$\cos\varphi$分别为功率、电压、电流和功率因数。

检测瓦斯浓度期间，以阈值判断模型，每10 s检测1次数据，数据范围为0%～100%，若高于1.5%安全阈值，则给出预警信息。传统技术中还包括构建Z-Score模型（多变量财务分析模

型），其判定条件为

$$Z=\frac{x-\mu}{\sigma} \tag{3}$$

式中，Z、x、μ、σ分别为数据点与均值的偏差程度（数据点与均值的距离，以标准差为单位）、数据点、数据集的均值和数据集的标准差。当Z绝对值高于阈值，表示当前存在异常数据。

为增加异常检测与预警信息精度，提出应用深度学习算法，建立卷积神经网络（CNN）模型与长短期记忆网络（SLTM）模型[4]。建模过程为：预处理数据→提取特征→设计异常检测模型→数据集成。特征提取部分以主成分分析法进行分析，即特征值为原始特征矩阵与特征值分解后主成分矩阵乘积；LSTM异常检测模型为

$$\begin{cases} f_t=\sigma(\boldsymbol{W}_{\mathrm{f}}[h_{t-1},x_t]+b_{\mathrm{f}}) \\ i_t=\sigma(\boldsymbol{W}_{\mathrm{i}}[h_{t-1},x_t]+b_{\mathrm{i}}) \\ o_t=\sigma(\boldsymbol{W}_{\mathrm{o}}[h_{t-1},x_t]+b_{\mathrm{o}}) \end{cases} \tag{4}$$

式中，f_t、i_t、o_t分别为遗忘门输出值、输入门输出值和输出门输出值；σ为Sigmoid激活函数；$\boldsymbol{W}_{\mathrm{f}}$、$\boldsymbol{W}_{\mathrm{i}}$、$\boldsymbol{W}_{\mathrm{o}}$为遗忘门、输入门与输出门对应的权重矩阵；$b_{\mathrm{f}}$、$b_{\mathrm{i}}$、$b_{\mathrm{o}}$为对应的偏置项；$h_{t-1}$为记忆单元$t-1$时刻的隐藏状态；$x_t$为当前时刻的输入值。

CNN异常检测模型为

$$y=\max(0,\boldsymbol{W}x+b) \tag{5}$$

式中，y、$\boldsymbol{W}$、x、b分别为提取特征值、卷积核、输入特征图和偏置项；max()为最大值取值函数。

在建模后，按照标准化预测准则给出预测结果，指导有关人员做好早期预警处理工作，避免因设备异常运行，危及煤矿生产安全。提到的预测准则中，瓦斯浓度预警阈值与传统技术一致，新增120%额定值的机电设备温度安全阈值，并搭配人工智能模型异常分值范围0～1分，确定分值高于0.8时响应自动化预警动作，以增加异常检测准确率及预警准确度。

2.3 采煤作业机械自动化技术

采煤作业中所用机械设备也可应用电气自动化技术。尽管我国在自动化采煤作业上的成熟度不高，但随着推广范围的延伸，已开始在全高长壁工作面及薄煤层开采作业中应用电气自动化技术，尤其从1984年“综采放顶开采试验”顺利实施以后，采煤作业已逐步实现全自动采煤发展[6]。采煤期间通过应用电气自动化技术，能使采煤作业中相关机械设备始终保持低能耗、自动化控制状态，防止采煤人员过度开采导致煤炭资源损耗[5]。采煤作业中采煤人员所用机械设备较为多样，该部分以采煤机与液压支架为重点进行阐述。据调查，采煤机的应用场景已从中厚煤层延伸为薄煤层，且已经成功研发出大功率产品，目前采煤机功率已达到1 200 kW，电压从1 140 V增至3 300 V，截深突破1 m，甚至研发出无链液压调速牵引式采煤机，其牵引速度高于29 m/min。液压支架机械已从掩护式支架延伸至四柱支撑式支架，不仅性能有所提升，控制模式也转变为电液控制模式。应用电气自动化技术以后，既能增加采煤控制灵活性，又能提高安全水平，呈现人性化服务效果。而且所用支架也能在实际采煤中以自动化控制方式增强采煤机械能力，协助采煤人员高效完成采煤任务[7]。例如在该技术指导下，可为采煤人员提供自动化诊断采煤机故障服务。通过电气自动化机械管理系统，实时观测采煤机电动机与电缆连接情况，并自动获取馈电开关欧姆表显示数据。持续运行10 s左右后，系统显示存在第一级馈电开关跳闸表现，且伴有欧姆表指针摆动明显特征，进行二次检测以后仍存在跳闸情况，此时可自动识别跳闸原因，协助采煤人员快速知晓故障成因。查证中可见接线柱绝缘座裂纹，需配置新采煤机继续进行采煤作业，以免受采煤机设备异常运行状态的干扰，引发安全事故，或影响采煤工作量[8-9]。其余电动机发热、插件脱焊等机械故障，均能借助电气自动化技术给出自动诊断数据。

为进一步验证煤矿工程中运用电气自动化技术，能有效增加煤矿开采现场监测准确度，提升电气系统控制灵活性，降低能耗水平。对比本文所提的电气自动化技术与传统技术的应用效果，

在10万条正常数据与5 000条异常数据中，本文所提技术的准确率与召回率较高，均在96%、92%以上，见下表。虽然耗时较长，但误报率偏低，表明推广电气自动化技术具有现实价值。

表　不同检测技术实验对比结果

Tab. Experimental comparison results of different detection techniques

检测技术	模型类型	准确率（%）	召回率（%）	误报率（%）	检测时间/ms
传统技术	阈值判断模型	86	70	14	0.1
	Z-Score 模型	88.4	75	11.6	0.2
电气自动化技术	LSTM 模型	97.2	92.4	2.8	30
	CNN 模型	96.6	93.6	3.4	25

3　结束语

煤矿工程中运用电气自动化技术，可实现高精度监测、灵活控制与低能耗运行等。为证明电气自动化技术的实用价值，从采煤作业、运输活动、安全检测等场景，阐述了电气自动化技术的运用要点，通过应用该技术，能助力煤矿电气工程顺利完工。

参考文献

[1] 刘向东．电力工程中电气工程自动化技术运用[J]．电力设备管理，2024(16)：172-174．

[2] 王忠武．电气自动化技术在电气工程中的实际应用[J]．中国设备工程，2023(21)：224-226．

[3] 孙晓宇．电气自动化技术在电气工程中的应用[J]．华东科技，2023(10)：39-41．

[4] 周恣剴，蒋一鸣．电气工程中电气自动化技术的应用研究[J]．模具制造，2023，23(9)：217-219．

[5] 王二云．电气自动化技术在煤矿生产中的应用[J]．中国设备工程，2025(6)：218-220．

[6] 温键．电气工程中电气自动化技术的应用研究[J]．科技与创新，2023(13)：165-167．

[7] 王洪涛．浅谈电气自动化技术在电气工程中的应用[J]．城市建设理论研究(电子版)，2023(1)：96-98．

[8] 黄民喜．电气自动化在电气工程中融合运用方法[J]．数字技术与应用，2022，40(4)：62-64．

[9] 孟才植．电气工程自动化节能环保技术[J]．江西电力职业技术学院学报，2022，35(3)：8-9，12．

作者简介

孙林艳（1981—），女，高级工程师，研究方向为电气自动化。

（收稿日期：2025-05-06）