

# 面向铁路供电调度管理的数智化技术应用研究

冯文彬

国能朔黄铁路发展有限责任公司调度指挥中心 河北沧州 062350

【摘要】数字化技术是在大数据、人工智能和云计算等技术加持下，智能地分析和应用数据，上述技术手段的结合运用，为铁路供电调度管理创设了有利前提。数字化技术在铁路供电调度管理工作中的引入应用，驱动了人工调度迈向智能化、自动化转型进程，不仅有助于提高铁路供电的稳定性，也有助于保障我国铁路运输事业蓬勃发展。

【关键词】铁路供电；调度管理；数智化技术

Research on the application of digital intelligence technology for railway power supply dispatching management

Feng Wenbin

Shuhuang Railway Development Co., Ltd., Hebei Cangzhou 062350

【Abstract】Digital technology is intelligently analyzing and applying data with the support of big data, artificial intelligence and cloud computing technologies. The combination of the above technical means has created a favorable premise for railway power supply dispatching management. The introduction and application of digital technology in the railway power supply dispatching management work drives the manual dispatching towards the intelligent and automatic transformation process, which not only helps to improve the stability of the railway power supply, but also helps to ensure the vigorous development of China's railway transportation industry.

【Key words】railway power supply; dispatching management; digital intelligence technology

铁路供电系统作为铁路运输的动力源泉，其稳定运行是保障铁路运输安全、高效的核心要素。近年来，随着我国铁路建设的飞速发展，运营里程不断增长，运输需求日益复杂多样。中国国家铁路集团有限公司数据显示，截至2024年底，全国铁路营业里程达到15.2万公里，如此庞大的铁路网络，对供电调度管理提出了前所未有的挑战。传统的铁路供电调度管理模式，由于技术手段有限，已逐渐显露出诸多弊端，如效率低下、决策科学性不足等问题，难以满足当下铁路运输提出的目标要求。

## 一、铁路供电调度管理现状及问题

### （一）数据管理困境

在铁路调度供电专业领域，日常运行中会产生海量的数据。这些数据涵盖了供电设备的运行状态数据，例如变压器的油温、绕组温度、压力，断路器的分合闸次数、动作时间等；电力参数数据，像电压、电流、功率因数等；还有故障报警数据，包括设备故障类型、故障发生时间与地点等信息<sup>[1]</sup>。然而，当前这些数据分散存储于不同的系统与设备之中。例如，供电设备运管维系统记录设备运行状态数据，供电调度自动化系统侧重于电力参数数据和故障报警数据。各系统间数据格式不统一，数据接口也不兼容，使得数据难以进行共享与综合分析。

### （二）调度决策依赖经验

传统铁路供电调度管理模式极为依赖供电调度员的工作经验，调度员在制定调度策略时主要结合自身经验并参考既往案例，如若供电运行环境相对稳定，依赖经验做出的调度决策将不会暴露出较为严峻的弊病问题，一旦供电运行场景复杂，便会表现出局限性问题，甚至出现误判导致供电故障延时等影响铁路运输的现象。以供电设备故障为例，调度

员如若仅依赖个人经验，而未能考虑到故障诱因存在的细节差异，必然会削弱调度决策的可行性，导致故障问题无法得到及时解决，从而威胁铁路运输安全。

### （三）供电调度管理系统PDMS与行车调度CTC系统结合不足问题

铁路供电调度管理系统（PDMS）与行车调度集中系统（CTC）作为铁路运营中至关重要的两大系统，各自承担着关键的职能<sup>[2]</sup>。在信息共享方面，两者相互独立，未能形成有效的数据交互机制。这导致在涉及计划停送电作业等关键业务时，信息传递主要依赖纸质文件、电话沟通或独立微型信息管理系统等方式。传统方式极易出现漏发、错发信息以及各方理解不一致的情况，严重影响信息的完整性与一致性。在业务协同与安全卡控方面，由于缺少系统层面的联动与控制，仅依靠人工卡控，存在诸多安全隐患。供电臂错停错送、命令错发漏发以及错放电力机车进入无电区等风险难以得到有效遏制，进一步加剧了系统结合不足带来的负面影响。

## 二、数智化技术在铁路供电调度管理中的应用

### （一）基于铁路供电大数据技术与深度分析

#### 1. 铁路供电大数据平台构建

大数据技术为解决铁路供电调度数据管理困境提供了有效途径。通过运用大数据技术搭建铁路供电调度数据整合平台，能够打破不同系统与设备间的数据壁垒。利用数据抽取、转换与加载（ETL）技术，可将来自供电设备监控系统、电力调度自动化系统、故障报修系统等各类供电数据进行集中收集，并按照统一的数据标准与规范进行存储和管理，实现数据的互联互通<sup>[3]</sup>。原本分散在不同系统中的数据，经过ETL处理后，统一存储在大数据仓库中，由此一来，既提

高了数据的准确性、完整性与一致性,同时也能为后续的数据分析提供坚实基础。

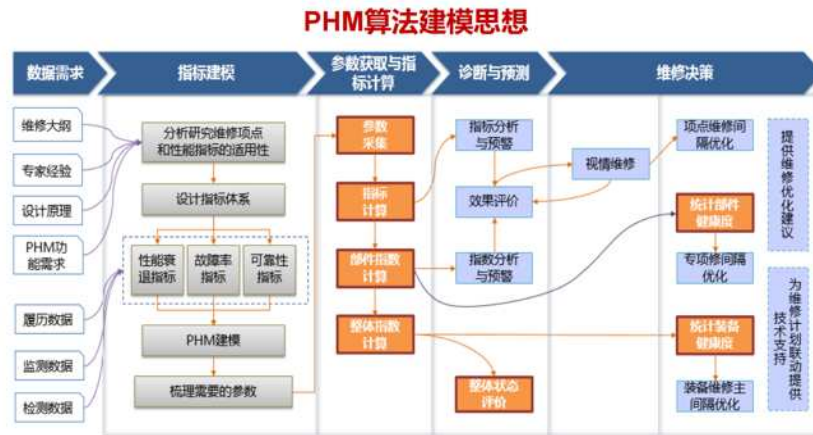
## 2.数据深度分析挖掘

借助大数据分析算法,对整合后的海量数据进行深度挖掘,能够发现数据背后隐藏的规律和价值。通过数据聚类分析,可以将设备运行状态进行分类,准确识别出处于正常状态、异常状态及潜在故障状态的设备。同时,利用关联规则分析,能够找出电力参数与设备故障之间的潜在关系,为故障预测提供有利依据。基于分析结果,供电段能够提前采取针对性的维护措施,有效降低设备故障发生率。

## (二)人工智能技术助力智能调度决策

### 1.智能预测模型建立

利用机器学习算法能够建立起铁路供电设备故障预测模型,用以实现对设备故障问题的预测把控。故障预测模型通过整合分析设备运行数据、运行环境数据以及历史故障数据等相关数据信息,能够在设备发生故障前较为精准地预测出设备故障时间、故障类型以及影响范围,从而做到有的放矢,提前对潜在的风险要素加以解决规避,避免因设备故障造成铁路供电中断,从而对铁路运输造成不利影响<sup>[4]</sup>。如下图为供电 PHM 的算法模型图



### 2.智能决策支持系统

构建铁路供电调度智能决策系统,能够充分发挥出人工智能技术的优势作用,用以模拟并优化铁路供电调度管理场景。当面临设备故障或电力供应紧张等紧迫问题时,智能决策系统能够结合当前问题迅速地生成多项兼具科学性与可行性的决策方案,在此基础上,智能算法会综合考量供电可靠性、操作复杂性等多个要素,从上述决策方案中选择出最优决策建议供调度员参考,以确保最优决策方案能够最大限度上提升供电可靠性并缩小对铁路运输的影响范围。由此一来,不仅能够大幅提升管理决策效率,同时也能规避调度人员盲目依赖个人经验或忽略故障隐患从而造成的不利后果。

### 3.供电调度与行车调度系统的深度结合

通过深度结合,供电调度能实时根据列车运行状况精准供电,避免因供电异常导致列车故障、晚点甚至脱轨等安全事故。同时,行车调度也能依据供电情况合理安排列车运行,确保列车在安全的供电环境下运行。实现两者的深度结合,可以使供电与行车紧密配合,减少列车在运行过程中的等待时间、加减速时间等,提高列车的运行效率,进而提升整个调度集中系统(CTC)的运营效率。并且,通过深度结合,可将供电设备和行车设备的运行数据进行综合分析,实现对设备状态的实时监测和智能诊断。有助于提前发现设备潜在故障,合理安排维修计划,变事后维修为预防性维修,有助于降低设备故障率,在延长设备使用寿命的同时提高设备的运维管理水平。

### 4.供电调度命令、操作卡片的智能生成

从供电调度管理系统(SCADA)、设备管理系统等数据源实时采集电网运行状态数据、设备参数、历史操作记录等信息<sup>[5]</sup>。对采集到的数据进行清洗、整合和分析。运用数据挖掘算法对历史操作记录进行分析,总结操作模式和规律。比如,分析不同季节、不同负荷情况下的设备操作频率和顺

序。基于数据处理结果,结合预设的规则和模板,生成供电调度命令和操作卡片。例如,当检测到某条馈线线路产生过负荷时,根据预先设定的事故预案,自动生成相应的调度命令,如调整相关牵引变电所馈线开关分合闸操作指令,并生成对应的操作卡片,明确操作步骤、人员安排、安全注意事项等。提供操作界面给供电调度人员查看、编辑和确认生成的调度命令与操作卡片,调度员可以对生成内容进行微调,如修改操作时间、补充特殊说明等,然后一键确认生成调度命令,由SCADA系统进行执行。

## (三)物联网技术实现设备实时监测与智能运维

### 1.设备物联网感知层搭建

在铁路调度管理中应用物联网技术,能够实现对供电设备的在线监测以及运维管理,在铁路供电设备中安装众多传感器,能够搭建起物联网感知层,以便实时采集温度、压力、振动、电流、电压等设备运行参数,并利用无线通信技术将设备运行信息传送到数据中心。具体来讲,可在开关柜上安装振动传感器,用于检测设备的机械振动,通过分析振动传感器的振动频率以及振动幅值,能够精确判断出传感器内部是否出现松动、磨损等情况;针对数据传输,也可利用低功耗广域网(LPWAN)如NB-IOT(窄带物联网),在长距离、低功耗下保证数据传输,用以实现对铁路供电设备运行数据的集中监测,进而在提高数据传递效率的同时,确保数据中心能够高效获取偏远地区的设备数据。

### 2.智能运维管理系统

利用物联网获取的供电设备检测数据建立铁路供电设备智能运维管理系统,能够根据设备当前运行状况和历史数据分析得出铁路供电设备运行过程中潜在的风险性问题,由此完善设备维护作业计划,以预防性检修模式规避传统定期检修模式留有的弊病问题。例如通过对供电设备监测数据进行实时分析,若分析结果显示出某台设备运行参数异常状

态,出现电流不断上升或设备温度升高时,系统结合算法模型能够对设备进行未来一周内发生故障的可能性展开预测,并将设备问题及时地反馈给运维人员,以便运维人员结合设备问题对故障隐患进行排除整改。不仅如此,智能运维管理系统还可通过移动终端或者电脑客户端实现对设备的远端监测以及指导作业,用以提高供电设备的故障诊断与处理效率。

### 3.铁路供电故障自愈重构系统的构建

随着铁路运输向高速化、重载化、智能化方向发展,供电系统的稳定性成为保障列车安全高效运行的核心要素。传统故障处理依赖人工排查与操作,响应时间长、恢复效率低。近年来,基于人工智能、物联网和自动化技术的故障自愈重构技术,为铁路供电系统提供了全新的解决方案,推动轨道交通迈入“主动防御、快速自愈”的新阶段。实现故障自愈重构,能在故障发生时快速隔离故障区域,自动恢复非故障区域供电,提升铁路供电可靠性、降低运营成本有着重大意义。

铁路供电系统故障自愈重构是基于最新的故障诊断技术,采用基于多源信息融合的故障诊断方法,融合电流、电压、设备状态等多种数据,利用神经网络、专家系统、贝叶斯网络等算法进行故障诊断。运用优化算法实现供电重构,如遗传算法、粒子群优化算法等。以遗传算法为例,将供电网络的开关状态作为染色体,以供电可靠性、网损最小等为目标函数,通过选择、交叉、变异等遗传操作,搜索最优开关组合,实现供电系统重构,恢复非故障区域供电。

## 三、数智化技术应用效果评估

### (一) 供电可靠性提升

通过数智化技术的全面应用,实现了对铁路供电设备的实时监测与故障预测,能够及时发现并处理设备潜在问题,有效降低了设备故障发生率。同时,智能调度决策系统在面对突发情况时,能够迅速制定最优调度方案,保障铁路供电的连续性。以某铁路供电段为例,在应用数智化技术之前,该公司铁路供电系统的平均故障停电时间为每年 10 小时。应用数智化技术后,通过设备实时监测与故障预测,提前发现并处理了多起设备潜在故障,同时智能调度决策系统在应对突发故障时反应迅速,使得铁路供电系统的平均故障停电时间缩短至每年 3 小时。

### (二) 调度效率提高

大数据技术的数据整合与深度分析功能,为调度员提供了全面、准确的决策依据,极大地减少了决策时间。智能决

策支持系统的应用,使得调度方案的生成与评估更加高效,调度员能够迅速做出科学决策。对比传统调度模式,数智化技术应用后,供电调度的平均决策时间大幅缩短。例如,在处理设备故障时,传统调度模式下调度员从获取故障信息到制定出初步调度方案,平均需要 20 分钟;而应用数智化技术后,智能决策支持系统能够在 3 分钟内生成多种可行调度方案,并给出最优建议

### (三) 运维成本降低

物联网技术实现了设备的智能运维,基于设备实时状态的预防性维护取代了传统的定期巡检维护方式,避免了过度维护和维修不足的情况。通过精准的故障预测与远程诊断,减少了设备维修时间和人力、物力投入。经核算,某铁路供电段在应用数智化技术后,设备运维成本显著降低。由于实现了预防性维护,减少了不必要的巡检次数和维修工作量,设备运维成本相比之前降低了 37.5%,为铁路运营企业节约了大量资金,从而提高了企业经济效益。

### (四) 安全卡控由技防替代人防

数智化技术在铁路供电调度管理中的应用实践能够实现对供电设备故障问题的预警处理,以便及时发现并解决故障隐患,从而规避因人为操作失误或信息处理不及时造成的供电事故,进而提升供电设备供电调度的安全性与可靠性。相关数据显示,技防系统代替人防系统后,铁路供电设备故障发生率大幅降低,在缩短供电故障停电时间的同时,保障了铁路运输安全与稳定运营。当前,技防系统正不断趋于完整,铁路供电调度不再过度依赖人工管理,通过合理配置人力资源,能够大幅降低了人力成本,在提升人力资源利用率的基础上,也为铁路供电调度员以及运维人员钻研技术创新创设了有利前提。

## 结论:

数智化技术应用于铁路供电调度管理中,能够高效解决传统铁路供电管理模式暴露出的数据管理困境、调度决策依赖经验以及供电调度管理系统 PDMS 与行车调度 CTC 系统结合不足等隐患问题,极大程度上提高了铁路供电可靠性、调度管控效率以及运维管理水平。结合当前管理现状来看,数智化技术在铁路供电管理中的应用实践相对滞后,仍存在一定的改进空间。随着技术手段的不断革新以及应用范围的逐步拓宽,必将起到促进铁路供电调度管理工作改革发展的积极作用,进而为我国铁路运输发展提供坚实助力。

## 参考文献

- [1]张宁.电气化铁道供电调度管理信息化系统现状及优化建议[J].铁道技术监督, 2023, 51 (10): 38-43.
  - [2]张宁.铁路供电调度作业分析及智能化系统安全卡控对策[J].铁路工程技术与经济, 2023, 38 (02): 40-42+48.
  - [3]黄建平.上海市域铁路供电调度系统设计[J].铁道建筑技术, 2022 (12): 74-78.
  - [4]白铭, 周宇, 李震.智能供电调度作业管理系统研究[J].铁道运输与经济, 2022, 44 (S1): 104-109.
  - [5]乔凯庆.关于铁路供电 SCADA 系统主站技术标准的研究[J].电气化铁道, 2022, 33 (01): 8-12.
- 作者简介: 冯文彬 (1975.11-) 男, 汉, 河北定州人, 本科, 工程师, 研究方向: 电气工程。