

高度集成与模块化设计在火力发电输煤 DCS 系统 数智化中的应用研究

张宏利

大唐蒲城第二发电有限责任公司, 陕西 渭南 715501

DOI:10.61369/ME.2026010034

摘 要 : 面对能源结构调整及增强火力发电竞争性的双重压力, 在火力发电传送煤系统分布式控制系统中引入高度集成性、模块化设计理念是明确的定位与发展路径; 本文基于工程实践案例阐述上述措施在重构系统架构、实现智慧应用以及改进全过程管控方面的作用机理。集中式是将各信息孤岛进行集成, 实现从燃料上料到燃烧过程中的协同管理, 分布式是按功能划分的原则设计, 便于扩展、维护及后期升级改造。二者相互配合, 形成对皮带煤系统自主可控、智能高效、灵活响应的支撑能力, 这也为火电行业向安全高效清洁转型提供了根本支撑。

关 键 词 : 火力发电; 输煤系统; 分散控制系统; 数智化

Research on the Application of Highly Integrated and Modular Design in the Digitalization of DCS Systems for Coal Conveying in Thermal Power Generation

Zhang Hongli

Datang Pucheng Second Power Generation Co., LTD., Weinan, Shaanxi 715501

Abstract : Faced with the dual pressure of energy structure adjustment and enhancing the competitiveness of thermal power generation, introducing highly integrated and modular design concepts into the distributed control system of the coal conveying system in thermal power generation is a clear positioning and development path. This article elaborates on the mechanism of the above measures in reconstructing the system architecture, realizing intelligent applications, and improving the whole-process control based on engineering practice cases. Centralized design integrates various information silos to achieve collaborative management from fuel feeding to the combustion process. Distributed design is based on the principle of functional division, facilitating expansion, maintenance, and later upgrades and renovations. The two work in coordination to form a supporting capacity for the independent control, intelligent efficiency and flexible response of the belt coal system, which also provides fundamental support for the transformation of the thermal power industry towards safety, efficiency and cleanliness.

Keywords : thermal power generation; coal conveying system; distributed control system; digitalization and intelligence

引言

随着世界能源发展由高能耗向清洁化、低碳化方向转变以及新型电网快速发展的形势下, 传统火电机组面临着提升运行经济性、保障供电可靠性、实现清洁高效环保等一系列挑战。作为为火电机组提供燃料的主要来源——煤运系统而言, 它的好坏关系到整个机组运行的稳定性、经济性和环保性。然而现有的缺陷是老式控制系统老化、保守的技术造成的信息封闭以及信息孤岛等问题均不能满足智慧电厂实时感知、自动分析、协同决策的要求^[1]。由此可见, 煤炭分散控制系统数字化改造不仅仅是硬件设备更新, 而是一个涉及整体架构重构、数据挖掘利用及运维模式创新的一场变革革命。集成化和模块化作为现阶段工控系统设计理念中两种最先进的理念, 能较好地解决上述问题, 并给出具体解决方案。其中, 前者旨在搭建一体化、开放化数据中心及管理中枢, 打通生产全环节信息壁垒; 后者是基于标准作业单元构建系统框架实现系统可调度性及可持续发展。本文主要对两种设计方案在煤流系统 DCS 数字化改造的应用模式、实现方法及综合效益进行深入探讨, 以期对实践应用起到一定的借鉴作用。

一、核心概念界定与发展驱动力

（一）高度集成与模块化设计的内涵

对于火力发电厂输煤分散控制系统而言，高度集成化和模块化有着特殊的内涵。

所谓高度集成就是指改变了以往那种子系统之间相互链接的形式，而是采取深度整合的方式，以期实现一个覆盖了从燃料到装置监控以及周边环境的安全保护的整体性网络，并且将其延伸至现场设备层、过程控制层、生产管理层乃至企业决策层等多个领域。这种集成的关键不单是共享信息，而是在业务逻辑上进行协调和优化，例如将煤场三维激光扫描结果、皮带秤实时流量值同锅炉燃烧的配煤需求模型进行关联，在此基础上实现准确的发运计划制定及滚动优化^[2]。

系统工程方法论是指在系统设计中将整个系统分解为若干个功能独立、规范一致的模块化系统的方法。模块化设计是自顶向下地将复杂庞大的煤炭运输管理系统分解成一系列功能独立、接口标准、相对独立的硬件及软件子系统的过程，例如可划分为基础控制层，智能处理单元，显示及操作单元，通信单元等。各子系统内部具有较高的内聚性，相互之间采用统一规范的交互方式形成较弱耦合关系。这样单个功能单元可以独立进行开发、测试、维护或者替换，并且尽可能少地影响到整个系统，因此大大提高了系统的可靠性和灵活性以及适应新的技术能力。

（二）政策、技术与经济多重要求

作为煤炭输送的集散控制系统，其功能的集中集成化、系统模块化是必然的发展趋势，这主要是由以下几方面的原因决定的：

首先，国家战略以及国家产业政策的影响，在能源领域包括电力管理方面实现自主可控已经成为国家战略需求；而采用模块化设计开发具有自主知识产权的国产化的 DCS 控制系统是解决核心技术受制于人以及断链风险的有效手段之一。进而形成稳定的煤炭运输管理工作基础。另外，在新电力网络下，煤电的作用将转变为一种可以灵活变化的电源，这也就意味着诸如煤炭运输等配套设施能够快速地对电网发出的指令做出反应，而高集成化的智能控制管理系统是实现这一目标的前提保证。

第二，技术迭代融合是内生动力。物联网、人工智能、虚拟孪生、大数据等新兴信息技术日趋成熟，并能提供诸多有益于煤炭运输系统高效智能的手段方法，但如何将其有效应用于实际工厂就必须对其进行模块化设计，可灵活应用及管控并兼容于传统控制流程中，例如将 AI 警示模型作为高层次之资料运算方法纳入生产控制区，在不需数据离域的情况下即可达成智能分析与管控反馈的功能。

最后，还面临如何降本增效实现可持续发展的现实问题。随着电力市场化改革以及环保成本内部化，持续压减火电厂利润空间。运用智能化管控一体化平台能够准确掌握存煤量、存煤质、设备状态，由此优化混燃策略降低燃料成本，并进行预测性维护以防止非计划停机带来的损耗；另外其模块化设计可以有效降低长期使用及升级所需的技术费用，具备可拆卸和可扩展的功能，

延长系统的使用寿命期^[3]。

二、高度集成与模块化设计在火力发电输煤分散控制系统数智化中的应用

（一）构建统一管控平台

一是应采用集散控制系统架构对运煤系统进行改造设计，将原有的独立分散的程序控制单元、监视单元以及安全保护单元整合到统一的智能管控平台上，在该平台上集中管理和监控所有皮带机、碎煤机、装车机等运煤设施设备。二是可以利用规范化的数据接口将智能化储煤厂管理、厂区视频监控、燃煤分析及厂级信息监控整合为一体，形成整体性的数据库，在此基础上各种功能以模块化的方式进行实现，如基础的逻辑控制、智能巡检解读、三维数字仿真、环保降尘联调等功能均是一个单独的功能模块。若需新增例如基于图像处理技术的手工链断判别等功能，则不必重做一套系统，只需要编写或导入相应智能分析算法程序，再经由平台标准服务接口整合授权即可快速投入使用。这种构建方式使得安徽省钱营孜电厂等项目实现了从单元制机组到厂内外全系统的输煤过程一体化智能管控。

（二）集成算法模块与数据驱动优化

新框架为智能算法提供实现的数据和环境，而模块化意味着算法是受控和可复制的。

简而言之，这个系统收集到的大规模数据和历史数据是机器学习算法设计和运行的动力源。因此一系列专用算法模块被开发出来，并嵌入到系统中。例如智能报警分析和故障诊断模块可以实现对设备运行参数在微秒级别的实时处理，自动识别老化趋势并提前预警，以达到避免事故的目的。智能配煤混合燃烧模块是基于煤炭场多元化的煤质信息及锅炉即时需求进行实时优化计算最优混煤方案，并指导抓斗式装车机对煤源做出正确选择，实现了配比从估算到模型计算的飞跃。例如，靖煤白银热电公司将自回归外部输入模型技术和动态矩阵控制等先进控制方法应用到轻型模型模组中，进入分散控制系统的深层次部位，实现了对包括深度调峰在内的复杂工况下的燃油、给水、脱硫等各个环节的高度自动控制，大大提升了控制精度及机组稳定性^[4]。

（三）贯通燃料信息与敏捷业务响应

实现电厂燃料管理全链条精细化管理和业务敏捷性响应是高度集成性和模块化带来的价值体现。

整合后将燃料从采样到使用的过程全部串联在一起，包括车船载煤取样检测报告、三维激光扫描生成的煤堆立体仓储模型以及煤质温度分布云图、皮带运输瞬态流数据信息及其累计值，直至燃煤锅炉燃烧过程在线动态数据等。以上都可以在同一平台上可视化地展现出来，并加以综合分析，这样管理者可以随时掌握全场燃料的数量、质量、位置及费用情况。

基于融合的数据，可使各模块化的管理工具高效工作。智能化安排部分根据发电机组负荷计划、煤量储备以及混燃需求自动生成最优入炉配煤指令，设备状态诊断部分则根据采集的振动、温度等信息预测重要设备寿命。而且下达预防性检修指令，将应

急抢修变为预检维修模式，当电网需要发电机快速响应及深度调峰时，此综合平台能灵活管理从燃料到锅炉点火的一系列过程，并由模块化控制策略确保各支系统平稳及时地跟踪主控指令，从而维护电厂在新型能源网络中的灵活性能力^[5]。

三、实施效益与未来挑战

（一）提升运营安全与可靠性

采用集成化、模块化数字智能化煤炭运输系统管理平台的最大优点是安全稳定运行得到了很大提高，自主开发的全模块化的软硬件能够充分保障整个供应链和核心控制系统更加安全可靠地运行。全方位监控检测和智能预警可以及时识别输送带跑偏、撕裂、卡堵以及电机超温等问题，并自行处理，相对于传统的人员巡检及主观推测而言更为有效。例如基于机器人的智能化巡检技术可以利用其安装的精密传感器，使得巡检效率比人工更快更高，避免了人员进入高危区域检查。同时由于系统具有冗余设计以及各模块可热插拔的功能，因此单个设备发生故障也不会导致整个系统瘫痪，也使得维修工作更加容易便捷。

（二）实现显著经济效益

这种转变带来了可量化的经济效益以及环保效益。就经济角度来说，准确的煤混配以及整个环节中消耗控制大大降低了能耗成本，提前对设备进行检测并更换以防故障发生，一方面降低了非计划停机时间和次数，另一方面避免了巨大的电耗损失。自动化及智能化程度提高后，其工作强度降低、人员配置减少，可实现在电厂内部无人值守操作，节约人力成本投入。据调查表明，智能化改造之后，每年可以节约大量标煤，并且年综合效益高达上千万。在环保方面，集成式智能喷淋设备及喷雾机将根据测尘仪检测的数据自动打开或关闭，这样就尽量地减少粉尘污染，优

化的燃烧技术和较低的煤耗率也将间接降低二氧化碳、硫化物以及氮氧化物的排放量^[6]。

（三）面临的挑战

就其经济效益而言，精准配煤和各环节能耗控制降低了用能成本，提前检测设备并更换易损部件可有效预防停机事故，并降低大功率用电量。随着自动化的程度提高以及智能化水平的提高，减少了劳动力的需求，在电站内部可以做到无人看守下运行，省去人工成本。相关研究表明，智能化改造以后每年节约的燃油量是巨大的，并且每年总的收益金额超过一千万。从环境保护的角度来看，集中式智能喷淋系统及喷雾设备会根据粒度传感器反馈的数据进行自动开关控制。有利于最大限度地降低粉尘污染。更为有效的燃烧技术以及较低的煤耗也将间接降低 CO₂、NO_x 的排放量。

四、结语

综上所述，高度集成化的特征及模块化的架构不是彼此割裂而独立存在的特性，而是彼此相互依存、相辅相成地推动火力发电厂输煤系统分散控制系统走向智能化的载体。前者是实现信息交互、协同工作的“智慧骨架”，后者是能够实现弹性、可扩展以及持续进化的“基因序列”。两者组合在一起已在国内众多火电厂的实践中证明了其对于提升系统安全性、经济性与兼容性的可行性。这既是适应当前能源发展新形势的要求，更是面向能够深度参与可再生能源消纳以及支撑新型电力系统安全稳定运行的智能火电厂的发展选择，发展方向应该在持续技术创新的同时，在标准制定、管理变革等方面同步发力，最大程度释放智能化改造动能。

参考文献

- [1] 吕超伦. 基于 DCS 的电厂燃煤锅炉优化控制系统设计与实现 [J]. 科学技术创新, 2025, (19): 74-77.
- [2] 杨洪芳. 火电厂 DCS 系统数据异常识别与处理方法研究 [J]. 锅炉制造, 2025, (05): 62-64.
- [3] 陈桐. 火电厂 DCS 系统温度测点异常跳变原因及防范 [J]. 电力设备管理, 2025, (15): 79-81.
- [4] 王永兴. 自动化仪表故障 DCS 诊断与远程维护技术 [J]. 中国仪器仪表, 2025, (07): 89-92.
- [5] 吴泽刚, 王安熠. 基于 DCS 系统的火电厂智慧监盘技术研究 [J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(07): 110-112+115.
- [6] 郭晓娇. 浅析核电厂 DCS 控制系统老化问题的优化管理策略 [J]. 中国设备工程, 2025, (S2): 63-65.