

# 智慧电厂建设研究

钱澄浩 张 静

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川 成都 610021)

**摘要:** 建设智慧型电厂逐渐成为了新时代的追求目标和发展趋势,但目前仍处于探索研究阶段。基于当前智慧电厂的发展现状,对智慧电厂智能感知、智能控制、智慧管控3层架构进行了规划和诠释,并提出了一种电厂二三维联动监控的实现方法。此外,根据国家“互联网+”智慧能源发展战略重点推行的多能流协同供应和梯级利用要求,对首次在工程中运用和实施的多能流管控系统架构进行了研究,分析和总结了工程设计特点,并对其具备的功能进行了展望。

**关键词:** 智慧电厂;管控;联动监控;多能流

**Abstract:** The construction of smart power plant has gradually become the goal and trend of the new era. Based on the current development of smart power plant, the three layer architecture of smart power plant, that is, intelligent perception, intelligent control and smart management and control, is programmed and interpreted. A method of two-dimensional and three-dimensional linkage monitoring for smart plant is proposed. Besides that, according to national development strategy of "Internet plus" for wisdom energy, coordinated supply and cascade utilization of multi-energy flow are the key points. The architecture of multi-energy flow management and control system is studied, which is firstly applied and implemented in engineering project. The characteristics of engineering design are analyzed and summarized, and the possessed functions are described.

**Key words:** smart power plant; management and control; linkage monitoring; multi-energy flow

中图分类号: TM62 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0087-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.021

## 0 引言

2010年以后,随着中国“智慧中国”、“智慧城市”、“智慧园区”建设的蓬勃发展,智慧化建设逐渐从社会公共服务、市政建设向基础工业领域拓展。在“互联网+”时代发展的大背景下,云计算、大数据分析、移动互联网等优势技术不断进入人们视线,将先进科学技术与复杂电力能源系统进行有效结合,进而提升生产经营的管控力度,已成为电厂建设所追求的新兴目标,智慧电厂的概念也因此应运而生。但毕竟智慧电厂概念引入时间较短,对智慧电厂建设的构架和模式尚缺乏相应规范和标准,目前有业内人士认为智慧电厂是传统电厂建设的基础上增加一套智能系统<sup>[1]</sup>,也有的认为智慧电厂的建设应与德国“工业4.0”理念对接<sup>[2]</sup>。基于此,通过分析当前研究热点及各技术流派特点,规划了智慧电厂的整体架构,设想了相关功能,并对功能实施进行了阐释。

分布式能源采用清洁能源或可再生能源为用户供能,分布式能源站通常分布在集中负荷点附近,具有负荷响应迅速、能源供应直接等特点。其中,天然气分布式能源站对外输出通常存在着冷、热、电、蒸汽等多种能流形式,根据用户端对能源的不同需求,实现能源的对口供应,在实现能源效能最大化的同时,将输送环节的损耗降至最低,这符合中国现行负荷使用和调度模式,也是国家“十三五”期间能源规划的发展趋势。同燃煤电厂相比,天然气分布式能源站机组类型更小、工艺流程更简单,使其更具备智慧电厂的建设条件。近年来,针对天然气分布式能源站多能流高度耦合供应的特点,以及如何快速响应负荷需求,有学者提出了综合能源系统多能流的计算方法,并进行了相应的建模研究<sup>[3]</sup>,已具备了在工程中应用的能力。在成都某分布式能源站工程中首次落地实施多能流管控系统,这里将针对工程实施方案进行总体设计和分析,为实现分布式能源站的智慧运营提供有力的支撑。

# 1 智慧电厂的架构

智慧电厂的架构应用一方面仍依赖于工艺系统中基础仪控测点提供数据的准确性及控制系统的可靠性;另一方面离不开对全厂进行三维精细化的建模。在此基础上,通过大量智能设备和网络设备的应用对电厂人、机、料、环、法进行全面地管控,并能进入能源互联网实时进行分析和决策。智慧电厂的架构应包括智能感知层、智能控制层、智慧管控层,如图1所示。

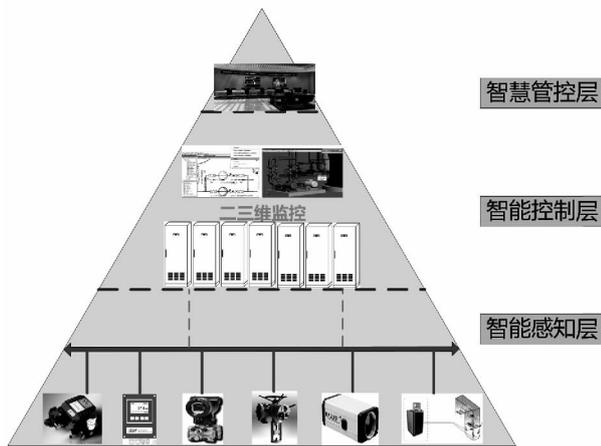


图1 智慧电厂架构示意图

## 1.1 智能感知层

智能感知属于物联网范畴,是覆盖面更广、颗粒度更细、更精深的感知。对智慧电厂而言,智能感知的范畴包括生产领域和非生产领域。

对生产领域的感知,现场总线技术在目前热工自动化领域的应用已日趋成熟,除可靠性要求较高的保护系统以及实时性要求较高的控制回路外,现场总线的适用范围可包含大部分的仪控和电气设备。采用现场总线技术除能获得采集的过程信息外,还能为控制系统提供丰富的设备状态、管理和诊断信息。

而借助于数字摄像头、无线定位传感器、RFID射频芯片等新型传感器技术,智慧电厂将数字化和智能化延伸到了电厂的非生产领域。采集的数据范围包括:实时视频信号、实时环境数据、实时安防数据、人员位置坐标、建构物数据、生产管理信息等。智能感知层的典型功能应用是实现电厂人员的定位及智能巡检,即在三维虚拟电厂中预先设定巡检路线,巡检人员可借用手机APP对设备二维码进行

扫码完成巡检记录。当班值长可在三维虚拟电厂中,查看全厂运维人员的行走轨迹并调出视频画面,当人员接近危险源区域会自动提醒该人员远离危险源,并在虚拟电厂中发出报警。

可看出,智能感知的目的是通过遍布全厂的智能仪控设备和传感器构建全厂物联网,可测量和感知、可识别与定位,最终形成信息、物理融合的一体化数据平台<sup>[4]</sup>。

## 1.2 智能控制层

智慧电厂在控制层面,除采用已具备成熟技术的厂级分散控制系统(厂级DCS)<sup>[5]</sup>和机组无限点自启停控制系统(APS)。系统的智能化还体现在智能的运行优化、逼真的在线仿真、二三维联动监控等几个方面。

对建立的大数据平台运用模糊神经元等人工智能分析和自学习技术<sup>[6]</sup>,从中发掘出有价值的信息,可以使数据平台从被动数据系统变成主动表达的智能数据系统,控制系统能实现对机组运行的优化控制。例如在燃煤电厂中,每层每路燃烧器的风煤配比一直是控制系统调节的重点和难题,但综合负荷需求、燃料状态并结合炉膛内部激光传感器获得实时数据,智能控制系统能运用优化算法对风门开度、风粉浓度和煤粉细度等输出最优控制。

传统电厂仿真功能由于仿真数据与电厂实际工艺系统热力特性差异较大,因此常用于培训使用,但智慧电厂通过在线仿真系统,可接受机组的实时运行数据,能对机组运行过程进行回放,对于已通过仿真验证适用的逻辑组态,可下载至控制系统,指导优化控制。

在操作台上实现操作的二维画面和对应三维模型的联动,达到用透视的眼光,观察设备运行状态,并在需要时调出现场视频画面,已成为智慧电厂运行人员的希望。一种可行的技术解决方案为:电厂三维模型接入全厂一体化数据平台,并与生产监视系统(SIS)、全厂视频监控系统(CCTV)进行数据关联,通过数据接口将DCS操作指令实时传输至一体化数据平台。此外,在操作台上的双屏应分别接至DCS操作员站和一体化数据平台操作员站。二三维联动监控的实施方案如图2所示。

## 1.3 智慧管控层

智慧电厂管控层的根本目的是实现电厂的智能运营,主要体现在智能运维、智能诊断、智能安防、智

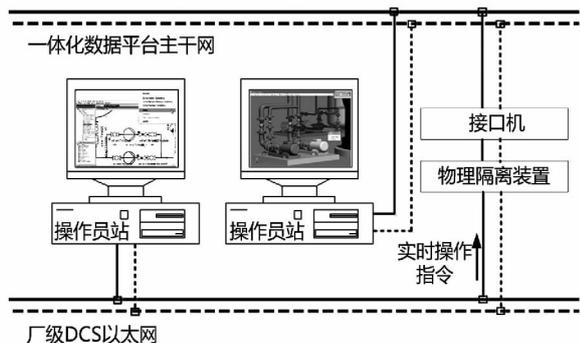


图2 二三维联动监控示意图

能决策4个方面。

1) 智能运维: 将基于时间周期或者使用频率的传统设备检修方式, 改进为以大数据为基础, 实现以设备可靠性为中心的维护策略。通过制定基于设备健康状态的检修实施计划, 能最大限度地防止设备过修或欠修, 进而再对电厂备件库进行优化管理。

2) 智能诊断: 结合专家规则推理及建立辨识模型, 辨识电厂中关键设备在稳态、变工况和异常情况下的性能, 给出控制参数调整方案。对异常数据的相关性分析, 形成卡涩、粘滞、堵塞或泄漏故障的辨识模型, 制定故障云策略库, 进而达到能辨识某台设备的某个元件出现了问题, 以及应该采取何种措施去处理。

3) 智能安防: 将全厂火灾报警和消防控制系统、门禁一卡通系统、电厂周界防范及电子巡更系统、安保数字视频监视系统进行整合。改变以往各系统之间功能上不关联互助、信息不共享互换的孤岛状态, 各系统之间可根据报警级别预定义多种应急预案, 依据触发条件实现如消防联动、安防联动、应急处置等功能。

4) 智能决策: 其一可通过对大数据的分析并结合专家系统诊断结论, 对厂内设备、系统进行状态评估、风险评估, 给出预知保养方案, 并能对设备和系统能耗进行建模分析, 找出具有节能空间的设备进行优化改造; 其二能在大数据平台上开发出机组可用性模型、发电成本模型、负荷需求预测模型等, 辅助电厂制定生产计划及报价决策, 指导电厂的经营驾驶。

## 2 分布式智慧能源站多能流管控

天然气分布式能源站作为最适合智慧电厂建设

条件的发电站, 其建设方向通常纳入到所在智慧园区规划中, 这使得分布式能源站需智慧感知其终端负荷需求随季节、昼夜和使用时间呈现多周期的变化规律, 因而对能源供应提出了更严格的要求<sup>[7]</sup>。多能流管控系统正是面向智慧园区这一对象而提出的, 与电厂本身的控制系统不同, 多能流管控系统控制对象包括电厂、厂外电/热网管线、用户负荷以及储能装置等, 能通过远程在线监测供能侧运行工况及用能侧信息, 实现智能化分配调控<sup>[8]</sup>。

### 2.1 多能流管控系统架构

多能流管控系统需要一套适应调度系统及用户侧需求的数据平台, 并同时满足电、热、冷、天然气、蒸汽等多能流的综合能量管理。系统网络架构可以分为上下两层, 如图3所示。可以看出, 整个系统的硬件包括: 应用服务器、数据库服务器、磁盘阵列、核心交换机等。多能流管控系统的上层架构, 能通过公司专网和网络两种方式获取外部数据, 根据上级公司的调度要求以及负荷侧需求, 结合对智慧能源站的综合评估, 实现多能流的能源交易、能源调度和能耗分析。

多能流管控系统与能源站的接口在系统下层网络。能源站计量系统、控制系统、电气监控系统和远动设备通过约定的通讯协议, 将数据以冗余通讯方式进行上行传送; 同时, 多能流管控系统服务器、上位机、工程师站, 能对接收的数据进行监视、存储和管理。需注意的是与能源站控制系统的接口, 上行通讯传输须经过接口机和单向隔离装置, 而下行传输则能通过RTU装置将系统分析的结果转为硬接线信号接至厂级DCS系统, 下达信号主要包括: 机组发电量、发热量、制冷量等信号, 再由能源站控制系统实现相应的运行工况。

### 2.2 多能流管控系统设计特点

同传统电厂相比, 分布式智慧能源站在进行多能流管控系统工程设计时, 具备以下两个特点:

#### 1) 额外的测点要求

多能流的电网和热网系统潮流建模及解耦算法目前已有成熟技术<sup>[8]</sup>, 但模型功能的实现除获取设计和运行参数外, 还需在工艺系统上设置额外的测点。主要包括冷、热、天然气主管道及支管道首末端设置管内瞬时流量、压力、温度测点; 燃气轮机、发电机、余热锅炉、汽轮机、燃气锅炉、制冷机、蓄热罐设置工作物质进出口流量、温度、压力; 厂内主要断

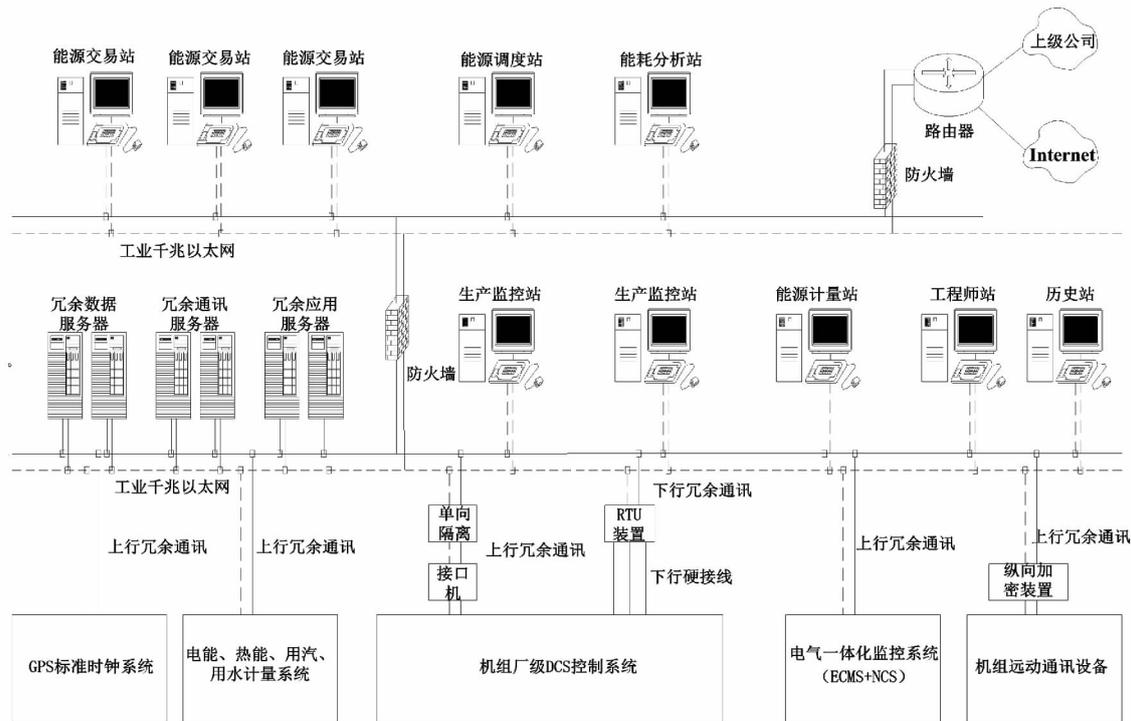


图3 多能流管控系统网络架构示意图

路器和开关开合状态、两侧瞬时电压、电流测点。

### 2) 特殊的监控方式

多能流管控系统监控中心位于分布式智慧能源站内,有专用的控制室、工程师室、大屏显示墙、电子设备间及配套公共用房,虽独立于能源站集中控制中心,但相互之间又有密切的联系。成都某分布式能源站工程,在集中控制室操作台和值长台上,分别布置了2台多能流管控系统操作员站和值长站,同时集中控制室和多能流控制室大屏进行信号通讯,实现画面的互相调取。

### 2.3 多能流管控系统功能展望

多能流管控系统能在供能侧实现:

1) 多能流数据采集及监控,包括实时数据采集和处理、事件和告警处理、网络拓扑着色等,主要用于实现完整的、高性能的、稳态实时数据采集和监控功能,是后续所有预警、控制等功能的基础<sup>[9]</sup>。

2) 多能流的状态感知是多能流管控系统的核心功能,通过对多能流的状态与量测维护、网络拓扑分析、参数辨识与估计等,能实现机组在多种运行模式下多能分配的效率评估。

3) 多能流的优化调度是智慧园区及能源互联微网的发展需求,通过协同可调控的分布式资源,实现不同能源类型的耦合互补与最优流动,达到能源使用效率的提升<sup>[10]</sup>。同时,根据用户负荷预测的结

果,利用不同类型的储能设备,能对能源站内部资源进行实时调度,达到削峰填谷的目的。

多能流管控系统为用能侧提供的优势功能在于节点能价,即通过最优潮流算法,推导多能流模型中节点电价、热价,引导园区用户对用电电热进行选择。

## 3 总结

智慧电厂的建设以自动化、信息化、数字化、智能化为基础,并辅以先进的智能设备和移动互联网技术,对电厂生产能力进行分析和优化,并与社会多能流负荷需求相结合提升生产经营的智慧管控。

智慧电厂建设目标可以总结为:1) 将事后处理前移到事前预警、事中控制,从而有效提高电厂运行管理和经济效益;2) 通过借助于人工智能等先进算法,实现电厂的优化控制、优化调度;3) 利用能源物联网实现跨行业相关信息和数据的优化利用。可以说,智慧电厂的建设将是“智慧园区、智慧城市”中必不可少的一环,其成功运营将会具有划时代的意义。

### 参考文献

[1] 李彦斌, 陈文姣, 杨静. 智慧型电厂[J]. 中国电力企业管理, 2012(5): 47-49.

[2] 田宁. 智慧电厂顶层设计的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016. (下转第94页)

碎系统。

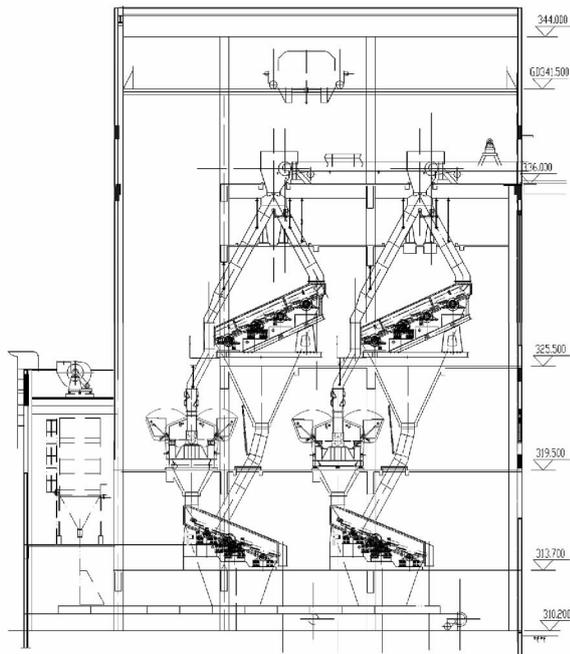


图5 600 MW CFB白马示范电站二级碎煤机室布置图

该电站采用 GFS-2060 型高幅振动筛作为三级细筛, 额定出力为 600 t/h, 筛面尺寸为 2 000 mm × 6 000 mm, 筛孔尺寸为 16 ~ 20 mm, 筛面倾角为 20°、18°、16°, 振幅为 15 ~ 25 mm。来煤经过三级筛后, 仍然不符合粒度的筛上物将进入集料斗集中处理。

白马电厂 600 MW 示范机组于 2013 年 4 月正式投运, 二级筛碎系统运行情况良好, 未发生堵煤情况。电厂每周定期清理二级煤筛和三级煤筛表层, 清理二级碎煤机室落煤管。运行至今, 二级筛碎系统未出现堵煤情况。电厂安装的三级筛筛孔尺寸为 16 ~ 20 mm, 三级筛抛弃的物料基本为 20 mm 以上的颗粒。由于抛弃的物料大部分仍为原煤, 每天电厂用拖斗车将其拉至煤场再利用。

目前电厂平均日上煤量约 6 000 t/d。在二级碎煤机锤头更换初期, 且煤质变化小、二级筛筛条正常的情况下, 每天抛弃物料约 10 t, 占总上煤量的 0.167%。当二级碎煤机锤头出现磨损、煤质较差、二级筛筛条局部破损等情况下, 每日抛弃物料约 20 t, 占总上煤量的 0.333%。

电厂锅炉对输煤系统的要求是入炉煤粒度为 8mm 以上的不超过 5%。电厂输煤运行人员每班对入炉煤进行人工取样, 分析入炉煤粒度, 据此调整碎煤机间隙, 更换破损筛条控制入炉煤粒度。

600 MW CFB 白马机组在采用三级筛后, 对入炉煤粒度级配控制起到了积极作用, 特别是大颗粒部分得到了有效控制, 确保了 CFB 锅炉炉内流化, 床温分布较为均匀, 排渣顺畅, 有效减少了炉膛因局部流化不好造成的炉膛结焦。

## 6 结 论

燃烧低劣质煤是循环流化床锅炉的一个最大的优点。入炉煤颗粒是循环流化床锅炉一个关键问题。在工程设计中, 优化的筛碎系统、正确的选择筛碎设备, 使锅炉燃烧的煤粒更趋近于锅炉的设计值, 从而使锅炉的燃烧达到最佳效果。采用三级筛分系统可有效地控制了入炉煤粒度, 并对入炉煤粒度级配控制起到了积极的作用; 但三级细筛增加了工艺系统环节, 增加了检修维护工作量, 具体工程是否设置三级细筛, 应根据循环流化床锅炉对燃煤粒度的要求确定。

作者简介:

冯 颖(1972), 大学本科、高级工程师, 从事火力发电厂运煤设计。

(收稿日期: 2017-06-27)

(上妆第 90 页)

- [3] 赵日浩, 彭克, 徐丙垠, 等. 综合能源系统分层分布式协调控制方法[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(6): 253-259.
- [4] 张帆. 智慧电厂一体化大数据平台关键技术及应用分析[J]. 华电技术, 2017, 39(2): 1-3.
- [5] 郑强, 张昱, 程曦, 等. 基于厂级 DCS 网络的火力发电厂主辅控一体化监控系统: 中国, 201320652733. 4 [P]. 2013-10-22.
- [6] 杨英. 一种基于模糊逻辑和神经网络的短期负荷预测的方法[J]. 四川电力技术, 2006, 29(4): 7-10.
- [7] 林世平. 分布式能源系统中能源与环境耦合特性及优

化集成模型研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

- [8] 王英瑞, 曾博, 郭经, 等. 电-热-气综合能源系统多能流计算方法[J]. 电网技术, 2016, 40(10): 1-5.
- [9] 孙宏斌, 潘昭光, 郭庆来. 多能流能量管理研究: 挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(15): 1-4.
- [10] 程林, 刘琛, 朱守真, 等. 基于多能协同策略的能源互微网研究[J]. 电网技术, 2016, 40(1): 132-136.

作者简介:

钱澄浩(1987), 硕士、工程师, 从事发电热工自动化设计工作。

(收稿日期: 2017-06-27)