

智慧电厂发展现状及在某厂的具体应用分析

文/山西世纪中试电力科学技术有限公司 杜鸿飞

智慧电厂的本质是信息化与电力生产设备自动化的深度融合，将数据挖掘、机器学习 and 知识应用等人工智能技术贯穿到特定解决方案中，使DCS不再仅仅以控制任务为主，赋予了更多的智能与决策功能。通过智慧发电技术在某火电厂的具体应用，分析了智慧发电的典型技术研究方向，并提出了发展阶段中存在的问题和意见。

智慧电厂的本质是信息化与智能化技术在发电领域的高度发展与深度融合，体现在大数据、物联网、可视化、先进测量与智能控制等技术的系统化应用，主要特征是泛在感知、自适应、智能融合与互动化。通过信息技术实现信息化与电力生产设备自动化的深度融合，促进智慧电厂的建设成为未来发展的必然趋势。将数据挖掘、机器学习和知识应用等人工智能技术贯穿到特定解决方案中，使DCS不再仅仅以控制任务为主，而是一体化地高效实现控制、监控管理和信息处理等全厂自动化功能，从而为企业带来更大的经济效益和附加价值。

在传统神经网络的基础上通过增加其网络层数带来的深度学习的快速发展，突破了传统网络学习的瓶颈。目前深度网络层数动辄上百层，联接参数达到数十亿，训练样本经常达到数千万甚至上亿，这需要在大规模计算机集群上进行数月的训练，需要非常庞大的计算资源。其次，数据的积累，可集中存储处理的数据集大幅度增加，为深度学习提供了数据来源和保障。以谷歌训练AlphaGo为例，共收集了来自15万职业棋手和百万业余高手的棋谱，用到1 000多个中央处理器和近299个图像处理单元进行训练。阿里云平台开发的杭州智慧交通系统，也经历了三四个月的数据采集、数据分析等前期准备工作。由此可

见，高级人工智能的训练所需要用到的数据量是惊人的，越是收集并使用尽可能多的样本，越能训练出高质量的智能系统。

火电厂智能发电发展现状

火电机组由于在运行过程中状态持续变化，内在反应复杂多变，运行调整可控变量众多，仍依赖操作人员经验，无法针对不同工况寻找到最优解。对发电生产过程中大量实时数据的存储和集成，为数据建模及业务应用提供有力的数据基础。当前，运用大数据分析以及先进的优化算法和技术来改善机组运行环境，提高机组效率，得到众多科研院所和高校相关专业人士的认可，新的控制策略、新的优化算法不断被提出，并已经在部分电厂、部分机组应用实施。在保证机组安全运行的前提下，如何能够根据机组当前运行状态，不需人工干预，自动进行机组运行优化调节，就要求运行优化调整方案，经过反复多次的实际验证后，保证安全有效，才能将相应的运行优化调整方案实施应用于实际电厂机组。

现有电厂热力系统运行优化系统在设计定位上面，无论是处理结构化问题还是处理半结构或非结构化问题，都是根据当前机组运行情况，计算出相应的参数或过程对机组性能的影响值，并给出影响该运行参数或过程的几个可能的操作方

案，但最终还是将机组热力系统优化判断的决策问题留给了机组运行人员。然而在机组热力系统运行优化调节中，限于运行人员的经验，或人为的干扰因素，机组往往不能运行在最佳状态。采用对机组运行过程中历史数据进行数据挖掘来确定机组目标值，数据挖掘研究的最终目的是将数据挖掘算法进行实际应用。目前对于火电厂大数据的研究主要分为4个方面：运行优化方面、故障分析方面、重要运行参数预测方面以及运行和绩效考核方面。

在智慧发电方面，对于常规火电厂，西门子、GE等部分国外制造厂商，将关注重点集中在区域数据共享与可视化辅助运维技术的应用方面。而国内，目前智深公司建成了我国首次应用的燃煤火电智能（Intelligence Control System, ICS），实现了能效分析、运行优化、控制优化和设备优化状态监测相结合的智能发电技术应用，应用范围已覆盖单元机组、公用系统和辅助系统等全厂所有生产环节，做到智能发电平台在火电厂的全面覆盖，开创了燃煤火电底层控制操作系统全面国产化和首次智能化的新时代。

在设备检修方面，目前发电设备常规的监测手段均采用绝对值报警，当运行参数超过设定值时产生报警提示，因此发电设备状态检修仍基本上停留于事后处理。这种单一的监测手段难以及时发现设备的早期征兆，并对其发展趋势进行跟踪，大大增加了设备故障最终导致被迫停机的概率。通过智能诊断技术为机组运行提供预警信息，变被动检修为主动检修，变非计划停机为计划停机，避免设备问题或故障影响扩大，则能在节约生产成本，提高发电企业的市场竞争力上发挥更大的潜能。

智慧发电技术在某火电厂具体应用

数据挖掘技术（Data Mining）是通过分析每个数据，从大量数据中寻找其规律的技术，主要有数据准备、规律寻找和规律表示3个步骤。数据挖掘的任务有关联分析、聚类分析、分类分

析、异常分析、特异群组分析和演变分析等。将长期存储在数据库中的大量的机组运行数据研究分析，从机组运行数据中“挖掘”有价值的信息，以一定的数学方法获得指导机组运行的优化模型。神经网络具有算法简单、较强的自学习和非线性逼近能力的特点，可辨识具有很强非线性、难以用模型等描述的系统，在非线性对象建模和扰动消除控制中得到广泛的应用，具有简捷、可靠和鲁棒性强的特点。遗传算法是建立在自然选择和群体遗传学机理基础上的随机迭代和进化，具有广泛适用性的搜索方法和很强的全局优化搜索能力。它是一种种群型操作，该操作以种群中的所有个体为对象。本文在利用机组已有测点数据的基础上，通过挖掘丰富的电厂分散控制系统（Distributed Control System, DCS）、监控信息系统（Supervisory Information System, SIS）历史运行数据，通过大数据分析，通过深度学习建立仿真模型，对机组控制策略进行优化。

火电机组运行过程中，锅炉的状态调整是保证整个机组经济运行的重要基础工作。某电厂智能优化系统项目利用已有机组DCS测点数据，一共采集950个不同类型测点数据，采集样本时间段为近3年历史数据，采样周期为1 s。该工作历时近1个月的时间，第二阶段模型的建立和样本的训练，历时近2个月的时间。通过大数据分析和人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术，从而实现发电过程中运行效率的提升。

1. 系统总体设计

通过直观界面，为操作人员提供各控制参数的优化指导意见，辅助提升燃烧效率。某厂智能锅炉优化系统流程图如图1所示。

2. 智能锅炉优化方案

针对某机组采用纯数据驱动的技术方案，不依赖传统基于物理模型的锅炉燃烧仿真模拟，挖掘丰富的电厂SIS历史运行数据，通过深度学习建立仿真模型，并使用深度强化学习的方法对锅炉燃烧策略进行优化。同时，根据电厂实际操作

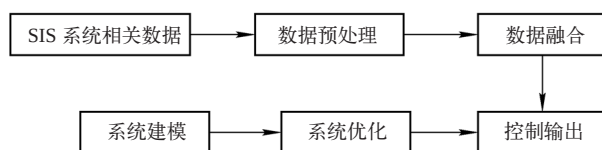


图1 智能锅炉优化系统流程图

习惯，采用图形交互界面进行显示，显示信息包括推荐操作参数、生产状态参数。图形交互界面分为机组总览、气水系统、风烟系统、二次风系统、制粉系统和吹灰系统等。通过直观界面，为运行人员提供各种控制参数的优化指导意见，提升燃烧效率。

系统总体流程可分为两个部分：① 锅炉燃烧

系统建模，构建燃烧系统仿真模拟器；② 基于深度强化学习的锅炉燃烧优化。首先通过收集机组SIS系统里的历史运行数据，经过数据清洗、整理和分析后生成一个大规模的锅炉状态（state）- 动作（action）- 奖励（reward）数据集。此数据集为锅炉燃烧系统仿真模拟器训练和强化学习优化的基础。优化算法流程图如图2所示。

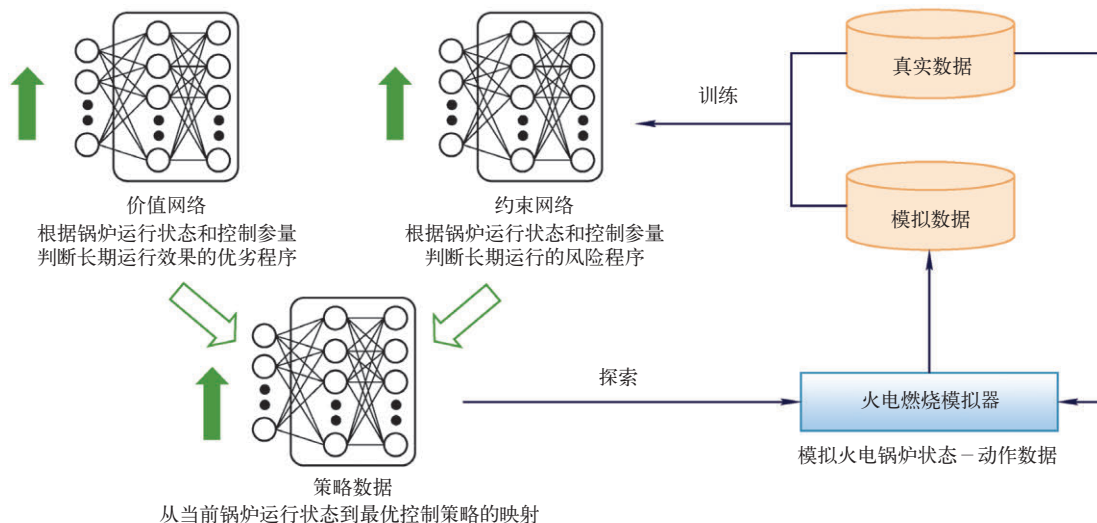


图2 智能锅炉优化算法流程

在线锅炉燃烧优化控制技术，摒弃了传统的主要根据偏差反馈信号调节锅炉主要运行参数的方法，最大限度地实现锅炉精确的前馈控制理念，根本性地提升锅炉控制的灵活性。

3. 问题及建议

1) 多数智能系统数据来源均采用SIS系统，在进行实时在线优化调整时，是否能够满足优化系统准确度要求，另外优化系统本身对SIS系统有无影响，刷新速率是否变慢，很多虽是采用单向通信，但对SIS系统及网络安全有无影响，与DCS系统的通信、数据推荐值确定以及控制时无扰切换等问题，需要引起相关人员密切关注。

2) 智能锅炉优化系统由于不依赖传统的物理模型，而采用纯数据驱动技术，实际系统中设备如果更换，或单个或部分挡板门特性发生变化，此时原优化系统算法模型需不需要重新训练或优化，还是可以继续提供合理推荐值，仍需探讨。

3) 现某个约束条件触发时（比如气温、气压偏差大时），此时优化系统是发出闭增闭减建议，

还是停止优化推荐值提供，也应引起足够关注。

结束语

客观上讲，笔者认为目前智能发电技术还远未成形，甚至仅仅停留在构想阶段，真正智能电厂系统架构分成生命周期、系统层级和智能功能三个维度，其中：生命周期维度包含电厂资产从诞生到消亡的全生命周期阶段，包括设计、制造、安装、运维和退役等一系列相互联系的环节；系统层级分为发电系统及设备层、监控装置层、车间层、电厂层和互联网层5层；智能功能层级为感知/执行、通信、信息、功能和业务等5层，仍有很长的路要走，完善优化的领域还很多。

此外，火电智能控制系统的发展方向也可是在一定规模发电集团的技术研究院或电力科学研究院建设智能发电技术中心，集中进行智能化技术的研发和应用，各个发电厂和发电机组向该中心传送实时数据和信息，实现数据共享和高效利用，并从该中心获得智能控制、智能运维和智能管理等方面的技术支持。EA