

# INFIT智能燃烧控制系统在超超临界火电机组的研究与应用

冯 冰

宁夏银星发电有限责任公司 宁夏 银川 750411

**摘要:** 针对当前国家火电燃煤的紧张状况,超超临界机组实际煤种大幅偏离设计的情况,造成锅炉运行效率明显下降。结合国内某660MW超超临界机组实际情况,对影响炉内过程的因素及受炉内过程影响的锅炉参数或指标展开分析,输出参数及指标的变化规律及数学模型。获得燃烧智能控制算法及策略,对锅炉燃烧进行相应的控制调整。通过可行性和经济性的分析,将INFIT智能燃烧控制系统应用在超超临界火电机组上。

**关键词:** 火力发电厂;智能燃烧控制;节能;优化

## 1 项目背景

某发电有限责任公司2×660MW超超临界燃煤汽轮发电机组,锅炉为高效超超临界参数变压运行直流炉、单炉膛、一次再热、平衡通风、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构,锅炉采用紧身封闭、II型布置锅炉。受煤炭市场供应趋紧影响,机组煤质大幅偏离设计条件,设计校核煤种热值在17000-20000kJ/kg之间,实际平均热值仅13000-15000kJ/kg,锅炉运行经济性下降,炉内NO<sub>x</sub>生成量大,液氨耗量高。

当前国家政策对于火力发电节能环保预期进一步提升,为紧跟行业潮流,保证企业发展,承担企业社会责任,计划实施机组锅炉燃烧控制系统改造项目。考虑将采用南京某公司INFIT智能燃烧控制系统实现燃烧控制系统升级换代。项目实施后,不仅节能收益相当可观,安全性也会得到进一步提高。

INFIT智能燃烧控制系统是由南京某公司研发的模块化框架系统。该系统针对电厂实际运行中炉内燃烧出现的问题,允许有选择地组合模块框架,在大数据挖掘分析基础上确定控制算法、策略嵌入模块框架,生成更贴近实际更具有针对性的新燃烧系统。新系统通过外挂PLC跟原DCS之间的数据交互,全部或部分接管炉内燃烧控制,以此达成对锅炉机组燃烧控制系统的优化及存在问题的解决。

## 2 项目建设必要性及可行性

某发电有限责任公司2×660MW机组锅炉风烟系统六大风机厂用电率2.2%,同类机组优秀水平在1.7%以下,其中引风机1.1%、一次风机0.4%、送风机0.15%左右。对比之下,某发电有限责任公司两台机组电耗率水平偏高。风烟系统高电耗率还反映出锅炉出口烟气量的上

升,同样排烟温度下,排烟损失将会同比例升高。

炉内NO<sub>x</sub>生成控制上,某发电有限责任公司2×660MW机组采用手动人工模式。设计值200mg/Nm<sup>3</sup>以下,实际均值水平在近300mg/Nm<sup>3</sup>,变工况下波动幅度在200-500mg/Nm<sup>3</sup>之间。NO<sub>x</sub>生成量大抬升了脱硝系统液氨耗量,液氨消耗26吨/亿千瓦时。变工况下NO<sub>x</sub>生成波幅巨大,将引起喷氨高频次大幅度超调,不仅增大液氨消耗,还造成氨逃逸率升高,大幅增加空预器堵塞风险。

上述情况部分是燃煤煤质变化引起,更主要是燃烧控制系统算法、策略陈旧,不能满足机组实际需求。近二十年国内锅炉机组容量不断扩大,设备技术水平快速提升,但控制系统水平仍停留在上世纪八十年代引进机组水平。

INFIT智能燃烧控制系统以自有的机组大数据挖掘技术,通过详尽的历史数据分析计算,大量应用模糊控制、预测控及自适应等先进控制技术,形成专用于机组当前边界并具备一定范围内的自适应功能的先进控制算法及策略。INFIT智能燃烧控制系统可以在改善运行安全性基础上,同时兼顾锅炉六大风机、磨煤机厂用电率及燃尽率,并将炉内NO<sub>x</sub>生成控制(SCR入口NO<sub>x</sub>)纳入自动闭环控制,解放人力同时,有效调降SCR入口NO<sub>x</sub>浓度及变工况下波动幅,大幅减少喷氨超调及氨逃逸率,减少液氨耗量并控制空预器堵塞风险。

若两台机组六大风机及磨煤机厂用电率下降0.2%,排烟损失下降10%,以发电煤耗290g/kwh,排烟损失4%计,单机可获得0.7g/kwh的标煤耗降幅,按单机年发电量35亿kwh、910元/吨标煤价,仅此一项每年节约标煤2450吨,折合人民币222.95万元。这还未计入厂用电率下降带来的上网电量的增加部分收益。

项目实施后NO<sub>x</sub>生成均值可下降10-15%，波动幅度大幅缩减至上下60mg/Nm<sup>3</sup>以内。液氨耗量下降15%及以上。按单机年发电量35亿千瓦时，单机每年液氨耗量减少140吨，折合人民币47.5万元。

上述各项累加，单机将获得0.7g/kwh的标煤耗下降，液氨耗量减少140吨/年，年度收益折合人民币270.45万以上，预计半年即可收回全部投资。

### 3 项目实施方案

本项目以某发电有限责任公司2×660MW旋流对冲超超临界机组燃烧系统为特定研究对象。研究旋流对冲燃烧方式下炉内燃烧过程规律。对影响炉内过程的因素及受炉内过程影响的锅炉参数或指标展开分析，研究不同扰动下，锅炉炉内过程与锅炉输入、输出参数及指标的变化规律及数学模型。获得燃烧智能控制算法及策略，嵌入INFIT智能燃烧控制系统模块，应用于某发电有限责任公司2×660MW机组，达到预期的节能、减排技术目标。

#### 3.1 燃烧控制系统动态特性研究及数学模型建立

运用数据深度挖掘技术，对锅炉燃烧系统所有工况下相关参数的动态特性展开分析，在大数据归纳分析及理论分析基础上，建立燃烧过程关联数学模型。主要包括：旋流对冲燃烧方式下炉内温度场、流场分布特征研究；主再汽温及受热面壁温动态特性研究及分析；炉内NO<sub>x</sub>生成的动态特性试验研究及分析；低氧方式下炉内CO生成动态特性研究及分析、一次风制粉系统各主要参数动态特性研究及分析等。

#### 3.2 INFIT智能燃烧控制系统模块选择

按项目技术目标，INFIT多目标智能燃烧控制系统组合以下子模块：

- 1) 制粉系统控制模块。
- 2) 一次风制粉系统联合优化控制模块。
- 3) 风量控制模块。
- 4) 二次风分级配风模块。
- 5) NO<sub>x</sub>生成控制模块。

#### 3.3 六大风机能耗调控

INFIT智能燃烧控制系统以一次风压、磨煤机通风量及制粉系统阻力调控作为主要策略，采用一次风压、通风量、冷热调门在线自寻优控制算法，在保证磨煤机干燥出力和送粉出力基础上，调降一次风机能耗。

送风系统作为低风压系统，能耗占比不大，六大风机能耗调降中不作为考虑方向。

引风机能耗在六大风机中占比最大，影响因素有烟气流、空预器漏风及烟道阻力几个方面。INFIT风量模块将根据自有研发量化关系模型，在降低空预器一次风

漏流量、优化入炉风量两方面展开，有效调降引风机能耗；新系统增加在线自寻优功能，在允许安全范围内自动保持相关综合性能最优。

#### 3.4 未燃尽损失的降低控制

未燃尽损失与入炉总风量、炉内流场局部过量空气系数及煤粉细度相关。调控手段上与风机能耗、磨煤机电耗及NO<sub>x</sub>生成控制相反。

INFIT系统采用预测控、模糊控制技术，在更低的人炉过量空气系数基础上，获得未燃尽损失、风机能耗、磨机电耗及NO<sub>x</sub>生成综合最佳输出。

#### 3.5 排烟损失控制

排烟损失控制上分成空预器出口烟气焓及烟气量调控两个方面。

INFIT一次风制粉系统联合控制模块设置了一次风风压及磨后温度智能控制功能。在许可范围内、保证制粉干燥基础上，综合计算一次风制粉系统阻力，实时在线智能调降一次风风压，减小空预器漏风；磨后温度的控制从保证干燥出力及提升空预器X比两个方面综合考虑，尽量增加一次风热风量，以减小排烟焓。

送风低风压系统侧重入炉总风量控制，在综合指标最优基础上，全负荷段实时连续调控烟气流。

#### 3.6 NO<sub>x</sub>生成控制

按NO<sub>x</sub>生成机理，NO<sub>x</sub>控制关键在于控制炉内燃烧强度，主要手段是分级、低氧燃烧。

INFIT智能燃烧控制系统以自有煤质/过量空气系数模型确定总过量空气系数，配合采用预测控及自适应算法的燃尽区域及主燃烧区域配风比例调节和主燃烧区域燃烧器功率调控，抑制炉内NO<sub>x</sub>生成，减小变工况下NO<sub>x</sub>波动幅度。于此同时，烟气中CO浓度及灰灰含碳低于原水平。

#### 3.7 智能燃烧控制系统控制策略设计

在获得各相关变量与输出参数或指标之间数学模型的基础上，进行智能燃烧控制系统的策略设计。研究采用基于机组历史数据库特征数据的自学习、自适应控制算法及策略，同时研究预测控和模糊决策在锅炉燃烧智能控制系统上的应用。

#### 3.8 仿真试验研究

对初步控制策略在仿真平台进行测试、分析及修正。模拟测试锅炉燃烧过程复杂扰动下控制策略效果，对算法、架构及策略组合进行修正。

#### 3.9 硬件安装及静态调试

锅炉智能燃烧控制系统硬件平台直接安装在现场DCS机柜的冗余空间中。硬件安装后静态调试内容包括：电源冗余切换试验、控制装置接地检查、控制策略

静态检查、控制组态逻辑下装及动态检查、I/O通道测试、MODBUS通讯功能测试。

DCS逻辑和画面修改结束后，该部分功能全部闭锁，以避免机组重新启动后发生系统误投、逻辑误动情况。

### 3.10 系统热态调试

南京某公司提供INFIT智能燃烧控制系统热态调试方案，并按照业电厂方最终确定的试验时间派遣丰富经验的专家至现场负责INFIT系统热态调试工作。

调试工作开始前，对电厂技术人员和运行人员进行技术交底，详述INFIT智能燃烧控制系统的工作模式、投/切操作方法、调试及试验内容、事故处理方法等，保证

后续调试工作的安全、有效进行。

调试上对每个控制回路进行定值扰动试验、外扰试验、变负荷试验，同时综合考虑控制系统在稳定工况、吹灰或启停制粉系统等大幅扰动工况下的运行性能，不断调整INFIT智能燃烧控制策略及参数，以获得满意的性能品质。

## 4 项目投资计及经济效益核算

### 4.1 投资预算

某发电有限责任公司2×660MW超超临界机组INFIT智能燃烧控制系统项目总投资270万元，表一为投资分项组成。

表一分项价格

序号	项目	数量	单价/套(万元)	价格(万元)
1	INFIT智能燃烧控制系统支撑软件	2	15	30
2	INFIT制粉系统控制软件	2	17	34
3	INFIT一次风制粉系统联合控制软件	2	18	36
4	INFIT风量控制软件	2	20	40
5	INFIT分级配风软件	2	18	36
6	INFITNO <sub>x</sub> 控制软件	2	20	40
7	硬件安装、组态修改及静态测试	2	12	24
8	热态调试	2	15	30
总计(万元)				270

### 4.2 经济效益计算

项目实施后预期每年度两台机组可节约540.9万元

(见表二)，约半年回收全部投资。

表二项目实施后年度收益测算

项目	指标	双机年度收益(万元)	备注
标煤耗下降(g/kwh)	≥ 0.7	445.9	单机年度发电量按35亿千瓦时，标煤价按910元/吨。
液氨耗量下降(%)	≥ 15	95	实施前液氨耗量约26吨/亿千瓦时，单机发电量35亿千瓦时。
总计(万元)		540.9	

## 结论

经过研究分析，INFIT智能燃烧控制系统技术成熟，通过对每个控制回路进行定值扰动试验、外扰试验、变负荷试验，同时综合考虑控制系统在稳定工况、吹灰或启停制粉系统等大幅扰动工况下的运行性能，不断调整INFIT智能燃烧控制策略及参数，以获得满意的性能，具

备在超超临界机组锅炉燃烧控制上应用。

## 参考文献

- [1]《火力发电厂节能和指标管理技术》中国电力出版社 李青 公维平
- [2]《超临界、超超临界燃煤发电技术》中国电力出版社 西安热工研究院