

一、专业实践训练整体情况

实践单位名称	太仓港协鑫发电有限公司	
实践单位地点	江苏太仓市港口开发区协鑫东路2号	
实践岗位名称	热控主任工程师	
专业实践训练时间	集中进行	2021年05月10日开始 至 2022年05月10日结束
		专业实践训练累计 365 天（单位考核前），其中项目研究天数 100 天（单位考核前）
<p>(1) 基本情况（含实践单位简介、实习实践内容等）</p> <p>太仓港协鑫发电有限公司（以下简称协鑫电厂）共有4台300MW级机组，其中二期为2×330MW供热机组，三期为2×320MW供热机组。锅炉型号为SG-1036/17.47-873、亚临界、一次中间再热、控制循环汽包炉；汽轮机为上海汽轮机有限公司生产的N320-16.7/538/538亚临界、一次中间再热、双缸双排汽、单轴、反动式、凝汽式汽轮机。</p> <p>协鑫电厂供热区域分为港区和城区两个区域，截至2021年底，热用户已突破300家，日均供汽量达到1万多吨，全年累计供汽量达165万吨。</p> <p>协鑫电厂4台锅炉原设计通过燃烧器摆角调节再热汽温度，喷水减温是辅助手段；但由于燃烧器摆角机械部件过于笨重，经常卡涩，平常再热汽温度调节大多是通过喷水减温。因为再热汽温特性复杂，惯性较大，原设计的PID控制回路无法投自动，只能依靠运行值班员手动调节，再热汽温度偏低或者偏高的现象时有发生，增加了运行值班员的劳动负担。</p> <p>本项目的目标是使用智能控制算法实现3号炉再热汽喷水减温投入自动，减小再热汽温度的波动，提高机组经济性，减轻运行值班员劳动负担。</p>		

(2) 项目研究概述 (含项目名称、项目来源、项目经费、主要研究目标和技术难点等)

本项目名称是 3 号炉再热汽温度自动控制优化,项目来源于生产车间,项目经费来源于公司预算,主要研究目标是使用智能算法实现 3 号炉再热汽温度自动控制,计划利用 SIEMENS S7-CPU315 做控制器,编写模糊控制算法,通过 ModBus 通讯与 DCS 连接,实现外挂式智能控制。

本项目的技术难点包括

- ①模糊控制的 SCL 语言实现
- ②控制器手动控制/自动控制方式的无扰切换
- ③模糊控制器的在线调试

(3) 项目开展情况 (含项目研究内容、研究方案及技术路线,研究团队分工、本人承担任务及完成情况,存在问题与改进建议等,不少于 500 字。)

本项目的研究内容

- ①与运行值班员交流,确定再热汽温度偏差及温度偏差变化率的论域;
- ②通过运行数据分析,确定再热汽温度对喷水量的扰动特性;
- ③在 Matlab/Simulink 中实现模糊控制仿真;
- ④模糊控制 SCL 编程实现的相关问题
- ⑤SIEMENS PLC 与 DCS FBM230 卡件 ModBus 通讯实现

本项目的方案及技术路线

- ①利用模糊控制算法实现再热汽温度自动控制
- ②利用 SIEMENS S7-CPU315 实现模糊控制算法,通过 ModBus 通讯与 DCS 连接,实现外挂式控制;

本项目的团队分工及本人承担的任务

- ①再热汽温度的变化特性及运行值班员的操作习惯调研工作由发电部锅炉专工商思伟完成
- ②再热汽温度对喷水量的扰动特性分析由本人完成
- ③Simulink 仿真由本人完成
- ④DCS FBM230 卡件 ModBus 通讯组态由设备维护部热控专业夏成雷完成
- ⑤模糊控制 SCL 语言算法组态及 ModBus 通讯组态由本人完成
- ⑥模糊控制在线运行调试由本人完成

本项目的完成情况

- ①模糊控制器由 2022 年 3 月 1 日投入试运,3 月 10 日完成参数优化;
- ②在 3 月 15-17 日分别进行 20MW 负荷扰动及 1%氧量扰动试验,模糊控制器控制性能良好;再热汽温度波动范围在 $-4^{\circ}\text{C}\sim+3^{\circ}\text{C}$ 之内;
- ③截至 2022 年 5 月 20 日,模糊控制器运行正常,没有发生切除自动的情况;

本项目实施过程中发现的问题及改进建议

- ①SIEMENS PLC 中没有微分指令，在编程时利用在循环中断（OB35）中用当前值减去前一时刻的值的方法计算微分；实践中发现循环中断的时间要与 DCS 扫描周期一致，否则容易导致控制器调节过于灵敏或者迟钝；在本项目中设为 500ms。
- ②模糊控制器输入参数和输出结果的比例因子对控制器性能影响很大，输入和输出的比例因子设置的比较大时，控制器就很灵敏，反之亦然；在调试时只能通过观察调节曲线不断调整比例因子，耗费较多时间；

二、专业实践训练收获

(一) 围绕考核评价指标体系，举例说明以下收获（不少于 800 字）

在本项目实践过程中，本人通过阅读相关书籍、学位论文和期刊杂志，掌握了在生产过程自动化领域中应用较为广泛的智能控制算法（模糊控制、模型预测控制）的基本原理、C++编程实现及其在 Matlab/Simulink 中仿真实现；重点学习了李友善、李军编著的《模糊控制理论及其在过程控制中的应用》和李国勇编著的《智能控制及其 Matlab 实现》这两本书籍，对模糊控制理论有了更深的理解，在利用 SIEMENS SCL 语言实现模糊控制器过程中，对模糊控制器的实现方法有了深刻认识。主要掌握知识如下

- ①模糊控制理论知识
- ②模糊控制器的设计
- ③Matlab/Simulink 仿真
- ④模糊控制算法实现
- ⑤系统辨识相关理论
- ⑥利用 System Identification 工具箱实现再热汽温度模型辨识
- ⑦SIEMENS SCL 语言编程知识
- ⑧利用 SCL 语言实现中值滤波算法和微分算法
- ⑨ModBus RTU 通讯的相关知识

在本项目实践中，本人克服多重困难，一人承担多职，制定了项目行动计划，协调发电部和设备维护部相关人员共同努力，按照预定节点完成了各项任务。在项目执行过程中，本人的组织协调能力得到了锻炼，模糊控制器的调试技能得以实践，C++ 和 SCL 高级语言编程能力得到了提升，本人也初步掌握了利用工业控制器实现智能控制的理论知识和相关技能，为下一步在 SIEMENS PLC 平台实现模型预测控制打下了坚实基础。

在本项目实践中，本人的理论知识和编程技能都得到了提高，提高了利用所学知识解决实际问题的能力。利用数学、热力学和控制理论的相关知识分析问题、解决问题，并将理论分析结果应用于实践中，在实践中检验理论结果，分析产生偏差的原因，并改进实践方法。

在上述内容中，本人深刻的认识到实践的重要性。如果单纯的依靠 Matlab/Simulink 仿真，不能深刻的理解模糊控制算法的实现原理；控制理论与具体实施之间还存在较大的差距，这些差距只有在企业中亲身实践才能体会到，只有在实际生产过程中检验控制器的性能，才能深刻理解相关理论，做到学以致用。本人主要有以下体会

①在 PLC 中实现模糊控制与 Matlab/Simulink 仿真有很大不同，有些算法块在 PLC 中没有相关功能块，如微分、积分功能，只能利用数值方法近似实现，功能块要自己编写程序实现；模糊清晰化运算只能采用加权平均的方法，与仿真中的重心法相比，

3. 在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】

成果名称	类别含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	学校排名/总参与单位数
------	---	---------------	----------------	----------	-------------

本人承诺

在专业实践训练及考核报告撰写过程中，如实提供材料，严守学术道德、遵循学术规范。

签字：张来发

2022年6月1日

控制输出容易产生较大跳变。

②实际生产过程中控制对象会受到多个扰动，这些扰动往往是耦合的，无法确定控制对象对于某个扰动的响应特性，这导致按理想情况设计出来的控制器往往达不到预期的效果，有时甚至比传统 PID 的控制效果还差。

③在生产实际中应用智能控制除了要对控制理论要有深刻理解以外，还要具备相当熟练的编程能力；因为在生产实际中没有像 Matlab 那样功能强大的软件，大部分算法都要自己编程实现。

（二）取得成效

协鑫电厂 4 台机组锅炉再热汽温度原设计手段是燃烧器摆角调节，喷水减温只是用于温度过高时紧急处理。现在燃烧器摆角已经无法正常使用；加之锅炉进行再热汽中间抽汽改造，锅炉再热器内蒸汽流速变慢，在烟气扰动下，再热汽温度更容易快速上涨；另外，近年来由于新能源电力的迅速发展，火电机组在 AGC 投入时负荷波动越来越频繁，手动调节稳定再热汽温度的压力越来越大；在操作最频繁的时候，平均 1 分钟要操作喷水调节阀多达 12 次，运行值班员不堪其烦，操作压力很大。


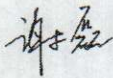
再热蒸汽温度额定值是 540℃，运行值班员在调节再热汽温度时，为了避免再热汽超温被考核（超过 550℃就考核），往往采取超前调整的策略，即在再热汽温度有上升苗头时就增大喷水量，这样经常导致再热汽温度在下限值 535℃附近，有时调节量过大，再热汽温度会降低到 530℃。无形之中大大降低了机组的经济性。根据《火力发电厂生产指标管理手册》（李青，张兴营等，中国电力出版社，2007）再热蒸汽温度影响煤耗情况分析，再热蒸汽温度每变化 1℃，热耗变化 0.02%；由于 3 号机组设计煤耗为 320.430g/(Kw·h) 时，再热蒸汽温度降低 10℃，发电煤耗增加 0.641g/(Kw·h)。

因为 DCS 软件编程手段约束较多，实现模糊控制较为困难。本项目利用一台 SIEMENS S7-CPU315 作为控制器，通过 ModBus RTU 通讯与 DCS 建立连接，实现了模糊控制算法从仿真到实际应用的转化，解决了多年来再热汽温度自动无法投入的问题，一方面保证了再热汽温度稳定在允许区间内，另一方面也极大减轻了运行值班员的劳动负担。

比对 2022 年 2 月与 2022 年 4 月的机组功率、再热汽温度和再热汽减温水量数据，在机组功率大致相同的情况下，投入模糊控制以后的再热汽温度平均值提高了 1.53℃，再热汽减温水的平均流量降低了 0.8t/h。如果不考虑其它边界条件变化的影响，该项目产生的经济效益是非常明显的。

本人的学位论文是有关无偏动态矩阵控制（DMC）算法的理论与实现的相关研究，计划利用 SIEMENS S7-CPU319 控制器实现无偏 DMC 算法，用来控制锅炉过热汽一级减温水。本项目的研究内容与学位论文紧密相关，在本项目中实现的是模糊控制算法，在项目实施过程中本人掌握了利用历史数据进行模型辨识的方法，熟练掌握了 SCL 语言的编程技巧，为下一步的工作打下了坚实基础。

三、考核评价

校外合作 导师(或现 场导师) 评价	<p>重点对研究生项目研究开展情况、职业素养、行业知识掌握、环境和岗位适应能力、工程实践能力、团队协作能力，以及通过技术创新、成果转化、解决工程实际问题等取得的经济和社会效益等方面的评价：</p> <p>2021年5月本项目启动以来，张来发同学积极开展各项工作，多次向我咨询热工控制的问题。张来发同学在本项目中协调发电部和设备维护部开展了一系列工作，他本人承担了最核心的算法设计和编程工作。现场查看控制曲线，该控制器控制平稳，在负荷波动±20%的工况下，能够保证再热汽温度稳定在540℃附近。</p> <p>智能控制算法在火电厂过程控制中的应用并不多，张来发同学运用所学知识，利用常见的工业控制器实现了模糊控制的实际应用，解决了公司生产中的实际问题，非常值得肯定。</p> <p>校外合作导师（或现场导师）签字： 2022年6月6日</p>
校内导师 评价	<p>重点对研究生科学素质、基础及专业知识掌握、技术创新能力、取得的研究成果、项目研究与学位论文撰写的相关程度等方面的评价：</p> <p>张来发同学理论知识扎实，动手实践能力强，解决企业实际问题，项目研究很有价值，与学位论文紧密相关。</p> <p>校内导师签字： 2022年6月7日</p>

<p>实践单位 过程考核 意见</p>	<p>实际实践开始时间: 2021年 5月 10日 实际实践结束时间: 2022年 5月 10日</p> <p>专业实践训练累计天数: 365天 其中项目研究天数: 100天</p> <p>实践单位过程考核结果: <input checked="" type="checkbox"/>优秀 <input checked="" type="checkbox"/>良好 <input type="checkbox"/>合格 <input type="checkbox"/>不合格</p> <p>审核签字并盖公章: 情况属实. 2022年 6月 8日</p>
<p>最终考核 结果审核 备案</p>	<p>考核总成绩 (由现场答辩考核成绩 90%+单位过程考核成绩 10%组成):</p> <p>是否重修: <input type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>教学管理部 (或相关分院) 审核签字 (公章): _____ 年 月 日</p>

四、相关支撑材料

在校期间主要研究成果【含产品与样机、专利（含申请）、著作、软件著作权、论文、标准、获奖、成果转化等】证明材料原件扫描件，具体提交要求如下：

1. 产品与样机扫描件包含企业证明材料（含产品与样机功能及创新性介绍、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。
2. 授权专利扫描件包含专利证书授权页；未授权专利扫描件包含专利受理书扫描件和专利请求书扫描件。
3. 著作扫描件包含封面、封底和版权页。
4. 软件著作权扫描件包含著作权证书和登记申请表。
5. 论文扫描件包含封面、封底、目录和论文全文（含收录证明）。
6. 标准扫描件包含封面、版权页、发布公告、前言和目次。
7. 获奖扫描件包含显示单位和个人排名的获奖证书。
8. 成果转化扫描件包含企业证明材料（含成果技术说明、社会经济效益、个人贡献说明及相关照片等）。