通过低氮燃烧器改造并结合实施燃烧优化方案

降低锅炉燃烧过程的NOx和CO排放

技术进程季度报告

报告时段：

2003年4月-2003年6月

主要作者

美国SEP电力公司：Wayne Penrod

美国GE能源与环境公司（EER）：David Moyeda

出版日期：

2003年7月

委托单位：

能源部（美国政府）

国家能源技术实验室（美国）

发电厂性能战略计划项目部

任务书编号 DE-FC26-03NT41418

提交单位：

美国SEP电力公司
PO Box 1020, 301 West 13th Street
Hays, KS 67601

美国GE能源与环境公司（EER）
18 Mason
Irvine, CA 92618

声明

这篇技术进程季度报告是为国家能源部（美国）资助的项目而编制，项目编号为：DE-FC26-03NT41418。然而，报告中的任何观点、发现、结论或建议都是作者自己提出的，并不代表国家能源部的意见。

虽然这篇报告是为美国政府的一个部门所资助的项目而编制，但既不是美国政府、也不是任何政府部门或个人对所发布的任何信息、设备、产品或过程的精度、完善度或用途提供任何担保、暗示或假设承担任何法律责任，或者表示使用这些内容不会侵犯个人权利。文章中引用的任何有商标、厂家名称的商业产品、过程和服务并不代表美国政府或任何部门对这些内容的推荐或赞成。作者在这里表述的看法和观点也并不代表美国政府或任何部门。

摘要

这个项目的目的是说明如何采用组合式燃烧优化系统使NOx排放水平达到184-270毫克/标准立方米，同时又能增加发电量。此项目包括向赫尔科姆电厂1#锅炉上提供低氮燃烧器改造并结合先进的燃尽风技术，同时也采用了各种测量与控制设备。项目中也包含了采用成熟的神经网络技术或其它人工智能技术以及复杂软件，这些软件能优化一些运行参数，如NOx排放、锅炉效率以及CO排放。

项目分为三期实施。第一期：在这台锅炉上安装能够监测炉膛内燃烧工况和煤粉管内煤粉流量的传感器，以提高锅炉的运行水平。第二期：对锅炉燃烧器进行改造，减少NOx排放；并安装自动调节煤粉流量的节流孔板，能够在线调平煤粉分配。第三期：安装燃尽风系统，使锅炉具备有更深一步降低NOx排放的能力。把燃尽风系统结合第一、二期工程所提高的性能就能对锅炉效率、出力及排放进行优化。

在这个报告期间，主要集中于完成第一、二期工作。在2003年3月锅炉大修期间，进行了燃烧器改造、采购和安装了煤粉流量调节挡板、煤粉流量测量系统。在此期间，为了评估系统性能并找出已安装设备的最佳运行工况，进行了一系列的优化试验。完成了燃尽风的过程设计以及初期工程设计。

目录

章节 **页码**

1.0 **简介** 1

2.0 **技术进程** 3

2.1 **任务 1.0 - 第I期 - 传感器升级换代** 3

2.2 **任务 2.0 - 第II期 - 低氮燃烧器改造** 20

2.3 **任务 3.0 - 第III期 - 先进的燃尽风系统** 29

附录 A – **工程进度图** 31

1.0 简介

这个项目是为了说明如何采用组合式燃烧优化系统使NOx排放水平达到184-270毫克/标准立方米，同时又能增加发电量。项目内容包括为赫尔科姆电厂1#锅炉上提供低氮燃烧器改造并把先进燃尽风技术结合在一起，也采用了各种测量与控制设备。项目中也包含了采用成熟的神经网络技术或其它人工智能技术以及复杂软件，这些软件能优化一些运行参数，如NOx排放、锅炉效率以及CO排放。

为了说明不同NOx控制技术的叠加效果，组合式燃烧优化系统将分三期安装。三期内容分别是：

- 第I期 - 采用先进的传感器提高监测水平
- 第II期 - 低氮燃烧器改造
- 第III期 - 先进的燃尽风系统

第I期 - 用先进的传感器进行升级将证明先进测量装置的效果，体现在对锅炉进行最小的物理改造，而主要通过对影响降低NOx排放和提高热效率的参数的控制来实现。

第II期 - 低氮燃烧器改造将证明对原有第一代低氮燃烧器的改造对降低NOx排放非常有效，并且投资成本低。低氮燃烧器改造包括更换新的喷嘴和其它部件，目的是更进一步降低NOx排放。这期工程还包括对现有煤粉管道的改造，使这些管道具备对所有燃烧器内煤粉分配进行全自动调平的能力。

第III期 - 先进的分离式燃尽风系统（SOFA）将证明更进一步的降低NOx，其效果比SCR更有竞争力。特别是在原有燃尽风基础上并结合第I期和第II期的改造，使整个系统的性能得到优化。把所有三期改造结合在一起将有利于减少NOx排放、提高机组性能及发电量。

这份报告总结了所涉及的报告期间的技术进展情况。

2.0 技术进展

在起草这个报告期间，工作主要围绕项目的I期和II期进行。在2003年3月机组大修期间进行了低氮燃烧器改造、安装了煤粉流量调节挡板和煤粉流量测量系统。随后进行了优化试验，以确定系统的性能特点。此外，计划于2004年春天安装的燃尽风系统的初设也已完成。工期安排可以在附录A中的根特图中看到。这个阶段的技术进展总结如下：

2.1 任务 1.0 - 第I期 - 对传感器的升级换代

第I期的目标是证明采用新型测量传感器之后，所测量的控制参数对降低NOx和提高热效率产生多少效果，前提条件是锅炉改造工作量最小。 传感器升级改造的工作范围可分为以下6项任务。

2.1.1 任务 1.1 - 过程设计及性能分析

在这项任务中，采用分析工具和方法来分析现有的工程系统，并且为低氮燃烧器改造和燃尽风系统准备材料和能量平衡。

示范工程将在堪萨斯州赫尔科姆市的赫尔科姆电厂进行。电厂1#机组发电容量大约为380MW。图2显示了此台锅炉的侧向剖面图。锅炉系巴威公司生产，采用对冲燃烧方式。燃烧器的布置为前墙3排、后墙2排。每排设有5个燃烧器。每台锅炉燃烧器总数为25个。燃烧器生产的烟气流向炉膛上方、穿过屏式过热器、二次过热器、再热器然后进入尾部烟道。锅炉的尾部烟道采用分叉设计，烟气分叉后分别进入再热器和一级过热器管束，以此调整再热器汽温度。

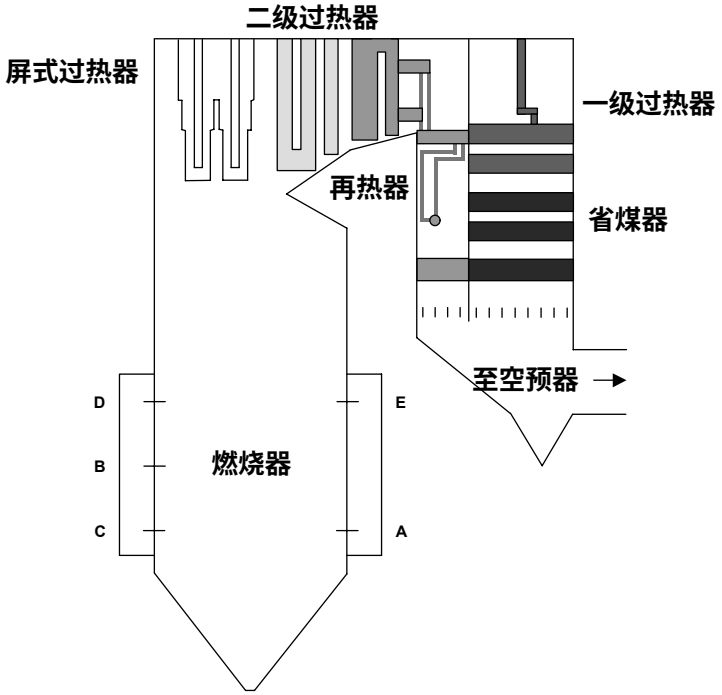


图2.赫尔科姆电厂1#机锅炉侧向剖面图

烟气气流离开分叉烟道后重新汇合，进入空气预热器。从空预器出来后，进入脱硫装置，然后进入布袋除尘器。

锅炉燃用来自于几个煤矿的PRB煤。在项目实施之前和实施过程所进行的煤质分析数据列于表2。

由于2002年年底供煤发生变化，因此对2003年的锅炉燃烧产生了微小的影响。原煤通过火车运输。

首先把原煤送入原煤仓，通过5台磨煤机制成煤粉。机组满负荷运转时既可以4台磨也可以5台磨运行。

每台磨为5个燃烧器提供煤粉。图2-1显示磨煤机和燃烧器的配置（A磨至E磨）。

由于有热备用的要求，正常情况下每日负荷目前为373MW，对应的输入热量为$3,607 \times 10^6$ Btu/hr

这个项目的目标是允许增加机组出力，同时减少NOx排放并保持机组效率不变或略有提高。

表2-1 原煤成分分析

Coal Analysis		6/14/00 As Fired	10/27/99 As Fired	5/27/99 As Fired	Feb-03 As Fired	May-03 As Fired
Ultimate Analysis						
C	wt. %	49.40	49.33	49.17	52.15	53.68
H	wt. %	3.70	3.61	3.41	3.62	2.05
N	wt. %	0.78	0.77	0.79	0.72	0.85
S	wt. %	0.35	0.39	0.35	0.31	0.48
O	wt. %	11.93	12.59	12.65	12.04	10.63
灰分	wt. %	5.57	5.84	5.51	4.77	5.77
水分	wt. %	28.17	27.47	28.12	26.39	26.54
Total		99.90	100.00	100.00	100.00	100.00
Proximate Analysis						
Fixed Carbon	wt. %	34.05	34.15	35.05	36.90	25.83
Volatile Matter	wt. %	32.21	32.54	31.32	31.94	41.86
Moisture	wt. %	28.17	27.47	28.12	26.39	26.54
Ash	wt. %	5.57	5.84	5.51	4.77	5.77
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
高位发热量	Btu/lb	8,492	8,635	8,505	9,086	9,372

据估算，当第3期设备安装完成后以及其它限制负荷的因素消除后，2004年日均负荷将增加到380MW。这个负荷所对应的输入热量为$3,676 \times 10^6$ Btu/hr 。满负荷时正常过量空气水平大约是18%。这些运行工况可以作为低氮燃烧器改造和燃尽风设计的基础数据。

为了确定炉膛内流场的分布特性，制作了1#机组锅炉的物理模型。这个物理模型是按照1：20的比例用丙烯塑料制作。图2-2是这个模型的照片。此模型完全按照锅炉的实际几何形状制作，并且模拟了烟气从炉膛内燃烧器开始经过几排对流受热面管排的行程。模型中对流受热面的设计与实际锅炉的阻力损失完全一样。燃烧器模型完全按比例模拟炉内火焰膨胀并释放热量的过程。通过物理模型研究的内容包括

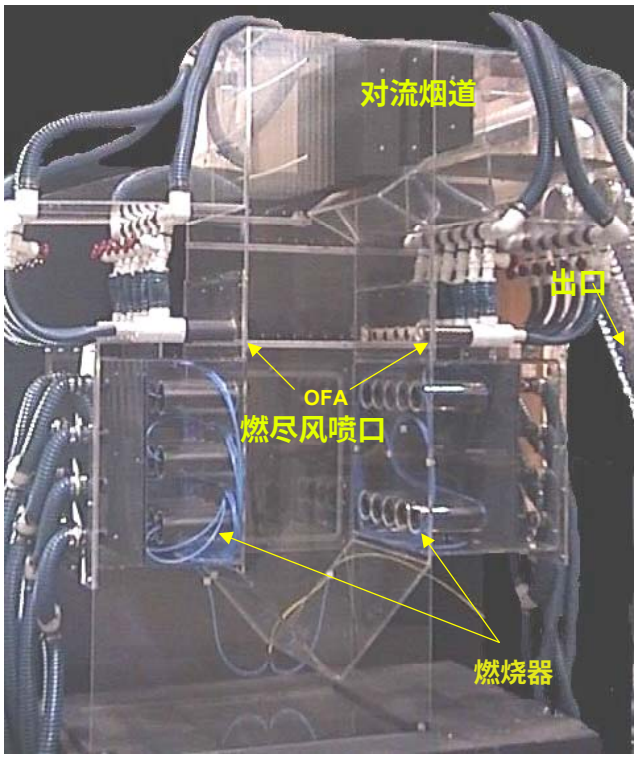


图2-2.锅炉物理模型照片

烟气和泡沫示踪图像以及炉膛内某个特定截面的流速测量。

总而言之，对冲燃烧方式锅炉炉内动力场的主要特征是：（1）在炉膛中心以及炉膛底部靠近侧墙位置流速高，当烟气流到炉膛顶部时，在靠近折焰角处流速增加。（2）在落渣斗以及前后墙上排燃烧器的上面形成回流区。为了确定炉膛内流体的不均匀程度，在炉膛水平面上及折焰角平面对流速分布进行了测量，其结果在图2-3显示。这是烟气向上流动中流速的标准化图型。炉膛平面图显示，大部分烟气流向炉膛中心，并在锅炉前墙沿着角流动。后墙以及沿前墙中心流速较低。当烟气流到炉膛顶部时，流场分布发生变化，后墙附近流速较高，而前墙附近流速较低。

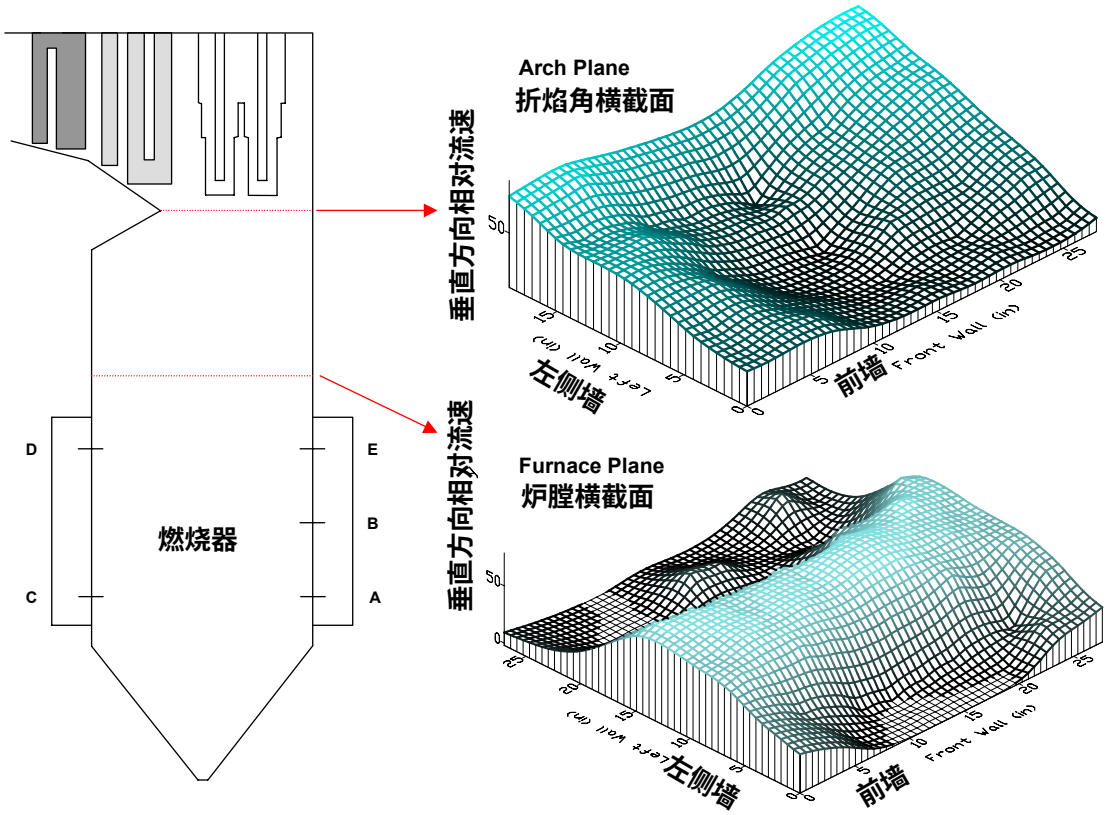


图2-3 在炉膛内和折焰角位置烟气流速分布图

存在这些偏差的原因是烟气流体在靠近折焰角时的加速作用，以及在这个平面上炉膛横截面积的减少。炉内空气动力场与燃尽风设计有关，因此燃尽风喷口的设计和布置必需考虑到速度场的不均匀，以及在不均匀流场内的高流速区域所形成的高温和低风煤比环境，容易导致炉内结焦和积灰。

这个物理模型也用于对锅炉燃烧优化传感器参数的设定。正如在2.1.3节讨论的内容，指示燃烧效果的传感器安装在炉膛顶部（每列垂直方向燃烧器上方安装1只），在线CO传感器安装在尾部烟道，在一级过热器管屏之间。

为了支持在优化锅炉排放和效率中使用这些传感器，在这台物理模型上采用了示踪离散测量方法，即把示踪烟气加入模型内的每个燃烧器或每排、每列燃烧器内，在传感器的安装位置测量示踪烟气浓度。炉膛顶部传感器的测量结果证实，传感器下面那列燃烧器所产生的烟气中影响最明显的是前墙最上一排燃烧器。示踪离散测量中CO传感器的测量结果被用于开发出一个模型，即每一个燃烧器对每一个传感器的影响。这个模型用于支持系统的调试和优化。

为了支持低氮燃烧器改造设计，设计并制做出了原有的第一代低氮燃烧器的物理模型。模型用金属板和塑料管按1：3的比例制成，并放置于炉膛模型内。燃烧器模型的照片在图2-4显示。模型包括对已有旋流调风器和挡板的改造。这个模型用于分析燃烧器改造方案并确定燃烧器启动时的最佳设置。图2-5显示了正在进行的燃烧器烟气图像试验的照片。这张图是在调风器设置相同的条件下比较改造对煤粉管内流体的影响。通过与改造前的对比，改造后在煤粉管出口产生了更强的紊流和混合。通过对流动图像的研究以及大量的示踪测量结果，说明改造将有助于保证靠近喷嘴处火焰的稳定。这种稳定性对维持有效的燃烧火焰稳定性、燃烧效率、及在安装燃尽风后的低氮排放非常重要。

此外，为了分析改造对火焰稳定性的影响，这个燃烧器模型也被用于开发传递函数，能够以挡板设定和风箱为基础估算气流的分叉及空气流量。这些传递函数能结合开发的模型把传感器输出与特定的燃烧器设定联系在一起。

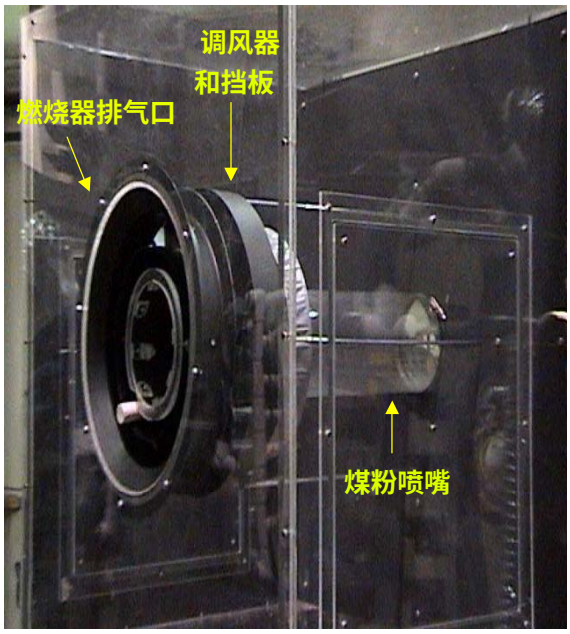


图2-4 燃烧器物理模型照片

图2-5 改造前和改造后的流动图像

2.1.2 任务 1.2 - 设计和制造/建造文件

在这个任务中，开发了新设备的设计和制造图纸以及其它详细信息，能够使承包商接收设备和安装。

在上次报告期间，这项任务支持全自动煤粉调平挡板、煤粉流量测量系统和低氮燃烧器改造的设计和安装。

2.1.3 任务 1.3 - 锅炉燃烧优化传感器

在这个任务中，锅炉配置了炉膛传感器监测燃烧器竖列之间和前墙与后墙之间的均匀性，在每个煤粉管也安装了测量煤粉流量的传感器。

在上一次的报告期间，在2003年3月锅炉大修之前采购了一整套传感器安装在锅炉上。整套传感器包括燃烧器火检、飞灰含碳/炉膛出口烟温传感器、在线CO传感器等。传感器的安装位置一览图在图2-6显示。5个飞灰含碳量/炉膛出口烟温或燃烧传感器位于前墙78米高度。1个传感器对应每一竖列燃烧器上方。15个CO传感器

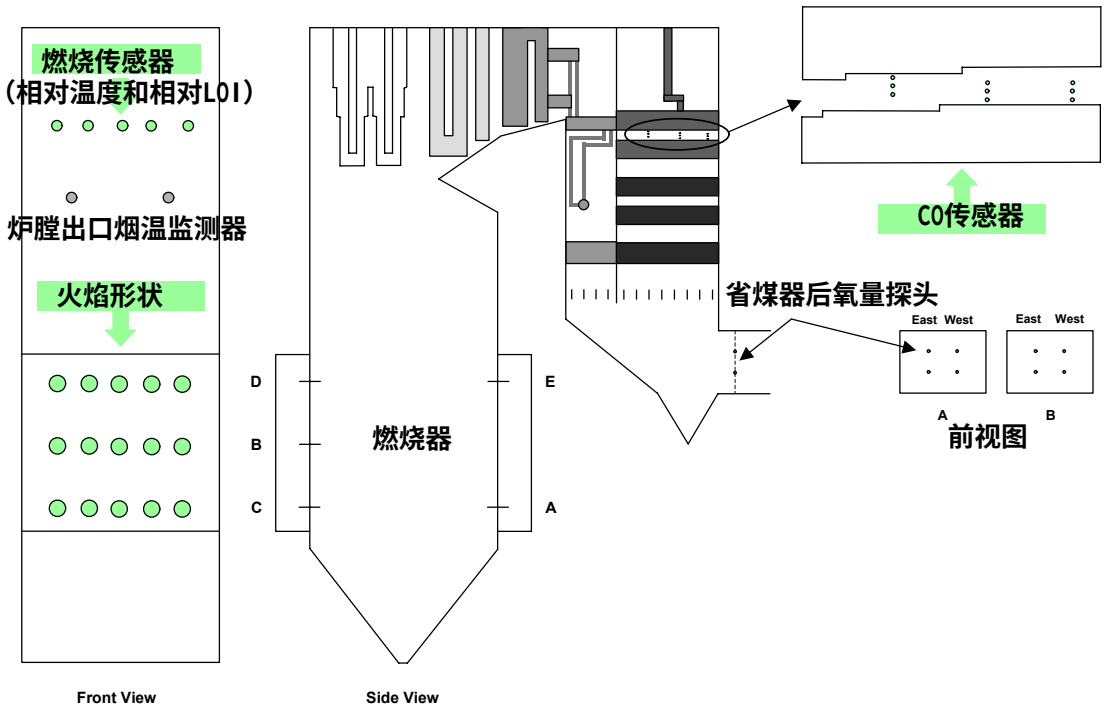


图2-6 传感器的安装位置一览图

安装在尾部烟道初级过热器之间。这些传感器从锅炉两侧按不同深度插进烟道，以此对锅炉这个横截面的烟气参数进行网格测量。图2-6显示光学炉膛出口烟温监测仪以及氧量探头的安装位置。这些氧量探头被用于控制锅炉燃烧。氧量网格测量由8个传感器垂直矩阵组成，安装位置在锅炉两个烟道出口，进入空预器之前。

采购并安装煤粉流量测量系统。选择的系统应用微波信号检测煤粉管内粉状流体的浓度。这个系统也配备了煤粉流速测量功能。在2003年大修期间采购并安装了这套煤粉流量测量系统。在磨煤机出口与燃烧器之间的每个煤粉安装一套传感器。图2-7显示1套传感器在一根管道上典型的安装照片。

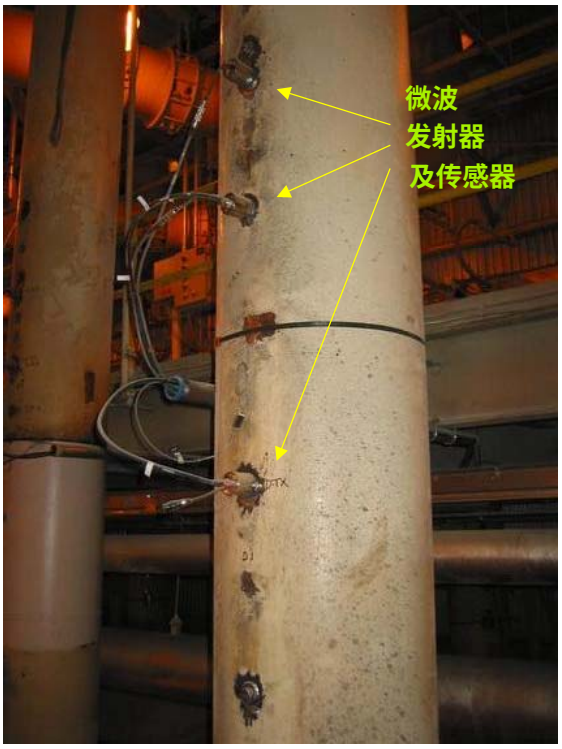


图2-7 安装在煤粉管道上的煤粉流量传感器照片

大修之后对煤粉流量测量系统进行了调试。调试以后，进行了试验以验证测量结果。首次检查包括监测传感器的输出信号相对于给煤机的转速。对B磨的这个检验结果显示在图2-8和图2-9中。图2-8中是从4月16日至4月28日把煤粉管内的测量结果与磨煤机的给煤机的测量结果所做的比较。比较结果显示煤粉管内传感器的测量结果与给煤机的测量结果基本一致，而且在这个期间，当负荷及工况发生变化后，给煤率的变化也与煤粉流量传感器的变化一致。图2-9对试验期间一台磨各煤粉管内煤粉流量的总和与给煤机流量进行比较的结果。这个比较再一次显示了煤粉流量传感器在机组负荷范围内与磨煤机负荷的一致。在这个期间对煤粉流速的比较也说明测量的流速随着负荷输出的变化相一致。在其它4台磨上做的同样对比也显示出非常好的结果。第二个检查包括用脏空气皮托管对磨煤机出口气流进行手工测量，并且与煤粉流量测量系统测量的空气流速和流量进行比较。通过比较发现手工测量与用煤粉流量测量系统的测量结果基本一致。

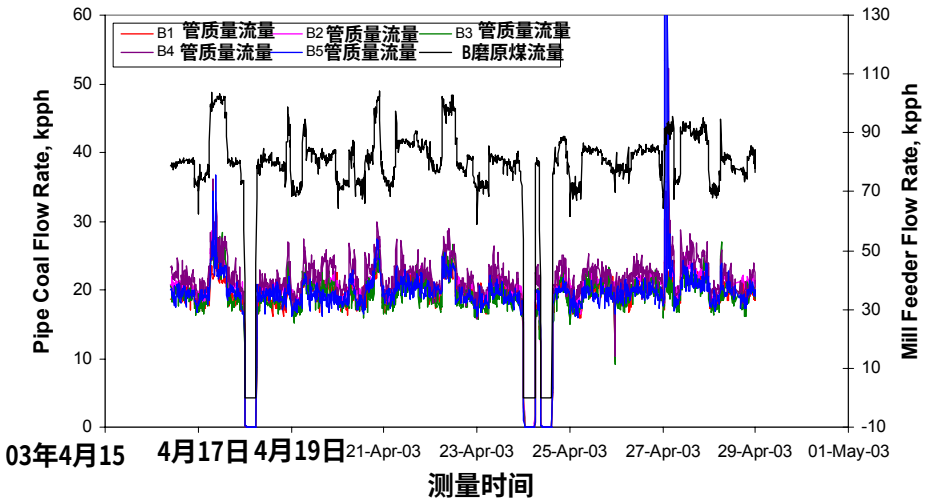


图2-8 B磨的给煤机输出与每个煤粉管测量结果之比较

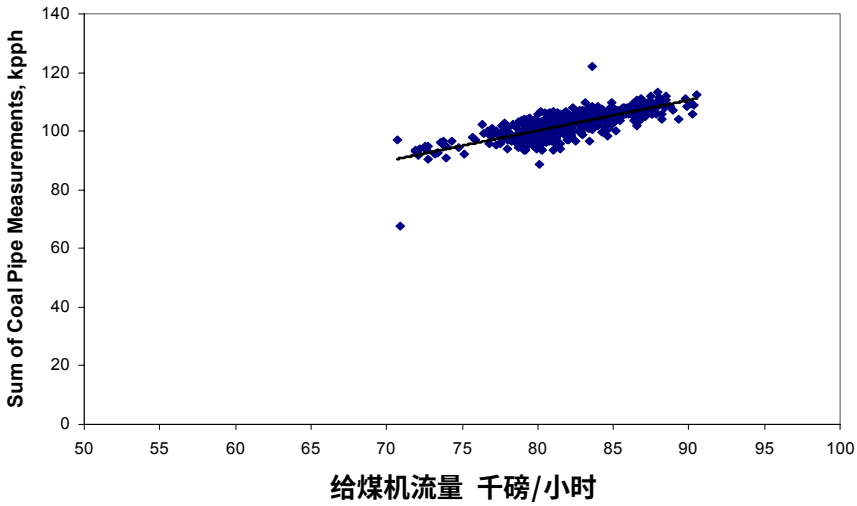


图2-9 煤粉管道流量总和与给煤机流量比较

在A磨的煤粉流量测量一直存在一个问题正在研究。A磨传感器的煤粉流量和煤粉流速输出值一直在一个较宽范围震荡。为了诊断这个问题，把A磨停机并进行检查。然而，没有发现任何不正常情况。此外，还进行提高一次风量的试验，观察是否煤粉管道内存在堵塞现象。但是提高一次风量并没有解决震荡问题。最后，把传感器重新进行标定检查。但没有发现传感器问题，震荡问题仍然存在。最终也没有发现是什么原因导致如此剧烈的震荡。为了解决这个问题正在酝酿一个措施。

炉膛传感器的输出信号以及煤粉流量传感器输出信号都送入到电厂数据库中，与其它性能参数一起供新的系统提取数据。

2.1.4 任务 1.4 - 传感器集成/试验

在这个任务中，为了分析从传感器得到的信息，进行了试验。在基础试验和锅炉启动时从炉膛传感器收集了数据。这些数据将在2.1.5节和2.2.2节中出现并讨论。

2.1.5 任务 1.5 - 基准试验

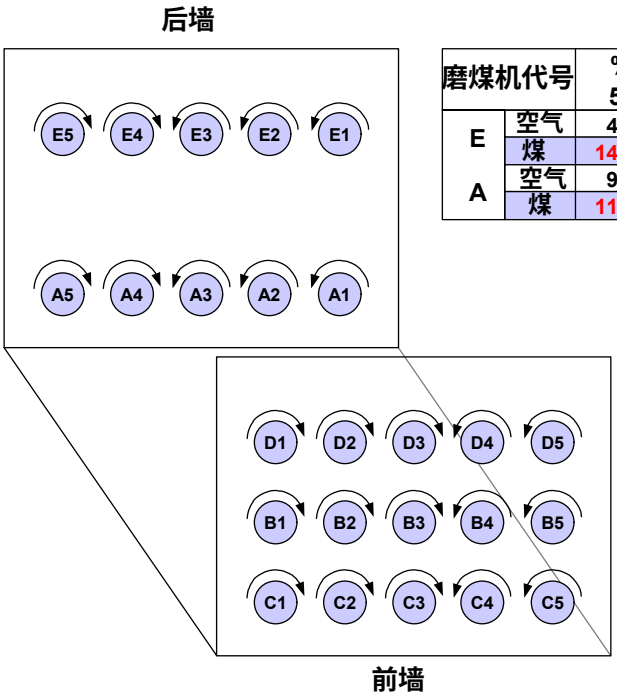
在这个任务中，在赫尔科姆电厂1#机进行试验，在对排放控制设备改造之前收集基础效率和排放数据。这套数据将用于对第一期和第二期机组试验结果进行比较。

在2002年10月，为了确定煤粉和一次风平衡的基础特性，进行了试验。收集了必要的数据支持低氮燃烧器改造。在2003年2月，对机组进行了基础试验。在基础试验中得到的数据包括：

- 锅炉运行和性能数据。
- 省煤器出口烟气排放数据。
- 原煤和飞灰取样。

基础试验是确定在满负荷与低负荷的正常运行工况下以及满负荷时不同运行工况下锅炉的运行和性能特点。经过分析的不同工况包括锅炉过量空气系数以及煤粉流量分布的变化。磨煤机偏差试验是为了分析磨煤机运行对局部燃烧性能的影响，并对一台磨煤机内燃烧器的平衡提供相对指示。

在2002年10月进行了煤粉流量和一次风流量（煤粉管内）测量，测量结果在图2-10显示。在测量过程中使用了脏空气皮托管和旋转头取样枪。图2-10显示了燃烧器和磨煤机的配置情况并提供了2个具有测量结果的表格。2个表格内显示的是每个煤粉管内的煤粉流量和一次风流量，这些数据以相对于一台磨各个煤粉管内的平均值的百分比偏差表示。



磨煤机代号		% 与平均值的绝对偏差 5	4	3	2	1
E	空气	4.4	3.6	-21.9	1.9	12.0
	煤	14.2	30.8	-20.1	-10.4	-14.6
A	空气	9.6	-1.9	-16.4	10.6	-1.9
	煤	11.6	-1.3	-23.2	10.0	2.9

磨煤机代号		% 与平均值的绝对偏差 1	2	3	4	5
D	空气	-17.5	2.8	-4.2	12.5	6.4
	煤	-8.6	17.5	-2.5	-20.0	13.6
B	空气	-0.4	4.0	-2.3	-5.3	4.1
	煤	-20.3	20.5	3.6	-1.2	-2.5
C	空气	-3.7	-1.8	-2.2	6.0	1.8
	煤	-5.2	7.2	8.2	14.7	-24.9

图2-10 燃烧器布置以及煤粉流量和一次风流量均匀性基础值

正如表格内数据所显示，一次风流量相对比较而言均匀性较好，但是有几个管道内的偏差大于平均值+/-10%。旋转头取样器测量结果也显示在25个管道中有14个管道内煤粉流量偏差超过+/-10%。最高的偏差发生在C磨的煤粉管道内，其偏差值从-14.6%至+30.8%。

进行基础值试验的最主要目的是得到NOx排放及锅炉效率的基础值，以备与第2和第3期工程改造完成后的结果进行比较。图2-11说明锅炉过量氧量高低（通过氧量探头测量）对NOx和CO排放的影响（在烟囱测量）。正如图中所显示，在氧量正常水平工况下（2.7%），NOx排放浓度为381毫克/立方米，CO排放值为0.075lb/MMBtu。提高氧量水平的结果是CO排放降低，但是增加了NOx排放。以低氧量水平运行可以降低NOx排放，但是，由于燃烧器之间煤粉和空气分布不均所导致的燃烧不均将使CO排放大幅增加。

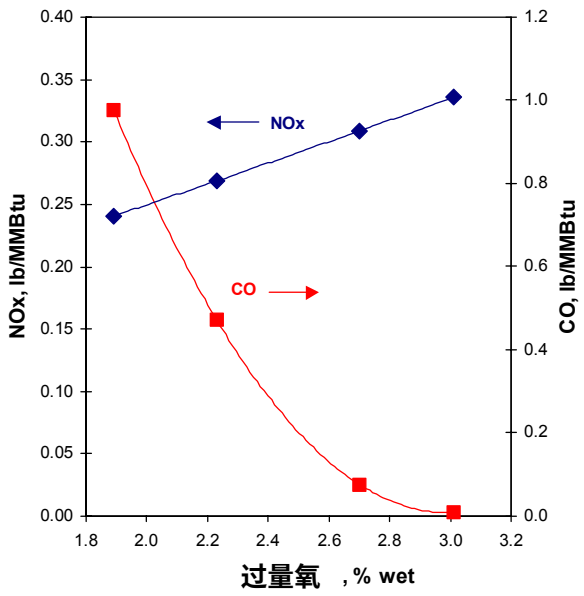


图2-11 NOx及CO排放的基础值与锅炉过剩氧量的比较

锅炉过剩氧量水平对炉内测量探头测量的CO和氧化锆测量的氧量的影响显示在图2-12。这张图显示当锅炉内氧量减少时CO网格测量的等值线。数据的描绘是从锅炉前方向下观察过热器管排。当氧量水平降低时，等值线图显示CO水平大幅升高。CO的升高并不均匀，只发生在几个局部位置，原因是燃烧过程不均匀。随着氧量水平的降低，CO浓度的尖峰值持续增加，并导致烟囱内的CO的高浓度排放（如图2-11显示在氧量水平最低时）。局部CO水平的尖峰值伴随着氧量的分层。

图2-13显示当整体氧量水平降低时，由氧量探头测量的氧量水平的变化情况。在每个图中的两个方框代表锅炉出口2个烟道的一个垂直平面。数据显示的是从锅炉前墙向测量平面方向观察。

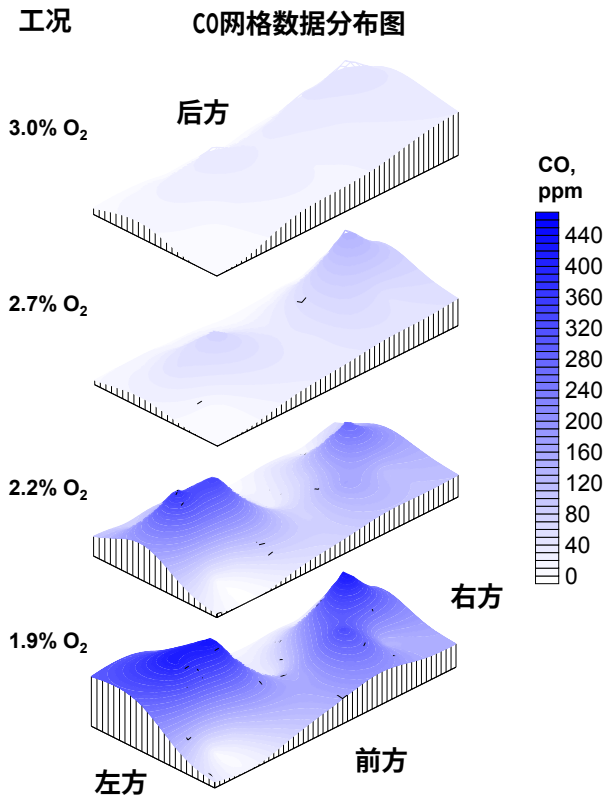


图2-12．过量氧对CO分层的影响（CO传感器网格）

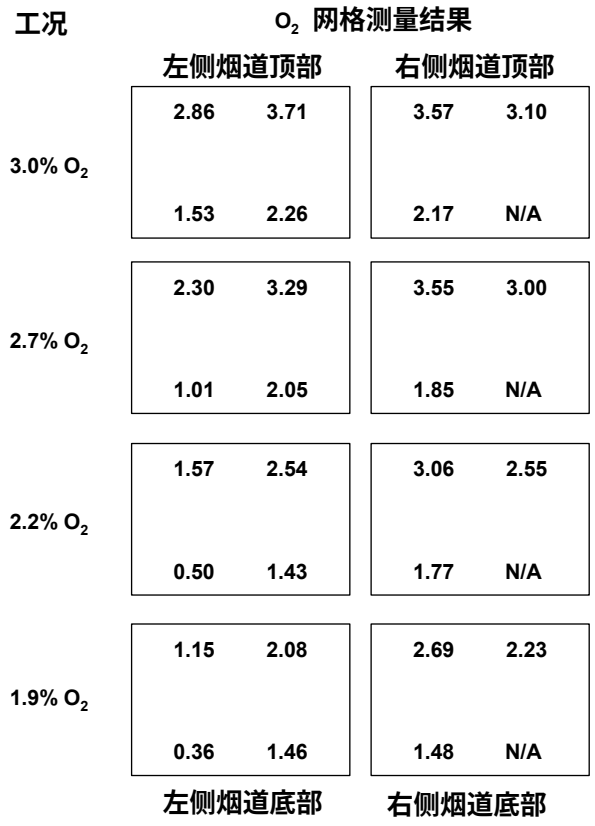


图2-13．过量氧对氧量测量值分层的影响

在每侧烟道内安装4个氧量传感器。其中1个安装在烟道左侧的传感器在试验过程没有工作（测量结果显示N/A）。图2-13中的数据显示在两个烟道之间存在氧量偏差，在右侧烟道的氧量浓度更高，在每个烟道内存在明显的氧量氧量不均。这种不均与图2-12中的CO分布正好相对应，原因是燃烧器之间的风粉分配不均导致燃烧不均匀。

图2-14显示锅炉过量氧量水平对光学传感器测量的炉膛出口烟温的影响。电厂需要监测炉膛出口烟温的原因是因为较高的炉膛出口烟温容易引起结焦和积灰。正如图中所示，降低过量氧量水平有助于降低炉膛出口烟温。图2-12还显示测量的出口烟温存在偏差，右侧比左侧高70F。

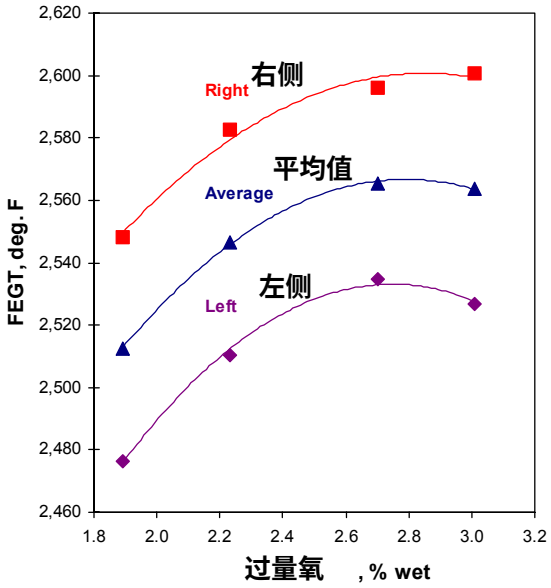


图2-14．炉膛出口烟温（FEGT）测量值对应于锅炉过量氧量

炉膛右侧被测温度较高，是那段过热器结焦的原因。在试验期间，发现炉膛右侧温度较高是由于所测量的左右两侧的氧量水平存在偏差。

锅炉氧量水平对炉膛出口光学测量传感器产生的影响在图2-15显示。当锅炉过量氧水平变化时，图中的两条曲线显示了5个燃烧传感器的输出值。左面曲线显示“相对飞灰含碳量”输出值，右面曲线显示“相对温度”输出值。把这些输出值作为传感器输出的处理结果。相对飞灰含碳量是一个复杂参数，代表某一特殊传感器所观察位置的扰动程度或燃烧质量。这个参数与未完全燃烧工况呈非线性关系，例如与飞灰含碳量。相对温度代表某一特殊MPV传感器所观测位置的平均热通量，与烟气温度呈非线性关系。图2-15内的每个曲线都显示了当锅炉氧量水平变化后炉膛内传感器的输出值如何变化。

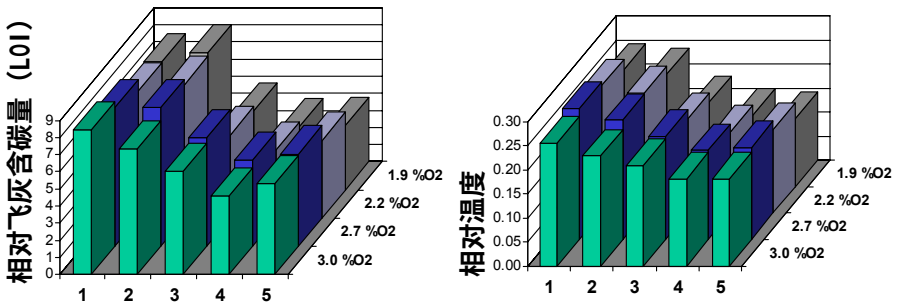


图2-15过量氧对炉内燃烧传感器测量结果的影响

非常有趣的是相对飞灰含碳量及相对温度值都显示了燃烧质量和热流量从左至右存在的偏差。这个偏差与所发现前面讨论的其它参数偏差（氧量、CO及炉膛出口温度）相匹配，并且说明在炉膛两侧燃烧过程不均匀。

此外，每个传感器的输出值响应锅炉氧量水平的变化。图2-16更清楚地显示锅炉氧量水平对炉膛左右两侧传感器的影响。显示在曲线上的数据代表着炉膛一侧两个传感器的输出平均值。有趣的是当锅炉氧量水平降低时，相对飞灰含碳量及相对温度都降低。

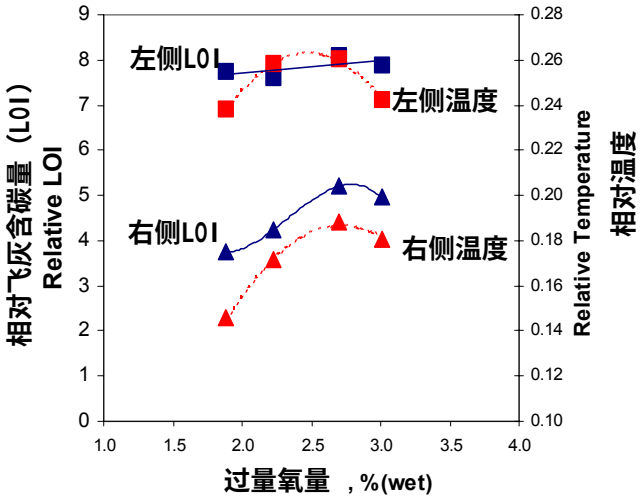


图2-16 炉内传感器输出值的变化与锅炉氧量的关系

总而言之，当锅炉在低氧量运行时对燃烧器的风粉调平能有助于控制CO排放。对燃烧器的风粉调平及改进燃烧过程有助于改善炉膛左右两侧出口温度的均匀性。燃烧传感器和CO传感器能提供风粉不均匀程度的数据，并且能够针对这种不均匀程度对燃烧有何影响提供数据，对燃烧优化也是一个有效工具。

2.1.6 任务 1.6 - PSD考察

在这项任务中，为了确认该项目将不会对当地大气环境造成坏的影响，进行了常规考察。

在以前的报告阶段，由于这台机组发电量的增加导致排放量增加，已经完成了对环境影响的分析。这项分析的主要结果显示这台机组运行方式的改变对当地大气环境基本没有影响。

为了支持这项PSD分析，又进行了BACT 评估。这个评估已经处于被考察阶段并且将提交给堪萨斯州健康与环保部，供该部考察和批准。与BACT考察结果以及PSD批准申请等文件正在起草之中。

2.2 任务 2.0 - 第II期 - 低氮燃烧器改造

二期工程的目标是验证对第一代低氮燃烧器改造的效果。这期工程将包括对原有输粉管道的改造，以实现对燃烧器煤粉的自动分配调平。燃烧器改造的主要工作范围按以下3个任务实施。

2.2.1 任务 2.1 - 低氮燃烧器改造

在这项任务中，为了提高火焰稳定性，降低氮氧化物生成，特别是在三期工程完成后将要和燃尽风一起运行时，在赫尔科姆电厂1号机安装的25台巴威双调风燃烧器将被改造。

低氮燃烧器改造设计在图2-17画出。改造包括加装煤粉管道膨胀节、火焰稳定环，加长二次风套筒以及在三次风箱上加装滑动套筒以控制燃烧器内燃烧空气的分配。这些部件在2003年3月大修期间制作并安装。总地来说，改造过的燃烧器在很宽的调整范围及锅炉基本负荷和磨煤机机运行条件下产生很稳定的火焰。

2.2.2 任务 2.2 - 煤粉管道系统-对煤粉流量的控制和调平系统/试验

在这项任务中，5台磨煤机都配置了煤粉流量调平系统，包括在每个煤粉管道上安装了自动调平缩孔挡板。自动调平缩孔挡板将与煤粉流量测量系统一起对所有燃烧器在锅炉整个负荷范围进行自动平衡调整。

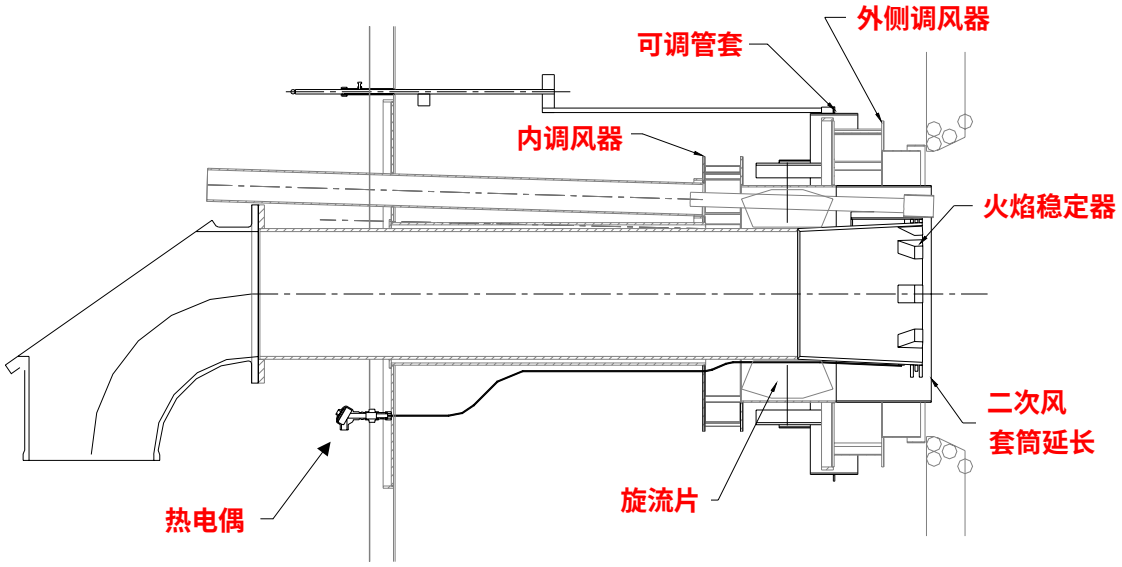


图2-17 低氮燃烧器改造

自动调平缩孔挡板的设计形式在图2-18显示。在2003年3月的大修期间，制造并安装了25台自动调整挡板。5台磨煤机的每个煤粉管道都安装1台自动调整挡板。图2-19显示挡板在一台磨煤机上的安装情况。每个挡板安装了1台驱动装置。在进行这个报告期间，这些驱动装置依靠手动操作进行煤粉调平。在下一次报告期间，计划在一台磨煤机上进行煤粉自动调平示范。由于C磨具有很好的条件显示自动调平的效果，因此被选作示范磨煤机。在这个报告期间，开发了煤粉自动调平逻辑并且制订了在C磨安装吹扫空气和安装可编程控制器（PLC）的计划，这个PLC将把自动调平挡板与煤粉流量测量系统结合在一起。吹扫空气的目的是定期将积灰从挡板导流叶片中吹除。

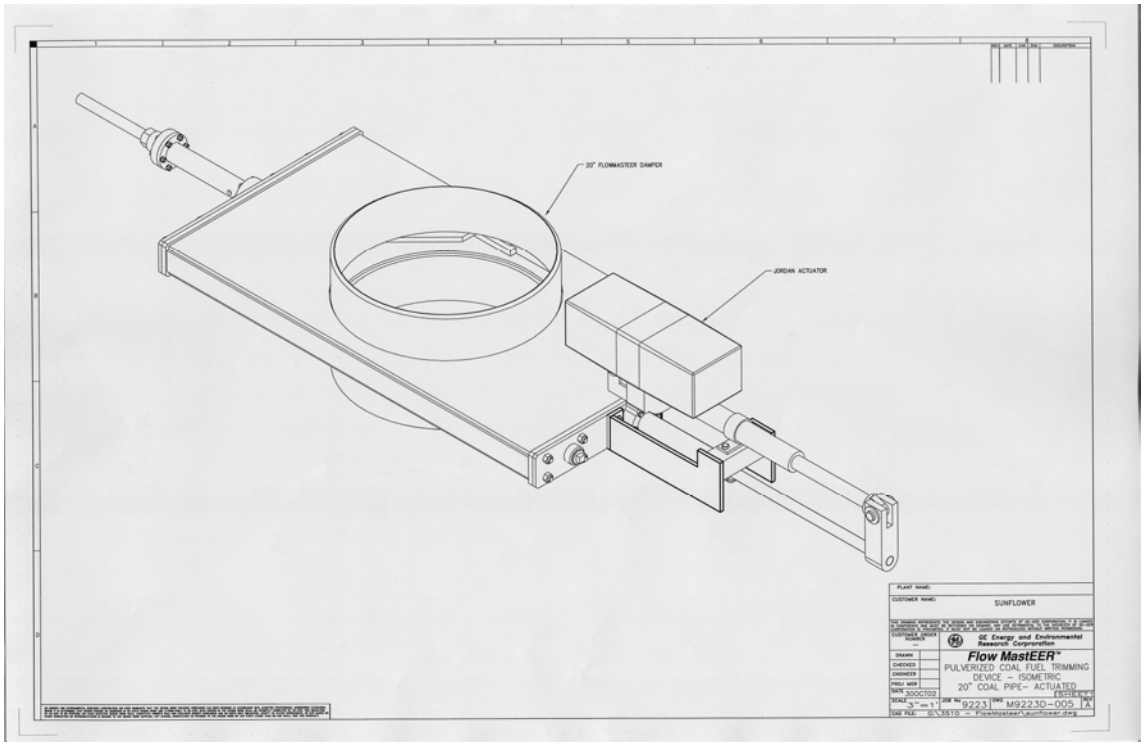


图2-18 自动煤粉调平挡板

图2-19 挡板安装照片

2003年3月，在完成低氮燃烧器改造、安装了煤粉流量测量装置及自动调平挡板以后，对机组特性进行了试验，以确定所安装设备的最佳设置。最初的努力放在用自动缩孔挡板和煤粉流量测量装置对煤粉调平。

当确信煤粉分配已经调平后，进行传感器和燃烧器调风挡板对风量调平及降低CO的试验。最后，找出燃烧器调风挡板的最佳设置，以使NOx和CO排放最低。在所有这些试验中，同时监测了安装这些设备后对锅炉效率的影响。两个特殊的参数是左右两侧氧量和炉膛出口烟温的不均匀。以下所列的是大修后的试验结果。

在机组启动后及对煤粉流量标定后，用自动缩孔挡板对煤粉流量进行了调平。开始时发现在B磨、D磨和E磨，很容易获得较好的煤粉均匀性。

但是，有几个煤粉管内，如果不是以非常低的流速（小于15米/秒）则很难获得较好的分配均匀性。此外，对于所有这些磨煤机，当磨煤机出力较低时，结果能导致煤粉流速低于可以接受的水平。为了解决这个问题，对一次风曲线向上进行了调整，限制产生过低流速。当一次风曲线调整后重新对磨煤机进行了调整，最后进行了煤粉调平。

图2-20中的棒图对煤粉流量分布的基础分布和调平后的分布进行了比较。棒图所显示的偏差值是与每台磨的平均流量值的绝对偏差值。对于绝大多数煤粉管道来说，煤粉流量偏差小于10%，许多管道偏差还小于5%。正如在2.1.3节中讨论的，A磨上传感器测量的数据显示存在相当大的脉动现象，因此很难把偏差调至15%以下。改善后的煤粉流量分配在图2-21显示，这些数据呈正态分布特征。图中说明通过煤粉调平，其分布特性比2002年10月有了显著改善。

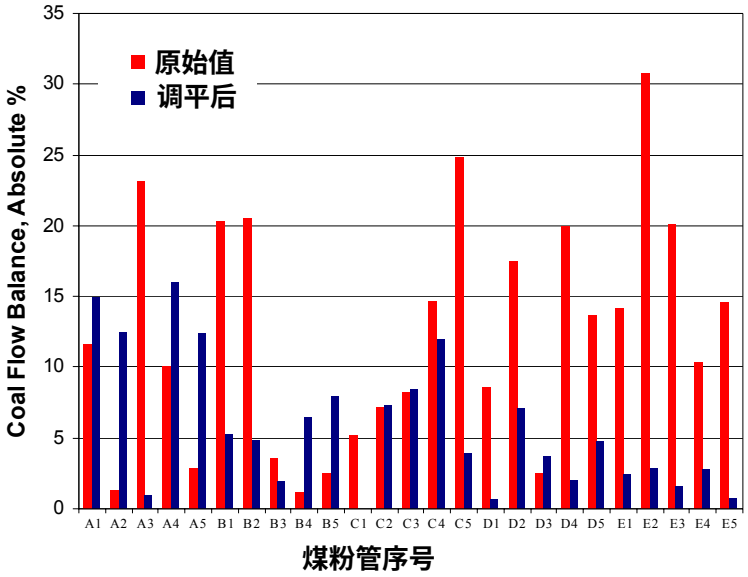


图2-20　煤粉分配偏差的基准值和调平后的值之比较

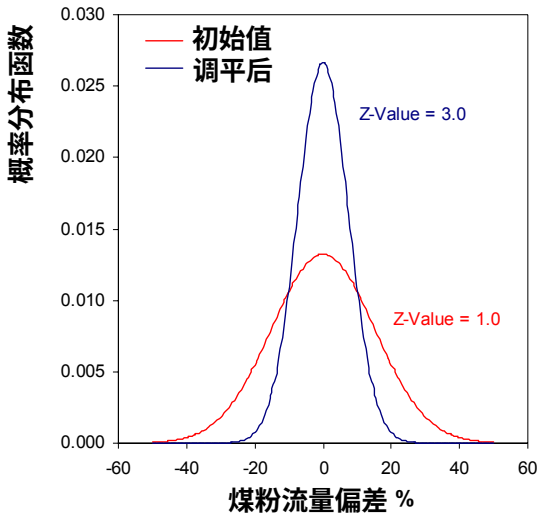
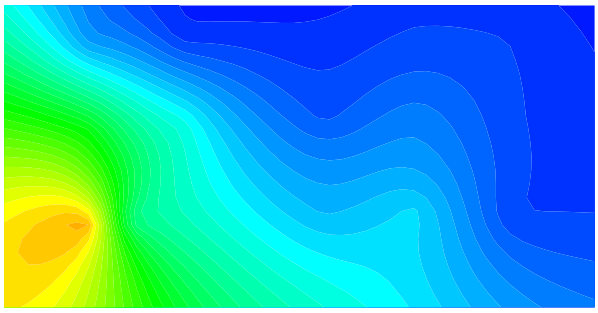
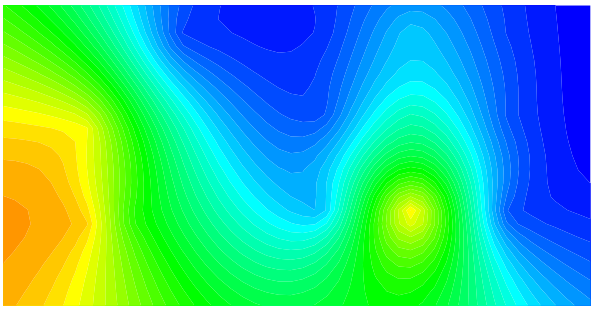


图2-21.初始值与调平后的煤粉分布的概率分布函数线

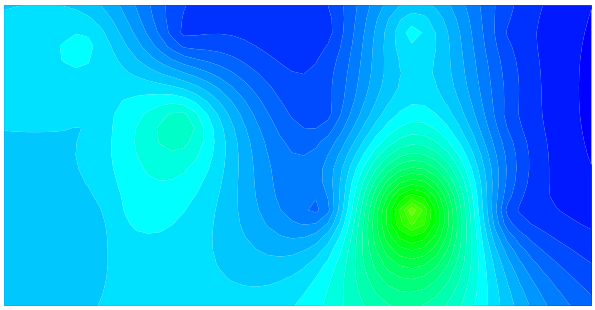
为了说明CO传感器能用于对燃烧器进行设置，进行了一系列试验，并在试验中应用了CO传感器输出值与燃烧器之间关系的数学模型。这些试验的结果显示在图2-22中。图中绘制的曲线显示从传感器上方观察烟气中CO的分布。图2-22a显示当煤粉流量调平至如图2-20的状况后所测的CO分布情况。在这时，在左下角发现了较高的CO水平。在这个位置的传感器主要监测来自于后墙燃烧器的烟气，并且这些传感器主要受上方燃烧器的影响。因此，通过调整后墙上部燃烧器的缩孔挡板把右侧燃烧器的空气转移到左侧燃烧器。正如图2-22b所示，这种调整增加了该角的CO水平以及接近右侧的位置。上方燃烧器的挡板被调整到原来的位置，而后墙下方的燃烧器挡板被调整成把右侧燃烧器的空气调整到左侧燃烧器。这样就成功地减少了该角和靠近右侧位置的CO水平（图2-22c）。为了进一步降低右侧所看到的CO水平，通过调整后墙上方燃烧器挡板，把右侧燃烧器的空气移到中央（图2-22d）。最后，当工况在第二天稳定后，CO分布图如图2-22e所示。总之，这些结果显示有可能把各类传感器及控制系统与优化算法结合在一起，提高整体燃烧性能。



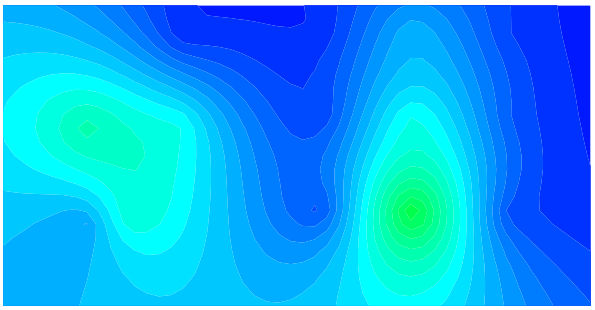
a) 煤粉分配调平后的CO分布图



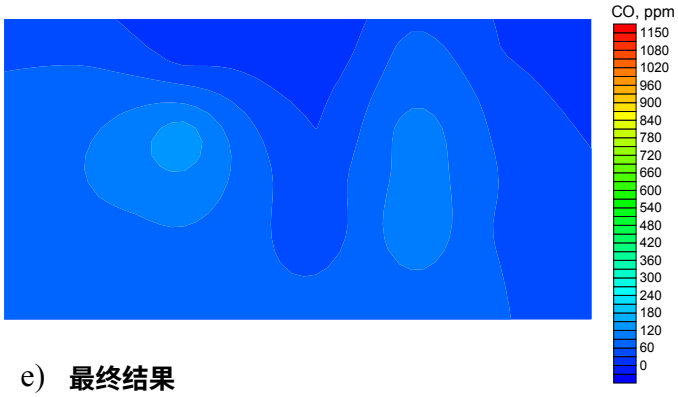
b) 用后墙上方燃烧器对左右两侧空气分布进行调平



c) 用后墙底层燃烧器对左右两侧空气分布进行调平



d) 用后墙上层燃烧器对右侧至中心的空气分布进行调平



e) 最终结果

图2-22.在用燃烧器调整期间CO分布网格图

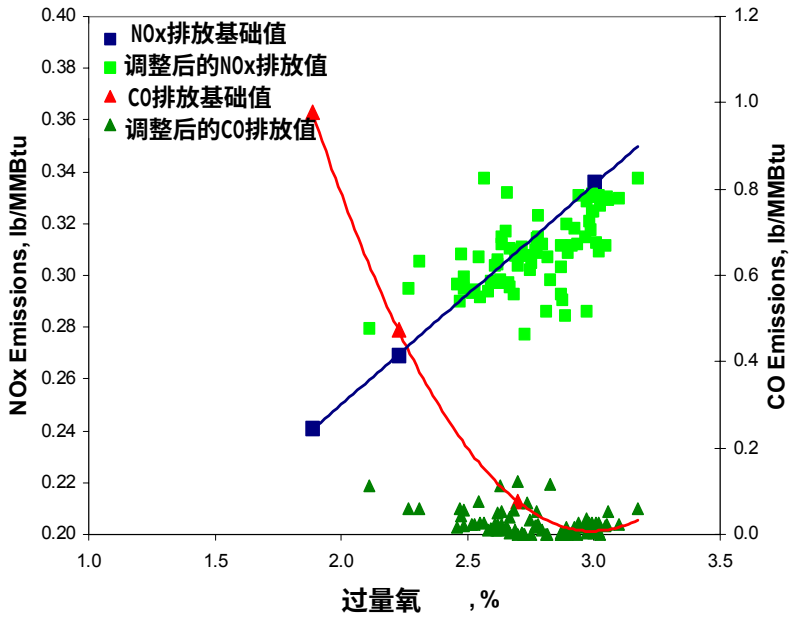


图2-23.NOx和CO排放的基础值与调整后的结果的对比

图2-23对2003年3月至2003年5月所进行的调平和调整结果与2003年2月所进行的基准试验进行了比较。图中的曲线显示了NOx和CO排放与锅炉过量氧水平之间的函数关系。

在调整期间出现的NOx排放的大幅度变化的原因是燃烧器的设置及风粉的均匀性。关于NOx排放，图2-23中的对比显示绝大部分的NOx排放水平基本相同，即介于基准值及改造后的试验值之间，但是有可能在相同的过量氧水平下以更低的NOx排放条件运行。关于CO排放，通过比较显示出在调试期间CO排放比基准测试试验的排放更低，特别是当锅炉过量氧量水平低于目前的设定值时，CO排放低的原因应归功于风粉的平衡。

在调平和调试期间，燃烧器风量分配的调整主要基于降低CO排放，并试图调平左右两侧由电厂氧量探头测量的氧量分配。同时也发现燃烧器之间的空气分布对炉膛出口烟温的偏差也有影响。图2-24绘制出了烟囱的CO排放对应于左右两侧氧量的差别。正如图中所示，调平左右两侧氧量偏差能降低CO排放。然而，取得最低的CO排放应该把烟道左侧的氧量提高。

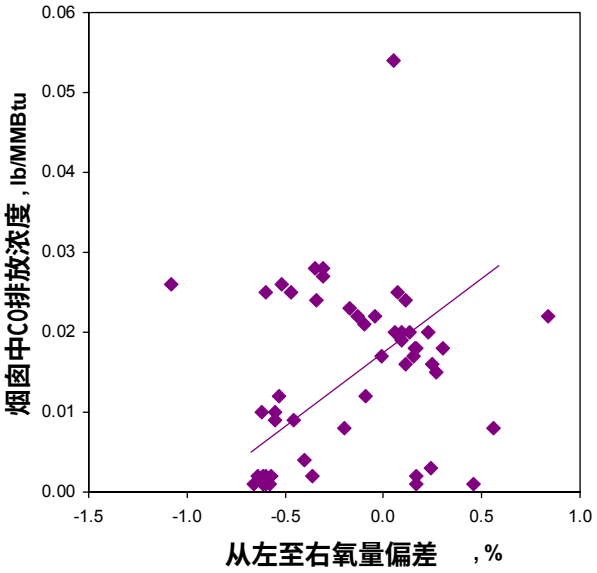


图2-24.左右两侧氧量偏差对烟囱中CO排放浓度的影响

这个结果说明也许在测量系统存在虚假数据。氧量测量产生误差的一个潜在源头是由于测量位置直接放在了气流从水平方向转向连接空预器的烟道上，因此在测量平面上产生了分层现象。这种流体的分布效果应该在对氧量取平均值时加以考虑。图2-25描绘出了左右两侧炉膛出口烟温的差别对应于左右两侧氧量的差别。正如图中所示，调平左右两侧氧量偏差显然降低了左右两侧炉膛出口温度偏差。然而，通过适当提高右侧氧量能得到最低的炉膛出口温度偏差。但是还不清楚是否这个结果是由于氧量传感器测量错误或者炉膛出口温度测量错误，或者是锅炉内气流和温度流场具有的复杂特性造成的。总而言之，在图2-24和图2-25显示的结果说明不可能既降低CO排放又减小炉膛出口温度的偏差。在第三期工程安装的燃尽风应该有助于克服这个限制，因为燃尽风能对CO进行有效的控制病情能提高控制和调整炉内整体空气分布的能力

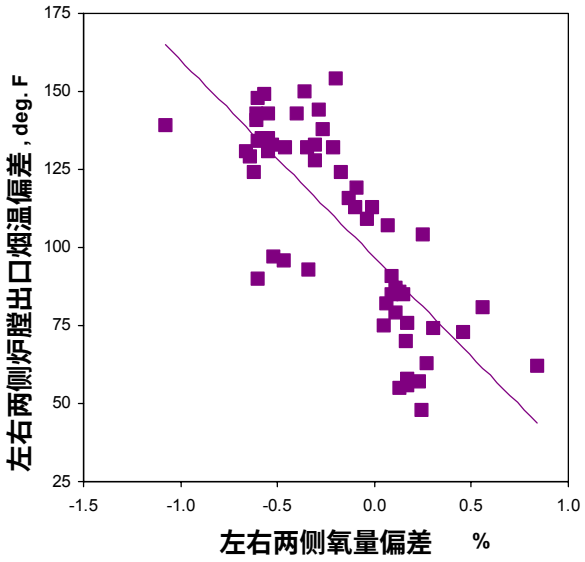


图2-25.左右两侧氧量均匀性与左右两侧炉膛出口烟温均匀性之比较

2.2.3 任务 2.3 - 燃尽风OFA的穿透力的设计

为了实施第三期工程，这个任务将包括详细的最优燃尽风系统的设计。

在这个报告期间，这个任务支持燃尽风系统的设计并做出安装概算。完成了燃尽风系统设计。电厂批准了燃尽风喷嘴和管道的设计图。做出了燃尽风的投标文件并分发给了承包商。

2.3 任务 3.0 - 第III期 - 先进的燃尽风系统

这期工程的目标是说明随着燃尽风系统的投运以及第一、二期的改造对整个系统性能的优化，更深入进行NOx控制比SCR系统更具竞争力。所有三期工程结合在一起所得到的这些进步将向电厂提供一个降低NOx排放、提高电厂效率和发电量的机会。

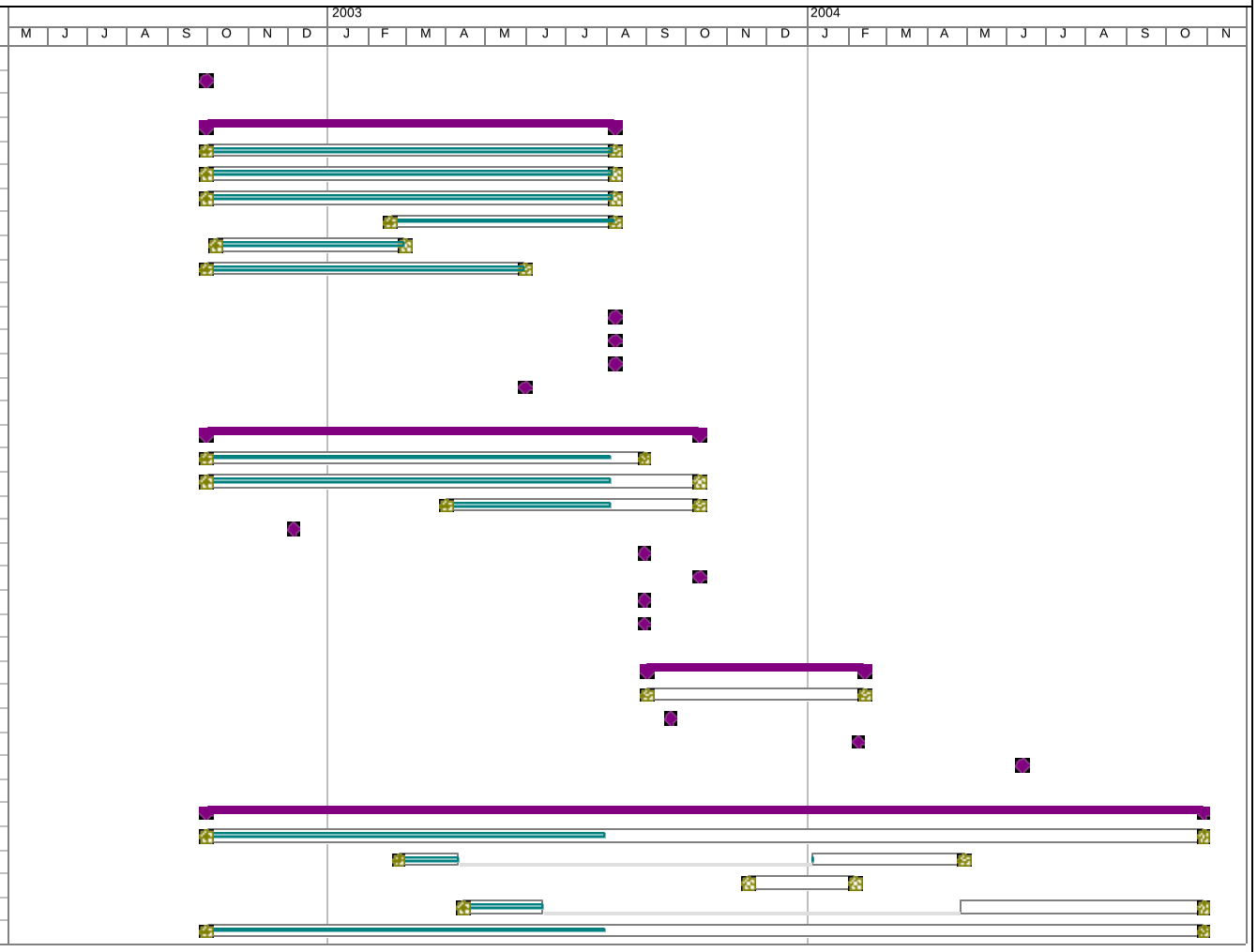
附件A - 工期图

Attachment A-1 Gantt Chart

Sunflower Electric Power Corporation

DE-FC26-03NT41418

ID	Task Name
1	
2	DOE Project Funding Release
3	
4	**Task 1.0 - Phase I - Advance Sensors Upgrade**
5	Task 1.1 - Process Design and Performance Analysis
6	Task 1.2 - Design and Fabrication/Construction Documents
7	Task 1.3 - Boiler Combustion Optimization Sensors
8	Task 1.4 - Sensor Integration / Testing
9	Task 1.5 - Baseline Testing
10	Task 1.6 - PSD Review
11	
12	M1.1 Furnace Modeling/ Overall Process Complete
13	M1.2 Boiler Sensor Installation Complete
14	M1.3 Boiler Sensor Integration and Shakedown Complete
15	M1.4 PSD Review Complete
16	
17	**Task 2.0 - Phase II - Low-NOx Burner Modifications**
18	Task 2.1 - Low-NOx Burner Modifications
19	Task 2.2 - PC Piping Coal Flow Control and Balancing System/Testing
20	Task 2.3 - Design of OFA Penetrations
21	M2.1 Burner Design Complete
22	M2.2 Burner Modifications Complete
23	M2.3 Install Coal Flow System
24	M2.4 Burner Modification Testing Complete
25	M2.5 Sunflower Decision to proceed Phase III
26	
27	**Task 3.0 - Phase III - Advanced Overfire Air System**
28	Task 3.1 - Overfire Air Ductwork and Injectors
29	M3.1 OFA System Design Complete
30	M3.2 OFA Installation Complete
31	M3.3 Conclude Unit SU and Shakedown, & Optimization
32	
33	**Task 4.0 - Management and Implementation (Phases I, II, and III)**
34	Task 4.1 - SEP Project Team Coordination
35	Task 4.2 - Construction and Start-up (Phases I, II, and III)
36	Task 4.3 - Operation and Maintenance Manuals (Phases I, II, and III)
37	Task 4.4 - Tuning/Optimization Testing (Phases I, II, and III)
38	Task 4.5 - Supplemental Reporting Requirements



Project: Rev090602.MS ProjectV98
Date: Sun 8/3/03

Task | Summary | Rolled Up Progress | Project Summary | Deadline
Progress | Rolled Up Task | Split | External Milestone
Milestone | Rolled Up Milestone | External Tasks | External Milestone