

7/M621.6
2195

165592

全国火力发电工人通用培训教材

发电厂集控运行

中级工

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是《全国火力发电工人通用培训教材》之一，也是部颁《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》的配套教材之一。

全书分二篇七章，第一篇集控巡视员，主要讲述单元制发电机组运行维护、事故处理、定期试验与经济运行；第二篇集控值班员，主要讲述电力系统概述，单元制发电机组结构及系统特点、启停和工况变化、启停等。为巩固和加深对课文内容的理解，各章之后附有复习题。

本书适用于火力发电厂集控运行巡视员中级工、集控运行值班员中级工的培训考核，也可作为有关技术人员和师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂集控运行：中级工/山西省电力工业局编. -北京：
中国电力出版社，(1998 重印)

全国火力发电工人通用培训教材

ISBN 7-80125-185-7

I. 发… I. 山… II. 火电厂-集中控制-运行-技术培训-教材 N. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 25222 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市京东印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1997 年 3 月第一版 1998 年 1 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 15.25 印张 335 千字

印数 5151—9220 册 定价 17.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

由原水利电力部组织、山西省电力工业局编写、原水利电力出版社出版的《火电生产类学徒工初级工培训教材》和《火电生产类中级工培训教材》，发行、使用已历时 10 余年。其间，《学徒工初级工》各分册分别重印 5 至 9 次，《中级工》各分册分别重印 4 至 7 次，发行量很大，深受全国电力系统广大读者的欢迎，基本上满足了电力行业火力发电工人培训、考核、提高技术水平的要求，取得了显著的社会效益。为此，这两套培训丛书在全国电力普及读物评优中，荣获了“普及电力科学技术知识特别奖”。

10 余年来，由于改革开放的不断深入发展，我国的电力工业有了很大的发展，现已普遍进入大机组、大电网、高参数、超高参数、高电压、超高电压和高度自动化的发展阶段，对电业生产人员的素质提出了更高的要求。继 1991 年 12 月原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》之后，1995 年 9 月电力工业部、劳动部又颁发了《中华人民共和国工人技术等级标准·电力工业·火力发电部分》。因此有必要根据电力生产的新情况和电力工人技术等级标准的新要求，对上述两套培训教材进行修订并增补高级工培训教材。经山西省电力工业局和中国电力出版社通力合作，并在全国电力工人技术教育研究所的支持下，现编写、出版了这套《全国火力发电工人通用培训教材》。本套丛书的内容覆盖了火力发电 16 个专业对初、中、高级工的技术要求，每个专业分初级工、中级工、高级工三个分册出版，共计 48 个分册；每一分册中又以各专业的不同岗位工种设“篇”，共覆盖了 40 余个工种。

际水平出发，进行设计、编写的。为了使教材更具有针对性，更加实用，我们做了大量的前期工作，对电力系统的人员结构、整体素质进行过调查和认真分析。这套培训教材不仅适用于具有初中及以上文化程度、没有经过系统专业培训的电力生产人员，而且对于现场的工程技术人员，也是有参考价值的。另一方面，这套培训教材以培养工人实际能力为重点，以提高工人操作技能为主线，教材中所提供的“知识”是为“技能”服务的，因而增强了教材的实用性，使经过培训的工人能较快运用所学的知识 and 掌握的技能，指导或改进所从事的生产实践。

此外，这套培训教材图文并茂，通俗易懂，好学好用，特别适合于工人学习。

当然，《全国火力发电工人通用培训教材》所反映的是普遍适用的主要内容。各单位在使用过程中，只要结合本单位的设备、工艺特点和人员素质的实际情况，在内容上做适当的补充和调整，便可有针对性地对本单位职工开展培训。

《全国火力发电工人通用培训教材》是《全国电力工人公用类培训教材》的延伸，两套培训教材要配合使用。这些培训教材的出版，必将对我国电力职工培训工作的有效开展和“九五”期间电力职工素质的提高，产生积极而深远的影响。

中国电力企业联合会教育培训部

1996年12月

目 录

序 前 言

第一篇 集控巡视员

| | |
|------------------------------|-----|
| 第一章 单元制发电机组运行维护 | 1 |
| 第一节 单元制发电机组制粉系统运行维护 | 1 |
| 第二节 单元制发电机组风烟系统运行维护 | 5 |
| 第三节 单元制发电机组锅炉汽水系统监视与调整 | 15 |
| 第四节 单元制发电机组给水泵站运行维护 | 21 |
| 第五节 单元制发电机组回热系统运行维护 | 41 |
| 第六节 单元制发电机组汽轮机凝结设备运行维护 | 54 |
| 第七节 发电机冷却系统运行维护 | 74 |
| 第八节 厂用电运行维护 | 80 |
| 第九节 电动机运行与维护 | 110 |
| 复习题 | 118 |
| 第二章 单元制发电机组事故处理 | 136 |
| 第一节 锅炉燃烧系统故障 | 136 |
| 第二节 锅炉汽水系统故障 | 141 |
| 第三节 单元制发电机组回热系统故障 | 146 |
| 第四节 汽轮机真空下降 | 150 |
| 第五节 汽轮机油系统故障 | 152 |
| 第六节 单元制发电机组厂用电中断事故处理 | 155 |

| | | |
|------------|-------------------------------|-----|
| 第七节 | 单元制发电机组甩负荷 | 162 |
| 复习题 | | 165 |
| 第三章 | 单元制发电机组定期试验和经济运行 | 173 |
| 第一节 | 单元制发电机组启动前主要辅机一般性试验 | 173 |
| 第二节 | 单元制发电机组大修后验收试验 | 178 |
| 第三节 | 单元制发电机组经济运行 | 184 |
| 复习题 | | 196 |

第二篇 集控值班员

| | | |
|------------|-------------------------------------|-----|
| 第四章 | 单元制发电机组与电力系统 | 200 |
| 第一节 | 单元制发电机组与电力系统简介 | 200 |
| 第二节 | 电力系统安全经济运行和调度管理基本知识 | 205 |
| 第三节 | 单元制发电机组与电力系统协调运行 | 212 |
| 复习题 | | 218 |
| 第五章 | 单元制发电机组结构及系统特点 | 221 |
| 第一节 | 汽轮机组 | 221 |
| 第二节 | 锅炉 | 243 |
| 第三节 | 单元制发电机组发电机和变压器结构特点及 继电保护配置 | 260 |
| 第四节 | 单元制发电机组励磁系统 | 290 |
| 第五节 | 单元制发电机组程序控制 | 299 |
| 第六节 | 单元制发电机组辅机及系统布置 | 337 |
| 第七节 | 单元制发电机组计算机监控 | 343 |
| 复习题 | | 350 |
| 第六章 | 单元制发电机组启停和工况变化 | 364 |
| 第一节 | 锅炉汽水系统承压部件受力分析 | 364 |
| 第二节 | 汽轮机启动状态主要指标 | 370 |
| 第三节 | 汽轮机热应力 | 376 |

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 第四节 | 汽轮机热膨胀与热弯曲 | 381 |
| 第五节 | 发电机变工况主要监控指标 | 391 |
| 复习题 | | 402 |
| 第七章 | 单元制发电机组启停 | 410 |
| 第一节 | 单元制发电机组启停概述 | 410 |
| 第二节 | 单元制发电机组启停方式及旁路系统 | 413 |
| 第三节 | 单元制发电机组冷态滑参数启动 | 422 |
| 第四节 | 单元制发电机组热态滑参数启动 | 440 |
| 第五节 | 单元制发电机组停机 | 445 |
| 第六节 | 单元制发电机组停用后保养 | 456 |
| 复习题 | | 464 |
| 参考文献 | | 470 |
| 后 记 | | 李振生 |

第一篇 集控巡视员

第一章 单元制发电机组运行维护

第一节 单元制发电机组制粉 系统运行维护

单元制发电机组制粉系统是煤粉在炉内燃烧的前期准备系统，其主要任务是磨制、干燥和输送煤粉。在运行过程中，制粉系统既要保证运行可靠，还必须保证煤粉能够经济、高效地符合燃烧要求，必要时，可进行合理调整。

一、制粉系统的主要监控指标

单元制发电机组制粉系统的主要监控指标有：磨煤机出口温度、磨煤机入口一次风量、磨煤机电流和磨损情况等。

1. 磨煤机出口温度

磨煤机出口温度代表原煤和煤粉的干燥程度，同时也影响磨煤机的出力和煤粉气流的着火。磨煤机出口温度设定值应根据不同煤种决定。通常磨煤机应保持在尽量高的出口温度下运行，但不得超过相应煤种的安全极限温度。否则，磨煤机会有发生火灾的危险。例如，原煤的挥发分小于 30% 时，其出口温度可设定为 76~82℃；原煤的挥发份大于 30% 时，磨煤机出口温度应为 65~76℃；当使用高挥发分、高含硫量煤种时，磨煤机出口温度可降至 65℃；在任何情况下，磨煤机的出口温度不得超过 93℃。

磨煤机出口温度的调整是通过冷一次风量来进行的。冷

一次风量大，磨煤机出口温度就低；反之磨煤机出口温度就高。如果由于原煤水分过高或热风温度太低等原因，当磨煤机在出口温度小于 65℃ 条件下运行时，只要不伴有石子煤量增加、磨煤机出入口差压过大、对应喷燃器的火焰检测器的闪烁等不正常现象，那么就不必太担心。

2. 磨煤机入口一次风量

磨煤机的一次风量既影响原煤的研磨，又影响煤粉的分离、输送和着火，对制粉系统的安全、经济运行有着举足轻重的作用。一次风量过低时，磨煤机的风环流速过低，石子煤量剧增，若低至 16~18m/s 时，将造成煤粉管道堵塞或磨煤机火灾；一次风量过高，造成煤粉变粗，风煤比太大且煤粉气流的着火热相应提高，着火推迟。

为了保证一次风速在低限以上运行，磨煤机设有一次风量低保护，其设定值一般为磨煤机满出力所需风量的 60%。

3. 热一次风压

热一次风压是制粉系统安全运行的重要指标。控制一定的热一次风压，目的是保持各台磨煤机进口的热一次风有足够高的静压头，克服磨煤机及粉管的阻力，以维持磨煤机正常的一次风量和出口温度。为了确保制粉系统运行的安全可靠，有的制粉系统设置有低一次风压保护。当热一次风压低至最低限值时，所有运行磨煤机自动跳闸。

4. 磨煤机电流和磨损情况

磨煤机内部积粉程度，可通过磨煤机电流进行判断。当磨煤机超额定出力或由于煤中水分过高等原因造成研磨能力下降时，风环上部空间处于悬浮状态的煤粉量增加，风环阻力增大，石子煤量增加，煤层加厚，磨煤机电流增大。

磨煤机内部易磨部件如磨辊、衬板等磨损状况，也可借

助上述参数进行判断。对一般磨辊和衬板等易磨元件来说，一般用统计磨煤机的运行时数和进煤量的方法来预测其磨损状况，但煤种的变化对磨损量有一定的影响。因此，有必要借助其它参数判断磨损情况。

5. 磨煤机运行台数的选择

磨煤机负荷太低时，磨煤机内煤层太薄，容易发生振动，同时由于一次风量设有低限，必然造成风煤比太大，不利着火燃烧；负荷太高时，磨煤机超额定出力，石子煤量增加，磨煤机电流升高甚至发生振动。所以，磨煤机运行台数的选择主要考虑各台磨煤机应在适当的负荷下运行。磨煤机负荷越低，磨煤电耗越大，因此，只要条件许可，应尽量减少磨煤机的运行台数。为了防止磨煤机的故障造成锅炉灭火，应尽量避免仅两台磨煤机运行的情况。在原煤水分较大或热风温度较低时，为维持磨煤机出口温度正常及防止风室温度太高造成磨煤机火灾，应尽量选择少煤量多台数运行。

二、制粉系统的出力调整

当进行发电机组负荷或主蒸汽压力调节时，需要调整制粉系统的出力。

制粉系统出力调节与负荷增减的幅度、制粉系统的型式有关。

对于中间储仓式制粉系统，当负荷变化不大时，一般只调节运行的给粉机的转速，从而改变进入炉膛燃烧的煤粉量；当负荷变化较大已超出运行给粉机的正常调节范围时，则应改变运行给粉机的台数，即启动或停止制粉系统，以大幅度的调整燃煤量。

在锅炉配用直吹式制粉系统时，可调节给煤机转速或煤层厚度来改变其出力，当负荷变化较大时，可调整运行的给

煤机的台数，即启动或停止相应的制粉系统，以适应燃煤量的需要。

为了使锅炉有一定的适应负荷变化和调节汽压的能力，运行的给粉机或给煤机应留有一定的调节余地。制粉系统出力的调整速度不宜太快，同时伴随其出力的变化，必须相应改变一次风量。一般在增加出力时先增加一次风量，然后增加给煤量；降低出力时则应先减少给煤量，再减少一次风量。

三、制粉系统经济性运行

1. 合理的煤粉细度

煤粉的细度是衡量煤粉品质的重要指标，煤粉过粗和过细都是不经济的。锅炉燃烧的煤粉应有一个适当的细度。

所谓煤粉细度，是指煤粉经过专用筛子筛分后，残留在筛子上的煤粉质量占筛分前煤粉总质量的百分值。煤粉细度以 R 来表示，则有

$$R = \frac{a}{a+b} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 a ——筛子上剩余的煤粉质量；

b ——通过筛子的煤粉质量。

在筛子上面剩余的煤粉愈多，其 R 值越大，则煤粉愈粗。煤粉较细时，可减少机械不完全燃烧热损失，还可适当减少送风量，使排烟热损失降低。但为了得到较细的煤粉，要增加磨煤消耗的能量和设备的磨损。煤粉较粗时，情况刚好相反。所以，在运行中要选择合理的煤粉细度，使以上各项损失之和最小，整个系统的经济性才能达到最有利。总损失最小时的煤粉细度称为“经济细度”，经济细度值一般与燃料性质、制粉设备和燃烧设备有关，通常由锅炉效率试验来确定。因此在正常运行中，要维持由试验得出的煤粉经济细度。

经济细度与锅炉负荷也有一定的关系。锅炉负荷低时,由于炉膛温度低,燃料燃烧速度慢,煤粉应细一些;负荷高时,煤粉可粗一些。

2. 合理的风粉比

风粉比即指送入磨煤机内的一次风量与磨制出的煤粉量之比。一次风量太大,煤粉较粗,对一次风管磨损严重(尤其是拐弯处),同时使煤粉着火推迟,火焰中心后移,造成锅炉效率降低;一次风量太小,煤粉较细,着火提前,易于烧损喷燃器或结渣,严重时,会使一次风管堵塞,直至爆燃。

合理的风粉比也是经锅炉热效率试验来确定的。

3. 较低的控制电耗

制粉电耗在厂用电中也占有相当比重,应该注意找出合理的磨煤机出力、通风量和煤粉细度等,使制粉电耗降低。对于钢球磨煤机还要维持合理的钢球装载量,及时补充钢球;对中速磨煤机则应维持合理的磨辊压力。

4. 适当的排渣量

磨煤机排渣量大小与通风量、磨煤机型号、煤质及研磨部件的磨损情况等有关,同时也随发电机组负荷的增加而增加,但其排渣发热量不得超过 $2093.4 \sim 4186.8 \text{kJ/kg}$ 。

第二节 单元制发电机组风烟 系统运行维护

煤粉在炉内正常稳定的燃烧过程是由风烟和制粉系统联合完成的。因此,在对制粉系统运行指标监控的同时,必须监控引风机、送风机以及空气预热器各设备的运行指标。根据燃烧所需的风量和炉膛负压进行正确的燃烧调整,以达到

燃料燃烧过程稳定的目的。

一、送（引）风机的调节

送（引）风机的调节，按照其结构型式，可分为离心式风机调节和轴流式风机调节两种。

1. 离心式风机的调节

离心式风机调节有节流调节、变速调节和进口导叶调节等方式。节流调节产生的附加阻力损失和效率下降较大，一般不采用。大容量单元制发电机组风机常采用电动机变速调节和进口导叶调节方式。

变速调节方式通过改变叶轮的工作转速，使风机性能随之改变，由此改变了工作点位置。图 1-1 表示了离心风机采用变速调节时工作点变化的情形。当转速为 n 时，性能曲线与管道特性曲线相交于 A 点，工作点的流量和風压分别为 Q_A 和 p_A ，当负荷增加、系统要求

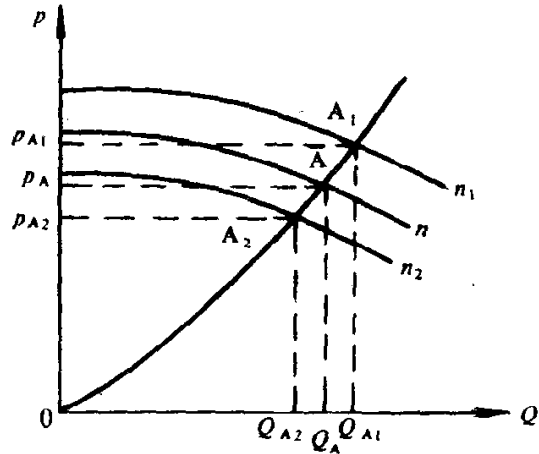


图 1-1 离心风机采用变速调节的 $p-Q$ 曲线

求流量增加到 Q_{A1} 时，若将转速提到 n_1 ，离心式风机的流量和風压都相应地增到管道系统所需要的数值 (Q_{A1} 、 p_{A1})。相反，负荷减少时，将转速降为 n_2 亦可获得相应的流量和風压 (Q_{A2} 、 p_{A2})。

进口导叶调节是通过改变进口导叶角度的方法改变风机

的性能曲线，以改变工作点。其原理可用叶轮入口的速度三角形及欧拉方程式加以说明。图 1-2 表示了叶轮入口处气体的速度三角形。当绝对速度和圆周速度的夹角 α_1 变更时，则绝对速度在圆周方向分速度 v_{1u} 相应发生变化。根据欧拉方程式，全风压 $p = \rho(u_2 v_{2u} - u_1 v_{1u})$ ，所以全风压也随着变化。由图 1-2 可知，当 $\alpha_1 = 90^\circ$ 时（即导叶全开）， $v_{1u} = 0$ ，全风压 $p = \rho u_2 v_{2u}$ ，此时 p 最大；当 $\alpha = 0$ 时（导叶全关）， v_{1u} 最大，全风压最小。

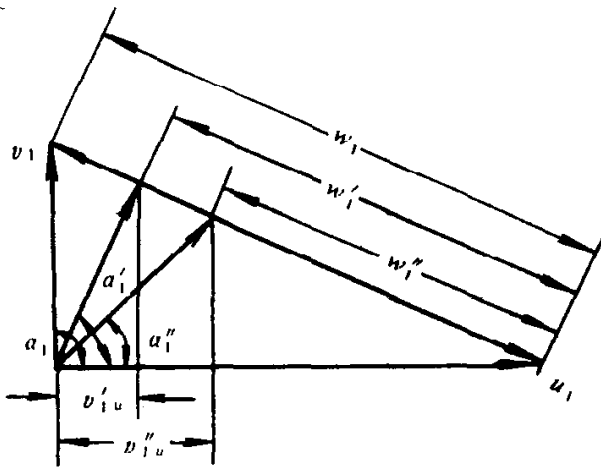


图 1-2 叶轮入口处气体的速度三角形
 w —相对速度； u —圆周速度； v —绝对速度；
 v_u —绝对圆周分速度

2. 轴流式风机的调节

轴流式风机通常采用可动叶片的调节方式，即通过调整动叶的安装角度改变风机本身的特性（管路阻力不改变）来改变工作点，以适应负荷的变化。图 1-3 为某电厂轴流送风机（动叶调节）性能曲线。从图 1-3 可以看出，轴流送风机采用动叶调节时，其全风压曲线是一组较陡的曲线，动叶开大时，风量、风压升高，轴功率亦增大。对应某一动叶角度，全风

压线较陡直（功率特性亦较陡直），即当阻力增大时，风压上升较多而风量下降较少；与此同时，由于阻力增加将使轴功率增加较快，因此在这种意义上，流量愈小耗功率愈大。因此，轴流风机启动应在动叶全关而出口阻力最小情况下最佳。

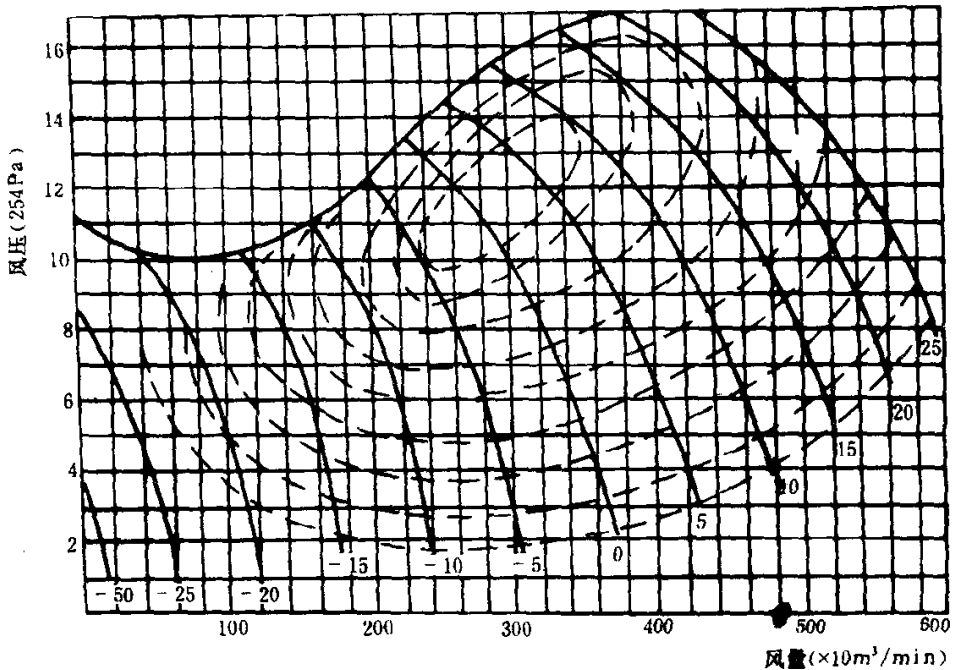


图 1-3 某电厂轴流式送风机（动叶调节）性能曲线

图 1-3 中，环形虚线为等效率线，当按风量要求进行动叶调节时管路的特性曲线是始终不变的，起自原点的抛物线，此时工作点沿该阻力抛物线移动。由图 1-3 可知，在较宽广的动叶角度范围内，风机仍可保持较高的效率，但动叶角度过小仍是不经济的。

由图 1-3 可见，轴流风机风压特性是一组有驼峰的曲线。当风机的出口阻力增大时，风机工作点沿风机特性曲线向左上方移动逐渐接近驼峰。假想工作点已落在驼峰附近右方，而

据风量要求还需继续开大动叶时，工作点将可能被强迫移至不稳定工作区（因为新的动叶角度下驼峰向右上方偏右），因此将出现风机的喘振。

3. 风机在调整过程中的注意事项

(1) 采用变速调节的离心式风机考虑发电机组带基本负荷，风机低速运行，进口导叶几乎全开，工作点在高效率区。而当煤质变差、空气预热器漏风增加、锅炉排烟温度升高等工况下，风机可切换为高速运行。在风机正常运行时，采用入口导叶调节方式。

(2) 由于轴流风机动叶片为悬臂式，且流道宽叶片少，其叶片刚性差。当风机发生喘振时，叶片受气流激振易产生共振而造成断裂事故。因此，风机在运行中应密切监视其性能的变化，如出口风压、流量等，始终保持暖风器、空气预热器的清洁，在进行风量调节时严禁用风机出口门节流。当暖风器或空气预热器堵塞造成风压上升和风量下降达到某一风压上限或风量下限值时，不允许继续开大动叶。当堵塞情况仍在加重时，应适当关小动叶角，以使工作点始终保持在稳定区，并与驼峰保持适当距离。在后一种情况下，必须尽快安排风机停运，处理堵塞情况，否则风机连续运行将面临损坏危险。

二、空气预热器运行的监控指标

大容量发电机组的锅炉，一般采用结构紧凑、质量轻的再生式空气预热器，按照流体方式可分为受热面转动和风罩转动两种型式。两者在运行中的监控指标基本一致。监控目的都是为了确保空气预热器换热件畅通、润滑油系统运行正常、漏风率在规定范围内以及换热件不发生低温腐蚀和着火等不安全现象。

1. 空气预热器出入口差压

风侧差压和烟侧差压的监控非常重要。差压过大，会直接导致空气预热器冷端漏风加剧，空气预热器后烟气含氧量上升，同时由于锅炉供给燃烧所需空气量降低而使风机出力增加，电流上升；严重时使换热件堵塞，风机出力不能满足负荷的要求，被迫降低发电负荷，发电机组效率下降。另外处理起来也很费事，花大量人力、物力进行冲洗或拆包单片清理。最后腐蚀损坏过早应更换换热件。

2. 空气预热器入口空气温度、风烟和平均值

空气预热器入口空气温度及风烟和（即排烟温度加入口空气温度）的平均值由制造厂家提供，两者都必须满足。空气预热器正常运行时，入口空气温度低，很可能会形成在露点下运行导致低温腐蚀；入口空气温度过高，暖风器耗用蒸汽多、换热效率低，会造成排烟损失大，锅炉热效率降低。风烟和平均值的控制主要是在不同负荷下防止发生低温腐蚀，低负荷时排烟温度低，则需较高的入口空气温度；高负荷时，入口空气温度可降低些，低温腐蚀的结果将造成受热面穿孔，漏风增大，同时腐蚀又加重堵灰，使烟风道阻力增大，严重影响锅炉经济运行。

3. 空气预热器出口烟气含氧量

空气预热器出口烟气含氧量是标志其内部漏风的重要指标。在回转式空气预热器内部，虽然装设了径向、环向和轴向密封装置，但因换热件的热变形而造成严重漏风一直是难以解决的问题，其中径向漏风又是受热面回转式空气预热器最主要的漏风途径，漏风使得空气直接进入烟道由引风机抽走，使引风机电耗增加，严重时限制锅炉出力，影响锅炉的安全经济运行。为了减小受热面回转式空气预热器热态下