

电厂锅炉

自动控制系统技术及安全性研究

■ 董寒晖 著

DIAN CHANG GUO LU

ZIDONG KONGZHI XITONG JISHU JI ANQUANXING YANJIU



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电厂锅炉自动控制系统技术 及安全性研究

董寒晖 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

锅炉的安全性是电厂安全生产管理的重要方面,全面总结和深入研究锅炉自动控制系统的安全运行技术,对保障电力系统安全生产具有重要意义。本书对电厂锅炉自动控制系统运行及安全性进行探讨研究,具体内容包括直流锅炉自动控制系统、循环流化床锅炉控制系统、汽包锅炉给水控制系统、汽包锅炉蒸汽温度控制系统、汽轮机自动控制系统、单元机组协调控制系统、分散控制系统、安全监控系统的功能和组成原则等方面。总体上,本书强调理论联系实际,注重原理分析与工程实际相结合,可供高校能源与动力工程类专业的师生使用,也可供相关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电厂锅炉自动控制系统技术及安全性研究 / 董寒晖
著. — 北京:中国水利水电出版社, 2018.3
ISBN 978-7-5170-6328-5

I. ①电… II. ①董… III. ①电厂锅炉—自动控制系统—安全性—研究 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第035301号

责任编辑:陈 洁

封面设计:王 斌

书 名	电厂锅炉自动控制系统技术及安全性研究 DIANCHANG GUOLU ZIDONG KONGZHI XITONG JISHU JI ANQUANXING YANJIU
作 者	董寒晖 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市同力彩印有限公司
规 格	170mm×230mm 16开本 13.5印张 242千字
版 次	2018年3月第1版 2018年3月第1次印刷
印 数	0001-2000册
定 价	54.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

电厂锅炉自动控制在不断地进步，我国的火电机组已经向着高参数、大容量、低能耗、少污染、高自动化的方向发展。火力发电生产过程的自动控制水平显著提高，一些新的控制理念和控制方法已在新建大型火电机组上开始得到应用。

显而易见，电厂锅炉自动控制系统在发电厂机组安全稳定运行中的地位非常重要。电厂锅炉自动控制技术从主体上涉及系统的设计、安装、调试、运行维护、检修和技术管理各个方面。所以，不断提高发电厂热工专业技术人员的技术素质与管理水平是发电企业的一项重要工作。锅炉自动控制专业人员既要有扎实的专业理论基础，又要有丰富的专业实践经验，同时还要求有一定的热力系统知识。所以说，自动控制专业知识的掌握，应该是基础理论联系实际经验的渐进过程。随着技术的发展和新建机组的不断增多，新老电厂的热工专业人员都面临着专业知识和技术素质再提升的需求。

本书主要探讨电厂锅炉自动控制系统及安全性，全书分为8章。第1章主要阐述火电厂运行过程的特点及自动化控制要求、锅炉汽水系统与汽水测量系统、锅炉燃烧系统与燃烧测量系统、分散控制系统（DCS）与现场总线控制系统。第2章讨论锅炉给水系统及自动控制，内容包括给水自动控制系统和给水全程自动控制系统。第3章讨论汽包锅炉汽温自动控制系统，内容包括串级过热汽温控制系统、双回路汽温控制系统、过热汽温分段控制系统、再热汽温自动控制系统和600MW过热汽温控制系统的应用。第4章讨论单元机组协调控制系统的组成及应用，内容包括单元机组协调控制系统的特性、协调系统的负荷控制、协调控制系统的组成、协调控制的能量平衡原理和600MW单元机组协调控制系统的应用。第5章探讨汽轮机自动控制系统，内容包括中间再热式汽轮机、功率频率电液控制系统和数字式电液控制系统。第6章探讨直流锅炉及其控制，内容包括直流锅炉的特点及动态特征、直流锅炉的基本控制方案、直流锅炉的给水控制系统、直流锅炉过热汽温控制系统和超临界机组协调控制系统。第7章探讨循环流化床锅炉及其控制，内容包括循环流化床锅炉及控制系统、燃烧过程的特点及

控制任务、燃烧过程控制系统和300MW机组循环流化床锅炉控制。第8章探讨研究锅炉安全监控系统，内容包括锅炉炉膛安全监控系统的功能与配置、火检原理与炉膛压力检测、炉膛爆燃及其防止、MFT及公用逻辑、锅炉安全可靠性探析。

总体而言，本书紧跟锅炉自动控制系统发展的步伐，探讨了实用技术及其理论，兼顾行业新理论、新技术，内容全面而丰富，注重系统性、科学性和实用性。

需要指出，在撰写本书的过程中，作者参考了大量国内国外的学术文献和资料，并引用了其中一些重要的数据与图表。虽然经过多次修改，但是限于作者水平，且人们对新理论、新技术的认识和实践也在不断完善之中，因此书中难免存在不足之处，希望同行学者和广大读者提出批评意见。

作者

2017年12月

目 录

前言

第1章 绪论	001
1.1 火电厂运行过程的特点及自动化控制要求	001
1.2 锅炉汽水系统与汽水测量系统	005
1.3 锅炉燃烧系统与燃烧测量系统	010
1.4 分散控制系统（DCS）与现场总线控制系统简介	014
第2章 锅炉给水系统及自动控制	022
2.1 概述	022
2.2 给水自动控制系统	027
2.3 给水全程自动控制系统	040
第3章 汽包锅炉汽温自动控制系统	047
3.1 概述	047
3.2 串级过热汽温控制系统	050
3.3 双回路汽温控制系统	053
3.4 过热汽温分段控制系统	057
3.5 再热汽温自动控制系统	059
3.6 600MW过热汽温控制系统的应用	064
第4章 单元机组协调控制系统的组成及应用	067
4.1 单元机组协调控制系统的特性	067
4.2 协调系统的负荷控制	070
4.3 协调控制系统的组成	073
4.4 协调控制的能量平衡原理	078
4.5 600MW单元机组协调控制系统的应用	082
第5章 汽轮机自动控制系统	090
5.1 概述	090
5.2 中间再热式汽轮机	094
5.3 功率频率电液控制系统	097

5.4	数字式电液控制系统	102
第6章	直流锅炉及其控制	108
6.1	直流锅炉的特点及动态特征	108
6.2	直流锅炉的基本控制方案	115
6.3	直流锅炉的给水控制系统	119
6.4	直流锅炉过热汽温控制系统	133
6.5	超临界机组协调控制系统	139
第7章	循环流化床锅炉及其控制	155
7.1	循环流化床锅炉及控制系统	155
7.2	燃烧过程的特点及控制任务	158
7.3	燃烧过程控制系统	162
7.4	300MW机组循环流化床锅炉控制	168
第8章	锅炉安全监控系统	175
8.1	概述	175
8.2	锅炉炉膛安全监控系统的功能与配置	176
8.3	火检原理与炉膛压力检测	181
8.4	炉膛爆燃及其防止	188
8.5	MFT及公用逻辑	192
8.6	锅炉安全可靠性探析	200
	参考文献	208

第1章 绪论

目前，在我国的供电系统中，火力发电仍然占据重要地位。因此，对火力发电生产的特点和生产过程的控制进行研究仍然是非常重要的问题。对于火力发电厂来说，为了保证发电过程的安全性、可靠性和经济性，就要提高发电机组的自动化水平。目前，以计算机为基础的分布式控制系统（Distributed Control System, DCS）普遍地应用在火力发电厂中，形成集监测、控制、保护、操作以及管理于一体的多功能自动化系统。

1.1 火电厂运行过程的特点及自动化控制要求

1.1.1 火电厂运行过程的特点

火力发电的生产过程是化石能源中的化学能，经过燃烧转换为热能，再由热能到机械能、机械能到电能转换的全过程。这一过程具有下面的特点。

1. 火力发电生产是一个不可中断的连续过程

首先，电能的生产是一个连续的生成过程，火力发电生产过程必须连续进行。其次，电能的需求具有很大的随机性，且不能大量储存，电厂所发出的功率必须和用户需求的功率相平衡。生产的连续性和负荷的适应性是电力生产的两个显著的特点，这两个问题处理不好就会影响供电质量，甚至会给国民经济带来巨大的损失。所以，对电力生产过程进行有效的控制是必不可少的。

2. 火力发电机组是一个庞大的复杂系统

火力发电生产包含了化学能到热能、热能到机械能、机械能到电能的多次能量形式转换；因而生产过程设备多、系统组成庞大且复杂。各种热

力设备，由于工作原理、结构不同，其动态特性存在很大差异，系统中设备相互间也有很大的影响。要使每台设备都能工作在最佳状态，使整个系统协调一致地工作，保证机组的正常运行，必须依靠自动控制系统。

3. 火力发电生产的安全性、可靠性极其重要

由于电力工业在社会生产和生活中处于至关重要的位置，供电不足或中断会直接影响到国民经济的正常运行和社会稳定，因此火力发电机组的安全性、可靠性是至关重要的。火力发电过程的许多设备长期工作在高温、高压和比较恶劣环境下，容易出现设备故障。因此必须对设备的状态进行不间断地监测，并进行故障的判断、联锁和保护等，保证设备始终处于良好的运行状态，同时能迅速处理已发生的故障或事故。完成这些工作，必须借助于自动化系统。

4. 火力发电生产与环境保护

目前，煤炭、石油和天然气等化石能源仍在整个能源构成中占据主导地位，这种局面可能还要维持几十年不变。煤炭等化石能源直接应用于火力发电会带来一系列严重的环境污染。比如硫氧化物、氮氧化物对大气的污染、固体废物、水污染和热污染等。当前我国每年火力发电厂的烟尘排放量约为350万吨，占全国烟尘排放量的35%。其中微细粒子（小于 $10\mu\text{m}$ ）排放量超过250万吨，是影响城市大气质量和能见度的主要因素，并严重危害人体健康。因此，减少污染，保护环境已经成为火力发电生产中的重要工作之一。

1.1.2 火电厂运行过程的自动化控制要求

1. 模拟量控制

火力发电机组电厂控制主要是涉及生产过程安全性、经济性的连续变化模拟量控制和开关量控制。模拟量控制系统每时每刻都在工作，控制系统的组成、工作原理比较复杂。单元机组的模拟量控制结构如图1-1-1所示，模拟量控制分为两级：协调控制级和基本控制级。

从控制系统设计和设备的运行管理划分，分别有涉及机组热工过程模拟量的协调控制系统（Coordination Control System, CCS），与锅炉设备相关的锅炉模拟量控制系统，与汽轮机相关的汽轮机模拟量控制系统以及主要辅机的控制系统。注意，协调控制系统根据控制策略命名，而模拟量控

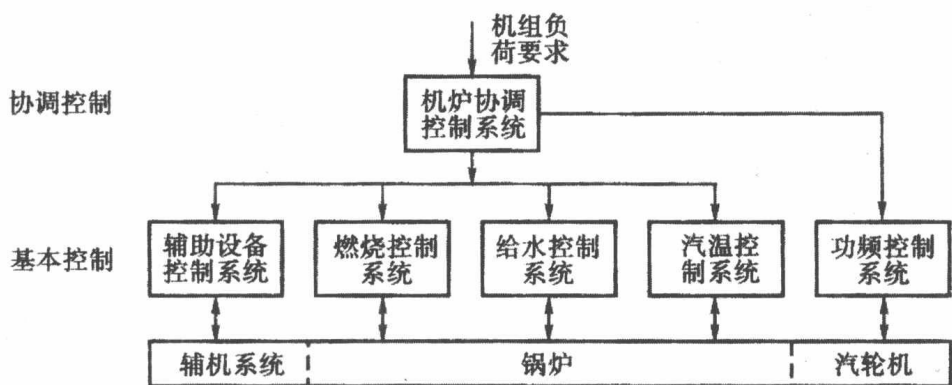


图1-1-1 模拟量控制系统结构

制系统（Modulating Control System，MCS）按该系统处理的信息类型命名。在有些资料中，把机组的协调控制系统也归并到模拟量控制系统之中。

现代大型火力发电机组都以单元制方式运行，随机组参数的不断提高，机组设备不断完善，控制技术水平不断提高。为使机组能更好地适应负荷变化，除需要系统能更好地协调锅炉和汽轮发电机组工作外，锅炉给水控制系统、燃烧控制系统、过热汽温控制系统、再热汽温控制系统、主要辅机控制系统也必须协调动作。电站锅炉的模拟量控制主要有：锅炉给水控制、锅炉燃烧过程控制（包括燃料量控制、送风量控制、引风量控制、制粉系统控制等）、过热汽温控制、再热汽温控制，以及根据机组运行的状况，确定机组的运行方式并实现全程控制和滑参数运行控制。

要使发电机组经济、安全运行，必须对主要的辅助设备进行了控制。例如除氧器压力控制，除氧器水位控制，凝汽器水位控制，加热器水位控制，等等。在正常运行和连续生产的条件下，模拟量控制发挥着最基本的自动化职能，它对电力生产的经济性和安全性有极大的影响，掌握和分析控制过程的特点十分重要。

2. 顺序控制

顺序控制也叫自动操作。顺序控制的原理是按照预先设计的顺序，有步骤地对生产设备和过程进行一系列操作。每个操作步骤之间的转换自动执行，无须人为干预。实现顺序控制的装置必须具备必要的逻辑判断能力和联锁保护功能。在每一步操作后，必须判明这一步是否已经实现，是否为下步操作创造好条件。如果条件具备则继续执行下一步操作，否则等候人工处理或自动处理，甚至中断程序。计算机控制系统使这一复杂的操作过程变得十分容易。

机组启停过程的控制项目一般包括：锅炉升温升压控制；启动过程主蒸汽温度控制；燃烧器点火控制；炉膛清扫控制；汽轮机暖机、升速、并网、带初负荷、阀门切换控制；汽轮机热应力控制；汽轮机真空度控制；复位控制等。

锅炉的顺序控制主要有：第一步，点火启动锅炉；第二步，锅炉吹灰，送风，启停引风机；第三步，运行水处理设备；第四步，制粉系统的启停等。

汽轮机的顺序控制主要指汽轮机的自动启动和停机。汽轮机的自动启停分为两种：一种是模仿人操作的启动过程，按照事先规定好的步骤和时间进行各项操作；另一种是考虑热应力控制的自动启停过程。考虑热应力控制的自动启停过程不仅可以保证机组的热应力处于安全范围之内，延长机组寿命，而且可以充分发挥机组的热应力潜力，缩短启动时间，节省启动费用，避免误操作，提高机组启动过程的经济性和安全性。

3. 自动保护

自动保护是在发生事故或异常情况下，防止事故进一步扩大所采取的紧急措施，这是保障设备安全的最后一关，一般不宜轻易动作，但在动作时必须快速可靠。自动保护包括以下几种措施。

(1) 自动切断能源。中断电、气、汽、燃料的供应。例如汽轮机的超速保护，锅炉炉膛灭火保护。

(2) 自动减放储存的能量。例如锅炉的安全阀、防爆门动作等。

(3) 各种控制阀、挡板的限位。各种控制阀、挡板的极限位置（最大开度和最小开度）是根据安全运行的要求规定的，正常工作中不允许越限。如果在自动控制过程中控制阀、挡板达到了极限位置，或者控制系统出现故障而发出了报警信号（过大或过小），或者生产过程中出现异常情况，此时应将自动控制或自动操作系统切除，只保留手操（遥控），以便运行人员根据自己的经验或判断进行操作和处理。

(4) 连锁。连锁是在出现异常情况或不正确操作时的一种保护功能。在顺序控制的设计中要特别注意。例如，在某一设备发生故障时，要按预定的顺序使其它有关设备自动解列。如果次序错乱或遗漏某一设备，就可能導致事故的进一步扩大或造成设备的损坏。

4. 管理控制一体化

管理控制一体化即火力发电厂的综合自动化。随着市场经济的发展，高水平自动控制技术的应用，火力发电生产过程的控制目标已从保证生产

稳定、减少事故转变为适应市场经济要求，提高供电质量、降低成本、节约能源、减少污染，以高效益为目标重组整个生产过程，这就要求集生产过程控制、生产调度、企业管理、经营决策于一体。数字化、智能化、网络化为管理控制一体化的实现提供了基础，也给电力生产带来了巨大的经济效益。

1.2 锅炉汽水系统与汽水测量系统

1.2.1 锅炉汽水系统

电站锅炉利用燃料燃烧释放的热能加热给水，以获得高温、高压的蒸汽。将高温、高压的蒸汽送到汽轮机中，推动汽轮机转动，并带动发电机转动产生电能。在电能转换的过程中，锅炉是火力发电厂的三大主要设备之一。

如果根据循环方式的不同，可以将锅炉划分为三种类型：自然循环锅炉、控制循环锅炉、直流锅炉。不同的锅炉有不同的工作特性。

(1) 自然循环锅炉。在这种循环方式中，每一次循环产生的水蒸气只是循环输入水量的一小部分，所有的循环水要经过几次循环才会完全汽化。通常用循环倍率来衡量循环水的蒸发程度，在单位时间内：循环倍率=循环水量÷生成蒸汽量。自然循环锅炉的循环倍率通常在4~30之内。

当循环水在水冷壁中被加热的时候，有一部分水就会变成水蒸气，因此水冷壁中的工质是汽水混合物。但在下降管中，由于管壁不受热，所以工质是液态水。

由于汽水混合物的密度比液态水的密度小，那么在水冷壁与下降管之间急救形成压力差。因此，循环水给水与汽水混合物就会在压力差的作用下相对流动，产生循环效果。这一循环效果是由工质内部压力不均造成的，并不由其他外力驱动，因此，这种循环方式也称为自然循环。

(2) 控制循环锅炉。这种锅炉是在自然循环的基础上，在循环回路当中安装水泵，通过水泵调节循环水的流动速度，从而形成控制循环系统。

在水泵的作用下，控制循环锅炉的给水与汽水混合物间的压力差比自然循环系统中的大很多。因此，控制循环锅炉水冷壁蒸发面的布置比较自由，可以垂直放置，也可以水平放置。而且，水冷壁中的工质即可向上和水平流动，也可向下流动。通常，控制循环锅炉的循环倍率在3~10

以内。

(3) 直流锅炉。在直流锅炉中不形成汽包，工质在循环过程之前一次性由液态水变为水蒸气，因此它的循环倍率是1。此外，直流锅炉的省煤器、过热器、蒸发部分没有固定的分界线。给水在受热蒸发面当中全部转化为水蒸气，它在循环系统中遇到的阻力都由水泵克服。

此外，若在直流锅炉的启动回路当中加入炉水循环泵，就能构成复合循环锅炉。

1.2.2 汽水测量系统

1. 汽包水位测量

差压式水位计是大型火电机组上最常用的汽包水位计，对于敞开容器只要用压力表（或压力变送器）测出其液柱的压头，由液体的密度即可得到液位的高度。对于密闭容器则需要用差压表（或差压变送器）来进行测量。差压式水位计测量的过程如下：①把水位转换成差压信号；②把差压信号转换成电信号；③把代表差压信号的量值经过计算，转换成代表水位信号的量值。浮子式水位计常用磁性材料制造。在水容器内部装一个可随水位升降的浮子，水容器外部装有一个感应部件，这类水位计原理和结构都比较简单。

以单室平衡容器为例介绍差压式水位测量。根据相关规程要求，对于过热器出口压力为13.5MPa及以上的锅炉，其汽包水位计应以差压式（带汽包压力修正回路，必要时再加平衡容器冷凝水柱温度补偿措施）水位计为基准。汽包水位监视信号应采用三取中值的逻辑判断方式进行优选，汽包水位保护信号应采用三取二的逻辑判断方式进行优选，由此可见差压式水位计测量的重要性。汽包水位测量原理示意图如图1-2-1所示。

一般来说： $A=H/2$ +零水位偏离汽包中心线的距离， $B=H/2$ -零水位偏离汽包中心线的距离，由力平衡原理可得等式

$$\Delta p = H\rho_a g - (A-h)\rho_s g - (H-A+h)\rho_w g$$

经推导可得

$$h = A - [\Delta p - H(\rho_a - \rho_w)g] / [(\rho_w - \rho_s)g]$$

式中参数采用标明单位后如下：

$$h = A + H(\rho_a - \rho_w) / (\rho_w - \rho_s) - \Delta p \times 10^3 / (\rho_w - \rho_s)$$

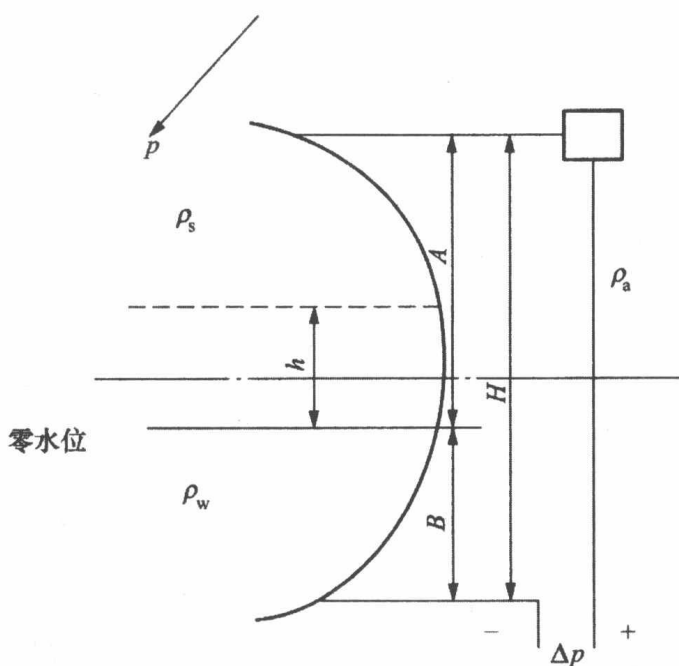


图1-2-1 汽包水位测量原理示意图

H —水侧取样孔与平衡容器的距离，mm； h —汽包水位偏离正常水位的值，mm；

A —平衡容器上取样管与汽包零水位的距离，mm；

Δp —对应汽包水位的差压值，mm H_2O （1mm H_2O = 133Pa）；

p —汽包压力，MPa； ρ_s —饱和蒸汽密度，kg / m^3 ；

ρ_w —饱和水密度，kg / m^3 ； ρ_a —参比水柱密度，kg / m^3

2. 炉管泄漏监测系统

电站锅炉炉管泄漏监测系统的主要功能是检测锅炉炉管泄漏发出的声音，为提早发现锅炉出现的爆漏事故提供报警和分析依据，便于及时采取措施，减少损失，防止事故扩大。锅炉炉管泄漏自动报警装置由三部分组成，即信号采集系统、信号处理监视系统和除灰系统。

（1）信号采集系统。在锅炉的本体上，安装有信号采集系统，它主要由声波传导管和声波传感器构成。每个测点都包含一个声波传导管和一个声波传感器。声波传感器通过声波传导管与炉内连通，声波传导管分布在锅炉的大罩壳与“四管”区域。

传感器的检测范围通常在半径为10~15m半球空间内，大小可由增益旋钮调节。在声波传导管的尾部安装声波传感器，它可以把炉膛内的声频信

号转化为电流信号，并传输到信号处理系统。

(2) 信号处理监视系统。通常在电子设备间或集控室内安装信号处理系统，并布置在监控机柜内，由显示报警单元和中心处理单元组合构成。

①显示报警单元：可以通过软件界面的炉膛模拟图判断泄漏区域的具体位置；作为中心处理单元数据分析之后显示的功能界面，数据包括堵灰指示、历史数据、实时数据、系统配置与监听画面等。

②中心处理单元：运用多通道高速A/D采集卡，对由声波传感器传输而来的电流信号进行采样，并将其转换成数字信号。处理完毕后，通过总线将数字信号输送到主处理板，然后进行傅里叶快速变换（FFT），从而得到实时频谱棒形图 and 变化趋势图。通过监控频谱棒形图 and 变化趋势图的动态，可以筛选出泄漏特有的频谱模式，并经过判断以后做出泄漏报警提示。此外，中心处理单元还具有历史追忆功能，这方便在报警以后做出数据分析，为预防相同事故发生提供数据支持。

当某个测点附近炉管出现泄漏事件时，该监控点就会发出红色显示，然后经过延时处理，输出报警信号到光字牌。管理人员通过软件界面的棒图，能够看出通道的能量大小，它反映通道的有效声强值；在堵灰指示的画面中，指出每一根声波传导管的积灰情况，如果出现堵灰，就会提醒维护人员进行相应维护；通过监听画面实时监听炉内噪声；通过频谱图能够看出通道能量的频率分布，得出频谱曲线并与已知数学模式进行比较，判别是否泄漏；通过系统配置画面设置各个通道的增益值，并能消除系统的时间误差。

(3) 除灰系统。除灰系统布置在锅炉上，从电厂的主气源管路引出，通过电磁阀控制每个支管路，每个电磁阀控制6~8个测点。使用压缩空气对一次测量元件进行定期吹扫，防止积灰。

3. 炉水化学仪表

热力系统中的水质是影响火力发电厂热力设备（锅炉、汽轮机等）安全、经济运行的重要因素之一。在火力发电厂中，水是传递能量的工质。为了保证机组的正常运行，对锅炉用水的质量有着非常严格的要求，而且随着机组的蒸汽参数的提高，对水质的要求也会更加严格。

直流锅炉对水质的要求比汽包锅炉严得多。这是因为汽包锅炉可通过磷酸盐处理和锅炉排污改善水质，直流锅炉没有循环的炉水，所以不能进行这些处理。在直流锅炉中随着给水进入系统的各种杂质，或被蒸汽带往汽轮机，或沉积在锅炉受热面管内，对中间再热的机组还会沉积在再热器

管道内。防止给水中杂质在直流锅炉内沉积或被蒸汽带往汽轮机中，以免影响锅炉、汽轮机的安全、经济运行，直流锅炉对给水水质和蒸汽汽质有非常严格的要求。

化学仪表的种类很多，根据所测量的对象不同，测量的原理也各不相同。电厂常用的化学仪表有电导率仪、工业酸度计、钠度计、溶解氧分析仪、联氨分析仪、分光光度计、磷酸根分析仪、硅表等。下面介绍几种常见化学仪表。

(1) 电导率仪。电导率是物质传送电流的能力，是电阻率的倒数。在液体中常以电阻的倒数——电导来衡量其导电能力的大小。水的电导是衡量水质的一个很重要的指标，它能反映出水中存在的电解质程度。水溶液中电解质的浓度不同，则溶液导电的程度也不同，通过测定溶液的导电度来分析电解质在溶解中的溶解度，这就是电导仪的基本分析方法。

(2) 磷酸根分析仪。火力发电厂和大型工业锅炉通常采用向炉水中添加少量磷酸盐以防止钙、镁水垢的生成，磷酸根浓度不够，不能有效防止结垢。磷酸根离子含量过高，会导致炉水的pH值变高，因此磷酸根离子浓度是炉水检测的重要参数。

应用分光光度法可检测炉水中的微量磷酸根。其原理是在一定的酸度下，磷酸盐与钼酸铵作用，生成磷钼黄，此颜色的深浅与水中磷酸盐的浓度符合朗伯一比耳定理，即溶液的吸光度与溶液的浓度和溶液的厚度的乘积成正比。

(3) 溶解氧分析仪。测定工质中氧含量的方法主要有这几种：电化学法测量、顺磁法测量、自动比色分析与化学分析测量。其中，电化学法通常用于测量运行中工质的溶解氧。

溶解氧分析仪的传感部分是由金电极（阴极）和银电极（阳极）及氯化钾或氢氧化钾电解液组成。当给溶解氧分析仪电极加上0.6~0.8V的极化电压时，氧通过膜扩散，阳极接受电子，阴极释放电子，从而形成电流。

(4) 硅表。在线硅表依据光的吸收定律进行测量。当特定波长的单色光穿透有色溶液的时候，会有一部分光子被吸收，因此穿透后的光强会减弱。现在电厂的硅表测量仪通常是使用蠕动泵对被测水样中依次加入钼酸铵、硫酸、草酸、硫酸亚铁氨或其他多种溶液，使水样中的二氧化硅与其产生化学反应，最终转化成硅钼蓝混合溶液，经过光电转换装置产生电流信号，从而测定出水样中的二氧化硅含量。

1.3 锅炉燃烧系统与燃烧测量系统

1.3.1 锅炉燃烧系统

燃烧系统是电站燃煤锅炉的一个重要组成部分，它的任务是将燃煤的化学能通过燃烧产生热能，产生高温高压的蒸汽，向旋转机械（汽轮机）提供机械能，带动发电机输出电能。广义的燃烧系统应包括使煤粉化学能转换成热能的一套完整的设备，如燃料系统（点火系统、制粉系统等）、燃烧设备（点火设备、煤粉燃烧器）、风烟系统以及保证燃烧过程安全、经济、稳定的热工控制系统。

1. 燃烧控制系统的基本任务

锅炉的工作过程是一个能量转化和转移的过程，在炉膛中，燃料的化学能转化为热能，这些能量转移到工质中，工质再以蒸汽的形式向负载设备转移热量。因此，锅炉燃烧过程控制的基本任务是让炉膛燃料燃烧产生的热量适应锅炉蒸汽负荷的需求。

燃烧调节接受协调控制系统发出的锅炉负荷指令，并把该指令分别送到送风、燃料等调节系统。它是协调控制系统中的一个重要子系统，可使风量与燃料按事先设定好的比例配置燃烧，以确保稳定、合适的风/燃料配比。送风调节机构的位置指令又作为炉膛压力控制系统的前馈信号，以减小炉膛压力波动。通过燃烧控制系统的以上作用，当外界负荷需求发生改变的时候，送风、燃料和炉膛压力这三个控制子系统就可协调控制，以协调适应机组安全工作的要求。

2. 锅炉燃烧控制的主要内容

（1）控制送风量。送风量是指单位时间内送入炉膛的空气质量。为了提高燃烧效率，必须控制炉膛的送风量，保证提供足够的氧气帮助燃料燃烧。燃烧过程是否经济，可用过量空气系数是否合适来衡量。所谓过量空气系数，一般用燃烧废气中的含氧量来间接显示。控制送风量的目的是实现安全工作，相对于燃料来说，如果风量太少，则可能导致熄火事故；如果风量太大，则使烟气排除的热量增加，降低锅炉整体的经济性。

（2）控制燃料量。如果外界环境对锅炉蒸汽负荷的要求发生变化，就