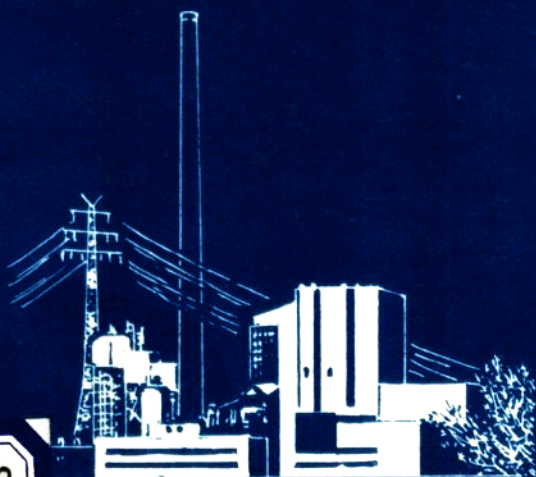


9075

火力发电厂培训教材

# 热 控 技 术

梁殿臣 主译



N0014148

TK17

内蒙古人民出版社

●现代化火力发电厂培训教材

# 热 控 技 术

梁殿臣 主译

内蒙古人民出版社



(内蒙) 新登字 1 号

现代化火力发电厂培训教材

热 控 技 术

梁殿臣主译

\*

内蒙古人民出版社出版发行

(呼和浩特市新城西街 82 号)

内蒙古新华印刷厂科技分厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 7. 875 字数: 170 千 插页: 4

1991 年 3 月第一版 1991 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—8000 册

ISBN7—204—02449—4/G·425 每册: 5.00 元

隨着我國大電網大機組  
一大電廠的迅猛發展培養  
一代掌握現代化技術人  
才是一件當務之急的  
大事情要引起各方面  
的重視

史大楨  
一九九二年十一月



## 前 言

随着我国大电网、大机组、大电厂的迅速发展，在今后一个时期内，300MW、600MW 机组将成为我区乃至全国电力系统的主力机组。摆在我们面前的一项刻不容缓的任务就是要尽快学习和掌握现代化大机组生产技术和管理工作。为配合我区电力工业的迅猛发展，超前培养一支素质较高的职工队伍，我们决定组织翻译、编辑、出版这套系列教材。

此教材由我局副总工程师梁殿臣从联邦德国收集，是按照德国大电厂运行协会（VGB）规程要求，针对电站工作者编写的一套统一的、紧密结合专业的实用教材。该教材是西德埃森电站学校的系列培训教材，联邦德国所有电站都在这里进行较高层次人员的培训，是联邦德国唯一的电站培训学校。甚至瑞士、奥地利、法国也派电站工作人员到这里学习培训。该教材是专门培训技术工人等级以上的电站专业工作人员，包括技师（联邦德国称 Meister）、值长等不同档次的人员的专门教材，受培训者根据工作性质在突出重点的基础上进行普及教育。这套教材按专业分为 23 个分册，每册对各专业的基础知识、基本理论、基本操作及有关设备的性能、规范及使用等都做了详细的论述，归纳齐全、深入浅出、文字简炼、通俗易懂，特别是附有大量插图，方便了读者对文字的理解，并开阔了眼界。为便于读者学习和掌握专业知识，教材中还提供了综合练习题，供读者自己检验所学的知识。这是一套进行现代化电站运行管理的必读教材。



电力部史大桢部长对这套大机组培训教材的出版给予了极大的关怀和支持，并亲笔题词，指示尽快出好这套教材。

为了编译好这套培训教材，在局副总工程师梁殿臣同志和局科技处的亲自领导下，内蒙古电力试验研究所科技信息室组织了全国电业系统内通晓德文的专业骨干力量进行了认真、严肃的翻译工作；在此基础上，又组织了各专业的专家对译稿进行了审核、整理、编辑加工，并根据国内火力发电厂大机组发展趋势和生产运行的具体情况，按实际需要分为汽轮机、燃烧和蒸汽发生、电气设备、模拟电路、数字电路、热控技术、电站辅机与管道配件、电站构成运行与环保、化学水处理与劳动安全等十个分册陆续出版。在此期间，梁殿臣、王凤川、殷家琪、石树人、吴士宏、王大陆、李惠卿、杜洪涛、徐建华、朱建平、李士杰等同志做了大量的翻译工作，给予了大力支持和密切合作，在此表示衷心地感谢。在译稿的整理、编辑和校核过程中得到不少专家的热忱关怀和帮助，在此向参加这项工作的文志明、贾应骥、魏心正、陈士玮、张大忠、张君烈、张兆亮、魏启渊、史有荣诸位高工致以谢意。在译稿的编审过程中还得到了华北电力学院北京研究生部教授、专家们的指导，在此一并致以谢意。

限于资料来源及编者水平，在编译过程中可能有挂一漏万，甚至误解原文等不当之处，请广大读者指正。希望这套教材能对培训从事大机组生产、运行、检修、管理的专业人员有所帮助。

内蒙电管局副局长兼总工程师 陈文孝

# 目 录

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| 1 引言 .....                          | (1)  |
| A. 测 量                              |      |
| 2 普通测量技术 .....                      | (2)  |
| 2.1 基本概念 .....                      | (2)  |
| 2.1.1 “测量”的概念是什么 .....              | (2)  |
| 2.1.2 为什么要测量 .....                  | (3)  |
| 2.1.3 何地测量 .....                    | (4)  |
| 2.1.4 误差的产生、误差的分类和误差值 .....         | (5)  |
| 3 电子测量技术 .....                      | (7)  |
| 3.1 总论 .....                        | (7)  |
| 3.2 模拟指示仪表 .....                    | (7)  |
| 3.2.1 精密测量仪表和工业测量仪表的精<br>度等级 .....  | (7)  |
| 3.2.2 度盘标识和符号 .....                 | (8)  |
| 3.2.3 测量仪表 .....                    | (10) |
| 3.2.3.1 动圈式测量仪表 .....               | (10) |
| 3.2.3.2 铁磁式动圈仪表 .....               | (12) |
| 3.2.3.3 交叉线圈测量系统 .....              | (14) |
| 3.2.4 用动圈式仪表和铁磁式仪表测量<br>电压和电流 ..... | (15) |

|         |                            |      |
|---------|----------------------------|------|
| 3.3     | 记录仪表 .....                 | (17) |
| 3.3.1   | 总论 .....                   | (17) |
| 3.3.2   | 打点式记录表 .....               | (17) |
| 3.3.3   | 连续自动记录仪 .....              | (18) |
| 3.3.4   | 平衡(补偿)式记录仪 .....           | (19) |
| 3.4     | 变送器 .....                  | (22) |
| 3.4.1   | 总论 .....                   | (22) |
| 3.4.2   | 电量和非电量变送器 .....            | (22) |
| 3.4.2.1 | 电量变送器 .....                | (22) |
| 3.4.2.2 | 非电量测量的温度变送器 .....          | (25) |
| 3.5     | 复习、问题 .....                | (25) |
| 4       | 温度测量 .....                 | (27) |
| 4.1     | 总论 .....                   | (27) |
| 4.2     | 温度测量仪表 .....               | (28) |
| 4.2.1   | 接触式测量仪表 .....              | (29) |
| 4.2.1.1 | 液体式温度计 .....               | (29) |
| 4.2.1.2 | 液体式指针仪表和压力式指针<br>温度计 ..... | (31) |
| 4.2.1.3 | 金属膨胀式温度计 .....             | (34) |
| 4.2.2   | 电气式接触测温仪表 .....            | (34) |
| 4.2.2.1 | 总论 .....                   | (34) |
| 4.2.2.2 | 热电偶 .....                  | (35) |
| 4.2.2.3 | 电阻温度计 .....                | (42) |
| 4.2.3   | 温度测量元件的安装 .....            | (50) |
| 4.2.4   | 辐射式高温计 .....               | (53) |
| 4.2.4.1 | 总论 .....                   | (53) |

|         |                               |      |
|---------|-------------------------------|------|
| 4.2.4.2 | 全辐射式高温计 .....                 | (53) |
| 4.2.4.3 | 部分辐射式高温计 .....                | (54) |
| 4.2.5   | 温度颜色 .....                    | (56) |
| 4.3     | 复习、问题 .....                   | (57) |
| 5       | 压力测量 .....                    | (60) |
| 5.1     | 总论 .....                      | (60) |
| 5.2     | 压力测量 .....                    | (62) |
| 5.2.1   | 液体压力测量仪表 .....                | (62) |
| 5.2.1.1 | U型管压力表 .....                  | (62) |
| 5.2.1.2 | 活塞式压力计 .....                  | (64) |
| 5.2.2   | 弹簧管弹性压力测量仪表 .....             | (65) |
| 5.2.2.1 | 圆形弹簧管压力表 .....                | (66) |
| 5.2.2.2 | 膜片式弹性压力表 .....                | (68) |
| 5.2.2.3 | 弹性膜盒式压力表 .....                | (69) |
| 5.2.2.4 | 测量范围、精度等级和弹性测量<br>仪表的标记 ..... | (70) |
| 5.2.2.5 | 弹簧管弹性压力仪表的校验 .....            | (72) |
| 5.2.3   | 压力变换器 .....                   | (72) |
| 5.2.4   | 压力变换器的安装和使用 .....             | (73) |
| 5.2.4.1 | 压力表的连接 .....                  | (73) |
| 5.2.4.2 | 传压管道和设备 .....                 | (81) |
| 5.3     | 练习问答题 .....                   | (84) |
| 6       | 流速测量和流量累计 .....               | (86) |
| 6.1     | 总论 .....                      | (86) |
| 6.2     | 流速测量方法 .....                  | (86) |
| 6.2.1   | 实际压力测量方法 .....                | (86) |

|         |                                          |       |
|---------|------------------------------------------|-------|
| 6.2.1.1 | 动压取样装置 .....                             | (89)  |
| 6.2.1.2 | 动压测量仪表 .....                             | (93)  |
| 6.2.2   | 感应式流量测量 .....                            | (96)  |
| 6.3     | 流量测量 .....                               | (99)  |
| 6.4     | 复习·作业·问答 .....                           | (102) |
| 7       | 高度位置的测量 .....                            | (104) |
| 7.1     | 机械式高度位置的测量 .....                         | (104) |
| 7.2     | 流体静力式高度位置测量 .....                        | (106) |
| 7.3     | 电容式位置测量 .....                            | (108) |
| 7.4     | 放射性位置测量 .....                            | (108) |
| 7.5     | 用测量装置力块来测量位置 .....                       | (109) |
| 7.6     | 练习·问答 .....                              | (110) |
| 8       | 分析测量仪表 .....                             | (111) |
| 8.1     | 烟气分析 .....                               | (111) |
| 8.1.1   | 总论 .....                                 | (111) |
| 8.1.2   | 分析方法 .....                               | (112) |
| 8.1.2.1 | 根据气体导热性能的 $\text{CO}_2$ 测量<br>方法 .....   | (112) |
| 8.1.2.2 | 采用传热性能法测量 $\text{CO} + \text{H}_2$ ..... | (114) |
| 8.1.2.3 | $\text{O}_2$ 测量 .....                    | (114) |
| 8.1.2.4 | 红外分析仪 .....                              | (116) |
| 8.1.3   | 烟气浓度或飞灰浓度的测定 .....                       | (117) |
| 8.2     | 导电度的测量 .....                             | (119) |
| 8.2.1   | 总论 .....                                 | (119) |
| 8.2.2   | 导电度测量装置 .....                            | (120) |
| 8.3     | pH 值测量 .....                             | (122) |

|             |                               |       |
|-------------|-------------------------------|-------|
| 8.3.1       | 总论 .....                      | (122) |
| 8.3.2       | pH 值的测量方法 .....               | (122) |
| 8.3.2.1     | 比色测量法 .....                   | (122) |
| 8.3.2.2     | 电子测量方法 .....                  | (123) |
| 8.4         | 练习作业、问题 .....                 | (124) |
| 9           | 其它测量 .....                    | (126) |
| 9.1         | 皮带运输机秤和皮带配料机秤 .....           | (126) |
| 9.2         | 运转监视 .....                    | (127) |
| 9.2.1       | 相对和绝对位移的测量装置 .....            | (127) |
| 9.2.2       | 绝对振动的测量装置 .....               | (130) |
| 9.2.3       | 测量转子的相对振动和径向轴位的<br>测量装置 ..... | (131) |
| 9.3         | 转速测量 .....                    | (132) |
| 9.3.1       | 涡流式转速测量法 .....                | (132) |
| 9.3.2       | 电气式/电子式转速测量装置 .....           | (133) |
| 9.4         | 练习作业、问题 .....                 | (136) |
| B. 控制、保护和监测 |                               |       |
| 10          | 控制技术和监测装置 .....               | (138) |
| 10.1        | 电厂过程控制技术的任务 .....             | (138) |
| 10.1.1      | 分层结构的电厂控制设备 .....             | (139) |
| 10.2        | 控制技术的基本功能符号 .....             | (142) |
| 10.2.1      | 信号方式 .....                    | (142) |
| 10.2.2      | “与”功能 .....                   | (143) |
| 10.2.3      | “或”功能 .....                   | (144) |
| 10.2.4      | “非”功能 .....                   | (145) |
| 10.2.5      | “与非”功能 .....                  | (146) |

|          |                            |       |
|----------|----------------------------|-------|
| 10.2.6   | “或非”功能 .....               | (146) |
| 10.2.7   | “时间”功能 .....               | (147) |
| 10.2.8   | 记忆功能 .....                 | (148) |
| 10.2.9   | 电厂中电子控制设备抗干扰<br>性能 .....   | (149) |
| 10.2.10  | 控制技术的基本功能组合应用的<br>实例 ..... | (149) |
| 10.3     | 监测装置的任务 .....              | (153) |
| 10.3.1   | 监测装置的种类 .....              | (154) |
| 10.3.1.1 | 掉牌继电器 .....                | (154) |
| 10.3.1.2 | 带有声光信号的报警系统 .....          | (155) |
| 10.3.1.3 | 报警记录 .....                 | (156) |
| 10.3.1.4 | 过程监控计算机 .....              | (157) |
| 10.4     | 练习作业、问题 .....              | (158) |

### C. 调 节

|          |                               |       |
|----------|-------------------------------|-------|
| 11       | 调节技术 .....                    | (160) |
| 11.1     | 电厂的调节技术 .....                 | (160) |
| 11.1.1   | 控制 .....                      | (160) |
| 11.1.2   | 调节 .....                      | (162) |
| 11.1.3   | 调节回路和调节技术的概念介绍 .....          | (163) |
| 11.1.4   | 练习作业、问题 .....                 | (165) |
| 11.2     | 调节对象 .....                    | (166) |
| 11.2.1   | 调节对象的调节量和干扰值的阶<br>跃响应曲线 ..... | (166) |
| 11.2.2   | 有自平衡能力的调节对象 .....             | (169) |
| 11.2.2.1 | 无延迟调节对象 .....                 | (170) |

|          |                                   |       |
|----------|-----------------------------------|-------|
| 11.2.2.2 | 具有迟延的调节对象 .....                   | (171) |
| 11.2.2.3 | 具有纯迟延(滞后)的调节对象 .....              | (175) |
| 11.2.3   | 无自平衡能力的调节对象 .....                 | (176) |
| 11.2.4   | 练习作业、问题 .....                     | (178) |
| 11.3     | 调节器 .....                         | (179) |
| 11.3.1   | 调节器的分类 .....                      | (180) |
| 11.3.2   | 断续调节器 .....                       | (180) |
| 11.3.3   | 连续调节器 .....                       | (183) |
| 11.3.3.1 | P—调节器 .....                       | (184) |
| 11.3.3.2 | I—调节器 .....                       | (187) |
| 11.3.3.3 | PI—调节器 .....                      | (188) |
| 11.3.3.4 | PID—调节器 .....                     | (190) |
| 11.3.3.5 | P—, I—, PI—, 和 PID—调节器的对照比较 ..... | (191) |
| 11.3.4   | 练习作业、问题 .....                     | (194) |
| 11.4     | 调节对象和闭环调节回路中的调节器 ...              | (195) |
| 11.4.1   | 调节回路的要求 .....                     | (195) |
| 11.4.2   | 热工技术符号 .....                      | (200) |
| 11.4.3   | 练习作业、问题 .....                     | (210) |
| 11.5     | 电厂中的调节回路 .....                    | (212) |
| 11.5.1   | 定值调节 .....                        | (213) |
| 11.5.1.1 | 炉膛压力调节 .....                      | (213) |
| 11.5.2   | 顺序调节 .....                        | (215) |
| 11.5.2.1 | 采用串级调节系统的过热蒸汽温度的调节 .....          | (216) |

|          |                           |       |
|----------|---------------------------|-------|
| 11.5.3   | 多通道调节回路 .....             | (218) |
| 11.5.3.1 | 锅炉汽包水位单冲量/三冲量<br>调节 ..... | (218) |
| 11.5.3.2 | 空气—燃料比值调节 .....           | (222) |
| 11.5.3.3 | 同步调节 .....                | (223) |
| 11.5.4   | 燃用矿物燃料电厂机组的调节 .....       | (225) |
| 11.5.5   | 练习作业、问题 .....             | (231) |
| 附 录      | .....                     | (232) |
| 1        | 测量单位 .....                | (232) |
| 2        | 单位换算表 .....               | (241) |

# 1 引言

## 电站中热工技术的任务

热工是测量（监视与报警）控制和调节的总称，下图中给出了电站中热工的范围。

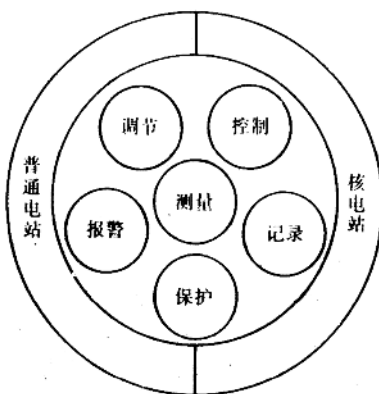


图 1.1 电厂中热工技术的任务

电站中的热工技术有如下的任务，确保电站过程中：

- 经济；
- 运行安全可靠；
- 尽可能高的可用性。

# A. 测 量

## 2 普通测量技术

### 2.1 基本概念

#### 2.1.1 “测量”的概念是什么

测量是确定一个被测量的量值含有多少个标准测量单位。

也即，例如由已知的测量单位（米）测得锅炉房的长度、测量结果：

$$\text{测量值（测量结果）} = \text{测得的数值} \times \text{测量单位}$$

这样对于每一个测量结果，不仅有一个数值，而且还应该有单位。

一个技术人员不能够仅仅满足于知道楼房的高度低于烟囱的高度，或是汽轮机运转的速度较自行车的轮子更快，他必须掌握精确的数据：高度差究竟是多少，转数差究竟是多少。

注意：把测量值与测量单位结合在一起，才能对事物的过程和现象得到一个客观的理解。

在工程技术领域，不仅涉及测量电量（电流、电压、功

率、电阻等)，而且涉及非电量（压力、温度、流量、液位等）。

非电量可以转换为电量，所以可以采用电测方法来测量非电量。例如，温度可以通过敏感元件（热偶）转变为电量，该电量与温度成比例关系。

### 2.1.2 为什么要测量

首先，人们无论做什么事情，都需要有一个标准，在现代化的试验室、研究所、测试厂和工厂、在电子技术领域，意识到这一点是至关重要的。每个人都知道，没有测量，任何一项有意义的工作都不会成功。

然而在很多行业中，人们经过漫长的岁月才逐渐认识到这一点，在一定程度上甚至可以说，最近才刚刚认识到这一点。之所以会这样，可以归结为人们在技术和工业方法上对老的传统的因袭，并取决于人们的性格、经验以及操作习惯等因素。

所以从下面的例子也可以得出上面的结论，在供热的锅炉房，只需水位表和压力表即可运行锅炉，至今这两种仪表一直是不可少的。

这正是必须进行测量的首要原因：可靠性、可用性。

如果锅炉汽包中的水过少或过多，不仅将危及设备亦将危及运行人员的安全，如果主蒸汽温度过高，则意味着汽轮机将受到危害，减少了其最大的可用性。

第二个关系因素是：经济性。

如果在燃烧过程中空气过多或过少，烟气中的  $\text{CO}_2$  含量会降低，结果导致锅炉排烟损失增加，使燃料中的热能利用率降低，排烟温度过高，也会导致同样的后果。