

中等专业学校教学用书

# 热 工 测 量

上 册

Г·А·穆林著



中国工业出版社

72.56

811

121-

中等专业学校教学用书



# 热 工 测 量

上 册

Г·А·穆林著

薛邦迈 丁爵曾 陆天瑜译

钱 钟 韩校

苏联电站部教育司审定作为动力工业学校教科书

中国工业出版社

本书是动力工业学校热工专业“热工测量”课程的教科书，也可作为其他有关学校的教学参考书。

书中阐明热工测量的基本概念，并对热力动力设备中广泛采用的各种仪表的作用原理、构造、用途、使用及检验方法作了叙述。

Г. А. Мурин  
Теплотехнические измерения  
Госэнергоиздат  
Москва 1951

\* \* \*

热 工 测 量  
上 册

薛邦迈 丁爵曾 陆天瑜译

钱 钟 韩校

(根据电力工业出版社纸型重印)

\*

中国工业出版社出版 (北京佳麟阁路10号)  
(北京市书刊出版事业群可证出字第110号)

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本  $850 \times 1168 \frac{1}{8}$  · 印张  $6 \frac{3}{8}$  · 字数 150,000

1956年9月北京第一版

1961年6月北京新版·1961年6月北京第一次印刷

印数 0001—530 · 定价 (10) 1.00 元

统一书号 15165·524(一机-86)

## 原 序

本書是按照动力工業学校热工專業“热工測量”課程的教学大綱編寫的。

此課程的目的是給未來的热工技術員以热能动力方面最廣泛应用的測量仪表的作用原理、構造、用途和使用方法的基本知識。

書中講述热工測量的基本原理，並討論实际通行的測量方法——溫度、压力、數量及流量、爐烟气成分、水及蒸汽的品質、水位等。此外並敘述热力裝置中所用的某些特殊仪表。

在敘述仪表时，主要是說明祖國(指苏联)仪表制造工業所制造的仪表的型式和結構。

在編寫这本教科書时，著者尽可能地努力敘述苏联設計家最近所完成的新型热工測量仪表。同时在本書中並沒有刪去若干虽已过时但仍較流行的仪表型式。

在許多地方，著者簡化了个别問題的說明，但未損及其要點。著者也換用了若干新的術語及仪表名称，所換去的大部分原來是外來語。

最后，M. T. 尤开維奇工程师在校閱本書时，提供了十分寶貴的意見和建議，並對本書的編寫十分关怀，著者謹對他表示感謝。

著 者

# 目 錄

## 原 序

|     |   |
|-----|---|
| 緒 言 | 1 |
|-----|---|

|               |   |
|---------------|---|
| 第一章 热工测量的基本原理 | 3 |
|---------------|---|

|                |   |
|----------------|---|
| 1-1. 发电厂中的热工检查 | 3 |
|----------------|---|

|                |   |
|----------------|---|
| 1-2. 热工检查仪表的特性 | 8 |
|----------------|---|

|           |    |
|-----------|----|
| 第二章 温度的测定 | 14 |
|-----------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 2-1. 温度测定方法和温标 | 14 |
|----------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 2-2. 膨胀温度计 | 18 |
|------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 2-3. 压力计式温度计 | 31 |
|--------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 2-4. 热电高温计 | 38 |
|------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 2-5. 电阻温度计 | 94 |
|------------|----|

|            |     |
|------------|-----|
| 2-6. 辐射高温计 | 118 |
|------------|-----|

|           |     |
|-----------|-----|
| 第三章 压力的测定 | 132 |
|-----------|-----|

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 3-1. 压力测定的单位和方法 | 132 |
|-----------------|-----|

|          |     |
|----------|-----|
| 3-2. 压力计 | 136 |
|----------|-----|

|          |     |
|----------|-----|
| 3-3. 通風計 | 171 |
|----------|-----|

|          |     |
|----------|-----|
| 3-4. 真空計 | 181 |
|----------|-----|

|                |     |
|----------------|-----|
| 3-5. 气压計和绝对压力計 | 188 |
|----------------|-----|

## 緒 言

在發展測量技術的工作中，俄國、尤其是蘇聯的科學與技術工作者的許多成就是具有重大意義的。

俄國儀表製造技術的發展是和十八及十九世紀的革新者，即俄國學者及機械師的光榮的名字分不開的。不同用途的儀表的許多首創的結構是偉大的俄國學者 M. B. 羅蒙諾索夫 (1711—1765 年) 所創造的。其中有一些就是現代還在應用的同類儀表的原型，例如測定物質黏度的儀器 (用點滴數目研究液體黏度的器具)。

在祖國 (指蘇聯) 儀表製造方面的許多創造者中，佔首要地位之一的是傑出的俄國機械師 И. П. 庫利賓 (1735—1818 年)，他有許多有價值的發明，在儀表製造的領域中是羅蒙諾索夫的直接繼承者。他並且製造了大量的不同種類的測量儀表 (溫度計，氣壓計，精密天平等等)，流行在俄國的許多地方。

工業上第一個蒸汽鍋爐的給水自動調節器，一種同時進行調節和測定鍋內水位的器具，是天才的俄國機械師 И. И. 波爾索諾夫 (1728—1766 年) 所創造的。

祖國 (指蘇聯) 儀表製造方面特別迅速的發展開始於第一個斯大林五年計劃的年代。從這時起，蘇聯科學家和技術人員研究出並且在生產中掌握了許多在結構上是新型的、近代化的和獨創的熱工測量儀表，它們超過了最好的外國型式，並得到了廣泛的實際應用。

熱工測量被廣泛地應用在許多工程領域中。在動力生產部門中，熱工測量的地位尤為重要。

近代熱力發電廠的合理運行，如果沒有使用大量的不同構造

和作用原理的热工测量仪表，即所謂热工檢查仪表，乃是不可想像的事。为了走向更完美的电能和热能生產的技術过程而進行必要的科学研究和調整工作时，热工测量仪表也有用处。

在裝有十分复雜設備的大發电厂內，在生產电能和热能的近代技術条件下，热工檢查与各机組的工作有机地联系着，並且是發电厂內运行人員所掌握的一个十分重要的管理環節。

在祖國(指苏联)的發电厂內，热工測量技術是在苏联动力工業飛躍進步的影响下發展起來的，动力工業的飛躍進步表現在：發电厂中主要机組——蒸汽鍋爐与汽輪机——容量的增加，高参数蒸汽的应用，热化作为动力生產最有利的方法的發展，以及其他現代科学及技術的成就。

由於發电厂的热力設備的增大和顯著的改善，使所用的各种热工测量仪表在数量和質量上都有很大的改变。从过去少数的原始而且不十分准确的仪表，到現在我們已大量採用了准确而完美的儀器，其中大多数裝有远距离傳送讀数的設備。

为了对發电厂內大量的热工檢查仪表進行正确的維護，需要有很好的熟悉热工測量及仪表的工程技術干部，及时的培养这方面的專家將會推动苏联动力工業不斷前進。

# 第一章 热工测量的基本原理

## 1-1. 发电厂中的热工检查

在热能装置中，热工测量是为了对所装置的设备的工作情况进行连续的生产和检查，因而也就称为热工检查。同时热工测量也广泛地应用在校整工作和研究工作中。

近代的热力发电厂是燃烧燃料来产生电能和热能的巨大而复杂的工业企业。按其所装置的设备的特性，发电厂可分为两部分——热力部分和电气部分。

在热力部分中，主要的是锅炉和汽轮机分场，其中装置主要的机组——蒸汽锅炉和汽轮机。在这些分场中还有辅助设备，如煤粉制备系统、通风机、引风机、循环水泵、凝结水泵、给水泵、热水锅炉、蒸发器和蒸汽发生器、除氧器、加热器、减压减温设备、水箱、管道等等。

此外，燃料管理、除尘、供水和化学水处理等方面均装有特殊的设备，它们也属于发电厂的热力部分。

在主要的和辅助的机组内，照例装有大量的热工检查仪表。其中绝大多数是将读数远距离传送到值班人员所在地的机组操作盘上。

发电厂中热力部分值班人员的主要任务是管理各种设备的工作情况以保证它得到最合理的运转。为了顺利执行这项十分重要的任务，以及实施各项设备和整个发电厂工作的技术统计，如果不用热工测量仪表每日作有效的检查，是不可能的。

### a) 热工检查的目的

热工检查是为了保证:

- 1) 設備运行的安全性与可靠性;
- 2) 設備在經濟上最有利的工况;
- 3) 各机組和整个發電厂的工作情况統計的組織工作。

热力設備可靠的和安全的运行主要決定於設備的完善状态和安全生产工作。發電厂中意外事故的發生, 在絕大多數情形下是由於管理人員違反了技術操作規程, 热工检查仪表裝置得不充分, 或仪表的不完善状态所造成。

連續檢查工質(燃料、水、蒸汽、空气、烟气等)的压力、温度及流量, 观察水位、汽輪机轉速、水及蒸汽的品質等等可以大大地提高設備工作的可靠性及其維護人員的安全性。例如檢查鍋爐蒸汽压力及汽鼓中的水位可以保护鍋爐及其附件使不致於毀坏。水位的过度降低会引起管子的过热器和損伤鍋爐接縫, 而水位太高又会引起湿蒸汽進入过热器中, 以致使汽輪机發生事故。檢查鍋爐產生蒸汽的湿度和含鹽量可以預防在过热器、汽輪机調節閥和叶片上沉積鹽类, 以致造成过热管的燒坏及汽輪机組的容量及其运行的經濟性的顯著降低。

不断地观察汽輪發電机、水泵、通風机及引風的軸承中油的温度, 在很大程度上可以确定此类机組工作的可靠性; 而測定發電机綫卷及其冷却气体(空气或氫)的温度可以使綫卷不致於过热器和損坏絕緣, 由是可以避免發生重大事故。

为了保証設備可靠而安全的工作, 在許多情形下測量仪表是和預告事故的信号設備同时並用的, 如此可以使值班人員很容易地預防和消滅事故的發生。

大家知道, 發電厂的基本經濟指标是它的效率, 这和电能及热能(輸出給用戶的)生產中的热耗率的大小有关。發電厂效率的

提高是靠基本机組(鍋爐和汽輪机)中热損失的降低和厂用电及厂用热量的減少而达到的。

鍋爐机組的热損失比較大，因此嚴重地影响到热力設備的經濟性，但在合理运行时，这損失可以大大減少。根据这个理由，在發電厂的檢查系統中，鍋爐分場的热工檢查是使發電厂达到最好經濟指标的主要環節。

大家知道，蒸汽鍋爐的热損失主要是由烟氣帶走的損失，由漏煤或飛灰中所帶走的机械热損失，以及燃料燃燒不完全的化学損失所組成。如在不同的負荷下，能对机組工况作適當的檢查和管理，以及觀察受熱面的光潔程度、磚襯的狀態等，就可以把这些損失縮減到最小。檢查燃料的燃燒过程和正确地調節鍋爐設備的工作都是一些最重要的任务。当鍋爐所產生的蒸汽的各項参数、压力和过热温度已被指定时，它的調節工作就不外乎是維持蒸汽生產量，燃料耗量，進入爐中的空气量和抽气量四者之間的最有利的配合。在受熱面的內外表面上的污物会使傳热嚴重地惡化，並且引起生產量下降，增加烟氣帶走的損失，最后就使燃料消耗過多。

檢查蒸汽鍋爐工作的經濟性是按照測量仪表的讀数來進行的。根据这些讀数可以确定：燃燒燃料的質和量，蒸汽、給水和空气的压力，温度和数量；燃燒室中和鍋爐烟道中气体的温度和压力(負压)，烟氣的成分，蒸汽和給水的品質等等。

汽輪机組的热力損失主要地是和凝汽設備的工作效力有关，因此檢查凝汽器冷却面的狀態(光潔程度)，真空系統的嚴密性和真空泵(抽气器)的工作質量有重大的实际意义。觀察預热器、蒸發器、除氧器和热水設備的工作也起着頗为重要的作用，它可以使能量生產的煤耗率降低。为此目的，就利用測量方法来檢查蒸汽，凝結水，給水和管道中水的压力、温度和数量，凝汽器中的真空度和冷却水温度等等。

热力发电厂工作的定期的(每月每年)技术统计按下列各项主要的技术经济指标进行: 发电量和供热量, 生产每一瓦时及供热一百万大卡的标准煤耗率; 锅炉分场、汽轮机分场主要机组和整个发电厂的效率; 厂用电的消耗量。依各种运行指标来完成技术定额是每班都应检查的, 并且依照这些数据每天做成日报表。

发电厂的技术统计主要依靠自动记录的(记录式)仪表和积数的仪表(计数器)来完成。此外, 最重要的一些仪表读数每隔 30 分钟由值班人员登入日报表中(工作日志)。

为了作出锅炉分场中各机组的技术统计, 需要进行下列各项测定: 产生蒸汽的压力、温度和数量; 在锅炉本体后及锅炉设备后的二氧化碳( $\text{CO}_2$ )的含量; 在空气预热器前后的空气温度; 在省煤器前后的给水温度; 烧去燃料的数量, 它的发热量、湿度、灰分和煤粉细度; 煤渣中和烟气中带走的可燃物的含量。

在汽轮机分场中所要统计的数字是: 在汽轮机前面和抽汽处蒸汽的数量、压力和温度; 凝汽器的真空度; 在凝汽器前后的冷却水温度; 凝结水、给水、热力网中的水和化学洁水的数量和温度。

## 6) 热工测量的组织

随着热力发电厂容量的提高, 测量的方法和所用仪表的型式也在不断地发展。发电厂中使用测量仪表的程度也提高了。

在较早时期, 各种量的测定一般是用装在测量地点的仪表直接进行。因为发电站容量的增长和主要设备与辅助设备的扩大, 仅依现场的仪表读数来管理设备的工作就开始感到困难。因此需要采用一种把读数远距离传送到特殊的仪表板上的测量仪表, 而仪表板则放在值班人员所在的地方。

在近代的巨大发电厂中, 对大量热工检查仪表的日常管理是

在發電廠中特設的熱工測量(熱工)試驗室中進行的。所有裝在發電廠內的熱工測量儀表和自動設備都是在試驗室的管理範圍內的。

熱工測量試驗室通過不斷地觀察測量儀表的工作，實行定期的校驗和修理來保證它們準確地和可靠地工作。

為了對儀表管理和觀察它們的工作情況，熱工測量試驗室通常建立了值班制度。值班人員對於儀表的職責，除了一般地監視它們的情況外，還要就地消除所發現的毛病，更換儀表的圖紙，將墨水注入記錄筆，和開動自動記錄儀表的時鐘機構，更換試劑等。

在每種儀表經過了它的規定的使用時期以後，熱工試驗室就按期直接在裝置儀表的地方組織校驗，或在試驗室內有特殊設備的工作台上進行校驗。在試驗室內檢驗儀表通常是在所屬熱力設備的年度大修時進行。發電廠所裝設的一切熱工測量儀表的校驗記錄和證件都保存在試驗室中。

熱工檢查儀表在受到損傷以及讀數準確度降低到容許限度以下時，即進行修理和調整。為了進行儀表的檢修，在試驗室中裝有工具機，附有特殊器具及全套工具。在儀表整修後須進行校驗，有時還要在標尺上重新刻度。

必要時，熱工測量試驗室還要安裝新的測量儀表，以及更換現有的儀表，此外還要供給必要的測量儀表來保證在發電廠內所進行的熱力設備的校整和試驗工作。

為了領導熱工試驗室的工作並給予指導，在大型動力系統的地區管理局中設立了自動裝置與熱工測量的中心試驗所。它們在儀表和自動裝置的調整工作上給各發電廠以幫助，並且對新測量儀表的安裝工作進行檢查。在中心試驗所通常有一個工廠，對複雜的測量儀表進行修理和校驗，並製造新儀表的試驗模型。

## 1-2. 热工检查仪表的特性

絕大多數的測量設備是由三個主要元件組成：原始件，二次儀表，和連接件。

原始件是測量設備的感受部分，一般放在被測地點，並且直接受到被測的量的訊號<sup>①</sup>。

二次儀表，或量計部分，給出被測的量的讀數，將原始件所感受的訊號變成指針，記錄筆或積數器的相應移動。照例二次儀表是裝在值班人員鄰近地方的儀表板上。

連接件，或稱測量設備的傳達件（連接導綫及連管），是用來把讀數（訊號）從原始件傳達到二次儀表上。

原始件有時還有附加的設備，用來把儀表發生的機械訊號變為電的訊號，並用連接電綫傳送到二次儀表上。這種設備稱為發訊器。具有發訊器的原始件可能帶有量計器具（刻度和指針），作為二次儀表讀數的復本，但大多數帶有發訊器的原始件是沒有刻度的（盲的）。

測量儀表的品質主要由測量的準確度，儀表的靈敏度和測量設備讀數的時滯來決定。

測量儀表的靈敏度就是指示器（指針或筆尖）的直綫或角度移動和引起這移動的被測的量的變化之間的比例。儀表所能指出的被檢查量的變化愈小，則靈敏度愈高。

測量儀表讀數的時滯表現出它的慣性，就是從被測的量開始變化的時候起到儀表指出這變化的時候止所經過的時間。這個滯延的時間愈小，則測量儀表的品質愈好。

熱工檢查儀表必需儘可能的具有較簡單的結構，有清楚易讀

① 譯者註：ИМПУЛЬС，照字義直譯是“沖擊”。但在儀表術語中，這是指所測參數的變化情況，它可能是劇烈變動的，亦可能是穩定持續的。這與“沖擊”的字義不合，故譯作“訊號”。

的刻度和讀數器(指針, 液体面等), 以及不需要工作人員的繁复照顧。

热工檢查儀表的安裝應尽可能避免由於測量時條件與刻度時條件不同而必須進行校正。儀器應不受振動和過高温度的影响。

儀器的安裝要保證能在裝設地點進行測量設備的校驗。

#### a) 測量儀表的分类

热工測量儀表可按照它們的用途和結構特征从几方面來分类。

依儀表所用以測定的量的种类來分有:

- 1) 温度測定;
- 2) 压力測定;
- 3) 数量和流量測定;
- 4) 烟氣成分測定;
- 5) 水、蒸汽和空氣的品質測定;
- 6) 水位測定;
- 7) 機器轉速測定。

按照被測的量的种类來進行分类是基本的方法。此外測量儀表还可依下列特征來進行分类:

依用途而分:

- 1) 工程用的或运行用的(工作的);
- 2) 檢查用的;
- 3) 試驗室用的;
- 4) 标准的;
- 5) 原始标准的。

依讀数的特性而分:

- 1) 指示式的;
- 2) 自动記錄式的(記錄式);

### 3) 積計式的(計數器或積算器)。

依作用原理而分:

- 1) 機械的;
- 2) 電氣的;
- 3) 液壓的;
- 4) 化學的。

依使用的特性而分:

- 1) 操作用的;
- 2) 統計用的。

依裝置的地方而分:

- 1) 現場的;
- 2) 遠距離傳送讀數的。

依工作條件而分:

- 1) 固定的;
- 2) 便攜的。

幾乎每種熱工測量儀表都可屬於以上所述的任何一類，例如溫度計可以是工程用的，自動記錄的，電氣的等。

工程用的測量儀表比檢查用的或試驗室用的儀表在結構上較簡單堅固，而準確度則較低。它們可在較差的條件下(有灰塵、濕氣，設備的振動等)工作，其上有大字的清晰刻度和箭頭形的指針。檢查用的，試驗室用的和標準的儀表是用以檢驗較低級的儀表，在校整工作和研究工作中也常被採用。為了提高準確度，它們有利用鏡子進行讀數的刻度標尺和刃形指針。原始標準的測量儀表專用於對其他較不精密的儀表進行校驗和刻度。

在指示式儀表的刻度尺上可讀出被測的量的瞬時數值，而自動記錄式儀表則可以在時鐘機構或小型同步電動機帶動的矩形或圓盤形圖紙上自動記下讀數。積計式儀表可指出在一段工作時間內被測的量的總值。

操作用的仪表是按照它的讀数來对热力机組的工作進行管理的。这些仪表造成指示式或自动記錄式。統計用的仪表則主要造成自动記錄式或積計式。

現場的仪表大抵是用在不重要的測量中。在远距离傳送讀数的仪表上，傳送距离的范围可达 300~500 公尺。

測量仪表可用嵌入式(仪表板式)或突出式(牆式)的安裝。嵌入安裝的仪器是專为裝在仪表板上的。在板面上只露出仪器的正面。突出式安裝的仪表裝在壁上，柱上等。有时仪表適合於任何安裝形式。

#### 6) 測量准确度

測量仪表讀数的准确度不僅和仪表的品質有关，並且与測量时一系列的因素有关。在一般情况下，下列各因素對於測量的准确度有影响：

- 1) 所用仪表的性質；
- 2) 裝置(安裝)仪表的方法；
- 3) 測量設備的工作条件；
- 4) 觀察者的个人特点。

測量准确度用仪表讀数的誤差來表示。

即使有充分准确及灵敏的仪表，但在不正确的裝置或不好的工作条件下，和刻度时的条件不同时，就得到顯然不正确的結果。在这种情形下，仪表的讀数就要用实验或計算的方法定出适当的校正数。由於觀察者的个人特点所生的測量誤差主要是因为讀数不准确，这种誤差是無法用数字來計算的。

与仪表的性質有关的測量誤差称为量具誤差。任何仪表，即使是新的，也依它的准确度等級和制造的質量有它自己的量具誤差。当仪表工作較久后，由於其彈簧的殘余变形、摩擦部分的磨損、機構的污穢和損伤等，它的誤差就会逐漸增大。因此就產生

了週期地校驗和檢修儀表的必要性。

測量誤差可以用絕對誤差或相對誤差的形式來表示，並可以是正值或負值。

絕對誤差  $a$  用儀表的刻度單位來表示，相對誤差  $\delta$  用百分數來表示，兩者可由下列公式求出：

$$a = A_2 - A_1 \quad (1-1)$$

和

$$\delta = \frac{a}{A_1} \times 100 \quad (1-2)$$

式中  $A_1$ ——被測的量的真實數值；

$A_2$ ——測量儀表的讀數。

通常為了決定真實數值，在測量儀表的讀數上加上校正數 $a$ ，校正數在數值上等於誤差而取相反的符號。

例 1-1 如溫度計的讀數和溫度的真實數值各為 197 和 200°C，試決定物質溫度的絕對測量誤差和相對測量誤差。

依照式 (1-1) 和 (1-2) 得：

$$a = 197 - 200 = -3^\circ\text{C}, \text{ 和 } \delta = \frac{-3}{200} \times 100 = -1.5\%.$$

為了決定儀表刻度上各點的量具誤差，儀表要在發電廠的熱工測量試驗室內進行定期校驗，並在蘇聯部長會議度量儀表事務委員會的分支機構中進行國家校驗。

校驗儀表的过程不外將儀表的讀數和準確度等級較高的儀表的讀數相比較。校驗時首先使被測的數量增加，然後再沿相反方向進行，即逐步減少其數量。在兩種情形下，被校驗的儀表讀數的差值稱做變易度，普通是因為儀表運動部分的摩擦過大，連接件存在着余隙等原故。變易度一般是用儀表的刻度上限與下限之間差值的百分數來表示。

校驗的結果登記入記錄簿，根據這些結果再摘錄在儀表的鑑定書檢驗證書中。在記錄及檢驗證書中說明：儀表型式和它的編