

高等学校教学用书

冶炼厂用 热工测量仪器 和调节仪器

Н. И. 托彼尔维尔赫 著
М. Я. 舍 尔 曼

重工业部工业教育司译



中国工业出版社

本书系根据苏联冶金出版社1951年出版的原文译出。原书经苏联黑色冶金工业部教育司审定为冶金中等专业学校的教科书。

本书讨论测量温度、压力、流量、湿度以及分析气体成份的各种热工仪表和自动调节器，叙述冶金厂采用热工测量和自动调节系统，并介绍有关仪表的安装知识。

本书中译本由我国冶金工业部工业教育司推荐作为我国高等学校冶金专业的教学用书。亦可供冶金厂技术人员参考。

Н. И. Тонерверх и М. Я. Шерман
Теплотехнические измерительные и
Регулирующие приборы на
Металлургических заводах
Государственное Научно-техническое
издательство литературы
по черной и цветной металлургии
1951

冶炼厂用热工测量仪器和调节仪器

重工业部工业教育司译

(根据苏联出版社原书重印)

冶金工业部工业教育司编辑(北京市大街28号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第110号)

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $12^{1/8}$ ·插页2·字数317,000

1954年6月北京第一版

1961年7月北京新一版·1962年8月北京第三次印刷

印数3,411—4,090·定价(10-6)1.60元

统一书号: K15165·150(冶金-64)

热检查和自动调节的任务

苏维埃冶炼业是社会主义工业中一个先进的部门。

在冶炼业的所有部门里都在采用或推广新的操作过程、新的机器和设备，它们都是根据科学和技术上的最新成就设计的。同时也正在发展检查和控制设备的最完善方法的应用，使能精确遵行在生产上和經濟上最有效的制度。

冶炼工厂是燃料的大量消费者；燃料利用的每一即使不大的改进都曾给祖国节约大量可贵的燃料。另外，冶炼厂主要产品（生铁、钢、钢材）的获得都和热过程密切有关，热过程的最好状况能保证最高的质量指标和经济指标。所以检查和控制热过程的问题在冶炼厂里显得十分重要。

当具备大量热工设备和各种辅助装备时，检查和控制的形式和任务非常繁多。

基本上它们归结如下：

- 1) 保证装置有正确的热状况；
- 2) 保证各设备附近的工作安全；
- 3) 试验正使用的设备以说明工作性质，寻求更经济地工作的可能，试验大修后的设备，试验新的、重新使用的设备；
- 4) 求得为设计新装置和改装旧装置所需的各种数据；
- 5) 获得计算产品成本用的和工业统计用的数据。

为了保证有正确的热状况，现在主要采用两种控制设备的方法；

- 1) 各过程直接由工作人员来控制，2) 用特殊仪器——调节器——来自自动控制。

还在不久以前，冶炼厂里是以第一种控制方法占绝对优势的。这

时的设备装备有相应的一套指示式或自动记录式的测量仪器，来帮助工作人员正确管理某一过程。

这时各有关阀门的控制不是用手就是用相隔一个距离的马达传动。在个别情形里，控制机构（闸门、换向阀）联锁成那样：只要一按按钮就够了，然后整个循环就会自动进行。例如在转换马丁炉阀门时就有这种可能。但就在这种情形里，第一个动力仍是工作人员直接发出的。

在第二种控制方法里，必需的热状况是用调节器来自动保持的，不需工作人员直接参加。工作人员的任务只在于为调节器确定某种任务，然后调节器就会自动完成任务，保持设备的所需工作状况。

近几年的特征是在黑色冶炼业中广泛地采用自动机器。早在1944年，在我们苏联，就有65%的生铁和64%的钢是由自动设备熔炼出来的。

在社会主义社会的条件下，自动化能提高生产率，减轻工人的劳动。苏联生产的综合自动化是共产主义的一个技术基础，是消除体力劳动和智力劳动间的矛盾的先决条件之一。热过程的自动化能改进热的利用，促使生产技术总的提高。

在冶炼厂里有各色各样构造的许多测量仪器和调节仪器。要讨论仪器现有的一切构造是不可能的，而且也没有必要。所以以后将只讨论冶炼厂里最常用仪器的测量方法和构造，以及现在推广的最新的仪器。

仪器的分类

冶炼厂用的热工仪器，按用途不同可分为两大类：

- 1) 测量仪器；
- 2) 调节仪器。

1. 測量儀器用來測量各種數量，它又分為：

1) 指示式；

2) 自動記錄式；

3) 總計式(計數器)。

指示式儀器指示待測量在測量時的數值。讀數按指針在儀器標尺上的位置讀。這種儀器大多裝在設備的附近。根據工作條件，它的標尺和指針應當做得大而明顯，儘可能使工作人員在工作時的任一所在地都能十分精確並方便地讀數。裝置指示式儀器時最好裝得比人的身材稍高一些，這樣裝置能夠看得清楚，並且大大減少了機械損害的可能。

自動記錄式儀器自動記錄在儀器全部工作時間內的測量結果。這是在運動着的紙帶或圓盤上用特殊裝置來記錄的。根據所得的記錄曲線能夠判斷某段時期裏待測量的一切變化，因而判斷過程的進行、設備的情況和工作人員的工作。自動記錄式儀器也有做成幾條曲線記錄的。這時在紙帶或圓盤上同時記錄幾個待測量的數值。這些量可能是同類的(如設備上各點的溫度)，也可能是不同類的(如蒸汽的流量、壓力和溫度)。

總計式儀器(計數器)用計數機構算出待測量的總值^①。知道有關時期起末時(如班次的起末)計數機構的兩示數，即可由它們的差得到這時期裏的總量。通常，這些數據對於單位用量的計算、技術表報和產品成本的計算都是需要的。計數器可以做成單獨的儀器，也可以跟指示式或自動記錄式儀器裝在一個外殼裏。

熱工測量儀器隨所測的量不同分為以下幾種主要類別^②：

1) 測量溫度的儀器；

2) 測量壓力的儀器；

3) 測量氣體、蒸汽和液體的流量的儀器；

4) 分析氣體的儀器；

5) 測定氣體中塵埃含量和濕度的儀器。

上面的每一類又包括很多在作用原理和構造形式上都不同的儀器。

① 一定時期內的流量總值也可用求得流量計的圖形面積的方法來確定。面積是用測面儀這種特別儀器來求的。

② 所舉的項目並未包括熱工儀器的全部名目。有許多儀器，主要是用在熱力方面的，這裏都沒有列入。

測量儀器可以是個固定式的，用作各種設備的經常測量，或者是便攜式的，主要用作研究和試驗設備的短時測量。後者在作用原理上一般跟相當的固定式儀器沒有差別，可是應當有十分高的示數精度並能便於攜帶。便攜式儀器常用作標準儀器去校驗生產中的固定式儀器。

2. 調節儀器或自動調節器自動保持測量的數值於規定的水平上。規定的制度因某種原因而被破壞時，自動調節器應作用在有關的調節機構上（閘門、節流閥、換向閥等等），以恢復被破壞的平衡。

自動調節器用來調節溫度、壓力、流量、液面、濕度和流量比等等不同的量。按作用原理和構造形式說來，自動調節器的種類非常多。詳細分類列於第六章，這裏沒有必要加以重複。

調節儀器往往還備有讀數的裝置（標尺、自動記錄裝置、計數機構）。這時調節儀器同時也就起測量儀器的作用。

度量學^①的基本術語及其定義

在以後的敘述中會遇到某些術語和定義，最好對它們先作一精確表述。

表述係根據於 ГОСТ 3951—47^②。

標尺的分度值 跟標尺的一分度相當的待測量的數值。

儀器的真正示數 由原器或標準測量儀器所定的該儀器示數。

待測量的真正數值 由測量儀器的真正示數所定的數值。

示數誤差 儀器示數和待測量的真正數值之間的差數。比如，根據儀器示數的溫度是 610°，而實際上根據標準儀器的示數是 615°，則示數誤差是 -5°。

相對額定誤差 以儀器測量上限的分數或百分數表示的示數誤差。

例 儀器的測量上限是 1000°C，示數誤差是 -5°，即儀器指示 995°，則相對額定誤差等於

$$\frac{-5}{1000}, \text{ 或 } -0.5\%.$$

① 度量學是關於測量的科學。

② ГОСТ 是全蘇國家標準的縮寫。——譯者

如果标尺是正負兩方向的，示数誤差就应被标尺上下限之和來除。如果标尺不自零起，应除以測量上限和相当于标尺起点的待測量的数值之差。

补正值 要使測量儀器的示数变成待測量的真正数值而需加的数值。例如在上例中补正值等于 $+5^\circ$ 。不难看出，补正值等于带負号的示数誤差。

一切儀器都按示数的精度分成等級。

精度級以相对額定誤差（百分数）的数值來表示。

例如，有一压力計，精度級是2.5，标尺极大值是100 千克/厘米²，那末它能有的最大誤差就是100 千克/厘米²的2.5%，也就是2.5 千克/厘米²。

最常見的儀器有底下几种精度級：0.2，0.5，1，2.5，4。其中精度級为0.2的儀器主要是作校驗和刻度用的。在工业測量中，絕大多數情形里采用精度級1，1.5和2.5的儀器。

目 录

热检查和自动调节的任务	Ⅶ
仪器的分类	Ⅷ
度量学的基本术语及其定义	Ⅸ
第一章 测量温度	1
1 温标和测量单位	1
2 测量温度的仪器及其分类	2
3 膨胀温度计	2
4 压力温度计	5
5 热电高温计	6
A 热电偶	8
B 热电偶的构造形式	12
B 毫伏特计	19
a) 指示式毫伏特计	19
6) 自动记录式毫伏特计	25
Γ 电位计	30
a) III型便携式电位计	32
6) 自动电位计	34
B) 自动记录式电位计	35
r) 电子电位计	40
6 用热电高温计测量温度的主要误差	47
A 热电偶自由端温度的影响	47
B 暴露电阻和毫伏特计电阻角改变的影响	51
B 渣热电极和热电偶保护管的热流的误差	54
Γ 测量物体温度时的辐射的误差	55
7 抽气热电偶	57

8 热电偶的校正	59
A 定点校正	60
B 跟标准仪器比较校正	61
9 电阻温度计	62
A 电阻温度计	63
B 电阻温度计的测量装置	66
a) 不平衡电桥	66
б) 平衡电桥	67
B) 比率计	69
10 辐射高温计	72
A 加热体的辐射定律	73
B 光学高温计	77
a) 灯丝隐灭式高温计	77
б) 光电高温计	81
B) 光学法测量温度的补正值	84
B 全辐射高温计	88
Г 全辐射高温计的装置	92

第二章 测量压力和负压力.....100

11 测量单位	102
12 测量压力和负压的仪器	103
A 液体压力计	103
a) U形压力计	103
б) 微压计	105
B) 补偿式微压计	109
г) 钟罩压力计	110
д) 环天平	112
B 弹簧压力计	114
a) 管弹簧压力计	114
б) 螺管弹簧压力计	116
B) 膜压力计和膜吸力计	117
г) 补偿式膜压力计 ЭДМ-52	122

13 弹簧压力计的选择、装置和校验	123
第三章 测量气体、蒸汽和液体的流量	126
14 测量气体、蒸汽和液体的流量的仪器	126
A 压力管	126
B 节流仪器	134
a) 孔板	134
b) 孔板的特殊构造	153
B) 孔板的装置	158
r) 喷嘴	161
x) 流量管(文脱里管)	164
B 流量计(压差计)	167
a) 便携压差计	167
b) “环天平”流量计-压差计	168
B) 浮标压差计	171
r) 钟罩压差计	178
x) 手风琴式弹簧压差计	179
e) 压差计的标尺	180
15 压差计的装置	182
16 测量脉动流束的流量	185
17 定压降流量计	187
A 定压降活塞流量计	188
B 转子流量计	190
18 容积流量计	190
19 速度流量计	192
第四章 分析气体的成分	194
2) 气体分析	194
A 气体的成分	194
B 取样	197
B 选择取样地点	198
Г 取样管	199

Д 儲存气体样品的容器	201
21 分析气体的仪器	202
A 人工气体分析器	202
a) ГХ-1 型气体分析器	203
б) 波勃罗夫斯基气体分析器	209
в) 完全分析的气体分析器	210
B 自动气体分析器	211
a) 化学的气体分析器	211
б) 电的气体分析器	214
в) 磁的氧分析器	223
22 自动气体分析器的装置	225
A 取样	225
B 选择装置仪器的地点	225
B 气体分析器的附属设备	226
第五章 测定气体的湿度	229
23 基本概念	229
24 测定湿度的仪器	235
A 重量法	235
B 冷凝法	235
B 干湿泡湿度计	236
Г 毛发湿度计	239
第六章 自动调节	241
25 基本概念	242
26 调节对象的基本性质	244
A 对象的容量	244
B 自衡	247
B 滞后	251
Г 对象的负荷	253
27 自动调节器的基本性质和特性	253
28 调节器的构造	263

A 液压调节器	263
a) 压力调节器	264
б) 流量调节器	274
B) 比例调节器	274
r) 正比调节器和再调调节器	277
B 气压调节器	279
a) 温度调节器 СИПТ	281
б) 流量调节器	285
B 电动调节器	287
a) 接点毫伏特计	288
б) 自动调节用电位计	293
B) 电动执行机构	300
r) 电动再调装置	303
л) 压力调节器 РДМ-3	309
e) 调节阀	313

第七章 冶炼厂主要车间内测量仪器和调节仪器的装置 315

29 总说	315
30 高炉车间	316
31 马丁炉车间	325
A 马丁炉热制度的自动调节	327
a) 调节炉内燃料的供给量	328
б) 调节燃烧	329
B) 调节炉子熔膛内的压力	334
r) 自动转换换向阀	337
B 热检查和自动调节的系统	340
32 轧钢车间	344
A 均热炉	345
B 连续式加热炉	347

附录 I 349

1 用孔板测定流量的公式和实例	349
-----------------------	-----

2 计算孔板孔径的公式和实例.....	361
表1. 标准孔板的理想流量系数 α_n	370
表2. 由 X 求 $\frac{d}{D}$	370
附录 I	372
表1. 气体的重度.....	372
表2. 饱和水蒸气的重度 γ 与绝对压力 P_{a6c} 的关系.....	372
表3. 过热水蒸气的重度与绝对压力和温度的关系 (据 M. II. 伏卡洛维奇).....	373
参考书籍.....	375

第一章 測量溫度

冶煉廠裏進行的各種測量中，溫度測量無疑是最重要的一種。因為所有基本過程（煉鐵、煉鋼、軋鋼）和幾乎所有的輔助過程（製造水蒸氣、壓縮空氣、耐火磚）都需要一定的溫度情況，而且總有一種最適宜的、普通是溫度區間不大的溫度情況使過程進行得最良好。把合金鋼加熱和加以壓延時，要獲得質量高的產品，其必要條件就是檢查溫度。

在鑄鋼生產和高爐生產中，檢查溫度的作用也不小（如檢查鑄鋼的溫度，蓄熱室格子磚、爐頂的溫度，送入高爐去的風溫，熱風爐的穹頭溫，高爐氣溫等等）。

再說在各種研究和試驗中也都需要溫度的多次測量，更可見其在冶煉廠中作用之大了。

1. 溫標和測量單位

蘇聯採用國際溫標，即熱力學的百度溫標；在這種溫標裏，以 0° 和 100° 各表示標準大氣壓下冰的溶點和水的沸點。

溫度測量單位“度”是國際溫標中 0° 跟 100° 兩點間溫度間隔的百分之一。

按國際溫標測得的溫度用符號 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

2. 测量温度的仪器及其分类

测量温度用的仪器的分类见表1。

表 1

分类号码	仪器类别	测量原理	温度测量范围*, °C
1	膨胀温度计	物体加热时膨胀	从 -70 到 750
2	压力温度计	温度计受热部分里的液体或气体（为一闭合系统）因加热而改变压力	从 -40 到 550
3	热电高温计	加热两种不同热电极的接点产生电动势	从 -50 到 1600
4	电阻温度计	导线的电阻随其温度改变	从 -50 到 500
5	辐射高温计	光学高温计 加热体的亮度（辐射强度）随其温度改变 比色高温计 加热体的颜色随其温度改变 全辐射高温计 加热体辐射的能量随其温度改变	从 800 到 2000 从 800 到 2000 从 700 到 1800

* 所示温度测量范围主要是对我国工业大批出产的仪器说的。

在个别情形里也使用具有其他测量范围的仪器。譬如，为了研究的目的，制出了测量限度达 2000°C 的热电高温计；某些厂出产的全辐射高温计，测量下限为 150°。

3. 膨胀温度计

膨胀温度计可分为三类：

1. 柱状温度计，它计算并列一起的两棒或套在一起的棒和管的伸长差。
2. 双金属温度计，它根据全部钉牢或焊住的两金属片或合金片（膨胀系数不同）之弯曲程度计算温度。
3. 液体温度计，它根据于液体和温度计玻璃的膨胀系数不同。

前兩類膨脹溫度計沒有廣泛地單獨用作測量儀器，而用作其他測量儀器或調節儀器的一部分。所以下面我們就只討論第三類液體溫度計。

液體膨脹溫度計有用水銀和酒精的兩種^①。

水銀溫度計應用最廣，酒精溫度計用得較少，多只用在測量較低的溫度（到 -70° ），那時水銀溫度計已不適用（水銀在 -38.9° 凝固）。

水銀溫度計（圖 1, 2）是一根玻璃毛細管，管下端是一個不大的橢圓形（或球形）儲藏器，器內裝滿水銀。毛細管後放一標尺，這些東西都裝到一個玻璃壳裏去，壳的一端鐸在水銀儲藏器上。

標尺也可以直接刻在毛細管上，這時管壁要做得很厚。這種溫度計叫棒式溫度計（圖 1б）。

由於水銀在 357.25° 沸騰，而且毛細管內水銀上空又抽去了空氣，所以水銀溫度計的測量上限僅約 300° 。要得到更高的測量上限，水銀上空可充以惰性氣體，通常用氮，氣壓為 $10-70$ 千克/厘米²。這種溫度計可以用來測量溫度到 550° ，而當它由特別耐熱的石英玻璃製成時上限甚至可以升到 750° 。

直接裝在機器上的溫度計，爲了避免經常損壞，常把它放到金屬套裏去。它們的形狀見圖 2。

水銀溫度計的優點是簡單便宜。大缺點是不能把示數傳送至旁處，不能記錄測量結果，並且熱容量大。這大大限制了它作為生產用的儀器。

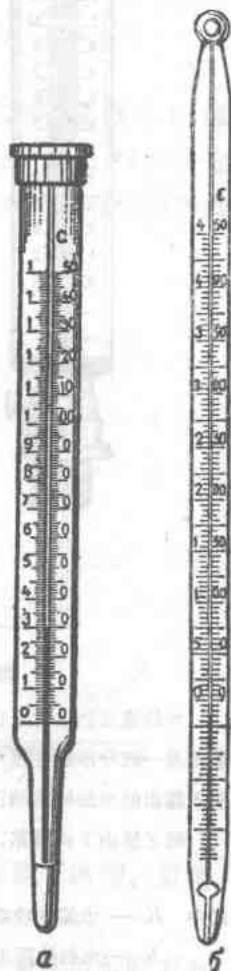


圖 1 水銀溫度計：
a—外帶標尺；
б—棒式。

① 要測量 -200°C 以上的很低溫度，採用戊烷作為溫度計用液體。

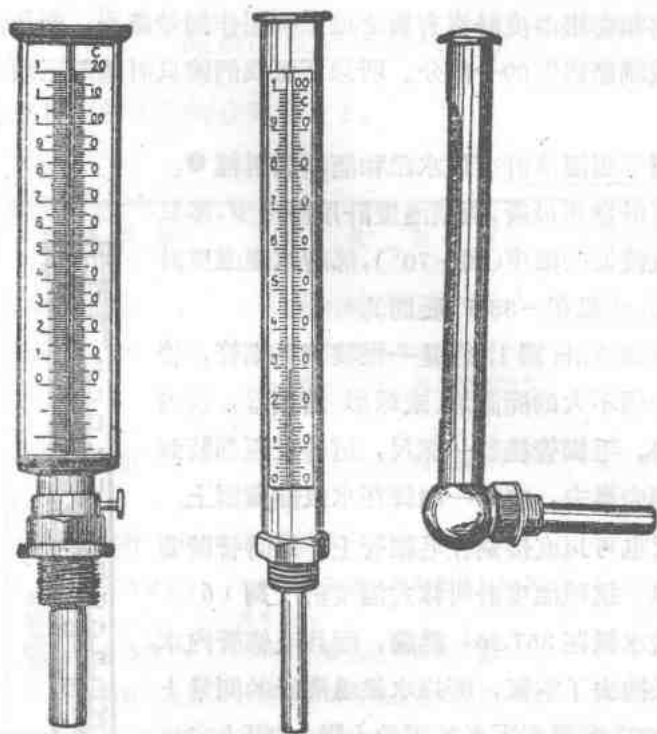


圖2 裝在金屬保護套裏的工業用水銀溫度計。

水銀溫度計通常是在水銀柱完全浸入待測物質時刻度的。可是在實用時，僅只水銀儲藏器及一部分水銀柱浸入待測物質裏，而其餘部分露在外面。這就有必要在溫度計示數裏引入露出的水銀柱的補正值，必須把它加在讀數上。

補正值由下式計算：

$$\Delta t = Kh(t - t_0), \quad ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

式中 K ——水銀在玻璃中的像似體膨脹係數，其值隨玻璃性質而定，平均值可取0.000156；

h ——水銀柱露出部分之長， $^\circ\text{C}$ ；

t ——溫度計讀數， $^\circ\text{C}$ ；

t_0 ——水銀柱露出部分的溫度， $^\circ\text{C}$ 。

因此真正溫度

$$t_{\text{н.с.т.}} = t + \Delta t.$$

裝在金屬套裏作實際測量的溫度計，在刻度時普通只插到尾部，即只插到套上螺帽為