

高等学校教学用书

# 冶 炼 厂 用热工測量仪器 和 調 节 仪 器

Н. И. 托彼尔維尔赫 著  
М. Я. 舍 尔 曼

重工业部工业教育司譯

中国工业出版社

本书系苏联冶金出版社1951年出版的原文译出。原书经苏联冶金部教育司审定为冶金中等专业学校的教科书。

本书讲述温度、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。

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

В. П. Шерверх и М. Я. Шерман  
Технические измерительные  
и регулирующие приборы на  
металлургических заводах  
Государственное Научно-техническое  
издательство литературы  
По первой 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

(根据高次伯顿斯基重印)

\*

冶金工业部图书编辑室编辑 (北京猪市大街79号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

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月北京第一版·1962年1月北京第二次印刷

印数1,531—3,410·定价(10—6) 1.60元

\*

统一书号: 15165·150 (冶金—64)

## 熱檢查和自動調節的任務

蘇維埃冶煉業是社會主義工業中一個先進的部門。

在冶煉業的所有部門中都在採用或推廣新的操作過程、新的機器設備，它們都是根據科學和技術上的最新成就設計的。同時也正在控制設備的最完善方法的應用，使能精確進行在生產上和

節約大量消費者；燃料利用的每一即使不大的改進都會給祖國節省大量可貴的燃料。另外，冶煉廠主要產品（生鐵、鋼、鋼材）的獲得都和熱過程密切有關，熱過程的最好狀況能保證最高的質量指標和經濟指標。所以檢查和控制熱過程的問題在冶煉廠裏顯得十分重要。

當具備大量熱工設備和各種輔助設備時，檢查和控制的形式和任務非常繁多。

基本上它們歸結如下：

- 1) 保證裝置有正確的熱狀況
- 2) 保證各設備附近的工作安全；
- 3) 試驗正使用的設備以說明工作性質，尋求更經濟地工作的可試驗大修後的設備，試驗新的、重新使用的設備；
- 4) 求得為設計新裝置和改裝舊裝置所需的各種數據；
- 5) 獲得計算產品成本用的和工業統計用的數據。

為了保證有正確的熱狀況，現在主要採用兩種控制設備的方法；過程直接由工作人員來控制，2) 用特殊儀器——調節器——來控制。

在不久以前，冶煉廠裏是以第一種控制方法佔絕對優勢的。這

時的設備裝備有相應的一套指示式或自動記錄式的測量儀器，來幫助工作人員正確管理某一過程。

這時各有關閥門的控制不是用手，就是用相隔一個距離的馬達動。在個別情形裏，控制機構（開門、換向閥）聯鎖成那樣：只要一按按鈕就够了，然後整個循環就會自動進行。例如在轉換馬丁爐閥門時就有這種可能。但就在這種情形裏，第一個動力仍是工作人員直出的。

在第二種控制方法裏，必需的熱狀況是用調節器，不需工作人員直接參加。工作人員的任務只在於為調節器確定某種任務，然後調節器就會自動完成任務，保持設備的所需工作狀況。

近幾年的特徵是在黑色冶煉業中廣泛地採用自動機器。早在1944年，在我們蘇聯，就有65%的生鐵和64%的鋼是由自動設備熔煉出來的。

在社會主義社會的條件下，自動化能提高生產率，減輕工人的勞動。蘇聯生產的綜合自動化是共產主義的一個技術基礎，是消除體力勞動和智力勞動間的矛盾的先決條件之一。熱過程的自動化能改進的利用，促使生產技術總的提高。

在冶煉廠裏有各色各樣構造的許多測量儀器和調節儀器。要討論儀器現有的一切構造是不可能的，而且也沒有必要。所以以後將只討論冶煉廠裏最常用儀器的測量方法和構造，以及現在推廣的最新的儀器。

## 儀器的分類

冶煉廠用的熱工儀器，按用途不同可分為兩大類：

- 1) 測量儀器；
- 2) 調節儀器。

## 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<sup>①</sup>。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<sup>②</sup>：

- 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

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。面積是用測量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<sup>①</sup>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<sup>②</sup>。

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<sup>③</sup>

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

如果標尺是正負兩方向的，示數誤差就應被標尺上下限之和來除。如果標尺不自零起始，應除以測量上限和相當於標尺起點的待測量的數值之差。

補正值 要使測量儀器的示數變成待測量的真正數值而需加的數值。例如在上例中補正值等於  $+5^\circ$ 。不難看出，補正值等於帶負號的示數誤差。

一切儀器都按示數的精度分成等級。

精度級以相對額定誤差(百分數)的數值來表示。

例如，有一壓力計，精度級是 2.5，標尺極大值是 100 千克/厘米<sup>2</sup>，那末它能有的最大誤差就是 100 千克/厘米<sup>2</sup> 的 2.5%，也就是 2.5 千克/厘米<sup>2</sup>。

最常見的儀器有底下幾種精度級：0.2, 0.5, 1, 2.5, 4。其中精度級為 0.2 的儀器主要是作校驗和刻度用的。在工業測量中，絕大多數情形裏採用精度級 1, 1.5 和 2.5 的儀器。

# 目 錄

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 熱檢查和自動調節的任務 .....         | i  |
| 儀器的分類 .....               | ii |
| 度量學的基本術語及其定義 .....        | iv |
| 第一章 測量溫度 .....            | 1  |
| 1 溫標和測量單位 .....           | 1  |
| 2 測量溫度的儀器及其分類 .....       | 2  |
| 3 膨脹溫度計 .....             | 2  |
| 4 壓力溫度計 .....             | 5  |
| 5 熱電高溫計 .....             | 6  |
| A 熱電偶 .....               | 8  |
| B 熱電偶的構造形式 .....          | 12 |
| B 毫伏特計 .....              | 19 |
| a) 指示式毫伏特計 .....          | 19 |
| б) 自動記錄式毫伏特計 .....        | 25 |
| Г 電位計 .....               | 30 |
| a) ИИ型便攜式電位計 .....        | 32 |
| б) 自動電位計 .....            | 34 |
| B) CH型自動記錄電位計 .....       | 35 |
| r) 電子電位計 .....            | 40 |
| 6 用熱電高溫計測量溫度的主要誤差 .....   | 47 |
| A 熱電偶自由端溫度的影響 .....       | 47 |
| B 外路電阻和毫伏特計電阻的改變的影響 ..... | 51 |
| B 沿熱電極和熱電偶保護管的熱流的誤差 ..... | 54 |
| Г 測量氣體溫度時的輻射的誤差 .....     | 55 |
| 7 抽氣熱電偶 .....             | 57 |



|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| 8   | 熱電偶的校正         | 59  |
| A   | 定點校正           | 60  |
| B   | 跟標準儀器比較校正      | 61  |
| 9   | 電阻溫度計          | 62  |
| A   | 電阻溫度計          | 63  |
| B   | 電阻溫度計的測量裝置     | 66  |
| a)  | 不平衡電橋          | 66  |
| b)  | 平衡電橋           | 67  |
| B)  | 比率計            | 69  |
| 10  | 輻射高溫計          | 72  |
| A   | 加熱體的輻射定律       | 73  |
| B   | 光學高溫計          | 77  |
| a)  | 燈絲隱滅式高溫計       | 77  |
| b)  | 光電高溫計          | 81  |
| B)  | 光學法測量溫度的補正值    | 84  |
| B   | 全輻射高溫計         | 88  |
| Г   | 全輻射高溫計的裝置      | 92  |
| 第二章 | 測量壓力和負壓力       | 100 |
| 11  | 測量單位           | 102 |
| 12  | 測量壓力和負壓的儀器     | 103 |
| A   | 液體壓力計          | 103 |
| a)  | U形壓力計          | 103 |
| b)  | 微壓計            | 105 |
| B)  | 補償式微壓計         | 109 |
| г)  | 鐘罩壓力計          | 110 |
| д)  | 環天平            | 112 |
| B   | 彈簧壓力計          | 114 |
| a)  | 管彈簧壓力計         | 114 |
| b)  | 螺旋彈簧壓力計        | 116 |
| B)  | 膜壓力計和膜吸力計      | 117 |
| г)  | 補償式膜壓力計 ӨДМ-52 | 122 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 13 彈簧壓力計的選擇、裝置和校驗 .....        | 123 |
| <b>第三章 測量氣體、蒸汽和液體的流量</b> ..... | 126 |
| 14 測量氣體、蒸汽和液體的流量的儀器 .....      | 126 |
| A 壓力管 .....                    | 126 |
| B 節流儀器 .....                   | 134 |
| a) 孔板 .....                    | 134 |
| б) 孔板的特殊構造 .....               | 153 |
| B) 孔板的裝置 .....                 | 158 |
| r) 噴嘴 .....                    | 161 |
| д) 流量管(文脫里管) .....             | 164 |
| B 流量計(壓差計) .....               | 167 |
| a) 便攜壓差計 .....                 | 167 |
| б) “環天平”流量計-壓差計 .....          | 168 |
| B) 浮標壓差計 .....                 | 171 |
| r) 鐘罩壓差計 .....                 | 178 |
| д) 手風琴式彈簧壓差計 .....             | 179 |
| e) 壓差計的標尺 .....                | 180 |
| 15 壓差計的裝置 .....                | 182 |
| 16 測量脈動流束的流量 .....             | 185 |
| 17 定壓降流量計 .....                | 187 |
| A 定壓降活塞流量計 .....               | 188 |
| B 轉子流量計 .....                  | 190 |
| 18 容積流量計 .....                 | 190 |
| 19 速度流量計 .....                 | 192 |
| <b>第四章 分析氣體的成分</b> .....       | 194 |
| 20 氣體分析 .....                  | 194 |
| A 氣體的成分 .....                  | 194 |
| B 取樣 .....                     | 197 |
| B 選擇取樣地點 .....                 | 198 |
| Г 取樣管 .....                    | 199 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Д 儲存氣體樣品的容器 .....      | 201 |
| 21 分析氣體的儀器 .....       | 202 |
| А 人工氣體分析器 .....        | 202 |
| а) ГХ-1 型氣體分析器 .....   | 203 |
| б) 波勃羅夫斯基氣體分析器 .....   | 209 |
| в) 完全分析的氣體分析器 .....    | 210 |
| В 自動氣體分析器 .....        | 211 |
| а) 化學的氣體分析器 .....      | 211 |
| б) 電的氣體分析器 .....       | 214 |
| в) 磁的氧分析器 .....        | 223 |
| 22 自動氣體分析器的裝置 .....    | 225 |
| А 取樣 .....             | 225 |
| В 選擇裝置儀器的地點 .....      | 225 |
| В 氣體分析器的附屬設備 .....     | 226 |
| 第五章 測定氣體的濕度 .....      | 229 |
| 23 基本概念 .....          | 229 |
| 24 測定濕度的儀器 .....       | 235 |
| А 重量法 .....            | 235 |
| В 冷凝法 .....            | 235 |
| В 乾濕泡溫度計 .....         | 236 |
| Г 毛髮濕度計 .....          | 239 |
| 第六章 自動調節 .....         | 241 |
| 25 基本概念 .....          | 242 |
| 26 調節對象的基本性質 .....     | 244 |
| А 對象的容量 .....          | 244 |
| В 自衡 .....             | 247 |
| В 滯後 .....             | 251 |
| Г 對象的負荷 .....          | 253 |
| 27 自動調節器的基本性質和特性 ..... | 258 |
| 28 調節器的構造 .....        | 263 |

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| A 液壓調節器 .....                         | 263        |
| a) 壓力調節器 .....                        | 264        |
| б) 流量調節器 .....                        | 274        |
| B) 比例調節器 .....                        | 274        |
| r) 正比調節器和再調節器 .....                   | 277        |
| B 氣壓調節器 .....                         | 279        |
| a) 溫度調節器 CHIP .....                   | 281        |
| б) 流量調節器 .....                        | 285        |
| B 電動調節器 .....                         | 287        |
| a) 接點毫伏特計 .....                       | 288        |
| б) 自動調節用電位計 .....                     | 295        |
| B) 電動執行機構 .....                       | 300        |
| r) 電動再調裝置 .....                       | 303        |
| A) 壓力調節器 PDM-3 .....                  | 309        |
| e) 調節閥 .....                          | 313        |
| <b>第七章 冶煉廠主要車間內測量儀器和調節儀器的裝置 .....</b> | <b>315</b> |
| 29 總說 .....                           | 315        |
| 30 高爐車間 .....                         | 316        |
| 31 馬丁爐車間 .....                        | 325        |
| A 馬丁爐熱制度的自動調節 .....                   | 327        |
| a) 調節爐內燃料的供給量 .....                   | 328        |
| б) 調節燃燒 .....                         | 329        |
| B) 調節爐子熔腔內的壓力 .....                   | 334        |
| r) 自動轉換換向閥 .....                      | 337        |
| B 熱檢查和自動調節的系統 .....                   | 340        |
| 32 軋鋼車間 .....                         | 344        |
| A 均熱爐 .....                           | 345        |
| B 連續式加熱爐 .....                        | 347        |
| <b>附錄 I .....</b>                     | <b>349</b> |
| 1 用孔板測定流量的公式和實例 .....                 | 349        |

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| 2 計算孔板孔徑的公式和實例 .....                                    | 361 |
| 表 1. 標準孔板的理想流量係數 $\alpha_n$ .....                       | 370 |
| 表 2. 由 $X$ 求 $\frac{d}{D}$ .....                        | 370 |
| 附錄 II .....                                             | 372 |
| 表 1. 氣體的重度 .....                                        | 372 |
| 表 2. 飽和水蒸氣的重度 $\gamma$ 與絕對壓力 $P_{\text{abs}}$ 的關係 ..... | 372 |
| 表 3. 過熱水蒸氣的重度與絕對壓力和溫度的關係(據 M. И. 伏卡洛維奇) .....           | 373 |
| 參考書籍 .....                                              | 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  $0^{\circ}$  和  $100^{\circ}$  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  $0^{\circ}$  跟  $100^{\circ}$  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. 測量溫度的儀器及其分類

測量溫度用的儀器的分類見表 1。

表 1

| 分類號碼 | 儀器類別   | 測量原理                             | 溫度測量範圍*, °C  |
|------|--------|----------------------------------|--------------|
| 1    | 膨脹溫度計  | 物體加熱時膨脹                          | 從 -70 到 750  |
| 2    | 壓力溫度計  | 溫度計受熱部分裏的液體或氣體 (爲一閉合系統) 因加熱而改變壓力 | 從 -40 到 550  |
| 3    | 熱電高溫計  | 加熱兩種不同熱電極的接點產生電動勢                | 從 -50 到 1600 |
| 4    | 電阻溫度計  | 導線的電阻隨其溫度改變                      | 從 -50 到 500  |
| 5    | 光學高溫計  | 加熱體的亮度 (輻射強度) 隨其溫度改變             | 從 800 到 2000 |
|      | 比色高溫計  | 加熱體的顏色隨其溫度改變                     | 從 800 到 2000 |
|      | 全輻射高溫計 | 加熱體輻射的能量隨其溫度改變                   | 從 700 到 1800 |

\* 所示溫度測量範圍主要是對我國工業大批出產的儀器說的。

在個別情形裏也使用具有其他測量範圍的儀器。譬如, 爲了研究的目的, 製出了測量限度達 2000°C 的熱電高溫計; 某些廠出產的全輻射高溫計, 測量下限爲 150°。

## 3. 膨脹溫度計

膨脹溫度計可分爲三類:

1. 柱狀溫度計, 它計算並列一起的兩棒或套在一起的棒和管之伸長差。

2. 雙金屬溫度計, 它根據全部釘牢或鉚住的兩金屬片或合金片 (膨脹係數不同) 之彎曲程度計算溫度。

3. 液體溫度計, 它根據於液體和溫度計玻璃的膨脹係數不同。

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<sup>①</sup>。

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 $-70^{\circ}$ ），那時水銀溫度計已不適用（水銀在 $-38.9^{\circ}$ 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 1 6）。

由於水銀在 $357.25^{\circ}$ 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 $300^{\circ}$ 。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<sup>2</sup>。這種溫度計可以用來測量溫度到 $550^{\circ}$ ，而當它由特別耐熱的石英玻璃製成時上限甚至可以升到 $750^{\circ}$ 。

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。這大大限制了它作爲生產用的儀器。

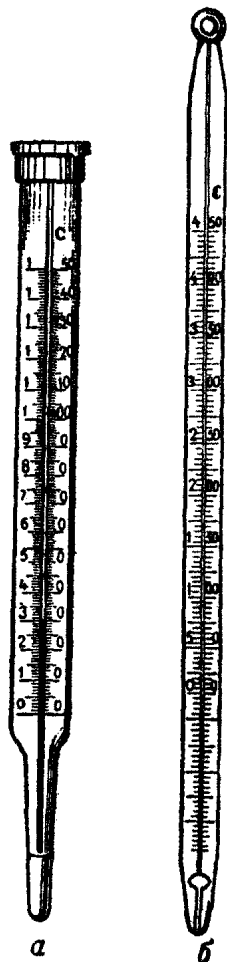


圖 1 水銀溫度計：  
a—外帶標尺；  
b—棒式。

① 要測量 $-200^{\circ}\text{C}$ 以上的很低溫度，採用戊烷作爲溫度計用液體。



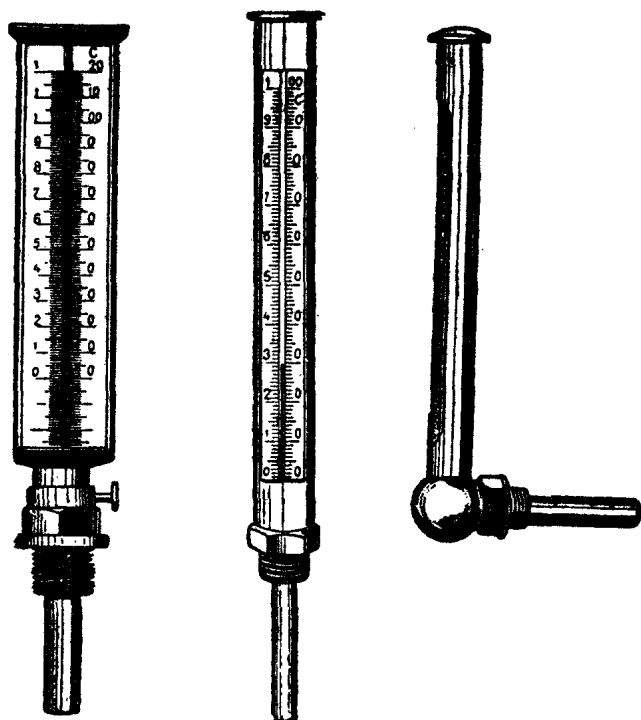


圖2 裝在金屬保護套裏的工業用水銀溫度計。

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：

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

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

$$t_{\text{нст}} = t + \Delta t.$$

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