

高等学校教学用书

气象仪器学

上册

B. H. 凱德羅黎夫斯基 著
M. C. 斯契恩沙特

高等教育出版社

高等学校教学用书



气象仪器学

气象要素的测定

上册

B. H. 凱德羅黎夫斯基 著
M. C. 斯契恩沙特
李 榆 袁文德 嚴开偉 譯

高等教育出版社



本書系根据苏联水文气象出版社 (Гидрометеиздат) 出版的凱德罗黎万斯基 (В. Н. Кедрованский) 和 斯契恩沙特 (М. С. Стерншат) 合著的“气象仪器学” (Метеорологические приборы) 1953 年版譯出。原書經苏联文化部高等教育总署审定为水文气象学院及国立大学的教学参考書。

对于現在所有的气象仪器及新近發明的仪器均有叙述。

本書中譯本分上下兩册出版。上册共分六章, 緒論、第一章及第六章由袁文德同志譯出; 第二、四、五各章由李榆同志譯出, 第三章由严开偉同志譯出。又上册曾經馮秀藻、沈涌洲、秦書元三位同志校閱过。

气 象 仪 器 学

上 册

В. Н. 凱德罗黎万斯基, М. С. 斯契恩沙特著

李 榆 袁文德 严开偉譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京华印書局印刷 新华書店总經售

統一書号13010•100 開本 850 X 1168 $^{1/16}$ 印張 13 字數 319,000

一九五六年十二月北京第一版

一九五六年十二月北京第一次印刷

印數 0001—4,500 定價 (8) 洋 1.40

序 言

這本書是由 1947 年出版的 B. H. 凱德羅黎夫斯基所著“氣象儀器學”一書修改補充而成的。本書系供高等學校作為教學參考書之用，但其內容並不為高等學校“氣象測定方法”這門課程的教學大綱所限制。

本書除了敘述所有基本氣象儀器的構造之外，還包括了能幫助水文氣象網內的檢查員、觀測員及其他許多工作人員熟悉現有的氣象要素測定儀器與方法的材料，此外，也還包括了研究這個領域的新方法新儀器所需要的基礎材料。因此，本書不僅可作為高等學校的教學參考書，並且還可作為氣象測定人員的參考書，以及水文氣象網內的檢查員、觀測員及其他工作人員在獨立工作中提高其各方面熟練程度的讀物。

為了滿足讀者需要，除了需具備足夠的數理素養才能了解的嚴格敘述之外，同時若干材料是以較簡單的形式敘述。

最普遍流行的測站觀測，特別是利用簡單儀器進行的，敘述較詳，並且強調嚴格遵守各種規則的必要性，這些規則對於剛開始接觸氣象測定的讀者，驟然看來可能顯示是多余的。可是，大家知道，在許多情形下只有遵守這些規則才能利用極簡單的儀器獲得有價值的資料。例如，雨量器、蒸發器及其他許多設備只在嚴格遵守其使用方法的條件下才能成為測定儀器，否則使用這些儀器將會使所得資料帶有很大誤差因而受到損害。

本書中也還敘述了觀象台、科學研究機關、探測隊等在实际工作中應用的較複雜的測定儀器與方法。此外，還闡明了許多儀器特別是尚處在試用階段的儀器的原理，俾使能了解這個領域內的最新成果和氣象測定的發展遠景。

本書的修改補充工作開始於 1950 年，除第六章與第十一章外，都是由 M. C. 斯契恩沙特和凱德羅黎夫斯基共同完成的。第六章“輻射能的測定”是由 Ю. Л. 雅尼雪夫斯基修改並補充了很多材料，第十一章“大氣電學諸要素的測定”是由 И. М. 伊米雅尼托夫重新編寫的。

本書付印之前，曾經過沃耶可夫地球物理現象總台與列寧格勒國立日丹諾夫大學大氣物理學教研室的工作人員，以及列寧格勒水文氣象學院氣象學教研室主任 B. B. 基留欣的審閱，他們給予的許多寶貴指示，都已經盡量採納。

上册目录

序言	vii
緒論	1

第一章 温度的测定

測溫學的一般概念	6
溫度表与媒質之間的热量交換	9
溫度表的慣性 溫度表慣性和通風速度的关系	
溫度表的灵敏度	18
溫度表的类型	19
气体溫度表(氣溫度表)	20
液体溫度表	21
溫度表基点的变化 測溫玻璃 測溫液	
气象用液体溫度表	23
气象用水銀干湿球溫度表 酒精辅助溫度表 气象用水銀最高溫度表 气象用酒精最低溫度表 最高最低溫度表 大型通風干湿表上的水銀溫度表 小型通風干湿表上的水銀溫度表 气象用手搖水銀溫度表 測定地面溫度用溫度表 气象用曲管水銀溫度表 附属于水銀气压表的气象用水銀溫度表 測定地中溫度的气象用水銀溫度表 气象用系留水銀溫度表 磁轉式溫度表 透測酒精溫度表 气象用溫度表的讀数規則 液体溫度表的訂正值 露出液柱訂正值 外压訂正值 內压訂正值 溫度表的檢定	
变形溫度表	40
电阻溫度表	43
温差电偶溫度表	55
气象台站上空气溫度的測定	58
干湿表百叶箱 通風干湿表 气象用手搖水銀溫度表	
空气溫度变化的記錄	61
土壤和水的溫度的測定	64
地面溫度的測定	64
地中溫度的測定	67
气象用曲管水銀溫度表(沙維諾夫溫度表) 直管溫度表 伊凡諾夫攜帶式地溫表 水的表面溫度的測定	

第二章 空气溫度的測定

表示空气溫度的量	72
測定空气溫度的方法	75
絕對法(称量法)	75
干湿球溫度表法	77
干湿球溫度表 气象台站用的干湿球溫度表 通風干湿表 帶电动机的通風干湿表 翻倒干湿表 手搖干湿表 湿球溫度表帶有通風器的台用的干湿表 帶电气溫度表的干湿表	
毛髮湿度表	93
毛髮的吸湿特性 斯列茲尼夫斯基关于毛髮湿度表的理論 毛髮湿度表 經常湿润的毛髮湿度表 帶毛髮湿度感應器的儀器的溫度誤差和惰性	

总辐射强度计 雅尼雪夫斯基温差电偶辐射强度表	
反射辐射的测定	205
反射率测定表	
红外线长波辐射的测定	207
辐射差额(剩余辐射强度)的测定	207
米海尔蒙补偿辐射差额表 雅尼雪夫斯基温差电偶辐射差额表 上部补偿法辐射差额表 简化辐射差额表	
有效辐射的测定	213
埃斯川姆补偿地面辐射表 沙维诺夫地面辐射表 附滤过器的日間地面辐射表 雅尼雪夫斯基温差电偶地面辐射表 地面辐射计 柴赫特曼 库契洛夫示差地面辐射表	
日照时间	221
万能日照计	

緒 論

大气現象观测的起源，可以追溯到人类历史上極為久远的年代。我們遙远的祖先对天气現象所显示出来的兴趣，是極容易理解的，因为在那遙远的时代里，人类生活条件和自然界各种現象之間具有密切的关系。可是，一切原始的气象观测，都是不用任何仪器进行并且是無系統的，因而只帶有現象底偶然的性質的估計。

随着对更精确气象資料的要求之出現和科学的發展，遂产生了用仪器作更有系統的观测的必要性和可能性。

最早进行仪器观测的气象要素，大概是降水。远在公元前四世紀，就有了关于印度各处降水量的报导。

对于風的观测的起源，同样也可上溯到極久远的年代，远在公元前 100 年，雅典就已建造了八角形的“風塔”，它一直保存到現在。在这塔頂中央有着一个人魚神像風信标。这人魚神像的笏板向下弯着，朝着置有象征風的浮雕圖像的塔壁，笏板并指出風吹来的方向。

然而，多少有些系統性的仪器观测，只能認為直到十七世紀方告开始。

1597 年伽利略發明了溫度表，而 1643 年托里拆利發明了气压表。这些儀器的出現，使得在十八世紀下半叶有可能作組織气象網的嘗試。欧洲四个国家組成了十个气象站。可是，这些測站使用不同类型的仪器所进行的且是無系統的观测工作，在很大程度上帶着形式的性質，因而不能作为积累科学資料之用。这个測站網存在不久就宣告解体了。

科学地組織起来的气象观测，乃是 1722 年于俄国开始的。除規定在彼得堡进行有系統的气象观测外，彼得一世还指令装备齐全的探測队負責“巡行各处进行气象观测，并于最重要地点將之付托可靠人員繼續进行”。

1733 年，以別林格为首的偉大的北方探測队在往东方的途中組織了許多气象站：在嘉桑、秋明、維尔哈吐利、梭里干斯克、卡美諾戈爾斯克河口、托姆斯克、庫茲涅茨克、叶尼塞斯克以及俄国其他边远地点。組成的这些測站全都配备了仪器，并得到关系它們的使用法的書面指示。

气象观测的进一步發展，新的儀器的改进及創造，是和偉大的俄罗斯学者米哈尔·华西里耶維奇·罗蒙諾索夫在这个領域內的科学活动密切关联着的。

M. B. 罗蒙諾索夫指出了气象观测之系統化的特別重要性。他在科学院發表的“論大气現象”的演講中，批判了許多国家观测工作的組織，指出：即使不仅在欧洲，并在世界其他各洲都进行了大量的观测，可是其規模虽大，却是杂乱無章的材料：“物理学家进行的观测，不仅說明了他們履行职责到何种程度，因而就窒息了这个最好的自然科学部門”。罗蒙諾索夫打算利用特別的飞行器具——“飞行机”（“аэродромическая машина”）——把自記仪器升入空中，以实現在当时空前困难的研究大气高層的科学实验，这种器具的圖样曾于 1754 年提

交科学院并得到贊許：“最敬爱的罗蒙諾索夫向大会建議制造能够把溫度表和电气指示器升入空中的仪器，并提出了它的圖样。最著名的院士都承認这种仪器值得制造和用它来进行实验”。罗蒙諾索夫曾在科学院試驗了自己的飞行机模型的作用。

1751年，罗蒙諾索夫在彼得堡建立了世界上第一个“应用自記仪器的气象台”，进行了有系統的观测，并曾以“1751至1755年間聖彼得堡^①进行的气象观测”为题發表文章于“科学院月刊”。在魯吉采赫河口的第二个气象台同样也配备了自記仪器。罗蒙諾索夫創造和改进的仪器的圖样及草圖，一直保存到我們今天：風向風速表、航海气压表及其他許多仪器。他还說明了这些仪器刻度的方式。

在俄国組織气象測站網之后，經過了五十多年，才由曼海姆（Mannheim）的“宫廷学会”組織了西欧的观测網。彼得堡科学院將三个測站（彼得堡、莫斯科及烏拉尔的匹斯門工厂）加入了这个觀站網。

1799年，宫廷学会組織的測站網宣告解散。到十九世紀初，在俄国各个有大学的城市也进行气象观测了。在1849年，建立了气象科学研究中心——物理現象总台（現在的地球物理現象总台），它將全部气象工作統一起来了，并且成为許多国家的范式。

随着气象測站網的繼續扩大，为了改善科学理論領導起見，在梯夫里斯^②、叶凱塞琳堡^③及伊尔庫茨克也建立了觀象台。物理現象总台設計了許多气象仪器。觀象台所制的“标准”气压表是世界上最优良的。門德雷業夫在大气压力測定的基本原理方面的工作及他所研究出的各种气压表的說明，促进了这个气压表的制成和进一步完善。門德雷業夫对大气高層頗具兴趣，并研究了稀薄气体的特性，他写过許多对气象学有重大意义的著作，特别是他曾研究出并制成了若干新的仪器；他还創造了各种气象要素的測定方法。門德雷業夫的差动式气压表是一种極灵敏的高度表，可用来进行高度精密的气压測高。迄今仍無任何一种現有的液体压力表在压力測定的精确度方面能性过門德雷業夫的差动式气压表。門德雷業夫曾經建議采用自記仪器：“观测員可能耽誤時間，也可能作出不正确的讀数等等，而因此使許多气象資料在很大程度上受到損害”他在那个时候就已經建議应用遙測方法。1887年，門德雷業夫本人曾实现了乘气球飞行并同时进行气象观测。

稍后，米哈尔·米哈伊洛維奇·波莫尔采夫为了研究大气曾作过83次乘气球的飞行，并在1897年發表了自己的著作：“利用气球进行大气研究”。他改进并創造了許多新的仪器：旋轉式干湿球溫度表、通風干湿球溫度表、气压表和供測定高空气压用的空盒气压表。

1897年創刊的“航空与大气研究”杂志曾經發表H. E. 朱可夫斯基、M. M. 波莫尔采夫、B. B. 庫茲涅佐夫、E. C. 費多洛夫、Д. А. 斯米尔諾夫等人的著作，他們都很重視大气研究方法。在物理現象总台，曾由B. A. 米海尔遜、C. H. 沙維諾夫、B. B. 庫茲涅佐夫、H. H. 加里金等創制了大量的气象仪器。

① 即現在的列寧格勒。——譯者注。

② 即今梯比里斯。——譯者注。

③ 即今斯維爾德洛夫斯克。——譯者注。

新儀器的創制和觀測方法的發展，使得台站網有可能不斷改善其觀測設備。氣象服務在偉大的社會主義十月革命之後獲得了特別廣泛的發展，在這個時期中為了國家計劃經濟的利益已經提出了全面研究大氣的任務。

列寧在 1921 年簽署的俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國人民委員會“關於組織俄羅斯蘇維埃聯邦社會主義共和國水文氣象機構”的命令，成為在蘇聯設立國家水文氣象機構的開端。氣象台站網和氣象方面的各種科學研究機關都大大增加了。氣象觀測在蘇聯的邊遠地區普遍開展起來了。蘇聯的氣象機構迅速超過了其他國家的氣象機構。

氣象儀器製造方面也獲得了重大發展。在 1921 至 1922 年間，就已經應用了新的大氣探測方法——飛機探測。

蘇聯是無線電探空儀的故鄉，這種儀器開拓了大氣研究的新的遼闊遠景。地球物理現象總台 И. А. 摩爾恰諾夫所創制的梳狀探空儀，1930 年一月首次施放，並迅速在高空氣象的研究方面得到廣泛應用。無線電探空儀在實質上是一個小型自動氣象觀測站，它的發明權同樣也屬於蘇聯。在這些年頭中，В. Н. 奧波連斯基奠定了實驗氣象學發展的始基，從而產生了創造大氣研究方面新的專門儀器與方法的必要性。

目前氣象觀測的範圍異常廣泛，而不局限於觀測站上的觀測工作；但是各種類型的台站網仍然承擔着大多數氣象要素的觀測和記錄，這些要素就是：(1) 大氣壓力；(2) 空氣溫度；(3) 空氣濕度；(4) 大氣降水；(5) 雲；(6) 風的各要素；(7) 能見度；(8) 土壤與水的溫度；(9) 水的蒸發；(10) 日照時間；(11) 大氣中太陽輻射強度及地面與大氣的輻射強度；(12) 大氣電的各要素。

此外，還進行各種大氣現象的觀測。

對於用來測定上述諸要素的氣象儀器，提出了一系列極多樣性的，有時是難於同時滿足的要求。由於這些儀器都是大批使用的，自然它們應該簡單而價廉，具有相當長的使用期限，用法簡便，刻度能長期保持並保證很高的測定精度。在許多場合下，還對氣象儀器提出了尺寸、重量、慣性等等附加的要求。幾乎所有的氣象儀器都是露天裝置着的，因此它的效應就受到天氣條件的影響。大氣降水、溫度變化、濕度、太陽輻射、風力負荷、塵埃等對儀器的影響，要求着特別的預防措施、特制防護復蓋、抗腐蝕的保護措施以及加固設備等等。

保證在一個相當長的時期內儀器讀數的固定性，同樣也是一個十分必要的條件。由於氣象台站數目眾多並且它們遠離儀器檢查機關，所以就不可能定期地將儀器從測站取出送往檢查。換算系數的固定性及儀器作用之準確度的檢查，對於某些儀器，往往不可能在使用地點施行。鑒於上述情況以及氣象儀器使用時的具體條件，就必須特別注意保證其讀數的固定性。

考慮到對氣象儀器提出的往往互相矛盾的一切要求，在這些儀器的研究設計方面便發生了很大困難。在台站網中使用氣象儀器時，同樣也發生困難。

為了對大氣中發生的物理過程獲得一個概念，就必須在空間中許多點上進行觀測。而為了探索這些現象的變化，氣象學家必須擁有在某時間內許多點上的觀測記錄。顯然，氣象

观测记录只有当它们在时间空间方面完全一致并能互相比較的情形下，才可以对所提出的問題給予解答。

气象观测工作初看起来是不复杂的，可是，要获得具有高度比較性的材料，就必须严格遵守规定的观测方法

要从气象观测工作中获得精确的資料，几乎始終是一樁細致而困难的事情。例如，在實驗室中測定物体的溫度，多半只是一種簡單的操作。而在大气中測定空气溫度，便要防止溫度表受到太陽輻射与周圍物体的影响，这就使問題極端复杂起来。同样，測定空气动力学實驗風洞中气流的速度，因其中气流的速度与方向都保持不变，因而是不困难的。而測定大气中气流的速度与方向，因气流是不断变化的，就成为一個困難的問題。因此，如果不考虑大气的特性，而將物理實驗的方法机械地搬用于大气中的測定工作上，即使它是極完善的方法，也会得出不能令人滿意的結果。

气象观测員应该精通大气層的特性，善于批判地分析每个个别情况，否則观测中就可能产生極严重的誤差而得出沒有比較性的無用的材料

在苏联气象台站網中，系用下述方法来达到观测记录有比較性的：(1)在所有的台站上都采用以规定的标准仪器檢查比較过的同一类型的仪器；(2)根据一个統一的机关(苏联水文气象总局)發布的同一规范进行观测；(3)同样的初步整理方法。

所有的气象仪器在出厂前都必须經過檢查并和规定的标准仪器比較。每套仪器都附有檢定證明書，檢定証中載明該仪器符合苏联水文气象总局对台站用气象仪器的要求。

如果仪器的構造形式上有固定的刻度，那末檢定証中应載明該仪器对于规定的标准仪器的訂正值。并且，訂正值应取这样的数值，当它以代数法加进观测值时即得真值。每个訂正值前均附有正負号。+(加)号表示仪器讀数低于应有的讀数，因此其讀数必須提高；-(减)号则表示仪器讀数过高，应將它降低。

每套經過檢定的仪器上面都打上檢定號碼，当檢定証遺失时，可根据此號碼从仪器檢定机关的档案中重新取得一切資料。

若仪器在檢定时合于苏联水文气象总局对气象台站仪器规定的要求，則檢定序号旁边应打上檢定机关的戳子。

經過一个时期后，台站仪器本身的訂正值可能改变，因此产生了在仪器使用过程中进行校准檢定的必要性。此外，可能有这种情况，即个别观测員未能完全遵守规范及說明書中的一切要求，而这些要求是气象台站在工作中必須遵守的

因此，领导机关必須和每个气象台站保持密切联系。这种联系可借领导机关派遣高度熟練的工作人員檢查各台站的方法来实现，他們应就地詳細了解工作及进行仪器与設備的檢查，并給观测員以指示。檢查台站时应特別注意目測(不用仪器的观测)的程序，因为当观测員不够熟悉规范的要求及技巧不够熟練时，这种观测的結果会誤差很大。

观测資料的整理，对于使观测結果具有比較性也是極為重要的。每个利用气象台站数字資料的工作人員，都應該堅信一切材料都具有同等价值和必須加以同样的整理。观测材

料整理方法的統一，可借專門出版的有關規範及手冊中指示實現之。

在确切遵守這些指示的條件下，可以獲得有充分價值的觀測資料。然而，只是機械地遵守它們，常常是不夠的。還必須對該氣象儀器的構造及其作用的物理原理有詳細知識。這種知識可以培養正確保護儀器的能力並求得與氣象觀測程序有關的各種問題的正确解決。也許可以斷言，沒有任何一個技術部門在要求儀器簡單而大批使用的條件下，還同時對測定精確度提出那樣嚴格的要求。例如，如果水銀氣壓表的壓力測定範圍約為 200 毫巴，則所要求的精確度為 0.1 毫巴，即等於所要測定數值的 0.05%；溫度表（最基本的儀器）應該保證達到所要測定的最大值的 1% 的精確度，而同時對於實驗室儀器，只有很高級的儀器才要求保證達到所要測定的最大值的 0.1—1% 的測定精確度。

這些特點以及各種氣象要素的測定儀器系根據各種極不相同的物理原理這一情況，要求從事研究氣象儀器的設計師須具備氣象學、物理學領域內及其他許多科學部門的深湛廣博的知識。

必須注意，為了滿足國民經濟各部門對氣象學提出的要求，應該大大改進現有的方法與儀器，並研究出新的方法與儀器，例如：在有農業、運輸業等方面的危險天氣現象時發出信號的儀器，能確實地記錄氣象諸要素及其組成部分的梯度的儀器與方法等等。還必須展開觀測及其資料整理的自動化方面的工作。

科學技術發展的一般水平已經完全保證了這些問題之得到完滿解決，我們必須在最近期間求得實際解決。

第一章 溫度的測定

測溫學的一般概念

在水文氣象觀測工作中，必須進行氣體（空氣）、液體（水）和固體（土壤）溫度的測定。

氣象學上的溫度測定方法，儘管有許多特點，仍和普通測溫學具有密切關係。人們常常使用着一個不夠嚴格的定義，把溫度看作物體增熱的程度。這可由熱力學不能提供溫度概念的直接定義這個事實來解釋。把物體對熱平衡狀態的客觀偏差度看作“溫度差異”就可確定溫度的概念。

如果有兩個物體，和外界影響隔絕，並保證了它們之間進行熱量交換的可能性，但不再改變各自的狀態，則它們就是處在熱平衡中。在這情形下，就可認為兩個物體的溫度是相等的。

隨着物體溫度的變化，幾乎它的一切物理特性和幾何特性都在某種程度上發生變化。

按照物體的一種特性的變化，就可判定它的溫度的量度。直接測量待測溫度的物體的特性，是不適宜的。為了測定物體的溫度，須利用溫度表——一種測溫質；事先確定它的一種特性和溫度之間的關係以後，測定它的溫度變化實際上就很簡便。

使溫度表和待測的物體相接觸，由於熱量交換和熱平衡的成立，它就可取得該物體的溫度。溫度表的热容量和待測物體的热容量比較起來應該小到微不足道，以便在溫度表和物體之間確立熱平衡的過程中溫度表所給出的熱量不致顯著改變物體的热狀態。溫度表的热容量無論多么小，物體和溫度表之間進入熱平衡狀態所經過的時間實際上仍是一個有限值。根據預定的精確度，溫度測定可以在達到完全的熱平衡之前進行，而帶有對熱平衡狀態的或多或少的偏差。

要確定溫度的量度單位——度——可以選擇兩個溫度數值 t_1 和 t_2 作為基本數值（基點）。其中第一個是任意的，可令它具有零點的數值，第二個也是任意的，但卻是一定的數值 N 。通常是取在標準壓力下冰熔解時的溫度和沸水的蒸汽的溫度作為兩個基點。基本間隔 (t_1, t_2) 的一定部分，通常是 $\frac{t_2 - t_1}{N}$ ，叫做度，並作為該溫標的量度單位。

目前最流行的是國際（百分制）溫標，但也應用着另一些溫標，例如攝氏溫標、列氏溫標和華氏溫標。冰的熔點與水的沸點之間的溫度間隔，在百分制溫標和攝氏溫標中被劃分為 100 個相等部分，在列氏溫標中被劃分為 80 個相等部分，在華氏溫標中則等分為 180 個部分。冰的熔點和水的沸點在攝氏溫標中分別記作 0° 和 100° ，而在列氏溫標是 0° 和 80° ，華氏溫標是 32° 及 212° 。

為了把一種溫標的溫度換算為另一種溫標的溫度，可應用下列公式：

$$t_{\text{H}} = \frac{5}{4} t_{\text{P}} = \frac{5}{9} (t_{\text{F}} - 32),$$

$$t_{\text{P}} = \frac{4}{5} t_{\text{H}} = \frac{4}{9} (t_{\text{F}} - 32),$$

$$t_{\text{F}} = \frac{9}{5} t_{\text{H}} + 32 = \frac{9}{4} t_{\text{P}} + 32,$$

此处 t_{H} 是摄氏温标的温度度数, t_{P} 是列氏温标度数, t_{F} 是华氏温标度数。

温度表的整个温标范围内度数划分的等分性, 是预先假定了在温度和选作测温的物体的物理特性(例如体积)之间, 存在线性关系; 可是, 实际上物体的物理特性的变化规律不可能用温度的线性函数来表示, 它还决定于物体的性质。

例如, 液体的体积和温度之间就不存在严格的线性关系, 因为液体的体胀温度系数不是固定的, 而是随着温度的变化而发生变化的。体胀系数和温度的关系曲线, 对不同的液体而言, 是有差别的。

因此, 采用不同液体(例如酒精和水银)的两种液体温度表, 其温标都是按照相同的两个极值点(例如冰的熔点和水的沸点)划分为相等的度数, 对于同一温度来说, 读数将不一致。由此可见, 规定的温标本身就显示依赖于所选择测温质的特性。

由此得出结论: 液体温度表的温标应该是不均匀的, 或者应该有对等分温标的订正值(方程式)。

理想气体的物理特性同样不存在对温度的严格线性关系。

表 1 列举的数字, 是在不同的温度间隔内测定的空气的压力温度系数 α_p 和体胀温度系数 α_v 的数值。

表 1 不同温度间隔内的 α_p 及 α_v 的数值

	温 度 间 隔 (度)			
	0—50	0—100	1—150	0—200
α_p	$3675 \cdot 10^{-6}$	$3675 \cdot 10^{-6}$	$3674 \cdot 10^{-6}$	$3674 \cdot 10^{-6}$
α_v	$3676 \cdot 10^{-6}$	$3674 \cdot 10^{-6}$	$3673 \cdot 10^{-6}$	$3672 \cdot 10^{-6}$

从表中可看出, α_p 因温度而起的变化比 α_v 要小得多。根据“国际度量衡委员会”1877年的协议, 选择氢气作为测温质, 并决议: “温度应该用化学成分纯净的定容积氢气的压力来测定, 它在冰的熔点时指示的压力等于水银柱 1,000 毫米; 温度表读数的基点应该和摄氏温标的基点一致”。氢气压力的温度系数是取 $\alpha_p = 0.0036601$ 。

表 2 中列举的是把具有各种不同测温液的温度表换算为氢温度表温标的订正值(根据 Г. 舒开维奇的资料)。

从表 2 可看出, 对于酒精温度表和甲苯温度表来说, 在零下低温时订正值是非常重要的, 甲苯温度表在 -60° 时订正值达到 14.27° , 而酒精温度表是 7.30° 。

表 2 换算为氦温度表温标的订正表

氦温度表 温 标	温 度 表		
	水	银	精 甲 苯
-60°	—	-7.36	-14.27
-50	—	-5.71	-11.23
-40	—	-4.20	-8.52
-30	0.334	-2.86	-6.00
-20	0.191	-1.70	-3.73
-10	0.081	-0.75	-1.73
0	0.000	0.00	0.00
10	-0.056	—	—
20	-0.093	—	—
30	-0.113	—	—
40	-0.120	—	—

应该指出,被采用的氦温标(氦温度表的温标)也不是绝对的,它仍然决定于氦气的特性,虽然这种变化是极不显著的。

若作出各种理想气体(对于这些气体来说, $\alpha_p = \alpha_v = 0.003660$) 的等容线和等温线,它们将在同一点上和横坐标轴相交,在这个点上等容线族中任何一条曲线的方程式都具有下列形状:

$$p_0(1 + \alpha_p t_0) = 0;$$

由此得

$$1 + \alpha_p t_0 = 0,$$

$$t_0 = -\frac{1}{\alpha_p} = -273^\circ.$$

若把坐标原点移到此点,气体压力的温度关系曲线的表达式就可简化,并具有下列形状:

$$p_t = p_0 \alpha_p T,$$

此处 $T = t + 273$. 每度的数值和摄氏温标一样而以摄氏温标 -273° 作为零点的温标,叫做绝对温标。只引用绝对温标,还不能使它和测温质的选择无关。根据热力学第二定律,可以规定一种和测温质的选择无关的温标,这定律给出下列的函数关系:

$$p_t = p_0(1 + \alpha t)$$

及

$$v_t = v_0(1 + \alpha t),$$

它们对于一切物体,都和这些物体的性质无关。

由热力学知道,在卡诺可逆循环下,有效工作系数等于

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H},$$

此处 T_H 是进行等温膨胀时加热器的温度; T_X 是进行等温压缩时冷却器的温度。

理想热机具有这样的系数,它使热机在一次循环中所作的功等于

$$A = Q_H - Q_X = \eta Q_H,$$

此处 Q_H 是加热器给出的热量; Q_X 是冷却器吸收的热量;

$$\frac{Q_H}{Q_X} = \frac{1}{1 - \eta} = \frac{T_H}{T_X}. \quad (1)$$

因为 η 只决定于 T_X 和 T_H 的数值,也就是和工质的选择无关,所以 $\frac{Q_H}{Q_X}$ 可用来规定一种和测温质的选择及其特性无关的温标

如果 T_H 是水沸腾时的温度,并且 $T_X = T_0$, 即 T_X 等于冰溶解时的温度,那么对于百分温标就有

$$\frac{T_0 + 100}{T_0} = \frac{Q_{100}}{Q_0}. \quad (1a)$$

然后用实验确定 $\frac{Q_{100}}{Q_0} = 1.366$, 得 $\frac{T_0 + 100}{T_0} = 1.366$, 从而 $T_0 = 273.2$ 。因此任何温度都可表达如下:

$$T = 273.2 \frac{Q_H}{Q_X} \quad (2)$$

根据方程式(2)规定的等分温标,叫做**热力学温标**,这种温标在1933年国际度量衡委员会第八届大会中被通过作为国际温标,得到实际应用。这种温标,把冰的熔点和水的沸点(在标准大气压力下)之间的温度间隔划分为100个部分,而这两个基点本身则用 0° 和 100° 来表示。为了温度表的标准化,采用了从相对零点(冰的熔点)算起的一系列基点(其数值是按照热力学温标来规定的)(表3)。

表 3

温 度 基 点	基 点 数 值 (度)	
	在标准压力下	在压力 p 下
液体氧和气体氧处于平衡时的温度	-182.97	$t_p = t_{r,0} + 0.0126(p-760) + 0.0000065(p-760)^2$
冰和饱和空气处于平衡时的温度	0.000	
水及其蒸气处于平衡时的温度	100.000	$t_p = t_{r,0} + 0.0367(p-760) - 0.000023(p-760)^2$
液体硫及其蒸气处于平衡时的温度	444.60	$t_p = t_{r,0} + 0.0809(p-760) - 0.000048(p-760)^2$
固体银和液体银处于平衡时的温度	960.5	
固体金和液体金处于平衡时的温度	1,063	

附注 标准大气压力定义是在980.665厘米/秒²的重力加速度下,密度为13.5951克/厘米³而高为760毫米的水银柱所产生的压力;这个压力等于1,013.250达因/厘米²。

在要求很高的测定精确度时,氢温度表标和国际温标比较,具有下列订正值:

采用百分制温标的氢温度表读数数值	-200°	0°	100°	300°
订 正 值	+0.05	0.000	0.000	+0.017

温度表与媒質之間的热量交換

温度表的慣性(инерционность) 放在某种媒質中以測定其温度的温度表,不是瞬間就取得媒質的温度的。在温度表和介質之間进行着热量交換,这种过程可足够精确地用下列方程式来表达:

$$dQ = -hS(t-\theta)dr, \quad (3)$$

此处 dQ 是温度表在時間 dr 內吸收(或損失)的热量; h 是外界热量交換系数,决定于温度表和媒質的特性; S 是經过它以实现热量交換的温度表的表面积; t 是温度表在該瞬間的温度; θ 是媒質温度,系取常数(略去温度表引起的变化)。

当热量交換时,温度表的温度应起变化。温度表温度的变化决定于它所取得的热量,并可用下列方程式来表达:

$$dQ = cmdt, \quad (3a)$$

此处 c 是温度表測溫質的比热; m 是温度表的质量; dt 是温度表因流入热量 dQ 而产生的温

度改變量

根据方程式(3)与(3a),得

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t-\theta), \quad (4)$$

此处

$$\lambda = \frac{mc}{hS}.$$

方程式(4)表示溫度表溫度变化的速度,也就是它感应周圍媒質溫度的速度。这个速度和常数 λ 成反比, λ 叫做溫度表(热)慣性系数。

在媒質溫度不变的情形下,可以求出方程式(4)的积分:

$$\int \frac{dt}{t-\theta} = -\frac{1}{\lambda} \int d\tau,$$

由此得

$$t-\theta = Ce^{-\frac{\tau}{\lambda}},$$

此处积分常数 C 可由初始条件 $\tau=0$ 时, $t=t_0$ 来决定;把 C 的数值代入后,就得到

$$\frac{t-\theta}{t_0-\theta} = e^{-\frac{\tau}{\lambda}}. \quad (5)$$

从方程式(5)可以看出, λ 的数值越小,在時間無限增大的情形下,溫度表和媒質之間的溫度差异就越迅速地趋近于零(圖1)。

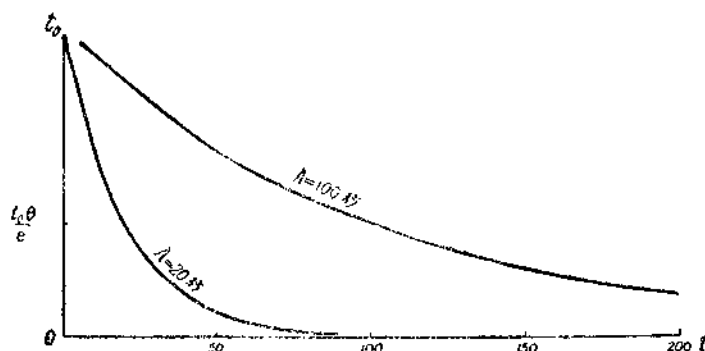


圖1. 慣性系数不同的溫度表对周圍媒質溫度的感应速度。

确定慣性系数 λ 和測定瞬間溫度表与媒質溫度的容許誤差(即溫度表慣性引起的測定誤差)之間的关系曲綫时,也是以方程式(5)为出發点的。

如果在方程式(5)中,假定時間在数值上等于慣性系数 λ ,那末就可得

$$\frac{t_0-\theta}{t-\theta} = e. \quad (6)$$

根据方程式(5)和(6),可用实验来測定溫度表的慣性系数,它以溫度表和媒質溫度的初始差异减少到 e 分之一(2.718分之一)所經過的时间来表示。

为此,要把溫度表加热(或冷却)到高于(或低于)媒質溫度若干度后,把它放在媒質中;已知媒質的溫度 θ ,就可用秒表測定溫度表从任意选择的溫度 t_0 变化到 t 的时间, t 根据公

式(6)算出。

例 設煤質的溫度等於 16° ，我們把溫度表加熱到 40° ，並且任意選擇 $t_0 = 30^\circ$ ，根據方程式(6)計算

$$t = \frac{t_0 - \theta}{e} + \theta,$$

得到 $t = \frac{30 - 16}{2.718} + 16 = 21.2$ 把加熱後的溫度表放在煤質中，在其溫度達到 30° 時開動秒表；而在其溫度達到 21.2° 時關閉秒表。秒表的讀數就給出溫度表慣性系數的數值。

把具有一定的慣性系數的溫度表放在煤質中，根據表达式(5)和(6)，也可以在預定的精確度範圍內測定溫度表取得煤質溫度所必需的時間。

例 我們來測定具有溫度 30° 的溫度表取得煤質溫度 20° (精確到 0.1) 所需的時間，如果它對於該煤質的慣性系數是 100 秒。

根據方程式(6)，有

$$\tau = \lambda \ln \frac{t_0 - \theta}{t - \theta};$$

$$\tau = 100 \ln \frac{30}{0.1}; \quad \tau = 100 \times 0.4343 \times 2 = 87 \text{ 秒}。$$

我們來研究氣象學上常常遇到的另一種情形，即煤質溫度不是固定的，而是按照下面的規律隨時間而變化：

$$\theta = \theta_0 + \alpha \tau,$$

此處 α 是煤質溫度變化的速度，是一個常數 ($\alpha = \frac{d\theta}{d\tau} = \text{常數}$)。

例如，在高空溫度探測時就有這種情形。

這時方程式(4)具有下列形狀：

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t - \theta_0 - \alpha\tau),$$

或者

$$t - \theta_0 - \alpha\tau = -\frac{1}{\lambda} d\tau. \quad (7)$$

這個方程式引進新變數

$$x = t - \theta_0 - \alpha\tau,$$

就可以積分；這時

$$dt = dx + \alpha d\tau,$$

由方程式(7)得

$$\frac{dx}{x} + \alpha d\tau = -\frac{1}{\lambda} d\tau.$$

分離變數，積分

$$\int \frac{dx}{x + \alpha\lambda} = \int -\frac{d\tau}{\lambda},$$

代入 x 的數值，即得

$$\ln(t - \theta_0 + \alpha\lambda) = -\frac{\tau}{\lambda} + C.$$

由初始條件 $\tau = 0$ 時， $\theta = \theta_0$ 決定常數 C ；

$$C = \ln(t_0 - \theta_0 + \alpha\lambda),$$

由此得

$$t - \theta = (t_0 - \theta_0 + \alpha\lambda)e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - \alpha\lambda. \quad (8)$$

如果溫度表的初始溫度和煤質的溫度相同，即 $t_0 = \theta_0$ (高空探測時有這種情形)，那末

$$t - \theta = (e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - 1)\alpha\lambda. \quad (8a)$$