

高等学校交流讲义

热工测量和仪表

西安交通大学金属学及热处理教研组选编

只限学校内部使用



中国工业出版社

5
34

本书是根据高等学校“金属学及热处理车间设备”专业“炉温仪表”教学大纲，以苏联B·П·普雷奥勃仁斯基著“热工测量和仪表”（上册）为基础，补充了一部分新内容而成的。

书中叙述了热处理炉和煤气炉的温度控制方法及控制系统。可作为高等学校机械制造系的交流讲义。

热工测量和仪表

西安交通大学金属学及热处理教研组选编

*

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）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张125/8·字数270,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—2,633·定价(10-6)1.50元

统一书号：15165·826（一机-166）

前 言

机械制造“金属学及热处理”专业的“炉温仪表”课程，选用了陈珩同志翻译的苏联 B·И·普雷奥勃拉仁斯基所著“热工测量和仪表”(上册)为教材(原电力工业出版社出版)。本书基本上符合教学大纲的要求，但是缺少温度控制方面的内容。为了弥补这个缺陷，故在本书的后面附加了温度控制的内容。

这样会更加完整些。但是，以本书作为教材，仍有不足之处，即书中未能结合我国的具集情况。因此希望各校在教学过程中适当地增发些补充讲义。

为了出版上的方便，对原书未作什么改动，基本上保留原来的样子。

60.7.1.107

目 录

緒 論	1
第1节 热工测量技术的意义和发展史	1
第2节 关于测量的一般知識	4
溫 度 的 測 量	
第一章 温度标尺	15
第1节 关于溫度和温度标尺的基本概念	15
第2节 国际溫度标尺	19
第二章 基于工作物質受热膨胀或压力变更而制成的溫度表	22
第1节 液体玻璃管溫度表	22
第2节 压力表式溫度表	27
第3节 膨胀計式溫度表和双金屬溫度表	31
第4节 溫度表的校驗	32
第二章附录	36
第三章 热电式高溫計	37
第1节 一般知識	37
第2节 热电偶的物理理論基础	37
第3节 标准的热电极	41
第4节 热电偶冷接点溫度的改正	42
第5节 热电极的材料	43
第6节 最常用的热电偶	43
第7节 热电偶的构造	45
第8节 热电极导綫	49
第9节 热电偶冷接点的恒溫調节	50
第10节 几只热电偶接到同一只毫伏表上去的綫路	52
第11节 关于热电偶校驗和刻度法的基本知識	53
第12节 关于高溫計毫伏表的动作原理和构造方面的基本知識	55
第13节 用高溫計毫伏表測量热电势时可能发生的誤差	59
第14节 高溫計毫伏表的构造形式	64
第15节 測量热电势的电位計法	73
第16节 标准电池	76
第17节 便携式和实驗室所用的电位計	77
第18节 电动机械式自动电位計	83
第19节 电子式自动电位計	90
第三章附录	102
第四章 电阻式溫度表	115
第1节 基本知識	115
第2节 制造电阻式溫度表的材料	115
第3节 电阻式溫度表的构造	118

第4节	电阻式温度表的刻度	121
第5节	测量温度表电阻值的电位计法	122
第6节	平衡电桥	123
第7节	电动机械式自动平衡电桥	125
第8节	电子式自动平衡电桥	127
第9节	不平衡电桥	127
第10节	比率表	130
第四章附录		137
第五章	测量温度的方法、在测量温度时发生的误差和装置热接受器的基本	
	规则	139
第1节	一般方法的指示	139
第2节	在测量温度时由于辐射热交换而发生的误差	140
第3节	在测量温度时,因有热量从热接受器保护套管中流去而引起的误差	143
第4节	在测量气体、蒸汽和液体温度时热接受器的装置法	146
第5节	测量在高速流动的介质温度	148
第6节	固体温度和表面温度的测量	154
第六章	基于根据物体辐射来测量物体温度的高温计	157
第1节	利用物体辐射来测量物体温度方法的物理基础	157
第2节	光学高温计的动作原理及其构造方面的基本知识	162
第3节	光学高温计指示值上应加的改正值	165
第4节	用光学高温计来测量温度时误差的估算法	166
第5节	光电式高温计	163
第6节	辐射高温计的动作原理及其构造的基本知识	171
第7节	辐射高温计的误差和温度测量准确度的估算法	173
第8节	辐射高温计的装置	175
第六章附录		176
	附热处理炉的温度控制	178
参考文献		195

緒 論

第1节 热工測量技术的意义和发展史

科学和技术的进步，是和測量技术的发展密切相关的。測量是人们了解自然的方法之一，它促进了科学的发明和在技术上的运用。

測量除了已经知道的价值以外，由于它又是检查热工过程的基本手段之一而具有重大的意义。在现代化的火力发电厂内，以及在其他工业部门中，不用热工測量仪表来检查热工过程，简直是不可想象的。正确安排的測量工作，可以保证各种生产过程的可靠性、经济性、便利以及广泛应用自动管理的可能性。同时，热工检查仪表还能使生产过程实现无事故的运行。

热工測量技术的发展和在实际工作中的广泛运用，主要归功于俄罗斯的和苏联的许多学者和工程师们以及科学团体和工厂职工们创造性的工作。同时应该指出，热工測量技术也广泛地利用了其他相近技术部门的理论和成就。因此，对于热工測量技术的发展史，尤其是基本原理被提出的初期，是不能单独分开讨论的。

俄国科学的奠基者姆·維·罗蒙諾索夫氏(1711~1765年)，看到了測量在科学研究工作中所起的主导作用，首先在俄国把度量术用到他自己的作业中去。在1752年，姆·維·罗蒙諾索夫和科学院院士格·維·黎赫門合作，創造了历史上的第一具电气測量仪器，并把它用到科学研究的实际工作中去。这就使姆·維·罗蒙諾索夫和格·維·黎赫門两氏能进一步研究有关电气现象的数量问题；在此以前，这问题是无论谁也无法进行研究的。

除了其他最伟大的贡献以外，根据液体热膨胀創造温度标尺，也是要归功于姆·維·罗蒙諾索夫氏的。在姆·維·罗蒙諾索夫氏的温度表上，由冰的融点到水的沸点之间的基本温度间隔是被分为150等分的〔見参考文献第1項〕。

在俄国的測量技术創始人之中，曾有很多最有价值的发明的俄国机器师依·波·庫里賓(1735~1818年)应占首要地位之一。他制成了大量的各种用途的仪器(温度表、气压表、准确的天平等)。这些仪器，在俄国很多地方都普遍地应用着。

关于把操纵或指示的訊号傳送到远处的意图，俄国学者波·尔·希林格远在1812年就首先提出并且实现了；他制成了世界上第一个用电流来使远处矿道爆炸的设备〔見参考文献第2項〕。

俄国科学院院士布·斯·雅科勃(1801~1874年)首先在他所发明的电动机中采用了旋轉的整流子，后来他又研究出很多自动的換轉开关。他創造了很多測量电阻值的仪器以及数种不同的电报设备，借这些设备的帮助，不但可以把語言的通訊傳送到远处并记录下来，而且同样可以把測量数值的訊号傳送到远处并记录下来〔見参考文献第2項〕。

布·斯·雅科勃氏的贡献，对于将各种数值傳送到远处的技术来说，具有很重大的意义，在国外的制造厂家中也普遍地在利用着。

在波·尔·希林格和布·斯·雅科勃的贡献以后，在十九世紀末年，很多俄国学者

又在將測量數值傳送到遠處去的技術上作了很多貢獻。其中包括：追隨式線路的創造成功(達維多夫氏)，傳送水位指示的遠距離系統的制成(扎哈洛夫氏、弗郎格里氏和迪科夫氏)等等〔見參考文獻第2項〕。

在1906年，科學院院士布·布·戈利欽首先在普爾科夫遠距離地震站內裝置了并試驗成功了世界上第一具電氣儀器；在這個儀器中，包含有很多現代遠距離測量技術中的重要元件，其中就有把地震記錄儀敏感元件所感覺到的數值傳送到遠處(在特別的處所)的感應式傳送器。布·布·戈利欽採用了灵敏的磁電式電流表作為二次儀表(接受端的儀表)〔見參考文獻第2項〕。天才的俄國學者德·伊·門德列也夫(1834~1907年)，在他1897年出版的“輕、重工業的原理”著作中，對於溫度的各種測量方法和燃燒過程的檢查曾予以很大的注意，並且還討論了爐煙的分析方法。這部著作明顯地表明，德·伊·門德列也夫氏認為工程檢查問題和在工廠實際工作中廣泛運用熱工檢查儀表的必要性具有多么重大的意義。

由於德·伊·門德列也夫氏的倡導，1893年在彼得堡(即現在的列寧格勒——譯者)所成立的度量衡檢定局內組成了一個專門的部門，來做測量儀表的校驗工作。偉大的十月社會主義革命以後，在原來度量衡檢定局的基礎上成立了以德·伊·門德列也夫為名的全蘇度量科學研究所(ВНИИМ)，它也就成了蘇聯研究度量問題的中心。

在十九世紀的後半期，波倫諾夫工程師首先創造了高溫計，並在薩爾丁斯克工廠內應用了。德·伊·門德列也夫氏在他的回憶錄中寫道，當他進入這個工廠後，他就看到高溫計在鐵軌的切斷工作中被應用着。這種儀器是用一根管子和一片特制的圓盤所組成的，在圓盤的一半中可以看到紅熱的鐵軌頭，在另一半中則可以看到普通的蠟燭火焰。調節光的強度，就可以決定：按照鐵軌的溫度來說，什麼時候應該進行鐵軌的切割。

阿·斯·洛姆沙科夫氏，在1897、1913和1927年出版的“蒸汽鍋爐和蒸汽機的試驗”一書中，介紹了在當時說來算是最為詳盡的，關於熱工數值測量法和熱工測量儀表動作原理及構造的基本知識。除此以外，在這本書中，他又敘述了很多他自己設計造成的儀表(氣體分析器、熱量計等)。按創造性和資料的價值來說，阿·斯·洛姆沙科夫的這本書在很多年中是熱工技術人員們最好的參考資料之一。

後來又曾有很多的俄國學者從事於熱工測量的研究工作，如：阿·姆·伊姆申涅茨基(1893年)——關於高溫測量，伊·維·阿爾巴特斯基(1912年)——關於溫度測量誤差，維·伊·雅辛斯基在1912和1914年所發表的“關於用孔板法來測量蒸汽流量的問題”著作等。

雖然個別的俄國學者和工程師們在熱工測量的部門中取得了很大的成就，但在革命以前的俄國，事實上卻可以說是沒有儀表製造工業可以幫助把這些成就實現推廣。象著名的俄國發明家波·恩·雅布洛奇科夫，在十九世紀末年曾企圖組成一個國內的電氣儀表製造工廠，結果還是沒有成功。直到偉大的十月社會主義革命以後，在展開為實現我們(蘇聯)國家的社會主義工業化而鬥爭的年代中(1926~1929年)，才開始有了組成儀表製造工業的可能性。

蘇聯的儀表製造工業的大力發展，是發動得比較遲的，在第一個五年計劃的年代中(1929~1933年)才開始着手。在這個五年計劃的開頭幾年中，建造了“高溫計”、“精密測量儀表”等工廠，並且開始生產了。

苏联仪表制造工业的发展，和当时热工检查仪表在实际中广泛的应用，要求培养相当的干部。为了这个目的，在列宁格勒加里宁工业大学内就设立了仪表制造工程的专业。过了一些时候，在莫斯科恩·埃·巴里芒高等工业学校内也设立了同样的专业。又过了几年，又在莫斯科莫洛托夫动力工程学院内设立了热力检查和自动装置的专业。类似的专业在其他许多高等工业学校内也相继成立起来。

和仪表制造工业发展的同时，还进行了(而且现在还在进行着)：新型仪表的设计制造、热工数值测量方法的研究以及各种工艺过程整套自动化等重大的工作。进行这项工作的，有很多制造工厂的设计处、列宁格勒高温测量研究所、弗·埃·捷尔仁斯基全苏热工研究所(ВТИ)、苏联科学院自动术和远距离操纵术研究所、莫斯科莫洛托夫动力工程学院(МЭИ)、伊·伊·伯里丛诺夫中央锅炉汽轮机研究所(ЦКТИ)、国立“热力检查”托辣斯、莫斯科动力管理局中心试验所(ЦПЭМ)、黑色金属冶炼工业动力管理局(Энергочермет)的自动化中心试验所(ИЛА)以及其他组织等。

热工检查仪表的新型式创制工作的广泛开展，引起了对这些仪表计算方法的理论加以研究的必要性。关于与高温计配合工作的电气测量仪表的理论和计算方法的研究工作，是由列宁格勒高温测量研究所的工作人员进行研究的。在创制很多种热工检查仪表时，普遍地应用了恩·恩·波诺玛列夫教授和他的同事们、学生们所编写成的，关于电气测量仪表理论方面的著作[见参考文献第3项]。

在这些著作以后，很多苏联的学者和工程师们也在仪表的理论和计算方法方面相继发表了很多著作。

最近10~15年，在国内的仪表制造工业中，电子技术获得了很广泛的应用。电子学有效地简化了热工检查仪表的联动机构，它在一方面能使仪表的灵敏度增加，在另一方面又使可能制造快动作的仪表，这种仪表，特别是在测量和调整快速进行的工作过程的参数时才有可能实现。

对电子式热工检查仪表的研究和掌握，引起了科学研究所、设计局、试验所和仪表制造工厂的工作人员们极大的兴趣。

斯大林奖金获得者阿·阿·安德列也夫和尔·阿·沃隆科夫以及自动术中心试验所(ИЛА)的全体工作人员等的工作，在电子式热工检查仪表的研究和运用方面有最显著的成就。

在战后第一个五年计划的年代中，仪表制造工业得到了特别重大的发展。在由1946到1950年的恢复和发展苏联国民经济的五年计划的条文中，作了这样的决定：要把仪表的产量提高到战前生产水平的七倍。这个艰巨的任务胜利地完成了，这就促进了生产的发展，尤其是对新技术的掌握。

第十九次党代表大会的指示中规定，按照第五个五年计划，要进一步发展科学、技术和苏联的全部国民经济。

这对于要用质量高和准确度等级高的热工测量仪表来装备工业和科学机关方面，提出了更高的要求。

在党和政府的领导之下，苏联的科学和技术，胜利地解决了我们伟大的社会主义祖国在工业发展过程中所发生的关于测量技术的所有问题。

第2节 关于测量的一般知識

关于测量的概念 测量是一种辨别性的工作过程，这工作主要是用实验的方法来决定所测物理数值与被采用为测量单位的数值之间的数字比值。

假设 Q 为被测量的数值， U 为测量的单位，而 q 为所求出的数字比值，或者就是所谓用所采用的单位来表示的被测量数值的数值，那末测量的结果就可以用下面的方程式来表示。

$$Q = q \cdot U. \quad (1)$$

方程式(1)通常被称为测量的基本方程式。由这个方程式可知 q 的大小完全随所采用的测量单位 U 的大小而定。所选单位愈小，对于一定的被测数量而言的数值也就愈大。因此，为了测量结果记录的明确，在被测量数值的后面还要加上一个代表所采用测量单位的缩写代号(在译文中，采用了各种单位的中文名称来代替这些符号，以切于实用。——译者)。

假如在测量 Q 的大小时不采用测量单位 U 而采用另一个单位 U_1 ，那末方程式(1)就要变为下面的形式：

$$Q = q_1 \cdot U_1. \quad (2)$$

把方程式(1)和(2)相比較，即可得到：

$$q \cdot U = q_1 \cdot U_1$$

或

$$q_1 = q \cdot \frac{U}{U_1}. \quad (3)$$

由这个公式可知，要把用一个单位 U 来表示的测量结果 q 换算到用另一个单位 U_1 来表示的测量结果 q_1 ，必须用两个单位的比值来乘 q 。

假如测量的单位是以具体的标准，即所谓量器来表示，那末测量的工作过程就是一种实验，通过这个实验把被测的数值与用来作为测量单位实质表现的量器作比较。

然而，我们远不能单纯按字面把“测量”完全理解为象量度直线尺寸，或其他某些大小那样，就只是把所测量的大小和量器直接作比较的工作过程。

在很多不可能直接把被测数量和量器来作比较的情况下，测量工作就只能用和其它任何与被测数值有单纯关系的物理数值作比较的方法来实现。例如：当用液体玻璃管式温度表测量温度时，测量工作就转为求出以刻度标尺格数来表示的液柱高度，而当用电阻式温度表测量温度时，测量工作则转为电阻值的测定了。

测量的分类 测量的方式是各种各样的。可以用各种不同的观点来分类，如：根据被测数值的种类、进行测量的条件等。在这种情况下，最为人们所爱用的就是以得到测量结果的一般方式的观点来分类的方法。

从这个观点来说，所有的测量可以分为三类：直接测量、间接测量和联立测量。

凡是由试验的数据直接得出测量结果的都属于直接测量。在这种测量中，所得出的被测数值的大小，可以使用量器直接比较而得，也可以使用按照相当单位刻度的测量仪表量出。

目前在工程方面实际工作中普遍采用的直接测量有：用尺量长度、用温度表量温

度、用压力表来量压力等。

凡是基于从几个用直接实验测出的、并与所测数量有一定方程式关系的数据而求得测量结果的方法，都属于间接测量。

在间接测量中，被测数量的数值可以用下面的公式求出：

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots), \quad (4)$$

式中 Y ——所测量的数值；

f ——代表函数关系的记号，这种关系的形式是预先知道的；

$X_1, X_2, X_3, \dots$ ——用直接测量测出的数值大小。

例如：根据节流设备的压力降来决定物质的流量（见第十章）和后面将要讨论的一些其他热工数值的测量方法等，都是属于间接测量的。

在下列情况下要采用种类极为繁多的间接测量：当被测的数量不可能直接测量或直接测量很复杂时，或者用间接测量测出的结果比用直接测量测出的更为准确时。

同样也应指出，假如研究的目的是求出测量的结果，而对于得到这些结果的过程并不注意的话，那末重复间接测量的结果，也就是按公式(4)所算出的结果，可以说就是直接测量的结果。

凡是由一种数值或几种同类数值的多次直接测量结果联立起来（依次排列）组成的测量，就属于联立测量。这时，每一次测量和其他各次都有不同之点，或是测量的条件改变了或是被测数值的组合改变了。被测数量的数值可由下列的联立方程式求出：

$$\left. \begin{aligned} f_1(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X'_1, X'_2, X'_3, \dots) &= 0, \\ f_2(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X''_1, X''_2, X''_3, \dots) &= 0, \\ f_3(Y_1, Y_2, Y_3, \dots, X'''_1, X'''_2, X'''_3, \dots) &= 0, \\ \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中 $Y_1, Y_2, Y_3, \dots$ ——所测量的数值；

$X_1, X_2, X_3, \dots$ ——用直接测量所测出的数值大小。

例如，在求铂电阻温度表温度的公式中的系数时，把测量的条件予以变更，就可以作为联立测量的例子（见第四章）。

用改变被测数值的组合来测量出天平砝码的重量，可以作为联立测量的第二个例子（见参考文献第4项）。

应该指出，联立测量是很少遇到的，而且也只是在实验室工作中才会遇到。

除开上面所讨论的测量分类法以外，还有一种分类法也为人们所重视，就是把测量分为实验室所用的和工程上所用的两种。在实验室所用的测量中，当进行测量工作时要考虑到它的准确度；而在工程上所用的测量中，所进行的测量工作则采用预先已定的并对于该项测量工作已经足够的准确度。

误差理论的要點 前面已经说过，任何数值的测量都是物理实验的过程，因此也就不可能完全避免得出错误的结果来。

这些错误发生的原因可能极不相同。它们可能是由于所用仪表有缺点、观察者主观性、观察条件不恒定以及其他原因所造成的。在所有测量工作中造成的错误，都叫做测量的误差（错误）。

因此，在每一次测量时，都必须知道测量的误差，也就是说要知道所测出的被测数

值的可靠程度。由于这个緣故，每一次測量，只有在誤差已經知道或誤差的可能限度已經指出的時候，才有價值。

在工程測量的實際工作中，通常只要誤差不超過某些預先確定的已知數值，它的準確度就被認為滿意了。進行這種測量所用測量儀表的誤差，應不超過相當標準或其他規範中所規定的容許誤差範圍。

在進行實驗室的測量工作時（準確的測量），必須考慮到測量的準確度。在這些情況下，測量工作要進行好幾次。把各次所得結果的算術平均數作為測量的平均結果。在足夠多的測量次數下，這個平均結果就將是被測數量的最可靠的數值。平均結果的準確度，是用求測量誤差的方法來衡量的。

測量的誤差根據它們的來源可以分為三種：有規律的誤差、疏失誤差和偶然誤差。

凡是固定不變的或按照一定規律變化的誤差，叫做有規律的誤差。

有規律的誤差，大部分是由于儀表本身的指示或測量方法本身不正確所引起的，或者是由于一種固定不變但却是單方面的外來影響所引起的。

有規律的誤差對測量結果的影響，可以用儀表試驗並在測量結果中加上適當改正值的方法來補足。

凡是測量結果有顯著偏差的誤差叫做疏失誤差。疏失誤差是由于讀測量儀表刻度標尺時讀得不正確、記錄錯誤或儀表使用不當等原因所造成的。有疏失誤差的結果，必須從一系列的測量結果中除去。

凡是在本身的數量和本質上都不一定的誤差就叫做偶然誤差。它們主要是由于在測量工作中不可避免發生的不準確而引起的，因為在每次測量時，無論是使所測數值偏大或偏小都同樣可能發生偶然誤差。

雖然偶然誤差的發生是沒有規律的，但是它們總要服從或然率理論的一定法則：假如沒有把偶然誤差由測量結果中除去的話，則借這些法則的幫助，還可能衡量出這個結果的可靠程度來。進行這樣的衡量時，必須對所做的測量進行分析，這種分析，就在於求出測量準確度的一些參變數。

以後，當討論連續測量時，我們將假設已把它們中間的有規律的誤差和疏失誤差都除去了。

假設在測量某一數值的大小時得到 n 個數值： $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ 。當同等質量的測量次數 n 足夠多的時候，也就是說在同一儀表上用相同的慎重程度來進行測量的次數 n 足夠多的時候，被測數量的最可能的數值，是由所有各次個別測量所得出的數值加以算術的平均而得，也就是

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} = \frac{\sum l}{n} \quad (6)$$

被測數量在每次個別測量時所得的數值和它們的平均數值 L 的差，也就是下列數值：

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= l_1 - L, \\ v_2 &= l_2 - L, \\ v_3 &= l_3 - L, \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ v_n &= l_n - L \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

都叫做剩余误差，它们可能是正数，也可能是负数。倘在计算算术平均值时没有错误，剩余误差应当符合下列条件

$$\sum v = 0. \quad (8)$$

同样应当指出，因为当测量次数无限制增加时，算术平均值将趋近于真正的数值，则各个剩余误差也就将趋近于和各次测量相当的偶然误差了。因此，当测量的次数足够多时，剩余误差也应服从偶然误差所服从的同样法则。

为了衡量连续测量结果的可靠程度(在所进行的一系列测量中，个别测量的可靠程度)，可以使用下面所介绍的准确度参变数。

连续测量的算术平均误差

$$\vartheta = \frac{|v_1| + |v_2| + |v_3| + \dots + |v_n|}{n} = \frac{\sum |v|}{n}, \quad (9)$$

式中 $|v|$ 代表剩余误差的绝对值。

连续测量的平方平均误差

$$\sigma = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}. \quad (10)$$

这个误差的意义在于：对于次数很多的连续测量，在所有的偶然误差中，有68%比该 σ 数值小，而有32%比 σ 数值大。

在平方平均误差 σ 和算术平均误差 ϑ 之间存在着一个比率，这个比率只是对于次数很多的连续测量才是正确的

$$\vartheta = 0.7979\sigma \approx \frac{4}{5} \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}, \quad (11)$$

连续测量的或然误差 ρ 和平方平均误差 σ 之间存在着下面的比率：

$$\rho = 0.6745\sigma \approx \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}}. \quad (12)$$

这个误差的意义在于：当对任何数值进行重复测量时，有一半偶然误差，按绝对值来说是小于或然误差的，而有一半则大于它。

连续测量的可能最大误差(极限误差)，可以用下面的公式来计算

$$\delta_{\text{lim}} = 3\sigma. \quad (13)$$

极限误差的特征在于：在一定的连续测量中，所有可能发生的偶然误差，按绝对值来说实际上不超过 3σ 。

要衡量测量结果的可靠程度，就要引用和上面所述的连续测量准确度参变数相类似的准确度参变数。同时按照误差理论，这些参变数要比和它们相当的连续测量平均误差值小 $\sqrt{n}$ 倍(即等于这个误差值的 $1/\sqrt{n}$ 。——译者)。

要计算测量结果的算术平均误差，可用下面的公式：

$$\theta = \frac{\vartheta}{\sqrt{n}} = 0.7979 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}. \quad (14)$$

测量结果的平方平均误差，可按下面的公式来计算

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}. \quad (15)$$

为了求出测量结果的或然误差，则用：

$$R = \frac{\rho}{\sqrt{n}} = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}. \quad (16)$$

測量結果可能的最大誤差(極限誤差), 可由下面的公式求出:

$$\lambda_{\text{lim}} = 3S = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (17)$$

或

$$\lambda_{\text{lim}} = 4.5R. \quad (18)$$

要衡量連續測量的準確度(在連續測量中各個別讀數的準確度), 在前面所列举的各種誤差中(由公式(9)至公式(13))隨便採用那一種都足够了。通常所採用的是平方平均誤差, 其次採用或然誤差。當進行重要的測量時, 或在可能有疏失誤差或有規律的誤差的測量情況下, 也要用公式(9)和(11)求出算術平均誤差來。假如在兩次得出的 δ 值之間有顯著的差別, 那末就有根據認為: 在這種情況下, 可能是各個別測量之間存在着脫節現象, 因而這些結果就不能當作同等質量的測量來討論; 也可能是存在着疏失誤差或有規律的誤差。

為了衡量測量結果的準確度, 通常採用或然誤差, 剩餘誤差是很少用到的。

在工程測量的實際工作中, 無論是衡量測量結果的還是測量過程的準確度, 都採用極限誤差(可能的最大誤差)。

在某些情況下, 當決定被測數量的數值時, 不得不把可靠程度不同的測量結果拿來進行計算, 也就是說要把準確程度不同的或連續讀表次數不同的或其他的測量結果拿來進行計算。因此, 就不可能把從所得到的全部測量結果中求出的算術平均值當作被測數量的最可靠數值。在這種情況下, 就必須引用關於“測量重度”的觀念, 即用這個數目來作衡量測量結果可靠程度的尺度。同時, 測量的重度愈大(也就是結果的可靠程度愈高), 它被列入計算的次數也愈多。

因此, 各個連續測量結果不同的可靠性計算, 就變為按照下列公式來求的所謂“平均權衡數” L_0 了:

$$L_0 = \frac{L_1 p_1 + L_2 p_2 + L_3 p_3 + \dots + L_m p_m}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_m}, \quad (19)$$

式中 $L_1, L_2, L_3, \dots$ ——用各種方法得出的測量結果;

$p_1, p_2, p_3, \dots$ ——相當於各種測量方法的測量重度。

用各種不同的準確程度來進行的測量重度, 最常見的都是規定為與誤差平方成反比的。

在某些情況下, 測量重度也可規定為與每一組連續測量中用來計算算術平均值的讀表次數成正比的。在這種情況下, 為了方便起見, 把讀表次數最少的一組連續測量重度作為 1, 而其餘的各組連續測量重度, 就可由該組測量的次數被重度作為 1 的那組測量的次數除而求得。

為了衡量平均權衡數的準確度, 通常採用或然誤差, 這個誤差根據下面的公式來計算

$$R = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum p v^2}{(m-1) \sum p}}, \quad (20)$$

式中 m ——連續測量的組數;

v ——各組連續測量的算術平均值與平均權衡數之間的偏差。

其餘的代號和以前所採用的相同。

前面所介紹的用來求考征連續測量或測量結果可靠性的準確度參變數的公式，如前所述，只有在測量的次數很多時才正確。在实际工作中，照例，所遇到的連續測量次數一般都是相當有限的。因此，用前面所介紹的公式所求出的準確度參變數數值，並不能和实际相符，而需要加以改正。該組連續測量的次數愈少，所要求的改正值也愈大。

維·伊·羅蒙諾夫斯基所研究出來的方法〔見參考文獻第5項〕，使我們可能在知道了用前面所介紹的公式之一求出的誤差以後，就能求出對於实际測量次數而言的誤差來。

例如：對於有限測量次數而言的平方平均誤差 S' ，可由用公式(15)所求出的誤差 S 借下面的比例關係而求得

$$S' = \zeta_{\alpha} \cdot S, \quad (21)$$

式中 ζ_{α} ——為一倍數，它的數值在知道 $k=n-1$ 後可由表1橫行內求得(n ——連續測量的讀表次數)；

α ——在連續測量的誤差中已知數值出現的或然率。

表1

α $k=n-1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
1	0.158	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.142	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.336	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.137	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.134	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.132	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.131	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.953	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.130	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.129	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.129	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.129	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.129	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.487
12	0.128	0.259	0.395	0.539	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.128	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.128	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.128	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.128	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.128	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965

例題：〔見參考文獻第1項〕我們要討論的是由下列四個溫度讀數所組成的連續測量：

讀數的序數	$t(^{\circ}\text{C})$	v	v^2
1	1281	+1	1
2	1276	-4	16
3	1279	-1	1
4	1284	+4	16

運用公式(15)和(16)，可以相應地得到：

$$S = \pm 1.7^{\circ}\text{C} \text{ 和 } R = \pm 1.1^{\circ}\text{C} ;$$

按照表1可以查得： $\zeta_{\alpha} = 1.196$ (對於 $\alpha = 68\%$ ——平方平均誤差的或然率)和 $k=3$ 。把數值 S 和 ζ_{α} 代入公式(21)中，就可得到 $S' = \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 。對於 $\alpha = 50\%$ (或然誤差的或然率)， $\zeta_{\alpha} = 0.765$ ，可得 $S' = \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ ①。

① 原書是 $R' = \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ ，可能 R' 是錯了，此處已改為 S' 。也可能是 $\pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 錯了，故亦可改為 $R' = \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 。——譯者

由这例题中可以看出,在次数不多的連續測量中, S 和 $\bar{S}$ 之間的差別达到很显著的数值。随着連續測量次数的增加,这个差別就将迅速地减少,而当次数大于15时,測量准确度的參变数就可以按次数多的連續測量的公式来計算了。

为了决定間接測量的最可靠結果,要把由直接測量得出的結果所算出的算术平均值,代入能表示出被测数值和用直接測量所測出的数值之間的关系的公式中。这时,間接測量結果的誤差,是由每一个直接測量結果的誤差相加而得的。

假如用間接法来測量的数值 Y 和用直接法所測出的数值 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ 之間,是以函数关系(4)来联系着的,也就是說,

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m),$$

那末間接測量的誤差(平方平均誤差、或然誤差或极限誤差),按照平均誤差的复合,則可由下列公式求出:

$$\xi = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_m^2}. \quad (22)$$

式中 $D_1, D_2, D_3, \dots, D_m$ ——間接測量的部分誤差,这些誤差可以由下面的公式求出:

$$D_1 = \frac{\partial Y}{\partial X_1} \xi_1;$$

$$D_2 = \frac{\partial Y}{\partial X_2} \xi_2, \dots;$$

$$D_m = \frac{\partial Y}{\partial X_m} \xi_m.$$

在公式中 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m$ ——为用直接測量法測量 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ 等数值时所得結果的誤差;而 $\frac{\partial Y}{\partial X_1}, \frac{\partial Y}{\partial X_2}, \frac{\partial Y}{\partial X_3}, \dots, \frac{\partial Y}{\partial X_m}$ ——函数 Y 按 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$ 等进行偏微分所得的偏导函数(偏微商)。

关于測量仪表和其性質的一般知識 凡是用来直接或間接将被測量的数值和測量单位作比較的设备,就叫做測量仪表。它們可以分为下列几种:

(1)比較式仪表——包括各种用来将量器互相比較或者是将被測数值与量器或标准作比較仪表。属于比較式仪表的有:天平、电位計、电桥、重量式压力表等等。假如比較式仪表上装有讀数设备(刻度标尺或号码指示器),那末它就接近指示式仪表了。

(2)指示式仪表——是指一些仪表,它們通过能見的讀数设备把測量时一瞬間被测数值的大小指示出来。属于指示式仪表的有:温度表、彈簧压力表、轉速表及許多其他仪表等。

(3)自动記錄式仪表——是指一些仪表,在表內装备着特殊的附属设备,能在一定的時間間隔內,在移动着的帶子、圓盘或圓筒上自动把所測数量的連續数值記錄下来。属于这种仪表的有:自动記錄的压力表、高温計、比率表以及許多其他表計等。

(4)积算式仪表——是指一些仪表,它們能把按讀数机构所求出的(在很少的情况下也有按另外的讀数机构所求出的)被测数量的累积数值指出。属于积算式仪表的有:流速式和容积式流量表、电度表、煤气表及其他許多表計等。

(5)調节的仪表——是指一些仪表,它們能借特殊的设备,根据被测数量的已定数值来自动地調节工作过程。属于調节式仪表的測量仪表除去調节设备以外,同样也有装

备着讀数的設備(刻度标尺、記錄圖紙等)的。

除去測量仪表以外，測量設備也經常被采用。这种設備是由量器、測量仪表和測量的附屬設備組合而成的，它們被共同的綫路和測量的方法結合成为一個整體。

从所起的作用和含意的观点來說，測量仪表可分为两种范疇：范型的和实用的。

凡是預計用来复制和保持測量单位，或者用来进行各种測量仪表校驗和刻度工作的仪表，叫做范型測量仪表。用来复制和保持測量单位的具有最高(度量的)准确度的范型測量仪表，叫做标准仪表。

除范型仪表外，所有供实际測量目的用的仪表，叫做实用測量仪表。

实用的測量仪表本身，又可以分为實驗室用的和工程用的两种。属于前面一种的測量仪表，在运用时是要考虑到准确度的；属于第二种的实际仪表，在运用时則采用預先規定的測量准确度。

根据这些定义可以明了，實驗室所用的測量仪表必須供給关于它們讀数的改正值。此外，对这些讀数有影响的各種因素(温度、压力、磁場等)應該考虑到，而且它們的运用条件也应该予以注意。工程用的測量仪表的准确度，是預先根据它們的制造和运用条件定出的，因此，它們并不供給任何改正数值表。对工程用的測量仪表的要求是：要作用迅速而簡單，在运用它們时不需要再决定測量結果的可靠程度——这个結果是作为“工程上”准确的来看待的。

然而，在应用供热工檢查之用的工程用測量仪表时，如下面所述，有很多情况必須考虑到对它們有影响的各種不同因素，并应注意到它們的运用条件。

在应用測量仪表时，被测数量的数值是基于仪表上的指示值来确定的。

所謂仪表的指示值，是指用这仪表进行測量时所得出的直接結果，被测数量的数字值，是用已知单位来表示的。仪表的指示值由讀表得出。由仪表的讀数轉变为仪表的指示值，要应用仪表的常数、刻度标尺分格数值或刻度的曲綫，而有时还要应用特殊的計算。

仪表的常数，就是讀数上所乘的測量单位数目。刻度标尺分格数值，就是相当于每一分格的被测数值的大小。刻度曲綫，是表示相当于刻度标尺上各个不同刻度点的被测数值的大小。

因此，所謂指示值就始終是个名数；而讀数則是个抽象数，即和測量单位无关的数字。在部分的情况下，假如仪表的常数等于測量单位，則仪表的指示值与讀数在数量上是相符合的。大多数的实用仪表是这样的，例如温度表、压力表以及很多其他的仪表。

在个别的情况下，仪表的指示值是用与所测数值单位不相符的另一单位来表示的，例如用角度或毫伏来表示。在这种情况下指示值，就叫做条件的指示值。

在讀数設備中，最普遍采用的是刻度标尺及指示器。刻度标尺是由許多沿着無論那一种綫排列着的刻度点組合而成的，这些刻度点表示着一系列的与被测数量的大小相应的連續数目。

所謂刻度点就是刻度标尺上与被测数量的各个数值相当的記号(綫条、虛綫、点、齿形等等)。在两个相邻的刻度点的軸綫或中心之間的直綫距离，叫做刻度标尺的分格。

相当于所测数量零值的刻度点，叫做刻度标尺的起点。沒有零点的刻度标尺叫做无

零点刻度标尺；有零点而零点在刻度起点或终点的刻度标尺，叫做单方向刻度标尺；假如有零点而刻度点分列在零点两边的刻度标尺，叫做双方向刻度标尺。用数字来表示的刻度点，这些数字指示着由刻度标尺零点起的刻度格数，或者直接就表示着被测数量数值，就叫做数字的刻度点。

相当于用已知刻度标尺得出的被测数量最小值的刻度点，叫做刻度标尺的起点。相当于被测数量最大值的刻度点，叫做刻度标尺的终点。相当于刻度标尺起点的被测数值大小，决定了仪表指示值的下限，而相当于刻度标尺终点的被测数值大小，则决定了仪表指示值的上限。这些限值限制仪表指示值的范围。同时应该指明，指示的范围并不能完全表征出刻度标尺的实际性质。仪表的读数在刻度标尺起点附近往往是不十分准确的，而在刻度标尺的终点附近则往往由于负荷过重而使它的指示值变为不可靠。在这种情况下，要在刻度标尺上把标尺的工作部分标明，在这个范围以内，仪表指示值的误差不超过规范所定的数值。刻度标尺的工作部分，就是被仪表测量上限和下限所限制的仪表测量范围。

沿刻度标尺进行读数(如指针、光束等)并能指出相当于这个读数的刻度标尺格数(或分数)的附属设备，叫做指示器。自动记录式仪表的读数设备就是记录机构和记录图纸。记录机构保证把自动记录式仪表的指示值自动地记录在印有座标格子的纸面上(图纸)，其中一个座标相当于读数，而另一个则相当于时间或其他数值。在记录图纸上未曾印着座标格子的情况下，记录的数值就应当用特殊的比例尺求出。

积算式仪表是以积算机构来作为读数设备的，用这机构，可以根据仪表开始动作时起到动作完毕时止的两个指示值的差，来决定所测数量的累计数值。大多数积算式仪表的指示值，总是限于某一个有限的数目的，到了这个数目之后，计算的机构就要越过零点而重新从零点起开始积算。计算机构所能指示的最大数值，就叫做计算机构的容量。

由于测量仪表在制造时和进行刻度时不可避免地要有不完善的地方，测量仪表的指示值可能发生有规律的误差，因此，它们必须按范型仪表来进行校验。通过这个校验可以决定相当于测量仪表指示值的实际被测数值，这样自然就可以把仪表的有规律误差对仪表所测出的数值大小的影响消除了。

为了表征出测量仪表的全部特性，还必须指明决定它们工作标准情况的数值。这些数值中的每一个数值都注明在仪表上，它们就叫做表征仪表特性的标准数值。

当运用测量仪表时，测量的过程分为三个依次进行的基本操作：装置、看准和得出读数。在最简单的情况下，这些操作是一次完成的；而在较复杂的情况下，它们可能要经过几次才能够完成。

测量仪表的品质，随着它们的一些固有性质而定，而这些性质则决定着利用这些仪表所得出的测量结果的可靠程度。在这些性质中，主要的应该认为是：测量仪表的正确性、准确度、灵敏度和恒定度。

所谓测量仪表的正确性，就是指仪表的某一指示值接近于所测数量的实际数值(实际的指示值)的程度。

仪表指示值和所测数量实际数值之间的差，就叫仪表指示值的误差。假如： γ ——代表仪表指示值的误差、 A ——代表仪表的指示值，而 A_0 ——代表被测数量的实际数值，则