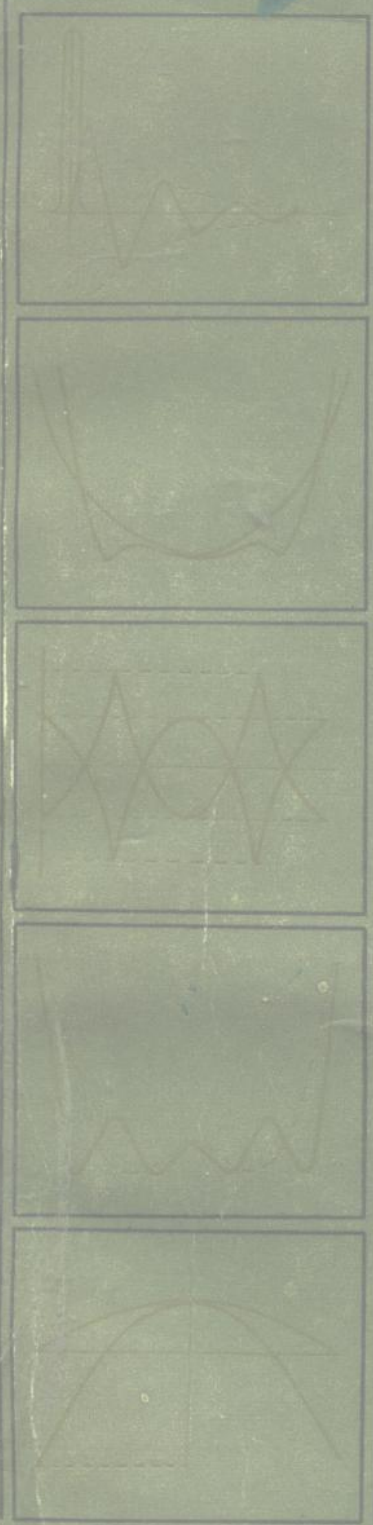


机械量测量用传感器的设计

机械量测量用传感器的设计

[苏] E.П.奥萨奇 主编

傅烈堂 译 蒋云庭 校
鲍建忠



TP213

JIXIE LIANG CECIANG YONG
CHUANGANQI DE SHEJI

计 量 出 版 社

机械量测量用传感器的设计

〔苏〕 E.П.奥萨奇 主编

傅烈堂 鲍建忠 译

蒋云庭 校

计量出版社

1984年·北京

内 容 提 要

本书较全面地介绍了机械量测量用各种传感器的设计,同时还给出了各种误差与可靠性的评定方法,举有各种实例,内容丰富、技术实用。特别对高精度传感器的材料、制造工艺及各种影响因素作了较深入的研究。

可供计量与自动化技术领域的仪器仪表设计、制造、使用维护方面的工程技术人员参考。也可供高等院校有关专业教师参考使用。

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ

МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Под общей редакцией

Е. П. ОСАДЧЕГО

《МАШИНОСТРОЕНИЕ》1979

机械量测量用传感器的设计

〔苏〕 Е. П. 奥萨奇 主编

傅烈堂 鲍建忠 译

蒋云庭 校

责任编辑 徐 鹤

—*

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

—*

开本 787×1092 1/16 印张 19 3/4

字数 479千字 印数 1—10 000

1 984年7月第一版 1984年7月第一次印刷

统一书号 15210·298

定价 3.00 元

前 言

最近十至十五年来科学技术的巨大进步促成了科学和技术许多领域内的根本性变化。

这些变化不仅表现为各个科学和生产部门中技术装备的能力，生产率和应用范围在量的方面有了巨大的增长，而且在质的方面具有明显的改进。因此，对于建立这类技术装备所用的、在历史上形成的工程方法作出新的评价，并对相应理论概念的价值重新予以估计，无疑是必要的。这便是本书得以产生的部分原因；虽然就该领域而言，早已不乏大量的论著（见文献1，113及其它）。

由于科学研究的广阔领域（能学，机械制造，宇航）和物质生产需求的增长，以及各个技术部门中自动控制系统的引入，使传感器生产成为一项特别迫切的任务。

自然，本书不可能涉及传感器设计领域中的所有问题，因此，作者仅局限于研究最重要的传感器范畴之一——机械参量传感器。除此之外，本书并没有去研究大量的，具有狭窄的特定用途的机械传感器。

同时，本书阐述了一些共同的原理，一般来说，它们适用于任何传感器的设计，而不仅仅是机械传感器的设计。如果作者有幸以本书范围内的实例和理论概括使读者获得近年来在苏联仪器制造业某些部门中积累起来的经验，那么他们将认为完成了自己的任务。鉴于本书中有些材料尚带有争论的性质，因此，作者将非常感谢就本书中的材料提出建议和批评意见。

目 录

第一章	传感器装置设计的一般问题	(1)
1.1	“传感器”概念的定义	(1)
1.2	机械量及其变换的物理原理	(2)
1.3	传感器的统一和标准化	(4)
1.4	在传感器设计中建议采用的最佳标称值系列	(5)
1.5	传感器的使用条件规范及其描述方法	(9)
第二章	传感器的结构分析	(15)
2.1	用作测量变换器电路的传感器	(15)
2.2	传感器测量电路的变换函数	(19)
2.3	测量装置变换函数的某些共同分析方法	(25)
第三章	传感器测量电路的设计	(28)
3.1	传感器的测量电路	(28)
3.2	未校准的实际测量电路的变换函数	(29)
3.3	测量电路非线性度的计算	(31)
3.4	经过校准的测量电路的变换函数	(34)
3.5	测量电路热敏元件的计算	(37)
第四章	机械信号变换器	(43)
4.1	弹性元件的种类及其应用范围	(43)
4.2	力变换器	(46)
4.3	压力变换器	(56)
第五章	辅助变换器	(64)
5.1	辅助变换器概述及其分类	(64)
5.2	用作力传感器输入元件的接头	(65)
5.3	用作压力传感器输入元件的配合孔和配合管道	(68)
5.4	保护传感器不受影响因素作用的部件	(76)
第六章	传感器结构所用的金属、非金属及其结合材料	(84)
6.1	机械变换器(传感器)的金属结构材料	(84)
6.2	非金属材料	(87)
第七章	传感器装置生产的工艺特点	(94)
7.1	弹性元件的加工特点及其参数的稳定性	(94)
7.2	传感器结构元件的焊接类型	(97)
7.3	传感器结构元件的胶合特点	(103)
7.4	传感器表面的去油	(106)
7.5	传感器密封性能的检验	(107)
第八章	压电传感器	(111)

8.1	压电材料	(111)
8.2	压电体的温度特性	(115)
8.3	压电加速度计	(116)
8.4	声压传感器	(121)
8.5	压电式动态压力传感器	(126)
第九章	电磁传感器	(132)
9.1	电磁变换器	(132)
9.2	电感式变换器	(132)
9.3	互感式变换器和磁弹性变换器	(138)
9.4	感应式变换器	(144)
9.5	电磁变换器的应用	(145)
第十章	应变电阻式传感器	(155)
10.1	弹性元件应变区的选择	(155)
10.2	应变电阻式传感器	(158)
10.3	力传感器的计算	(163)
10.4	压力传感器的设计	(168)
第十一章	变阻器式传感器	(173)
11.1	概述	(173)
11.2	变阻器式变换器	(173)
11.3	用变阻器式传感器测机械量	(175)
第十二章	吊丝式传感器	(179)
12.1	一般设计问题	(179)
12.2	吊丝的设计	(182)
12.3	磁系统设计	(186)
12.4	吊丝振荡的激振装置	(194)
12.5	吊丝传感器的构造	(198)
12.6	吊丝传感器的某些误差	(203)
第十三章	电容传感器	(212)
13.1	电容传感器一般设计原理	(212)
13.2	液位计的电容传感器	(213)
13.3	测量不连续性的电容式传感器	(216)
13.4	压力计的电容传感器	(218)
第十四章	机械量传感器的误差	(222)
14.1	误差理论的基本概念和定义	(222)
14.2	系统误差分析	(225)
14.3	测量装置(传感器)误差的广义数学模型	(227)
14.4	在被测信号值范围内平均的方差估算	(238)
14.5	由传感器实际变换函数的非线性和滞后作用所引起的输出信号方差的估算	(242)

14.6	与被测的量和标定特性随时间变化有关的传感器误差	(246)
14.7	根据实验研究数据计算误差	(250)
第十五章	传感器试验的组织和规划	(255)
15.1	传感器的试验工作及其组织	(255)
15.2	实验研究计划的拟定	(257)
15.3	拟定传感器试验计划的特点	(264)
15.4	可靠性试验计划的拟定	(266)
第十六章	在设计过程中保证传感器的可靠性	(270)
16.1	可靠性的保证计划	(270)
16.2	用计算方法来评价传感器的机械性能可靠性	(271)
16.3	传感器机械可靠性的实验评定	(276)
16.4	传感器的计量可靠性评定	(279)
第十七章	作为评定非电量传感器质量计量学理论基础的信息能量分析	(283)
17.1	有关质量计量学的某些论述	(283)
17.2	负熵理论——揭开信息在空间与时间上的传递机理	(287)
17.3	振荡器式测量变换器和参数测量变换器的能量效率	(289)
17.4	能量和能量所载信息间的关系以及测量器具的信号-能量效率	(291)
17.5	对传感器装置特有参数作质量计量分析时的计算方法	(294)
17.6	传感器结构效率和可能使用范围表达式的一般形式及其使用方法	(296)
17.7	关于对传感器作理论和统计分析的可能性	(298)
参考文献	(302)

第一章 传感器装置设计的一般问题

1.1 “传感器”概念的定义

在实际测量工作中获得广泛应用，并且，毫不奇怪，一直沿用至今的最早的一种传感器就是测压器（图1.1）。随着火器，特别是火炮的发展，产生了对射击时火药的气体压力进行测量的必要性。这一要求是通过以下方式解决的：在炮管1上钻一圆柱孔，孔内装一圆柱形活塞2，活塞上有一个锥体3。圆柱孔的外部用塞5堵死，在塞5和锥体尖部之间放一块塑性垫片4。射击时，锥体尖部垫片发生变形。最大的压力值根据压痕的几何参数判定；为了标定这样的测量装置，在锥体上加一已知量值的力，例如加载荷。

这种传感器早在用电的方法遥传信息出现之前就已经存在了。虽然现在绝大多数的传感器都属于将非电量改变为电量的变换器，但正是这种“非电”传感器最适合于用来阐明传感器装置的基本特点。

首先应该指出，传感器乃是测量系统中的一个组成部分，它具有独立的结构形式，此外，只是在组成该测量系统的其它所有器具都齐全的条件下，它才能保证获得实效。因而，在本例中，测压器乃是一种充分独立的、完整的技术装置。但是，为了用这种装置获得信息，还必须有另外两种装置来组成这一测量系统——测量压痕大小的装置及标定测压器垫片的装置。

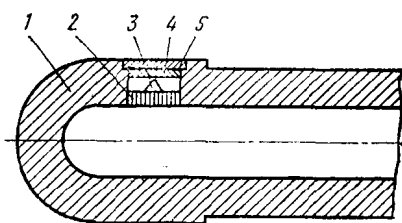


图1.1 测压器

传感器的作用是将物体产生的信号能的一种形式转换为适于在空间传递信息并在一定的时间内予以保存的另一种形式。上面所讲的这种测压器即是将机械能的变化（气压）转换为使垫片材料变形的化学能变化。这里，我们所感兴趣的问题与其说是这一过程的能量形式，不如说是利用能量状态的变化来传递信息的可能性。

因此，从能量的观点来看，传感器的作用是从测量对象引出一部分功率，用以形成测量信号，并将此信号以下述方式传送出去：此信号在其全部传送过程中不应使测量模型和测量对象的一致性遭到破坏。这就是为什么初看起来，用电的方法测量非电量时，信号功率变化的顺序是不大合乎逻辑的——开始时，信号成倍减弱，然后又重新放大。

由于信号能形式的变化会使信道中的噪声功率部分，以及信号在变换过程中放大的可能性发生根本的变化，所以，这一种克服失真的有效方法首先应用在那些处于最困难的使用条件下的装置中，即传感器中，就是很自然的了。

最后，应该指出这样一点：传感器总是处在要获得其测量数据的被测对象的影响范围之内。这一最明显的特征被有些作者认为是传感器装置的唯一必要而充分的特征，虽然很明显，非传感器也可以位于被测对象之上，例如，续航遥测系统就是完全处在被试飞机的机舷

上的。因此，这里必须强调，由于被测对象或其影响范围内存在着一切不利的影响因素。所以与电子变换装置不同，处在上述位置的传感器只是变换器的一种结构总成，它具有接收自然转换为标记（通过物理参数值）的关于被测对象状态的信息的能力。

根据以上所述，可以得出这样一个关于“传感器”概念的定义：

传感器是测量（或控制）信息系统（ИИС）的一个组成部分，它是测量变换器的一种结构总成，包含有信号能形式的变换器，位于被测对象影响因素的作用范围之内，并接收由该对象产生的自然转换为标记的信息。

因此，上面研究的那种测压器，尽管它包含有压力-力变换器和锥体-塑性垫片形式的信息处理记录装置，它仍然只是 ИИС 的一部分而已。应该特别指出的是：组成传感器的可以是 ИИС 的任何数目、任何组合的任何环节，直至包括记录装置和信号处理装置在内。

上述测压器是放在被测对象影响因素的作用范围之内，直接靠近高温、热冲击和振动起作用的火炮药室。并且，它接收在射击时自然地转换为标记的测量对象的信息——气压。因此，测压器虽然是在测量技术的发展初期出现的，却已具备了传感器的全部特征。

由于缺少上述这些特征之一而不能归入传感器范畴的测量器具是不少的。例如，不应把接入电路中用于测量该电路电流强度的分流器称作传感器，因为这时并没有发生信号能形式的变化。同样也不能将遥测系统的无线电发射机列入传感器范畴。

1.2 机械量及其变换的物理原理

机械量可以分为三大类。

属于第一类的是线值和角度尺寸。其中包括加工工业中各种零件的几何参数，表面轮廓和粗度的特性，各种容器（油槽，油船，锅炉等）中松散物质和液体的液位，切削工具相对于加工零件的位移，各种机构摩擦部件的磨损参数，轴的跳动，距离等等。

这一类机械量所包括的量限从零点几个微米一直到几千米，即大约有10个数量级。角度尺寸的量限等于3—4个数量级。

属于第二类的是各种力的作用。这里有机械设备零件和结构中的机械压力、力、转矩、液体和气体的压力、声学噪音、压差等等。

这类机械量值的范围一般是非常宽广的。例如，在真空技术中，需要测量 $1.3 \times 10^{-8} \text{ Pa}$ (10^{-10} mmHg)以下的压力，而在高压技术中则高达 10^8 Pa 以上。可见，压力范围几乎包括16个数量级。在工程技术和科学研究中碰到的力值(10^{-8} — 10^8)N也差不多具有同样宽的范围。

第三类机械量是所谓的运动参数。这里有测量对象的空间位移、线速度、角速度及位移加速度。这类参数的值可以达到天文数学（宇宙距离和宇宙速度）。属于这一类的还有振动参数（振动位移，速度和加速度），轴的转速等等。

为了将机械量变换为便于传递和接收的形式，可以利用具有极其严格的规律性的各种物理现象。下面所列的是几种广泛应用于传感器制造的物理现象：

变阻效应，即导体在机械应力的作用下，有源电阻发生变化；对于金属和合金，有源电阻基本上随几何尺寸的变化而变化，而对于半导体——随电阻率的变化而变化；

压电效应，即材料在机械应力的作用下生电；

电极间距的几何尺寸或充填该间距的材料的介电系数发生变化时产生的电容变化效应；

基于电磁现象的效应——由于回路元件的几何参数或导磁率在机械量的作用下发生变化而造成的回路磁阻变化以及导体在恒定磁场中运动时产生的电磁感应现象；

频率变化效应，即机械共振器在机械应力的作用下固有振荡发生变化；

电极在具有永久极化作用的介质（驻极体）附近移动时产生的电荷感应效应。

应用于机械量变换的其它现象，有电子和光电子发射，霍尔效应，核磁共振等。

显然，利用同一种物理现象可以变换不同的机械量，而对于同一种机械量的变换则可以利用不同的物理现象。

研究人员通常会面临这样的具体任务：设计出具有规定技术特性的传感器；此时，首要问题之一是选择机械量-电量变换的物理原理。很明显，要给出一些单值的建议，以便针对所有可能的原始资料方案作出这样的选择，那是不可能的。这样的选择要取决于以下一系列的因素：规定的量限，频段，电源的可能性，计量学特性，使用条件，所设计的传感器的质量以及其它特性，其中设计单位所形成的传统和研制人员的个人经验有着决定性的意义。有时候这种选择还取决于所要求的输出电信号的参数。为了在每一种具体情形中正确地决定传感器结构采用哪一种物理原理，不仅需要准确了解每一种变换原理的技术可能性，而且还要了解这种变换原理在具体实现中的技术特点。

在比较窄的使用范围内（部门，部门以下），如果使用条件大体相同，则为了选择变换的物理原理，可以对不同变换原理的特点，按照其统计评定结果进行相互比较。上述的统计评定结果是以具体领域中研制经验的总结为依据的，它们可以用图 1.2 的形式来表示。

对于某一具体物理量（本例中为压力）的每一种物理变换原理，图中纵坐标表示传感器的精度量值，它取决于频率范围（轴 $\lg f$ ）和计量学特性的确保期的对应关系（轴 $\lg T_{xp}$ ）。为了使数据的表示紧凑，使用了对数尺，其中在频率范围方面，它取决于可以获得的最大共振频率（动态误差—100%），而在长期稳定性方面，则取决于保持计量学特性（不经检验和调整）的可获得的最长保证期。

研制人员面临的任务的具体数据决定着图中一定的体积，根据这一体积相对于极限临界数据的配置可以决定选择这一种或那一种变换原理的合理程序。因此，在中频和高准确度领域，宁可选择吊丝共振器式变换器，而在较高频率和中等准确度领域，则可选择应变电阻式变换器。

物理变换原理一经选定，下一个任务就是选择相应的变换器型式——这种变换器也是根据技术任务书中的具体数据进行生产的。例如，要设计一种位移传感器，并且选定了感应变换原理，那么根据规定的被测位移的范围，可以使用具有变化气隙的变换器，柱塞型变换器，齿式变换器等等。

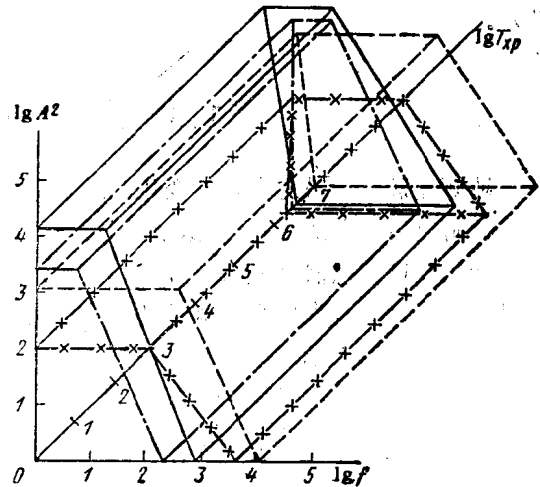


图1.2 变换原理技术可能性的统计评定

——吊丝式，- - - 电位差计式，- · - 应变电阻式，
- x - x - 感应式

选择变换器型式通常与选择机械量-机械量变换器的元件有关。例如，在设计应变电阻式力传感器时，可以使用杆、膜、环、梁和其它的弹性元件作为力-机械应力变换器。在这种情形中，变换器型式的选择取决于要求的频率范围（弹性元件具有不同的频率特性），量限（杆可能经不住弯曲，而环在工艺上可能不适于大量限等等），允许的质量，或者与具体情况有关的其它参数。但是，在所有场合，在选择之前应该对设计情况进行十分细致的科学技术分析。

上面已经指出，在实际工作中遇到的机械量值的测量范围是极其宽广的。所以，一般说来，无法借助一个传感器来包括相应量的所有可能值的范围。这是因为，即使是最好的传感器，其工作范围也不会超过 10^4 。因此，为了覆盖机械量值的全部范围，通常应研制一整系列的传感器，它们分别只在机械量值范围的一定区段内工作。当合理地划分这样的区段时，预先要对传感器的输入特性进行标准化。在这方面，对于标准要求实现最优化，具有决定意义。这种最优化应建立在经济准则的基础之上。

在现代条件下，传感器通常是测量或控制信息系统的一个环节。因此，传感器的输出特性与后面的变换信道的输入特性之间保持信息和技术上的一致性问题同样是相当重要的。

解决这些问题的重要前提是传感器的计量特性和输出特性应进行标准化。输出特性就是输出电信号的振幅和频率范围，输出电阻，电感，电容的变化范围；其中还可以列入电源电压的振幅和频率。计量特性则取决于在被测量值范围内描述测量误差（或准确度）变化的函数的参数。

上述参数额定值的标准化问题具有特别重要的意义，因此需要单独进行研究（见1.3, 1.4节）。

1.3 传感器的统一和标准化

被测参数的数量之大，其变化范围之宽，用传感器实现的非电量-电量变换方法之繁多，使解决传感器的统一和标准化问题成为最迫切的任务之一。为了保证传感器的灵活性和互换性，改进传感器在制造，标定和使用过程中的经济指标，必须统一技术方案，这是十分明显的。但是，首先应当对测量装置用传感器的标准化原则，制订出合理的基本要求。这些要求的实质可以归纳为以下几条准则。

1. 标准化应该是科学的。这意味着，对于标准化对象应该遵循客观的发展规律，进行有科学依据的预测，并从经济效率的观点分析最优方案，而不是简单地将已经自然形成了的参数和成品中最大量的传感器的特性数值列入标准中。

这一要求乃是任何一种标准化，其中包括测量装置标准化的普遍要求。但是，对于传感器来说，安排成批生产极为复杂，要取决于既多又广的重新掌握的工艺过程，所以这种要求具有最关键的作用。

2. 标准化应该是配套的，即尽可能地包括ИИС的所有环节，而不仅仅是传感器。

标准化之所以要配套，有以下几个原因。

首先，传感器本身并不太昂贵，然而在标定传感器时却要求非常昂贵的设备；其次，传感器经常是非常昂贵的装置的一个结构元件。不考虑到这些特点，标准化工作就可能达不到提高经济效益的目的，相反，由于必须改制昂贵的设备，会造成开支的急剧增加。

3. 标准化应该是**领先的**。这个要求还是在1929年由В.В.古比雪夫 (В.В.Куйбышев) 在世界标准化工作中首先提出的,至今尚未失去其迫切性。对于无形老化发生得特别快的传感器装置,这一要求意味着必须制订出能够长期起作用的标准,而且这一标准不应限制研究人员作出新的技术方案,并在这些方案中保持事先已准备好的基本参数的标准值。

4. 标准化应该具有**世界标准的水平**。这就是说,国际组织——如 ИСО (国际标准化组织), МЭК (国际电工委员会), ИУТ (国际通信联盟), МОМВ (国际计量局), МОЗМ (国际法制计量组织), ПСК (经互会标准化常设委员会)——的所有建议草案和现行标准,在制订新标准和推行统一工作时都必须加以考虑。

遗憾的是,世界上法制组织繁多,而苏联国内在实际制订相互有关的标准方面又缺乏一定的系统性,结果使准备好的建议草案难以实施,更何况它们又经常是相互矛盾的。因此,本章要研究传感器装置标准化问题的某些理论方面,以便对情况作出客观的评价,并在现行建议草案不相统一的状态下作出决定。

在传感器装置的领域中推行标准化工作时,必须具备以下的综合标准。

1. 测量器具的统一分类。至目前为止,在这方面还没有制订出令人满意的建议草案。
2. 表征作为 ИИС 元件的传感器特征的统一参数表。该表的部分参数已由相应的国家标准或部标准作了法律规定,但是有关整个参数表的相应方案,作为一个整体尚未制订。
3. 所有参数统一的最佳标称值系统。有一些最佳标称值已由 ГОСТ 8032-56 作了规定,稍加补充后即可作为规定任何传感器参数的统一基础。

必须指出,以上所说的传感器装置标准化问题的现状,在许多问题尚未作出最后决定之前,在客观上是带有先决条件的。这是因为,传感器本身也只是在最近20—30年间随着电子学和固体物理学的发展才获得如此广泛的应用。在这种情况下,如果对于某些关键的标准化问题过早地作出决定,可能会产生适得其反的效果,并在一定程度上阻碍技术进步。与此同时,目前所形成的实际状况,即传感器的研制,生产和使用,已迫切要求在现阶段就制订出属于上述第三类并与所有参数的最佳标称值系列的标准化有关的综合标准和专用标准。因此,对于建立这样的最佳标称值系列的问题,有必要进行比较详细而具体的研究(见1.4节)。

当谈到传感器的标准化问题时,应该指出,对于作为机械制造产品类型之一的传感器来说,所有与机械结构形式有关的标准,也是适用的。此外,在设计传感器时,诸如元件的配合位置和调整基准,包装,以及接插方式等结构形式都有极大的可能加以标准化。

1.4 在传感器设计中建议采用的 最佳标称值系列

在设计机械量传感器时,设计人员在作出设计方案的同时需要规定变换器的一定结构参数数值或计量学参数值。如果不符合这些参数的标准标称值,就可能使规定的数的特性不符合已经做成的装置的模拟特性,或者不符合将要研制的仪器的参数。为了防止发生这种现象,当利用标准化的经验时,应该采用最佳标称值系列。鉴于有关测量技术方面的文献对于标称值系列的建立和使用原则问题实际上并没有作过系统的阐述,因此有必要就这个问题进行比

较详尽的研究。

最佳数系列的正式发现日期，据认为是在1879年，当时法国有一位军事工程师希·莱纳尔（Ш·Ренар）提出了钢索单位长度比重值系列。这一系列是按照公比来建立的

$$q = 10^{1/5} \approx 1.5849 \approx 1.6$$

以后，该系列就用R5（按作者姓名的第一个字母）表示。由这个系列构成了系列R10($q = 10^{1/10} \approx 1.25$)，R20($q = 10^{1/20} \approx 1.12$)和R40($q = 10^{1/40} \approx 1.06$)，并成为ИСО和ГОСТ 8032-56建议草案的基础。

但是在科学和技术领域中，最佳数系列的出现则要早得多。

远在公元前二世纪，希腊天文学家吉普阿尔（Гиппарх）按照公比 $q = 2.5$ 将所有的可见星按亮度划分等级。

在俄国，彼得大帝（Петр I）于1717年颁布了《关于大炮的铸造及其口径》命令，其中就有有关炮弹种类的阶梯等差系列的内容，这一命令是综合解决函数相关系列构成问题的首批例子之一，因为它包括了炮弹重量，它的直径（口径）和以口径来测量的炮筒长度。

俄国科学家А.В.加道林（А.В.Гадолин）院士提出采用基于几何级数的系列来规定金属切削机床运动学参数（切削和进动速度）的标称值，同时对这一解决方案的技术经济效果提供了依据。从此以后，在机床制造业中，采用几何级数的系列获得了最广泛的应用^[43]。值得提出的是，正是在这一领域内，对于建立系列的问题以及对于它们的技术经济效果的论证，做了大量的工作。

在研究最佳标称值系列的历史进程时，下面这一规律尤为突出：有关系列理论工作的“结晶中心”乃是与工具机制造有关的部门。这是因为，对于这些工具机来说，上述问题是关键所在。按照一定的数学规律制造机床，同时也给这些机床所生产的产品打上了自己的烙印：机械制造产品的几何参数和公差范围基本上已和几何级数相适应。目前正在解决的最后一个问题是螺纹直径和螺距问题，这还是机床制造业者从手工和原始的金属加工占主要地位的时代所继承下来的。尽管机械制造领域中的标准化不仅给机床制造业者，而且还给机械制造产品的需求者带来了好处，但至目前为止，这项工作基本上仍然是工具机研制者所致力

的范围。

与此相类似的情况还出现在测量技术领域。即使是在这一领域，标称值的标准化问题也是同专业化工具机的制造有关的，所不同的，这里只是指信息处理工具。如果把测量过程当作一种独特产品——信息的获得过程来研究，那么信息测量系统就是生产这种产品的机床。如同机械制造业者可以在万能机床上用一组有限的标准工具来加工实际上是任意随机形式的任意一种毛坯一样，测量器也应该能够借助一组有限的ИИС标准元件（它直接与作为毛坯的测量对象相接触），即借助标准传感器来“加工”任何一种测量信息源——被测物体。当进一步比拟传感器和金属加工工具时，不难发现，生产的机床数目与生产的工具数目（比前者多二个数量级以上）之比对于“收集和记录测量信息的电子系统——传感器”组合，同样是存在的。同许多工具一样，传感器也要遇到其独特的毛坯，在将它们加工之后传感器就完全丧失其原来的信息源。最后，适合在各种机床上工作的工具参数，如通用性和互换性等，对于在各种ИИС中使用的成套传感器的制造来说同样是必不可少的。

根据以上所述，有理由认为，传感器标准化的趋势和方法，看来在长时期内还要重复已经在金属加工工具标准化领域中明显形成了的趋势。

同时，信息处理装置的工作特点自然应该以某种方式影响标准化领域中的具体方案。因此，例如机械地照搬其它技术领域的最佳标称值系列，看来效果不大。为了说明这种状况，有必要研究测量技术所借鉴的具体的系列例子。

目前，在测量技术中可能碰到的最佳系列主要有两类：国际标准化组织（ИСО）建议在一般工业范围内使用，并已列入ГОСТ8032-56的系列，以及国际电工委员会（МЭК）在更早些时候为电子和无线电工业配套产品（电阻器，电容器）的标称值所拟定的系列。

ИСО系列是由专业技术委员会（ИСО/ТК19）制订的，它在1953年通过了优先数国际建议草案。1955年还通过了建议草案（ИСО/Р17）《优先数和优先数系列使用指南》。

苏联作为ИСО/ТК19委员会的成员之一，积极参与了这些草案的制订；现行ГОСТ8032-56即是完全以它们作为基础的。

在上述ИСО建议草案的基础上还制订了美、英、法、东德、西德、匈牙利、波兰、捷克、南斯拉夫以及其它一些国家的国家标准。

ГОСТ8032-56与以前的标准有所不同，它不仅是机械制造，而且也是国民经济其它各部门中规定参数和尺寸的标称值的基础，因而成为所有各类工业产品相互协调的基准。

在ГОСТ8032-56中规定了四类基本的优先数系列（R5，R10，R20，R40）和一类附加的优先数系列（R80）。所有这些优先数系列都是十进位的系列（即在每一十进位区间内是重复的），并且具有如表1.1所示的分母。

系列的每一项都可以按下式计算

$$a_n = a_1 q^{n-1},$$

式中： a_n ——系列的第 n 项； a_1 ——系列的第一项（基数）； q ——公比。

由于系列各项的准确值在逗号以后通常不是用具有有限位有效数字的十进位小数来表示的，所以系列表中的标称值在必要的情况下以达到1.26%的准确度进行舍入。

表1.1 ИСО(ГОСТ8032-56)和МЭК系列的基本特性

制 订 部 门	系 列 类 型	系 列 代 号	公 比 值			在 一 个 十 进 区 间 中 的 系 列 项 值	系 列 相 邻 项 之 间 的 相 对 间 距
			准 确 值	近 似 值	舍 入 值 (采 用 的)		
ИСО	基本的	R5	$10^{1/5}$	1.5849	1.6	5	60
		R10	$10^{1/10}$	1.5289	1.25	10	25
		R20	$10^{1/20}$	1.2220	1.12	20	12
		R40	$10^{1/40}$	1.0593	1.06	40	6
	附加的	R80	$10^{1/80}$	1.0292	1.03	80	3
	导出的	R5/3	$10^{3/5}$	—	4	2(1)	300
		R10/3	$10^{3/10}$	—	2	4(3)	100
		R20/3	$10^{3/20}$	—	1.4	7(6)	40
		R40/3	$10^{3/40}$	—	1.2	14(13)	20
	МЭК	基本的	E3	$10^{1/3}$	—	2.2	3
E6			$10^{1/6}$	—	1.5	6	50
E12			$10^{1/12}$	—	1.2	12	20
E24			$10^{1/24}$	—	1.1	24	10
E48			$10^{1/48}$	—	1.05	48	5

为了表示构成其它项的第一项的值，系列的代号后面要附加一个用括弧括起来的，位于

两省略号之间的数，如R5 (...1...)。

除了几何级数所共有的性质外，系列ГОСТ8032-56还具有另外一种特别重要的性质——对于二进系列的兼容性。

若取近似值 $10^3 \approx 2^{10}$ ($1000 \approx 1024$)，则 $10^{1/10} \approx 2^{1/3}$ ，故在系列R10中，每隔三项就有一个双倍的标称值。

根据只包含部分原始系列项的这类系列的特殊性质，ГОСТ8032-56允许构成R5/3, R10/3, R20/3等系列。用分母为3的分数所表示的系列，相当于从原始系列中去掉一部分标称值项，而只留下系列中的每个第三项。

表1.2 导出系列R10/3

R10/3(...1...)	R10/3(...10...) (不建议采用的系列)	R10/3(...100...) (不建议采用的系列)
1	1.25	1.6
2	2.5	3.15
4	5	6.3
8	10	12.5
16	20	25
31.5	40	50
63	80	100
125	160	200
250	315	400
500	630	800
1000	1250	1600
...

表1.3 导出系列R20/3(...1...)
(建议用于传感器中的)

系列项序号	标称值	系列项序号	标称值
1	1	11	31.5
2	1.4	12	45
3	2	13	63
4	2.8	14	90
5	4	15	125
6	5.6	16	180
7	8	17	250
8	11.2	18	350
9	16	19	500
10	22.4	20	700
		21	1000

根据保留哪一个标称值(系列的基数)的实际需要，可以有三种消项方法。例如，由系列R10可以构成三个系列，R10/3 (...1...)，R10/3 (...10...) 或R10/3 (...100...)。这三个导出系列示于表1.2。若合并这三个系列，就可以重新获得这三个十进区间的全系列。

为了统一系列，减少项数并保证对函数相关量(如位移和速度或加速度)保持相同的标称值系列，在参数测量使用国际制单位的前提下，任何有量纲的物理参数的理论标称值都应该选自这样的—个或多个系列：它(们)含有一个等于1的、作为一个项的系列基数。对于无量纲的量来说，这一要求同样有效。

因此，在表1.2所示的三个系列中，只有一个系列R10/3可以作为优先标称值系列，用于传感器基本参数如量限，误差，频段，灵敏度，输出信号电平等的标准化。至于公比，则应根据传感器设计技术任务书所规定的具体条件选自ГОСТ 8032-56推荐的分子集(见表1.1)。由于系列R10/3的相对间距为50%，所以为了更加合理地使用调节装置的刻度盘，传感器的量限宜按表1.3所援引的较密的系列R20/3 (...1...)来规定。尤其应该注意的是要合理选择这样的公比集：通过“均分”上述系列各项之间的区间，它可以允许组成任何一个较密的系列。这种原理可通过实例用图解方法表示，例如在一个达到几个十进位量级的宽量值范围内(如 10^{-3} — 10^4 N范围的力值)规定一个量的量限(图1.3)。

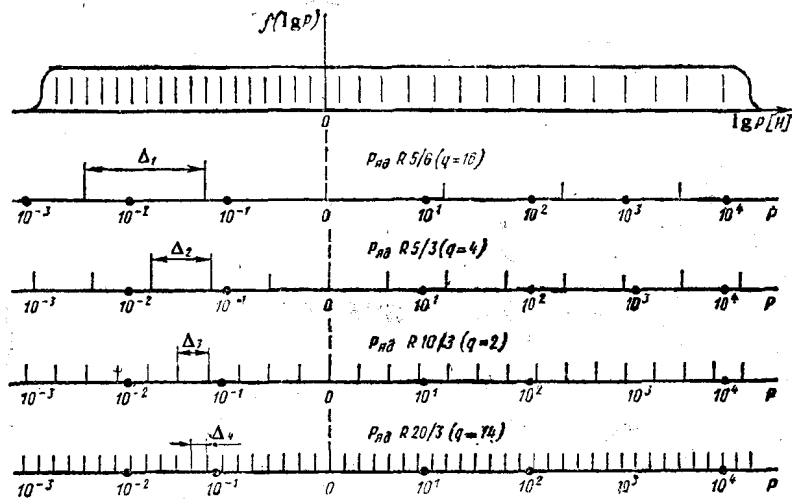


图1.3 量限系列的构成

设公比 $q=4$ 的一个系列 $R5/3 (\dots 1 \dots)$ 为原始系列。这样，我们可以通过对坐标图上各项区间进行划分而得公比 $q=2$ 的较密系列 $R10/3$ 。区间加倍即可得到较稀的系列 $R5/6$ 。这时的公比 $q=8$ 。

根据几何关系导出公比 q 的量值与组成的系列数之间的关系：

$$\Delta_m = \frac{\Delta_1}{2^m} = \frac{\lg a_m - \lg a_{m-1}}{2^m} = \frac{\lg a_m / a_{m-1}}{2^m}$$

$$= \frac{\lg q_1}{2^m} = \lg q_m,$$

式中： Δ_1 ——第一个（最稀的）系列的区间； Δ_m ——第 m 个系列的区间； m ——系列的序号，它与系列项数加倍的运算次数相一致； a_m ——第 m 个系列的一项； a_{m-1} ——该系列的前一项； q_1 ——第1个系列的公比。

由上式得

$$q_m = q^{1/2^m}.$$

应该指出，公比 $q=2$ 和 $q=\sqrt{2}=1.4$ 的系列已在技术上获得十分广泛的应用。因此，所有的照相材料标准和技术装置的参数标准，机械制造业中的图幅标准都是按照公比 $q=\sqrt{2}=1.4$ 的系列 $R20/3$ 制订的。

对于诸如频率，信道数，时间间隔的持续时间等参数，可以使用二进系列以最简单的方式建立具有双稳态元件的相应电子装置。研究人员的经验表明，在采用上述系列后，或者产生了现实的效果，或者，在另一种极端情形下，由于用另外的方案代替这类由“意志决定的”方案，则将既无利，也无弊。

1.5 传感器的使用条件规范及其描述方法

在使用过程中，传感器直接配置在测量对象之上。

现代测量对象的使用条件是多种多样的。它们可以是温度、压力和湿度等参数变化轻微的实验室条件，可以是象喷气发动机试验台那样苛刻的试验条件，也可以是宇宙飞行那种独特的外部条件。如果说，第一种情形的使用条件认为并不苛刻，那么在第二种情形中，传感器将在高温、振动和强声场作用下工作，而第三种情形——在失重、真空、不稳定热作用下工作，条件都极为严峻。

在设计过程中，要保证传感器对于上述一系列外部条件的作用保持稳定性。这里，无论是为了实现成功的设计，还是为了确保传感器对于外部作用的稳定性，在试验过程中正确和详细地规定技术任务书和技术规格中的外部条件规范，都具有重要意义。

规定使用条件规范的一些主要方法如下。

1. 影响因素值的分布规律（概率密度函数）是规定影响因素指标的最为方便的一种形式。但在实际上，规定具体的分布规律公式是十分罕见的，应该根据其它一些比较容易获得的指标进行评定，并应在所有的情况下规定影响因素的极限值。

2. 规定影响因素随时间变化的解析关系 $x = f(t)$ 。在这种情况下，概率密度函数 $p(t)$ 的表示式可以按下述方式求得。先确定给定函数 $f(t)$ 的一次微商的倒数，即 $1/f'(t)$ 。在上式中，时间 t 用 x 表示。然后，在被研究因素的变化范围内将其归一化。设归一因子为 A ，即得

$$p(x) = \frac{A}{f'[t = \varphi(x)]} .$$

现在来研究一种最简单的线性关系情形。设 $x = 2t$ ，且 $0 \leq x \leq 6$ 。一次微商的倒数等于

1/2。对 $A \cdot \frac{1}{2} \int_0^6 dx = 1$ 归一化后得 $A = 1/8$ 。

故密度函数公式为

$$p(x) = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16} .$$

由此可见，影响因素是按照恒定密度 $p(x) = 1/16$ 的均匀规律分布的。

再来看一种非线性函数 $x = 2\sqrt{t}$ 的情形。求一次微商的倒数：

$$\frac{1}{x'(t)} = \sqrt{t} .$$

用 x 表示 t （根据原始关系式）：

$$t = \frac{x^2}{4} .$$

将 t 代入 $\frac{1}{x'(t)}$ 的表示式：

$$\frac{1}{x'(t)} = \frac{x}{2} .$$

在影响因素的下限 x_H 和上限 x_B 的范围内归一化：

$$A \int_{x_H}^{x_B} \frac{x}{2} dx = 1,$$