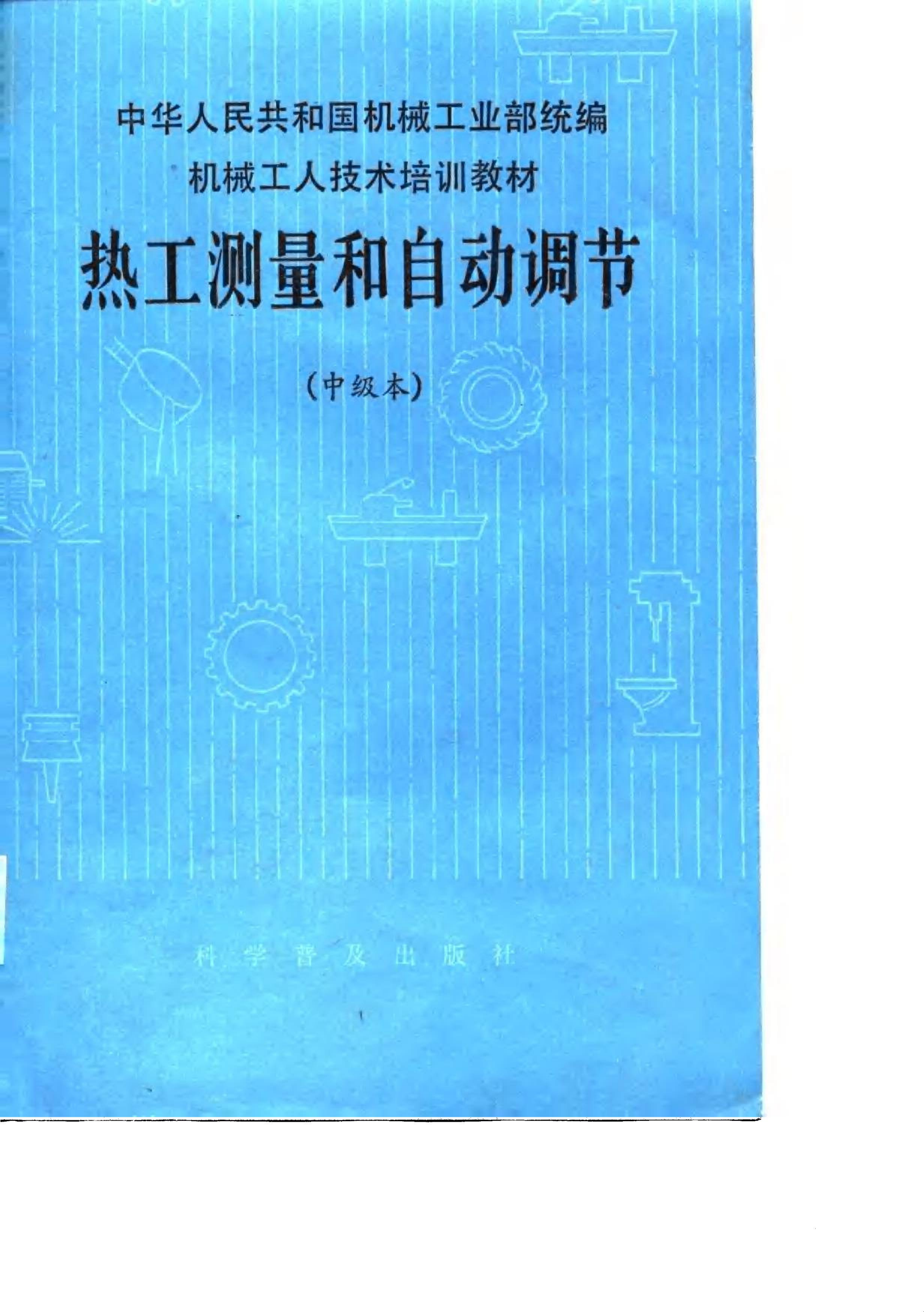


The background is a solid blue color with several white line-art icons scattered across it. These icons include a ship at the top right, a gear in the middle right, a propeller in the middle left, a ship in the center, a gear in the bottom left, and a mechanical component in the bottom right. The text is centered in the upper half of the cover.

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

热工测量和自动调节

(中级本)

科学普及出版社

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材

热工测量和自动调节

(中 级 本)

科学普及出版社

内 容 提 要

本书是机械工业部统编的机械工人技术培训教材。它是根据原一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。内容包括常用的显示仪表、差压计、节流装置；TA系列简易电子调节器；电动单元及气动单元仪表中的变送器、运算器、积算器、调节器、执行器和其他辅助单元等常用型式的仪表，以及机械行业热处理常用的露点控制仪和红外线CO₂分析仪等仪表的构造、工作原理和调校。还介绍了测量及误差的一些基础知识。本书是4~6级热工仪表工的技术培训用书，也可供有关技术人员和工人学习参考。

本书由冯济平、袁子文、丛吉宽同志编写；由杨景源、季善义、陆春鸿同志审查。

中华人民共和国机械工业部统编
机械工人技术培训教材
热工测量和自动调节
(中 级 本)

责任编辑：任杏华 张成全

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：28 字数：671千字

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数：1—11 200册 定价：4.60元

统一书号：15051·1213 本社书号：1366

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

第一机械工业部第一副部长

杨铎

一九八二年五月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是原一机部颁发的《工人技术等级标准》和当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工夹具、量具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高(高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编)。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排、从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中还难免存在不少缺点和错误，我们恳切地希望同志们试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八二年五月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 热工自动化仪表的作用及其与生产发展的关系	1
第二节 仪表的命名与分类	1
第三节 测量及其误差	5
第二章 动圈式指示调节仪表	17
第一节 动圈测量机构	18
第二节 测量电路	23
第三节 位式指示调节仪	27
第四节 时间比例式指示调节仪	33
第五节 电流输出PID指示调节仪	40
第六节 动圈式指示调节仪表的调试和使用	44
第七节 移相触发式可控硅调压器	49
第三章 自动平衡显示仪表	53
第一节 测量电路的工作原理	53
第二节 测量桥路的计算	57
第三节 可逆电动机	61
第四节 晶体管电子放大器	66
第五节 附加电动PID调节器	80
第六节 仪表的外部干扰	94
第四章 TA系列简易电子调节器	105
第一节 概 述	105
第二节 数字定值器	106
第三节 毫伏放大器和微伏放大器	115
第四节 PID调节单元电路和等周期开关电路	122
第五章 节流装置及双波纹管差压计	130
第一节 节流装置	130
第二节 双波纹管差压计	138
第三节 变差压流量计的安装	146
第六章 电动变送单元	152
第一节 温度(差)变送器	152
第二节 力平衡式变送器	171
第七章 运算器及积算器	205
第一节 DXS—202型开方积算器	205
第二节 DJS—03型电子乘除器	221
第三节 DJJ—04型加减器	232
第八章 电动调节器	245

第一节 概 述	245
第二节 DTL—121 型调节器	246
第三节 DTL—331 型调节器	260
第四节 电动调节器的调校	272
第五节 调节器参数的整定方法	276
第九章 DKJ 型电动执行器	283
第一节 基本结构和工作原理	283
第二节 电动执行器的调整和校验	305
第十章 电动仪表的其他单元	309
第一节 电-气转换器	309
第二节 气-电转换器	314
第三节 频率转换器	314
第四节 恒流给定器	319
第五节 DGF—02 型分流器	324
第六节 Q 型和 D 型操作器	326
第七节 闪光报警器	333
第十一章 气动单元组合仪表	338
第一节 气动差压变送器	338
第二节 气动压力式温度变送器	345
第三节 膜片式比例积分(PI)调节器	348
第四节 膜片式微分器(PD)	356
第五节 波纹管式指示调节仪	359
第六节 气动三针记录仪	374
第七节 气动色带指示仪	382
第八节 气动积算器	386
第九节 气动定值器	390
第十节 气动执行器	391
第十一节 气源及其净化	413
第十二章 氯化锂露点仪和红外线 CO ₂ 气体分析仪	418
第一节 概 述	418
第二节 氯化锂露点控制仪	419
第三节 红外线 CO ₂ 气体分析仪	427

第一章 绪 论

第一节 热工自动化仪表的作用及其与生产发展的关系

随着我国社会主义现代化建设的发展，工业生产规模日益扩大，生产中越来越多地采用新技术、新工艺以及各种高效能的新型设备。因而“自动化”已成为包括机械工业在内的现代化工业生产中不可缺少的一种技术手段。

工业自动化水平的高低，是衡量一个国家科学水平的高低与生产技术先进程度的重要标志之一。随着自动控制理论和自动化仪表的迅速发展，各种新型自动化仪表相继出现，它们能组成多种多样的检测和控制系统，以满足机械工业实现生产自动化的要求。

自动化仪表在现代化生产中起着“眼”、“脑”和“手”的作用。被控参数的数值必须用各种变送器和显示仪表来检测、显示，根据检测结果所进行的数学运算和逻辑判断，要用各种调节器、控制器和逻辑运算器来进行；最终的执行指令，则需由各种执行器来完成。

工业自动化仪表是实现生产过程自动化的工具。它总是伴随着工业生产和科学技术水平的提高而向前发展。工艺要求日趋复杂以及对产品质量、劳动生产率、节能及安全性提出了更高的要求，因此，对工业生产过程实现自动化也提出了新的课题和任务。

工业自动化仪表所包含的内容较广，本书仅就热工自动化仪表中常用的电动和气动单元组合仪表、部分基地仪表、部分流量及成分分析仪表的原理线路及结构等进行分析和介绍。

第二节 仪表的命名与分类

一、动 圈 式 仪 表

动圈式仪表，按其功能可分为动圈指示仪表和动圈指示调节仪表两类。我国的 XC 系列动圈式仪表的分类，见表 1-1。

动 圈 式 仪 表 分 类 表 1-1

名 称	主 要 功 能	动圈支承方法	精度等级	检 测 元 件	指示参数
动圈指示仪	单针指示仪	轴尖轴承	1.5	热电偶 热电阻 辐射感温器	温 度 压 力 差 压
动圈指示调节仪	二位调节 三位调节 时间比例调节 电流PID调节	张 丝 支 承	1.0	变送器(输出电流0~10毫安) 直流(毫伏) 发信电阻	液 压 流 量 ⋮
	时间程序二位调节 时间程序电流 PID 调节			热电偶 热电阻	温 度

动圈式仪表的型号命名由两部分组成，第一部分为大写的汉语拼音字母，不超过三位；第二部分为阿拉伯数字，也不超过三位，见表 1-2。

动圈指示调节仪型号命名法 表 1-2

第 一 部 分						第 二 部 分					
第一位		第二位		第三位		第 一 位		第 二 位		第 三 位	
代号	意义	代号	意义	代号	意义	代号	意 义	代号	意 义	代号	意 义
X	显示	C	动圈式磁电系	Z	指示仪	1	单标尺	0	—	1	配热电偶
				T	调节仪	表示设计系列或种类		表示调节方式		2	配热电阻
						1	高频振荡式	0	二位调节	3	毫伏输入式（或霍尔变送器、CP 差压计）
						(固定参数)		1	三位调节(狭中间带)	4	电阻输入式 (如滑线式压力计)
						带时间程序高频振荡式		2	三位调节(宽中间带)		
						(固定参数)		3	时间比例调节		
								4	时间比例加二位调节		
								5	时间比例加三位调节		
								6	电流 PID 加二位调节		
								8	电流比例调节		
								9	电流 PID 调节		

二、自动平衡显示仪表

自动平衡显示仪表，是电子电位差计和电子平衡电桥的总称。自动平衡显示仪表的类型很多，其型号命名、各部分字母以及数字代号表示的意义，见表 1-3。

自动平衡显示仪表型号意义 表 1-3

第 一 部 分						第 二 部 分					
第 一 位		第 二 位		第 三 位		第 一 位		第 二 位			
代号	意 义	代号	意 义	代号	意 义	代号	意 义	代号	意 义	代号	意 义
X	显示仪表	W	直流电位差计	A	条形指示仪	1	单指针、单笔				附加装置
		Q	直流电桥	B	圆形记录仪	2	双指针、双笔			00	无附加装置
		L	交流电压平衡	C	长圆记录仪	3	多指示、多点记录			01	表面定值电接点
		D	交流电桥	D	小型长图记录仪	4	单指针、单笔电动调节(PID)			02	表内定值电接点
				E	小型圆标尺指示仪	5	单指针、单笔气动调节(PID)			03	报警器
				F	中型长图记录仪					04	多量程
				G	中型圆图记录仪					05	量程扩展
				H	旋转刻度仪表					06	辅助记录
										07	自动变速
										08	程序控制
										09	积算装置
										10	计算器
										11	计算单元
										12	模数转换
										13	电阻发信装置

三、DDZ-II 型电动单元组合仪表

DDZ-II 型电动单元组合仪表,是以电能驱动的晶体管型“积木式”仪表。其特点是:整套仪表分为能完成某项功能的各独立单元,各单元间采用 0~10 毫安直流的统一标准信号联系。因此,只要经过适当的组合,即可构成不同的自动检测和调节系统,并可和电子计算机及其他数字化装置联用,以实现较高的自动化要求。

(一) 单元分类

本系列仪表有下列单元:

- (1) 变送单元——有差压、压力及温度变送器;
- (2) 调节单元——有调节器及微分器等;
- (3) 显示单元——有指示、记录仪及积算器等;
- (4) 计算单元——有加减器、乘除器及开方器等;
- (5) 给定单元——有恒流给定器及分流器等;
- (6) 转换单元——有频率转换器及电-气转换器等;
- (7) 执行单元——有角行程执行器和直行程执行器等;
- (8) 辅助单元——有电动操作器、气动操作器和操作选择器等。

(二) 单元命名

1. DDZ-II 是电动单元组合仪表的总称,其中第一个 D 字代表电动,第二个 D 字代表单元,Z 字代表组合,II 表示采用晶体管电路。

2. 根据最新的命名法,各单元型号由两部分组成,其间用短横线隔开。第一部分由三个大写汉语拼音字母组成:

(1) 第一个字母 D,表示电动单元组合仪表。

(2) 第二个字母代表单元类别,例如:

B——变送单元; T——调节单元;

X——显示单元; J——计算单元;

G——给定单元; Z——转换单元;

K——执行单元; F——辅助单元。

(3) 第三个字母代表仪表测量参数或动能,例如:

W——温度;

Y——压力;

C——差压;

L——流量;

U——液位;

F——成分分析;

P——频率转换;

Q——气电转换;

J——加法运算;

S——乘除运算;

K——除法运算;

C——乘法运算;

L——连续调节;

D——断续调节;

A——恒流给定;

F——分流;

J——记录;

Z——指示;

S——积算;

J——角行程;

Z——直行程;

D——电动操作;

Q——气动操作。

第二部分由两节组成：

(1) 第一节由三位或两位数字组成。

变送器、显示仪、调节器和执行器四种仪表均由三位数字组成，前两位代表系列、规格和结构特征，第三位数字代表序号。

其余四种仪表由两位数字组成。第一位数字代表规格和结构特征，第二位数字代表序号。

(2) 第二节由一个或几个大写汉语拼音字母组成，表示仪表的特殊用途，例如：

K——快速； F——防腐；

B——防爆。

例如：DBW-100 KB 表示热电偶式温度变送器(快速防爆)。

四、气动单元组合仪表

气动单元组合仪表是用压缩空气驱动的“积木式”仪表。其特点与电动单元组合仪表相似，即整套仪表按其功能划分成各独立单元，以便按需要组成各种自动检测和调节系统。各单元之间采用 $0.2 \sim 1$ 公斤力/厘米²● 的统一标准气压信号联系。它和电动单元组合仪表相比，气动单元组合仪表具有简单、易掌握、工作平稳、投资小以及适用于防火、防爆、防核辐射的场合等特点。其不足之处是需要气源净化装置，传送距离小，配用电子计算机不便等。

气动单元组合仪表的单元分类及命名方法和电动单元组合仪表基本相同。QDZ 为气动单元组合仪表的总称，其中 Q 代表“气动”，D 代表“单元”，Z 代表“组合”。它也分成八大单元，其型号命名方法如下：

根据命名方法，各单元型号由两部分组成，在这两部分之间用短横线隔开，第一部分由三个大写汉语拼音字母组成。

(1) 第一字母 Q 表示气动单元组合仪表；

(2) 第二个字母表示单元类别。例如：

B——变送单元 T——调节单元 X——显示单元 G——给定单元 J——计算单元 F——辅助单元 Z——转换单元

(3) 第三个字母表示仪表测量参数或功能。例如：

W——温度	C——差压	F——法兰式差压
Y——压力	J——记录	Z——指示
W——微分	J——加减	B——比例、比值
C——乘除	J——继动	D——定位、定值
K——切换	B——遥控	Y——减压
L——连续	S——积算	C——操作

第二部分由两位或三位数字组成，其数字所代表的意义和电动单元组合仪表基本相同：表示仪表的系列、规格、结构特征和序号。

● 法定单位为帕， $1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{ 帕}$ (下同)。

五、TA 系列简易电子调节器

TA 系列仪表是一种电子式、调节仪表，采用偏差指示、数字定值，且更换测量线路后，该仪表即可和热电偶、热电阻、远程压力传感器及 0~10 毫安的输入信号配用。这种仪表主要用于工业系统中的单参数调节。系列仪表的型号命名如下：型号由两部分组成，第一部分 TA 代表简易电子调节器；第二部分由三位数字组成，每位数字代表的意义，见表 1-4。

TA 系列仪表型号第二部分的命名

表 1-4

第 一 位		第 二 位		第 三 位	
代号	显 示 方 式	代号	调 节 规 律	代号	输 入 信 号
0	偏差指示	0	二 位	1	热电偶(mV)
		1	三 位	2	热电阻(Ω)
		3	时间比例	3	0~10~600(mV)
		4	二位 PID	4	远程压力传感器(Ω)
		5	三位 PI(D)	5	0~10(mA)
		9	连续 PID	6	热敏电阻(Ω)
				7	配比调节

第三节 测量及其误差

将待测的量与作为测量单位的标准量进行比较称为测量。由于受测量条件和测量方法的限制，测量得到的值 l 与被测量的真值 L_z 之间的差值 δ ，称为测量误差，即

$$\delta = l - L_z \quad (1-1)$$

测得的值 l 可能大于、也可能小于被测量的真值 L_z ，所以上式可写成

$$L_z = l \pm |\delta| \quad (1-2)$$

可见，测量的精确度由测量误差绝对值的大小来决定，测量误差绝对值越大，测量的精确度就越低。因此，欲提高测量的精确度，就必须采取措施，以减小测量误差。

事实上被测量的真值是无法得到的。这是因为无法消除测量误差，所以也就不能确定误差的确切数值，只能确定误差大小的一定范围。因此通过测量只能得到被测量真值的近似值 L 。

一、测量的类别

测量的分类方法很多，按测量条件可以分为等精度测量和不等精度测量；按测量方法可以分为直接测量、间接测量和组合测量；按测量结果可以分为绝对测量和相对测量；按被测量的表征参数可以分为单项测量和综合测量等。

1. 等精度测量 在测量条件不变的情况下进行的一系列测量，由于这些测量的精度是相同的，故称之为等精度测量。例如，同一个人同一环境条件下、用同一仪器对同一

被测量进行的多次测量，便是等精度测量。因为这种测量简单易行，并能在一定范围内提高测量精度，所以应用最为普遍。

2. 不等精度测量 如果在几种不同的测量条件下进行的测量工作，例如采用不同的测量方法（包括使用不同的测量仪器）、不同的测量次数或由不同的测量者进行多次的测量等，那么这些测量的精度是各不相同的，故称之为不等精度测量。显然，不等精度测量，由于测量条件的变化，所以有可能减少测量误差，并能较确切地得知测量误差的范围，使测量精度提高。但其不足之处是比等精度测量的工作量（包括数据处理的工作量）大大增加。

3. 直接测量 测量结果可直接从测得值得出或计算出来的测量，叫直接测量。例如，用卡尺测量尺寸、用温度计测量温度、用秒表测量时间等。

4. 间接测量 对与被测量有一定函数关系的若干量进行直接测量，然后将测得值代入函数关系式，计算出被测量的大小，这种测量叫间接测量。例如，测量圆柱形物体的密度 $\rho(D)$ ，可以直接测出质量 m 、直径 d 和高度 h 后，按关系式 $\rho = m / (0.25 \pi d^2 h)$ ，即可求得密度。

5. 组合测量 若被测量多于一个，则可先对含被测量的函数中容易测量的另一些量进行测量，然后求解联立方程便得出各被测量，这种测量称为组合测量。

6. 绝对测量 将作为标准单位的标准量与被测量比较，从而得出被测量的大小，这种测量称为绝对测量。

7. 相对测量 测量结果仅指出被测量与标准量两者的差值或比值关系，这种测量叫相对测量或比较测量。

8. 单项测量 仅对被测对象某一参数进行的测量，称为单项测量。

9. 综合测量 如果一被测对象不能用某一单项参数衡量，而只能用综合参数作总的衡量，这种综合性的测量称为综合测量。

二、误差的分类及其产生的原因

在测量过程中产生的误差，按其性质可分为三大类：偶然误差、疏忽误差和系统误差。

（一）偶然误差

由一些尚未被掌握的规律或一时不便于控制的微小因素所造成的测量误差，称为偶然误差。这种误差具有偶然的性质，无法事先知道，因而也就无法在测量过程中予以修正或消除。但是，根据偶然误差本身客观存在的规律，也就是在多次重复测量中出现的规律。利用这一规律，在一定的条件下，可以用增加测量次数的方法对偶然误差加以控制，从而减少其对测量精度的影响。

在测量过程中，必须重视偶然误差的影响，因为它直接影响测量的精密度，所以查明测量中偶然误差的大小，可以确定测量结果的可靠程度。

偶然误差通常是由下面三个方面的原因造成的。

1. 由测量工具带来的误差 当使用的测量仪器结构不完善或零部件制造不精密时，会给测量带来偶然误差。例如，由于轴尖与轴承存在间隙，所以不能保证指针偏转的位置固

定,给测量带来偶然误差。

2. 由测量方法带来的误差 测量方法的不完善或不合理会给测量带来偶然误差。例如,使用目镜瞄准被测物,因瞄准的误差而造成的读数误差等。

3. 由测量条件带来的误差 测量环境或条件不稳定等无法控制的因素(如温度与气压的微量变化等),会给测量带来偶然误差。

(二) 疏忽误差

测量者由于在测量或计算时的疏忽大意而造成的误差,叫做疏忽误差。这种误差很难估计,带有这种误差的测量结果亦毫无意义。因此,必须加强责任感,严肃认真地进行测量工作,以避免产生疏忽误差。

(三) 系统误差

对同一被测量进行多次测量时,所测量的数值大小和正负号都相同,或按一定规律变化的误差,称为系统误差。这种误差可以通过实验或分析的方法,查明其变化规律及产生的原因,对测量结果加以修正,或采取一定措施,改善测量条件及测量方法,进行一次新的测量,以减少或排除这种误差。但是,不能依靠增加测量次数的方法来减少或消除系统误差。

系统误差通常是由以下几个方面造成的。

1. 工具误差 由于使用的测量工具结构不完善,或零部件制造时存在缺陷与偏差而造成的系统误差。例如,温度计分度的不均匀、圆形刻度盘与指针轴不同心等。

2. 调整误差 由于测量前将仪器或待测件的安装位置(或状态)不正确而造成的系统误差。例如,使用零点调整不准的电气仪表作检测工作等。

3. 习惯误差 这是由于测量者的习惯而造成的系统误差。例如,用肉眼在刻度上估读时,习惯地偏向一个方向;或者在用计量仪表计时,习惯于提前或落后等。

4. 条件误差 这是由于测量过程中条件的改变而造成的系统误差。例如,测量过程中一些条件按一定规律发生变化(如温度、气压、湿度、气流、振动等)带来的误差。

5. 方法误差 这是由于采用的测量方法或数学处理方法不完善而产生的系统误差。例如,在计算时采用了近似计算方法或不恰当地忽略了一些数值等。

三、偶然误差的分布规律

当对同一被测量进行无限次的等精度重复测量时,则可得到一系列测得值(常称为测量列),设测量列中没有影响测量结果的系统误差和疏忽误差,如果从测量列中求得的各个偶然误差 δ 和同一数值误差的次数 Y ,按 δ 与 Y 一一对应关系在直角坐标系中可以描出一系列的点,则各点的连线为一曲线,这条曲线称为偶然误差的正态分布曲线,也称高斯正态分布曲线或高斯曲线,见图1-1。

从偶然误差正态分布曲线可以看出,在等精度测量条件下,偶然误差有以下几个基本特点。

(1) 在偶然误差中,数值为正的误差与数值为负的误差数目相等;

(2) 数值大小相等、符号相反的偶然误差的数目

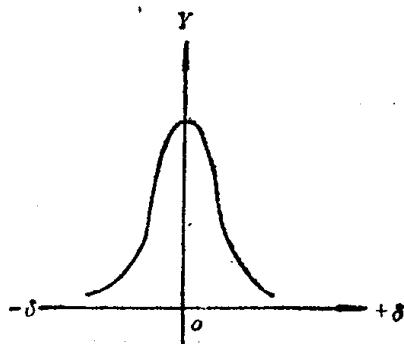


图 1-1 偶然误差正态分布曲线

相等；

(3) 绝对值小的误差比绝对值大的误差的数目多；

(4) 在一定测量条件下，偶然误差不会超过某一极限数值。

在测量列中，如果数值小的偶然误差数目越多，数值大的偶然误差数目越少，那么该测量的可靠性越大。这种情况反映在偶然误差正态分布曲线上，即曲线越陡，偶然误差的极限值范围越小，可靠性越高；反之，则可靠性越低。由此可见，偶然误差正态分布曲线的陡与平，标志着该测量列的可靠性大与小。

四、被测量的平均值

假定对同一量进行一系列的等精度直接测量，得到一组测得值 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 。设该被测量的真值为 L_z ，各偶然误差（即各测得值与真值之差）为 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ ，则有：

$$L_z = l_1 - \delta_1$$

$$L_z = l_2 - \delta_2$$

$$\dots\dots$$

$$L_z = l_n - \delta_n$$

将上式相加得：

$$\begin{aligned} nL_z &= \sum l - \sum \delta \\ L_z &= \frac{\sum l}{n} - \frac{\sum \delta}{n} \end{aligned} \quad (1-3)$$

根据偶然误差正态分布理论，当测量次数 n 趋向无穷大时，有

$$\frac{\sum \delta}{n} = 0$$

故式 (1-3) 可改写为：

$$L_z = \frac{\sum l}{n} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} \quad (1-4)$$

式 (1-4) 说明，当测量次数无限多时，被测量的算术平均值即为该量的真值。但是，实际上是得不到真值的，因为我们不可能进行无穷多次的测量。然而可以做有限次数的测量，求出算术平均值是完全可能的，因此，以算术平均值 L 作为被测量真值的近似值也是合理的，即

$$L = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{\sum l_i}{n} \quad (1-5)$$

在实际工作中，当测量次数 n 比较多时，按 (1-5) 式计算算术平均值是极其繁琐的，为简化计算，可先假定一个算术平均值 L' ，按各测得值 $l_1, l_2, \dots, l_n$ 与此假定算术平均值 L' 的差值，求出各个假定的剩余误差 $\nu'_1, \nu'_2, \dots, \nu'_n$ ，则所求算术平均值 L 可由下式求出：

$$L = L' + \frac{\sum \nu'_i}{n} \quad (1-6)$$

式中 $\sum \nu'_i$ ——假定剩余误差的总和。

测得值 l_i 与算术平均值 L 之差，称为剩余误差，即

$$v_i = l_i - L \quad (1-7)$$

测得值与假定算术平均值 L 之差, 称为假定的剩余误差, 即

$$v'_i = l_i - L' \quad (1-8)$$

五、被测量的均方误差

均方误差 σ 是表征测量中任一测得值的精度参数, 即不仅可由均方误差检验测量列中是否存在疏忽误差和系统误差, 并且还可据此求出测量结果的精度(即算术平均值的精度)。

在等精度直接测量中, 如果能查明所出现的各个偶然误差为 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$, 则即可从下式求出它们的均方误差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n}} \quad (1-9)$$

但由于无法得知被测量的真值, 因此各偶然误差的大小亦无法得知, 只能从测量列中求出被测量的各个剩余误差 v_i , 故实际工作中测量列的均方误差可用式 (1-10) 求出:

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

式中 $v_1, v_2, \dots, v_n$ ——分别为各剩余误差。

当测量的次数 n 较大时, 为了简化计算, 剩余误差 v_i 也可以从假定的剩余误差 v'_i 求出:

$$\begin{aligned} v_i &= v'_i - \frac{v'_1 + v'_2 + \dots + v'_n}{n} \\ &= v'_i - \frac{\sum v'_i}{n} \end{aligned} \quad (1-11)$$

同样, 剩余误差的平方和也可从假定剩余误差求出:

$$\begin{aligned} \sum (v_i^2) &= \sum \left(v'_i - \frac{\sum v'_i}{n} \right)^2 \\ &= (v_1'^2 + v_2'^2 + \dots + v_n'^2) - \frac{(v'_1 + v'_2 + \dots + v'_n)^2}{n} \\ &= \sum (v'_i)^2 - \frac{(\sum v'_i)^2}{n} \end{aligned} \quad (1-12)$$

当测量的次数 n 很大时, 为了减少计算测量列均方误差 σ 的工作量, 可以用剩余误差绝对值的和代替剩余误差的平方和进行计算, 根据偶然误差正态分布理论, 均方误差为:

$$\sigma = 1.2533 \frac{\sum |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \approx \frac{5}{4} \frac{\sum |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \quad (1-13)$$

式中 $\frac{\sum |v_i|}{\sqrt{n(n-1)}}$ ——测量列的平均算术误差。

若以 θ 表示测量列的平均算术误差, 则

$$\sigma = 1.2533 \theta \approx \frac{5}{4} \theta \quad (1-14)$$

了解均方根误差的实际意义是: 对于次数很多的连续测量, 偶然误差值在 $0 \sim \pm \sigma$ 范

围内的测量值约占 68%；超过 $\pm\sigma$ 的测量值约占 32%。因此，连续测量可能的最大误差（极限误差）；可用下式计算：

$$\delta_{max}=3\sigma \tag{1-15}$$

极限误差的特征是在一定的连续测量中，可能发生的最大偶然误差（按绝对值来说）不会超过 3σ 。

六、疏忽误差的检验

在测量的测得值中，有时会出现一个或几个绝对值特别大的数值，如何判断这些数值是正常出现的还是因为测量时的疏忽而产生的呢？

由于绝对值越大的偶然误差，其出现的可能性越小，并且其数值不会超过某一定的范围。因此，可以选择一个鉴别值的数值去和各个测得值的剩余误差相比较，如果发现某个剩余误差的绝对值大于鉴别值，则可肯定该测得值中含有疏忽误差。实际应用中，可采用莱因达准则。根据剩余误差的极限值不会大于均方误差的三倍这一结论，凡大于三倍均方误差值的剩余误差，均可视为不遵守偶然误差正态分布规律的疏忽误差而将其剔除不用。

莱因达准则的鉴别值为：

$$K_L=3\sigma$$

例如，对温度恒为 20 摄氏度的恒温室测温 15 次，测得值列入表 1-5 中，其算术平均值为：

$$L_1=20.404^{\circ}\text{C}$$

测 量 记 录 表 1-5

测 得 值 序 号	测 得 值 L_i	剔除疏忽误差前		剔除疏忽误差后	
		剩余误差 $\nu_i=L_i-L_1$	剩余误差的平方 ν_i^2	剩余误差 $\nu_{11}=L_i-L_{11}$	剩余误差的平方 ν_{11}^2
1	20.42°C	+0.016°C	0.000256	+0.009°C	0.000081
2	43	+0.026	676	+0.019	361
3	40	-0.004	016	-0.011	121
4	43	+0.026	676	+0.019	361
5	42	+0.016	256	+0.009	081
6	43	+0.026	676	-0.019	361
7	39	-0.014	196	-0.021	441
8	30	-0.104	0.010816	—	—
9	40	-0.004	016	-0.011	121
10	43	+0.026	676	+0.019	361
11	42	+0.016	256	+0.009	081
12	41	+0.006	056	-0.001	001
13	39	-0.014	196	-0.021	441
14	39	-0.014	196	-0.021	441
15	40	-0.004	016	-0.011	121
$L_1=20.404^{\circ}\text{C}$ $L_{11}=20.411^{\circ}\text{C}$			$\Sigma \nu_i^2$ =0.01496		$\Sigma \nu_{11}^2$ =0.003374