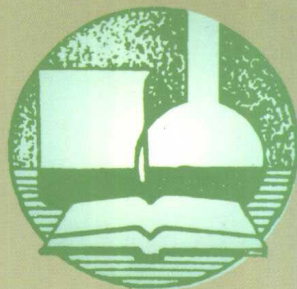


中等专业学校教材



过程控制仪表

辽宁省石油化工学校 刘巨良 主编

化学工业出版社

中等专业学校教材

过程控制仪表

辽宁省石油化工学校 刘巨良 主编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

过程控制仪表/刘巨良主编. —北京:化学工业出版社,
1998(1999.6重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-5025-2009-0

I. 过… II. 刘… III. 化工过程-过程控制-控制仪表
IV. TQ056.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22959 号

中等专业学校教材

过程控制仪表

辽宁省石油化工学校 刘巨良 主编

责任编辑:唐旭华

责任校对:陈 静

封面设计:宫 历

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 27 $\frac{1}{4}$ 插页 2 字数 679 千字

1998 年 4 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 2 次印刷

印 数:5001—9000

ISBN 7-5025-2009-0/G·571

定 价:35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

本书是根据全国化工中专教学指导委员会于1996年8月颁布的《过程控制仪表》教学大纲（四年制）要求而编写的，作为工业仪表及自动化专业教材。

本书紧紧围绕中等专业学校的培养目标，体现中专特色，从培养中等工程技术应用型专门人才出发，以典型性、针对性、实用性和需要够用为度的原则，加强理论联系实际，侧重动手能力培养，突出仪表的原理、特性和应用。

本书将气动仪表和电动仪表的主要内容融为一体，打破中专教材的传统体系，删除工业生产过程中已应用较少的仪表内容（如DDZ-I型仪表），增加了有代表性的新型仪表。

本书按模拟控制仪表、数字控制仪表、附录分为两篇三部分叙述，以变送单元、调节单元、执行单元和可编程调节器为重点。在介绍仪表时，尽量避免繁琐的公式推导，强化概念，突出应用；注重启发学生思维，增强学生分析问题和解决问题能力；对于仪表的调校、使用、故障分析处理等实践性很强的内容本书均有详细叙述；各章附有本章小结、思考题与习题，以帮助学生归纳和消化学习内容。全书采用国家最新标准和国际单位制。

按大纲规定，模拟控制仪表部分为教学的基本内容，三种可编程调节器（SLPC、KMM、PMK）为选学内容，在实际教学中各校可根据本地实际情况进行取舍，以保证教学总学时不超过110学时。

参加本书编写工作的有：辽宁省石油化工学校刘巨良（绪论、第一章、第二章第一、二、三、四、五节、第三章、第四章、第十章、第十一章、附录二），张丽文（第二章第六节），泸州化工学校刘晓伟（第五章、第七章、第八章、第九章），河北化工学校王增瑞（第六章、附录一）。全书由刘巨良统稿，南京化工学校张祖鹰同志主审，山东省化工学校陈金国同志和河南省化工学校张虎同志参审。

本书在编写过程中曾广泛参考了有关单位和个人编写的各种书刊资料，得到了全国化工中专教学指导委员会副主任尹廷金同志的热情帮助和指导，同时参加编审人员的所在学校有关领导也给予了大力支持并提供了很多方便条件，在此一并深表谢意。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1997年4月

内 容 提 要

《过程控制仪表》是中等专业学校工业仪表及自动化专业的教学用书。全书分为模拟控制仪表和数字控制仪表两篇并进行了系统叙述，第一篇详细讲述了 DDZ-Ⅲ 型仪表的变送器、调节器、乘除器、开方器、安全栅和气动薄膜调节阀的构成原理，线路分析、使用方法及调校故障分析处理等内容。第二篇具体讲述了可编程调节器的特点，基本工作原理，详细分析了 SLPC、KMM、PMK 可编程调节器的软、硬件功能，编程方法和应用等内容。

本书除作为专业教材外，也可供从事工业仪表及自动化工作的工程技术人员和仪表工阅读参考。

目 录

绪论	1
一、过程控制仪表与控制系统	1
二、过程控制仪表的分类	1
三、过程控制仪表的发展	2
四、过程控制仪表的信号制与传输方式	3
五、本课程的性质和任务	6
思考题与习题	7

第一篇 模拟控制仪表

第一章 模拟控制仪表概述	8
第一节 模拟控制仪表的特点、品种分类和型号命名	8
一、DDZ-Ⅲ型仪表的特点	8
二、品种分类	9
三、型号命名	10
第二节 安全火花型防爆仪表的基本知识	12
一、安全火花型防爆仪表的基本概念	12
二、安全火花型防爆仪表的品种和防爆系统	12
三、安全火花型防爆仪表的使用环境温度	13
四、仪表的防爆等级标志	14
本章小结	14
思考题与习题	14
第二章 变送单元	15
第一节 概述	15
一、变送单元的用途和种类	15
二、变送器的构成原理	15
三、变送器的量程调整、零点调整和零点迁移	16
第二节 矢量机构式差压变送器	16
一、概述	16
二、原理结构与线路分析	17
三、调校	26
四、故障分析与处理	26
第三节 电容式差压变送器	28
一、概述	28
二、结构原理与线路分析	28
三、调校	38
四、故障检查与排除方法	39
第四节 其他差压变送器简介	41

一、扩散硅式差压变送器	41
二、振弦式差压变送器	42
三、DELTAPIK 系列电感式变送器	44
* 四、气动差压变送器	48
第五节 差压变送器的应用	53
一、应用举例	53
二、差压变送器的选用原则	56
三、差压变送器的安装	57
四、差压变送器使用时注意事项	57
第六节 DDZ-Ⅲ型温度变送器	58
一、直流毫伏变送器	58
二、热电偶温度变送器	64
三、热电阻温度变送器	68
四、安全火花型防爆措施	71
五、调校	71
六、故障分析与处理	73
本章小结	74
思考题与习题	75
第三章 调节单元	77
第一节 调节器的运算规律	77
一、概述	77
二、调节器的运算规律	77
三、PID 运算规律的构成	82
第二节 DDZ-Ⅲ型调节器	83
一、概述	83
二、基型调节器线路分析	84
第三节 基型调节器的调校	97
一、校验接线	97
二、校验方法和步骤	97
第四节 基型调节器的使用与维护	101
一、使用与维护	101
二、调节器的故障检查	103
本章小结	103
思考题与习题	104
第四章 运算单元	106
* 第一节 DDZ-Ⅲ型加减器	106
一、概述	106
二、工作原理	106
三、线路分析	107
四、运算系数设定和调校方法	110
第二节 DDZ-Ⅲ型乘除器	112

注：带“*”的内容供选修

一、概述	112
二、工作原理	112
三、线路分析	114
四、使用条件	119
五、调校	119
六、常见故障检查及处理	123
七、应用	123
第三节 DDZ-Ⅲ型开方器	127
一、概述	127
二、工作原理	127
三、线路分析	129
四、调校	134
五、常见故障检查及处理	135
本章小结	135
思考题与习题	136
第五章 显示单元	137
第一节 DDZ-Ⅲ型比例积算器	137
一、概述	137
二、工作原理	138
三、线路分析	140
四、调校	142
五、常见故障及排除方法	143
第二节 气动指示记录调节仪	143
一、基本构成	143
二、测量指示机构和给定机构	143
三、调节单元	145
四、双向无平衡无扰动切换机构	147
五、调校	150
本章小结	151
思考题与习题	152
第六章 执行单元	153
第一节 气动调节阀的作用及构成原理	153
一、执行器在过程控制系统中的作用及组成	153
二、气动执行器的特点	153
三、气动调节阀的结构原理	153
第二节 调节阀的节流原理	160
一、调节阀的节流原理和流量系数	160
二、流体在调节阀中的流动状态	162
第三节 调节阀流量系数的计算	163
一、一般液体的C值计算	164
二、高粘度液体的C值计算	165
三、一般气体的C值计算	167
四、蒸汽的C值计算	168

第四节	气动调节阀的选择	169
一、	气动调节阀类型的选择	169
二、	调节阀流量特性的选择	170
三、	调节阀口径的确定	171
四、	调节阀材料的选择	177
第五节	调节阀气蚀的避免	178
一、	空化的破坏作用	178
二、	避免空化和气蚀的方法	178
第六节	气动调节阀的性能测试方法	179
一、	气动调节阀的主要性能指标	179
二、	性能测试基本方法	179
第七节	气动调节阀的安装、维护及其应用	181
一、	气动调节阀的安装	181
二、	气动调节阀的故障与维修	181
三、	气动调节阀的应用实例	182
	本章小结	183
	思考题与习题	183
第七章	其他单元	184
第一节	安全栅	184
一、	概述	184
二、	隔离式安全栅	185
三、	调校	189
第二节	配电器	190
一、	概述	190
二、	线路分析	190
三、	调校	192
第三节	手动操作器	193
一、	概述	193
二、	固定式操作器	193
三、	固定式操作器的调校	194
第四节	电源箱	196
一、	概述	196
二、	线路分析	196
三、	调校	200
第五节	电/气转换器和电/气阀门定位器	201
一、	概述	201
二、	电/气转换器	202
三、	电/气阀门定位器	202
四、	电/气阀门定位器的调校	204
	本章小结	205
	思考题与习题	205

第二篇 数字控制仪表

第八章 数字控制仪表概述	206
第一节 数字控制仪表的兴起	206
第二节 数字调节器的特点和基本构成	207
一、特点	207
二、基本构成	208
第三节 数字调节器的软件技术	210
一、系统软件	210
二、应用软件	211
本章小结	211
思考题与习题	212
第九章 SLPC * E 可编程调节器	213
第一节 结构原理	213
一、外形结构	213
二、硬件结构	218
三、功能结构和信息流程	220
第二节 功能模块	224
一、用户程序结构和运算寄存器的动作	224
二、功能模块介绍	225
第三节 控制功能模块及其应用	233
一、控制要素	233
二、基本控制功能 (BSC)	236
三、串级控制功能 (CSC)	247
四、选择控制功能 (SSC)	253
第四节 SPRG * E 编程器和用户程序的编制	257
一、SPRG * E 编程器	257
二、程序输入与编辑	260
三、仿真程序及试运行	261
四、用户程序的编制实例	263
第五节 专家自整定功能	266
一、STC 的基本原理	266
二、自整定的设定方法	267
三、STC 和控制回路的关系	268
第六节 投运与维护	268
一、SLPC * E 的投运和参数整定	268
二、SLPC * E 的维护	269
三、SLPC * E 的通讯功能	270
本章小结	272
思考题与习题	273
第十章 KMM 可编程调节器	276
第一节 结构原理	276

一、外形结构	276
二、硬件结构	278
三、软件结构	279
第二节 功能模块	281
一、输入处理模块	281
二、运算模块	283
第三节 控制类型与运行方式	292
一、控制类型	292
二、无扰动切换	294
三、运行方式	296
四、通讯功能	297
第四节 控制数据表及填写方法	298
一、基本数据表 (F001)	298
二、输入处理数据表 (F002)	299
三、PID 运算数据表 (F003)	301
四、折线数据表 (F004)	303
五、可变参数表 (F005)	304
六、输出处理数据表 (F006)	304
七、运算单元数据表 (F101~F130)	305
第五节 编程	305
一、用一台 KMM 调节器进行压力单变量控制	305
二、用一台 KMM 调节器模拟单变量控制系统	309
三、编程组态中常遇到的几个问题	313
第六节 编程器及其使用	315
一、KMK101 编程器	315
二、数据登录	318
三、运算单元的添加或删除	320
四、打印清单和出错显示	321
五、检查功能	322
六、用户 EPROM 的写人与读出	323
第七节 操作与维护	323
一、辅助开关	323
二、数据设定器	324
三、故障诊断	327
四、调校	328
五、常见故障与处理	330
六、维护、使用中的注意事项	331
第八节 应用	331
一、锅炉汽包水位控制系统	331
二、变比例度控制	332
三、热效率控制系统	333
四、程序控制	334
五、加热炉前馈/串级控制	335

六、锅炉汽包水位单冲量/三冲量自动控制	336
本章小结	338
思考题与习题	338
第十一章 PMK 可编程调节器	340
第一节 结构原理	340
一、外形结构	340
二、硬件结构	347
第二节 模块	349
一、模块概述	349
二、输入模块	349
三、控制模块	353
四、运算模块	361
五、输出模块	367
第三节 控制功能	370
一、基本控制功能 (2nd PID)	370
二、串级控制功能 (1st PID+2nd PID)	370
三、比率控制功能 (R+PID)	372
四、程序控制功能 (PGC+PID)	372
第四节 设定单元	373
一、功能	373
二、结构	373
三、显示和设定数据种类	376
四、键的操作方法	385
第五节 编程	387
一、填写模块连接图	387
二、程序输入	390
三、编程实例	393
第六节 操作与维护	399
一、调节器的操作	399
二、常用运行方式的切换操作	400
三、调节器的维护	401
四、自动报警	402
第七节 应用	402
一、自动选择控制	402
二、前馈控制	404
三、锅炉汽包水位的三冲量控制	405
本章小结	407
思考题与习题	408
附录	410
附录一 调节阀计算、选择资料	410
一、气动薄膜调节阀型号编制说明	410
二、调节阀额定流量系数 K_v 的计算	410
三、气动薄膜直通单、双座调节阀基本参数	412

四、气体的压缩因数图	413
五、气体的物理性质图表	414
六、液体的物理性质表	416
七、抗腐蚀材料选择表	417
八、调节阀用填料	420
九、柔性石墨耐化学腐蚀性能表	420
附录二 本书主要符号说明	420
一、原则	420
二、符号	420
主要参考文献	423

绪 论

一、过程控制仪表与控制系统

过程控制仪表是实现工业生产过程自动化的重要工具，它被广泛地应用于石油、化工等各工业部门。在自动控制系统中，过程检测仪表将被控变量转换成电信号或气压信号后，除了送至显示仪表进行指示和记录外，还需送到控制仪表进行自动控制，从而实现生产过程的自动化，使被控变量达到预期的要求。

由单元组合仪表构成的简单控制系统如图 0-1 所示。图中控制对象代表生产过程中的某个环节，控制对象输出的是被控变量（如压力、流量、温度、液位等工艺变量）。这些工艺变量经变送单元转换成相应的电信号或气压信号后，一方面送显示单元供指示和记录，同时又送到调节单元中，与给定单元送来的给定值进行比较。调节单元将比较后的偏差值进行一定的运算后，发出控制信号，控制执行单元的动作，将阀门开大或关小，改变控制量（如生产工艺中的燃料油、蒸汽等介质流量的多少），直至被控变量与给定值相等为止。

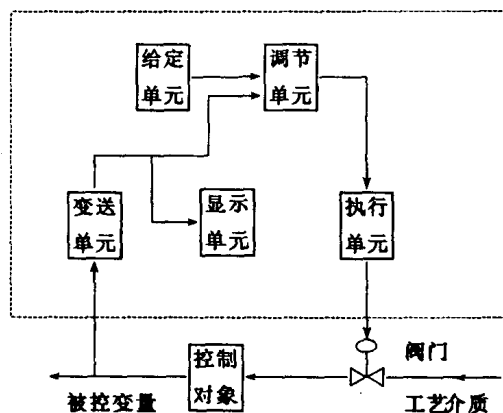


图 0-1 单元组合仪表构成的简单控制系统方框图

由图 0-1 可以看出，对于不同的控制对象只需变更一个或几个单元仪表，就可以组成各种不同的控制系统。为满足各种复杂控制系统的需要，除了图中给出的几种基本单元外，还有运算单元、转换单元、辅助单元等。

二、过程控制仪表的分类

（一）按能源形式分类

过程控制仪表按所使用能源的不同，可分为液动控制仪表、气动控制仪表和电动控制仪表，通常气动控制仪表和电动控制仪表使用较为普遍。

气动控制仪表采用 $1.4 \times 10^2 \text{kPa}$ 的压缩空气为能源，它的特点是结构简单、价格便宜、性能稳定、工作可靠、安全防爆、易于维修。特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。其中气动执行器在各种控制仪表组成的各类控制系统中得到了十分广泛的应用。

电动控制仪表采用 220V 交流供电，或 24V 直流供电，以电流或电压为传输信号。它的主要特点是能源选取方便，信号传送快，无滞后，传输距离远；是实现远距离集中显示和控制的理想仪表，并易于与计算机等现代技术工具联用；由于采用了直流低电压、小电流的安全火花电路以及安全栅等措施，有效地解决了防爆问题；因而这类仪表同样能应用于易燃易爆的危险场所。

（二）按结构形式分类

按结构类型过程控制仪表可分为基地式控制仪表、单元组合式控制仪表、组件组装式控制仪表等。

1. 基地式控制仪表

这类仪表是以指示、记录仪表为主体，附加某些控制机构而组成。基地式控制仪表一般结构比较简单、价格便宜，它不仅能够对某些工艺变量进行指示或记录，而且还具有控制功能，因此它比较适用于单变量的就地控制系统。

目前常使用的 XCT 系列动圈式控制仪表和 TA 系列简易式调节器即属此类仪表。

2. 单元组合式控制仪表

这类仪表是根据检测系统和控制系统中各组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表划分成能独立实现一定功能的若干单元，各单元之间采用统一信号进行联系。使用时可根据控制系统的需要，对各单元进行选择 and 组合，从而构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

在我国广泛使用的单元组合式控制仪表有电动单元组合仪表（DDZ 型）和气动单元组合仪表（QDZ 型）。这两种仪表不仅可以各自灵活地组合成各种控制系统，还可以联合使用。电动单元组合仪表还能与巡回检测、数据处理装置以及工业控制机等配合使用。这类仪表使用灵活，通用性强，同时，使用、维护工作也很方便。它适用于各种企业的自动控制。

3. 组件组装式控制仪表（或装置）

组件组装式控制仪表，是一种功能分离、结构组件化的成套仪表（或装置）。它以模拟器件为主，兼用了模拟技术和数字技术。整套仪表（或装置）在结构上由控制柜和操作台组成，控制柜内安装的是具有各种功能的组件板，采用高密度安装，结构紧凑。这种控制仪表（或装置）特别适用于要求组成各种复杂控制和集中显示操作的大、中型企业的自动控制系统。

其中国产的 TF 型、MZ-Ⅲ 型以及 SPEC200 等组装仪表即属此类控制仪表。

（三）按信号形式分类

按信号形式过程控制仪表可分为模拟控制仪表和数字控制仪表两大类。

模拟控制仪表的传输信号和它所处理的信号通常为连续变化的模拟量，如气压信号、直流电压信号或直流电流信号。这种仪表由于生产、使用的历史较长，并经历了多次的升级换代，无论是制造者还是使用者都积累了丰富的经验。尤其在当前变送器和执行器都是模拟式的情况下，选用模拟式控制仪表组成控制系统，一般是简单易行的。

其中 DDZ 型仪表和 QDZ 型仪表都属于模拟控制仪表。

数字控制仪表的外部传输信号有两种，即连续变化的模拟量和断续变化的数字量。但它内部处理的信号都是数字量，即直接输入的数字量或经模/数转换输入的数字量。这种仪表的特点是以微处理器为核心，模拟仪表和计算机一体化，模拟技术与数字技术混合使用，并保留了模拟控制仪表（调节器）的面板操作形式；其控制功能、运算功能由软件完成，编程技术采用模块化、表格化；并具有通讯功能和自诊断故障功能。

国内相继引进生产、应用的 SLPC 可编程调节器、KMM 可编程调节器、PMK 可编程调节器等都属于数字控制仪表。

三、过程控制仪表的发展

过程控制仪表的主体是气动控制仪表和电动控制仪表，它们的发生和发展分别经历了基地式、单元组合式（Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型）、组装式及数字智能式等几个阶段。

在 60 年代初，随着工业生产的不断发展，尤其是石油与化学工业的发展，对过程控制和自动化仪表提出了新的要求，在过程控制仪表方面，开始大量采用单元组合式仪表。当时国内使用的单元组合式仪表是以气动放大器为放大元件的 QDZ-Ⅰ 型仪表和以电子管为放大元

件的 DDZ- I 型仪表。同时开始研制以晶体管为放大元件的 DDZ- II 型仪表并投入使用,从而将过程控制仪表逐步推向成熟阶段,使自动化水平不断提高。

70 年代中期,以集成运算放大器为主要放大元件,具有国际标准信号制(4~20mA DC)和安全防爆功能的 DDZ- III 型仪表试制成功,并开始投入使用。同时 QDZ- I 型仪表也发展到 I、III 型阶段。所以,DDZ- I、III 型仪表和 QDZ- I、III 型仪表同时并存了二十几年,它们为我国工业生产自动化起到了有力的促进作用。

80 年代以来,由于各种高新技术的飞速发展,我国开始引进和生产以微型计算机为核心,控制功能分散(从而使危险分散),显示操作集中的分散型综合控制系统(DCS)。从而将过程控制仪表及装置推向高级阶段。这一阶段世界各国的过程控制仪表及装置的生产厂家竞争激烈,纷纷推出功能繁多、系列齐全、配接灵活、扩展方便的先进控制装置(DCS)和智能自动化系统。随着微处理器芯片价格的不断下降,以致用它来构成控制一个回路的微机化控制仪表的成本和常规模拟控制仪表的价格比较接近;从而诞生了单回路可编程调节器,并进一步系列化后发展成智能式单元组合仪表(如 DDZ-S 系列仪表)。它是常规单元组合仪表向微机化仪表发展的产物。为了获得较高的性能价格比,近几年国内一些厂家在权衡了仪表的性能、可靠性和价格后,研制出了 2~4 回路的可编程调节器。

二十几年来在现场变送器方面也有了突飞猛进的发展,它经历了双杠杆式、矢量机构式、微位移式(电容式、扩散硅式、电感式、振弦式)、智能式几个阶段,使过程检测的可靠性、稳定性,精度都有很大的提高,为过程控制提供了更可靠的保证。

可以断定,以微处理器为基础的数字式智能仪表或装置,是过程控制仪表或装置的发展方向。

四、过程控制仪表的信号制与传输方式

为了方便有效地把自动化系统中各类现场仪表与控制室内的仪表和装置连接起来,构成各种各样的控制系统,仪表之间应有统一的标准信号进行联络和合适的传输。

(一) 信号制

信号制是指在成套仪表系列中,各个仪表的输入输出之间采用何种统一的标准信号进行联络和传输的问题。

采用统一标准信号后,可使同一系列的各种仪表很容易地构成系统,还可通过各种转换器,将不同系列的仪表连接起来混合使用,从而扩大了仪表的应用范围。另外,由于各种变量被转换为统一的标准信号,因此各类控制仪表同工业控制计算机或分散型控制系统等现代化技术工具配合使用,也更加方便。

过程控制仪表使用的联络信号一般可分为气压信号和电信号。对于气动控制仪表,国际上统一使用 20~100kPa 的模拟气压信号,作为仪表之间的联络与传输信号制。如国产的 QDZ 型仪表就采用这种信号制。

电动控制仪表联络与传输信号主要是模拟信号和数字信号两大类。在实际应用中,无论是从现场仪表传输至控制室,还是控制室内的各仪表之间的联络信号,用得最多最普遍的还是模拟信号。即使是数字式仪表(如单回路可编程调节器),除了保证同类仪表使用数字信号进行联络外,还设有输入、输出模拟信号,以达到同模拟式仪表相配合使用的目的。电动模拟信号在国际上规定的统一标准信号制是:4~20mA DC,或 1~5V DC。国产的 DDZ- III 型仪表就采用这种信号制。

鉴于模拟信号是过程控制仪表和装置中所采用的主要联络和传输信号,故这里将重点讨

论模拟信号的有关问题。

(二) 电模拟信号制及传输方式

电模拟信号有直流电流、直流电压、交流电流、交流电压四种。直流信号不受传输线路中的电感、电容及负荷性质的影响，抗干扰能力强，不存在相移问题；用直流信号容易进行模数转换，从而可方便地与工业控制计算机或分散型控制系统等配合使用；直流信号获取方便、应用灵活。所以，在过程控制仪表及装置中直流信号得到了广泛的应用，在世界各国都以直流电流和直流电压作为统一信号。

1. 电流发送-电流接收方式

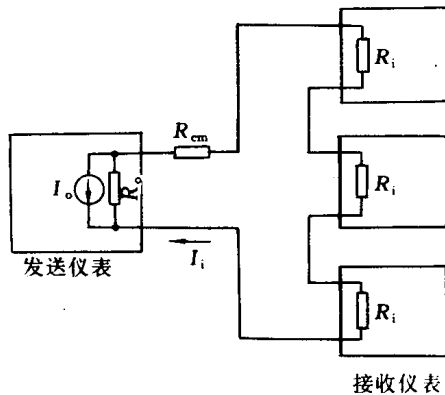


图 0-2 电流信号传输时仪表之间的连接

应用直流电流作为传输信号时，一台发送仪表的输出电流同时传输给几台接收仪表，所有接收仪表均应串联。如图 0-2 所示。DDZ-I 型仪表即属这种传输方式。

因为发送仪表的输出电阻 R_o 不可能是无穷大，在负载电阻和传输导线电阻变化时，输出电流也将发生变化，从而引起传输误差。

电流信号的传输误差可用下式表示：

$$\epsilon = \frac{I_o - I_i}{I_o} = \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o + R_{cm} + nR_i} \times 100\% \quad (0-1)$$

为保证传输误差 ϵ 在允许误差范围之内，要求

$R_o \gg R_{cm} + nR_i$ ，故有

$$\epsilon \approx \frac{R_{cm} + nR_i}{R_o} \times 100\% \quad (0-2)$$

式中 R_{cm} ——连接导线电阻；

R_o ——发送仪表输出电阻；

R_i ——接收仪表输入电阻；

n ——接收仪表的台数。

由式 (0-2) 可见，发送仪表的 R_o 越大，接收仪表 R_i 的总和及 R_{cm} 越小，则信号传输误差越小。

实际上，发送仪表的输出电阻 R_o 均很大，相当一个恒流源；接收仪表的输入电阻都较小，当多台接收仪表串联后其传输导线的长度在较大范围内变化（即远距离传输）时，仍能保证信号的传输精度。此外，对于要求电压输入的仪表，可在电流回路中串入一个合适电阻，从该电阻两端引出电压，供给接收仪表。所以说直流电流信号传输取压方便，应用也灵活。

用电流传送、电流接收信号时，由于多台仪表是串联工作的，当一台仪表出故障时，将影响其他仪表正常工作；各台接收仪表没有公共接地点，若要和计算机等其他装置联用，则需在仪表的输入、输出之间采用直流隔离电路；因为负载串联工作，所以造成变送器、调节器等仪表输出端处于高电压工作状态，使仪表的功放管易被击穿损坏，从而使仪表可靠性降低。

2. 电压发送-电压接收方式

应用直流电压作为传输信号时，一台发送仪表的输出电压要同时送给几台接收仪表，这些接收仪表均应并联。如图 0-3 所示。在控制室中的 DDZ-III 型各接收仪表之间和 TF 型组装