

技术工人岗位培训读本

YIBIAO WEIXIUGONG

仪表维修工

第二版

吉化集团公司
付宝祥 王桂云

组织编写
施引萱 编



化学工业出版社

技术工人岗位培训读本

YIBIAO WEIXIUGONG

仪表维修工

第二版

吉化集团公司 组织编写
付宝祥 王桂云 施引萱 编



化学工业出版社

· 北京 ·

定价：25.00元

ISBN 7-122-01000-0

本书是《技术工人岗位培训读本》(第二版)之一。本书第一版自2001年出版以来,销售情况良好,一直受到广大读者的欢迎。第二版在第一版基础上,删除了陈旧的仪表内容,更详细地讲述了DCS、PLC、ESD等技术。本书较系统地介绍了各种检测仪表的工作原理、使用、维护和检修方法,介绍了各种控制系统的构成与应用,介绍了执行器的选型、常见故障及处理方法。本书紧密结合企业的生产实际,突出技能操作的实际应用。

本书可作为化工、石化、炼油、冶金、电力等流程工业的仪表维修工的培训教材,也可供仪表工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

仪表维修工/付宝祥,王桂云,施引萱编. —2
版. —北京:化学工业出版社,2007.10
(技术工人岗位培训读本)
ISBN 978-7-122-01249-4

I. 仪… II. ①付…②王…③施… III. 仪表-维
修-技术培训-教材 IV. TH707

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第151733号

责任编辑:刘哲

文字编辑:高震

责任校对:顾淑云

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张12¼ 字数327千字

2008年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00元

版权所有 违者必究

《技术工人岗位培训读本》 编写委员会

主 任 谢钟毓

副主任 刘振东 焦海坤 孔祥国 魏 然

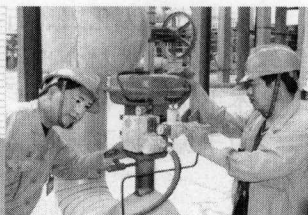
委 员 (按姓氏笔画排序)

牛玉山 孙祥国 刘勃安 刘振东

刘焕臻 李 固 张增泰 焦海坤

谢钟毓 魏 然

第二版前言



《技术工人岗位培训读本》第一版自 2001 年出版以来，销售情况良好，一直受到读者普遍欢迎，在技术工人岗位培训中发挥了积极的作用，帮助广大技术工人提高了理论水平和实际操作技能，增强了在科技飞速发展、市场经济体制下的竞争能力。

为了满足广大初、中级技术工人学习知识技能、竞争上岗的需求，适应科学技术和企业生产发展的需要，我们对这套《技术工人岗位培训读本》进行了修订。《仪表维修工》（第二版）是其中之一。

自动化仪表是现代工业生产过程中的重要设备之一，它的正常工作是安全、高效生产的保证。《仪表维修工》第一版问世以来，得到了广大读者的认可。但随着自动化仪表的不断进步，书中内容有所欠缺。《仪表维修工》（第二版）针对广大读者在第一版使用时提出的一些建议进行了全面修订，但仍然保持了第一版的实用性、新颖性和通用性等特点，更加贴近技术工人的工作和学习。

第二版是在第一版的基础上，删除了陈旧的仪表内容，更详细地讲述了 DCS、PLC、ESD 等技术，并增加了一些新型仪表的介绍。本书较系统地介绍了各种检测仪表的工作原理、使用、维护和检修方法，各种控制系统的构成与应用，执行器的选型、常见故障及处理方法。

本书可作为化工、石化、炼油、冶金、电力等流程工业的仪表维修工的培训教材，也可供仪表工程技术人员参考。

本书由孔令海审核。

由于编者水平所限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

第一版前言



为了满足企业技术工人岗位培训的需要,不断提高技术工人的理论技术水平和实际操作技能,增强技术工人在科技飞速发展形势下的技术素质,以及在市场经济体制下的竞争能力,根据国家石油和化学工业局关于进行化工职业培训的要求,中国化工机械动力技术协会、吉林化学工业集团公司共同组织编写了这套《技术工人岗位培训读本》(以下简称《读本》),包括《电焊工》、《气焊工》、《检修钳工》、《管工》、《铆工》、《起重工》、《维修电工》、《仪表维修工》等8本。

这套《读本》主要具有以下特点。

(1) 实用性。由长期工作在生产一线、具有丰富实践经验的工程师、高级技师编写,注重解决生产实践中的难题,注重提高技术工人的素质和能力,特别是技术工人取证后素质和能力的培养、提高。

(2) 技能性。不刻意强调知识的系统性和完整性,而是注重知识和技能的紧密联系,突出技能和技巧。

(3) 通用性。以化工行业为基础编写,但又不局限于化工行业,而是拓展到其他领域。特别是在举例方面,充分照顾到不同行业的通用性。

(4) 新颖性。既介绍常用的、传统的技术、工艺、方法,又介绍新技术、新工艺、新方法。

(5) 广泛性。既满足大型企业技术工人提高技能的要求,又照

顾到中、小型企业技术工人生产实践的需要。

《仪表维修工》是这套《读本》的其中之一。

自动化仪表是实现生产过程自动化必不可少的技术工具，尤其在易燃、易爆、强腐蚀的石化行业，要确保生产的安全、优质和高效，自动化仪表更成为生产装置必不可少的组成部分。作为从事自动化仪表维护、检修、调校和安装作业的仪表维修工，如何提高实际操作技能，正确判断和熟练处理现场异常问题显得尤为重要。

本书编写内容突出实用性和技能性，力求做到取材先进，文字简练。在表达形式上重实际应用、定性分析，轻公式推导、定量分析。通过应用实例的分析，结合现场作业的实际经验，使读者汲取更多的实际知识。全书共分4章，第1章介绍仪表维修作业必备的仪表专业和相关专业的基础知识；第2章重点介绍常用检测仪表的维护、检修、调校、安装及故障处理知识；第3章介绍常规控制仪表及新型集散控制系统的实际应用知识；第4章介绍各类控制系统的应用实例，分析运行中出现的异常现象及解决方案。

本书可供石油化工行业及其他工业部门的仪表维修工阅读，也可作为仪表工程技术人员的参考用书。

本书第1章由施引萱编写，张东辉审阅；第2、4章由王丹均编写，施引萱审阅；第3章由刘源泉编写，李文涛审阅。

由于编者水平有限，漏误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2000年9月

目 录



第 1 章 基础知识	1
1.1 测量误差知识	1
1.1.1 测量误差的基本概念	1
1.1.2 测量仪表的误差	1
1.1.3 测量系统的误差	3
1.1.4 仪表示值误差校验	4
1.2 仪表的质量指标	8
1.2.1 允许误差与基本误差	8
1.2.2 准确度和准确度等级	9
1.2.3 变差	9
1.2.4 灵敏度和灵敏限	9
1.2.5 复现性(稳定性)	10
1.3 仪表设备的防护	10
1.3.1 防爆问题	10
1.3.2 防腐蚀问题	13
1.3.3 防冻及防热问题	15
1.3.4 防尘及防震问题	23
第 2 章 检测仪表	25
2.1 温度测量	25
2.1.1 热电偶温度计	26
2.1.2 热电阻温度计	39
2.2 压力测量	56

2.2.1	基本知识	56
2.2.2	压力表的选用、校验、安装	58
2.3	流量测量	60
2.3.1	分类	60
2.3.2	差压式流量计	61
2.3.3	椭圆齿轮流量计的特点及应用	79
2.3.4	电磁流量计	79
2.3.5	转子流量计	81
2.3.6	涡街流量计	83
2.3.7	涡轮流量计的使用	88
2.3.8	质量流量计	89
2.3.9	超声波流量计	97
2.4	物位测量	104
2.4.1	浮力式液位计	105
2.4.2	静压式液位计	109
2.4.3	雷达液位计	124
2.4.4	磁致伸缩液位计	128
2.4.5	超声波液位计	132
2.4.6	光纤液位计	135
2.4.7	液位检测的故障分析与处理	139
2.5	安全仪表	145
2.5.1	概述	145
2.5.2	安全仪表的组成	146
2.6	显示仪表	150
2.6.1	概述	150
2.6.2	数字型显示仪表	151
2.6.3	智能显示仪表	152
2.6.4	智能无纸记录仪	153
2.6.5	显示仪表故障分析及处理方法	154
2.7	旋转机械状态检测系统	155
2.7.1	状态监测系统的基本概念	155
2.7.2	电涡流传感器系统	157

2.7.3	3500 状态监测系统	167
2.7.4	常见故障分析与处理	178
第3章 执行器		183
3.1	概述	183
3.2	执行机构	184
3.2.1	气动执行机构	184
3.2.2	电动执行机构	189
3.3	调节阀	192
3.3.1	调节阀分类	192
3.3.2	阀芯结构	198
3.4	调节阀的选择	200
3.4.1	调节阀计算的理论基础	200
3.4.2	调节阀作用方式的选择	204
3.4.3	调节阀流量特性的选择	205
3.5	调节阀的安装	206
3.6	调节阀的附件	207
3.6.1	电气转换器	208
3.6.2	阀门定位器	208
3.7	调节阀的故障分析	216
3.7.1	气动调节阀常见故障与处理	216
3.7.2	电动调节阀常见故障与处理	217
3.7.3	调节阀系统常见故障实例分析	217
第4章 控制系统		222
4.1	自动调节系统	222
4.1.1	自动调节系统的过渡过程	222
4.1.2	自动调节系统及组成环节的特性	229
4.2	工程参数(PID)整定及调节规律对过渡过程的影响	235
4.2.1	比例度的整定及比例调节规律	235
4.2.2	积分时间的整定	242
4.2.3	微分时间的整定	245
4.2.4	比例积分微分参数的整定	249
4.3	典型调节系统	252

4.3.1	串级调节系统	252
4.3.2	均匀调节系统	262
4.3.3	比值调节系统	266
4.3.4	分程调节	274
4.3.5	精馏塔的选择性控制	280
4.4	典型控制系统的实例分析	283
4.4.1	精馏塔综合调节系统的分析	284
4.4.2	控制系统的故障分析及处理	288
第5章	集散控制系统与紧急停车系统	301
5.1	集散控制系统	301
5.1.1	DCS 的概述	301
5.1.2	DCS 的构成及功能	303
5.1.3	DCS 的硬件结构	305
5.1.4	DCS 的软件组成	309
5.1.5	CENTUM CS3000 DCS 控制系统介绍	310
5.1.6	DCS 故障分析与处理	332
5.2	现场总线控制系统	337
5.2.1	概述	337
5.2.2	开放系统的互连参考模型	344
5.3	紧急停车联锁系统	348
5.3.1	概述	348
5.3.2	ESD 系统的应用	357
5.4	可编程序控制器	365
5.4.1	概述	365
5.4.2	可编程序控制器的硬件结构	368
5.4.3	可编程序控制器的通信系统	373
5.4.4	可编程序控制器的软件系统	374
5.4.5	可编程序控制器的应用实例	375
参考文献		377

第1章 基础知识



1.1 测量误差知识

1.1.1 测量误差的基本概念

石油化工生产过程大多具有规模大、流程长、连续化、自动化的特点，为了有效地进行工艺操作和生产控制，需要用各种类型的仪表去测量生产过程中各种变量的具体量值。虽然进行测量时所用的仪表和测量方法不同，但测量过程的机理是相同的，即都是将被测变量与同种类单位的量值进行比较的过程。各种测量仪表就是实现这种比较的技术工具。

对于在生产装置上使用的各种测量仪表，总是希望它们测量的结果准确无误。但是在实际测量过程中，往往由于测量仪表本身性能、安装使用环境、测量方法及操作人员疏忽等主客观因素的影响，使得测量结果与被测量的真实值之间存在一些偏差，这个偏差就称为测量误差。

1.1.2 测量仪表的误差

误差的分类方法多种多样，如按误差出现的规律来分，可分为系统误差、偶然误差和疏失误差；按仪表使用的条件来分，有基本误差、附加误差；按被测变量随时间变化的关系来分，有静态误差、动态误差；按与被测变量的关系来分，有定值误差、累计误差。测量仪表常用的绝对误差、相对误差和引用误差是按照误差的

数值表示来分类的。

(1) 绝对误差

绝对误差是指仪表的测量值与被测变量真实值之差。用公式表示为：

$$\Delta C = C_m - C_r \quad (1-1)$$

式中， C_m 为测量值； C_r 为真实值（简称真值）； ΔC 为绝对误差。事实上，被测变量的真实值并不能确切知道，往往用精确度比较高的标准仪器来测量同一被测变量，其测量结果当作被测变量的真实值。

绝对误差有单位和符号，但不能完整地反映仪表的准确度，只能反映某点的准确程度。我们将各点绝对误差中最大的称为仪表的绝对误差。与绝对误差符号相反的值称为修正值。

(2) 相对误差

相对误差是指测量的绝对误差与被测变量的真实值之比。用公式表示为

$$C_a = \frac{\Delta C}{C_r} \quad (1-2)$$

式中， ΔC 为测量的绝对误差； C_r 为被测变量的真实值。

由上式可见，相对误差 C_a 是一个比值，它能够客观地反映测量结果的准确度，通常以百分数表示。

如某化学反应釜中物料实际温度为 300°C ，仪表的示值为 298.5°C ，则可依据式(1-1) 和式(1-2) 求得测量的绝对误差

$$\Delta C = C_m - C_r = 298.5 - 300 = -1.5 (^\circ\text{C})$$

测量的相对误差

$$C_a = \frac{\Delta C}{C_r} = \frac{-1.5}{300} = -0.5\%$$

(3) 引用误差（相对折合误差或相对百分误差）

测量仪表的准确性不仅与绝对误差和相对误差有关，而且还与仪表的测量范围有关。工业仪表通常用引用误差来表示仪表的准确

程度,即绝对误差与测量范围上限值或测量表量程的比值,以百分比表示。即

$$C'_a = \frac{\Delta C}{C_{\max} - C_{\min}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, ΔC 为测量的绝对误差; $C_{\max}$ 为测量仪表上限值; $C_{\min}$ 为测量仪表下限值。

引用误差也称相对折合误差或相对百分误差,其特点是无量纲,有正负之分,能比较确切地反映仪表的准确程度。

由于引用误差与测量仪表的量程有关,在选用同一准确度的仪表测量被测变量时,为了减小被测点的绝对误差值,提高测量准确度,往往将仪表零点迁移,压缩仪表量程,现举例说明如下。

如上例被测介质的实际温度为 300°C ,现用一台量程为 $0 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 的仪表测量,示值为 298°C ,则可依据式(1-1)和式(1-3)求得测量的绝对误差

$$\Delta C = C_m - C_r = 298 - 300 = -2 (^{\circ}\text{C})$$

测量的引用误差

$$C'_a = \frac{\Delta C}{C_{\max} - C_{\min}} \times 100\% = \frac{-2}{400} \times 100\% = -0.5\%$$

现将该仪表量程压缩为 $200 \sim 400^{\circ}\text{C}$,如引用误差仍要保持 -0.5% ,则该测量点允许的绝对误差为

$$\begin{aligned} \Delta C' &= (C_{\max} - C_{\min}) C'_a = (400 - 200) \times (-0.5\%) \\ &= 200 \times (-0.5\%) = -1.0 (^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

由此可见,仪表量程压缩一半,则绝对误差减小一半,从而大大提高了仪表的测量准确度。

1.1.3 测量系统的误差

以上简要介绍了测量仪表的误差及计算方法,但在石油化工装置中大量应用着由多个单元仪表组成的测量系统或控制系统,如何求得整个系统的测量误差呢?通常采用以下两种方法。

一种用方和根计算方法来求得

$$\delta_{\text{总}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n C'_{ai}{}^2} \quad (1-4)$$

式中, C'_{ai} 为系统中各单元仪表的最大引用误差; n 为系统中单元仪表数。

例如用孔板、差压变送器、开方器、数字显示指示仪组成的流量测量系统, 经过校验, 它们的最大引用误差分别为 $C'_{a1} = 1\%$, $C'_{a2} = 0.25\%$, $C'_{a3} = 0.2\%$, $C'_{a4} = 0.3\%$, 则可依据式(1-4) 求得

$$\delta_{\text{总}} = \frac{\sqrt{1^2 + 0.25^2 + 0.2^2 + 0.3^2}}{100} \approx 1.1\%$$

另一种用系统联校方法来求得, 即在一次元件端加入标准信号值, 通过中间各单元仪表的信号传递, 最终在二次仪表读取值来计算引用误差, 在各校验点中选择最大的引用误差, 作为该测量仪表系统误差。

1.1.4 仪表示值误差校验

为了使各类仪表准、灵、可靠地长周期运行, 仪修人员要定期对运行中的仪表进行示值误差校验, 并对停车检修后的仪表进行全性能周期检定, 以考核仪表是否符合技术性能指标, 这里列举显示仪表示值误差的校验。

(1) 校验方法

显示仪表虽然种类繁多, 结构各异, 但常用的校验方法只有如下两种。

① 信号比较法 这是一种常用的校验方法, 用可调信号发生器向被校仪表和标准仪器加同一信号, 将被校仪表的示值与标准仪表的示值进行比较, 求出各点示值误差。如用手动压力泵同时给被校压力计和标准压力表输入信号。

② 直接校验法 这种校验方法是用标准仪器直接给被校仪表加入信号, 通过标准仪器的实际信号示值与被校仪表的检定点所对应的标准真值相比较, 然后求出被校仪表该检定点的误差, 如用标准电阻箱校验配热电阻型动圈式指示仪或自动平衡电桥。

(2) 校验步骤

① 校验前的准备工作 仪表的示值校验工作不论在现场还是在检定室内进行,都应做好如下准备工作。

a. 熟悉仪表使用说明书中有关技术性能指标、接线方法、测试条件及注意事项等内容。

b. 正确选择标准仪器及配套设备,并对这些仪器和设备的可靠性进行检查。如标准仪器是否有检定合格证,检定日期是否在检定周期内等。

c. 检查仪表的校验条件是否符合技术要求。如环境温度、相对湿度、电源电压、气源质量和外界干扰等。

d. 检查仪表的外观及内部状况是否有异常情况。如刻度标尺、印刷电路板及其他紧固件是否松动,电路连接线是否开焊等。

e. 正确接好校验线路,经确认无误后送电,电子式仪表一般需通电半小时后方可校验。

② 刻度点校验方法 仪表的校验点数一般规定不得少于5点,并要求均匀分布在测量范围的整数刻度线上。此外,对重要仪表还应追加校验“使用范围”(经常使用点的示值 $\pm$ 仪表量程的10%左右)的示值误差,要求不超过仪表允许基本误差的1/2。

掌握正确的校验方法十分重要,这里强调几点在实际操作中容易被疏忽的问题。

a. 在进行上行程示值校验过程中,当指针将要靠近被校点刻度时,要注意缓慢增加输入信号,使指针与校验点刻度线完全重合,切勿超越刻度线后再返回。下行程示值校验时亦同理,如图1-1所示。尤其要注意的是进行上行程校验时,加入信号值应从低于量程下限位置开始,而进行下行程校验时,加入信号值应从高于量程上限位置开始。

b. 标准仪器的准确度等级高于被校仪表,能读取较多位的有效数字。而被校仪表标尺刻度线分度不细,如果指针偏离刻度线,估算将产生较大的视觉误差,尤其在非线性刻度时误差更大。为此要注意必须将仪表指针平稳移动到刻度线上,然后在标准仪器上读