

职业技能鉴定培训读本

高级工

仪表维修工

吉化集团公司 组织编写
施引萱 王丹君 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

职业技能鉴定培训读本（高级工）

仪 表 维 修 工

吉化集团公司 组织编写

施引萱 王丹君 主编



化 学 工 业 出 版 社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

仪表维修工/施引萱, 王丹君主编. —北京: 化学工业出版社, 2004.8

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

ISBN 7-5025-6058-0

I. 仪… II. ①施…②王… III. 仪表-维修-职业技能鉴定-教材 IV. TH707

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 087800 号

职业技能鉴定培训读本 (高级工)

仪表维修工

吉化集团公司 组织编写

施引萱 王丹君 主编

责任编辑: 刘 哲 周国庆 宋 辉

责任校对: 顾淑云 吴 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850mm × 1168mm 1/32 印张 14 1/4 字数 379 千字

2005 年 1 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-6058-0/TH · 230

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《职业技能鉴定培训读本（高级工）》编委会

主 任 申尧民

委 员 （按姓氏笔画排序）

申尧民 刘勃安 关昱华 杨金展

李 固 张 宪 张利平 张增泰

陈志杰 郑惠萍 徐允长 魏汝梅

前 言

在科技突飞猛进、知识日新月异的今天，国际经济和科技的竞争越来越围绕人才和知识的竞争展开。工程技术是科学技术和实际应用之间的桥梁。随着社会和科学技术的发展，工程技术的范围不断扩大，手段日益丰富更新，但其强烈的实践性始终未变。在工程技术人才中，具有丰富实际经验的技术工人是不可或缺的重要组成部分。近年来技术工人队伍的严重缺乏，已引起广泛重视。为此，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”。从2002年下半年起，国家劳动和社会保障部实施“国家高技能人才培养工程”，并建立了“国家高技能人才（机电项目）培养基地”。这是落实党中央、国务院提出“科教兴国”战略方针的重要举措，也是我国人力资源开发的一项战略措施。这对于全面提高劳动者素质，培育和发展劳动力市场，促进培育与就业结合，推行现代企业制度，深化国有企业改革，促进经济发展都具有重要意义。

《劳动法》第八章第六十九条规定：“国家规定职业分类，对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能考核鉴定”。《职业教育法》第一章第八条明确指出：“实施职业教育应当根据实际需要，同国家制定的职业分类和职业登记标准相适应，实行学历文凭、培训证书和职业资格证书制度”。职业资格证书是表明劳动者具有从事某一职业（或复合性职业）所必备的学识和技能的证明，它是劳动者求职、任职、开业的资格凭证，是用人单位招聘、录用劳动者的主要依据，也是境外从业与就业、对外劳务合作人员办理技能水平公证的有效证件。

根据这一形势，化学工业出版社组织吉化集团公司、河北科技

大学、天津大学、天津军事交通学院等单位有关人员，根据 2000 年 3 月 2 日国家劳动和社会保障部部长令（第 6 号）发布的就业准入的相关职业（工种），组织编写了《职业技能鉴定培训读本（高级工）》（以下简称《读本》），包括《工具钳工》、《检修钳工》、《装配钳工》、《管工》、《铆工》、《电焊工》、《气焊工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《电机修理工》、《汽车维修工》、《汽车维修电工》、《汽车维修材料工》、《摩托车维修工》、《车工》、《铣工》、《刨插工》、《磨工》、《镗工》、《铸造工》、《锻造工》、《钣金工》、《加工中心操作工》、《热处理工》、《制冷工》、《气体深冷分离工》、《防腐蚀工》、《起重工》、《锅炉工》等 29 种，以满足高级工培训市场的需要。本套《读本》的编写人员为生产一线的工程技术人员、高级技工，以及长期指导生产实习的专家等，具有丰富的实践和培训经验。

这套《读本》是针对高级技术工人和操作工而编写的，以《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》为依据，在内容上以中级作为起点，但重点为高级，注重实践性、启发性、科学性，做到基本概念清晰，重点突出，简明扼要，对基本理论部分以必须和够用为原则，突出技能、技巧，注重能力的培养，并从当前高级技工队伍素质的实际出发，努力做到理论与实际相结合，深入浅出，通俗易懂；面向生产实际，强调实践，书中大量实例来自生产实际和教学实践；在强调应用、注重实际操作技能的同时，反映新知识、新技术、新工艺、新方法的应用和发展。

本书是《仪表维修工》。依据《国家职业标准》的要求，主要介绍了仪表维修作业必备的仪表专业和相关专业的基础知识；常用检测仪表的维护、检修、调校、安装及故障处理；可编程控制器、集散控制系统和现场总线控制系统；还通过大量实例介绍了简单、复杂、前馈、典型等各类调节系统以及先进控制系统，分析运行中出现的异常现象及解决方案。

本书可作为石油化工行业及其他工业部门的仪表维修工的培训教材，也可供企业技术工人提高专业知识和工作技能参考。

本书由施引萱、王丹君、刘源泉、张华等编写，全书由施引萱、张晓东、张东辉、李文涛等审校。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有缺点、错误，敬请读者指正。

编者

2004年5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	8
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	14
1.3.4 防尘及防震问题	22
1.4 工业仪表的维修	23
1.4.1 仪表维修工作内容	23
1.4.2 仪表维修知识	25
第 2 章 检测仪表	90
2.1 温度测量	90
2.1.1 热电偶温度计	91
2.1.2 热电阻温度计	103
2.2 压力测量	120
2.2.1 基本知识	120
2.2.2 压力表的选用、校验、安装	121

2.3 流量测量	123
2.3.1 分类	123
2.3.2 差压式流量计	124
2.3.3 椭圆齿轮流量计	139
2.3.4 电磁流量计	140
2.3.5 转子流量计	143
2.3.6 涡街流量计	144
2.3.7 涡轮流量计	147
2.3.8 超声流量计	148
2.3.9 质量流量计	155
2.4 物位测量	163
2.4.1 浮力式液位计	163
2.4.2 静压式液位计	167
2.4.3 雷达物位计	180
2.4.4 液位检测的故障分析与处理	184
第3章 控制装置	187
3.1 单元组合仪表	187
3.1.1 调节器	187
3.1.2 变送器	192
3.1.3 气动执行器	202
3.2 可编程控制器 (PLC)	241
3.2.1 PLC 的基本概念	241
3.2.2 PLC 的基本原理	244
3.2.3 PLC 的控制功能	247
3.2.4 PLC 的应用及常见故障处理	250
3.3 集散控制系统 (DCS)	258
3.3.1 集散控制系统的基本概念	258
3.3.2 集散控制系统的硬件构成	261
3.3.3 集散控制系统的控制功能	267
3.3.4 开发 DCS/PLC 系统的常用原则	284
3.3.5 集散控制系统的维护及故障处理	286
3.4 现场总线控制系统 (FCS)	290
3.4.1 现场总线控制系统的基本概念	290
3.4.2 现场总线控制系统的特点	291

3.4.3 现场总线控制系统的应用	293
第4章 控制系统	306
4.1 自动调节系统	306
4.1.1 自动调节系统的过渡过程	306
4.1.2 自动调节系统及组成环节的特性	314
4.2 工程参数 (PID) 整定及调节规律对过渡过程的影响	319
4.2.1 比例度的整定及比例调节规律	319
4.2.2 积分时间的整定	326
4.2.3 微分时间的整定	330
4.2.4 比例积分微分参数的整定	333
4.3 影响调节系统质量的因素分析	336
4.3.1 调节方案及被调参数的选择	336
4.3.2 影响调节质量的诸因素及其克服方法	338
4.3.3 调节系统之间的相互影响	357
4.4 简单调节系统的环节及方块图	362
4.4.1 简单调节系统环节的构成	362
4.4.2 方块图与传递函数	362
4.5 复杂调节系统	368
4.5.1 串级调节系统	368
4.5.2 均匀调节系统	377
4.5.3 比值调节系统	381
4.5.4 前馈调节系统	389
4.5.5 分程调节系统	395
4.5.6 精馏塔的选择性控制	402
4.6 典型控制系统的实例分析	405
4.6.1 精馏塔综合调节系统的分析	405
4.6.2 年产 11.5 万吨的乙烯塔的自动控制	409
4.6.3 信号传递值的计算	416
4.6.4 控制系统的故障分析及处理	421
4.6.5 调节系统投运前的检查和准备	426
4.7 先进控制系统	429
4.7.1 先进控制系统的基本概念	429
4.7.2 先进控制系统的核心技术	430
4.7.3 先进控制系统的实施	435

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其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、偶然误差和疏忽误差；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 代表测量值； C_r 代表真实值（简称真值）； ΔC 代表绝对误差。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。

(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

$$C_a = \Delta C / C_r \quad (1-2)$$

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

$$C_a = \Delta C / C_r = -1.5 / 300 = -0.5\%$$

(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

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

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

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

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

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

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示值来计算引用误差，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，但常用的校验方法有如下两种。

① 信号比较法 这是一种比较常用的校验方法，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，一般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，检定日期是否在周检期内等。

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±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，估算将产生较大视觉误差，尤其在非线性

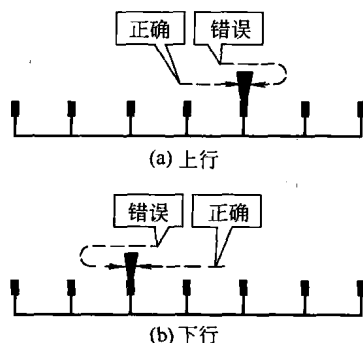


图 1-1 上、下行程示值误差校验

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取信号值。

c. 在校验过程中，要根据不同显示形式的标准仪器正确读数，避免产生视觉误差。

③ 误差计算 将上述从标准仪器中读取的实际示值代入误差计算公式，求得各被校点的绝对误差、变差和引用误差等，详见下一节计算实例。

这里介绍数据的处理工作。一般除从标准仪器刻度线上直接读出数字外，还可以估计下一位数字，这个估计的数字叫做存疑数字。例如在标准电流表中读出的 5.26A 中，尾数 0.06 是存疑数字，而 5.2 是直接从毫安表分度线上读出的，称为可靠数字。把可靠数字和存疑数字合起来统称为有效数字，上述 5.26A 为三位有效数字。尤其应注意的是，如读数为 2.40A 时，同样 2.4 为可靠数字，而“0”是存疑数字，不能误写为 2.4A，因为存疑数字“0”说明这个读数只能局限在 2.395~2.404 之间。如果去掉“0”后，2.4A 中 0.4A 变为存疑数，则原来的读数变为在 2.35~2.44 范围内的一个数。

在数据处理过程中，有时遇到各个数据的有效数位数不同，需要圆整为具有相同位数的有效数字，应将所舍去的数字中最左边一位数字（设为 x ）保留，然后按下述数据修约原则圆整：

- ① 若 $x > 0.5$ ，则末位加 1；
- ② 若 $x < 0.5$ ，则末位不变；
- ③ 若 $x = 0.5$ ，当末位为偶数时，则末位不变；当末位为奇数时，则末位加 1。

如将 12.4446 圆整成两位整数时，应按 12.4 → 12 方法圆整；而不能按 12.4446 → 12.445 → 12.45 → 12.5 → 13 的方法圆整。

（3）示值误差计算示例

如有一台量程范围为 0~200℃，分度号为 Pt100，准确度为 0.5 级的 XQC 型仪表进行示值误差校验，现将填写校验单及计算误差方法介绍如下。

① 首先均匀地选择 5 个被校刻度点，将其温度值填入被校表示值刻度栏，如 0°C 、 50°C 、 100°C …，然后查出对应各点的电阻信号标准值，如 100.00Ω 、 119.40Ω …，并填入被校表示值的信号标准值栏。

② 将被校点上行程和下行程校验时所得的读数（标准电阻箱示值）填入实际值栏中，如 0°C 时上行程的实际值为 99.92Ω ，下行程为 100.12Ω …，形成表 1-1 左半部分数据群。

表 1-1 XQC 型仪表表示值校验单

被校表示值		标准表实际示值/ Ω		绝对误差/ Ω		变差/ Ω	引用误差/%
刻度/ $^{\circ}\text{C}$	信号标准值/ Ω	上行	下行	上行	下行		
0	100.00	99.92	100.12	-0.08	+0.12	0.20	+0.16
50	119.40	119.26	119.51	-0.14	+0.11	0.25	-0.18
100	138.50	138.41	138.60	-0.09	+0.10	0.19	+0.13
150	157.31	157.20	157.40	-0.11	+0.09	0.20	-0.14
200	175.84	175.78	175.99	-0.11	+0.10	0.21	-0.14

③ 按公式计算被校点上、下行程时的绝对误差和引用误差，择其误差较大值作为最大绝对误差和最大引用误差。如 50°C 点标准信号值为 119.40Ω ，上行程时 $\Delta C_{\text{上}} = \text{示值} - \text{真值} = 119.26 - 119.40 = -0.14\Omega$ ，下行程时 $\Delta C_{\text{下}} = 119.51 - 119.40 = +0.11\Omega$ ，显然上行程时误差较大，故最大绝对误差 $\Delta C = -0.14\Omega$ 。引用误差 $C'_a = \frac{\Delta C}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}} \times 100\% = \frac{-0.14}{175.84 - 100.00} \times 100\% = -0.18\%$ ，在 5 个被校点中比较，该点引用误差为最大引用误差。

④ 按变差公式求出各点变差，并填入相应栏内。如 50°C 校验点的变差 $= |119.26 - 119.51| = 0.25\Omega$ 。

⑤ 计算该表最大允许误差

$$\begin{aligned}
 \text{允许绝对误差 } \Delta C &= \pm (\text{量程范围} \times \text{准确度}\%) \\
 &= \pm [(175.84 - 100.00) \times 0.5\%] \\
 &= \pm 0.3792\Omega
 \end{aligned}$$