

职业技能鉴定培训读本(技师)

在线分析仪表维修工

章顺增 李仲杰 黄必胜 葛发明 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（技师）

在线分析仪表维修工

章顺增 李仲杰 黄必胜 葛发明 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

在线分析仪表维修工/章顺增等编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 11
(职业技能鉴定培训读本. 技师)
ISBN 7-5025-4922-6

I. 在… II. 章… III. 分析仪器-维修-职业技能鉴定-教材 IV. TH830.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 097086 号

职业技能鉴定培训读本 (技师)

在线分析仪表维修工

章顺增 李仲杰 黄必胜 葛发明 编

责任编辑: 周国庆 刘哲 周红

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

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)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 12 插页 1 字数 315 千字

2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4922-6/G·1291

定 价: 27.00 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(技师)

编写委员会

主任 张晓霏

副主任 申尧民 孙树禛 魏 然

委员 张晓霏 申尧民 孙树禛 魏 然

陈紫铭 刘焕臻 曲诗林 陈万友

关昱华 刘勃安 周国庆

前 言

当今世界已步入到知识经济和市场经济时代，企业生存与发展要依靠先进的生产力和高素质复合型人才。在技术密集型企业中将新技术、新工艺、新设备广泛应用并迅速转化为优质产品，需要大批高智能技术工人的有效劳动，因此在企业中高素质的技术工人、技师、高级技师是不可缺少的人才。目前，企业中身怀绝技的技师、高级技师奇缺，所以培训技师、高级技师是企业的当务之急。

石化集团公司组织几十名工程技术人员和高级技师编写了一套《职业技能鉴定培训读本（技师）》（以下简称《读本》），共20本，其中包括7本基础读本，分别为《化学基础》、《化工基础》、《电子基础》、《机械基础》、《机械制图》、《工程材料》、《检测与计量》，13本专业技术读本，分别为《检修钳工》、《检修焊工》、《检修铆工》、《检修管工》、《热处理工》、《防腐蚀工》、《分析化验工》、《电机修理工》、《维修电工》、《仪表维修工》、《在线分析仪表维修工》、《制冷工》、《污水处理工》。参加编写的同志都长期在生产一线从事工艺设计开发、生产技术管理、设备维护检修等专业技术工作，具有较强的理论基础知识和丰富的实践经验。

这套《读本》以技师为主要读者对象，适当兼顾高级工和高级技师的需要。在编写过程中，参考了国家及有关行业高级工、技师和高级技师的职业标准和职业技能鉴定规范，比较全面地介绍了企业中现行使用的新标准、新技术、新设备、新工艺等方面的内容及应用。这套《读本》的特点如下：①知识面较宽，起点较高，尤其注意理论联系实际；②比较全面地介绍了企业，特别是化工企业中主要专业工种的检修技术；③系统阐述了各专业工种的工艺要求和操作技能；④列举了工作或生产案例，突出了实际生产操作中高、

难技艺的论述。

当今现代化、装置型、流程性生产企业的生产过程大都依赖自动化设备自动地进行，在线自动分析仪表是自动化设备中一个重要的组成部分，也是近些年来发展很快的一类自动化仪表。

当前较为常用的在线分析仪表大致是：热导式气体分析仪、电导式分析仪、氧分析仪、红外线气体分析仪、工业 pH 计、工业气相色谱仪等几种。这些自动分析仪表在石油、化工、冶金等行业的生产中起着至关重要的作用。连续性生产的企业需要对生产过程中的各个环节实施测量、控制，需要及时了解进出每一个环节的原材料、半成品、中间产品的成分、组分是否符合要求。

要想及时掌握进出每一个环节的原材料、半成品、中间产品的成分、组分，就得依赖分析方法，采用分析仪表。企业普遍采用的是以下三种方法。

1. 在国内在线分析仪表尚处于相对落后的 20 世纪 60 年代前，企业一般采取建立相应的分析室，配置一些实验室分析仪器，由分析人员定时去生产现场采集样品，到实验室进行分析，再将结果反馈给生产操作人员，作为调整操作的依据。

2. 20 世纪 70 年代后，随着引进装置的不断出现，大量新型、先进的在线分析仪表在生产装置上得以广泛的应用。它们对原材料、半成品、中间产品及生产过程中各个环节的各类组分实施自动、连续的测量、指示，随时给生产操作人员提供操作依据，甚至直接进行生产控制。

3. 由于历史的原因，也有一些自动化程度相当高，在线分析仪表配置相当完善的企业，有的甚至是引进整套装置，在装置投产前还配置了完整的实验室分析仪器。

采用第 1 种方法的缺点是显而易见的。采集样品不全面，不可能连续采集，一般都是 1~2h 采集一次，反馈周期长，等到分析、发现问题，反馈给生产，再做调整，往往已为时过晚。但这种方法目前被国内绝大多数企业广泛采用，因为以前自动分析仪表发展缓慢，进口仪表少，信息不是很通畅，所以这种方法就成了生产企业

采用的一种经典方法。采用第3种方法是双保险，这种方法似乎显得要完善一些，但仔细分析起来问题不少。首先是财力和人力的大浪费，生产现场既然已经配置了完善的在线分析仪表，能够自动连续地测量、分析、指示，就没有必要再去配置价格昂贵，作用和目的完全相同的实验室分析仪器，另外还得配备两组维护检修人员。尤其是在企业面临改制，努力提高企业劳动生产力和经济效益的强力挑战之时，这种方法不可取。另一方面，由于任何仪表都存在测量误差，且一般分析仪表的误差范围又比较宽，用两种分析仪表分析同一样品势必产生较大的差异，这样反而会对生产操作产生干扰。之所以会采用这种方法，是因为企业对自动化仪表还不是很信任，从经典的、比较落后的生产方式转到高度自动化的生产系统上来，如引进装置等，一时还不放心，总觉得实验室人工分析要比在线自动分析踏实得多。采用第2种方法应该算是比较理想的，目前国内不少企业都采用这种方法。当然有的引进整套装置的企业，尽管外方没有配置实验室分析仪器，但装置建成后，经营者还是根据自己的经验配置了一大堆实验室分析仪器。

随着企业劳动生产力的不断提高，企业在进一步提高经济效益的同时，在线分析仪表必将会和其他自动化设备、仪表一样得到越来越广泛的应用。

本书是《职业技能鉴定培训读本》（技师）之一。书中着重介绍在石油、化工、冶金等行业广泛得到应用的在线分析仪表。由于仪表的发展很快，新产品不断出现，技术不断更新，给我们准确、及时地介绍在线分析仪表产品增加了难度，同时在线分析仪表的品种、型号繁多，同一种在线分析仪表，如工业气相色谱仪、红外线气体分析仪表等，仅国内不同厂家就有多种型号。我们将尽可能地选取应用较为广泛，用户口碑好的在线分析仪表作为介绍对象。本书对所介绍的在线分析仪表将首先做通用性介绍，如该种仪表的工作原理、仪表的一般结构、现场使用维护、检修标定等，然后再选用几种型号的仪表做较为详细的介绍。尽管在线分析仪表产品型号、具体结构有所不同，但其工作原理还是大同小异的。

本书作为职业技能鉴定培训读本，内容涉及面较广，有基本的基础理论知识，也有通用的工作原理和结构特点，并对在线分析仪表的现场日常维护、常见故障和故障处理方法做尽可能详细的介绍。本书可供石油、化工、冶金等企业，从事在线分析仪表维护、检修工作的人员参考。

参加本书编写的人员如下。第1章、第3章：李仲杰；第2章：葛发明；第4章：章顺增；第5章：黄必胜。全书由章顺增定稿。

由于时间短促，加之编者水平所限，介绍的日常故障等问题不一定全面、完善，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2003.09

目 录

第 1 章 热导式气体分析仪	1
1 热导式气体分析仪的工作原理	1
1.1 混合气体的热导率及其组成关系	1
1.2 测量原理	7
1.3 热导池结构参数的选择	14
2 热导式气体分析仪的测量桥路	15
2.1 单电桥测量线路	15
2.2 双电桥测量线路	20
3 热导式气体分析仪热导池的结构	21
3.1 热导池的结构类型	21
3.2 热导池中电阻丝的材料及支撑方法	23
3.3 热导池的壁温变化对测量的影响及其消除方法	25
4 仪表测量桥路的调校与标定	25
4.1 单电桥测量系统	26
4.2 双电桥测量系统	28
5 热导式气体分析仪的维护与检修	29
5.1 维护	30
5.2 校准	30
5.3 检修	32
5.4 仪表的投运和停运	36
6 热导式气体分析仪运行常见故障及消除方法	37
7 典型仪表介绍	41
7.1 RD 系列热导式气体分析仪	41
7.2 643M.23 型热导式氢分析仪	49
第 2 章 工业电导仪	64
1 工业电导仪的测量原理	65
1.1 电导率与溶液浓度的关系	65

1.2	溶液电导（电阻）的测量方法	68
1.3	刻度方法及电极常数的确定	72
2	电导池的结构和影响电导测量的因素	73
2.1	电导池的结构	73
2.2	影响电导测量的因素	75
3	工业电导仪	78
3.1	DDD-32 型工业电导仪	78
3.2	ZDS 型智能化电导式硫酸浓度计	97
第 3 章	氧分析仪	120
1	氧气的磁特性	121
1.1	气体的磁特性	121
1.2	混合气体的磁特性	123
2	热磁式氧分析仪	124
2.1	热磁对流	124
2.2	测量原理	127
2.3	发送器的结构	128
3	磁力机械式氧分析仪	136
3.1	测量原理	137
3.2	结构	138
3.3	特点	139
4	氧化锆氧分析仪	140
4.1	氧化锆（ ZrO_2 ）电解质的性质	140
4.2	氧浓差电池原理	141
4.3	氧浓差电池的特性	143
4.4	检测器	145
4.5	测量系统	147
5	氧分析仪的误差分析	153
5.1	基本误差	154
5.2	附加误差	155
6	氧分析仪常见故障及消除方法	159
6.1	热磁式氧分析仪	159
6.2	CJ 系列磁力机械式氧分析仪	161
6.3	氧化锆氧分析仪	163

7	氧分析仪的维护与检修	165
7.1	仪表的维护	165
7.2	仪表的校准	166
7.3	仪表的检修	167
8	典型仪表介绍	173
8.1	CD型热磁式氧分析仪	173
8.2	QZS-5101型热磁式氧分析仪	176
8.3	CJ-01型磁力机械式氧分析仪	185
第4章 红外线气体分析仪		195
1	红外线的基本知识	195
2	红外线气体分析仪的基本原理	196
3	红外线气体分析仪的类型	198
4	红外线气体分析仪的组成及主要元件	204
5	取样点和预处理系统	216
6	红外线气体分析仪的日常维护	218
7	红外线气体分析仪的检修与校准	219
8	红外线气体分析仪常见故障和一般处理方法	221
9	FQ-B型红外线气体分析仪介绍	224
9.1	主要技术指标	225
9.2	测量原理	225
9.3	结构	227
9.4	仪表的投运	234
9.5	仪表电气部分的调整	236
9.6	一般故障	241
10	QGS-08型红外线气体分析仪	242
10.1	测量原理	242
10.2	仪表结构	244
10.3	仪表的启动	247
10.4	仪表的调整	247
10.5	仪表一般故障	248
10.6	几个应用实例	251
第5章 工业气相色谱仪		252
1	色谱分析法的基本原理	253

1.1	分离原理	253
1.2	塔板理论	255
1.3	色谱图及常用参数	255
2	色谱的性能指标	257
2.1	柱效率	257
2.2	选择性	257
2.3	分辨率	258
2.4	柱变量	258
3	色谱柱	260
3.1	对工业色谱柱的要求	260
3.2	柱管及柱管材料	261
3.3	气液柱(分配柱)	261
3.4	气固柱(吸附柱)	263
3.5	柱的制备	266
4	操作条件对色谱柱分离效率的影响	268
4.1	色谱柱工作温度的影响	268
4.2	载气压力的影响	269
4.3	载气流速的影响	269
4.4	载气性质的影响	269
4.5	进样量与进样时间的影响	270
4.6	载气中的水分、氧、微量有机物的影响	270
5	检测器	270
5.1	热导式检测器(TCD)	270
5.2	氢火焰离子化检测器(FID)	277
6	恒温槽	280
6.1	恒温块式恒温槽	280
6.2	热风循环式恒温槽	281
7	控制线路	281
7.1	稳压电源	282
7.2	色谱柱及检测器的温度控制线路	282
7.3	切换阀控制线路	285
7.4	记录纸走纸控制线路	285
7.5	程序控制线路	286

7.6	多点取样控制线路	289
8	信息处理	291
8.1	常规的信息处理办法	291
8.2	微机信息处理	294
9	工业色谱仪的取样、预处理系统	297
9.1	取样装置	297
9.2	预处理系统	302
10	色谱仪的取样及柱切技术	314
10.1	取样阀	314
10.2	柱切技术	316
11	工业色谱仪的维护与检修	319
11.1	工业色谱仪的日常维护	320
11.2	工业色谱仪的检修	323
12	常见故障及排除方法	328
12.1	基线不稳	328
12.2	无峰或峰太低	330
12.3	出乱峰	332
12.4	程序器动作引起的故障	334
12.5	重复性不好的故障	336
13	工业气相色谱仪的标定与检定	337
13.1	工业气相色谱仪的标定	337
13.2	工业气相色谱仪的检定	337
14	CX-6710 工业气相色谱仪	342
14.1	CX-6710 的主要技术性能	343
14.2	仪器的组成和结构特点	343
14.3	仪器的气路、电路分析	344
	参考文献	363

第 1 章 热导式气体分析仪

热导式气体分析仪是一种物理式分析仪表，用来分析混合气体中某一组分（称待测组分）的百分含量。热导式气体分析仪是最早的工业在线分析仪表。第一台热导式分析仪于 1904 年出现在德国，但真正作为比较完备的仪器来使用，是 1921 年谢开斯波尔 (Shakaspear) 用热导检测器（又称热导池）测定混合气体的热导率开始的，当时称为“长它计” (Catharameter)。随着科学技术的进步，尤其是微电子工业的迅猛发展，热导式气体分析仪无论在结构上，还是在性能上都日臻完善。由于热导式气体分析仪具有结构相对简单、性能稳定、价格便宜、易于在生产流程上进行在线连续检测的特点，各种结构不同、性能各异、具有不同特色的热导式气体分析仪被广泛地应用在化工、石油、轻工、冶金、电站等行业以及环保大气监测部门。同时，由于热导池有其独到之处，常被用来作为新型仪器仪表的重要附件或部件，如作为一种基本检测器被广泛地应用在实验室光谱仪和工业色谱仪中。

1 热导式气体分析仪的工作原理

1.1 混合气体的热导率及其组成关系

能够产生热量的物体或温度高于周围介质的物体被称为热源。热源所涉及的空间称为温度场。在温度场内，如果某两点之间存在着温度差，热量总是要从温度较高的地方向温度较低的地方传递，最终温度趋于平衡。研究表明，基本的传热方式有三种，即热对流、热辐射和热传导。对于液体、气体等流体，三种传热方式同时存在，但在条件不同时，三种方式传递热量的能力并不相同。

物理学给热传导下的定义是这样的：内能由物体的一部分传递给另一部分，或者从一个物体传递给另一个物体，而同时并没有发

生物质的迁移，这种过程叫做传导，也称为热传导。从分子运动论的观点来看，这种传导方式实质上是物质的分子在相互碰撞中传递动能的过程。物体较热部分的分子具有较大的平均动能，这些分子在运动中由于碰撞而把本身一部分动能传递给了较冷部分的分子，这样，剧烈的分子运动就在物体中传播开来，最终使各部分温度趋于平衡。

各种物质的导热性能是不同的。固态物质中，金属善于导热，其中银和铜的导热性能最好；木头、玻璃、皮革、陶瓷不善于导热；最不容易导热的是羊毛、头发、羽毛、纸、棉花、软木和其他松软的物质。液体除了水银和熔化了了的金属以外都不善于导热。气体的导热性能比液体更差，羊毛、棉花等物质不容易导热的原因是它们的纤维中存在着不流动的空气。真空最不善于导热，因为热传导是依靠分子的碰撞来实现的，在分子很少的空间中，热传导几乎完全不可能进行。

物质的导热能力以热导率 λ 来表示，物质传导热量的关系可用傅里叶定律来描述。在某物质内部存在温差，设温度沿 ox 方向逐渐降低。在 ox 方向取两点 a 和 b ，其间距为 Δx ， T_a 、 T_b 分别为 a 、 b 两点的绝对温度，把沿 ox 方向温度的变化率叫做 a 点沿 ox 方向的温度梯度。在 a 、 b 之间与 ox 垂直方向取一个小面积 Δs ，如图 1-1 所示。通过实验可知，在 Δt 时间内，从高温处 a 点通过小面积 Δs 的传热量，与时间 Δt 和温度梯度 $\Delta T/\Delta x$ 成正比，同时还与物质的性质有关系。用方程式表示为

$$\Delta Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta s \Delta t \quad (1-1)$$

$$Q \longrightarrow$$

$$\longleftarrow \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

式 (1-1) 表示传热量与有关参数的关系，这个关系称为傅里叶定律。式中的负号表示热量向着温度降低的方向传递，比例系数 λ 叫做传热介质的热导率（也称导热系数）。

热导率是物质的重要物理性质之一，它表征物质传导热量的能力。不同的物质其热导率也不同，而且随其组分、压强、密度、温度和湿度的变化而变化。

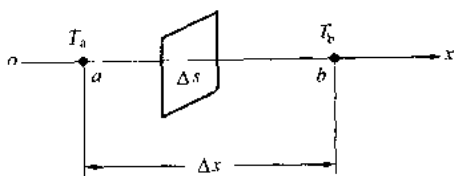


图 1-1 温度场内介质的热传导

由式 (1-1) 得

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{\frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta s \Delta t}$$

如果 $\Delta s = 1 \text{ cm}^2$, $\Delta t = 1 \text{ s}$, $\frac{\Delta T}{\Delta x} = 1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

则 $\lambda = \Delta Q$

那么 λ 的单位为

$$\text{cal}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J})$$

各种气体在相同的条件下有不同的热导率，而且气体的热导率随温度的变化而变化，其关系为

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta t) \quad (1-2)$$

式中 t —— 气体的温度, $^\circ\text{C}$;

β —— 热导率的温度系数;

λ_0 —— 0°C 时气体的热导率;

λ_t —— t 时气体的热导率。

气体的热导率随温度变化而变化，这个概念很重要，在计算气体热导率时应取介质的平均温度。气体的热导率也随压力的变化而变化，因为气体在不同压力下密度也不同，必然导致热导率不同。不过一般在常压或压力变化不大时的热导率的变化并不明显。

气体热导率的绝对值很小，而且基本在同一数量级内，彼此相差并不十分悬殊，因此工程上通常采用“相对热导率”这一概念。所谓相对热导率（也称相对导热系数），是指各种气体的热导率与相同条件下空气热导率的比值， λ_0 、 λ_{A0} 分别表示在 0°C 时某气体

和空气的热导率。表 1-1 列出了各种气体在 0℃ 时的热导率 λ_0 和相对热导率 λ_0/λ_{A0} 及热导率温度系数 β 。

表 1-1 各种气体在 0℃ 时的热导率 λ_0 、相对热导率及热导率温度系数 β

气体名称	λ_0 [cal/(cm·s·°C)] > 10 ⁻⁵	λ_0/λ_{A0} 空气(0°C)	λ_0/λ_{A0} 空气(100°C)	热导率温 度系数 β (0~100°C) /°C ⁻¹ × 10 ⁻⁵
空气	5.83	1.00	1.00	0.0028
氢 H ₂	41.60	7.15	7.10	0.0027
氮 He	34.80	5.91	5.53	0.0018
氦 D ₂	34.00	5.85	—	—
氮 N ₂	5.81	0.996	0.996	0.0028
氧 O ₂	5.89	1.013	1.014	0.0028
氖 Ne	11.10	1.9	1.84	0.0024
氩 Ar	3.98	0.684	0.696	0.0030
氪 Kr	2.12	0.363	—	—
氙 Xe	1.24	0.213	—	—
氯 Cl ₂	1.88	0.328	0.370	—
氯化氢 HCl	—	—	0.635	—
水 H ₂ O	—	—	0.775	—
氨 NH ₃	5.20	0.89	1.04	0.0048
一氧化碳 CO	5.63	0.96	0.962	0.0028
二氧化碳 CO ₂	3.50	0.605	0.7	0.0048
二氧化硫 SO ₂	2.40	0.35	—	—
硫化氢 H ₂ S	3.14	0.538	—	—
二硫化碳 CS ₂	3.70	0.285	—	—
甲烷 CH ₄	7.21	1.25	1.45	0.0048
乙烷 C ₂ H ₆	4.36	0.75	0.97	0.0065
乙烯 C ₂ H ₄	4.19	0.72	0.98	0.0074
乙炔 C ₂ H ₂	4.53	0.777	0.9	0.0048
丙烷 C ₃ H ₈	3.58	0.615	0.832	0.0073
丁烷 C ₄ H ₁₀	3.22	0.552	0.744	0.0072
戊烷 C ₅ H ₁₂	3.12	0.535	0.702	—
己烷 C ₆ H ₁₄	2.96	0.508	0.662	—
苯 C ₆ H ₆	—	0.37	0.583	—
氯仿 CHCl ₃	1.58	0.269	0.328	—
汽油	—	0.370	—	0.0098