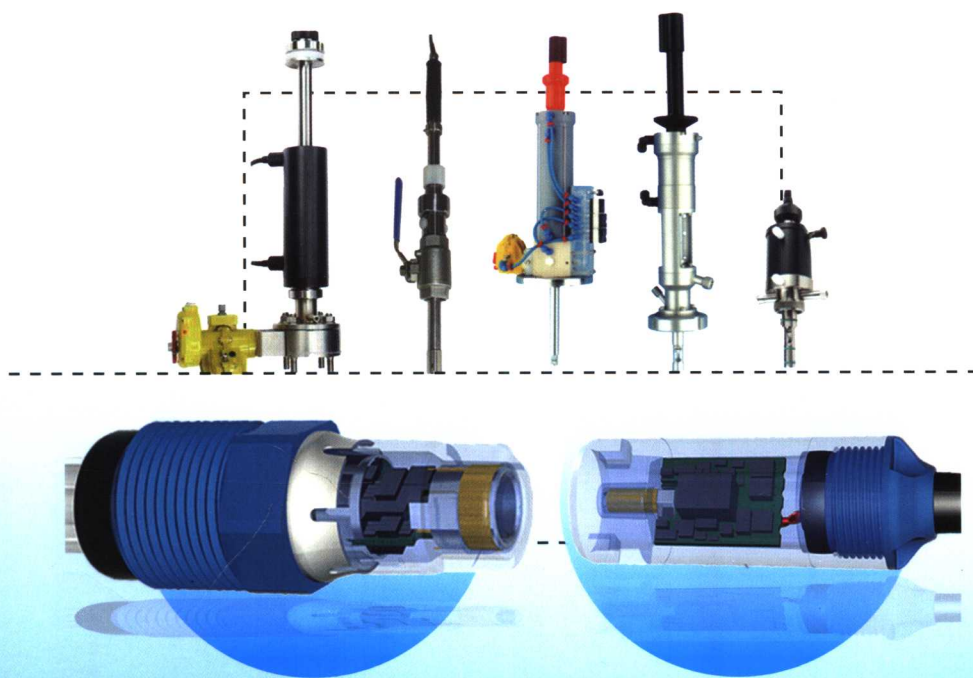


ZAIXIAN FENXI YIBIAO WEIXIUGONG BIDU

在线分析仪表维修工 必读

王森 主编

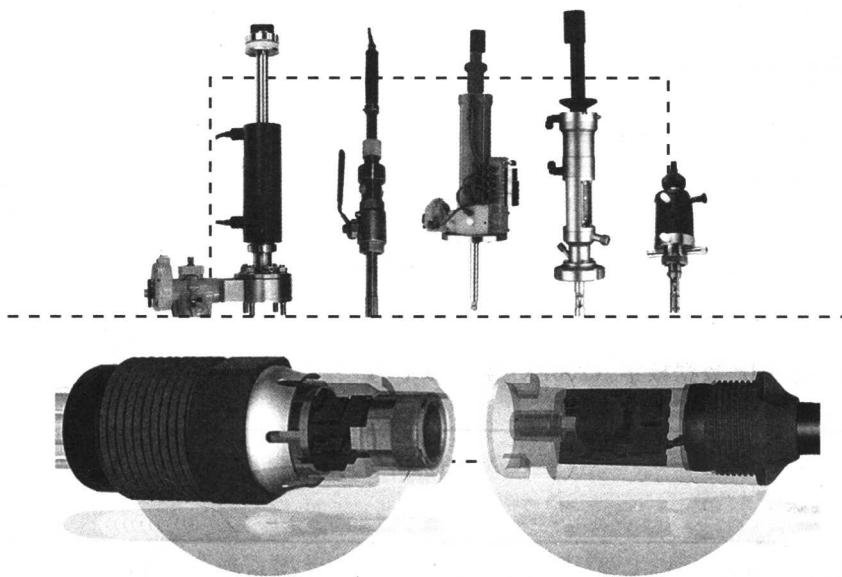


化学工业出版社

ZAIXIAN FENXI YIBIAO WEIXIUGONG BIDU

在线分析仪表维修工 必读

王森 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书依据国家职业标准《化工仪表维修工》中对在线分析仪表维修工的要求编写, 主要介绍各种气体、液体在线分析仪表的原理、结构、安装、使用、维护和校准, 并重点讲述了在线分析仪表的取样和样品处理技术。

本书除介绍国家职业标准《化工仪表维修工》规定的仪表外, 还介绍了天然气行业用的热值色谱仪、微量水分仪、硫分析仪, 工业水处理及污水处理用的水质分析仪表, 环保监测用的烟气排放连续监测系统 (CEMS) 等。

本书适用于石化、化工、炼油、天然气、热电、冶金、化纤、轻工、城市公用工程、环境监测、分析仪器制造等行业在线分析仪表维修工的技术培训, 也可作为高职、中职院校的在线分析仪表教材, 可以和《仪表工试题集·在线分析仪表分册》配套使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

在线分析仪表维修工必读/王森主编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 10
ISBN 978-7-122-00931-9

I. 在… II. 王… III. 在线质量分析仪-维修
IV. TH830.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 117530 号

责任编辑: 刘 哲
责任校对: 洪雅姝

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: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 25 字数 646 千字 2007 年 10 月北京第 1 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: 55.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了配合特有工种高级工、技师和高级技师的培训、考核和认证工作，我们编写了《在线分析仪表维修工必读》一书。

全书共18章，从内容上可以划分为三个部分：第1~2章是在线分析仪表维修工需要掌握的基本概念、有关知识、常用电路及信号的数字处理技术；第3~14章分别介绍各种气体、液体在线分析仪表的原理、构成、安装、使用、维护和校准；第15~18章讲述在线分析仪表的取样和样品处理技术及系统。

本书的内容范围及深度，主要依据国家职业标准《化工仪表维修工》中对分析仪表高级工、技师、高级技师的要求确定。该标准是针对石油化工行业制定的，考虑到其他行业的需求，内容上做了扩充，例如：天然气行业使用的热值色谱仪、微量水分仪、硫分析仪；工业水处理及污水处理使用的水质在线分析仪表；环保监测使用的烟气排放连续监测系统（CEMS）、污水排放及地表水水质监测仪表等。

在线分析仪表种类繁多，涉及的学科和专业面广，本书仅介绍了一些必须掌握的专业基础知识和量大面广的常用仪器。实际使用时，可根据读者所在行业特点和实际工作需要选读和选讲。

本书适用于下述行业在线分析仪表维修工的技术培训：石油、化工、天然气、热电、冶金、化纤、建材、轻工、合成制药等行业，城市公用事业（自来水、污水处理、燃气计量），环保行业（污染源排放监测和排污总量监控），分析仪器制造行业等，也可作为中等专业技术学校、技工学校的在线分析仪表教材使用，可以和《仪表工试题集（第二版）·在线分析仪表分册》配套使用。

本书各章的编写人员如下：第2章由郭肇新编写，第3章由王森、郭肇新、王福来编写，第7章由王森、符青灵、宗小平、司伟编写，第14章由王森、徐永言、朱勇编写，第18章由王森、符青灵、李鹏飞编写，其余各章由王森编写。

限于编者的知识面和水平，书中难免存在不足之处，欢迎广大读者不吝赐教，批评指正。

王 森
2007年8月

目 录

第1章 基本概念和有关知识	1
1.1 在线分析仪器的定义和分类	1
1.2 在线分析仪器的性能特性和表示方法	2
1.3 在线分析常用浓度单位	6
1.4 防爆和仪表的防爆等级	9
1.5 仪表的外壳防护等级	15
1.6 标准气体与辅助气体	17
第2章 在线分析仪器常用电路及数字处理技术	26
2.1 稳压电源	26
2.2 温度控制电路	29
2.3 基本放大电路	31
2.4 线性化电路	32
2.5 信号输出电路	34
2.6 信号的数字处理及一般处理方法	35
2.7 抗干扰措施与系统接地	39
第3章 红外线气体分析器	44
3.1 电磁辐射波谱和吸收光谱法	44
3.2 红外吸收光谱法测量原理	46
3.3 红外线气体分析器的类型和特点	48
3.4 光学系统的构成部件	50
3.5 检测器	53
3.6 采用气动检测器的不分光型红外分 析器	57
3.7 采用固体检测器的固定分光型红外分 析器	61
3.8 测量误差分析	66
3.9 调校、维护和检修	69
3.10 模块式多组分气体分析器	73
第4章 顺磁式氧分析器	75
4.1 物质的磁特性和气体的体积磁化率	75
4.2 热磁对流式氧分析器	77
4.3 磁力机械式氧分析器	82
4.4 磁压力式氧分析器	85
4.5 顺磁式氧分析器测量误差分析	88
第5章 电化学式氧分析器	92
5.1 氧化锆氧分析器的测量原理	92
5.2 氧化锆氧分析器的类型和适用场合	94
5.3 直插式氧化锆氧分析器	95
5.4 抽吸式氧化锆氧分析器	103
5.5 燃料电池式氧分析器	105
5.6 电解池式氧分析器	108
5.7 微量氧分析器的安装配管、样品处 理和校准方法	109
第6章 热导式气体分析器	113
6.1 气体的热导率	113
6.2 仪器组成和工作原理	115
6.3 测量误差分析	119
6.4 调校、维护和检修	121
第7章 过程气相色谱仪	123
7.1 过程气相色谱仪概述	123
7.2 恒温炉和程序升温炉	127
7.3 自动进样阀和柱切阀	130
7.4 色谱柱和柱系统	135
7.5 检测器	142
7.6 控制器和采样单元	153
7.7 过程色谱仪使用的辅助气体	156
7.8 定量分析及标定	159
7.9 日常维护和故障判别	163
7.10 天然气分析用小型过程气相色 谱仪	169
第8章 微量水分仪	172
8.1 湿度的表示方法及湿度计的类型	172
8.2 电解式微量水分仪	175
8.3 电容式微量水分仪	181
8.4 晶体振荡式微量水分仪	187
8.5 微量水分仪的校准	191
第9章 硫分析仪	193
9.1 概述	193
9.2 醋酸铅纸带法硫化氢和总硫分析仪	195
9.3 紫外吸收法硫化氢、二氧化硫分 析仪	202
第10章 可燃性、有毒性气体检测报 警器	212
10.1 概述	212

10.2	检测器的类型和工作原理	213
10.3	检测器的选用和报警值的设定	219
10.4	设置场所和安装要求	221
10.5	吸入式检测器和吸入采样装置	222
10.6	日常维护和校准	225

第 11 章 烟气排放连续监测系统

(CEMS) 228

11.1	概述	228
11.2	烟尘监测系统	230
11.3	气态污染物监测系统的类型	240
11.4	直接抽取采样法气态污染物监测系统	242
11.5	稀释抽取采样法气态污染物监测系统	244
11.6	直接测量法气态污染物监测系统	248
11.7	烟气参数监测系统	251
11.8	污染物排放量计算和丢失数据的处理	254
11.9	CEMS 的质量保证体系	256

第 12 章 工业 pH 计 258

12.1	在线分析中使用的电化学分析法	258
12.2	pH 值的定义及有关概念	259
12.3	工业 pH 计的构成和工作原理	262
12.4	工业 pH 计的选型和安装	266
12.5	电极的清洗	270
12.6	PH 计的校准和标准缓冲溶液	272
12.7	维护和检修	274
12.8	高压锅炉水样的减温减压处理	275

第 13 章 工业电导率仪 277

13.1	电导和电导率	277
13.2	影响溶液电导测量的因素	279
13.3	电极式电导率仪	281
13.4	电极式电导率仪的安装、维护和校准	285
13.5	电极式电导率仪的应用	289
13.6	电磁感应式电导率仪	291

第 14 章 其他水质分析仪器 294

14.1	浊度的表示方法和测量方法	294
14.2	浊度计的类型和测量原理	296
14.3	浊度计的安装、使用、维护和校准	300

14.4	溶解氧分析仪的应用场合和测量原理	303
14.5	溶解氧传感器的结构和技术性能	307
14.6	溶解氧分析仪的使用、维护和校准	309
14.7	余氯分析仪	310
14.8	COD 和 TOC 测定仪	313

第 15 章 取样和样品传输 319

15.1	取样和取样探头	319
15.2	样品传输	322
15.3	Tube 管和管接头	324
15.4	蒸汽伴热	328
15.5	电伴热	329

第 16 章 样品处理和排放 333

16.1	样品的流量调节	333
16.2	样品的压力调节	336
16.3	样品的温度调节	342
16.4	样品的除尘	342
16.5	样品的除水	347
16.6	样品中有害物的处理	356
16.7	样品的排放	359

第 17 章 样品系统的安装、测试和

滞后时间计算 362

17.1	样品处理系统的安装	362
17.2	样品处理系统的检验测试	363
17.3	样品传送滞后时间计算：体积流量算法	364

第 18 章 特殊样品的取样和处理

系统 373

18.1	乙烯裂解气取样和样品处理系统	373
18.2	催化裂化再生烟气取样和样品处理系统	375
18.3	丁二烯抽提装置样品处理系统	378
18.4	合成氨装置转化、变换高温高含水样品处理系统	381
18.5	管输天然气的取样和样品处理系统	383
18.6	水泥回转窑高温、高粉尘气体取样系统	386

参考文献 390

附录 化工仪表维修工国家职业标准 391

第1章

基本概念和有关知识

1.1 在线分析仪器的定义和分类

1.1.1 在线分析仪器的定义

在线分析仪器 (on-line analyzers) 又称过程分析仪器 (process analyzers), 是指直接安装在工业生产流程或其他源流现场, 对被测介质的组成成分或物性参数进行自动连续测量的一类仪器。在线分析仪器不仅广泛应用于工业生产实时分析, 在环境质量和污染源排放连续监测中, 也有广阔的应用前景。

1.1.2 在线分析仪器的分类

分析仪器的种类繁多, 用途各异, 分析方法的发展迅速, 现有的分析方法已达 200 多种, 从不同的角度出发可以有不同的分类方法。

按照测量原理和分析方法, 可以把在线分析仪器大略地分为如下几类。

(1) 光学分析仪器

包括采用吸收光谱法的红外线气体分析器、近红外光谱仪、紫外-可见分光光度计、激光气体分析仪等; 采用发射光谱法的化学发光法、紫外荧光法分析仪等。

(2) 电化学分析仪器

包括采用电位、电导、电流分析法的各种电化学分析仪器, 如 pH 计、电导仪、氧化锆氧分析器、燃料电池式氧分析器、电化学式有毒性气体检测器等。

(3) 色谱分析仪器

采用色谱柱和检测器对混合流体先分离、后检测的定性、定量分析方法叫做色谱分析法。与其他分析仪器相区别的显著特点, 是它采用了色谱分离技术, 由于使用量较大, 所以单独划为一类。

(4) 物性分析仪器

在分析仪器中, 把定量检测物质物理性质的一类仪器叫做物性分析仪器。物性分析仪器按其检测对象来分类和命名, 如水分仪、湿度计、密度计、黏度计、浊度计以及石油产品物性分析仪器等。鉴于石油产品物性分析仪器的多样性与专用性, 人们常把水分仪、密度计、黏度计这些通用仪器以外的专用于石油产品分析的仪器, 如馏程、蒸汽压、闪点、倾点、辛烷值测定仪等归为一类, 统称为油品物性分析仪器, 我国炼油行业习惯上称为油品质量分析仪器。

(5) 其他分析仪器

将上述几类仪器之外的在线分析仪器合并在这一类中, 包括:

- 顺磁式氧分析器 它利用氧的高顺磁特性制成, 包括热磁对流式、磁力机械式、磁压力式氧分析器;

- 热学分析仪器 如热导式气体分析器、催化燃烧式可燃性气体检测器、热值仪等;

- 射线分析仪器 如 X 射线荧光光谱仪 (也可划入光学分析仪器)、 γ 射线密度计、中

子及微波水分仪（也可划入物性分析仪器）、感烟火灾探测器等；

• 质谱分析仪器 如工业质谱仪，由于目前使用量很少，不能像实验室分析仪器那样将其单独划为一类。

也可按照被测介质的相态划分，将在线分析仪器分为气体、液体、固体分析仪器三大类；或按照测量成分或参数划分，分为氧分析仪、硫分析仪、pH 值测定仪、电导率测定仪等多种。

1.2 在线分析仪器的性能特性和表示方法

2001 年发布的国家标准 GB/T 18403.1—2001《气体分析器性能表示 第一部分：总则》是有关在线分析仪器性能特性和试验程序方面的最新标准。由于新国标有一定的局限性（限于气体分析器，且属通用标准），而此前的有关标准目前仍然有效，考虑到新旧标准之间的连接和延续，也考虑到行业沿用习惯，本节采用新旧标准对照的方式编写，以便读者有一个较为全面的了解，同时也有助于对新国标某些内容的理解。

1.2.1 性能和性能特性

性能（performance）是指仪器达到预定功能的程度。性能特性（performance characteristic）是指为确定仪器的性能而规定的某些参数及其定量的表述。

性能特性的定量表述往往用某个量值、允差、范围来描述，这就是我们通常所说的性能指标。

在线分析仪器的类型繁多，功能各异，其性能特性含义广泛，但大体上可以分成以下两类。

一类性能特性与仪器的工作范围和工作条件有关。工作范围主要是指测量对象、测量范围、量程等，对于不同的分析仪器，工作范围是不同的。工作条件包括对环境条件的适应性、对样品条件的要求等。在线分析仪器直接安装在工业现场，对工艺流程物料连续进样分析，因此，仪器对环境条件的适应性（包括防爆性能和环境保护性能等）要求比较严格，对样品条件（温度、压力、流量等）要求也比较严格，工作条件方面的性能特性与实验室分析仪器相比，有较大区别。

另一类性能特性与仪器的分析信号，即仪器的响应值有关。这类性能特性对不同的分析仪器，数值和量纲可能有所不同，但它们的定义是共同的，是不同类型分析仪器共同具有的性能特性，是同一类分析仪器进行比较的重要依据，也是评价分析仪器基本性能的重要参数。这类性能特性主要有准确度、灵敏度、稳定性、重复性、线性范围、响应时间等。

1.2.2 准确度

准确度（accuracy）又称为精确度，简称精度，是指仪器的指示值与被测量真值的一致程度。仪器的准确度用测量误差来表示。测量误差的表示方法有多种，目前分析仪器中常用的几种表示方法如下。

（1）绝对误差（absolute error）

$$\text{绝对误差} = \text{测量结果} - (\text{约定})\text{真值}$$

（2）相对误差（relative error）

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差} / (\text{约定})\text{真值}$$

在仪器样本和说明书中，相对误差一般用 $\pm\%FS$ 表示，有时也用 $\pm\%R$ 表示。 FS 是英文 Full Scale 的缩写， $\pm\%FS$ 表示仪表满量程相对误差。

$$\text{仪表满量程相对误差} = [\text{绝对误差} \div (\text{测量上限} - \text{测量下限})] \times 100\%$$

R 是英文 Reading 的缩写, $\pm\%R$ 表示仪表示值相对误差。

仪表读数相对误差 = (绝对误差 ÷ 仪表示值) × 100%

$\pm\%FS$ 和 $\pm\%R$ 在以前的标准中称为引用误差, 新国标中称为基准误差, 两者的英文名称都是 fiducial error。FS 和 R 称为引用值或基准值, 英文名称都是 fiducial value。

(3) 基本误差 (intrinsic error)

新国标中称为固有误差, 两者英文名称相同, 只是译法不同, 是指仪器在参比工作条件下使用时的误差。所谓参比工作条件, 是指对仪器的各种影响量、影响特性 (必要时) 所规定的一组带有允差的数值范围。由于参比工作条件是比较严格的, 所以这种误差能够更准确地反映仪器所固有的性能, 便于在相同条件下对同类仪器进行比较和校准。

(4) 影响误差 (influence error)

当一个影响量在其额定工作范围内取任一值, 而其他影响量处在参比工作条件时测定的误差。例如环境温度影响误差、电源电压波动影响误差等。新国标中将影响误差称为偏差 (variation)。

(5) 干扰误差 (interference error)

由存在于样品中的干扰组分所引起的误差。这是针对分析仪器提出的一个性能特性。

上述几种误差的关系是: 基本误差是表征仪器准确度的基本指标, 产品样本和说明书中的绝对误差、相对误差 (包括引用误差) 均应理解为基本误差, 而影响误差、干扰误差只有在必要时才列出。

1.2.3 测量不确定度

测量不确定度 (uncertainty in measurement) 主要用于精密测量, 工程测量中较少使用, 目前标准气体、高纯气体和一部分标准仪器中使用该性能指标。

简单地说, 测量不确定度表示仪器的指示值与被测量真值接近的程度。或者说, 由于测量误差的存在, 对测量值不能肯定的程度。测量误差由系统误差和随机误差两个分量合成, 测量不确定度主要来自随机误差, 随机误差产生的原因很多, 而且不可能完全消除, 所以测量结果总是存在随机不确定度。

1.2.4 灵敏度、检测限、分辨力和选择性

(1) 灵敏度 (sensitivity)

灵敏度是指被测物质的含量或浓度改变一个单位时分析信号的变化量, 表示仪器对被测定量变化的反应能力。也可以说, 灵敏度是指仪器的输出信号变化与被测组分浓度变化之比, 这一数值越大, 表示仪器越敏感, 即被测组分浓度有微小变化时, 仪表就能产生足够的响应信号。

如果仪器的输入/输出是线性特性, 则仪器的灵敏度是常数; 如果是非线性特性, 则灵敏度在整个量程范围内是变数, 它在不同的输入/输出段是不一样的。如果仪器的输入/输出具有相同的单位, 则灵敏度就是放大倍数; 如果是不同的单位, 则灵敏度是转换系数。

(2) 检测限 (limit of detection)

又称检出限, 新国标中称为最小可检测变化 (minimum detectable change), 是指能产生一个确证在样品中存在被测物质的分析信号所需要的该物质的最小含量或最小浓度, 是表征和评价分析仪器检测能力的一个基本指标。在测量误差遵从正态分布的条件下, 指能用该分析仪器以给定的置信度 (通常取置信度为 99.7%, 有时也取置信度为 95%) 检出被测组分的最小含量或最小浓度。

显然, 分析仪器的灵敏度越高, 检测限越低, 所能检出的物质质量值越小, 所以以前常用

灵敏度来表征分析仪器的检测限。但分析灵敏度直接依赖于检测器的灵敏度与仪器的放大倍数。随着灵敏度的提高,通常噪声也随之增大,而信噪比和分析方法的检出能力不一定会改善和提高。由于灵敏度未能考虑到测量噪声的影响,因此,现在已不用灵敏度来表征分析仪器的最大检出能力,而推荐用检测限来表征。

(3) 分辨力 (resolution)

是指仪器区别相邻近信号的能力。不同分析仪器所指的相邻近信号有所不同,如光谱仪所指的一般是最邻近的波长,色谱仪所指的是最邻近的两个峰,而质谱仪所指的是最邻近的两个质量数,所以不同分析仪器的分辨力所指也有所不同。

分辨力常用分辨率、分离度等表示,分析仪器的分辨率是可调的,仪器性能指标中给出的分辨率一般是该仪器的最高分辨率。根据分析的要求,在实际工作中可能使用较低的分辨率,因为此时分析仪器的灵敏度可能更好些。一般来说,分辨率越高,灵敏度越低。

(4) 选择性 (selectivity)

是指仪器对被测组分以外的其他组分呈低灵敏度或无灵敏度的能力。选择性可用干扰系数来描述,干扰系数是指仪器对相同浓度的被测组分和干扰组分的响应比。

选择性和分辨力意义相近,但又有差异,选择性是对相类似的组分而言,分辨力是对相邻近的信号而言。

1.2.5 线性度、线性误差和线性范围

(1) 线性度 (linearity)

仪器的校准曲线与规定直线(一般为被测量的线性函数直线)之间的吻合程度。

(2) 线性误差 (linearity error)

又称非线性误差,是指仪器的校准曲线与规定直线的最大偏差,一般用该偏差与仪器量程的百分数表示。由于仪器的实际输出是经过校准曲线校正的,所以新国标中将线性误差定义为:仪器实际读数与通过被测量的线性函数求出的读数之间的最大差异。

(3) 线性范围 (linear range)

是指校准曲线所跨越的最大线性区间,用来表示对被测组分含量或浓度的适用性。仪器的线性范围越宽越好。

可以用仪器响应值或被测定量值的高端值与低端值之差来表征仪器的线性动态范围,也可用两者之比来表征仪器的线性动态范围。

用高端值与低端值之差表征线性动态范围的优点是直观和方便应用,物理含义明确,不受校准曲线截距和斜率的影响。

杂散光对校正曲线线性动态范围的上限、噪声对校正曲线线性动态范围的下限有显著的影响,用高端值与低端值之比来表征仪器线性范围,对杂散光和噪声的反应灵敏,适合用来考察杂散光和噪声对线性范围的影响。

1.2.6 重复性

(1) 重复性 (repeatability)

又称重复性误差 (repeatability error)。重复性误差是指用相同的方法、相同的试样、在相同的条件下测得的一系列结果之间的偏差。相同的条件是指同一操作者、同一仪器、同一实验室和短暂的时间间隔。重复性误差用实验标准偏差来表示,它与测量的精密度是同一含义。

(2) 实验标准偏差 (experimental standard deviation)

又称标准偏差估计值,是指在对同一被测量进行 n 次测量时,表征测量结果分散程度的参数 S 。 S 由下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中 S ——实验标准偏差；

x_i ——第 i 次测量结果；

$\bar{x}$ ——所测量的 n 个结果的算术平均值。

1.2.7 稳定性

(1) 稳定性 (stability)

是指在规定的条件下，输入保持不变，在规定时间内仪器示值保持不变的能力。分析仪器的稳定性可用噪声和漂移两个参数来表征。

(2) 噪声 (noises)

又称输出波动 (output fluctuation)，不是由被测组分的浓度或任何影响量变化引起的相对于平均输出的波动，或者说由于未知的偶然因素所引起的输出信号的随机波动。它干扰有用信号的检测。在零含量 (浓度) 时产生的噪声，称为基线噪声，它使检出限变差。噪声表示了随机误差的影响。

(3) 漂移 (drift)

是指分析信号朝某个一定的方向缓慢变化的现象。漂移包括零点漂移、量程漂移、基线漂移。漂移表示了系统误差的影响。

1.2.8 电磁兼容性

电磁兼容性 (electromagnetism compatibility) 是工业过程测量和控制仪表的一项技术性能。由于工业仪表总是和各类产生电磁干扰的设备在一起工作，因此不可避免地受电磁环境的影响。如何使不同的电气、电子设备能在规定的电磁环境中正常工作，又不对该环境或其他设备造成不允许的扰动，这就是电磁兼容性标准规定的内容。它包括抗扰性和发射限值两类要求。

工业仪表受电磁环境干扰的干扰源主要来自各类开关装置、继电器、电焊机、广播电台、电视台、无线通信工具以及工业设备产生的电磁辐射，带静电荷的操作人员也可能成为干扰源。

干扰源通过工业仪表的电源线、信号输入输出线或外壳，以电容耦合、电感耦合、电磁辐射的形式导入，也可通过公共阻抗直接导入。

绝大部分工业仪表是由电子线路组成的，工作电流很小，并带有微处理器，对电磁干扰十分敏感，故在设计制造中，必须经受再现和模拟其工作现场可能遇到的电磁干扰环境的各种试验，以使它们的技术特性符合电磁兼容性标准的要求。

1.2.9 响应时间和分析滞后时间

(1) 响应时间 (response time)

表征仪器测量速度的快慢。通常定义为从被测量发生阶跃变化的瞬时起，到仪器的指示达到两个稳态值之差的 90% 止所经过的时间。这一时间称为 90% 响应时间，用 T_{90} 标注。

上面的定义是针对仪器而言，对于一个由取样、样品传输和预处理环节及分析仪器组成的在线分析系统来说，则往往用分析滞后时间来衡量测量速度的快慢。

(2) 分析滞后时间 (lag time of analysis)

等于“样品传输滞后时间”和“分析仪器响应时间”之和，即样品从工艺设备取出到得到分析结果这段时间。样品传输滞后时间包括取样、传输和预处理环节所需时间。

1.2.10 可靠性

可靠性 (Reliability) 指仪器的所有性能 (准确度、稳定性等) 随时间保持不变的能力，

也可以解释为仪器长期稳定运行的能力。平均无故障运行时间 MTBF 是衡量仪器可靠性的一项重要指标。

1.2.11 检定和校准

分析仪器在日常使用中要进行校准,长期使用,特别在修理或调试后需要进行检定或校准。检定和校准都是“传递量值”或“量值溯源”的一种方式,为仪器的正确使用建立准确、一致的基础。检定是定期的,是对仪器计量性能较全面的评价。校准是日常进行的,是对仪器主要性能的检查,以保证示值的准确。检定与校准两者互为补充,不能相互替代。

(1) 检定 (Verification)

是指为评价仪器的计量性能,以确定其是否合格所进行的工作。检定方法主要是利用标准物质评价仪器的性能。检定内容主要是检验仪器的准确度、重复性和线性度。检定的依据是国家或行业发布的检定规程,其内容包括规程的适用范围、仪器的计量性能、检定项目、条件和方法、检定结果和周期等。

(2) 校准 (Calibration)

是指在规定的条件下,检验仪器的指示值和被测量值之间的关系的一组操作。可以利用校准的结果评价仪器的“示值误差”和给仪器标尺赋值。可以单点校准,也可选两个点(在待测范围的上端与下端)校准,还可进行多点校准。用校准曲线或校正因子表示校准结果。校准通常以标准物质作为已知量值的“待测物”,利用标准物质的准确定值来进行。通常所说的“标定”、“校正”和“校准”是同一含义。

1.3 在线分析常用浓度单位^①

在线分析中使用的计量单位很多,与分析结果有关的计量单位主要有浓度、密度、黏度、湿度、浊度、pH 值、电导率等,本节主要介绍常用浓度单位,其他计量单位将在后续章节中逐一介绍。

1.3.1 气体浓度的表示方法

气体浓度的表示方法有摩尔分数、体积分数、质量浓度、质量分数、物质的量浓度等。在线分析中气体浓度的表示方法主要有以下四种。

(1) 气体的摩尔分数 x_B

组分 B 的物质的量与混合气体中各组分物质的量的总和之比:

$$x_B = \frac{n_B}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

式中 n_B ——混合气体中组分 B 的物质的量, mol;

n_i ——混合气体中各组分物质的量, mol。

常用的单位是%、 10^{-6} 、 10^{-9} ,即以前常用的% Mol (摩尔百分数)、ppm Mol、ppb Mol。

(2) 气体的体积分数 φ_B

组分 B 的体积 V_B 与混合气体中各组分体积 V_i 的总和之比。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

① 本书中仍沿用 ppm 等工程单位。

常用的单位是%、 10^{-6} 、 10^{-9} ，即以前常用的% Vol（体积百分数）、ppm Vol、ppb Vol。

对于理想气体来说，摩尔分数=体积分数， $x_B = \varphi_B$ 。

应当指出，理想气体状态方程仅适用于常温常压下的—般干气体。对于一些较易液化的气体，如 CO_2 、 SO_2 、 NH_3 、 C_3 、 C_4 等，在—般温度和压力下，与理想气体状态方程的偏差就较明显。另外—些气体在高压、低温及接近液态时，应用理想气体状态方程也会带来较大偏差。因此，对于这些气体在应用理想气体状态方程时，应增加—个气体压缩系数 Z 来加以修正。

在线气体成分分析仪设计时，一般是把各种气体作为理想气体处理，按理想气体定律进行计算，测量值可以认为是体积分数浓度，也可以认为是摩尔分数浓度，因为对理想气体而言，两者是完全相等的。当然对于真实气体而言，两者并不完全相等，由于两者的差别很小，所以往往忽略不计。

因此，在—般的气体成分分析中，可以认为摩尔分数=体积分数，但应注意两者之间的实质差别。在与计量有关的气体成分分析中，例如天然气能量计量中，则应对这两种浓度严格加以区分，并用气体压缩系数 Z 对分析结果进行修正（详见本书“气相色谱仪”—章中的“天然气色谱仪部分”）。

(3) 气体的质量浓度 ρ_B

组分气体 B 的质量 m 与混合气体的体积 V 之比。

$$\rho_B = \frac{m}{V}$$

常用的单位是 kg/m^3 、 g/m^3 、 mg/m^3 。

(4) 气体的质量分数 w_B

组分气体 B 的质量 m_B 与气体中各组分的质量 m_i 总和之比。

$$w_B = \frac{m_B}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

常用的单位是%、 10^{-6} 、 10^{-9} 。质量分数就是以前使用的% Wt（质量百分浓度）、ppm Wt、ppb Wt。

气体分析中，—般不单独使用质量分数表示方法，仅用于气体和液体混合物浓度之间的相互换算。

1.3.2 气体浓度单位换算

在线气体成分含量分析中，常用到以下几种浓度单位：

绝对含量—— mg/m^3 （ $\mu\text{g}/\text{L}$ ）

体积百万分含量——ppm Vol（ 10^{-6} Vol）

质量百万分含量——ppm Wt（ 10^{-6} Wt）

mg/m^3 、ppmVol 与 ppmWt 之间之间的换算关系见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 气体浓度单位换算表之一（ 20°C 、 101.325kPa 下，空气中）

浓度单位	换算后单位	需乘的换算系数	说 明
mg/m^3	$\mu\text{g}/\text{L}$	1	M ——气体组分的摩尔质量，g
	ppm Vol	$24.04/M$	24.04—— 20°C 、 101.325kPa 下，1mol 气体分子的体积，L： $24.04 = 22.4 \times [(273.15 + 20) \div 273.15]$
	ppm Wt	0.8301	$0.8301 = 24.04 \div 28.96$ 28.96——干空气的摩尔质量，g

续表

浓度单位	换算后单位	需乘的换算系数	说 明
ppm Vol	mg/m ³	$M/24.04$	
	μg/L	$M/24.04$	
	ppm Wt	$M/28.96$	
ppm Wt	mg/m ³	1.2047	1.2047 = 1 ÷ 0.8301
	μg/L	1.2047	
	ppm Vol	$28.96/M$	
lb/ft ³	mg/m ³	16.0169×10^6	1lb = 453.6g = 453600mg 1ft ³ = 28.32L = 0.02832m ³ 1lb/ft ³ = 453600 ÷ 0.02832 = 16.0169×10^6 mg/m ³ $385.0463 \times 10^6 / M = 16.0169 \times 10^6 \times 24.04 / M$ $13.2956 \times 10^6 = 16.0169 \times 10^6 \times 0.8301$
	μg/L	16.0169×10^6	
	ppm Vol	$385.0463 \times 10^6 / M$	
	ppm Wt	13.2956×10^6	

注：如 ppm Wt (20℃，空气中) 为 ppm Wt (20℃，混合气体中) 时，用 M_{mix} 代替 28.96 即可， M_{mix} 为混合气体的平均摩尔质量，g。

表 1-2 气体浓度单位换算表之二 (20℃、101.325kPa 下，混合气体中)

浓度单位	换算后单位	需乘的换算系数	说 明
mg/m ³	μg/m ³	1000	M ——气体组分的摩尔质量，g 24.04——20℃、101.325kPa 下，1mol 气体分子的体积，L： $24.04 = 22.4 \times [(273.15 + 20) \div 273.15]$ M_{mix} ——混合气体的平均摩尔质量，g
	μg/L	1	
	ppm Vol	$24.04/M$	
		$24.04/M_{\text{mix}}$	
ppm Vol	ppm Wt	$M/24.04$	
	ppm Wt	M/M_{mix}	
ppm Wt	mg/m ³	$M_{\text{mix}}/24.04$	
	ppm Vol	M_{mix}/M	
lb/ft ³	mg/m ³	16.0169×10^6	1lb = 453.6g = 453600mg 1ft ³ = 28.32L = 0.02832m ³ 1lb/ft ³ = 453600 ÷ 0.02832 = 16.0169×10^6 mg/m ³ $385.0463 \times 10^6 / M = 16.0169 \times 10^6 \times 24.04 / M$
	ppm Vol	$385.0463 \times 10^6 / M$	
	ppm Wt	$385.0463 \times 10^6 / M_{\text{mix}}$	

注：表中 ppm Wt 的条件为 20℃、101.325kPa 下，混合气体中。如果 ppm Wt 的条件改为 20℃、101.325kPa 下，空气中时，用 28.96 代替 M_{mix} 进行计算即可，28.96——干空气的摩尔质量，g。

1.3.3 液体浓度的表示方法

液体浓度的表示方法有物质的量浓度、质量浓度、质量分数、体积分数、比例浓度等。在线分析中液体浓度的表示方法主要有以下三种。

(1) 液体物质的量浓度 c_B

是指 1L 溶液中所含溶质 B 的量数（摩尔数）。

常用的单位是 mol/L 和 mmol/L。以前使用的当量浓度已经废除，不应再使用。

(2) 液体的质量浓度 ρ_B

是指 1L 溶液中所含溶质 B 的质量数。

常用的单位是 g/L、mg/L 和 μg/L，不得再使用 ppm、ppb 等表示方法。

(3) 液体的质量分数 w_B

溶质 B 的质量 m_B 与溶液 A 的质量 m_A 之比：

$$w_B = \frac{m_B}{m_A}$$

常用的单位是%、 10^{-6} 、 10^{-9} ，以前使用%wt（质量百分浓度）、ppmW、ppbW，现在已经废止。

说明：在国际标准和国家标准中，溶剂用A代表，溶质用B代表，所以 m_A 和 m_B 的下脚分别注以A和B。

1.4 防爆和仪表的防爆等级

1.4.1 爆炸性危险场所的划分

① 中国对爆炸性危险场所的划分采用与IEC等效的方法，见表1-3。

表 1-3 中国对爆炸性危险场所的划分 (GB 50058—1992)

爆炸性物质	区域划分	区域定义
气体	0区	连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境
	1区	在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境
	2区	在正常运行时不可能出现爆炸性气体混合物的环境，或即使出现也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的环境
粉尘	10区	连续出现或长期出现爆炸性粉尘的环境
	11区	有时会将积留下的粉尘扬起而偶然出现爆炸性粉尘混合物的环境

② IEC 60079-10（国际电工技术委员会标准）将爆炸性气体危险场所划分为0区（Zone 0）、1区（Zone 1）、2区（Zone 2），其定义与我国相同，对爆炸性粉尘危险场所尚未划分。德国、意大利、日本、英国、澳大利亚等国对爆炸性气体危险场所的划分与IEC相同。

③ NEC 500（美国国家电气规范）对爆炸性危险场所的划分如下。

危险场所级别：Class I——1级，为可燃性气体、蒸气场所；

Class II——2级，为可燃性粉尘场所；

Class III——3级，为易燃性纤维场所。

危险场所区别：Division 1——1区（相当于IEC和我国的0区、1区）；

Division 2——2区（相当于IEC和我国的2区）。

美国、加拿大等一些北美国家按NEC 500进行划分。

1.4.2 电气设备的防爆型式

所谓防爆型式是指为防止电气设备引燃周围爆炸性气体混合物而采取的特定措施。中国电气设备的防爆型式见表1-4。

表 1-4 中国电气设备的防爆型式 (GB 3836.1—2000)

结构型式	标 志	结构型式	标 志
隔爆型	d	充砂型	q
增安型	e	浇封型	m
本质安全型	ia, ib	无火花型	n
正压型	p	特殊型	s
油浸型	o		

下面对在线分析仪器中常见的几种防爆型式作一简单介绍。

(1) 隔爆型 (d 型)

隔爆又称耐压防爆, 它把能点燃爆炸性混合物的仪表部件封闭在一个外壳内, 该外壳特别牢固, 能承受内部爆炸性混合物的爆炸压力, 并阻止向壳外的爆炸性混合物传爆。这就是说, 隔爆型仪表的壳体内部是可能发生爆炸的, 但不会传到壳体外面去, 因此这种仪表的各部件的接合面, 如仪表盖的螺纹圈数, 螺纹精度, 零点、量程调整螺钉和表壳之间, 变送器的检测部件和转换部件之间的间隙, 以及导线口等, 都有严格的防爆要求。

隔爆型仪表除了较笨重外, 其他比较简单, 不需要如安全栅之类的关联设备。但是在打开表盖前, 必须先把电源关掉, 否则万一产生火花, 便会暴露在大气之中, 从而出现危险。

(2) 本质安全型 (i 型)

本质安全型又叫安全火花型, 它的特点是仪表在正常状态下和故障状态下, 电路、系统产生的火花和达到的温度都不会引燃爆炸性气体混合物。其防爆主要由以下措施来实现: 采用新型集成电路元件等组成仪表电路, 在较低的工作电压和较小的工作电流下工作; 用安全栅把危险场所和非危险场所的电路分隔开, 限制由非危险场所传递到危险场所去的能量; 仪表的连接导线不得形成过大的分布电感和分布电容, 以减少电路中的储能。

本质安全型仪表的防爆性能, 不是采用通风、充气、充油、隔爆等外部措施实现的, 而是由电路本身实现的, 因而是本质安全的。它能适用于一切危险场所和一切爆炸性气体、蒸气混合物环境, 并可以在通电的情况下进行维修和调整。但是, 它不能单独使用, 必须和本安关联设备 (安全栅)、外部配线一起组成本安电路, 才能发挥防爆性能。

本质安全型仪表有 ia、ib 两种, 它们之间的区别如下。

① ia 型 在正常工作条件下, 以及在电路中施加一个故障或任意组合的两个故障时, 均不能引起点燃的本质安全性电气设备。在 ia 型电路中, 工作电流被限制在 100mA 以下。

② ib 型 在正常工作条件下, 以及在电路中施加一个故障时, 不能引起点燃的本质安全性电气设备。在 ib 型电路中, 工作电流被限制在 150mA 以下。

ia 型仪表适用于 0 区和 1 区, ib 型仪表仅适用于 1 区。或者说, 从本质安全角度讲, ib 型仪表适用于煤矿井下, ia 型仪表适用于工厂。

(3) 正压型 (p 型)

正压型设备是一种通过保持内部保护气体的压力高于外部爆炸性环境压力的措施来达到安全的电气设备。保护气体可以是空气、氮气或其他非可燃性气体及其混合物, 保护气体在正压型设备中的作用是: 换气、保持正压、将可燃性气体或蒸气的浓度稀释到爆炸下限以下。

正压型设备的防爆措施包括正压外壳保护或正压吹扫保护两个方面。正压外壳保护是指通过正压的方法阻止外部爆炸性气体混合物进入仪表壳体内, 从而使仪表电气部件的危险源与之隔离。正压吹扫保护是指当仪表壳体内存在爆炸性气体泄漏隐患时, 及时将其稀释至爆炸下限浓度以下。简而言之, 前者是对外部危险气体的防护, 后者是对内部危险气体的防护。

在新的国家标准 GB 3836.5—2004《爆炸性气体环境用电气设备 第 5 部分: 正压外壳型 “p”》(非等效采用 IEC 60079-2) 中, 将正压保护的型式细分为 px、py、pz 三种。即国外正压型设备中的 X 型、Y 型、Z 型吹扫。

① px 型正压保护 (X 型吹扫) 可将正压外壳内的危险区域等级从 1 区降至非危险区。

② py 型正压保护 (Y 型吹扫) 可将正压外壳内的危险区域等级从 1 区降至 2 区。

③ pz 型正压保护 (Z 型吹扫) 可将正压外壳内的危险区域等级从 2 区降至非危险区。

正压外壳内应保持的最低正压值 (相对于外部压力): px 型和 py 型为 50Pa, pz 型为 25Pa。当正压值降至制造厂规定的最小值时, px 型正压保护的安全联锁装置自动切断电源并发出报警信号, 而 py 型和 pz 型只发出报警信号。

(4) 增安型 (e 型) 仪表

对在正常运行条件下不会产生电弧或火花的仪表设备, 进一步采取措施, 提高其安全程度, 防止产生危险温度、电弧和火花的可能性 (如在过载等条件下), 采取这种防爆措施的仪表称为增安型仪表。这里需要注意, 它不包括正常运行条件下会产生电弧或火花的仪表设备。

(5) 特殊型 (s 型)

特殊型 (s 型) 是指除 d、e、i、p、o、q、n、m 之外的特殊防爆型式, 或者是上述几种型式的组合, 采用这种型式的防爆仪表称为特殊型仪表。

1.4.3 防爆电气设备的类别、级别和温度组别

防爆电气设备分为两大类: I 类为煤矿用电气设备; II 类为除煤矿外的其他爆炸性气体环境用电气设备, 也称为工厂用电气设备。

II 类隔爆型 “d” 和本质安全型 “i” 电气设备又分为 II A、II B、II C 三级。对于隔爆型电气设备, 按最大试验安全间隙 (MESG) 分级; 对于本质安全型电气设备, 按最小点燃电流 (MIC) 分级。

所有 II 类防爆电气设备按最高表面温度分为 T1 ~ T6 六组。最高表面温度是指电气设备在允许的最不利条件下运行时, 其表面或任一部分可能达到的并有可能引燃周围爆炸性气体环境的最高温度。

II 类防爆电气设备的分级、分组与爆炸性气体的传爆级别、引燃温度组别一一对应, 见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 电气设备的防爆级别

电气设备的防爆级别 (爆炸性气体混合物的传爆级别)	最大试验安全间隙 (MESG) (适用于隔爆型电气设备)	最小点燃电流比 (MICR) (适用于本安型电气设备)
II A	$>0.9\text{mm}$	>0.8
II B	$0.5\sim0.9\text{mm}$	$0.45\sim0.8$
II C	$<0.5\text{mm}$	<0.45

注: 爆炸性气体混合物的传爆级别也是电气设备的防爆级别, 两者是一致的, 均分为 II A、II B、II C 三级。

表 1-6 电气设备的最高允许表面温度组别

温度组别	电气设备的最高允许 表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	爆炸性气体混合物的 引燃温度 t	温度组别	电气设备的最高允许 表面温度/ $^{\circ}\text{C}$	爆炸性气体混合物的 引燃温度 t
T1	450	$t>450^{\circ}\text{C}$	T4	135	$200^{\circ}\text{C}\geq t>135^{\circ}\text{C}$
T2	300	$450^{\circ}\text{C}\geq t>300^{\circ}\text{C}$	T5	100	$135^{\circ}\text{C}\geq t>100^{\circ}\text{C}$
T3	200	$300^{\circ}\text{C}\geq t>200^{\circ}\text{C}$	T6	85	$100^{\circ}\text{C}\geq t>85^{\circ}\text{C}$

注: 爆炸性气体混合物的引燃温度组别与电气设备的最高允许表面温度组别一一对应, 如 T4 组气体, 引燃温度为 $200^{\circ}\text{C}\geq t>135^{\circ}\text{C}$, 应选用表面温度组别为 T4 的仪表, 其最高表面温度 $\leq 135^{\circ}\text{C}$ 。

1.4.4 中、外电气防爆标志的构成和对照

(1) 中国电气防爆标志的构成

中国的电气防爆标志遵循 IEC 的规定, 一般由以下 5 个部分构成: