

工业过程分析手册

〔英〕K. J. 克利夫特著

黄思真 王 东 李瑞荣 译

石油工业出版社

内 容 提 要

工业过程分析手册主要是介绍工业过程在线质量仪表。它涉及到物质组分、粘度、蒸馏分析、温度、倾油点、蒸汽压、含氧量、pH 值、水质、湿度、气体燃料、辛烷值、热导等众多方面的测量。论及了气相色谱, 紫外线、红外线、光电效应等多种方法。书中收集了美、英、西欧等国制造的200余种在线质量仪表的工作原理, 结构和技术特性。精炼地讲解了作为在线质量仪表基础的各种分析理论和原化验室分析方法。并对它们在石油、化工、造纸、环境保护等部门的应用做了较为详尽的叙述。书末并附有欧美厂家详细地址及仪表技术规格一览表。本书可供我国从事仪表研究、设计, 制造及从事石油炼制, 化工生产的工程技术人员, 分析工作者参考和借鉴。

K. J. Clevert

Handbook of Process Stream Analysis

First Published 1973

Published in the United States by Halsted
Press, a division of John Wiley and Sons Inc., New York

*

工业过程分析手册

K. J. 克利夫特著

黄思真 王 东 李瑞荣 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米1/32开本17印张444千字印数4,301—6,800

1981年3月北京第1版 1982年6月北京第2次印刷

书号:15037·2208 定 价:2.10元

作 者 序 言

工业在线分析是仪器仪表这个十分广泛行业中的一个重要组成部分，近年来已得到极大发展，并且仍在继续向前发展着。

虽然工业在线质量分析仪是基于化学机理，但是它却反映了工业分析仪器仪表行业当前发展的盛况。从使用的观点来看，工业在线质量分析仪的主要评定标准是可靠性、精度和连续向操作人员提供工艺过程质量信息的能力。现在，在线质量分析仪表已为人们所接受，作为工业过程仪器仪表的一个必要的组成部分。使用工业在线质量分析仪可以在生产操作方面，产品质量方面，及操作人力方面带来巨大的好处。因此，如若没有工业在线质量分析仪表，一些复杂的工业过程就不能够实现最佳效率的操作了。

尽管有许多讲述实验室分析方法理论的书籍，但是，谈及工业在线质量分析仪表的书却很少，即使提到，也过于简单。

在本书中我想对现代的在线连续分析质量仪表作一番考察，并着重讲述其实际应用方面。与此同时，还详细论述了各种分析技术的理论基础以给读者一套有关本门技术的系统概念。

本书可供化学工程师，分析工作者，仪表及控制工程师，承包商，设计人员等，以及学习控制，化学及电子工程专业的大学生查阅。另外，对于仪表制造和维护人员，也是一本有价值的参考书。

本书每章讲述了一项具体的分析技术，如比重，粘度，气相色谱等。每章开始先论述分析技术的理论基础。接着是叙述实验室分析的基本方法，和如何采用或修改这一方法，以作为工业过程在线分析的基础。其次介绍市场上出售的几种主要在线分析仪；并对其工作原理及技术特性作了详细说明。每章结尾谈的是

在线分析仪的各种应用。最后一章讲述了试样的处理系统，它是在线分析仪设计中一个很重要的环节。在全书末尾，附有各种在线质量仪表的技术规格表，表中列出了本书中介绍过的全部在线质量仪表的技术数据及技术性能。由于在线分析仪的飞速发展，本书未能涉及当前市场上出售的各种最新的在线分析仪，然而，本书仍介绍了200多种重要仪表的工作原理和技术特性。

本书在复制照片和有关资料方面，承蒙得到联合王国、欧洲、美国的众多仪表制造公司的允许和关注。如若没有这些公司的指导和协助，这本书是写不成的。珍妮特·费伦小姐在打字方面给了热心帮助。R. A查默斯先生对本书作了有益的指教，并且还不辞劳苦地审阅了本书的全部原稿。在此，作者深表谢意。

K. J. 克利夫特

1972年12月

目 录

作者序言

第一章 气相色谱分析法	1
第1节 引言	1
第2节 气-液色谱分析法的机理	3
第3节 影响色谱分离的因素	5
一、柱子的几何尺寸	6
二、惰性担体	6
三、固定液	6
四、柱子温度	7
五、载气的性质和流速	7
六、试样量和注样方法	8
第4节 实验室色谱分析法	8
第5节 工业在线色谱分析法	9
第6节 工业色谱仪的几个组成部分	10
一、分析单元	11
二、恒温槽	11
三、载气系统	12
四、检测器	13
五、注样阀和柱子切换阀	15
六、程序控制单元及记录方法	18
七、记录器	19
八、流路自动切换单元	21
九、峰值积分单元	22
第7节 工业中应用的色谱仪	22
一、贝克曼仪表有限公司	22
二、卡洛·厄巴, 科学仪器部	26
三、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	30

四、福克斯博罗·约克萨尔有限公司	33
五、李德斯和诺思鲁普公司	35
六、矿山安全用具有限公司	37
七、派-尤尼卡姆有限公司	42
八、本迪克斯股份有限公司	45
第8节 工业色谱仪的应用	49
第二章 粘度的测量	52
第1节 引言	52
第2节 传统的测量方法	53
一、泊肃叶法	53
二、U型管法	55
三、转筒法 (库埃特原理)	56
四、斯托克法	57
第3节 湍流	58
第4节 温度的影响	58
第5节 非牛顿液体	58
第6节 实验室粘度测量方法	59
第7节 工业过程用的粘度仪	60
一、本迪克斯公司	60
二、卡洛·厄巴, 科学仪器部	63
三、康特拉维斯工业产品有限公司	63
四、通用电子-埃利奥特有限公司 (豪利坎宁仪表)	67
五、诺克罗斯股份有限公司	68
六、精密科学开发公司	71
第8节 应用	72
第三章 蒸馏分析仪	74
第1节 引言	74
第2节 蒸馏过程	75
第3节 实验室蒸馏方法	79
第4节 工业过程用的蒸馏分析仪	80
一、卡洛·厄巴, 科学仪器部	80
二、通用电子-埃利奥特有限公司 (豪利坎宁仪表)	83
三、恩腊夫-诺尼斯有限公司 (贝克·迪尔夫特公司)	86

四、霍恩仪表有限公司	87
五、精密科学开发公司	93
六、技术石油工具股份有限公司	95
第5节 应用	99
第四章 闪点的测量	100
第1节 引言	100
第2节 实验室测量方法	100
第3节 工业过程用的闪点分析仪	102
一、精密科学开发公司	102
二、卡洛·厄巴, 科学仪器部	107
三、霍恩仪表有限公司	109
第4节 应用	112
第五章 倾点和浊点的测量	114
第1节 引言	114
第2节 实验室测量方法	114
第3节 工业过程用的倾点分析仪	116
一、卡洛·厄巴, 科学仪器部	116
二、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	118
三、精密科学开发公司	119
第4节 工业过程用的浊点分析仪	122
一、通用电子-埃利奥特有限公司(豪利坎宁仪表)	122
二、霍恩仪表有限公司	124
三、技术石油工具股份有限公司	125
第六章 蒸气压的测量	128
第1节 引言	128
第2节 实验室测量方法	129
一、雷德法	129
二、微量法	130
第3节 工业过程用的蒸气压分析仪	131
一、通用电子-埃利奥特有限公司(豪利坎宁仪表)	131
二、福克斯博罗·约克萨尔有限公司	132
三、精密科学开发公司	133
四、系统和组件有限公司	134

第4节 应用	137
第七章 含氧量的测量	138
第1节 引言	138
第2节 氧的顺磁性	138
一、磁风原理	139
二、顺磁性的直接测量	142
第3节 催化燃烧法	142
第4节 电化学氧化法	143
第5节 氧对原电池的影响	143
第6节 工业过程用的含氧量分析仪	144
一、贝克曼仪表有限公司	144
二、本迪克斯股份有限公司	148
三、坎布里奇工业仪表有限公司	149
四、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	152
五、恩盖尔哈德工业有限公司	154
六、哈特曼和布朗股分公司	155
七、海斯股份有限公司	158
八、肯特工业仪表有限公司	162
九、李德斯和诺思鲁普公司	164
十、梅哈克股分公司	165
十一、矿山安全用具有限公司	165
十二、泰勒·塞伏梅克斯有限公司	168
十三、华莱士和蒂尔南有限公司	170
第7节 氧气分析仪的试样处理系统	172
第8节 氧气分析仪的应用	175
第八章 pH和氧化还原作用的测量	177
第1节 引言	177
第2节 基本原理	177
一、缓冲溶液	179
二、测量方法	180
三、参考电极	181
四、测量电极	182
五、电极校验	184

六、测量设备	185
七、在线pH测量	186
八、电极污染	187
九、氧化还原作用的测量	187
第3节 工业过程用pH仪和氧化还原作用分析仪	189
一、贝克曼仪表有限公司	189
二、坎布里奇仪表公司和电子仪表有限公司	192
三、福克斯博罗·约克萨尔有限公司	196
四、哈特曼和布朗股分公司	197
五、李德斯和诺思鲁普公司	198
六、派-尤尼卡姆有限公司	200
七、塞克控制有限公司	203
第4节 pH控制系统	206
第九章 痕量气体分析	212
第1节 引言	212
第2节 应用	212
一、大气污染	212
二、人员防护	213
三、产品纯度的测量	214
四、气体脱硫过程的效果	214
五、催化剂的保护	214
六、其他应用	214
第3节 实验室测量方法	214
第4节 连续在线痕量气体分析仪	216
一、巴顿公司的记录式含硫量滴定仪	216
二、贝克曼仪表有限公司	219
三、卡洛·厄巴, 科学仪器部	221
四、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	221
五、福克斯博罗·约克萨尔有限公司	223
六、哈特曼和布朗股分公司	224
七、霍尼韦尔控制有限公司	226
八、豪斯顿·阿特拉斯有限公司	228
九、梅哈克股分公司	229

十、矿山安全用具有限公司	231
十一、精密科学开发公司	234
十二、伍斯索夫公司	235
第十章 紫外线, 可见光线和红外线的吸收作用	238
第1节 引言	238
第2节 理论研究	239
一、量子理论	239
二、电磁光谱	240
三、光度学定律	244
第3节 实验室测量方法	245
一、仪器类型	246
二、紫外光和可见光的吸收方法	247
三、红外吸收法	249
第4节 工业过程用分析仪的设计	251
第5节 紫外区和可见光区的工业过程用分析仪	253
一、贝利测量仪和控制有限公司	253
二、尼默斯杜邦公司	255
三、通用电子-埃利奥特有限公司(豪利坎宁仪表)	257
第6节 红外光区的工业过程用分析仪	261
一、贝克曼仪表有限公司	261
二、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	262
三、格鲁布帕森斯有限公司	261
四、哈特曼和布朗公司	266
五、李德斯和诺思鲁普公司	267
六、梅哈克股分公司	268
七、矿山安全用具有限公司	270
第7节 应用	273
第十一章 湿度测量	276
第1节 引言	276
第2节 定义	277
第3节 实验室湿度测量法	278
第4节 工业过程用湿度分析仪	280
一、贝克曼仪表有限公司	280

二、尼默斯杜邦公司	281
三、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	284
四、福克斯博罗·约克萨尔有限公司	288
五、矿山安全用具有限公司	291
六、肖氏湿度计公司	295
第5节 用于固体物料中测定湿度的在线分析仪	296
一、李普克有限公司	296
第6节 应用	299
第十二章 密度和比重的测量	302
第1节 引言	302
第2节 定义	302
第3节 液体密度的测量方法	304
一、实验室法	304
二、工业过程用方法	305
第4节 测量气体密度或比重的方法	308
第5节 测量密度和比重的工业过程用分析仪	308
一、乔拉姆阿加有限公司	308
二、阿科仪表公司	312
三、布律安代布罗-韦克波耳公司	316
四、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	316
五、福克斯博罗·约萨有限公司	321
六、精密温度计及仪表公司	323
七、珀缪蒂特公司, 赛布朗股分有限公司	326
八、桑加莫控制有限公司	329
九、西格玛仪表有限公司	331
十、索拉特龙电子组	333
第6节 应用	336
一、液体密度和比重的测量	336
二、气体密度和比重的测量	338
第十三章 水质的测定	340
第1节 引言	340
第2节 测量参数	340
一、电导率	340

1. 历史	340
2. 定义	341
3. 影响电导率的因素	342
4. 电导率的测量	343
5. 电导池	344
6. 工业应用	344
二、混浊度	347
三、剩余硬度	349
四、钠	349
五、联氨	349
六、硅石	349
七、残余氯	349
八、其他参数	351
第3节 水质测定用的过程分析仪	351
一、布兰和拉布股分公司	351
二、电子仪器有限公司	357
三、电子开关装置有限公司	361
四、塞克控制有限公司	365
五、西格丽斯特光度计股分公司	367
六、特克尼康仪表有限公司	368
七、华莱士和蒂尔南有限公司	373
第十四章 气体燃料质量的测定	376
第1节 引言	376
第2节 定义	376
第3节 实验室测定法	378
第4节 工业过程用的分析仪	378
一、坎布里奇工业仪表有限公司	378
二、通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	381
三、卡斯珀有限公司	388
四、西格玛仪表有限公司	390
五、系统和组件有限公司	392
第十五章 辛烷值的测量	397
第1节 引言	397

第2节 汽油生产	397
第3节 实验室测定方法	401
一、ASTM-CFR发动机	401
二、发动机操作步骤	405
第4节 连续在线辛烷值分析仪	407
一、采用ASTM-CFR发动机的分析仪	407
1. 奥克特联合有限公司	408
2. 尼默斯杜邦公司	411
3. 埃赛尔股份有限公司	414
二、基于相关技术的分析仪	417
1. 美国环球石油产品公司	417
第十六章 其他测量	422
第1节 引言	422
第2节 热导的测量	422
一、定义	422
二、工业过程用的热导分析仪	423
1. 通用电子-埃利奥特工业仪表有限公司	423
2. 海斯股份有限公司	424
3. 哈特曼和布朗股分公司	426
4. 矿山安全用具有限公司	427
第3节 可燃气体分析	428
一、定义和应用	428
二、工业过程用的可燃气体分析仪	430
1. 贝克曼仪表有限公司	430
2. 海斯股份有限公司	431
3. 矿山安全用具有限公司	431
4. 西格尔兄弟有限公司	433
第4节 折光率的测量	436
一、基本原理	436
二、应用	438
三、工业过程用的折光仪	439
1. 安娜根有限公司	439
第5节 滴定分析法	443

一、引言和应用	443
二、工业过程用的滴定仪	444
1. 布兰和拉布滴定仪	444
2. 电子仪器有限公司	445
第6节 原油含盐量的测量	446
一、引言	446
二、工业过程用原油含盐量分析仪	447
1. 精密科学开发公司和城市服务机构	447
第7节 液态烃含硫量的测定	449
一、引言	449
二、测量方法	449
三、工业过程用的含硫量分析仪	450
1. 伯索尔德连续监视仪	450
2. 核子企业有限公司	452
第十七章 试样预处理系统	455
第1节 引言	455
第2节 试样预处理系统的要求	456
第3节 采样点的位置	456
第4节 试样输送系统	458
一、单线系统	459
二、快回路系统	459
三、试样回收系统	461
四、在线调合中使用的试样再循环系统	462
五、快回路管线的尺寸	464
第5节 试样预处理系统的各组成部分及其相应的部件	465
一、概要	465
二、材质	467
三、部件的尺寸	467
四、过滤器	468
五、除去雾沫	469
六、安全保护机构	471
七、试样放空	471
八、标准样的注入	471

第 6 节 多流路采样系统·····	472
一、带反冲洗的单阀流路切换系统·····	473
二、双段-双泄系统 ·····	474
厂家地址·····	477
各种分析仪的技术数据附表·····	479

第一章 气相色谱分析法

第1节 引言

色谱这个术语是描述带有许多共性的一类分析方法的总称，尽管乍看起来这些分析方法表面上好像没有多少联系。气相色谱法虽然只在近些年来才开始应用，但是已经迅速地成为最成功的分析方法之一。

全部的色谱技术就在于让试样穿过色谱柱（或相当于色谱柱的东西），将各个组分分开。试样可以是液体，也可以是气体（试样的蒸气）。色谱柱内装有被称为固定相的物质，它可以是固体的吸附剂，或是液体的分配剂。试样由移动相带着穿过色谱柱，移动相既可为气体，也可为液体。当固定相为固体时，这种分析技术就称为吸附色谱。移动相和固定相有四种基本组合形式，见表1-1。本章只讲了其中的一种形式，即气-液色谱（GLC）。

表 1-1 色谱分离的方法

移 动 相	固 定 相	
气 体	固 体	液 体
	气-固色谱(GSC)	气-液色谱(GLC)
液 体	液-固色谱(LSC) (吸附色谱)	液-液色谱(LLC) (纸上色层)

早于公元十六世纪就提出含有色谱基本原理的分离工艺。然而，如我们所知道的，到1906年色谱技术才被韦特首次应用于工业颜料组分的分离方面^[1]。韦特得到了各有色物质的判别谱带，

并把这种分离方法称作色谱法（确切说，应称为色迹法）。可是，这样叫法颇为有点误称，因为用该方法也可以分离无色的组分。

分配色谱技术大体上是马丁（Martin）和辛格（Synge）^{〔2〕}在1941年开始应用，当时用的是液体移动相。后来马丁和同事们，对其又作了进一步的发展，形成了一项被称为纸上色层分析法的专门技术。这对于生物学和药物学领域的研究工作，是项十分有益的贡献。为此，1952年，马丁和辛格获得了诺贝尔奖金。

马丁和辛格于1941年曾在文章中谈到以气体移动相代替液体移动相的可能性。但是，对这个想法没有一追到底。詹姆斯（James）和马丁终于在1949年开始深入钻研这个课题^{〔3〕〔4〕}。并在1952年牛津召开的分析化学会议上拿出了他们的研究成果。这项成果所介绍的分析方法特点之一是耗用的试样量很少。

1952年以后，这项技术在理论和实际两方面均获得惊人的发展。这不仅为许多复杂的日常实验室分析找到简单的解决办法，而且，如我们在后面将要看到的那样，还为工业过程质量的在线监视和控制提供了一种方法。

气-液色谱现在被认为是分析化学和工业化学中最有希望的手段之一，它的很大优点是试样组分的分离和定量可以一次完成。

色谱分离可利用三种技术来进行：洗脱分析，迎头分析和置换分析。在实际中，洗脱技术是用得最广泛的，故本章只谈洗脱分析法。如要详细了解全部分析技术，读者可参考有关的文献。

在洗脱法中，载气气流流经整个色谱柱，试样在柱子进口处，注入载气流中，并在载气的携带下流过整个色谱柱。当试样中各个组分流过柱子时，固定相就按一定的选择性减缓它们的移动速度，使它们以不同的速度流过色谱柱子。各组分从柱子出来的顺序，和固定相阻留它们的顺序刚好相反。在色谱柱内的分离过程见图1-1。

由色谱柱子出来的气体通过检测器，检测器根据试样各组分发出一串信号；记录器上就出现了一组波峰。各波峰下的面积即是原试样中各个组分的具体含量。