

“十一五”国家重点图书

在线分析 仪器手册

王森 主编 董镇 郭肇新 程立 副主编

HANDBOOK
OF
PROCESS
ANALYZERS



化学工业出版社

“十一五”国家重点图书

在线分析 仪器手册

王森 主编 董镇 郭肇新 程立 副主编

HANDBOOK
OF
PROCESS
ANALYZERS



化学工业出版社

·北京·

《在线分析仪器手册》是“十一五”国家重点图书。本书是一部在线分析仪器及在线分析系统方面的工具书，由多位具有丰富实践经验的专家历经数年时间精心编写而成。

全书主要介绍各种在线分析仪表的原理、构成、选型、安装、使用、维护和校准；取样和样品处理技术，样品系统的设计和计算；在线分析仪系统的安装施工，工程文件和图纸的编制。

本书可供石化、化工、炼油、冶金、轻工等流程工业和环保行业在线分析仪器使用维护、工程设计和安装施工人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

在线分析仪器手册/王森主编. —北京：化学工业出版社，2008.9

ISBN 978-7-122-02439-8

I. 在… II. 王… III. 分析仪器-手册 IV. TH83-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039453 号

责任编辑：刘 哲 宋 辉

文字编辑：钱 诚

责任校对：李 林

装帧设计：尹琳琳

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：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 53 $\frac{3}{4}$ 字数 1516 千字 2008 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：148.00 元
京化广临字 2008—34 号

版权所有 违者必究

《在线分析仪器手册》编辑委员会

主任委员：王 森

副主任委员：张振基 郁光建 曹以刚

委 员：王兆连 王 健 刘 哲 卓 尔 黄步余

符青灵 郭肇新 程 立 董 镇 谭海玲

(以上排名均按姓氏笔画为序)

《在线分析仪器手册》编审人员

主 编：王 森

副主编：董 镇 郭肇新 程 立

审 定：朱良漪 黄步余 王复兴 徐力言

符青灵 杨金城 王卓军 杨家建

参 编 单 位

北京北分麦哈克分析仪器有限公司

中国石油兰州石化公司炼油厂

上海恩德斯豪斯自动化设备有限公司 (E+H)

德国 M&C 分析仪器有限公司

聚光科技(杭州)有限公司

美国哈希 (HACH) 公司

天华化工机械及自动化研究设计院

手册编写人员名单

本手册各章主编如下：

第 1、2、6~11、13、17、20、21、24~27、29 章 王 森

第 3 章 王 森、郭肇新、姜培刚

第 4 章 陈 人、顾海涛

第 5 章 韩双来、叶华俊

第 12 章 王 森、符青灵、张继勇

第 14 章 王 森、卓 尔、王复兴

第 15 章 王 森、程 立、邱彤宇

第 16 章 王 森、谭海玲、朱 勇

第 18 章 杨家建、朱 勇、黄 臻

第 19 章 程 立、徐力言、杨家建、符青灵

第 22 章 董 镇、胡本源、达 丽

第 23 章 董 镇、刘生明

第 28 章 王 森、李鹏飞、符青灵、何定君

第 30 章 王 森、刘银生、赵一喆

附 录 王 楠

其他参加编写的作者如下：

北京北分麦哈克分析仪器有限公司 黄 佚、王海龙、曲长虹、李 亮、常 武

德国 M&C 分析仪器有限公司 曾 森、罗传忠、孙 琦

聚光科技有限公司 高秀敏、黄 伟、李 霞、李 亮

美国哈希公司 武云志、周 磊、肖 玮、陈锦新

天华化工机械及自动化研究设计院 王兆连、刘建民、曾文秀、胡俊祖、李应甲、沈 毅

前 言

—

当前，提高我国在线分析仪器的研制和应用水平，提高使用维护人员的技术素质，已成为我国制造行业 and 用户普遍关注的问题。编写一本在线分析仪器方面内容比较全面、实用的工具书，满足广大读者的需求，为我国在线分析仪器的的发展做出一份贡献，是我们这些多年从事仪器研制、应用工作者的愿望和责任，也是编写本书企求的目的。

本书是我国首部在线分析仪器和在线分析系统方面的工具书，由多位专家精心编写而成。主要读者对象是：流程工业和环保行业在线分析仪器使用维护、工程设计、选型采购和安装施工人员，在线分析仪器生产厂家研制、维修和营销人员，分析仪器行业的科技人员，大专院校有关专业师生等。

全书分为 5 篇 30 章，下面分别作些说明。

第 1 篇共 2 章，介绍在线分析仪器的基本概念和有关知识，包括在线分析仪器的定义、分类和性能特性，标准气体和辅助气体。

第 2 篇和第 3 篇共 21 章，分别介绍各种气体、液体在线分析仪器的原理、结构、性能、选型、安装、使用、维护和校准。至于固体物料在线分析仪器，目前国内用量不大且资料较少，暂没有编写。

由于采用同一方法的仪器可以分析多种成分，而测量同一成分的仪器又可以采用多种方法实现，本手册分析仪器章节的划分本着科学合理、顺应惯例、便于读者阅读查找的原则，一部分按测量原理或方法分章，一部分按测量成分或参数分章。

这里需要说明以下两点。

(1) 半导体激光分析仪和红外光谱仪是近 20 年来在线分析仪器方面的两大突破。这两种仪器都属于红外分析仪，特别是半导体激光分析仪，可以说是一种采用激光光源的红外线气体分析仪（仅工作波段的边缘部分涉及可见光），也可将其归入“红外线气体分析仪”一章中。考虑到这两种仪器的独到之处和对在线分析技术进步的影响，本书用了两章篇幅分别对其作了较为详细的介绍。

(2) 污染源排放的连续自动监测、污染物排放总量的在线监控，已成为大家关注的课题，也是在线分析仪器的广阔用武之地。因此，本书加大了这方面的分量，不仅在红外、激光、紫外、硫分析仪、水质分析仪等章节中，介绍了各种污染物排放在线监测仪器，而且在第 14 章和第 15 章分别对烟气排放连续监测系统（CEMS）、污水排放和地表水的水质监测仪器进行了较为详细的介绍。

第 4 篇共 5 章，介绍在线分析仪器的取样和样品处理系统。

取样和样品处理系统的完善程度和可靠性，是在线分析仪器成功应用的关键所在，也是目前国内的薄弱环节。本书对取样和样品处理技术、样品系统的设计和计算做了较为系统、详细的介绍。

在国外标准中，重点参考了 EEMUA No. 138 Design and installation of on-line analyzer system（在线分析仪系统的设计和安装）和 IEC 61115 Expression of performance of sample

handling system for process analyzers (过程分析仪器试样处理系统性能表示)(GB/T 19768—2005 等同采用该标准)。

第5篇共2章,介绍在线分析仪器的辅助设施——分析小屋及在线分析仪系统的安装施工,并给出在线分析系统工程文件和图纸示例。

二

本书从开始编写到完稿,经历两年多时间。在线分析仪器涉及的学科多、专业面广,内容多而零散,不少仪器自成一个个体系,且其技术进步和更新换代迅速,国内又缺乏参考书籍和文献资料,编写难度很大,好在得到了多位专家和诸多厂家的支持及协助,在大家的共同努力下,本书才得以完成。

我国分析仪器行业的主要创始人和学术带头人朱良漪先生对本书的编写备加关切,不顾高龄亲自审阅了全部书稿,并对编写工作给予具体指导。遗憾的是他未能亲眼看到本书的出版。

诸多单位为手册编写工作提供了支持和赞助,除了手册主编单位外尚有:兰州奥博石化分析仪器有限公司、荆州市通力分析自控技术有限公司、爱文斯控制系统工程(上海)有限公司、兰州石化公司研究院、荆州市分析仪器厂、无锡康宁防爆电器有限公司。在此一并表示致谢。

就这本手册的编写来说,带有尝试和探索的性质,限于编者的知识面和水平,书中难免存在诸多缺漏之处,诚恳欢迎广大读者和业内专家不吝赐教,批评指正。

王森

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 基本概念和有关知识

第 1 章 在线分析仪器的定义、分类和性能特性	8
-------------------------------	---

1.1 在线分析仪器的定义和分类	8	1.3 在线分析常用浓度单位	16
1.2 在线分析仪器的性能特性	9		

第 2 章 标准气体和辅助气体	19
-----------------------	----

2.1 标准气体及其制备方法	19	2.3 气瓶和减压阀	29
2.2 高纯气体及其纯化方法	25	2.4 气体的选择和使用	32

第 2 篇 气体分析仪器

第 3 章 红外线气体分析器	36
----------------------	----

3.1 电磁辐射波谱和吸收光谱法	36	红外线分析器	51
3.2 红外线气体分析器的测量原理	39	3.7 采用固体检测器的固定分光型红外线分析器	57
3.3 红外线气体分析器的类型和特点	41	3.8 测量误差分析	63
3.4 光学系统的构成部件	44	3.9 调校、维护和检修	66
3.5 检测器	48	3.10 模块式多组分气体分析器	68
3.6 采用气动检测器的不分光型		3.11 傅里叶变换红外光谱仪 (FTIR)	69

第 4 章 半导体激光气体分析仪	76
------------------------	----

4.1 半导体激光光谱吸收技术基本原理	76	4.4 工作原理和仪器类型	82
4.2 测量技术和特点	77	4.5 典型产品介绍	83
4.3 半导体激光器和光电探测器	80	4.6 应用介绍	84
		4.7 调校、维护和检修	89

第 5 章 紫外-可见分光光谱仪	91
------------------------	----

5.1 紫外-可见分光光度计概述	91	5.4 在水质分析 COD 连续监测中的应用	103
5.2 紫外-可见分光光谱仪的测量原理和基本结构	95	5.5 工业过程中应用之一：硫黄比值仪	105
5.3 在烟气排放连续监测中的应用	101	5.6 工业过程中应用之二：微量	

氯分析仪.....	107		
第 6 章 顺磁式氧分析器			110
6.1 物质的磁特性和气体的体 积磁化率.....	110	6.4 磁压力式氧分析器.....	122
6.2 热磁对流式氧分析器.....	112	6.5 顺磁式氧分析器测量误 差分析.....	127
6.3 磁力机械式氧分析器.....	118		
第 7 章 电化学式氧分析器			130
7.1 氧化锆氧分析器的测量原理.....	130	7.5 燃料电池式氧分析器.....	144
7.2 氧化锆氧分析器的类型和 适用场合.....	134	7.6 电解池式氧分析器.....	148
7.3 直插式氧化锆氧分析器.....	135	7.7 微量氧分析器的安装配管、 样品处理和校准方法.....	149
7.4 抽吸式氧化锆氧分析器.....	141		
第 8 章 热导式气体分析器			153
8.1 气体的热导率.....	153	8.4 测量误差分析.....	161
8.2 仪器组成和工作原理.....	156	8.5 调校、维护和检修.....	162
8.3 性能指标和适用场合.....	159		
第 9 章 过程气相色谱仪			164
9.1 过程气相色谱仪概述.....	164	9.7 过程色谱仪使用的辅助气体.....	200
9.2 恒温炉和程序升温炉.....	170	9.8 定量分析及标定.....	203
9.3 自动进样阀和柱切阀.....	173	9.9 日常维护和故障判别.....	208
9.4 色谱柱和柱系统.....	178	9.10 天然气分析用小型过程气 相色谱仪	213
9.5 检测器.....	185		
9.6 控制器和采样单元.....	195		
第 10 章 工业质谱仪			220
10.1 质谱分析法和工业质谱仪的 组成	220	10.5 真空系统	226
10.2 电子轰击型离子源	220	10.6 进样系统	227
10.3 质量分析器	221	10.7 质谱图和定量分析	228
10.4 离子检测器	225	10.8 质谱仪的主要性能指标	230
		10.9 工业质谱仪的应用	231
第 11 章 微量水分仪			236
11.1 湿度的定义及表示方法	236	11.4 电容式微量水分仪	248
11.2 湿度测量方法和湿度计 的类型	240	11.5 晶体振荡式微量水分仪	257
11.3 电解式微量水分仪	241	11.6 微量水分仪的校准	262
第 12 章 硫分析仪			267
12.1 概述	267	12.2 醋酸铅纸带法硫化氢和总	

硫分析仪	270	仪器配置	282
12.3 紫外吸收法硫化氢、二氧化		12.5 紫外荧光法总硫分析仪	287
硫分析仪	277	12.6 X射线荧光法总硫分析仪	292
12.4 新建硫黄回收装置在线分析			
第 13 章 可燃性、有毒性气体检测报警器	297		
13.1 概述	297	13.4 设置场所和安装要求	309
13.2 检测器的类型和工作原理	302	13.5 吸入式检测器和吸入采	
13.3 检测器的选用和报警值的		样装置	311
设定	308	13.6 日常维护和校准	314
第 14 章 烟气排放连续监测系统	316		
14.1 概述	316	14.8 烟气参数测量方法和仪器	371
14.2 CEMS 的类型和使用的测		14.9 烟气流量和污染物排放浓	
量方法	319	度、排放量的计算	373
14.3 抽取采样和样品处理	322	14.10 CEMS 安装位置、技术验收、	
14.4 抽取采样式分析仪	321	质量保证要求及数据审核	
14.5 原位测量式分析仪	342	处理	376
14.6 烟气不透明度计	351	14.11 环境空气质量与大气污染	
14.7 烟尘浓度计	356	物排放标准	380

第 3 篇 液体分析仪器

第 15 章 水质分析仪器与水质监测	386		
15.1 在线水质分析仪器及应用		质监测	390
技术发展概况	386	15.4 污水处理工艺简述	399
15.2 工业水处理工艺简述	388	15.5 污水排放水质监测	402
15.3 锅炉用水和循环冷却水水			
第 16 章 工业 pH 计	413		
16.1 在线分析中使用的电化学		溶液	428
分析法	413	16.7 维护和检修	430
16.2 pH 值的定义及有关概念	414	16.8 高温高压水样和纯水、超	
16.3 工业 pH 计的构成和工作		纯水的 pH 值测量	431
原理	417	16.9 酸碱中和反应 pH 值的控制	433
16.4 工业 pH 计的选型和安装	422	16.10 钠离子计 (pNa 计)	435
16.5 电极的清洗	425	16.11 氧化还原电位计	
16.6 pH 计的校准和标准缓冲		(ORP 计)	439
第 17 章 工业电导率仪	440		
17.1 电导和电导率	440	维护和校准	448
17.2 影响溶液电导测量的因素	442	17.5 电极式电导率仪的应用	451
17.3 电极式电导率仪	444	17.6 电磁感应式电导率仪	453
17.4 电极式电导率仪的安装、			

第 18 章 浊度计和溶解氧分析仪	456
18.1 浊度表示方法和测量方法	456
18.2 浊度计的类型和测量原理	458
18.3 浊度计的安装、使用、维护 和校准	463
18.4 电化学式溶解氧分析仪	467
18.5 光学式溶解氧分析仪	474
18.6 微量溶解氧分析仪	477
第 19 章 其他水质分析仪器	481
19.1 余氯分析仪	481
19.2 联氨分析仪	486
19.3 硅酸根分析仪	489
19.4 磷酸根和总磷分析仪	497
19.5 水质有机污染度 (COD、TOC、 UV 吸收) 测定仪	501
19.6 水中氨氮、总氮测定仪	509
19.7 水中石油类污染物测定仪	513
第 20 章 密度计	518
20.1 密度测量基本概念和单位 换算	519
20.2 振动式密度计	522
20.3 γ 射线密度计	529
20.4 核辐射的安全防护	536
第 21 章 黏度计	540
21.1 黏度测量基本概念和单位 换算	540
21.2 在线黏度计的类型和使用 场合	543
21.3 细管式黏度计	545
21.4 旋转式黏度计	550
21.5 振动式黏度计	555
21.6 采样系统和校准	557
第 22 章 油品质量分析仪器	560
22.1 馏程分析仪	560
22.2 蒸气压分析仪	575
22.3 倾点、凝点分析仪	580
22.4 冰点、冷滤点分析仪	589
22.5 闪点分析仪	596
22.6 色度分析仪	602
22.7 新类型的油品质量分析 仪器	605
22.8 油品质量分析仪器的样品处 理、标定和安装	608
22.9 油品质量分析仪器在炼油生 产中的应用	613
第 23 章 近红外光谱仪	619
23.1 近红外光谱分析基础知识	619
23.2 近红外光谱仪器	622
23.3 定量及定性分析	639
23.4 近红外光谱仪在石油化工生 产中的应用	642

第 4 篇 样品处理系统

第 24 章 样品处理系统基本概念和性能表示	654
24.1 样品处理系统的性能表示	654
24.2 样品处理系统的使用、运输、 储存条件及其说明程序	659
第 25 章 取样和样品传输	664
25.1 取样和取样探头	664
25.2 样品传输	669

25.3	Tube 管和管接头	671	25.5	电伴热	679
25.4	蒸汽伴热	675	25.6	样品系统伴热保温设计计算	682
第 26 章 样品处理和排放					
26.1	样品的流量调节	686	26.5	样品的除水	703
26.2	样品的压力调节	689	26.6	样品中有害物的处理	715
26.3	样品的温度调节	695	26.7	样品的排放	718
26.4	样品的除尘	696			
第 27 章 样品处理系统的安装、测试和样品传送滞后时间计算					
27.1	样品处理系统的安装	722		方法	724
27.2	样品处理系统的检验测试	723	27.4	体积流量计算法	724
27.3	样品传送滞后时间计算		27.5	压差流速图解法	732
第 28 章 特殊样品的取样和处理系统					
28.1	乙烯裂解气取样和样品处理系统	742	28.5	合成氨装置转化、变换高温高含水样品处理系统	758
28.2	催化裂化再生烟气取样和样品处理系统	745	28.6	管输天然气的取样和样品处理系统	759
28.3	对苯二甲酸 (PTA) 装置取样和样品处理系统	750	28.7	炼铁高炉炉顶气取样和样品处理系统	763
28.4	丁二烯抽提装置样品处理系统	754	28.8	水泥回转窑高温、高粉尘气体取样系统	764

第 5 篇 分析小屋和分析仪系统的安装

第 29 章 分析小屋和分析仪系统的安装					
29.1	分析仪的遮蔽物	772		系统	776
29.2	分析小屋的结构和外部设施	773	29.5	分析小屋的安全检测报警系统	781
29.3	分析小屋的配电、照明、通风、采暖和空调	775	29.6	分析仪系统的安装	786
29.4	正压通风系统和 HVAC		29.7	分析小屋图片示例	789
第 30 章 在线分析系统工程文件和图纸					
30.1	在线分析系统工程文件和图纸	793	30.2	工程文件和图纸示例	794

附 录

附录 1	在线分析仪器有关标准目录	828
附录 2	部分工业气体的物理性质及组成	832
参考文献		845

绪 论

一、在线分析仪器的市场规模和前景展望

随着我国石化、冶金、电力等工业装置的大型化和整体技术装备水平的提升，随着对节能降耗、提高质量、治污减排和安全生产的日益追求，在线分析仪器的使用量和重要性与日俱增。例如，为了追求更大经济效益，采用以多变量预估控制为代表的先进控制技术（APC）、以过程实时优化为核心的优化控制技术（RT-OPT）来提高生产装置的操作、控制水平，已成为当今国内外石化企业的热门课题。而这些控制手段都离不开质量参数（如裂解炉的裂解深度控制和多变量预估控制都离不开甲烷/丙烯、乙烯/丙烯质量比），这些质量参数则来源于在线分析提供的成分数据。

与世界发达工业国家相比，我国新建化工装置在线分析仪器的配置已经接近国际先进水平，而炼油装置仍有较大差距。国外大量采用在线分析仪器取代实验室仪器，以提高自动化水平，降低人工成本，实现生产的精细管理。我国流程工业中相当一部分企业目前仍以实验室分析为主，人工劳动量大，数据实时性差，不能对生产进行优化控制，效率难以提高。部分企业已认识到这些问题，正在逐步加大在线分析仪器投入的比重。

预计到 2010 年，全球天然气消费量将达到 31000 亿立方米，约占全球一次能源消费量的 24%~25%，这预示着天然气将成为 21 世纪主要的能源之一。我国对天然气的需求量十分巨大，并于 2005 年进入世界十大天然气消费国行列。对天然气进行能量计量是国际上普遍采用的贸易结算方式，我国也势在必行。天然气热值色谱仪、微量水分仪、硫分析仪等在天然气处理和计量方面的用量将会大幅度增长。

国外发达国家在线分析仪器在环境保护方面的用量已大大超过流程工业的用量。近年来，随着我国全民环保意识的普遍增强，随着国家对治污减排、保护环境工作的高度重视和大力推进，在线分析仪器在污染源排放自动监测、污染物排放总量控制方面的使用量逐年上升，其应用前景广阔，市场潜力巨大。据国家环保总局编写的《空气与废气监测分析方法》（2007 年第四版增补版）一书介绍：“烟气排放连续监测的重点项目是烟尘、粉尘、二氧化硫、氮氧化物；重点行业是火电行业、冶金行业、建材行业、化工行业；重点污染源是全国 18000 家重点工业污染源；重点区域是二氧化硫、酸雨控制区及环境质量不达标的城市 and 区域。”除了上述重点工业污染源之外，还存在数量庞大、需加监控的其他固定污染源，包括市政供热锅炉、垃圾焚烧炉等。

我国新近修订的水污染防治法（2008 年 6 月 1 日起施行）规定：“重点排污单位应当安装水污染物排放自动监测设备，与环境保护主管部门的监控设备联网，并保证监测设备正常运行。”

除了上述固定污染源的在线连续监测之外，还需要建设分布广泛、为数众多的环境空气质量自动监测网络和地表水水质自动监测网络。

二、在线分析仪器的近期发展

在线分析仪器的制造和应用已有 60 多年历史，近期发展主要有以下几个方面。

① 近 20 年来，在线分析仪器的两大突破性进展是半导体激光分析仪和近红外光谱仪。

激光气体分析仪的最大突破是取消了采样系统，不但消除了后者存在的一系列麻烦棘手问题，而且提高了分析速度。例如，在转炉煤气回收 CO 测量中，LGA 激光分析仪的响应时间仅为 1s，比采样式红外分析仪快 20s，20s 的响应时间差可将转炉煤气回收率提高 4.8%，一年可节约 35 万元。激光气体分析仪目前存在的问题是，分布反馈式 (DFB) 二极管红外激光器发射波长范围仅为 $0.76\sim 1.81\mu\text{m}$ ，能够测量的气体仅限于少数几种，且一台仪器只能测量一种气体。随着具有更广可选波长范围、更强波长调谐能力的新型激光器的出现，将会大大增加这一技术可测量气体的种类，增强多种气体同时检测的能力。

近红外光谱 (NIR) 是近年来发展最为迅速的分析技术之一，具有快速、高效、无损和适合在线分析等诸多优点，在农业、制药和石化等领域得到广泛应用。NIR 技术的重要特点是实现了近红外光谱仪、化学计量学软件和分析模型的一体化。

② 一些长期用于实验室的分析仪器开始进入在线分析领域。

从 20 世纪 80 年代中期以来，傅里叶变换红外光谱仪就已全面取代了色散型红外光谱仪。过去，FTIR 光谱仪仅能用于实验室而不能用于现场，这是由于以前的平面镜型干涉仪和动态准直机构难以耐受现场环境的振动冲击。后来出现了角镜型干涉仪，工作时不需要进行动态调整，使仪器的抗振能力大为增强。此外，以前使用台式计算机进行数据处理，也不适宜在现场使用，功能强大的微处理器系统的出现，才使 FTIR 光谱仪得以用在现场。目前在线 FTIR 光谱仪已开始用于排放源连续监测，随着其结构简化和价格降低，它在多组分同时、快速分析方面的优势足以对传统的非分散红外气体分析仪构成较大威胁。

近来，过程液相色谱仪已推向市场，在线核磁共振分析仪 (NMR) 已得到应用。国外烟气排放连续监测中已有使用在线光声光谱仪 (PAS)、离子迁移谱仪 (IMS) 监测危险空气污染物 (HAP, hazardous air pollutants,) 以及使用在线原子发射光谱仪 (AES) 进行烟气多种金属含量监测方面的报道。

③ 测量方法和传感器件方面的变化不大。

近 20 年来，相对于电子学方面的巨大变化，在线分析仪器在测量方法和传感器件方面的变化则不大。

a. 传感器的微型化设计。微型热导检测器的体积只有传统热导检测器体积的 1/10，热导池的容积由毫升级降至微升级，测量下限由 100ppm 数量级降至 10ppm 数量级，横河 HTCD 可达到 1ppm 数量级。这种变化意味着 TCD 型色谱仪已可替代一部分 FID 型色谱仪，后者须使用多种辅助气体，维护量较大且价格较高。使用多个并联的微型 TCD 实现柱间检测和并行检测也已成为一种时尚。

微流量检测器在体积小、抗振能力强方面优于薄膜电容检测器，德国西门子和日本富士开发的微流量检测器已用在许多红外气体分析仪和磁压力式氧分析仪中。

b. 光声检测器 (PAD, photoacoustic detector)。国外已有在非分散红外分析仪中使用 PAD 的报道。其原理和薄膜电容微音器相同，只是检测器不带接收气室，直接与测量气室 (光声池) 相通。当切光频率在 20 Hz 至 20 kHz 之间时，由于被测组分吸收产生的压力脉冲可以作为声波，被电容微音器检测到。

PAD 的灵敏度要高于气动检测器 (薄膜电容或微流量检测器)，测量下限可低至 ppm 级和 ppb 级。在 PAD 中，光的吸收是直接测量的，如果气室中无吸收气体则无声音产生，如果存在某种气体就会产生某种声音，如果存在多种气体则会检测到多种声音，其信号的起始点 (参比基准) 为零。而在气动检测器中，是对样品气室和参比气室的吸收差别加以比较进行测量的，测量结果来自两个大数量级信号 I_0 和 I 的比值，这一点限制了气动检测器灵敏度的提高。

c. 光纤探头和半导体阵列检测器。光纤探头使在线光学仪器摆脱了采样和样品处理方面的困扰，可方便地用于原位测量，半导体阵列检测器（包括 PAD、CCD 等）无需借助狭缝元件和扫描机构即可实现全谱接收。现在光纤探头和半导体阵列检测器已用于红外、近红外、可见-紫外光谱仪中，使得这些仪器结构简化、性能提高，并适合用于在线分析。

d. 用于液体检测的探头式传感器发展较快。例如，离子选择电极除玻璃膜电极外，还出现了晶体膜电极、液膜电极、气敏电极、酶电极等。E+H 公司率先开发的 Menosens pH 数字电极可以说是探头式液体传感器方面的一大革新。氟离子晶体膜电极、氨气敏电极等已被列为标准检测方法。生物传感器的研究备受关注，因为它在大分子团检测方面的优势可以解决生物化工在线检测的难题。国外已有将酶电极用于过程分析的报道，不仅可以分析葡萄糖、乳酸等物质，对醇类也可以进行高精度分析。其关键是解决生物材料及其寿命问题。

④ 电子学技术发生了翻天覆地的变化。

20 多年来，从早期的分立元件到大规模集成电路，从模拟电路到数字电路，在线分析仪器的电子学技术日新月异，发生了巨大变化。现在，采用微处理器系统的所谓“智能化”仪器比比皆是，自动补偿、自动标定、自动识别谱图、自动进行故障诊断和失效预测等功能已经不足为奇。

a. 嵌入式系统。主要是指微处理器和单片机（如 PC104）技术。随着嵌入式系统的发展，软硬件分离正在被软硬件融合所代替，如用 ARM 技术开发的片上系统式微处理器，已可作为在线分析仪器的数据处理平台。嵌入式系统也已用在传感器和检测器中，这就是所谓的“即插即用”部件，它大大提高了在线分析仪器使用的灵活性和易维护性。

b. 20 世纪 90 年代末期市场上出现了模块化多组分气体分析仪。开发这种仪器的初衷是降低造价，以应对日益激烈的市场竞争。这种仪器降低价格的关键技术是用一个统一的中央电子单元取代多台分析仪中的分立电子单元。它将仪器的分析单元与电子单元分离开来，那些由分立电子单元实现的数据处理和显示等功能交由中央电子单元统一完成。可以说，系统价格的降低有赖于分析仪电子学方面的革新。目前，传感器的小型化设计使这种仪器可以装在标准 19 英寸机箱内，测量 2~5 种不同的气体组分。

同样，在液体分析仪方面出现了通用型控制器（转换器），同一种型号的控制器可以和 8 个以上不同测量参数的传感器探头连接。

⑤ 数据通信和联网功能方面的动向。

a. 我国新建大型石油化工装置中的在线分析仪器已实现联网通信，上海赛科 90 万吨/年乙烯装置组建了在线分析仪器+实验室分析仪器的分析系统网，和 DCS+常规仪表的控制系统网并列，构成现代工业装置中的两大自动化网络系统。在环保管理方面，环境质量和污染物排放连续监测中的网络化通信，则是现代环保监控的基本要求。数据通信和联网功能已成为在线分析仪器必须具备的能力。

在网络通信方面，现场总线已经酝酿了多年，重庆川仪九厂新近开发出一批带 PROFIBUS-DP 功能接口的在线分析仪器产品。目前用于过程控制的现场总线有 HART、FF（基金会现场总线）、PROFIBUS、Control Net、Device Net、AS-i 等，由于商业利益的壁垒，这些总线难以统一。

b. 所谓短距离无线通信系统是指采用小型的、短距离（一二百米的有效范围内）的无线网络来实现低价位、低功耗、可替代线缆的无线数据和语音链路，为移动和工业、商业用户提供各种服务。

短距离无线通信技术有低成本、低功耗和对等通信三个重要特征和优势。由于传播距离近，遇到障碍物的概率相对也小，发射功率普遍都很低，通常在 1mV 量级。这就可能实现就地解决供电的要求（电池长期供电、太阳能电池供电等），达到无线信息传输和“无线”供电

的全无线网络通信。终端之间对等通信，无需网络基础设施进行中转，即使是通过网格拓扑自组织网络，也只是为了形成接力式传递和冗余路由，因此接口设计和高层协议都相对简单，无线资源的管理最常采用竞争的方式，如载波侦听。

美国仪表学会（ISA）的 SP100 标准委员会正在加紧制定自动化和控制环境下实现无线通信系统的标准。过去三年中，在北美和欧洲几个现场试验的结果证实，其数据传输的可靠性在 99% 以上，而安装成本比同等的有线方案要低 90%。尽管无线通信技术目前尚不能达到 SP100 规定的第 0 类和第 1、2 类的应用（安全控制和闭环控制），但用于监控类应用（开环控制和排放监测）从技术层面来讲已绰绰有余，而监控应用又几乎占工业测控应用的 95%。

⑥ 在线质谱仪和 X 射线荧光光谱仪的应用进展。

20 世纪 80 年代后期，我国已在石化、化肥、钢铁、制药等工业部门开始使用过程质谱仪（PMS）。在石化行业，PMS 主要用于乙二醇装置、采用水煤浆加压气化法的合成氨和甲醇装置等一些反应剧烈、需要进行快速在线分析的场所。目前已考虑用于乙烯裂解、催化裂化、聚乙烯和聚丙烯等装置，参与优化控制。

近几年全球过程气相色谱仪（PGC）的需求量略有减少，除了欧美石化工业相对饱和外，另一个原因是一小部分应用被 PMS 取代。尽管这部分数量有限，但表明了一种动向。尽管 PMS 和 PGC 各有长处和不足，但对于在线气体分析这种简单应用来说，使用 PMS 或 PGC 的区别仅在于分析速度上，PMS 几秒内即可得出结果，而 PGC 则需几分钟，因而 PMS 更适用于反应剧烈、需要快速控制的场合以及一些流路多、分析组分也多的场合，目前推广 PMS 的主要障碍在于进口产品价格昂贵，仪器的售后服务力量也较薄弱。

X 射线荧光光谱仪（XRF）是一种可以对多种元素进行同时快速测定的仪器。在 20 世纪 80 年代，我国研制的矿浆用过程 X 射线荧光光谱仪已开始用于冶金行业。70 年代末至 80 年代初，随着新型干法水泥生产线的成套引进，X 射线荧光光谱仪开始在我国水泥工业在线分析中得到应用。近年来，随着我国大量进口国外低成本原油，特别是高硫原油，对环境的影响很大，国家对含硫气体的排放控制措施日益严格，在石油管道输送和石油炼制中应用包括 X 射线荧光法、紫外荧光法在内的总硫在线分析仪已被迅速提上议事日程。

三、国内研制和应用情况

在线分析是仪器分析的一个重要发展方向，在线分析仪器是分析仪器的一个很有前途的分支。

① 我国在线分析仪器基础研究力量薄弱，制造水平较低，产品品种少，自有和原创技术更少，除少数产品外，大部分市场被国外产品占据。据报道，目前已有 40 余家国外在线分析仪器公司进入中国，占领了我国 80% 的市场。

其实，我国在线分析仪器工业起步并不晚，初期与国际先进水平差距也不大，只是由于种种原因逐步落后了，以致差距越来越大。造成这种状况的原因是多方面的，就制造企业自身来说，开发力量不足和研制经费太少是两个主要原因。世界发达国家的在线分析仪器生产厂，研发人员占总人数的 50% 以上，研制经费占销售额的 10% 以上，而我国厂家的研发力量尚未形成一定规模，开发工作缺乏系统性和长期连续性。

② 在线分析仪器能否用好，除了分析仪自身，还取决于样品处理系统的完善程度和可靠性。因为分析仪无论如何先进和精密，分析精度也要受到样品的代表性、实时性和物理状态的限制。事实上，样品处理系统使用中遇到的问题往往比分析仪还要多，样品处理系统的维护量也往往超过分析仪本身。

样品处理系统的设计、制造难度在于：a. 它涉及多种物化技术和材料科学；b. 它的专用性很强，几乎没有哪两套系统是完全一样的，没有批量性可言；c. 它依赖于手工制作和装配，

不可能形成自动流水线作业；d. 它的测试和调整需要在现场进行，制造厂和实验室不具备模拟样品条件。

国外对样品处理技术的研究比较深入，有关标准和专著已有多种。样品处理系统的制造已经专业化，已有多家专业生产样品处理部件和系统的厂家。我国对此一直未能给予足够重视。迄今为止，国内样品处理技术研究和样品处理系统设计、制造方面仍然比较落后，缺乏具有自主知识产权的成套设备，技术含量也较低。

③ 工业在线分析并不追求高精度，更重要的是可靠性和稳定性。据对在线色谱仪现场调查，国产和国外仪器的测量精度确实存在一定差距，但主要问题是国产色谱仪运行不够稳定，故障率高，维护量大。

样品处理系统的追求目标应当是简单化，多一个样品处理环节或部件就多一个故障隐患点，多一份维护工作量。最简化的系统时滞最小，故障率和维护量也最小，应当是最好的系统，但也是最难设计的系统。

应当重视在线分析技术和在线分析仪器的研究开发工作，建立专业化的研究机构和开发队伍，保证足够的经费来源和持续的投入，逐步形成一批我国的独立技术和知名品牌。

④ 我国在线分析仪器的应用水平较低，使用维护人员技术素质不高，在用仪器的运行情况并不理想，其作用和效能尚未得到充分发挥，致使国内业主对其应用信心不足，一定程度上影响了它的推广。

造成这种状况的原因也是多方面的，从技术层面上看，主要有以下三点。

a. 使用维护人员缺乏系统培训。我国大、中专院校均未开设在线分析仪器专业，使用维护人员的业务水平起点较低。在线分析仪器的种类很多，而系统介绍在线分析仪器的书籍、资料又十分稀缺，使用户难以自学提高。

b. 样品处理系统不完善，可靠性差。就国外情况看，在线分析成套系统的价格构成中，分析仪与样品系统及辅助设施（分析小屋等）的价格比为 1 : 2 ~ 1 : 3，而我国连 1 : 1 都达不到。

c. 与变送器之类的常规仪表相比，在线分析仪器的维护工作量要大得多，也复杂得多，有些维修项目需要生产厂家的配合或参与。目前大批国外产品涌入中国，而多数国外厂家的售后服务体系尚未建立起来，备品备件供应渠道不畅，售后维修服务也不及时。

⑤ 在线分析系统的投资成本（CAPEX）和运行成本（OPEX）均高，使用在线分析仪器，不仅一次性投资较大，日常维护工作量也较大，对此应有足够认识。

既然要上在线分析仪器，就要舍得投入，特别要重视样品处理系统的作用，至少把它放在和分析仪器等同的位置上来考虑，确保在线分析系统配置完善，注重其可靠性指标和易维护程度。

在线分析仪器的应用和维修是一门高技术，其难度不次于 DCS。要重视日常维护工作，重视维护人员的系统培训和知识更新，并采取措施切实调动他们的积极性和主动性。