高等学校测控技术与仪器专业应用型本科系列规划教材

# 在线气体分析仪器

ZAIXIAN
QITI
FENXI
YIQI



主　编◆王　森　钟秉翔
副主编◆杨　波　聂　玲
柏俊杰
主　审◆唐德东

重庆大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

## 内容提要

本书主要介绍在线分析仪器的基本概念和基本知识，包括在线分析仪器的定义、分类、应用情况和性能特性，标准气体和辅助气体；重点讲解红外线气体分析器、紫外线气体分析器、半导体激光气体分析仪、顺磁式氧分析器、电化学式氧分析器、热导式气体分析器、过程气相色谱仪、微量水分与水露点分析仪和硫分析仪等在线气体分析仪器的原理、结构、性能、选型、安装、使用、维护和校准。

本书可以作为仪器仪表、过程控制、石油与天然气工程等领域的研究生或本科生的课程教材，也可以作为石油、化工、钢铁、水泥、电力、环保等领域在线分析仪器使用和维护等工程技术人员的参考用书。

**图书在版编目(CIP)数据**

在线气体分析仪器 / 王森，钟秉翔主编. -- 重庆 ：
重庆大学出版社，2020.2

ISBN 978-7-5689-1847-3

Ⅰ. ①在… Ⅱ. ①王… ②钟… Ⅲ. ①气体分析器
Ⅳ. ①TH83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 234079 号

**在线气体分析仪器**

主　编　王　森　钟秉翔
副主编　杨　波　聂　玲　柏俊杰
责任编辑：杨粮菊　涂　昀　　版式设计：杨粮菊
责任校对：张红梅　　责任印制：张　策

*

重庆大学出版社出版发行
出版人：饶帮华
社址：重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号
邮编：401331
电话：(023)88617190　88617185(中小学)
传真：(023)88617186　88617166
网址：http://www.cqup.com.cn
邮箱：fxk@cqup.com.cn (营销中心)
全国新华书店经销
重庆俊蒲印务有限公司印刷

*

开本：787mm × 1092mm　1/16　印张：13.25　字数：333千
2020 年 2 月第 1 版　2020年 2 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5689-1847-3　定价：39.80 元

本书如有印刷、装订等质量问题，本社负责调换
**版权所有，请勿擅自翻印和用本书**
**制作各类出版物及配套用书，违者必究**

# 前言

在线气体分析仪器广泛应用于石油、化工、钢铁、水泥、电力、环保等领域的成分量分析及自动控制，提供的成分量信息是流程工业、环境监测及其他过程分析等领域的重要信息源，为国家节能、减排、安全、环保等发挥了重要作用。尤其在我国石油、化工行业是使用在线分析仪器比较密集的两个行业，随着我国石油化工装置的大型化和技术装备水平的提高，日益追求提高产品质量、降低生产成本、节能减排和安全生产，在线分析仪器的使用量和重要性与日俱增。

在线气体分析仪器跨越化学和仪器仪表两大学科，具有多学科、高技术特征。而我国大多数大专院校尚未开设这一专业，涉及在线气体分析仪器及应用的教材和科技图书甚少。为了提高我国在线分析仪器的研制和应用水平，提升高校在线分析仪器及应用的教学水平，同时提高运行维护人员的专业素质，编写一本内容较全面、实用性强的在线气体分析仪器教材势在必行。本书力求满足高校师生的教学需要和广大工程技术人员的工作需求。

本书主要读者对象为相关专业的研究生及本科生，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、维修和营销人员等。全书分为11章，其中第1、2章介绍在线分析仪器的基本概念、应用情况和基本知识，包括在线分析仪器的定义、分类、应用情况和性能特性；标准气体和辅助气体。第3—11章，分别介绍各种在线气体分析仪器的原理、结构、性能、选型、安装、使用、维护和校准，包括红外线气体分析器、紫外线气体分析仪器、半导体激光气体分析仪、顺磁式氧分析器、电化学式氧分析器、热导式气体分析器、过程气相色谱仪、微量水分与水露点分析仪和硫分析仪等。

我们在编写过程中进行了大量的企业生产现场调研，收集了生产现场应用的各种在线气体分析仪器，将生产现场典型应用的各种在线气体分析仪器的原理、结构、应用、维护作为主要内容编入教材，密切结合生产实际，所学即所用，力求做到通俗易懂、图文并茂。

本书由重庆科技学院的王森、钟秉翔教授担任主编，王森教授编写了第1、2、10章，并负责全书的修改工作，钟秉翔教授编写了第3、9、11章，并负责全书的统稿工作，杨波、聂玲、柏俊杰老师主要编写了第4、5、7、8章，孙先武、杨君玲和辜小花老师主要编写了第6章和第8章部分内容，中国石油西南油气田公司遂宁龙王庙净化厂的曾钊伟工程师参与编写了第11章的部分内容，并就现场实际应用情况提出了修改意见，唐德东教授负责全书的审核工作。特别感谢聚光科技有限公司、北京北分麦哈克分析仪器有限公司、四川分析仪器有限公司、西门子(上海)分析仪器工程有限公司、加拿大阿美特克过程和分析仪表部等单位提供的产品样本资料。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读不吝赐教，批评指正。

编　者

2019年8月

# 目录


1 绪论 …… 1
1.1 在线分析仪器的定义和分类 …… 1
1.1.1 在线分析仪器的定义 …… 1
1.1.2 在线分析仪器的分类 …… 1
1.2 在线分析仪器的应用 …… 2
1.2.1 在线分析仪器应用举例 …… 3
1.2.2 在线分析仪器应用的主要领域 …… 4
1.2.3 在线分析仪器的研究与发展 …… 4
1.3 在线分析仪器的性能特性 …… 5
1.3.1 在线分析仪器的主要性能特性和表示方法 …… 5
1.3.2 与气体分析器性能表示有关的术语和定义 …… 9
1.4 在线分析常用浓度单位 …… 10
思考题 …… 11
2 标准气体和辅助气体 …… 12
2.1 标准气体及其制备方法 …… 12
2.1.1 标准气体及其制备方法 …… 12
2.1.2 称量法 …… 13
2.1.3 压力法 …… 15
2.1.4 渗透法 …… 16
2.2 高纯气体 …… 19
2.2.1 各级纯气的等级划分 …… 19
2.2.2 高纯氮 …… 19
2.2.3 高纯氢 …… 20
2.2.4 高纯氧 …… 20
2.2.5 高纯氩 …… 20
2.2.6 高纯氦 …… 21
2.3 气瓶和减压阀 …… 22
2.3.1 气瓶的种类、压力等级、标记和标识 …… 22
2.3.2 气瓶减压阀 …… 23
2.3.3 气瓶存放及安全使用要求 …… 25
2.3.4 瓶装气体使用时间的计算 …… 25
2.3.5 输气管路和管件 …… 26
思考题 …… 26




需要全本请访问 www.ertongbook.com

3 **红外线气体分析器** …… 27
3.1 电磁辐射波谱和吸收光谱法 …… 27
3.1.1 吸收光谱法 …… 27
3.1.2 电磁辐射及其波谱 …… 28
3.2 红外线气体分析器的测量原理、类型和特点…… 30
3.2.1 红外线分析器测量原理 …… 30
3.2.2 特征吸收波长 …… 31
3.2.3 红外线气体分析器的类型 …… 31
3.2.4 红外线气体分析器的特点 …… 33
3.3 光学系统的构成部件 …… 33
3.3.1 红外辐射光源 …… 33
3.3.2 气室 …… 34
3.3.3 滤光元件 …… 35
3.3.4 薄膜电容检测器 …… 36
3.3.5 微流量检测器 …… 37
3.3.6 光电导检测器 …… 38
3.3.7 热释电检测器 …… 39
3.4 采用气动检测器的不分光型红外分析器 …… 39
3.4.1 基本结构和工作原理 …… 39
3.4.2 采用薄膜电容检测器的红外分析器 …… 42
3.4.3 采用微流量检测器的红外分析器 …… 43
3.5 采用固体检测器的固定分光型红外分析器 …… 45
3.5.1 工作原理和结构组成 …… 45
3.5.2 多组分红外分析模块 …… 47
3.6 测量误差分析 …… 48
3.6.1 背景气中干扰组分造成的测量误差 …… 48
3.6.2 样品处理过程可能造成的测量误差 …… 49
3.6.3 标准气体造成的测量误差 …… 49
3.6.4 电源频率变化造成的测量误差 …… 50
3.6.5 温度变化造成的影响 …… 50
3.6.6 大气压力变化造成的影响 …… 50
3.6.7 样品流速变化造成的影响 …… 51
3.7 傅里叶变换红外光谱仪 …… 51
3.7.1 傅里叶变换红外光谱仪简介 …… 51
3.7.2 在线 FTIR 光谱仪 …… 53
思考题…… 55
4 **紫外线气体分析器** …… 57
4.1 紫外-可见吸收光谱法概述 …… 57
4.1.1 吸收光谱法的作用机理 …… 57

4.1.2 样品组成对吸收光谱的影响 …… 57
4.2 采用滤光片分光的紫外分光光度计 …… 58
4.3 采用光栅连续分光的紫外分光光谱仪 …… 60
4.3.1 仪器的基本构成 …… 60
4.3.2 紫外分光光谱仪的主要部件 …… 61
4.4 热湿法测量技术 …… 62
4.4.1 热湿法测量技术 …… 62
4.4.2 采用热湿法的 CEMS 基本构成 …… 63
思考题 …… 65
**5 半导体激光气体分析仪** …… 66
5.1 半导体激光器和光电探测器 …… 66
5.1.1 半导体激光器 …… 66
5.1.2 半导体探测器 …… 68
5.2 激光气体分析仪工作原理和特点 …… 69
5.2.1 气体吸收光谱原理 …… 69
5.2.2 调制光谱检测技术 …… 70
5.2.3 半导体激光气体分析仪的工作原理 …… 71
5.2.4 半导体激光气体分析仪的技术优势 …… 72
5.3 典型产品及其应用 …… 73
5.3.1 半导体激光气体分析仪的结构类型 …… 73
5.3.2 典型产品 …… 73
5.3.3 典型应用 …… 74
思考题 …… 78
**6 顺磁式氧分析器** …… 79
6.1 物质的磁特性和气体的体积磁化率 …… 79
6.1.1 物质的磁特性和气体的体积磁化率 …… 79
6.1.2 混合气体的体积磁化率 …… 80
6.1.3 气体的磁化率与温度、压力之间的关系 …… 81
6.2 热磁对流式氧分析器 …… 81
6.2.1 内对流式热磁氧分析器 …… 82
6.2.2 外对流式热磁氧分析器 …… 84
6.2.3 主要特点 …… 86
6.3 磁力机械式氧分析器 …… 86
6.3.1 工作原理 …… 86
6.3.2 主要特点 …… 87
6.4 磁压力式氧分析器 …… 88
6.4.1 理论基础 …… 88
6.4.2 磁压力式氧分析器工作原理 …… 89
6.4.3 主要特点 …… 90

6.5 顺磁式氧分析器测量误差分析 …… 90
思考题 …… 93
7 **电化学式氧分析器** …… 95
7.1 氧化锆氧分析器的测量原理 …… 95
7.1.1 氧化锆的导电机理 …… 95
7.1.2 氧化锆氧分析器的测量原理 …… 96
7.1.3 氧化锆探头的理论电势输出值 …… 96
7.2 氧化锆氧分析器的类型和适用场合 …… 97
7.2.1 直插式氧化锆氧分析器 …… 97
7.2.2 抽吸式氧化锆氧分析器 …… 97
7.3 直插式氧化锆氧分析器 …… 98
7.4 抽吸式氧化锆氧分析器 …… 100
7.5 燃料电池式氧分析器 …… 102
7.5.1 燃料电池及其优势与不足 …… 102
7.5.2 碱性液体燃料电池氧传感器 …… 102
7.5.3 酸性液体燃料电池氧传感器 …… 104
7.5.4 固体燃料电池氧传感器 …… 105
7.6 电解池式氧分析器 …… 106
7.7 微量氧分析器的样品处理和校准方法 …… 107
7.7.1 样品处理系统 …… 107
7.7.2 校准方法 …… 108
思考题 …… 109
8 **热导式气体分析器** …… 110
8.1 气体的热导率 …… 110
8.1.1 气体的热导率 …… 110
8.1.2 气体的相对热导率 …… 111
8.1.3 气体的热导率与温度、压力之间的关系 …… 111
8.1.4 混合气体的热导率 …… 111
8.2 仪器组成和工作原理 …… 112
8.2.1 热导池的工作原理 …… 112
8.2.2 热导池的结构形式 …… 113
8.2.3 测量电桥 …… 114
8.2.4 适用场合 …… 115
8.3 测量误差分析 …… 115
8.3.1 标准气的组成和精度的影响 …… 116
8.3.2 样气中存在干扰组分时的影响 …… 116
8.3.3 样气中存在液滴和灰尘的影响 …… 117
8.3.4 样气流量、压力、温度变化的影响 …… 117

8.3.5 电桥工作电源稳定性的影响…… 118
思考题 …… 118
9 过程气相色谱仪…… 119
9.1 过程气相色谱仪概述…… 119
9.1.1 气相色谱分析法和过程气相色谱仪…… 119
9.1.2 过程气相色谱仪的基本组成…… 120
9.1.3 过程气相色谱仪的主要性能指标…… 121
9.1.4 过程气相色谱仪的应用场所…… 122
9.2 恒温炉和程序升温炉…… 123
9.2.1 恒温炉…… 123
9.2.2 程序升温炉…… 124
9.3 自动进样阀和柱切阀…… 125
9.3.1 作用和类型…… 125
9.3.2 平面转阀…… 126
9.3.3 滑块阀…… 127
9.3.4 柱塞阀和膜片阀…… 128
9.4 色谱柱和柱系统…… 129
9.4.1 色谱柱的类型…… 129
9.4.2 气固色谱柱…… 129
9.4.3 气液色谱柱…… 130
9.4.4 色谱柱系统和柱切技术…… 130
9.4.5 有关概念和定义…… 132
9.5 检测器…… 134
9.5.1 检测器的类型…… 134
9.5.2 热导检测器…… 134
9.5.3 氢火焰离子化检测器…… 136
9.5.4 火焰光度检测器…… 137
9.6 控制器和采样单元…… 139
9.6.1 控制器…… 139
9.6.2 控制器机箱的正压通风防爆设计…… 139
9.6.3 采样单元…… 142
9.7 过程气相色谱仪使用的辅助气体…… 143
9.8 定量分析及标定…… 144
9.8.1 色谱峰的识别和峰面积的测量…… 144
9.8.2 定量分析…… 146
9.8.3 根据色谱图确定组分…… 146
9.8.4 过程气相色谱仪的标定…… 147
思考题 …… 148

10 **微量水分与水露点分析仪** …… 149
10.1 湿度的定义及表示方法 …… 149
10.1.1 湿度的定义 …… 149
10.1.2 湿度表示方法 …… 149
10.1.3 常压下天然气水分含量与压力状态下水露点的换算 …… 150
10.2 湿度测量方法和湿度计的类型 …… 152
10.3 电解式微量水分仪 …… 153
10.3.1 测量原理和特点 …… 153
10.3.2 仪器构成和主要性能指标 …… 155
10.3.3 影响测量精度的主要因素 …… 156
10.4 电容式微量水分仪 …… 157
10.4.1 测量原理 …… 157
10.4.2 氧化铝湿敏传感器 …… 158
10.4.3 测量电路 …… 159
10.4.4 样品处理系统 …… 160
10.4.5 应用场合 …… 161
10.5 晶体振荡式微量水分仪 …… 162
10.5.1 测量原理和特点 …… 162
10.5.2 系统组成和工作过程 …… 163
10.5.3 校准 …… 165
10.6 半导体激光式微量水分仪 …… 165
10.6.1 半导体激光气体分析仪的技术特点和优势 …… 165
10.6.2 典型激光微量水分仪产品 …… 167
10.7 近红外漫反射式(光纤式)微量水分仪 …… 168
10.7.1 测量原理 …… 168
10.7.2 测量系统组成与特点 …… 169
10.8 微量水分仪的校准 …… 170
10.8.1 微量水分仪的校准方法 …… 170
10.8.2 硫酸鼓泡配气法 …… 170
10.8.3 干湿气混合配气法 …… 174
10.8.4 用湿度发生器和精密露点仪校准气相微量水分仪 …… 175
10.9 冷凝露点湿度计 …… 176
思考题 …… 177
11 **硫分析仪** …… 178
11.1 概述 …… 178
11.1.1 分析仪的使用场合和作用 …… 178

11.1.2 在线硫分析仪的类型 …… 179
11.2 醋酸铅纸带比色法硫化氢分析仪 …… 179
11.2.1 测量原理 …… 179
11.2.2 仪器的结构组成 …… 180
11.2.3 样品稀释系统 …… 182
11.3 紫外吸收法硫化氢分析仪 …… 183
11.3.1 典型紫外吸收法硫化氢分析仪 …… 183
11.3.2 紫外吸收法硫化氢分析仪的分析系统 …… 185
11.3.3 样品处理系统 …… 186
11.4 紫外吸收法硫化氢、二氧化硫比值分析仪…… 188
11.4.1 系统构成和工作原理 …… 188
11.4.2 取样和样品处理系统 …… 190
11.5 紫外荧光法总硫分析仪 …… 192
11.5.1 测量原理 …… 192
11.5.2 紫外荧光法总硫分析仪的主要部件 …… 193
思考题 …… 195
**参考文献** …… 196



需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 1 绪 论

## 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 Analyzer)又称过程分析仪器(Process Analyzer),是指直接安装在工业生产流程或其他源流体现场,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。

在国家标准 GB/T 19768—2005《过程分析器试样处理系统性能表示》中,对过程分析仪器的定义为:"和源流体相连自动给出输出信号的分析器,其输出信号包括混合流体中一种或多种组分的含量,或流体中由组分所决定的物理或化学性质。对取样式过程分析器,试样流从原流体中提取并输送到分析器测量;对插入式过程分析器,直接在源流体中测量。"

早在 1979 年,在中国仪器仪表学会分析仪器学会成立大会上,决定采用"过程分析仪器"这一名称。"过程"二字表示用于工业生产流程之意。但从那时起至今的几十年中,这一类仪器在我国污染源排放连续监测和环境质量监控中得到广泛应用,显然,将环保监测上使用的这类仪器也称为"过程分析仪器"是不适宜的。从国外发达国家看,在线分析仪器在环境保护方面的使用量已远远超过工业流程使用量的总和,从我国的发展趋势看,其市场潜力巨大,发展前景广阔。而"在线分析仪器"这一名称涵盖面宽,能更为全面地反映这一类仪器的特点和应用范围,也易于为各方面的使用者所接受。

### 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,现有的分析方法至少有 200 种以上,从不同的角度出发有不同的分类方法,但目前尚难对分析仪器做出一个统一、科学的分类。按照测量原理和分析方法,我们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**

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**

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、质谱分析仪器**

色谱、质谱分析仪器包括各种类型的色谱分析仪、质谱分析仪和色谱-质谱联用仪。

**(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称为物性分析仪器。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:

①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。

②磁学分析仪器:目前主要用于氧含量分析,它利用氧的高顺磁特性制成,如热磁对流式、磁力机械式、磁压力式氧分析器。

③射线分析仪器:如 X 射线荧光光谱仪、γ 射线密度计、β 射线测尘仪、中子及微波水分仪、感烟火灾探测器等。

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,或按照测量成分和参数划分,分为氧分析仪、氢分析仪、硫分析仪、pH 值测定仪、电导率测定仪等多种。

本书主要介绍气体分析仪。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也可采用多种方法实现,本书分析仪器章节的划分本着科学合理、合乎惯例、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。

## 1.2 在线分析仪器的应用

在线分析仪器是分析仪器中的一类,也是过程检测仪表的一个分支。它跨越化学和仪器仪表两大学科,具有多学科、高技术特征。随着国民经济的发展和社会的进步,以及发展绿色经济、建设生态环境的需要,石油、化工、安全、环保等领域都离不开在线分析监测技术的应用,而在线分析仪器及在线分析系统则是在线分析监测装备的重要组成部分。在线分析仪器提供的成分量信息是流程工业、环境监测以及其他过程分析等领域的重要信息源,是过程监视和过程控制、产品质量监视、安全稳定生产、装置长周期运转、减少运行成本、节能降耗、环境保护、实施先进过程控制、实时优化不可缺少的设备,在线分析仪器在流程工业、环境监测等行业的大量使用已成为各企业推行先进质量控制技术的典型标志。

### 1.2.1 在线分析仪器应用举例

天然气是一种可燃性气体,主要成分是气态烷烃,还含有少量非烃气体,是一种洁净、方便、高效的优质能源,也是优良的化工原料。在天然气组成成分中,甲烷含量最高,乙烷、丙烷、丁烷和戊烷含量不多,庚烷以上的烷烃含量极少。另外,还含有少量非烃类气体,如硫化氢、二氧化碳、一氧化碳、氮、氢和水蒸气以及硫醇、二硫化碳、羰基硫(或称硫化羰、氧硫化碳)等有机硫化物。

为了符合商品天然气质量或管道输送的要求,需要将气井中采出的天然气通过矿区内部集输、分离计量并输送至处理厂净化与加工处理,包括脱硫、脱水、脱烃、脱杂质等,并回收其他副产品,例如液化石油气(Liquefied Petroleum Gas,LPG)、稳定轻油、硫黄等。

图 1.1 是油气田对天然气进行净化处理的工艺过程示意框图,将天然气处理过程划分为处理、净化、加工等几个部分。

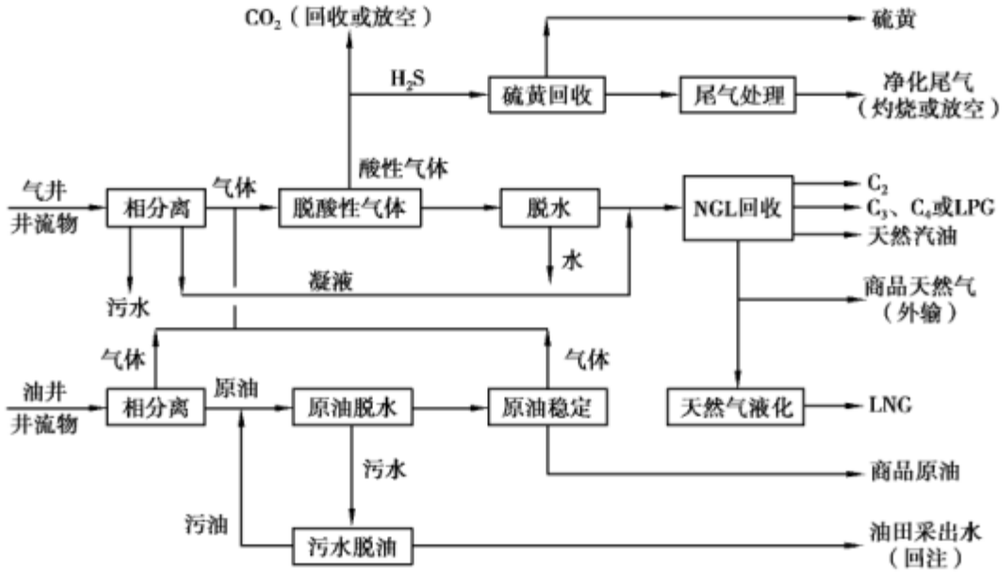


图 1.1 天然气净化处理过程示意框图

天然气处理:脱除酸性天然气中的 $H_2S$、$CO_2$、$H_2O$ 等,以符合规定的管输标准,或为了保证一定的热值,从含有大量惰性气体($N_2$或 $CO_2$)的天然气中提浓 $CH_4$,以及为了控制管输天然气的烃露点而脱除部分天然气凝液(Natural Gas Liquid,NGL)等皆属于天然气处理的范畴。

天然气净化:主要是指脱除天然气中的 $H_2S$、$CO_2$、$H_2O$,天然气净化涉及的工艺过程除脱硫、脱碳、脱水外,通常还有将过程中生成的酸气回收制硫的克劳斯法硫回收过程及其后继必要的尾气处理过程。

天然气加工:主要是指 NGL 回收、天然气液化、天然气提氦 3 种工艺过程。

这里主要介绍天然气脱硫、脱碳、脱水、凝液回收部分的在线分析技术,天然气脱硫(脱碳)、脱水、凝液回收单元中在线分析仪器配置如下:

①根据需要,可在原料天然气管线上设置在线色谱仪,分析原料天然气的组成,以适应原料天然气组成不断变化的情况,提高天然气处理厂的操作水平。

②在脱硫装置入口管线上设置 $H_2S$ 在线分析仪,测量原料天然气的 $H_2S$ 含量;在出口管线上设置微量 $H_2S$ 分析仪,监测产品天然气的 $H_2S$ 含量,了解脱硫效果,指导脱硫操作。

③在脱硫装置出口管线上设置总硫在线分析仪,监测产品天然气的总硫含量。

④在脱水装置出口管线上设置在线微量水分仪,监测产品天然气的微量水分含量和水露点,指导脱水操作。

⑤在凝液回收装置流程管线和出口管线上设置在线色谱仪(1 台或多台),了解天然气烃类组分分离情况,分析分离后天然气及液烃产品的组成,有时也用来分析混合冷剂的组成,指导工艺操作。

⑥在凝液回收装置脱烃后的天然气管线上设置烃露点分析仪,监视脱烃效果,指导脱烃操作。

上述在线分析项目中,第①—④项适用于纯气田天然气(气藏气),而第①—⑥项则适用于凝析气藏天然气(凝析气)和油田伴生天然气(伴生气)。

### 1.2.2 在线分析仪器应用的主要领域

在线分析仪器应用的领域主要有流程工业、环境监测领域以及其他相关的科研监测、过程分析领域,包括农业、食品、制药等生产过程的分析监测。

**(1)流程工业领域**

纵观全球,德国“工业 4.0”“美国工业互联网”和“中国制造 2025”的核心是自动化和信息化融合。其中,工业过程在线分析检测技术是信息化的基石,典型流程工业过程产物的化学组成的在线分析技术显得尤其重要。

在石油、化工、冶金、矿产、能源等重要流程工业的实时优化控制中,在线分析仪器及在线分析系统提供的成分量信息作为过程控制的直接参量参与自动化控制。如在石化等行业,在线分析所提供的质量成分信息与常规仪表检测、自动化控制技术信息的完美结合,实现了对工艺过程的实时优化控制,为过程设备的优质高效、安全生产、节能降耗提供了重要保证。

在线分析技术能实时测定物料成分和特征参数;有效监控物料的反应率、转化率、吸收率、合成率、变换率及各种加热炉的燃烧效率等;有效预防催化剂中毒,延长使用寿命;有效降低物料成本,保护设备安全运行,判断设备腐蚀状态,提前预报事故发生;有效实现工艺操作的连锁报警,确保生产装置的安全、高效运行。

**(2)环境监测领域**

环境监测领域的在线分析仪器最早用于大气环境污染的连续监测,目前主要用于固定污染源的废气废液的连续排放监测、环境空气质量的连续监测、水环境监测包括地表水和废水排放的监测等,提供了“控源减排”、环境保护等重要监测信息数据。

在线分析仪器对环境进行自动监测,有效控制污染物的实时排放、监测污染治理设备的运行状态,提供污染物实时排放数据、总量排放数据等有效统计数据,为污染物总量排放控制,污染物排放执法以及改善环境质量,提供了有力的技术支撑。例如对脱硫、脱硝、除尘设备的入口原烟气及出口净烟气的气态污染物和颗粒物的排放监测。

### 1.2.3 在线分析仪器的研究与发展

1957 年,南京分析仪器厂研制了我国流程工业第一台热导 $CO_2$ 气体分析仪,用于发电厂锅炉燃烧的烟气检测。在线分析仪器的系统集成技术在 20 世纪 80 年代开始发展,开发了转炉煤气、水泥旋窑尾气及石油裂解等装置的多项成套分析系统技术,突破了国产在线分析仪器

在高温、高尘条件下的样品处理技术。国内在线分析仪器及分析系统行业存在科技投入少、行业自主创新能力弱、专业技术人员队伍薄弱等问题,使国内在线分析仪器及分析系统技术与国外先进技术存在差距,特别是中高端产品技术开发,基础元件、关键部件和软件技术开发以及产品可靠性技术等,都是国内在线分析仪器及分析系统技术发展的“瓶颈”。总体来讲,我国在线分析仪器基础研究力量比较薄弱,自有和原创技术较少,大部分市场被国外产品占据。据报道,目前已有40余家国外在线分折仪器公司进入中国,占领了我国80%的市场。例如石化行业应用的在线色谱仪分析小屋,其中在线色谱仪基本是西门子、ABB、横河等品牌产品,国内的系统集成代理商大多负责样品处理系统及分析小屋的系统集成。

在线分析仪器是否用好,除了分析仪自身外,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本身要多得多,样品处理系统的维护量也往往超过分析仪本身。

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。国内样品处理技术研究和样品处理系统设计、制造方面已有具有自主知识产权的成套设备,但总体数量还不够多。

国家的安全节能、污染减排以及循环经济、绿色经济的政策,将给在线分析监测行业带来新的发展机遇。在技术创新政策推进下,国内在线分析行业的重点企业已加大对技术创新的发展力度,部分产品技术水平已达到国外同类水平,国内在线分析仪器及分析系统行业预期将会有更大发展。

## 1.3 在线分析仪器的性能特性

### 1.3.1 在线分析仪器的主要性能特性和表示方法

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防护性能等)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对分析信号的响应值有关。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)测量误差**

仪器的测量误差是指仪器的指示值与被测量真值的差值。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：

$$\text{绝对误差} = \text{测量结果} - \text{约定真值} \tag{1.1}$$

②相对误差：相对误差表示绝对误差所占约定真值的百分比，常常分为仪表满量程相对误差和仪表读数相对误差。

$$\text{仪表满量程相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量上限} - \text{测量下限}} \times 100\% \tag{1.2}$$

$$\text{仪表读数相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{仪表示值}} \times 100\% \tag{1.3}$$

③基本误差：又称为固有误差，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：当一个影响量在其额定工作范围内取任一值，而其他全部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。

⑤干扰误差：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：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。

**（2）测量不确定度**

测量不确定度主要用于精密测量，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，所以在此仅作一简介。

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。对测量结果来说，不确定度表示其分散程度。

测量不确定度是一个可量化的参数，可通过对其组成量的计算给出。它由多个分量组成，其中一些分量可用测量结果的统计分布估算，用实验标准偏差 $S$ 表征（称为 A 类不确定度）；另一些分量则可用基于经验或其他信息的假定概率分布估算，也可用类似于标准偏差的量 $U_j$ 表征（称为 B 类不确定度）。将 A 类不确定度和 B 类不确定度按均方根的方式组合起来就得出“合成标准不确定度”$U_C$；再乘以包含因子 $k$（该因子与测量所要求的置信概率相关，表示测量值的可信程度，其值为 1～3），将得出“扩展不确定度”，或称为“总不确定度”，以 $U$ 表示。

**（3）灵敏度**

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。



需要全本请访问 www.ertongbook.com