

# 同位素仪表

王 其 俊



Tongweisu  
Yibiao

原子能出版社

## 内 容 提 要

本书系统、全面地论述了各类同位素仪表的工作原理、设计方法和某些代表性同位素仪表的性能指标及其在非电量电测技术中的应用。

全书共十章：核辐射、核辐射探测器、测量线路和测量误差、标记式仪表、电离式仪表、透射式仪表、散射式仪表、荧光仪表、中子仪表、穆斯鲍尔效应在检测技术中的应用。每章末附有参考文献。

本书可供从事同位素仪表研究、设计、制造和应用的各类人员和大专院校有关专业师生阅读，也可供仪表业科技人员参考。

同 位 素 仪 表

王 其 俊

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

(北京市西便门)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16 ·印张21<sup>3</sup>/<sub>4</sub>·字数 526 千字

1984 年 11 月 第一版·1984 年 11 月 第一次印刷

印数 1—2,600·统一书号: 15175·530

定价: 2.70 元

## 序

同位素仪表亦称核辐射式检测仪表,是利用放射性同位素和核辐射来检测非电参数的仪表。这门技术是本世纪五十年代初兴起的。由于应用这种仪表可以卓有成效地解决很多参数的检测问题,同位素仪表在五十年代、六十年代获得了迅速的发展,如今还在继续发展中。

关于同位素仪表的图书、杂志及科学报告是相当多的,但迄今还没有一本内容较新、较全面、较系统的图书,我们试图做到这一点。

本书是在作者于北京航空学院任职时撰写的《核辐射检测仪表》一书的基础上,加以修改补充而成的。在这次修订中,主要是扩大了范围,特别强调了厚度计、密度计、料位计、湿度计等与国民经济关系极为密切的仪器仪表,因为这些仪表是同位素仪表中最常用、最常见、最重要的一部分,它们已经在冶金、化工、煤炭、石油、地质、轻纺、食品等国民经济各部门得到了广泛的应用,对于提高产品质量、降低生产成本、改善劳动条件和提高劳动效率诸方面起了巨大的作用。书中还强调了这门技术的新发展,介绍了许多基于新的原理、采用了新的线路、用于特殊场合、可以检测新的参数的某些新型仪表。

全书共分十章,分别介绍各类同位素仪表的工作原理、设计方法和应用范围等。书中还引用了国内外科技工作者所设计、研制的某些有代表性的仪表的实用线路及性能指标。每章章末附有参考文献。

本书是根据测量原理将各种同位素仪表加以分类的,而不是根据测量参数加以分类、进行讨论的。在每一章的编写中,往往通过一两个典型实例,介绍这类仪表的设计原理。这样做的好处是:能够比较系统地阐述各种各样同位素仪表,有触类旁通、举一反三之效;这样做的缺点是:同一用途的仪表被分散在各章中,显得零散,使用不方便。因此,希望特别关心某一参数检测的读者,在阅读本书时,首先通读,然后再重点阅读各章中检测同一参数的诸仪表。另外,我们在绪论中概括了各种同位素仪表的优缺点、应用范围、性能指标,力图弥补这一不足。

在本书编写过程中,西北大学科研处和物理系的领导和同志们给予了巨大的支持和帮助,上海工业自动化仪表研究所欧绪贵同志审阅了全部书稿,作者借此机会向他们表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免有缺点和错误,恳切希望读者批评指正。

# 目 录

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 绪 论 .....                    | ( 1 )  |
| 第一章 核辐射 .....                | ( 10 ) |
| § 1.1 原子核衰变的种类和规律 .....      | ( 10 ) |
| 一、原子核衰变的种类 .....             | ( 10 ) |
| 二、原子核衰变的规律 .....             | ( 12 ) |
| § 1.2 射线和物质的相互作用 .....       | ( 12 ) |
| 一、 $\alpha$ 射线和物质的相互作用 ..... | ( 12 ) |
| 二、 $\beta$ 射线和物质的相互作用 .....  | ( 14 ) |
| 三、 $\gamma$ 射线和物质的相互作用 ..... | ( 15 ) |
| 四、中子和物质的相互作用 .....           | ( 17 ) |
| § 1.3 同位素仪表中常用的放射源 .....     | ( 18 ) |
| 一、 $\alpha$ 放射源 .....        | ( 23 ) |
| 二、中子源 .....                  | ( 23 ) |
| 三、 $\beta$ 放射源 .....         | ( 23 ) |
| 四、 $\gamma$ 放射源 .....        | ( 24 ) |
| § 1.4 核辐射的防护 .....           | ( 25 ) |
| 参考文献 .....                   | ( 27 ) |
| 第二章 核辐射探测器 .....             | ( 28 ) |
| § 2.1 电离室 .....              | ( 28 ) |
| 一、脉冲电离室 .....                | ( 28 ) |
| 二、电流电离室 .....                | ( 29 ) |
| § 2.2 正比计数管 .....            | ( 32 ) |
| § 2.3 盖革-弥勒计数管 .....         | ( 32 ) |
| 一、猝灭放电的方法 .....              | ( 33 ) |
| 二、死时间和恢复时间 .....             | ( 33 ) |
| 三、计数特性曲线和特性参数 .....          | ( 34 ) |
| 四、工作状态 .....                 | ( 35 ) |
| § 2.4 闪烁计数器 .....            | ( 38 ) |
| 一、工作原理 .....                 | ( 38 ) |
| 二、闪烁体 .....                  | ( 39 ) |
| 三、光电倍增管 .....                | ( 39 ) |
| 四、硅油及光导管的利用 .....            | ( 41 ) |
| 五、闪烁计数器的应用 .....             | ( 41 ) |
| § 2.5 半导体探测器 .....           | ( 43 ) |
| 一、P-N结半导体探测器 .....           | ( 43 ) |
| 二、P-I-N结半导体探测器 .....         | ( 44 ) |

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 三、其它半导体探测器·····                   | ( 45 )  |
| 参考文献·····                         | ( 46 )  |
| 第三章 测量线路和测量误差·····                | ( 47 )  |
| § 3.1 测量线路·····                   | ( 47 )  |
| 一、和射线强度的测量精确度有关的线路·····           | ( 47 )  |
| 二、和射线强度的测量精确度无关或关系不太大的线路·····     | ( 50 )  |
| § 3.2 测量误差·····                   | ( 51 )  |
| 一、刻度曲线和测量误差·····                  | ( 51 )  |
| 二、当被测参数随时间的变化较慢时, 测量的统计误差·····    | ( 53 )  |
| 三、当被测参数随时间的变化较快时, 测量的统计误差·····    | ( 60 )  |
| § 3.3 放射性同位素继电器·····              | ( 63 )  |
| 一、等时有回差继电线路·····                  | ( 66 )  |
| 二、等时无回差继电线路·····                  | ( 68 )  |
| 三、等可靠度有回差继电线路·····                | ( 68 )  |
| 四、等可靠度无回差继电线路·····                | ( 71 )  |
| 五、四种继电线路所需源强的比较·····              | ( 73 )  |
| 六、设计步骤·····                       | ( 76 )  |
| 参考文献·····                         | ( 76 )  |
| 第四章 标记式仪表·····                    | ( 78 )  |
| § 4.1 $\gamma$ 标记式转速计·····        | ( 78 )  |
| § 4.2 标记式线量测量仪·····               | ( 86 )  |
| 一、 $\gamma$ 标记式液位计·····           | ( 86 )  |
| 二、线位移、线速度和线加速度的测量·····            | ( 89 )  |
| § 4.3 标记式角量测量仪·····               | ( 90 )  |
| 一、 $\beta$ 标记式温度控制器或温度测量仪·····    | ( 90 )  |
| 二、 $\beta$ 或 $\gamma$ 标记式扭矩计····· | ( 91 )  |
| § 4.4 $\gamma$ 标记式流量计·····        | ( 92 )  |
| 一、基于测量放射源角位移的流量计·····             | ( 94 )  |
| 二、叶轮式转子流量计·····                   | ( 94 )  |
| 三、差压式流量计·····                     | ( 95 )  |
| 四、冲塞式流量计·····                     | ( 95 )  |
| § 4.5 用标记法测量火箭起飞时的运动参数·····       | ( 96 )  |
| § 4.6 用标记法测量飞行器着陆时的高度、速度和俯仰角····· | ( 99 )  |
| 一、利用楔形辐射束的小高度计·····               | ( 99 )  |
| 二、定点着陆飞机的着陆参数的测量·····             | ( 102 ) |
| 三、飞机着陆导航系统·····                   | ( 104 ) |
| § 4.7 直升飞机编队飞行的位置保持系统·····        | ( 107 ) |
| § 4.8 导弹对靶机的不命中距离指示器·····         | ( 112 ) |
| 参考文献·····                         | ( 114 ) |

|                                             |       |
|---------------------------------------------|-------|
| 第五章 电离式仪表 .....                             | (116) |
| § 5.1 电离式线量或角量测量仪 .....                     | (116) |
| 一、 $\alpha$ 电离式隔膜压强计 .....                  | (117) |
| 二、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式线量仪 .....          | (118) |
| 三、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式面积仪 .....          | (119) |
| 四、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式电流计或继电器 .....      | (120) |
| § 5.2 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式气体密度计或压强计 ..... | (121) |
| 一、基于测量电离电流的电离式气体密度计或压强计 .....               | (121) |
| 二、基于测量电离脉冲的电离式气体密度计或压强计 .....               | (126) |
| 三、基于电子倍加原理的电离式气体密度计或压强计 .....               | (128) |
| § 5.3 电离式仪表在航空科学中的应用 .....                  | (129) |
| 一、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式高度计 .....          | (130) |
| 二、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式航速计和马赫数计 .....     | (131) |
| § 5.4 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式气流速度计和流量计 ..... | (132) |
| 一、吹走离子法 .....                               | (132) |
| 二、吹入离子法 .....                               | (133) |
| 三、标记分子法 .....                               | (134) |
| § 5.5 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式气体浓度计 .....     | (138) |
| 一、工作在伏安特性曲线线性区的气体浓度计 .....                  | (138) |
| 二、工作在伏安特性曲线饱和区的气体浓度计 .....                  | (140) |
| 三、 $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式气体湿度计 .....        | (140) |
| § 5.6 $\alpha$ 电离感烟式火灾报警器 .....             | (141) |
| 参考文献 .....                                  | (142) |
| 第六章 透射式仪表 .....                             | (143) |
| § 6.1 透射式厚度计 .....                          | (143) |
| 一、 $\beta$ 、X 或 $\gamma$ 透射式厚度计 .....       | (143) |
| 二、 $\alpha$ 透射式厚度计 .....                    | (151) |
| 三、X 透射式覆盖层厚度计 .....                         | (154) |
| § 6.2 $\gamma$ 探伤仪 .....                    | (154) |
| 一、工作原理 .....                                | (154) |
| 二、几种实用 $\gamma$ 探伤仪 .....                   | (157) |
| § 6.3 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式液流密度计和雪量计 ..... | (159) |
| 一、 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式液流密度计 .....        | (159) |
| 二、 $\gamma$ 透射式雪量计 .....                    | (165) |
| § 6.4 透射式气流密度计和密度高度计 .....                  | (166) |
| 一、X 或 $\beta$ 透射式气流密度计和密度高度计 .....          | (166) |
| 二、 $\alpha$ 透射式气流密度计和密度高度计 .....            | (172) |
| 三、 $\alpha$ 透射式马赫数计 .....                   | (176) |
| 四、 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式高压气体密度计或压强计 .....  | (176) |

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| § 6.5 透射式温度计 .....                           | (177) |
| 一、透射式气流温度计 .....                             | (177) |
| 二、 $\gamma$ 透射式熔融金属温度计 .....                 | (180) |
| § 6.6 $\alpha$ 透射式露点和空气湿度测量仪 .....           | (181) |
| § 6.7 $\gamma$ 透射式液位计 .....                  | (184) |
| 一、严格线性刻度液位计的设计 .....                         | (186) |
| 二、近似线性刻度液位计的设计 .....                         | (193) |
| § 6.8 $\gamma$ 透射式飞机燃油量计和飞船燃料量计 .....        | (197) |
| 一、飞机燃油量计 .....                               | (197) |
| 二、飞船燃料量计 .....                               | (200) |
| § 6.9 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式浓度计和河水含沙量计 ..... | (202) |
| 一、 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式浓度计 .....           | (202) |
| 二、 $\gamma$ 透射式河水含沙量计 .....                  | (208) |
| § 6.10 X透射式粒度测量仪 .....                       | (209) |
| 一、用沉降法测定固体粉末的粒度 .....                        | (210) |
| 二、流体中微粒平均粒度的测定 .....                         | (213) |
| § 6.11 透射式线量和角量测量仪 .....                     | (216) |
| 一、 $\alpha$ 透射式线位移测量仪 .....                  | (216) |
| 二、 $\gamma$ 透射式加工件直径测量仪 .....                | (217) |
| 三、 $\beta$ 透射式扭矩计 .....                      | (217) |
| 四、 $\beta$ 透射式拉丝直径测量仪 .....                  | (219) |
| 五、 $\beta$ 透射式膜宽控制器 .....                    | (220) |
| 六、 $\alpha$ 透射式加速度计 .....                    | (221) |
| 七、 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式转速计 .....           | (221) |
| § 6.12 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式称重仪 .....       | (222) |
| § 6.13 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式产品计数器 .....     | (224) |
| 参考文献 .....                                   | (226) |
| 第七章 散射式仪表 .....                              | (231) |
| § 7.1 $\beta$ 或 $\gamma$ 散射式厚度计 .....        | (231) |
| 一、 $\beta$ 散射式厚度计和 $\beta$ 散射式覆盖层厚度计 .....   | (231) |
| 二、 $\beta$ 散射式露点测定仪 .....                    | (236) |
| 三、 $\gamma$ 散射式厚度计 .....                     | (237) |
| § 7.2 $\beta$ 或X散射式气流密度计和密度高度计 .....         | (240) |
| 一、 $\beta$ 小角散射式气流密度计 .....                  | (240) |
| 二、 $\beta$ 小角散射式密度高度计 .....                  | (246) |
| 三、利用 $\beta$ 小角散射测量三维气流的密度分布 .....           | (248) |
| 四、 $\beta$ 反散射式密度高度计 .....                   | (249) |
| 五、X散射式气流密度计和密度高度计 .....                      | (249) |
| § 7.3 $\gamma$ 散射式疏松物质密度计 .....              | (251) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 一、 $\gamma$ - $\gamma$ 测井 ..... | (251) |
| 二、 $\gamma$ 散射式淤泥密度计 .....      | (252) |
| 三、 $\gamma$ 散射式土壤密度计 .....      | (253) |
| 四、固体样品密度分布的测量 .....             | (254) |
| § 7.4 $\gamma$ 散射式河水含沙量计 .....  | (256) |
| § 7.5 $\beta$ 散射式浓度计 .....      | (257) |
| § 7.6 散射式线量测量仪 .....            | (258) |
| 一、 $\gamma$ 散射式小高度计 .....       | (259) |
| 二、 $\gamma$ 散射式液位计 .....        | (259) |
| § 7.7 X散射式粒度测量仪 .....           | (260) |
| § 7.8 利用散射现象测量线密度或质量流量 .....    | (262) |
| 一、测量纤维的线密度 .....                | (262) |
| 二、测量质量流量 .....                  | (263) |
| 参考文献 .....                      | (264) |
| 第八章 荧光仪表 .....                  | (266) |
| § 8.1 X荧光材料成分分析仪 .....          | (266) |
| 一、入射X射线强度和待测元素的荧光强度间的关系 .....   | (267) |
| 二、放射源的选择 .....                  | (270) |
| 三、探测器的选择 .....                  | (271) |
| 四、样品 .....                      | (273) |
| 五、样品台架 .....                    | (273) |
| 六、散射角的选择 .....                  | (274) |
| 七、放射源、样品、探测器间的几何布置 .....        | (277) |
| 八、滤光片 .....                     | (278) |
| 九、基体效应 .....                    | (280) |
| 十、颗粒度效应 .....                   | (283) |
| 十一、一些实用的X射线荧光分析仪 .....          | (285) |
| 十二、各种同位素成分分析仪的性能比较 .....        | (289) |
| § 8.2 X荧光式覆盖层厚度计 .....          | (290) |
| 一、基于覆盖层原子被激发的X荧光式覆盖层厚度计 .....   | (291) |
| 二、基于衬托物原子被激发的X荧光式覆盖层厚度计 .....   | (293) |
| 三、某些应用实例 .....                  | (294) |
| § 8.3 X荧光式粒度测量仪 .....           | (295) |
| 参考文献 .....                      | (296) |
| 第九章 中子仪表 .....                  | (298) |
| § 9.1 中子减速式仪表 .....             | (298) |
| 一、快中子减速式湿度计 .....               | (299) |
| 二、快中子减速式液位计 .....               | (307) |
| 三、中子减速式温度计 .....                | (308) |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| § 9.2 中子核反应式材料成分分析仪 .....          | (308) |
| 一、活化分析法 .....                      | (308) |
| 二、辐射分析法 .....                      | (310) |
| § 9.3 中子测井 .....                   | (311) |
| 一、中子 - $\gamma$ 强度测井 .....         | (311) |
| 二、中子 - 中子强度测井 .....                | (312) |
| 三、热中子寿命测井 .....                    | (312) |
| 四、能谱测井 .....                       | (314) |
| § 9.4 中子流量计 .....                  | (315) |
| § 9.5 中子厚度计 .....                  | (317) |
| 参考文献 .....                         | (318) |
| 第十章 穆斯鲍尔效应在检测技术中的应用 .....          | (320) |
| § 10.1 穆斯鲍尔效应 .....                | (320) |
| 一、物理概念 .....                       | (320) |
| 二、实验设备和方法 .....                    | (321) |
| 三、影响穆斯鲍尔效应的参数 .....                | (323) |
| § 10.2 利用穆斯鲍尔效应测量线速度和线位移 .....     | (325) |
| § 10.3 利用穆斯鲍尔效应测量角速度、角位移或加速度 ..... | (328) |
| 一、位相法 .....                        | (328) |
| 二、振幅法 .....                        | (329) |
| 三、直接利用透射计数率和角速度的关系测量角速度和角位移 .....  | (330) |
| 四、测量加速度 .....                      | (331) |
| § 10.4 利用穆斯鲍尔效应测量低温 .....          | (332) |
| § 10.5 利用穆斯鲍尔效应测量应力 .....          | (333) |
| § 10.6 利用穆斯鲍尔效应分析材料中的铁或锡 .....     | (335) |
| 一、根据化学偏移或电四极矩确定铁的价态 .....          | (335) |
| 二、根据吸收峰面积测定矿物分子中铁的结构位置及含铁量 .....   | (336) |
| 参考文献 .....                         | (336) |

## 绪 论

生产和科学的发展,对检测技术提出了很多新的、更高的要求。例如,要求精确、迅速、连续、自动、无接触、非破坏性和单方向地测量、记录和控制各种非电参数,如线位移、角位移、板状材料的厚度、覆盖层厚度、密闭容器中的液体液位、旋转体的转速、流体的密度、压强、温度和流量、材料的成分等等。为此,必须用参数变换器将所要检测的非电参数转换为电参数,然后加以测量。非电参数的电测法是检测技术中的一个很重要的部分。参数变换器的种类是很多的,但是在有些情况下,使用电阻、电感、电容、光电等参数变换器很难,甚至不可能满足要求,然而,利用核辐射的参数变换器可以满足这些要求。将它们和其他自动化仪器仪表联合使用,可以实现生产过程的全盘自动化和解决科学研究中的很多困难问题。

同位素仪表,一般由放射源、核辐射探测器、电转换器及二次仪表等四部分组成,如图0.1所示。放射源可为 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $X$ 、 $\gamma$ 或中子源,核辐射探测器可为电离室、正比计数管、盖革-弥勒计数管、闪烁计数器或半导体探测器。放射源和核辐射探测器组成参数变换器,被测量的非电参数 $x$ 由它转变成为和被测参数有一定函数关系的电讯号 $I_1(x)$ 。这个讯号被加到电转换器的输入端,转变为能够推动二次仪表的电讯号 $I_2(x)$ 。参数变换器和电转换器统称为一次仪表。二次仪表为显示仪器、记录仪器、控制仪器或计算机等。

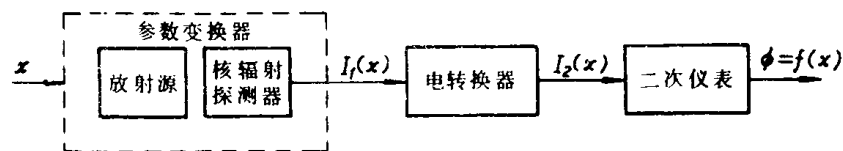


图 0.1 同位素仪表方框图

同位素仪表是基于以下三个原理工作的:

(一) 利用放射源的标记作用 将放射源装在被测物体上,利用放射源和核辐射探测器间的距离与核辐射探测器接收到的射线强度的关系,来测量被测物体的运动参数等参数。

(二) 利用核辐射和物质的相互作用 根据核辐射种类的不同,又可以分为:

(1) 利用 $\alpha$ 辐射的电离效应、穿经物质时减弱效应和被物质散射的效应等。

(2) 利用 $\beta$ 辐射的电离效应、穿经物质时的减弱效应、被物质散射的效应和激发次级荧光的效应等。

(3) 利用 $\gamma$ 辐射穿透物质时的减弱效应、被物质散射的效应和激发次级荧光的效应等。

(4) 利用快中子穿经物质时减速、散射等效应和中子核反应等。

(三) 利用穆斯鲍尔效应

利用这些效应,可以检测的参数如表0.1所示。

表 0.1 同位素仪表的应用范围和特点

| 工作原理                                           | 能够检测的参数                                            | 特点                                                                  |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ 、 $\beta$ 或 $\gamma$ 放射源标记作用          | 线量、角量, 以及和这些量有关的其他量。                               | 中子源因为价格贵、防护困难等原因, 极少用作标记放射源。 $\gamma$ 标记式仪表在航空科学中的应用很有特色。           |
| $\alpha$ 或 $\beta$ 的电离效应                       | 线量、角量、面积、气体的密度、速度和成分以及和这些量有函数关系的其他量。               | 电离式仪表主要用来测量气体的压力, 气体中混杂物的浓度                                         |
| $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 或 $\gamma$ 的透射效应 | 厚度、流体的密度和温度、材料的成分、料位、线量、角量、面积以及和这些量有函数关系的其它量       | 透射式仪表一般具有无接触、非破坏、连续测量的优点。当使用足够的源强时, 可以使测量精确度和响应时间满足要求, 这类仪表的应用最广。   |
| $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 或 $\gamma$ 的散射效应 | 厚度、覆盖层厚度、材料的成分和硬度、流体的密度、运动体间的距离、料位以及和这些量有函数关系的其它量。 | 散射式仪表一般具有单方向测量的优点, 经常用在透射式仪表不合用的场合, 也具有无接触、非破坏、连续测量的优点, 这类仪表的应用也很广。 |
| $\beta$ 或 $\gamma$ 的荧光效应                       | 厚度、覆盖层厚度、材料的成分、气体的密度、温度及流速。                        | 荧光仪表主要用于材料的定性、定量分析, 覆盖层厚度的测量。具有准确、迅速、连续、非破坏、无接触、单方向测量的优点。           |
| 中子和物质的相互作用                                     | 厚度、材料的成分、液位、温度、流速等。                                | 中子仪表主要用于测量含水量、用来分析材料中的微量元素, 在石油勘探中的应用很有前途。                          |
| 穆斯鲍尔效应                                         | 线位移、角位移、线速度、角速度、加速度、温度、压力、应力及材料成分等。                | 迄今, 穆斯鲍尔效应主要用来测量线速度、角速度及含铁、含锡材料的价键状态。                               |

由此表可知, 利用放射性同位素和核辐射可以检测的参数是多种多样的, 某些效应为几种辐射所共有, 有些参数可以利用几种效应去检测。但是, 不同的辐射所引起的同一种效应(例如 $\alpha$ 、 $\beta$ 、与 $\gamma$ 的散射效应)的特点是不同的, 因而, 各种效应的应用条件也就千差万别。

鉴于以上各点, 就需要对同位素仪表进行正确的分类, 并赋予每一种仪表一个简单明了且足以表明这种仪表的概貌的名字。本书按仪表的工作原理来分类, 并采用以下命名法: 如 $\gamma$ 标记式液位计、 $\alpha$ 电离式气体密度计、 $\beta$ 透射式气流密度计、X荧光式覆盖层厚度计、中子核反应式材料成分分析仪等, 即一个仪表的名字由三部分组成: 所用辐射、工作原理和仪表的功用。现有的绝大多数同位素仪表都可以按这样的方法来命名。

利用核辐射的检测技术是本世纪五十年代初兴起的, 在五十年代、六十年代获得了迅速的发展, 如今还在继续发展着。它已广泛地用于工业、农业、国防及科学研究的各个部门中, 表 0.2 列举了同位素仪表在农业、林业、煤炭、冶金、石油、化工、造纸、橡胶、玻璃、水泥、食品、轻纺、土木、水文、航空等部门中的应用情况。

迄今同位素仪表以厚度计、密度计、料位计、探伤仪、湿度计和材料成分分析仪等应用较为广泛, 主要用于检测和流程控制方面, 对提高产品质量、减少原材料消耗、改善劳动条件、提高生产效率、降低生产成本等起了巨大作用。

如今, 美、苏、英、西德、法、加、日等国每年都在成批地生产这类仪表, 除满足本国需要外, 还出口他国。利用同位素仪表所获得的经济效益是非常显著的, 表 0.3 列出了资本主义国家历年来使用的同位素仪表的数量, 平均年增长速度为 20—25%。表 0.4 和 0.5

表 0.2 应用同位素仪表的部门

| 应用部门             | 应 用 情 况                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 农业和林业            | ①测量植物叶子的面密度, 用来研究植物的生长及植物中水分的变化; ②测量饲料的密集度; ③测量树杆、木材及植物制品的密度; ④测量泥柱的渗水性; ⑤测量干馏过程中木材的密度变化; ⑥测量木材、谷物及活树的含水量; ⑦测量土壤的密度和湿度, 用来研究水土保持问题; ⑧测量土壤和肥料的成分; ⑨测量土壤的湿度分布, 用来研究灌溉的作用, 研究森林、草地、庄稼对土壤中水分的蒸发、渗漏作用, 研究天然水的补充规律。                                                                                              |
| 煤 炭              | 在勘探方面: ①测量煤层位置、厚度、灰分以及夹石和顶底板特性; ②测定煤心中灰分及其他伴生元素的含量。<br>在开采方面: 利用 $\gamma$ 散射式密度计能分辨出煤炭和岩石, 使采煤机自动绕开围岩。<br>在选洗方面: ①自动拣矸; ②在重介质选煤中, 测定重介质的浓度; ③测定浮选入料矿浆的浓度。<br>在矿井运输和提升方面: ①控制矿车、煤仓、煤斗、皮带运输机的装载量; ②利用 $\gamma$ 透射式继电器实现通过矿车自动计数, 自动扳道岔, 使提升罐笼准确而自动地停靠。<br>在矿井安全方面: 利用电离式气体分析仪测定瓦斯压力, 测定井下空气含尘量及火灾报警。         |
| 冶 金              | ①测量热轧、冷轧板的厚度; ②测量各种涂层和镀层的厚度; ③测量各种拉丝的直径; ④测量异形材料的各部分厚度; ⑤测量各种管子的壁厚, 测量炉壁、管壁的损耗; ⑥测量各种坯料的密度, 测量各种粉末、矿浆及烧结料的密度; ⑦测定各种液体、固体、固液混合物、粉末材料的料位, 测定灰尘捕集器中灰尘高度, 测定各种矿车的载重量, 控制冲天炉及粉碎机料槽的料位; ⑧炼焦炉出焦时三车自动定位; ⑨测量烧结料或焦炭的水分; ⑩用活化分析法测定钢中的含氧量, 矿物中的氧、硅、铝、铁等的含量, 利用 $\lambda$ 荧光分析仪测定各种矿石的成分, 分析炉渣的含铁量及碱度。                 |
| 石油、化工、造纸、橡胶      | ①在石油勘探方面, 利用中子仪表确定岩性、孔隙度, 确定气层、油层、水层及其分界面; ②测量塑料、橡胶、纸张的厚度及各种涂层的厚度; ③测量各种塑料管、橡胶管的壁厚; ④测量轮胎中纤维密度; ⑤测量轮胎的磨损; ⑥测量纸浆、橡胶、乳化剂、各种酸、碱、盐溶液的密度或温度, 确定石油管道中两种产品的分界面; ⑦测量贮槽、罐中的各种溶液、粉末的料位, 控制各种半成品及产品的装载量; ⑧测定各种浆液及产品的成分及湿度, 如原油和石油产品中的硫、钴、铅、氯、氧、氮、氟的含量, 石油产品中的碳氢比和碳化物中碳的含量, 氯化物中的氯含量, 肥料中的钾含量及纸浆、橡胶的成分; ⑨测定各种浆液及粉末的流量。 |
| 玻璃、水泥及其他非金属矿物加工业 | ①测量各种砂纸、砂布、玻璃板、石棉板、水泥板、耐火砖的厚度; ②测量各种砂石、水泥、黄土以及浆液的密度; ③测量熔融玻璃的料位, 测量料仓、料斗中的砂、粘土、水泥的料位; ④分析水泥及混凝土中的钙、镁含量, 玻璃中的硼、钾、铅、硅的含量。                                                                                                                                                                                    |
| 食 品              | ①测量面包、点心、饼干、糖果、肉制品、香烟的厚度、密度和水分; ②测量用鱼、肉、蛋、水果、蔬菜、牛奶制成的糊状食品的密度; ③测量以上糊状食品、固态食品及酒、油、醋的料位及装载量; ④测量以上固态食品的含水量, 测量瘦肉含量, 分析各种食品中的组成元素及其含量。                                                                                                                                                                        |
| 轻 纺              | ①测量并控制毛毯、绒毯、油布、人造革、油毡、胶皮、纱布的厚度; ②测量并控制棉纱及其它纤维的线密度和湿度; ③测量各种反应锅、煮锅中的溶液液位。                                                                                                                                                                                                                                   |
| 土木、水文            | ①测量路面、地基的密度或湿度; ②测量河水的含砂量; ③测量水库、海港中淤泥密度; ④测量海底沉积物的密度和成分; ⑤测量吸泥船输泥管中的泥浆密度; ⑥测量海水中的悬浮质浓度; ⑦检查坝基的灌浆效果; ⑧测量河堤堤身渗水性; ⑨测量混凝土的水分。                                                                                                                                                                                |
| 航空、航天            | ①测量飞船、飞机中燃油或燃料的贮量; ②测量大气的密度、压强, 并制成密度高度计、压力高度计、空速计、马赫表; ③测量飞船蒙皮的磨损; ④测量冰点并制成冰点报警器; ⑤测量飞行器起飞或降落时的高度、速度及俯仰角; ⑥直升飞机的编队飞行控制; ⑦火箭的回收; ⑧导弹对于靶机的不命中距离指示。                                                                                                                                                          |

列出了这些国家用于包括同位素仪表在内的同位素技术的投资及获得的经济效益。从表列数字可以看出, 投资是缓慢增加的, 而经济效益则迅速增加, 特别是1965—1975年间, 投资增加一倍多, 而经济效益则增加5—6倍。1950—1985年投入的研究费用总计77亿美元, 同时期的经济效益为460亿美元, 为投资的5.9倍, 即平均经济效益系数为5.9。每台厚度计、料位计或密度计等的年经济效益为3500—5000美元。每台 $\gamma$ 探伤仪的年经济效益为5000—8000美元。使用几个月到一年, 就可以收回全部投资。表0.6和0.7示出苏联及其他经互会

表 0.3 资本主义国家的同位素仪表数目 (台)\*

| 国 家      | 年 份    |        |        |         |         |           |
|----------|--------|--------|--------|---------|---------|-----------|
|          | 1960   | 1965   | 1970   | 1975    | 1980    | 1985      |
| 美 国      | 4,650  | 11,000 | 31,500 | 103,000 | 215,000 | 350,000   |
| 英 国      | 760    | 2,143  | 5,330  | 11,700  | 34,000  | 30,000    |
| 法 国      | 1,190  | 1,965  | 5,000  | 8,300   | 26,500  | 80,000    |
| 西 德      | 1,210  | 1,647  | 5,000  | 12,000  | 31,000  | 95,000    |
| 日 本      | 185    | 520    | 2,155  | 7,550   | 20,000  | 59,000    |
| 其它资本主义国家 | 5,753  | 11,534 | 30,500 | 91,900  | 290,100 | 690,000   |
| 总 计      | 13,748 | 28,809 | 79,485 | 234,450 | 616,800 | 1,364,000 |

\* 引自“国外核新闻”1980年第18期

表 0.4 资本主义国家用于同位素技术的投资\*  
(百万美元,按1971/72年度不变价格计算)

| 国 家      | 年 份  |      |       |       |       |       |       |       |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | 1950 | 1955 | 1960  | 1965  | 1970  | 1975  | 1980  | 1985  |
| 美 国      | 18.0 | 33.0 | 48.0  | 59.4  | 105.6 | 129.6 | 145.0 | 157.0 |
| 英 国      | 1.4  | 3.9  | 8.7   | 9.4   | 14.2  | 15.2  | 16.4  | 17.4  |
| 法 国      | 2.0  | 14.8 | 32.8  | 34.4  | 30.0  | 35.1  | 35.5  | 37.8  |
| 西 德      | —    | 0.8  | 4.2   | 12.3  | 28.1  | 54.0  | 48.5  | 41.6  |
| 日 本      | —    | 0.2  | 0.6   | 0.9   | 3.2   | 12.2  | 28.5  | 53.4  |
| 其他资本主义国家 | 0.9  | 4.0  | 14.0  | 26.8  | 39.0  | 72.9  | 101.1 | 172.8 |
| 总 计      | 22.3 | 57.0 | 109.9 | 143.2 | 220.1 | 318.0 | 375.0 | 480.0 |

\* 引自“国外核新闻”1980年第18期。

表 0.5 资本主义国家应用同位素技术的经济效益\*  
(百万美元,按1971/72年度不变价格计算)

| 国 家      | 年 份   |       |       |        |        |        |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|          | 1960  | 1965  | 1970  | 1975   | 1980   | 1985   |
| 美 国      | 31.0  | 100.0 | 420.0 | 850.0  | 1300.0 | 4000.0 |
| 英 国      | 33.0  | 45.2  | 50.5  | 150.0  | 250.0  | 500.0  |
| 法 国      | 7.6   | 11.0  | 25.0  | 50.0   | 140.0  | 360.0  |
| 西 德      | 9.0   | 14.5  | 30.0  | 48.0   | 95.0   | 250.0  |
| 日 本      | 3.0   | 6.5   | 20.0  | 41.0   | 75.0   | 140.0  |
| 其它资本主义国家 | 46.9  | 107.0 | 182.3 | 449.5  | 870.0  | 1690.0 |
| 总 计      | 130.5 | 284.2 | 727.8 | 1588.5 | 2730.0 | 6940.0 |

\* 引自“国外核新闻”1980年第18期。

表 0.6 经互会成员国的同位素仪表数目(台)\*

| 年 份 | 1963   | 1965   | 1970   | 1975   | 1980    | 1985    |
|-----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 台 数 | 13,875 | 33,000 | 58,000 | 95,000 | 150,000 | 250,000 |

\* 引自“国外核新闻”1980年第18期。

表 0.7 经互会成员国应用同位素技术的经济效益\* (百万卢布) [注]

| 年 份  | 1960 | 1965  | 1970  | 1975  | 1980   | 1985   |
|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 经济效益 | 96.4 | 254.2 | 473.9 | 901.0 | 1440.0 | 2170.0 |

\* 引自“国外核新闻”1980年第18期。

[注]: 1979年10月31日, 卢布和美元的比价是: 1 卢布 = 1.529 美元。

成员国应用同位素仪表的台数及经济效益。1960—1985年总经济效益为 250 亿卢布, 平均经济效益系数为 5.0, 每台厚度计、密度计或料位计的年经济效益为 3000 卢布, 半年内就可以回收投资。正因为同位素仪表有着如此高的经济性, 才使得这门技术得以高速度发展。

核辐射式检测技术的发展动向如下:

(1) 研制测量精确度更高、响应时间更短、采用集成电路、具有数字显示和信息存储能力的厚度计、密度计和材料成分分析仪。发展用于流程控制的在线厚度计、密度计及材料成分分析仪, 必要时配合其他检测仪表及电子计算机, 形成一整套闭环工艺流程控制系统。

(2) 研制新型仪表, 如温度计、应力仪、粒度仪、加速度计、扭矩计、飞行仪表、井下仪表及水下仪表。

(3) 研制同时使用两个或两个以上放射源, 可以同时测量两个参数, 能够自动进行校准的仪表; 研制使用一个放射源和几个探测器, 同时测量几个参数的仪表; 研制同时应用两种或三种原理的组合检测系统。

(4) 研究铜-252 自发裂变中子源、低能 X 射线源的应用。

(5) 研究高性能的探测器, 如高纯锗探测器、硅雪崩或内放大式探测器、碲化镉探测器, 研究集成化的放大器、多道分析仪、计数率计等电路。

(6) 研制基于穆斯鲍尔效应的各种检测仪表。

我们在研制和选用同位素仪表时, 应注意, 利用核辐射的检测技术只是非电量电测技术之一。它虽然可以检测很多参数, 但并不是在任何情况下都是最好的。这就是说, 同位素仪表在不少场合下可能不如一般仪表。因此, 为了测量某一参数, 应当根据所测对象、测量环境、所要求的性能指标、实现的难易程度、操作难易、保管和维修、坚固耐用、安全、经济等诸因素, 对各种测量方法进行全面的分析比较, 选择最合适的方法。就是在选定了利用核辐射的检测方法之后, 也还应当根据上述诸因素找出最佳的核辐射方法。最佳方案的选取, 对于设计工作有着极其重要的意义。为便于读者选择方案, 我们将最重要的几种同位素仪表的优缺点、应用场合及性能指标列于表 0.8 中。

表 0.8 几种主要同位素仪表的性能和特点

| 仪 表         | 优 缺 点                        | 主 要 应 用 场 合                                                   | 主 要 性 能 指 标                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 厚<br>度<br>计 | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点, 但不能单方向测量。 | 应用面很广。可以测量各种薄膜、板材、管材的厚度; 这种厚度计的变体是 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式探伤仪。 | 最简单的线路具有指数刻度曲线, 较完善的线路具有线性刻度曲线。测量范围决定于射线的能量: $\beta$ 透射式厚度计的测量范围为 2 毫克/厘米 <sup>2</sup> —10 克/厘米 <sup>2</sup> , $\gamma$ 透射式厚度计的测量范围为 0.5 克/厘米 <sup>2</sup> —100 克/厘米 <sup>2</sup> 。测量误差及响应时间取决于所用源强, 常用仪表的测量误差为 0.5—1%, 响应时间为 0.01—30 秒不等。 |

续表

| 仪 表                        |                           | 优 缺 点                                                                                                                                        | 主 要 应 用 场 合                                                                                                    | 主 要 性 能 指 标                                                                                                            |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 厚<br>度<br>计                | $\beta$ 或 $\gamma$ 散射式厚度计 | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点。<br>所用电路要比透射式厚度计复杂一些, 需要使用具有能量分辨能力的线路。                                                                                 | 用于 $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式厚度计不适用的场合, 如在导管外测管子壁厚, 测量飞机蒙皮的磨损, 测量锅炉壁厚等。                                            | 测量范围、测量误差、响应时间取决于线路、放射源的射线能量及强度。在相同源强情况下, 测量误差和响应时间不如透射式仪表。常用仪表的测量范围为 0—10 克/厘米 <sup>2</sup> , 测量误差为 1%, 响应时间为 1—30 秒。 |
|                            | 中子厚度计                     | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点, 有时还具有单方向测量的优点。<br>中子源价格较贵, 中子的防护较困难, 中子探测器的探测效率一般较低。                                                                      | 它是 $\gamma$ 透射式厚度计或 $\gamma$ 散射式厚度计的补充, 主要用在这两种厚度计不适合的场合, 如大厚度测量: 在容器外测量充水、充油容器如锅炉、导管、反应器罐等的壁厚。中子厚度计的变体是中子探伤仪。 | 可以测量厚度达几十厘米的钢板。                                                                                                        |
|                            | $\alpha$ 透射式厚度计           | 具有不接触、非破坏、测量的优点, 采用复杂的电路可以做到连续测量。<br>不能单方向测量。                                                                                                | 只能用于低原子序数的薄膜厚度的测量。 $\alpha$ 透射式厚度计的一个变体是露点、冰点测量仪。                                                              | 测量范围为 0—12 毫克/厘米 <sup>2</sup> , 灵敏度可以高达 4 微克/厘米 <sup>2</sup> , 用一般电路时测量精确度不高, 约为 3—4%, 响应时间也较长。                        |
| 覆<br>盖<br>层<br>厚<br>度<br>计 | $\beta$ 散射式覆盖计            | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点。<br>被测物体的磁性、硬度、应力影响测量结果, 一般要求底材的厚度大于饱和厚度。                                                                              | 应用面较广, 可以测量不同成分的底材上各种涂层或镀层的厚度。                                                                                 | 常用仪表的测量范围为 0—160 毫克/厘米 <sup>2</sup> , 测量误差为 1%, 响应时间为 0.1—10 秒。                                                        |
|                            | 荧光式覆盖层厚度计                 | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点, 被测物的磁性、应力、硬度不影响测量结果。<br>当覆盖层被激发时, 可以用来同时测量底材两侧的覆盖层厚度。此时, 底材的成分和密度不影响测量结果, 电路较 $\beta$ 散射式覆盖层厚度计复杂, 要求使用简单的谱仪, 并使用滤光片。 | 要求底材和覆盖层的原子序数大于 13、底材和覆盖层的原子序数相差 2 以上的各种材料。<br>应用日趋广泛, 对于铁底材上锌、锡层厚度的测量, 有取代 $\beta$ 散射式覆盖层厚度计之势。               | 对于轻金属覆盖层的测量范围为 10—100 毫克/厘米 <sup>2</sup> , 对于重金属覆盖层的测量范围为 100—600 毫克/厘米 <sup>2</sup> , 测量误差为 1%, 响应时间为 1—10 秒。         |
|                            | $\gamma$ 透射式覆盖层厚度计        | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点, 但不能单方向测量。可以在油漆未干时测量干油漆的厚度。<br>易于实现。                                                                                       | 应用面较窄。主要用于覆盖层的原子序数比底材的原子序数大 1 倍以上, 并且当底材很薄时, 如有机薄膜上的金属镀层的厚度, 纸板、木板、有机薄膜上的油漆层厚度测量。                              | 完善的线路的测量范围为 1—50 毫克/厘米 <sup>2</sup> , 测量误差为 1%, 响应时间为 1—10 秒。在左面所述的情况下, 为了获得同样精确度及响应时间, 需用的源强比散射式和荧光覆盖层厚度计要小一些。        |
| 液体或固体密度计                   | $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式密度计 | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点, 但不能单方向测量。要求合适的液层厚度。用于测量固体的密度时, 要求样品具有合适的厚度。                                                                               | 应用面很广, 可以测量密闭导管内各种液体、泥浆、矿浆的密度, 也可以用来测量混凝土、玻璃、土壤等的密度。<br>这种密度计的变体可用来测量熔融金属的温度, 测量固液混合物中固体成分的浓度                  | 最简单线路具有指数刻度曲线, 完善的线路具有线性刻度。<br>常用仪表的测量范围为 0.2—5 克/厘米 <sup>3</sup> , 测量误差为 1%, 响应时间为 1—5 秒。                             |

续表

| 仪 表       |                                 | 优 缺 点                                                                                        | 主 要 应 用 场 合                                                            | 主 要 性 能 指 标                                                                                                          |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 液体或固体密度计  | $\beta$ 或 $\gamma$ 散射式密度计       | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点。可以测量“点”密度。                                                             | 当被测物很大、很厚，透射式密度计无法应用时，可采用这种密度计。如测量路基、地基的密度，测量煤层和岩层的密度，测量大型导管及容器中溶液的密度。 | 散射射线强度随密度的增加而减小，约成线性关系。常用仪表的测量范围为1—5克/厘米 <sup>3</sup> ，测量误差为2%，响应时间为1秒。                                              |
|           | 荧光式密度计<br>中子密度计                 | 与上二种密度计相比没有什么突出优点，没有得到广泛应用。                                                                  |                                                                        |                                                                                                                      |
| 气 体 密 度 计 | $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式气体密度计或压强计 | 被测气体引入电离室或电子倍增管内，因而不是不接触的。                                                                   | 用于真空系统和密封座仓的检漏，用于飞行仪表中。                                                | 电离电流与气体密度或压力约成正比，脉冲速率与气体密度或压力约成线性关系。<br>常用仪表的测量范围为10 <sup>-6</sup> —700托，测量误差为1%，响应时间为1—10秒，膜盒式气压计可以测量0.001—10标准大气压。 |
|           | $\beta$ 透射式气体密度计                | 放射源和核辐射探测器放在气体中，因而不是不接触式测量，测量导管内气体的密度时，可以把放射源和核辐射探测器放在导管外使测量成为不接触的。但这时象透射式液流密度计那样，要求合适的气层密度。 | 主要用在气象部门、航空部门，用来测量大气的密度；用来研究爆炸波、激波、附面层；用来作为密度高度计。                      | 计数率和密度成指数函数关系，但和高度成线性关系。<br>对于一个特定的密度计，测量密度的上限和下限相差可达10倍，测量误差可达到1%。<br>用作密度高度计时，可以测量7000—75000英尺的高度。                 |
|           | $\beta$ 反散射式气体密度计               | 单方向测量，占据空间较小。一般只适于测量放射源和核辐射探测器附近的气体，测量远方气体的能力有限，难以克服激波、附面层的影响。                               | 用作密度高度计。                                                               | 测高范围是25000—75000英尺                                                                                                   |
|           | $\beta$ 小角散射式气体密度计              | 主要优点与上面的 $\beta$ 反散射式气体密度计大致相反：附面层的影响较小，可以测量自由大气密度，占据空间较大。<br>灵敏度比透射式气体密度计大。                 | 测量高层气体的密度。                                                             | 计数率正比于气体密度，可测密度范围相当于从100000英尺到300000英尺的高度。                                                                           |
|           | $\gamma$ 散射式气体密度计               | 飞行器的带电效应的影响小，地磁场及其他电磁场的影响较小，所需源强比 $\beta$ 散射式气体密度计大得多。                                       | 测量高层大气的密度。                                                             |                                                                                                                      |
| 强 压 计     | $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式高压计       | 将气体引入承压器内，或者象透射式液流密度计那样将放射源和核辐射探测器分别置于气流导管两侧。                                                | 应用不广。                                                                  | 可测量1—10000个标准大气压的气体压力。                                                                                               |

续表

| 仪 表   |                               | 优 缺 点                                                                                   | 主 要 应 用 场 合                                                                                                                                     | 主 要 性 能 指 标                                                                                                              |
|-------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 成分分析仪 | $\beta$ 或 $\gamma$ 透射式浓度计及湿度计 | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点，但不是单方向测量。要求液体或固体样品具有某一合适的厚度范围。                                        | 低能 $\gamma$ 透射式浓度计可以测量二组分或多组分材料中每个组分的浓度。 $\beta$ 透射式浓度计只能用来检测样品中氢的含量。                                                                           | 当基体的原子序数比被测组分的原子序数小很多时，灵敏度较高，测量误差较小。<br>采用补偿电路后，样品密度的变化不影响测量结果。湿度的测量范围及灵敏度不如中子湿度计好。                                      |
|       | $\beta$ 或 $\gamma$ 散射式浓度计及湿度计 | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点，不必特制样品。                                                           | 对于尺寸很大的二组分样品的测量特别合适。 $\beta$ 散射式浓度计主要用来测量低原子序数基体中高原子序数组分的浓度。 $\gamma$ 散射式密度计可以用来测量固液混合物中固体组分的浓度。                                                | 当基体的平均原子序数较小，被测组分的原子序数较大时，灵敏度较大。<br>湿度的测量范围很小，灵敏度较大，但很少使用。                                                               |
|       | $\alpha$ 或 $\beta$ 电离式浓度计和湿度计 | 被测气体引入电离室内，因而不是不接触式测量。                                                                  | 只能测量气体中的混杂物浓度，且这些混杂物的介电常数应与气体的介电常数相差较大。<br>电离式火灾报警器得到了广泛应用。<br>电离式密度计可以按浓度计分度用来测量大浓度。<br>电离式气体湿度计应用不广。                                          | 对醇类、硫蒸气等混杂物，灵敏度较高，可达1毫克/升，响应时间2—10秒，当气体混杂物的浓度很大时，响应时间为0.01—0.1秒。                                                         |
|       | 中子湿度计、浓度计及成分分析仪               | 具有不接触、非破坏、连续测量的优点，对于散射式几何布置还具有单方向测量的优点。中子湿度计的缺点是：所测量的是总的含氢量，不能区别自由水、结晶水及其它含氢的物质。        | 中子湿度计的应用面很广，如土壤、混凝土、型砂、烧结矿等的含水量测量。中子透射式浓度计主要用来测量固体、液体中热中子俘获截面很大的组分的浓度。<br>中子活化分析的应用很广，可以测量样品中的各种成分及各成分的含量，即对复杂组成的样品进行定性、定量分析，灵敏度极高，但往往需要极强的中子流。 | 性能好的中子湿度计可以测量大于3% (重量) 的水分，响应时间为几秒钟，测量误差为1—2%，样品的密度及其它成分的变化不影响结果。<br>利用 $^{252}\text{Cf}$ 自发裂变中子源提供的强中子流进行活化分析，可以分析痕量元素。 |
| 料位计   | 荧光式成分分析仪                      | 具有不接触、非破坏、连续、单方向测量的优点。                                                                  | 应用面很广。适用于固体、液体、粉末、糊状样品等，可以对原子序数大于13的任一元素进行定性、定量分析，广泛地应用于地质、探矿、选矿、冶金、化工、建材及流程控制。                                                                 | 好的荧光式分析仪具有分析速度快、灵敏度高、测量误差小、易于操作等优点，灵敏度可达0.1—0.01%，响应时间可低至30秒。                                                            |
|       | $\gamma$ 标记式液位计               | 对容器的大小和形状没有特殊的要求，对液体的成分和密度没有什么要求，对放射源能量没有严格要求。<br>不是不接触检测、不能测量颗粒或胶体的料位，具有机械运动部件，不是线性刻度。 | 用于液体密度和成分大幅度变化的场合特别合适，如今已很少使用。                                                                                                                  | 性能指标基本上取决于所用源强、核辐射探测器的探测效率及浮子导向系统。采用强源、高效率探测器及精巧导向系统，便可以使测量范围达1米，测量误差不大于1厘米，响应时间在1秒以下。                                   |