

血气分析仪

段克宇 马维伦 编著

计量器具修理丛书

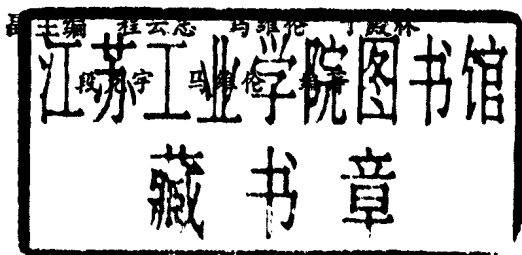


中国计量出版社

计量器具修理丛书

血气分析仪

主 编 潘承沅



中国计量出版社

新登(京)字024号

内 容 提 要

本书较系统地介绍了血液气体分析仪工作原理、安装环境和应用范围,并详细介绍了样品测定的技术、仪器常见故障的查寻及排除方法,以实例具体说明了正常操作使用、维护保养、技术性能检测等技术。

本书可供血液气体分析仪的操作、修理人员、计量人员和医疗仪器管理人员及大专医学工程技术课程学员阅读参考。

计量器具修理丛书

血 气 分 析 仪

段克宇 马维民 编著

责任编辑 孙维民

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/32 印张 4.25 字数 91 千字

1994年7月第1版 1994年7月第1次印刷

印数 1—1500

ISBN 7-5026-0673-4/TH·19

定价 5.00 元

出版前言

为满足广大基层计量工作者的实际需要，我社组编了以传授修理经验为特点的《计量器具修理丛书》。

本丛书主要针对使用面宽的各种工作计量器具（包括强制检定与非强制检定的工作计量器具）的修理技术，介绍该计量器具修理用的必备工具、检修步骤和方法、故障排除等。能为基层的计量检定修理人员、工矿企业计量人员提供指导。

哈尔滨市计量检定测试所对这套丛书给予了热忱支持，主动承担了一部分计量器具修理丛书的撰稿任务，组织所内技术骨干及有实践经验的同志在总结经验的基础上进行编写。我社欢迎广大基层计量工作者对本丛书提出建议与意见，更欢迎把您们多年来的经验总结后也能撰写成稿，传授给广大计量工作者。

本社编辑部

~~~~~编 者 的 话~~~~~

血液气体分析仪是对血液中的 pH 、 pCO_2 、 pO_2 及其相关的参数进行定量、定性分析的重要仪器。血液气体分析仪在临床、教学、卫生、防疫以及许多生物科研部门已不可缺少。目前在全国绝大多数县级以上规模的医疗卫生部门，已设置了这种仪器。但有关这方面的技术资料、书籍不多，为此我们编写了此书。

本书从实际工作出发，以介绍有代表性的 IL 1300 系列血气分析仪为主，分别论述了血液气体分析仪的工作原理、安装调试和应用范围，工作环境，样品测定的技术性能要求，常见故障的寻查及排除，正常的操作、维护保养以及技术性能的检测等内容。

本书在哈尔滨市技术监督局王源灿局长关怀、支持、领导下，经副局长王铁华高级工程师审阅指导，由高级工程师潘承沅任主编，程云志、马维伦工程师、于殿林高级工程师任副主编。张蕴冬、马春兰、孙文琪、穆明等同志协助做了许多具体工作。

由于时间紧，水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1993 年 3 月

目 录

第一章 血气分析仪及其测量原理	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 血气分析仪的用途.....	(2)
第三节 血气分析仪的测量工作原理.....	(3)
第四节 电极结构.....	(6)
第五节 血气分析仪的自动校正.....	(11)
第二章 血气分析仪的结构	(16)
第一节 血气分析仪的测量系统介绍.....	(16)
第二节 血气分析仪的电子系统.....	(23)
第三节 ABL系列血气分析仪的电子系统.....	(48)
第四节 IL1306、IL 1304、IL 1312 血气分析仪简介.....	(66)
第五节 血气分析仪的使用与操作.....	(72)
第三章 ABL₉₀血气分析仪的检查与调校	(75)
第一节 注意事项.....	(75)
第二节 ABL ₉₀ 血气分析仪常见故障寻查和处理.....	(83)
第三节 血气分析仪维修设备与工具.....	(95)
第四章 血气分析仪的性能评价——质量控制	(97)
第一节 血气分析仪质控物的理想特性.....	(97)
第二节 人造血的性能.....	(98)
第三节 血气分析仪质控的主要技术指标.....	(100)
第四节 质控血的主要成份.....	(100)
第五节 质控血的使用及注意事项.....	(101)

第五章 血气分析仪的保养与维修	(102)
第一节 血气分析仪保养须知	(102)
第二节 IL1302 血气分析仪的故障寻查	(104)
参考文献	(125)

第一章 血气分析仪 及其测量原理

第一节 概 述

血液气体分析仪（以下简称血气分析仪）是目前在临床、教学、卫生防疫等部门不可缺少的定量定性分析仪器。目前我国绝大多数县级以上的医疗卫生单位，都已使用了血气分析仪。

近几年来，由于受国外产品性能的影响和选购渠道的不同，各医疗单位引进的血气分析仪还不尽统一。在型号、功能以及测定精确度和环境适应性等方面，也各有差异。

总体来说，现在广泛应用于我国的进口血气分析仪产品多为美国、丹麦、瑞士等国的电极式血液气体分析仪。有美国实验仪器公司（Instrumentation Laboratory）、美国汽巴康宁公司（Ciba Corning Diagnostics）、丹麦的雷度公司（RADIOMETER）、瑞士的 AVL 公司等家的产品。产品型号也多为美国实验仪器公司（IL）生产的 IL 1302、IL 1303、IL 1306、IL 1312、IL 1400 系列，以及美国汽巴康宁公司（Corning）168、170 系列，丹麦雷度公司（Radiometer）

生产的 ABL₂、ABL₃、ABL₃₀ 系列产品。以及瑞士生产的 AVL₄₀₀、AVL₉₄₃、AVL₉₄₅ 系列血气分析仪等。

血气分析仪（亦称酸/碱分析仪），主要应用于肺功能科、心外科、麻醉科、儿科、外科手术、急救、科研及其防疫科研等卫生医疗部门。

本书从实际工作需要入手，以突出介绍 IL₁₃₀₀ 系列血气为主，就血液气体分析仪的工作原理、安装环境 and 应用范围，样品分析的技术要求，在正常操作血气分析仪、血气分析仪的维护保养，常见故障的寻查排除，以及对血气分析仪主要技术性能的检测方面逐一做阐述。

第二节 血气分析仪的用途

随着 50 年代分析仪电极研制的成功及不断发展和推新，由于微机的广泛应用，再加之心胸外科手术护理和肺功能测定技术在临床医院教学科研上的迅速发展，使得血气分析技术成为常用的、必不可少的实验检测手段。

推广和普及血气分析仪的临床、科研应用，不仅为临床医护人员提供病情变化的趋势，以便正确进行生理、病理及发病机理等诸方面探索，而且可为早期疾病的分析、诊断以及正确治疗提供可靠的理论依据。

血气分析仪虽然厂家不一，功能各异，自动化程度也不尽相同，但其可分析的基本参数几乎都是一样的（目前少数更为先进型的血气分析仪还装有血离子选择电极附加扩充装置的除外），主要直接测定的参数为：

pH 血 pH 值（国际单位为 CH nmol/L）

pCO₂ 血二氧化碳分压值（国际单位为 kPa）

pO_2 血氧分压值 (国际单位为 kPa)

此外大多数仪器还可通过测出的数据, 演算出下列参数:

1. HCO_3^- (Bicarbonate) 碳酸氧根
2. O_2SAT (Oxygen Saturation) 氧饱和度
3. $B.E$ (Base Excess) 剩余碱
4. O_2CT (Oxygen Content) 全血氧含量
5. TCO_2 (Total Carbon Dioxide) 总二氧化碳
6. SBC (Standard Biocarbonate) 标准碳酸氢
7. ABE (Actual Base Excess) 实际剩余碱
8. SBE (Standard Base Excess) 标准剩余碱
9. $AaDO_2$ (Alveolar arterial O_2 Gradient)
肺泡动脉氧梯度

第三节 血气分析仪的 测量工作原理

一、关于酸和碱的定义

物质在一定条件下释出 H^+ , H^+ 的供给者 (donor) 称为酸; 具有对 H^+ 的结合能, 即 H^+ 的接受者 (Acceptor) 则称为碱。通常情况下, 纯水是中性的, 可以理解为 H^+ 和 OH^- 。因为两种离子相同, 如 H_2O 、 $H^+ + OH^-$, 所以呈中性。在水溶液、血溶液之中, 我们同样用 H^+ 和 OH^- 去理解酸碱的含义:

酸度认为: H^+ 增加而 OH^- 减少;

碱度认为: H^+ 减少而 OH^- 增加;

呈现中性时, pH 值 = 7;

呈现酸性时, pH 值 < 7;

呈现碱性时, pH值 >7 。

在临床医学上的 pH 变化, 其范围在 (6.8~8) pH 值之间, 对于人体或动物血液酸碱气体分析, 可视为 pH 计的分析过程。

二、血液的 pH 值

血液的全血或血浆(血液的等离子体)的酸度, 即它的氢离子强度, 称作氢离子活性效应和氢离子浓度的产物。

而氢离子的强度, 还不能统之为血液的酸度。pH 的概念于1909年由 Sorenson 推导得出, 其公式为:

$$\text{pH} = -\log 10[\text{H}^+]$$

式中的 $[\text{H}^+]$ 指定为氢离子的 MC (Molar Concentration) 克分子浓度。

依据这个关系式, 全血的 pH 为 7.4。即全血的 $[\text{H}^+]$ 浓度为 $4 \times 10^{-8} \text{ mol/m}^3$ 。通常正常人的动脉血 pH 值的范围是 7.37至7.44, 不正常的 pH 值的全血或血浆即表明为酸-碱平衡障碍。

三、血液的测量原理

对于 pH 值的测量, 实际上是测定 H^+ 的浓度。而 pCO_2 (二氧化碳分压) 的测量实际上也是测量 pH 的变化。只有测量 pO_2 (氧分压) 其测定的原理有所不同。简单地说, pH pCO_2 是测定带正电荷的 H^+ , 从电学角度来看, pH 的变化就是电极测量电动势的变化。而 pO_2 是在给定的电压下, 电极电流的变化。

pH 与电压之间的关系早有公式证明, 即用称之为“能斯特”方程来表示。

$$E = E_0 - 2.3026 \frac{RT}{F} \text{pH} = 61.74 \text{mV}$$

式中: R ——气体常数 ($8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$),

T ——绝对温度 ($273 + t^\circ\text{C}$),

F ——法拉第常数 ($96485 \text{ C/mol} \cdot \text{K}$),

E ——零电位.

由于对 pH 采用相对测定方法, 仪器都采用缓冲调节电路来对零电位进行补偿. 设计值约从 6.80pH 补偿至 7.00pH , 因为 pH 值在 7.00 时为中性. 若 H^+ 浓度等于零, 则电极无电位产生. 在 pH 为 7.00 时, 可测得 1pH 的变化能够产生 61.74 mV 的电压. 在下述条件时, 由 T 在 38°C 的斯脱方程求出:

$$(1) \sigma E = -61.74 \sigma(\text{pH})$$

$$(2) \sigma E = -61.74 \times 0.1 = -6.174 \text{ mV} (\text{当 } \text{pH} = 7.1)$$

$$(3) \sigma E = -61.74 \times 0.2 = -12.348 \text{ mV} (\text{当 } \text{pH} = 7.2)$$

并可推出, 在 $\text{pH} = 6.9$ 时, $\sigma E = +6.174 \text{ mV}$ 在 $\text{pH} = 6.8$ 时, $\sigma E = +12.348 \text{ mV}$

血液气体分析仪是利用毛细血管玻璃 pH 电极做为测量电极, 以电位恒定的甘汞电极作为参比电极, 并以 KCl 溶液作为盐桥, (即甘汞电极和玻璃电极各为半个电池) 组成完整的离子电池而产生电动势. 当被测溶液吸入分析仓, 电极敏感玻璃薄膜表面水化层与溶液中 H^+ 进行离子交换后, 再与甘汞电极形成一个电位差. 电脑取出这个电位差信号变化, 经过选择、运算放大、模数转换, 再经荧屏及打印给出 pH 值, 完成 pH 测量的过程. 考虑到 pH、 pCO_2 、 pO_2 等主要参数测量的准确度, 仪器在设计上都可完成温度恒定控制、大气压的自动追踪及人血标本 Hb (血红蛋白) 的预置功能. 现在许多医院使用的美国实验仪器公司产的 1300 系列

血气分析，其电极工作原理示意图，如图 1-1 所示。

玻璃管内面的 pH 6.840 缓冲液与外面的样品因两个 H^+ 浓度不同，在 pH 敏感玻璃膜内外产生电位差。

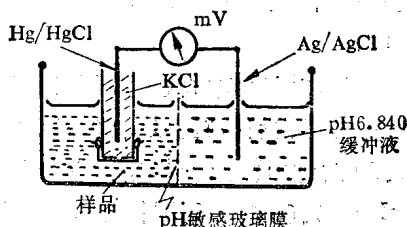


图 1-1 1300系列血气分析仪 PH 系统电极工作原理示意图

第四节 电 极 结 构

pH Ref 参比电极 (即 Calomel Electrode 甘汞电极)

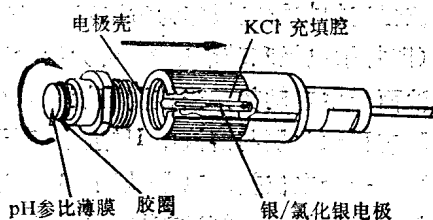


图 1-2 IL 1300 系列血气分析仪 pH 参比电极结构图

美国 IL 1300 系列血气分析仪的参比电极结构参看图 1-2，图 1-3 是丹麦 ABL 系列血气分析仪参比电极结构。

这两个电极结构，基本上代表了目前绝大多数类型血气分析仪电极的结构，IL 1300 系列参比电极为独立有膜式电极，称为盐桥饱和。氯化钾直接充填在电极里，顶端有薄膜封闭。其体积小，易于维护，判断电极故障在一定程度上比较直观。

丹麦 ABL 型血气参比电极的结构有所不同，其电极浸在流动的 KCl 溶液中。这种电极拆装稍复杂，但工作比较稳定。

图 1-4，图 1-5 分别为 IL 1300 系列血气分析仪的 pH 玻璃电极和 ABL 系列血气分析仪 pH 电极结构图。虽然它们形状不完全一致，但其工作原理及测量过程是基本一致的。

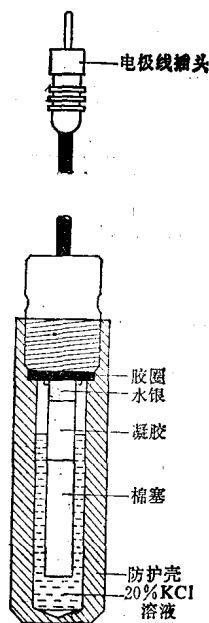


图 1-3 ABL 系列血气分析仪参比电极结构图

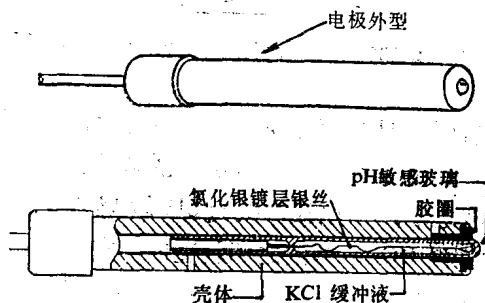


图 1-4 IL1300系列血气分析仪的pH玻璃电极结构图

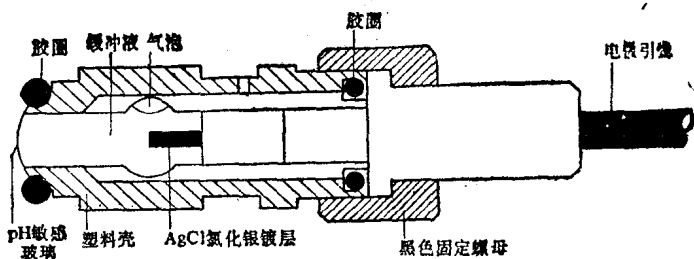


图 1-5 ABL 系列血气分析仪 pH 玻璃电极结构图

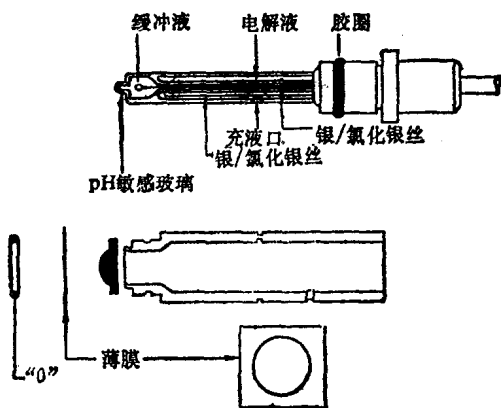


图 1-6 iL 1300 系列血气分析仪 $p\text{CO}_2$ 电极结构图

$p\text{CO}_2$ 电极与 pH 电极基本类同，也是由两个电池单元所构成。内单元由银/氯化银 (Ag/AgCl) 浸于 pH 6.838~6.840 缓冲液之中，而电极端头为 pH 敏感玻璃。整个玻璃电极是泡在充满 CO_2 电解液之塑料壳内。在敏感玻璃前端是尼龙网及透气且富有弹性的硅塑薄膜、 CO_2 气体（或是从血液样品或是来自定标气体，在渗透过薄膜后，即溶解在 CO_2 。

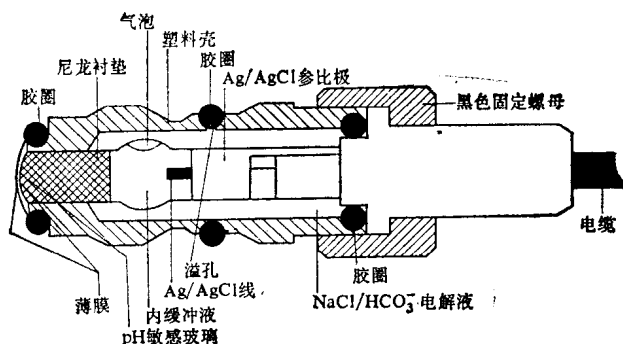
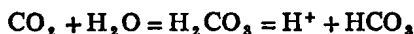


图 1-7 ABL 系列血气分析仪 $p\text{CO}_2$ 电极结构图

电解液中。当气体溶解于电解液中之后的时间里，电解液中的 pH 随之降低并满足下列公式：



实质上 $p\text{CO}_2$ 电极的测量反应即是在 CO_2 气体渗透溶解于电解液之后 pH 的变化量， $p\text{CO}_2$ 电极也是一种 pH 电极。内外两电池单元的电压之差与 CO_2 可称之为一个对数函数的关系 (logarithmic function)。

根据 Henderson-Haselbalch 方程 (即 H-H 方程) 可知

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{(\text{HCO}_3^-)}{(a \cdot p\text{CO}_2)}$$

式中 a 为 CO_2 在 37°C 时的溶解系数。 $p\text{O}_2$ 氧分压电极有一银/氯化银的阳极及一个白金阴极。

$p\text{O}_2$ 电极的测量分析与 pH 及 $p\text{CO}_2$ 不一样，电极由一稳定的极化电压 (600 mV 左右) 加在阳极与阴极之间。

当被测样品的血液或调校用定标气体中 O_2 渗透过 $p\text{O}_2$ 电

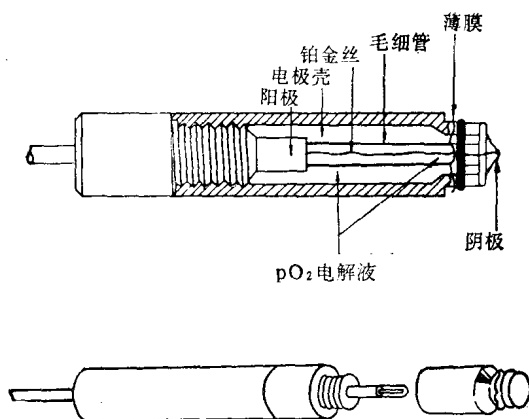


图 1-8 IL 1300 系列血气分析仪 pO_2 电极结构图

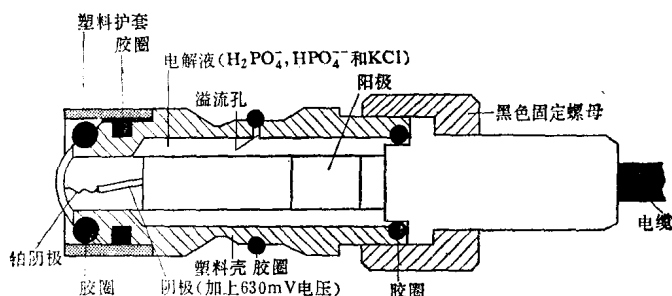
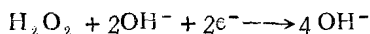
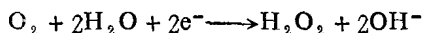


图 1-9 ABL 系列血气分析仪 pO_2 电极结构图

极的薄膜后，便溶解在 pO_2 电极的电解液中。 O_2 分子会向阴极流去并被还原（称为 reduced）。

其电子还原过程：



可以看出，每个 O_2 分子即被阴极还原 4 个 e^- 。