



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

全国高等医药院校教材 • 供麻醉学专业用

麻醉设备学

主编 郑方 范从源

 人民卫生出版社

面向 21 世纪课程教材

全国高等医药院校教材

供麻醉学专业用

麻醉设备学

郑 方 范从源 主编

赵嘉训 副主编

编者 (以姓氏笔画为序)

刘 军 (哈尔滨医科大学)

李吉顺 (山西省肿瘤医院)

范从源 (徐州医学院)

郑 方 (哈尔滨医科大学)

赵嘉训 (山西省肿瘤医院)

人 民 卫 生 出 版 社

NAJ86/10

麻醉设备学

主 编: 郑 方 范从源

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail : pmph@pmph.com

印 刷: 三河市潮河印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 12.25

字 数: 251 千字

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

印 数: 5 001—15 015

标准书号: ISBN 7-117-03924-8/R·3925

定 价: 17.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

编写说明

全国高等医药院校麻醉学专业教材（以下简称教材）是国家教育部《面向 21 世纪麻醉学专业课程体系和教学内容改革研究》课题的重要组成部分。因此，教材的编写必须符合 21 世纪我国麻醉学人才培养的目标和规格，体现教育部 1998 年颁布的《普通高等学校本科专业目录》的要求与精神。麻醉学专业课程设置虽是基于临床医学专业课程，但是面向未来的发展，麻醉学专业也应具有较宽的覆盖面，特别是危重病、急救及急症医学、疼痛诊疗、生命复苏以及药物依赖及其治疗等领域。因此，这次编写的教材共 7 本，包括麻醉学的基础部分 4 本：《麻醉解剖学》、《麻醉生理学》、《麻醉药理学》及《麻醉设备学》；麻醉学临床部分有 3 本：《临床麻醉学》、《危重病医学》和《疼痛诊疗学》。教材主要读者对象是全国高等医药院校麻醉学专业本科生，接受规范化培训的麻醉科住院医师，也可供急诊科、急救中心及 ICU 医师参考。

《麻醉学专业课程体系和教学内容改革的研究》于 1996 年立项，1997 年正式启动。经过准备与协商，由全国高等麻醉学教育分会主持，1998 年提出了教材编写计划并成立编审委员会。这次教材的编写具有以下几个特点：①以《普通高等学校本科专业目录》为准则，以面向 21 世纪我国麻醉学人才培养的目标和规格为指导；②内容突出“三基”（基础理论、基本知识和基本技能），强调“少而精”，体现思维、素质及创新教学；③在前两版教材的基础上，经过广泛听取教师及学生的意见和建议后重新编写，在内容上有重大的改革，例如《麻醉物理学》改为《麻醉设备学》；《麻醉解剖学》与临床医学《局部解剖学》进行有机的合并，实际上是麻醉专业用的局部解剖学；将《重症监测治疗与复苏》改为《危重病医学》等；④本次教材的编写组织者与各位编者均具有较强的责任心和使命感，投入了较多的人力、物力与财力。

在此，我们深深地感谢教育部高等教育司及农林医药处的关心与支持，感谢卫生部教材办公室及人民卫生出版社的支持与具体指导，感谢各主编单位对教材编写的关心与支持。与此同时，我们深感时代的发展步伐与自己的滞后，因此，真正奉献一部“精品”还是力不从心，只能带着一点遗憾面对读者，对此，我们并没有期求读者的原谅之意，而是更加自勉，更希望广大读者爱护和提出宝贵的意见。

曾因明

郑 方

徐后明 敬启

2000 年元月 12 日

必修课教材

- | | | |
|------------|---------|----|
| 1. 《麻醉解剖学》 | 张励才 | 主编 |
| 2. 《麻醉生理学》 | 谭秀娟 李俊成 | 主编 |
| 3. 《麻醉药理学》 | 段世明 | 主编 |
| 4. 《麻醉设备学》 | 郑方 范从源 | 主编 |
| 5. 《临床麻醉学》 | 徐启明 李文硕 | 主编 |
| 6. 《危重病医学》 | 曾因明 | 主编 |
| 7. 《疼痛诊疗学》 | 谭冠先 | 主编 |

全国高等医药院校麻醉医学 专业第一届教材编审委员会

主任委员 曾因明（徐州医学院）

副主任委员 郑 方（哈尔滨医科大学）
徐启明（湖南医科大学）

委员（以姓氏笔画为序）

孙大金（上海第二医科大学）	张励才（徐州医学院）
李文硕（天津医科大学）	金士翱（同济医科大学）
李俊成（湖南医科大学）	段世明（徐州医学院）
李德馨（南京军区总医院）	谭秀娟（湖南医科大学）
范从源（徐州医学院）	谭冠先（广西医科大学）

前 言

《麻醉设备学》是为高等医学院校麻醉学专业（本科）学生编写的一本专业基础教材，主要内容是介绍临床领域所需设备以及麻醉监测仪器的原理、功能和应用。本教材是在《麻醉物理学》基础上，吸取多年教学实践的经验及近年有结论性的进展资料编写而成。删除了原书医用电子测量技术等内容，加强了麻醉机、通气机的内容，增加了人工气道管理器械。全书内容力求取材适当、深浅适度、体系完整，以期更好地满足 21 世纪临床麻醉人才培养的要求。

本书的插图由王伟、王波、马迪和赵嘉训、李吉顺、刘军等同志绘制；张勤功、邓丽云、李林、殷丽等同志为此书的编写提供了很大帮助，在此一并致谢。

鉴于作者水平有限，缺点与不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2000 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
一、麻醉设备学的研究对象	1
二、学习麻醉设备学的重要意义	1
三、学习麻醉设备学的方法	2
第二章 物理基础知识	4
第一节 气体定律	4
一、理想气体的状态方程	4
二、范德瓦尔斯方程	4
三、安德鲁斯实验	6
四、混合气体的压强	8
五、气体的弥散	8
六、气体在液体中的溶解度	9
七、分配系数	10
第二节 物态的变化	11
一、气化	11
二、液化	13
三、湿度	13
第三节 流体的运动	14
一、连续性方程	14
二、伯努利方程	14
三、层流	16
四、湍流	17
五、射流的附壁效应	18
第三章 人工气道管理器械	20
第一节 面罩	20
第二节 通气道	21
一、口咽通气道	21
二、鼻咽通气道	21
三、喉罩	22
四、双腔通气道	22

第三节 气管内导管	23
一、气管导管	23
二、特殊气管导管	25
三、气管切开导管	26
第四节 支气管内导管	27
一、支气管导管	27
二、支气管堵塞导管	28
三、双腔支气管导管	28
第五节 麻醉喉镜和支气管镜	30
一、麻醉喉镜	30
二、特殊喉镜	32
三、光导喉镜	32
四、光导纤维支气管镜	33
第六节 气道管理辅助器械和设备	34
一、气道管理辅助器械	34
二、吸引设备	37
 第四章 麻醉机	40
第一节 麻醉机的结构及分类	40
一、麻醉机的结构	40
二、麻醉机的分类	42
第二节 供气装置	42
一、气源	42
二、贮气筒	42
三、中心供气系统	44
四、减压阀和压力表	45
五、针形阀	47
第三节 流量计	48
一、转子流量计	48
二、浮杆式流量计	49
三、滑球式流量计	49
四、压力代偿型流量计	50
五、N ₂ O-O ₂ 联动式安全装置	50
第四节 麻醉通气系统	51
一、开放系统	52
二、Mapleson 通气系统	52
三、半紧闭 CO ₂ 吸收环路	61
四、紧闭式 CO ₂ 吸收环路	62
第五节 麻醉残气清除系统	65

第六节 麻醉机的安全保障系统	66
一、氧阻断安全装置	67
二、氧供故障报警装置	68
三、低氧防护装置	68
四、蒸发器选择装置	70
第五章 麻醉蒸发器	71
第一节 麻醉蒸发器原理	71
一、基本原理	71
二、影响蒸发器输出浓度的因素	73
三、制造蒸发器的材料	77
第二节 蒸发器的结构方式	77
一、蒸气流量的调节方式	77
二、蒸发方式	79
三、温度补偿方法	79
四、环路中安放位置	80
五、专用蒸发器	81
第三节 典型蒸发器简介	82
一、Tec 4 蒸发器	82
二、Tec 5 蒸发器	83
三、Tec 6 蒸发器	84
四、Ohio 蒸发器	87
五、Vapor 19.1	88
六、铜罐蒸发器	89
七、电控蒸发器	90
第四节 连接及使用注意	92
一、蒸发器的连接	92
二、使用注意事项	93
三、安全措施	94
第六章 通气机	95
第一节 通气机的基本组成和工作原理	95
一、通气机的基本组成	95
二、通气机工作原理概述	96
三、通气机的基本工作参数	98
第二节 通气机的物理特性	99
一、通气机的气道压曲线	99
二、通气机的工作周期	100
三、通气机的特性公式和曲线	100

四、通气机物理特性的机电模拟	103
第三节 通气机的分类	104
一、动力分类	104
二、用途分类	104
三、吸气切换原理分类	105
四、呼气切换原理分类	105
五、临床性质分类	105
六、吸气气流分类	106
七、发生器分类	107
第四节 动力系统	107
一、气源	108
二、电源	109
第五节 通气源	109
一、压力通气源	109
二、容量通气源	112
第六节 控制系统	115
一、气动控制原理	115
二、通气阀电控原理	118
三、电机控制原理	120
第七节 通气机的输出气路	121
一、治疗通气机输出气路基本流程	121
二、麻醉通气机输出气路	122
三、通气机输出气路的主要构件	124
第八节 安全报警系统	128
一、气源气压降低报警	128
二、气道低压报警和电源中断报警	128
三、气道高压报警	129
第七章 麻醉监测和测量仪器	130
第一节 麻醉气体浓度监测仪器	130
一、红外线气体分析仪	130
二、气相色谱仪	131
三、高效液相色谱仪	133
四、质谱仪	134
五、气样的采集	137
第二节 呼吸功能监测仪器	138
一、通气力学监测仪	138
二、CO ₂ 分析仪	141
三、测氧仪	141
第三节 血氧饱和度监测仪	141

一、脉搏血氧计的原理·····	141
二、仪器结构·····	143
第四节 循环系统监测仪器·····	143
一、血压的测量方法·····	143
二、血流的监测·····	148
三、心电图监测的方法·····	151
第五节 脑电图机·····	156
一、常规脑电图机工作原理·····	156
二、脑电功率谱·····	159
三、脑电彩色密度谱阵列监护仪·····	162
四、脑电双频谱分析·····	163
第六节 肌松监测仪器·····	163
一、EMG 型肌松监测仪·····	164
二、MMG 型肌松监测仪·····	164
第八章 麻醉设备的保养、校验和消毒·····	167
第一节 设备保养·····	167
一、麻醉设备的一般保养·····	167
二、消耗品的更换和设备更新·····	168
第二节 麻醉机的校验·····	168
一、整机检查·····	168
二、气源检查·····	168
三、气密性检查·····	169
四、麻醉机气流控制阀功能检查·····	171
五、麻醉蒸发器检查·····	172
六、麻醉机安全保障系统功能的检查·····	172
第三节 通气机的校验·····	172
一、整机检查·····	172
二、气源检查·····	172
三、电源检查·····	173
四、气密性检查·····	173
五、整机性能检查·····	173
六、通气机基本安全报警功能检查·····	174
第四节 监测仪器的校验·····	174
一、无创电子血压计的校验·····	174
二、经皮血氧饱和度 (SpO ₂) 监测精度的临床检查·····	175
三、心电图记录仪的校验·····	175
四、电子体温监测仪的校验·····	175
五、氧浓度测定仪的校验·····	176
六、二氧化碳监测仪的校验·····	176

七、麻醉气体监测仪的校验	177
第五节 设备消毒	177
一、设备消毒的基本概念	177
二、常用消毒灭菌方法	179
三、麻醉设备及常用物品的消毒和保存	181

第一章 绪 论

一、麻醉设备学的研究对象

麻醉设备学是麻醉学与理工科学相渗透、交叉的边缘性的应用学科，归属于麻醉医学中的基础学科类。它的内容包括麻醉设备、监测仪器的结构、原理、功能及应用。

随着麻醉学科的发展，1989 年国家卫生部（第 12 号文件）颁布麻醉科属二级学科、临床一级科室，以后麻醉学科工作范围扩大到手术室以外的重症监测治疗、急救复苏、疼痛治疗等方面，做到了和国际接轨。因此，涉及的诊断、监测及治疗仪器也日益增多，故麻醉设备学的研究对象也扩大到上述工作范围的物理规律及所接触的设备。

随着电子、机械科学的进步及微机的广泛应用，使得不断有新技术问世，但另一方面，由于社会的进步，人口结构的高龄化，重要器官老化的患者日益增多，加之手术学科的发展，诸如心、肺、肝、肾等器官移植手术的兴起，使手术日趋复杂，对麻醉、监测的要求越来越高，要求麻醉工作者具有更多的与麻醉学相关的物理学、设备学知识，从而增加了麻醉设备学的研究内容。

二、学习麻醉设备学的重要意义

麻醉设备学是麻醉学专业的一门专业基础课程。学好这门课程有下面重要意义。

1. 物理学知识是深入了解呼吸、循环与麻醉不可缺少的基础。在处理呼吸、循环与麻醉实践中，经常会遇到许多和物理学密切相关的问题，例如气体的压强及流动规律，血流动力学，物态之间的转变，物质透过生物膜的输运过程等。了解并正确运用物理学规律指导临床实践，能提高临床麻醉效果，增加临床工作的科学性和安全性。这些物理学规律，又构成了麻醉设备学的基础知识，例如不了解物态变化的基本规律，就难于理解蒸发器的基本原理；不了解流体运动的基本规律，就难于了解通气机的功能。了解气体在液体中的溶解度、分配系数，还有助于掌握挥发性麻醉药的理化特点，从而指导吸入麻醉的实施。

2. 现代技术的进步与发展为临床麻醉工作提供了许多新的设备和仪器。现代麻醉机由过去简单的气动系统，发展到以电子、计算机技术为基础的麻醉工作站（anesthesia workstation）。而在麻醉事故中 50% 发生在麻醉机上，因此要由人体工程学（hu-

man engineering) 角度对麻醉机采取安全对策, 使麻醉机故障率最小, 在出现故障后使受害程度控制到最低限。在麻醉的安全保障方面, 最重要的是并用笑气时发生的缺氧事故, 因此在麻醉机设计及制造时采取了故障防护 (failsafe) 措施, 例如现代麻醉机都设有氧阻断保护装置 (oxygen failure safety device), Ohmeda 的氧阻断安全阀就是当氧气压力降低时阀门关闭, 使其他麻醉气体不能流入。还有低氧防护装置: 例如利用流体力学、机械学和电子学的原理制成的低氧防护装置, 在流量计底部有气阻元件, 氧气流动时由气阻元件产生的气压, 推动膜片, 调控笑气流量。低氧报警对防止缺氧起重要作用。流量调节阀、流量计和蒸发器是麻醉机的核心部分, 因为它们能保证提供给患者准确新鲜气流量和麻醉药, 对不同型号的麻醉机的蒸发器皆有不同特点, 例如 Tec6 型蒸发器为地氟醚专用蒸发器, 最大刻度为 18%, 这就为低流量吸入创造条件。EAS 9010 型麻醉机的蒸发器是电控型, 可直接将麻醉药瓶连接在麻醉机上, 其最大的安氟醚或异氟醚刻度为 8%, 这也可施行低流量吸入及易于维持低流量麻醉。故对各种蒸发器皆应熟悉其结构、功能特点方能掌握好患者的麻醉深度。

3. 通气机是重症监测治疗的一种重要治疗工具, 如何选择通气模式, 防止气压伤, 保证治疗效果, 是麻醉医师必须掌握的基本技能。

4. 仪器监测是保证麻醉安全的必要手段, 例如 SpO_2 和 CO_2 描记图可避免 93% 的麻醉事故的发生。 CO_2 的监测可发现许多有关设备和患者出现的异常情况。有人统计手术中出现的 10% 的问题是用 CO_2 监测首先发现的。还有人报告与麻醉相关的偶发事故中 58% 由 PetCO_2 来证实, 而首先发现者占 27%。 CO_2 描记图不仅可以测知呼吸、循环和代谢情况, 判定气管插管位置, 还可检查麻醉机、通气机的故障。如不掌握这些设备和监测仪器的基本原理和功能, 就无法正确使用, 发挥其功能和效用。

不论局部麻醉、全身麻醉, 还是重症监护, 患者常需联接必要的无创监测仪器, 麻醉医师根据这些监测的数据进行判断及处理, 因此熟悉仪器的原理、特点, 才能正确使用各种监测仪器, 从而获得准确的患者参量, 确保患者的安全。

5. 临床麻醉或急救复苏中为了保持气道通畅, 常需人工气道管理器械。插管困难患者有时需使用喉罩或借助纤维支气管镜插管, 来确保气道畅通。具备此基本知识方能正确有效地应用。

6. 红外线技术监测挥发性麻醉药、 CO_2 , 气相色谱法监测麻醉药、麻醉机内微量气体, 高压液相色谱法监测血中麻醉药、儿茶酚胺等浓度应用甚广, 对于保证患者安全, 了解药物的药代动力学均具有重要作用。

7. 计算机在脑电图监测方面的应用, 90 年代出现了脑电功率谱 (SEF) 和脑电双频谱 (BIS) 监测仪, 这些计算机控制的数量化脑电指标, 得出的麻醉深度和肺泡气麻醉药浓度高度相关, 在临床麻醉深度判定上起到了重要作用。

三、学习麻醉设备学的方法

麻醉设备学的重要任务是给学生传授与麻醉学有关的物理基础、麻醉设备和监测仪器的原理、结构及功能。因此学习这门课程要:

1. 掌握本书所阐述的物理学基本理论；
2. 了解麻醉仪器设备的基本结构，熟悉麻醉仪器设备的基本原理和性能要求；
3. 通过实验和实习掌握麻醉学研究和临床所用仪器设备的性能和使用方法。提高麻醉临床工作的科学性、准确性与安全性。

学习这门课程应遵循理论联系实际的方法，为学生将来从事临床麻醉工作奠定麻醉设备学的基础知识。

(郑 方)

第二章 物理基础知识

在呼吸治疗及吸入麻醉工作中，常常会遇到一些与物理学密切相关的问题。例如，气体的压强及流动的规律、物态之间的转变，以及通气机、麻醉机的运作及工作原理等。了解并正确运用物理学的规律来指导临床实践，不仅能提高呼吸治疗及麻醉工作的效果，而且能促进通气机、麻醉机等设备的不断改进与发展。

第一节 气体定律

一、理想气体的状态方程

只考虑分子间相互碰撞，不考虑其它相互作用，分子体积和分子间的引力均可忽略不计的气体，称为理想气体。

对于一定量的理想气体，它的压强 P 、体积 V 和绝对温度 T 之间存在下式的关系

$$PV = \frac{M}{\mu}RT \quad (2-1)$$

此式称为理想气体状态方程。式中 $R = 8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ，称为摩尔气体常数， μ 是摩尔质量， M 为容器内气体的质量，单位为 kg ，容器体积 V 的单位 m^3 ，压强 P 的单位为 N/m^2 或 Pa 。

由于气体的密度 $\rho = \frac{M}{V}$ ，所以上式还可以写成

$$P = \frac{\rho}{\mu}RT \quad (2-2)$$

式 (2-1) 和 (2-2) 是等效的。把它们应用于实际气体时，计算结果和实验数值有微小差别，温度越低，压强越大，即气体密度越大时，出现的偏差越大。

二、范德瓦尔斯方程

由于实际气体分子本身占有一定体积，分子之间存在相互作用力。范德瓦尔斯 (Van der waals) 考虑到这两个因素，对理想气体的状态方程加以修正，从而导出了范德瓦尔斯方程。

首先，在压强很大时，气体体积减至很小，气体分子本身所占有的体积就不能再

忽略不计。所以，气体分子实际活动的空间不等于气体的体积 V ，而应减去一个与气体分子本身所占体积有关的修正量 b ，即以 $(V - b)$ 代替理想气体状态方程的 V 。对 1 摩尔气体来说，有

$$P(V - b) = RT$$

其次，由于分子间引力的存在，使得器壁附近分子受到一个垂直于器壁指向容器内部的吸引力。这样，就会减弱气体分子施于器壁的压力，故上式应为

$$P = \frac{RT}{V - b} - \Delta P$$

ΔP 表示由于分子间的吸引力而减小的气体的压强，通常称为内压强。

内压强 ΔP 和单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数成正比；又和每一分子与器壁碰撞时所受内部分子的引力成正比，这两者均与气体的分子数密度 n 成正比，所以 ΔP 与分子数密度 n 的平方成正比。而 1 摩尔气体的分子数是一个恒量，因此 ΔP 应与 1 摩尔气体所占有的体积 V 的平方成反比，即 $\Delta P = \frac{a}{V^2}$ ，式中 a 为比例系数，代入前式，即得

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (2-3)$$

此式就称为范德瓦尔斯方程。修正量 a 和 b 决定于气体的性质，可由实验测定。例如，二氧化碳的 $a = 0.366 \text{ J} \cdot \text{m}^3 / \text{mol}^2$ ， $b = 0.0428 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}$ ；水蒸气的 $a = 0.55 \text{ J} \cdot \text{m}^3 / \text{mol}^2$ ， $b = 0.0305 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}$ 。

式 (2-3) 是描述 1 摩尔实际气体的状态方程，对于质量为 M ，体积为 V' 的气体，由于

$$\frac{M}{V} = \frac{\mu}{V} = \rho$$

即

$$V = \frac{\mu}{M} V'$$

代入式 (2-3) 得

$$\left(P + \frac{M^2}{\mu^2} \cdot \frac{a}{V'^2}\right) \left(V' - \frac{M}{\mu} b\right) = \frac{M}{\mu} RT \quad (2-4)$$

式中的 V' 在具体应用时仍可写成 V 。

从式 (2-4) 可看出，如果 V 很大，即当压强较低或温度较高时，两个修正量都可忽略不计，从而得到理想气体状态方程。

范德瓦尔斯方程比理想气体状态方程更接近于实际情况，但也不是绝对准确的。表 2-1 是在标准状态下 10^{-3} m^3 的氮，压强由 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 逐渐增至 $10^3 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时所得的数据。从此表可以看出，当压强为 $10^3 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时，用范德瓦尔斯方程计算，误差不超过 2%；而用理想气体状态方程计算，误差已超过 100%。