

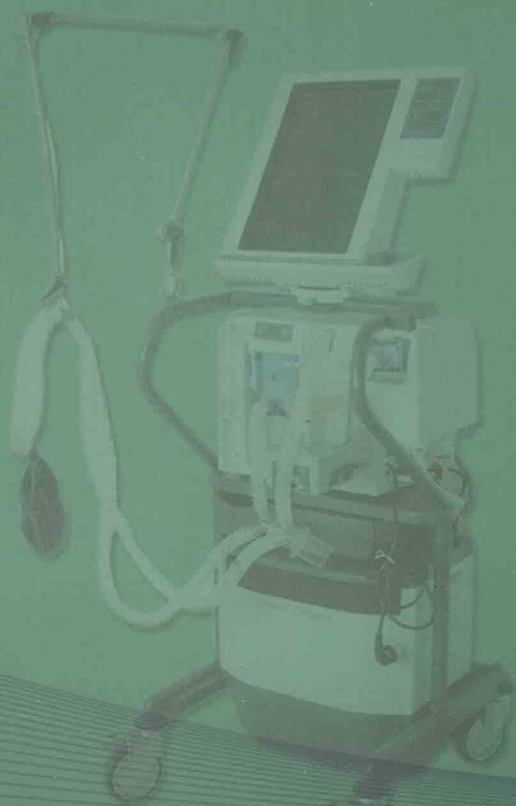
HUXIJI

呼吸机

应用与维修

YINGYONG YU WEIXIU

■ 张臣舜 编著



云南出版集团公司
云南科技出版社

呼吸机 应用与维修

HUXIJI YINGYONG YU WEIXIU

■ 张臣舜 编著



云南出版集团公司
云南科技出版社
· 昆 明 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

呼吸机应用与维修 / 张臣舜编著. —昆明: 云南
科技出版社, 2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5416 - 4723 - 9

I. ①呼… II. ①张… III. ①呼吸器—临床应用②呼
吸器—维修 IV. ①R459. 6②TH789. 07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 117909 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

昆明理工大学印务包装有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 889mm × 1194mm 1/16 印张: 18 字数: 570 千字

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 1500 册 定价: 65.00 元

作者简介

张臣舜，高级工程师，白族，1965 年出生于云南省大理白族自治州剑川县，1989 年毕业于上海医科大学医学工程专业。参加工作后，一直在昆明医学院第二附属医院设备科，从事医疗设备的维修和技术管理工作。为云南省医学会医学工程学分会第四届、第五届委员会主任委员，中华医学会医学工程学分会第四届、第五届委员会委员。在《世界医疗器械》、《医疗装备》、《中国医疗器械杂志》、《现代科学仪器》等本专业刊物上，发表学术论文 20 余篇。

内容简介

呼吸机是医疗机构进行急救、重症治疗和复杂外科手术的主要基础设备。呼吸机由电子电路、传感器、机械构件、高压气体输送回路等多个部件组成，涉及多个工程技术学科的内容，结构复杂，故障率高，对使用和维修保养要求严格，是使用风险最高、质量控制要求最严格的医疗设备之一，是国家和医疗机构重点管理的医疗设备。

本书根据作者在医院从事医疗设备维修和技术管理 20 年的工作经验，对呼吸机的原理结构、临床应用和维修保养，进行了全面深入的分析和探讨。

一、本书研究了目前国内医疗机构普遍使用的、国际知名品牌的主流呼吸机的技术特点，详细分析和介绍了呼吸机的原理和结构、核心硬件技术、主要呼吸模式和通气功能、常用名词术语、通气监测、上机程序、呼吸参数的设置和调节、人工气道的建立和护理、临床应用、撤机方法、机器及部件的清洁和消毒、特殊通气方式、呼吸治疗常见问题的处理、呼吸机在小儿科的应用、常见的知名品牌呼吸机的机型介绍等方面，内容涵盖了有关呼吸机临床应用的基本知识。

二、本书结合国家对医疗设备安全使用的管理法规，总结了呼吸机质量管理和维护保养方面的成功经验，系统地探讨了重要的控制环节，包括呼吸机及配套设备的配置、采购和验收、呼吸监护病房管理、设备风险管理、使用培训、计量和性能检测、报警检测、不良事件防范、维护保养及常见问题处理、设备报废等内容，为医疗机构进行呼吸机的质量管理和维护保养提供了参考经验。

三、本书详细介绍了呼吸机的维修方法，并列出了空气压缩机维修、氧气供应故障的维修、空氧混合器和吸气阀维修、传感器维修、人机界面维修、呼气阀维修、气路故障维修、电气故障的维修和其他特殊故障维修等几个专题，对呼吸机的各个主要组成部分的故障维修，用大量的维修实例，进行了深入全面的分析和探讨。

本书的特点，一是内容紧扣现代呼吸机技术的最新发展，紧紧围绕着医院目前最常用的国际主流品牌的主流机型展开，因此与医

疗机构实际使用的机器密切相关，具有重要参考价值；二是侧重于对实际工作中常见问题的分析和处理，问题具体，处理方法切实可行，是呼吸机临床应用和质量控制的具体操作的指南；三是对所有需要量化或者可以量化的指标，都给出了最常用的参考范围，便于读者在实际工作中参考应用；四是列举了大量常见故障维修的实际案例，来说明如何进行呼吸机的维修保养，对读者可以起到举一反三的作用。

本书适合从事呼吸机维修保养的技术人员、设备管理人员、使用呼吸机的医师阅读，也可供医学工程及相关专业的学生参考。

序 言

医疗设备是现代医院的重要支柱，尤其在疑难危重疾病的诊治过程中显得越来越重要，大量“高精尖”设备的应用，为临床急救和重症治疗发挥了不可替代的作用。随着科学技术的进步和医院的发展，医疗设备的种类和数量不断增加，在医院固定资产中所占的比重也逐年上升，对医疗设备的管理和维护成为保障医院医疗安全的主要任务之一。为了保证临床医疗、教学和科研工作的正常进行，各所医院的医学工程技术人员，都付出了大量的心血和汗水，为人民群众的生命安全及国家医疗卫生事业的发展作出了重要贡献。

张臣舜高级工程师于1980年年末毕业于上海医科大学医学工程专业，在医院从事医疗设备的管理和维护工作二十余年，不仅具有坚实的专业基础，而且工作敬业、踏实，肯钻研、善学习，积累了丰富的经验，为提升医院的医疗品质、保障医疗安全作出了贡献。现在，他将自己利用业余时间编写的《呼吸机应用与维修》一书付梓出版，奉献给广大同仁，这对大家相互学习和交流，对提高行业的整体学术水平是相当重要的。更为难能可贵的是，该书理论结合实际，作者将自己用心血换来的宝贵经验，毫无保留地奉献给各位同仁和广大医务工作者，这对提高医疗服务水平和质量是十分有益的。我相信，今后将会有更多的医疗设备及医学工程方面的学术著作面世，也期望作者能为大家献上新的水平更高的作品。

我很高兴为本书作序，既是为了表达对作者的鼓励之意，也借此机会对所有医学工程技术人员的辛勤劳动表示感谢！

昆明医学院副院长
昆明医学院第二附属医院院长
胸心血管外科教授

杨进亮

目 录

第一章 呼吸机的原理和结构 / 1	
第一节 呼吸机的发展简史	1
第二节 呼吸机的工作原理和分类	3
第三节 呼吸机的切换方式	4
第四节 呼吸机治疗系统的基本结构	6
第五节 呼吸机的工作方式	10
第六节 电动呼吸机的主要结构	11
第二章 呼吸机的主要技术 / 14	
第一节 呼吸机的测量技术	14
第二节 呼吸机的呼吸技术	18
第三节 吸气触发和呼吸机同步	21
第四节 呼吸机的发展方向	24
第三章 呼吸机的应用知识 / 26	
第一节 机械通气的基本过程	26
第二节 呼吸机的使用注意事项	26
第三节 呼吸机的清洁和消毒	29
第四节 呼吸机的监测系统	30
第五节 气体湿化、温化与雾化吸入治疗	31
第六节 呼吸机的选用	33
第七节 使用呼吸机的基本步骤	34
第八节 呼吸机的安全保障措施和使用前检查	36
第四章 呼吸治疗的常用名词和术语 / 39	
第一节 时间参数	39
第二节 压力参数	40
第三节 容量参数	42
第四节 流量参数	43
第五节 呼吸力学参数	45
第六节 通气方式	47
第七节 其他名词	49
第五章 常用的通气模式和功能 / 51	
第一节 通气模式的概况	51
第二节 容量控制通气模式	52
第三节 压力控制通气模式	56
第四节 复合通气模式	60

第五节	主要通气功能	63
第六节	通气补偿	67
第七节	通气模式和功能的选择	69
第六章 机械通气的监测 / 72		
第一节	常规的生理监测	72
第二节	动脉血气分析监测	73
第三节	血流动力学监测	77
第四节	呼吸力学监测	79
第五节	呼吸运动的物理特性	81
第六节	呼吸回路监测	85
第七章 呼吸机的参数设置和调节方法 / 87		
第一节	呼吸参数设置注意事项	87
第二节	呼吸频率	88
第三节	潮气量 (VT 或 V_T) 和叹息 (Sigh)	89
第四节	每分钟通气量 (MV)	90
第五节	吸气流速	90
第六节	I:E	90
第七节	通气压力 (吸气压力)	91
第八节	触发灵敏度	92
第九节	氧浓度 (FiO_2)	93
第十节	PEEP	93
第十一节	吸气时间	94
第十二节	吸气末暂停时间 (吸气平台)	94
第十三节	湿化温度	94
第十四节	吸气波形选择	95
第十五节	呼吸管道的顺应性补偿	95
第十六节	呼吸参数调节的原则	95
第十七节	报警参数的调节	97
第八章 人工气道的建立和护理 / 98		
第一节	人工气道的选择	98
第二节	面罩	99
第三节	喉罩	100
第四节	气管插管的特点	101
第五节	气管插管的操作方法	103
第六节	气管插管的并发症	105
第七节	气管切开造口置管	106
第八节	人工气道的护理	108
第九节	气道湿化和吸引及感染处理	110
第九章 呼吸机的临床应用 / 112		
第一节	呼吸机治疗的适应证和治疗目的	112
第二节	呼吸机治疗的应用原则	113
第三节	呼吸机治疗对机体的影响	115
第四节	呼吸机治疗的并发症	119

第五节	常见疾病状态下通气模式的使用	124
第十章	呼吸治疗常见问题的处理和撤机 / 131	
第一节	呼吸机治疗患者的运送	131
第二节	呼吸机与自主呼吸的协调	132
第三节	与压力报警相关的问题	135
第四节	内源性 PEEP 的处理	137
第五节	允许性高碳酸血症	140
第六节	撤机的标准	140
第七节	撤机的方法	143
第八节	呼吸机撤离困难的原因	146
第九节	气管导管的拔除	148
第十节	拔除气管导管后的气道并发症	149
第十一章	特殊通气方式 / 152	
第一节	无创正压通气	152
第二节	持续正压通气对阻塞型睡眠呼吸暂停综合征的治疗	155
第三节	高频通气	159
第四节	麻醉通气	161
第五节	体外负压通气	163
第六节	分侧肺通气	165
第十二章	呼吸机在小儿科的应用 / 167	
第一节	小儿呼吸机的使用特点	167
第二节	小儿呼吸机的工作原理	169
第三节	小儿呼吸机的通气模式	169
第四节	小儿呼吸机参数的设置和调整	171
第五节	小儿呼吸机通气效果的监测	176
第六节	人机对抗的处理	179
第七节	小儿呼吸机的撤机	180
第十三章	部分呼吸机的机型介绍 / 182	
第一节	部分通用型呼吸机介绍	182
第二节	部分小儿呼吸机介绍	195
第三节	部分无创正压呼吸机介绍	199
第十四章	呼吸机及配套设备的配置 / 204	
第一节	呼吸机的配置	204
第二节	备用设备的配置	206
第三节	配套设备的配置	207
第四节	呼吸机的采购和验收	208
第五节	呼吸监护病房的管理	211
第十五章	呼吸机的临床质量管理 / 215	
第一节	呼吸机的风险管理	215
第二节	呼吸机的日常管理	217
第三节	呼吸机的使用培训	218
第四节	呼吸机使用前的例行检查内容	219

第五节	呼吸机使用过程中的管理内容	220
第六节	呼吸机使用后的预防性维护内容	220
第七节	呼吸机的计量和性能检测	221
第八节	呼吸机的常见报警检测	224
第九节	呼吸机应用中的不良事件	226
第十节	呼吸机的报废	227
第十六章 呼吸机的保养和常见问题处理 / 228		
第一节	呼吸机定期保养的内容	228
第二节	呼吸机的常见问题处理	232
第十七章 呼吸机的维修 / 244		
第一节	呼吸机维修方法	244
第二节	呼吸机维修检测	249
第三节	空气压缩机故障的维修	251
第四节	氧气供应故障的维修	254
第五节	空氧混合器和吸气阀故障的维修	255
第六节	传感器故障的维修	258
第七节	呼吸机界面故障的维修	263
第八节	呼气阀故障的维修	264
第九节	呼吸机气路故障的维修	266
第十节	呼吸机电气故障的维修	268
第十一节	其他特殊故障维修	273
主要参考文献 / 275		
后 记 / 278		

第一章 呼吸机的原理和结构

第一节 呼吸机的的发展简史

一、早期阶段

据记载,在罗马帝国时代,著名医生盖伦(Galen)曾经作过这样的记载:假如用芦苇通过已死动物的咽部向气管吹气,会发现动物的肺可以达到最大的膨胀。1543年,Vesalius在进行活体解剖时,采用类似盖伦介绍的方法,使开胸后萎陷的动物肺重新复张。1664年,Hooke把一根导气管放入气管,并通过一对风箱进行通气,发现可以使狗存活超过1个小时。1774年,Tossach首次运用口对口呼吸,成功地对一例患者进行复苏。Fothergill还建议在口对口呼吸不能吹入足够气体时,可使用风箱替代吹气。此后不久,在英国皇家慈善协会(Royal Humane Society)的支持下,基于这种风箱技术的急救方法,被推荐用于溺水患者的复苏,并在欧洲被广泛接受。但在1827~1828年间,Leroy通过一系列研究,证明风箱技术会产生致命性气胸(以后的研究证实,上述研究所使用的压力在实际应用中不可能达到),同时,由于当时技术简单、设备粗糙,临床应用的并发症很多,患者的死亡率过高。因此1827年就有人向法国科学院提交报告,要求停止机械通气的临床应用。法国科学院开始限制这种技术的应用,英国皇家慈善协会也放弃了这一技术。早期阶段的机械通气实质上属正压通气,但限于当时的认识水平和技术条件,在以后相当长的时间里发展相对缓慢,直至进入20世纪。

二、负压通气阶段

苏格兰人Dalziel于1832年,首先制作成功一套负压呼吸机,它的方法是让患者坐在一密闭的箱子中,头颈部显露于箱外,通过在箱外操纵一内置于箱中的风箱产生负压而辅助通气。1864年,美国人Jones申请了第一个负压呼吸机的专利,其设计与Dalziel类似。此后,各种设计更为精致小巧的负压呼吸机相继出现,使患者的护理更加容易。但真正成功进入临床,并广泛使用的负压呼吸机,是著名的“铁肺(iron lung)”。

1929年世界上第一台采用体外负压通气方式的呼吸机“铁肺”诞生,由美国工程师菲利普·德林克发明。德林克把患者完全放在一个密封舱内,只有颈部以上部分暴露在空气中。连接颈部和腔室的是可调整的塑胶密封环。“铁肺”的足底部,有个电动马达,利用皮带驱动转轮,通过连动装置连接到“铁肺”上面可以移动的隔膜板,使隔膜板固定地上下移动。当隔膜板上下移动,会抽走或还原腔室内的气体,腔室内气压的变化可以使患者的胸廓产生有节律地缩小与扩张,肺泡内的压力也就随着增大与变小。由于肺泡通过气道与外面的大气相通,这种压力的变化就会使外界空气进出肺内,从而实现机械呼吸。世界上使用“铁肺”最长的病人是美国老太太戴安·奥德尔,她自1950年3岁时患上小儿麻痹症以来,直到2008年5月去世,58年来一直靠“铁肺”维持生命。

1907年Dräger公司的创始人Heinrich Dräger研制的“Pulmotor呼吸机”取得了专利,它能够交替形成气道正压和负压,但只停留在试验阶段,不能进行实际应用。后来,他的儿子Bernhard和工程师Hans Schroder进行了进一步的设计和改进,形成了可进行生产并成功应用于临床的新一代Pulmotor呼吸机,该机采用压力控制。

三、近代以正压通气为主的时代

“铁肺”曾救了许多人的命，但在使用中，体外负压通气方式也同样受到了挑战。20世纪50年代以后，有创正压通气逐渐成为机械通气的主流，“铁肺”被淘汰了。

1934年Frenkner研制出第一台气动限压呼吸机“spiropulsator”，它的气源来自钢筒，气体经两只减压阀，产生50cmH₂O的压力。吸气时通过平衡器取得足够的气流，吸气时间由开关来控制，气流经吸入管进入肺内，当肺内压力升至预计要求时，阀门关闭，吸气停止。1940年，Frenkner和Crafoord合作，在“spiropulsator”的基础上进行改进，使之能与环丙烷同时使用，成为第一台麻醉呼吸机。

1942年美国工程师Bennett发明一种采用按需阀的供氧装置，供高空飞行员使用。以后又加以改进，于1948年研制成功间歇正压呼吸机TV-2P，以治疗急、慢性呼吸衰竭。

成立于1945年的瑞典的Engström公司（1983年与Gambro公司合并为Gambro Engström公司），于1950年研制出了第一台定容呼吸机Engström100型，并于1951年正式投入使用，取代了“铁肺”，救治了一批由流行性小儿麻痹症引起的呼吸衰竭患者。

1952年夏天，在丹麦首都哥本哈根市，因脊髓灰质炎所致的呼吸肌麻痹而接受治疗的首批31例患者，在3天内死亡了27例。麻醉科医生Ibsen建议对患者施行气管切开，采用麻醉用的球囊进行间断正压通气。这种做法获得了成功，当时许多医学生和技术员都被动员到医院，为患者进行手动正压通气。哥本哈根的成功经验，对现代正压通气的发展起了极大的推动作用，许多工程师、医师投入呼吸机的研究，欧洲各国生产出呼吸机达10余种类型。正压通气的方式不断增多和完善，临床上应用的机械通气（Mechanical Ventilation, MV）主要就是正压通气（Positive Pressure Ventilation, PPV）。

从20世纪50年代开始，由于心脏外科的发展，越来越多的医师认识到机械呼吸的优点。1955年Jefferson呼吸机成为美国首先广泛使用的呼吸机之一。此外，还有Mörch、Stephen、Bennett和Bird呼吸机等4种类型。

进入20世纪60年代，呼吸机的应用更为广泛，1964年Emerson的术后呼吸机，是一台电动控制呼吸机，配有电子线路，呼吸时间能随意调节，各种功能均由电子调节，配备压缩空气泵，根本上改变了过去呼吸机纯属简单的机械运动的时代，从而跨入精密的电子时代。

1970年，利用射流原理的射流控制的气动呼吸机研制成功。全部传感器、逻辑元件、放大器和调节功能都是采用射流原理，而无任何活动的部件，但具有与电路相同的效应。

四、现代多功能正压呼吸机的应用

20世纪80年代以来，计算机技术的迅猛发展，使新一代多功能电脑型呼吸机，具备了以往不可能实现的功能，如监测、报警、记录等，呼吸机不断向智能化发展，呼吸机的性能更臻完善。

经过70多年的临床应用和改进，呼吸机已经从原始的负压“胸甲”，经过气动气控、电动电控、气动电控，发展到现在的由微处理器进行控制的多功能的智能化呼吸机（气动电控）。呼吸机已经成为临床上最常用的急救设备和生命支持设备，常用于急诊科、ICU、麻醉术后清醒室、急救车、家庭。

无论是用球囊进行间隙正压通气，还是目前临床上使用呼吸机进行机械通气，气体都是在一定的驱动压力（用手按压、电动或气动产生正压）下进入患者肺内，呼气时仍靠肺和胸廓的弹性回缩力呼出气体。在整个呼吸过程中，呼吸机真正起作用的其实只有肺通气部分，而对肺泡与肺毛细血管之间的气体交换影响相对较小，因此呼吸机的正式名称就为通气机（ventilator）。

第二节 呼吸机的工作原理和分类

一、呼吸机的工作原理

任何一种正压呼吸机的工作原理，都是建立一个肺泡压与大气压的压力差，利用压力差来完成吸气和呼气。呼吸机根据人体呼吸生理学的原理，借助机械力量，将含氧量高于大气（即高于21%）的气体（其他组分与空气一样）送入肺内，从而产生强制通气。正常人的呼吸由吸气时间和吸气动力所产生的大气与肺泡的压力差，来决定吸气的潮气量，并由潮气量和呼吸频率决定每分钟的通气量。肺泡通气的动力来源于大气与肺泡的压力差，呼吸机正是利用机械动力，来建立这种压力差和逆压力差，达到使肺泡充气和排气的目的。

临床上最常用的是正压通气呼吸机，它治疗的基本原理为“经呼吸道加压通气”。它的方法是从呼吸道开口处，如口腔、鼻腔、气管插管等，利用机械加压的方法，直接送入正压气体，气体的压力超过肺泡压，形成压力差，气体就进入肺泡，患者完成吸气。去掉压力后，则依靠胸廓和肺的弹性回缩力量，肺泡压大于气体压力，肺泡内的气体排出体外，等到肺泡压低到大气压时，患者完成呼气。这样，一吸一呼就完成了—次完整的呼吸动作。

二、呼吸机的分类

（一）按潮气量分类

按照可实现的潮气量的大小，即按使用对象的不同，呼吸机一般分为：

- （1）成人呼吸机：潮气量范围为50~4000ml，用于体重在30kg以上者。
- （2）婴幼儿呼吸机：潮气量2~400ml，用于体重在30kg以下者。其中适用于体重10~30kg患者的通常称为小儿呼吸机，而适用于15kg以下（约4岁以下）患者的通常称为婴儿呼吸机。
- （3）小儿成人通用型呼吸机：潮气量20~4000ml（或10~4000ml）。

（二）按功能（用途）分类

呼吸机也可按功能或者用途，分为治疗型呼吸机、急救用呼吸机、麻醉用呼吸机（集成在麻醉机上使用）。

还有一些呼吸机是根据特定的用途来设计的，如高频喷射和高频震荡呼吸机、家用CPAP仪（现在国内也已经普遍用来治疗睡眠暂停）等。

（三）按工作原理分类

（1）气控气动（全气动）呼吸机。功能和结构简单，不需要电源，只需要氧气源。用于急救场合和患者转运途中。这类呼吸机除了气道压力监测（使用指针式机械压力表），—般没有别的监测数据和报警设置。

（2）电动电控（全电动）呼吸机。通过风箱、活塞、涡轮等装置，将气体推入患者气道内，不需要压缩空气。优点是结构简单，价格便宜；缺点是吸气时间较长、触发灵敏度较低。常用于麻醉机上和急救场合。

（3）电控气动呼吸机。是目前呼吸机的主流设备，既需要电源，也需要氧气源和压缩空气。控制复杂，可以实现多种呼吸模式。缺点是价格昂贵，故障相对较多。

（四）按是否侵犯人体分类

呼吸机按是否需要插管，分为有创型呼吸机和无创型呼吸机。用来治疗睡眠暂停的属无创型呼吸机。

第三节 呼吸机的切换方式

一、由吸气转为呼气的切换方式

呼吸机将正压气体送入肺内，完成吸气以后，应向呼气相切换。目前常用的切换方式有：压力切换、流速切换、容量切换和时间切换。一台呼吸机要正常工作，至少需要一种切换方式，但先进的呼吸机一般都具备多种切换方式。

（一）呼吸机的切换方式

1. 压力切换

压力切换也称为定压切换，机器内部设有压力传感器，能监测呼吸道的实时压力。呼吸机给患者送气时，须预先设定压力值，当呼吸机产生正压，气流进入呼吸道，使肺泡扩张，气道压力不断升高，当压力达到预设值时，就停止送气，吸气相结束，进入吸气末平台期或直接转为呼气相。

压力切换的特点是气道的最大压力是限定的，但吸气时间、流速、吸入气量（潮气量）等取决于预设压力值，以及胸肺的顺应性。如果气流速度快，预设压力低，则吸气时间短；而气流速度慢，预定压力高，则吸气时间长。潮气量受肺的顺应性影响，在相同的预定压力下，肺的顺应性好，潮气量大，而肺的顺应性差，潮气量明显降低。因此在临床应用中，压力切换型呼吸机比较容易产生通气过度或通气不足。压力切换型呼吸机由于通气量不能保持稳定，因此不适用于肺部病变严重的患者。

2. 容量切换

容量切换也称为定容切换。需要预先设定潮气量值，当呼吸机给患者送气时，不管患者肺和气道阻力的大小，送气量达到预设的潮气量，也即机器将预设的吸气量（潮气量）送入肺内，呼吸机就立即停止送气，进入吸气末平台期或直接转为呼气相。呼气时，呼吸道压力下降与大气相通，肺泡内气体排出体外。

容量切换的特点是潮气量稳定，可保证有足够的通气量，但呼吸道压力、流速等都不恒定，设置不当会造成通气不足或通气过度。由于潮气量已经设定，气道压力随着呼吸频率、吸气时间、流速波形、肺的顺应性和气道阻力等而变化。容量切换型呼吸机必须有压力报警装置，要通过设定压力上限，来防止气道压力过高、肺泡破裂、产生气胸等严重并发症。容量切换型呼吸机可保证需要的通气量，因此常用于存在肺部病变的患者。

3. 时间切换

呼吸机给患者送气，预设吸气时间，当机器达到设定值时，呼吸机停止送气，进入吸气末平台期或直接转为呼气相。呼吸道压力、气体流速、吸入气量等都不恒定。潮气量由吸气时间和吸气流速来决定。时间切换模式目前已经不再单独使用。

4. 流速切换

流速切换的机器内部设有流速（流量）传感器，能监测呼吸道的实时气体流速。

需要设定切换时的流量。刚开始送气时，气道内的气体流量比较高，然后逐步降低，当呼吸道的气体流速降低到小于预设值（如1~4L/min或峰值流速的25%）时，就停止送气，转为呼气相。在此切换方式，吸气时间、肺内压力、吸入气量等都不恒定，取决于预设流速值和胸肺的顺应性。

5. 持续气流型

呼吸机持续送气，当呼气阀门关闭时，气道压力增高，超过患者肺内压力时，气体流向患者气道内，即为吸气期；当呼气阀门开放时，气道与外界相通，持续气流直接流向机外，此时肺泡内压力大于大气压，肺内气体也向外流出，为呼气期。

这种机器的特点是，由于气道内有持续气流存在，患者随时能吸气。婴儿型呼吸机多数采用此种方法，能克服婴幼儿吸气压力小，触发呼吸机困难的问题。

(二) 呼吸机的复合切换方式

在控制通气中，首先选择的是时间切换，其次是容量切换，二者常常兼容。在辅助通气中，因强调患者的自主呼吸触发，只有压力和流量的变化才能触发切换。

目前呼吸机的发展方向是在同一台机器中，同时有压力切换、容量切换、时间切换等方式，可根据患者的情况来选用。一般以压力、容量、时间和流速中的某一种为主要切换方式，加上其他切换方式作为保护性措施。

二、由呼气转为吸气的切换方式

呼吸机在患者完成呼气以后，应向吸气相切换。目前常用的切换方式有：自主切换、时间切换和人工切换。一台呼吸机要正常工作，至少需要一种切换方式，但先进的呼吸机一般都同时具备3种切换方式。

(一) 自主切换（同步触发）

自主切换即自主呼吸触发，也称为同步呼吸。由患者的自主吸气来触发呼吸机开始吸气，能实现同步呼吸。即机器检测到患者的自主吸气动作，就开始送气。自主切换分为压力触发切换和流速（流量）触发切换两种。流量触发型的响应时间要短于压力触发型。

1. 压力触发切换

压力触发切换是最早出现，也是目前最常用的方式，指患者完成呼气后，开始新的一次自主呼吸，当气道内的压力下降到预设压力值时（低于呼气末正压），机器立即按设定的参数向患者送气。预设压力值称为压力触发水平（或压力触发灵敏度），可以根据患者的自主呼吸情况进行调节。

压力触发水平一般称为压力触发灵敏度，它的数值表示低于呼气末正压的差值，一般设定为 $-0.5 \sim -2.0 \text{cmH}_2\text{O}$ （即低于呼气末正压 $0.5 \sim 2.0 \text{cmH}_2\text{O}$ ）。例如呼气末正压（PEEP）设为 $5 \text{cmH}_2\text{O}$ ，压力触发灵敏度的值设定为 $-2 \text{cmH}_2\text{O}$ ，则当气道内压力降低到 $3 \text{cmH}_2\text{O}$ 时，机器开始送气。

2. 流速（流量）触发切换

流速（流量）触发切换是指患者完成呼气后，开始新的一次自主呼吸，当气道内的气体流速（流量）下降到预设值时，机器立即按设定的参数向患者送气。预设值称为流速（或流量）触发水平（或流速触发灵敏度），可以根据患者的自主呼吸情况进行调节。流速触发的优点是触发稳定，灵敏度高，有利于患者吸入新鲜气体。

通常采用基础气流的方式来实现流速触发。具体的方法是：机器在上一次的呼气末，向管路中送出一个恒定流速的基础气流（一般为 $5 \sim 10 \text{L}/\text{min}$ ），气流经Y形接头，从呼气阀排出。当患者发生自主的吸气动作时，气道内的基础气流将发生改变，改变的幅度达到预设的触发灵敏度（一般为 $1 \sim 3 \text{L}/\text{min}$ ）时，机器就开始送气。例如机器呼气末的基础气流为 $8 \text{L}/\text{min}$ ，触发灵敏度设为 $-2 \text{L}/\text{min}$ ，则当气道内气体流速降低到 $6 \text{L}/\text{min}$ 时，机器开始送气。

3. 机器后备触发

无论是采用压力触发，还是采用流速（流量）触发，高档呼吸机都会设计一种后备吸气触发，具体方法是：无论采用何种触发方式，只要机器检测到气道压力的下降幅度达到一定值（通常设为 $2 \text{cmH}_2\text{O}$ ）时，就开始吸气相。这样既可保证患者自主触发的灵敏性，又在很大程度上避免了因管道

漏气而带来的误触发。

4. 后备触发

有的呼吸机还设计了后备触发，即无论采用压力触发还是流量触发，机器总是以 $2\text{cmH}_2\text{O}$ 压力触发灵敏度作为吸气触发的后备方式，也就是说，无论采用何种触发方式，机器只要检测到气道压力下降 $2\text{cmH}_2\text{O}$ ，立即触发吸气。这种设计既保证了患者触发的灵敏性，又基本避免了管道漏气引起的误触发。

(二) 时间切换

时间切换是指机器按照预设的呼吸频率，直接控制周期性的通气，不受患者自主吸气的影 响，无同步功能，属于强制通气。例如，预设的呼吸频率为 $12\text{次}/\text{min}$ ，则呼吸机每 5s 送一次气。

目前，独立的时间切换方式已经较少使用，一般作为自主切换的后备保障，即当患者的自主呼吸消失，或者变得微弱而不能及时触发机器时，机器自动按照时间切换的方式进行送气。

(三) 人工切换

由操作者通过专用的人工控制开关，人为地控制送气。有的机器还可以控制吸气时间的长短和吸入的气量。一般用于在自主切换方式下，临时插入数次指令性通气，以达到短时间过量通气的目的。

一般机器上设有此功能，是为了满足在特殊情况下，医生直接来控制呼吸机的切换，控制时间不长。

(四) 呼吸机的复合切换方式

现代呼吸机一般同时具有自主触发、时间切换、手工切换方式，一般将这种机器称为复合型多功能呼吸机。婴儿型呼吸机则多数采用持续气流的方式。

第四节 呼吸机治疗系统的基本结构

无论呼吸机的产品种类和型号如何多，它们的基本结构都是相同的，对临床医护人员来说，了解呼吸机的基本结构和工作原理，是正确操作呼吸机的必要条件。

现代呼吸机通常由控制系统、动力系统、通气源、呼气系统、安全装置、监测系统、报警系统、记录系统、配套设备组成。它的主要功能包括：

(1) 基本功能：①产生吸气的驱动力。②完成呼气向吸气的转换。③调节吸入潮气量和吸气时间、峰流量、气道压力等指标。④完成吸气向呼气的转换。

(2) 扩展功能：①调节吸入氧浓度。②气道的加温和湿化。③安全阀装置。

(3) 通气方式的调节和实施。

(4) 附属功能：①监测功能。②报警功能。③显示功能。④记录和通信功能。

一、控制系统

控制系统是整个机器的指挥中心，负责控制其他的系统，完成呼吸机的所有功能。

呼吸机的“吸—呼”和“呼—吸”切换，有气动控制和电动控制两种。

气动控制以压缩气体为动力，驱动机械性机构动作来实现切换。有气动时间切换、气动压力切换等方式。一般用在不使用电源供野外使用的简易呼吸机上。

电动控制方式由控制电路驱动执行机构（如电机、电磁阀）来实现切换。应用微处理器的机器，可以实现复杂的通气模式和通气功能。