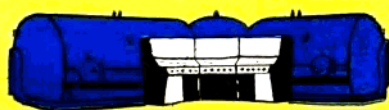


医用加压系统

俞海来 主编



海洋出版社

序

“工欲善其事，必先利其器”，对于一切需用器具设备方能完成的“工事”，这句话是颠扑不破的真理；对于需用加压系统作为“利器”的高气压医学事业，当然绝不例外。

加压系统是高气压医学专业，包括高压氧的临床应用在內，所需用的先决条件性质的成套设备。所以，没有哪一个单位要进行高气压医学工作而不首先竭力解决加压系统的筹划、设计和建造等问题的；建成之后又必须解决质量检验、操作、管理、性能保持、结构保养、安全保障、维修更新以及配合医疗工作和科研任务的特殊要求而灵活运用等问题。所有这些问题的解决，都围绕着随时保证加压系统的运作正常、不生故障以及遇故障时的及时排除等，借以提供特定的安全、合适、可调控的高气压环境。可以毫不夸张地说：“没有加压系统结构完整、功能良好的成套设备，就没有高气压医学。”

然而，必须特别强调的是，工具，即使是最好的“利器”，归根结蒂是要相应的人员以不同的方式、方法进行操纵使用，才能如愿以偿地达到“善其事”的目的。可以断言，如果从事高气压医学事业的工作人员，无论是医疗、护理、机械技术人员，还是业务管理和物质保障人员，对于加压系统的结构和性能，理论和实际不作相应的全面掌握或只知其然、不知其所以然，甚至意存侥幸、盲目建造或使用，必定会成事、善事不足和败事、坏事有余。从这个意义上，又可以说：“器欲良其效，

必先训其人。”

对使用加压系统的从业人员进行训练，内容比较广泛和复杂，这决定于加压系统作为成套的、完善的加压机械—载人耐压容器—特殊要求的电气等设备所涉及的专业较多；而当组成为独立的系统后，除含有相关专业的共性外，又在构造、功能和使用条件等方面形成了它本身的特性。以往的实践证明，培训高气压医学从业人员使之掌握加压系统的知识和技能时，“临渴掘井”似的搜集资料编印教材，非但困难，而且常多遗漏，系统性也不易理顺，训练质量达不到预期的目标。因此，可以更深一层地说：“训练欲达其标，必先完善教材。”但是，迄今尚未见可作这类培训教材的著作问世。不能不认为是高气压医学领域中的一项缺陷。

本书的编者总结了数十年来在高气压医学岗位上对加压系统各方面各环节理论钻研的心得和具体实践的经验，首创地编著出版《医用加压系统》一书，就是针对弥补这种缺陷而提供的教材性专著；同时，又可供从业人员日常工作中查阅和相关行业的人员作参考。这种体例的专著，必将与应用科学中其他专业的情况相同，会受到普遍的欢迎。

承编著者同志们信任，嘱我通读本书的手稿。综观书中的内容，考虑周全，思维细致，理论紧密联系实际，经验明确导向应用。所有环节都有客观规律根据。为加压系统的建造提供了规划的思路启示和头绪以及规模的参考数据；概括了设备的设计规范原则，材料、工艺和成品的规格要求，使用和维修保

养的规定，操作的规程、管理的规章，从业人员应遵循的规则，进舱人员须恪守的规矩等等，详尽而连贯，深入而通顺。深信本书的出版发行，对高气压医学事业，必将产生广泛而深远的积极作用。可喜可贺！乃欣然命笔写管窥之见如上，聊充本书之序，唯广大读者鉴之。

国际高气压医学会 中国区域副会长

中华医学会高压氧学会 顾问

中华医学会上海分会 高气压医学会 顾问

中华医学会上海分会 航海医学会 顾问

第二军医大学潜水-高气压医学-生理学 教授

倪国坛

1995 年秋于上海

前 言

《医用加压系统》包括供模拟潜水或治疗的潜水加压系统和高压氧治疗的高压氧舱加压系统。随着近海工程和海上援救潜水作业的蓬勃发展，特别是高压氧治疗的广泛应用，对医用加压系统的安全使用已经日益引起社会和人们的关注。仅就各种型式的高压氧舱而言，我国目前建成运行和正在建造安装的已达1800余台套，数量已居各国首位，现已发展到县级以至乡镇、街道医院。但是掌握医用加压系统的工程技术人员大都由医生、护士兼任，其素质均远远跟不上这一发展形势。因此，在设备设计与制造，人员培训和管理操作等方面尚存在许多问题。而高压氧舱事故时有发生，自60年代至今国内已发生高压氧舱火灾事故15起，都是机毁人亡的恶性事故，仅1994年就发生4起，死27人。医用加压系统设备的事故发生率亦有随设备的增加而增多的趋势，因此，提高医用加压系统的设计水平，严格的管理、操作和检查制度；加强使用人员的专业培训是保障医用加压系统安全使用的关键。第二军医大学海医系潜水医学教研室、海军医学研究所潜水医学研究室会同了广州救捞局海洋工程处的有关工程技术人员，在参考了历次国内训练班教材及医用高压氧舱国家标准修改的基础上，结合国内的医用加压系统发生过多次事故的实际情况，编写了这本《医用加压系统》。

《医用加压系统》一书从潜水加压舱、高压氧舱的实用技术出发，主要介绍了医用加压系统的有关基础知识，加压舱及其操纵台，空气供气系统，供排氧系统，混合气体的配制，加

压舱的通讯、照明及供电、空调设备，加压舱的安全使用，压力容器的技术检验和有关标准。本书内容浅显易懂，力图为初次接触加压系统读者提供一本可随时查阅的工具书。由于水平有限，尽管作了努力，仍难免出现疏漏和错误之处，敬请批评指正。

本书的编写人员：第二军医大学海医系（俞海泉、陶恒沂、钱炳龙）、海军医学研究所（陈加发、陆顺昌、杨德恭）、广州救捞局海工处（林颂欣）、浙江省杭州梅城电化分析仪器厂（宋雪华、倪志军）及南京海军军医学校（方德恩、李长亮）等单位从事医用加压系统设备及有关仪器数十年的工程技术人员组成。

本书在出版过程中，曾得到了第二军医大学海医系、701所上海杨园氧舱厂、浙江梅城电化分析仪器厂领导的关心与支持。在编写过程中得到了第二军医大学海医系潜水医学教研室倪国坛教授的指导与帮助，并对本书作了审修，提出了许多宝贵意见，特此表示衷心地感谢！另外，也得到了701所胡成昌高级工程师的帮助及指导，还有海军航保部的同行专家的关心与支持，在此一并表示谢意。

编 者

1995年12月于上海

目 录

第一章 医用加压系统基础	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 工程力学	(7)
第三节 机械基础	(19)
第四节 三相电动机及控制线路原理	(41)
第五节 气体的热力学基础	(66)
第二章 加压舱及其操纵台	(76)
第一节 加压舱的一般结构	(76)
第二节 各种类型的加压舱	(86)
第三节 加压舱与操纵台	(96)
第四节 建舱的原则与要求	(99)
第三章 空气供气系统	(106)
第一节 空气压缩机	(107)
第二节 储气罐(瓶)	(124)
第三节 空气过滤装置	(134)
第四节 管阀件	(138)
第五节 弹簧管式压力表	(163)
第四章 供、排氧系统	(171)
第一节 供氧系统	(172)
第二节 排氧装置	(192)
第三节 液态氧的应用	(198)

第四节	控氧仪	(209)
第五节	氧气充填泵	(216)
第六节	吸氧自动控制装置	(224)
第五章	混合气体的配制	(229)
第一节	分压配气法	(230)
第二节	流量配气装置	(244)
	HY-1 型 CO ₂ 测定仪	(259)
第三节	气相色谱仪	(263)
第四节	膜式压缩机	(281)
第六章	加压舱的通讯、照明、供电	(293)
第一节	通讯联络	(293)
第二节	舱内的照明	(302)
第三节	加压舱的供电设备	(304)
第七章	加压舱的空调设备	(317)
第一节	热电空调机	(318)
第二节	氟利昂制冷系统及其在加压舱的应用	(334)
	WMNK-400 系列温控仪	(353)
第八章	加压舱的安全使用	(357)
第一节	加压舱的操作	(357)
第二节	舱内的医疗操作	(363)
第三节	设备的管理与维修	(372)
第九章	压力容器的技术检验	(377)
第一节	气瓶壁的外表检查	(378)
第二节	焊缝的无损探伤	(380)
第三节	耐压容器强度和密性的检测——水压及气压试验	(393)
附录一	医用高压氧舱 (GB12130-1995)	(405)
附录二	潜水呼吸气体 (GBn256-85)	(431)
附录三	医用加压系统安全规则	(437)

附录四	高压氧舱和用于高压氧治疗的加压舱全面检修与检验规定	(444)
附录五	贮气瓶(或储气罐)的检修与检验规定	(447)
附录六	“配制(5%~20%)氮-氧混合气 纯氮加氧”检索表	(448)

第一章 医用加压系统基础

第一节 概 述

医用加压系统是进行高压医学教学、科学研究、治疗等所必备的大型设备，由加压舱、供气系统、操纵系统等几部分组成，加压舱是其中的载人压力容器。

最早的医用加压系统是为保障潜水员安全而制的设备。解放前，我国尚无这类设备，现在，我国已普遍设立了加压舱站。海军已有船用、陆用固定型的加压舱百余台，分布于沿海各港口、部队、医院、学校、研究所及所有潜水作业舱上；还配有轻便型可携式（又简称“便携式”）单人加压舱，利用直升飞机在舱内荷压条件下运送病员。交通部先后在上海、广州、烟台成立了海滩救助打捞局，在沿海各有关港口分点设站，配有各种大小类型的救捞船只及潜水技术人员，岸基及各救捞船均配有潜水加压舱。现在根据国家海上安全指挥部的统一部署，组成了沿海各区军民统一调度指挥的海难援救网络体系。其他如石油部、铁道部大桥局、水利、水产、邮电、基建工程等部门都有固定的潜水单位与加压舱站。

随着我国改革开放的进展，高压医学也得到了迅速的发展，高压氧科已成为一独立的临床学科，医用高压氧舱设备在

各大医院纷纷建成，有的医院还引进了国外成套的医用加压舱设备。特别是近 10 年来，高压氧舱兴建迅猛发展，到目前为止，全国各大省市、自治区的各大医院均相继建立了高压氧科，有些地区县医院也都有了高压氧舱。我国目前已拥有 1800 多套载人医用加压系统，占全世界医用加压系统的 1/3。此外，一批经国家医药管理总局认可的载人压力容器生产厂家，每年还以一定规模生产、建造各种型号、规格的医用加压系统。所以对这些医用高气压设备，如何进行科学管理和正确操作，就显得尤为重要。为了使广大医务工作者能够更好地掌握和使用医用加压系统，我们拟结合实际，从医用加压系统的基本常识、结构原理、安全操作、规章制度等作一系统的介绍。

医用加压系统是用于潜水作业、模拟潜水、加压治疗、高压氧治疗等的成套设备，它由如下各大部分组成（见图 1-1）。

一、加压舱

由耐压材料制成的密封耐压容器，是人为形成高气压环境的场所。耐压壳体一般由钢材模压、焊接制成。在建造前，必须根据要求对耐压材料的厚度和强度进行计算和设计。潜水加压舱的最大工作压一般在 1.0MPa 左右，特殊的饱和潜水舱的最大工作压可达 5.0MPa 或更高，高压氧舱的最大工作压一般为 0.3MPa。根据需要加压舱可设立主、副舱、手术舱等。另外，舱壁适当位置还需附设观察窗、递物筒；供、排氧装置；舱内放置或安装桌椅、床铺；安全泄放阀以及灭火器、消声器等。

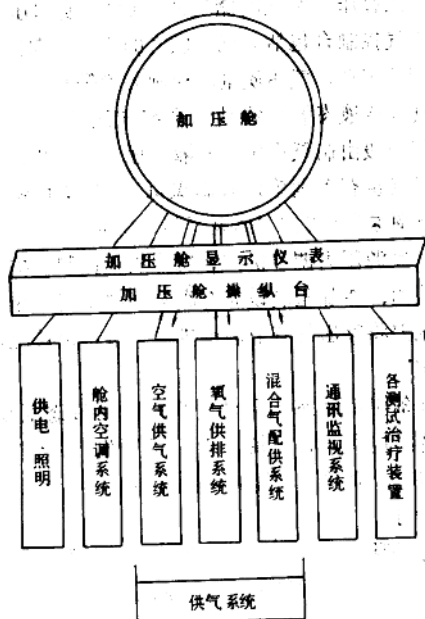


图 1-1 医用加压系统设备概况示意图

二、供气系统

由空气、氧气（或液态氧）及混合氧等供气装置组成；或者由加压舱升压用压缩气体供气装置和呼吸用气（纯氧、混合氧）供气装置组成。

压缩空气供气系统用于加压舱的升压和通风，用量大，要

求高。是医用加压系统的主要部分。包括生产压缩空气的空气压缩机、贮存压缩空气的储气瓶（罐），使用压缩空气的供气机构（供气控制台包括充气、供气的气流导向控制阀组、气源压力的调节装置、气体质量的控制装置等）。

氧气（或液态氧）的供气系统与压缩空气的供气系统相同。氧气一般由制氧厂生产充灌气瓶后供使用，用气单位不设置制氧机（也有个别单位有制氧机），但设有氧气分装及增压用的“导氧泵”（或称“倒氧泵”）；供氧系统亦设有供氧组阀、压力表、氧源压力调节机构、气体质量控制机构等。与供氧系统串接使用，在加压舱设立有废氧（呼出气）排放系统，利用舱内外压差将呼出气有节制地排放。该系统被统称为“氧气的供排系统”。

在具备使用液态氧条件的单位，用液态氧供氧是一项先进、经济的技术，液态氧由专门工厂生产，通过低温槽车输送；使用时，通过专设配套的汽化器，转变成气氧，经调压后供人员吸用。

若使用混合氧作为治疗呼吸用气，则要在混合气供气系统中增设混合氧的配制部件，混合氧的配制可由人工或自动配气装置进行。模拟混合气潜水和高压氧治疗时可吸用一定比例的混合氧（如氮-氧混合气、氧-二氧化碳混合气等），该供气系统被称为“混合气配供系统”。

上述各系统的所有储气瓶（罐）（包括空气、氧气、混合气瓶等），液氧贮槽及气体过滤装置等均属压力容器。它们的建造、安装、使用、管理都必须严格遵循国家劳动部门有关规定，有的还需由当地劳动部门按照压力容器的类别进行审查、认可，并取得证书，方可使用。

供气系统所有管道最终经加压舱操纵台汇集到加压舱室。加压舱舱体上所有外接的通舱管件（包括接线盒、空调的风道接口等）一般均设在舱体下部或底部，便于施工、维修，也符合舱体简洁美观的要求。本节所插的医用加压舱供气系统管道连接模式图（图 1-2），亦是医用加压系统的气体流程图。高气压供气管道的耐压、密封和抗腐蚀要求很高，因此，在施工中必须合理地选材和设计。

三、加压舱操纵台

设于加压舱的一侧，聚拢舱内各种工况显示仪表和操作部件于显示面板和操作面板成一体。

为了便于操作，有的舱配备了遥控加压、减压系统，即通过气动或电动间接操作气动薄膜调节阀或电动调节阀实现遥控。

目前有些新建的大、中型医用加压系统的加压舱操纵台已采用微机控制技术，实现加压舱操作过程的自动控制。操舱人员对微机给定程序后就可于荧屏前观察全部操作过程，可用“人机对话”的方式交换信息；若出现故障，微机能发出报警信号。微机技术的应用，提高了操舱控制的精度，并且记录了操作过程中全部的技术参数，对医学研究、治疗方案的修改、选择，技术档案的管理都很有价值，也是医用加压系统操纵设备的发展方向。随着高气压医学不断的发展，必然会对医用加压系统设备的改进提出更高更系统的要求。医用加压系统设备的逐步完善与更新，又会促进高气压医学研究的进展。由此可见设备是高气压医学进一步发展的硬件保障。

如何正确地操作使用、科学地维护保养如此庞杂的机械设

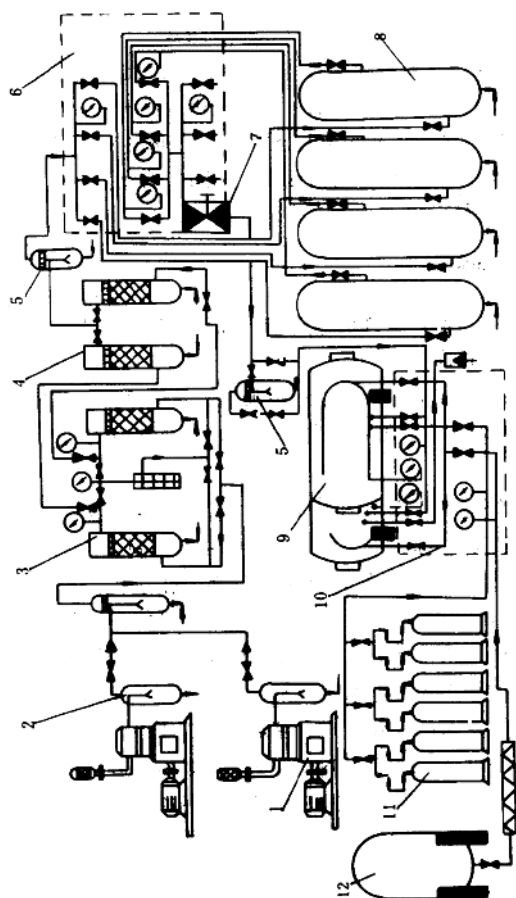


图 1-2 加压系统供气管路示意图

1. 空气压缩机 2. 油水分离器 3. 干燥器 4. 活性炭吸附器 5. 过滤器
6. 供气控制台 7. 空气减压器 8. 贮气瓶 9. 加压机 10. 加压机操纵台
11. 供气系统 12. 液氧贮槽

备, 这涉及机械工程等方面的知识。因此, 在分别介绍加压系统各种部件的结构原理、操作使用、维护保养之前, 须对加压系统有关的工程力学、机械基础、电动机及控制线路、热力学基础等知识作些简要介绍。

第二节 工程力学

一、理论力学

理论力学中常把实际的物体看成刚体。所谓刚体就是在力的作用下不会发生变形的物体。钢、铁、铜、木、石等, 在力的作用下, 它们的变形一般很小, 这样微小的变形对物体的运动几乎不产生影响, 所以在理论力学中把这些物质所构成的实际物体假想为刚体。

在力系中, 如一系列力的作用线都在同一平面内, 那么这个力系就叫做平面力系。在平面力系中如力的作用线汇交于一点, 这样的力系叫做平面汇交力系, 这在工程实际中会经常遇到。

在研究物体的转动和平衡时, 力矩和力偶是两个重要的概念。力对物体的作用, 有时能使物体产生转动。为了量度力对物体的转动效果, 需要引进“力对点的矩”(简称力矩)的概念。例我们以同样大小的力作用在扳手上, 则力(p)距螺母中心较远时, 就比它距螺母中心较近时更能拧紧螺母(图 1-3)。

把 p 和力臂(l)的乘积 pl 称为力矩。

p 对矩心 O 点的力矩, 常用 $M_O(p)$ 表示

$$M_O(p) = \pm pl \quad (1-1)$$

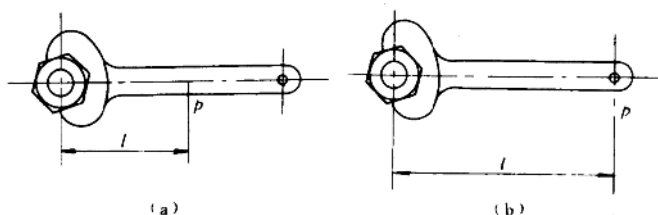


图 1-3 扳手拧紧螺母

式中 $\pm$ 号规定物体作顺时针方向转动的力矩为 $+$ ，反之则为 $-$ ；力矩单位取决于力和长度单位，用 $\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $\text{N}\cdot\text{cm}$ 。

合力对物体的作用效果等于力系中各分力对物体作用效果的总和。这个关系称为合力矩定理，其表示式为

$$M_O(R) = M_O(p_1) + M_O(p_2) + \cdots + M_O(p_n)$$

或

$$M_O(R) = \sum_{i=1}^n M_O(p_i) \quad (1-2)$$

在工程中常会遇到绕某一固定点（轴线）转动的物体（常称为杠杆）的平衡问题，如撬棒、秤、钳子、手动剪床（图 1-4），使 p_1 对 O 的力矩与 p_2 对 O 点的力矩绝对值相等，用公式表示为

$$\begin{aligned} p_1 a_1 &= p_2 a_2 \\ \sum M_O(p) &= 0 \end{aligned} \quad (1-3)$$

这叫力矩平衡方程。

在力学中将大小相等，方向相反，但作用线不在一直线上