

手术室医用气体集中供应系统的设计和调试

寇 华¹ 龚潇松¹ 文华凤¹ 殷 成² 狄 倩²

1. 中建八局华中公司江西分公司, 江西 南昌 330038

2. 正硕工程科技有限公司, 四川 成都 610031

[摘要] 手术室医用气体系统属于保障现代外科手术能够安全且高效推进的重要基础设施, 其设计以及调试所具有的科学性会对医疗质量以及患者安全产生直接的影响。本论文就手术室常用医用气体的种类及其用途展开阐述, 较为系统地介绍集中供应系统的设计规范以及关键子系统的选型情况, 还详细说明施工安装与调试的流程控制相关内容, 并且给出风险管理与运行维护方面的策略。

[关键词] 手术室; 医用气体; 集中供应系统

DOI: 10.33142/cmn.v3i1.16532

中图分类号: R197

文献标识码: A

Design and Debugging of Centralized Supply System for Medical Gas in Operating Room

KOU Hua¹, GONG Xiaosong¹, WEN Huafeng¹, YIN Cheng², DI Qian²

1. Jiangxi Branch of China Construction Eighth Engineering Division Huazhong Company, Nanchang, Jiangxi, 330038, China

2. Zhengshuo Engineering Technology Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610031, China

Abstract: The medical gas system in the operating room is an important infrastructure for ensuring the safe and efficient advancement of modern surgical procedures. The scientific design and commissioning of this system will have a direct impact on medical quality and patient safety. This paper elaborates on the types and uses of commonly used medical gases in operating rooms, systematically introduces the design specifications of centralized supply systems and the selection of key subsystems, and provides detailed information on the process control of construction, installation, and commissioning, which also offers strategies for risk management and operation maintenance.

Keywords: operating room; medical gases; centralized supply system

引言

随着医疗技术持续向前发展, 现代化手术室对于医用气体的供应系统所提出的要求变得更高了。在手术实施的过程当中, 需要有多种气体共同发挥作用。这其中, 不但包含像氧气、麻醉气体这类能够给予生命支持的气体, 而且还涉及到用于驱动气动工具以及控制环境等方面的诸多应用情况。要想保障气体供应具备连续性、安全性以及较高的洁净度, 那么精心去设计并且规范地加以管理的集中供应系统就显得格外重要了。

1 手术室医用气体的种类和用途

1.1 氧气

氧气是一种强氧化剂和助燃气, 高浓度氧气和油脂结合会发生强烈的氧化反应, 产生高温、燃烧和爆炸。同时氧气也是维持生命最基本的元素, 医疗上一般给缺氧患者进行输氧, 如果直接输入高纯度的氧气, 会对人体产生很大的危害。因此, 医学上的氧气浓度必须得到有效控制, 一般不能超过 40%。普通患者通过湿化瓶吸收氧气, 危重患者通过呼吸机吸氧。此外, 氧气还可以用作高压氧舱、潜水疾病和雾化治疗以及煤气中毒患者^[1]。

1.2 一氧化二氮

一氧化二氮是一种无色、带有甜味的气体, 人体吸入

少量一氧化二氮后面部肌肉会出现痉挛, 出现笑的表情, 因此, 一氧化二氮也被称为“笑气”。常温下的一氧化二氮不活泼, 没有腐蚀性, 但是当温度达到 650℃后, 会分解为氮气和氧气, 具有助燃作用。在压力超过 15MPa 的大气环境下, 会出现油脂燃烧现象, 人体吸入少量一氧化二氮以后会产生麻醉反应, 如果大量吸入则可能造成呼吸困难。医疗上一般用一氧化二氮和氧气的混合气体作为麻醉剂。

1.3 氮气

氮气是一种无色、无味、无毒、不易燃烧的气体, 常温下比较稳定, 不容易与金属物质发生化学反应。由于不含水分医疗上一般用于驱动比较精密的医疗设备, 液态氮还可用于皮肤科患者的冷冻治疗。

1.4 二氧化碳

二氧化碳是气态化合物。常温下的二氧化碳是一种无色、无味、不可燃、易溶于水的气体, 与水容易生成碳酸, 所以也称碳酸气。医学上可以用于腹腔镜检查和纤维结肠镜检查, 实验室用于培养细菌。经过加压降温可以制作干冰, 用于治疗白内障和血管疾病患者^[2]。

1.5 压缩空气

医疗上用于驱动医疗设备和工具。压缩空气用于为口腔手术器械、骨科器械、呼吸机等传递动力。

1.6 氩气

氩气是一种无色、无味、无毒的惰性气体,它不可燃,也不容易与其他化学物质发生化学反应,可以用于保护金属不被氧化。氩气在高压高频作用下,可以分解为氩气离子,氩气离子有很大的导电性,可以连续传递电流,医学上可以用于氩气刀器械,以减少损伤组织的面积。

1.7 负压真空系统

负压系统在手术过程中肩负着引流吸引血液、体液以及分泌物的重要任务,同时它还是麻醉废气得以排放的一条路径。该系统得具备较高的负压稳定性,并且要能够快速做出响应,噪声也要尽可能地低,唯有如此才能确保手术过程能够连续进行下去,也能让医护人员的操作更为舒适。

1.8 麻醉吸废气装置

麻醉废气管理算得上是控制手术室空气质量的关键举措之一。吸废气系统会借助负压回收管路来收集那些多余的麻醉气体,如此一来便能防止这些气体发生泄漏从而污染空气,进而对医护人员的职业健康安全起到保障作用。

1.9 备用氧气系统

当主氧气系统出现故障或者发生停电等情况,处于应急状态之时,备用氧气系统会依靠自动切换阀门亦或是人工手动操作的方式,来给予稳定的氧气保障,其布局应当设置在靠近关键用氧点的位置,如此一来便于实现快速响应的状态。

2 医用气体集中供应系统设计规范

2.1 设计依据与标准

设计环节需要严格依照《医院洁净手术部建筑技术规范》(GB 50333)、《医用气体工程技术规范》(GB 50751)等相关的国家标准来执行,并且还要参照英国 HTM 02-01、NFPA 99 等国际标准,以此来保证系统具备安全性、可靠性以及易于维护的特点。所有的设计都得同时考虑到气体需求负荷方面的情况、系统所具有的冗余能力以及其扩展性的状况。

2.2 气源系统设计

气源系统涵盖了液态氧储罐、压缩空气机组以及真空泵站等一系列核心设施。其中,氧气在经过储罐完成汽化处理之后,会被供给到管网当中;空压系统还配备了干燥装置以及过滤装置,以此来保障空气能够达到一定的洁净程度;气体汇流排在设计的时候,需要具备自动切换的功能以及冗余功能,从而确保即便出现单一设备发生故障的情况,也不会导致供气出现中断的现象。

2.3 管道网络设计

管材方面,通常会选用无缝紫铜管或者不锈钢洁净管,这些管材得具备耐腐蚀以及无污染这样的特性。管径在设计的时候,是依据最大气体流量还有距离来精准地进行计算的,如此一来就能防止出现压力过大的波动情况或者是气流不足的问题。至于阀门的布局安排,既要考虑到主干

控制的需求,又要兼顾分支控制的要求,并且还得有紧急切断的功能,这样做是为了方便后续的区域维护以及事故处理工作能够顺利开展。

2.4 终端设备设计

终端接口属于医护人员直接进行操作的区域,应当选用标准化且能够快速插拔的气体阀门,并且要具备清晰的色标,以此来防止出现误接的情况。每一个终端都需配备压力表以及报警装置,从而达成对压力异常情况给予实时提示的目的。接口的布局务必要契合人体工学原理,方便开展操作以及后续清洁工作。

3 关键子系统设计选型

3.1 气体监测报警系统

气体监测报警系统充当着保障手术室用气安全的“第一道防线”角色,其在设计之时应当周全地考量到系统的实时性、可靠性以及智能化程度。要在每一个关键的用气点去安装那种带有自诊断功能的高精度压力、流量还有气体种类识别传感器,以此来保证所采集数据的准确性。传感器所采集到的信号需要借助高速总线传送到中央控制主机那里,并且要结合 SCADA 系统打造出动态可视化的管理界面。该系统得具备事件分级处理的功能,比如说当出现轻微欠压情况的时候就启动初级报警,与此同时还会触发自动诊断程序;要是超过所设定的阈值,那么就要立刻联动切断阀门并且通知值班人员^[3]。多级报警的设计能够切实有效地提高故障处置的效率。系统还得具备历史数据存储与分析的功能,可以用来做故障追溯、性能评估以及预警建模等方面的工作,从而逐步构建起智能化的闭环管理体系。

3.2 应急备用系统

应急备用系统对于手术室在突发状况下能够持续运行而言,属于极为关键的保障举措。其配置务必要涵盖电力以及气源这两个核心环节。就电力方面来讲,UPS 电源一方面要给气体控制系统提供电能,另一方面还得针对关键报警设备以及电磁阀控制模块实行独立的供电分配,从而保证在主电源出现中断情况的时候,系统的各项核心功能都不会受到任何影响。再看气源方面,气源应急系统应当配置自动切换汇流排,并且其阀门控制逻辑设计需要有优先级识别的功能,要优先切换到同类型的备用气源,像备用液氧罐或者高压钢瓶组这类备用气源。为了提高系统的稳定性,在高等级的手术室可以额外增设“三级冗余”机制,也就是说除了主气源以及备用气源之外,再另外配置手动旁路系统,当自动系统发生失效状况时,可凭借人工快速接入来实现供气。所有的应急切换操作都得在 30 秒以内完成,以此来确保患者的生命支持不会出现中断的情况。除此之外,控制逻辑还应当具备“互锁防误触”的机制,避免因误操作而引发气体混供或者断供方面的事件发生。

3.3 气体净化处理模块

医用气体的洁净程度乃是确保手术环境达到无菌且安全状态的基本前提。气体净化处理模块要根据各种气体所具有的不同特性来运用有所差异的净化办法。就拿压缩空气来讲,它得接连经过除油环节、除水环节、过滤环节以及干燥环节这四级处理流程。高效除油器应当挑选那种油雾过滤效率能够达到并超过 99.99% 的滤芯,以此来确保在下游区域不会出现油污污染的情况。干燥模块比较适宜采用双塔变压吸附这一技术,从而达成将露点控制在 -40°C 之下的目的,进而有效地防范水汽出现凝结的现象。对于氧气、氮气这类气体而言,要在终端之前设置一次性微生物级别的过滤器,而且该过滤器的过滤精度不能低于 $0.01\mu\text{m}$,务必要保证没有细菌、也没有颗粒物能够通过。所有的净化单元都得具备在线检测的功能,可以实时呈现出过滤压力差、运行状态以及更换提醒等相关信息,借此来提高系统的维护工作效率。

4 施工安装与调试流程

4.1 施工质量控制要点

医用气体系统施工质量关乎运行安全以及后续维护便利程度,所以要施行全过程质量把控。材料进场时,得对全部管材、阀门、接头等构件开展厂检以及现场复验,着重检查无缝紫铜管的化学成分、壁厚均一性还有内腔清洁度,保证其契合《医用气体管道用铜管》标准。安装期间,气体管路务必要单独划分区域布线,不可以和电力、电信等强弱电线路交叉设置,以免出现干扰或者因事故而引发的问题。在焊接环节,建议运用手工 TIG 工艺,并且使用高纯氩气正压来保护内腔,焊缝要饱满且没有夹渣,焊后表面还需做钝化处理。焊接结束以后,需要一段一段地去做泄漏检测以及打压试验,只有合格之后才能够封闭墙体。

4.2 系统调试方法

系统调试属于把设计变成实际运行状态的重要环节,要全方位地去测试系统的气密性、性能参数以及功能逻辑。在调试之前,得把管道内部的残留物清洗干净,要用洁净且干燥的氮气或者压缩空气来吹扫,直到没有杂质残留为止。气密性试验是按照 1.5 倍的工作压力来进行施压的,在稳压的 24 小时之内,压力下降的幅度不能超过 5%,各个终端的压力值要在 $\pm 10\%$ 的范围里波动,流量必须要能够满足设计所规定的最大流量的要求^[4]。气体纯度的检测是要采用高灵敏度的色谱仪或者是质谱仪来进行的,检测点要涵盖主干管、中继节点以及终端接口,以此来保证气体纯度能够优于 99.5%。麻醉气体系统的调试需要模拟术中供气的流程,去测试不同气体通道的密封性以及独立性,防止出现交叉污染的情况。系统联动调试包含报警系统、切换阀组、负压泵站等等,要一项一项地去验证它们的响应速度、故障复原情况以及自动化逻辑的准确性,最后形成完整的调试记录并且签字归档。

4.3 验收标准与文档管理

验收环节应当组织设计方、施工单位、监理方、医院代表以及第三方检测机构一同参与其中。依照国家相关规范和项目图纸,针对管道路径、终端接口配置、报警设定、气体纯度、压力范围等诸多方面逐一进行比对确认。像汇流排、压力调节器、报警主机这类关键设备需要单独开展功能演示,并且要形成相应的视频记录。在文档方面,务必建立起完整的技

5 风险管理与运维策略

5.1 常见故障模式分析

集中供气系统所出现的故障大概能够划分成设备故障、系统性异常以及人为误操作这三个类别。就设备故障来讲,像压缩机出现过热情况、真空泵发生故障、阀门出现卡滞等问题,这些状况极有可能致使系统供气出现中断或者是使供气效率有所降低。而系统性异常包含诸如压力处于不稳定状态、气体出现交叉污染现象、报警系统失去作用等情况,这类故障往往隐蔽性比较强,对手术室产生的影响也较为广泛。人为误操作方面,比如误将气体接错、开关阀门的顺序出错等等,这就需要借助标准化管理的方式来予以预防。可以考虑采用 FMEA 方法来识别系统当中存在的薄弱环节,同时建立起优先级风险矩阵,对于那些高危点要配置上多重保障方面的措施。

5.2 预防性维护体系

预防性维护可延长设备寿命,防止突发故障。不同设备特性,维护周期也不同。像压缩空气系统,每月换预处理滤芯,每季度检查干燥剂吸附性能;真空泵每半年要换润滑油、检查密封件。用数字化维护平台记录各部件状态、维护时间、配件更换等情况,靠数据分析预测故障。维护时执行“两人互查”,关键操作要双人确认签字,避免遗漏和差错。在高原、极寒或高湿环境这种特殊工况下,还要制定专项维护策略,比如加电加热装置或者换适配性更好的部件,保证系统稳定运行。

5.3 人员培训与应急演练

医用气体系统的正常运行以及后续维护工作,一方面依靠设备自身状况,另一方面则很大程度上要看操作人员所具备的专业能力以及应对突发情况时的应急响应水准。医院需要构建起一套系统化的培训体系,这个体系要涵盖设备的结构情况、具体的操作流程、各类报警的识别办法、出现异常时的处置举措等诸多不同的模块内容。在培训的形式方面,应当采取将理论讲解与实际操作相结合的方式,以此来保证医护人员能够对系统运行的内在逻辑较为熟悉,并且掌握基本的处理办法。每年至少得组织两次针对气体泄漏的应急演练,同时还需开展一次停电切换方面的演练,演练内容要包含突发故障的识别方法、对报警做出的响应措施、供气切换的具体操作以及患者转移的相关预案等内容。每次演练结束之后,还要召开复盘会议,仔细分析演练过程中所

暴露出来的问题,进而持续不断地对预案内容加以优化完善。

6 结束语

医用气体集中供应系统在现代手术室的运行当中堪称生命线,其设计环节、施工环节以及运行维护环节每一处都得极为严谨且细致。本文从气体种类这一方面着手,全面且细致地阐述了设计标准、子系统选择以及调试流程等方面的内容,并且还给出了风险管理的相应对策,从而给医院在医用气体系统的建设以及改造工作中给予技术层面的有力支撑以及实施方面的有效指南。在未来,伴随着智能化水平的不断提升,该系统会朝着数字化、可视化以及远程运维这样的方向不断地去优化并实现进一步的发展。

[参考文献]

[1]朱奇,刘佳佳,柳洋,等.新疆某三甲医院的医用气体安

全使用质量控制管理模式[J].医疗装备,2020,33(17):68-71.

[2]顾青,方英,岑莉,等.隔断分区模式在内镜中心布局中的设计与应用效果评价[J].中国护理管理,2021,21(4):493-498.

[3]高川,孙菊,杨石泉,等.PDCA循环管理对负压吸引系统故障发生次数的影响[J].医疗装备,2022,35(3):70-72.

[4]马瑞文,罗宾甲.国内外医院内镜再处理区的流程布局特点[J].中国医院建筑与装备,2024,25(2):36-40.

作者简介:寇华(1991.11—),毕业院校:沈阳建筑大学,所学专业:建筑电气与智能化,当前就职单位:中建八局华中公司江西分公司,职务:安装项目经理。