

多参数融合监测技术在便携式加压舱上的应用

符佳音^{1, 2} 罗瑞豪^{2, 3} 王龙飞^{2, 3} 方以群^{2, 3, *}

1. 上海理工大学健康科学与工程学院 上海 200433

2. 海军军医大学海军特色医学中心 上海 200433

3. 海军军医大学免疫与炎症国家重点实验室 上海 200433

摘要: 本文主要介绍多参数融合监测技术在便携式加压舱上的应用, 首先介绍了便携式加压舱以及它的应用领域, 其次指出便携式加压舱的舱内环境监测尤为重要, 而多参数监测需要结合多参数融合监测技术对舱内的生理指标和环境指标进行运用, 从多参数融合监测技术的技术原理、便携式加压舱常见的参数监测, 和便携式加压舱的多参数融合监测技术的运用三个方面详细介绍了多参数融合监测技术在便携式加压舱上的应用。

关键词: 多参数; 多参数融合监测; 便携式加压舱

引言

便携式加压舱 (Portable Hyperbaric Chamber) 是一种能够提供高压环境的设备, 广泛应用于潜水医学、急救医学和康复治疗等领域。通过模拟高压环境, 便携式加压舱可以促进气体的溶解和血氧的增加, 从而加速潜水员或患者的康复过程。由于其具有便于携带、使用灵活和高效治疗等优点, 便携式加压舱在偏远地区、灾区等环境中具有重要的应用价值^[1]。便携式加压舱因其机动性强、用途广、不受环境因素的影响限制, 越来越受国内外的关注^[2-6]。

与此同时, 随着现代医学和技术的发展, 监测技术的作用也日益凸显。在便携式加压舱中, 准确、实时地监测舱内环境和人体健康状态, 能够大大提高治疗的效果与安全性。为此, 多参数融合监测技术应运而生, 它通过整合来自不同传感器的数据, 进行数据融合和分析, 为临床决策提供更为全面的依据^[7]。尽管便携式加压舱在医学治疗中已广泛应用, 但其在实际使用中仍面临着一些挑战。传统的监测技术往往依赖单一参数或局部数据, 无法全面、准确地反映舱内环境变化和人体健康状况的综合信息。这种局限性导致潜水员在潜水期间暴露于多种不可预见的风险, 例如急性减压病或氧中毒^[8]。目前, 传统的监测技术多集中于单一生理参数的监测。单参数监测虽然在某些情况下可以提供一定的参考信息,

但由于其片面性, 难以全面反映潜水员的健康状态。例如, 单独的心率监测可能无法同时考虑心血管健康与氧气供应的关系, 而单一的血氧监测也不能涵盖潜水员所处的环境压力和温度等因素。这种局限性导致在潜水期间容易产生延迟反应与误判, 从而引发健康风险^[9]。因此, 将多参数融合监测技术应用于便携式加压舱, 不仅能够克服现有技术的局限, 还能够提升监测的精度与智能化水平。综上所述, 多参数融合监测技术的应用在便携式加压舱中具有巨大的潜力, 能够为潜水员、患者及其医护人员提供更加精确和全面的支持。

一、多参数融合监测技术

(一) 技术原理

多参数融合技术旨在将来自不同来源的数据进行整合, 以获得比单一数据源更全面的信息。在医疗监测中, 这意味着将心电图 (ECG)、血氧饱和度 (SpO₂)、血压、体温等多种生理参数的数据进行融合, 以提供对患者健康状况的全面评估。多参数融合监测技术通过整合来自不同传感器的数据, 提供比单一传感器更准确、更全面的环境感知和决策支持。其基本原理包括传感器融合、数据管理和算法优化三个方面: 传感器融合将多个传感器获取的数据进行整合, 以弥补单一传感器的局限性, 提升系统的鲁棒性和准确性。数据管理则是对收集到的多源数据进行预处理, 如去噪、归一化等, 以提高数据质量, 为后续分析奠定基础。而后采用先进的算法如卡尔曼滤波、贝叶斯估计、模糊逻辑等进行算法优化, 并对处理后的数据进行融合分析, 提取有价值的信息^[10]。

基金项目: 国防科技应用推进项目 (21AH0103)

作者简介: 符佳音 (2001年7月-), 女, 汉族, 江西赣州人, 研究生在读, 研究方向: 潜水与高气压设备。

（二）常见参数监测

随着科技的发展，多参数融合监测技术在便携式加压舱中的应用能够提供全面、准确的环境和生理参数监测，确保治疗过程的安全性和有效性。目前，多参数融合监测技术结合人工智能和机器学习算法，实现对复杂数据的自动分析和预测，提高系统的自主决策能力，并将多种传感器集成于一体，减少设备体积和成本，提升系统的可靠性和易用性。与此同时，多参数融合检测技术提高数据处理和分析的速度，实现对动态变化的实时监测和响应，并且根据用户的具体需求和生理特征，提供定制化的监测方案，提升治疗效果。而在便携式加压舱运行过程中，为了确保舱内环境适宜且使用者安全，通常需要对生理参数和环境参数进行全面的监测和控制。

监测便携式加压舱内的生理参数主要是为了实时接收使用者在加压舱内关键生命体征的生物学指数，有助于及时识别潜在风险，确保使用者在特殊环境下的生理安全。在便携式加压舱内常见的生理监测数据包括心电图、血氧饱和度、呼吸频率、血压与脉搏和体温等。心电图（ECG）用于监控使用者的心脏电活动，以动态评估心脏的健康状态和识别异常心律。尤其在高压环境下，心血管系统可能受到压力变化的显著影响，需要实时监测心电活动。血氧饱和度（SpO₂）通过检测动脉血液中的氧气含量，评估使用者是否处于缺氧或过氧状态，这对于高压或低压环境异常下使用者的氧气供应状况尤为重要^[8]。呼吸频率用于监测呼吸系统是否正常运作，并及时识别呼吸异常，例如呼吸急促或低频率状态。血压与脉搏通过实时记录血压和脉搏，可评估加压舱内压力变化对使用者循环系统的影响。体温密闭环境中，使用者易受到温度变化的影响，体温监测可辅助识别健康风险并指导温控措施。

便携式加压舱内环境参数的监测旨在确保加压舱内能够维持一个适宜且安全的操作环境。这些参数包括压力、氧气浓度、温湿度、噪声水平等，直接影响到舱内人员的健康和舒适度。舱内压力是加压舱操作中的关键参数，可直接影响人体的生理平衡状态。舱内压力通常需要在0.1–0.3 MPa之间根据不同应用需求进行精准控制^[11]。氧气浓度的掌控尤为关键，过低会导致缺氧，过高则可能引发氧中毒或火灾风险，许多加压舱内达到氧气浓度不超过21%的运行标准，以降低氧中毒的隐患^[12]。舱内适宜的温湿度不仅提升舱内乘员的舒适度，还可防止设备因温湿度极值而损坏。例如某研究指出舱内温度需稳定于20–30℃，湿度控制在30%~70%RH以内

满足人体需求和设备工作需求。噪声控制是提升舱内体验的重要方面，通常舱内噪声应控制在不超过65 dB，一旦超出这一范围可能影响乘员心血管或神经系统的稳定性^[13]。

二、多参数融合监测技术及其在便携式加压舱上的应用

（一）多参数融合算法和模型

多参数融合方法主要包括数据级融合、特征级融合和决策级融合，其中数据级融合直接在原始数据层面进行融合，适用于数据之间具有相似尺度和单位的情况；而特征级融合先对各数据源进行特征提取，然后将提取的特征进行融合，适用于数据之间具有不同尺度和单位的情况；决策级融合各数据源独立进行处理和决策，最后将各自的决策结果进行融合，适用于各数据源的处理过程相对独立的情况。常用的多参数融合算法包括加权平均法、卡尔曼滤波、粒子滤波和深度学习模型等。加权平均法是对不同传感器的输出结果进行加权平均，以获得最终的融合结果。卡尔曼滤波是利用系统的动态模型和测量模型，对传感器数据进行递归估计，适用于线性系统。2023年王立峰等人提出了一种基于LSTM和扩展卡尔曼滤波的多源传感器监测及数据融合方法，实现了传感器数据测量和传输，选用LSTM神经网络来对其进行异常数据处理，通过扩展卡尔曼滤波算法对测量过程产生的动态误差进行补偿，进而实现传感器目标状态高精度的测量，达到有效去除噪声影响的目的^[14]。2013年王菊阐述针对单个传感器数据中的不准确、不完整、噪声干扰问题，分析多传感器数据融合技术的特点，探讨物联网中的多传感器数据融合技术，以及在智能交通、环境监测、健康监护中的应用^[15]。2020年戴海发等人提出了一种改进的多传感器自适应融合方法，利用传感器测量值之间的差值自适应建立传感器的后验概率分布模型，并结合互信息的理论实时识别和剔除异常观测值，从而避免了求熵时的积分计算^[16]。2024年张亮提出一种基于改进自适应加权的多传感器信息数据融合方法，首先，进行多传感器信息数据的采集与预处理；其次，初始化每个传感器采样信息的权重；然后，根据调整后的权重对每个传感器的数据进行加权融合系数的自适应调整；最后，通过数据集中同属性信息的聚类，实现对数据信息的融合处理^[17]。

（二）便携式加压舱中的多参数融合监测技术

多参数融合技术通过采集、分析舱内与舱外多种信号，实现对舱内人员生命体征以及环境参数的实时监测。

2012年中国人民解放军第三军医大学第三附属医院提出了一款高压氧舱无创遥测多参数多通道生理监护系统,该系统通过便携式监护仪实时显示心电、血压、血氧和体温等参数,保证了舱内操作的安全性^[8]。该系统能够实时监测患者的心电、血压、血氧饱和度、呼吸、脉搏、体温等多项生命体征,并通过无线传输技术,将数据传输至舱外的监护终端。这种多参数融合监测技术,确保了高压氧治疗过程中的患者安全性和治疗效果。这不仅提高了医务人员对病人状态的准确判断能力,还实现了生理数据的储存和事后追溯功能。2017年胡慧军等人提出了一种多功能便携式加压舱的设计方案,该舱体配备了加压和减压装置、供氧和排氧装置、环境气体监测装置以及舱内外通信装置。通过集成这些功能,实现了对舱内环境的实时监测和调节。环境气体监测装置能够实时检测舱内氧气浓度、二氧化碳浓度等参数,确保舱内环境的安全性和舒适性^[11]。2018年谢小萍等人在实用新型专利中介绍了一种便携式医疗加压舱的生命体征监测装置。该装置在舱壁上安装了用于穿过生物电导联线的通孔,配备了心电监测设备,实现了对舱内人员心电图等生命体征的实时监测。通过多参数融合技术,心电图、血氧饱和度、脉搏等多项生命体征数据被同步采集和分析,为医疗人员提供全面的健康评估^[13]。

小结

展望未来,技术创新将进一步推动多参数融合监测技术的发展。多参数融合监测技术不仅在便携式加压舱中有着广泛的应用,还可以扩展到其他领域。总结而言,多参数融合监测技术在便携式加压舱中的应用具有显著优势。它不仅能全面、实时地监测舱内的各种生理和环境参数,确保治疗过程的安全性,还能通过数据融合提高决策的准确性和时效性。随着技术的不断发展,这一领域的创新潜力巨大。未来研究应聚焦于算法的进一步优化、传感器精度的提升以及系统集成度的增加。同时,随着人工智能和大数据技术的引入,这一领域有望迎来更加智能化、个性化的医疗服务,提升治疗效果并拓展更多的应用场景。

参考文献

[1] 刘文武, 俞旭华, 徐佳骏, 等. 便携式加压舱治疗减压性疾病的特点与应用[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2022, 29(2): 248-251.
[2] 胡慧军, 张敦晓, 孙强, 等. 便携式空气加压舱

空气调节装置的设计与实现[J]. 医疗卫生装备, 2016, 37(11): 32-34.

[3] LUEKEN R J, HEFFNER A C, PARKS P D. Treatment of severe carbon monoxide poisoning using a portable hyperbaric oxygen chamber[J]. Ann Emerg Med, 2006, 48(3): 319-322.

[4] 于峰涛, 顾秀良, 翁永斌, 等. 国外常见便携式加压舱比较及GSE24FoldaRec型便携式加压舱性能分析[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2013, 20(2): 134-136.

[5] 滕晓波, 唐先武. 海军某医研所推出便携式医疗加压舱[N]. 科技日报, 2007-01-31(3).

[6] 王贺新, 吕永达, 马智, 等. 高原轻便加压舱(袋)的研制[J]. 解放军预防医学杂志, 1992, 10(2): 97-100.

[7] 林高藏, 刘晨沁, 乐航宇, 等. 高压氧疗法及应用研究现状[J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(3): 302-306.

[8] 中国人民解放军第三军医大学第三附属医院. 高压氧舱无创遥测多参数多通道生理监护系统: CN201220170104.3[P]. 2012-11-07.

[9] 林高藏, 刘晨沁, 乐航宇, 等. 高压氧疗法及应用研究现状[J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(3): 302-306.

[10] 郭惠勇. 多传感器信息融合技术的研究与进展[J]. 中国科学基金, 2005, 19(1): 17-21.

[11] 胡慧军, 潘树义. 一种多功能便携式加压舱: CN201410029819.0[P]. 2017-02-08.

[12] 林高藏, 刘晨沁, 乐航宇, 等. 高压氧疗法及应用研究现状[J]. 中国医疗器械杂志, 2022, 46(3): 302-306.

[13] 谢小萍, 暴军香, 常耀明, 等. 便携式医疗加压舱生命体征监测装置[P]. 山东: CN201621478178.8, 2018-01-26.

[14] 王立锋, 唐松, 连晓晓, 等. 多源传感器监测及数据融合方法研究[J]. 河北省科学院学报, 2023, 40(3): 10-16.

[15] 王菊. 物联网中的多传感器数据融合技术分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(12): 150-151.

[16] 戴海发, 卞鸿巍, 王荣颖, 等. 一种改进的多传感器数据自适应融合方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(10): 1602-1609.

[17] 张亮. 基于改进自适应加权的多传感器信息数据融合方法[J]. 传感器世界, 2024, 30(06): 7-11+19.