

快速减压环境模拟系统中减压时间的近似计算方法

李卓慧, 路同山, 刘家林, 孙松刚, 董 栋, 施承天, 李灿伦, 张 蕊

(上海卫星装备研究所, 上海 200240)

摘 要: 为了预测快速减压环境模拟系统中舱内气体压力下降的时间, 依据流体力学孔口出流原理, 建立了快速减压近似理论计算模型, 并给出了数值迭代计算方法, 同时利用有限元仿真方法对压力平衡过程进行分析, 搭建了一套试验系统, 在不同试验条件下, 将两种分析方法得出的结果与试验数据进行对比, 验证了计算方法的正确性及可行性。

关 键 词: 快速减压; 数值迭代; 有限元仿真; 环境模拟系统

中图分类号: V19; TB75

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2022)03-0025-04

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2022.03.06

Approximate Calculation Method of Decompression Time in Rapid Decompression Environment Simulation System

LI Zhuo-hui, LU Tong-shan, LIU Jia-lin, SUN Song-gang, DONG Dong,

SHI Cheng-tian, LI Can-lun, ZHANG Rui

(Shanghai Institute of Spacecraft Equipment, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to predict the time of gas pressure drop in the rapid decompression environment simulation system, an approximate theoretical calculation model for rapid decompression was established based on the orifice outflow principle of hydrodynamics, and the numerical iterative calculation method was given. At the same time, the finite element simulation method was used to analyze the pressure balance process, and a set of test system was built. By comparing the results of the two methods with the experimental data, the correctness and feasibility of the calculation method are verified.

Key words: rapid decompression; numerical iteration; finite element simulation; environmental simulation system

飞机的座舱、载人航天器各密封舱在高空正常运行过程中, 舱内与外界环境会一直维持一个稳定的正压力差。由于结构受损、人为或意外事故等, 舱内与舱外密封突然失效, 内外压力快速平衡, 造成舱内气压突然下降, 此过程称为快速减压^[1-2], 例如 2018 年 5 月 14 日, 川航 3U8633 客机飞行途中, 驾驶舱右座前风挡玻璃突然爆裂脱落, 机舱发生瞬间失压, 为避免爆发性缺氧, 对飞行员肺、中耳及听力产生不可恢复的损伤, 氧气供应系统必须及时给飞行人员加压供氧^[3-4]。根据实际情况, 发生快速减压的时间从几毫秒到若干秒不等, 为了验证供氧设备在这种紧急情况下的性能及可靠性, 以及研究快速减压时飞行人员的生理特征变化, 需要建立能模拟不同减压时间的环境模拟试验系统。该系统一般由真空储备舱、

快速减压舱及减压机构组成, 根据减压时间的长短, 有玻璃爆破式减压机构和可重复使用的机械式减压机构, 其中减压机构的喉道截面积、舱内容积、舱内压力等都对减压时间有影响^[5-18]。

本文针对减压环境模拟系统中两舱之间压力的快速平衡过程进行了研究, 建立了数值迭代计算模型, 并通过与有限元仿真结果和试验数据进行对比, 验证了计算模型的准确性, 对今后大型快速减压设备的研制提供了设计依据。

1 模型的建立

1.1 快速减压环境模拟系统简化模型

快速减压环境模拟系统主要由真空储备舱、快速减压舱、喉道及配套真空系统等组成, 如图 1 所示。真空储备舱与快速减压舱通过喉道隔