

清洁、大流量真空差分系统的研制*

蒙峻^{1,2;1)} 杨晓天¹ 张素平^{1,2} 储继国³

1(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2(中国科学院研究生院 北京 100049)

3(深圳大学 深圳 518060)

摘要 本研究是为了设计一套大流量、清洁的真空差分系统. 计算了超重反冲核实验装置终端真空差分系统各级的真空度; 介绍了差分系统的设计和真空泵、测量设备选择; 选择能在高压强下连续运行的新型分子/增压泵作为过渡流范围内的主排气泵, 对分子增压泵进行了性能测试并对差分系统进行了模拟靶室实验, 最后对实验结果进行了分析.

关键词 清洁、大流量差分系统 新型分子/增压泵 返油 残余气体分析

1 引言

兰州重离子加速器(HIRFL)的超重反冲核实验装置终端在工作的时候, 需要注入100 Pa的He气作为支撑气体. 与其相连的束运线的真空度为 10^{-5} — 10^{-6} Pa, 中间有7—8个数量级的真空过渡. 该系统的束流包络为圆锥形, 靠近气体靶处直径为10mm, 另一端直径30mm, 两端之间的长度仅为2m. 因此, 利用加长管道或利用毛细管作用来实现大差分比的方法都不适合. 与该系统相连的束运线又与重离子冷却储存环(CSR)相通, CSR真空系统为全无油系统. 因此, 上述大差分比系统还需要保持清洁, 减少油蒸气对相连系统的污染.

该真空差分系统的工作压强要跨越包括从粘滞流、过渡流和分子流在内的整个真空区域. 在过渡流差分阶段, 现有方法通常都采用罗茨泵机组^[1]. 若同时还要求大排气流量时, 除了罗茨泵, 更无别的选择了. 罗茨泵机组不仅体积庞大, 而且其前级泵返油严重. 为了降低油蒸气污染, 现有的对策在罗茨泵的入口处加设液氮冷阱或其他捕油装置, 这将使系统更加庞大, 其体积、制造和运行费用甚至会大于主系统, 操作、维护也十分麻烦, 而且, 油蒸气污染不能从根本上解决, 仍然会严重影响差分系统的工作性能并给其他系统造成污染.

针对这种情况, 我们将深圳大学最近研制成功的一种能在过渡流条件下连续运行、返油率等同于涡轮

分子泵、排气流量接近罗茨泵水平的新型分子泵, 应用于该差分系统中的过渡流段以取代现有差分系统设计中的罗茨泵, 最终攻克清洁、大流量两大难题, 从根本上改善了差分装置的真空环境.

2 差分系统计算方法

设有 n 级差分管道, S_i 和 C_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$)为各级对应的泵的抽速和各级管道的流导. 如果不考虑真空管道的热出气(材料经真空除气处理), 各级泵主要抽除来自相邻高压力级的流动气载, 这些气载又有一部分会流向相邻低压力级. 根据流量守恒, 对于第 i 级可列出方程^[2]:

$$S_i \cdot P_i = C_i(P_{i-1} - P_i) - C_{i+1}(P_i - P_{i+1}). \quad (1)$$

根据各级差分管道参数及各级泵的抽速(厂家提供的抽速曲线), 分别计算出各级流导和差分比, 从而得出各级压强. 根据计算, 本差分系统采用5级差分可以实现从100Pa到 10^{-6} Pa(N_2)~ 10^{-5} Pa (He)的真空过渡.

3 差分系统设计

3.1 差分真空室设计

根据计算结果, 用5级差分将2m长的差分阶段分为4个差分抽气室(见图1), 第5个抽气室为HIRFL束流管道. 差分室长度相等, 每个差分室之间在法兰上焊

2008 - 01 - 07 收稿

* 国家自然科学基金(10675152)资助

1) E-mail: mengjun@impcas.ac.cn

接一段长度为100~120mm的管道以增大差分比. 差分抽气室用AISI304不锈钢制做, 焊接完成后真空清洗并除气处理, 以减小材料的出气率.

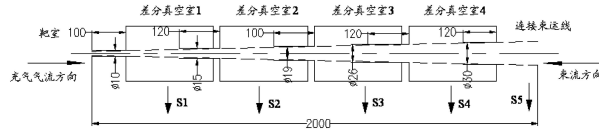


图1 超重反冲核装置差分系统示意图

3.2 差分排气及测量设备选择

4级差分室分别由4套分子泵机组排气. 前两级采用深圳大学近期研制的(图2)能在高压强下连续运行分子/增压泵(MBP, 名义抽速8001/s)^[3], 后两级采用KYKY生产的脂润滑涡轮分子泵(名义抽速6001/s). 前级泵采用天津莱宝公司生产的81/s的旋片式油机械泵. 第5级是原束运线上配置的6001/s涡轮分子泵机组.

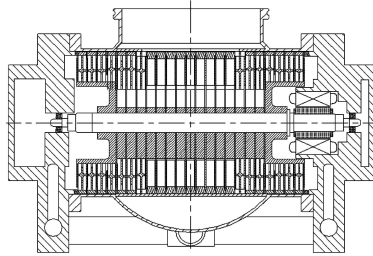


图2 分子增压泵剖面图

低、高真空全压测量分别选用德国莱宝公司生产的皮拉尼规(测量范围 10^{-1} Pa~ 10^5 Pa)和冷阴极电离规(测量范围 1×10^{-7} Pa~1Pa).

4 分子/增压泵的性能测试

4.1 极限压强测试

用标准极限压强测试罩对DN200的分子/增压泵进行测试. 测试罩150°C, 泵体85°C烘烤24h. 以停止烘烤24h后测得的真空度作为系统极限真空度, 得到 $P = 5 \times 10^{-6}$ Pa. 图3是系统烘烤后的残余气体扫描谱图. 从谱图中可以看到, 质量数40以后的峰在 10^{-11} 的离子流范围内几乎看不到, 说明系统很干净, 没有大质量数的油蒸气污染.

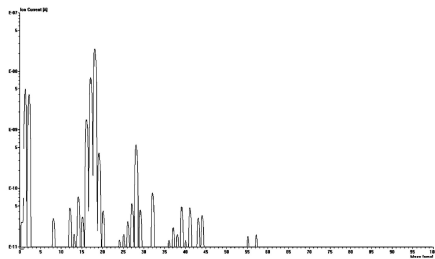


图3 系统烘烤后的残余气体扫描谱图

4.2 分子/增压泵抽速测试

分子/增压泵抽速测试采用滴管流量计法(图4(a))进行测量, 压强范围从100Pa到 10^{-2} Pa.

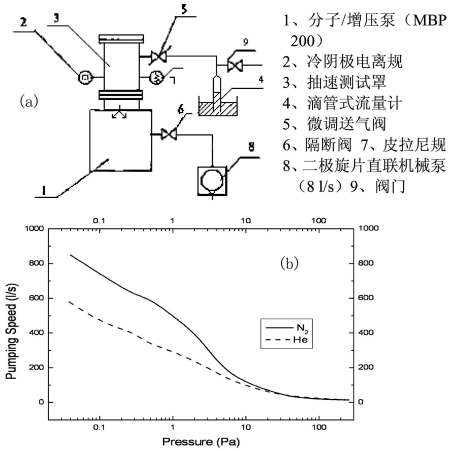


图4 抽速测试实验装置及实测抽速曲线

(a) 滴管流量法抽速测试实验示意图; (b) 实测抽速曲线.

具体测量步骤是: 打开阀门9, 调节针阀5使测试气体进入测试罩中, 待测试罩内压力稳定后, 由真空计读出该压力值为 P , 然后关闭阀门, 同时由秒表读出倒置在油杯内的滴管中油柱上升高度 h 和所需要时间 t , 由公式 $S = \frac{Kh}{pt}$ 求得不同压力下的泵抽速(式中 K 为滴管常数). 图4(b)为测得的 N_2 和He的抽速曲线. 在泵口压强小于1Pa时, 氮气的抽速约为氦气抽速的1.4倍; 而泵口压强从1Pa到10Pa之间时, 二者的抽速之差随泵口压强的增加而减小. 10Pa以上两种气体的抽速几乎相等.

5 差分系统实验测试结果

差分系统实验测试在实验室进行, 未连接束运线(第5级). 同时启动4台分子泵机组, 将各级真空室抽至各自的极限. 调节进气阀门, 逐级向系统分别充入 N_2 和He, 每个量级测量3点, 一直到模拟靶室压力到达100Pa. 图5为分别充入 N_2 和He时各差分室压强随充气靶室压强变化曲线.

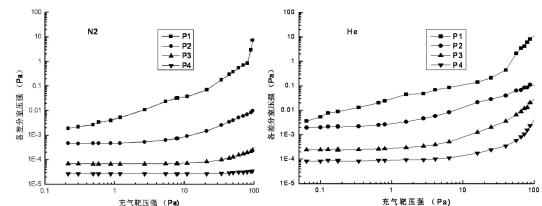


图5 各级差分真空室压强随靶室压强变化曲线

6 结果分析

各级压强实测与理论计算结果见表1. 从表1可知, 第四级实测压强结果高于理论计算值. 因为:

- 1) 差分管道的孔径比较大, 在分子流态下, 使得靠近

轴附近的气体分子将会无碰撞地通过后面的差分管, 我们将这种现象称为充气气流效应^[4]. 由于充气气流效应的存在, 会增大后续差分室的实际气载, 从而使压强增高; 2) 理论计算时未考虑系统的热出气等因素; 3) 第四级获得的压强受泵极限真空度的限制, 如果换用极限真空度较高的泵, 结果会好于目前的实测值.

表 1 差分系统充气至 100Pa 时理论值与测量值比较表

		P_0	P_1	P_2	P_3	P_4
N_2	理论	100	3.2	1.4×10^{-2}	1.6×10^{-4}	2.8×10^{-6}
	实验	100	4.5	1×10^{-2}	2.5×10^{-4}	3.5×10^{-5}
He	理论	100	4.1	8.6×10^{-2}	3.4×10^{-3}	1.9×10^{-4}
	实验	100	7.4	3.2×10^{-2}	1.9×10^{-3}	2.4×10^{-4}

7 结论

根据束流包络, 在差分室内插入不同直径的短管, 连续采用5级差分, 在差分距离短、束流通道大的条

件下, 能够实现从 100Pa 到 10^{-6} Pa 的真空过渡; 用体积小、清洁的分子/增压泵可以取代在过渡流状态下运行的罗茨泵机组, 保证了真空系统的清洁、无油蒸气污染的要求.

参考文献(References)

- 1 Sechenkov A, Bruchle W. Modeling the Differential Pumping of the TASCA Gas Vacuum System [J]. Instruments Methods, 2005 (GSI, Darmstadt, Germany)
- 2 JIANG Di-Kui, LI Gui-He, LIU Ze-Xin et al. Vacuum Science and Technology, 1994(3): 174—178 (in Chinese) (蒋迪奎, 李贵和, 刘泽新等. 真空科学与技术, 1994(3): 174—178)
- 3 CHU Ji-Guo et al. Vacuum Science and Technology, 2005(5): 394 (in Chinese) (储继国等. 真空科学与技术学报, 2005(5): 394)
- 4 ZHANG Su-Ping, YANG Xiao-Tian, CHU Ji-Guo et al. Beam Effect Analysis of Monte Carlo Method for Large-Aperture and Coaxial Differential System. Proceeding of Chinese Vacuum Conference. 2006.116 (in Chinese) (张素平, 杨晓天, 储继国等. 基于 Monte Carlo 方法对大孔径同轴差分系统束流效应分析[C]. 中国真空学会 2006 年学术会议论文集摘要集, 116)

Research for a Clean and Large Throughput Differential Pumping System*

MENG Jun^{1,2;1)} YANG Xiao-Tian¹ ZHANG Su-Ping² CHU Ji-Guo³

1 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

3 (Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract The research is to design a differential pumping system not only to achieve the pressure transition with a large throughput, but also to achieve a clean system without back-oil. In the paper, the pressure in differential stages is calculated; the differential pumping system design and equipment choice are introduced; the tests of Molecular/Booster Pump (MBP), a new kind of molecular-drag pump with large throughput and clean vacuum are described and the system experimental result and analysis are presented.

Key words clean and large throughput differential pumping system, new kind of Molecular/Booster Pump, back-oil, residual gas analysis

Received 7 January 2008

* Supported by NSFC(10675152)

1) E-mail: mengjun@impcas.ac.cn