

低温低气压下温度均匀度分析

袁立峰 王 浚

(北京航空航天大学飞行器设计与应用力学系 北京 100083)

摘 要:分析低温低气压下温度均匀度的影响因素,对低温低气压试验中的空气均匀度进行理论分析和流场分析,与试验进行对比,并提出了控制方法和措施。

关键词:温度均匀度 低温 低气压

中图分类号: TB663, V524.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6516(2005)04-0061-04

Analysis of the temperature equality degree under low temperature and air pressure

Yuan Lifeng Wang Jun

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The effect factors of the temperature equality degree under low temperature and air pressure are analyzed. On the base of the theory and streaming field, the temperature equality degree under low temperature and air pressure is discussed by contrast with the experiment. And based on the theory and experiment, this problem is researched. Finally, the measure of improving the temperature equality degree has been put forward.

Key words: temperature equality degree; low temperature; low air pressure

1 引言

在封闭空间环境模拟试验^[1]中,有一项低温低气压的综合试验。在这项试验中,由于环境内部造成的低气压将导致空间环境温度分布发生变化。在没有低气压的情况下,环境内部温度分布受气流的影响较大,传热方式主要为对流传热。在这种方式下,通过对气流的调整,温度的分布可以达到均匀(已有许多工程证明),能够满足国家军用标准的要求。而在低温低气压下,空气的对流已经不明显,空间的传热方式不再以对流为主,而主要表现为环境舱内壁的

辐射,原来采取的使温度分布均匀的措施已不能满足需要。这时,温度分布是否均匀的问题自然也就提出来。目前还没发现有对此问题进行研究的文献,即使在国家军用标准中,也没有对此要求的标准。而在环境模拟试验中温度均匀度是一个比较重要的指标,许多工程中也对此做了要求。为此,本试验对其进行理论和试验两方面的研究、对比。

2 低温低气压下温度均匀度的影响因素

在低温低气压下,空间环境的传热方式主要表现为环境舱内壁的辐射。因此,环境舱内壁温度分布是

收稿日期:2005-06-01;修订日期:2005-07-25

作者简介:袁立峰,男,30岁,博士研究生。

影响空间温度均匀度的一个重要因素。另外,舱体形状及舱内物体摆放也是影响因素之一,这里只讨论空的长方形或圆柱形舱(大多封闭环境试验舱为圆柱形)。显然,在这种情况下影响温度均匀度的因素只有舱体内壁温度分布和空间点的位置。

2.1 舱内壁温度分布对温度均匀度的影响

当空间内两点处在对称位置,即不存在位置差异带来的温度影响时,它们接收来自内壁的“冷”和“热量”差主要决定于内壁温度的分布。当内壁温度分布很均匀时,显然这两点间的温差接近 0(不可能十分均匀,所以只能是接近)。如果内壁温度分布不均匀,两点的温差要进行复杂的计算。所以在保证舱体“冷透”的条件下,可认为温度分布是均匀的。进行环境模拟试验时,只要内壁结构采取一定措施,并保证较长时间“冷透”,可认为环境舱内壁温度分布对空间温度均匀度的影响不大。

2.2 空间点所在位置对温度均匀度的影响

如图 1 所示,1 个圆柱形舱内,当舱壁“冷透”到一定温度 T 时,设舱内空气某一柱面各点的温度为 t ,此时内壁与此假设面的辐射传热^[2]为

$$q = \frac{2 L r (T^4 - t^4)}{1/\epsilon_1 + (r/R)(1/\epsilon_2 - 1)}$$

式中: q 为辐射传热量,单位为 W; L 为圆柱长度,单位为 m; R 为舱内径,单位为 m; r 为假设面半径,单位为 m; ϵ_1, ϵ_2 为内壁与假设面辐射率; ϵ 为斯特藩-玻耳兹曼常数。

由于研究对象为空舱,当系统达到相对稳定后,各个面之间的辐射传热 q 相对已经很小, $t \approx T$ 。即在系统达到“冷透”状态后,各点的位置对温度已经没有什么影响。

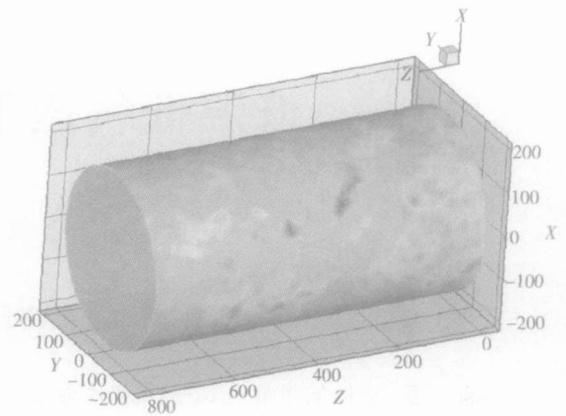


图 1 温度场整体分布图

Fig 1 The integrated distribution of temperature field

3 温度场分析

为进一步研究低温低气压下温度分布情况,采用 FLUENT6 分析软件,结合 Tecplot 后处理软件,对舱内温度场 3 个方向的截面进行分析。

3.1 初始条件设定

舱体简化为圆柱形,压力设定在 10 kPa (16 km 高空),初始温度 27 (300 K),向舱内通入 -100 (173 K) 冷空气,充气速度 1 000 kg/h。

3.2 流场分布

稳定后的温度场分布如图 1 所示,图 2a, 2b, 2c 分别为 X, Y, Z 3 个方向的截面温度分布。由流场图可看出,温度场的分布比较均匀。各截面上没有大的温度差别。可见,在低温低气压下,只要舱内温度达到稳定,温度均匀度可以得到保证。

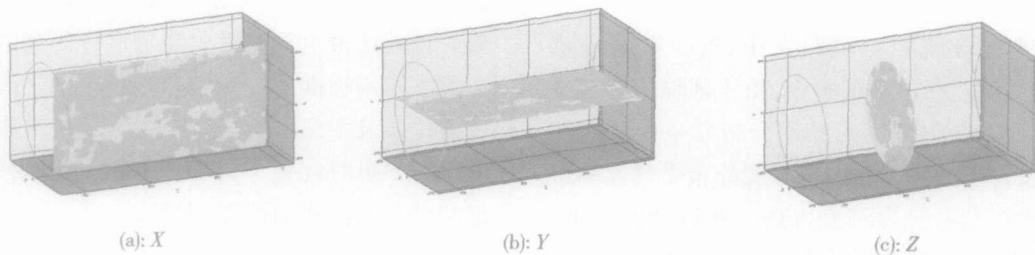


图 2 X, Y 和 Z 轴截面图

Fig 2 X, Y and Z axis profile

4 试验及分析

4.1 试验设备及方法

图 3 为试验设备原理和测点布置图,包括:内保温低气压舱、舱内单向开口冷却筒、测温传感器及显示仪表、冷却用空气制冷设备和抽空用柱塞式真空

泵;空气测点按高度分 3 层布置,同一高度布置 2 个测点。

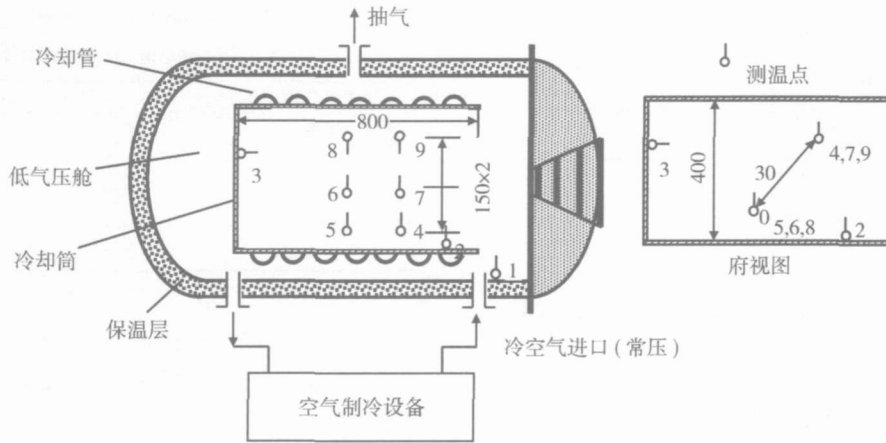


图 3 测点布置图

Fig 3 Arrangement of the test points

试验方法: 1) 先将舱内套筒一端内壁面(正对冷气进口)温度在常压下降至 -50°C , 保温 15 min。然后停止供冷气到舱内, 只保留向冷却筒外壁冷却管中供常压冷却空气, 测量各点温度。2) 分别将舱内压

力抽空到 22.5 kPa, 17.2 kPa 和 6.2 kPa, 稳定 5 min 后测各点温度值。

4.2 试验结果及分析

试验结果见表 1, 温度分布曲线如图 4 所示。

表 1 试验数据表

Table 1 Data of the experiment

气压 /kPa	时刻	测点 1/	测点 2/	测点 3/	测点 4/	测点 5/	测点 6/	测点 7/	测点 8/	测点 9/	备注
常压	11: 15	- 15. 0	- 50. 1	- 35. 1	- 28. 5	- 30. 0	- 24. 2	- 22. 4	- 13. 1	- 13. 2	状态不很稳定
	11: 17	- 14. 6	- 49. 8	- 33. 4	- 27. 8	- 29. 0	- 22. 6	- 21. 5	- 12. 2	- 12. 2	
	11: 20	- 14. 4	- 49. 6	- 32. 7	- 27. 4	- 28. 5	- 21. 7	- 20. 7	- 11. 7	- 11. 4	
22. 5	11: 27	- 13. 4	- 30. 0	- 33. 8	- 26. 3	- 26. 8	- 25. 5	- 25. 0	- 24. 8	- 25. 7	
	11: 30	- 13. 0	- 31. 5	- 32. 9	- 25. 2	- 26. 1	- 24. 9	- 24. 2	- 24. 1	- 24. 7	
	11: 33	- 12. 9	- 30. 8	- 32. 3	- 24. 2	- 25. 2	- 24. 0	- 23. 5	- 23. 3	- 24. 0	
17. 2	11: 35	- 9. 5	- 24. 1	- 23. 8	- 10. 9	- 10. 6	- 17. 6	- 12. 4	- 12. 0	- 10. 6	舱门有点漏风
	11: 37	- 9. 4	- 24	- 21. 1	- 10. 2	- 11. 3	- 15. 4	- 12. 8	- 11. 9	- 12. 7	
	11: 40	- 9. 2	- 19. 2	- 23. 1	- 12. 1	- 12. 7	- 15. 3	- 14. 4	- 13. 4	- 13. 9	
6. 2	11: 48	- 7. 0	- 15. 5	- 10. 9	- 11. 1	- 11. 0	- 10. 6	- 10. 1	- 9. 9	- 10. 4	
	11: 50	- 6. 4	- 5. 7	- 13. 9	- 9. 3	- 9. 4	- 9. 5	- 8. 9	- 8. 2	- 8. 6	
	11: 53	- 6. 2	- 5. 6	- 12. 8	- 9. 3	- 9. 6	- 9. 7	- 9. 5	- 9. 5	- 9. 8	
重新 稳定 (常压)	13: 28	- 0. 9	- 0. 5	- 0. 4	- 0. 6	- 0. 6	0. 3	0. 6	2. 2	2. 4	
	13: 30	- 0. 8	- 0. 5	- 0. 3	- 0. 5	- 0. 6	0. 4	0. 8	2. 3	2. 5	
	13: 33	- 0. 7	- 0. 4	- 0. 2	- 0. 4	- 0. 4	0. 6	0. 9	2. 4	2. 7	

低气压对水平、垂直方向温度分布的影响分别见表 2、表 3。对结果进行分析可得:

(1) 低气压对水平方向温度分布影响较小, 对垂直方向影响稍大, 但影响都有限。

(2) 和环境模拟舱相比, 试验所用设备尺寸小 3~5 倍, 绝对温差可能比实际小, 如果采取一定措施

可使温度均匀性改善, 使总的结果相差不大。

(3) 初始状态温度均匀度差是由于低气压舱冷空气由舱的侧前方直接经管道通入 (如 T_2 最低) 所致。

(4) 17.2 kPa 时 T_6 比 T_7 低得较多, 是由于舱内漏气所致。堵漏后 6.2 kPa 时两点差值由 5 降为 0.6。

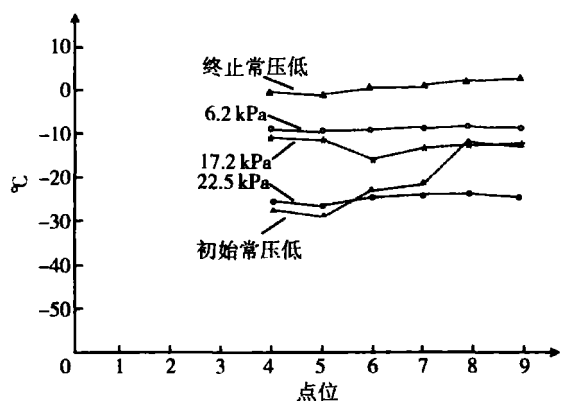


图 4 温度分布曲线图

Fig 4 Graph of temperature distribution

表 2 低气压对水平方向温度分布的影响

Table 2 Influence of the lower pressure on horizontal temperature distribution

气压 /kPa	$T_{4-5} /$	$T_{7-6} /$	$T_{9-8} /$
初始常压	-0.9	1.0	-0.3
22.5	-1.0	0.5	-0.7
17.2	-0.6	0.9	-0.5
6.2	-0.3	0.2	-0.3
终点常压	0	-0.3	-0.3

5 设备完善措施

为进一步减少低气压对温度均匀度的影响,可以采取以下措施:

(上接第 48 页)

(3) 采用带有均匀孔板分布器和不均匀分布器结构的改进型,利用 CFD 模拟计算表明:改进后的吸附柱内部速度场大大改善,使气流达到同步穿过吸附柱的均匀分布效果,不纯氧在 PSA 系统中减少出现。

(4) 利用现代 CFD 技术计算吸附柱内部物流分配规律,并优化其内部结构,对中国目前 PSA 系统的应用研究和设计开发具有现实意义。

参 考 文 献

1 叶振华. 化工吸附分离过程. 北京:中国石化出版社, 1992

表 3 低气压对垂直方向温度分布的影响

Table 3 Influence of the lower pressure on vertical temperature distribution

气压 /kPa	$T_{8-6-5} /$	$T_{9-7-4} /$
初始常压	16.8	16.0
22.5	1.5	1.1
17.2	2.9	-1.8
6.2	0.1	-0.5
终点常压	2.8	3.0

(1) 气流进入舱体内时,可采用全面孔板;

(2) 后部可采用循环风机来搅拌气流,使其混合更加均匀;

(3) 舱内壁可采用冷板来加强内壁的温度均匀性。

6 结 论

经过以上试验和理论分析,可以确定低温低气压对舱内温度均匀度影响不大,在采取一定措施时,可得到与常压相当的水平或更好。因此,在低温低气压试验中,可不必担心低气压对温度均匀度的影响。

参 考 文 献

1 王浚,黄本诚,万才大,等. 环境模拟技术. 北京:国防工业出版社, 1996: 270 ~ 272

2 J P 霍尔曼. 传热学. 马庆芳,马重芳,王兴国,译. 北京:人民教育出版社, 1980: 200 ~ 201

2 王华金. 大型变压吸附制富氧装置在工业中的应用及其发展趋势, 变压吸附设备技术交流论文集. 2002 5: 4 ~ 10

3 龚建英. PSA 空气分离吸附过程中的降压特性研究. 低温工程, 2002(4): 14 ~ 17

4 Z Yuwen, W. Yuyuan, G Jianying, et al. The experimental study on the performance of a small-scale oxygen concentration by PSA. Separation and Purification Technology, 2005, 42: 123 ~ 127

5 陶文铨. 数值传热学. 西安:西安交通大学出版社, 2001

6 化工设备设计手册编写组编. 化工设备设计手册. 上海:上海科学技术出版社, 1980