

真空多层绝热管道结露、结冰问题分析研究

赵 洲, 张安军

(北京航天试验技术研究所, 北京 100074)

摘 要: 本文对某发射场部分真空多层绝热管道外表面结露、局部结冰问题进行了详细的分析, 提出改进措施, 为后续真空绝热管道的生产提供借鉴。

关 键 词: 真空绝热; 结露; 结冰; 质量分析

中图分类号: TB71+6; TB751

文献标识码: B

文章编号: 1002-0322(2019)02-0041-04

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2019.02.08

Analysis and research on condensation and icing problems of vacuum multi-layer insulation pipe

ZHAO Zhou, ZHANG Anjun

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In this paper, the external surface condensation and partial icing problems of some vacuum multilayer insulation pipes in a launching site are analyzed in detail. Improving measures are then put forward, which may provide reference for future production of vacuum insulated pipes.

Key words: vacuum insulation; condensation; icing; quality analysis

真空多层绝热管道是发射场常用的液氢、液氧、液氮输送的地面设备, 其绝热性能的好坏影响管内介质的状态^[1,2]。本文针对某发射场部分真空绝热管道外表面结露、局部结冰问题进行了详细的分析, 提出改进措施, 为后续真空绝热管道的生产提供借鉴。

1 问题描述

某发射场在对氧氮库区到某塔架的 DN150 真空多层绝热管道进行液氮调试时, 发现部分真空多层绝热管道存在不同程度的结露、局部结冰现象, 问题管道数量 18 根, 包括分子筛处、波纹管处局部结露管道数量 6 根, 满管结露数量 10 根, 局部结冰管道数量 2 根。

2 问题定位及验证分析

该问题发生后, 对可能产生的原因进行了分析, 考虑造成真空管道局部结露和全部结露的情况可能是由于封口接头密封泄漏或管道材料放

气至真空度过低所致; 考虑局部结冰情况是由于管路短路所致^[1,2,3]。针对这几种情况进行了逐一的分析。

2.1 分子筛处、波纹管处结露问题定位及分析

2.1.1 封口接头密封泄漏情况分析

造成封口接头密封泄漏的情况可能是由于封口接头结构不合理或插拔不当造成。

1) 对现场局部结露管道的封口接头信息进行调查发现, 封口接头设计完全按照标准执行, 且对加工后的实物进行氦检漏复验, 漏率完全符合设计要求, 故封口接头结构不合理不是造成管道局部结露的主要原因。

2) 真空管道在进行夹层抽空、漏放气速率检测及封口等过程均需要进行插拔操作。插拔过于频繁容易造成封口接头密封不完全, 对现场问题管道的真空度进行检测, 检测情况见表 1。并根据国标漏放气速率测定方法^[4]反推出理论真空度的数值, 发现管道静态真空度比理论值稍有偏低, 若因为插拔不当, 真空夹层的真空度将明显

降低,故插拔不当不是造成真空管道局部结露的主要原因。

2.1.2 管道材料放气情况分析

造成管道材料放气的情况可能是由于真空管道内、外管材放气或绝热层夹层内材料放气。

1) 真空管道管材放气在夹层材料放气中占重要比例,该批问题管道内、外管的材质为06Cr19Ni10,经查找管材放气速率见表2所示。随着时间的增长,在经过一个抽空周期(18天)后,管材的放气速率接近于零,即放气接近完全,故管材放气不是主要因素。

2) 根据数据统计,真空管道真空度较理论计算值降低不大于4Pa,并没有大幅度降低。分析生

产工艺过程,绝热层缠的越紧,内管外壁和绝热层外表面的压差越大,抽空阻力增大,不利于抽空,在真空管道制作过程中,因工作任务重,时间紧迫,为提高抽空效率,经工艺改善后抽空时间由原来的1个月缩短至18天,相对以往抽空时间较短,绝热层内表面及层间的气体分子因夹层阻力滞留,未被抽出,现场安装后,由于现场环境温度高,绝热层内表面及夹层内的气体分子慢慢溢出,故造成夹层内的真空度较理论计算值偏高。分子筛盒处未缠绕绝热层、内波纹管与外管内壁间隔过小,传热能较管道其它部位大,故真空管道外表面结露时,首先发生在分子筛和波纹管处。

表 1 局部结露真空管道信息表

Table 1 Information list of partial condensation vacuum duct

序号	编号	管道静态真空度(Pa)	理论计算值(Pa)	实际与理论差值(Pa)
1	11002	6.4	3.66	2.74
2	11003	6.0	3.32	2.68
3	11015	5.8	2.18	3.62
4	11030	6.2	3.05	3.15
5	11033	6.9	4.33	2.57
6	11107	5.0	2.95	2.05

表 2 管材放气速率

Table 2 Gas release rate of pipe material

单位:Pa·L/s·m²

材料	表面处理	1h	2h	5h	10h	20h	50h
06Cr19Ni10	抛光	1.07 × 10 ⁻²	4.67 × 10 ⁻³	1.73 × 10 ⁻³	7.33 × 10 ⁻⁴	3.33 × 10 ⁻⁴	-

经分析,分子筛处、波纹管处结露问题本质因素为绝热层材料放气不完全所致。

2.2 满管结露问题定位及分析

2.2.1 封口接头密封泄漏情况分析

造成封口接头密封泄漏的情况可能是由于封口接头结构不合理或插拔不当造成。

1) 封口接头采用同批次合格产品,排除此原因。

2) 真空管道在进行夹层抽空、漏放气速率检测及封口等过程均需要进行插拔操作。插拔过于频繁容易造成封口接头密封不完全,在内、外压差的作用下,会有大量的空气分子进入真空夹层,导致真空夹层真空度大幅度降低。对现场问题管道的真空度进行检测,检测情况见表3。发现管道静态真空度远低于理论值,真空夹层的真空度明显降低,故插拔不当可能是造成满管结露

的主要原因。

2.2.2 管道材料放气情况分析

经分析造成管道材料放气的情况可能是由于真空管道内、外管放气或绝热层夹层内材料放气。管材放气和绝热层夹层放气,不会导致管道真空度急剧下降,故管道材料放气不是主要因素。

2.2.3 满管结露现象分析验证

当夹层真空度超过一定值时,夹层内除分子筛盒和波纹管处,其余夹层空间内的换热量增大,当换热超过当时、当地条件下的露点时就会发生结露现象。

按照设计要求,在正常情况下,每年真空管道夹层真空度升高约1.6Pa左右为正常现象,由表3数据统计发现夹层真空度升高的数值远大于设计漏率要求,为此考虑是由于机械密封原

表 3 满管结露管道夹层真空度

Table 3 Interlayer vacuum degree of full condensation pipe

序号	编号	理论计算真空度(Pa)	实际真空度(Pa)	实际真空度 / 理论计算值
1	11016	5.4	280	51.85
2	11048	6.5	95	14.62
3	21080	4.3	185	43.02
4	21127	4.2	110	26.19
5	21156	6.2	56	9.03
6	21157	5.0	79	15.8
7	21158	4.0	137	34.25
8	21168	6.3	89	14.13
9	21174	8.4	110	13.1
10	21179	3.6	145	40.27

因, 查看真空封口接头密封形式, 在进行封口时, 若按压不彻底, 或插拔角度过大, 易造成密封不完全或密封圈脱离密封槽的情况, 因此导致泄漏率增大, 进而影响了夹层真空度。如图 1、图 2 所示。

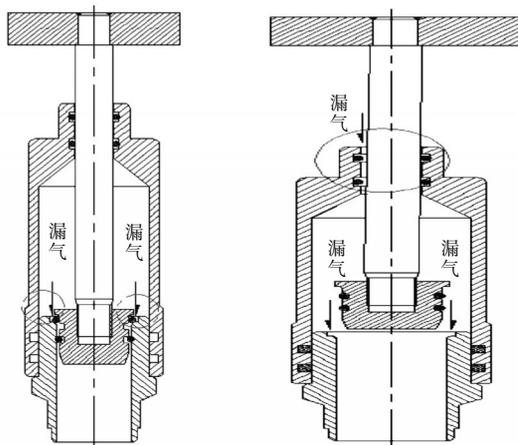


图 1 按压不彻底泄漏图 Fig.1 Diagram of leakage due to pressing no thorough
图 2 插拔角度不当泄露图 Fig.2 Leak diagram due to improper angle drawing

对现场几根管道的密封情况进行查验, 发现密封圈完好, 但有部分密封圈脱离密封槽, 与理论分析吻合。因此, 满管结露现象主要是因为真空管道封口操作不当导致密封圈密封不完全所致。

2.3 管道局部结冰问题定位及分析

当外管壁温低于 0℃ 达到凝固点以后就会发生管道结冰现象, 引起结冰现象有两方面原因: 一、夹层真空度过高; 二、夹层内、外管短路。若夹层真空度过高为主因, 则管道会出现全部结冰现象, 与实际情况不符, 可以排除。因此, 主要考虑内外管短路的情况, 且根据管道结冰的位置, 管

道结冰处在内波纹管处, 对比图纸 3 可知, 内波纹管外壁玻璃纤维布搭接外管内壁导致管道结冰。

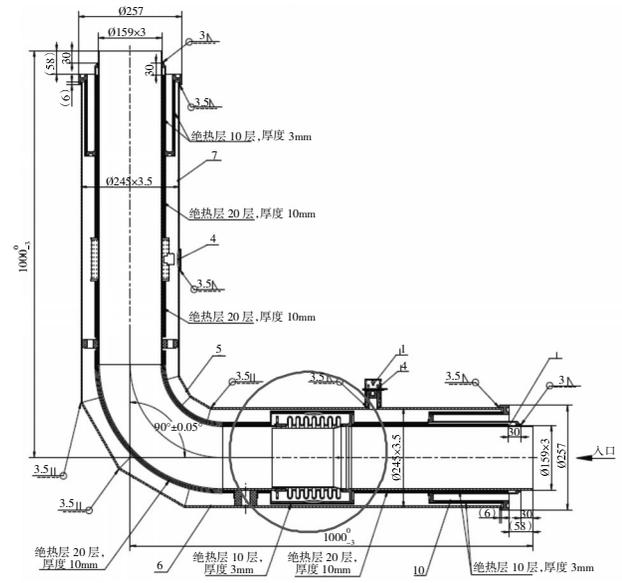


图 3 真空弯头结构图 Fig.3 Structure diagram of vacuum elbow

为此, 现场对一根 DN150 的弯管进行解剖, 发现内波纹管外套管与外管内壁间隔较小, 不足 0.01m, 且内波纹管外套管边缘处玻璃纤维布翘起, 玻璃纤维丝伸长高度约 0.05m, 与外管内壁连接。因此断定结冰现象的主因是内、外管短路。解剖情况见图 4、图 5 所示。

3 改善措施

通过以上分析, 为尽快解决问题, 我所将问题分门别类, 积极采取相应对策。针对管道结露现象, 立即调用抽空设备进行抽空, 提高夹层真空度。

针对局部结冰情况, 对问题管道(共两根)进

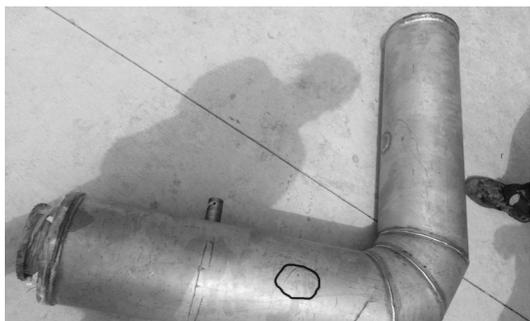


图 4 管道结冰位置

Fig.4 The ice position on the pipe

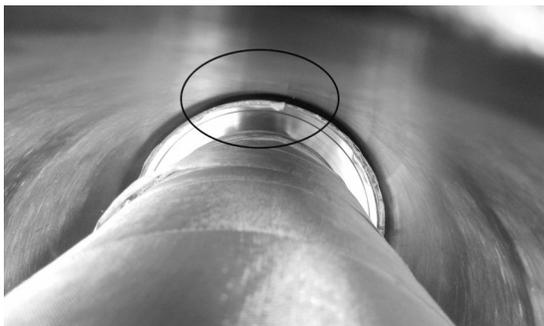


图 5 内波纹管与外管内壁搭接

Fig.5 The overlapping of inner bellows and inner wall of outer tube

行更换。

4 结论

为做到更好,提供给用户 100%的满意,今后应加强真空管道各项性能指标的关注,及时发现问题,早做防范,具体做到如下几点要求:

(1)对抽空工艺进行深入研究,在提高抽空效率的同时,保证材料充分放气;

(2)对缠绕工艺进行深入研究,探寻更合理的缠绕方式,降低内、外管道搭接的概率。

(3)优化真空封口接头密封形式,降低泄漏隐患。

参考文献

[1] 徐烈.低温技术[M].上海:上海交通大学出版社,1988.

[2] 徐烈,方荣生,马庆芳,等.低温容器—设计、制造与使用[M].北京:机械工业出版社,1984.

[3] 符锡理.真空多层绝热夹层真空度研究[J].低温工程,1991(6):1—8

[4] 王芳,周伟朋,罗晓明. GB/T18443.4-2010.真空绝热深冷设备性能试验方法 第 4 部分:漏放气速率测量[S].北京:中国标准出版社,2011:3.

中国科协 教育部 科技部 卫生计生委 中科院 工程院 自然科学基金会
 印发《发表学术论文“五不准”》

发表学术论文“五不准”

- 1.不准由“第三方”代写论文。科技工作者应自己完成论文撰写,坚决抵制“第三方”提供论文代写服务。
- 2.不准由“第三方”代投论文。科技工作者应学习、掌握学术期刊投稿程序,亲自完成提交论文、回应评审意见的全过程,坚决抵制“第三方”提供论文代投服务。
- 3.不准由“第三方”对论文内容进行修改。论文作者委托“第三方”进行论文语言润色,应基于作者完成的论文原稿,且仅限于对语言表达方式的完善,坚决抵制以语言润色的名义修改论文的实质内容。
- 4.不准提供虚假同行评审人信息。科技工作者在学术期刊发表论文如需推荐同行评审人,应确保所提供的评审人姓名、联系方式等信息真实可靠,坚决抵制同行评审环节的任何弄虚作假行为。
- 5.不准违反论文署名规范。所有论文署名作者应事先审阅并同意署名发表论文,并对论文内容负有知情同意的责任;论文起草人必须事先征求署名作者对论文全文的意见并征得其署名同意。论文署名的每一位作者都必须对论文有实质性学术贡献,坚决抵制无实质性学术贡献者在论文上署名。

本“五不准”中所述“第三方”指除作者和期刊以外的任何机构和个人;“论文代写”指论文署名作者未亲自完成论文撰写而由他人代理的行为;“论文代投”指论文署名作者未亲自完成提交论文、回应评审意见等全过程而由他人代理的行为。

(来源: <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/16822605.html>, 中国科学技术协会 发布时间:2015 年 12 月 01 日)

(沈阳真空杂志社)