

制氢转化炉转化管爆管原因分析

陈铁铮¹，徐俊宽¹，刘军¹，王欣²

(1.中国兵器北方华锦化学工业集团，辽宁省盘锦市124000；2.中石化洛阳工程有限公司，河南省洛阳市471003)

摘要：制氢转化炉炉管的爆管部位一般集中在高温区，中国兵器北方华锦化学工业集团炼化分公司制氢转化炉爆管区域发生在低温区，设计使用寿命10万小时，实际使用4万5千多小时。采用宏观、微观、化学成分及力学性能分析等手段，对转化炉管材质劣化现象进行了综合分析，分析认为：高温预热器堵塞且火焰过长，高负荷运行时烟气流道不畅，火焰发飘舔炉管，造成炉管超温，长时间运行会发生高温蠕变；热膨胀不均匀，局部应力过大，导致爆管，并提出几点建议。

1制氢转化炉简介

中国兵器北方华锦化学工业集团炼化分公司制氢转化炉，设计规模为50dam³

/h，操作弹性50%~110%，具有入口温度高、出口温度高、辐射热强度高、水碳比低的特点。转化炉由辐射段和对流段组成，辐射段176根转化管分4排，每排44根，燃烧器采用高效顶烧式，对流室为七段模块回收余热。装置单炉连续运行，加工负荷只能控制在70%左右[负压维持在-20~(-50)Pa]，高负荷(超过70%)运行时炉膛火焰混乱，负压上升[大于(-20Pa)]，存在舔炉管现象。

转化管于2016年1月先后两次爆管。材质为ZG₄₀Cr₂₅Ni₃₅Nb-TiZr(HP-Nb)型耐热钢，离心铸造及静态铸造，已使用4万5千多小时，正常使用寿命应在10万小时。这种材质有很好的抗蠕变、耐高温和耐腐蚀的特性，但持续的超温或者局部温度过高，会导致材料抗蠕变性能降低，蠕变裂纹加速扩展。寿命评估结果及计算表明，HP-Nb炉管在920~950℃长期运行时，温度每提高10℃，炉管的使用寿命大约会降低一半。两次爆管均在烟气流方向首端两侧，烟气通道以上1m左右，属于低温区。现场对转化管爆管位置附近腹膜进行检查，发现组织劣化明显。抽检该位置其他转化管，均有不同程度组织劣化。

2性能分析

对爆管的两根转化管分别取上段和爆管部位，标记为1-1上、1-1下、4-1上、4-1下，取一根未爆管的转化管的上段、中段和下段，标记为未爆-上、未爆-中、未爆-下，做组织性能检测分析。

2.1化学成分分析

表1为3根转化管下部位置的化学成分分析结果，表明转化管的化学成分符合标准要求。

表1 化学成分分析结果
Table1 Results of chemical composition analysis w, %

项 目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Nb
1-1 下	0.43	1.19	1.25	0.009	0.023	25.27	33.78	0.82
4-1 下	0.41	1.17	1.14	0.011	0.027	25.25	33.95	0.78
未爆-下	0.41	1.13	1.03	0.010	0.033	25.14	33.21	0.77
标准	0.35-0.45	<2.0	<1.5	<0.04	<0.04	23-27	33-37	0.7-1.5

2.2宏观分析

转化管开裂均为纵向开裂，裂纹萌生于管壁内表层，开裂区已蠕胀隆起，纵向主裂纹边缘区及其前端分布有多条宽窄与长短不均的小裂纹。裂口宏观形貌特点特征符合内压管材高温蠕胀破坏特征，两根炉管的破裂为典型的应力蠕变破裂。

2.3横截面低倍组织分析

为了分析转化管离心铸造状态的组织质量，分别对7个管段的横截面进行冷酸腐蚀及低倍组织分析。横截面低倍组织均由两部分组成，外层为柱状晶层，内层为等轴晶层，基本各占1/2左右；转化管常规要求柱状晶与等轴晶层比例

为3~7。冷酸腐蚀及低倍组织分析发现，各管段横截面低倍组织不符合HP离心铸管的要求，横截面内表面加工合理，未见明显残存的疏松等离心铸造缺陷。

2.4 微观组织分析

2.4.1 爆管微观组织分析

图1和图2分别为爆管1-1和爆管4-1的3个不同取样的微观组织分析。采用王水腐蚀，在高倍显微镜下进行横截面内表面层微观组织观察。

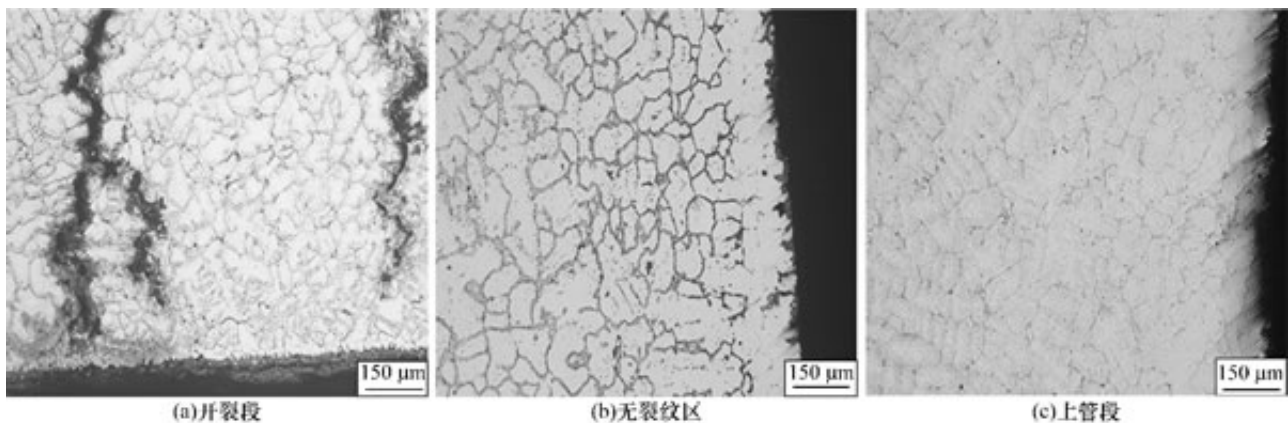


图1 爆管 1-1

Fig. 1 Exploded tube 1-1

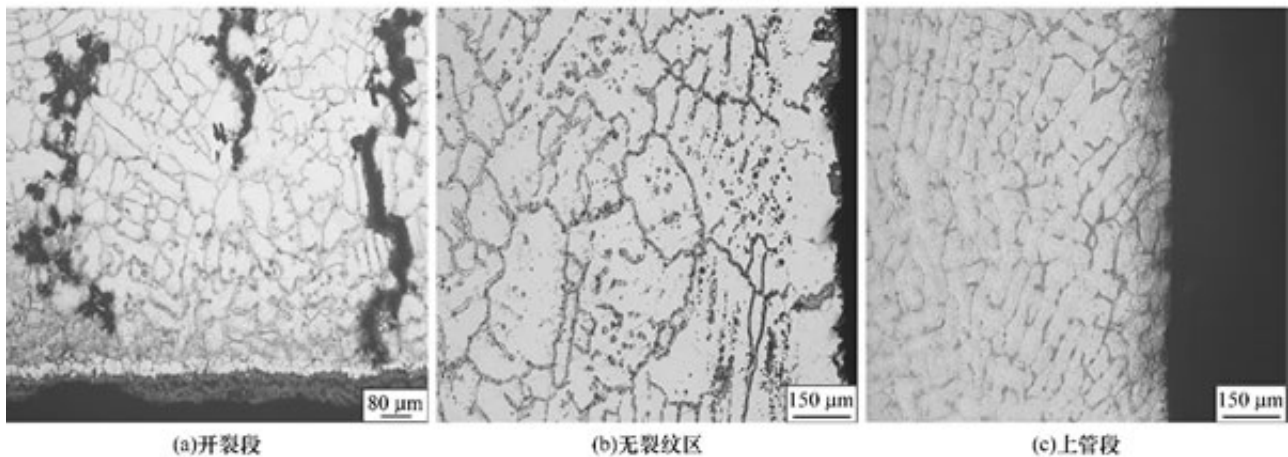


图2 爆管 4-1

Fig. 2 Exploded tube 4-1

由图1~2可以看出，开裂部位裂纹边缘处横截面分布有大量密集裂纹，并向外壁扩展，有的已经形成穿透裂纹，而开裂段前无裂纹区和上管段逐渐好转。三者组织中的晶界碳化物已由原铸态的骨架状共晶碳化物转变成网链状，组织劣化，开裂部位劣化严重，上管段劣化较轻，力学性能严重降低，开裂部位未发现明显的冶金缺陷。

2.4.2 未爆管管段微观组织分析

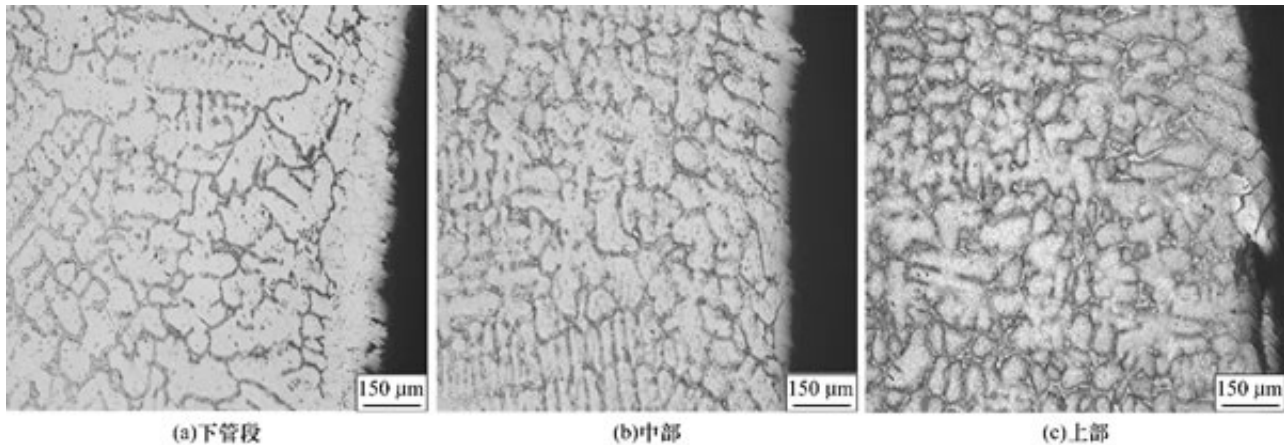


图3 未爆管

Fig.3 Unexploded tube

图3为未爆管微观组织。由图3可以看出，下部组织中的晶界碳化物已由原铸态的骨架状共晶碳化物转变成网链状，组织劣化严重，而由中间向上部逐渐好转，上部未明显向网链状转化，组织劣化较轻。

转化管下段及中段的微观组织均为严重劣化，上段劣化均较轻，炉管组织中未见超标的夹杂物及疏松等冶金缺陷，说明使用过程中，下、中部管段的温度较高。

2.5力学性能分析

表2~3为转化炉管力学性能测试结果。由表2~3可知，试样抗拉强度、屈服强度、延伸率均远低于标准；冲击韧性仅3J左右，脆化明显。以上结果显示，转化管的常温力学性能已经发生明显的劣化，其塑性明显下降。

表2 常温拉伸性能测试

Table 2 Test results of tensile properties
at room temperature

试 样	屈服强度/MPa	断裂强度/MPa	延伸率, %
1-1 上			
1	171	510	4.5
2	168	487	4.3
3	174	488	4.5
平均值	171	495	4.4
4-1 上			
1	174	521	5.0
2	190	526	4.5
3	191	528	4.9
平均值	185	525	4.8
未爆-上			
1	200	554	3.7
2	212	538	4.5
3	218	558	3.8
平均值	210	550	4.0
未爆-中			
1	180	391	5.5
2	180	376	5.0
3	185	388	5.0
平均值	183	385	5.2
未爆-下			
1	171	365	5.0
2	155	372	4.7
3	175	373	4.8
平均值	167	370	4.8
标准值	290	560	12

表3 冲击韧性测试

Table 3 Impact toughness test results

试 样	冲击韧性/J	试 样	冲击韧性/J
1-1 上		未爆-中	
1	3.1	1	3.0
2	3.0	2	3.0
3	2.9	3	3.1
平均值	3.0	平均值	3.0
4-1 上		未爆-下	
1	2.8	1	2.5
2	3.2	2	2.6
3	2.9	3	2.5
平均值	3.0	平均值	2.5
未爆-上		标准值	20 ~ 30
1	3.2		
2	3.0		
3	2.8		
平均值	3.0		

3应对措施及操作中注意事项

(1)减少开停工次数

制氢装置开停工过程中，转化管温度变化非常大，使转化管受到强烈冷热冲击，特别是非计划停工，温度下降迅速，转化管寿命大幅下降。应严格执行开停工升降温度曲线，避免温度变化过快，并尽量减少开停工次数。

(2)降低催化剂结炭机率

由于装置生产负荷较低，物料在集合管中流速较慢，造成转化管中物料分布不均，产生偏流，加重催化剂的结炭倾向。

(3)燃烧器燃烧状况

燃料气在各个火嘴压力不均，造成部分燃烧火焰过长，直扑炉管，或者风门调节不当，氧含量偏低，产生二次燃烧，尾焰舔炉管，这都极易造成炉管红管、积炭。操作中应及时调整燃料气手阀和风门开度，使每台燃烧器火焰刚直有力。

(4)严密监控炉管运行状况

目前有使用红外热成像仪技术对辐射室内各个部位进行实时温度监控，数据引入DCS系统；或者由操作人员每天测量转化管外壁温度，并做好记录，如有异常可及时调整燃烧器，使整个炉膛热量分布均匀，严格控制炉管表面温度在850℃以下。

4结论

材质为ZG₄₀Cr₂₅Ni₃₅Nb-TiZr的转化管设计寿命10万小时左右，造成仅使用4万多小时就提前破裂失效的因素主要有两个方面，一是转化管制造质量；二是转化管在使用中的运行温度。

由样件组织性能检测分析表明：转化管冶金质量、组织基本符合HP离心铸管的要求，内表面加工合理，虽未见明显残存的疏松等离心铸造缺陷。但从金相组织分析可以看出，离心铸管制造过程中结晶成型时冷却速度慢，造成柱状晶比例偏少，导致抗局部高温时强度偏差，且组织中的晶界骨架状共晶碳化物已转变成网链状，晶内的奥氏体基体中二次碳化物有的已经基本消失，组织已严重劣化。组织劣化后其常温力学性能(特别是塑性)明显下降，高温强度显著降低，进而导致使用中发生蠕变破裂而提前失效。在装置运行过程中，使用温度较高并较长时间超出了正常温度范围，是造成爆管的直接原因。

参考文献

- [1]崔海兵，刘长军，蒋晓东.制氢转化炉HP40炉管开裂失效分析[J].化工设备与管道，2004，41(4)：51-52.
- [2]王富岗，徐善国，王来，等.运行4万小时的HK40炉管的研究及其剩余寿命预测[J].大连理工大学学报，1982(4)：165-167.
- [3]王汉军，薄锦航，张国良，等.制氢转化炉炉管失效分析[J].石油化工腐蚀与防护，2004，21(3)：23-24.
- [4]武俊伟，李明，李晓刚，等.HK-40钢制氢转化炉炉管失效分析[J].理化检验-物理分册，2003，39(6)：318-319.
- [5]黄双，何新民，王志宽，等.制氢转化炉炉管失效国内情况调查及建议[J].石油化工设备，2015，44(2)：61-62.
- [6]段振国，吕胜杰.制氢转化炉炉管服役后的安全性分析[J].石油化工设备技术，2010，31(4)：57-58.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/157831.html>