

制氢钢瓶爆裂失效分析

张杰，邱康勇，吴继权

摘要：通过宏观检查并结合台式直读光谱仪OES、万能材料试验机UTM、金相显微镜OM、扫描电子显微镜SEM、能谱仪EDS等检测分析仪器，对一只爆裂制氢钢瓶进行失效分析。结果表明：靠近钢瓶底部过渡圆弧位置的内壁上存有环向裂纹；该钢瓶作为氢气反应容器及氢气存储容器时在长期使用过程中，内壁承受交变压应力；在交变压应力作用下，环向裂纹向外扩展，造成钢瓶有效壁厚减薄，减薄到不足以承受内部压力时，钢瓶发生爆裂。

引言

通常能使气球升空的气体有两种，氢气与氦气。氢气作为一种活泼气体，极易燃烧；氦气属于惰性气体，不能燃烧，安全性较高。早在2006年7月，中国气象局、国家安全监管总局、教育部等部门就联合下发了《关于进一步加强施放气球安全管理工作的通知》，要求以惰性气体取代氢气作为气球的填充物，同时严禁手持氢气球的施放活动，并明确规定在公共场所禁止灌装、施放氢气球及其升空物，严禁在各种场合灌装手持氢气球。但由于氢气与氦气在生产过程中存在巨大成本差，使得市场上销售的手持气球绝大多数仍为氢气球。其中，不少商贩制作氢气球流程为，利用液化气瓶或自制气瓶(罐)作为氢气发生、储存容器，并将烧碱、硅粉、水反应产生的氢气充入玩具气球。这种利用简易制氢装置生产氢气的过程同样充满了危险性。

2017年2月某日，深圳市某出租房发生一起制氢钢瓶爆裂事故。该房租客像往常一样利用NaOH与Si反应制造氢气，在依次往钢瓶内添加2碗烧碱、1碗硅粉、1桶水后，还未来得及往钢瓶表面浇水，钢瓶发生爆裂，并冲向楼板。钢瓶底部整体发生断裂，钢瓶头部在与楼板撞击的过程中发生变形，同时墙体发生开裂；钢瓶内的液体溅入该租客眼睛，造成该租客眼睛受伤。钢瓶使用未满1年时间。为避免类此事故再次发生，笔者在此对爆裂制氢钢瓶进行失效分析，找出失效原因。

1 试验过程与结果

1.1 宏观检查

1.1.1 钢瓶外观形貌检查

爆裂钢瓶外观形貌见图1，从图中可见：钢瓶表面覆有蓝色油漆，油漆面不完整；钢瓶表面无任何标识；钢瓶爆裂发生在底部过渡圆弧位置；瓶底整体与瓶身分离。

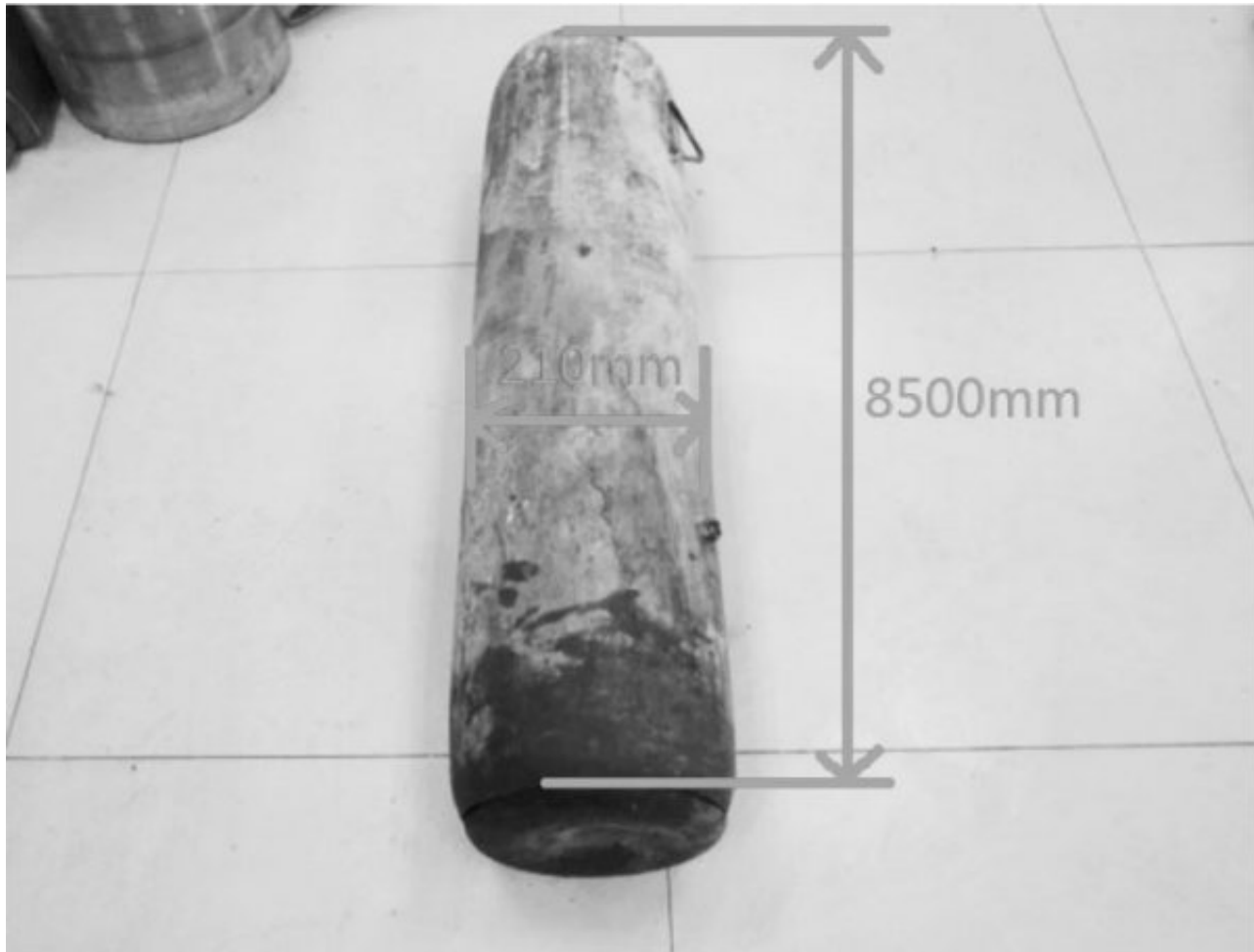


图 1 钢瓶外观形貌

1.1.2 钢瓶几何测量

对钢瓶进行几何测量，从底部到肩部长为8500mm，中部外径为210mm，平均壁厚为8.5mm。断裂处于底部过渡圆弧位置，此处平均壁厚为7.4mm。

1.1.3 钢瓶断口形貌检查

钢瓶断口形貌见图2。从图中可见：钢瓶断口分为暗黑区域与明亮区域。暗黑色区域是陈旧断口，为本次断裂之前发生的断裂；明亮区域为新鲜断口^[1]，为本次断裂产生的结果。明亮区域断口中最薄处壁厚为2.8mm。



图 2 断口形貌

1.2化学成分分析

在爆裂钢瓶上截取光谱试样，经清洗、干燥、打磨后，采用台式直读光谱仪进行化学成分光谱分析，分析结果见表1。钢瓶化学成分光谱分析结果符合GB/T699-2015《优质碳素结构钢》^[2]对20#钢的技术要求。

表 1 化学成分分析结果(质量分数/%)

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
实测值	0.201	0.218	0.425	0.0150	0.0054	0.013	0.007	0.018
标准值	0.17 ~0.23	0.17 ~0.37	0.35 ~0.65	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.25	≤ 0.30	≤ 0.25

1.3力学性能测试

在爆裂钢瓶上截取两个纵向拉伸试样进行拉伸试验，拉伸试验结果见表2。钢瓶的拉伸试验结果符合GB/T699-2015《优质碳素结构钢》^[2]对20#钢的技术要求。

表 2 力学性能测试结果

项目	抗拉强度 /Rm (MPa)	屈服强度 /ReL (MPa)	断后伸长率 /A (%)
1# 试样	533	388	25.5
2# 试样	535	396	26.5
标准值	≥410	≥245	≥25

1.4金相组织分析

在钢瓶上取截面试样，经镶嵌、打磨、抛光后，用4%硝酸酒精溶液进行浸蚀。钢瓶金相组织见图3，金相组织为铁素体+珠光体。根据GB/T13299-91《钢的显微组织评定方法》[3]中的带状组织评定，带状组织评级结果为2级。

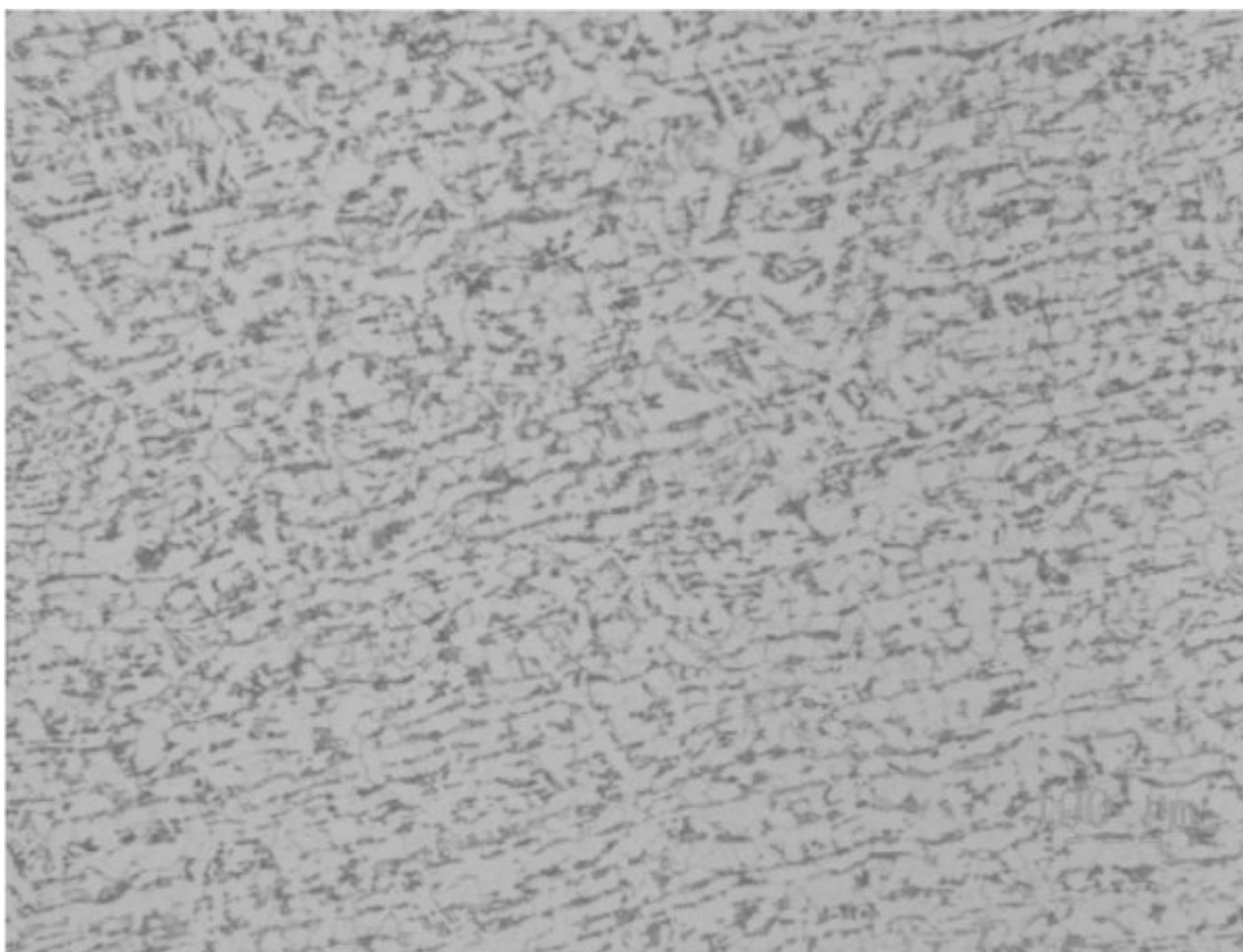


图 3 铁素体 + 珠光体

1.5断口扫描电镜分析

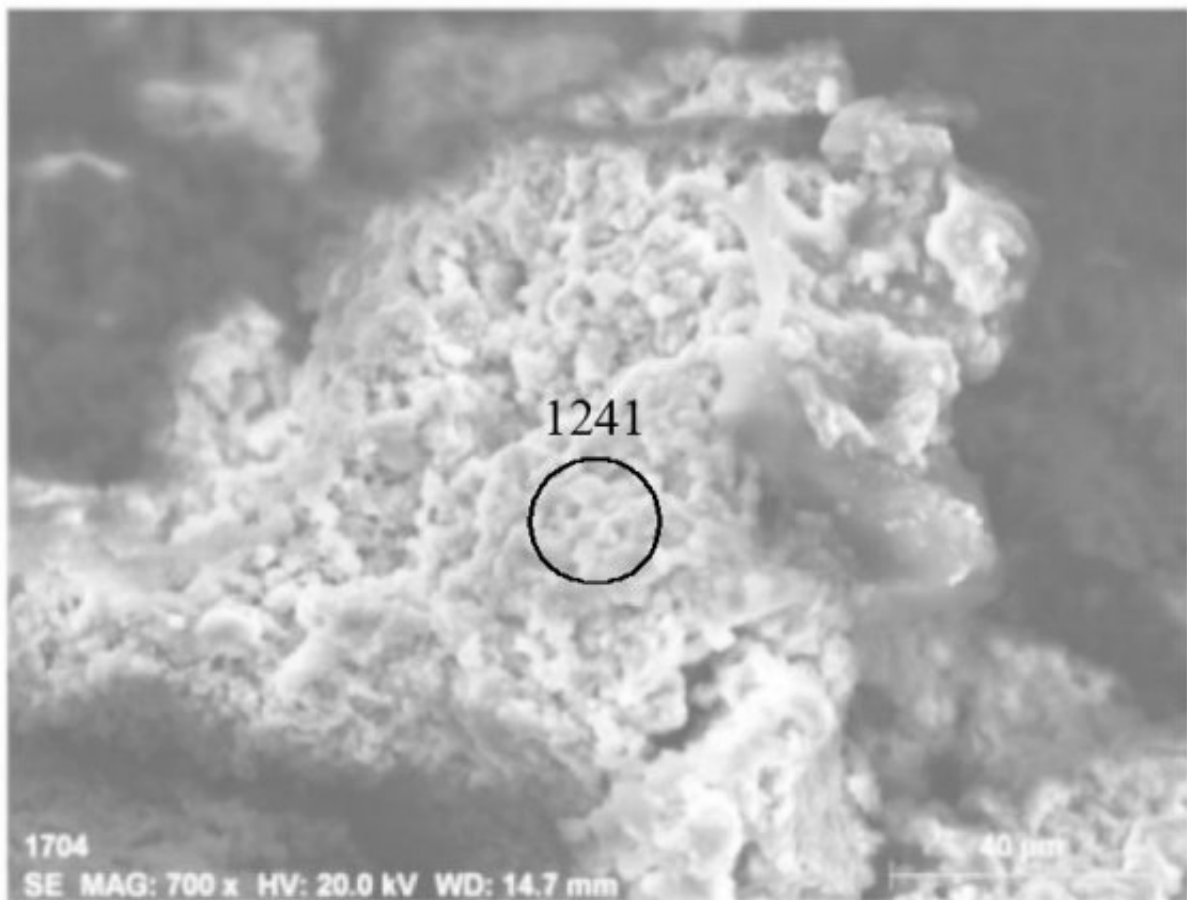
1.5.1断口形貌观察与分析

从断口上取样，经无水酒精清洗干净、干燥后，置于扫描电镜下进行观察。陈旧断口位置上可见明显覆盖物，覆盖物形貌见图4

。覆盖物能谱分析结果见

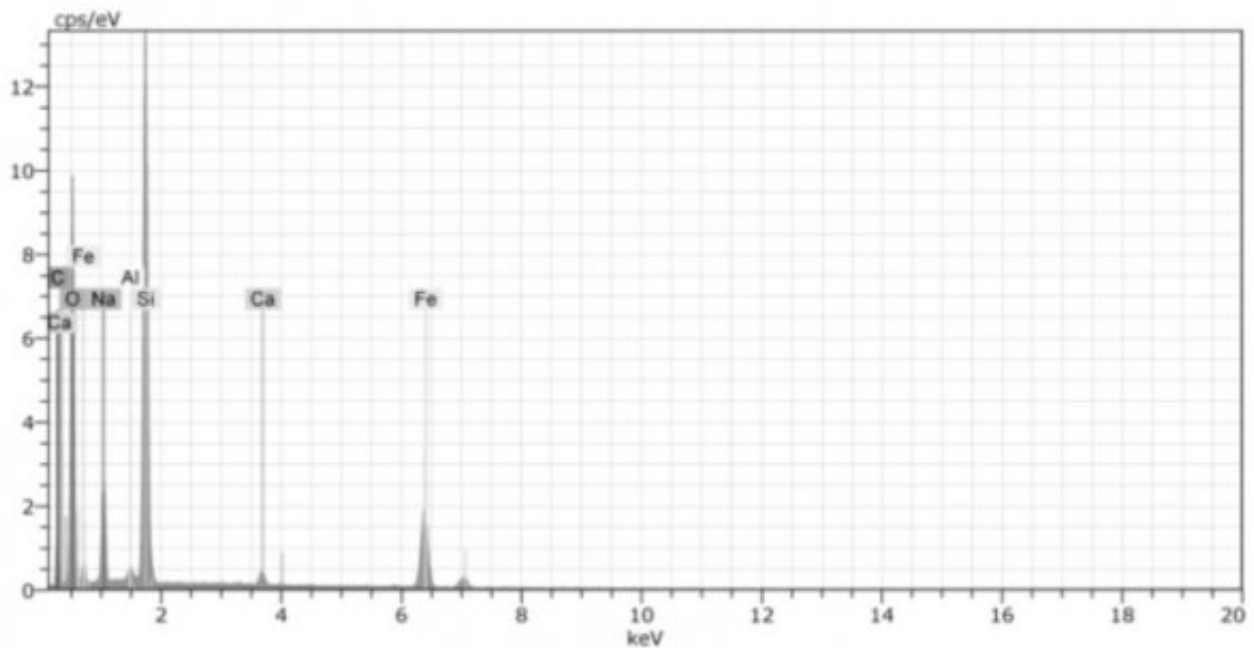
图5，由分析结果可推断出该覆盖物应为制氢过程

中的反应产物 Na_2SiO_3 ，同时还有少量Al、Ca元素，Al、Ca元素为所加物品中的杂质元素。



1704日期：2017-2-21 9:46:23图像尺寸：3000 x 2250

图4 覆盖物形貌



1241 日期:2017-2-21 9:48:05 高压:20.0kV 脉冲:3.76kps

图5 覆盖物能谱分析结果

将陈旧断口进行进一步清洗干净、干燥后，置于扫描电镜下进行观察。断口形貌见图6。图中可见大量细小韧窝，韧窝边缘形状完整。

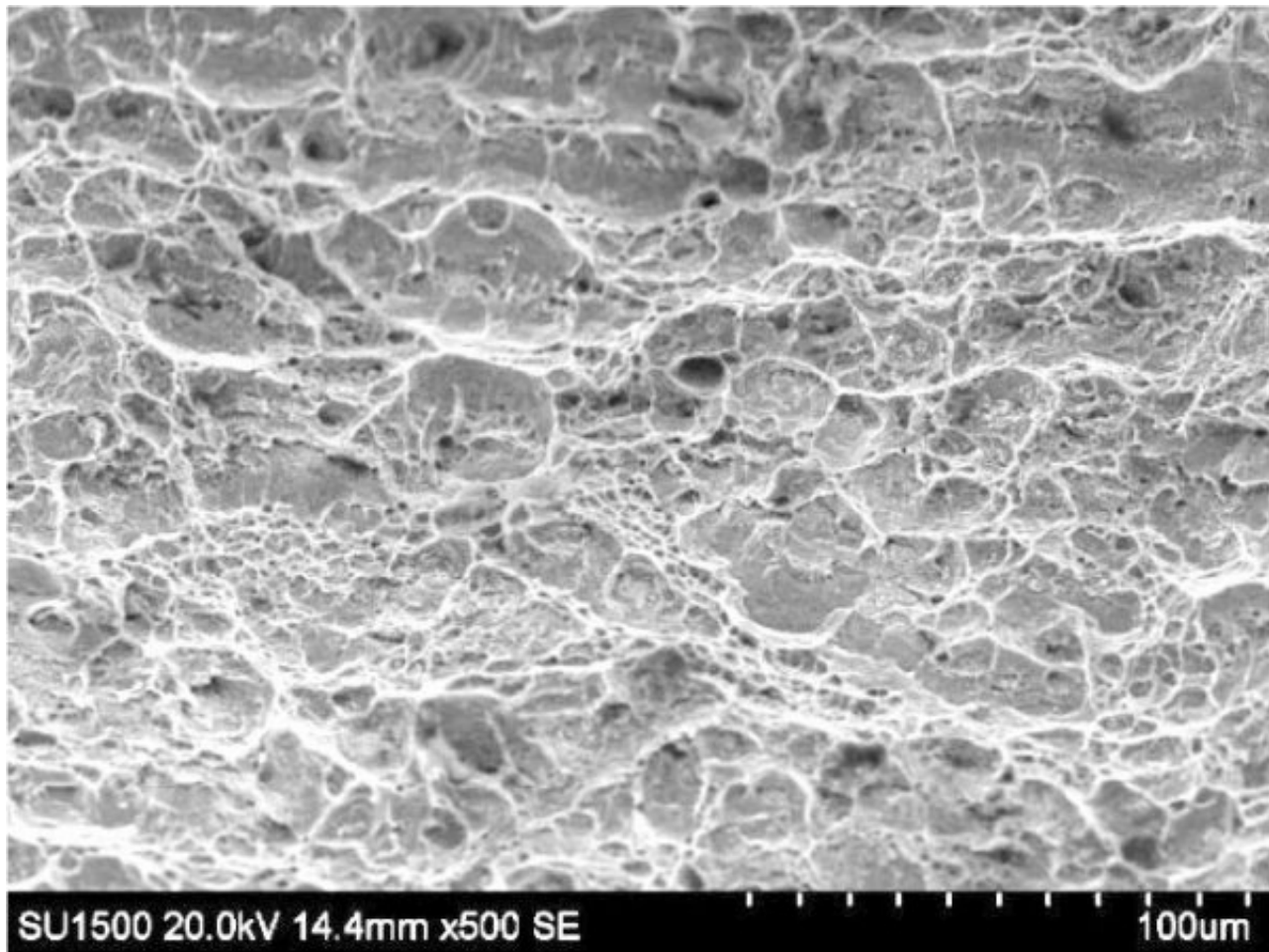


图 6 断口微观形貌

1.5.2断口附近内壁形貌观察及分析

对断口附近内壁表面进行观察，在断口附近可见与断口平行的微裂纹（环向裂纹）存在（见图7）。

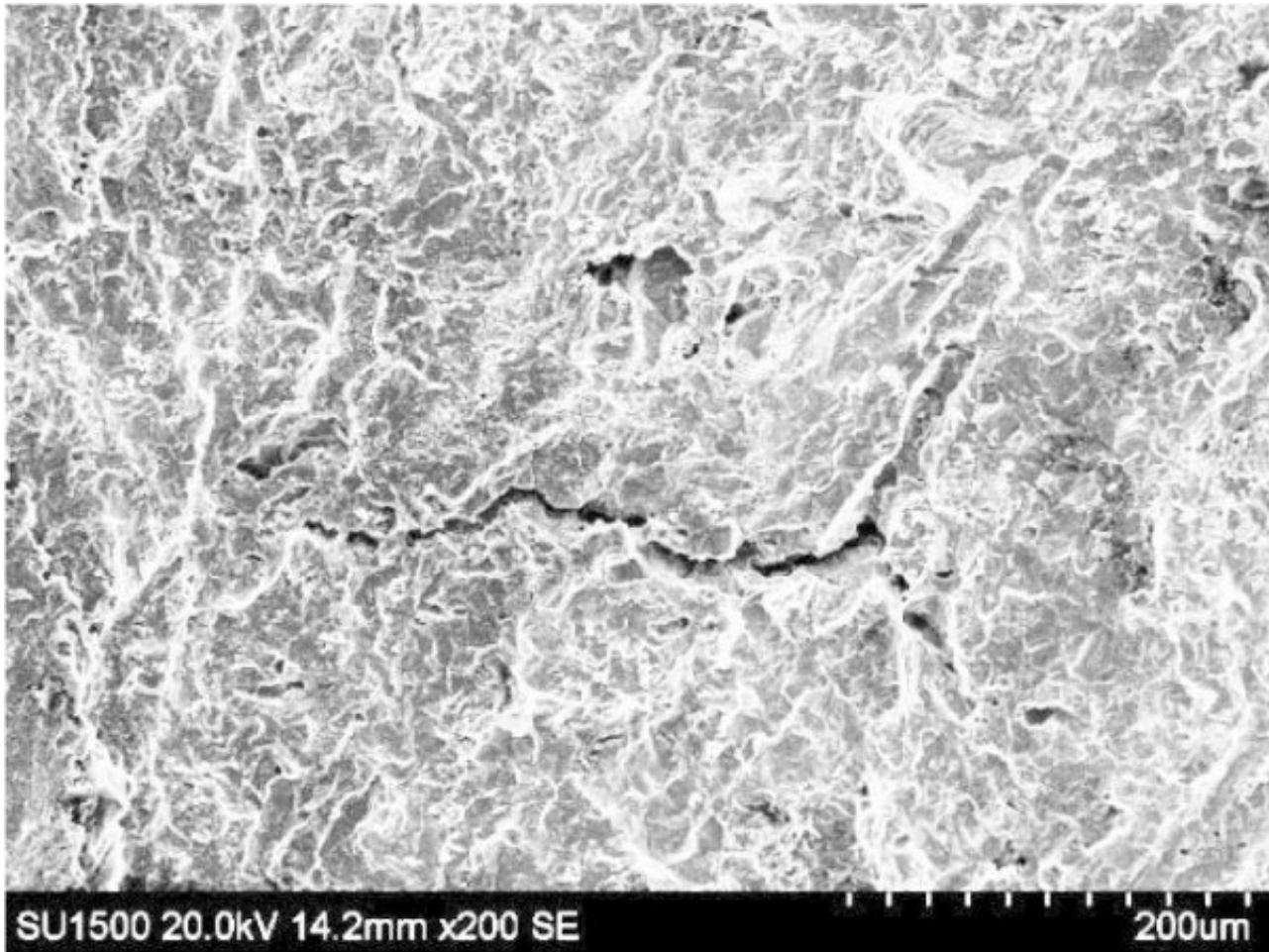


图 7 环向裂纹

2分析与讨论

本次事故中的钢瓶在使用过程（制氢、储氢、放氢），内壁承受的压力是先升后降的过程。其中在制氢阶段伴随放热过程，使得内壁受压持续升高。

在钢瓶循环往复的使用中，内壁承受交变压应力^[4]

。该钢瓶反复使用且在制氢的原料成分、配比及工艺流程未发生改变情况下，发生爆裂，说明钢瓶自身出现严重问题。

爆裂钢瓶表面无明显标识，材料牌号不详。对其进行化学成分分析及力学性能测试，结果表明：该材料符合GB/T699-2015《优质碳素结构钢》^[2]对20#钢的技术要求。对钢瓶进行金相组织分析，其结果未出现明显异常。

从

宏观检查

中可知，钢瓶爆裂

位置为底部过渡圆弧位置，该处为应

力集中位置（即为钢瓶上较为薄弱的地方）^[5-6]

；瓶底整体与瓶身分离；钢瓶爆裂前，内部已存在陈旧断口；新鲜断口中最薄处壁厚为2.8mm，而该处原始壁厚应为7.4mm。从而表明有效壁厚减薄，不足以承受该钢瓶内部压力时，钢瓶发生爆裂。结合电子显微镜观察和能谱分析可知：陈旧断口上覆盖物主要成分为硅粉、烧碱、水在一起的反应产物，实则为溶液浸入内壁后残留所致。清理覆盖物后断口上未发现腐蚀坑，断口微观形貌为韧窝，并且韧窝边缘形状完整清晰。从而表明陈旧断口在形成过程中，腐蚀不是主要因素^[7]。

利用电子显微镜对陈旧断口附近内壁进行检查可知，内壁上存在与断口平行的微裂纹（环向裂纹）。通常对于承受内压的设备，内壁所

受的周向应力近似为轴向应力的两倍，在内壁上产生纵向裂纹优于环向裂纹^[8]。

由此可知，断口附近微裂纹不是在本次钢瓶爆裂过程中产生。该类型微裂纹应是在钢瓶使用过程中由于钢瓶内壁原始缺陷在交变压应力下引发的。通常原始缺陷是在钢瓶生产过程中产生^[9-10]。结合钢瓶断口宏观检查可知：钢瓶内壁环向裂纹是造成钢瓶上形成陈旧断口的前提。

综合以上分析可知，位于钢瓶底部应力集中部位附近的环向裂纹在交变应力的作用下扩展，造成有效壁厚减薄，减薄到不足以承受钢瓶内部压力时，发生爆裂。

3结束语

本次制氢钢瓶事故虽未造成严重损失，但依然起到警示作用。钢瓶作为普通贮存器（非压力容器）使用，是允许的，但是作为气瓶及反应釜使用，需经过层层监管，而本次事故的发生，深刻体现出监管缺失与使用者对法律认知缺失。因此需要加大监察力度，同时加大对相关人员普法力度。

参考文献

- [1]张栋,钟道培,陶春虎,等.失效分析[M].北京:国防工业出版社,2004:71.
- [2]GB/T699-2015《优质碳素结构钢》[S].
- [3]GB/T13299-91《钢的显微组织评定方法》[S].
- [4]钟群鹏,田永江.失效分析基础知识[M].北京:机械工业出版社,1990:117-119.
- [5]曾凡苏,章鹏兴,郝静,等.汽车用CNG钢瓶应力与疲劳寿命分析[J].压力容器,2011,28(3):38-42.
- [6]刘俊,黄铭,葛修润.考虑偶应力影响的应力集中问题求解[J].上海交通大学学报,2001,35(10):1481-1485.
- [7]程里.痕迹分析技术在机械失效分析中的应用[J].理化检验-物理分册,2014,50(10):718-722.
- [8]杨锋平,张良,罗金恒,等.油气输送管典型应力状态下的屈服行为研究[J].工程力学,2013,30(11):293-297.
- [9]郝海滨.CNG气瓶拉拔工艺研究[D].河北:燕山大学机械工程学院,2014:1-12.
- [10]许久胜.车用压缩天然气钢瓶内胆纵向沟槽产生原因及对策[J].石油和化工设备,2013,16(5):66~67.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/158489.html>