# 闭式泵轴断裂失效原因分析与对策

■ 程强，王若民

**摘要：**闭式循环水泵在运行过程中，泵轴突然发生断裂，导致闭式循环水泵停运。经过对断裂的泵轴进行了断口形貌检验、光谱检验、金相组织检验和力学性能检验，经过综合分析，最后得出结论，泵轴断裂属于疲劳断裂，产生疲劳断裂原因是泵轴材料存在沿晶分布的网状碳化物，分割了金属基体，对强度影响不大，但会使材料脆性增加，冲击韧度大幅降低。

**关键词：**泵轴；断裂失效；疲劳断裂；网状碳化物

某电厂闭式循环冷却水泵型号SX400-460，卧式离心式，流量2200m$^3$/h，扬程45m，转速1450r/min。闭式循环冷却水泵作用是将介质（除盐水）加压后，输送到各有关设备的热交换器，再返回闭式循环冷却水泵入口，形成闭式循环冷却水系统。该系统的补水来自闭式循环冷却水膨胀水箱。

闭式循环水泵泵轴材质30Cr13，属于中碳马氏体不锈钢，因含碳较高，故具有较高的强度、硬度、耐磨性和淬透性，一般是在调质状态组织为回火索氏体状态下使用。泵轴在转动过程中受到扭转力、支撑力、弯曲力和推力等，受力情况比较复杂，同时轴系还会振动。闭式循环水泵在运行过程中，泵轴突然发生断裂，导致闭式循环水泵停运，影响了正常生产。

## 1. 断裂原因分析

（1）断口形貌检验　泵轴断口附近没有明显塑性变形，泵轴断裂发生在键槽处，键槽出现破裂损坏，轴横断面上靠近键槽边缘处颜色较深（见图1），可观察到贝纹线形貌，该处为裂纹源区，在电子扫描显微镜下可见清晰的疲劳条纹形貌（见图2）。由此可见，泵轴属于疲劳断裂，首先轴键槽处产生小裂纹，形成疲劳源，然后泵轴在转动中的交变载荷作用下，裂纹逐渐扩展，最后扩展至临界尺寸，导致断裂，在瞬断区形成过载断裂形态。

（2）光谱检验　取泵轴光谱试样，在SPECTRO TEST光谱分析仪上进行化学成分试验分析，结果见表1，该轴化学成分含量与GB/T 1220—2007《不锈钢棒》中30Cr13的要求相符，说明泵轴材料化学成分正常。

（3）金相组织检验　在泵轴断面键槽附近沿轴纵向截取金相试样，制样后使用$FeCl_3$盐酸溶液腐蚀。由图3可见，裂纹率先萌生于轴键槽处表面，组织为均匀的回火索氏体，晶界上出现了异

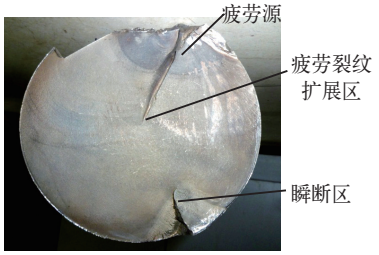
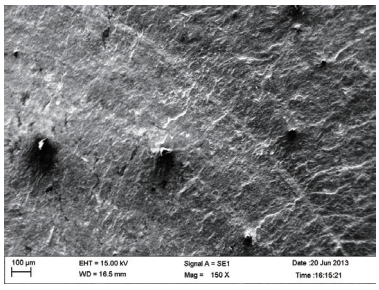
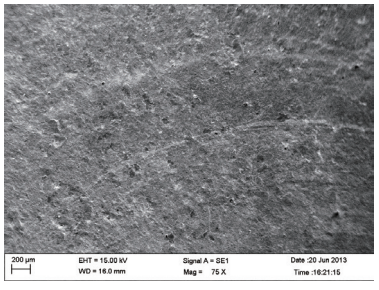



图1　泵轴断口宏观形貌



(a)



(b)

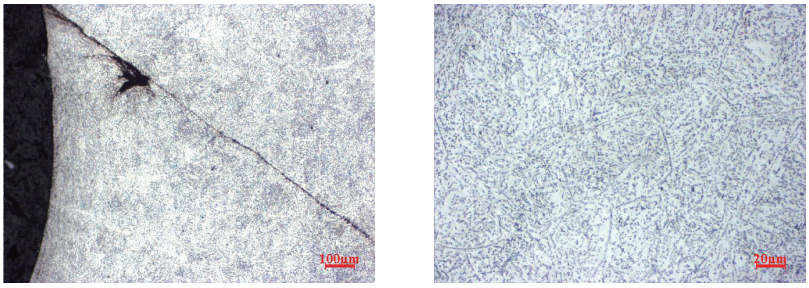
图2　泵轴断口在电子扫描显微镜下的疲劳条纹

常网状分布的碳化物。在电子扫描显微镜下，可清晰观察到晶界上断续的网状碳化物形态（见图4）。泵轴出现晶界呈网状分布的碳化物一般是因为原材料在锻造或退火过程中，加热温度过高或保温时间过长，造成奥氏体晶粒粗大，并在缓慢冷却中，在奥氏体晶界上析出二次碳化物，呈网状分布。网状分布碳化物的出现削弱了晶粒间的联系，破坏了金属的连续性，会使轴的力学性能尤其是冲击韧度急剧下降。

（4）力学性能检验　沿泵轴纵向截取拉伸试样和U型冲击试样，在CMT5105电子万能试验机上进行材料拉伸性能试验，在JB-300C冲击试验机上进行夏比摆锤冲击试验，结果见表2，材料的冲击吸收能量在10.2～16.3J之间，均小于24J，表明泵轴材料冲击韧度较差，不符合标准要求，原因是金相组织中存在的沿晶界分布网状的碳化物。

综上所述，泵轴断裂属于疲劳断裂。闭式循环水泵运行中泵轴在复杂受力条件下，首先在键槽形状突变处产生裂纹，并在轴交变载荷下经疲劳扩展至轴心部形成了最终宏观开裂。

键槽处出现裂纹，主要是因为泵轴材料存在沿晶界分布的网状碳化物，分割了金属基体，对强度影响不大，但会使材料脆性增加，冲击韧度大幅降低，使泵轴容易产生裂纹和疲劳断裂。30Cr13出现沿晶网状碳化物如果没有经过其他热处理工艺（如球化退火）进行改善，就会保留在最终成形的泵轴中，从而留下泵轴失效隐患。




（a）100×　　（b）500×

图3　轴纵向截面金相组织

表1　泵轴光谱检验结果（质量分数）　　（%）

| 元素 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 检测值 | 0.30 | 0.69 | 0.298 | 0.017 | 0.005 | 12.58 | 0.153 |
| 要求值 | 0.26～0.35 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.03 | 12.0～14.0 | ≤0.06 |

表2　力学性能试验结果

| 检验项目 | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 断后伸长率（%） | 冲击吸收能量/J |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 918 | 674 | 19 | 16.3 |
| 2 | 927 | 675 | 21 | 10.8 |
| 3 | 934 | 692 | 14 | 10.2 |
| 4 | — | — | — | 15.1 |
| 要求值 | ≥735 | ≥540 | ≥12 | ≥24 |

另外，因轴键槽处为形状突变区，易于产生应力集中，在材料存在缺陷的情况下该处率先出现了开裂。

## 2. 对策

为防止泵轴出现沿晶分布的网状碳化物，防止泵轴出现疲劳断裂，特制订以下应对策略。

（1）泵轴制造过程中，应严格执行热处理工艺，防止出现网状碳化物。当金相组织中出现网状碳化物时，可采用正火或退火工艺。当网状碳化物不严重，可以采用退火工艺。当存在较严重网状碳化物时，可以正火（1100±10）℃空冷，再根据钢种及硬度进行回火以消除应力，而后按正常热处理工艺调质。

（2）加强对泵轴质量检验验收工作。对泵轴进行金相检验、硬度检验、光谱分析，必要时取样进行力学性能试验（特别是冲击韧度试验），及时发现不合格泵轴，防止不合格泵轴投入使用导致事故。

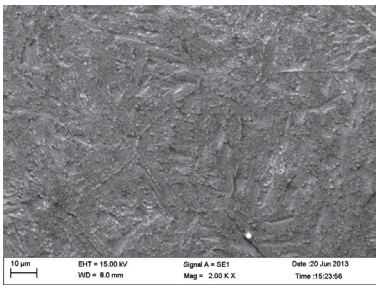



图4　电子扫描显微镜下的沿晶网状分布碳化物（2000×）

（3）优化泵轴键槽形状，采用圆滑过渡结构，降低应力集中程度，防止键槽处产生裂纹。

（4）加强对运行循环水泵泵轴维护保养和检修工作，调整好循环水泵泵轴动平衡，控制轴

# 高压截止阀阀头的失效分析

李斌，杨永良，刘智民，王田勇，王丹

某客户委托我公司维修一台高压截止阀。据介绍，阀头基体材料为20CrMnTi，基体热处理状态为淬火+回火，其密封面通过渗WC工艺提高抗擦伤性能。阀门在使用过程中，阀头密封面受到冲刷腐蚀（见图1）。为了找到阀头密封面失效的原因，进行了以下分析。

## 1. 试样制备和试验方法

从失效阀头基材车削屑样，制备化学成分分析试样，分析基材的成分是否合格。采用线切割从失效阀头基材和密封面部位截取金相试样，进行微观组织分析、光谱分析和硬度检测。从阀头基材割取3个拉伸试样和3个冲击试样，进行拉伸性能试验和冲击性能试验。

采用化学分析方法对阀头基体材料进行成分分析，XJZ-1A型金相显微镜对微观组织进行分析，NITON XLY898型直读光谱仪对渗层成分进行分析，HB-3000型布氏硬度计和HR-150型洛氏硬度计对阀头基材和渗层的硬度进行检测，WE-60型万能试验机进行拉伸性能测试，JB-30B型冲击试验机进行冲击性能测试。

## 2. 试验结果与分析

（1）宏观观察　从图1可见，在阀头密封面，横向和纵向都有较深的沟槽，延伸到基体。说明在阀门开启状态下，阀头密封面受到介质中硬颗粒的强力冲刷。

（2）阀头基材的化学成分分析　从失效阀头基材位置取样进行化学成分分析，结果见表1。从结果看，各个元素含量均在标准范围内，阀头基材的化学成分符合标准GB/T3077—1999对20CrMnTi钢的成分要求。

（3）阀头基材的力学性能分析　阀头基材的拉伸和冲击试验数据见表2。可见，阀头基材的抗拉强度和塑性指标皆符合国家标准规定的20CrMnTi钢淬火+回火后的性能指标。

图1　失效的阀头形貌

系振动在标准范围内，利用停机机会对泵轴进行渗透检测，特别注意键槽处。

（5）加强设备巡检，注意闭式循环水泵振动、轴承温度等。

## 参考文献

[1] 国家技术监督局.GB/T 13298—1991金属显微组织检验方法[S].北京：中国标准出版社，1991.

[2] 国家技术监督局.GB/T 229—2007金属材料 夏比摆锤冲击试验方法[S].北京：中国标准出版社，2007.

[3] 国家技术监督局.GB/T 1220—2007 不锈钢棒[S].北京：中国标准出版社，2007.

[4] 陈显坪.电厂金属材料手册[M].北京：中国电力出版社，2011.

[5] 张启军.3Cr13传动轴的热处理工艺选择[J].金属加工（热加工），2004（7）.

作者简介：程强，助理工程师，临涣中利发电有限公司；王若民，安徽省电力科学研究院。

MW 20160417