烧结工艺冷却水泵螺栓紧固件断裂原因分析及处理

武磊
（河钢唐钢炼铁事业部　河北　唐山　063000）

摘要：炼铁烧结工艺作业环境十分恶劣，冷却水泵轴封水泄漏量调整过程中发现盘根压盖螺柱断裂，立即停泵对该螺柱进行了更换。针对此次盘根压盖螺柱断裂事件，分析及确定导致螺柱断裂的原因，提出相应的处理方案，防止类似事件的再次发生。

关键字：冷却水泵；螺柱；断裂

1　概述

冷却水泵是烧结工艺的重要设备，为烧结工艺设备冷却水系统服务，烧结工艺检修中该泵也要保持运转。河钢唐钢炼铁事业部烧结工艺采用沈阳鼓风机集团泵业有限公司生产的冷却水泵，型号为 HCX1000-2，为单级、单吸立式离心泵，泵的吸入口垂直向下，吐出口水平伸出，泵与电机分别安装在基础上，泵与电机采用膜片联轴器联接（非刚性联接），泵轴密封采用填料密封，轴承采用滚动轴承，油脂润滑。泵的轴向力由泵推力轴承承受。

维修人员在现场执行冷却水泵轴封水泄漏量调整过程中，发现盘根压盖螺柱断裂，立即停泵对该螺柱进行了更换，通过 DER（系统配置偏差评估报告）流程更换为奥氏体双相不锈钢材质。如不及时更换螺栓，盘根泄漏会逐渐扩大，喷射的水可能淋湿电机，影响设备稳定性，需立即停运，将导致冷却水泵不可用。

2　原因分析

2.1　盘根腔室结构介绍

冷却水泵的填料布置为填料环上方 3 道、填料环下方 1 道盘根，盘根压盖有 2 根调节螺柱（见图 1 盘根腔室结构图），正常情况下通过调节 2 根螺柱的螺母位置来保证轴封回水量在合格范围内，即两根螺柱与挡水环的距离基本相同，且一直都会有水流从盘根处流出冲蚀压盖螺柱，日常运行均采用供应轴封水，冷却水泵轴封水压力可达 8bar，而厂家原设计轴封水压力为 5bar。根据拆卸的 2 根螺柱情况：1 根螺柱完好无损，另外 1 根断裂螺柱的断口处为新断口，见图 2、图 3。

通过查询图纸，盘根压盖螺柱材质为 1Cr17Ni2，梳理冷却水泵所有紧固螺栓材质信息，梳理排查冷却水泵使用 1Cr17Ni2 材质的螺柱和螺母有 7 处：电机支架地脚螺柱 / 螺母、电机地脚螺柱 / 螺母、盘根压盖螺柱 / 螺母、小法兰螺柱 / 螺母、泵地脚螺柱 / 螺母、进 / 出口法兰螺柱 / 螺母。

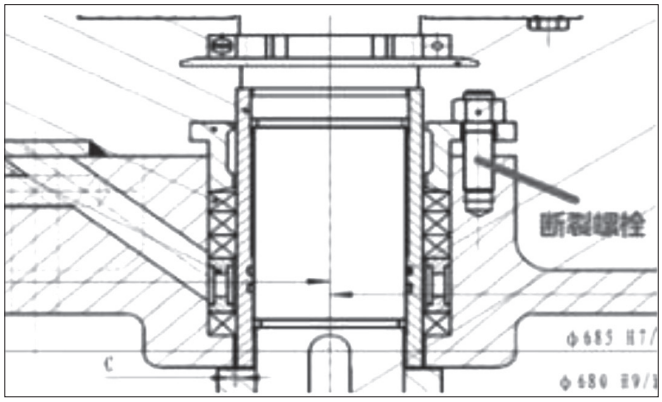

图 1　冷却水泵盘根腔室结构图

图 2　断裂螺柱断面

经初步分析，盘根压盖断裂螺柱存在以下问题：①存在设计缺陷，轴封水压力过高使压盖的压紧力变大，需频繁调整盘根压盖螺柱来调节轴封水泄漏量；②螺柱材质是 1Cr17Ni2，属于马氏体镍铬不锈钢，该不锈钢在

图 3　两颗螺柱对比

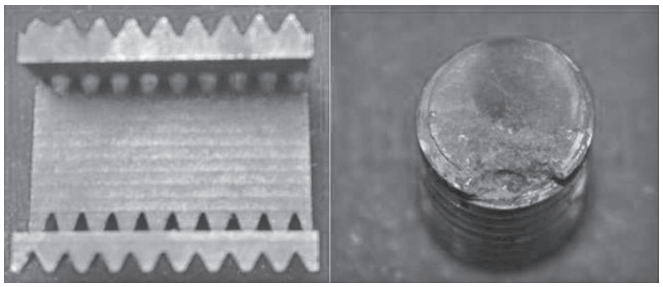

图 4　取样示意图

不同的回火温度下，力学性能及抗腐蚀性能差别很大，材质太硬且易产生锻造缺陷，导致螺柱脆断。

2.2　冷却水泵断裂螺柱失效分析

取样品式样如图 4 所示，在 OLYMPUS GX71 光学显微镜下进行金相观察，形貌如图 5 所示。由图 5 中 A 区金相可见：螺牙和螺杆处均存在组织异常部位，样品螺杆部位存在一个直径约为 1mm 的组织异常区域，螺牙几乎被完全磨损，异常组织中存在大量的小孔洞；样品螺牙齿根部位有多条裂纹，图 5 中 B 区有一条裂纹贯穿 2 个螺牙的根部；断口源区处也明显存在组织异常和多条沿晶开裂的二次裂纹。

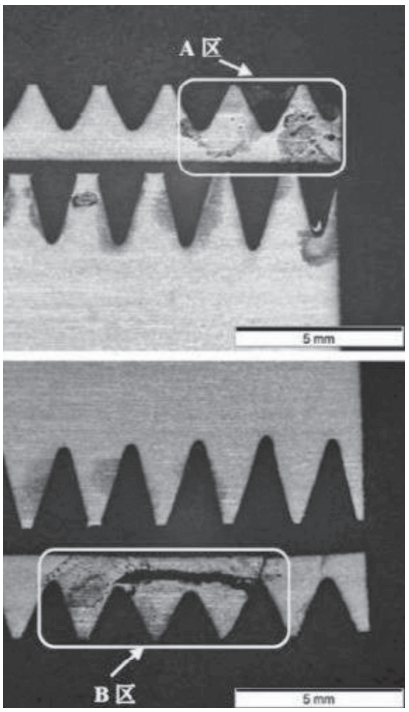

图 5　腐蚀后显微组织形貌

断口附近区域腐蚀后形貌如图 6 所示。

2.3　材质分析

对 1Cr17Ni2 材质要求的主螺柱进行化学成分分析得出，主螺柱各元素均符合 GB/T 1220-2007《不锈钢棒》国家标准的要求，但 Cr 含量位于标准要求下限。Cr 含量低会影响材料的抗腐蚀性能。材料存在回火脆性，抗腐蚀性能大大降低，导致其具有较大的应力腐蚀敏感性，在服役过程中，受到持续拉应力作用，服役环境存在腐蚀性元素（Cl^-离子），造成主螺柱发生了应力腐蚀。1Cr17Ni2 对热处理工艺较为敏感，制造过程应避免在 370 ～ 600℃的温度范围内回火。1Cr17Ni2 材料组织表现为低温回火组织特征——回火马氏体 + 铁素铁，螺母中大量铁素体沿螺母呈纵向带状分布，螺栓中存在呈条带状分布的较大颗粒状碳化物，且硬度偏高。晶界有析出碳化物，造成晶界贫铬，导致材料有较大的应力腐蚀敏感性，在潮湿环境下，螺栓会发生应力腐蚀开裂。盘根水压高，螺栓受载荷较大，产生交变应力，盘根泄漏水长期冲刷螺栓表面，频繁调整盘根压盖螺柱来调节轴

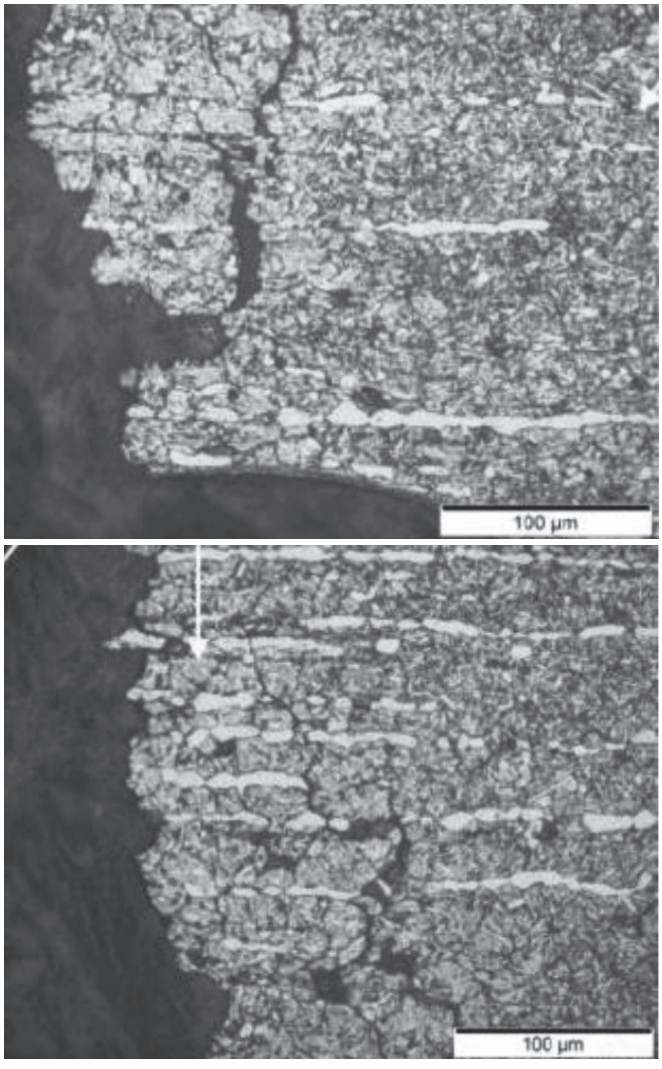

图 6　断口附近区域腐蚀后形貌

表 1 1Cr17Ni2 与 42CrMo4、S32760、00Cr25Ni7Mo2N 化学成分对比

执行标准	材料牌号	C	Si	Mn	P	S
Q/SB J01.106	1Cr17Ni2	0.11 ~ 0.17	< 0.8	< 0.8	< 0.035	< 0.030
RCCM M5110/5120	42CrMo4	0.38 ~ 0.48	0.10 ~ 0.40	0.75 ~ 1.00	< 0.025	< 0.015
ASME SA-276	S32760	< 0.03	< 1.00	< 1.00	< 0.030	< 0.010
Q/SB J03.105	00Cr25Ni7Mo2N	< 0.03	< 1.00	< 1.50	< 0.025	< 0.01

封水泄漏量。

收集外基地信息发现，经过查询，河钢唐钢炼铁事业部其余三家子公司采用沈阳鼓风机集团泵业有限公司生产的冷却水泵，型号 HCX1000-2，断裂螺栓材质均为 1Cr17Ni2。分析原因均为马氏体不锈钢含碳高更容易脆化，调研采用奥氏体不锈钢抗应力腐蚀能力高于 1Cr17Ni2 马氏体不锈钢。

分析结论如下：

直接原因：应力腐蚀断裂；

根本原因：存在设计缺陷，轴封水设计压力过高，1Cr17Ni2 材质螺栓不满足现场冷却水泵组使用要求；

促成原因：轴封水压力过高使压盖的压紧力变大，轴封回水不断冲蚀螺柱，频繁调整盘根压盖螺柱来调节轴封水泄漏量。

3 处理方案

3.1 短期方案

（1）对断裂的盘根压盖螺柱螺柱进行更换，通过 DER 流程更换为双相不锈钢材质。

（2）对烧结工艺所有冷却水泵组使用 1Cr17Ni2 材质的螺柱排查无断裂情况。

3.2 长期方案

（1）马氏体不锈钢 1Cr17Ni2 与合金钢 42CrMo4、双相不锈钢 S32760、00Cr25Ni7Mo2N 材料的化学成分对比如下：

从表 1 可以看出，1Cr17Ni2 与 42CrMo4 属于不同钢种，1Cr17Ni2 含有少量的 Ni 元素和较高的 Cr 元素，具备一定的耐腐蚀性，而 42CrMo4 防腐性较差，需要通过表面防腐处理来提高材料的耐腐蚀性能。

双相不锈钢 S32760、00Cr25Ni7Mo2N 比 1Cr17Ni2 的含碳量更低，基体含 Cr 量更高，具有较好的抗点蚀能力、抗电化学腐蚀能力、抗空泡冲刷腐蚀能力及较小的晶间腐蚀倾向。

结合上述分析结果，对冷却水泵使用 1Cr17Ni2 材质的紧固件进行替代，冷却水泵紧固件使用 42CrMo4 并经表面镀镉处理后，其强度及耐腐蚀性能等均优于选用 1Cr17Ni2 材质的紧固件，能够满足机组运行需求，可以代替原 1Cr17Ni2 的紧固件使用；冷却水泵密封压盖螺柱、螺母使用 S32760、00Cr25i7Mo2N 材质，具备优良的耐海水腐蚀性能，可以代替原 1Cr17Ni2 的紧固件使用。

（2）轴封供水进行降压改造，在轴封水管线新增减压阀，降低轴封供水压力。

4 结语

长期方案实施后能彻底解决烧结工艺冷却水泵因轴封水设计、材质选型不当产生的螺栓断裂缺陷，降低缺陷发生率，提高设备系统的可靠性。本案列螺栓断裂问题多基地均有发生，属于共模缺陷，是设计问题，为其他烧结生产采用此材质的螺栓的设备制定替代方案提供了借鉴，也为后续新建机组紧固件材质选用提供了宝贵经验。

参考文献：

[1] 袁倩 . 基于冶金设备管理与维修技术的要点分析 [J]. 内燃机与配件 ,2021(22):188-189.

[2] 李尊善 . 表面技术在冶金设备制造与维修中的运用分析 [J]. 世界有色金属 ,2021(16):30-31.

[3] 王旭蛟 . 浅谈标准化作业在冶金设备维修管理中的应用 [J]. 中国金属通报 ,2021(02):88-89.

作者简介：武磊（1986.05-），男，汉族，河北唐山人，本科，助理工程师，研究方向：冶金设备维修。