

# 东风发电厂竖井贯流式机组大轴螺栓断裂原因分析

王永

(国网四川明珠集团有限责任公司,四川 射洪 629200)

**摘要:**通过对射洪东风发电厂竖井贯流式机组水轮机转轮与大轴联轴螺栓频繁断裂的原因进行分析,查找到了导致该机组螺栓断裂的真正原因,提出了恰当的处理方案,收到了显著的运行效果。

**关键词:**东风发电厂;贯流式机组;联轴螺栓;断裂原因;修复措施

**中图分类号:**TV7;TV734;TV738

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2015)增1-0090-02

## 1 概述

东风发电厂位于射洪县金华镇下游2 km,始建于上世纪60年代,系涪江流域的一座引水式电站,装机两台,总装机容量5 MW,在20世纪70、80年代为射洪县骨干电厂,承担着射洪县大部分的电力供应。在金华水电厂建成后,该电站靠其余水季节性发电,平均每年发电1 000万kW·h,创造经济效益400余万元。

该厂1#水轮发电机组为20世纪60年代由日本进口的竖井贯流式水轮发电机组,额定出力为2 650 kW,额定运行水头6.3 m,发电机额定容量3 150 kVA,额定电压3.15 kV,水轮机和发电机的连接采用行星增速齿轮箱实现增速弹性连接。齿轮箱的传动比为:143.1 r/min/750 r/min。发电机通过4 000 kVA 升压变压器与升压场35 kV 母线连接,实现与电网的并列运行。

## 2 1#机大轴螺栓断裂的基本情况

东风发电厂1#水轮发电机于1969年投运发电。该机型在20世纪60年代末由日本富士公司进口。该机组是我国目前运行时间最长、单机容量仅次于小龙门电站的竖井贯流式机组。由于该机组在1990年首次出现转轮与主轴联轴螺栓断裂事故,后于1993、1997、1998、2001年频繁出现主轴螺栓断裂事故,且因该机组属于季节性发电,限负荷时间较多,加之大轴螺栓经常断裂,修复成本及安全风险较高,故于2002年将该机组停运,准备报废。

水轮机联轴螺栓频繁断裂是1#机多年来存在的问题,通过东方汽轮机厂、东方电机厂专业

技术人员进行分析后,先后采取了将螺栓材质更换为用于60万kW汽轮发电机上所用的联轴螺栓材质——40CrNiMo、将 $r$ 角增大、将联轴处径向销增大、将联轴螺栓加粗处理等措施,但螺栓断裂的情况并未得到实质性解决,多次出现机组运行不到一个月时间螺栓便断裂的窘况。

2006年,随着射洪县电力市场的好转,电力供应供大于求的局面得到了改变。鉴于该机组具有较高的修复价值,公司遂决定对该机组进行恢复性技改。其中的重点就是要彻底解决水轮机转轮与大轴联轴螺栓经常断裂的故障。

## 3 大轴螺栓断裂的原因分析

(1)由于该机组为20世纪60年代由日本进口的机组,在原来的大轴螺栓更换完后,使用国内加工的螺栓材质可能达不到要求。

(2)螺栓的受力原因可能造成螺栓断裂。螺栓受力有两方面原因:一是受力过大。由于该螺栓不具备测量伸长值的条件,极有可能存在检修人员用加力杆过长而导致螺栓受力过大、超出螺栓倔强系数的情况发生;二是螺栓受力不均。由于该机组为卧式机组,检修人员在紧固螺栓时,处于地形较好位置的人员螺栓拧得过紧,而位置处于不方便放置扳手位置的人员螺栓拧紧程度较低,从而可能导致在机组运行过程中力先作用在受力大的螺栓上,进而造成这些螺栓先断裂。这些螺栓断裂后,作用力转移到受力小的螺栓上,最终造成所有大轴螺栓断裂。

螺栓在加工细节上的差异,亦有可能造成新

收稿日期:2015-12-11

加工的螺栓与原螺孔不匹配。

我们将断裂的螺栓与原来日本原装机组中的断裂螺栓在加工细节上进行了比较,发现螺栓在加工细节上存在一些差异(图1)。

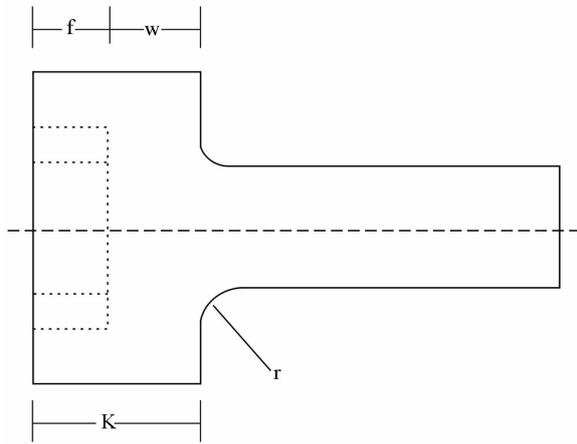


图1 大轴螺栓对比图

①大轴螺栓内六角深度 $f$ 过深。头部厚度不足,削弱了螺栓头与螺杆的连接强度,造成螺栓断裂。经测量发现,螺栓头内六角深度 $f=27\text{ mm}$ ,使螺栓的有效受力长度 $W=15\text{ mm}$ ,从而大大削弱了螺栓头与螺杆连接部分的强度。

②未考虑到主轴把合孔与加工螺栓(主要是 $r$ 角)的匹配问题。

通过测量计算,主轴法兰水机端把合孔尺寸为 $45\text{ mm}$ ,把合螺栓的螺杆部分尺寸为 $42\text{ mm}$ ,螺栓头与螺杆结合的颈部过渡圆弧半径为 $2.7\text{ mm}$ ,由此推算出螺栓头与主轴法兰联轴螺栓沉孔结合面的最小平面直径应为 $47.4\text{ mm}$ 。由于原主轴上端面内孔未倒角,螺钉把合后,主轴法兰孔和转轮螺纹孔不能绝对达到理论同心,主轴上端面内孔必然在螺栓头部的过渡圆弧处(颈部过渡圆弧半径 $r$ 角)产生很大的局部附加应力,机组运行时,受交变应力的作用,加大了该接触应力,进而加速了螺栓的断裂。

③螺栓头颈部过渡圆弧加工的表面粗糙度过大,加大了集中应力。

#### 4 联轴螺栓的修复措施

在综合分析可能引起水轮机联轴螺栓频繁断裂的基础上,结合竖井贯流式机组的特殊结构形式,制定了以下对联轴螺栓的改进措施。

(1)改变螺栓材质,提高螺栓韧度。将联轴螺栓材料由原来的 $40\text{CrNiMo}$ 改为 $34\text{CrNiMo}$ ,该材料的屈服极限可达 $80.2 \geq 800\text{ MPa}$ , $Aku \geq 300\text{ J}$ ,增加了螺栓的韧度。

(2)将螺栓的杆部与头部过渡圆弧半径 $R$ 加工为 $2\text{ mm}$ ,其加工表面粗糙度为 $Ra0.8$ 。

(3)螺杆的光杆部分直径取 $39\text{ mm}$ ,粗糙度为 $Ra1.6$ , $M42 \times 2$ 螺栓的螺纹小径为 $39.835\text{ mm}$ 。

(4)解决螺栓与螺孔的匹配问题。重点处理主轴把合孔内孔尖角,用锉刀将其倒为斜口,使其不与螺栓头过渡圆弧( $r$ 角)接触,从而保证了应力均集中在螺栓头上。

(5)减少了内六角沉孔加工深度,增大了螺栓头长度。将螺栓头放置内六角扳手的沉孔 $f$ 深度降低,由原来的 $27\text{ mm}$ 减小为 $20\text{ mm}$ ,增加了螺栓头长度 $w$ 值,由原来的 $15\text{ mm}$ 增加为 $22\text{ mm}$ ,确保了螺栓头与螺杆的连接强度。

(6)改变拧紧螺栓的检修工艺,使螺栓受力既不超过其倔强系数,又保证了所有螺栓受力均匀。经计算,螺栓预紧力为 $2000\text{ N} \cdot \text{m}$ ,根据计算的力矩,用力矩扳手拧紧螺栓预紧力在计算的力矩内,并且使每一颗螺栓受力一致。

#### 5 机组检修后取得的效果

(1)东风发电厂1#竖井贯流式水轮发电机检修后运行至今,已安全运行 $8\text{ a}$ ,再未出现过联轴螺栓断裂的现象。

(2)经济价值:按季节性发电计算,该机组每年为公司多发电量 $400$ 多万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ , $8\text{ a}$ 发电 $3200$ 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ,产生直接经济效益 $1000$ 多万元。

#### 6 结 语

由于对该机组联轴螺栓的断裂原因进行了系统、准确的分析,并采用了相应的加工材料和制造工艺,从而使联轴螺栓达到技术要求,彻底解决了困扰多年的水轮机联轴螺栓断裂问题,大大延长了该机组的使用寿命,提高了机组健康运行水平,为公司创造了可观的经济效益。

作者简介:

王永(1972-),男,四川射洪人,技师,从事水轮发电机检修工作。

(责任编辑:李燕辉)