

混流式机组转轮的有限元计算及裂纹成因分析

吴彤峰 黄文 毛汉领

摘要 利用IDEAS软件对大型混流式水轮机组转轮进行有限元计算,求得转轮叶片的应力分布情况和转轮的固有频率。将计算结果与转轮叶片出现裂纹的实际情况对比,发现较大应力区与实际裂纹出现的部位大体上是一致的。该有限元计算结果,对分析转轮叶片裂纹成因有重要的意义。

关键词 水轮机 裂纹 有限元计算

中图法分类号 TB 115

The Finite Element Calculation and Analysis of Cracks on the Vanes of Mixed-flow Hydraulic Turbine

Wu Tongfeng Huang Wen Mao Hanling
 (Guangxi University of Technology, Liuzhou, 545005)

Abstract With the finite element software IDEAS, the strain distribution of the vanes of hydraulic turbine and the natural frequency of the rotor wheel was calculated. Compared with the real cracks in the vanes, the range of bigger strain was agreement with the distribution of the real cracks. The result of calculating with the finite element method was important to the analysis on the cause of cracks.

Key words hydraulic turbine, cracks, finite element calculation

某大型水电站装有单机容量302.5MW的混流式水轮发电机组4台,自投产运行以来,每次大修检查发现,每台水轮机的转轮叶片都有裂纹,而且有裂纹的叶片占一半以上。裂纹大部分产生在叶片与上冠,叶片与下环连接的附近区域,呈穿透性发展,最长的有680 mm。转轮叶片频繁出现裂纹,对机组安全运行有较大的威胁;经常进行补焊维修也给电厂带来巨大经济损失。为了寻找裂纹产生的原因,我们利用IDEAS软件对混流式机组转轮进行了有限元计算,分别得到了转轮的应力分布情况和固有频率,结合转轮出现裂纹的实际情况,对转轮裂纹的成因进行了分析。

1 有限元计算分析

1.1 计算模型

混流式机组转轮由上冠、下环及叶片组成。上冠与下环的几何形状规则成轴对称分布^[1]。叶片的几何形状复杂,既弯又扭,叶片断面形状为翼形,13个叶片均匀排

列，并与上冠、下环连接在一起。因此转轮是一个周期性对称结构，计算模型简化如下：

以相隔 $2\pi/13$ 弧度的2个轴截面将转轮切开，即取转轮的 $1/13$ (只包含1个叶片)作为计算模型，如图1。

1.1.1 单元选取 选用十结点四面体单元。

1.1.2 网格分割 共划分1 808个四面体单元，355个节点。

1.1.3 边界条件 上冠的N面与主轴的法兰连接，刚度很大，作固定端处理，N面上的节点均约束3个方向的位移。A面与A'面，B面与B'面是剖分面，由于结构成周期性对称，而载荷并不成对称分布，故在剖分面上的各对应点加上耦合约束，以保证分面上各对应节点位移一致，即径向、切向(环向)、轴向位移相等[2]。

1.1.4 载荷 叶片承受水压力，转动时转轮产生离心力，水流压力脉动引起的动压力。作用在叶片上的水压力分布示意如图2的1、2、3、4区的压力比是

0.2 0.3 0.4 0.5 [1]。

1.2 计算结果

在水压力及离心力作用下，大应力主要分布在叶片周边上，应力沿叶片周边分布情况如图3。从图3可见，转轮叶片存在3个高应力区，它们的位置在：(1)叶片进水边正面(压力分布面)靠近上冠处；(2)叶片出水边正面的中部；(3)叶片出水边背面与上冠连接的根部。计算得转轮的固有频率为：116 Hz，416.7 Hz，635 Hz，913 Hz，1 054 Hz。此计算结果表明该类转轮的固有频率较高。

2 裂纹的实际情况

某电站的3号机组自1994年6月30日投运起，分别进行了4次检修，每次检修都在其叶片发现有大量的裂纹，现把1997年11月15日第4次检修时发现的裂纹列入表1，从表1可见，叶片裂纹分布在以下4个部位：部位1，叶片出水边靠近上冠的过渡处；部位2，叶片出水边靠近下环的过渡处；部位3，叶片出水边上(此处远离叶片与上冠，下环连接的焊接区)；部位4，在叶片靠近上冠分面处。

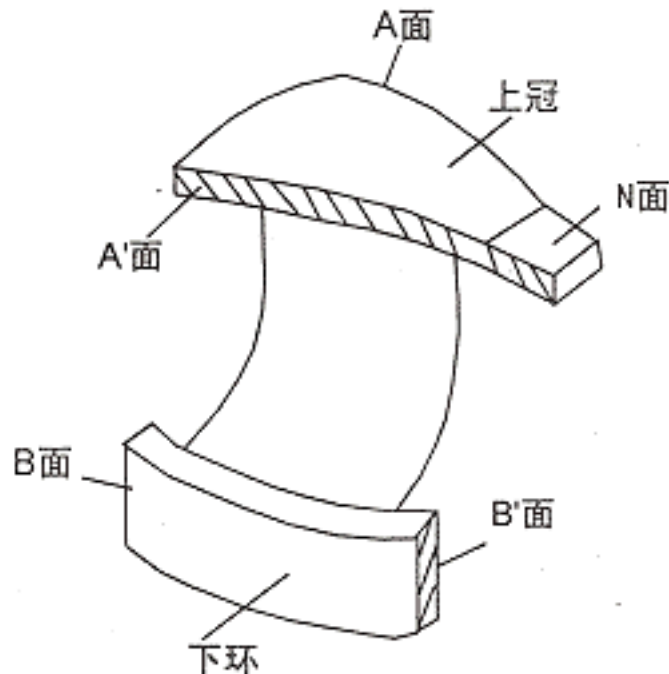


图1 计算模型示意图

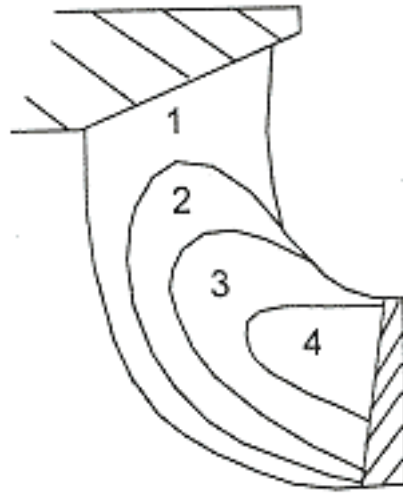


图2 水压力示意图

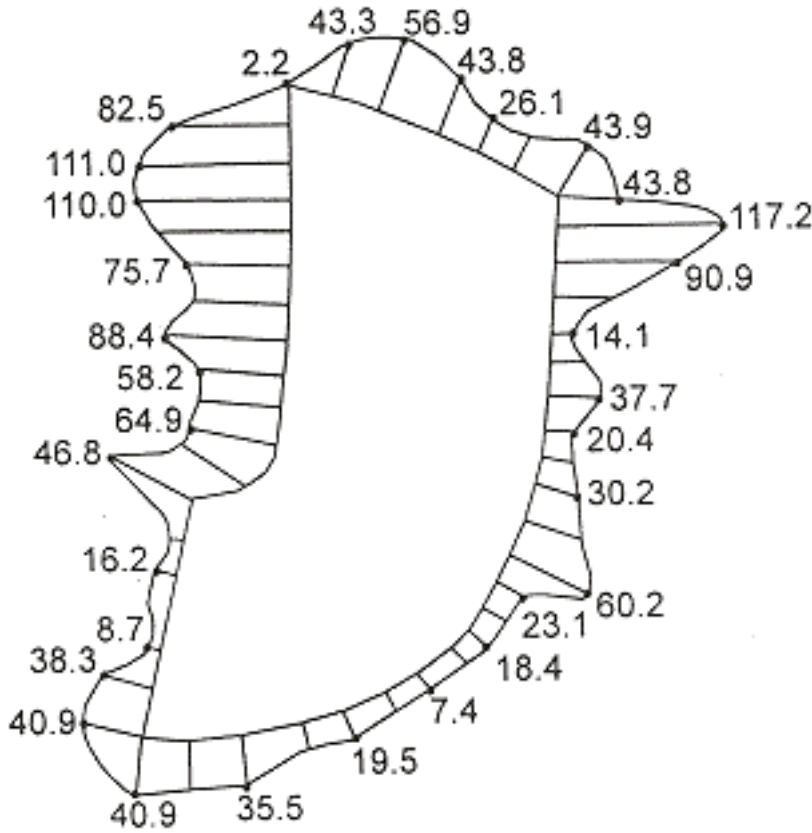




图3 沿叶片周边应力分布图

3 裂纹成因分析

表1 1997年11月15日第4次检修某电站3号机组发现的裂纹情况

叶片号	裂纹部位	裂纹长度 (mm)	裂纹图示	备注

3#	叶片靠近上冠处， 距上冠80mm	150		贯穿裂纹
7#	叶片靠近上冠处， 距上冠70mm	130		贯穿裂纹
2#	叶片靠近下环处， 距下环20mm	90		贯穿裂纹
3#	叶片靠近下环处， 距下环100mm	280		贯穿裂纹
8#	叶片靠近下环处， 距下环30	100		贯穿裂纹

上述计算结果和裂纹的实际情况对比，发现计算结果的较大应力区与实际裂纹出现的部位基本一致。转轮裂纹的产生原因主要是由较大应力所致，其成因有：(1)残余应力太大。叶片与上冠、下环的连接是通过在现场焊接完成的，焊接后虽经独立自主磨处理，但其焊接区及热影响区仍有较大的残余应力。最大残余拉应力几乎达材料屈服强度的1/3，且与裂纹部位一致^[3]，故残余应力过大是主要因素；(2)计算结果表明在3个部位的应力值较大，且该区域又经常出现裂纹，所以工作应力过大也是转轮叶片出现裂纹的原因；(3)尾水管低频压力脉动，使叶片承受较大的动应力，在循环的交变载荷作用下，在叶片表面的不平度的谷底，或在残余应力与工作应力迭加造成的微裂纹处，产生应力集中。在应力集中处，应力常常可能超过材料的疲劳极限，从而加剧了裂纹的扩展。

作者单位：广西工学院机械系 柳州 545005

参考文献

- 1 程良骏主编.水轮机.北京：机械工业出版社，1979.
- 2 刘新民.混流式水轮机强度有限元计算.大电机技术，1981,(5):15~17.
- 3 黄振峰，温洁明，沈炜良.混流式水轮机转轮叶片残余应力测试.广西工学院学报，1999，10(1)：77~80.

(责任编辑：邓大玉)
1999-04-12收稿。