

龚嘴电站水轮机活动导叶损坏原因分析及对策

陈朝禄

(龚嘴水力发电总厂,四川乐山 614900)

摘要:运行中,水轮机的活动导叶在泥沙作用下快速损坏,为了提高导叶的使用寿命,有必要对导叶损坏的机理进行全面分析,特别是轴导好坏对导叶的安全影响极大。为此,提出在制作或修复导叶时,应对材料、叶型、工艺、轴导及轴颈密封进行全面考虑和改进。

关键词:水轮机;活动导叶;损坏;原因分析;修复方法

中图分类号:TK730.8;TV734.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(1999)04-0046-02

1 概况

龚嘴电站是四川电网的骨干电站,位于乐山地区境内,是大渡河流域梯级开发倒数第二级电站,全厂装机容量为 7×100 MW。

电站安装水轮机型号为:HL220-LJ-550。其主要技术参数如下:

- 最高水头:55.3 m;
 - 设计水头:48 m;
 - 最低水头:39.7 m;
 - 设计流量:241 m³/s;
 - 额定功率:102 500 kW;
 - 额定转速:88.2 r/min;
 - 飞逸转速:180 r/min;
 - 旋转方向:俯视顺时针;
 - 轴向推力: ≤ 600 t;
 - 吸出高程:-1 m;
 - 导叶关闭时间:6 s;
 - 最大转速上升率: $\leq 45\%$;
 - 涡壳内最大水压力: ≤ 1 MPa。
- 活动导叶情况:
- 数量:24只;
 - 导叶分布圆: $\phi 6 400$ mm;
 - 导叶瓣体高度:1 375 mm;
 - 导叶下轴颈直径: $\phi 230$ mm;
 - 导叶中轴颈直径: $\phi 270$ mm;
 - 导叶材质:ZG20Mnsi;
 - 导叶轴套材料:尼龙 1010。

通过调速环、双连臂、拐臂、导叶连接成导水机构,导叶、顶盖、底环、轴套配合组成运动副,担负调

整水轮机流量、转速、负荷及正常停机切断水流作用。

2 活动导水叶损坏给机组运行带来的后果

电站自1971年底第一台机开始投产以来,至今已运行20多年。由于大渡河水含沙量高,水库库容小,泥沙早已淤满水库,汛期大量泥沙直接流过水轮机过流部件,造成水轮机各部件严重损坏,其中包括顶盖、导叶底环。由于这些部件损坏,当导叶关闭后,端面、立面间隙增大,特别严重的是导叶端面间隙,由设计值0.24~0.92 mm扩大至现在5~6 mm,造成机组停机备用时大量漏水,并且在机组备用时不能退出风闸,否则机组就会自动转起来。机组检修后,机组多次无法提起工作闸门,不得不用堵棉絮的办法来封堵导叶间隙或提高液压启闭操作油压等临时办法来解决提升工作闸门问题(提升时,超过设备铭牌起升能力)。以至在平时消缺时,不得下落工作闸门。活动导叶严重漏水,在备用时既造成浪费大量宝贵水资源,又危及设备安全。检修恢复时,又增加许多不必要的工作负担,这些不利影响因素是阻碍我厂安全生产的一大难题。

为了改变这种局面,我厂每年不得不投入大量人力物力对导叶进行处理。7台机组每年均要安排两台机组扩修,吊出导叶,返厂修复。但往往检修还未循环一遍时,开始修复的机组又出现上述情况。

3 导叶损坏原因分析

通过对运行中和备用中机组的观察和各次大修

拆卸下来的设备部件进行分析,由于导叶及相关部件顶盖、底环、轴套的损坏,使得各配合副完全偏离了设计值。机组备用时,导叶严重漏水,导叶在涡壳水压和缝隙高速水流的联合作用下,使导叶强烈振动,发出刺耳的轰鸣声。导叶在涡壳水压下,导叶瓣体弹性弯曲,增加了端面间隙,在导叶立面密封面上形成了弓形间隙,压力水在这些间隙中形成不稳定的高速水流,水压力在缝隙中随流速分布不同而变化,在导叶预紧压力作用下,形成强烈的振动。由于这些高速水流中夹杂着大量泥沙,又因缝隙流突然收缩和扩大,这样在缝隙的扩散处形成漩涡和真空,产生真空汽蚀和泥沙磨蚀,在导叶关闭位置处,高速水流不停地破坏导叶顶盖、底环组成的端面立面密封线。随着使用时间的增长,缝隙就会越来越大,漏水量进一步增大,损坏也就更加剧烈。运行中,导叶处在不同的开度下,水流在导叶正面背面形成压差,在这个压差作用下,导叶端面形成缝隙水流,形成漩涡、汽蚀和磨蚀,使顶盖、底环和导叶端面遭受破坏。在检修中可以清楚观察到导叶和底环的接触轨迹上,底环形成大面积的剥蚀深坑,关闭位置处,损坏尤为严重。

我厂水轮机导水叶为60年代的产品,限于当时资金,材料,不可能选用抗磨蚀、汽蚀性能好的、价格昂贵的不锈钢制成,而选用ZG20MnSi,限于当时制作加工技术手段和检测水平,不可能采用仿型铣床加工,而采用手工磨削,当时对导叶叶型重要性认识不足,未严格用叶型模具进行检测,致使导叶出厂后,还存在导叶大头为方形,导叶密封面做成一个突台,导叶瓣体和上下轴相联处形成为鼓包,导叶本体也厚薄不均等缺陷,这样的导叶在运行中,流道不光滑,形成水力碰撞和脱流,在导叶表面上形成许多局部漩涡,破坏导叶本体和密封面,加之20MnSi材料抗汽蚀磨蚀性能差,在含泥沙高速水流长期作用下,导叶本体严重磨蚀,经在制造厂家修复前进行检测,导叶瓣体已严重偏离形线,严重损伤的导叶表面已减薄10mm之多,叶片的抗弯模数已大大降低,严重地降低了叶片的刚度,增大叶片运行中的变形量和内应力,在修复过程中多次检测到小头断裂,瓣体出现裂纹等现象。

我厂导叶中下轴颈设计上均采用镀铬办法进行防腐抗磨,其镀层厚度为0.2~0.3mm,这种方法的弱点是一方面薄,另一方面和母材的粘合强度差,在运行中极易磨掉和脱落。轴套采用尼龙1010,均采用U型密封,尼龙材料吸水变形大,运行初期经常抱轴,不得不放大配合间隙。U型密封圈可靠性

差,经过一段时间运行后经常失效,造成导叶轴颈漏水,泥沙沿着间隙流过摩擦面,使镀层磨掉脱落,使母材裸露在水中,在泥沙和水中氧气的作用下,轴颈不断被氧化磨蚀,在轴颈表面形成坑沟,损坏了轴表面形状,严重地恶化了导叶轴颈的工作条件。运行时,导叶在调正过程中,导叶在水压力作用下,轴颈不断切削轴套,使导叶和轴套配合间隙不断扩大。当运行5~6年后,观察下轴套已损坏严重,壁厚10mm的尼龙轴套已被磨穿。

在导叶轴和轴套被严重磨损过程中,下轴套就失去了支撑定位作用,下支点的受力就转到下端轴阶上,使轴阶与底环直接接触,金属与金属硬摩擦。由于接触面积小,接触应力大,摩擦系数大,使轴阶和底环相应部分很快被损坏,之后受力再转到轴套上,这种过程,来回交替,最后使底环、轴套、导叶下端轴均遭到严重损坏。

由于导叶下端轴、轴套的严重损坏,使导叶失去了定位能力。由于下轴套严重偏磨,而且均向水轮机中心偏磨,这样,导叶中轴套分布在6.4m的圆周上(中轴套磨损量一般较小)而下轴套的分布圆周实际上就小于6.4m,结果就改变了导叶的受力形式,由原来的上、中、下轴受力变为上、中轴受力。24只导叶,虽然在检修时,关闭状况也能组成一个封闭的圆柱面,立面间隙,检测也很好,无法找到漏水过大的原因,但检修后充水,情况就完全不一样,在强大的水压力作用下,每只导叶就成为以中轴套为支点的悬臂梁,向水轮机中心弯曲,直到下端轴和下轴套接触为止,这样,在导叶立面上形成许多条底边为10mm的三角形开口的漏水通道。机组投入运行后,导叶在水推力作用下,下端轴向水轮机中心弯曲10mm,导叶成为有约束的悬臂梁,使中轴颈承受很大的压力和附加弯矩应力。由于水流不稳定,这种应力是一种交变的,在这种交变应力长期作用下,导致严重损坏中轴颈。1998年在导叶返厂修复过程中,一台机24只导叶中就有11只导叶中轴颈发现有不同程度的断裂裂纹。

综上所述,导叶漏水、导叶损坏的原因是多方面的,而且是相互影响、共同作用的结果,仅从一个方面着手是难以奏效的,必须从各个环节上全面考虑才能很好解决。

4 解决办法

首先应使导叶处在一个良好的工作环境下工

(下转第54页)

3 事故原因分析

经过对事故原因的多次分析后一致认为,由线路的故障录波图可知,5F在3B高压侧开关DL212、DL213跳闸前已经处于失步状态,由负序过负荷保护经延时6.5s后跳开DL212、DL213(由于机组无故障录波装置,只能从线路故障录波图推知机组失步运行至少在10s以上),DL212、DL213跳闸后,5F甩100MW负荷,机组转速异常升高(在甩负荷前,由录波图可知机组失步处于加速运行状态,机频大于60Hz),15.75kV母线过电压,3B高压侧过电压,造成3B高压侧避雷器过电压击穿(由录波图可知,DL212、DL213跳闸在前,避雷器击穿在后),3B差动保护动作,跳开机组出口开关DL5、DLc3、DL623、DL133,同时跳5FFMK、LMK,由于FMK的断弧能力较差,转子产生过电压,弧光对柜体击穿放电,烧坏端子排和柜体。

事故跳闸后,系统立即恢复正常。询问周边电厂和变电站,事故时系统正常稳定运行;事故前运行人员对运行设备无任何操作,事故后对发电机组及相关设备检查、试验无异常。根据以上分析判断,造成机组失步的唯一原因是由励磁调节器软件或硬件故障,使机组突然部分失磁,偏离机组稳定工作点所

(上接第47页)

作。应按图纸订做一套或两套备品顶盖、底环,供检修时更换磨损,这样可大大缩短检修工期。新制作的顶盖和底环的过流表面,应选用不锈钢制作或铺焊不锈钢材料,以增加抗磨性,外型几何尺寸、精度和光洁度必须严格达到设计图纸要求。

新做或返厂家修复活动导叶时,应全面检查导叶损伤部位,对已有的裂纹、缺陷应进行补焊、打磨。在瓣体表面镶嵌6~8mm的不锈钢钢板,将母体全部封闭,消除导叶大头的方头突台,将导叶体和上端轴、下端轴过渡相贯线,由外凸型改为内凹型,中下轴颈表面镶嵌厚为5~6mm的不锈钢套。导叶各部位尺寸、光洁度应完全符合图纸设计要求,导叶叶型严格用样板检验是否合格。这样做,可恢复导叶的抗弯模数,提高导叶的刚度,增强了导叶整体抗磨蚀能力,消除导叶运行中各种寄生漩涡、汽蚀。

根据我厂多年来导叶检修维护经验得到,活动导叶的损坏与轴套材料、配合间隙,与轴套密封结构,以及与密封的可靠性关系密切。尼龙材料吸水性强,抗压强度比金属低,配合间隙变大后,密封圈补

致。由此说明该励磁调节器元件不太可靠,设计不够合理,不能满足机组在可能运行工况下的运行要求。

4 防范措施

(1)对该型励磁调节器进行改进完善,保证在A、B套都因故障退出的情况下,有保持原状态的手动功能,否则A、B套同时故障就会造成事故。

(2)着手将发电机保护中的负序保护与其引入主变保护的时限改为一致 $t=6.5$ s跳闸;发电机的过电压保护定值由1.5倍改为1.3倍,时限为0.5s动作跳闸;从长远的方案考虑增加机组失步保护。

(3)灭磁开关灭弧能力较差的问题有待进一步的调研和选型。

(4)增设机组故障录波装置,便于事故的分析。

(5)机组调速系统所采用的机频在增加齿盘测速后,测速不受机组失步的影响,能有效地防止机组过速。

(6)对于龚嘴电站这样的慢速励磁系统,近期重点解决好低励限制问题和做好设备维护。远期应考虑将其改为快速励磁系统,以满足系统运行的要求。

作者简介:

文庆(1968年—),男,四川丹棱人,龚嘴水力发电总厂,工程师,从事电气二次设备的技术管理工作。

偿困难,必然容易失效引起漏水。目前国内新投产电站基本不选用尼龙做导叶轴套,而选用抗压强度高、变形小、耐磨性好的钢背铜背塑料复合轴套,这种轴套,由金属作支撑,聚四氟乙烯作耐磨润滑剂,把金属和塑料的优点有机地结合在一起,大大提高了轴套使用寿命和可靠性,我厂应选此种型号轴套代替尼龙轴套。由于下轴套所处的位置,必须将水轮机全部拆除才能更换,平时小修大修中无法处理,应选用铜基镶嵌聚四氟乙烯轴套,增强它的可靠性、耐磨性,配合适当小的间隙,取消原来易失效的U型密封,新设置可靠的O型密封,隔离泥沙进入摩擦面。中轴套选用密封性好的L型密封结构。这样做的结果,可很好地保证导叶上、中、下轴的分布圆在同一个圆周上,能有效地保证导叶关闭时立面端面合缝严密,大量减少漏水;合理分配了上中下轴颈的受力情况,改善导叶的内应力;大大减缓顶盖底环导叶的磨损、汽蚀,只有这样才能真正克服过去安全生产中所遇到的困难局面。

作者简介:

陈朝禄(1945年—),男,四川峨边人,龚嘴水力发电总厂副总工程师,高级工程师,从事水电站检修及技术管理工作。