

桥巩水电站水轮机组的水力振动和轴系支撑

潘 勇, 顾建伟

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局, 四川 彭山 620860)

摘要 桥巩水电站灯泡贯流式水轮机组轴系采用双支点双悬臂梁, 由于重力和转动不平衡, 使轴承间隙在周向上不一致, 转轮室充水后转轮由于浮力作用会上浮, 而转轮室由于重力作用则会下沉, 灯泡头在浮力作用下也会上浮。针对这一问题, 提出在分析整个轴系受力基础上调整水轮机组轴系间隙, 采用管形座为主支撑, 发电机侧设辅助支撑的支撑方式, 解决水力振动的问题。

关键词 灯泡贯流式水轮机 水导轴承 间隙调整 水力振动

中图分类号 TK730.3+22

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2008)S2-0034-03

灯泡贯流式机组适用水头低, 具有过流量大、效率高、基础开挖小、建设投资少等优点, 基于这些因素, 灯泡贯流式机组正在越来越多地被应用。

桥巩水电站灯泡贯流式水轮机有许多结构上的特点, 给机组的安装带来困难。一是支撑方式上, 整个灯泡是一个大型薄壳外压容器, 除了承受机组转动部分的重量外, 还要承受水压力、浮力、正向水推力、反向水推力、振动力矩、电磁力矩等荷载, 因此灯泡机组的支撑体起着举足轻重的作用。主支撑由管形座(俗称座环)承担, 上、下支柱为管形座的主要组成部分, 各种荷载主要通过管形座传递给基础, 支柱是空心的, 作为运行检修人员的上下通道。在灯泡头的底部设有一个球型支撑, 其特点是允许灯泡头有微小的变形, 并可减少振动。另外灯泡头的两侧还装有 2 个横向支撑, 它与管形座、球支撑共同对灯泡形成稳定的支撑结构。二是轴承结构为双支点双悬臂结构, 设有发电组合轴承和水导轴承, 2 套轴承共用 1 套轴承润滑油装置。组合轴承位于发电机的下游侧, 由正推力轴承、反推力轴承和发导轴承组成, 水导轴承在水轮机大轴密封的上游侧。

由于水轮机导轴承是双支点双悬臂梁其中的一个支点, 轴承间隙必然在周向上不一致, 而且最根本的问题是转轮室充水后转轮由于浮力作用会上浮, 而转轮室则会由于重力作用下沉, 这样如果间隙调整不好, 必然造成转轮扫膛和水力振动的问题。

1 灯泡贯流式水轮机水力振动

水力振动是机组振动的重要干扰源, 就灯泡贯流式水轮机而言, 水力振动主要原因有水力不平衡、涡带振动、卡门涡列、狭缝射流、协联关系不正确等。

1.1 水力不平衡

水轮机转轮偏心、导叶开度不一致、桨叶开度不均匀或型线变坏等都会使流入转轮的水流轴向不对称而产生径向力。另外这种卧式布置的贯流式机组, 转轮上下叶片本身就存在一定的静水压差(立式机组不存在这种问题), 其压差与转轮直径有关, 直径越大压差就越大, 这也直接影响进入转轮水流的水力平衡, 从而引起转轮及大轴的摆动。

1.2 涡带振动

根据速度三角形可知, 由转轮流出的水流在最优工况时大致为轴向, 但机组负荷不可能总是在设计工况下运行, 当负荷大于最优工况时, 转轮出口的水流就具有与转轮旋转方向相反的旋转分量; 当负荷小于最优工况时, 转轮出口的水流就具有与旋转方向同向的旋转分量, 这样, 就在转轮出口及尾水管进口中心产生漩涡, 漩涡中心真空度很高, 即绝对压力很低, 当压力低于当时水温的汽化压力时, 便产生空蚀, 这就是一般所说的空腔空蚀, 这种空蚀产生的振动主要表现在转轮出口至尾水管进口处, 其特点是振动频率高、轴向振动大并伴随噪音和爆破音。另外, 在发生空腔空蚀时, 在流动的水流带动下使尾水管进口处产生的涡流延伸拉长, 形成 1 个螺旋状

的真空带,一边旋转(自转)一边向四周摆动,由于这个大的真空带在尾水管中摆动,摆到哪里,便会在那里产生压力脉动,可使管壁发生空蚀,而更重要的是会使转轮出口水流的阻力发生周期性变化,时而顺畅水流,时而阻止水流通过,从而引起不同程度的水头和出力的波动。同时,尾水管壁产生脉动压力会引起机组的基础、机架、轴承的振动和主轴的摆动,机组产生强烈的噪声,使水轮机效率大幅度下降。尽管其压力脉动引起的振动频率较低,每分钟只有几次,但其能量很大。

1.3 由卡门涡列引起的振动

卡门涡是一种涡列,当流体流过 1 个圆柱体或 1 块板时,在物体后面就会沿着 2 条互相平行的直线产生一系列相隔一定距离的单涡,这一系列单涡称之为卡门涡列。各个单涡以相反的旋转形式交替在物体后面两侧释放出来,与此同时,物体受到与来流方向垂直的很强的交变力,这种交变力与漩涡频率相同。假若交变力的频率与叶片固有频率相等时,就会产生共振,发出叶片振动的啸叫声,使叶片与转轮轮毂连接处产生疲劳裂纹。

1.4 狭缝射流

在灯泡贯流式水轮机中,由于转轮叶片的工作面和背面存在压力差,在桨叶外缘和转轮室之间的狭窄缝隙中形成一股射流,其速度很高而压力非常低,在转轮旋转过程中转轮室壁的某一部分在叶片达到的瞬间间隙最小、压力最低,而在轮叶离去后又处于高压,如此循环,形成了对转轮室壁的周期性压力脉动,从而产生振动,导致疲劳破坏。

1.5 协联关系不正确引起的振动

贯流转桨式水轮机在导叶开度改变的同时,桨叶转角也随同协联变化。所以当工况发生变化时转桨式水轮机能在相当大的变工况范围内仍保持高效率,使转轮叶片进口水流无撞击或撞击很小,出口水流为法向或接近法向,保持最优或接近最优的能量转换状态,将空蚀和振动降到最低程度,转轮的水力损失很小。但是,当这种协联关系不正确或被破坏时,一方面会引起调速器系统持续振荡过程变长,机组出力、转速发生振荡,转动部分的扭矩就会引起大轴变形,从而使转子产生扭转振动;另一方面,由于水流情况恶化,在水导轴承、组合轴承处引起轴向振动,同时,协联关系不正确时,水流对叶片就会产生冲击,在不断的调节过程中,由于冲角随时在变化,作用在叶片上的水流及由此而产生的叶片扭矩、变形等也相应变化,这些变化过程就是产生振动的原因。

1.6 其他原因引起的振动

当水轮机空蚀严重时,同时会产生机械振动和噪音,特别是在低水头或低负荷时,转轮叶片冲角变化较大,使叶片产生强烈的脱流漩涡,一方面恶化空蚀现象,另一方面引起转动部分和尾水管的振动,这种振动频率没有一定规律,被称之为由空蚀引起的振动。另外,在停机或甩负荷导叶快关时的反水锤,也会引起机组振动。

2 转轮扫膛

流道冲水后,由于浮力的影响,转轮会上浮,而转轮室会整体下沉变形,这样会使静态下调整好的各部间隙和受力发生变化,加上机组运行后桨叶在水力作用下会带动整个转动部分轴向“窜动”,桨叶就容易与转轮室发生扫膛,轻度的扫膛会加大机组振动和机组运行的噪音,过大的扫膛会使桨叶卡阻甚至损坏。

3 桥巩水电站灯泡贯流式机组轴系及支撑

3.1 径向轴承

a. 水轮机径向轴承采用分块瓦结构,其运行可靠、便于检修。在运行中保证不漏油和不甩油。

b. 水轮机径向轴承必须能安全承受机组任何运行工况(包括飞逸工况)下的径向荷载。

c. 轴瓦表面衬以巴氏合金材料。巴氏合金瓦衬通过楔形结合和采用分子黏合剂固定在轴瓦体上,应进行 100% 超声波检查,至少有 95% 的面积接触才能确认为合格。如果仅采用分子黏合剂固定,则超声波检验时至少有 99% 的面积粘合,才能确认合格。轴瓦应在制造厂与主轴轴承段的轴颈配装合格,不允许在工地安装时进行研刮。轴承的设计要允许主轴出现微小的轴向位移。

d. 轴承支撑采用球面支撑自调心结构以适应主轴挠度的变化。下部设有调整块,用于主轴轴线调整,并可调整转轮和转轮室之间的间隙。

e. 轴承要设置高压油顶起装置、轴承回油箱和高位油箱。所需的管路、油泵、阀门、油过滤器、冷却器、仪表及其他附件均由卖方成套供应。

f. 水轮机在各种运行工况下,轴瓦温度不得超过 65℃,轴承油温不超过 55℃,并设有温度信号计。

g. 轴承应能安全地承受最大飞逸转速 5 min 而不被破坏。在额定负荷正常运行且冷却水中断情况下能安全运行 10 min 而不损坏轴瓦。必要时不投入高压油顶起装置,导轴承仍能安全承受,从最大飞逸转速工况至停机状态。

3.2 组合轴承

a. 发电机的正、反向推力轴承和径向轴承组装在同一个轴承座内,设在转子下游侧。

b. 推力轴承正、反推力瓦采用巴氏合金瓦。

c. 在各种正常工况运行时,推力轴承瓦的温度不超过 70°C ,径向轴承瓦的温度均不超过 65°C 。

d. 应允许水轮发电机组在停机后能够立即启动,并允许在事故发生时(包括飞逸转速时)不投入高压油顶起装置停机从而不损害推力轴承和导轴承。

e. 如果轴承油冷却器冷却水中断,应允许机组在额定工况下无损运行 5 min 。

f. 推力、径向组合轴承及埋入式检温计均应对地绝缘,其绝缘电阻在 $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 时用 1000 V 兆欧表测量,其值应大于 $1.0\text{ M}\Omega$ 。

g. 镜板与主轴一起进行锻压加工,并经过足够的时效(调质),精加工完后镜板的镜面应无任何缺陷,加工技术应符合下列规定:①镜板硬度不低于 170 HB ;②镜板各部位硬度差值小于 30 HB ;③两平行面平行度小于 0.02 mm ;④镜板平面度小于 0.02 mm ;⑤镜面粗糙度小于或等于 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。

h. 径向轴承应配有一套高压油顶起装置,在机组启动和停止时使用。

i. 推力轴承瓦面和径向轴承瓦面的巴氏合金应无夹渣、缩孔和气孔,用超声波检查轴承无脱壳现象。

j. 发电机轴承和水轮机轴承共用一套润滑油系统和润滑油冷却系统。

k. 在拆卸、调整或检修轴承时,顶轴装置应能顶起发电机的旋转部分。

l. 推力轴承应有防轴电流措施。

3.3 支撑

a. 机组支撑采用管形座为主支撑,发电机侧设辅助支撑。

b. 管形座既是流道又是机组的主支撑,必须具备足够的刚度和强度。应计算管形座固有频率,并使其固有频率与扰动力频率之间有足够的距离,以避免共振的发生。

c. 管形座由内管形壳、外管形壳、前锥体、上部竖井和下部竖井等组成。上、下竖井内应设有不锈钢爬梯和花纹钢板平台,并须考虑管道、电缆的通过。上部竖井顶部应与运行层地面齐平。

d. 内管形壳采用分瓣或整体结构;外管形壳采用钢板分瓣结构,应延伸至发电机盖板下游端。两

者在工厂内预装并在现场组装,其与混凝土接触面应设有锚具及拉杆(包括拉紧用的螺旋扣)。下部竖井支撑与基础之间应设有安装调整装置。

e. 管形座埋设在混凝土中的全部筋板和锚具、浇筑混凝土时内外管形壳之间的支撑、供敷设管路和电缆的各加强肋板与内配水环连接。

f. 管形壳底部应开一定数量的混凝土浇筑孔和灌浆孔,并带堵板。

g. 内配水环、水封座、导水锥三者之间均采用螺栓连接,接合面应有止漏措施。

4 结 语

灯泡贯流式水轮机组轴系采用双支点双悬臂梁,由于重力和转动不平衡,使轴承间隙在周向上不一致,转轮室充水后转轮由于浮力作用会上浮,而转轮室则会由于重力作用下沉,灯泡头在浮力作用下也会上浮,这样如果发电组合轴承和水轮机组组合水导轴承间隙调整不好,必然造成发电机转子和水轮机转轮扫膛及机组产生水力振动的问题。灯泡贯流式水轮机组轴系间隙调整的关键是分析整个轴系的受力以及充水前后受力发生的变化,考虑间隙发生变化的余量,这样机组的轴系调整才能容易满足要求。

(收稿日期 2008-11-15 编辑 方宇彤)

(上接第 11 页)

按图纸依次安装受油器,确保受油器与操作油管同轴度不大于 0.2 mm 。对照调速器油管路图配置受油器管路。操作油管受油器零件清洗后,放置在木板或橡胶板上,用白布包好。吊装时采用麻绳或尼龙绳吊装,防止零件拉伤。受油器管路焊接必须采用亚弧焊,然后进行酸洗、耐压试验。受油器安装时随时检查,防止异物落入。

2 结 语

广西桥巩水电站灯泡贯流式水轮发电机组是我国目前单机容量最大的灯泡贯流式机组,由于灯泡贯流式机组本身适用于低水头电站,流道尺寸较大,所以机电安装中部件的变形问题,双向止推组合轴承、双支点双悬臂主轴的挠度问题,以及灯泡头、转轮的上浮和转轮室的下沉问题等都是世界级的难题,通过科技人员的攻关和努力,解决了这些难题,经过试运行,证明桥巩水电站特大型灯泡贯流式机组整体安装质量优良。

(收稿日期 2008-11-28 编辑 高建群)