

桥巩水电站水轮发电机组轴承安装

莫斌伟,钟小华

(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 总结桥巩水电站水轮发电机组轴承的结构特点及安装特点。轴系采用双支点双悬臂支撑方式,整个机组是 1 根整轴,发电机部分采用组合轴承结构,组合轴承由正、反向推力轴承和分块瓦卧式径向轴承组成,3 个轴承位于同一油槽内,正、反向推力瓦和径向瓦由同一轴承支架支撑。水轮机部分设 1 个径向轴承。

关键词 灯泡贯流式水轮机 推力轴承 径向轴承 桥巩水电站

中图分类号 :TK730.3+22 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2008)S2-0016-02

轴承是水轮发电机最关键的部件之一,更是贯流式水轮发电机组设计制造的关键技术和难点。贯流式水轮发电机轴承的设计难点,在于受到机组内部空间的限制,既要充分考虑运行的可靠性,又要给安装、调试、运行、维护和检修创造方便的条件。大型卧式机组的轴系支撑一般采用双支点支撑和三支点支撑方式。已运行的采用两支点支撑方式的灯泡贯流式水轮发电机组的参数见表 1。

表 1 已运行的采用两支点支撑方式的
灯泡贯流式机组的参数

电站	国别	功率/ MW	最高水 头/m	额定转速/ (r·min ⁻¹)	转轮直 径/mm	轴系支撑 方式
ALLEGHENY3	美国	5	4.3	65	5 800	双悬臂
科拉斯托姆	葡萄牙	40	11.3	83.3	6 800	双悬臂
只见	日本	65		100	6 700	双悬臂
贝莱	法国	46.7	17.02	107.1	6 400	推导前置
CAKOVEC	南斯拉夫	42	18.9	125	5 400	推导前置
尼拉	中国	40	12.2	100	5 500	推导前置
阿尔腾沃尔特	奥地利	46.7			6 000	双悬臂
易卜斯	奥地利	46.00			7 500	双悬臂
洪江	中国	45.00			5 400	双悬臂
长洲岛	中国	42.94	9.5	75.0	7 500	双悬臂

1 两支点与三支点轴系支撑

轴承的负荷取决于转动部件的质量,在有多多个轴承的转动轴系中,每个轴承分担的负荷取决于这个轴承在整个轴系受力点中所处的位置。大型贯流式水轮发电机组是采用两支点轴承还是三支点轴承,需针对具体机组的具体轴承来进行分析计算,且

选取两支点轴承或三支点轴承关系到整个机组的总体布置和设计、制造难度及其经济性能。

1.1 两支点轴承主要结构特点

两支点轴承为现今国际上大中型贯流式水轮发电机组采用的最普遍的结构形式,因此进行的研究也最多、最深入。大型贯流式水轮发电机组采用的均是双支点双悬臂型结构,其优点为发电机与水轮机共用 1 根轴,制造、安装、轴线调整等均较为简单,已成功运行于多台机组。两支点轴系支撑方式见图 1。

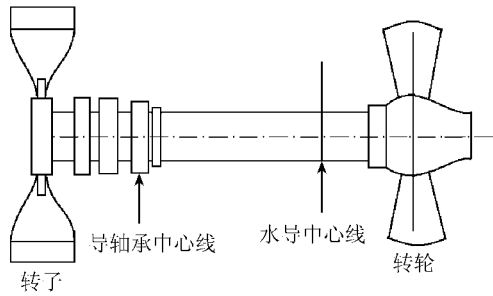


图 1 两支点轴系支撑方式轴承示意图

桥巩水电站水轮发电机组如采用双支点轴承支撑按推算位置受力时,在发电机处的径向轴承和水轮机处的径向轴承的比压、油膜厚度、油膜温度均在合理的范围内,能够保证机组长期安全运行。通过对轴承计算可知,发电机端法兰的挠度、静止状态下转子磁轭最远端挠度以及运行时当偏心磁拉力与转子重力重合时,磁轭最远端挠度在定子轴线挠度的偏差远小于国家标准的规定,均在机组的安全运行范围之内。因此桥巩水电站水轮发电机组轴承采用

双支点双悬臂的两支点轴承的轴系完全可满足机组的运行性能。

1.2 三支点轴承主要结构特点

三支点轴承用于单个轴承负荷过大、发电机转子轴向较长、悬臂外轴线挠度过大时,在转子上游侧再加一筒式径向轴承的卧式机组,它对于分担发电机侧的径向轴承负荷有利(从图 2 可见,水轮机侧轴承所承受的径向负荷几乎不变),能使轴承的运行性能变好,且转子轴系挠度减小,但机组轴系需采用 2 段轴结构,转动部分的轴系质量要增加,整个发电机灯泡体尺度需增长,相应增加前端轴承受力支撑部件、增大诸如封水盖板等其余结构件的尺寸,同时也需另加 1 套连接油路循环、高压油顶起等的管路系统,不但增加了设计、制造、调试、运行、维护的难度,而且该轴承放置于发电机前端泡头内,使本已布置很紧张的设有通风冷却系统、受油器系统的泡头空间显得更拥挤。因此,只要在两支点轴承能满足运行性能要求的前提下,均不采用三支点轴承。

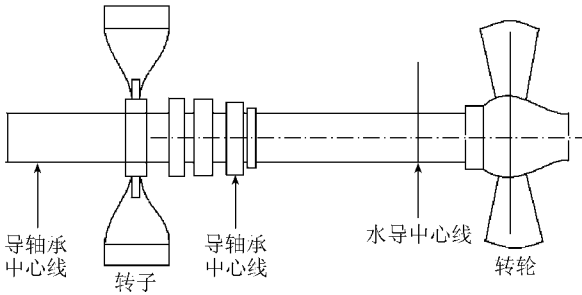


图 2 三支点轴系支撑方式轴承示意图

三支点轴承运用的机组实例较少,一般均用于 20 多年前生产的大型机组中,近年来采用较少。三支点轴系支撑方式轴承如图 2 所示。

2 桥巩水电站的轴系

2.1 轴承结构形式

在桥巩水轮发电机组的设计中,采用组合轴承结构。组合轴承由正、反向推力轴承和分块瓦卧式径向轴承组成,3 个轴承位于同一油槽内,正、反向

推力瓦和径向瓦由同一轴承支架支撑。机组的全部轴向推力负荷由推力轴承承担,机组主要的径向负荷(电机转动部分质量)由径向轴承承担,轴承负荷由轴承支架传递到水轮机的座环上,轴承支架为整体焊接、加工结构。正反向推力瓦各为 12 块,为支柱螺丝支承的可调瓦结构。推力瓦为钨金瓦,采用高位油箱自重力供油和瓦面进油边表面开槽入油的润滑方式。由于停机过程中推力轴承不像常规机组那样承受轴向推力,故推力轴承不设高压油顶起装置。径向轴承采用分块瓦支撑结构,下部设 4 块工作瓦,上部设 2 块辅助瓦,径向瓦采用高位油箱自重力供油和瓦面进油边表面开槽入油的润滑方式。径向轴承下部 4 块瓦设高压油顶起装置,在机组开机时启用。组合轴承以主轴本体作正、反推力镜板和卧式轴承轴颈。该组合轴承的特点如下:①直接在主轴本体上制造出正、反推力镜板和卧式轴承轴颈,避免了常规组合轴承镜板分瓣面可能的间隙和不平度,镜面与轴线的垂直度在主轴加工时同时加工,质量容易保证;②分块瓦径向轴承瓦块尺寸小、质量小、变形小,降低了制造难度,制造质量更易保证,克服了常规圆筒式径向瓦尺寸大、加工难、易变形的缺点;③分块径向瓦的油路较短,瓦温低,瓦变形较小,避免了常规圆筒式径向瓦油路长、瓦温高、瓦变形大的问题。特别是对更大型的机组径向轴承也适用;④安装检修方便,避免了常规圆筒式径向瓦存在的尺寸大、装拆困难等问题;⑤瓦间隙可以调整,避免了常规圆筒式径向瓦与轴颈间隙只能靠加工保证,无法调整,一旦瓦体变形或在运行中出现意外时,处理极为困难的问题;⑥径向瓦离转子更近,轴头尺寸更大,转子挠度小,更易保证定、转子间气隙均匀。

2.2 轴系有限元计算

轴系计算采用有限元计算软件,按两支点双悬臂支撑结构建立力学模型,考虑轴系的动静态力(自重、浮力、质心不平衡力、电磁拉力等),对轴系的临界转速、变形、支反力、应力等进行计算分析。装机容量 57 MW 和 46 MW 时,轴系计算结果见表 2。

表 2 装机容量 57 MW 和 46 MW 时轴系计算结果

工况	装机容量/ MW	临界 转速/ (r·min ⁻¹)	安全 系数	转子下 沉量/mm	转子 偏转角/ rad	发导下 沉量/mm	发导偏 转角/ rad	水导下 沉量/ mm	水导 偏转角/ rad	转轮下 沉量/ mm	转轮 偏转角/ rad	发导 支反力/t	发导 比压/ MPa	水导 支反力/t	水导 比压/ MPa	推力 负荷/t	推力轴 承比压/ MPa
水中 静止	57			2.24	0.328	1.81	0.287	1.5	0.21	2.45	0.324	226		167		885	< 30
	46			2.01	0.36	1.54	0.314	1.17	0.193	1.98	0.302	193		130		735	
额定 工况	57			2.85	0.462	2.255	0.413	1.602	0.294	2.81	0.41	282	2.57	178	1.8	885	< 30
	46			2.524	0.39	1.898	0.423	1.247	0.261	2.25	0.1	238	2.30	139	1.1	735	
飞逸 工况	57	469	1.74	2.464	0.385	1.96	0.344	1.724	0.3	2.991	0.43	245	2.57	192	1.8	885	< 30
	46	513	1.71	2.09	0.381	2.16	0.334	1.196	0.21	2.058	0.321	201	2.30	133	1.1	735	

注 标书要求安全系数大于或等于 1.2。水导轴承采用动静压结合分块瓦结构,发电机导轴承采用动静压结合分块瓦结构,推力轴承为分块瓦结构,采用支柱螺钉与球面支钉相结合的支撑结构。

(下转第 26 页)

面,外平面比内平面高出地面 $980 \pm 0.25 \text{ mm}$

c. 将两瓣外配水环和两瓣内配水环放于平台上,检查骑缝销是否定好,在把合面上装橡皮条,拧紧把合螺栓,检查把合面的间隙是否满足国标要求。

d. 按编号将上密封环、导叶(下密封环已装上)、导叶臂、端盖、销等分别装入外配水环的16个孔内。

e. 吊起内配水环,用手拉葫芦调整内配水环的水平位置及高度(内外配水环两平面之差 $980 \pm 0.25 \text{ mm}$),保持与外配水环同心(包括内外配水环导叶孔同心)。

f. 按编号分别将导叶下轴等装入内配水环。

g. 调整导叶端面及立面间隙,使之达到设计要求,并填写检验纪录。

h. 将4瓣控制环在平台上组合好。在外配水环适当位置焊好临时撑,按XT标记把控制环放置在临时支撑上并调好水平位置。再分别将钢珠(涂上黄油)放置V形槽内,安装压环(4/4),拧紧螺栓,控制环应转动灵活。最后安装16个弹簧连杆。

i. 在内外配水环之间安装支撑,防止座环在翻身起吊时移动。

j. 安装翻身起吊工具。

k. 吊装座环各种零件时严禁磕碰刮伤。

2.2 导水机构的正式安装

a. 座环二期混凝土水泥强度达到设计要求,拆去内部支撑,修磨高点并进行补漆。

b. 清理各工作面和螺孔,测量验收座环并填写检验纪录,符合要求后,准备安装导水机构。

c. 按设计要求座环进行翻身并清理检查把合面,安装好橡胶条,吊入机坑与座环把合。

d. 进一步调整测量导叶端面和立面间隙,符合设计要求后,测量配置安装补偿环。

e. 导水机构安装要符合 GB/T8564—2003 要求。

f. 导水机构吊装前,仔细检查桥机机械电气关键部位。吊装过程中派专职人员在桥机关键部位进行监控。

2.3 导水机构安装的新工艺

为防止导水机构在安装过程中内外环焊接变形和吊装中的变形,除了在内外环之间焊接必要的支撑外,还专门在导水机构出口端的内外环之间设计一个支持架,将内外环固定;同时将内外环之间16个导叶用专用工具提拉导叶轴颈,将导叶与外环之间的间隙调整为零,所有间隙留存在导叶与内环之间,在导叶与内环之间的间隙中打入楔子板,所有导

叶应调至全关位置,将相连的2个导叶用钢板焊接在一起,所有导叶组成一个整体,大幅度提高了导水机构的刚度,使吊装过程中的变形大幅度减小。

3 结 语

灯泡贯流式水轮发电机组导水机构是水轮机的重要组成部分。由于灯泡贯流式水轮发电机组一般适用于低水头大流量的水电站,机组尺寸都比较大,故机组在安装过程中的变形问题几乎是不可避免的。而导水机构直接影响到水轮机的水流流态,安装精度要求高,桥巩水电站采用的导水机构安装新工艺,基本上避免了导水机构在安装过程中的变形,而且缩短了导水机构滞空时间,取得很好的效果,将为后续机组和其他电站机组的安装提供宝贵经验。

(收稿日期 2008-11-15 编辑 方字形)

(上接第17页)

从计算结果看,两支点支撑方式满足要求。

3 结 语

通过对两点支撑和三点支撑的卧式机组轴承支撑方式的比较,以及对已经运行的大型灯泡贯流式机组支撑方式的比较,再通过有限元法对轴系的临界转速、变形、支反力、应力等进行计算分析,证明桥巩水电站选用双支点双悬臂的轴承支撑方式是科学的、可行的,运行也是可靠的。随着我国卧式机组单机容量越来越大,对卧式机组的轴系支撑方式有必要进一步研究。特别是流道充水后发电机部分和水轮机部分的径向轴承的受力会发生变化。运行时,整个轴系会沿轴向“窜”动,这样易造成发电机转子和水轮机转轮“扫膛”。这些问题都需要进一步研究。

(收稿日期 2008-11-28 编辑 高建群)

