

桥巩水电站水轮发电机结构特点

潘 勇,王贵清

(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 6208607)

摘要 :介绍灯泡贯流式机组发电机结构特点 :①整个发电机处于流道的中间,发电机内部空间狭小,设备布置及通风冷却效果差;②整个机组的密封要求高;③由于整个发电机处于流道中间,给机组的支撑带来困难;④卧式机组的轴系受力结构复杂。广西桥巩水电站机组轴系采用双支点支撑方式,整个机组的支撑采用管形座做主支撑,灯泡体的侧向支撑为辅助支撑,冷却采用一次冷却方式。

关键词 :灯泡贯流式水轮发电机机组;双支点支撑;桥巩水电站

中图分类号 :TK730.3

文献标识码 :B

文章编号 :1006-7647(2008)S2-0037-03

1 水轮发电机的结构

1.1 发电机舱

a. 发电机舱由灯泡头、锥形段、进人孔及发电机上游挡风板等组成。

b. 灯泡头采用钢板焊接而成,外部焊缝打磨光滑,保持球状流线型,内部设筋条,外表面涂有防止生长水生物的漆,内表面涂有防结露漆。锥形段为钢板焊接结构,灯泡头与锥形段的连接处设密封止水,配有连接和密封件以及灯泡头起吊工具和专用设备。

c. 进人孔。发电机舱上方设有进人孔,进人孔为人员的进出、管路及电缆的通道。进人孔便于拆卸,并设有密封止水,上部穿出抗压盖板。

d. 发电机舱内设有巡视检修平台、除湿器、受油器、集电环和电缆端子箱、照明箱、探测器等设施。

e. 发电机舱的最低点装有排水管接头和水位报警装置。

f. 发电机舱内的仪表和自动化元件是抗振、防湿和防锈的。

1.2 灯泡体辅助支撑

a. 灯泡体辅助支撑采用四支撑结构,即下部设 2 个垂直支撑,左右 2 则各设有水平侧向支撑。

b. 垂直支撑允许灯泡体有微小的轴向移动,以消除灯泡体由于热应力及机械变形而引起的轴向力作用。垂直支撑的混凝土基础设有支墩护板。

c. 侧向支撑过流断面呈流线形,在现场安装。

1.3 导流部件

a. 上部导流板 :位于发电机进人竖井与水轮机进人竖井之间,导流板用钢板焊接,用螺栓与其他构件连接。

b. 下部导流板 :位于发电机下部混凝土基础和定子机座之间,采用钢板焊接结构,用螺栓把合。

c. 发电机抗压盖板 :为钢板焊接结构,由框架、盖板和导水板 3 个部分组成。框架 4 侧有与混凝土牢固连接的锚具。发电机抗压盖板具有足够的强度和刚度,能承受最大的静压和水锤压力。

1.4 定子

a. 定子包括定子机座、铁芯和绕组等主要部件。定子机座由钢板焊接而成,定子在厂内组装叠片下线,整体运至工地。

b. 定子有足够的刚度以满足在运输放置位置和起吊方式下的受力与控制变形的要求。

c. 铁芯内圆的轴向中心线尽量与转子挠度偏转的轴线重合。

d. 叠片采用高磁导率、低损耗、无时效冷轧硅钢片,冲片经严格去毛刺并涂 F 级绝缘漆。

e. 为保证铁芯叠压质量,对叠片逐层压紧,并在加热状态下最终压紧。卖方应保证在各种运行工况下,铁芯叠片不允许存在可觉察到的蜂鸣声。铁芯采用拉紧螺杆加高强度碟簧压紧的结构,所有碟形弹簧的尺寸和性能必须一致。

f. 定子绕组采用星形连接。绕组绝缘符合 IEC34 中规定的 F 级绝缘要求。绝缘材料具有良好

的电气性能、机械性能、抗老化、耐潮湿性能和具有不燃或难燃特性。

g. 定子绕组导体材料为退火铜,其导电性能符合标准,没有毛刺、裂纹、粗糙的斑点或尖角。

h. 定子线棒有良好的防电晕和耐电腐蚀能力,槽部和端部采取防电晕措施。整机耐压时槽部和端部在 $1.1U_n$ 不起晕。

i. 定子线棒具有互换性。定子线棒采用不完全换位法换位,以减少损耗降低线圈股间温差。

j. 定子绕组在实际冷态下,最大与最小两相间直流电阻差值在校正由于引线长度不同引起的误差后不超过最小值的 1%。

k. 线棒在定子槽内与定子铁芯之间的配合紧密,并有防止线棒松动和磨损的措施。线棒与铁芯单侧间隙一般不超过 0.3 mm,长度小于或等于 100 mm,当超过上述值时,以半导体垫条塞实,塞入深度尽量与绕组嵌入深度相等。采用适形材料保证发电机在各种运行工况下均能避免线棒松动和位移。

l. 所有接头和连接均采用银铜焊工艺。接头绝缘(或并头套)与线棒至绝缘的搭接长度符合有关规定的要求。线圈端部进行牢固的支撑和固定,防止在严重短路情况下产生应力引起振动和变形。

m. 定子端箍和铁芯齿压板的压指用非磁性材料制造。

1.5 转子

a. 转子由转子支架、磁轭和磁极等部件组成。

b. 转子采用无轴结构,转子支架具有足够的强度和刚度。

c. 制动环采用耐磨、耐热性能良好的材料制造。制动环布置在转子上游侧,便于检修和维护。

d. 磁极铁芯使用薄钢板冲片,采用螺栓拉紧。磁极绕组采用符合 GB 或 IEC 标准的 F 级绝缘,由铜带扁向绕制而成。磁极线圈、绝缘托板采用整体一次热压成型工艺制造。并保证在飞逸时不产生有害变形。线圈间的极间连接非常可靠,便于检修拆卸。

e. 转子装有纵横阻尼绕组,阻尼绕组设计使 X''_q 与 X''_d 之比接近 1。阻尼条与阻尼环的连接采用银焊,阻尼绕组间采用柔性连接,防止因振动和热位移而引起事故。其连接牢固可靠,便于检修拆卸。阻尼绕组具有承受短路和不平衡电流的能力。

f. 转子所有焊接部分以及磁极与磁轭之间的固定螺栓采用 100% 无损探伤。

g. 磁极的结构设计考虑不必吊出转子就能拆卸和更换。

1.6 组合轴承

a. 发电机的推力轴承和径向轴承按标准进行设计和制造。

b. 发电机的正、反向推力轴承和径向轴承组装在同一轴承座内,设在转子下游侧。

c. 推力轴承正、反推力瓦采用巴氏合金瓦。

d. 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 。

e. 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)不投入制动和高压油顶起装置停机而不损害推力轴承和导轴承。

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

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

h. 镜板精加工完后的镜面无任何缺陷,加工技术符合下列规定:①镜板面硬度不低于 170 HB;②镜板面各部位硬度差值小于 30 HB;③镜板面平面度小于 0.02 mm ;④镜板面粗糙度小于或等于 $0.4\ \mu\text{m}$ 。

i. 径向轴承配有 1 套高压油顶起装置,在机组启动和停止时使用。

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

k. 发电机轴承和水轮机轴承共用 1 套润滑油系统和润滑油冷却系统。

l. 在拆卸、调整或检修轴承时,顶轴装置能顶起发电机的旋转部分。

m. 推力轴承有防轴电流措施。

1.7 集电环和电刷

a. 集电环和电刷设在发电机上游挡风板外侧的小轴上,具有足够的距离或屏障。电刷的布置考虑了维护的方便,易于更换、调整和清扫。集电环采用高强度的材料制作,表面抛光,其最大摆度(双幅)小于 0.5 mm 。

b. 电刷采用高耐磨摩根 NCC634 材料制成。

c. 集电环和引线的全部绝缘应耐油、耐潮。电刷与励磁电缆之间引线使用镀银编织铜线,其截面尺寸至少能承受 130% 最大励磁电流。

d. 从集电环至励磁盘的励磁电缆中间没有接头,且不经发电机端子箱。

1.8 发电机引出线和中性点装置

a. 引出线。主引出线和中性点引线均为额定线电压 F 级全绝缘。

b. 中性点装置。发电机中性点经干式接地变压器接地,接地变压器的容量由厂家计算,并由厂家

与设计单位共同确定。当发电机发生定子一点接地故障时,能使继电保护装置迅速启动,瞬时将接地故障的发电机退出运行。

1.9 冷却系统

a. 发电机冷却采用一次冷却方式,系统设备由轴流风机、空气冷却器、供水设备和管路等组成,冷却系统的设计容量应留有余量。

b. 每个冷却器便于拆卸和更换,且不影响其他冷却器的正常运行。冷却器能防止沉淀物堆积,并便于检修和清洗,冷却器的换热管采用 $\varnothing 20$ 的铜镍合金管。

c. 每个冷却器进出口上装阀门、自动排气阀和排水阀,进口和出口的地方装有带螺纹连接的表计旋塞及压力表。每个冷却器都安装起重吊环,冷、热风口安装电阻式测温计。

d. 轴流风机设有远方控制和现地控制装置。在河水温度为 30°C 时,当一台风机和一台空气冷却器退出运行时,能连续在额定出力运行,且各部分温升不超过规定值。

e. 冷却器设计的最大工作水压力为 0.4 MPa ,试验压力为 0.8 MPa ,历时 60 min 无渗漏。

f. 通过冷却器的压降不超过 0.1 MPa 。冷却器管内流速小于或等于 1.5 m/s ,管道系统内的流速不超过 3 m/s 。

g. 在不同河水温度情况下,不同台数冷却器和风机退出运行时发电机功率限制值见表1。

表1 不同台数冷却器和风机退出运行时发电机功率限制值占额定功率的百分比 %

河水温度/ $^{\circ}\text{C}$	1个空气冷却器	1台风机	1台风机、1台空气冷却器	1台风机、2台空气冷却器	2台风机、2台空气冷却器
30	100	100	100	90	88
25	102	100	100	93	90
20	105	103	103	97	93

1.10 制动停机装置

a. 发电机设有机械制动停机装置。空气制动器均布在锥形冷却套附加筋板上,与发电机转子制动环相对应。制动器灵活可靠,压力释放后能自动复位。

b. 制动装置的投入。①机械制动停机装置正常使用时,当机组转速下降到 $15\sim 20\%$ 额定转速时投入,全部制动停机时间为 $1\sim 2\text{ min}$;②在停机过程中出现导叶故障大量漏水时,制动力矩保证2个导叶停机,其制动气压为 0.7 MPa 。

1.11 测速装置

齿盘测速装置由齿轮盘测速传感器和相应的转

速信号处理回路构成,具有以下主要功能:①机组转速检测;②机组蠕动检测;③机组超速开关输出。

1.12 锁锭装置

当机组停机检修时,为防止机组因导叶漏水而转动,机组设置了安全可靠的锁锭装置,锁锭装置布置在发电机侧。

1.13 防潮装置

a. 在发电机定子内设有电阻型加热器,加热器在停机时能自动投入,机组运行时能自动退出。

b. 发电机舱内装有能自动控制运行的小型除湿机,除湿器内的凝结水排入定子机座底部的排水槽。

1.14 照明装置

a. 发电机舱及水轮机舱内设有足够的照明装置。正常照明电源经安全隔离变压器供电,采用 36 V 交流电。

b. 在发电机进人孔和水轮机进人孔竖井内设带直流逆变器的应急(事故)照明灯,电压为 36 V ,正常照明电源消失时能自动投入。

1.15 温度检测

a. 每台发电机均配有电阻式温度检测元件,供计算机温度巡检以及温度报警时用。

b. 电阻式温度信号装置探测元件均采用进口铂电阻。在 0°C 时,其电阻值为 $100\pm 0.1\Omega$ 。

c. 温度探测元件设置在能反映最热温度的位置,每个探测元件均用3根引线接至发电机端子箱中的端子排上,其中1根引线接到端子板的公共点或汇流排上。轴承温度探测器的公共点与各个定子温度探测器的公共点分开。公共点对地绝缘,每个端子排上或其附近都有接地设施。在需要防止杂散轴电流影响处,温度探测器的外壳给予绝缘,导线绕在一起,使电磁干扰最小,并可屏蔽,使静电干扰最小。

2 结 语

桥巩水电站装有目前单机容量世界第二、我国第一的特大型灯泡贯流式水轮发电机组,发电机采用管形座为主支撑,灯泡体侧向支撑为辅助支撑。轴系支撑采用发电机部分组合轴承及水轮机部分水导轴承的双支点双悬臂的支撑方式。冷却采用一次水冷却加轴流风机的冷却方式,这些结构上的特点对我国特大型灯泡贯流式机组的制造和安装提供了宝贵的经验。

(收稿日期:2008-11-15 编辑:方宇彤)