

缅甸邦朗电站水轮发电机设计

赵向东¹, 吴炳晖²

(1. 哈尔滨电机厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

[摘要] 本文简要介绍了邦朗电站水轮发电机的基本特性、结构设计、通风冷却系统、独特的防甩油装置等。从运行结果可以看出, 邦朗发电机的各项性能指标均优于国家标准。

[关键词] 水轮发电机; 结构设计; 通风冷却; 运行性能

[中图分类号] TM312 [文献标识码] B [文章编号] 1000-3983 (2005) 03-0009-04

Design of the Hydrogenerator in Puangluang Power Station in Manyma

ZHAO Xiang-dong¹, WU Bing-hui²

(1. Harbin Electric Machinery Company Limited, Harbin 150040, China;

2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper briefly introduced the basic characteristics, structure design, ventilation system and the special device to prevent oil from churning. From the result of operation, the various parameters performances of Puangluang generator are higher than national standard.

Key words: hydrogenerator; structure design; ventilation system; operation performance

1 前言

缅甸邦朗水电站位于缅甸境内距仰光约 400km 的彬文那镇附近, 坝址距彬文那镇约 13km。电站采用坝后式地下厂房, 共装 4 台单机容量为 85MVA 的水轮发电机组, 总装机容量为 340MVA。由于缅甸本国技术人员缺乏, 而邦朗水电站又是缅甸的最大水电站之一, 被视为缅甸的“三峡”工程, 因此, 对缅甸邦朗水轮发电机设计要求十分严格, 具有一定的难度。

2 发电机主要技术数据

型号	SF72.25-22/5800
额定功率/容量	72.25MW/85MVA
额定功率因数	0.85 (滞后)
额定电压	11kV
额定电流	4461.3 A
额定频率	50 Hz
额定转速	273 r/min
飞逸转速	570 r/min
短路比	1.12
额定励磁电压	160.88 V
励磁电流	1344.9 A
额定效率	98.38%
定转子绕组绝缘等级	F 级

铁心绝缘等级	F
转动惯量	2400 t·m ²
推力轴承负荷	560 t
励磁方式	静止可控硅励磁
冷却系统	密闭自循环双路径向端部回风空气冷却系统

3 发电机总体结构

3.1 总体布置

发电机为三相凸极同步发电机, 机组整体结构采用立轴三导悬式结构。发电机设上下两个导轴承(水轮机设有水导), 推力轴承位于转子上面上机架中心体上(见图 1)。采用空气冷却。发电机主要部件包括: 定子、转子、推力轴承、上导轴承和上机架、下导轴承和下机架、空气冷却系统、机械制动及顶起系统、灭火系统等。

发电机定子机座下端经 6 个基础板与混凝土基础固定, 上端连接上机架。从定子铁心内径可整体吊出发电机下机架及水轮机顶盖。可在不吊出转子、不拆除上机架的条件下, 拆卸和挂装磁极, 检查定子线圈端部或更换定子线圈。

转子是轴系和通风系统的组成部分。轴系由发电机转子本体、发电机大轴、水轮机大轴及转轮组成。转子支架、磁轭和磁极构成径向通风回路的压力源。

上机架为负荷机架，中心体上部为推力轴承，内部为上导轴承。上机架通过 6 个支臂与定子机座连接，每个支臂与基础间都设有千斤顶及剪断销装置，以承受机组运行时产生的径向力，同时保证基础所受负荷不超过允许值。

下机架内有下导轴承，4 个支臂下端通过基础板与混凝土基础固定。支臂兼做固定制动器的基础。

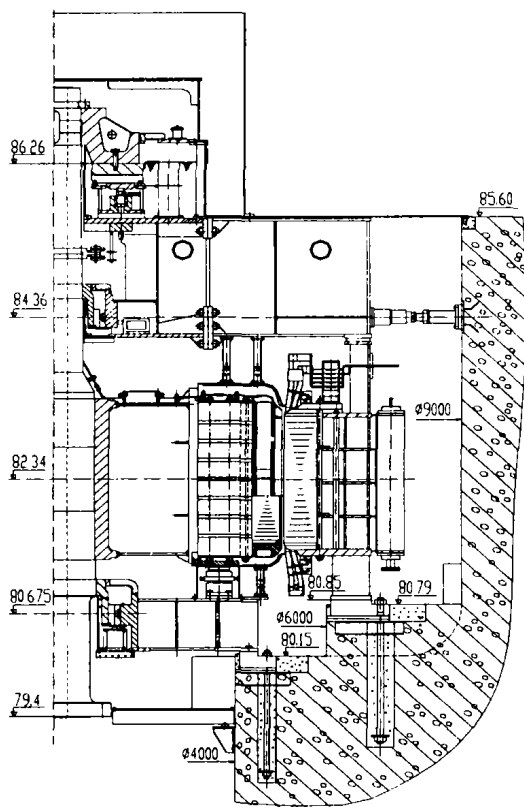


图 1 邦朗发电机总装剖面

3.2 定子

定子装配由定子机座、定子铁心、定子绕组、端箍、测温装置和绝缘件、固定件等组成。为便于运输，定子分成 3 瓣，运到工地后组成整圆。

定子机座由钢板焊接而成，机座外径 $\phi 7000\text{mm}$ ，高度 3220mm ，定子机座具有足够的刚度和强度，它承受上机架传递的推力负荷及转子传递的电磁扭矩，具有适应定子铁心热膨胀并防止铁心翘曲的能力。机座连同铁心及线圈安放在可调整的基础板上。每个基础板与机座下环间设两个 $\phi 40$ 销钉以承受短路切向剪力，并用 4 个 M56 螺栓固紧。基础板埋入混凝土机坑内，并可用楔子板调整高度以确保定子正确的垂直和水平位置。基础板可承受发电机定子、上机架及其他附件的全部重量、发电机运行时短路扭矩以及地震力、半数磁极短路造成的单边磁拉力。

定子铁心采用冷轧无取向高导磁硅钢片冲制的扇形片叠成，冲片两侧涂有 F 级绝缘漆，以降低涡流损

耗。定子铁心外径为 $\phi 5800\text{mm}$ ，内径为 $\phi 5070\text{mm}$ ，高为 1650mm ，共计 252 个槽。在定子铁心高度方向分为 46 段，通风沟高 6mm 。定子铁心下端采用大齿压板结构，叠片时分段压紧，采用冷压及加热压紧的工艺，以确保铁心装压质量。通风槽钢由轧制无磁性材料制成，具有减小铁损和提高机械性能的作用。铁心两端采用无磁性高强度合金钢压指，以减小因端部磁场引起的附加损耗而导致的端部发热。

定子绕组为双层波绕组，2 路并联，星形连接。定子线圈直线部分采用不完全换位，以减小损耗。线圈的绝缘等级为 F 级，定子绕组与线棒、线棒与铜环引间接头均采用银铜焊。线棒的直线部分采用适形固化绝缘材料固定，槽口用双层斜槽楔固紧。测温装置中的感温元件采用铂热电阻元件，用来监测定子线圈、定子铁心的温度。

定子机坑内完成组圆、合缝处线圈下线以及连接等装配工作。

3.3 转子

转子由主轴、转子支架、磁轭及磁极等组成。发电机全部转动零部件经过严格有限元计算，能安全地承受最大飞逸转速 5min 而不产生任何变形。发电机转子采用一根轴结构，下端通过法兰与水轮机轴连接。转子装配平剖视图如图 2 所示。

转子支架为圆盘式焊接结构。在厂内组焊成整体并且退火。圆盘式转子支架具有刚度大、受力状态好、通风损耗小等优点，由轮毂、上下圆盘、立筋等焊接而成。邦朗转子支架有 11 个主立筋，上下圆盘对应分布 11 个通风孔。转子支架与主轴为热套配合传递扭矩。

磁轭由低合金高强度结构钢板经冲制成冲片，在工地叠压成整体。为提高磁轭的整体性并使拉紧螺杆受力均匀，保持键槽垂直，采用错一个极距相叠和正反向叠片的方法，并用高强度拉紧螺杆固紧一体。磁轭设置 35mm 高径向风沟 7 个，它们与转子支架一起联合作为发电机闭路通风冷却系统所需要的风道。磁轭与转子支架采用径向键联接，其打键紧量按 $1.45n_N$ 浮动速度计算，以保持正常运行时的圆度和传递工作扭矩。在发电机转子磁轭的下部，装有可拆卸的制动环，可在不拆磁轭以及不吊转子的情况下进行修理或更换。

磁极铁心由 1.5mm 冷轧钢板冲制成的磁极冲片叠压而成，两端为锻钢加工的磁极压板，通过拉杆压紧。磁极线圈由矩形直铜排四角焊接而成，且设有散

热匝,使散热条件得到改善。匝间采用F级新绝缘,极身绝缘采用U形结构,热压在磁极线圈上。磁极装有交直流阻尼绕组。磁极采用双T尾,通过每个T尾的两对磁极键与磁轭固定。

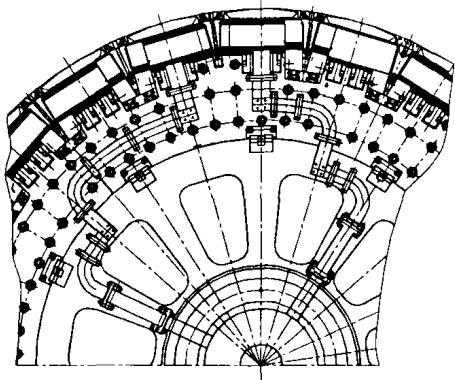


图2 转子装配平剖视图

3.4 推力轴承

推力轴承安装在上机架上,它由旋转部分、支撑部分和冷却部分组成,见图3。

旋转部分由镜板、推力头和连接件组成。推力头的材质为铸钢,它与发电机大轴用卡键和轴向键联在一起。轴向键用以克服轴承的摩擦力矩,卡键用来传递轴承的轴向负荷。镜板材质为高强度锻钢,为精密加工件,镜板与推力头通过螺栓把合在一起。

支撑部分由推力塑料瓦、托盘、支柱螺钉和推力轴承座组成,承担机组全部轴向负荷。推力塑料瓦由聚四氟乙烯塑料、铜丝、钢瓦坯经过特殊工艺加工而成,摩擦系数低,起动时不需高压油顶起。推力轴承座用来安装支柱螺钉和推力塑料瓦,固定在上机架上。

冷却部分由冷却器、油槽、挡油管等组成。油槽和挡油管构成储油箱,它储存推力轴承运行时所需的润滑油。机组运行时推力轴承产生的损耗借助于油冷

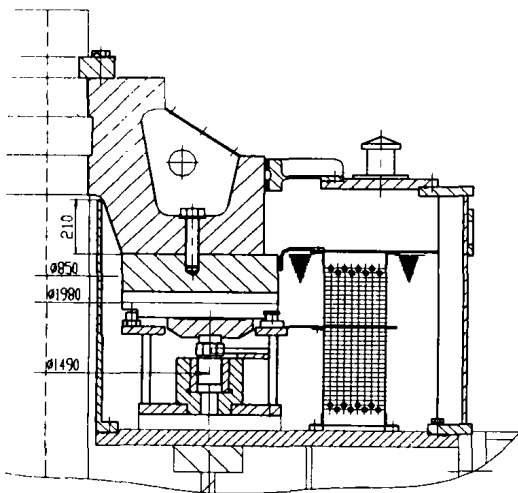


图3 推力轴承结构图

却器的热交换,由冷却水带走。

推力轴承油槽上方设有接触式密封盖,以防油雾扩散。

3.5 导轴承

邦朗发电机设置两个导轴承,上、下导轴承分别安装在上下机架内。两者结构类似,均为内部自循环分块瓦自调式结构。上导轴承有8块在内表面铸有轴承合金的扇形轴瓦;下导轴承有10块。为防止轴电流,在轴承座圈内表面设绝缘层。导瓦支撑采用球面支柱结构。球面支柱由经热处理的合金结构钢制成,球面支柱支撑在导瓦背后,可使导瓦灵活转动。用不锈钢薄片调整导瓦与滑转子间隙,使之调整后保持不变。上下导轴承的油冷却器分别放置在上下导油槽内。

3.6 上下机架

上机架采用中心体带辐射形支臂的钢板焊接结构,由中心体与6个工字形截面支臂组成。为方便运输,中心体与支臂通过合缝板用高强度合金钢螺栓组合成一体,支臂与中心体在工地组合。上机架为负荷机架。上机架与机坑之间设千斤顶及剪断销装置,以限制混凝土基础所承载荷。

下机架采用钢板焊接组合式结构,由中心体与4个辐射工字型截面支臂焊接成一体。下机架兼作制动力器基础。

3.7 其他结构

发电机采用机械制动系统,8个 $\phi 220$ 气压复位制动器位于下机架支臂上,兼作液压顶起装置,制动器设有吸尘装置。发电机中设有感烟型探测器和感温型探测器。灭火系统为水喷雾灭火装置,两个分别布置在定子绕组上下方的灭火环管及喷雾头采用不锈钢材料。集电环与刷杆座设置在发电机上机架中心体内,滑环由抗磨性强的钢板制成。为避免机组停机时机坑内温度过低,湿度过大,机坑内设电加热器。

4 通风冷却系统

发电机采用全封闭双路径向自循环端部回风空气冷却系统。上机架上方及下机架下方分别设置密封盖板。电机内部的空气在由转子支架、磁轭、磁极等部件旋转而形成的压力作用下,通过气隙、定子铁心、定子机座和空气冷却器,并经过空气冷却器冷却后,经过定子机座的上下两端返回到转子支架,形成两个循环回路,见图4。

装有6个空气冷却器,通过冷却器支架均匀布置在定子机座外部,以并联方式连接在两个供排水环管

上。为加强冷却效果，减少堵塞，冷却器采取提高水压措施，并按反冲洗结构设计。冷却器的容量系按一个冷却器故障退出后、发电机仍能安全满发来选择。为减少漏风量，对旋转部分与静止部分的相邻处进行特殊设计，使其保持最小间隙，使漏风量最小。为减小风阻，转子上下方设置流线型的玻璃钢挡风板。

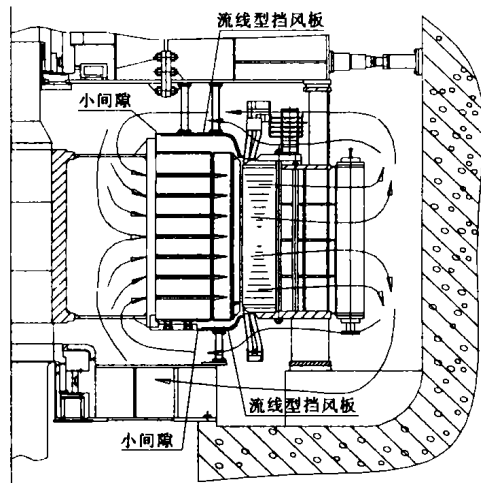


图4 通风循环系统

5 防甩油措施

邦朗发电机是出口机组，转速较高，为保证机组质量，考虑到缅甸国内的实际情况，在发电机设计时对可靠性予以高度重视。为保证邦朗发电机轴承油槽不甩油，采取下列措施：（1）增加挡油管出油面高度。一般机组同一直径范围出油面高度为150~180mm，为了避免发生甩油现象，推力油槽挡油管出油面高度达

210mm，而上导油槽及下导油槽挡油管出油面高度均为205mm。（2）采用TNS接触式封油装置。在推力轴承油槽、上导轴承油槽及下导轴承油槽的上方都采用TNS接触式封油盖。此外，在上导轴承挡油管上端即上导滑转子内部也设置了TNS接触式油挡。TNS接触式封油装置是一种新型的轴承油槽封油装置，它与旋转部分直接接触，没有间隙，这就完全杜绝了油槽内润滑油和油雾的逸出，与传统的毛毡封油相比，封油效果更佳。（3）采用双层阻油圈式挡油管。上导轴承油槽及下导轴承油槽挡油管与滑转子距离较小，如有偏心，容易产生偏心泵挤油效应。因此在挡油管高出油面部分采用了双层阻油圈结构，既阻止了油面的上升，又防止了爬油现象。油槽轴承封油示意图如图5所示。已运行发电的邦朗1#发电机运行稳定，3个油槽均未发生甩油，达到了预期效果。

6 试运行

邦朗首台发电机于2004年8月3日完成72h试运行。机组运行稳定，摆度、振动及温度等各项性能指标均优于国标要求（详见表1）。

表1 发电机负载运行数据

振动值 (mm)			
部位	水平	垂直	
上机架	0.07	0.024	
下机架	0.039	0.010	
顶盖	0.04	0.017	
瓦温 (°C)			
上导瓦	推力瓦	下导瓦	水导瓦
51	42	50	50
油温 (°C)			
上导瓦	推力瓦	下导瓦	水导瓦
41	40	39	46

注：由于水库蓄水未达额定水位，表中数值为发电机有功功率60MW，无功功率2MVar时的数据。

7 结束语

本文简要介绍缅甸邦朗发电机的基本特性、结构设计以及针对缅甸国内实际情况而在设计时需着重考虑的如通风系统、轴承油槽封油装置等关键问题。邦朗发电机的各项性能指标均优于国标要求，证明设计是成功的，其积累的经验可供类似机组参考。

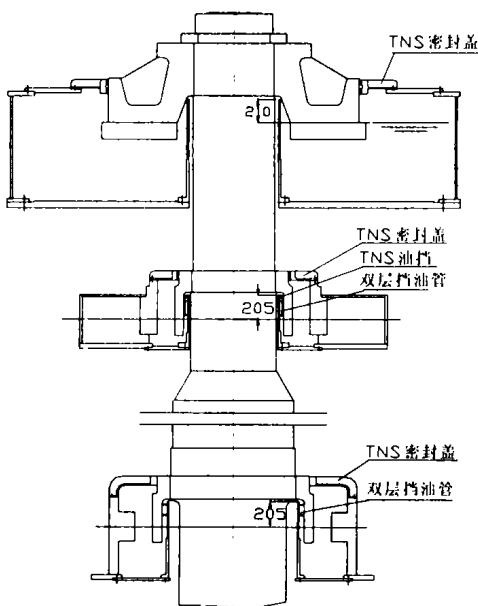


图5 轴承油槽封油示意图



[收稿日期]2004-11-18

[作者简介]

赵向东（1971-），男，山西五台人，1995年毕业于天津大学电机电器及其自动化专业，现从事水轮发电机设计开发工作，工程师。（编辑：冷晓梅）