

瞬变负荷蓄能发电机组设计

楚万秀, 陈原伟, 林志育, 孙炉钢

(七一一研究所, 上海 200090)

摘要: 针对蓄能发电机组设计中诸如多段轴系回转精度、公共底座振动、机组起动等设计难点问题, 通过参照常规设计并利用先进的仿真分析结合试验经验的手段, 对蓄能机组进行了优化设计。实际应用表明: 所设计的蓄能机组运行可靠, 性能良好, 可满足瞬变负荷用电需求。

关键词: 蓄能发电机组; 瞬变负荷; 设计

中图分类号: TM31 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2015)03-0043-03

Design of Diesel Gensets for Impulse Load with Energy Storage Device

Chu Wanxiu, Chen Yuanwei, Lin Zhiyu, Sun Lugang

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: Aiming at the difficulties in the design of energy storage gensets, such as multi-section shafts rotation accuracy, genset base vibration and starting, optimization design was carried out with reference to conventional design and using the advanced simulation analysis method combined with experimental experiences. The application results show that this optimized energy storage genset works with high reliability, good performance, and satisfies the requirements of impulse load power supply.

Key words: energy storage genset; impulse load; design

0 引言

瞬变负荷蓄能发电机组可靠、环保、经济, 能满足瞬变负荷的用电需求, 是颇具发展前景的一类发电机组蓄能技术。蓄能机组具有功率密度大、蓄能密度大、安装维护方便、无环境污染、寿命长、适用范围广等优点。本文就蓄能发电机组设计关键点进行分析研究, 以期推广蓄能发电机组的应用。

瞬变负荷蓄能发电机组设计主要包括柴油机和发电机的选型匹配、蓄能装置设计、蓄能机组轴系设计、机组底座设计、控制系统设计以及辅助系统设计等。如何根据电站的容量、负荷特点、电压和频率选择合适的柴油机、发电机以及蓄能装置已在参考文献[1]中详细论述。本文着重分析蓄能机组设计中难度较大的蓄能机组多段轴系动平衡、抗

冲击设计, 公共底座减振、抗冲击设计和起动系统柔性设计。

1 蓄能机组轴系设计

蓄能机组轴系主要包括柴油机主轴及飞轮、发电机转子轴系、蓄能装置联接轴和弹性联轴器等多段轴系。蓄能装置惯量和质量密集, 旋转半径大, 其动平衡特性和冲击性对蓄能机组轴系影响较大, 蓄能机组轴系设计须保证蓄能机组多段轴系回转的动平衡性, 以及在瞬变冲击负荷下的安全性。

1.1 蓄能装置联接轴设计

蓄能装置联接轴设计须考虑以下因素:

- (1) 传递功率和支撑蓄能装置惯量系统的弯扭复合力;
- (2) 起动、停机时蓄能装置对联接轴的冲击力;

(3) 电负荷瞬变时蓄能装置对联接轴的瞬变负荷;

(4) 蓄能装置中蓄能部件与联接轴配合面各工况受力满足许用应力要求。

由条件(1), 蓄能装置联接轴传递的功率取机组输出功率, 支撑蓄能装置质量按疲劳强度许用安全系数 S_p 取 2.5。根据蓄能装置联接轴的工作状况, 选定轴的材料为 35CrMoA, 调质处理。根据材料的力学性能指标, 并参照两端与之联接的轴系, 初步确定联接轴的设计。

由条件(2), 柴油机起动时, 不同阶段机组轴系加速度不同, 蓄能装置起动阶段吸收能量加速; 停机阶段, 机组轴系以不同加速度减速停机, 蓄能装置释放能量, 根据柴油机起动、停机曲线, 计算校核该工况下蓄能装置联接轴设计是否满足许用应力要求。

由条件(3), 用电负荷瞬变过程中, 蓄能装置释放、吸收储存能量, 轴系扭力随之变化, 计算校核该工况下蓄能装置联接轴设计是否满足许用应力要求。

由条件(4), 根据蓄能装置蓄能部件与连接轴的联接方式, 校核联接轴受力面是否满足轴材料许用应力要求。

蓄能装置联接轴设计同时满足上述条件, 可保障蓄能装置联接轴运行的安全性和可靠性。本文蓄能装置联接轴采用 35CrMoA 锻件, 同时在轴的一端采用联接法兰与轴一体化锻件, 另一端通过增加联接法兰轴段的长度增加受力面积, 保证了蓄能惯量轴系在瞬变负荷下联接可靠、运行安全。本蓄能飞轮轴设计图见图 1。

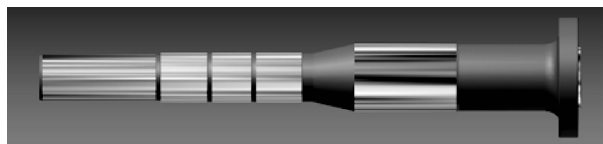


图 1 蓄能飞轮轴设计图样

1.2 弹性联轴器设计

弹性联轴器是刚性轴系的柔性缓冲及轴系动平衡的补偿。根据发电机组轴系传递的功率、发电机组轴系惯量及分布对发电机组轴系进行扭振计算, 即对该发电机组轴系的自由振动、强迫振动的扭振进行计算分析, 并调整联轴器技术参数, 确保在柴油机正常工作转速范围内, 轴段扭振应力不超过许用值, 弹性联轴器振动转矩不超过允许值, 发电机电转子的电角及惯性力矩也不超过许用值。

蓄能发电机组轴系弹性联轴器设计还须考虑蓄

能装置惯量和分布, 以及蓄能装置冲击等对轴系扭振的影响, 保证在瞬变冲击负荷下机组运行的安全可靠; 同时蓄能机组多段轴系的累计回转中心偏差也须由弹性联轴器补偿。因此对本蓄能机组弹性联轴器进行了改进设计, 增加了内部刚性限位结构(图 2), 保证了机组运行过程中的弹性补偿和在大冲击负荷下的刚性保护, 从而保障了蓄能机组轴系连接的可靠性和运行安全性。

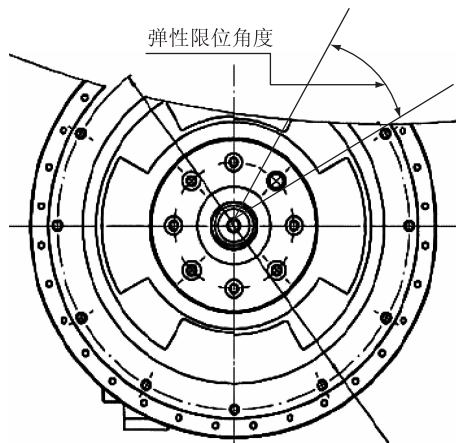


图 2 蓄能轴系弹性联轴器端面图

1.3 蓄能装置轴系支承设计

蓄能机组轴系支撑设计须满足:

- (1) 轴系运行安全;
- (2) 轴系在运行过程中遇温度变化时应能伸缩自由;
- (3) 增加轴系刚度, 提高轴系回转精度;
- (4) 蓄能装置的动态不平衡性。因此, 此轴承适当选择径向间隙大的轴承。

蓄能装置与发电机轴系受力简图如图 3 所示, BC 段为发电机转子轴系, BD 段为蓄能装置轴系。D 点为弹性联轴器简化重力作用点, E 点为蓄能装置简化重力作用点, F 为发电机转子轴系均布力; C 为轴系固定轴承支撑, B、A'、A 为轴系轴向可移动轴承支撑, 满足轴系在温度变化时轴向伸缩的需要。初始设计时蓄能装置轴段 BD 设计为 A'、A 两个轴向自由的轴承支撑, 这样蓄能装置相对于柴油机轴系和发电机轴系的独立性好, 安装连接方便。但柴油机轴系、蓄能装置轴系、发电机轴系三段轴系连接为一个整体的轴系约束严重, 蓄能发电机组轴系的同轴度很难保证, 轴系弯扭严重, 工作状态较差。针对以上问题, 提出了多种解决方案, 经过分析仿真确定了去掉 A' 点轴承的方案。设计校核 B 点的轴承, 使得发电机轴系和蓄能装置轴系联接为一刚性轴系, 通过弹性联轴器与柴油机输出端连接。通过

设计计算蓄能装置惯量分布和轴承 A 的设计定位,在保证发电机前端轴承 B 不改变的前提下满足了轴系要求,轴系回转精度高,蓄能机组轴系工作状态良好。

轴系可视为有 A、B、C 三处支撑的梁,是一个超静定系统。因此联立力平衡方程、力矩平衡方程和变形协调方程求解各个支撑力,对轴承的基本额定负荷进行校核和简化计算。

基于以上分析和计算,本项目 A 点轴承选用 SKF6332M。

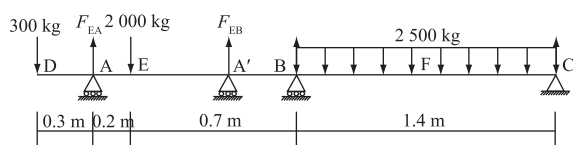


图3 蓄能机组轴系受力简图

2 蓄能机组公共底座设计

底座是机组稳定运行的基础,底座的设计强度及刚度应满足运行需求;同时机组吊装时底座变形不能过大,以免损伤各轴承轴瓦;由于蓄能装置动不平衡特性,底座还须满足振动要求,避免振动过大;底座满足稳定运行时机组无共振现象。

一般而言,蓄能机组轴系转动惯量较大,且集中于机组轴系蓄能装置段。本蓄能机组轴系惯量为 $670 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$,为普通机组惯量的 3.42 倍,运行过程中冲击和振动较大,因此,蓄能机组公共底座设计较普通机组难度要大。

常规柴油发电机组的公共底座(见图4)设计成熟,蓄能机组公共底座可参考常规发电机组底座进行优化设计。蓄能装置轴承处横向、纵向振动过大,轴与轴承内圈与轴承滚珠撞击严重,轴承温升过高,容易造成轴承滚珠损坏和轴烧伤现象。

蓄能装置影响的是整个公共底座的结构强度,常规底座的刚度、强度不能满足蓄能机组稳定运行需要,须整体加强底座的刚度和强度,增加框架矩形钢的高度和厚度,将框架矩形钢焊接腹板改为立式焊接,增加蓄能装置支撑处的强度和刚度,并采用三角稳定结构设计增加其稳定性。应用先进的设计分析方法和试验经验对底座进行优化设计,建立的蓄能机组公共底座模型如图5所示。对蓄能机组公共底座进行了静态受力分析、动态分析、模态分析和起吊分析,并进行了试验验证。试验验证表明:经优化改进设计的蓄能机组公共底座能满足蓄能机组稳定运行的需要。

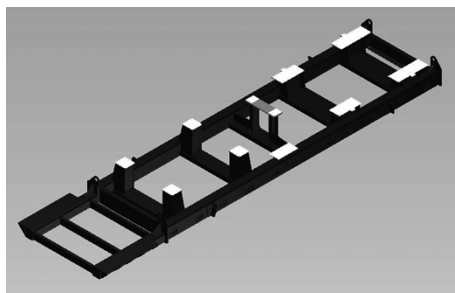


图4 常规机组公共底座结构

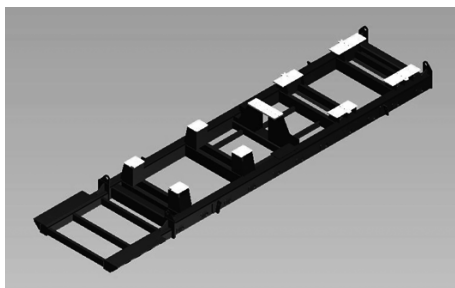


图5 蓄能机组公共底座结构

3 蓄能机组起动设计

蓄能柴油发电机组蓄能装置惯量较原机组惯量有较大的增加,常规机组起动系统往往不能满足蓄能机组的起动要求,须要对机组起动系统进行改进设计。改进设计方案有以下三种:

(1) 根据蓄能机组惯量系统,设计蓄能装置本身的起动系统,待蓄能机构起动到合适的转速再与发动机接排。

(2) 根据蓄能机组惯量系统,增加原发动机起动功率,满足蓄能机组起动需求,这种起动方式须校核原发动机起动系统在大功率起动时是否安全。

(3) 根据蓄能机组惯量系统,设计调整原发动机起动曲线,满足蓄能机组起动要求。

经对原发动机起动系统计算校核,本文蓄能机组起动系统的改进设计可以通过增加起动马达功率和改进调整起动曲线两种方式来实现。

起动过程所需功率包括原机组起动时的阻力功率、蓄能装置引起的摩擦功率和起动升速过程蓄能装置吸收的功率。机组常规起动马达功率为 $2 \times 7.5 \text{ kW}$,可以假设 MTU400016VG63 柴油机起动过程的阻力功率为 15 kW ,常规柴油发电机组的惯量为 $196 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$,蓄能机组惯量系统为 $670 (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$ 。据试验数据,蓄能机组可以在 5 s 内起动成功(柴油机发火,起动马达脱开),经计算:机组起动过程所需消耗的总功率为 26 kW 。

(下转第 49 页)

参考文献

[1] 陆家祥. 柴油机涡轮增压技术 [M]. 北京: 机械工业

出版社, 1999.

[2] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(上接第 45 页)

因此, 蓄能机组起动方案为:

(1) 机组起动马达更换为 $2 \times 15 \text{ kW}$, 同时匹配设计接口;

(2) 调整原发动机起动曲线, 延长机组起动时间, 起动时间调整为 $15 \sim 20 \text{ s}$ 内起动成功。相同技术规格的各机组起动时间略有不同。

后续试验验证表明: 两种起动方案均能满足蓄能机组起动要求。

成, 通过研究相对应的常规蓄能机组的特点和参数, 应用先进的设计方法, 结合试验应用经验, 使所设计的蓄能机组满足瞬变负荷的使用需求。

参考文献

[1] 楚万秀, 卫东生, 马宁, 等. 应对港口瞬变负荷的蓄能柴油发电机组电站的设计 [J]. 柴油机, 2012, 34(5): 36-38.

4 结语

本文介绍的蓄能机组由常规机组优化设计而

MAN Diesel & Turbo 公司演示其二冲程甲醇发动机概念

MAN Diesel & Turbo 公司 2015 年 3 月 30 日宣布: 3 月 17 日, 公司已经在其根本哈根柴油机研究中心为用户和合作伙伴成功演示了其 ME-LGI 概念发动机。

据 MAN Diesel & Turbo 公司副总裁兼研发主管 Søren H. Jensen 介绍: “若干年前, 我们意识到须要开发一种能够燃用更加环保的、在价格上具有竞争力的燃料来代替船用柴油 (MD0) / 船用汽油 (MG0)。我们认为 ME-LGI 发动机燃用无硫燃料的能力将具有巨大的潜力。甲醇运输船已经在海上作业多年。因为船上已经有一种可行、方便和经济的燃料, 利用一小部分货物作为一艘船的动力是有意义的。”

为此, MAN Diesel & Turbo 公司重新组装了其 50MX 试验机, 使其成为一个 ME-LGI 单元, 该试验机已向 Westfal-Larsen 公司、Marinvest 公司、Waterfront Shipping/Methanex 公司三井造船工程有限公司 (MES)、韩国现代重工的发动机和机械部门 (HHI-EMD)、商船三井 (MOL) 和日本 Minaminippon 造船厂的代表做了演示。

到目前为止, MAN Diesel & Turbo 公司已经接获了 7 台 ME-LGI 发动机的订单——包括 7S50ME-LGI 发动机和 6G50ME-LGI 发动机。第一台机将由三井造船工程有限公司为一艘目前正在南日本造船厂为三井商船建造的船舶生产。

MAN Diesel & Turbo 公司以前就指出: 借助于辅助措施, 该公司准备生产一台满足国际海事组织 (IMO) NO_x 排放极限要求的 Tier III ME-LGI 发动机。

甲醇作为一种船用燃料, 不含硫, 而且在环境空气条件下为液体, 因此可以很方便地储存在船上。对于在 ECAs 运营的船舶来说, 甲醇是一个满足硫排放法规要求的解决方案。

甲醇还有一个优点是其能够在正常的加压的储罐中储存。由于在全球许多地方都已经能够通过火车、载重汽车或船舶提供甲醇, 因此建立和扩大现有的甲醇基础设施是可行的, 即使是个别在遥远地区运营的船舶。

(李积轩 编译)