

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.05.020

海上双馈机组的散热布置优化研究

刘海涛, 章双全, 王海龙

(国电联合动力技术有限公司, 北京 100039)

摘要:针对海上风电机组单机容量不断加大导致发电机等关键部件的发热量随之增加,且海上风电机组机舱须密闭换热以防止海上盐雾侵蚀机舱内重要零部件,从而对海上风电机组的冷却系统设计提出更高要求的问题,建立了某 MW 级海上双馈机组冷却系统散热布置设计与系统特性匹配之间的关系,并根据机组传动链特点及适应机舱紧凑布局,对其冷却系统散热布置进行了优化,采用 Fluent 分析了不同散热布置方式下的散热通道阻力,结合莫迪文风扇选型平台,分析比较了不同散热布置方式下的系统特性匹配,得出了其中最佳散热布置方式。研究表明:优化后的散热布置可提高机组冷却系统的散热效率,降低系统功耗,对海上风电机组的冷却系统设计具有参考意义。

关键词:海上风电机组;冷却系统;散热;优化;匹配

中图分类号:TM614;TK83

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)05-0634-05

Cooling layout optimization of offshore double - fed wind turbine

LIU Hai-tao, ZHANG Shuang-quan, WANG Hai-long

(Guodian United Power Technology Co. Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: Aiming at the heat loss of the key components as generator increased with the unit capacity of offshore wind turbine continued to increase, and the nacelle must be sealed to prevent salt atmosphere at sea corroding the important parts in the nacelle, more requirements for cooling system design would be met, the relationship of the layout design of some megawatt - class double - fed wind turbine cooling system and the match of cooling system performance was established, the layout design of cooling system was optimized based on the features of the drive train and compact nacelle, Fluent software was applied for analyzing the drag of cooling passage corresponding different layout, the match of cooling system performance corresponding different layout was analyzed and compared based on Multi - Wing fan platform, and the optimum layout was selected. The results show that, the optimized cooling layout can improve the efficiency of cooling system, reduce the power loss of wind turbine. It can be referenced for the cooling system design of offshore wind turbine.

Key words: offshore wind turbine; cooling system; heat dissipation; optimization; match

0 引 言

海上风能资源丰富,全球海上风电装机容量持续增长。海上风况优于陆地,风速风向较为稳定,为降低海上风电成本,海上风电机组趋于大型化发展^[1-2],我国“十二五”风电专项规划中已明确要求突破 10 MW

级海上风电机组整机和零部件设计关键技术^[3],其中即包括大容量风电机组冷却技术的研究。

冷却系统直接影响海上风电机组中发电机、变频器等关键部件的运行,MW 级风电机组的冷却系统一般采用强制风冷和液冷方式^[4-5],双馈机组 Vestas V90 3 MW 的齿轮箱冷却系统采用油 - 水 - 空冷却方式,其水 - 空换热器置于机舱内尾部上方并通过管路 with 齿

轮箱上油-水换热器连接,发电机冷却系统的水-空换热器同置于机舱内尾部上方,内置机舱的变压器同机舱采用强制风冷方式从机舱外部引入冷空气直接冷却^[6]。直驱永磁机组金风2.5 MW的发电机冷却采用强制风冷方式,机舱内置空-空换热器,形成内循环和外循环两种空气通道,利用外部空气冷却自发电机定子导出的热空气^[7-9],而水-空冷却的变频器移至塔筒底部。

由于海上盐雾腐蚀性强,又海上风电机组单机容量大,发热部件的冷却多采用密闭性和传热能力较好的液冷方法^[10-11],AMSC 5.5 MW海上双馈机组技术中,发电机和变频器为水-空冷却,齿轮箱为油-水-空冷却,带强制风冷风扇的水-空换热器左右对称内置于机舱后部^[12]。Vestas V112 3.3 MW及V164 8 MW海上风机的发电机、齿轮箱、变频器等采用水冷方式进行冷却和预热,水-空换热器外置于机舱尾部上方,与气流方向垂直布置,自然风冷^[13-15]。Doosan 3 MW海上风机其齿轮箱为油-空冷却,油-空换热器内置于机舱前端,发电机及变频器为水-空冷却,带风扇强制风冷式水-空换热器内置于机舱后部^[16]。SIEMENS 6 MW海上直驱永磁发电机和全功率变频器为水-空冷却,自然风冷式水-空换热器外置于机舱顶部^[17-18]。

本研究针对某MW级海上双馈机组机舱内冷却系统其散热布置进行优化,散热器布置方式和散热通道综合设计,采用Fluent分析散热通道压力分布,采用莫迪文风扇选型平台分析比较系统特性匹配,得到散热效率高、功耗低的最佳散热布置。

1 冷却系统设计

以某MW级海上双馈机组为例,机舱内置齿轮箱、发电机及变频器采用闭式循环液冷方式,冷却液携热量泵入散热器,与机舱外部空气热交换后流回发热部件,受热后再次泵入散热器,如此循环,实现发热部件的间接冷却。冷却系统设计主要包括:散热器设计选型、泵组选型、散热器强冷风扇选型及散热布置设计。

设计流程如下:①根据各发热部件的发热量及对冷却介质进出口温度要求,确定冷却介质的流量;②根据发热量、冷却介质流量及环境温度,进行散热器设计选型;③根据发热量和所需风量,进行风扇设计选型;④根据各发热部件压损、散热器压损及管路布置,进行泵组设计选型;⑤根据机舱布局,进行散

热器布置,以及根据散热器布置形式进行散热通道的结构设计;⑥验证所布置的散热器与所选风扇的特性匹配。

2 散热布置设计

海上风电的环境特殊,散热器若外置于机舱顶部,需为被动式自然风冷,其空气侧通道易受盐雾或絮状物堵塞,则舱外维护或更换散热器的难度很大,故散热器一般内置于机舱。以该MW级海上双馈机组为例,发电机、变频器及齿轮箱总的发热量约450 kW,根据各冷却回路系统流量等已知参数,本研究将散热器确定为同种结构型式,发电机冷却系统为4台散热器并联,变频器冷却系统为2台散热器并联,齿轮箱冷却系统为3台散热器并联。

本研究在散热器外围设计密闭的散热通道,将其进风口和出风口隔离于机舱,以防止海上盐雾等腐蚀介质随外部空气进入机舱。散热通道设计须结合散热器的布置形式,又须满足机舱外部气流顺利进入散热器进风口,与冷却介质换热后从散热器出风口流出的工况要求,故该双馈机组冷却系统的散热布置设计需要综合考虑散热器布置方式和散热通道设计。

该双馈机组所有散热器布置于机舱尾部,其中4台水平倾斜45°并排布置在前,其余水平并排布置在其后。散热通道将所有散热器及所配风扇全部囊括,并在通道入口及出口处与机舱罩密闭连接,外部空气从机舱下方进入散热通道入口,从散热通道出口处排至外部。本研究利用Fluent模拟散热通道内流场得出该散热布置造成的系统阻力为299.95 Pa,冷却系统与风扇特性匹配如图1所示。

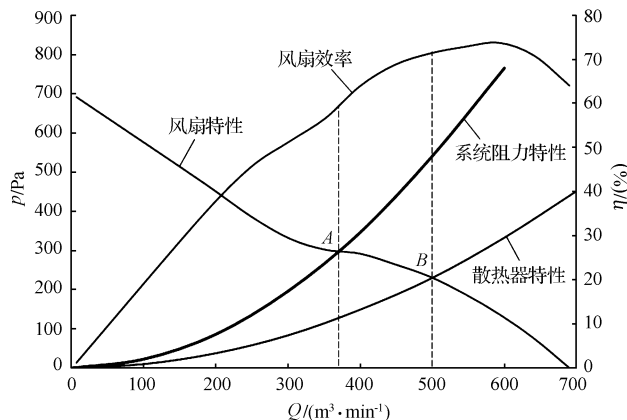


图1 冷却系统与风扇特性匹配

风扇特性、风扇效率和散热器特性曲线由莫迪温风扇选型平台Multi-Wing Optimiser根据风量

500 m³/min和散热器压损 230 Pa 选择风扇 900/6 - 6/36o/PPG/5ZL 后绘出,风扇特性曲线与散热器特性曲线交点即工作点 B。系统阻力特性曲线由该平台绘出后,可见该风扇在该散热布置方式下实际工作点为 A^[19]。

3 散热布置优化

由图 1 可知,风扇在上述散热布置方式下易致风量不足,一味加大风扇将导致系统功耗和成本增加,本研究通过灵活布置散热器并适应机舱紧凑布局要求,进一步提高冷却系统特性匹配为目标,优化该海上双馈机组的散热布置设计,得出 3 种可行的布置方案。

3.1 布置方案

(1)方案一。机舱内左右两侧各竖向排列 2 台,中间紧凑布置 5 台,左右对称,散热器布置如图 2(a)所示。外部空气分别从机舱下方和左右两侧进入散热通道,与冷却液热交换后从后部排出。

(2)方案二。机舱内左右两侧各空间布置 3 台,中间横向并排 3 台,散热器布置如图 3(a)所示。外部空气分别从机舱下方和左右两侧进入散热通道,与冷却液热交换后从后部排出。

(3)方案三。机舱内左右两侧各呈 45°竖向排列 3 台,中间横向并排 3 台,且散热通道分为左、中、右独立的三部分,散热器布置如图 4(a)所示。外部空气分别从机舱下方和左、右两侧进入散热通道,与冷却液热交换后从后部排出。

上述 3 种布置方案与原散热布置设计相比,采用机舱两侧进风设计,散热器及散热通道对称置于传动链两侧空间内,空气来流可从机舱左侧和右侧进入散热通道,缩短了传动链末端至机舱尾端的距离,间接优化了机舱布局。

3.2 散热通道 CFD

(1)通道模型。本研究将散热通道内的空气视为不可压缩流体,选择非耦合求解器,湍流模型选用标准的 $\kappa - \varepsilon$ 方程,利用 Fluent 对散热通道内流场进行分析^[20]。本研究通过下列措施简化模型:①散热布置具有对称性,以机舱中心面为对称面进行分割,取分割后的一部分作为研究对象;②设置散热通道入口风量值,满足散热所需风量;③假设每个散热通道入口的风速相同。

(2)网格划分。本研究视各散热通道为异性结构,采用 Gambit 的混合网格工具对建立的各通道模型

进行网格划分,局部网格进行加密处理。

(3)边界条件。散热器所需风量已知,散热通道内的空气为不可压缩流体,入口边界选择 Velocity - inlet;环境条件压力为 0 Pa(相对压力),流动入口的静压为 0 Pa,出口边界选择 Pressure outlet;以机舱中心面为对称面,切割面选择 Symmetry;其他壁面:Wall。

通过分析上述 3 种布置方案的散热通道,布置方案一、布置方案二及布置方案三所对应的散热通道压力云图分别如图 2(b)、图 3(b)、图 4(b)、图 4(c)所示。

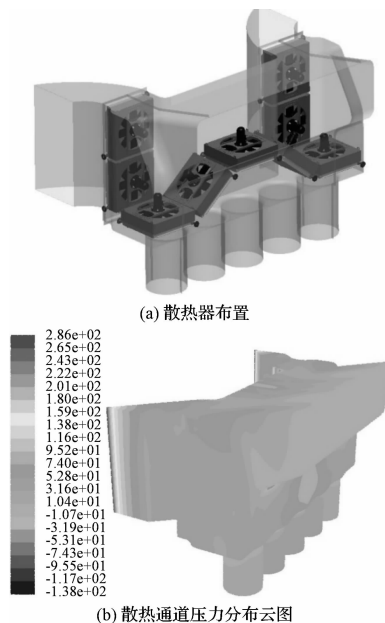


图 2 布置方案一和通道压力分布

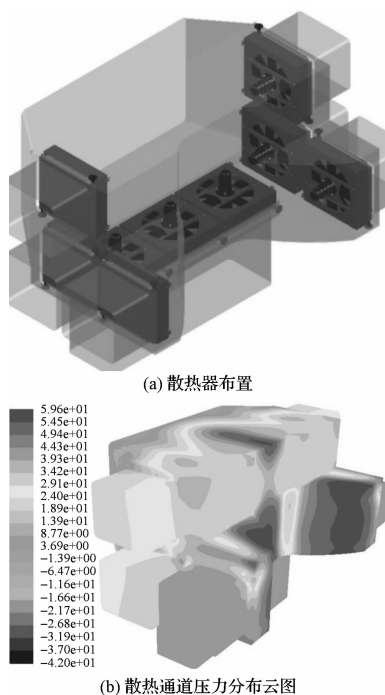


图 3 布置方案二和通道压力分布

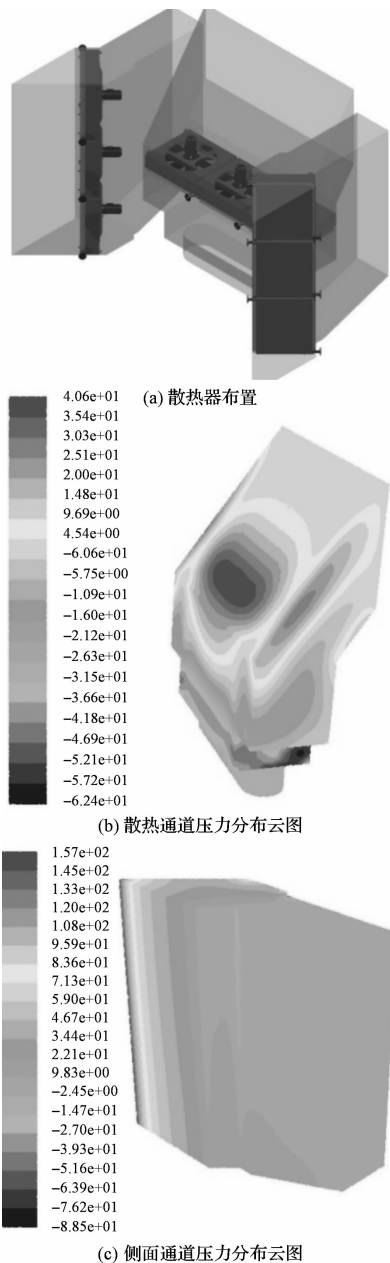


图4 布置方案三和通道压力分布

比较上述3种散热布置方案中散热通道的机舱侧面进风口与出风口压差及机舱下方进风口与出风口压差,可知布置方案三所对应的散热通道阻力最小。

3.3 系统特性匹配

散热器空气侧压降与散热通道进出口压差叠加即为风扇实际所需克服的系统阻力,本研究利用莫迪温风扇选型平台绘出布置方案一、布置方案二及布置方案三分别对应的系统阻力特性曲线 C_1 、 C_2 和 C_3 ,如图5所示。

由图5可知:系统阻力特性曲线 C_1 与风扇特性曲

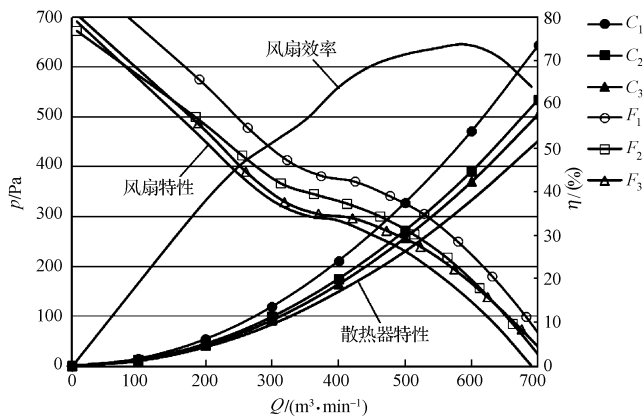


图5 系统特性匹配比较

线的交点:静压 264 Pa,效率 67%;系统阻力特性曲线 C_2 与风扇特性曲线的交点:静压 246 Pa,效率 69%;系统阻力特性曲线 C_3 与风扇特性曲线的交点:静压 241 Pa,效率 71%。系统阻力特性曲线 C_3 与风扇特性曲线的工作点最为接近散热器特性曲线与风扇特性曲线的交点 B,该工作点风扇效率最高。

同理,本研究根据各布置方案对应的系统阻力特性曲线 C_1 、 C_2 、 C_3 由该平台对风扇重新选型,选择风扇 900/8 - 8/36. 5°/PPG/5ZL、风扇 900/7 - 7/37. 5°/PPG/5ZL、风扇 900/6 - 6/37. 5°/PPG/5ZL 分别对应的风扇特性曲线 F_1 、 F_2 、 F_3 ,如图5所示,分析可知风扇特性曲线 F_3 与系统阻力特性曲线 C_3 的交点最为接近散热器特性曲线与风扇特性曲线的交点 B,且在该平台上对三者比较,风扇功耗: $F_1 > F_2 > F_3$,风扇效率: $F_1 < F_2 < F_3$ 。

上述两方面证明:布置方案三对应的散热器强冷风扇效率最高,冷却系统特性匹配最好,风扇选型时可匹配功耗最小的强冷风扇,在可行的3种布置方案中为最佳散热布置方式。

4 结束语

海上风电机组趋于大型化发展,冷却系统作为海上风电机组的重要组成部分,其匹配设计是关键。通过研究某 MW 级海上双馈机组的散热布置设计,本研究得出以下结论:

- (1) 可对海上风电机组的散热布置设计进行优化,以寻得冷却系统特性匹配较好的布置方式;
- (2) 应综合考虑散热器和风扇的设计选型,以使散热布置设计适应冷却系统的特性匹配;
- (3) 优化海上风电机组的散热布置可提高冷却系统的散热效率,降低机组系统功耗,紧凑机舱布

局,对大容量海上风电机组的冷却技术研究具有参考意义。

参考文献(References):

- [1] 李晓燕,余志.海上风力发电进展[J].太阳能学报,2004,25(1):78-84.
- [2] 赵群,柴福莉.海上风力发电现状与发展趋势[J].机电工程,2009,26(12):5-8.
- [3] 中华人民共和国科学技术部.风力发电科技发展“十二五”专项规划[EB/OL]. [2012-03-27]. http://www.most.gov.cn/fggw/zfwj/zfwj2012/201204/t20120424_93884.htm.
- [4] 蒋彦龙,元伟伟,张秋,等.MW级风力发电机水冷系统的优化设计[J].南京航空航天大学学报,2008,40(2):199-204.
- [5] 范伟,刘鑫.基于ADINA的风机增速箱冷却系统分析[J].机械,2012,39(4):44-47.
- [6] Vestas.V90-3.0MW[EB/OL]. [2013-06-13]. http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v90-3_0_mw#grid_0_content_3_Container.
- [7] VENSYS.The generator cooling[EB/OL]. [2013-02-04]. <http://www.vensys.de/energy-en/technologie/generatorkuehlung.php>.
- [8] 马艳洁.永磁直驱风力发电机结构发展研究[J].机械设计与制造,2012(6):282-284.
- [9] 孙涛.风力发电机散热结构:中国,CN103178657A[P].2013-06-26.
- [10] 林鹤云,郭玉敬,孙蓓蓓,等.海上风电的若干关键技术综述[J].东南大学学报:自然科学版,2011,41(4):882-888.
- [11] VAN BUSSEL G J W, HENDERSON A R, MORGAN C A, et al. State of the Art and Technology Trends for Offshore Wind Energy: Operation and Maintenance issues [C]//Proceedings of Offshore Wind Energy Special Topic Conference. Brussels, Belgium. 2001:119-122.
- [12] AMSC. Capitalize on the rise of offshore wind[EB/OL]. [2013-03-15]. <http://www.amsc.com/documents/wt5500-data-sheet>.
- [13] KRISHNAMOORTHY S, ANAND B, RAVI K, et al. Wind Turbine Nacelle with Cooler Top; US, US20120063890A1 [P]. 2012-03-15.
- [14] Vestas.V112-3.3MW[EB/OL]. [2013-11-18]. http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v112-3_3_mw#grid_0_content_5_Container.
- [15] Vestas.V164-8.0MW at a Glance[EB/OL]. [2013-06-04]. http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v164-8_0-mw#grid_0_content_5_Container.
- [16] DOOSAN. WinDS3000[EB/OL]. [2010-02-23]. http://www.doosan.com/doosanheavybiz/attach_files/services/green_energy/kr_wind_turbine.pdf.
- [17] SIEMENS.The Siemens D6 platform[EB/OL]. [2011-10-20]. <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/platforms/d6-platform>.
- [18] THORKIL M, JACOB B N. Cooling Arrangement of a Wind turbine; US, US20120282095A1 [P]. 2012-11-08.
- [19] 刘海涛,王丁会,刘广林.浅析海上风电机组的散热布置[J].可再生能源,2013,31(4):71-73.
- [20] 温正,石良臣,任毅如.FLUENT流体计算应用教程[M].北京:清华大学出版社,2009.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

刘海涛,章双全,王海龙.海上双馈机组的散热布置优化研究[J].机电工程,2014,31(5):634-638.

LIU Hai-tao, ZHANG Shuang-quan, WANG Hai-long. Cooling layout optimization of offshore double-fed wind turbine[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(5):634-638.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>