

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.09.017

基于 Ansys workbench 的双馈发电机 滑环室通风系统分析*

温 斌,李书强,仝世伟,程林志,苏凤宇
(许昌许继风电科技有限公司,河南 许昌 461000)

摘要:针对双馈发电机在风电机组运行过程中多次出现的滑环故障问题,将计算流体力学(CFD)技术应用到双馈发电机滑环系统分析中。开展了双馈发电机滑环室风路分析,建立了滑环室进风口与通风情况的关系,提出了使用 ANSYS workbench 进行滑环室风路流体分析的方法;在获得最佳风路的基础上,使用 ANSYS CFX 软件对其滑环散热效果进行了评价,并将出口风速、温度仿真分析结果与实际情况进行了对比。研究结果表明,出口风速仿真值与测试值间最大偏差为 4.1%,温度仿真值与测试值间最大偏差为 4.67%,离心风扇式滑环系统较轴流风扇式滑环系统相比在滑环室碳粉清除与滑环散热效果更好。

关键词:双馈发电机;滑环室;离心风扇式;轴流风扇式;通风系统;散热

中图分类号:TM315;TH43

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)09-1121-05

Ventilation system analysis of doubly-fed induction generator slip ring chamber for wind power based on ansys workbench

WEN Bin, LI Shu-qiang, TONG Shi-wei, CHENG Lin-zhi, SHU Feng-yu
(Xuchang XJ Wind Power Technology Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Aiming at the frequent slip ring problems of double-fed induction generator in the process of operating wind turbine generator, the computational fluid dynamics (CFD) analysis technology was applied to the analysis of the double-fed generator slip ring system. In doubly-fed generator slip ring chamber wind path analysis, the relationship between slip ring chamber into the outlet and ventilation conditions were built, put forward of the methods of using ANSYS workbench for slip ring chamber fluid wind path analyses. On the basis of the best wind road provided ANSYS CFX software were used to determine the slip ring heat dissipation effect, and the export wind speed, temperature simulation results were compared with the actual situation. The results show that the export wind speed maximum deviation between the simulation value and test value is 4.1%, the temperature maximum deviation between the simulation value and test value is 4.67%, centrifugal fan type slip ring system is compared to the axial flow fan type slip ring system in cleaning up the slip ring chamber carbon powder and the effect of the slip ring heat dispelling, centrifugal fan type slip ring system is better.

Key words: doubly-fed induction generator; slip ring chamber; centrifugal fan type; axial flow fan type; ventilation system; heat dissipation

0 引言

双馈风力发电机是目前国内外应用最为广泛的风

力发电机型。随着国内市场对于风电机组质量、稳定性、维护性与使用率要求的不断提高,如何提升机组稳定性、降低故障率、减小成本尤其是维护成本,成为双馈风电机组研究的主要方向。

收稿日期:2015-09-11

基金项目:国家电网公司科技项目(5292C0140091)

作者简介:温 斌(1987-),男,山西晋中人,助理工程师,主要从事风力发电机组双馈发电机应用优化与测试方面的研究. E-mail: 18603747346@126.com

滑环系统作为有刷双馈风力发电机的重要特征之一。电机运行时,在滑环与碳刷上将产生电气接触损耗和机械摩擦损耗,在碳刷下经常产生火花。这些元件都要受到磨损,有时还会遭受烧伤,故障较多,是电机的薄弱环节^[1]。据某风电整机制造商统计 2013 年一年风场实际运行中出现发电机问题 31 台次,其中滑环系统故障出现 16 台次,占发电机故障率的 51.6%。在对滑环故障的分析与检查中发现无论何种故障现象,往往伴随有碳粉积累现场。为确保发电机正常运行,对发电机滑环系统的检查与维护频繁,工作量大,极大地提高了运行维护成本。故研究双馈发电机滑环室通风系统,对分析其碳粉积累问题具有重要的工程实际价值。

针对滑环系统故障率较高的问题,国内外开展了广泛的研究。CHOW T W S 等人^[2]研究了电刷的电流密度及其不均匀分布对滑环系统稳定运行的影响;盛明珣等人^[3]通过对几起滑环碳刷故障实例分析,研究了滑环系统过热、氧化膜对滑环系统运行的影响;马宏忠等人^[4-5]通过热路法分析电刷滑环系统运行温度场情况;陈涛涛等人^[6]通过对滑环系统故障前后电刷滑环电阻的变化对电刷电流间谐波及其分布的影响进行了分析,发现故障后电刷电流谐波畸变率将明显增大。但这些研究都忽略了碳粉对滑环系统运行影响,李鹏等人^[7]分析了碳粉堆积对滑环系统运行的危害,并简要提出加装碳粉排出装置的重要性。而对于滑环系统中散热与碳粉排出起关键作用的通风系统具体研究极少。

随着流体力学的发展,尤其是应用到计算机技术之后,通过数值计算的方法可以很好地模拟流体流动情况。为此,本研究以双馈发电机常用的滑环室结构为例,依据 CFD(计算流体动力学)的方法,基于 ANSYS Workbench 软件 CFX 程序研究滑环室空气在强制风扇作用下的流动情况,并对轴流风扇式与离心风扇式两种不同的进风口布置方案进行对比分析。最后基于 CFX 共轭换热分析的方法,对于最佳的进风口布置方案进行换热流动分析。

1 滑环系统结构与风路简介

一般而言,双馈发电机滑环系统由滑环风扇、滑环室、滑环、刷架、碳刷、碳粉过滤装置等组成,滑环系统简要装配图如图 1 所示。

双馈发电机在运行过程中,固定在转轴上的滑环与固定在滑环室上的碳刷之间按照滑环表面的线

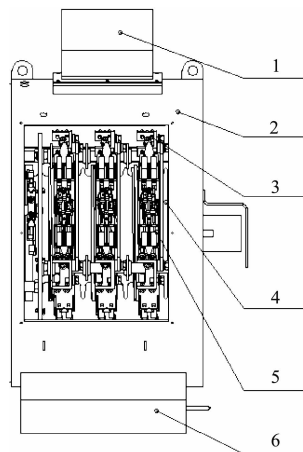


图 1 滑环系统示意图

1—滑环风扇;2—滑环室;3—刷架;4—滑环;5—碳刷;6—碳粉过滤装置

速度相互摩擦,并在电流作用下产生热量。由于碳刷材质硬度较滑环表面硬度低,在运行中将不断消耗碳刷并生产碳粉。为防止滑环系统过热与碳刷积累对运行的不良影响,目前双馈发电机滑环室都安装有强制进风装置,并在滑环室形成有效的通风风路,以降低滑环、碳刷温度,并将运行过程中生产的碳粉吹出滑环室以防止其在滑环、刷架绝缘部位的堆积。

目前双馈发电机滑环室风路有以下两种:

(1)轴流风扇式。即在转轴上安装风扇叶片。在发电机运行时,风在轴流风扇作用下降碳粉从滑环室抽出并通过滑环室侧面的风道进入底部的碳粉过滤装置中;

(2)离心风扇式。即在滑环室顶部安装离心风扇。风在离心风扇作用下降碳粉从滑环室吹入底部的碳粉过滤装置中。

2 数值模拟

2.1 物理模型建立

双馈发电机滑环系统通常是由 3 路励磁电流滑环与 1 路保护接地滑环构成。每个滑环上通过刷架均匀分布着多组碳刷,各相环之间相对独立。本研究使用外径为 320 mm 的滑环,2 个接地碳刷,18 个相碳刷均匀分为 3 相。由于实际中滑环与刷架中包含较多复杂且细小的部件,为便于分析将模型中滑环表面螺旋槽、滑环相间间隙、刷架固定支撑杆、压簧、磨损反馈开关、导线、滑环室固定孔等对风路影响极小的部分进行删除,然后将滑环室抽出片体缝合密封后通过处理得到实体简化模型^[8]。

离心风扇式滑环系统如图 2 所示。

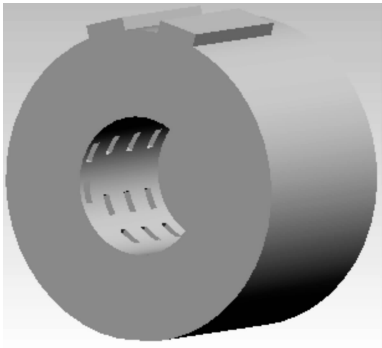


图 2 离心风扇式滑环系统简化模型示意图

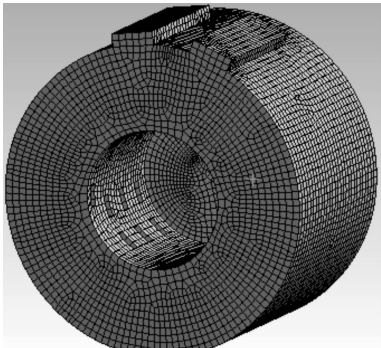


图 5 离心风扇式滑环系统网格划分图

轴流风扇式滑环系统如图 3 所示。

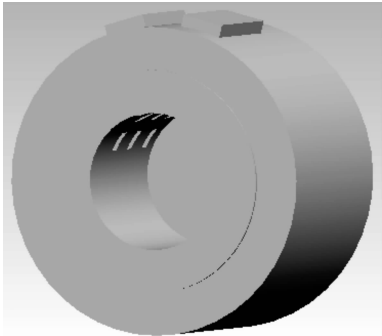


图 3 轴流风扇式滑环系统简化模型示意图

2.2 网格划分与边界条件设置

在整个滑环室中,风路受到滑环、刷握的影响极为复杂,为较为精确的仿真模拟。本研究在网格划分中采用 CFD 物理场参照类型,使用 Hex Dominant(六面体主导网格划分)方法进行精细化划分^[9],离心式滑环系统单元数为 65 150,轴流式滑环系统单元数为 65 987,效果如图 4、图 5 所示。

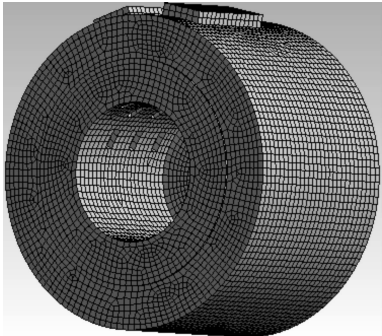


图 4 轴流风扇式滑环系统网格划分图

本研究设置流体域材质为 Air Ideal Gas。通过分析 2 种进出风口方案,将轴流风扇式滑环系统中滑环室上部入风口设置为入口(Inlet),轴流风扇设置为出口(Outlet),其他部分设置为壁面(Wall)。将离心风扇式滑环系统中滑环室上部入风口设置为入口(Inlet),滑环室下部设置为出口(Outlet),其他部分设置为壁面

(Wall)。
流体域入口设置为速度入口,入口速度为 6.5 m/s。出口边界条件为压力出口,相对压力为零。设置计算迭代 100 步,时间步长 1 s,残差表示完美解与当前近似解之间的偏离程度,是一个与守恒定律相关的 3D 数量场,在本次求解中设定为:1e-4。

3 结果与讨论

3.1 滑环室风路仿真结果与分析

滑环室风路方案的仿真分析,各滑环系统风路速度矢量图与流线图如图(6~9)所示。

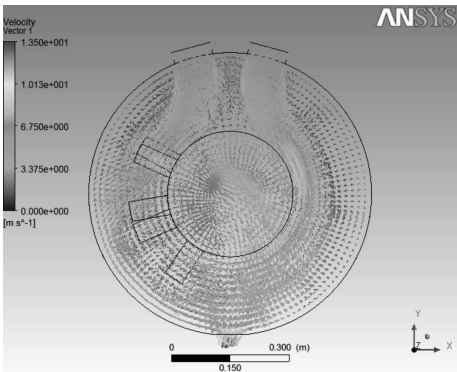


图 6 离心风扇式滑环系统中风路的速度矢量图

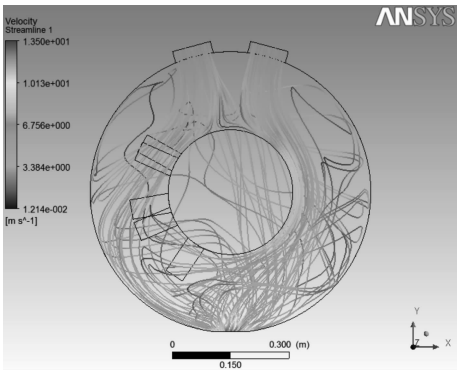


图 7 离心风扇式滑环系统中风路的流线图

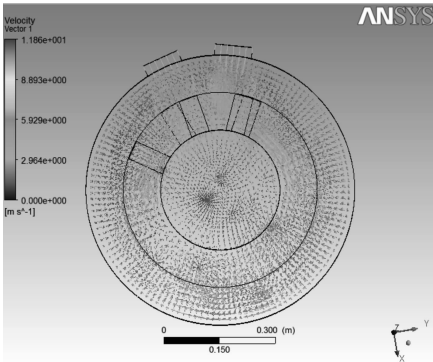


图 8 轴流风扇式滑环系统中风路的速度矢量图

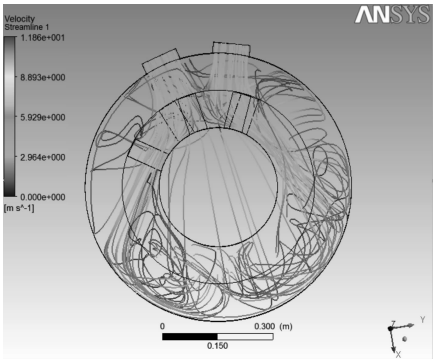


图 9 轴流风扇式滑环系统中风路的流线图

从图中可以看到:

- (1) 刷架结构对于滑环室风路产生的影响较为严重,风路在刷架部分将产生涡流并影响其下侧刷架风量;
- (2) 滑环室在外置强制风扇作用下将形成较多的涡旋;
- (3) 离心风扇式滑环系统中滑环表面所受到的风速较轴流风扇式滑环系统大、范围广,从图 7 中可以看到风路流线与滑环表面贴合。但其第二排刷握背面风速较小;
- (4) 离心风扇式滑环系统中出风口风速较轴流风扇式滑环系统大;
- (5) 轴流风扇式滑环系统滑环室下部风速较小并且出现大量涡旋。

通过两种方案风路中各部分风速、风向情况对比,可知对于碳粉清除方面讲离心风扇式滑环系统较轴流风扇式滑环系统更有优势。轴流风扇式滑环系统滑环室底部容易出现碳粉积累,滑环表面附着碳粉不易被清除,出风口风速较低,不利于碳粉的抽出。而离心风扇式滑环系统出风口风速较高、范围较大,滑环表面所受风速大,对碳粉清除极为有利,并且该特点对于滑环表面的散热极为有利。

根据仿真结果,本研究建议使用离心风扇式滑环系统进风口设计。

3.2 离心风扇式滑环系统共轭换热分析

3.2.1 数值仿真

为了解离心风扇式滑环系统散热情况,本研究采用 CFX 共轭换热分析的方法进行散热仿真分析。共轭换热在 CFX 模拟中为流体流过与之温度不同的固体物质,二者之间发生热量传输的现象^[10-11]。基于共轭换热分析方法,本研究建立滑环为固体域与滑环室为流体域,然后导入 Workbench CFX 模块,在流体域内设定流体流动和开启热量交换模型,固体域内使用子域方式设定传输热流。

滑环系统温度最高处位于碳刷与滑环接触面。本研究仅对滑环系统散热进行简要分析,由于在运行中碳刷、刷架、滑环发热极为复杂,为分析方便去除刷架与碳刷,将滑环表面设定为恒温固体域,常温空气从滑环室进风口进入滑环室并与滑环表面进行热交换。简化 3D 模型如图 10 所示。

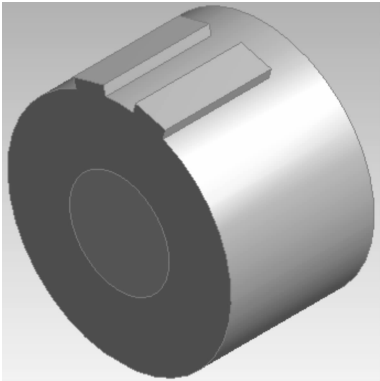


图 10 简化模型

本研究对滑环室与滑环装配体进行网格划分,并在滑环与滑环室连接面添加膨胀层。采用自动网格划分 217 639 个单元。网格模型如图 11 所示。

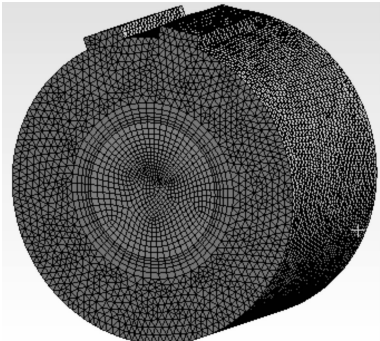


图 11 网格模型

根据滑环系统运行情况,本研究设置流体域材质为 Air Ideal Gas,温度为 25 ℃。设置固体域材质为 Steel,固体域为恒定的 100 ℃。模型设置热量传输为 Thermal Energy,并设置滑环室外壁为绝热。按照离心

风扇式滑环系统设置进风口,并生成固液交界面。

在边界条件设定后,对模型进行仿真计算,设置计算迭代 100 步,时间步长 1 s。

3.2.2 计算结果与分析

通过计算,可以获得离心风扇式滑环系统在强制风扇作用下温度分布情况,在后处理中添加一滑环室界面截面,在截面中显示温度分布情况如图 12 所示。

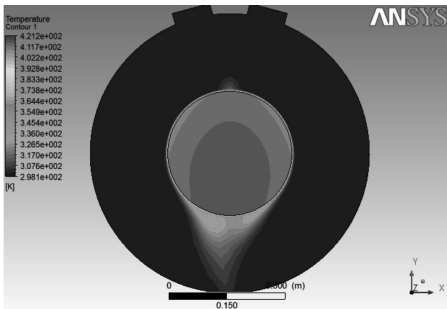


图 12 离心风扇式滑环室截面温度云图

从计算结果可以看出滑环室出口空气温度为 28.2 ℃,较进风口温度增加 3.2 ℃。

3.3 实际测试与对比

为了解滑环系统实际运行情况,本研究随机抽取 4 台发电机分别编号为 A、B、C、D,其中发电机 A、B 为离心风扇式滑环室,发电机 C、D 为轴流风扇式滑环室。测试工况为发电机额定运行并且发电机绕组温度处于稳定状态。测试结果显示,离心风扇式滑环室的出风口风速与温度比轴流风扇式滑环室高。4 台发电机滑环室运行状态测试数据如表 1 所示。

表 1 4 台发电机滑环室运行状态测试数据

参数	滑环室入口 风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	滑环室出口 风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	滑环进风口 温度/ $^{\circ}\text{C}$	滑环室出风 口温度/ $^{\circ}\text{C}$
发电机 A	6.4	13.9	23.5	26.8
发电机 B	6.5	14.2	24.5	27.9
发电机 C	6.6	12.4	24	25.9
发电机 D	6.4	12.2	23.1	25.5

进一步检查该 4 台发电机滑环室情况发现,轴流风扇式滑环系统滑环室底部积累较多碳粉,滑环表面螺旋槽内附着碳粉颗粒,而离心风扇式滑环系统中滑环表面与滑环室底部碳粉极少。

通过对比仿真结果与实际测试结果,可以看出两者结论基本一致,离心风扇式滑环系统较轴流风扇式滑环系统无论在碳粉清除还是滑环散热方面均有明显的优势。但由于仿真中未考虑滑环旋转对于风路的影响,

风速、温度仿真值与实际测试值最大偏差分别为为 4.1% 与 4.67%。

4 结束语

本研究应用 Ansys workbench 软件对双馈风力发电机组中发电机滑环室通风系统与散热情况进行流体力学的模拟仿真与分析,并与实际运行的双馈发电机滑环运行情况进行对比测试,仿真与测试结果一致显示离心风扇式滑环系统与轴流风扇式滑环系统不同的风路设计对滑环室碳粉排出与滑环、碳刷散热性能影响巨大。

本研究从滑环系统通风设计角度对滑环系统故障分析提供了重要研究方向,并对滑环室风路的选择提供了理论与实践依据,具有很强的工程应用价值。

参考文献(References):

[1] 徐 刚.最新国内外电机设计制造新工艺、新技术与检修及质量检测技术标准应用手册[M].吉林:银声音像出版社,2011.

[2] CHOW T W S,BISHOP H W. The effect of high current density and uneven current distribution on a current collection system [J]. **IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology**,1991,14(13):650-657.

[3] 盛明珺,沈 良,倪 勤.发电机集电环电刷故障实例及分析[J].安徽电力,2006,23(2):22-25.

[4] 马宏忠,陈涛涛,时维俊,等.风力发电机电刷滑环系统三维温度场分析与计算[J].中国电机工程学报,2013,33(30):98-105.

[5] 白雪峰.风力发电机齿轮箱传动系统振动的动力学建模[J].机械,2014,41(11):21-25,56.

[6] 陈涛涛,马宏忠.双馈发电机电刷滑环电阻变化理论与仿真研究[J].中国电力,2013,46(12):83-89.

[7] 李 鹏,姚俊冰,毕晓颖.风力发电机集电环故障率高的原因分析及措施[J].华电技术,2014,36(2):75-77.

[8] 周爱国,何 锐,许秀峰,等.PCR 仪进出风口的优化设计[J].机电一体化,2014,20(1):59-62.

[9] 黄志新,刘成柱. ANSYS Workbench14.0 超级学习手册[M].北京:人民邮电出版社,2013.

[10] 刘 平.基于 ANSYS CFX 的吸血泵的内部流场分析[J].流体机械,2014,42(11):43-46.

[11] 谢龙汉,赵新宇,张炯明. ANSYS CFX 流体分析及仿真[M].北京:电子工业出版社,2012.

[编辑:张 豪]

本文引用格式: