

基于CFD模拟的某柔直换流站户内启动回路场自然通风方案研究

池代波, 肖国锋

引用本文:

池代波, 肖国锋. 基于CFD模拟的某柔直换流站户内启动回路场自然通风方案研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(4): 123-129.

CHI Daibo, XIAO Guofeng. Research on Natural Ventilation in the Indoor Pre-Insertion Resistor Circuit Field of the VSC-HVDC Converter Substation Based on CFD[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(4): 123-129.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

广州换流站柔性化改造设计方案研究

Research on Design of Guangzhou LCC-HVDC Converter Station Retrofit for VSC-HVDC Converter Station

南方能源建设. 2020, 7(4): 54-60 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.008>

核电厂汽轮机房通风系统精细化设计方法

Fine Design for Turbine Room Ventilation System of NPP

南方能源建设. 2016, 3(3): 57-62 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.012>

±1100kV换流站户内直流场智能巡检系统设计

Intelligence Inspection System Design of DC Indoor Switch Yard in ±1100 kV Converter Substation

南方能源建设. 2017, 4(4): 118-123 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.022>

S-RC混合结构在大型风电场柔直户内换流站建筑中的应用

Application of S-RC Hybrid Structure in Indoor Substation of Large Wind Farms Transmission Through VSC HVDC

南方能源建设. 2015(3): 95-100 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.019>

±800kV柔性直流换流站换流变区域电气布置研究

Research on VSC-UHVDC Converter Station Transformer Area Layout

南方能源建设. 2018, 5(3): 67-71 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.010>

基于CFD模拟的某柔直换流站户内启动回路场自然通风方案研究

池代波[✉], 肖国锋

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 电网工程采用全户内紧凑型布置是当前国内城市电网建设大力发展形势下的必然趋势。如何将室内设备产生的大量热量散发出去, 且减少对周围环境产生不利影响, 是一项值得深入研究的课题。自然通风作为经济高效、无噪声产生的通风方案应优先考虑采用。为研究不同气楼方案对户内启动回路场自然通风的影响, 在其他条件不变的情况下, 通过改变气楼位置及形式, 对广州市某直换流站工程户内启动回路场的散热效果进行对比分析。[方法] 采用CFD数值模拟方法, 针对流线型通风器和薄型通风器工况, 模拟了厂房内气流的温度场和速度场。[结果] 模拟结果显示, 采用自然通风方案可行。且流线型气楼相比于薄型气楼, 增大了气楼的有效通风面积, 优化了室内空气流场, 可将户内直流场内部环境温度多降低约2℃, 可在相同环境温度下达到更好的整体降温效果。[结论] 验证了自然通风散热方案在户内直流场启动回路通风系统应用的可行性, 表明流线型气楼通风散热的效果在特定环境中要优于薄型气楼, 可为以后类似直换流站工程的通风散热方案选择及气楼优选提供参考和依据。

关键词: 户内启动回路场; 自然通风; 通风气楼; CFD模拟

中图分类号: TM7; TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)04-0123-07

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Natural Ventilation in the Indoor Pre-Insertion Resistor Circuit Field of the VSC-HVDC Converter Substation Based on CFD

CHI Daibo[✉], XIAO Guofeng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] It is an inevitable trend for the current power grid construction in the urban area in domestic to adopt a compact indoor layout for the whole house in the power grid project. However, how to dissipate a large amount of heat emitted by indoor equipment without adversely affecting the surrounding environment is an issue worthy of in-depth study. As a cost-effective, noise-free ventilation scheme, natural ventilation should be given a priority. In order to study the influence of different schemes on natural ventilation of the indoor pre-insertion resistor circuit when other conditions remain unchanged, by changing the position and form of the ventilators, this paper discusses the cooling method of an indoor pre-insertion resistor circuit field in a VSC-HVDC converter substation in Guangzhou. [Method] Based on CFD, the temperature field and velocity field of the air flow in the factory building under the conditions of using streamline ventilator and thin ventilator were simulated respectively. [Result] The result of the simulation show that the natural ventilation scheme is feasible. It can also be verified that the streamlined ventilator increases the effective ventilation area, optimizes the indoor air flow field, reduces the internal ambient temperature of the indoor DC field by about 2 °C more compared with the thin ventilator, and can achieve a better overall cooling effect under the same ambient temperature. [Conclusion] It can be concluded that natural ventilation of the indoor pre-insertion resistor circuit is proved to be feasible, and heat dissipation effect of the streamlined ventilator is better than that of the thin ventilator in a specific environment. This project can provide reference and basis for similar VSC-HVDC converter substation in the future.

Key words: indoor pre-insertion resistor circuit; natural ventilation; ventilator; CFD simulation

收稿日期: 2021-03-01 修回日期: 2021-05-06

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目“粤港澳大湾区智慧电力柔性互联关键技术研究”(2019B111109001)

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

随着我国经济的不断发展,城市电网工程建设数量增多。由于土地资源限制及环境的要求,电网工程采用全户内紧凑型布置形式已成必然趋势^[1]。将诸如变压器、平波电抗器、滤波电容器等发热量大的设备设置在户内运行,如何在维持室内温湿度环境相对稳定的情况下,减少环境污染和噪声对周围居民的干扰是设计人员需要重点考虑的内容。如采用有组织的空调或轴流风机通风,不仅增加设备投资及运行费用,还将产生较大的噪声。因此,从经济性、环保性等方面考虑,对于高大空间的户内配电装置区域,均应优先考虑自然通风的可行性^[2]。

自然通风是利用风压或热压使室内外的空气进行流动交换^[3]。对含有发热电气设备的高热空间^[4],室内散发出大量热量,底层冷空气被加热成热空气往上流动,导致厂房内形成与室外的压力差。室外空气从厂房侧面进风口进入室内,被室内余热加热成热空气,然后从上部排风口排到室外。自然通风方案可以充分利用自然动力,几乎不耗电能,运行成本低,投资少,无运行噪声。若满足配电装置场内设备的散热要求,自然通风方案可极大节省暖通系统投资运行费用。但由于自然通风进、排风的风速低,不仅需要的进排风面积很大,而且气流场不稳定,基本为无组织通风^[5],室内温度场与速度场分布不均,容易造成局部地点过热和气流死角。目前,暖通空调领域越来越广泛地应用CFD软件模拟仿真室内空气流场分布情况^[6],从而预判设计方案的效果优劣,对于优化系统设计方案具有重要的指导作用。在前期验证自然通风方案可行性时,可利用CFD计算流体模拟技术进行理论验证。

本文对某柔性直流换流站户内启动回路场室内特定区域温度环境控制进行针对性研究,结合CFD数值模拟软件验证了自然通风方案的可行性,并对不同通风气楼方案下的温度场和速度场进行模拟对比分析,为今后类似电网工程建筑实行自然通风提供借鉴和参考价值。

1 项目概述

本项目研究对象是位于广州市的某柔性直流换

流站工程户内启动回路场。户内启动回路场建筑为立方体型,尺寸为长为146 m,宽为48.5 m,最大高度为24 m,最小高度为21 m。户内启动回路场的门、结构钢架和绝缘支架等简化处理。进风口为启动回路146 m长边处进口,进风面积为2 628 m²。排风口为在屋面设置的通风气楼,总气楼开口面积为648 m²,有效通风面积为583.2 m²。启动回路外形图如图1所示。

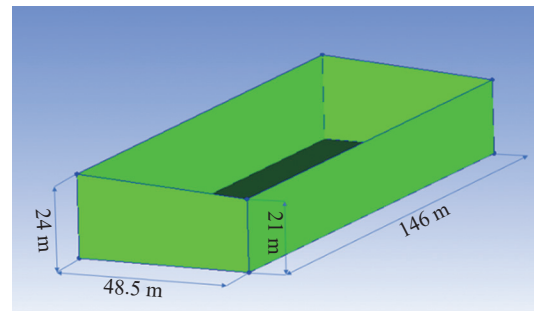


图1 户内启动回路场外形图

Fig. 1 Outline drawing of indoor pre-insertion resistor circuit

户内启动回路场内安装的设备包括桥臂电抗器、断路器、隔离开关、避雷器、导体和金具等电力设施^[7],其中热源主要包括桥臂电抗器、灯具以及导体。室内热源额定总散热量为1.720 3 MW,具体设备发热参数详见表1。对桥臂电抗器运行环境设计参数取值如表2所示。

表1 室内热源发热量汇总表

Tab. 1 Calorific value of indoor heat source

设备名称	数量	单位发热量/kW	发热量小计/kW
桥臂电抗器/台	12	139.3	1 671.6
灯具/盏	290	0.07	20.3
导体/m	406.2	0.07	28.4
汇总	—	—	1 720.3

根据上述要求,本文主要研究在自然通风条件下,桥臂电抗器周围空气温度长时间运行时应低于45℃,极端情况下应低于50℃。需要指出的是,本建筑属于整体式超大空间建筑,由于启动回路场净空较高,存在较大的温度梯度,上述温度控制要求为电抗器运行区域。桥臂电抗器安装高度为距地

表2 桥臂电抗器运行环境设计参数

Tab. 2 Design parameters of bridge arm reactor

周围空气 最高温度/℃	相对湿度 平均值/%	夏季空调室 外计算干球 温度/℃	夏季通风室 外计算温 度/℃	30年间极端 最高气温/℃
+45, +50 ℃ 具备两小时 运行能力	90	34.2	31.8	38.1

面6~11 m, 故本次研究重点控制区域为离地面11.00 m高度范围内, 排风口位置温度可以高于上述温度要求。

屋面通风器安装于建筑屋面, 无需电力消耗, 工作时又不产生噪声^[8], 可以十分显著地加强自然通风的效果。其作为一种主流的通风设备广泛应用于各类建筑中, 尤其是大型钢结构厂房, 维护方便^[9]。在大型空间建筑中一般采用条形屋面通风器, 可按照外形分为流线型通风器与薄型通风器, 如图2、图3所示。



图2 流线型屋面通风器图

Fig. 2 Streamlined roof ventilator



图3 薄型屋面通风器图

Fig. 3 Thin roof ventilator

通风器选型主要基于通风量要求、结构形式要求以及采光等建筑功能要求进行确定。本工程建筑体量大、发热量高, 自然通风量巨大。通过对通风效果、室内温度场控制等因素的对比^[10], 选择合适的通风器类型及通风器位置。通风效果对比分析

由CFD模拟计算完成。

为对比研究气楼类型、位置及尺寸对自然通风效果的影响, 本研究对两种气楼设置形式进行了如下对比研究。其中气楼A代表薄型通风器, 气楼B代表流线型通风器。

模拟工作的两种气楼设置形式分别为: 气楼A: 长宽高尺寸为120 m×30 m×7.5 m, 位于启动回路和阀厅隔墙上方, 有效通风高度7.5 m; 气楼B: 长宽高尺寸为180 m×30 m×26 m, 相比气楼A长度增加了6 m, 整体向电抗器正上方横向移动了6.5 m, 有效通风高度11 m。

气楼模型图如图4所示, 气楼上排风洞口对应图中黄色部分。

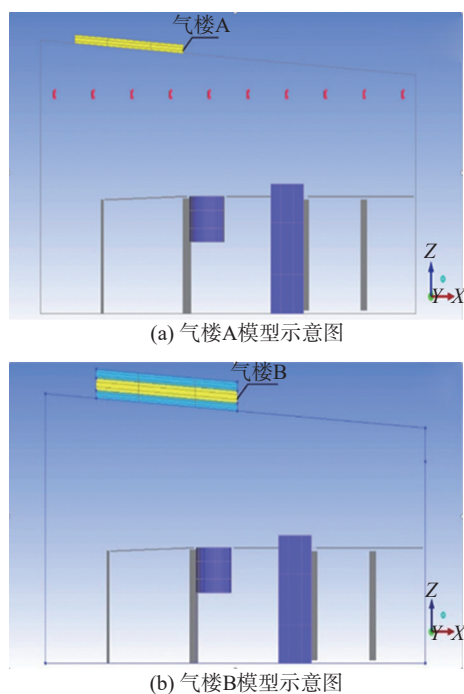


图4 气楼模型示意图

Fig. 4 Diagrammatic sketch of models

2 数值计算模型

本文所研究的气流在控制场内的流动遵循三大物理定律, 即质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律, 同时遵循湍流脉动变化规律。相应的控制方程如下所示:

1) 连续性方程

把流体(即启动回路场内的空气)看作连续介质。根据质量守恒定律, 流入和流出控制体的质量

流量之差,亦即净流入控制体的质量流量,必须等于控制体内质量随时间的变化率。由此可得式(1)流体连续性方程:

$$\frac{d\rho}{d\tau} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

式中:

ρ ——密度 (kg/m^3);

t ——时间 (s);

u ——速度矢量 V 在 x 方向上的分量 (m/s);

v ——速度矢量 V 在 y 方向上的分量 (m/s);

w ——速度矢量 V 在 z 方向上的分量 (m/s)。

低速流动中,流体视为不可压缩, ρ 视为一常量,则式(1)可以简化为:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

2) 动量方程

动量守恒是指作用于控制体上所有外力的总和等于控制体中流体动量的变化率。式(2)为动量守恒方程:

$$\rho \frac{du}{d\tau} = F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{dv}{d\tau} = F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \frac{dw}{d\tau} = F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

3) 能量方程

能量守恒是指在单位时间内,控制体内流体的总能量对时间的变化率等于进入微元体的能量加上体积力和表面对流体微元体所做的功。式(3)为能量守恒方程:

$$\rho c_p \frac{dT}{d\tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

4) 标准 $k-\varepsilon$ 两方程模型

通常通风流动属于湍流。湍流具有随机脉动的特点,上述连续性方程、动量方程和能量方程无法求得有实际意义的统计平均参数,也无法得出湍流的全部细节^[11]。为了能详细地分析这些问题,可将湍流的脉动值与时均值结合,解得湍流控制方程,即湍流模型。标准 $k-\varepsilon$ 模型是迄今为止在工程应用上最为广泛、积累经验最多的模型,也是CFD数值模拟软件经常应用的湍流描述模型。式(5)

为标准 $k-\varepsilon$ 两方程:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

式中:

μ_t ——湍流粘度 (m^2/s);

C_μ ——经验常数,取0.09。

需要说明的是,标准 $k-\varepsilon$ 模型的原型是针对二维不可压薄剪切湍流建立起来的,是已知高雷诺数的湍流计算模型。湍流在流动场壁面区域发展不充分,湍流脉动可能不如分子粘性对流动的影响大^[12]。因此,对近壁区必须采用如壁面函数法等特殊的处理方式。

本项目中,对于连续性方程可在整个场内取一个单位控制体,基于建立模型的坐标系,建立连续性方程,然后采用积分的方法计算至整个计算域^[13]。本项目中将流体视为不可压缩理想气体进行计算。对于动量方程(3)、能量方程(4)也采用同样的方法建立方程,然后以积分形式计算整个计算域。

3 室内空气流场分布情况

用于FLUENT数值模拟计算的户内启动回路场物理模型如图5所示。

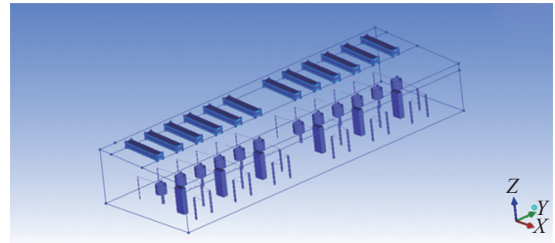


图5 户内启动回路场流体仿真模型图

Fig. 5 Simulation model of indoor pre-insertion resistor circuit

两种不同通风气楼情况下,设定相同的模拟工况如下:

采用夏季空调室外计算干球温度 $34.2\text{ }^\circ\text{C}$ 时,室内电抗器发热量为 100% (即每台电抗器发热量为 139.3 kW ,室内总发热量为 1.720 MW),屋顶外表面综合温度为 $43.8\text{ }^\circ\text{C}$,阀厅与启动回路场隔墙温度为 $30\text{ }^\circ\text{C}$,南墙外表面温度 $39\text{ }^\circ\text{C}$,北墙外表面温度为 $34.2\text{ }^\circ\text{C}$ 。

3.1 温度场分布

特征截面 $Y=10.9$ 为桥臂电抗器在 XZ 平面的纵

向中心截面, 由图 8 可以看出场内存在较明显的温度分层, 由地面到屋顶温度逐渐升高。同时可见进风口有冷空气从底部渗入, 随着进深增加, 温度逐渐升高, 启动回路工作区域内温度分布有一定的不均匀性, 整体表现为离热源越远温度越低。

如图 6 两种气楼方案的温度云图中可看出, 气楼 A 稍不利于通风散热, 气楼出口处温度最高可达 46.3 °C; 调整气楼设置后, 气楼 B 对通风散热更有利, 气楼出口温度最高则降低到 44.5 °C。调整后整个启动回路空间内, 整体温度降幅约 2 °C, 散热效果有一定的提升。

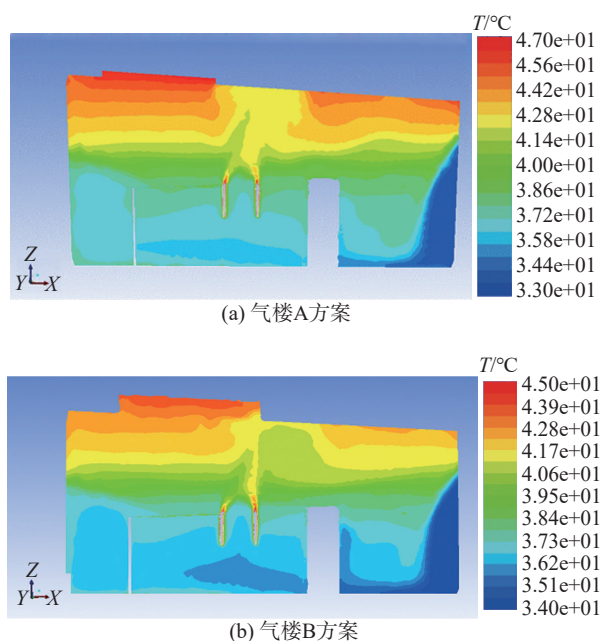


图 6 户内启动回路场 Y=10.9 特征截面温度云图
Fig. 6 Sectional view of temperature while Y=10.9

观测电抗器周围不同高度的温度分布, 得到电抗器周围不同高度平面上检测点的平均温度如图 7~图 9 所示。

以上 9 个温度数据为不同高度水平面的电抗器周围的平均温度, 反映了电抗器周围不同高度处空气的温度场分布情况。结果表明, 在垂直方向上, 随着高度的增加, 电抗器周围温度呈上升趋势; 在水平方向上, 电抗器周围大部分测点空气温度随着与电抗器的距离增大而降低, 但温度变化不大。其原因是电抗器与周围空气存在对流换热, 且热空气会向上运动。电抗器运行区域内 (地面高度 11 m 以下区域) 最高温度点出现在高度为 11 m 处的距

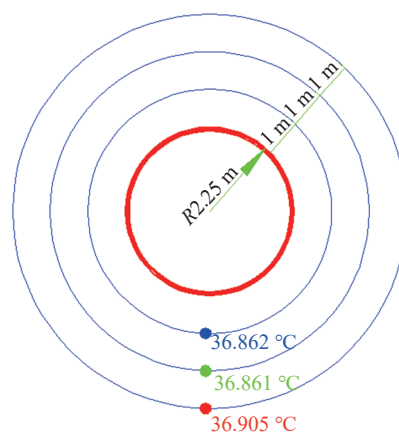


图 7 距地面 6 m 电抗器周边温度分布图

Fig. 7 Temperature distribution around reactor while Z=6 m

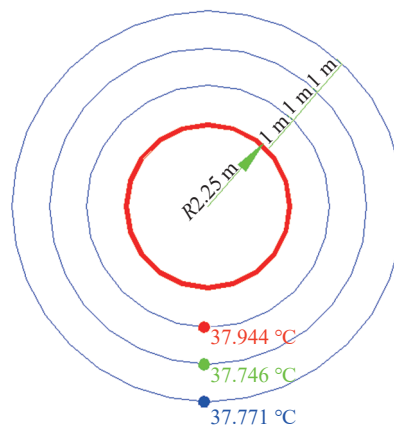


图 8 距地面 9 m 电抗器周边温度分布图

Fig. 8 Temperature distribution around reactor while Z=9 m

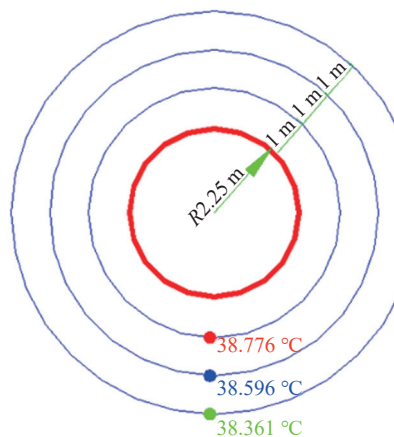


图 9 距地面 11 m 电抗器周边温度分布图

Fig. 9 Temperature distribution around reactor while Z=11 m

离电抗器 1 m 的地方, 为 38.776 °C, 满足电抗器的散热要求。

3.2 速度场分布

同样, 取典型横断面空气速度场 Y=10.9 m (电

抗器中心断面)进行对比,气楼A的气楼出口处气体流速较低,出口处空气流速约为0.55 m/s;气楼B虽然出口处空气流速基本持平,但具备了更大的气体出口面积。整个启动回路空间内,通风量增大,散热效果有较明显的提升。速度分布图如图10所示。

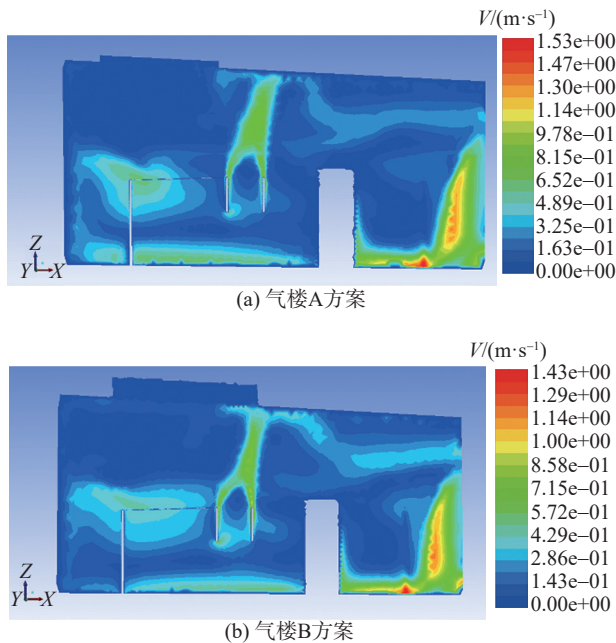


图10 户内启动回路场 $Y=10.9$ 特征截面速度分布云图
Fig. 10 Sectional view of velocity while $Y=10.9$

图11为户内启动回路场在 $Y=10.9$ 特征截面处不同通风气楼方案工况下室内空气的速度矢量图。从图中可看出室外空气由进风口端面进入室内启动回路后,室外进风首先沿地面横掠一定距离,部分气流遭遇阻挡(隔离开关)形成滞流区,电抗器周围气流受热上浮形成负压区,室外进风持续补充负压区气流,在电抗器与启动回路场隔墙之间形成部分循环对流,电抗器附近热空气持续受热带走电抗器热量,热气流冲击屋顶后向左右扩散,部分气流由气楼流出,另一部分则向进风口方向逆流而出。

图(a)中气楼改变前空气的流线轨迹显示,只有较少部分的空气直接流出了气楼A,大部分空气在启动回路空间内循环流动;图(b)显示气楼调整为B后,流出气楼的空气流线更多且流线更加密集,所以通风量增大,因此,气楼方案B(气楼向电抗器正上方平移)具有更佳的通风效果。

综上,气楼B通风效果更佳。从温度分布图可

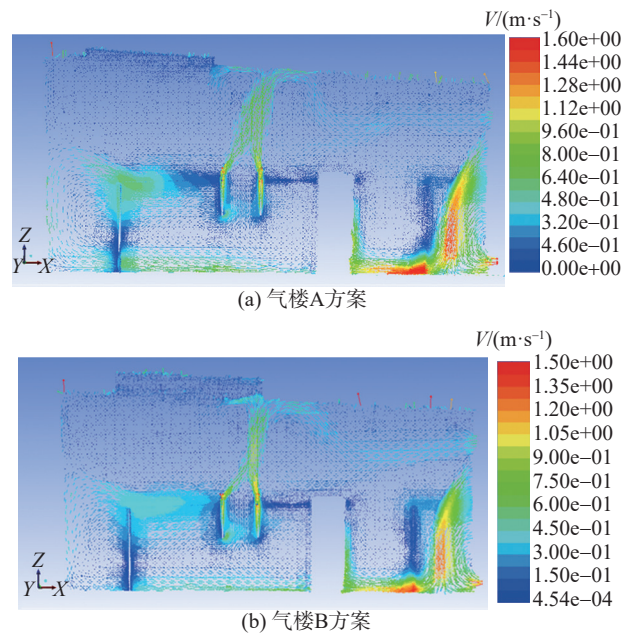


图11 户内启动回路场 $Y=10.9$ 特征截面速度矢量图
Fig. 11 Sectional view of velocity vectors and streamlines while $Y=10.9$

以看出,气楼B处最高温度为 $44.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,相比气楼A处的 $46.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 更低;其启动回路整体温度也降低约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,降温幅度达 4.4% 。而从速度分布图则可看出,气楼B流出气楼的空气流线比气楼A的更加密集,所以相对应的通风量也更多,更有利于通风散热。

4 结论

本文在夏季运行工况(空调室外计算温度 $34.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,室内总发热量 1.7203 MW)下,对户内启动回路场室内温度控制提出自然通风方案,并研究通风气楼的形式对室内通风气流场的影响效果。利用CFD软件对户内启动回路场进行温度场与速度场的模拟,得到了不同气楼形式下的模拟结果。得出结论如下:

1) 为减少户内启动回路场对周边环境产生噪声影响,在设计通风空调方案时可优先考虑自然通风方式,以达到节能和环保要求。

2) 自然通风具有可行性,能够排出启动回路场内产生的热量并满足内部控制区域整体温度不超过 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。

3) 流线型气楼相较于薄型气楼具有更好的通风散热效果。相比于薄型气楼,流线型气楼可将户内直流场内部环境温度多降低约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

参考文献:

- [1] 王剑, 张峰, 邢海斌, 等. 基于CFD的户内变电站通风换热数值模拟及优化设计[J]. 机械设计与制造, 2016(3): 45-47+50.
WANG J, ZHANG F, XING H B, et al. The numerical simulation and optimization design on ventilation and heat transfer in indoor substation based on CFD [J]. Mechanical design and manufacturing, 2016(3): 45-47+50.
- [2] 史晓方. 全户内变电站变压器室通风设计概要[J]. 科技经济导刊, 2017(3): 46-47.
SHI X F. Summary of ventilation design for transformer room in indoor substation [J]. Technology and Economic Guide, 2017(3): 46-47.
- [3] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
LU Y Q. Practical heating and air conditioning design manual [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2008.
- [4] 韩文庆, 甘露. 220 kV 户内变电站通风设计[J]. 暖通空调, 2011, 41(5): 47-49.
HAN W Q, GAN L. Ventilation system design for indoor 220 kV substations [J]. Journal of HV&AC, 2011, 41(5): 47-49.
- [5] 张大卫. 通风口对工业热厂房自然通风的影响分析[J]. 山西建筑, 2020, 46(2): 90-92.
ZHANG D W. Analysis of the influence of air vent on the natural ventilation of industrial hot workshop [J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(2): 90-92.
- [6] 邢海斌. 户内变电站通风换热问题的数值模拟研究及其对策[D]. 重庆: 重庆理工大学, 2013.
XING H B. Indoor substation ventilation heat transformer numerical simulation study and countermeasures [D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2013.
- [7] 简翔浩, 卢毓欣, 郝为瀚, 等. 广州换流站柔性化改造设计方案研究[J]. 南方能源建设, 2020, 7(4): 54-60.
JIAN X H, LU Y X, HAO W H, et al. Research on design of Guangzhou LCC-HVDC converter station retrofit for VSC-HVDC converter station [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(4): 54-60.
- [8] 林琳. 屋顶通风器在室内变电站通风设计中的应用[J]. 价值工程, 2011, 30(34): 95.
LIN L. Application of roof ventilator in the ventilation design of indoor substation [J]. Value Engineering, 2011, 30(34): 95.
- [9] 王宏斌. 屋顶自然通风器在旧厂房改造中的使用[J]. 科技信息(科学教研), 2008(18): 106+96.
WANG H B. The use of roof natural ventilators in the renovation of old factory buildings [J]. Science & Technology Information, 2008(18): 106+96.
- [10] 邵志伟. 全户内变电站通风系统数值模拟及优化研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
SHAO Z W. Investigation on numerical simulation and optimization of ventilation system for indoor substations [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [11] 胡康, 邵雪. 基于CFD对公路隧道纵向射流通风系统的研究[J]. 南方能源建设, 2020, 7(增刊2): 131-136.
HU K, SHAO X. Research on longitudinal jet ventilation system of highway tunnel based on CFD [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(Supp. 2): 131-136.
- [12] 孙智浩. 受限空间内高压氢气泄漏的数值模拟研究[D]. 济南: 山东大学, 2019.
SUN Z H. Modeling of high pressure hydrogen releases in confined spaces [D]. Jinan: Shandong University, 2019.
- [13] 胡玉祥. 地铁车站出入口的风压通风特性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
HU Y X. Research on ventilation characteristics of subway station entrance under the driving force of wind pressure [D]. Chongqing: Chongqing University, 2018.

作者简介:



池代波 (通信作者)

1972-, 男, 四川内江人, 学士, 高级工程师, 主要从事电力工程土建设计及项目管理工作 (e-mail) chidaibo@gedi.com.cn。

池代波

肖国锋

1981-, 男, 湖南桃江人, 硕士, 高级工程师, 主要从事电力工程暖通设计工作 (e-mail) xiaoguofeng@gedi.com.cn。

项目简介:

项目名称 广东省重点领域研发计划项目“粤港澳大湾区智慧电力柔性互联关键技术研究”(2019B111109001)

承担单位 南方电网科学研究院有限公司

项目概述 本项目研究为攻克大规模海上风电与西电东送电力配合利用、新一代柔性直流系统集成设计、新一代低损耗紧凑型柔性直流换流阀、国产化柔性直流阀、电网柔性互联异步智能控制、核心装备可靠性工程管理、绿色高效透明智慧柔性直流换流站等关键技术, 实现我国柔性直流输电技术理论, 装备研制和工程应用的重大突破, 跻身世界最高水平。

主要创新点 (1) 创新柔性直流的系统集成设计技术, 解决柔性直流低损耗紧凑型设计和谐波谐振难题; (2) 采用新工艺, 解决柔性直流换流阀损耗高、体积大、维护困难等难题; (3) 研发背靠背柔性互联的异同步控制技术; (4) 基于多应力耦合仿真的柔性直流换流阀和控制保护装备核心零部件可靠性分析技术; (5) 提出绿色高效透明智慧换流站设计技术。

(责任编辑 李辉)