

海上升压站正压送风系统计算及控制研究

杨锋斌, 张先提, 王春磊, 孙文龙

引用本文:

杨锋斌, 张先提, 王春磊, 等. 海上升压站正压送风系统计算及控制研究[J]. 南方能源建设, 2021, 8(1): 56–60.

YANG Fengbin, ZHANG Xianti, WANG Chunlei, et al. Research on Calculation and Control of Positive Pressure Air Supply System for Offshore Booster Station[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(1): 56–60.

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)

海上升压站主变压器冷却方式选择

Selection of Main Transformer Cooling System in Offshore Substation

南方能源建设. 2015(3): 91–94,100 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.03.018>

海上升压站的抗震性能分析

Seismic Performance Analysis of Offshore Substation

南方能源建设. 2019, 6(4): 101–105 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.016>

海上风电场升压站风险分析与管控研究

Research on the Risk Analysis and Control of the Offshore Substation

南方能源建设. 2018, 5(z1): 228–231 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.S1.041>

海上升压站裙桩型导管架基础设计分析

Design Analysis of Offshore Substation with Skirt Pile Jacket Foundation

南方能源建设. 2018, 5(2): 93–98 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.013>

400MW海上升压站电气主接线方案探讨

Discussions on the Main Electrical Wiring Scheme for a 400 MW Offshore Substation Station

南方能源建设. 2019, 6(4): 80–85 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.013>

海上升压站正压送风系统计算及控制研究

杨锋斌[✉], 张先提, 王春磊, 孙文龙

(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] 为维持海上升压站良好、安全的运行环境, 降低高盐高湿气体对设备的腐蚀影响, 提高工艺设备使用寿命, 分析保证室内正压的计算方法与控制方式。[方法] 通过对缝隙法、换气次数法计算结果的对比分析, 确定正压送风量的计算原则。通过变风量调节和余压阀控制分析, 确定室内正压控制方式。[结果] 结果表明: 海上升压站室内正压送风量应按照缝隙法计算, 不适合采用常规的换气次数法。变风量末端采用较小的风量可实现精确正压控制, 能耗降低明显。[结论] 研究结果可快速准确计算正压送风量, 同时可实现正压送风系统精确控制, 为海上升压站防盐雾正压送风系统设计提供了理论指导。

关键词: 海上升压站; 正压送风量; 变风量末端; 余压阀

中图分类号: TK89; TM315

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)01-0056-05

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Calculation and Control of Positive Pressure Air Supply System for Offshore Booster Station

YANG Fengbin[✉], ZHANG Xianti, WANG Chunlei, SUN Wenlong

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

Abstract: [Introduction] The paper aims to maintain a good and safe operating environment for offshore booster station, reduce the corrosion effect of high-salt and high-humidity gas on the equipment, and increase the service life of process equipment, the calculation method and control method of ensuring the indoor positive pressure are analyzed. [Method] Through the comparative analysis of the calculation results of the gap method and the number of air changes method, the calculation principle of the positive pressure air supply was determined. Through variable air volume adjustment and residual pressure valve control analysis, the indoor positive pressure control method was determined. [Result] The results show that the indoor positive pressure air supply volume of offshore booster station should be calculated according to the gap method, and the conventional number of air change method is not suitable for the scenario. At the end of the variable air volume, a smaller air volume is suggested to be used to achieve precise positive pressure control and reduce energy consumption significantly. [Conclusion] The research results can quickly and accurately calculate the positive pressure air supply volume, and at the same time can realize the precise control of the positive pressure air supply system, which provides theoretical guidance for the design of the anti-salt and anti-fog positive pressure air supply system for offshore booster station.

Key words: offshore booster station; positive pressure air supply; variable air volume end; residual pressure valve

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/>).

中国海上风能资源丰富, 随着海上风电关键技术取得突破和产业服务体系的不断完善, 最近几年江苏、福建、广东海上风电开发建设进度明显加

快。目前全国已并网海上风电装机容量仅次于英国和德国, 位居全球第三位^[1]。

与陆地风电相比, 海上风电所处的高湿度、高盐雾、长日照等恶劣的海洋环境, 必然使海上升压站面临严峻的腐蚀考验, 腐蚀问题成为海上风电遇到的技术难题之一^[2]。研究^[3-7]表明高盐高湿的海

收稿日期: 2020-11-16 修回日期: 2020-12-08

基金项目: 中国能建广东院科技项目“海上升压站防盐雾正压系统关键技术研究”(EX05191W)

洋大气环境, 极易在金属表面形成微电池和宏电池, 增加腐蚀的活性, 破坏金属表面的钝化膜, 材料的腐蚀和性能下降速率远比在陆上大气环境中快。同时海上升压站上存在大量以钢铁为主的金属构件, 如主变的油箱外壳、散热片、开关柜、控制保护柜的外壳等, 盐雾沉积在电气设备表面, 在电磁场作用下, 沉积物被电离形成导电薄膜, 降低了电气设备的绝缘水平, 因此, 电气设备的故障率会大大增加。近年来, 我国对海洋环境防腐蚀研究越来越重视, 各种防腐蚀技术也发展迅速, 但仍然不能满足海上风电的发展需求^[8]。

为解决上述问题, 首先应避免电气设备直接暴露在海洋大气中, 维持设备所处环境相对封闭。并且, 为防止室外空气对电气设备的盐雾腐蚀, 房间需保持正压, 设置正压送风系统。

目前我国对于海上升压站的正压送风系统缺乏深入细致的研究。海上升压站正压送风系统存在计算方法不够准确、正压系统控制不够精确等问题。为解决这些问题, 本文结合南海多个海上升压站项目正压送风系统实例, 对正压送风量计算和正压控制系统进行分析探讨, 确定了正压送风量计算原则及控制策略。

1 正压送风量的确定

为满足室内正压设计值, 需通过计算选取合适的送风量。

已知室外风速, 采用下式计算室内外压差^[9-10]。

$$\Delta P_f = K \frac{v_w^2}{2} \rho_w \quad (1)$$

式中: ΔP_f 为室内外风压差 (Pa); K 为风压差系数, 取 1.19^[11]; v_w 为室外平均风速, 取 7~8 m/s^[12]; ρ_w 为计算温度下的室外空气密度, 1.2 kg/m³。

按照上式计算可知室外风压为 35~40 Pa, 且室内正压值需要高于室外风压 10 Pa 以上^[13], 才能保证室外高盐高湿空气不能进入室内, 故室内正压值取 45~50 Pa。

目前计算维持室内正压所需风量常用的方法有缝隙法、换气次数法。下面就分别采用两种方法进行计算分析。

1.1 缝隙法

采用缝隙法计算风量, 既考虑了房间维护结构的气密性, 又考虑了室内维持一定的正压值。门关

闭时, 保持一定压差所需的风量按下式计算^[14]:

$$L_y = 0.827A\Delta P^{1/b} \times 3600 \times 1.25 \quad (2)$$

式中: L_y 为按压差法计算的加压风量 (m³/h); A 为门缝的缝隙面积 (m²); ΔP 为加压区与非加压区的压差 (Pa); b 为指数, 对于门缝取 2; 0.827 为计算常数; 1.25 为不严密处附加系数。

门缝的缝隙面积按“缝长×缝宽”进行计算。而缝宽在系统设计时是一个不确定值, 它与门的形式、加工质量、安装质量、使用情况等因素有关。本次计算缝宽按照某项目实际安装要求取值为 2 mm。某海上升压站各房间门窗缝隙统计如表 1 所示。按照缝隙法计算房间正压送风量结果如表 2 所示。

表 1 各房间外门统计

Tab. 1 Statistics of external doors of each room

房间	外门类型 1	外门类型 2
35 kV 配电室 1	1	1
35 kV 配电室 2	1	1
主变压器室 1	1	2
主变压器室 2	1	2
380 V 配电室	1	—
应急配电室	1	—
220 kV GIS 室	1	1
电子设备间	1	1
消防水泵房	1	1
暖通机房	1	1

注: 1. 外门类型 1 尺寸: 1.5 m×2.6 m; 外门类型 2 尺寸 1.0 m×2.1 m。

2. 所有外门开启方向均朝向室外。

表 2 缝隙法计算风量

Tab. 2 Calculation of air volume by gap method

房间	$\Delta P/\text{Pa}$	b	A/m^2	$L_y/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
35 kV 配电室 1	50	2	0.034	894.71
35 kV 配电室 2	50	2	0.034	894.71
主变压器室 1	50	2	0.046 4	1 221.01
主变压器室 2	50	2	0.046 4	1 221.01
380 V 配电室	50	2	0.021 6	568.404
应急配电室	50	2	0.021 6	568.404
220 kV GIS 室	40	2	0.034	800.25
电子设备间	50	2	0.034	894.71
消防水泵房	45	2	0.034	848.80
暖通机房	45	2	0.034	848.80
合计	—	—	—	8 760.81

1.2 换气次数法

换气次数是衡量空间稀释情况好坏的重要参

数,也是估算空间通风量的依据。对于确定压差的房间,换气次数按照实用供热空调设计手册^[15]确定。按换气次数法计算房间正压送风量结果如表3所示。

表3 换气次数法计算风量

Tab. 3 Calculation of air volume by air change times method

房间	换气次数/h	房间体积/m ³	$L_y/(m^3 \cdot h^{-1})$
35 kV 配电室1	3.6	684	2 462.4
35 kV 配电室2	3.6	684	2 462.4
主变压器室1	3.6	1 828	6 580.8
主变压器室2	3.6	1 828	6 580.8
380 V 配电室	3.6	257	925.2
应急配电室	3.6	166	597.6
220 kV GIS室	3.6	1 259	4 532.4
电子设备间	3.6	807.5	2 907
消防水泵房	3.6	730	2 628
暖通机房	3.6	570	2 052
合计	—	—	31 728

1.3 结果对比分析

两种方法计算结果对比如图1所示。从中计算可以看出:(1)换气次数法所计算风量均大于缝隙法所计算风量;(2)不同房间按换气次数法所计算的风量波动剧烈;(3)不同房间按缝隙法所计算的风量波动较为平稳。

由于一般海上升压站舱壁与各层甲板之间采用金属板焊接,无缝隙,且各房间外门开启方向均朝

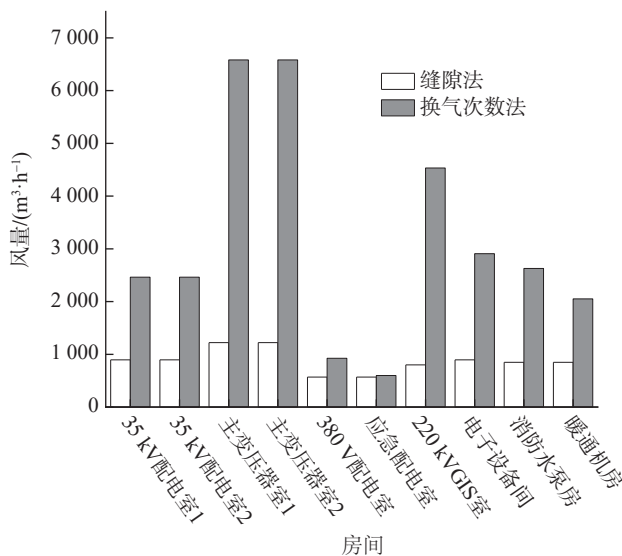


图1 两种方法计算结果对比

Fig. 1 Comparison of calculation results of two methods

向室外,各房间无开窗,可知各房间正压送风量仅与外门缝隙长度有关,与房间体积无关,所以缝隙法计算结果较为平缓,而换气次数法计算结果波动剧烈。

正压室内空气通过外门缝隙逸出,所以按照缝隙法计算可以真实地反映室内正压所需送风量。而换气次数取值依据陆上经验,并不完全适用于海上升压站,所以造成计算风量偏大。

通过缝隙法计算风量反推换气次数如表4所示。

表4 缝隙法计算风量反推换气次数

Tab. 4 Calculate the number of air change times after air volume calculation by the gap method

房间	风量/(m ³ ·h ⁻¹)	房间体积/m ³	换气次数/h
35 kV 配电室1	894.71	684	1.31
35 kV 配电室2	894.71	684	1.31
主变压器室1	1 221.01	1 828	0.67
主变压器室2	1 221.01	1 828	0.67
380 V 配电室	568.404	257	2.21
应急配电室	568.404	166	3.42
220 kV GIS室	800.25	1 259	0.64
电子设备间	894.71	807.5	1.11
消防水泵房	848.80	730	1.16
暖通机房	848.80	570	1.49

表3通过缝隙法计算风量反推得到实际的换气次数,进一步验证根据陆上经验得出的使建筑物保持一定正压值的换气次数不适用于海上升压站。需要指出的是,当全部或者部分外门开启方向朝内走道时,正压送风量将进一步减小。

2 正压送风系统的控制

2.1 余压阀控制

正压送风系统目前较常用的余压控制方法是余压阀泄压。

余压阀泄压是在正压房间外墙设置余压阀,当室内压力过高时,利用余压阀可开启的阀板泄掉超压风量。该系统布置简单,初投资较小。缺点是控制精确度低,正压所需送风量大,系统能耗较高。

安装余压阀,必须保证房间内有足够的过剩风量,即需保证送风量大于门缝漏风量,因此,防止室内超压,余压阀的选型至关重要。

房间通风方式采用机械送风、自然排风方式,

根据文献^[12], 风量平衡如下式计算:

$$L_s = L_m + L_x \quad (3)$$

式中: L_s 为房间送风量 (m^3/h); L_m 为为门缝漏风量, 按照公式 (2) 计算, (m^3/h); L_x 为泄压风量, (m^3/h)。

余压阀泄压面积 F 按下式计算:

$$F = \frac{L_x}{0.827 \times \Delta P^{0.5} \times 3600} \quad (4)$$

在正压送风系统中, 余压阀的面积需要精确计算得出, 选型过大, 就会造成浪费; 选型过小, 就会存在超压风险。

2.2 变风量末端余压控制

作者根据多个海上升压站工程设计实践提出一种海上升压站正压送风系统及其控制系统, 详细架构如图 2 所示。该系统主体包括变频新风机组、风管系统、末端变风量调节装置、末端送风设备。所述控制系统由室内外压差传感器 (1)、末端支管压差传感器 (2)、末端变风量调节装置 (3)、变频新风机组 (4)、DDC 控制器 (5) 等设备组成。控制系统通过对室内外压差传感器、末端支管压差传感器的数据分析, 控制变频新风机组、末端变风量调节装置, 使得室内正压维持正常水平。

室外高盐雾、高湿、高温空气经变频新风机组

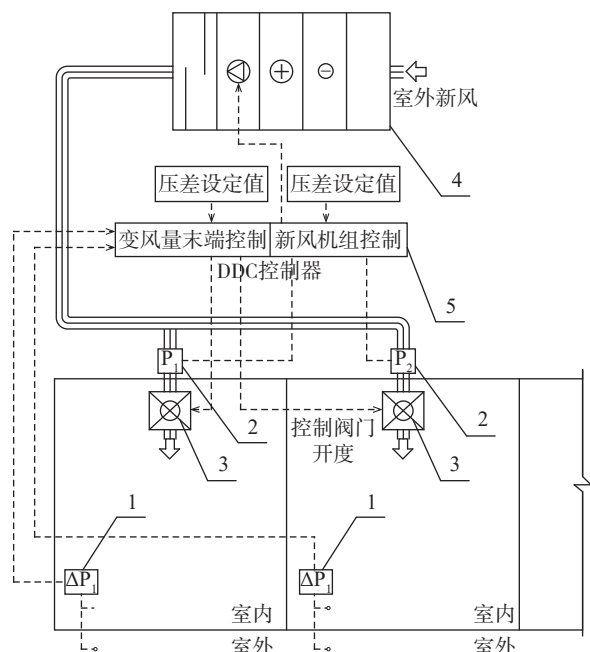


图 2 海上升压站正压送风系统及其控制系统架构

Fig. 2 Positive pressure air supply system and control system architecture of offshore booster station

过滤、除盐雾、降温除湿后, 由风管系统、末端送风设备送入房间内, 维持房间内部微正压, 避免室外高盐雾、高湿空气侵入室内, 同时改善室内空气品质。

室内外压差传感器实时监测室内外大气压力, 并与压差设定值比较, 当室内外压差超过设定值时, 报警并反馈信号给变风量控制末端和新风机组控制系统, 变风量控制末端接收信号后控制末端变风量调节阀减小开度, 新风机组控制系统接收信号后控制变频风机转速, 减小送入房间空气量, 维持室内正压正常水平。反之, 当室内外压差小于设定值时, 通过调节风机转速和末端变风量调节阀开度加大送入风量。

该控制系统侧重于房间正压精确可调。与余压阀控制“先超压后泄压”的方法相比, 提倡“调风量保压差”, 这样不仅严格控制正压所需风量, 降低空调系统能耗, 而且大大降低房间超压发生的可能, 防患于未然。同时本系统压差控制可通过直接读取室内外压差并反馈 DDC 控制器, 实现对房间送入风量的灵活调节, 具有系统送风量小、房间送风量变风量可调、输送能耗小、可完全实现自动控制、故障率小等优点。

3 结 论

本文从大量海上升压站通风空调设计实践中, 总结提出海上升压站防盐雾正压送风系统计算及其控制方法, 为海上升压站通风空调及防盐雾系统设计实践提供有力的支撑。本文主要结论如下:

- 1) 对于海上升压站防盐雾正压送风系统, 送风量的计算要综合考虑围护结构气密性、室内正压值和 控制方式, 不能简单以换气次数为基准计算送风量。
- 2) 采用缝隙法计算海上升压站正压送风量结果较为准确。而根据陆上建筑设计经验推荐的换气次数法计算结果偏大, 偏离正压送风系统运行实际, 造成不必要的能源浪费。
- 3) 带有末端变风量调节装置的控制系统在精确控制房间正压值的基础上, 避免了大风量先超压后泄压的缺点, 可有效降低系统能耗和高盐高湿气体对海上升压站工艺设备的腐蚀, 提高设备可靠性及运行寿命。

参考文献:

- [1] 易跃春. 中国海上风电 2018 [J]. 电力设备管理, 2018(12): 81-83.
YI Y C. China offshore wind power 2018 [J]. Electric Power Equipment Management, 2018(12):81-83.
- [2] WANG Z X, JIANG C W, AI Q, et al. The key technology of offshore wind farm and its new development in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007, 13 (1) : 216-222.
- [3] 李美明, 徐群杰, 韩杰. 海上风电的防腐蚀研究与应用现状 [J]. 腐蚀与防护, 2014, 35(6):584-589.
LI M M, XU Q J, HAN J. Progress of corrosion and protection for offshore wind power [J]. Corrosion & Protection, 2014: 35 (6):584-589.
- [4] 曾伟. 海上风电防腐蚀设计 [J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34 (6):97-102.
ZENG W. Anti-corrosion design of offshore wind power [J]. Total Corrosion Control, 2020, 34(6):97-102.
- [5] 张贤慧, 方大庆, 钟承珠, 等. 海洋工程装备重防腐涂料的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3): 23-27.
ZHANG X H, FANG D Q, ZHONG C Z, et al. Application research of heavy-duty anticorrosion coatings for marine engineering equipment [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2 (3): 23-27.
- [6] 曾伟. 海上风电防腐蚀设计 [J]. 全面腐蚀控制, 2020, 34 (6): 97-102.
ZENG W. Anti-corrosion design of offshore wind power [J]. Corrosion Research, 2020, 34(6): 97-102.
- [7] 王鑫, 周波, 肖鹏, 等. 海上升压站平台的腐蚀与防护 [J]. 腐蚀与防护, 2018, 39(11):888-891.
WANG X, ZHOU B, XIAO P, et al. Corrosion and protection of the platform of sea pressure station [J]. Corrosion & Protection, 2018, 39(11):888-891.
- [8] 何小华, 张力. 海上风机基础阴极保护设计与应用 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(3):76-79.
HE X H, ZHANG L. Cathodic protection design and application of offshore wind turbine supporting structure [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(3):76-79.
- [9] 李岱森. 简明供热设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
LI D S. Concise heating design manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998.
- [10] 魏林滨, 李向前, 杨娇娇, 等. 被动式超低能耗居住建筑空调房间压差值与风量平衡设计探讨 [J]. 暖通空调, 2019, 49 (10):44-50+20.
WEI L B, LI X Q, YANG J J, et al. Air-conditioned room pressure difference and air balance design of passive ultra-low energy residential buildings [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2019, 49(10):44-50+20.
- [11] 吴杰, 张宇峰. 遮挡效应对行列式住区建筑风压差的影响 [J]. 建筑科学, 2016, 32(8):13-19.
WU J, ZHANG Y F. The shadow effects on building wind pressure difference in regularly aligned communities [J]. Building Science, 2016, 32(8):13-19.
- [12] 齐义泉, 施平, 毛庆文. 南海海面风速季节特征的卫星遥感分析 [J]. 热带海洋, 1996(1):68-73.
QI Y Q, SHI P, MAO Q W. Seasonal characteristics of the sea surface wind speeds in the South China Sea by remote sensing [J]. Journal of Tropical Oceanography, 1996(1):68-73.
- [13] 中华人民共和国工业和信息化部. 洁净厂房设计规范: GB 50073—2013 [S]. 北京: 中国计划出版社出版, 2013.
Ministry of Industry and Information Technology. Code for design of clean room: GB 500073—2013 [S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [14] 徐伟. 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范技术指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
XU W. Technical guidelines for the design code for heating, ventilation and air conditioning of civil buildings [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [15] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册 第二版 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
LU Y Q. Practical heating and air conditioning design manual second edition [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.

作者简介:



杨锋斌

杨锋斌 (通信作者)

1990-, 男, 陕西铜川人, 工程师, 硕士, 主要从事发电厂通风空调设计与研究 (e-mail) yangfengbin@gedi.com.cn。

张先提

1983-, 男, 福建泰宁人, 高级工程师, 硕士, 主要从事发电厂通风空调设计与研究 (e-mail) zhangxianti@gedi.com.cn。

王春磊

1994-, 男, 河南周口人, 工程师, 硕士, 主要从事电力工程通风空调设计与研究工作 (e-mail) wangchunlei@gedi.com.cn。

孙文龙

1957-, 男, 上海人, 教授级高级工程师, 主要从事发电厂通风空调设计与研究 (e-mail) sunwenlong@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)