

引用格式: 黄成龙. 某垃圾焚烧发电厂汽机房自然通风计算方法探讨 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(增刊 1): 94-99. HUANG Chenglong. Discussion on the calculation method of the natural ventilation in a steam turbine room of a waste incineration power plant [J]. Southern energy construction, 2024, 11(Suppl. 1): 94-99. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.14.

某垃圾焚烧发电厂汽机房自然通风计算方法探讨

黄成龙[✉]

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的]为简化传统电厂汽机房自然进风、自然排风中和面选取及百叶面积计算方法,进一步揭示中和面与进排风口总面积及经济性关系,以某垃圾焚烧发电厂汽机房为工程案例进行分析,以中和面法对不同百叶高度、进排风口面积及造价进行计算。[方法]采用 Python 编程语言对繁杂的试算过程进行编码计算。[结果]结果表明:在充分考虑汽机房夹层、运转层楼板散热前提下,选取 100% 底部进风和 60%-40% 进风模式有较好的经济性,无论哪种进风模式,中和面高度选取按运转层+3~9 m 范围,进排风总面积和总造价波动范围较小。[结论]实际工程中可按此方法选取中和面高度及进、排风百叶面积。

关键词: 垃圾焚烧发电厂; 汽机房; 自然通风; 中和面; Python

中图分类号: TK01; TU834.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)S1-0094-06

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.14

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

Discussion on the Calculation Method of the Natural Ventilation in A Steam Turbine Room of A Waste Incineration Power Plant

HUANG Chenglong[✉]

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

Abstract: [Introduction] In order to simplify the neutral surface method selection and the calculation method of the area of louvers for the natural ventilation of the steam turbine rooms of the traditional power plants, to further reveal the relationship between the neutral surface and the total area of the air inlet and outlet as well as the economy, a steam turbine room of a waste incineration power plant is analyzed as an engineering case. The different louver heights, the area of the air inlet and outlet and the cost are calculated by the neutral surface method. [Method] The Python programming was used to calculate the complicated trial calculation process. [Result] The results demonstrate that under the premise of fully considering the heat dissipation of the mezzanine floor and the operating floor of the steam turbine room, 100% bottom air inlet and 60%-40% air inlet mode are more economical. No matter which air inlet modes, the neutral surface height is selected according to the operating floor +3~9 m range, and the fluctuation of the total area and cost of air inlet and outlet are small. [Conclusion] The neutral surface and the area of the air inlet and outlet louvers of actual projects can be selected by using this method.

Key words: waste incineration power plant; steam turbine room; natural ventilation; neutral surface; Python

2095-8676 © 2024 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/>).

0 引言

据统计,我国约 1/3 城市正陷入“垃圾围城”困

境,未经处理的垃圾是主要污染源之一,目前垃圾焚烧发电是最安全、最有效的垃圾处理技术。与传统的燃煤电厂、燃机电厂不同,典型的垃圾焚烧发电

厂一般将集控楼、汽机房、卸料平台、垃圾坑、焚烧间、渣坑、烟气净化间及各飞灰处理房间紧凑结合在一起,对于整个厂区的通风和除臭要求较高,一方面既要满足主厂房高大空间的散热通风要求,一方面也要满足臭气控制在封闭空间并被无害化处理。然而,无论基于哪种电厂,汽机房散热通风问题却一直是困扰通风设计的一大难题,尤其对于自然进风、自然排风的自然通风形式。李侃^[1]介绍了计算机辅助设计方法,但未揭示中和面高度与百叶的具体变化关系;吴珂等^[2]计算汽机房自然通风得出合理设计中和界面高度,保证进风面积不小于排风面积,但也未揭示中和界面具体选取关系;杨树峰等^[3]通过试算假想压力对主厂房自然通风计算出开窗面积对应中和面高度;黄劲明^[4]对汽机房进行通风计算验证了自然通风的可行性;谢元兰^[5]对主厂房自然通风采用中心面高度计算进排风面积取代传统假想压力法,简化了传统假想压力法的繁琐过程,但未进一步揭示中和界面具体选取关系。从国内外研究发现,中和面的确立及进排风百叶面积及位置的选取,一直以来都没有得到很有效地解决或有针对性的指导原则,而对于汽机房外立面及屋面造型较高要求的垃圾焚烧发电厂,合理精确的确定自然通风系统中的进排风百叶及中和面高度尤为重要。

文章研究对象为某垃圾焚烧发电厂主厂房内汽机房,位于广东省广州市,日均焚烧垃圾量为 4 800 t,配置 6 台 800 t/d 的炉排焚烧炉,6 台余热锅炉、3 台单机容量 50 MW 的凝汽式汽轮发电机组。汽机房建筑面积为 2 500 m²,长 62.5 m,宽 40 m,高 25 m,因该垃圾电厂对外立面及屋面造型要求较高,需反复试算、修改,合理选择进排风口面积,力求以最低投资达到最佳通风效果。

1 计算公式及方法

本文采用《电力工程设计手册-火力发电厂供暖通风与空气调节设计》^[6]中自然进风、自然排风中的假定中和界面法对汽机房自然通风进行计算,因实际室外风速、风向经常变化,故本文自然通风计算只考虑热压作用,忽略风压影响。主要公式如下:

进风口面积计算公式:

$$A_j = \frac{L_j}{3\,600\mu_j\sqrt{2h_j(\rho_w - \rho_n)g\rho_w}} \quad (1)$$

排风口面积计算公式:

$$A_p = \frac{L_p}{3\,600\mu_p\sqrt{2h_p(\rho_w - \rho_n)g\rho_p}} \quad (2)$$

工作地点温度:

$$t_g = t_w + 3 \quad (3)$$

汽机房室内温度:

$$t_n = \frac{t_g + t_p}{2} \quad (4)$$

空气密度计算公式:

$$\rho = \frac{353}{273 + t} \quad (5)$$

自然通风量:

$$L = \frac{3.6 \times 10^6 Q}{c(t_p - t_w)} \quad (6)$$

式中:

A_j ——为进风面积(m²);

A_p ——为排风面积(m²);

L_j ——为进风口空气流量(kg/h);

L_p ——为排风口空气流量(kg/h);

μ_j ——为进风口流量系数, $\mu_j=0.5$;

μ_p ——为排风口流量系数, $\mu_p=0.6$;

h_j ——为进风口中心到中和界的高度(m);

h_p ——为排风口中心到中和界的高度(m);

ρ_w ——为室外空气密度(kg/m³);

ρ_n ——为室内空气密度(kg/m³);

ρ_p ——为排风密度(kg/m³);

c ——空气比热容, $c=1.01$ kJ/(kg·°C)。

已知室外温度 t_w 为 31.8 °C,汽机房设备散热量 Q 为 0.8 MW,排风温差 10 °C,排风温度 t_p 为 41.8 °C,由上述公式可以发现,中和面高度 h 、进风百叶中心高度 h_j 及排风百叶中心高度 h_p 都是计算过程中的因变量,如果以传统的计算思路,需要反复试算、修改及验证,工作繁琐且巨大。故本文通过对上述公式进行计算机代码编程完成计算、验证及图形生成,采用 Python 编程语言进行代码编程,Python 版本为 3.9.0。

本文以处理通风量恒定,以进排风口面积最小对应的中和面和总造价为最低作为合理选择进排风面积的准则展开研究,如图 1 所示为计算流程图,选取初始中和面数值进行迭代步长计算,最终输出最小进、排风口总面积及对应中和面高度,图 2 为汽机

房自然通风断面图,自然进风量分别按底层 100%、底层 60%、夹层 40% 和底层 40%、夹层 40%、运转层 20% 3 种模式对比讨论,排风口按屋面居中考虑,考虑到中和面最低值至少要大于运转层 3 m 才能保证运转层及以下为进风面,中和面最低值可设定为 12 m。

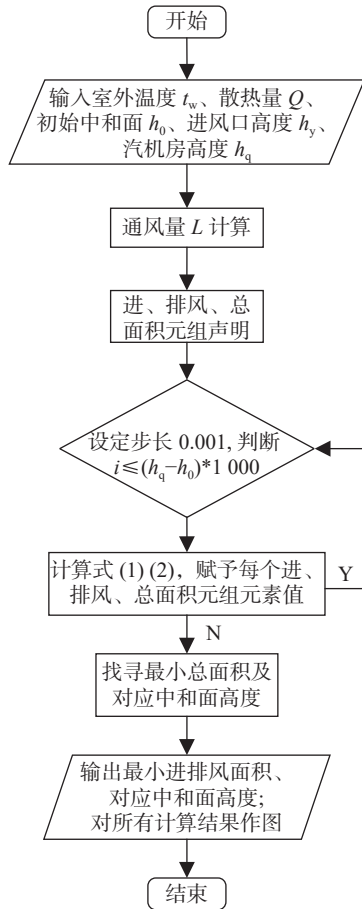


图 1 计算流程图

Fig. 1 Calculation flow chart

2 计算结果及讨论

2.1 不同进风量分配模式总面积对比

经计算,100%、60%-40%、40%-40%-20% 进风模式下最佳中和面高度分别为 13.806 m、14.767 m 和 16.163 m,对应的最小进、排风口总面积分别为 114.6 m^2 、 119.4 m^2 和 126.7 m^2 。从图 3~图 5 可以看出,进排风口总面积与中和面呈 U 形曲线关系,且当进风口沿高度方向分散,U 形曲线越明显,越靠近屋面,进、排风口总面积变化越剧烈,实际选择中和

面时应避免选取靠近屋面高度。

底层进风高度越低、且进风口越集中,中和面高度越低,进、排风口总面积也越小。

同时结合表 1~表 3,对于 100% 进风模式,中和面 12~18 m 范围内,进、排风总面积最大差值为 6.2 m^2 ,差值为 13.806 m 对应最小总面积的 5%,不超过工程 5% 的偏差,这也符合图 3 中 12~18 m 数值较为平缓特点。同样,对于 60%-40% 进风模式,中和面 12~18 m 范围内,进、排风总面积最大差值为 4.4 m^2 ,差值为 14.767 m 对应最小总面积的 3.7%,不超过工程 5% 的偏差,与图 4 中 12~18 m 数值平缓特点较为符合。对于 40%-40%-20% 进风模式,中和面 12 m 与 16.163 m 的进、排风总面积差值为 15.5 m^2 ,差值为 16.163 m 对应最小总面积的 12%,通过程序计算,在不超过 5% 工程偏差的前提下,中和面高度范围为 13.209~19.274 m。根据 3 种不同的进风模式,6 m 范围内的中和面高度选取对进排风总面积变化不大,在 5% 的变化范围内,对于市政项目——垃圾电厂高要求的外立面特点,通常 100% 和 60%-40% 的进风模式较为常见,所以,在计算选定的最佳中和面高度范围内 6 m 范围波动属于合理范围。

2.2 不同进风量分配模式总造价对比

根据防雨百叶窗 $450 \text{ 元}/\text{m}^2 \sim 700 \text{ 元}/\text{m}^2$ (材质、厚度不同,价格差异较大,本文只讨论 $450 \text{ 元}/\text{m}^2$ 和 $700 \text{ 元}/\text{m}^2$ 两种价格防雨百叶窗),屋顶通风器 $2000 \text{ 元}/\text{m}^2$,结合以上情况考虑进、排风口的经济性。如图 3~图 5、表 1~表 3 所示,无论是哪一种进风模式,进排风总造价随着中和面高度增长而增长,而高度方向越多进风口,总造价越高。

3 种进风模式对应最佳中和面高度的进排风口总造价分别为 13.5 万元、14.2 万元和 15.1 万元,后两者分别是第一者的 1.05 倍和 1.12 倍,实际选型计算可尽量选取前两者作为经济性考量。

同样,相同进风模式下,3 种模式在 12~18 m 中和面高度范围内,总造价与最佳中和面造价比值在 1.2 倍范围内。

所以,讨论 $450 \text{ 元}/\text{m}^2$ 和 $700 \text{ 元}/\text{m}^2$ 两种价格防雨百叶窗前提下,中和面高度范围控制在 12~18 m 内,100% 底层进风和 60%-40% 进风模式都在工程选型计算的合理范围内。而如果在特殊的电厂项目,

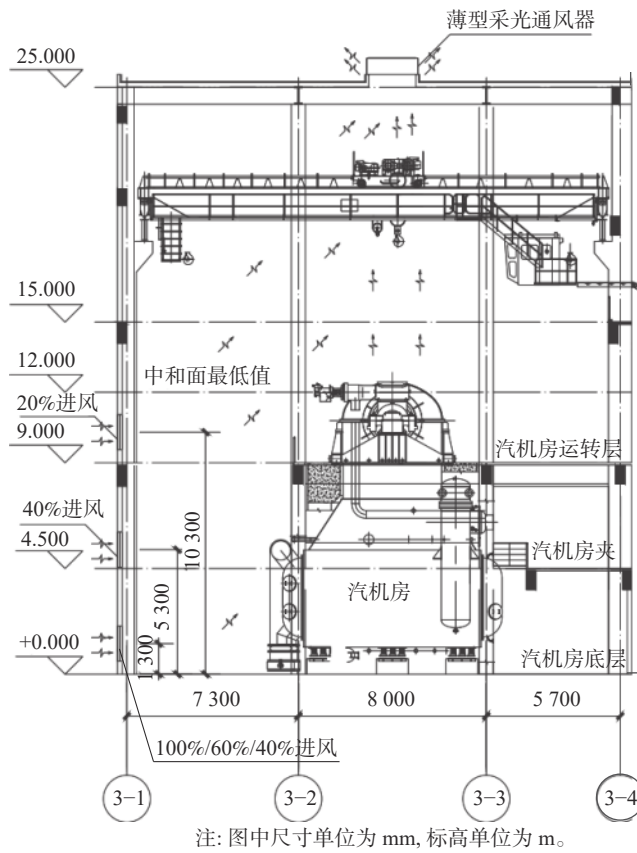


图 2 汽机房自然通风断面图

Fig. 2 Sectional drawing of the natural ventilation of the steam turbine room

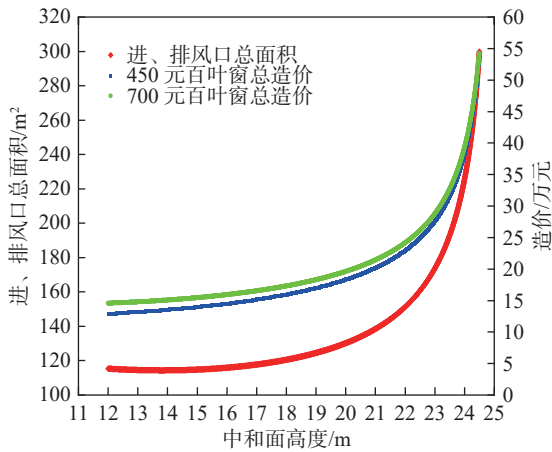


图 3 100% 进风模式中中和面与进、排风口总面积关系

Fig. 3 Relationship between the neutral surface and the total area of the air inlet and outlet in the 100% air inlet mode

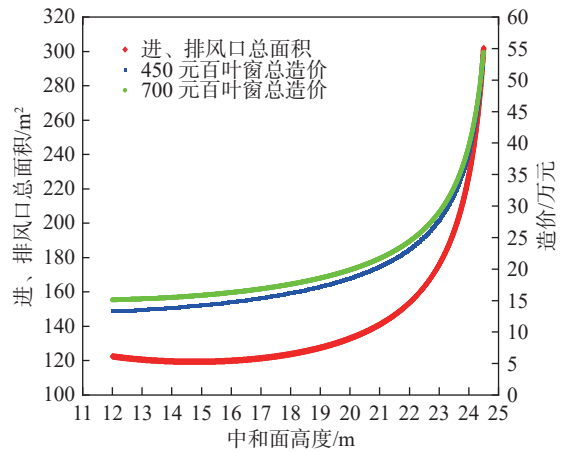


图 4 60%-40% 进风模式中中和面与进、排风口总面积关系

Fig. 4 Relationship between the neutral surface and the total area of the air inlet and outlet in the 60%-40% air inlet mode

例如沿海地区有抗台需求，防雨百叶窗全部采用电动防雨百叶窗，因电动防雨百叶窗价格与屋顶通风器价格差不多，均约 2000 元/ m²，可只比较最佳中和面选取的总面积范围即可。

3 结论

综上所述，通过对汽机房自然进风、自然排风的 3 种不同进风模式下的中和面高度、进排风总面积和总造价程序计算，得出以下结论：

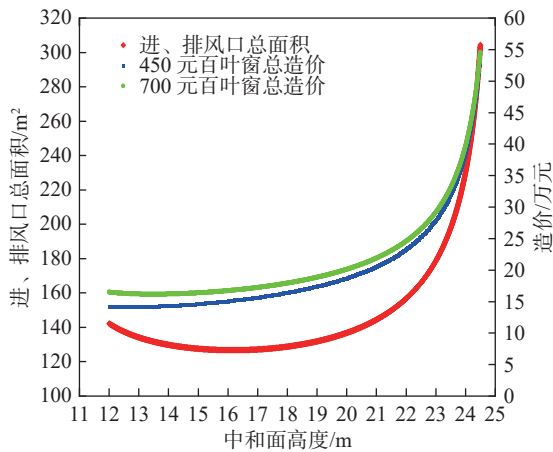


图 5 40%-40%-20% 进风模式中和面与进、排风口总面积关系

Fig. 5 Relationship between the neutral surface and the total area of the air inlet and outlet in the 40%-40%-20% air inlet mode

表 1 100% 进风模式汽机房部分中和面高度计算表

Tab. 1 Calculation table for the neutral surface height in the steam turbine room of the 100% air inlet mode

进、排风口面积	中和面高度/m					
	12	13.806	15	18	21	24
底层进风面积/m ²	65.4	60.5	57.8	52.3	48.2	44.9
排风面积/m ²	50.2	54.1	57.3	68.4	90.5	181.1
进、排风总面积/m ²	115.6	114.6	115.0	120.8	138.7	226.0
进风百叶总价/万元	2.9	2.7	2.6	2.4	2.2	2.0
排风装置总价/万元	10.0	10.8	11.5	13.7	18.1	36.2
进、排风总价/万元	13.0	13.5	14.1	16.0	20.3	38.2

表 2 60%-40% 进风模式汽机房部分中和面高度计算表

Tab. 2 Calculation table for the neutral surface height in the steam turbine room of the 60%-40% air inlet mode

进、排风口面积	中和面高度/m					
	12	14.767	15	18	21	24
底层进风面积/m ²	39.2	35	34.7	31.4	28.9	26.9
夹层进风面积/m ²	33	27.8	27.5	24	21.6	19.8
排风面积/m ²	50.2	56.6	57.3	68.4	90.5	181.1
进、排风总面积/m ²	122.5	119.4	119.4	123.8	141	227.8
进风百叶总价/万元	3.3	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
排风装置总价/万元	10.0	11.3	11.5	13.7	18.1	36.2
进、排风总价/万元	13.3	14.2	14.2	16.2	20.4	38.3

表 3 40%-40%-20% 进风模式汽机房部分中和面高度计算表

Tab. 3 Calculation table for the neutral surface height in the steam turbine room of the 40%-40%-20% air inlet mode

进、排风口面积	中和面高度/m					
	12	15	16.163	18	21	24
底层进风面积/m ²	26.1	23.1	22.2	20.9	19.3	18
夹层进风面积/m ²	33	27.5	25.9	24	21.6	19.8
运转层进风面积/m ²	32.8	19.7	17.7	15.4	13.1	11.6
排风面积/m ²	50.2	57.3	60.9	68.4	90.5	181.1
进、排风总面积/m ²	142.2	127.6	126.7	128.8	144.5	230.4
进风百叶总价/万元	4.1	3.2	3.0	2.7	2.4	2.2
排风装置总价/万元	10.0	11.5	12.2	13.7	18.1	36.2
进、排风总价/万元	14.2	14.6	15.1	16.4	20.5	38.4

1) 中和面高度与进排风口总面积呈 U 形分布,且进风口在高度方向分布越多,U 形曲线越剧烈。

2) 中和面高度越低,总造价越低。

3) 充分考虑汽机房夹层、运转层楼板散热,选取 100% 底部进风和 60%-40% 进风模式有较好的经济性。

4) 无论哪种进风模式,中和面高度选取按运转层+3~9 m 范围,进排风总面积和总造价波动范围较小,实际工程中可按此方法选取进、排风百叶。

5) 进风百叶如果是电动防雨百叶,选取进排风总面积可只考虑最佳中和面对应的 5% 范围。

参考文献:

[1] 李侃. 大型火电厂主厂房自然通风的计算机辅助设计 [J]. 电力建设, 2000, 21(4): 39-41. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2000.04.012.

LI K. The CAD for natural draft of main hall in large thermal power plants [J]. Electric power construction, 2000, 21(4): 39-41. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2000.04.012.

[2] 吴珂, 桑文汉. 1000 MW 燃煤机组汽轮机房通风设计方案 [J]. 暖通空调, 2013, 43(8): 33-35.

WU K, SANG W H. Steam turbine room ventilation design for 1 000 MW coal-fired units [J]. Heating ventilating & air conditioning, 2013, 43(8): 33-35.

[3] 杨树峰, 乌云德力格尔. 五原电厂 2×600 MW 空冷机组工程主厂房通风方案确定 [J]. 内蒙古科技与经济, 2006(5): 106-108. DOI: 10.3969/j.issn.1007-6921.2006.05.060.

- YANG S F, WUYUN D L G E. The ventilation scheme of the main building of 2×600 MW air cooling unit project of Wuyuan power plant was determined [J]. *Inner Mongolia science technology and economy*, 2006(5): 106-108. DOI: [10.3969/j.issn.1007-6921.2006.05.060](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-6921.2006.05.060).
- [4] 黄劲明. 宣威电厂五期、六期工程主厂房通风设计浅析 [J]. *云南电力技术*, 2004, 32(2): 42-44,49. DOI: [10.3969/j.issn.1006-7345.2004.02.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-7345.2004.02.016).
- HUANG J M. Analysis of ventilation design of main factory building of 5th and 6th extension project in Xuanwei power plan [J]. *Yunnan electric power*, 2004, 32(2): 42-44,49. DOI: [10.3969/j.issn.1006-7345.2004.02.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-7345.2004.02.016).
- [5] 谢元兰. 自然通风方式在火力发电厂主厂房通风系统中的应用 [J]. *制冷*, 2005, 24(2): 72-75. DOI: [10.3969/j.issn.1005-9180.2005.02.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-9180.2005.02.017).
- XIE Y L. The application of natural ventilation method in the ventilation system of firepower plant's main workshop [J]. *Refrigeration*, 2005, 24(2): 72-75. DOI: [10.3969/j.issn.1005-9180](https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-9180).
- [6] 中国电力工程顾问集团有限公司. 电力工程设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- China Power Engineering Consulting Group Co., Ltd.. *Power engineering design manual* [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2017.

作者简介:



黄成龙

黄成龙 (通信作者)

1990-, 男, 工程师, 工程热物理硕士, 主要从事能源行业通风、空调工程技术勘察设计及研究工作(e-mail)huangchenglong@gedi.com.cn。

(编辑 赵琪)