

脱硫防腐烟道的结构设计探讨

王钦, 陈卫

(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]在湿法脱硫工艺设计中, 脱硫防腐烟道的结构设计一直是一个难点。[方法]用于指导电力行业烟风道设计标准《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》(DL/T 5121—2000)及其配套计算方法并未区分防腐烟道与常规烟道的设计差异, 且规程上的较大的型钢加固肋组合截面特性表只给出了槽钢([8~22a)和工字钢(I10~I28a)的加固肋组合截面特性参数, 在脱硫烟道设计中限制了加固肋型钢的使用规格。[结果]结合工程设计实践经验, 根据防腐烟道面板的允许变形量修改了脱硫防腐烟道加固肋间距的刚度计算公式。[结论]提出了脱硫防腐烟道内撑杆十字撑和三角撑的设计细节, 以减少内撑杆防腐施工的难度。同时提出了加固肋组合截面特性参数拓展的简易方法, 可为脱硫防腐烟道的设计提供一定的参考。

关键词: 脱硫防腐烟道; 内撑杆; 加固肋

中图分类号: TM611; X701

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0146-04

The Structural Design Discussion of Desulfurization Anti-corrosion Flue Gas Duct

WANG Qin, CHEN Wei

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

Abstract: [Introduction] The structural design of desulfurization anti-corrosion flue gas duct in wet FGD is always a difficult point. [Method] Technical code for design of thermal power plant air & flue gas ducts/raw coal & pulverized coal piping (DL/T 5121-2000) and the auxiliary calculation method, which is used to guide the design of thermal power plant air & flue gas ducts, make no distinction between desulfurization anti-corrosion flue gas duct and usual flue gas duct design, and for larger stiffener, combined stiffener cross section parameters of ([8~22a) and (I10~I28a) were only listed in the code, it limited the usage specifications of stiffener. [Result] Combining the engineering fact, this paper revises the rigidity calculation formula of stiffener space according to the plate allow deformation of desulfurization anti-corrosion flue gas duct. [Conclusion] The design detail of cross & triangle inner brace is proposed to reduce the difficulty of anti-corrosive construction. This paper also gives a simple method to expand combined stiffener cross section parameter, thus to provide some reference for the design of desulfurization anti-corrosion flue gas duct.

Key words: desulfurization anti-corrosion flue gas duct; inner brace; stiffener

在湿法脱硫工艺设计中, 脱硫防腐烟道的结构设计一直是一个难点, 用于指导电力行业烟风道设计标准《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》(DL/T 5121—2000)及其配套计算方法并未区分防腐烟道与常规烟道的设计差异, 且规程上的较大的型钢加固肋组合截面特性表只给出了槽钢([8~

[22a)和工字钢(I10~I28a)的加固肋组合截面特性参数^[1-2], 在工程中往往会遇到一些脱硫厂家采用H型钢, T型钢, U型钢等非常规的加固肋型钢^[3-4], 这时已无法套用规程中加固肋组合截面特性表, 作为国内业主咨询方或总包方在审核脱硫EPC方的烟道图纸时, 需要对配套计算方法上的加固肋参数进行拓展来判断加固肋选型是否合理。文章结合工程设计实践经验, 总结了脱硫防腐烟道的结构设计特点, 提出了加固肋组合截面特性参数拓展的简易方法, 从而希望能为脱硫防腐烟道的设计

收稿日期: 2018-04-06 修回日期: 2018-07-02

基金项目: 中国能建广东院科技项目“海水烟气脱硫工艺设计研究”(KB-2008-68)

提供一定的参考。

1 脱硫防腐烟道的结构设计特点

烟道结构设计主要包括加固肋和内撑杆选型两部分, 对于给定的烟道截面而言, 烟道结构设计主要满足振动、刚度、强度三项要求。由于烟道防腐施工的要求, 防腐烟道在设计时与常规烟道相比有其特殊性。

1.1 加固肋设计

《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》配套计算方法中关于加固肋挠度的说明如下:

矩形烟风道道体面板按四周固定的薄板大挠度变形理论计算, 其相对挠度控制在道体计算面板宽度的 1/120。

为预防防腐材料的脱落, 防腐烟道的面板相对挠度一般为计算面板宽度的 1/400, 即烟道面的允许变形量比常规的 1/120 要更小。在计算防腐烟道加固肋时, 需对规程上的加固肋中心间距 S (面板) 计算公式进行修正。《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》配套计算方法中按刚度条件计算加固肋间距公式如下:

挠度:

$$y = \frac{\sum q S^4}{2 \times 384 D} \leq \frac{S}{120} \quad (1)$$

即:

$$S = \sqrt[3]{\frac{2 \times 384 D}{120 \sum q}} \quad (2)$$

钢板弯曲刚度:

$$D = \frac{E \delta^3}{12(1 - \nu^2)} = \frac{E \delta^3}{12(1 - 0.3^2)} \quad (3)$$

取泊桑比 $\nu = 0.3$ 。

最大加固肋间距:

$$S_{\max} = 84 \delta \sqrt[3]{\frac{E}{\sum q}} + 50 \quad (4)$$

式中: $\sum q$ 为烟道计算面板上的组合设计荷载 (kPa); S 为加固肋间距 (mm); D 为钢板弯曲刚度 (kN·m); E 为钢材弹性模量 (GPa); δ 为钢板厚度 (mm)。

计算防腐烟道时, 将相对挠度系数从 1/120 替换成 1/400, 相当于在原来的计算公式上 S_{\max} (防腐烟道) = S_{\max} (常规烟道) $\times (120/400)^{1/3} =$

S_{\max} (常规烟道) $\times 0.67$, 防腐烟道应取更小的加固肋间距。

1.2 内撑杆设计

常规烟道为减小加固肋的型号, 设计时往往在烟道内部加入内撑杆, 而内撑杆防腐施工非常困难, 防腐材料很容易脱落, 因此, 需要防腐的烟道在设计时尽量不设内撑杆。

如需要采用内撑杆, 内撑杆采用十字交叉型或单内撑杆型式, 尽量不采用三角形内撑杆型式。为便于防腐施工, 内撑杆一般注意以下细节:

1) 如采用十字交叉型内撑杆, 十字交叉型内撑杆相交位置直接连接, 取消中间连接节点板, 采用周边密封焊。如图 1 所示。

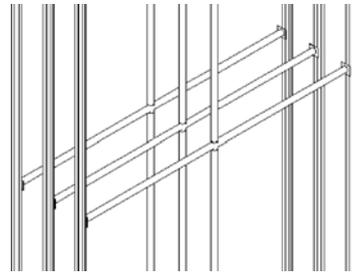


图 1 十字交叉型内撑杆

Fig. 1 Cross inner brace

2) 如采用三角形内撑杆, 三角节点板根部连接处不设节点板, 钢管与钢板直接相连。如图 2 所示。

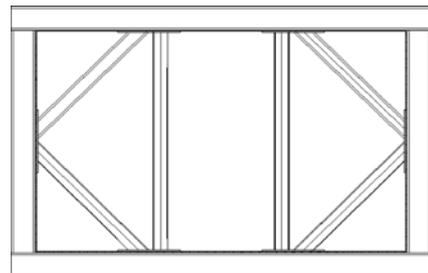


图 2 三角形内撑杆

Fig. 2 Triangle inner brace

目前有的脱硫厂家仍保留三角节点板, 在三角节点板根部用钢板包裹封闭或采用半圆形板封堵内撑杆端部。保证所有棱角部位的净空尺寸均不小于 100 mm, 以利于打磨, 如图 3 ~ 图 4 所示。

图 2 ~ 图 4 的做法都是为了防止不让腐蚀气体或液体进入内撑杆内部, 造成对内撑杆的腐蚀。建议三角形内撑杆采用图 2 做法, 减小打磨及防腐施工难度。

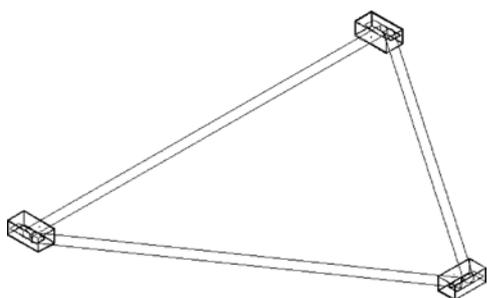


图3 三角节点板根部用钢板包裹封闭

Fig. 3 Using steel plate to package triangle node plate root

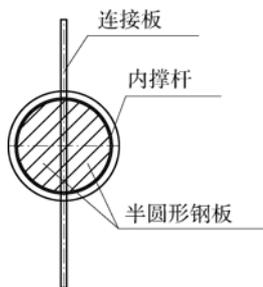


图4 半圆形板封堵内撑杆端部

Fig. 4 Using semicircular plate to seal the end of inner brace

2 加固肋组合截面特性参数的简易拓展方法

脱硫烟道往往截面尺寸远大于常规烟道，以往工程往往采用设计多道内撑杆将加固肋型号选小为规程中的型钢型号(槽钢[8~22a和工字钢I10~I28a)的方法，但脱硫烟道由于要涂刷玻璃鳞片进行防腐，内撑杆过多造成烟道内部焊缝打磨，涂刷施工工作困难，往往运行很短时间玻璃鳞片就会脱落，对烟道造成腐蚀。因此脱硫防腐烟道内要尽量减少内撑杆的设计。

现在有的国内外脱硫厂家的脱硫烟道加固肋采用了非常规的型钢，如日本川崎重工业株式会社(KHI)在河北定州脱硫防腐烟道上加固肋型钢采用T型钢和H型钢^[3]；奥地利AE&E在越南永昂脱硫防腐烟道上用的加固肋型钢为U型钢和H型钢；北京龙源在湛江广钢脱硫防腐烟道上用的加固肋型钢为H型钢。这些型钢参数已无法套用规程中的加固肋组合截面特性表，作为国内业主咨询方或总包方在审核脱硫EPC方的烟道图纸时，需要对《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》配套计算方法上的加固肋参数进行拓展来判断加固肋选型是否合理。而采用数值模拟方法往往费时费力^[5-7]，文章

提出了加固肋组合截面特性参数拓展的简易方法。

以槽钢为例，《火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程》配套计算方法槽钢加固肋选型表如表1所示。

表1 槽钢加固肋选型表

Table 1 Selection table of channel steel stiffener

加固肋型钢规格	钢板 $\delta=5\text{ mm}$				
	$A/$ cm^2	$G/$ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	$e/$ cm	$I_x/$ cm^4	$Z_{\min}/$ cm^3
[8	19.90	15.62	2.44	191.0	31.51
[10	22.65	17.78	3.21	351.4	48.17
[12.6	25.84	20.28	4.23	655.7	73.90
[14a	28.92	22.70	4.89	884.4	92.05
[16a	32.61	25.60	5.81	1354	126.7
[18a	36.60	28.73	6.75	1925	163.8
[20a	39.99	31.39	7.64	2624	204.2
[22a	43.20	33.91	8.54	3449	247.2
加固肋型钢规格	钢板 $\delta=6\text{ mm}$				
	$A/$ cm^2	$G/$ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	$e/$ cm	$I_x/$ cm^4	$Z_{\min}/$ cm^3
[8	23.63	18.55	2.17	208.7	32.43
[10	26.43	20.75	2.86	383.8	49.56
[12.6	29.67	23.29	3.79	712.7	75.74
[14a	32.80	25.75	4.42	993.3	97.59
[16a	36.54	28.68	5.29	1470	130.0
[18a	40.58	31.86	6.19	2085	168.0
[20a	44.02	34.56	7.05	2835	209.2
[22a	47.27	37.11	7.91	3717	253.0

注：A—截面积；G—单位长度理论质量；e—重心边距，如图5所示； I_x —断面惯性矩； Z_{\min} —最小断面系数。

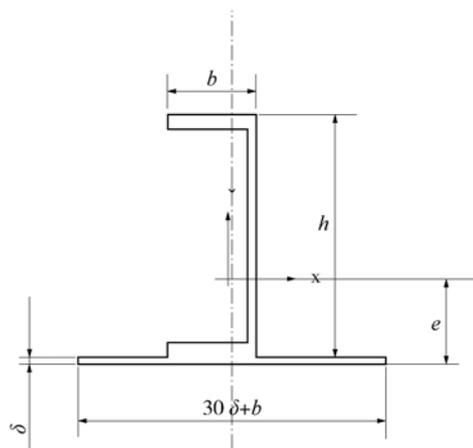


图5 组合面域

Fig. 5 Combined area

影响烟道加固肋计算的参数主要为： G —单位长度理论质量 (kg/m)； I_x —组合断面惯性矩 (cm^4)； Z_{\min} —最小组合断面系数 (cm^3)。拓展加固

肋参数的简易方法如下:

1) 在 cad 中画出预估的型钢加固肋和钢板的组合截面(可任意型钢和任意厚度的钢板进行组合), 钢板长度取: $30\delta + b$, 并形成一一个面域。如图 5 所示。

2) cad 工具→查询→面域质量属性→选中面域, 得到组合截面的质心坐标。

3) 在 cad 命令行输入 UCS→O→输入上面的质心坐标, 将原点移到质心, 量出重心边距 e 值。

4) 重复步骤 2, 得到组合断面惯性矩 $I_x(\text{cm}^4)$ 。

最小组合断面系数 $Z_{\min}(\text{cm}^3)$ 根据公式 $Z_{\min} = I_x / (h + \delta - e)$ 求出。

单位长度理论质量 $G(\text{kg}/\text{m})$ 根据型钢和钢板的单位长度总重量计算求出。

为判定此方法的有效性, 分别用上述方法计算 [20a + 6mm 钢板及 I20a + 6mm 钢板两种加固肋组合截面特性参数, 并与规程中表格数值进行对比, 结果如表 2 所示。

表 2 加固肋组合截面特性参数对比表

Table 2 Comparison table of combined stiffener cross section parameters

	按简易拓展方法计算	规程中表格数值
单位长度理论质量 $G/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	34.55	34.56
[20 a + 6 mm 钢板		
重心边距 e/cm	7.02	7.05
组合断面惯性矩 I_x/cm^4	2816	2835
最小组合断面系数 Z_{\min}/cm^3	207.4	209.2
单位长度理论质量 $G/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	41.09	41.12
I20 a + 6 mm 钢板		
重心边距 e/cm	7.27	7.30
组合断面惯性矩 I_x/cm^4	3561	3581
最小组合断面系数 Z_{\min}/cm^3	267.1	269.2

简易拓展方法中槽钢和工字钢的截面为追求方便, 并未进行圆弧倒角, 因此计算下来的参数与规程中的略有差异, 但差异很小, 简易拓展方法计算参数偏保守, 可用于指导工程设计。计算脱硫防腐烟道加固肋的时候, 为减小内撑杆数量, 加固肋型号如果超出了规程中的表格参数, 可以用简易拓展方法计算加固肋组合截面特性参数。

3 结论

1) 脱硫防腐烟道的面板相对挠度一般为计算面板宽度的 1/400, 即烟道面的允许变形量比常规的

1/120 要更小。在计算防腐烟道加固肋时, 需对规程上的加固肋中心间距 S (面板) 计算公式进行修正, 将相对挠度系数从 1/120 替换成 1/400, 相当于在原来的计算公式上 $S_{\max}(\text{防腐烟道}) = S_{\max}(\text{常规烟道}) \times (120/400)^{1/3} = S_{\max}(\text{常规烟道}) \times 0.67$, 防腐烟道应取更小的加固肋间距。

2) 内撑杆防腐施工非常困难, 脱硫防腐烟道在设计时尽量不设内撑杆。如需要采用十字交叉型内撑杆, 十字交叉型内撑杆相交位置直接连接, 取消中间连接节点板, 采用周边密封焊。如采用三角形内撑杆, 建议三角节点板根部连接处不设节点板, 钢管与钢板直接相连。

3) 提出了加固肋组合截面特性参数简易拓展方法, 计算脱硫防腐烟道加固肋的时候, 为减小内撑杆数量, 加固肋型号如果超出了规程中的表格参数, 可以用简易拓展方法计算加固肋组合截面特性参数。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程: DL/T 5121—2000 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 钱成绪. 火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程配套设计计算方法 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 吕明, 段传和. 定州电厂脱硫工程中烟道设计的特点 [J]. 电力建设, 2004, 25(5): 46-49.
- [4] 林梓桦, 王观华. 热电厂循环流化床炉外脱硫的深度治理研究及优化 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 73-77.
- [5] 李习臣, 岑尔芬. 火力发电厂矩形烟风道计算机辅助设计计算 [J]. 能源工程, 2007(2): 22-25.
- [6] 孙克勤, 沈涛, 于爱华. CAE 技术在烟气脱硫装置复杂结构设计中的应用 [J]. 电力环境保护, 2004, 20(1): 26-29.
- [7] 李圣良, 石永久, 王元青, 等. 火力发电厂外加强钢烟道结构的力学性能分析 [J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(4): 87-90.

作者简介:



WANG Q

王钦(通信作者)

1987-, 男, 湖北洪湖人, 工程师, 硕士, 主要从事电厂设计工作 (e-mail) wangqin@gedi.com.cn.

(责任编辑 高春萌)