

治理技术与综合利用

用最佳洗涤比确定烟气脱硫装置的规模

杨 颢

(上海宝钢设计研究院)

近十几年,国外烟气脱硫技术取得了突飞猛进的发展。然而,普遍感到困扰的不是技术问题,而是经济问题,即使该项技术居于领先地位的日本和美国也不例外。企业界面对烟气脱硫装置巨大的投资、运行费用、能耗以及占地面积、无不咋舌。我国烟气脱硫装置之所以发展缓慢、火电厂至今尚属空白,这是主要的原因。以电厂而言,建造一套全量洗涤(烟气洗涤比为 100%)的装置,投资占电厂总投资的 15—25% 甚至 30%,能量消耗(包括烟气再加热)约为供给锅炉热量的 2.5—3.5%。由此可见,寻求节省投资费用和降低能量消耗的途径是发展烟气脱硫装置的关键。看来,烟气脱硫装置的投资在电厂总投资中所占比例必须大幅度降至 15% 以下,才有可能在经济上排除广泛应用的阻力。

在设计烟气脱硫装置时,首先考虑的是符合排放标准,在排放标准限度内,一般说来,采用脱硫效率低的装置,投资费用少,能耗也相对减少。通常的烟气脱硫装置脱硫效率是比较高的。因此,往往不需要对烟气实行全量洗涤,仅对部分烟气进行洗涤脱硫即可达到排放标准。在实际生产中,采用高脱硫效率的部分烟气洗涤法将有助于节省投资费用和降低能量消耗。

湿法烟气脱硫技术是当前工业上广泛采用的控制二氧化硫的方法。烟气通过洗涤系统,二氧化硫可除去 85—95%,温度从 150—

180℃ 降至 55—65℃。烟气温度的降低,不利于烟气经烟囱排放扩散,因为烟气的有效排放高度决定于烟囱的实际高度和由动力、热力造成的烟缕抬升高度。烟气温度低则抬升高度小,当温度低于露点温度,烟气对风机和管道,以及烟囱构筑物将会造成腐蚀。因此,要将洗涤过的烟气再加热至 100℃ 左右,然后排放。烟气再加热所消耗的能量约为供给锅炉能量的 1.5%。加热方式可以是直接式,也可以是间接式。热源可以是外加的,称外热法,也可以由旁路烟气供给,简称旁路法。为了节能,近来国外有的脱硫装置已采用旁路法。一般说,当烟气浓度高或温度低时,多采用外加热源再加热方式;当烟气浓度较低或温度较高时,宜采用旁路法再加热方式(图 1)。现代化大型火电厂大多适用旁路法,只要正确确定通过洗涤装置的烟气体量,即确定适当的烟气洗涤比,就可以同时满足烟气排放浓度和温度这两个要求,又节省了投资、运行费用和能耗,从而提出最佳洗涤比(即经济洗涤比)。

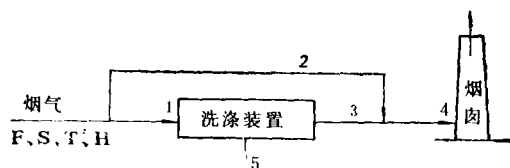


图 1 旁路加热式烟气脱硫装置

所谓洗涤比,就是通过洗涤装置的烟气

量(1)与烟气总量(F)之比,以百分率表示。在图1中,进入洗涤装置的部分烟气(1)经洗涤后排出(3),与未经洗涤的旁路烟气(2)汇合并进行热交换,最后经烟囱排放。

烟气脱硫装置的投资、运行费用和能量消耗均随洗涤比的提高而增加,图2、3和4表示在不同洗涤比时投资、运行费用和能耗与装置容量的关系。

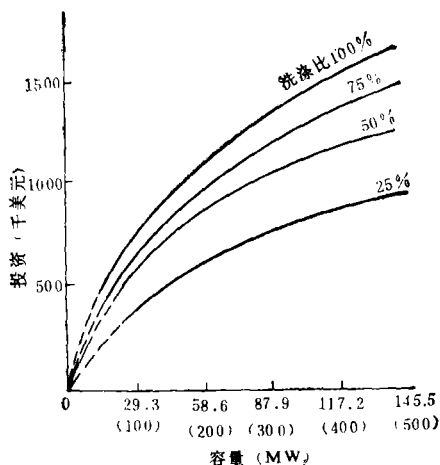


图2 不同洗涤比下的投资与装置容量的关系

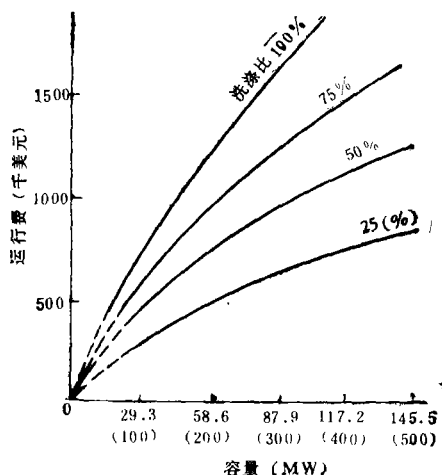


图3 不同洗涤比下的运行费用与装置容量的关系

在实际生产中,为了节省投资费用和降低能耗,人们希望采用尽可能低的洗涤比。不过,降低洗涤比是受限制的,因为旁路烟气量的大小取决于二氧化硫排放控制标准和混合烟气的硫酸露点。洗涤比愈高则排放的二氧

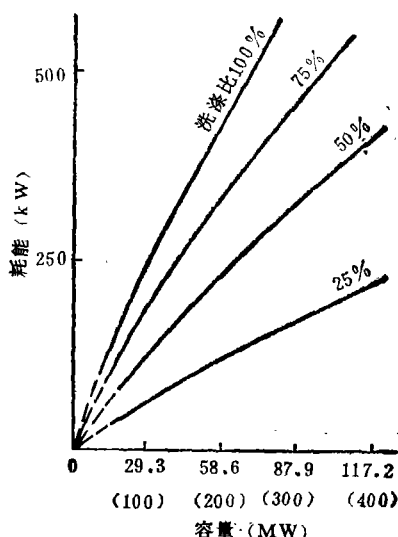


图4 不同洗涤比下的能耗与装置容量的关系

化硫愈少和混合烟气的温度愈低,反之排放的二氧化硫就愈多和混合烟气的温度愈高。在同时要求满足烟气排放浓度和排放温度即不超过二氧化硫排放标准和烟气温度略高于露点的条件下,所采用的洗涤比是最经济的,这就是所谓的经济洗涤比,亦称之为最佳洗涤比。

最佳洗涤比可以通过物料平衡和能量平衡来确定。为了简化计算起见,作如下假定。(1)在上述温度范围内,将烟气的比热视为定值;(2)洗涤系统绝对密闭,不考虑漏风;(3)被洗涤除去的二氧化硫、二氧化碳等可溶性气体量对烟气总量的影响略而不计;(4)烟气中的水汽量相对于烟气来说,可以忽略。

计算以 0°C 为温度基准。计算体系采用图1所示的旁路式系统。图中的符号 F 、 s 分别代表烟气和二氧化硫,1、2、3、4分别表示洗涤装置入口、旁路、洗涤装置出口、烟囱入口。5为洗涤装置的底流出口。

物料平衡

$$s = s_4 + s_5$$

$$s_5 = \eta s x$$

$$s_1 = s_3 + s_5 = s x$$

$$\therefore s_3 = (1 - \eta) s x$$

$$\text{又 } s_2 = (1-x)s$$

$$\text{故 } s_4 = s_2 + s_3 = s - \eta s x$$

式中, η ——脱硫效率(%); x ——烟气洗涤比(%); s ——锅炉排烟中的二氧化硫量(kg/h); s_1 ——脱硫装置入口烟气的二氧化硫量(kg/h); s_2 ——旁路烟气中的二氧化硫量(kg/h); s_3 ——脱硫装置出口烟气的二氧化硫量(kg/h); s_4 ——经烟囱排放的二氧化硫量(kg/h); s_5 ——脱硫装置底流排出的二氧化硫量(kg/h)。

上式为一直线方程,截距 s ,斜率 $-\eta s$ 。图 5 描述二氧化硫排放量与洗涤比的关系。

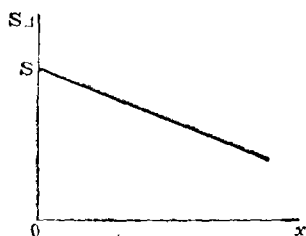


图 5 二氧化硫排放量与洗涤比的关系

能量平衡

$$H_1 = H_2 + H_3$$

$$H_2 = (1-x)F c_p T$$

$$H_3 = x F c_p T_3$$

$$H_4 = F c_p T_4$$

代入能量平衡式得:

$$T_4 = T - (T - T_3)x$$

式中, F ——锅炉排烟量(kg/h); T ——锅炉排烟温度($^{\circ}\text{C}$); c_p ——烟气比热(J/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$); H_2 ——旁路烟气的热量(J/h); H_3 ——脱硫装置出口烟气的热量(J/h); H_4 ——烟囱入口混合烟气的热量(J/h); T_3 ——脱硫装置出口烟气的温度($^{\circ}\text{C}$); T_4 ——烟囱入口烟气的温度($^{\circ}\text{C}$)。

上式作图亦为一直线,其截距 T ,斜率 $-(T - T_3)$ 。图 6 描述烟气排放温度与洗涤比的关系。

根据以上二式可以确定最佳洗涤比。最佳洗涤比是重要的设计参数之一,因为确定

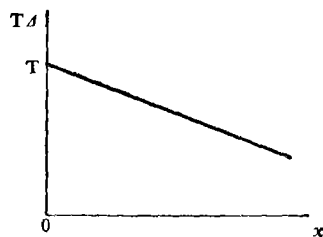


图 6 烟气排放温度与洗涤比的关系

了洗涤比的数值,便可以确定烟气脱硫装置的规模。所以,用最佳洗涤比指导设计是有实际意义的。采用最佳洗涤比,脱硫装置的投资费用和能耗将会比采用全量洗涤减少很多,而且规模愈大,减少的幅度愈大。

现以火电厂为例

锅炉烟气量(20 万 kW)	$80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$
二氧化硫浓度	1600 ppm
烟气脱硫方法	石灰石洗涤法
脱硫效率	90 %
脱硫装置入口烟气温度	160°C
脱硫装置出口烟气温度	60°C

我们知道,烟气排放温度 T_4 决定于露点温度,而烟气露点温度与三氧化硫浓度和水蒸汽含量有关,通常有一定值,约在 100°C 上下。因此,洗涤比可以首先由能量平衡式计算出来,然后将它代入物料平衡式,即可确定二氧化硫排放量,再根据二氧化硫排放量的大小决定建造烟囱的高度。在本实例中,

$$x = \frac{T - T_4}{T - T_3} = \frac{160 - 100}{160 - 60} = 60\%$$

将 x 值代入物料平衡式

$$s_4 = s - \eta s x$$

$$\text{式中 } s = 3660 \text{ kg/h}$$

$$\therefore s_4 = 3660 - 0.9 \times 3660 \times 60\% \\ = 1683.6 \text{ kg/h}$$

由此,根据排放标准确定烟囱高度为 120m。该脱硫装置应采用的洗涤比是 60%,也就是说,只需要处理 $48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 的烟气就够了,超过这个规模是不经济的,小于这个规模则达不到环保要求。采用 60% 的洗涤

比, 投资费用和能耗比全量洗涤装置几乎可以减少一半。

显然, 当烟气条件一定时, 最佳洗涤比是随脱硫效率、烟囱高度、洗涤后的烟气温度、烟气的酸露点这四个因素而改变的。脱硫效率决定于脱硫方法和设备, 烟囱高度决定于排放标准和地理气象条件, 酸露点决定于三氧化硫和水蒸汽的含量。而这四个因素又互为影响, 存在着一定的关系, 因此, 最佳洗涤比的确定是比较复杂的。在实际设计中, 精确计算最佳洗涤比的数值实属不必要, 采用上述简易办法来确定就足够了。

结 语

一、建造烟气脱硫装置时, 应当根据国家规定的排放标准, 在设计中将最佳洗涤比作为重要的技术经济参数加以引用。最佳洗涤比是根据物料平衡和能量平衡确定的, 确定最佳洗涤比, 就可以决定脱硫装置的规模, 决定装置的规模才可能估算投资费用、能耗和占地面积等。因此, 确定最佳洗涤比是一项重要的工作。

二、通常火电厂建造烟气脱硫装置, 采用全量洗涤并不是必要的, 徒然增加投资费用和能耗。如果按照最佳洗涤比进行设计的话, 投资、运行费用、能耗以及占地面积均可相应缩减。据估计, 一般情况下, 采用最佳洗涤比有可能使装置的投资费用在火电厂总投资中所占的比例降至 15% 以下。所以, 最佳洗涤比对于推动烟气脱硫事业的发展是有一定意义的。

三、一般情况下, 排放标准和烟气露点

温度都有一定的数值, 因此, 在一定条件下, 烟气的浓度和温度成了洗涤比的决定因素。烟气浓度高, 要求采用高洗涤比, 浓度低则洗涤比可相应低些。烟气温度高, 洗涤比可适当高些, 温度低则应采用低洗涤比。虽然二者要求各异, 但在一定条件下是可以统一的。图 7 表示这种因素的变化和统一。

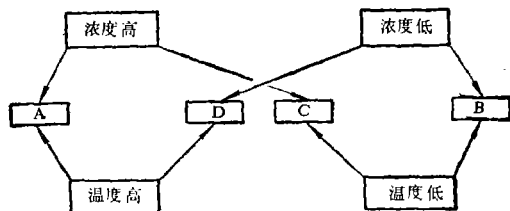


图 7 烟气浓度与温度因素的变化与统一

图中, A 表示当烟气浓度和温度都高时, 要采用高洗涤比。B 表示当烟气浓度和温度都低时, 要采用低洗涤比。C 表示当烟气浓度高而温度低时, 前者要求高洗涤比, 后者要求低洗涤比, 在这种情况下, 不得不就低不就高, 为了达到排放标准, 可采取某些措施如提高烟囱高度或提高脱硫效率。D 表示当烟气浓度低而温度高时, 前者允许采用低洗涤比, 后者允许采用高洗涤比, 在这种情况下, 为了经济起见, 也应取低不取高。倘若不采用较低的洗涤比, 则可以降低烟囱高度或采用脱硫效率较低的洗涤装置。

参 考 文 献

- [1] PB80-190051
- [2] PB 292759

(上接第 46 页)

- [3] Edberg, N. & Holsten, B. V., *Water Res.*, 7, 1285 (1973).
- [4] Brewer, W. S. et al., *Water Res.*, 11, 471 (1977).
- [5] Bradley, R. & James A., *J. Wat. Pollut. Control.*

Fed., 67, 462 (1968).

- [6] Bruce E. M. et al., *Water Res.*, 17, 603 (1983).
- [7] James A., *Water Res.*, 8, 955 (1974).
- [8] Edwards R. W. & Rolley H. L. J., *J. Ecol.*, 53, 1 (1965).