

· 争鸣与探索 ·

Austal 2000 应用于国内“烟塔合一”类项目大气影响评价

周阳^{1,2}, 王红宇^{1,2}, 李志强^{1,3}, 王伟^{1,3}, 赫洁⁴

(1. 天津市大气污染防治重点实验室, 天津 300191; 2. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191;
3. 天津市联合环保工程设计有限公司, 天津 300191; 4. 河北工业大学, 天津 300401)

摘要: 简述了德国“烟塔合一”类大气污染扩散模式, 以及相关模式 Austal 2000 的应用方法, 修正了气象参数以适合本地化应用。以天津某电厂为实例, 将 Austal 2000 模式“烟塔合一”和烟囱排烟方式的计算结果进行了对比分析。结果表明, 在进行本地化修改后, Austal 2000 模式适用于国内有关项目大气预测评价, 但从环境影响角度考虑, “烟塔合一”相对于高烟囱排放方式没有明显优势, 应用时需慎重。

关键词: 大气扩散; 环境影响评价; 烟塔合一; Austal 2000; S/P 模式

中图分类号: X820.3 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2012) 01-0056-06

Applicability of Austal 2000 in Atmospheric Impact Assessment for “Cooling Tower with Flue Gas Injection” Project in China

ZHOU Yang^{1,2}, WANG Hong-yu^{1,2}, LI Zhi-qiang^{1,3}, WANG Wei^{1,3}, HE Jie⁴

(1. Tianjin Air Pollution Control Laboratory, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Academy of Environmental Science, Tianjin 300191, China; 3. Tianjin United Environmental Engineering Design Co. Ltd, Tianjin 300191, China; 4. Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: It was introduced German atmospheric dispersion model “cooling tower with flue gas injection” and related model Austal 2000 for VDI guideline application. Several meteorological parameters in Austal 2000 were modified to adapt meteorological condition where the power plant located. A power plant project in Tianjin was selected as an example to compare and analyze the Austal 2000 calculation results of flue gas exhaust by cooling tower and by high chimney. The results showed that after localized modification, Austal 2000 was suitable for the atmospheric dispersion calculation of the “cooling tower with flue gas injection” project in China. Compared with high stack emission, “cooling tower with flue gas injection” project do no obvious advantages to environmentally friendly, so application of such project needed to consider carefully.

Key words: Atmospheric diffusion; Environmental impact assessment; Cooling tower with flue gas injection; Austal 2000; S/P Model

目前, 几乎所有火电厂被要求将烟气脱硫后排放。在各种脱硫技术中, 湿法烟气脱硫具有烟气停留时间短、脱硫效率高、吸收剂利用率高等优点得到广泛应用。但是采用湿法脱硫后的烟气温度通常为 45℃~65℃, 采用高烟囱排放时, 必须加装烟气再加热装置(GGH)以增加烟气抬升高度, 使得污染物得以有效扩散。

“烟塔合一”技术是将脱硫后的烟气通过通风冷却塔排放。该技术利用冷却塔的湿热空气对烟

气进行包裹产生较大的热力和动力抬升以增加烟气高度, 从而促使烟气中污染物扩散。采用“烟塔合一”技术的电厂可以不设高烟囱, 省去了烟囱和烟气再加热装置投资, 但冷却塔需进行结构加强和防腐处理。“烟塔合一”技术简化了火电厂的烟气系统, 节约了投资, 提高了能源利用效率。

收稿日期: 2011-02-17; 修订日期: 2011-11-18

作者简介: 周阳(1982—)男, 湖南汨罗人, 工程师, 硕士, 从事大气污染扩散模式研究。

1 “烟塔合一”技术

根据德国《联邦空气质量控制法》中的大气污染防治技术条例(Technical Ordinance on Air Pollution Prevention),大型燃烧电厂的烟气经过湿法脱硫后,必须再加热到 $\geq 72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 才能排放,通过冷却塔排放烟气的电厂不受此规定限制^[1]。受此条例影响,从 20 世纪 80 年代开始,“烟塔合一”技术在德国新建电厂中得到广泛应用。德国也在一系列工程实践中制定了“烟塔合一”的相关技术标准和评价准则。常见的排烟冷却塔平面布置及内部结构见图 1 和图 2。

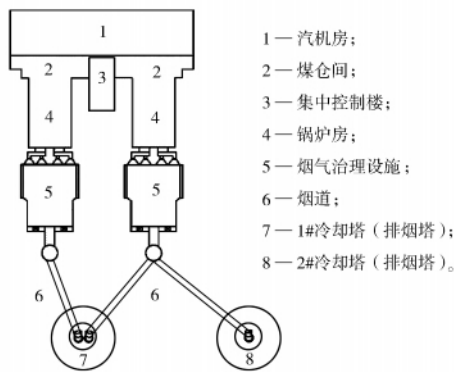
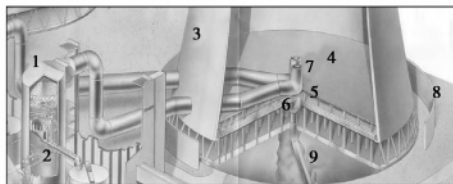


图 1 排烟冷却塔平面布置

Fig. 1 Layout of cooling tower exhaust



1— 脱硫装置; 2— 吸收塔喷淋层; 3— 冷却塔; 4— 收水器; 5— 配水层; 6— 填料层; 7— 烟道; 8— 防噪墙; 9— 进水管。

图 2 双烟道排烟冷却塔立体剖面

Fig. 2 Three-dimensional profile of double flues exhaust cooling tower

从 21 世纪初开始,鉴于“烟塔合一”技术的众多优点及在国外的成功应用,加之一些地区对新建电厂区域有净空高度限制或景观要求,该技术在我国开始陆续被推广采用。如华能北京热电厂、大唐哈尔滨第一热电厂、天津军粮城热电厂等均在湿法脱硫后采用该技术排烟^[2]。针对该类项目的大气扩散模式选取是在进行该类项目大气环境影响评价预测分析时需要慎重考虑的问题。

2 “烟塔合一”大气预测评价模式选取

2.1 模式选取

我国《大气环境影响评价技术导则》(HJ 2.2-2008)^[3](简称《新导则》)中大气的进一步预测的推荐大气扩散计算模式是 AERMOD、ADMS 和 Calpuff^[4]。关于该类模式与之前的《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ/T 2.2-93)^[5]高斯模式比较,前人做过许多工作。结果表明,与高斯模式相比,《新导则》模式无论在计算参数确定还是计算结果准确性上都拥有众多优点^[6-7]。然而,《新导则》模式在进行点源扩散计算时主要针对从常规烟囱排放的干烟气,其在计算烟气抬升时没有考虑潜热及烟羽下洗对抬升的影响。“烟塔合一”烟气排放方式与常规烟囱排放有很大不同,其排放含有巨大潜热的湿烟团,排烟情景见图 3。



图 3 烟塔合一烟气排放

Fig. 3 Flue gas exhaust from cooling tower with flue gas injection

因此对“烟塔合一”类电厂的大气环境影响预测时,不宜采用《新导则》中的推荐模式进行大气污染扩散计算与评价。

目前国内“烟塔合一”类技术的应用刚刚起步,针对这方面大气环境影响预测的研究工作开展不多,尚无成熟的预测模式可供应用。德国此类工作开展较多,专门制定了针对“烟塔合一”排烟方式抬升计算的《大气污染物扩散模式 VDI 3784 Part 2》。该标准规范了冷却塔排烟评估的启准条件和烟羽抬升计算方法 S/P 模式。同时根据德国《联邦空气质量控制法》制定了《大气污染物扩散模式 VDI 3945 Part 3》^[8],用于计算排放污染物在空气中的质量浓度。

依照上述标准开发了相应的大气扩散计算模式程序 AUSTAL 2000,无缝集成了“烟塔合一”排烟

烟气的抬升计算 S/P 模式 VDISP 程序。该模式不同于高斯烟羽模式,采用拉格朗日粒子随机游走模式,通过释放模拟粒子模拟污染物迁移扩散,通过跟踪模拟颗粒的路径和空间分布计算污染物浓度分布。Austal 2000 由于其专业性、针对性而成为德国“烟塔合一”大气扩散计算的法规模式,我国采用该模式进行“烟塔合一”项目的大气扩散计算更专业,计算结果也更为合理、可信。

2.2 Austal 2000 模式

Austal 2000 模式应用于冷却塔排烟大气扩散计算主要分为大气污染物扩散模式和烟气抬升模式 2 部分。大气扩散模式依据的是德国《大气污染物扩散模式 VDI 3945 Part 3》中描述的污染物扩散模式;对于冷却塔排烟的烟气抬升计算,该模式依据的是《大气污染物扩散模式 VDI 3784 Part 2》中描述的 S/P 模式,通过该模式确定烟气自冷却塔排出后的最终抬升高度和水平方向上的扩散距离。

2.2.1 S/P 模式^[9]

S/P 模式为三维流体动力学整型模式,由质量、动量、能量和浓度守恒方程构成。选用曲线坐标,其 S 轴与烟缕轴线一致,长度和角度垂直于 S 轴。烟团喷射路径不可预知,必须解得。将原始方程中变量分为平均状况值和波动值,经过 Reynold 平均和 Prandtl 边界层简化,假定时间平均的流场不变,气压分为静力和不规则的气压扰动,采用 Boussinesq 近似,得到守恒方程的整形形式。

质量方程:

$$\frac{d}{ds} \int_0^R u_d r dr = E$$

动量方程:

$$\frac{d}{ds} \int_0^R u_d (u_g + u_d) r dr = - \int_0^R \frac{\rho_d}{\rho_0} \sin\theta$$

能量守恒:

$$\frac{d\theta}{ds} = \frac{- \int_0^R \frac{\rho_d}{\rho_0} g r dr \cos\theta - \frac{1}{2} u_\infty E \sin\theta - \frac{\sqrt{2}}{2\pi} c_D b u_\infty^2 (\sin\theta)^2}{\int_0^R u_d (u_g + u_d) r dr}$$

大气要素平衡方程:

$$\frac{d}{ds} \int_0^R c_d (u_g + u_d) r dr = - \frac{dc_\infty}{ds} \int_0^R (u_g + u_d) r dr$$

描述烟团气态和液态水的热力学方程(Clau-

sius-Clapeyron 方程) 决定了烟团的宽度,对其方程积分得到指数函数,扩展为泰勒级数,用比湿代其水气压得到比湿差和温度差的关系:

$$\Delta q(s, r) = q_{\infty, s} [1 - \phi_\infty + \frac{L}{R_v T_\infty^2} \frac{T_d}{1!} + (\frac{L}{R_v T_\infty^2})^2 \times (\frac{T_d}{2!})^2 + \dots]$$

上述守恒方程中代入剖面函数,并从 0 积分到 $R \rightarrow \infty$,得到描述截面最大值的量 u^*, T^*, ξ^* 和因变量 θ, b 。在关系式 $dz = ds \cdot \sin\theta$ 和 $dx = ds \cdot \cos\theta$ 的帮助下这些变量从 s 坐标转为 x, z 坐标函数。最后在给定初始场后数字解方程组。

2.2.2 VDI 3945 Part 3 空气质量模式

VDI 3945 Part 3 模式采用拉格朗日粒子跟踪方法,通过计算污染物喷烟团的路径和空间分布确定污染物浓度。该模式的烟团输送和扩散由随机游走过程确定。

烟团位置移动和湍流变化形式为:

$$x = \hat{x} + \tau [V(\hat{x}) + u + U] \tag{1}$$

$$u = \Psi(\hat{x}) \cdot \hat{u} + w \tag{2}$$

式中: x, μ 为时间 t 时刻的值; $\hat{x}, \hat{\mu}$ 为时间 $t - \tau$ 时刻的值; $V(\hat{x})$ 为平均风速; u 为湍流风速; U 为附加风速,像烟气热力作用的抬升,沉降等; ω 为速度增值; Ψ 为马尔可夫过程因子。

质量变化公式:

$$m^v = \hat{m}^v + \tau \sum_{\mu} A_{\nu\mu} \hat{m}^\mu \tag{3}$$

式中: m^v 为物质 v 被一个颗粒输送掉的量。转换矩阵系数 $A_{\nu\mu}$ 跟时间 τ 无关,并满足 $\tau |A_{\nu\mu}| < 1$ 。

物质 v 在空间 $\bar{\Delta}_{ijk}$, 时间段 $[t_A, t_B]$ 的时间空间平均浓度 \bar{c}_{ijk}^v

$$\bar{c}_{ijk}^v = \frac{\sum_{k=1}^{N_p} \int_{t_A}^{t_B} \lambda_{ijk}^k(t) m_k^v(t) dt}{\bar{\Delta}_{ijk}(t_B - t_A)} \tag{4}$$

其中: 当颗粒在空间 $\bar{\Delta}_{ijk}$ 时函数 $\lambda_{ijk}^k(t) = 1$, 否则为零。

3 模式计算的相关参数

3.1 Austal 2000 计算参数

Austal 2000 模式计算所需要输入的气象参数主要包括全年逐时的风向、风速及 Klug/Manier 大气稳定度, Klug/Manier 大气稳定度从极稳定到极不稳定分别用阿拉伯数字 1 到 6, 其分类方法与

国采用的 Pasquill 分类法相似,但顺序相反,即用 Pasquill 分类法计算出的大气稳定度为极稳定时,其对应数字在 Klug/Manier 分类中表示的是极不稳定。因此在进行逐时稳定度计算可以仍采用文献[5]中推荐的 Pasquill 法,根据所在地经纬度及逐时风速、总云、低云及太阳辐射状况等进行计算,将计算结果倒置后使用。

模式中涉及的地形参数主要包括地表粗糙度。

模式中污染源基本参数与 AERMOD 模式中采用的参数相同,包括污染源坐标、冷却塔高度、冷却塔出口直径、烟气出口温度、出口流速及烟气排放速率。另外“烟塔合一”计算模式中还要求两个关于烟气方面的参数烟气相对湿度(%)和烟气液态含水量(kg/kg)。与 AERMOD 等其他模式不同,AUSTAL 2000 通过释放模拟粒子跟踪污染物的迁移扩散,因此模拟粒子释放速率等级参数(qs)是影响计算结果的重要参数,该参数为整数型无量纲参数,每增 1,释放模拟粒子数加倍,计算结果不确定性降低为原来的 $1/\sqrt{2}$,但计算所花费的时间也随之加倍。另外由于 AUSTAL 2000 计算立体单元网格内的污染物平均浓度,因此,网格间距及层高度设置也会影响浓度计算结果。

3.2 AUSTAL 2000 与 S/P 模式衔接

AUSTAL 2000 程序在计算烟塔排烟烟气抬升时,首先创建一张内部表存储已计算过的抬升高度及抬升距离及其对应的冷却塔出口附近环境风速(最多存储近 200 个),以后每次计算抬升前,先依次计算当前环境风速与内部表中存储的已计算过的环境风速的偏差,如果偏差 < 10%,则将该风速对应的抬升高度和抬升距离作为当前风速下的抬升高度和距离,而不再调用 S/P 模式计算,否则将冷却塔高度、出口内径、出口烟气温、烟气出口流速、模拟风场计算后的冷却塔旁 10 m 高度处风速等参数写入 VDIIN.DAT 文件传递给 S/P 模式进行抬升计算。

S/P 模式进行烟气抬升计算需要满足一定的启准条件,即最小弗洛德数(F_D 数)。 F_D 是用于表征冷却塔排放口动力和热力关系的运动学相似度的无量纲参数。在《大气污染物扩散模式 VDI 3784 Part 2》中规定, F_D 必须 ≥ 0.35 ,否则不能采用 S/P 模式进行抬升计算。

$$F_D = u_j / \sqrt{(|\Delta\rho_i/\rho_0|) g D}$$

式中: u_j 为冷却塔出口处的烟气排放速率, m/s; $\Delta\rho_i$ 为冷却塔出口处烟气和周围空气密度差, kg/m³; ρ_0 为冷却塔出口处周围空气密度, kg/m³; g 为重力加速度; D 为冷却塔出口直径, m。

从公式可以看出, F_D 数与烟气排放速率成正比,与冷却塔出口直径成反比。计算完成,S/P 模式将计算结果写入 VDIOUT.DAT 文件返还给 AUSTAL 2000,否则认为当前小时抬升高度为 0,并将错误信息报告给 AUSTAL 2000。

3.3 模式输出结果

经过逐时计算后,AUSTAL 2000 模式最终输出各污染物的敏感点,计算单元网格的最大值和出现位置以及各污染物各网格单元小时、日均最大值和年均值。

4 AUSTAL 2000 应用于国内项目的适用性探讨

AUSTAL 2000 模式基于德国空气质量控制法规研发,模式内置了许多针对欧洲特点的参数,其计算结果给出等方面也与《新导则》的要求存在一定差别。在研究利用该模式时,主要存在以下几个问题。

(1) 数据输出的法规符合性问题。依据《新导则》模式计算结果应给出各污染物计算网格小时、日均和年均最大值以及出现位置和时间,各敏感点各污染物小时、日均最大值和出现时间以及年均值。

目前,AUSTAL 2000 模式输出为 1 h、8 h、24 h 及年均值浓度极值结果及出现位置。该结果与《新导则》要求不完全相符,如 AUSTAL 2000 给出计算结果中不包括 NO₂ 日均质量浓度最大值,模式均未给出网格点及敏感点污染物的小时和日均质量浓度极值出现时间,这一点也与《新导则》要求不符。针对该问题,要求对 AUSTAL 2000 原始输出的逐日逐时计算结果重新进行统计分析处理,输出符合《新导则》要求的计算结果。

(2) 模型参数本地化应用问题。将 AUSTAL 2000 应用于我国“烟塔合一”类项目大气计算的最大问题在于气象参数的设定。AUSTAL 2000 及相应烟塔排烟烟气抬升高度计算模式,针对欧洲中部地区的气候特点,各稳定度下的风廓指数、气温垂直递减率及混合层高度、环境温度、环境相对湿度等参数均在程序中以固定值形式给出,如将地表 2 m 高度处的环境温度固定为 10 ℃,将空气相对湿度固定为 77%。然而中国幅员辽阔,各地气候条件

与中欧相比肯定存在很大不同,在国内采用该模式进行计算,应当针对当地气象条件特点对上述参数进行修改后重编译程序。

对 AUSTAL 2000 及烟气抬升计算的 VDISP 源程序进行修改,将上述参数的调用改为程序运行时从外部文件读入,以便随时根据计算需要修改参数而不需要每次对程序进行编译。另外原有程序在抬升计算时采用了单一固定环境温度和相对湿度值,为更好地反映实际气象状况,将其改为逐时值。

(3) 计算结果表达不确定性。由于 AUSTAL 2000 模式采用释放模拟颗粒跟踪污染物的迁移扩散,所有计算结果均对应一个统计不确定性。模型控制模拟粒子释放速率的参数 qs 的设定直接影响模型

计算结果。计算时需要根据机器配置设定一个合适的 qs 值以便在可接受的计算耗时内将计算结果不确定性控制在一个较小范围。

5 模式案例分析

采用上述方法,以天津市某新建“烟塔合一”的电厂为例,将模式中涉及参数按天津实际气象条件参数修改后,采用 AUSTAL 2000 对其进行大气扩散计算,同时设计了相应高烟囱排放方案作为计算对比参考。各污染物排放速率在 2 种排放方案中相同, NO_x 均以 NO_2 计,且暂不考虑化学反应。计算中采用的具体污染物排放参数见表 1,所采用模式参数见表 2,气象参数见表 3。

表 1 大气污染源计算参数

Table 1 Calculation parameters of air pollution source

排放方式	排气筒高度 h/m	排气筒出口内径 D/m	烟气出口流速 $v/(m \cdot s^{-1})$	烟气出口温度 T/K	污染物排放速率/ $(g \cdot s^{-1})$		
					PM_{10}	SO_2	NO_x
冷却塔排放	110	49	3.3	296.55	13.3	62.8	53.0
高烟囱排放	210	6.5	23.9	326.95			

表 2 AUSTAL 2000 模式计算参数^①

Table 2 AUSTAL 2000 calculation parameters

参数名称	地表粗糙度 l/m	模拟粒子释放 速率等级	网格间距 d/m
参数对应字符	$z0$	qs	dd
参数值	0.5	2	200

①模拟区域的下垫面为城市近郊;模拟粒子释放速率等级参数 qs 为 AUSTAL 2000 模式中控制模拟粒子释放速率的无量纲整数型参数,取值范围为 $-4 \sim 4$,默认取值为 0。该值设置越大,表示单位时间内模式释放的模拟粒子数越多,计算结果不确定性越小,同时计算耗时越长。

表 3 AUSTAL 2000 气象参数

Table 3 AUSTAL 2000 meteorologic parameters

稳定度级别	风廓指数	气温垂直递减率 $l/(^{\circ}C \cdot m^{-1})$	混合层厚度 d/m
强不稳定	0.08	-0.007	814
不稳定	0.08	-0.007	814
弱不稳定	0.15	-0.010 6	655
中性	0.27	-0.007 2	323
较稳定	0.32	-0.007 4	63
稳定	0.32	-0.007 4	63

经采用全年逐时气象数据进行计算,统计分析后得出各种污染物小时、日均及年均最大落地质量

浓度对比分析,分析结果见表 4。

表 4 污染物最大地面质量浓度值对比

Table 4 Comparison of maximum surface pollutant concentration

统计类别	污染物	高烟囱排烟		“烟塔合一”排烟	
		最大值 $l/(mg \cdot m^{-3})$	占标 $l/\%$	最大值 $l/(mg \cdot m^{-3})$	占标 $l/\%$
小时值	SO_2	0.034 91	7.0	0.067 82	13.6
	NO_2	0.029 48	12.3	0.057 23	23.9
日均值	SO_2	0.004 41	2.9	0.009 01	6.0
	PM_{10}	0.000 94	0.6	0.001 82	1.2
年均值	NO_2	0.003 76	3.1	0.007 61	6.3
	SO_2	0.000 57	0.9	0.000 94	1.6
	PM_{10}	0.000 12	0.1	0.000 19	0.2
	NO_2	0.000 48	0.6	0.000 79	1.0

从计算结果对比分析可见,“烟塔合一”排烟方式的小时、日均及年均最大地面落地质量浓度值均大于高烟囱排放方式质量浓度值,因此从环境影响角度考虑,全年气象条件下,“烟塔合一”方案对环境的影响要大于高烟囱排放方案。

鉴于 2 种排烟方式对环境影响的贡献值均在空气质量二级标准值可接受范围内,当受净空高度

等条件限制时,“烟塔合一”方案不失为一种较好选择,但该方案在国内大规模推广应用还需慎重,尤其是在大风不利气象条件下,“烟塔合一”排烟方式烟气下洗容易在冷却塔附近产生较高污染物质量浓度区,造成不利环境影响,应用时需严格设置安全防护距离。

6 结语

“烟塔合一”技术在我国应用刚起步,在当前情况下,采用 AUSTAL 2000 对其进行大气扩散计算比《新导则》推荐模式更有针对性。但运用该模式需要对模式原有输出结果进行修改以输出符合《新导则》要求的结果,同时对有关气象参数应进行本地化修改以更好地符合当地实际情况。对模式本身今后还应对其中更多参数选取与设置开展更多研究,分析其与我国实际情况的相符性,从而使模型更好地运用于国内项目大气扩散计算。

[参考文献]

[1] Technical Division of Environmental Meteorology. VDI 3784

(上接第 13 页)

综上所述,由于染料基质复杂,其中二噁英的预处理和检测技术无法统一,因而需要根据染料的性质,选择最佳的分析方法。染料中二噁英含量较高,原料中的氯醌类物质是其主要污染源。我国是染料生产大国,但是对染料中二噁英的调查研究甚少。吕亚辉等^[11]对中国和 27 个国家的二噁英排放清单进行比较研究,结果表明,虽然中国的二噁英人均产污水平远低于其他国家,但全国二噁英的年排放总量、大气年排放量及本地污染指数较大,开展二噁英减排工作势在必行。目前我国对垃圾焚烧、再生有色金属、炼钢生产、制浆造纸等行业,已经完成或正在开展二噁英排放因子及年排放量的调查工作。因此,建立染料类化工生产中二噁英类污染物的分离分析方法,推进该行业二噁英排放因子的研究,摸清我国染料类行业的二噁英污染现状等工作显得非常迫切。

[参考文献]

[1] 张济宇. 二噁英[J]. 环境监测管理与技术, 1999, 11(6): 46.
[2] KRIZANEC B, MARECHAL A M L, VONCINA E, et al. Presence of dioxins in textile dyes and their fate during the dyeing processes[J]. Acta Chim. Slov. 2005, 52: 111 - 118.

Part2 environmental meteorology: dispersion modelling for the discharge of flue gas via cooling towers [S]. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2004.

- [2] 梁冬, 张胜寒, 张志伟. 大唐哈尔滨第一热电厂烟塔合一技术的环境影响分析[J]. 黑龙江电力, 2008, 30(6): 465 - 467.
[3] 国家环境保护部. HJ 2.2 2008 环境影响评价技术导则 大气环境[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
[4] 丁峰, 李时蓓, 赵晓宏. 大气环境影响预测与评价编写及技术复核要点分析[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(6): 65 - 68.
[5] 国家环境保护总局. HJ / T 2.2 - 93 环境影响评价技术导则 大气环境[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
[6] 孙璐, 蔡娟. AERMOD 与 EIAA 大气预测模型在环境影响评价中的应用比较[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(10): 92 - 95.
[7] 伯鑫, 丁峰, 徐鹤, 等. 大气扩散 CALPUFF 模型技术综述[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(3): 9 - 13.
[8] Technical Division of Environmental Meteorology. VDI 3945 Part3 environmental meteorology: atmospheric dispersion models particle model [S]. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2000.
[9] 崔克强, 李浩. 燃煤发电厂烟塔合一环境影响之一烟气抬升高度的对比技术[J]. 环境科学研究, 2005, 18(1): 27 - 30.

- [3] 田利明. 2008 年我国染料及有机颜料发展回顾与展望[J]. 印染, 2009(9): 44 - 48.
[4] 张庆华, 吴文忠, 占伟, 等. “永固紫”染料和四氯苯醌中多氯代二苯并二噁英/呋喃的分析[J]. 色谱, 2000, 18(1): 21 - 24.
[5] WILLIAMS D T, LEBEL G L, BENOIT F M. Polychlorodibenzodioxins and polychlorodibenzofurans in dioxazine dyes and pigments[J]. Chemosphere, 1992, 24(2): 169 - 180.
[6] HORSTMANN M, MCLACHLAN M S. Results of an initial survey of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and dibenzofurans (PCDF) in textiles [J]. Chemosphere, 1995, 31(2): 2579 - 2589.
[7] 李海英, 张书廷, 赵新华. 城市生活垃圾焚烧产物中二噁英检测方法[J]. 燃料化学学报, 2005, 33(3): 379 - 384.
[8] SING S B, KULSHRESTHAUL G. Gas chromatographic analysis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans [J]. Chromatography, 1997(774): 97 - 109.
[9] LIEM A K D. Important development in methods and techniques for the determination of dioxins and PCBs in foodstuffs and humans tissues [J]. Trends Anal Chem, 1999, 24(18): 499 - 507.
[10] 务宗伟. 大体积进样与分流/不分流进样气相色谱/质谱测定二噁英的对比[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(5): 48 - 51.
[11] 吕亚辉, 黄俊, 余刚, 等. 中国二噁英排放清单的国际比较研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(6): 71 - 74.

本栏目责任编辑 陈宝琳 姚朝英