

• 调查与评价 •

燃料燃烧排放系数的确定和估算方法

邝俊侠, 龙 涛, 黄清凤, 简鉴阳

(广州市环境监测中心站, 广东 广州 510030)

摘 要: 大气污染物的排放量主要与燃料种类及燃烧方式有关。鉴于目前仍未有一套针对不同燃料及不同燃烧方式而设计的燃料燃烧排放系数, 现以广州市为研究对象, 采用 5 种不同的方法, 得出一套适用于各种燃料及不同燃烧方式的排放系数, 使得通过燃料消耗量推算大气污染物排放量更方便、更准确。

关键词: 燃料; 燃烧; 排放系数

中图分类号: X 502

文献标识码: A

文章编号: 1006-2009(2001)02-0024-03

Determination and Estimation Method of Discharge Coefficient of Fuel Burning

KUANG Jun-xia, LONG Tao, HUANG Qing-feng, JIAN Jian-yang

(Guangzhou Municipal Environmental Monitoring Center, Guangzhou, Guangdong 510030, China)

Abstract: Discharge quantity of air pollutant of fuel burning was related with the kind of fuel and the burning method of fuel. Due to there had not yet a serious discharge coefficient which can be used to all fuel and burning method, it put forward one based on the study in Guangzhou. This discharge coefficient can make it possible to guess the discharge quantity of air pollutant of fuel burning.

Key words: Fuel; Burning; Discharge coefficient

大气污染物的排放量主要与燃料种类及燃烧方式有关。鉴于目前仍未有一套针对不同燃料及不同燃烧方式而设计的燃料燃烧排放系数, 现以广州市为研究对象, 运用 5 种不同的方法, 得到一套较为准确完善的排放系数, 并应用到环境保护统计领域。

1 排放系数的概念

燃料燃烧的污染物排放量, 可采用燃料消耗量乘以排放系数得到。但严格来说, 排放系数还应该包括净化装置的净化效率, 即: 排放系数 = 产污系数 × 净化效率。

燃料燃烧的排放系数应考虑燃料本身和燃烧器两大因素, 前者主要涉及燃料的类型、组成、热值等; 后者则着重涉及燃烧方式、温度、热效率等。

排放系数的单位为“kg/t 燃料”或“g/m³ 燃料”(用于气态燃料), 其意义为: 用特定燃烧器燃烧每一单位质量特定燃料所产生的特定种类污染物的量。

2 排放系数种类的确定

要确定某种排放系数, 必须先确定排放污染物的种类、燃料的种类、燃烧器的种类, 再将这些因素根据实际情况进行各种组合, 便可确定排放系数。

2.1 确定排放污染物的种类

根据燃料燃烧污染物的排放特点, 确定了 SO₂、NO_x、CO 和烟尘 4 种主要大气污染物。

2.2 确定燃料种类

根据对广州市燃料用户的问卷调查统计, 1995 年该市燃料用户所消耗的燃料可分为五大类 12 种, 见表 1。

表 1 燃料分类

大类	燃料煤				焦炭	燃料油	燃料气	其他				
种类	无烟煤	烟煤	贫煤	褐煤	民用煤*	焦炭	柴油	重油	液化气	管道气	木柴	蔗渣
代码	10	20	30	35	38	40	50	55	60	65	70	73

* 为区别家庭用煤与工业用煤, 特设“民用煤”一项, 用于民用的燃煤消耗排放计算。

2.3 确定燃烧器的种类

根据对广州市燃料用户的问卷调查统计, 1995 年该市燃料用户用于燃烧燃料的燃烧器可分为四大类 16 种, 见表 2。

收稿日期: 2001-01-02

第一作者简介: 邝俊侠 (1971-), 男, 广东江门人, 工程师, 大学, 从事大气污染源、大气环境质量监测工作。

表 2 燃烧器的分类

大类	种类	代码	大类	种类	代码
锅炉	1 类锅炉	10	炉灶	燃煤炉窑	17
	2 类锅炉	11		燃油炉窑	19
	3 类锅炉	12		燃气炉窑	23
	发电锅炉	16		燃煤炉灶	15
	燃油锅炉	21		燃油炉灶	18
	蔗渣锅炉	25		燃气炉灶	22
炉窑	水泥立窑	13	其他	木柴炉灶	24
	水泥转窑	14		柴油发电机	20

注: 燃煤锅炉是参考了文献[1]综合考虑锅炉的饲煤方式、燃烧方式、热效率等因素而进行分类。表 2 中的 1 类锅炉是指手烧炉、链条炉和往复炉排等; 2 类锅炉指振动炉排、抛煤机和沸腾炉等; 3 类锅炉主要指非发电性质的煤粉炉。另外, 将发电锅炉(全部为煤粉炉)和蔗渣锅炉独立考虑; 并且, 蔗渣锅炉的燃料除了蔗渣外, 还掺杂有小部分燃煤(此处全部作蔗渣考虑)。

2.4 排放系数的组合及其代码的确定

将燃料类型与在用燃烧器一一对应, 可得出排放系数的各种组合, 每种组合赋予一个代码, 共 33 组。

3 排放系数的估算方法

对排放系数的估算采用公式计算法、实测数据统计法、摘抄借用法、摘抄换算法和比例推算法估算出上述各种组合的排放系数。

3.1 公式计算

根据文献[2], SO₂ 排放系数的计算公式为:

$$F_{SO_2} = k \cdot C_s \quad (1)$$

式中: F_{SO_2} ——SO₂ 排放系数, kg/t;

C_s ——燃料中全硫分含量, %;

k ——燃料种类系数, $k_{煤} = 1\ 600$, $k_{油} = 1\ 900$ 。

NO_x 排放系数的计算公式为:

$$F_{NO_x} = 1\ 630 \cdot (p \cdot C_N + 0.000\ 938) \quad (2)$$

表 4 各种燃烧器的 p 值、 d_{fh} 值和 C_{fh} 值

燃烧器种类	层燃炉(1 类)	沸腾炉(2 类)	煤粉炉(3 类)	燃油锅炉	燃油炉窑	燃油炉灶	燃煤炉窑	燃煤炉灶
p 值	25	30	38	40	35	45	22	20
d_{fh} 值	20	50	80	/	/	/	/	/
C_{fh} 值	30	20	6	/	/	/	/	/

表 5 燃煤种类的 q 值

燃煤种类	无烟煤	烟煤	褐煤
q 值	3	3	4

按公式(1)~(5)和各类参数, 计算各种排放系数。

3.2 实测数据统计(G)

根据广州市环境监测中心站历年来对同类型燃烧器的监测结果, 结合调查的反馈数据进行统计, 得出水泥立窑、水泥转窑、发电锅炉、燃焦炭炉窑及燃蔗渣锅炉产生的 SO₂、NO_x、CO 和烟尘 4 种污染物排放系数。

3.3 摘抄借用(H)

式中: F_{NO_x} ——NO_x 排放系数, kg/t;

p ——燃料氮向燃料型 NO 的转变率, %;

C_N ——燃料中氮的含量, %。

燃煤 CO 排放系数的计算公式为:

$$F_{CO} = 2\ 330 \cdot q \cdot C_c \quad (3)$$

式中: F_{CO} ——燃煤 CO 排放系数, kg/t;

q ——燃料的燃烧不完全值, %;

C_c ——燃料中碳的质量百分含量, %。

烟尘排放系数的计算公式为:

$$F_p = 1\ 000 \cdot C_A \cdot d_{fh} / (1 - C_{fh}) \quad (4)$$

式中: F_p ——烟尘排放系数, kg/t;

C_A ——燃料灰分含量, %;

d_{fh} ——烟气中烟尘占灰分量的百分数, %;

C_{fh} ——烟尘中可燃物的含量, %。

对燃煤炉窑, 不考虑 $1 - C_{fh}$ 的影响, (4) 式变为:

$$F_p = 1\ 000 \cdot C_A \cdot d_{fh} \quad (5)$$

根据文献[1], 各种燃料的成分参数见表 3。

表 3 各种燃料的成分参数

种类	C_s	C_N	C_c	C_A
无烟煤	0.52	0.47	64.83	22.04
烟煤	1.00	0.77	47.48	32.32
贫煤	2.51	0.74	55.19	28.67
褐煤	0.31	0.57	34.65	17.02
柴油	0.63	0.10	/	0.025
重油	2.25	0.14	/	/

根据文献[2]和文献[3], 各种燃烧器的 p 值、 d_{fh} 值和 C_{fh} 值见表 4, 燃煤种类的 q 值见表 5。

液化气的排放系数直接摘录文献[4]中的同类数据(设燃气炉窑与燃气炉灶相同); 借用其中“型煤大灶”的数据来代替民用煤燃煤炉灶的排放系数。

借用来自挪威——匈牙利的类似数据作为木柴炉灶的排放系数。

根据《广州地区主要大气污染物环境容量规划及防治对策研究》中的相关数据, 作为柴油发电机的 SO₂、NO_x 和 CO 的排放系数。

3.4 摘抄换算(J)

管道煤气排放系数来自《广州地区主要大气污染物环境容量规划及防治对策研究》中的城市煤气的相关数据。

3.5 比例推算(K)

(1) 根据文献[4], 全国锅炉平均 CO 排放系数中 1 类锅炉为 2.63 kg/t, 2 类锅炉为 2.07 kg/t, 3 类锅炉为 1.13 kg/t。不同煤种含碳量比例为:

无烟煤 烟煤 贫煤 褐煤 = 64.83% : 47.48% : 55.19% : 34.65% = 1.87E : 1.370 : 1.593 : 1

据此, 可推算 1 类、2 类、3 类锅炉的不同燃煤种类 CO 排放系数。

(2) 同类燃烧器排放烟气的污染物构成见表 6。按排放烟气的污染物构成比例推算排放系数。

(3) 从经验监测数据的统计得知, 1 类锅炉烟气与燃煤炉灶烟气含尘量的比例约为 1.768:1, 据

此可推算出燃煤炉灶的烟尘排放系数。

表 6 同类燃烧器排放烟气的污染物构成

燃烧器种类	燃油锅炉	燃油炉窑
柴油	NO _x 、CO、烟尘	CO、烟尘
重油	NO _x 、CO、烟尘	NO _x 、CO、烟尘

(4) 柴油燃油炉灶的 CO 排放系数与柴油燃油炉窑相同。

(5) 柴油燃油炉灶的烟尘排放系数 = $C_A \cdot (1 - C_R) \cdot 1000$, 式中 C_A 为柴油的灰分(0.025%), C_R 为柴油燃烧烟气中的残碳, 此处取 0.4%, 计算结果为 0.25 kg/t。

各种组合的排放系数见表 7。

表 7 燃料燃烧排放系数

燃 料		燃烧器		排放系数及估算方法								
类型	代码	类型	代码	SO ₂	NO _x	CO	烟尘	代码				
无烟煤	10	1 类锅炉	10	8.32	A	3.44	C	3.37	K	62.97	E	20
	10	2 类锅炉	11	8.32	A	3.83	C	2.66	K	137.75	E	21
	10	3 类锅炉	12	8.32	A	4.44	C	1.45	K	187.57	E	22
	10	水泥立窑	13	1.22	G	0.48	G	35.94	G	13.88	G	23
	10	水泥转窑	14	0.63	G	2.42	G	9.43	G	102.43	G	24
	10	燃煤炉灶	15	8.32	A	3.06	C	45.32	D	35.62	K	25
	10	发电锅炉	16	6.72	G	4.44	C	3.89	G	244.92	G	26
	10	燃煤炉窑	17	8.32	A	3.21	C	45.32	D	44.08	F	27
烟 煤	20	1 类锅炉	10	16.00	A	4.67	C	2.47	K	92.34	E	30
	20	2 类锅炉	11	16.00	A	5.29	C	1.94	K	202.00	E	31
	20	3 类锅炉	12	16.00	A	6.30	C	1.06	K	275.06	E	32
	20	水泥立窑	13	2.34	G	0.80	G	26.32	G	20.36	G	33
	20	水泥转窑	14	1.21	G	3.96	G	6.91	G	150.20	G	34
	20	燃煤炉灶	15	16.00	A	4.04	C	33.19	D	52.23	K	35
	20	发电锅炉	16	12.94	G	6.30	C	2.85	G	359.06	G	36
	20	燃煤炉窑	17	16.00	A	4.29	C	33.19	D	64.64	F	37
贫 煤	30	1 类锅炉	10	40.16	A	4.54	C	2.87	K	81.91	E	40
	35	1 类锅炉	10	4.96	A	3.85	C	1.80	K	48.63	E	45
褐 煤	35	燃煤炉窑	17	4.96	A	3.57	C	32.29	D	34.04	F	52
	38	燃煤炉灶	15	7.09	H	1.45	H	10.02	H	0.70	H	53
民用煤	40	燃煤炉窑	17	0.40	G	0.24	G	0.32	G	7.97	G	57
柴 油	50	燃油炉灶	18	11.97	B	2.26	C	8.27	K	0.25	K	68
	50	燃油炉窑	19	11.97	B	2.10	C	8.27	K	5.67	K	69
	50	柴油发电机	20	9.50	H	11.00	H	10.25	H	0.25	K	70
重 油	50	燃油锅炉	21	11.97	B	3.02	K	0.63	K	2.08	K	71
	55	燃油炉窑	19	42.75	B	7.11	K	10.50	K	8.40	K	74
	55	燃油锅炉	21	42.75	B	8.10	K	0.80	K	4.08	K	76
液化气	60	燃气炉灶	22	0.0386	H	0.2358	H	2.9195	H	0.0565	H	82
	60	燃气炉窑	23	0.0386	H	0.2358	H	2.9195	H	0.0565	H	83
管道气	65	燃气炉灶	22	0.017	J	0.102	J	1.26	J	0.024	J	87
	65	燃气炉窑	23	0.017	J	0.102	J	1.26	J	0.024	J	88
木 柴	70	木柴炉灶	24	0.05	H	3.0	H	15.0	H	2.1	H	94
蔗 渣	73	蔗渣锅炉	25	10.26	G	2.21	G	4.49	G	320.50	G	98

注: 排放系数后面的字母表示其来源方法; 代码为 87、88 的排放系数(管道气) 单位为 g/m³, 其余排放系数单位为 kg/t。

[参考文献]

[1] 李之光, 范柏樟, 李 毅, 等. 工业锅炉手册[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1988. 112~ 209.
 [2] 方品贤, 江 欣, 奚元福, 等. 环境统计手册[M]. 四川: 四川

科学技术出版社, 1985. 24~ 110, 238~ 289.
 [3] 张志敏, 郭俊延, 孟宪忠, 等. 环境监理实用手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994. 66~ 141.
 [4] 国家环境保护局科技标准司. 工业污染物产生和排放系数手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 197.