

# 我国氨的排放量和时空分布\*

孙庆瑞 王美蓉

(北京大学技术物理系, 北京 100871)

**摘要** 根据我国的实际情况讨论了各种氨排放源的排放因子, 计算了各种氨源的贡献, 以动物的贡献最大, 占 52%。1993 年我国氨的排放量为 12 Mt, 排放量最大的是河南、山东和四川, 排放密度最大的是上海。在北京、广西、广东、湖南、江西和山东测定了大气氨的浓度, 北京大气氨浓度有明显的季节变化, 春季平均为  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 夏季最高为  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 冬季只有  $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。一般夜间氨的浓度高于白天。测定了氨的垂直分布, 并计算了氨浓度的标高。

**关键词** 氨 排放量 时空分布

## 1 引言

全球酸雨问题出现后, 氨在大气化学中的作用才得到重视。氨的存在促进了二氧化硫的清除; 使  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  氧化生成的酸性产物转化为硫酸铵、硝酸铵气溶胶, Buijsman 等<sup>[1]</sup>估计 70% 以上的酸性气溶胶和气态酸被氨中和; 氨被云、雨清除可降低云、雨的酸度; 由氨转化生成的铵盐进入土壤后, 在微生物的作用下可氧化生成酸使土壤酸化; 氨作为一种重要的含氮物质参与氮的循环。因此, 了解氨的排放量、排放密度和氨的大气浓度不仅对酸沉降研究有重要意义, 而且对生态研究也很有必要。但是, 我国至今没有按省统计的氨排放量, 有关大气氨浓度的报道也很少。本文是自 1985 年以来在六省市所测氨的时空分布数据的小结。

## 2 氨排放因子的确定

氨的排放量一般利用排放因子估算。Moller 等<sup>[2]</sup>分别用排放因子法计算了氨的排放量, 得出氨的排放主要产生于畜牧业和农业, 对欧洲各国氨排放量的统计表明, 动物排放的贡献最大, 占 75% 以上; 其次是使用化肥; 工业生产中氨的排放主要发生在氮肥、氨和硝酸的生产过程中, 燃煤过程只有少量氨排放。各种源的氨排放因子的大小与地区的特点、大气环境、生产方式和人们的生活习惯有关, 因此在统计氨排放量前要先确定排放因子。

### 2.1 动物对氨的排放

动物排泄物中的氮是氨的潜在源, 排泄物中的氮有无机氮和有机氮。在微生物的作用下, 不同的有机氮以不同的速度转化为无机氮, 无机氮的一部分以氨的形式排出,

1996-01-02 收到, 1996-07-10 收到修改稿

\* 国家八五科技攻关项目 85-912-01-04-05

所以氮以氨的形式排出的多少与饲养方式、粪便储存密切相关。排放因子就是根据各种动物平均每年由粪便产生的 N，并考虑饲养方式来确定的。动物的 NH<sub>3</sub> 排放因子是：以 NH<sub>3</sub> 形式排放的 N 的百分数，也可以用单个动物平均一年排出的 NH<sub>3</sub>（或 N）来表示（单位：kg/a）。

由于不同作者给出的动物排泄物的含氮量不同，排放因子也不同，所以动物年均氨排放量也有很大的差异，表 1 列出不同作者给出的氨排放因子。我国幅员辽阔、南北气候、地理环境相差很大，选择哪一种数据都不理想，从统计上看，采用平均值可能最合适。表 1 中也列出了平均值。在求平均值时，Bottger 的数据取中间值，Klaassen 给出的牛的年排放量按我国奶牛只占 3% 加权平均。如果知道动物的饲养量，由表 1 的数据可计算出动物年排放量。

表 1 单个动物的氨排放因子 kg/a

| 动物  | 作者 | Auermann | Bottger   | Buijsman <sup>[1]</sup> | Apsimon <sup>[3]</sup> | Moller <sup>[2]</sup> | Klaassen         | Asman | 平均值  |
|-----|----|----------|-----------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|-------|------|
| 牛   |    | 26.1     | 22.6~33.3 | 18.1                    | 19.3                   | 26.8                  | 28.3<br>12.8(奶牛) | 23.04 | 24.1 |
| 猪   |    | 2.6      | 2.7~4.0   | 2.8                     | 2.86                   | 6.3                   | 5.03             |       | 3.8  |
| 羊   |    |          | 2.7~5.3   | 3.1                     | 2.68                   | 3.6                   | 2.2              |       | 3.1  |
| 马   |    |          | 9.4~16.0  | 9.4                     | 31.6                   | 18.2                  | 12.5             |       | 16.9 |
| 大牲畜 |    |          |           |                         |                        |                       | 12.5             |       |      |
| 家禽  |    | 0.13     |           | 0.26                    | 0.23                   | 0.27                  | 0.32             |       | 0.24 |

2.2 氮肥使用对氨的排放

使用氮肥后，氮的释放量是肥料氮损失的一个重要途径。研究表明，不同的氮肥，不同的使用方式，氮的排放也有很大差别。欧洲各国氮肥以硝酸铵钙、尿素和硫酸铵为主，我国主要使用碳酸氢铵（碳铵），其次是尿素，硝酸铵、氯化铵和稀氨水用量较少。因此有必要根据我国的实际情况决定排放因子。

国外文献资料没有报道过碳铵的氨排放因子，我国朱兆良等<sup>[4]</sup>、蔡贵信等<sup>[5]</sup>对江苏丹阳、浙江富阳、河南封丘水稻田和河南封丘玉米地对氮肥使用后氮的排放进行了详细的观测，研究结果见表 2。

为了计算我国氮肥的平均排放因子，必须知道各种氮肥使用的份额。表 3 是根据调查资料求出的我国各种氮肥的使用份额。由表 2 的排放因子和表 3 的氮肥使用份额可求出适用于我国的平均排放因子。由于我国各地区的土壤情况和种植方式不同，土壤 pH 值最低的为 3.6

表 2 氮肥使用的排放因子 %

|      | 中 国    |       |                               | 欧 洲 |
|------|--------|-------|-------------------------------|-----|
|      | 酸性稻田   | 石灰性稻田 | 旱田                            |     |
| 碳 铵  | 19.5   | 39    |                               |     |
| 尿 素  | 7~10.8 | 12~30 | 12 (5~10 cm 处施肥)<br>30 (表面施肥) | 10  |
| 硫酸铵  |        |       |                               | 15  |
| 硝酸铵  |        |       |                               | 10  |
| 硝酸铵钙 |        |       |                               | 2   |

表 3 我国氮肥使用份额

|          | 碳铵 | 尿素 | 硝酸铵 | 硫酸铵 | 氨水  | 其他 |
|----------|----|----|-----|-----|-----|----|
| 使用份额 / % | 56 | 35 | 4   | 0.5 | 0.5 | 4  |

表 4 我国氮肥使用的氨排放因子 %

| 土壤类型   | 平均排放因子 |
|--------|--------|
| 酸性土壤   | 14.8   |
| 中、碱性土壤 | 24.0   |

(如海南、广东和湖南的某些地区), 最高的可达到 10.5 (如青海省的一些地区); 广东、湖南的稻谷种植占粮食作物播种面积的 80%, 而山西、河北等地的粮食种植大部分是小麦、玉米, 所以不同地区氮肥施用的氨排放因子应当有所差异。表 4 给出本文所采用的排放因子, 大致分两种情况, 土壤 pH 值大于 7, 且以旱田为主的地区, 采用较大的氨排放因子, 如我国华北、西北、内蒙等地。对于土壤偏酸性并以种植稻谷为主的地区 (如我国的华东、华南地区) 采用小的排放因子。

### 2.3 工业生产过程氨的排放

氨的合成和化肥生产是大气氨的主要工业源。Buijsman 认为合成氨厂的氨排放因子 ( $\text{NH}_3/\text{NH}_3$ ) 为  $0.8 \text{ kg/t}$ , 生产化肥和硝酸的工厂氨的排放因子 ( $\text{NH}_3/\text{N}$ ) 为  $5 \text{ kg/t}$ , 而 Moller 按照 Wieprecht 的数据取  $10 \text{ kg/t}$  作为德国合成氨厂和化肥厂的氨排放因子, 两者相差较大。但由于工业生产过程氨的排放量只占总排放量的一小部分, 为简化起见, 在计算我国工业生产过程中氨的排放量取中间值:  $5 \text{ kg/t}$ 。

文献中燃煤的氨排放因子差别很大, 近期的文献认为燃煤排放的氨很少, 统计氨的排放时已不列入燃煤排放的氨, 在统计氨排放量时, 也不列入此项。

### 2.4 人对氨的排放

Moller 假设人排出的氮中有 25% 是以氨的形式排出, 每人的氨排放因子为  $1.3 \text{ kg/a}$ 。目前尚无其他数据可以借鉴, 在统计时, 我们也用此排放因子。

## 3 我国氨的排放量

根据统计年鉴资料和氨的排放因子, 计算了我国历年的氨排放量, 结果见图 1。由

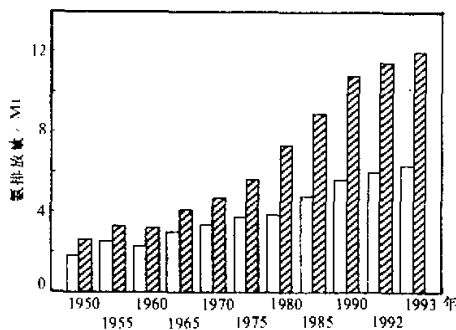


图 1 我国氨排放的增长趋势

图 1 可见, 我国氨的排放量呈逐年增加的趋势。尤其是改革开放以来, 畜牧、家禽饲养、氮肥生产和使用均迅速发展, 氨的年排放量也迅速增加。表 5 是 1950 年和 1993 年氨的年排放量的比较。

与欧洲的氨排放量相比, 同期中国的氨排放量均大于欧洲的氨排放量, 比较结果见表 6。

比较各种源对氨排放的贡献 (见图 2), 动物的贡献最大, 占 52%, 使用

氮肥占 33%, 氮肥生产和合成氨只占 2%, 而人的贡献为 13%。与欧洲相比, 动物的贡献相对减少, 氮肥使用所占的比例增加, 这是由于欧洲氮肥主要是尿素、硫酸铵和硝酸铵钙, 而我国大量使用的是碳酸氢铵, 它容易以氨的形式挥发损失。另外, 我国人口众多, 因此人对氨排放的贡献也占有一定比例。

以 1992 年的统计数值为基础，计算我国 30 个省、市、自治区氨的年排放量和排放密度，结果见表 7。比较各省的情况可知，排放量最大的是河南、四川和山东。排放密度的地域分布很不均匀，每年排放密度大于  $4\text{ t/km}^2$  的有上海、山东、河南、江苏、天津和北京。每年全国氨的平均排放密度为  $1.2\text{ t/km}^2$ 。

4 我国氨的时空分布

由于氨易溶于水，易和酸性物质反应，当它进入大气后，以较快的速度发生干沉降，或转化为气溶胶，一般传输距离不超过 50 km。在研究大气中氨的作用时，只知道氨的排放量和排放密度是不够的，还需测定大气中氨的浓度、日变化规律和垂直分布，下面是我们在全国几个省市测定的氨的时空分布。

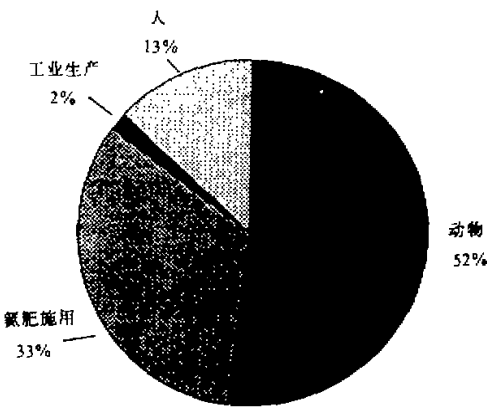


图 2 各种源对氨排放的贡献

表 5 1950 年和 1993 年我国氨的年排放量

| 年    | 动物氨排放量 / (Mt / a) | 使用氮肥氨排放量 / (Mt / a) | 氨排放总量 / (Mt / a) |
|------|-------------------|---------------------|------------------|
| 1950 | 1.8               | 0.01                | 2.6              |
| 1993 | 6.3               | 4.0                 | 12.0             |

表 6 中国与欧洲氨排放量比较

| 作者       | 年份   | 地区              | NH <sub>3</sub> 的年排放量 / Mt | 源贡献                    | 排放密度 / [t / (km <sup>2</sup> · a)] |
|----------|------|-----------------|----------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Buijsman | 1982 | 欧洲及土耳其 (26 个国家) | 6.43                       | 动物 81%<br>使用氮肥 17%     |                                    |
| 本文       | 1982 | 中国              | 7.65                       | 动物 52%<br>使用氮肥 29%     | 0.8                                |
| Asman    | 1990 | 欧洲及土耳其 (26 个国家) | 7.05                       | 动物 75.9%<br>使用氮肥 21.8% | 1.27*                              |
| 本文       | 1990 | 中国              | 10.8                       | 动物 52%<br>使用氮肥 32.8%   | 1.13                               |

注：欧洲按  $5547 \times 10^3\text{ km}^2$  计算

4.1 大气中氨的浓度水平

从 1985 年到 1995 年，我国在全国许多地区测定了大气中的氨浓度，所使用的采样方法有滤膜法<sup>[6]</sup>、干扩散管采样法和湿扩散管采样法<sup>[7]</sup>，这三种方法所得的结果是一致的（另文报道）。所测定的大气氨浓度列于表 8。

由表 8 可得出以下几点看法：

（1）北京市氨的年排放密度大，为  $4.97\text{ t/km}^2$ ，大气氨浓度也明显高于华南等地区。一年中，氨的浓度有明显的季变化，北京春、夏少雨，气温高，所以北京的春夏

表 7 1992 年我国 30 个省、市、自治区氨排放统计

| 地区    | 人为 $\text{NH}_3$ 的年排放量/(kt/a) |        |        |        | $\text{NH}_3$ 的年排放<br>总量/(kt/a) | N 的年排放<br>总量/(Tg/a) | $\text{NH}_3$ 的年排放<br>密度/[t/(km <sup>2</sup> ·a)] |
|-------|-------------------------------|--------|--------|--------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------|
|       | 动物                            | 氮肥使用   | 氮肥、氨生产 | 人排放    |                                 |                     |                                                   |
| 全 国   | 5974.1                        | 3808.4 | 193.4  | 1523.2 | 11499.1                         | 9.47                | 1.20                                              |
| 北 京   | 41.7                          | 26.5   | 1.1    | 14.3   | 83.6                            | 0.069               | 4.97                                              |
| 天 津   | 29.2                          | 16.9   | 0.7    | 12.0   | 58.8                            | 0.048               | 5.20                                              |
| 河 北   | 258.3                         | 292.5  | 14.3   | 81.6   | 646.7                           | 0.533               | 3.44                                              |
| 山 西   | 116.5                         | 106.9  | 8.3    | 38.7   | 270.4                           | 0.223               | 1.74                                              |
| 内 蒙 古 | 267.0                         | 75.2   | 1.6    | 28.7   | 372.5                           | 0.307               | 0.31                                              |
| 辽 宁   | 172.4                         | 150.3  | 6.4    | 52.2   | 381.3                           | 0.314               | 2.61                                              |
| 吉 林   | 125.9                         | 135.2  | 4.0    | 32.9   | 298.0                           | 0.245               | 1.59                                              |
| 黑 龙 江 | 165.0                         | 77.8   | 4.9    | 46.9   | 294.6                           | 0.243               | 0.65                                              |
| 上 海   | 25.9                          | 24.8   | 3.4    | 17.5   | 71.6                            | 0.059               | 11.3                                              |
| 江 苏   | 213.0                         | 276.9  | 13.6   | 89.8   | 593.3                           | 0.489               | 5.78                                              |
| 浙 江   | 95.1                          | 122.5  | 7.6    | 55.1   | 280.3                           | 0.231               | 2.75                                              |
| 安 徽   | 210.7                         | 162.8  | 11.2   | 75.8   | 460.5                           | 0.379               | 3.30                                              |
| 福 建   | 85.1                          | 89.3   | 4.7    | 40.5   | 219.6                           | 0.181               | 1.81                                              |
| 江 西   | 164.7                         | 90.4   | 2.5    | 50.9   | 308.5                           | 0.254               | 1.84                                              |
| 山 东   | 482.1                         | 374.2  | 16.9   | 111.9  | 985.1                           | 0.811               | 6.43                                              |
| 河 南   | 435.4                         | 432.7  | 17.6   | 115.2  | 1000.9                          | 0.824               | 5.99                                              |
| 湖 北   | 220.0                         | 183.6  | 11.0   | 72.5   | 487.1                           | 0.401               | 2.62                                              |
| 湖 南   | 237.7                         | 156.1  | 11.7   | 81.5   | 487.0                           | 0.401               | 2.30                                              |
| 广 东   | 214.8                         | 184.3  | 5.0    | 84.5   | 488.6                           | 0.402               | 2.75                                              |
| 广 西   | 265.7                         | 88.6   | 3.4    | 56.9   | 414.6                           | 0.314               | 1.75                                              |
| 海 南   | 45.7                          | 14.0   | 0      | 8.9    | 68.6                            | 0.056               | 2.01                                              |
| 四 川   | 585.1                         | 247.6  | 17.4   | 143.0  | 993.1                           | 0.818               | 1.74                                              |
| 贵 州   | 223.3                         | 51.6   | 4.1    | 43.7   | 322.7                           | 0.266               | 1.83                                              |
| 云 南   | 315.9                         | 80.8   | 5.5    | 49.8   | 452.0                           | 0.372               | 1.15                                              |
| 西 藏   | 201.2                         | 1.4    | 0      | 3.0    | 205.6                           | 0.169               | 0.17                                              |
| 陕 西   | 144.2                         | 163.2  | 5.1    | 44.3   | 356.8                           | 0.294               | 1.74                                              |
| 甘 肃   | 187.4                         | 63.8   | 2.8    | 30.1   | 284.1                           | 0.234               | 0.63                                              |
| 青 海   | 200.5                         | 8.1    | 0.05   | 6.0    | 214.7                           | 0.177               | 0.30                                              |
| 宁 夏   | 27.4                          | 27.4   | 3.5    | 6.3    | 64.6                            | 0.053               | 0.97                                              |
| 新 疆   | 217.1                         | 83.0   | 4.1    | 20.6   | 324.8                           | 0.267               | 0.20                                              |

$\text{NH}_3$  浓度最高, 1985~1995 年春季的平均值为  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 夏季最高可达到  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。但北京冬季氨的浓度只有  $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 春季氨浓度是冬季的 5 倍多, 这与北京冬季气温很低有关。

(2) 两广地区氨的年排放密度比北京小, 广东为  $2.75 \text{ t}/\text{km}^2$ , 广西为  $1.75 \text{ t}/\text{km}^2$ 。氨浓度比北京春夏季小。2~8 月, 氨浓度的平均值在  $6\sim 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之间, 氨的浓度变化也不大。柳州 8 月份氨浓度为 2 月份的 1.6 倍, 湖南株洲教育学院 10 月份的氨浓度是 3 月份的 1.5 倍。这是由于南方四季温差较小, 一年四季农田繁忙, 不同季节氨的排放量变化不大。

(3) 湖南地区每年氨的排放密度为  $2.30 \text{ t}/\text{km}^2$ , 与两广相近, 但所测浓度比两广低。这主要因为湖南采样时下雨多, 并且采样时段为 14~16 时, 这是一天中混合层高度较大的时段, 在此时段采样, 浓度较低 (见图 3)。

表 8 大气中氨的浓度  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

| 采样地点 |           | 时间         | 样品数 | 平均浓度 | 标准偏差 | 范围      |
|------|-----------|------------|-----|------|------|---------|
| 北京市  | 中关村       | 1985-04    | 19  | 21   | 6.3  | 13~35   |
|      |           | 1985-06    | 25  | 17   | 6.5  | 4~29    |
|      |           | 1986-04-05 | 16  | 11   | 7.0  | 4.6~24  |
|      |           | 1987-04-05 | 25  | 23   | 8.0  | 13~40   |
|      |           | 1992-04-05 | 12  | 13   | 4.0  | 3.6~19  |
|      |           | 1994-01    | 5   | 2.9  | 0.7  | 2.0~3.9 |
|      |           | 1994-12    | 10  | 3.4  | 1.8  | 0.9~6.2 |
|      |           | 1995-04-05 | 12  | 13   | 6.4  | 5~28    |
|      |           | 1995-07    | 6   | 31   | 8.0  | 27~41   |
| 广东   | 广州市监测站    | 1986-02-03 | 15  | 6.1  | 3.3  | 1.8~16  |
|      | 广州番禺      | 1986-02-03 | 18  | 7.4  | 3.4  | 2.0~16  |
|      | 广州市电视塔(下) | 1988-03    | 6   | 10   | 2.3  | 6.4~13  |
|      | 韶关市监测站    | 1988-03    | 8   | 8.4  | 2.7  | 3.7~12  |
| 广西   | 柳州市       | 1988-03    | 14  | 6.1  | 3.3  | 2.7~12  |
|      | 柳州市       | 1989-03    | 15  | 7.3  | 6.4  | 1.8~25  |
|      | 柳州市       | 1989-08    | 14  | 11.1 | 2.3  | 8.8~16  |
|      | 桂林市       | 1989-08    | 12  | 7.7  | 1.8  | 5.0~11  |
| 湖南   | 株洲教育学院    | 1993-03-04 | 5   | 3.3  | 2.0  | 1.1~6.4 |
|      | 湘潭中路铺     | 1993-03-04 | 5   | 3.3  | 2.4  | 1.4~7.2 |
|      | 南岳镇       | 1993-03-04 | 5   | 4.7  | 3.2  | 1.6~9.9 |
|      | 株洲教育学院    | 1993-10    | 12  | 5.0  | 2.4  | 2.6~12  |
|      | 湘潭易家湾     | 1993-10    | 5   | 4.4  | 1.2  | 2.3~5.2 |
|      | 汨罗市郊      | 1993-10    | 5   | 5.3  | 1.1  | 3.6~6.8 |
| 山东   | 青岛市监测站    | 1993-01    | 6   | 1.1  | 0.2  | 0.9~1.3 |
|      | 青岛崂山水库    | 1993-01    | 6   | 1.3  | 0.4  | 0.9~1.8 |
|      | 青岛平度      | 1993-01    | 5   | 1.8  | 1.3  | 0.7~3.8 |
|      | 青岛南庄      | 1993-01    | 10  | 1.4  | 0.6  | 0.7~2.6 |
|      | 青岛市监测站    | 1993-07    | 5   | 4.5  | 1.5  | 3.2~6.5 |
|      | 青岛崂山水库    | 1993-07    | 5   | 2.7  | 1.5  | 1.6~5.3 |
|      | 青岛平度      | 1993-07    | 4   | 13   | 6.0  | 6.5~21  |
| 江西   | 青岛薛家岛     | 1993-07    | 5   | 3.2  | 1.7  | 1.7~5.2 |
|      | 南昌市郊      | 1993-11    | 23  | 3.4  | 1.3  | 2.0~6.2 |

(4) 青岛地区冬夏两季气温变化大, 冬夏两季氨的浓度变化也大, 市区夏季氨浓度是冬季的 4 倍。平度是农业区, 夏季施肥多, 平均浓度高达  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平度夏季氨浓度是冬季的 7 倍。青岛采集时段也是 14~16 时, 表 8 给出的氨浓度应比日平均浓度低。山东省氨排放密度大, 但青岛市氨浓度不高, 除采样时段的原因外, 还由于青岛处于沿海, 夏季风向多从海面来, 这是夏季市区氨浓度较低的原因。

4.2 氨的日变化

为了了解氨浓度的日变化规律, 我们分别在南昌郊区、柳州市和株洲教育学院进行测量。南昌、柳州用滤膜法采样, 株洲用湿扩散采样法采样。南昌郊区的结果见表 9。株洲和柳州的结果见图 3 和图 4。表 9 和图 3、图 4 的数据一般是三天以上同一时段的平均值。

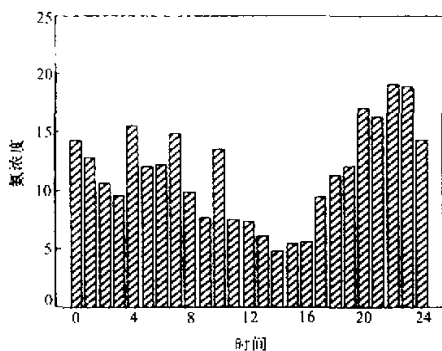


图3 株洲氨浓度日变化

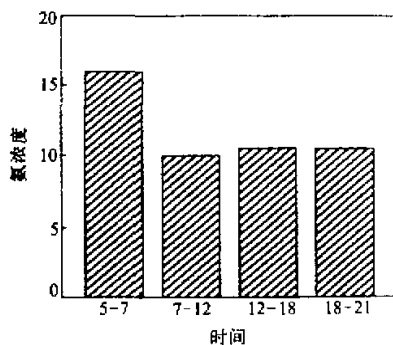


图4 柳州氨浓度日变化

表9 1993年11月南昌郊区氨浓度的日变化

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

| 采样高度 / m | 时间        |            |             |             |
|----------|-----------|------------|-------------|-------------|
|          | 5:00~7:00 | 7:00~11:00 | 15:00~17:00 | 21:00~23:00 |
| 1.5      | 3.49      | 3.63       | 2.97        | 3.64        |
| 10       | 4.74      | 3.42       | 2.66        | 5.37        |

由表9可知,在南昌郊区低矮樟树林中,夜间21~23时是4个时段氨浓度最高的时段。虽然白天氨的排放量一般大于夜间,但白天大气不稳定,对流强,而夜间大气稳定,氨不易扩散,地面氨的浓度往往较高。

图3是1993年10月在株洲教育学院进行测量大气氨浓度的日变化图,由图3可以看出,中午11~16时是一天中的最低点,从17时氨浓度开始升高,20~23时氨浓度最高,零至10时浓度也较高。

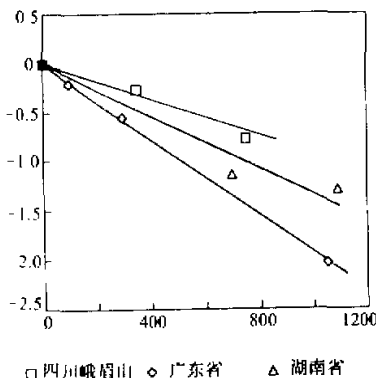
图4是1989年8月在柳州进行测量大气氨浓度的日变化图,由图可知,柳州夏季5~7时氨浓度最高,7~21时氨浓度变化不大。这是由于柳州夏季气温高,混合层高度也高的缘故。

#### 4.3 氨的垂直分布

由于氨源主要是地面源,它在大气中的停留时间较短,因此,它的浓度随高度有明显的变化。氨的垂直分布情况与大气对流程度和有无逆温关系很大。不同地区氨的垂直分布差异很大,即使同一地区,不同季节,其垂直分布也不同。Dawson<sup>[8]</sup>认为污染物A的垂直分布可用下式表示:

$$C_A = C_{A0} \exp\{-[(\lambda_A / K)^{1/2} + (1 / H_e)]Z\},$$

其中 $C_{A0}$ 和 $C_A$ 分别为 $Z=0$ 和 $Z$ 处A的浓度,



□ 四川省峨眉山    ◇ 广东省    △ 湖南省

图5  $\ln[C(\text{NH}_3, Z) / C(\text{NH}_3, 0)]$   
与Z的关系

$\lambda_A$  为去除系数,  $K$  为  $A$  的涡流扩散系数,  $H_e$  为混合层高度。以  $\ln(C_A / C_{A0})$  对  $Z$  作图, 与  $\ln(C_A / C_{A0}) = -1.0$  相对应的高度为  $A$  浓度下降  $e$  倍的高度, 即标高。

表 10 氨浓度的垂直分布

|       | 地点        | 时间      | 海拔高度 / m | 氨平均浓度 / ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ ) | 次数 |
|-------|-----------|---------|----------|----------------------------------------|----|
| 四川峨眉山 | 西南交大      |         | 550      | 5.0                                    | 19 |
|       | 万年寺       | 1985-10 | 900      | 3.8                                    | 15 |
|       | 龙洞        |         | 1300     | 2.3                                    | 11 |
|       | 金顶        |         | 3000     | ND                                     | 8  |
| 广东省   | 广州市监测站    | 1986-02 |          | 6.1                                    | 15 |
|       | 白云山       |         | 300      | 3.5                                    | 16 |
|       | 广州电视塔 (下) |         |          | 10.4                                   | 6  |
|       | 广州电视塔 (上) | 1988-03 | 100      | 8.5                                    | 6  |
|       | 韶关市监测站    |         |          | 8.4                                    | 8  |
| 湖南省   | 狮子山       |         | 1050     | 1.1                                    | 5  |
|       | 南岳镇       |         | 200      | 4.7                                    | 5  |
|       | 衡山中       | 1993-03 | 900      | 1.5                                    | 5  |
|       | 衡山顶       |         | 1290     | 1.3                                    | 2  |

我们分别在四川峨眉山、广东省和湖南衡山测定了不同高度时的氨浓度, 所得结果见表 10。图 5 是  $\ln[C(\text{NH}_3, Z) / C(\text{NH}_3, 0)]$  与  $Z$  的图。由图 5 可求出氨在不同地区下降  $e$  倍的高度, 见表 11。

表 11 氨浓度下降  $e$  倍的高度 (标高)

| 地区    | 时间      | 氨浓度的标高 / m |
|-------|---------|------------|
| 广东    | 春季      | 500        |
| 湖南衡山  | 1993-03 | 780        |
| 四川峨眉山 | 1985-10 | 1040       |

5 结语

- (1) 用排放因子的办法按省计算了我国历年的氨排放量和排放密度。动物、化肥生产和人的排放因子使用国外排放因子的平均值。在化肥使用的种类上, 我国与欧洲差别很大, 我国主要使用碳酸氢铵, 欧洲基本不用。根据国内实测数据, 并且考虑了各种化肥的使用份额, 确定我国使用化肥的排放因子为: 酸性土壤为 14.8%, 中、碱性土壤为 24.0%, 远大于欧洲使用的硝酸铵钙的排放因子。
- (2) 1950 年我国氨排放量仅为 2.6 Mt/a, 自 1960 年后, 氨排放量逐年增加, 1993 年达 12 Mt/a, 同期中国氨排放量大于全欧洲的排放量。排放量最大的省为河南、四川和山东。排放密度大于  $4 \text{ t} / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的为上海、山东、河南、江苏、天津和北京。
- (3) 测定了六省市的大气氨浓度, 北京的氨有明显的季节变化, 春、夏氨浓度高, 春季平均值为  $16 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , 夏季最高为  $41 \mu\text{g} / \text{m}^3$ , 冬季只有  $3.2 \mu\text{g} / \text{m}^3$ 。南方由于四季温差较小, 氨浓度的季节变化不太大, 浓度范围为  $3 \sim 11 \mu\text{g} / \text{m}^3$  之间。
- (4) 在柳州市、株洲市和南昌郊区测定了氨的日变化, 一般夜间氨浓度高于白天。株洲测点的结果是 11~16 时氨浓度最低, 20~23 时氨浓度最高。
- (5) 在四川峨眉山、湖南衡山和广东省测定了大气氨的垂直分布。不同地区、不同季节氨浓度下降  $e$  倍所对应的高度 (标高) 不同, 广东春季为 500 m, 10 月份四川峨眉



山氨浓度的标高为 1040 m, 湖南衡山为 780 m。

### 参 考 文 献

- 1 Buijsman, E. D., Maas H. F. M. and W. A. H. Asman, 1987, Anthropogenic  $\text{NH}_3$  emission in Europe, *Atmos. Environ.*, **21**(5), 1009~1022.
- 2 Moller, D. and H. Schieferdecker, 1989, Ammonia emission and deposition of  $\text{NH}_3$  in the G. D. R. *Atmos. Environ.*, **23**(6), 1187~1193.
- 3 ApSimon, H. M., M. K. Kpuse and J. N. B. Bell, 1987, Ammonia emission and their role in acid deposition, *Atmos. Environ.*, **21**(9), 1939~1987.
- 4 朱兆良, J. R. Simpson, 张绍林等, 1989, 石灰性稻田土壤上化肥氮损失的研究, *土壤学报*, **26**(4), 337~342.
- 5 蔡贵信, 朱兆良, 朱宗武, A. C. F. Trevitt, J. R. Freney and J. R. Simpson, 1985, 水稻田中碳氮和尿素的氮素损失的研究, *土壤*, **17**(5), 225~229.
- 6 王美蓉, 孙庆瑞, 李正谦, 1988, 用浸渍草酸的滤膜法测定大气中的氨, *中国环境监测*, **4**(2), 28~31.
- 7 Kauken M. P., A. Wensveen-Louter, C. A. M. Schoonebeek and J. Stanina, 1988, Simultaneous sampling of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  in ambient air by a wet annular denuder system, *Atmos. Environ.*, **13**(10), 2541~2548.
- 8 Dawson G. A., 1983, *Precipitation Scavenging, Dry Deposition and Resuspension*, Elsevier, Vol.1, 687~690.

## Ammonia Emission and Concentration in the Atmosphere over China

Sun Qingrui and Wang Meirong

(Peking University, Department of Technical Physics, Beijing 100871)

**Abstract** The first ammonia emission survey in China is presented. Sources of atmospheric ammonia considered include livestock wastes, fertilizer application, some industrial activities and human being. The  $\text{NH}_3$  emission factors we used for animals and industrial activities are the mean values of  $\text{NH}_3$  emission factor listed in literature. The kind of fertilizer application in China and Europe is different. Major fertilizer is ammonium dicarbonate in China and calcium ammonium nitrate and urea are mainly used in Europe. Because  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  is more volatilizable than calcium ammonium nitrate, so the  $\text{NH}_3$  emission factor in China is much more larger than the factor in Europe. Based on the situation in China the emission factor for fertilizer was determined to be 14.8% for acidic soil and 24.0% for alkaline soil. The statistical figures on ammonia emission amount for 27 provinces (autonomous regions) and 3 cities of China were shown. The  $\text{NH}_3$  emission amount in Henan, Shandong and Shichuan provinces was largest ( $>980 \text{ kt/a}$ ). The places in which ammonia emission density was more than  $4 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  were Shanghai, Shandong, Henan, Tianjin and Beijing. The total ammonia emission amount in China was 12 Mt in 1993 with a major contribution (52%) from livestock wastes. The  $\text{NH}_3$  concentrations in atmosphere were measured in Guangdong, Guangxi, Hunan, Shandong, Jiangxi and Beijing. The  $\text{NH}_3$  concentrations varied with season in Beijing. The mean value reached  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in spring but only  $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in winter in Beijing. From diurnal pattern it can be seen that  $\text{NH}_3$  concentrations at night were often higher than those observed during the day. The ammonia concentrations were also measured at different elevations in Shichuan, Hunan and Guangdong provinces. Results show that ammonia concentrations was decreased with increasing altitude and the scale height was in the range 500~1040 m.

**Key words** ammonia inventory diurnal pattern scale height