

# 国际 PM<sub>2.5</sub>排放标准及其实施情况比较分析\*

廖 琴 张志强 曲建升

(中国科学院国家科学图书馆兰州分馆,中国科学院资源环境科学信息中心,甘肃 兰州 730000)

**摘要** 对主要国际组织和部分国家的 PM<sub>2.5</sub>排放标准及其实施情况进行了比较和分析。结果表明,世界卫生组织(WHO)和欧盟、美国、加拿大、澳大利亚、日本等均已制定了 PM<sub>2.5</sub>排放标准;墨西哥和印度等发展中国家制定了 PM<sub>2.5</sub>排放标准,中国也制定了 PM<sub>2.5</sub>排放标准,但还未正式发布。WHO 除制定了 PM<sub>2.5</sub>的日均浓度限值和年均浓度限值外,还设立 3 个过渡时期目标值。发达国家制定的 PM<sub>2.5</sub>日均浓度限值比较一致(在 25~35 μg/m<sup>3</sup>),低于发展中国家(墨西哥和印度)制定的限值标准。发达国家中澳大利亚制定的 PM<sub>2.5</sub>排放标准最为严格,而日本制定的 PM<sub>2.5</sub>排放标准在亚洲最为严格。WHO、欧盟、美国、加拿大和印度还规定了 PM<sub>2.5</sub>的达标判断要求,各要求有所差异,而中国还未规定 PM<sub>2.5</sub>达标的判断要求。美国制定了 PM<sub>2.5</sub>排放标准的详细实施计划,中国拟发布的 PM<sub>2.5</sub>排放标准也将分期实行。

**关键词** 环境空气 PM<sub>2.5</sub> 质量标准 比较分析

大气颗粒物是大气中固体和液体颗粒物的总称,其中 PM<sub>2.5</sub>是指空气中空气动力学直径小于等于 2.5 μm 的悬浮颗粒物,又称细颗粒物<sup>[1]</sup>。当前,我国空气污染非常严重,而且从原来的煤烟型污染演变为煤烟型和氧化型复合污染,PM<sub>2.5</sub>污染日益突出<sup>[2,3]</sup>,已严重影响城市人口的健康和生存环境。近年来,北京、广州、上海、深圳等城市的灰霾现象频繁发生<sup>[4]</sup>,如不加以控制,长此以往,难免会发生严重的空气污染事件。

发达国家对 PM<sub>2.5</sub>的研究起步较早,自从美国 1997 年率先制定 PM<sub>2.5</sub>排放标准(即 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS))以来,许多国家也陆续将 PM<sub>2.5</sub>纳入环境监测指标。但由于各国的大气污染状况、经济发展水平以及政治和社会因素等存在差异,其制定的 PM<sub>2.5</sub>排放标准也有所不同。我国自 20 世纪 90 年代以来,陆续开展了 PM<sub>2.5</sub>的污染研究<sup>[5-8]</sup>,但还未对 PM<sub>2.5</sub>进行系统的监测和全面的分析,同时也还没有实施相应的 PM<sub>2.5</sub>排放标准。对世界主要国家和国际组织的 PM<sub>2.5</sub>排放标准及其实施情况进行比较和分析,可以为我国相应标准的制定、实施以及大气污染的监测与控制提供参考。

## 1 PM<sub>2.5</sub>的危害与成因

PM<sub>2.5</sub>含大量的有毒有害元素和化合物,对人体健康影响很大。且由于其粒径小、在大气中的停留时间长、输送距离远<sup>[9]</sup>,受害人数往往众多。现代流

行病学研究表明<sup>[10,11]</sup>,PM<sub>2.5</sub>对人体的危害主要包括:损害呼吸系统和心血管系统;致癌和致突变作用;诱发肺功能障碍;增加发病率和死亡率,如哮喘病发作,肺炎、支气管炎和顽固性肺病;影响神经系统;改变免疫功能等。此外,PM<sub>2.5</sub>是导致大气能见度下降的首要原因,并对光化学烟雾和酸雨等环境问题也有较大的贡献<sup>[12]</sup>。

PM<sub>2.5</sub>的来源非常复杂,主要与人为源有关,其形成主要有二次粒子的排放、蒸气冷凝和气态污染物发生化学反应生成的二次粒子的排放。在一次粒子中,PM<sub>2.5</sub>来源于道路、建筑和农业产生的扬尘,燃煤和汽车尾气等<sup>[13]</sup>。其中,由燃烧产生的颗粒物以 PM<sub>2.5</sub>为主。有研究显示,柴油车和石油燃烧产生的颗粒物中 PM<sub>2.5</sub>分别占到了 92.3% 和 97.4%<sup>[14]</sup>。而排入大气中的二氧化硫、氮氧化物、氨气等气态污染物经化学反应后也可形成粒径较小的二次粒子<sup>[15]</sup>。目前,随着城市机动车数量的迅速增加,机动车尾气也成为 PM<sub>2.5</sub>的主要源头。

## 2 主要国际组织和国家的 PM<sub>2.5</sub>排放标准

### 2.1 世界卫生组织(WHO)

2006 年 10 月 6 日,WHO 发布了适用全球的最新《空气质量准则》(AQG)。在 AQG 中,WHO 参照 PM<sub>10</sub>的标准值,以 PM<sub>2.5</sub>和 PM<sub>10</sub>的质量浓度比为 0.5 的基准,确定了 PM<sub>2.5</sub>的标准值<sup>[16]</sup>。除标准值外,WHO 还提出了 PM<sub>2.5</sub>的 3 个过渡时期的目标值。WHO 制定的 PM<sub>2.5</sub>标准值和目标值见表 1。

第一作者:廖 琴,女,1986 年生,硕士,研究实习员,主要从事环境科学研究工作。

\* 中国科学院资源环境科学与技术局委托任务“资源环境科技发展态势监测分析与战略研究”资助项目。

表 1 WHO 制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值和目标值

| 项目  | 统计方式 | PM <sub>10</sub><br>/(μg·m <sup>-3</sup> ) | PM <sub>2.5</sub><br>/(μg·m <sup>-3</sup> ) | 选择浓度的依据                                                                       |
|-----|------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 目标值 | IT-1 | 年均浓度                                       | 70                                          | 相对于标准值而言,在这个水平的长期暴露会增加约 15% 的死亡风险                                             |
|     |      | 日均浓度                                       | 150                                         | 以已发表的多项研究和 Meta 分析中得出的危险度系数为基础(短期暴露会增加约 5% 的死亡率)                              |
|     | IT-2 | 年均浓度                                       | 50                                          | 除了其他健康利益外,与 IT-1 相比,在这个水平的暴露会降低约 6% 的死亡风险                                     |
|     |      | 日均浓度                                       | 100                                         | 以已发表的多项研究和 Meta 分析中得出的危险度系数为基础(短期暴露会增加 2.5% 的死亡率)                             |
|     | IT-3 | 年均浓度                                       | 30                                          | 除了其他健康利益外,与 IT-2 相比,在这个水平的暴露会降低约 6% 的死亡风险                                     |
|     |      | 日均浓度                                       | 75                                          | 以已发表的多项研究和 Meta 分析中得出的危险度系数为基础(短期暴露会增加 1.2% 的死亡率)                             |
| 标准值 | 年均浓度 | 20                                         | 10                                          | 对于 PM <sub>2.5</sub> 的长期暴露,这是一个最低安全水平,在这个水平,总死亡率、心肺疾病死亡率和肺癌的死亡率会增加(95% 以上可信度) |
|     | 日均浓度 | 50                                         | 25                                          | 建立在 24 h 和年均暴露安全的基础上                                                          |

表 2 欧盟制定的 PM<sub>2.5</sub> 目标浓度限值、暴露浓度限值和削减目标值

| 项目                       | 质量浓度<br>(μg·m <sup>-3</sup> ) | 统计方式     | 法律性质                                        | 每年允许<br>超标天数 |
|--------------------------|-------------------------------|----------|---------------------------------------------|--------------|
| PM <sub>2.5</sub> 目标浓度限值 | 25                            | 1 年      | 于 2010 年 1 月 1 日起施行,并将于 2015 年 1 月 1 日起强制施行 | 不允许超标        |
| PM <sub>2.5</sub> 暴露浓度限值 | 20 <sup>1)</sup>              | 以 3 年为基准 | 在 2015 年生效                                  | 不允许超标        |
| PM <sub>2.5</sub> 削减目标值  | 18 <sup>2)</sup>              | 以 3 年为基准 | 在 2020 年尽可能完成削减量                            | 不允许超标        |

注:1)为平均暴露指标(AEI);2)根据 2010 年的 AEI,在指令中设置百分比削减要求(0~20%),从而计算得到。

2.2 主要发达国家制定的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准

2.2.1 欧盟及其成员国

2008 年 5 月,欧盟发布《关于欧洲空气质量及更加清洁的空气指令》,新标准规定了 PM<sub>2.5</sub> 的目标浓度限值,暴露浓度限值和削减目标值<sup>[17]</sup>(见表 2)。

英国的新空气质量目标将 PM<sub>2.5</sub> 年均值(25 μg/m<sup>3</sup>)作为 2020 年的 PM<sub>2.5</sub> 目标浓度限值,要求所有行政区在 2010—2020 年 PM<sub>2.5</sub> 暴露浓度削减 15%,而苏格兰到 2020 年则要达到 12 μg/m<sup>3</sup> 的年均浓度限值<sup>[18]</sup>。

2.2.2 美国

1997 年,美国首次发布 NAAQS,是全球最早制定 PM<sub>2.5</sub> 空气质量标准的国家。2006 年,美国环

境保护署(EPA)修订了 NAAQS<sup>[19]</sup>,并取消了 PM<sub>10</sub> 的年均浓度限值。新标准于 2006 年 12 月 17 日生效,比 1997 年发布的标准更严格(见表 3)。EPA 制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值、空气质量指数(AQI)、空气质量和健康警示之间的关系<sup>[20]</sup>如表 4 所示。

表 3 美国先后制定的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准

| 污染物               | 年份     | 年均浓度<br>/(μg·m <sup>-3</sup> ) | 日均浓度<br>/(μg·m <sup>-3</sup> ) |
|-------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|
| PM <sub>2.5</sub> | 1997 年 | 15                             | 65                             |
|                   | 2006 年 | 15                             | 35 <sup>1)</sup>               |
| PM <sub>10</sub>  | 1997 年 | 50                             | 150                            |
|                   | 2006 年 |                                | 150 <sup>2)</sup>              |

注:1)要求连续 3 年不低于 98% 的日均浓度不超过该限值;2)平均每年最多只能有 1 d 的日均浓度超过该限值。

表 4 EPA 制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值、AQI、空气质量和健康警示

| PM <sub>2.5</sub> /(μg·m <sup>-3</sup> ) | AQI     | 空气质量       | 健康警示                                        |
|------------------------------------------|---------|------------|---------------------------------------------|
| ≤15                                      | 0~50    | 良好         | 无                                           |
| 16~40                                    | 51~100  | 适度         | 体质异常敏感的人应考虑减少长时间或剧烈活动                       |
| 41~65                                    | 101~150 | 不利于敏感人群的健康 | 心脏疾病或肺病患者、老年人和儿童应减少长时间或剧烈活动                 |
| 66~150                                   | 151~200 | 不健康        | 心脏疾病或肺病患者、老年人和儿童应避免长时间或剧烈活动;其他人应减少长时间或剧烈活动  |
| 151~250                                  | 201~300 | 非常不健康      | 心脏疾病或肺病患者、老年人和儿童应避免所有户外活动;其他人应避免长时间或剧烈活动    |
| ≥251                                     | 301~500 | 危害         | 心脏疾病或肺病患者、老年人和儿童应留在室内并降低活动水平;其他人应避免所有户外身体活动 |

### 2.2.3 加拿大

加拿大 1998 年开始制定 PM<sub>2.5</sub> 浓度参考值,2010 年起执行的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度限值为 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,并要求连续 3 年每年不少于 98% 的日均浓度不超标<sup>[21]</sup>。

### 2.2.4 澳大利亚

2003 年,澳大利亚把 PM<sub>2.5</sub> 纳入环境空气质量标准<sup>[22]</sup>,规定日均浓度限值为 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,年均浓度限值为 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,但该标准为非强制性标准。而 PM<sub>10</sub> 执行的日均浓度限值为 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,每年最多只能有 5 d 的日均浓度超过该限值。

### 2.2.5 日本

2009 年 9 月 9 日,日本环境空气质量标准中增加了 PM<sub>2.5</sub> 的标准值,规定日均浓度限值为 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,年均浓度限值为 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[23]</sup>。目前,日本对 PM<sub>2.5</sub> 的排放标准是亚洲最严格的,但该规定还未正式实施。

### 2.2.6 新加坡

2008 年,新加坡的环境报告指出,PM<sub>2.5</sub> 是需要关注的一种主要大气污染物。新加坡制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值以 EPA 的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度限值(15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )为标准<sup>[24]</sup>,其目标是到 2014 年,PM<sub>2.5</sub> 年均浓度限值满足该标准。

## 2.3 发展中国家制定的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准

### 2.3.1 墨西哥

墨西哥规定的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度限值为 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,年均浓度限值为 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[25]</sup>。

### 2.3.2 印度

2009 年,印度修订了 1986 年实施的空气质量标准,增加了 PM<sub>2.5</sub> 标准值<sup>[26]</sup>,该标准规定 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度限值为 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,年均浓度限值为 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

### 2.3.3 我国

2010 年 11 月,环境保护部发布《环境空气质量标准》(征求意见稿),将 PM<sub>2.5</sub> 浓度限值纳入标准。2011 年 11 月,环境保护部发布《环境空气质量标准》(二次征求意见稿),将 PM<sub>2.5</sub> 纳入常规空气质量评价,这是我国首次制定 PM<sub>2.5</sub> 排放标准,规定:一级标准中,年均浓度限值为 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,日均浓度限值为 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;二级标准中,年均浓度限值为 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,日均浓度限值为 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[27]</sup>。新标准拟于 2016 年 1 月 1 日全面实施。

2009 年,香港特别行政区提出《新修订环境空气质量标准草案》<sup>[28]</sup>,增加 PM<sub>2.5</sub> 的排放标准。并建议 PM<sub>2.5</sub> 浓度限值采用 WHO 的 IT-3 值,即年均浓度限值 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,日均浓度限值 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

## 3 国际 PM<sub>2.5</sub> 排放标准及其实施情况的比较分析

### 3.1 PM<sub>2.5</sub> 排放标准

从 WHO 和各国制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值来看(见图 1),发达国家的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度限值比较一致(25~35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),低于发展中国家(墨西哥和印度)的限值标准。其中,墨西哥制定的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度限值最高,为 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。印度制定的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度限值最高,为 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;澳大利亚制定的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度限值最低,为 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日本制定的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准在亚洲最严格。大多数国家制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值比 WHO 的宽松。我国即将发布的 PM<sub>2.5</sub> 一级年均浓度限值与美国、日本、墨西哥、WHO 的 IT-3 值一致;一级日均浓度限值与美国、日本一致,略低于 WHO 的 IT-3 值;二级年均浓度限值和日均浓度限值与 WHO 的 IT-1 值一致。但是,虽然我国制定的 PM<sub>2.5</sub> 一级日均浓度限值与美国相同,它们所反映的空气质量等级有着显著差异<sup>[29]</sup>(见表 5)。

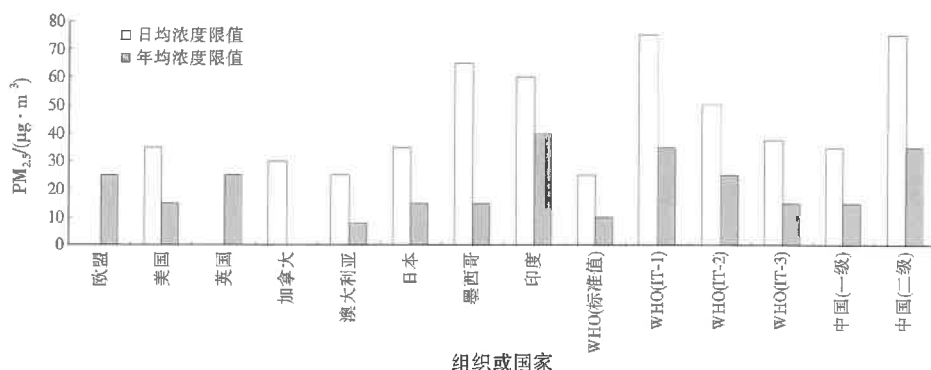


图 1 WHO 和各国制定的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准

表 5 我国拟实施的 PM<sub>2.5</sub>排放标准与美国目前使用的 PM<sub>2.5</sub>排放标准的对比

| PM <sub>2.5</sub><br>/(μg·m <sup>-3</sup> ) | 中国              |      |                     | 美国  |      |                   |
|---------------------------------------------|-----------------|------|---------------------|-----|------|-------------------|
|                                             | 空气污染<br>指数(API) | 空气质量 | 健康警示                | API | 空气质量 | 健康警示              |
| 35                                          | 50              | 优    | 基本无空气污染             | 99  | 适度   | 对敏感人群有不利影响        |
| 75                                          | 100             | 良    | 对极少数异常敏感<br>人群有较弱影响 | 156 | 不健康  | 几乎每个人的健康<br>会受到影响 |

表 6 美国为达到 PM<sub>2.5</sub>排放标准而制定的实施进度

| 1997 年          | 1998—2000 年    | 1999—2003 年       | 2002 年                                | 2003—2005 年                      | 2006 年   | 2007—2008 年                  | 2012—2017 年         |
|-----------------|----------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------|------------------------------|---------------------|
| EPA 颁布<br>NAAQS | 在全国范围<br>内监测布点 | 监测结果收集<br>分析、结果发布 | 完成近 5 年来<br>有关 NAAQS<br>的科学评论研<br>究报告 | 确定 PM <sub>2.5</sub> 排<br>放未达标区域 | 修订 NAAQS | 联邦各州提交<br>达到 NAAQS<br>的州执行计划 | 各州达到 NAAQS<br>的最后期限 |

表 7 我国 PM<sub>2.5</sub>排放标准的实施进度计划

| 2010 年                                                    | 2011 年                        | 2012 年                                                                 | 2013 年                                                     | 2015 年                               | 2016 年                                                    |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 发布增加 PM <sub>2.5</sub> 浓<br>度限值的《环境空气<br>质量标准》(征求意见<br>稿) | 发布《环境空气质量<br>标准》(二次征求意见<br>稿) | 在北京、天津、河北<br>和长三角、珠三角等<br>重点区域以及直辖市<br>和省会城市开展<br>PM <sub>2.5</sub> 监测 | 在 113 个环境保护<br>重点城市和环境保<br>护模范城市开展<br>PM <sub>2.5</sub> 监测 | 在所有地级以上城<br>市开展 PM <sub>2.5</sub> 监测 | 新标准在各个城市实<br>施的最后期限,并向<br>社会发布 PM <sub>2.5</sub> 监测<br>结果 |

另外,即使制定的 PM<sub>2.5</sub> 标准值相同,各国判断其达标的方式也显著不同。WHO 制定的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度达标要求为每年的超标天数不高于 3 d;欧盟规定的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度达标明确要求每年的超标天数为 0 d,即不允许超标;美国、加拿大制定的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度达标要求均为连续 3 年内每年不少于 98% 的日均浓度不能超标。发展中国家中,印度制定的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度达标要求也为每年不少于 98% 的日均浓度不能超标,而我国拟实施的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准中未有类似的规定。

3.2 PM<sub>2.5</sub> 监测方法

采样及分析是研究 PM<sub>2.5</sub> 污染的重要基础<sup>[30]</sup>。目前,各国的环境保护行政主管部门广泛采用的 PM<sub>2.5</sub> 监测方法主要有重量法、β 射线吸收法和微量振荡天平法<sup>[31]</sup>,如英国采用了标准称重测量法(BS EN 14907—2005);日本采用了小流量采样称重法;EPA 采用了联邦推荐方法 FRMs,FRMs 对滤膜选择及固定、采样器入口设计、测试环境条件控制等都做了一系列的规定<sup>[32]</sup>。而我国采用《环境空气 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的测定 重量法》(HJ 618—2011),该测定方法也对采样器性能指标、抽气量、监测布点等做了相关的规定。

3.3 PM<sub>2.5</sub> 排放标准的实施步骤

美国于 1997 年发布 NAAQS 后,为达到标准,制定了实施进度计划<sup>[33]</sup>(见表 6)。1999 年,各州开始陆续监测 PM<sub>2.5</sub>,到 2000 年监测已常规化,2006 年修订了 NAAQS,提出了 2012—2017 年各州需达

到的 PM<sub>2.5</sub> 标准。目前,纽约、旧金山、华盛顿、洛杉矶等城市的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度值为 15~20 μg/m<sup>3</sup><sup>[34]</sup>,基本达标。从 2000 年到 2010 年,美国的 PM<sub>2.5</sub> 年平均浓度下降了 27%。

澳大利亚于 1994 年开展 PM<sub>2.5</sub> 的监测,1994—2001 年的 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度均低于 25 μg/m<sup>3</sup>(1997 年除外)<sup>[35]</sup>。自 2003 年制定 PM<sub>2.5</sub> 的非强制性标准以来,澳大利亚继续开展了大量的监测和基础研究。

日本东京自 2003 年推出了日本史上第一个对 PM<sub>2.5</sub> 以下颗粒,尤其是柴油机、汽车尾气排放的微粒的立法<sup>[36]</sup>,2009 年制定了在亚洲最为严格的 PM<sub>2.5</sub> 排放标准,但目前该标准还未正式实施。

除许多发达国家城市已进行 PM<sub>2.5</sub> 监测和发布外,不少发展中国家城市,如墨西哥、新德里等也已开展了 PM<sub>2.5</sub> 的监测和发布。目前,我国关于 PM<sub>2.5</sub> 的研究仍处于起步和准备阶段,还未进行大规模的系统研究,2008 年环境保护部选取部分城市开展了 PM<sub>2.5</sub> 的试点监测工作。新标准已以 2012 年开始进行分期实施(见表 7)。为控制 PM<sub>2.5</sub> 污染,《国家环境保护“十二五”规划》中指出,“十二五”期间,我国将采取全面实施国家第四阶段机动车排放标准、积极发展城市公共交通等措施。

4 结论与结语

(1) WHO 和欧盟、美国、加拿大、澳大利亚、日本等发达国家均已制定了 PM<sub>2.5</sub> 排放标准;发展中国家只有墨西哥和印度制定了 PM<sub>2.5</sub> 排放标准,我

国也制定了 PM<sub>2.5</sub>排放标准,但还未正式发布。

(2) WHO 除制定了 PM<sub>2.5</sub>的日均浓度限值和年均浓度限值外,还设立 3 个过渡时期目标值,为目前无法一步到位的国家或地区提供了阶段性目标。发达国家制定的 PM<sub>2.5</sub>日均浓度限值比较一致(25~35 μg/m<sup>3</sup>),低于发展中国家(墨西哥和印度)制定的限值标准。发达国家中澳大利亚制定的 PM<sub>2.5</sub>排放标准最为严格,而日本制定的 PM<sub>2.5</sub>排放标准在亚洲最为严格。我国拟发布的 PM<sub>2.5</sub>二级标准采用 WHO 的 IT-1 值,一级年均浓度限值采用 WHO 的 IT-3 值。

(3) WHO、欧盟、美国、加拿大和印度还规定了 PM<sub>2.5</sub>达标的判断要求,各要求有所差异,而我国还未规定 PM<sub>2.5</sub>达标的判断要求。美国制定了 PM<sub>2.5</sub>标准的详细实施计划,我国拟发布的 PM<sub>2.5</sub>标准也将分期实行。

#### 参考文献:

- [1] 尚伟,黄超,王菲.超细颗粒物 PM<sub>2.5</sub>控制技术综述[J].环境科技,2008,21(增2):75-78.
- [2] 严刚,燕丽.“十二五”我国大气颗粒物污染防治对策[J].环境可持续发展,2011(5):20-23.
- [3] 柯利跃.典型污染源或敏感点大气颗粒物的组分特征与健康暴露水平研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [4] 应琛.中国 PM<sub>2.5</sub>标准来了[EB/OL]. [2011-12-23]. <http://xmkz.xinminweekly.com.cn/fmgs/201111/t201111293192410.htm>.
- [5] 郝明途,林天佳,刘焱.我国 PM<sub>2.5</sub>的污染状况和污染特征[J].环境科学与管理,2006,31(2):58-67.
- [6] 王玮,汤大钢,刘红杰,等.中国 PM<sub>2.5</sub>污染状况和污染特征的研究[J].环境科学研究,2000,13(1):1-5.
- [7] 魏复盛,滕恩江,吴国平,等.我国 4 个大城市空气 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>污染及其化学组成[J].中国环境监测,2001,17(7):1-6.
- [8] 郭清彬,程雪丰,侯辉,等.冬季大气中 PM<sub>10</sub>和 PM<sub>2.5</sub>污染特征及形貌分析[J].中国环境监测,2010,26(4):55-58.
- [9] 黄辉军,刘红年,蒋维楣,等.南京市 PM<sub>2.5</sub>物理化学特性及来源解析[J].气候与环境研究,2006,11(6):713-722.
- [10] GOTSCHI T, OGLESBY L, MATHYS P, et al. Comparison of black smoke and PM<sub>2.5</sub> levels in indoor and outdoor environments off our European cities[J]. Environmental Science Technology, 2002, 36(6):1191-1197.
- [11] 戴海夏,宋伟民.大气 PM<sub>2.5</sub>的健康影响[J].国外医学:卫生学分册,2001,28(5):299-303.
- [12] 乔玉霜,王静,王建英.城市大气可吸入颗粒物的研究进展[J].中国环境监测,2011,27(2):22-25.
- [13] 朱先磊,张远航,曾立民,等.北京市大气细颗粒物 PM<sub>2.5</sub>的来源研究[J].环境科学研究,2005,18(5):1-5.
- [14] 周军,柴国勇,陈元.城市大气中 PM<sub>2.5</sub>污染控制的意義与途径[J].甘肃环境研究与监测,2003,16(1):29-31.
- [15] 方恒,肖美.细颗粒物 PM<sub>2.5</sub>研究进展[J].江西化工,2007(2):18-20.
- [16] WHO. Air quality guidelines: global update 2005[R]. Bonn: WHO Regional Office for Europe, 2005.
- [17] European Commission Environment. Air quality standards [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.
- [18] Defra, Scottish Executive, Welsh Assembly Government and DoENI. The air quality strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland, volume 1 [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.defra.gov.uk/publications/2011/03/26/air-quality-strategy-vol1-pb12654/>.
- [19] USEPA. National ambient air quality standards (NAAQS) [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.epa.gov/air/criteria.html>.
- [20] USEPA. Air quality index: a guide to air quality and your health [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.epa.gov/air/criteria.html>.
- [21] Environment Canada. An update in support of the Canada-wide standards for particulate matter (PM) and ozone [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.ccme.ca/ourwork/air.html?categoryid=99>.
- [22] Australian Government. Department of sustainability, environment, water, population and communities, air quality standards [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.environment.gov.au/atmosphere/airquality/standards.html>.
- [23] Ministry of the Environment Government of Japan. Environmental quality standards for air [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.env.go.jp/en/standards/>.
- [24] Singapore Government. Ministry of the environment and water resources [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://app.epr.gov.sg/web/Contents/Contents.aspx?ContId=1233>.
- [25] 周灵君,夏思佳,姜伟立.建立江苏省 PM<sub>2.5</sub>环境空气质量标准的需求探讨[J].环境工程技术学报,2011,1(3):243-248.
- [26] Ministry of Environment and Forests, Government of India. National ambient air quality standards [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://moef.nic.in/moefules/rules-and-regulations/air-pollution/>.
- [27] 中华人民共和国环境保护部.环境空气质量标准(二次征求意见稿) [EB/OL]. [2011-12-23]. [http://www.gov.cn/gzdt/2011-11/16/content\\_1995234.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2011-11/16/content_1995234.htm).
- [28] 香港特别行政区政府环境保护署.检讨本港空气质量指标及制定长远空气质量策略可行性研究 [EB/OL]. [2011-12-23]. [http://sc.epd.gov.hk/gb/www.epd.gov.hk/epd/tc\\_chi/environmentinhk/air/studytrpts/aqor\\_report.html](http://sc.epd.gov.hk/gb/www.epd.gov.hk/epd/tc_chi/environmentinhk/air/studytrpts/aqor_report.html).
- [29] 安雪峰.北京的蓝天掩不住健康风险 [EB/OL]. [2011-12-23]. [http://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/4661-Beijing-s-hazardous-blue-sky?utm\\_source=Chinadialogue+Update&utm\\_campaign=dc9217333b-newsletter+13+Dec+2011&utm\\_medium=email](http://www.chinadialogue.net/article/show/single/ch/4661-Beijing-s-hazardous-blue-sky?utm_source=Chinadialogue+Update&utm_campaign=dc9217333b-newsletter+13+Dec+2011&utm_medium=email).
- [30] 熊志明,张国强,彭建国,等.大气可吸入颗粒物对 IAQ 的影响研究进展[J].建筑热能通风空调,2004,23(2):32-36.
- [31] USEPA. Guidance for using continuous monitors in PM<sub>2.5</sub> monitoring networks [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/r-98-012>.
- [32] USEPA. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) speciation guidance [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pm25/.../specpln2.pdf>.
- [33] 中国科学院研究生院.大气颗粒物污染控制国际经验 [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://wendang.baidu.com/view/90919bfbaef8941ea76e059c.html?from=related>.
- [34] 陈明华,李德,陈长虹.上海市微小颗粒物污染现状调查与分析[J].上海环境科学,2003,22(12):1039-1041.
- [35] Australian Government. Department of the environment and heritage. [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://www.environment.gov.au/atmosphere/irquality/ubictns/standards.html>.
- [36] 中国广播网.日本执行亚洲最严格 PM<sub>2.5</sub>排放标准 [EB/OL]. [2011-12-23]. <http://ep.chinaluxus.com/Efs/20111207/94494.html>.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2012-04-23)