

# 北京市道路积雪污染及特性研究

孟莹莹<sup>1,2</sup>, 陈建刚<sup>2</sup>, 王会肖<sup>1</sup>, 张书函<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京市水科学技术研究院, 北京 100044)

**摘要:** 通过2009~2012年对北京市区道路旁积雪的取样, 分析了积雪中污染物的浓度和特性, 并对国内外普遍关注的融雪剂污染问题及其控制进行了初步分析。得出道路积雪中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD、SS、Cd等污染物主要来自交通活动, 氯化物主要来自氯盐融雪剂; 与《地表水环境质量标准》相比, 道路积雪中主要污染物为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、COD、BOD和氯化物, Cu、Zn、Pb、Cd等重金属的污染水平不高, 可达到V类水体标准; 相同地点近似降水量条件下, 积雪中TP、COD、SS的平均浓度高于降雨径流; 北京市交通主干道及人行道上喷撒氯盐融雪剂的量高于国外道路, 控制其污染主要通过源头减少使用量、使用替代融雪剂、严格融雪剂标准和使用方法、严肃责任追究、加强宣传教育等措施。

**关键词:** 面源污染; 积雪污染; 交通活动; 融雪剂; 降雨径流

中图分类号: TU992

文献标志码: A

## Study of Roadside Snow Quality and Characteristics in Beijing

Meng Yingying<sup>1,2</sup>, Chen Jiangang<sup>2</sup>, Wang Huixiao<sup>1</sup>, Zhang Shuhan<sup>2</sup>

(1.College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2.Beijing Water Science &amp; Technology Institute, Beijing 100044, China)

**Abstract:** By collection and analysis of the roadside snow samples in Beijing from the year of 2009 to 2012, concentration and characteristics of the pollutants in the snow were discussed, and deicing agent pollution and control widely concerned at home and abroad was preliminarily analyzed. The results showed that pollutants such as ammonia nitrogen, TN, TP, COD, SS and Cd in the roadside snow were mainly from traffic activities, and chloride mainly came from chlorine deicing agent. In comparison with the Environmental Quality Standard for Surface Water, the main pollutants in the roadside snow were ammonia nitrogen, TN, COD, BOD and chloride, and heavy metal pollution was not serious with concentration of Cu, Zn, Pb and Cd meeting the Level V standard for water body. At the same site, if the precipitation amount was similar, the average concentration of TP, COD and SS in the snow were higher than that in the storm runoff. The application quantity of chlorine deicing agent in the major roads and sideway in Beijing was much more than that used in foreign countries, so such pollution should be controlled by reduction of application amount at source, utilization of alternatives, strict regulation of standard and usage, improvement of serious accountability mechanism, strengthening of propaganda and education, etc.

**Keywords:** Non-point Source Pollution; Snow Pollution; Traffic Activities; Deicing Agent; Storm Runoff

CLC number: TU992

城市面源污染是指大气降水淋洗、冲刷大气和地表的各种污染物, 引起受纳水体污染的环境问题, 主要包括降雨径流和降雪径流污染。总体上, 国内外对降雨径流污染的研究较为普遍, 如法国 Gromaire-Mertz<sup>[1]</sup>, 英国 Deletic<sup>[2]</sup>, 美国 Barrett<sup>[3]</sup>, 国内甘华阳等<sup>[4]</sup>分别对不同下垫面的径

流水质进行了监测分析。雪花比雨滴的比表面积大、沉降速度慢, 可能携带的污染物更多<sup>[5]</sup>, Westerlund et al<sup>[6]</sup>曾报道过瑞典吕勒奥的融雪径流中SS浓度和负荷分别是降雨径流的8倍和5倍。目前国际上对城市降雪径流污染的研究主要集中在气候寒冷地区, 如瑞典吕勒奥理工大学对积雪水

收稿日期: 2014-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(51179009); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07304-001); 北京市科技计划课题(Z121100000312037)资助

作者简介: 孟莹莹(1984-), 女, 博士研究生、工程师。研究方向: 城市雨洪管理。E-mail:myy840729@163.com

质随时间、地点的变化<sup>[7-9]</sup>、积雪中污染物的形态分布<sup>[10]</sup>、道路融雪剂对融雪径流中污染物迁移的影响<sup>[11]</sup>、基于雪质的积雪管理措施<sup>[12]</sup>等等进行了系列研究。而国内相关研究主要基于大气污染控制的考虑,如研究积雪中的全氟污染物、重金属等<sup>[13-14]</sup>,对径流污染的关注比较少<sup>[15]</sup>。文章以冬季降雪普遍的北京为例,通过持续4年的市区道路积雪水质监测,分析积雪污染程度及特性,以期为中国北方城市降雪径流污染控制工作的开展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样方法

选择北京市海淀区车公庄西路(位于市区)主路、人行道、绿地为积雪采样点(以下分别简称为M、S、R),位置见图1。

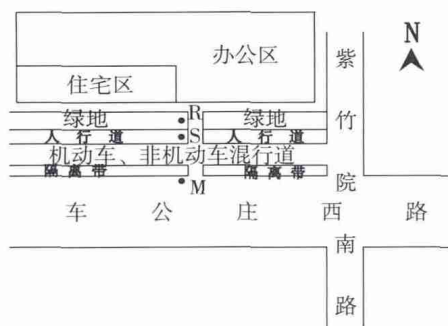


图1 积雪采样点示意图

图1中M点平均车流量约24 000辆/d, R点几乎没有人类活动的影响,作为对照点。对2009~2012年冬季的5场降雪,2009-11-9、2010-1-2、2010-3-7、2011-2-12、2012-12-13进行了积雪采样,降水量分别为15、10、4、3及4 mm。采样均在降雪停止1 d后进行,直接用干净的塑料铲将地表积雪铲入干净的塑料桶中,置于室温下(约20℃)自然融化后立即进行水质检测。同时,采集道路上的固体融雪剂进行检测。2009~2011年汛期对M点进行了路面径流水质过程的监测,2009年仅监测降雨1场:2009-8-9;2010年监测降雨5场:2010-6-13,2010-6-17,2010-7-1,2010-7-9,2010-8-4;2011年监测降雨2场:2011-7-25、2011-7-29。

### 1.2 分析方法

融雪水及降雨径流均检测 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD、BOD、SS、Cu、Pb、Zn、Cd、氯化物等指标,融雪剂除检测以上指标外,对电导率、K、Na等也进行了检测,检测方法见《水和废水监测分析方法(第四版)(增补版)》。

## 2 结果与分析

### 2.1 积雪水质监测结果分析

3个监测点在各降雪事件中积雪污染物的浓度统计见表1。融雪剂分析结果见表2<sup>[16]</sup>。

表1 3个监测点积雪污染物浓度及与水质标准的比较

| 监测指标                                                   | M    |                     | S    |                | R    |           | GB3838-2002 <sup>a</sup>   |
|--------------------------------------------------------|------|---------------------|------|----------------|------|-----------|----------------------------|
|                                                        | 平均值  | 范围                  | 平均值  | 范围             | 平均值  | 范围        |                            |
| $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 4.33 | 0.16~8.74           | 2.2  | 0.14~7.36      | 1.92 | 0.77~3.03 | 0.15,0.5,1.0,1.5,2.0       |
| $\text{TN}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$              | 5.9  | 0.89~9.71           | 3.85 | 0.17~11.4      | 3.02 | 2.01~3.98 | 0.2,0.5,1.0,1.5,2.0        |
| $\text{TP}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$              | 0.3  | 0.04~0.66           | 0.27 | 0.14~0.45      | 0.1  | 0.06~0.16 | 0.02,0.1,0.2,0.3,0.4       |
| $\text{COD}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$             | 570  | 134~1350            | 445  | 1~1 210        | 26   | 7.85~54.6 | 15,15,20,30,40             |
| $\text{BOD}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$             | 64   | 34.2~139            | 76   | 0.5~236        | 4.74 | 3.5~6.4   | 3,3,4,6,10                 |
| $\text{Cu}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$            | 51.6 | < <sup>b</sup> ~140 | 88.6 | <~230          | 27.8 | <~100     | 10,1 000,1 000,1 000,1 000 |
| $\text{Zn}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$            | 104  | 45~148              | 107  | 12~280         | 80.6 | 20~220    | 50,1 000,1 000,2 000,2 000 |
| $\text{Pb}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$            | 26   | <~68                | 26.1 | <~65           | 16.8 | <~4       | 10,10,50,50,100            |
| $\text{Cd}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$            | 5.12 | <~19                | <    | — <sup>c</sup> | <    | —         | 1,5,5,5,10                 |
| 氯化物 <sup>d</sup> $/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$      | 2092 | 69.1~4870           | 609  | 34.6~2 030     | 14.2 | 1.13~32.6 | 250                        |
| $\text{SS}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$              | 5100 | —                   | 755  | —              | 79   | —         | —                          |

a 分别为 I-V 类标准,其中对SS没有要求,仅对集中式生活饮用水地表水源地有氯化物要求;b未检出时用“<”表示,仅部分样品未检出时,用检测限的一半作为测定值进行平均值的计算;c未分析;d 3个监测点的氯化物测定结果呈显著性差异( $P < 0.05$ );e SS在2009-11-9降雪中测定了1次。

由表1可知,除BOD、Cu、Zn、Pb的平均浓度是S点高于M点、在R点最低,Cd的平均浓度在M点最高、在S、R点未检出外,其他污染物的浓度均为受交通影响最大的M点最高、S点次之、受交通影响最小的R点最低,表现为与交通影响呈正相关关系,这与Viklander<sup>[8-10]</sup>提出的交通活动对积雪水质起主要作用的观点相同,Lygren et al<sup>[17]</sup>也报道了污染物浓度随着与道路距离的增加呈指数规律衰减。

表2 道路融雪剂污染物含量分析

| 监测指标                                                    | 监测值    |
|---------------------------------------------------------|--------|
| $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 20.5   |
| $\text{TN}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 21.4   |
| $\text{TP}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 0.74   |
| $\text{COD}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$             | 406    |
| $\text{BOD}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$             | 89.5   |
| $\text{Cu}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 0.054  |
| $\text{Zn}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 0.121  |
| $\text{Pb}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 0.058  |
| $\text{Cd}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 0.046  |
| 氯化物/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$                   | 3223   |
| $\text{K}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$               | 7.2    |
| $\text{Na}/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$              | 1 804  |
| 电导率/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$                 | 12 060 |

由表2可知,融雪剂的主要成分为氯化钠,表明M、S点的氯化物均来自融雪剂,且M点喷撒量高于S点。Cu、Zn、Pb的浓度在R点最低,表

明交通活动对其浓度仍有一定影响,Cd的浓度在M点最高,表明其主要来源为交通活动。Zn、Pb浓度在M、S点非常接近,结合Engelhard et al<sup>[5]</sup>(2007)得出的高速公路旁积雪中二者浓度水平相同,可推断Zn、Pb的主要来源可能为大气降尘。Cu浓度在S点高于M点,可能因为铜主要来源于汽车刹车装置,而S点邻近机动车、非机动车混行道,靠边停车车辆多于机动车通行道M。BOD浓度在S点高于M点,可能是人行道受人类活动影响较多的原因。

将3个监测点积雪水质与《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)进行比较(见表1)可知,积雪中Cu、Zn、Pb、Cd重金属的污染水平不高,Cu、Zn可以达到Ⅱ类标准,Pb可以达到Ⅲ类标准,Cd在M点可以达到Ⅴ类标准,在S、R点可以达到Ⅰ类标准。氨氮、TN、TP、COD、BOD等污染物中,仅有TP及R点的COD、BOD达到了Ⅳ类标准,其他污染物均超过Ⅴ类标准。

《GB3838—2002》对集中式生活饮用水地表水源地的氯化物限值为250 mg/L,3个监测点中,仅R点达到要求,M、S点均远超过这一限值。这表明道路积雪中主要污染物为 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、TN、COD、BOD和氯化物。

## 2.2 国内外积雪污染物浓度对比分析

国内外文献报道中主要关注的重金属、SS、氯化物等积雪污染物的浓度见表3。

表3 文献中对降雪径流中SS、氯化物、重金属的研究结果

| SS/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | 氯化物/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ | Cu/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ | Zn/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ | Pb/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ | Cd/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ | 采样道路类型           | 研究地点                             |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 12                                  | 8                                    | —                                     | —                                     | —                                     | —                                     | 无交通量             | 奥地利<br>因斯布鲁<br>克市 <sup>[5]</sup> |
| 289                                 | 237                                  | —                                     | —                                     | —                                     | —                                     | 低交通量             |                                  |
| 959                                 | 274                                  | —                                     | —                                     | —                                     | —                                     | 高交通量             |                                  |
| 629                                 | 702                                  | —                                     | —                                     | —                                     | —                                     | 高速公路             |                                  |
| 2100                                | —                                    | 195                                   | 482                                   | —                                     | —                                     | 高交通量<br>(喷撒融雪剂)  | 瑞典<br>吕勒奥市 <sup>[11]</sup>       |
| 2000                                | —                                    | 210                                   | 574                                   | —                                     | —                                     | 高交通量<br>(不喷撒融雪剂) |                                  |
| 29                                  | —                                    | 3.8                                   | 15                                    | 2.3                                   | —                                     | 居住区、无交通量         | 瑞典<br>吕勒奥市 <sup>[12]</sup>       |
| 474                                 | 2.8                                  | 99                                    | 228                                   | 35                                    | —                                     | 居住区、低交通量         |                                  |
| 5 667                               | 5.2                                  | 626                                   | 1 256                                 | 130                                   | —                                     | 居住区、高交通量         |                                  |
| 185                                 | —                                    | 20                                    | 114                                   | 15                                    | —                                     | 市中心、无交通量         |                                  |
| 4 471                               | 4.4                                  | 310                                   | 931                                   | 119                                   | —                                     | 市中心、低交通量         |                                  |
| 7 889                               | 20                                   | 1 022                                 | 2 233                                 | 217                                   | —                                     | 市中心、高交通量         |                                  |

| 续表3                     |                          |                         |                         |                         |                         |          |                                 |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|---------------------------------|
| SS/mg · L <sup>-1</sup> | 氯化物/mg · L <sup>-1</sup> | Cu/μg · L <sup>-1</sup> | Zn/μg · L <sup>-1</sup> | Pb/μg · L <sup>-1</sup> | Cd/μg · L <sup>-1</sup> | 采样道路类型   | 研究地点                            |
| 11                      | —                        | 2.8                     | 27                      | 2.6                     | —                       | 居住区、无交通量 | 瑞典<br>松兹瓦尔<br>市 <sup>[12]</sup> |
| 66                      | 3.1                      | 6.4                     | 45                      | 5.6                     | —                       | 居住区、低交通量 |                                 |
| 1 842                   | 116                      | 150                     | 549                     | 53                      | —                       | 居住区、高交通量 |                                 |
| 31                      | —                        | 11                      | 42                      | 8.1                     | —                       | 市中心、无交通量 |                                 |
| 6 684                   | 324                      | 845                     | 3 008                   | 237                     | —                       | 市中心、低交通量 |                                 |
| 3 175                   | 1131                     | 554                     | 1 896                   | 140                     | —                       | 市中心、高交通量 |                                 |
| —                       | —                        | 2~10                    | 5~35                    | 0.5~10                  | 0.2~0.35                | 居住区      | 美国辛辛<br>那提市 <sup>[19, 20]</sup> |
| —                       | —                        | 1 000~10 000            | 1 000~1 0000            | 1 000~1 0000            | 10~100                  | 高速公路     |                                 |
| 64~369                  | —                        | —                       | 60~850                  | —                       | —                       | 校园       | 西安市 <sup>[15]</sup>             |
| —                       | 2 548~80 870             | —                       | —                       | —                       | —                       | 含融雪剂主干路  | 北京市                             |

与表1对比可以看出，对照点R的SS平均浓度与无交通量的道路<sup>[5,12]</sup>在同一数量级上，表明未经交通影响的积雪中SS浓度较低；氯化物平均浓度与无交通量的道路<sup>[5]</sup>、不喷撒融雪剂的道路<sup>[5]</sup>在同一数量级上，表明喷撒融雪剂是积雪中氯化物的主要来源。M点交通量约24 000辆/d，其SS平均浓度与居住区高交通量和市中心区低、高交通量的道路在同一数量级上<sup>[11~12]</sup>；其氯化物平均浓度高出瑞典松兹瓦尔市中心区高交通量且喷撒氯盐融雪剂的道路近1倍<sup>[12]</sup>，但和丛日晨等<sup>[18]</sup>在北京市主干路测得的氯化物浓度相当，表明国内道路融雪剂的使用量较高。位于人行道的S点，其SS平均浓度与奥地利因斯布鲁克市的高交通量道路和高速公路相当<sup>[5]</sup>，且高于居住区低交通量的道路和校园道路的水平<sup>[12,15]</sup>，表明人行道受交通的影响也比较大；其氯化物平均浓度与奥地利因斯布鲁克市的高速公路水平相当<sup>[5]</sup>，且高于喷撒氯盐、粗砂混合物的瑞典松兹瓦尔市中心区低交通道路<sup>[12]</sup>，表明人行道的融雪剂喷撒量也较高。

与国外研究结果相比，3个监测点的Cu平均浓度为27.8~88.6 μg/L，略大于无交通量的道路，但比低交通量的道路偏小<sup>[12]</sup>；Zn的平均浓度为80.6~107 μg/L，Pb的平均浓度为16.8~21.6 μg/L，仅略高于或相当于无交通量道路的水平<sup>[12,19]</sup>；Cd大部分情况下未检出，交通量较大的M点平均浓度为5.12 μg/L，与高速公路的浓度水平相当<sup>[20]</sup>。重金属的比较结果表明道路积雪中重金属污染水平

不高。

### 2.3 积雪水质与降雨径流水质的比较

M点降雨径流及积雪水质统计结果见表4。

表4 M点降雨径流水质与积雪水质的比较

| 监测指标                                                 | 降雨径流 |           | 积雪   |           |
|------------------------------------------------------|------|-----------|------|-----------|
|                                                      | 平均   | 范围        | 平均   | 范围        |
| 氯化物/mg · L <sup>-1</sup> **                          | 36.6 | 10.1~794  | 2092 | 69.1~4870 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/mg · L <sup>-1</sup> | 2.79 | < ~14.9   | 4.33 | 0.16~8.74 |
| TN/mg · L <sup>-1</sup>                              | 8.32 | 1.56~40.8 | 5.9  | 0.89~9.71 |
| TP/mg · L <sup>-1</sup>                              | 0.33 | 0.07~1.06 | 0.3  | 0.04~0.66 |
| COD/mg · L <sup>-1</sup> **                          | 125  | 10 421    | 570  | 134~1 350 |
| BOD/mg · L <sup>-1</sup> *                           | 178  | 3.6~1 248 | 64   | 34.2~139  |
| SS/mg · L <sup>-1</sup>                              | 503  | 34~3 236  | 5100 | —         |
| Cu/μg · L <sup>-1</sup>                              | 167  | 29~530    | 51.6 | < ~140    |
| Zn/μg · L <sup>-1</sup> **                           | 211  | 24~310    | 104  | 45~148    |
| Pb/μg · L <sup>-1</sup> **                           | 6.8  | < ~33     | 26   | < ~68     |
| Cd/μg · L <sup>-1</sup>                              | 0.6  | < ~3      | 5.12 | < ~19     |

\*. 在0.05水平上呈显著性差异，\*\*. 在0.01水平上呈显著性差异。

由表4看出，降雨径流中TN、TP、BOD、Cu、Zn的平均浓度高于积雪，可能因为降雨对车辆瞬时排放污染物的携带能力较强。积雪中氯化物、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、COD、SS、Pb及Cd的含量更高，由于冬季道路融雪剂的使用，积雪中氯化物浓度高于降雨径流是显而易见的；而积雪中氨氮污染较高可能与积雪对大气沉降污染物的附着能力更强有关；COD较高可能与取样操作有关，积雪取样是用铲子直接在地表取样，由于M点积雪处于半融化状态，因此雪样中可能掺杂了较多的

地表沉积物,而降雨径流中仅仅是水流可以携带的沉积物;积雪中SS浓度达到降雨径流的10倍以上,一方面可能与道路融雪剂的喷撒有关,另一方面可能与冬季汽车发动机的冷启动有关,Viklander<sup>[10]</sup>就曾提出冷发动机产生的颗粒物是热发动机的2~8倍;融雪剂中经常加入Pb以防止积雪凝固<sup>[21-22]</sup>,这可能导致积雪中的Pb污染高于降雨径流;而镉污染除了来自交通外,还与燃煤排放有关<sup>[23]</sup>,因此北京冬季的燃煤取暖可能导致积雪中的镉含量更高。对积雪与降雨径流中各污染

物的浓度进行*t*检验发现,除COD、BOD、Zn、Pb的差异显著外( $P < 0.05$ ),其他污染物没有显著性差异。总体上,并不能确定降雨径流和积雪的污染程度高低,这与两者都受众多因素的影响有关<sup>[9,12,24-25]</sup>。

2009-11-9、2010-1-2降雪而降水量分别为15和10 mm,与2010-6-13、2011-7-29降雨的降水量13.3、11.2 mm接近,对这4场降水的水质比较结果见表5。

表5 近似降水量条件下降雨径流与积雪水质的比较

| 降水时间           | 降水量/mm | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | TN   | TP   | COD | SS   |
|----------------|--------|---------------------------------|------|------|-----|------|
| 2010-6-13 降雨径流 | 13.3   | 3.15                            | 6.83 | 0.29 | 75  | 638  |
| 2009-11-9 积雪   | 15.0   | 0.16                            | 0.89 | 0.41 | 380 | 5100 |
| 2011-7-29 降雨径流 | 11.2   | 2.91                            | 4.83 | 0.08 | 35  | 70   |
| 2010-1-2 积雪    | 10.0   | 5.80                            | 9.71 | 0.66 | 228 | —    |

由表5可知,近似降水量条件下,积雪中TP、COD、SS的平均浓度高于降雨径流,李怀恩等<sup>[15]</sup>也得出了融雪径流中TP浓度高于降雨径流的结果,而积雪中COD、SS浓度较高,可能与上文提到的取样操作、喷撒融雪剂、汽车发动机冷启动等有关。

### 3 积雪污染防治措施

从以上分析可以得出,交通活动、氯盐融雪剂使用、大气降尘是积雪污染的可能来源,但由于交通活动的随机性、大气降尘的广泛性和复杂性,控制氯盐融雪剂的使用是控制积雪污染的可行措施。氯盐类融雪剂是传统的道路融雪剂类型,在北美和欧洲也曾大量使用<sup>[26]</sup>,其造成的累积性环境问题已经得到普遍的共识<sup>[5,27]</sup>。目前国内外正在加紧研制的“环保型融雪剂”,主要是一些有机或无机的盐、胺、醇等,如醋酸钾、乙酸镁钙、亚硝酸钠等,这类融雪剂和氯盐类融雪剂的融雪原理相同,只是没有氯离子,对环境的腐蚀作用相对较小,但其成本较高,一般来说,非氯盐类的价格是氯盐类的15~30倍<sup>[28]</sup>,而且这类融雪剂也难以保证对环境是绝对安全的。从融雪效能、速度、技术、成本等方面看,氯盐类融雪剂仍然难以取代。借鉴发达国家消除积雪、同

时减轻融雪剂负面作用的经验,控制融雪剂污染的主要措施包括:

(1)最根本、有效的措施即是从源头上减少氯盐类融雪剂的使用,欧美国家的做法是大力倡导“以机械除雪为主,以融雪剂融雪为辅”,尽量少用或不用融雪剂。

(2)对于难以铲除的坚冰,使用枯树枝屑、锯木屑、碳粒、沙土等渣类物质代替融雪剂,增加地表温度、促进冰层融化,在使用后还可以回到土壤里转化为肥料,增加土壤的通透性,改善土质,同时还可以增加车辆与地面的摩擦力,防止路滑失控。

(3)当必须施用融雪剂时,融雪剂必须符合相关标准,并严格控制使用量,规范使用方法。以北京为例,北京市质量技术监督局于2012年公布了地方标准《融雪剂》(DB11/T 161-2012),对环保型道路融雪剂的21项质量技术指标做出了详细规定。同时,北京市市政管理委员会出台了《北京市融雪剂使用管理办法》,对融雪剂的科学使用进行了规定。

(4)对于出现过量滥施融雪剂的事件,应作为责任事故追究。

(5)加强宣传教育,提高市政工作者的责任意识及普通民众爱护自然、自觉保护环境、与

自然和谐相处的意识。

## 4 结论

(1) 道路积雪中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、COD、SS、Cd等污染物主要来自交通活动,氯化物主要来自氯盐融雪剂,BOD、Cu、Zn、Pb等污染物在一定程度上受交通活动的影响,但BOD主要受人类活动的影响,重金属Pb、Zn主要受大气降尘的影响,Cu主要受汽车刹车的影响。

(2) 与《地表水环境质量标准》相比,道路积雪中主要污染物为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、COD、BOD和氯化物,Cu、Zn、Pb、Cd等重金属的污染水平不高,可达到V类水体标准。与国外研究结果相比,道路积雪中Cu、Zn、Pb、Cd等重金属的污染水平也不高。

(3) 与相同地点降雨径流的水质相比,降雨径流中TN、TP、BOD、Cu、Zn的平均浓度高于积雪, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、COD、SS、Pb、Cd则低于积雪;近似降水量条件下,积雪中TP、COD、SS的平均浓度高于降雨径流。

(4) 北京道路旁氯盐融雪剂的喷撒量远大于国外水平,且主干道使用量远高于人行道。目前条件下,控制氯盐类融雪剂的使用是控制积雪污染的可行措施,可通过源头减少使用量、使用替代融雪剂、严格融雪剂标准和使用方法、严肃责任追究、加强宣传教育等方面减轻融雪剂负面作用。

文章仅仅是通过实地监测,对道路积雪污染做出的初步研究。解析积雪污染物的具体来源,并制定有针对性的防治措施,则需要分别对大气降尘、道路融雪剂、交通活动等对积雪污染物的贡献进行进一步的深化研究。此外,积雪融化时融雪水对地表沉积物的携带也可能加剧融雪水污染,地表沉积物对积雪污染的贡献也是不可忽视的。

## 参考文献

- [1] Gromaire-Mertz M C, Chebbo G, Saad M. Origins and characteristics of urban wet weather pollution in combined sewer systems: the experimental urban catchment "Le Marais" in Paris[J]. *Water Science and Technology*, 1998, 37(1):35-43.
- [2] Deletic A. The first flush load of urban surface runoff[J]. *Water Research*, 1998, 32(8):2462-2470.
- [3] Barrett M E, Irish Jr L B, Malina Jr J F, et al. Characterization of highway runoff in Austin, Texas, area[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1998, 124(2):131-137.
- [4] 甘华阳, 卓慕宁, 李定强, 等. 广州城市道路雨水径流的水质特征[J]. *生态环境*, 2006, 15(5): 969-973.
- [5] Engelhard C, De Toffol S, Lek I, et al. Environmental impacts of urban snow management—The alpine case study of Innsbruck[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, 382(2-3):286-294.
- [6] Westerlund C, Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 362(1-3):143-156.
- [7] Reinosdotter K, Viklander M. A comparison of snow quality in two Swedish municipalities - Luleå and Sundsvall[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2005, 167(1-4):3-16.
- [8] Viklander M. Snow quality in the city of Luleå, Sweden—time-variation of lead, zinc, copper and phosphorus[J]. *Science of the Total Environment*, 1998, 216(1-2):103-112.
- [9] Viklander M. Substances in urban snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Luleå, Sweden[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, 114(3-4):377-394.
- [10] Viklander M. Dissolved and particle-bound substances in urban snow[J]. *Water Science and Technology*, 1999, 39(12):27-32.
- [11] Reinosdotter K, Viklander M. Road salt influence on pollutant releases from melting urban snow[J]. *Water Quality Research Journal of Canada*, 2007, 42(3):153-161.
- [12] Reinosdotter K, Viklander M. Handling of urban snow with regard to snow quality[J]. *Journal of environmental engineering*. 2006, 132(2): 271-278.
- [13] 刘薇, 金一和, 全变, 等. 沈阳市降雪中PFOS和PFOA污染现状调查[J]. *环境科学*, 2007, 28(9): 2068-2073.
- [14] 高博, 徐玲玲, 周怀东, 等. 北京市中心城区降雪中金属元素浓度分布特征[J]. *环境化学*, 2011, 30(2): 561-562.
- [15] 李怀恩, 刘增超, 秦耀民, 等. 西安市融雪径流污染特性及其与降雨径流污染的比较[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(11): 2795-2802.
- [16] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. *水和废水监测分析方法(第四版增补版)*[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] Lygren E, Gjessing E, Berglund L. Pollution transport from a highway[J]. *Science of the Total Environment*, 1984, 33(1-4):147-159.
- [18] 丛日晨, 李芳, 古润泽. 融雪剂对城市园林植物伤害机理的研究[J]. *中国园林*, 2005, 21(012): 60-64.
- [19] Sansalone J J, Glenn Iii D W. Accretion of pollutants in snow exposed to urban traffic and winter storm maintenance activities. I[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, 128(2):151-166.
- [20] Glenn Iii D W, Sansalone J J. Accretion and partitioning of heavy metals associated with snow exposed to urban traffic and winter storm maintenance activities. II[J]. *Journal of Environmental Engineering*, 2002, 128(2):167-185.
- [21] 骆虹, 罗立斌, 张晶. 融雪剂对环境的影响及对策[J]. *中国环境监测*, 2004, 20(1): 55-57.
- [22] Field R, Struzeski E J, Masters H E, et al. Water Pollution and Associated Effects from Street Saltation[J]. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 1974, 100(2):459-477.
- [23] Dallinger R, Berger B, Birkel S. Terrestrial isopods: useful biological indicators of urban metal pollution[J]. *Oecologia*, 1992, 89(1):32-41.
- [24] Shinya M, Tsuruho K, Konishi T, et al. Evaluation of factors influencing diffusion of pollutant loads in urban highway runoff[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 47(7-8):227-232.
- [25] 赵剑强, 邱艳华. 公路路面径流水污染与控制技术探讨[J]. *长安大学学报: 建筑与环境科学版*, 2004(3), 3: 50-53.
- [26] Oberts G L, Marsalek J, Viklander M. Review of water quality impacts of winter operation of urban drainage[J]. *Water Quality Research Journal of Canada*, 2000, 35(4):781-808.
- [27] Kelly V R, Lovett G M, Weathers K C, et al. Long-term sodium chloride retention in a rural watershed: legacy effects of road salt on streamwater concentration[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 42(2):410-415.
- [28] 代琳琳, 赵晓明. 融雪剂的环境污染与控制对策[J]. *安全与环境工程*, 2005, 11(4): 29-31.