

车载木材熏蒸污染物扩散预测及污染防治措施

屈广义^{1,2}, 丁峰³, 任南琪¹, 戴永立³

(1. 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 150090 哈尔滨, quguangyi@tsdig.com; 2. 铁道第三勘察设计院集团有限公司 机械环工处, 300251 天津; 3. 国家环境保护部环境评估中心 环境质量模拟重点实验室, 100012 北京)

摘要: 车载木材熏蒸散气是一种特殊形式的污染排放, 其排放的熏蒸气体溴甲烷对人和动物均可造成严重的神经系统及呼吸系统损害。以同江木材熏蒸场为例, 通过分析车载木材熏蒸工艺和散气特点, 选择 aermod 模式系统中的体源模式进行熏蒸污染扩散模拟, 并进行污染影响分析。结果表明: 溴甲烷高值质量浓度集中在熏蒸线周围, 并多发生在夜间; 离熏蒸线越远, 溴甲烷超标率越低。结合熏蒸气体溴甲烷的预测结果和最大超标距离计算, 提出熏蒸场环境防护距离和污染防治对策。

关键词: 车载木材熏蒸; 溴甲烷; 预测模式; 污染防治措施

中图分类号: TH133; TP183 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2011)08-0070-06

Diffusion prediction and pollution control measures of fumigation pollutants of wood in train

QU Guang-yi^{1,2}, DING Feng³, REN Nan-qi¹, DAI Yong-li³

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China, quguangyi@tsdig.com;

2. Department of Mechanical and Environmental Engineering, the 3rd Railway Survey and Design Institute, 300251 Tianjin, China;

3. Key Laboratory of Environmental Quality Modeling, Ministry of Environmental Protection, 100012 Beijing, China)

Abstract: As a special form of pollution emissions, the fumigation gas of $\text{CH}_3 - \text{Br}$ discharged by log in train causes serious damage to the nervous system and respiratory system of human and animals. This paper took Tongjiang log fumigation site for example, selected body source model of AERMOD to simulate the diffusion of fumigation pollution and analyzed the impact of pollution. Results showed that high concentration of $\text{CH}_3 - \text{Br}$ was centered in the surroundings of fumigation lines and most occurred at night. The farther away from the fumigation line, the lower the excess standard rate of $\text{CH}_3 - \text{Br}$. With the prediction and the calculated maximum distance, pollution control measures were proposed for the fumigation field.

Key words: log fumigation in train; $\text{CH}_3 - \text{Br}$; prediction model; pollution control measures

进口原木往往含有大量的病虫害, 这些害虫的存在不仅对木材造成较大危害, 也会对口岸地区生态环境造成严重破坏。因此, 国家防疫检验检疫局规定, 对进口原木必须进行熏蒸杀虫防疫处理^[1]。目前国内各大港口对进口的木材多采用熏蒸库进行熏蒸, 如福建莆田木材熏蒸场^[2]。而我国北方由于气候原因在口岸对进口木材常采用车载熏蒸的方式进行除害。车载熏蒸是一种敞开式作业方式, 其排放的熏蒸气体溴甲烷对人和动物

均可导致严重的神经系统及呼吸系统损害。因此, 有必要研究熏蒸气体溴甲烷的扩散规律, 控制对周围环境空气的污染, 在实现杀虫防疫目的的同时, 保证熏蒸操作人员及附近敏感目标人群不受伤害。本文以同江木材熏蒸场为例, 通过分析车载木材熏蒸工艺, 探讨熏蒸污染源和污染物扩散规律, 预测溴甲烷大气污染扩散的质量浓度和范围, 提出熏蒸场环境防护距离和污染防治对策。

1 车载木材熏蒸工艺分析

1.1 车载木材熏蒸原理及操作流程

1.1.1 溴甲烷熏蒸原理

收稿日期: 2010-11-26.

作者简介: 屈广义(1965—)女, 博士研究生, 高级工程师;

任南琪(1959—)男, 博士生导师, 中国工程院院士。

溴甲烷熏蒸杀虫是在一定的温度条件下(一般不低于 5 ℃), 在一个密闭的空间施入一定量的溴甲烷, 并保持一定的密闭时间(16 ~ 24 h) 和一定的熏蒸气体质量浓度, 使密闭空间内的害虫接受一定量的熏蒸药剂, 保证木材携带的害虫死亡率达到规定的检疫要求。

1.1.2 车载熏蒸操作流程

根据木材数量、有害生物种类和现场气象条件(温度、湿度、风力等), 制定熏蒸方案, 确定投药量和密闭时间。将一定规格的帐幕覆盖在装载原木的每节车厢上, 帐幕垂至车厢外, 在车厢四周用长条状砂袋将帐幕压严固定, 并用封糊纸将车厢四周缝隙缝严, 然后对帐幕进行查漏。

向帐幕内按已计算好的投药量施药, 液态溴甲烷经气化器气化在幕帐内迅速达到原木熏蒸需要的起始质量浓度。熏蒸期间全过程监测控制帐幕内溴甲烷质量浓度, 并适时加药保持溴甲烷质量浓度符合规定的要求。木材熏蒸密闭达到规定的时间(一般 16 ~ 24 h) 且帐幕内溴甲烷质量浓度不低于初始质量浓度的 50% 后, 掀开幕帐散气(散毒)^[3]。经过大致 2 ~ 4 h 的散气, 木材内溴甲烷残留质量浓度低于 21 mg/m³ 后, 车辆放行。

1.2 车载熏蒸散气特点

由于溴甲烷熏蒸剂的蒸汽压大于外部大气压, 幕帐内的溴甲烷有可能通过幕帐孔洞、裂缝向外泄漏, 但由于木材熏蒸通常使用高致密帐幕, 并在熏蒸前进行查漏, 熏蒸过程中溴甲烷很少泄漏, 溴甲烷排放主要发生在散气阶段。

1.3 熏蒸气体溴甲烷理化性质及毒害

溴甲烷是一种无色无味的液体, 具有强烈的熏蒸作用, 能高效、广谱地杀灭各种有害生物, 对人和动物均可致严重的神经系统及呼吸系统损害。木材熏蒸使用药剂溴甲烷分子式为 CH₃-Br, 相对分子质量 94.95, 相对密度 1.730 (0/4 ℃), 沸点 3.6 ℃, 自燃点 537.22 ℃, 蒸气密度 3.27, 蒸气压 243.18 kPa 25 ℃。

2 车载木材熏蒸污染影响预测方法

2.1 同江木材熏蒸场概况

黑龙江省同江口岸从俄罗斯进口大量木材,

表 1 大气污染源参数

污染源名称	起点坐标	终点坐标	体源			年排放小时数/ h	溴甲烷排放速率/ (g·s ⁻¹)
			高度/m	长/m	宽/m		
熏蒸场	(-645, 652)	(9, 1, 674)	4.5	900	3.0	464	108

2.3.2 预测参数

木材货车作为体源有着超长的特点, 因此, 在

根据国家防疫检疫要求, 拟建熏蒸场对进口木材进行车载熏蒸。熏蒸场拟建于同江口岸铁路换装站内, 从换装站南咽喉引出两条铁路线作为木材熏蒸线, 可同时熏蒸 2 列货车木材, 每条熏蒸线长 1 050 m。熏蒸场周围地势平坦, 主要为农业用地, 周围有头村和二村等村民点。

2.2 预测模式选择

溴甲烷蒸汽密度虽较空气重 3 倍, 但充入到幕帐后成为混合气体, 散气时最高质量浓度在 60 ~ 120 mg/m³, 依据重气定义^[3], 此时混合气体为非重气体, 因此, 预测溴甲烷扩散质量浓度不能选用重气预测模式。车载木材熏蒸整列车散气时溴甲烷沿列车线形释放, 因此, 污染源排放具线性排放特征, 但又不同于道路汽车尾气的线性排放。

经采用 AERMOD 模型中的多种预测模式进行对比预测, 并与绥芬河向阳木材熏蒸场的监测数据^[4]和满洲里木材熏蒸场现场调查情况进行验证对比, 及反复多次试算后, 最终选择 AERMOD 模型中的体源模式进行预测分析熏蒸散气时污染物扩散质量浓度的分布。

2.3 溴甲烷排放速率及预测参数设置

2.3.1 溴甲烷排放速率

根据原木熏蒸规定^[5], 环境温度在 5 ~ 15 ℃ 时, 溴甲烷的剂量起始质量浓度应达 120 g/m³, 环境温度在 15 ℃ 以上时, 溴甲烷的剂量起始质量浓度应在 80 g/m³。根据对满洲里和绥芬河木材熏蒸场的调查, 一般一节车厢装载约 70 m³ 木材, 帐幕密闭体积约为 120 ~ 130 m³, 则空间体积为 50 ~ 60 m³, 以环境温度 5 ~ 15 ℃ 时药剂使用量计算, 每节车厢大致需 7.2 kg 的溴甲烷。每列货车按 60 节车厢计算, 最大初始药用量为 432 kg/次。

根据散气前幕帐内溴甲烷质量浓度不低于投药质量浓度 30% ~ 50% 的规定, 散气时帐幕内最大溴甲烷质量浓度约为 60 mg/m³, 扩散排放量为 3.6 kg/节。一节 60 节车厢的货车熏蒸, 溴甲烷排放量为 216 kg/次。按溴甲烷在 2 h 内均匀排放计, 排放速率为 30 g/s。估算出的同江木材熏蒸场大气污染源排放参数见表 1。

预测时将列车体源划分成多个间隔的单体源, 其间隔体源参数的设置见表 2。

表2 木材熏蒸污染源划分参数设置

体源间隔划分的单源	中心坐标 (X, Y, Z)	单源一般参数				初始扩散参数		排放速率/(g·s ⁻¹)
		X向宽度/m	Y向长度/m	旋转角度	释放高度/m	横向σ _y	垂直σ _z	
源1	-645 652 48							
源2	-595 732 49							
源3	-545 842 50							
源4	-455 972 49							
源5	-342 1153 49							
源6	-291 1198 50							
源7	-251 1278 48	3	30	29	4.5	37.21	2.08	2.5
源8	-179 1383 47							
源9	-147 1431 46							
源10	-91 1551 48							
源11	-41 1614 49							
源12	9 1674 49							

2.4 预测范围

根据大气导则中的预测原则,选择以木材熏蒸线为中心周围10 km范围作为预测和计算区域.网格点设置为50行×100列,共5 000个点,设置头村和二村两个离散点.

2.5 预测内容与计算方法

为预测木材熏蒸排放气体溴甲烷最大质量浓度分布特点,采用特定时段的气象资料逐日逐次预测熏蒸场预测范围内溴甲烷质量浓度分布,包括溴甲烷扩散最大地面小时和日均质量浓度,预测时间段内第N大值小时和日均质量浓度分布,以及预测范围内各点小时质量浓度超标次数与超标率,网格点的大值小时质量浓度发生时间,同时估算溴甲烷环境保护距离.

由于温度和虫害繁殖等方面原因,同江木材熏蒸作业一般在每年的5月初到9月末进行,故污染气象条件选用同江气象观测站2009年5月1日~9月30日的地面气象观测数据.

3 预测结果与影响分析

3.1 溴甲烷环境质量执行标准

《环境质量空气标准》(GB3095—1996)和《大气污染物综合排放标准》(GB16297—1996)中均无溴甲烷的环境质量标准,我国职业卫生标准《工作场所有害因素职业接触限值》(GBZ2.1—2007)中规定了溴甲烷职业接触限值时间加权允许质量浓度为2 mg/m³.

3.2 预测结果与分析

3.2.1 溴甲烷小时地面质量浓度最大值、位置及时间

预测模型可预测出网格中每一点的最大质量浓度和发生时间,从中筛选出最大地面小时质量浓度和发生时间(见表3、4).从输出的所有网格各点的小时质量浓度看,每一点小时最大值基本发生在每天的20:00~6:00,表5为前10大溴甲烷落地小时质量浓度、位置、发生时间及其对应的

表3 溴甲烷地面质量浓度各点小时质量浓度第一大值(含最大值)

mg·m⁻³

Y	X						
	-560	-333	-106	121	348	575	802
2 636	6.54	7.34	3.34	3.28	8.37	10.7	2.90
2 504	6.62	7.44	3.73	4.12	15.1	4.61	3.22
2 372	7.00	7.35	4.20	5.15	20.7	3.95	4.29
2 240	7.53	7.53	4.78	7.16	15.2	4.49	1.11
2 108	7.56	8.45	6.92	15.4	6.01	12.0	10.5
1 976	6.73	8.79	6.57	29.1	8.85	12.5	7.75
1 844	6.46	6.33	8.16	18.9	14.0	10.0	5.29
1 712	7.49	10.1	13.1	13.8	13.4	8.10	7.15
1 580	7.98	8.75	24.2	16.7	8.36	5.60	5.70
1 448	8.90	10.9	23.6	10.3	8.20	6.77	6.03
1 316	9.70	16.8	13.7	8.98	7.85	7.20	5.96
1 184	10.6	23.9	11.3	7.73	7.13	3.80	3.47

气象条件,可以看出质量浓度大值集中在熏蒸线附近,发生时间在夜晚.基本发生在夏季的7、8、9

月份,说明夜间由于风速小、低云、大气稳定程度高,不利于污染物扩散.

表 4 溴甲烷地面各点小时质量浓度第一大值发生时间(含最大值)

年/月/日/小时

Y	X						
	-560	-333	-106	121	348	575	802
2 636	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/28/02	09/07/26/23	09/07/25/02	09/07/25/02	09/07/26/01
2 504	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/28/02	09/07/26/23	09/07/25/02	09/07/25/02	09/07/26/01
2 372	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/28/02	09/07/26/23	09/07/25/02	09/07/26/01	09/08/06/01
2 240	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/28/02	09/07/25/02	09/07/25/02	09/07/26/01	09/08/06/01
2 108	09/08/06/02	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/25/02	09/07/26/01	09/08/06/01	09/08/06/01
1 976	09/08/06/02	09/08/06/02	09/07/28/02	09/07/25/02	09/08/06/01	09/08/06/01	09/08/06/01
1 844	09/07/27/02	09/08/06/02	09/07/02/22	09/07/25/02	09/08/06/01	09/08/06/01	09/08/06/01
1 712	09/08/19/05	09/07/02/22	09/07/25/02	09/08/06/01	09/08/06/01	09/07/26/03	09/07/26/03
1 580	09/07/02/22	09/08/01/05	09/07/25/02	09/08/06/01	09/08/06/01	09/07/26/03	09/07/26/03
1 448	09/08/01/05	09/09/14/05	09/07/26/01	09/08/06/01	09/07/26/03	09/07/26/03	09/07/26/03
1 316	09/08/01/05	09/08/10/06	09/08/06/01	09/08/06/01	09/07/26/03	09/07/26/03	09/07/26/03
1 184	09/08/10/06	09/07/18/01	09/07/02/23	09/07/03/23	09/07/18/23	09/07/26/03	09/07/26/03

表 5 溴甲烷地面小时质量浓度前 10 大值、位置、时间及气象条件

序号	位置坐标		时间 年/月/日/小时	质量浓度 mg · m ⁻³	风速 m · s ⁻¹	总云	低云	温度 ℃
	x	y						
1	121	1 976	09/07/25/02	29.1	0.2	5	5	16.7
2	-106	1 580	09/07/25/02	24.2	0.2	5	5	16.7
3	-333	1 184	09/07/18/01	23.9	1.3	6	6	16.8
4	-333	1 184	09/07/09/03	23.9	1.2	3	3	16.0
5	-333	1 184	09/08/08/20	23.7	1.3	1	0	26.0
6	-333	1 184	09/07/18/02	23.7	1.4	6	6	16.4
7	-106	1 448	09/07/26/01	23.6	0.8	1	0	17.9
8	-333	1 184	09/07/27/20	23.5	1.4	3	0	23.5
9	-106	1 448	09/07/03/05	23.4	0.8	0	8	19.6
10	-106	1 448	09/07/26/05	23.3	1.1	0	0	19.2

注: 预测原点见图中坐标(0 0).

3.2.2 溴甲烷地面小时质量浓度分布及超标面积
图 1、2 为预测范围内各点小时质量浓度的第 1 大值和第 10 大值等值线图,可以看出,预测期内溴甲烷小时质量浓度分布受风向影响,质量浓

度 > 2 mg/m³ 的超标面积为 37.9 km²,其中围绕熏蒸线附近 1.29 km² 范围内溴甲烷质量浓度在 29.1 ~ 10.0 mg/m³,说明高值质量浓度主要集中在熏蒸线附近,越向外围第一大值质量浓度越低,低值质量浓度的面积在总超标面积中所占比例最大.图 2 为预测范围内各点第 10 大值质量浓度,预测范围内溴甲烷质量浓度 > 2 mg/m³ 的超标面积只有 4.01 km²,与第一大值质量浓度时的超标面积相比减少了 33.89 km²,说明这个面积内各点至多有 10 个小时的质量浓度超标,图 2 中溴甲烷小时质量浓度值在 6 ~ 23 mg/m³ 之间的分布在距离熏蒸线大约 250 m 范围内.

3.2.3 溴甲烷质量浓度超标次数和超标率

预测输出文件中,图 3、4 显示了预测各点的超标次数和超标率,可以看出,围绕熏蒸线溴甲烷小时质量浓度超标次数最多,超标次数最大值为 1 020 h,最大超标率仅为 27.8%,距离熏蒸线越远,网格点的溴甲烷质量浓度超标次数越少,超标率也越低,图 4 中超标率 > 0.1% 的超标面积仅为

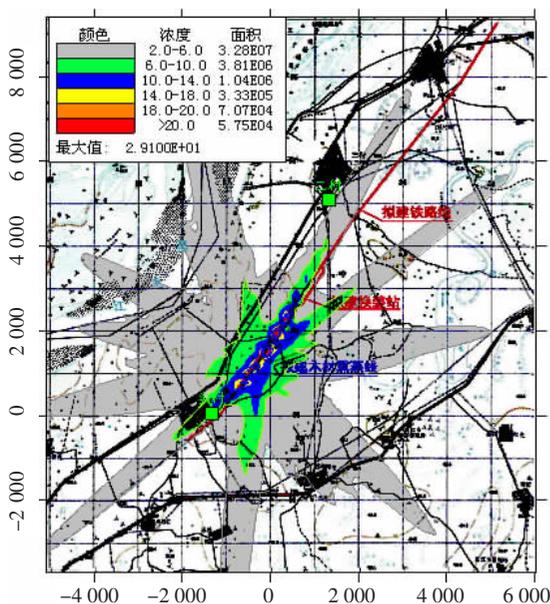


图 1 溴甲烷第 1 大值小时质量浓度分布图

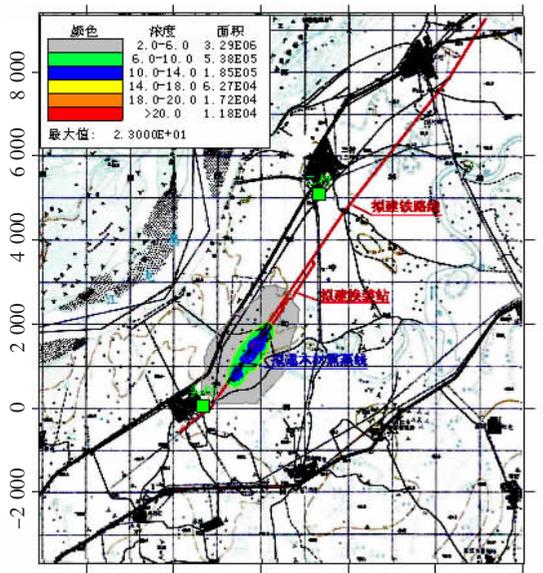


图2 溴甲烷第10大值小时质量浓度分布图

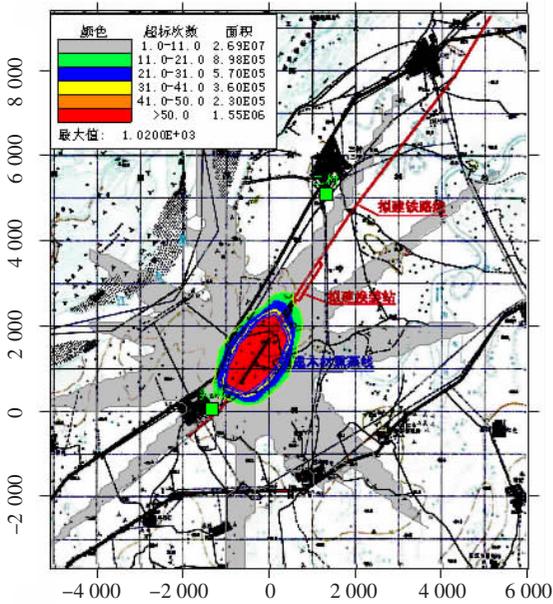


图3 溴甲烷小时质量浓度超标次数

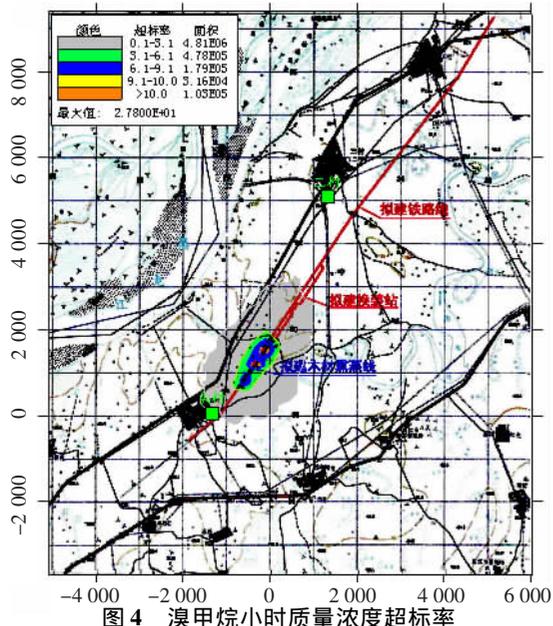


图4 溴甲烷小时质量浓度超标率

5.51 km²,超标点距离熏蒸线的最大距离约为1 000 m;超标率 > 3.1% 的超标面积仅为0.7 km²,超标点距离熏蒸线最大距离约为250 m.

3.2.4 溴甲烷典型日均质量浓度分布

图5和图6为溴甲烷最大地面质量浓度出现日和一个普通日的质量浓度等值线图,可以看出,高值质量浓度落地点集中在熏蒸线附近,污染物质量浓度分布在下风方向,最大质量浓度出现日为8月5日,超标面积为0.69 km²,9月28日超标面积为0.48 km².

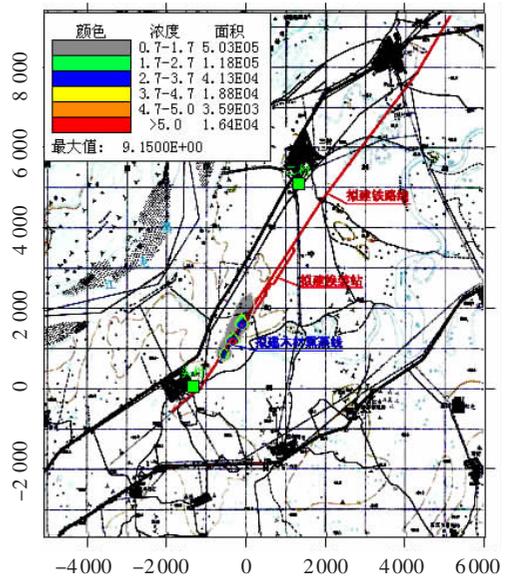


图5 典型日(2009-08-05)日均质量浓度等值线

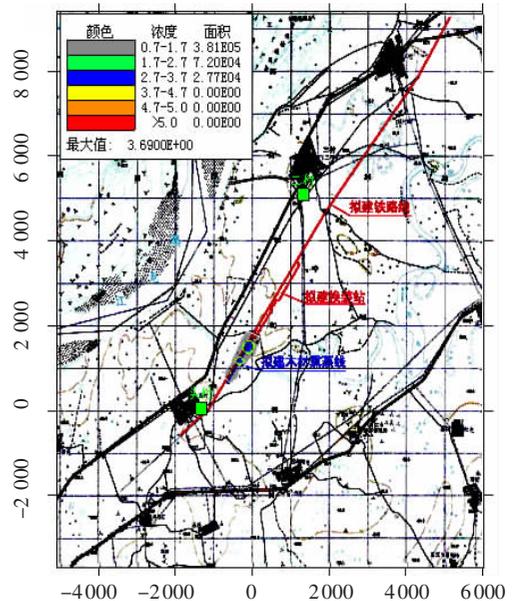


图6 2009-09-28日均质量浓度等值线图

3.2.5 环境防护距离

SCREEN模型预测环境防护距离主要针对无组织排放面源,木材熏蒸场污染物虽以体源形式

进行扩散,但也属于无组织排放,要预测其环境防护距离,在预测时将体源高度作为面源高度来设置参数.环境防护距离计算结果为 250 m(表 6),图 7 为环境防护距离示意图,从图 7 与图 2、4 的比较来看,熏蒸场环境防护距离基本落在超标率 >3.1% 和第 10 大值质量浓度大于 6 mg/m^3 的范围内,超过这个范围,网格各点的超标率已很低.

3.3 预测结论

同江木材熏蒸场溴甲烷最大小时质量浓度和日均质量浓度发生时间均在每天的 20:00 ~

6:00,也就是风速小、大气强稳定性的夜间气象条件下,且大值质量浓度集中在熏蒸线周围.事实上,一列货车熏蒸散气仅利用一天中的 2~4 h,木材熏蒸完全可以通过时间控制避开在夜间散气,溴甲烷污染物通过在有利的气象条件下扩散,可减小受污染面积,减轻对周围大气的污染.

根据环境防护距离预测结果,结合木材熏蒸小时质量浓度大值分布及质量浓度超标率,确定同江木材熏蒸场环境防护距离为 500 m.

表 6 熏蒸场环境防护距离计算结果

排放源	面积/ m^2	溴甲烷排放量/ $(\text{g} \cdot \text{s}^{-1})$	环境标准质量浓度限值/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	运行结果/ m	估算保护距离/ m
熏蒸线	1 000	30	2	200	250

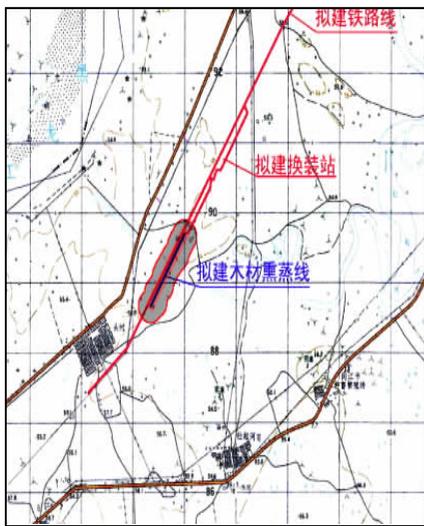


图 7 环境防护距离示意图

4 污染防治对策与措施

1) 熏蒸距离和时间控制.熏蒸线周围溴甲烷超标次数和超标率极高,因此,在熏蒸时,熏蒸场周围要设置警戒线,禁止没有佩戴防毒器械的人员进入.木材熏蒸应避免在每天的 20:00 ~ 6:00 进行熏蒸散气作业.

2) 防护距离控制.为保护熏蒸场周围村庄免受污染影响,在避免夜间熏蒸散气的同时,还需进行环境防护距离的控制.根据熏蒸场的环境防护距离计算和溴甲烷质量浓度分布预测,同江木材熏蒸场的环境防护距离设为 500 m.在该距离范围内的村庄应搬迁,同时禁止新建居民区和学校等环境敏感建筑.在此范围内,可进行绿化,种植植物,构成一定宽度的防护林带,从而有效吸附溴甲烷.

3) 熏蒸量和散气方式控制.由于溴甲烷释放量与其使用量有直接关系,为保证溴甲烷在大气环境防护

距离内达标,可控制和减少熏蒸木材的车皮数量,减少溴甲烷的使用量,从而降低其释放量.同时散气时采取逐步揭开帐幕的方式,避免同时掀开整列车帐幕使大量的残余溴甲烷同时释放,造成溴甲烷质量浓度的集中,增加空气的污染程度.

5 结论

1) 车载木材熏蒸是一种特殊形式的污染排放源,其污染排放呈现体源扩散特征.

2) 熏蒸散气过程溴甲烷小时最大落地质量浓度均发生在风速小、大气稳定度高的气象条件下,即夜晚 20:00 ~ 6:00,大值质量浓度落地点集中在熏蒸线附近,说明木材熏蒸场超标范围集中在熏蒸线附近较小的范围内.

3) 由于溴甲烷大值小时质量浓度均发生在夜间,如果避开在该时段内散气,可降低木材熏蒸对周围环境的污染.

4) 在采取控制熏蒸散气时间的同时,在熏蒸场周围还应设置环境防护距离,在该距离范围内,控制土地利用开发,禁止作为居住用地.

参考文献:

- [1] 李今中. 进境原木溴甲烷熏蒸除害处理技术[J]. 植物检疫, 2009, 23(4): 20-24.
- [2] 李建飞. 莆田进口木材检疫除害处理区溴甲烷污染影响分析与防治对策[J]. 能源与环境, 2006(4): 36-38.
- [3] 丁信伟. 可燃及毒性气体扩散研究[J]. 化学工程, 2000, 28(1): 33-36.
- [4] 徐贵升等. 溴甲烷熏蒸对周围环境的影响[J]. 林业科技, 2002, 27(1): 10.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局. 中国进境原木除害处理方法及技术要求[Z]. 北京, 2001. (编辑 刘彤)