

# 基于SLAB模型的有色金属冶炼行业涉SO<sub>2</sub>泄漏环境风险事故研究

李莉<sup>1</sup>, 范书凯<sup>1</sup>, 朱连明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>矿冶科技集团有限公司, 北京

<sup>2</sup>云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南 曲靖

Email: gogolily126@sohu.com

收稿日期: 2021年7月19日; 录用日期: 2021年8月20日; 发布日期: 2021年8月27日

## 摘要

本文以某铜冶炼厂贮存的涉SO<sub>2</sub>泄漏风险事故为研究对象, 基于SLAB模型, 模拟了最不利气象条件及当地常见气象条件下, 高浓度管道SO<sub>2</sub>泄漏、管道SO<sub>3</sub>泄漏及液态SO<sub>2</sub>储罐泄漏下产生的环境风险影响。文章结果给出了泄漏事故发生后的危险区域及范围。同时根据预测结果, 文章针对性地提出了有效风险防范措施, 为有色金属冶炼企业制定应急方案提供参考。

## 关键词

SLAB模型, SO<sub>2</sub>, 泄漏, 环境风险

# Research on Environmental Risk of SO<sub>2</sub> Leakage Accidents in Non-Ferrous Metal Smelting Industry Based on SLAB Model

Li Li<sup>1</sup>, Shukai Fan<sup>1</sup>, Lianming Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BGRIMM Technology Group, Beijing

<sup>2</sup>Yunnan Chihong Zn & Ge Co., Ltd., Qujing Yunnan

Email: gogolily126@sohu.com

Received: Jul. 19<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

This article was research on environmental risk of SO<sub>2</sub> leakage accidents in a copper smelter industry based on SLAB Model. The environmental risk effects of high concentration pipeline SO<sub>2</sub> leakage,

pipeline SO<sub>3</sub> leakage and liquid SO<sub>2</sub> storage tank leakage under the most adverse meteorological conditions and common local meteorological conditions were studied. According to the results, the range of dangerous area after leakage accident was given. At the same time, according to the prediction results, this paper puts forward effective preventive measures, which provides a reference for non-ferrous metal smelting enterprises to formulate risk emergency plans.

## Keywords

SLAB Model, Sulfur Dioxide, Leak, Environmental Risk

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

SO<sub>2</sub> 是重要的工业生产原料，也是主要的废气污染物之一。随着我国工业化进程的快速发展，SO<sub>2</sub> 泄漏事故不断发生。一般 SO<sub>2</sub> 泄漏会发生在运输、存储、使用过程中，也经常发生在硫磺制酸过程中[1]。在有色金属冶炼企业，涉 SO<sub>2</sub> 泄漏主要体现在金属冶炼过程中产生的高浓度 SO<sub>2</sub> 烟气制酸时发生的泄漏，同时也会伴生 SO<sub>3</sub> 泄漏。但冶炼企业还包括一些辅助生产工序，如贵金属提取工序，会存储高纯度的液态 SO<sub>2</sub>，用作还原剂生产有价金属，为此，该工序也有发生 SO<sub>2</sub> 泄漏的风险[2]。这些事故泄漏的 SO<sub>2</sub> 浓度高，且泄漏后会迅速扩散，造成大范围的危险区域，对当地的环境及附近人员造成伤害。为此，事先做好 SO<sub>2</sub> 的环境风险评价对于有色金属冶炼企业如何有效防范风险事故发生、确定安全范围以及风险事故发生后如何采取安全应急措施等，都是非常必要的。

目前，研究危险气体泄漏的风险模型有很多，如高斯模型、ALOHA、SLAB、DEGADIS 模型等[3]。有研究表明高斯扩散模型在研究物质泄漏后果分析中应用较多，但高斯模型主要适用于较轻气体的预测。另一个应用最多的是 SLAB 模型[4] [5] [6]。SLAB 模型适用于平坦地形下重质气体排放的扩散模拟，可以处理的排放类型包括地面水平挥发池、抬升水平喷射、烟囱或抬升垂直喷射以及瞬时体源，其可以模拟多组气象条件[7]，但不适用于真实条件下监测的实时气象数据输入。SLAB 不仅能模拟危险物泄漏初期的重气效应，还能模拟重气效应消失后的大气湍流扩散情景。崔萍等将 SALB 模型运用到液氨泄漏风险研究中[8] [9] [10]，另外 SLAB 模型已被运用到我国化工行业的 H<sub>2</sub>S、甲烷、液碱等气体泄漏事故的模拟预测中[11] [12]。但国内对该模型预测液态二氧化硫泄漏后果研究较少，目前仅有针对管道 SO<sub>2</sub> 风险扩散的研究[13]。为此本文以某有色金属铜冶炼厂为例，基于 SLAB 模型，对厂内制酸工艺的高浓度 SO<sub>2</sub> 泄漏和液态二氧化硫储罐泄漏事故进行环境风险评价，并划分风险区域范围，为企业和政府制定风险事故应急预案提供一定的借鉴意义。

## 2. 有色金属冶炼业涉 SO<sub>2</sub> 泄漏风险识别

通常在有色金属冶炼过程中，涉 SO<sub>2</sub> 泄漏通常发生在两种情景下。

情景一，在有色金属冶炼过程中，会产生高浓度的 SO<sub>2</sub> 烟气(一般体积浓度大于 7%)，该烟气可用来制酸，在制酸工程中，由于存在着转化、吸收，会伴随 SO<sub>3</sub> 的产生，这期间存在着 SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub> 泄漏风险，从而造成环境风险事故。例如 2006 年 9 月 3 日，某复合肥有限公司 60 万 t/a 硫磺制酸装置在试生产过程

中发生 SO<sub>2</sub> 泄漏事故, 致使附近部分居民出现不良反应, 先后有 184 人被送往医院接受观察。2010 年 5 月 7 日, 某化工股份有限公司硫酸生产线干吸工段一吸液下泵发生腐蚀性破损故障, 使 SO<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub> 泄漏引起的群体性中毒事件, 导致 59 名村民到医院就诊。

情景二, 在有色金属冶炼配套贵金属车间中, SO<sub>2</sub> 是重要生产材料, 通常储存在液态储罐中, 在储存和使用过程中都有发生事故的可能, 如 1988 年 8 月 10 日某有机化学厂在向罐车内贮存 SO<sub>2</sub> 气体时, 因空压机漏气, 造成大量 SO<sub>2</sub> 外泄并顺风向附近居民区和厂区弥散, 造成附近居民及 57 名夜班工人亦出现不同程度眼、上呼吸道粘膜刺激症状。1995 年 4 月 25 日, 某腈纶厂在露天 14 吨槽车上卸料过程中因阀门泄漏, 致使纯度为 99.9% 的液态 SO<sub>2</sub> 外溢, 造成操作人员及下风险车间和当地村民的急性 SO<sub>2</sub> 中毒等。由于有色金属冶炼工艺复杂, 危险物质较多, 为此情景二的液态 SO<sub>2</sub> 的环境风险也易被有色金属冶炼企业忽视, 通常在企业的环境风险评估报告、应急预案中缺乏体现。为此, 在有色金属冶炼行业, 两种情况的 SO<sub>2</sub> 泄漏事故造成的环境风险应引起人们足够的重视。

### 3. 环境风险影响研究

#### 3.1. 事故源项分析

某铜冶炼企业生产规模 55 万 t/a 阴极铜, 副产硫酸 196 万 t/a。企业周边 5 km 范围有 9 个村庄, 环境风险保护目标敏感。

该企业冶炼过程中产生的烟气二氧化硫为中间产物, 产生后立即随生产流程进入烟气制酸工艺, 不单独储存, 仅有生产流程中的在线量。假设 SO<sub>2</sub> 泄漏发生在净化进口前, 该冶炼系统管道及炉体的体积约为 4000 m<sup>3</sup>, 制酸净化进口前的烟气中, SO<sub>2</sub> 体积比为 15.34%, SO<sub>3</sub> 体积比为 10.74%。该企业贵金属车间液态二氧化硫最大存储量为 40 t, 存放在贵金属车间副跨专用库房内。液态二氧化硫泄漏根据两相流泄漏公式计算。发生泄漏的具体参数如表 1 所示。

Table 1. The calculation parameters of risk leakage

表 1. 风险泄漏计算参数

序号	事故工况与源强参数	SO <sub>2</sub> 泄漏	SO <sub>3</sub> 泄漏	液态 SO <sub>2</sub>
1	事故类型	管线泄漏	管线泄漏	储罐泄漏
2	容器压力 $P$ (Pa)	117825	117825	600000
3	环境压力 $P_0$ (Pa)	101325	101325	101325
4	裂口面积 $A$ (m <sup>2</sup> )	0.0707	0.0707	0.0003
5	裂口形状	圆形	圆形	圆形
6	分子量 $M$ (g/mol)	33*	40**	64
7	气体温度 $T_G$ (°C)	260	480	25
8	气体的绝热指数 $k$	1.3	1.3	/
9	容器裂口之上液位高度(m)	/	/	1
10	气体泄漏速率 $Q_G$ (kg/s)	15.0	13.9	1.23
11	SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> 占烟气的质量百分比	15.34%	10.74%	/
12	气体中 SO <sub>2</sub> 泄漏速率(kg/s)	2.30	1.50	/
13	全部泄漏时间(s)	10 s 和 30 s	10 s 和 30 s	300 s

注\*: 根据净化器烟气进口各物质含量计算得出; 注\*\*: 根据转化工段烟气各物质含量计算得出。

### 3.2. SLAB 模型参数

SLAB 模型由美国能源部劳伦斯利弗莫尔(Lawrence Livermore)国家实验室开发, 是用于重气释放源的大气扩散模型。SLAB 模型主要参数包括: 泄漏类型、泄漏物质属性、泄漏参数、气象数据等, 参数选取可实现优化组合[14]。根据当地气象条件, 企业所在地春夏秋冬气象条件如下, 另外, 给出了最不利气象条件[15], 以进行对比分析(表 2)。

**Table 2.** The calculation parameters for SLAB model

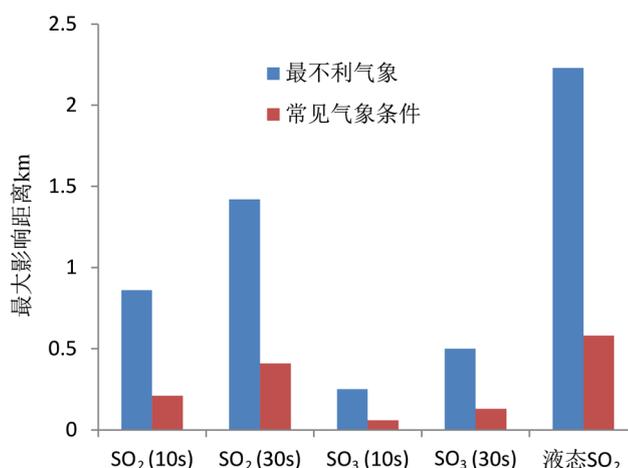
**表 2.** SLAB 模型主要参数表

参数类型	选项	参数	
气象参数	气象条件类型	最不利气象	最常见气象条件
	风速/(m/s)	1.5	2.74
	环境温度/℃	25	30.99
	相对湿度/%	50	75.8
	稳定度	F	D
其他参数	地表粗糙度/m	0.03	
评价标准	大气毒性终点浓度 1 级 SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	79/160 (大于该浓度可能对人群造成生命威胁)	
	大气毒性终点浓度 2 级 SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	2/8.7 (大于该浓度绝大多数人员暴露 1 h 不会对生命造成威胁)	

### 3.3. 预测结果及评价

在最不利条件下, 根据模拟结果, 当 SO<sub>2</sub> 管道泄漏发生 10 秒和 30 秒时, 气体泄漏产生的环境影响范围将增大, 铜厂周围达到大气毒性终点浓度 1 级的影响距离由 0.86 km 增加到 1.42 km, 已经超出厂界, 可影响附近村庄敏感点。SO<sub>3</sub> 管道泄漏也表现出同样的规律, 但由于 SO<sub>3</sub> 大气毒性终点浓度 1 级比 SO<sub>2</sub> 小了近 1 倍, 为此, 影响范围较小, 即使扩散 30 s 时也未超过 500 m。

液态 SO<sub>2</sub> 储罐泄漏在最不利气象条件情景下, 由于泄漏时间较长, 泄漏量大, 且先泄漏的液体立刻闪蒸为气体[16], 为此达到大气毒性终点浓度 1 级的影响距离在几种涉 SO<sub>2</sub> 风险情景中最大, 为 2.23 km。(图 1)在此种情景下, 需要制定相应的应急预案, 及时疏散群众。



**Figure 1.** The maximum distance at toxicity level 1

**图 1.** 毒性 1 级时最大影响距离

在当地常见气象条件下, 达到大气毒性终点浓度 1 级浓度的影响距离显著降低, 其主要是由于当地常见风速较大导致的, 当地常见风速可达 2.74 m/s, 有利于高浓度  $\text{SO}_2$  的扩散, 即使是液态  $\text{SO}_2$  储罐泄漏, 其最大影响距离也在 580 m 以内, 主要影响厂内工作人员。

超过大气毒性终点浓度 2 级的影响范围, 对于泄漏事故最严重的液态  $\text{SO}_2$  储罐来说, 最不利气象条件下可达 13.76 km, 即使在常见气象条件下, 也可达到 4.26 km。(图 2)这可能导致下风向大范围内群众会对泄漏事件有感。

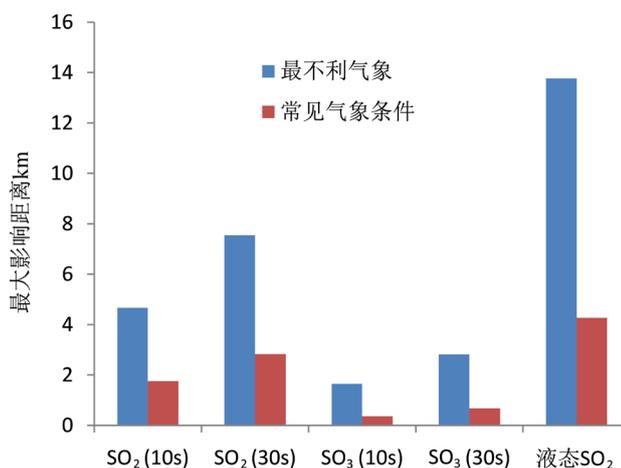


Figure 2. The maximum distance at toxicity level 2

图 2. 毒性 2 级时最大影响距离

#### 4. 风险管理措施

对含有大量  $\text{SO}_2$  烟气的管道, 应做到定期检修以及管道上各种阀门和仪表的检查, 以降低发生管道泄漏的风险。输送主管道应设立应急切断阀并与各发生炉相联系, 一旦发生管线泄漏, 应急切断阀可在 10 秒内作出反应, 以及时停止生产并切断烟气的输送, 避免  $\text{SO}_2$  发生更大面积的扩散, 造成较严重的环境影响。

对于液态  $\text{SO}_2$  储罐, 有色金属冶炼企业要给予足够的重视, 要设置明显的安全标志, 对管线、泵、阀以及报警监测仪表定期检、保、修, 每隔 2~3 年进行一次清理和大修, 每天要进行一次巡回检查。另外, 罐区还应考虑设在企业的下风向, 离工序或离人员较集中的地方 100 m 以上。

#### 5. 结论

本文以某铜冶炼厂贮存的涉  $\text{SO}_2$  泄漏风险事故为研究对象, 基于 SLAB 模型, 模拟了最不利气象条件及当地常见气象条件下, 高浓度管道  $\text{SO}_2$  泄漏、管道  $\text{SO}_3$  泄漏及液态  $\text{SO}_2$  储罐泄漏产生的环境风险影响。在设计应急切断阀情况下, 管道  $\text{SO}_2$  泄漏仅发生 10 s 泄漏, 其可能对人群造成生命威胁的影响范围可控制在 860 m 以内。在液态  $\text{SO}_2$  储罐泄漏情况下, 其可能对人群造成生命威胁的最不利影响范围可达 2.23 km, 有色金属冶炼企业需要重视此类环境风险问题, 根据泄漏事故发生后的危险区域及范围, 制定出应急预案, 以保证人群生命安全。

#### 参考文献

- [1] 宋家卫, 顾华康, 朱向辉, 孟菊. 一起  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$  气体泄漏致村民中毒的调查[J]. 职业与健康, 2011(3): 555-556.
- [2] 陈宇晓.  $\text{SO}_2$  贮罐不锈钢密封螺栓断裂原因分析及对策[J]. 腐蚀与防护, 2001(7): 318-320.

- 
- [3] 郭慧, 吴成志. 中美大气环境风险评价法规比较与建议[J]. 环境影响评价, 2017(1): 14-18.
- [4] 刘昕, 李晋生, 刘静, 闫海红, 殷勤. 水泥厂风险评价及 SLAB 模型的应用[J]. 环境工程, 2014(9): 139-141.
- [5] 徐静, 寿幼. 平散装液体化学品泄漏大气环境风险影响因素研究[J]. 绿色科技, 2019(18): 138-140.
- [6] 范荣洋, 高何凤. 某火电厂盐酸储罐泄漏的环境风险预测评价[J]. 红水河, 2020(2): 61-64.
- [7] 黄天龙, 杜蓉, 张丹. 镍冶炼企业二氧化硫烟气泄漏在不同气象条件下的扩散对比分析[J]. 甘肃冶金, 2021(2): 50-52.
- [8] 崔萍. 液氯泄露环境风险评价[J]. 环境科学与管理, 2012(8): 158-163.
- [9] 杨静翎, 凌敏. SLAB 模型在某工厂液氨泄漏应急响应中的应用[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(1): 102-106.
- [10] 邹旭东, 杨洪斌, 汪宏宇, 张云海, 刘玉彻. SLAB 在突发大气污染事件应急模拟中的应用[J]. 环境科学与技术, 2010(12): 588-590.
- [11] 莫欣岳, 李欢, 付鹏, 潘峰, 张镭氯. 甲烷泄露大气环境风险评价[J]. 安徽农业科学, 2016(28): 62-64.
- [12] 刘宏立, 漆宏, 付永川, 钱炜, 曹慧. SLAB 模型在氯碱化工企业环境风险事故中的应用[J]. 环境影响评价, 2019(5): 88-93.
- [13] 白飞, 楚敬龙, 林星杰. 我国某铅锌冶炼厂二氧化硫管道泄漏环境风险影响预测与评价[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会年会论文集. 2015: 1723-1726.
- [14] 熊发, 曹井国, 门晓晔, 杨宗政. SLAB 模型参数优化及其应用研究[J]. 安全与环境工程, 2015(5): 20-24.
- [15] 生态环保部. HJ/T 169-2018 建设项目环境风险评价技术导则[S]. 北京: 中国环境出版社, 2018.
- [16] 谭蔚, 刘潇, 刘玉金. 危险液化气体瞬时泄漏扩散数值模拟研究进展[J]. 化学工程, 2012(5): 46-49.