

工业废气二氧化硫的危害和检测方法

陈志伟

江苏优嘉植物保护有限公司 江苏 南通 226000

摘要: 工业废气二氧化硫是一种无色、有强烈刺激性气味的气体,对人体健康和生态环境造成严重危害。当环境中二氧化硫浓度达到5-10毫克/立方米时,会直接刺激呼吸道,引发咳嗽、气喘等症状;长期暴露可导致慢性支气管炎和心血管疾病。在环境方面,二氧化硫是形成酸雨的主要原因,导致土壤酸化、水体污染和建筑物腐蚀。为有效控制污染,目前主要采用碘量法、紫外荧光法及电化学传感器法等检测技术,为污染治理提供关键数据支持。

关键词: 工业废气; 二氧化硫; 危害; 检测技术; 检测方法

引言: 工业发展使二氧化硫排放量增加,其危害不容小觑。二氧化硫不仅会损害人体呼吸、心血管等多个系统,影响人体健康,还会对生态环境造成破坏,引发酸雨、加剧大气污染、干扰生物地球化学循环等。准确检测二氧化硫含量是有效防控污染的关键,了解不同检测技术原理和方法,对保障环境和人体健康具有重要意义。

1 二氧化硫对人体健康的危害

1.1 呼吸系统损伤

短期暴露于二氧化硫环境中,当环境中二氧化硫浓度达到5-10毫克/立方米时,容易引发咳嗽、气喘、喉咙痛等不适症状,这些症状多与呼吸道黏膜受到直接刺激相关^[1]。尤其是儿童、老年人以及患有哮喘等基础呼吸道疾病的人群,对二氧化硫的耐受性更低,短期暴露后可能出现症状加重的情况,甚至诱发哮喘急性发作,需要紧急医疗干预。长期持续暴露,若环境中二氧化硫平均浓度长期处于3毫克/立方米以上,会导致慢性炎症反应迁延不愈,逐步发展为慢性支气管炎,同时伴随肺功能的持续性下降,这种损伤往往具有不可逆性。二氧化硫能够直接刺激呼吸道黏膜,破坏黏膜表面纤毛的正常清除功能,使呼吸道对粉尘颗粒物等有害物质的过滤和排出能力显著降低,进而大幅增加呼吸道感染的发生概率。更值得注意的是,二氧化硫在体内还可能与其他污染物发生协同作用,比如与空气中的颗粒物结合后,会增强污染物的毒性,深入肺部细支气管及肺泡,进一步加剧肺部组织的损伤,增加患上肺气肿、肺纤维化等严重肺部疾病的风险。

1.2 心血管系统影响

二氧化硫进入人体后,会对心血管系统产生多重不良影响,其危害不仅体现在直接的血管反应上,还会通过全身性的炎症反应和氧化应激反应间接损伤心血管功能。当人体吸入的二氧化硫浓度达到2毫克/立方米时,

它可直接引发血管收缩反应,导致外周循环阻力增加,进而促使血压升高,这种短期的血压波动对于本身就患有高血压的人群来说,可能会增加脑出血、心绞痛等急性并发症的发生风险。长期接触,若环境中二氧化硫年均浓度达到1毫克/立方米,会加速血管壁脂质沉积,推动动脉粥样硬化的进程,使血管弹性逐渐减退、管腔狭窄。在此过程中,二氧化硫会激活体内的炎症因子,破坏血管内皮细胞的完整性,让脂质更容易在血管壁沉积形成斑块,而这些斑块一旦破裂,可能形成血栓,堵塞血管。在此基础上,会进一步提升心肌缺血、心律失常等多种心血管疾病的发生风险,严重时可能对血液循环的正常运行产生更严重的干扰,影响心脏、大脑等身体重要部位的血液供应,甚至诱发心肌梗死、脑梗死等致命性疾病。

1.3 其他系统损害

除呼吸系统和心血管系统外,二氧化硫还会对人体其他多个系统造成损害,其影响范围广泛且具有隐匿性,初期症状可能不明显,长期累积后危害会逐步显现。在代谢层面,当人体每日摄入的二氧化硫量达到50毫克时,它能够抑制维生素的正常代谢过程,同时干扰体内多种酶的活性,打破机体代谢平衡,引发代谢紊乱,影响身体各项生理功能的正常运转,可能导致人体出现乏力、食欲不振、营养不良等全身性不适。在感官和皮肤层面,当空气中二氧化硫浓度达到7毫克/立方米时,它会对眼部产生刺激,引发结膜炎反应,出现眼部瘙痒、发红等不适症状,长期反复刺激还可能影响视力健康;当直接接触皮肤时,若皮肤接触的二氧化硫溶液浓度达到5%,可能破坏皮肤屏障功能,引发局部炎症反应,部分敏感人群还可能出现过敏症状,表现为皮肤红斑、瘙痒等,若不及时处理,可能发展为慢性皮炎,影响皮肤的正常防御功能。

2 二氧化硫对生态环境的危害

2.1 酸雨形成与生态系统连锁反应

酸雨的形成与二氧化硫的大气转化密切相关。二氧化硫在大气环境中发生氧化反应生成三氧化硫，当大气中二氧化硫浓度达到0.1毫克/立方米，且在一定气象条件下，三氧化硫进一步与空气中的水蒸气结合形成硫酸。硫酸随雨、雪、雾等降水形式降落便形成酸雨，其pH值显著低于正常雨水的基准值（正常雨水pH约为5.6，酸雨pH可低至4.0甚至更低）。酸雨会引发一系列生态系统连锁反应，对陆地生态造成严重破坏。它会降低土壤pH值，当土壤pH值降低1-2个单位时，破坏土壤中微生物群落的稳定结构，导致钙、镁等关键养分大量流失，削弱土壤肥力。对植被而言，酸雨会直接腐蚀叶片表皮细胞，当酸雨pH值低于4.5时，抑制光合作用的正常进行；通过酸化土壤间接影响根系的养分吸收能力，长期作用下会导致森林衰退等植被退化现象。在水生生态方面，酸雨会导致湖泊、河流等水体pH值下降，当水体pH值降至5.0以下时，直接威胁鱼类、两栖类等敏感物种的生存。更为严重的是，酸化环境会促使土壤中铝、镉等重金属元素活化释放，当土壤中铝离子浓度达到100毫克/千克时，进一步加剧水体生物的毒性胁迫。

2.2 大气污染与气候效应

二氧化硫是加剧大气污染的重要污染物，同时会产生显著气候效应。在大气污染层面，二氧化硫参与二次气溶胶的形成过程，当大气中二氧化硫浓度达到0.05毫克/立方米时，与细颗粒物、可吸入颗粒物等结合后，会大幅降低大气透明度。这种作用会加剧雾霾天气的发生频率和严重程度，不仅影响航空、交通等正常运行，还会加重城市光化学烟雾污染^[2]。在气候调节方面，二氧化硫转化形成的硫酸盐气溶胶具有直接辐射强迫作用，当大气中硫酸盐气溶胶浓度达到10微克/立方米时，能够反射太阳短波辐射，产生局部冷却效应也就是常说的阳伞效应。除此之外，还会产生间接气候影响，通过改变云层的反照率和寿命，间接干扰降水模式的稳定性，破坏区域气候平衡状态。

2.3 生物地球化学循环干扰

二氧化硫的大量排放会严重干扰生物地球化学循环。在硫循环方面，人工活动排放的二氧化硫数量远超自然硫循环的承载能力，目前全球每年因人类活动排放的二氧化硫量约为2亿吨，导致大气硫负荷过量积累。过量的硫酸盐通过沉降过程进入陆地和水生生态系统，显著提升硫酸盐沉积速率，当硫酸盐沉积速率达到10千克/公顷/年时，打破原有硫收支平衡，对生态系统的物质循

环产生连锁干扰。在氮-硫协同效应方面，二氧化硫与氮氧化物相互作用，当大气中二氧化硫和氮氧化物浓度分别达到0.1毫克/立方米和0.05毫克/立方米时，会加速酸雨的酸化进程。两者共同作用还会导致水体富营养化，例如硫酸盐在还原过程中生成硫化氢，当水体中硫化氢浓度达到1毫克/升时，进一步加剧水体缺氧环境，威胁水生生物生存。

3 二氧化硫检测技术的分类与原理

3.1 检测技术分类

二氧化硫检测技术可根据应用场景和检测需求分为三类。实验室分析法以高精度为核心优势，属于离线检测方式，需将采集的样品带回实验室进行细致分析处理，适合对检测结果准确性要求高的科研或权威监测任务，其检测精度一般可达到0.01毫克/立方米。在线监测技术侧重实时连续监测能力，能够不间断捕捉二氧化硫浓度变化数据，及时反馈污染动态，广泛应用于工业排放监控和环境空气质量自动监测网络，其检测频率可达1次/分钟。便携式检测设备突出现场快速筛查功能，具备体积小、操作简便、响应迅速的特点，可满足突发污染事件现场勘查和移动巡检等即时检测需求，其响应时间一般不超过30秒。

3.2 核心检测原理

不同检测技术依托的核心原理存在差异。化学分析法包含碘量法、分光光度法等常见类型，核心是借助氧化还原反应或显色反应实现定量分析，通过反应过程中物质的消耗量或生成的有色物质浓度，换算得出二氧化硫含量。例如在碘量法中，当消耗的碘标准溶液体积为20毫升（浓度为0.01摩尔/升）时，可根据反应计量关系准确计算出二氧化硫的含量。物理分析法如红外吸收法、紫外荧光法等，利用二氧化硫气体对特定波长光的吸收特性或受激发后产生的荧光特性开展检测，通过测量光信号的变化程度确定气体浓度。例如在紫外荧光法中，当检测到的荧光强度为500光子计数时，可计算出对应的二氧化硫浓度。电化学法以定电位电解法为典型代表，依靠电极表面发生的特定电化学反应，将二氧化硫的浓度变化转化为可测量的电流信号，通过计算电流信号强度获取对应的二氧化硫浓度数值。例如当电流信号强度为10微安时，可换算出相应的二氧化硫浓度。

4 主流检测方法详解

4.1 实验室分析法

实验室分析法中应用较广的两类方法各有明确的技术路径。碘量法基于亚硫酸盐与碘的氧化还原反应开展滴定分析，通过精确控制滴定剂用量，依据反应计量关

系确定二氧化硫的含量。该方法操作流程成熟,适用于高浓度二氧化硫样品的精准测定,在工业原料分析等场景中应用较多^[3]。当处理的高浓度二氧化硫样品体积为100毫升时,通过滴定消耗的碘标准溶液体积可准确计算出样品中二氧化硫的含量。甲醛吸收-副玫瑰苯胺分光光度法通过特定显色反应实现定量,先利用甲醛溶液吸收空气中的二氧化硫形成稳定化合物,当吸收空气体积为10升时,再与副玫瑰苯胺试剂发生反应生成有色物质,通过比色分析确定有色物质浓度,进而换算出空气中二氧化硫的含量。该方法灵敏度较高,能够满足低浓度环境样品的检测需求,是环境空气质量实验室检测中的常用方法,其检测下限可达到0.003毫克/立方米。

4.2 在线监测技术

在线监测技术凭借实时连续的优势,成为环境与工业监控的核心技术手段,其中紫外荧光法和非分散红外法应用最为普遍。紫外荧光法的核心逻辑是利用紫外光激发二氧化硫分子,使分子处于激发态,激发态分子返回基态过程中会释放出特定波长的荧光,荧光强度与二氧化硫浓度呈线性相关,通过检测荧光强度即可计算出对应的浓度数值。该方法响应速度快、抗干扰能力较强,广泛应用于大气环境自动监测站和工业排放口在线监控系统,其响应时间可控制在5秒以内。非分散红外法利用二氧化硫对特定波长红外光的特征吸收峰进行定量,当红外光穿过含有二氧化硫的气体样品时,特定波长的红外光会被选择性吸收,吸收程度与气体浓度相关,通过测量红外光强度的衰减量就能确定二氧化硫浓度。该方法稳定性好,适用于复杂工业环境下的长期连续监测,其连续运行时间可达30天以上。

4.3 便携式检测设备

便携式检测设备以快速便捷为核心优势,主要分为

电化学传感器便携仪和光学传感器便携仪两类。电化学传感器便携仪基于定位电解原理,将二氧化硫气体引入传感器内部后,在电极表面发生特定电化学反应,反应过程中产生的电流信号与二氧化硫浓度存在对应关系,设备通过内置算法处理电流信号,实时显示浓度值。该类设备体积小、操作简单,续航能力较强,适合突发污染事件现场的快速排查和应急监测,其电池续航时间可达8小时。光学传感器便携仪集成红外或紫外检测模块,简化了实验室大型光学检测设备的结构,通过微型光学系统实现对二氧化硫的快速检测。其检测精度相对较高,响应速度快,适用于现场快速验证和移动巡检等场景,能够为污染管控提供即时的数据支撑,其检测精度可达到0.1毫克/立方米,响应时间不超过10秒。

结束语

工业废气二氧化硫的治理是一项长期而艰巨的任务,需要从源头控制、过程治理和末端监测等多个环节协同推进。通过推广清洁能源、优化产业结构、加强工业废气处理等措施,可有效减少二氧化硫排放。同时,完善环境监测体系,采用先进的检测技术,实现二氧化硫浓度的精准监测和预警,为污染治理提供科学依据。保护环境、保障人体健康是全社会的共同责任,需要政府、企业和公众共同努力,构建人与自然和谐共生的美好家园。

参考文献

- [1]神兴明,任士伟,王娜.工业废气二氧化硫的危害和检测方法[J].河南化工,2023,40(1):54-55.
- [2]周宁菱,徐美丽,吕舟博,等.二氧化硫脲检测方法的研究进展[J].现代食品,2024,30(3):111-114,139.
- [3]王欣,冯建智,陈卫环,等.氯化石蜡-52生产中二氧化硫的危害机制及控制策略[J].中国氯碱,2025(9):39-42.