

# 烟气脱硫技术进展及经济性分析

贺成杰 (晋能控股煤业集团晋泰新业热力分公司四老沟热源厂, 山西 大同 037000)

**摘要:** 本文提出了一系列经济促进烟气脱硫技术发展的措施和建议。包括在政策与法规层面提供经济支持、加大技术研发和创新投资、培育脱硫产业并推动经济应用、加强人才培养与知识普及的经济投入、积极开展国际合作与经济交流、以及进行环境监测和经济数据公开等方面的经济措施。通过综合经济推动,可以有效促进烟气脱硫技术的经济发展,为经济可持续发展作出贡献,减少空气污染、改善环境质量,实现经济与环境的双赢局面。

**关键词:** 烟气脱硫技术; 进展; 经济性

## 0 引言

随着工业化的快速发展,烟气排放对大气环境产生了严重影响,尤其是二氧化硫的排放导致酸雨等环境问题。因此,发展烟气脱硫技术成为解决这一问题的关键。

本文旨在探讨如何促进烟气脱硫技术的发展,提出了一系列切实可行的措施和建议。

## 1 烟气脱硫技术的定义和分类

### 1.1 烟气脱硫技术的定义

烟气脱硫技术是指通过各种方式和方法将燃烧过程中产生的烟气中的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)等硫化物去除的技术。它是大气污染治理中非常重要的手段之一,能有效降低大气中二氧化硫的排放量,减少酸雨的形成和对环境的危害。

### 1.2 烟气脱硫技术分类

①湿法脱硫技术。湿法脱硫技术是指利用液体吸收剂使烟气与其接触,通过化学反应将SO<sub>2</sub>转化为不溶于水的硫酸盐等形式,从而达到脱硫的目的。常见的湿法脱硫技术包括石灰石石膏法、海水脱硫法、氧化钙法等;②干法脱硫技术。干法脱硫技术是指在烟气中加入干式吸附剂或利用物理、化学或电化学反应将SO<sub>2</sub>去除的技术。干法脱硫技术不需要额外的水处理系统,节约水资源。常见的干法脱硫技术包括活性炭吸附法、干式氢氧化钠法、碳酸盐吸附法等;③半干法脱硫技术。半干法脱硫技术是湿法和干法脱硫技术的结合,既有湿法脱硫技术的高脱硫效率,又具备干法脱硫技术的节能优势。它通常使用干式吸附剂或湿式吸附剂,结合湿法反应器进行脱硫处理;④生物脱硫技术。生物脱硫技术是利用特定微生物或其代谢产物来去除烟气中的SO<sub>2</sub>。该技术具有运行成本低、环境友好等优点。常见的生物脱硫技术包括硫酸盐还

原菌法、废水生物处理工艺等;⑤其他脱硫技术。除了上述几类主要的脱硫技术,还有一些稀有的或者正在研究中的脱硫技术,如离子交换法、膜分离法、超临界流体脱硫法等。这些技术因其特殊的原理或操作方式而被研究和探索,期望能在未来的脱硫工程中发挥重要的作用。

## 2 传统烟气脱硫技术的优点和不足

### 2.1 传统烟气脱硫技术的优点

传统烟气脱硫技术经过多年的发展和实践,已经相对成熟、可靠,并被广泛应用于各种工业领域。传统湿法脱硫技术如石灰石石膏法等能够获得较高的脱硫效率,达到90%以上,有效地降低了二氧化硫排放量。传统湿法和干法脱硫技术都能适用于不同类型的燃烧设备,例如燃煤锅炉、发电厂、钢铁厂等。同时,适用于低温和高温烟气脱硫的技术也得到了广泛开发和应用。在一些大型工业厂区中,通过集中脱硫装置,可以实现多个生产设备共同使用一个脱硫系统,从而降低了成本和维护管理的复杂性。

### 2.2 传统烟气脱硫技术的不足

湿法脱硫技术中,庞大的脱硫剂处理和废水处理系统增加了能耗。同时,干法脱硫技术中的吸附剂循环、再生等过程也需要一定的能源支持。湿法脱硫技术需要使用大量的脱硫剂(如石灰石或海水等),其成本较高。而干法脱硫技术中,活性炭等吸附剂的价格也相对较高。

湿法脱硫技术中,脱硫剂与二氧化硫反应后会生成废水和废石膏,需要进一步处理和排放。这些处理程序增加了运行成本,同时还需注意废水和废石膏的环境影响。湿法脱硫技术中的设备(如吸收塔、除尘器等)和储存脱硫剂所需的容器通常体积较大,需要较大的场地支持。

### 3 经济性分析指标

#### 3.1 投资成本分析

①设备采购和安装成本：包括烟气脱硫设备的采购费用、运输费用和安装费用，以及与设备相关的附属设备的费用；②建设和改造成本：如果存在建设或改造现有设施的需求，需要计算建设或改造所需的费用。

#### 3.2 运行成本分析

①药剂消耗和补给成本：湿法脱硫技术中，脱硫剂的消耗量和补给频率会影响运行成本。干法脱硫技术也需要考虑吸附剂的消耗和补给成本；②能耗和排放费用：考虑电力或燃料消耗，并计算相应的能源成本。此外，还需要考虑废水、废物处理和排放费用。

#### 3.3 效果评价与效益估算

①脱硫效率和节能效果评价：分析不同技术方案的脱硫效率，并计算由此带来的二氧化硫排放减少量。同时，评估脱硫过程中能源消耗的变化，以评估节能效果；②环境效益和健康效益估算：根据二氧化硫排放的减少量，估算所带来的环境效益，如减少酸雨形成、改善空气质量等。此外，考虑降低健康风险（如呼吸系统疾病）所带来的健康效益。

### 4 烟气脱硫技术的经济性分析与比较

#### 4.1 投资成本

①设备采购和安装成本：不同脱硫技术所需的设备采购和安装成本可能有较大差异，例如湿法和干法脱硫所需设备型号、规模及复杂度的不同；②工程建设和改造成本：如果需要建设或改造现有设施来适应脱硫技术，还需要考虑相应的建设和改造成本。

#### 4.2 运行成本

①药剂消耗和补给成本：湿法脱硫技术中，使用的脱硫剂的消耗量和补给频率会直接影响运行成本。干法脱硫技术中，使用的吸附剂的消耗和补给成本也需要考虑；②能源消耗和排放：技术实施过程中，能源消耗是一个重要的成本因素。烟气脱硫设备通常需要电力或燃料来运行，因此需要将能源消耗转化为相应的运营成本。此外，还需考虑废水、废物处理以及排放管理的成本。

#### 4.3 效果评价与效益估算

①脱硫效率和节能效果：不同脱硫技术的脱硫效率会有所不同，因此通过对不同方案进行比较，可以评估其脱硫效果。同时，还可以对技术实施期间的能源消耗变化进行评估，以计算出节能的效果；②环境

效益和健康效益估算：通过脱硫效果，可以估算出二氧化硫排放减少所带来的环境效益，如减少酸雨形成、改善空气质量等。此外，还可考虑降低健康风险（如呼吸系统疾病）所带来的健康效益。

#### 4.4 经济指标的分析与比较

①投资回收期：评估投资回收所需要的时间，该指标反映了项目的盈利能力以及投资的回报速度。通常希望投资回收期尽可能短；②净现值：将所有现金流量折现到当前时点，用于评估项目的价值。正值表示项目盈利能力高，负值则相反；③内部收益率：计算项目的内部收益率，根据不同投资方案的现金流入和现金流出，计算出项目的内部收益率。该指标表示投资方案的盈利能力，越高越好；④敏感性分析：通过对关键因素的变化进行敏感性分析，评估对经济指标的影响程度。例如，变化设备成本、能源价格、污染排放费用等，来了解这些因素对经济性的敏感度，并进一步完善决策；⑤风险评估：考虑不确定性因素和项目风险，例如投资成本的波动、市场需求变化、技术更新等。可以通过风险评估，分析和评估项目在不同情况下的风险水平，制定相关的风险管理策略。

### 5 经济性分析中的不确定性因素与风险评估

#### 5.1 不确定性因素

①技术成熟度：新开发的脱硫技术可能存在技术成熟度不足的问题，其长期运行稳定性和可靠性仍然存在一定的不确定性；②设备成本波动：市场因素、供需关系以及材料价格的变动都可能导致设备成本的波动。这种不确定性需要在经济性分析中进行考虑；③药剂价格变化：湿法脱硫技术中使用的脱硫剂价格可能受到原材料价格、供需关系和政策变化的影响，同样需要在经济性分析中考虑其变化可能带来的成本波动；④燃料价格波动：烟气脱硫过程中所涉及的能源消耗可能会受到燃料价格的影响。考虑到能源市场的不确定性，需要分析不同燃料价格的变化对经济性评估结果的影响；⑤政策环境变化：政府对于环保政策和排放标准的调整也可能对经济性产生重大影响，需要跟踪政策环境的变化并及时进行评估。

#### 5.2 风险评估

①技术风险：新引入的技术可能存在技术可行性、运行稳定性和维护方面的风险。需要根据相关数据和经验评估这些风险，并进行风险管理和控制；②市场风险：市场需求可能因为经济形势、竞争态势、政策调整等因素发生变动，导致项目的收入或盈利能力受

到影响。需要充分了解市场状况,做好市场风险的评估;③资金风险:资金供应的不确定性可能会影响项目的进行和投资回报。需要评估资金供给的可行性,以及项目资金回收的时间和方式;④运营风险:项目运营过程中可能出现的意外事故、设备故障、人员安全等风险需要在经济性分析中进行风险评估和控制。

## 6 促进烟气脱硫技术发展的措施和建议

①政策与法规支持。制定和完善相关的环保政策和法规,推动烟气脱硫技术的应用和发展。例如,设定更严格的排放标准,鼓励企业采用脱硫技术进行排放控制。提供财政支持和奖励措施,降低脱硫技术的投资成本,并鼓励企业进行技术创新和示范应用;②技术研发和创新。加大对烟气脱硫技术的科研资金投入,推动关键技术的突破和创新,提高脱硫技术的效率和适用性。鼓励企业、科研机构 and 高校开展合作研究,共享资源和经验,加快技术的转化和推广;③产业培育和推广应用。建立健全的产业链和配套服务体系,提供脱硫技术的设备生产和供应,以及运维服务和技术支持。加强技术推广和示范应用,通过开展实地考察、交流研讨会等活动,宣传脱硫技术的优势和效益,帮助企业了解并选择适合的技术方案;④人才培养与知识普及。建立相关专业人才培养机制,推动烟气脱硫技术领域的人才培养和技能提升。开展培训和知识普及活动,提高企业和从业人员对烟气脱硫技术的认知和理解,提高技术的应用水平;⑤国际合作与交流。积极参与国际环保合作和交流,借鉴其他国家和地区的经验 and 成功案例,推进烟气脱硫技术的进步和创新。加强与国际组织、企业和科研机构的合作,共同开展研究项目和技术合作,促进技术的国际化和推广应用;⑥环境监测和数据公开。建立全面、准确的烟气排放监管和数据采集系统,加强对脱硫技术应用效果和排放达标情况的监测。加强数据公开和信息透明,提供相关数据和监测结果,激励企业主动采用脱硫技术,并为政府监管提供参考依据;⑦建立网络平台和信息交流机制。创建专门的网络平台或在线平台,供企业、科研机构和从业人员发布脱硫技术相关信息、分享经验和研究成果,促进行业内部的合作与交流。搭建国内外脱硫技术研究机构、生产企业和政府部门之间的信息交流渠道,增加技术合作和合作机会;⑧推动资源循环利用与综合利用。鼓励将脱硫过程中产生的副产品,如石膏和硫酸铵等,进行资源化利用或再利用,提高资源的利用效率和降低环境负荷。

鼓励开发利用脱硫产生的能源余热,并将其应用于工业和居民生活等领域,实现能量的综合利用;⑨提供技术咨询与评估服务。设立专业的技术咨询机构和评估机构,为企业 provide 技术指导、项目评估等服务,帮助企业选择最适合的脱硫技术方案。加强与高校和科研机构的合作,开展技术评估和认证工作,提供权威的技术评估结果,为企业决策提供参考依据;⑩加强监督检查和执法力度。完善监督检查机制,加强对企业脱硫技术运行情况和排放数据的监督检查,确保技术的有效运行和达到排放标准。加大对违法排放和非法设备的执法力度,加强对违法企业的处罚和整改,提升行业的环保意识和规范化建设;⑪鼓励绿色金融支持。通过引入绿色贷款和补助政策,吸引金融机构加大对烟气脱硫技术的金融支持,降低企业技术升级和投资的资金压力。推动成立环保产业基金,为脱硫技术的研发、推广和应用提供专项资金支持,促进技术的广泛应用和市场化。

综上所述,烟气脱硫技术的发展是保护环境、改善空气质量的重要举措。本文提出了一系列促进脱硫技术发展的措施和建议,包括政策支持、技术研发、产业培育、人才培养、国际合作等方面。通过共同努力,我们有信心将烟气脱硫技术推向新的高度,实现环境保护和经济可持续发展的目标。同时,我们也呼吁各界的关注和支持,共同为改善环境质量作出积极的贡献。

### 参考文献:

- [1] 邓大伟,胡嘉驹,孙波,孙正群,等.水泥工业烟气脱硫技术综述[J].江苏建材,2020(06):58-62.
- [2] 袁恣昕,金晨,王君兰,王金玲,等.烟气脱硫废水处理技术研究[J].江西化工,2020,36(06):77-80.
- [3] 黄飞平,李山贤,王克强,李翠山,等.焦炉烟气脱硫脱硝技术的选择与应用[J].燃料与化工,2020,51(06):53-55.
- [4] 水振江,张静楠,孙哲群,黄伶俐,等.电厂烟气脱硫技术的探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2019(04):119.
- [5] 赵新莹,雷华,李晓楠,王朝阳.对火电厂大气污染物烟气脱硫脱硝的技术研究[J].山东工业技术,2019(04):196.

### 作者简介:

贺成杰(1992-),男,汉族,山西大同人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:锅炉烟气超低排放。