

矿井水及煤化工废水处理与利用技术专栏**现代煤化工废水处理研究进展及展望**吴唯民¹,杜松^{1,2}

(1.斯坦福大学 土木与环境工程系,加利福尼亚州 斯坦福 94305-4020;2.煤炭科学技术研究院有限公司,北京 100013)

摘要:废水处理与水资源循环利用是影响现代煤化工产业可持续发展的关键问题之一。基于我国对煤化工废水处理的标准与循环利用的要求不断提高,综述了我国对煤化工废水排放的政策变化过程,以及煤化工产业与水资源利用和废水处理的工艺发展;对近年来全球煤化工废水处理研究论文的数量,特别是我国在煤化工废水处理领域的研究成果进行了统计分析,指出我国在煤化工废水处理工艺的开发与应用领域处于领先地位,今后不仅要注重具体煤化工废水处理工艺的开发,同时也应加强工艺系统的优化和监控。

关键词:现代煤化工;废水处理;水资源循环利用;煤制油;煤制气

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2018)09-0001-03



Research progress and prospects of wastewater treatment from modern coal chemical industry

WU Weimin¹, DU Song^{1,2}

(1. Department of Civil & Environmental Engineering, Stanford University, Stanford 94305-4020, USA;

2. China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: Wastewater treatment and water reclamation have been considered as one of key factors influencing sustainable development of coal chemical industry. Based on the ever-increasing requirement for the standard and recycling of coal chemical wastewater treatment in China, the authors review the policy change process of coal chemical wastewater discharge in China, as well as the development of coal chemical industry, water resources utilization and wastewater treatment technology. The number of research papers on coal chemical wastewater treatment in recent years, especially in China are analyzed statistically. Based on global survey on number and quality of research articles and the scale and faculties applied for wastewater treatment and water reclamation, China become the leader of coal chemical industry wastewater treatment techniques and related application field. In the future, attention should be paid not only to the development of specific coal chemical wastewater treatment technology, but also to the optimization and monitoring of the treatment system.

Key words: modern coal chemical industry; wastewater treatment; recycling utilization of water resources; coal to liquid; coal gas

0 引言

现代煤化工(又称新型煤化工)是煤炭清洁利用的重要手段,我国现代煤化工产业起步于“十五”期间,“十一五”、“十二五”期间过剩煤炭资源涌入煤化工市场,先后建设了煤制烯烃、煤制油、煤制天然气、煤制乙二醇等示范项目^[1-2]。20世纪80年代

至今,国外工业化运行的煤化工项目仅有南非萨索尔公司煤间接制油和美国大平原合成燃料厂煤制天然气等少数几个^[3]。煤制油方面,目前只有南非萨索尔公司拥有成熟的间接液化专利技术商业运营经验,生产规模达800万t/a;煤制天然气方面,美国大平原合成燃料厂是唯一的运行实例,该项目于1984年建成投产,以当地褐煤为原料,采用鲁奇MARK-

收稿日期:2018-08-31;责任编辑:代艳玲 DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.09.001

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFB0602304)

作者简介:吴唯民,男,斯坦福大学高级研究员。通讯作者:杜松,E-mail:dusong@stanford.edu

引用格式:吴唯民,杜松. 现代煤化工废水处理研究进展及展望[J]. 煤炭科学技术,2018,46(9):1-3.

WU Weimin, DU Song. Research progress and prospects of wastewater treatment from modern coal chemical industry [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(9): 1-3.

IV气化技术,生产规模为 $1.3\times10^9\text{Nm}^3/\text{a}$ (标况),其循环水系统的浓盐水部分送地下深井灌注,部分多效蒸发的浓缩液送入气化炉燃烧^[4]。尽管美国煤化工发展条件优越,但水资源、土地占用、生态补偿、居民赔偿等因素造成的高成本制约了行业发展,因此美国只是将煤化工作为技术储备,并未大规模发展,80%~90%的煤炭都用于发电^[5]。我国现代煤化工的发展除了受到国际经济大形势的影响外,环境保护也逐渐成为了一个瓶颈问题,尤其是对废水的处理成为煤化工环境保护的焦点。

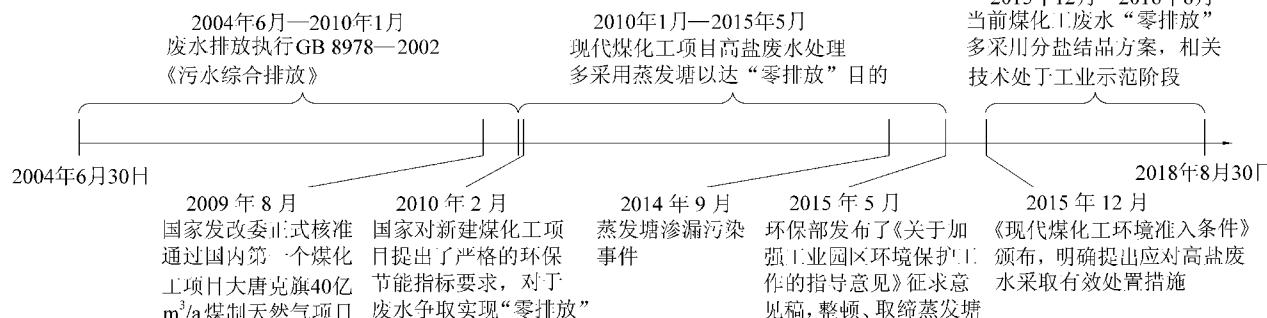


图1 煤化工废水排放政策变化时间轴

Fig. 1 Time axis of coal chemical wastewater discharge policy change

2 煤化工废水处理研究现状

我国对煤化工废水处理技术的研究,传统上主要是以煤化工项目设计单位及业主单位为主,例如赛鼎工程有限公司、东华工程科技股份有限公司、中煤集团哈尔滨煤化工公司、河南省煤气(集团)有限责任公司、内蒙古伊泰煤制油有限责任公司、中国神华煤制油化工有限公司、内蒙古大唐国际克什克腾煤制天然气有限责任公司等。随着煤化工废水“零排放”要求的提出与执行,很多环保企业也参与了对高盐废水分盐结晶、零排放技术的研究^[7-8],例如博天环境集团股份有限公司、上海东硕环保科技股份有限公司、倍杰特国际环境技术股份有限公司等。高等院校和科研院所对煤化工废水的研究各有侧重,其中哈尔滨工业大学擅长生物处理技术,华南理工大学擅长物化技术,中科院过程工程研究所对焦化、气化废水的深度处理方法进行了大量研究^[9],煤炭科学技术研究院有限公司擅长催化氧化技术以及萃取脱酚技术,北京低碳清洁能源研究所对膜分离技术有深入的研究^[10]。

分别以“Coal Chemical Wastewater、Gasification Wastewater”和“煤化工废水、气化废水”作为关键词

1 煤化工废水排放的政策要求

随着科技进步及对环保的重视,我国政府出具一系列标准要求^[6],废水处理的关注点从以去除有机物污染物变为废水中盐的深度脱除(图1)。

对煤化工废水处理的要求,经历了“达标排放”、“蒸发塘终端处置”、“浓盐水结晶蒸发”3个重要阶段,目前为实现“零排放”目标,高盐废水的处理多采用分盐结晶的方案,即将废水中的盐分也最终分离、结晶、提纯以达到工业盐要求。

2015年12月—2018年8月
当前煤化工废水“零排放”
多采用分盐结晶方案,相关
技术处于工业示范阶段

2018年8月30日

2015年12月
《现代煤化工环境准入条件》
颁布,明确提出应对高盐废
水采取有效处置措施

2015年5月
环保部发布了《关于加
强工业园区环境保护工
作的指导意见》征求意
见稿,整顿、取缔蒸发塘

2014年9月
蒸发塘渗漏污染
事件

2010年1月—2015年5月
现代煤化工项目高盐废水处理
多采用蒸发塘以达“零排放”目的

2009年8月
国家对新建煤化工项
目提出了严格的环保
节能指标要求,对于
废水争取实现“零排放”

2004年6月—2010年1月
废水排放执行GB 8978—2002
《污水综合排放》

2004年6月30日

在Web of Science数据库检索英文论文,在中国知网检索中文论文,发现近十年针对煤化工废水的研究,发表的中、英文论文数量逐年明显增加(图2)。2015年以后每年发表的中、英文论文均超200篇。在2013年前,英文论文数量明显多于中文论文,2017年中文论文数量超过英文论文数量,说明国内加强了对煤化工废水处理技术与工艺开发的研究。

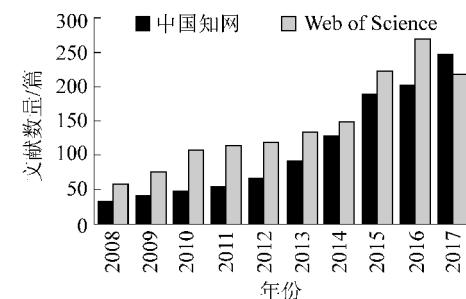


图2 近10年煤化工废水中文、英文论文数量比较

Fig. 2 Comparison of chinese and English papers on coal chemistry wastewater in recent 10 years

2017年中国在煤化工废水处理方面发表的SCI论文占世界总量的44.64%(表1)。排名前5名的国家为中国、美国、印度、澳大利亚、波兰,与煤炭产量和经济发展相关。以前煤化工产业领先的南非现排名12位,可能与该国经济不景气有关。

表 1 2017 年各国煤化工废水领域发表论文数量比例
Table 1 Proportion of papers of coal chemical wastewater field from various countries in 2017

序号	国家	比例/%	序号	国家	比例/%
1	中国	44.64	8	巴西	1.56
2	美国	7.85	9	加拿大	1.38
3	印度	4.37	10	德国	1.26
4	澳大利亚	3.12	11	土耳其	1.26
5	波兰	2.22	12	南非	1.14
6	西班牙	1.80	13	英国	1.08
7	韩国	1.62	14	其他	26.70

3 煤化工废水处理重点科研项目研究内容

当前国家科技部支持且正在执行的煤化工废水独立主题的科研项目有 2 个:①2015 年 5 月启动的“863”课题“固定床气化废水处理及利用关键技术与示范”;②2016 年 9 月启动的“十三五国家重点研发计划”“煤转化废水近零排放及资源化关键技术研究与应用示范”。主要研究内容包括:典型固定床气化废水水质特征及影响因素研究;固定床气化含酚废水新型高效络合萃取脱酚技术;脱酚蒸氨出水臭氧催化氧化-紫外芬顿氧化复合处理提高废水可生化性;亚硝化脱氮载体生化处理技术研究^[11];研究煤化工过程废水处理与利用的新途径;研发高浓度有机废水制水煤浆技术;研究低损高效酚萃取剂,开发酚氨的协同脱除过程强化方法及脱除工艺;开发生物与化学协同、催化氧化深度处理难降解有机物技术;研发高性能、长寿命适于含盐废水浓缩的膜材料、工艺及装备;研发适于高含盐废水的 COD 降解及重金属脱除、分质结晶分盐技术与工艺^[12]。

4 煤化工废水未来研究方向展望

对煤化工废水处理的研究,已有系统的总结与建议^[9-10]。从工艺上分析,需把握有机物去除及盐脱除这 2 条主线,废水中资源及能源回收的问题也将逐步被重视。对于有机物脱除重点关注酚类、喹啉类等大分子特征污染物的去除及演变规律,以及废水可生化性的提高及毒性机理研究;对于盐的脱除重点关注高压膜稳定性及耐用性的问题以及低能耗蒸发结晶技术的研发;对于高盐废水的处理要重点关注新型终端处置技术,同时也应对工艺的系统优化分析和在线监控^[5]进行研究。

参考文献(References):

- [1] 张润楠,范晓晨,贺明睿,等.煤气化废水深度处理与回用研究进展[J].化工学报,2015,66(9):3341-3349.
 ZHANG Runnan,FAN Xiaochen,HE Mingrui,et al.Research pro-

- gress on deep treatment and reclamation of coal gasification wastewater[J].CIESC Journal,2015,66(9):3341-3349.
- [2] 金嘉璐,俞珠峰,王永刚.新型煤化工技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [3] 童莉,周学双,段飞舟,等.我国现代煤化工面临的环境问题及对策建议[J].环境保护,2014,42(7):45-47.
 TONG Li,ZHOU Xueshuang,DUAN Feizhou,et al.Analysis and countermeasures on environmental risks of China's modern coal chemical industry[J].Environmental Protection,2014,42(7):45-47.
- [4] 梁睿,李继文,吕巍,等.现代煤化工行业环境准入与发展建议[J].环境影响评价,2017,39(2):5-8.
 LIANG Rui,LI Jiwén,LYU Wei,et al.Environmental permit and development suggestions of modern coal chemical industry in china [J].Environmental Impact Assessment,2017,39(2):5-8.
- [5] AIMIN, Z, L Jidong. Optimization and implementation of the wastewater treatment process for the Lurgi coal gasification system[J].Coal Chemical Industry,2013,2:43-46.
- [6] 曲凤臣.煤化工废水“零排放”技术要点及存在问题[J].化学工业,2013,31(2/3):18-24.
 QU Fengchen.The key technologies and problems of wasterwater zero discharge in coal chemical industy [J].Chemical Industry,2013,31(2/3):18-24.
- [7] 方芳,韩洪军,崔立明,等.煤化工废水“近零排放”技术难点解析[J].环境影响评价,2017,39(2):9-13.
 FANG Fang,HAN Hongjun,CUI Liming,et al.Analysis on technological difficulties of near zero discharge for coal gasification wastewater treatment[J].Environmental Impact Assessment,2017,39(2):9-13.
- [8] 何绪文,王春荣.新型煤化工废水零排放技术问题与解决思路[J].煤炭科学技术,2015,43(1):120-124.
 HE Xuwen,WANG Chunrong.Zero discharge technology and solution idea of waster water from new coal chemistry[J].Coal Science and Techology,2015,43(1):120-124.
- [9] CUI P,QIAN Y, YANG S.New water treatment index system toward zero liquid discharge for sustainable coal chemical processes[J].ACS Sustainable Chemical Engineering,2018,6: 1370-1378.
- [10] JI Q, TABASSUM S, HENA S, et al. A review on the coal gasification wastewater technologies: past, present and future outlook [J].Journal of Cleaner Production, 2016,126:38-55.
- [11] 段锋,董卫果,田陆峰,等.煤化工高含盐废水去除有机物研究[J].煤炭加工与综合利用,2016(4):21-24.
 DUAN Feng,DONG Weiguo, TIAN Lufeng, et al. Study on removal of organic matter from wastewater containing high salt in coal chemical industry[J].Coal Processing & Comprehensive Utilization,2016(4):21-24.
- [12] 姜忠义,李玉平,陈志强,等.煤化工废水近零排放与资源化关键技术研究与应用示范[J].化工进展,2016,35(12):4099-4100.
 JIANG Zhongyi, LI Yuping, CHEN Zhiqiang, et al. Key technologies study and application demonstration of near-zero-liquid-discharge and resource recovery of coal chemical industry wastewater [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016,35 (2):4099-4100.