

电凝聚法在煤泥水沉降中的应用现状

陈 帅 闵凡飞 刘令云 杜 佳 刘春福 陈 晨

(安徽理工大学 材料科学与工程学院 安徽 淮南 232001)

摘 要: 在分析电凝聚法工作原理的基础上,阐述了电凝聚法在煤泥水沉降中的应用现状,指出缺乏对反应场电化学性质的深入研究和反应器的现场实用性差是阻碍电凝聚法在煤泥水沉降中应用的主要原因,指出应借鉴电凝聚法在水处理方面的先进理论、技术等,并将其应用到煤泥水沉降中。最后提出还需从加大基础研究力度,形成完善的理论体系;结合选煤厂实际情况,研发合适的电凝聚设备;评估电凝聚法的技术、经济可行性等方面对电凝聚法在煤泥水沉降中的应用进行深入研究。

关键词: 电凝聚; 水处理; 煤泥水; 沉降; 电化学

中图分类号: TD946 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)03-0016-04

Application of electrocoagulation in slime water settlement

CHEN Shuai, MIN Fanfei, LIU Lingyun, DU Jia, LIU Chunfu, CHEN Chen

(School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Based on the working principle of electrocoagulation, expound the application of electrocoagulation in slime water settlement. Point out that the lack of in-depth study of the electrochemical reaction mechanism and poor practicability of the reactor site are the main cause for restricting the application of electrocoagulation. The application of electrocoagulation in water treatment can guide its application in slime water treatment. Finally put forward that the use of electrocoagulation in slime water need more basic research in order to form a complete theoretical system. The electrocoagulation equipment should be chosen according to the actual situation of coal preparation plant and economic feasibility.

Key words: electrocoagulation; water treatment; slime water; settlement; electrochemical

0 引 言

电凝聚法采用可溶性阳极,如 Fe、Al 等金属板,在水溶液中经外加电压作用后,金属阳极氧化溶解生成的金属离子 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 经一系列水解及亚铁的氧化过程后发展成为各种羟基络合物以及氢氧化物,通过压缩双电层、电性中和、网捕等作用使废水中胶体粒子脱稳聚沉而分离^[1]。1887年,电化学工艺开始用于给水和废水处理^[2]。19世纪末英国将电凝聚法用于水处理,1909年,出现第一个电凝聚技术专利,1911年,美国建立世界上第一个电凝聚污水处理厂。1946年后,电凝

聚法开始大规模推广应用,1963年,美国开始用电凝聚法处理市政污水,1964年,出现电凝聚法处理食品废水的报道,1984年,挪威对电凝聚法处理饮用水进行研究,并指出电凝聚法适用于小型污水处理厂^[3-4]。电凝聚法历史悠久,但反应器设计、操作缺乏系统性,电极不稳定(电极易钝化)等问题限制了推广。随着科学技术的发展,特别在克服电极钝化方面取得的一系列新进展,20世纪90年代电凝聚法再次成为研究热点,开始在许多小规模水处理工艺中应用^[3]。目前,电凝聚法已广泛用于处理食品加工废水^[5-8]、金属切削废乳化液^[9-10]、电镀涂装废水^[11-13]、养殖屠宰污

收稿日期: 2014-01-20; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.03.005

基金项目: 安徽省国际合作资助项目(1303063011); 安徽省科技计划资助项目(1106b0105063)

作者简介: 陈 帅(1987—),男,河南商丘人,助理工程师,在读硕士,从事煤泥水沉降研究工作。E-mail: cc51389@163.com。通讯作者: 闵凡飞(1969—),男,安徽濉溪人,教授。E-mail: ffmin@aust.edu.cn

引用格式: 陈 帅,闵凡飞,刘令云,等.电凝聚法在煤泥水沉降中的应用现状[J].洁净煤技术,2014,20(3):16-19.

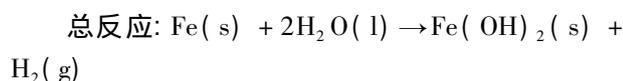
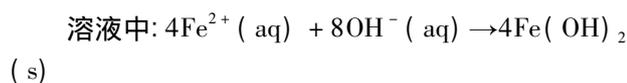
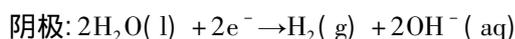
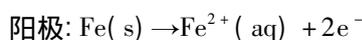
CHEN Shuai, MIN Fanfei, LIU Lingyun, et al. Application of electrocoagulation in slime water settlement [J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(3): 16-19.

水^[14-15]、城市生活污水^[16-17]、采油废水^[18]、饮用水^[19-21]、纺织印染废水^[22-25]、制药废水^[26]、造纸废水^[27-28]、制革废水^[29-30]、抛光废水^[31-32]、船舶底污水^[33-34]、乳品废水^[35-36]、食用油加工废水^[37-38]等,是一种重要的水处理技术。电凝聚法在水处理方面取得新进展的同时,部分学者^[39-41]也开始对电凝聚法在煤泥水沉降中的应用进行研究。

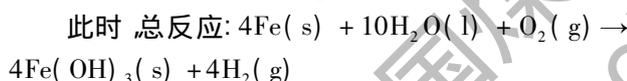
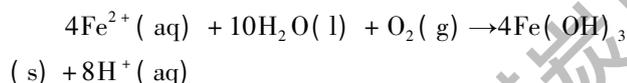
1 电凝聚法工作原理

1.1 化学反应

以 Fe 电极为例,电凝聚法的反应原理^[41]:



有 O₂ 参与时,还发生:



1.2 金属离子的形态

Fe、Al 电极电解生成的 Fe²⁺、Fe³⁺、Al³⁺ 离子水解,形成一系列金属离子形态。以 Fe 电极为例,根据 pH 值的不同,Fe 离子形态主要为 Fe²⁺、Fe(OH)⁺、Fe(OH)₂、Fe(OH)₃⁻、Fe³⁺、Fe(OH)₂²⁺、Fe(OH)₂⁺、Fe(OH)₃、Fe(OH)₄⁻,且常以水合形式存在,并形成部分高级水合的架桥体和聚合物^[3,42-43]。

1.3 凝聚原理

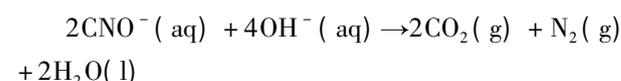
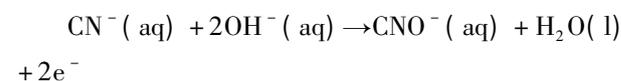
电凝聚生成的各形态金属离子通过压缩双电层、电性中和、网捕等作用同时或交叉对胶体粒子作用,使其脱稳聚沉。以 Fe 电极为例,其电解产生的 Fe²⁺、Fe(OH)⁺、Fe³⁺、Fe(OH)₂²⁺、Fe(OH)₂⁺,可通过电性中和及压缩胶体粒子双电层,降低胶体粒子表面电位,使其脱稳聚沉;胶体粒子本身也可作为 Fe(OH)₂ 和 Fe(OH)₃ 形成过程中的晶核或吸附质被网捕,使其脱稳聚沉^[1]。

1.4 氧化还原作用

电凝聚对胶体粒子聚沉的同时,阳极的氧化作用

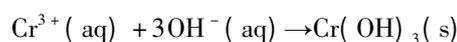
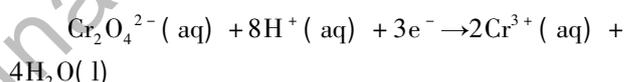
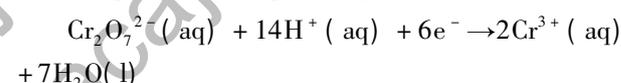
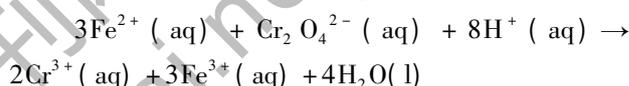
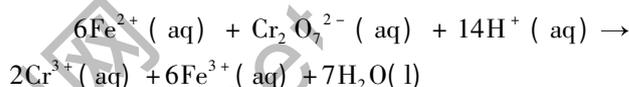
和阴极的还原作用还可将部分有机和无机污染物去除。

氧化作用分两种,一种利用阳极的高电势氧化降解废水中的无机物、有机物或杀菌,如在碱性条件下氧化治理含氰(CN⁻)废水^[1]:



另一种以产生的 Fe³⁺ 为氧化剂对难降解物质进行氧化分解,如以聚丙烯酸铁为催化剂除去废水中的苯酚、邻甲氧基苯酚、邻苯二酚及氢醌^[44]。

还原作用为 Fe²⁺ 及 H⁺ 对重金属的还原,如对 Cr⁶⁺ 的还原^[1]:



2 电凝聚法在煤泥水沉降中的应用

电凝聚法已广泛用于水处理行业,但在煤泥水沉降中的应用却鲜有报道。A A BAPCKUU 等研制出电凝聚装置用于澄清选煤厂煤泥水,结果表明:电凝聚处理可使聚丙烯酰胺用量降低 60%,并稳定浓缩机工况。II II PA IIIKOB 等采用直流非对称电流的电凝聚设备用于煤浆浓缩和废水净化,处理黏土悬浮液时,颗粒沉降速度提高 31%~228%,凝聚效果远高于一般方法^[39]。陈洪砚等^[40]研制了小型连续电凝聚装置用于处理某选煤厂煤泥水,溢流质量浓度小于 200 mg/L,认为电凝聚法改善了煤泥的沥水性使其易于沉降,耗电量与悬浮物浓度成正比,采用高压脉冲直流电和添加无机絮凝剂可降低电耗。董宪妹等^[41]采用 3 种电解质对煤泥水进行电化学预处理,结果表明,煤泥沉降速度提高约 3 cm/min,上清液浊度降低约 8.3 NTU,认为电化学预处理改变了煤泥水中固体颗粒表面电荷量,电解质电解产生的离子通过压缩双电层和电性中和作用使煤泥聚沉。

3 存在问题

早期国外研究偏重于腐蚀阳极对煤泥水的作用机理,近期国内研究偏重于电解质对煤泥水的作用机理。目前,这两类研究尚无成熟工业运行经验,表明电凝聚法用于煤泥水沉降方面还存在一些问题。

3.1 缺乏对反应场电化学性质的深入研究

煤泥水中各种黏土矿物、离子及阳极金属离子各种形态的作用机理,电极中的杂质元素对电凝聚法的影响等问题尚无详细研究报道。

1) 反应场的物相组成。各地煤炭虽煤质不同,但煤中矿物质组成基本相同,主要包括黏土矿物、氧化矿物、碳酸盐矿物、硫化矿物、硫酸盐矿物等^[45]。黏土矿物为煤泥中最主要矿物。目前选煤厂用水来源不同,但都具有天然水的基本离子构成,主要阳离子为 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} ,主要阴离子为 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} ,不同水质各离子含量差别较大^[45-46]。电极中还存在部分其他元素,以Fe电极为例,目前钢铁中存在Fe、C、Mn、Si、P、Cu、Cr、Ni、Ti、K、Mo、B、Co、Nb、W、V、Zr等,除Fe外,其他元素含量均较少^[47-50]。

2) 反应场内作用机理。黏土矿物荷负电,通电后向阳极移动。煤泥水中的离子在电解反应中遵循以下原则:①阴极材料受到保护,阳离子得电顺序为金属活动顺序表的反表,即 $K^+ < Ca^{2+} < Na^+ < Mg^{2+} < Al^{3+} < H^+ < Zn^{2+} < Fe^{3+} < Sn^{2+} < Pb^{2+} < Cu^{2+} < Hg^{2+} < Ag^+$;②阳极为活泼金属时,电极本身被氧化,溶液中的离子不放电。以Fe电极为例,水中原存在的各离子对电极反应不会造成影响,Fe电极中各类金属元素,如活动顺序在Fe之后的金属,将在阴极析出。

3.2 反应器的现场实用性有待提高

浓缩池入料的连续性、入料速度、入料量及浓缩池的结构等均会对电凝聚反应器的布置和使用产生影响,电解时阴极产生的氢气微泡对煤泥水的絮凝沉降不利。鉴于以上情况,将电凝聚反应器加在浓缩池中尚存诸多困难。

4 结 语

随着材料科学和电力工业的发展,电凝聚法已广泛应用于水处理。选煤工作者可借鉴其先进理论、技术等,将电凝聚法处理废水工艺应用到煤泥水沉降中。如利用腐蚀阳极产生的金属离子的不同形

态物质,研制一种电解池用作凝聚剂发生装置,其设计及现场使用难度都将明显降低。选煤厂每年有大量废旧铁制部件处理,如利用其作为电解池电极,可实现以废治废,降低生产成本。由于国内外还没有将电凝聚法用于煤泥水沉降的成熟运行经验,未来仍需从以下方面对电凝聚法进行深入研究:①加大基础研究力度,形成完善的理论体系;②结合选煤厂实际情况,因地制宜,研发合适的电凝聚设备;③进行综合分析,评估电凝聚法的技术、经济可行性。

参考文献:

- [1] 陈国华,王光信. 电化学方法应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 彭海清,谭章荣,孟长再. 电凝聚技术在水处理中的应用[J]. 化工技术经济, 2002(2): 30-32.
- [3] 刘云根,崔亚伟,王海峰. 电凝聚技术在水处理中的研究进展[J]. 污染防治技术, 2009, 22(2): 68-73.
- [4] Eilen A V, Dale A C, Arild S E, et al. Electrocoagulation of potable water[J]. Water Research, 1984, 18(11): 1355-1360.
- [5] Valero D O, Juan M, Garcia V, et al. Electrocoagulation of wastewater from almond industry[J]. Chemosphere, 2011, 84(9): 1290-1295.
- [6] Yoo S, Hsieh J S. Advanced water recycling through electrochemical treatment of effluent from dissolved air flotation unit of food processing industry[J]. Water Science and Technology, 2010, 61(1): 181-190.
- [7] Gadd A S, Ryan D R, Kavanagh J M, et al. Design development of an electrocoagulation reactor for molasses process wastewater treatment[J]. Water Science and Technology, 2010, 61(12): 3221-3227.
- [8] Diaz C B, Morales G R, Cordoba L, et al. Electrochemical treatment applied to food-processing industrial wastewater[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2006, 45(1): 34-38.
- [9] Kobya M, Ciftci C, Bayramoglu M, et al. Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 60(3): 285-291.
- [10] Kobya M, Demirbas E, Bayramoglu M, et al. Optimization of electrocoagulation process for the treatment of metal cutting wastewaters with response surface methodology[J]. Water Air and Soil Pollution, 2011, 215(1): 399-410.
- [11] 求 渊,施勇琪,张相阳,等. 脉冲电絮凝处理电镀含铬废水的实验研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(6): 1029-1032.
- [12] Ahmed B C, Ramanathan K, Rajkumar R, et al. Management of chromium plating rinsewater using electrochemical ion exchange[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2008, 47(7): 2279-2286.
- [13] Bhadrinarayana N S, Ahmed B C, Anantharaman N. Electrochemical oxidation of cyanide and simultaneous cathodic removal of cadmium present in the plating rinse water[J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2007, 46(20): 6417-6424.
- [14] Kobya M, Senturk E, Bayramoglu M. Treatment of poultry slaughter-

- terhouse wastewaters by electrocoagulation [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2005 ,133 (1) : 172 – 176.
- [15] Kazem G ,Ghasem A ,Davoud N ,et al. Electrochemical treatment of poultry slaughterhouse wastewater using iron and aluminium electrodes [J]. *Research Journal of Chemistry and Environment* , 2012 ,16(3) : 98 – 103.
- [16] Salvador C ,Javier L ,Pablo C ,et al. Optimization of an integrated electrodisinfection/electrocoagulation process with Al bipolar electrodes for urban wastewater reclamation [J]. *Water Research* , 2013(47) : 1741 – 1750.
- [17] Rodrigo M A ,Cañizares P ,Buitrón C ,et al. Electrochemical technologies for the regeneration of urban wastewaters [J]. *Electrochimica Acta* 2010(55) : 8160 – 8164.
- [18] 朱茂森 ,尚 进 ,胡筱敏 ,等. 混凝 – 电凝聚 – 超滤技术处理三次采油废水研究 [J]. *安全与环境学报* ,2009 ,9(6) : 33 – 36.
- [19] ZUO Q H ,CHEN X M ,LI W ,et al. Combined electrocoagulation and electroflotation for removal of fluoride from drinking water [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2008 ,159(2) : 452 – 457.
- [20] Kobya M ,Geboluglu U ,Ulu F ,et al. Removal of arsenic from drinking water by the electrocoagulation using Fe and Al electrodes [J]. *Electrochimica Acta* 2011(56) : 33 – 36.
- [21] Subramanyan V ,Ganapathy S ,Subbiah R ,et al. Studies on the removal of phosphate from drinking water by electrocoagulation process [J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research* , 2008 ,47(6) : 2018 – 2023.
- [22] Can O T ,Bayramoglu M ,Kobya M. Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes [J]. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2003(42) : 3391 – 3396.
- [23] Pablo C ,Fabiola M ,Carlos J ,et al. Coagulation and electrocoagulation of wastes polluted with dyes [J]. *Environmental Science and Technology* 2006 ,40(20) : 6418 – 6424.
- [24] 卓蕾蕾 ,陶 红 ,张章堂. 利用电凝聚 – 气浮法研究印染废水的脱色性能 [J]. *水资源与水工程学报* 2013 ,24(3) : 86 – 88.
- [25] 梁吉燕 ,杨蕴哲 ,王承智 ,等. 铁阳极电凝聚处理活性黑 KN – B 染料废水 [J]. *环境工程学报* 2007 ,1(9) : 46 – 49.
- [26] 孙兆楠 ,胡筱敏 ,董嫦娥. 周期换向电凝聚法处理黄连素模拟制药废水的研究 [J]. *安全与环境学报* 2011 ,11(6) : 60 – 64.
- [27] Zaied M ,Bellakhal N. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry [J]. *Journal of Hazardous Materials* ,2009 , 163(2) : 995 – 1000.
- [28] Ugurlu M ,Gurses A ,Dogar C ,et al. The removal lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation [J]. *Journal of Environmental Management* 2008 ,87(3) : 420 – 428.
- [29] FENG J W ,SUN Y B ,ZHENG Z ,et al. Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation [J]. *Journal of Environment Science – China* 2007 ,19(12) : 1409 – 1415.
- [30] Espinoza Q F R ,Fornari M M T ,Mdenes A N ,et al. Pollutant removal from tannery effluent by electrocoagulation [J]. *Chemical Engineering Journal* 2009 ,151(1) : 59 – 65.
- [31] CHEN L ,LI L ,SHENG H. Treatment of chemical mechanical polishing wastewater by electrocoagulation: system performances and sludge settling characteristics [J]. *Chemosphere* ,2004 ,54(3) : 235 – 242.
- [32] Drouiche N ,Ghaffour N ,Lounici H ,et al. Electrocoagulation of chemical mechanical polishing wastewater [J]. *Desalination* , 2007 ,214(1) : 31 – 37.
- [33] Asselin M ,Drogui P ,Brar S K ,et al. Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2008 ,151(2) : 446 – 455.
- [34] Korbahti B K ,Artut K. Bilge water treatment in an upflow electrochemical reactor using Pt anode [J]. *Separation Science and Technology* 2013 ,48(14) : 2204 – 2216.
- [35] Sengil I A ,Ozacar M. Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2006 ,137(2) : 1197 – 205.
- [36] Tchamango S ,Nanseu N C P ,Ngameni E ,et al. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes [J]. *Science of the Total Environment* 2010 ,408(4) : 947 – 952.
- [37] Khoufi S ,Feki F ,Sayadi S. Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2007 ,142(1) : 58 – 67.
- [38] Hanafi F ,Assobhei O ,Mountadar M. Detoxification and discoloration of moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation [J]. *Journal of Hazardous Materials* 2010 ,174(1) : 807 – 812.
- [39] 董宪姝 ,姚素玲 ,张凌云. 电化学絮凝的应用与发展 [J]. *选煤技术* 2008(4) : 132 – 135.
- [40] 陈洪砚 ,李铁庆 ,李敬峰. 电絮凝法处理煤泥水的研究 [J]. *环境保护科学* ,1992 ,18(1) : 43 – 46.
- [41] 董宪姝 ,姚素玲 ,刘爱荣 ,等. 电化学处理煤泥水沉降特性的研究 [J]. *中国矿业大学学报* 2010 ,39(4) : 753 – 757.
- [42] Carlos A ,Martínez H ,Enric B. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: a general review [J]. *Applied Catalysis B – environmental* 2009 ,87(3) : 105 – 145.
- [43] 汤鸿霄. 无机高分子絮凝剂的基础研究 [J]. *环境化学* ,1990 , 9(3) : 1 – 12.
- [44] 乌锡康. 有机化工废水治理技术 [M]. 北京: 化工工业出版社 2000.
- [45] 冯 莉 ,刘炯天 ,张明青 ,等. 煤泥水沉降特性的影响因素分析 [J]. *中国矿业大学学报* 2010 ,39(5) : 671 – 675.
- [46] 温雪峰 ,李昌平 ,关嘉华 ,等. 浮选尾煤煤泥水特性及沉降药剂的选择性研究 [J]. *煤炭工程* 2004(2) : 55 – 57.
- [47] 叶国堂. 《钢分类》标准的实施 [J]. *冶金标准化与质量* ,1997(4) : 31 – 34.
- [48] 赵丽萍 ,于春海 ,段 锐. 非调质钢分类的研究 [J]. *吉林农业大学学报* ,1999 ,21(4) : 78 – 80.
- [49] 张 景 ,王泽南 ,宋树磊. 煤泥水 pH 值对絮凝沉降的影响 [J]. *洁净煤技术* 2011 ,17(5) : 16 – 18.
- [50] 吉登高 ,郭旭龙 ,蔡光顺 ,等. 水质变化对煤泥水絮凝沉降的影响 [J]. *洁净煤技术* 2011 ,17(1) : 12 – 14.