

综述与专论

# 聚合氯化铝铁在矿井水处理中的应用前景展望

高 杰

(煤科集团杭州环保研究院,浙江 杭州 311201)

**摘要:** 针对我国当前矿井水净化处理现状,指出了矿井水混凝处理过程中存在的主要问题,阐述了传统絮凝剂聚合氯化铝的不足之处。根据对聚合氯化铝铁性能、特点以及经济性等方面的详细论述,分析了聚合氯化铝铁在矿井水混凝处理中的优势及应用前景,并对聚合氯化铝铁今后在矿井水处理应用中的发展方向提出了建议。

**关键词:** 聚合氯化铝铁;矿井水;混凝;展望

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2014)05-0001-04

## APPLICATION PROSPECT OF PAFC ON THE TREATMENT OF MINE DRAINAGE

GAO jie

(Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp,  
Hangzhou 311201, China)

**Abstract:** According to the present status on the purification treatment of mine drainage in our county, the main problem during coagulation treatment of mine drainage was pointed out, also the inadequacies of traditional coagulant PAC was expounded. The superiority and prospect of PAFC on the purification treatment of mine drainage was analyzed, also the future directions of PAFC on the treatment of mine drainage was suggested by the discussion fully for the performance, characteristic and economy of PAFC.

**Key words:** PAFC; Mine drainage; Coagulation; Prospect

我国是一个水资源短缺的国家,但同时矿井水资源却十分丰富,截止 2010 年,全国矿井水排放量约为 61 亿  $m^3$ ,位居世界首位<sup>[1,2]</sup>。矿井水是煤炭在开采过程中,地下水和少量地表渗水受井下生产活动影响所排出的一种废水,水中常含有一些煤粉、岩粉等固体悬浮物及少量油类物质,感官性能差,若直接排放会给矿区周边的水环境造成污染,但经过净化处理后便可用作井下生产、煤炭加工以及矿区生活等用水,能够有效的缓解矿区

水资源不足,改善矿区生态环境及矿邻关系,社会、环境及经济效益突出。长期以来,我国对矿井水的资源化利用十分重视,国家发展改革委员会在十二五《矿井水利用发展规划》中曾明确提出:到 2015 年,全国煤矿矿井水排放量达 71 亿  $m^3$ ,利用量 54 亿  $m^3$ ,利用率提高到 75%,新增矿井水利用量 18 亿  $m^3$ ,加上非煤矿山新增矿井水利用量约 5 亿  $m^3$ ,全国新增矿井水利用量约 23 亿  $m^3$ 。因此,选择高效的混凝剂来提高矿井水净化处理工艺中最核心的混凝处理效果,进一步优化矿井水处理后的出水水质,便能拓展矿井水的复用途径,提高矿井水整体利用率,具有十分重要的意义。

收稿日期:2014-01-12

作者简介:高 杰(1981.01-),安徽庐江人,工程师,主要从事煤矿水处理方面相关科研及设计工作。

聚合氯化铝铁(PAFC)是近年来新型研制出的一种无机高分子复合絮凝剂。它以分子链为基本结构,具有多种聚合态,其化学通式为: $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m \cdot [Fe_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$ (式中: $n \leq 5, m \leq 10$ ),是依据协同增效原理,通过加入PAFC单质铁离子或三氧化铁和其它含铁化合物复合制得<sup>[3]</sup>。由于PAFC集铝盐和铁盐各自的优点,既拥有了铝盐絮凝剂矾花大、水处理面宽、腐蚀性小等优点,又具备铁盐絮凝剂沉速快、易分离、低温水处理效果好等优异性能。目前PAFC已广泛应用于饮用水、工业用水及多种工业废水的处理,并取得了显著的应用效果。

## 1 矿井水混凝处理存在问题

我国矿井水的混凝处理技术起步于上世纪70年代,当时的矿井水处理工作还处于为排放而治理的阶段,大部分矿井水只是经过简单的自然沉淀便直接排放,矿井水处理技术相对比较粗放和落后。进入上世纪90年代后,国内一些矿山企业和相关科研院所,如中国煤炭科工集团杭州研究院和中国矿业大学(北京)水污染控制工程研究所等单位经过多年的研究,成功研发、推广了一系列矿井水净化处理技术,取得了很多成功经验,极大地提高了我国矿井水资源化利用水平。但随着煤炭工业现代化建设的发展,煤矿企业对分质供水和安全用水的水质要求越来越高,因此,进一步提高矿井水净化处理技术,提高矿井水净化后的出水水质及稳定性就显得十分必要。

混凝是矿井水净化处理技术中最重要一个环节,直接影响着矿井水净化处理的出水效果。目前,我国矿井水在混凝处理领域中主要存在以下问题:

(1) 矿井水中的悬浮固体颗粒小,比重轻,致使矿井水在混凝过程中絮凝沉降速度慢<sup>[4,5]</sup>。

(2) 矿井水中的悬浮固体含量高,悬浮物含量不稳定,使混凝处理构筑物冲击负荷增大。

(3) 我国煤矿多位于北方地区,矿井水混凝构筑物又多处于室外,低温的影响使矿井水混凝效果变差。

(4) 矿井水中含有很多油类物质和少量有机物质,尤其在煤矿井下工作面设备检修及搬迁时,矿井水的机油和乳化油含量更高,严重影响了混凝的处理效果。

(5) 絮凝剂投加控制技术、设备不能有效的匹

配矿井水水质和水量的波动。

## 2 聚合氯化铝处理矿井水的不足

我国矿井水净化处理目前绝大多数都采用聚合氯化铝(PAC)作为絮凝剂。PAC是一种比较成熟的无机高分子絮凝剂,因其货源广泛、价格适中、使用条件广、絮凝效果好等优点,受到水处理领域的一致认可,已在国内饮用水、工业废水等领域取得广泛的应用。矿井水净化处理中,由于矿井水特殊的行业特征,PAC在实际应用中尽管取得了很好的处理效果,但仍有一些不足之处。首先,由于矿井水中所含悬浮固体细小且轻,使矿井水中的悬浮颗粒和胶体絮凝程度很难彻底,并需要较长的絮凝时间和大量电解质聚合氯化铝,即使配合一些高分子助凝剂使用,电解质PAC投加量仍然很大。笔者通过在淮南矿区的14座矿井水处理设施中调查发现,淮南矿区矿井水的进水浊度在50~3 000 NTU之间,平均值约为600 NTU,而絮凝剂PAC的投加量平均达到了200 mg/L,投加量远远超过了其它行业水处理混凝中PAC的投加量。其次,矿井水中大量的悬浮物和较高的絮凝剂投加量使矿井水处理系统中的絮凝剂制备和投加系统、煤泥水排放系统和煤泥水脱水系统运行负荷增大,给矿井水处理系统的日常运行管理和操作带来诸多难题和挑战。此外,PAC对矿井水中常见的一些油类和有机物质没有很好的去除效果,需另外单独考虑矿井水中油类和有机物质去除的设施和设备,进一步增加了矿井水处理设施的建设成本和管理难度。

## 3 PAFC的优势及技术经济分析

### 3.1 PAFC在矿井水混凝处理中的优势

与矿井水净化处理中应用最多的传统絮凝剂PAC相比,PAFC具有以下优点:

#### 3.1.1 混凝效果好,投加量少

PAFC本身就是 $Al^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$ 的预水介产物,除能生成一般铁、铝盐在水解过程中生成的简单低价水解羟基离子外,还能生成大量的高价聚羟基阳离子,和水中胶体微粒电荷和压缩双电层,同时还发生羟基架桥、交联、表面吸附等一系列反应,在相互碰撞情况下形成了大的矾花<sup>[6]</sup>。同时,PAFC中10%~20%左右含量的铁能使矿井水在混凝过程中形成的矾花密实度大,沉速更快。

表 1 为淮南矿业(集团)有限责任公司顾桥煤矿矿井水处理站现场混凝试验筛选出的最佳絮凝剂投加量统计分析表。从表 1 中可以看出,PAFC 用 75%~80% PAC 的投加量却达到了更好的脱浊效果。

表 1 混凝试验絮凝剂最佳用量分析统计

絮凝剂种类	最佳用量/(mg/L)	出水浊度 (NTU)	煤泥含水率/%
PAC	250	5.8	95.8
PAC+PAM	200+1.0	3.1	95.2
PAFC	200	4.9	92.1
PAFC+PAM	150+0.5	2.5	91.0

注:表 1 中进水浊度为 1497NTU。

### 3.1.2 减轻了投药和煤泥水脱水系统负荷

从表 1 中得知,经过 15 min 沉淀后,PAFC 混凝形成的煤泥水含水率最低,因而能够使煤泥水浓缩和脱水系统的工作效率得到进一步的提高。此外,由于 PAFC 混凝效果要比 PAC 好,可有效的减轻矿井水净化处理中絮凝剂的溶液配置和投加系统的运转负荷,同时还降低了操作人员的劳动强度。

### 3.1.3 低温时混凝处理效果好

冬季矿井水絮凝构筑物进水水温低时,水的粘度增大而使沉速减小,加之低温时气体的溶解度大,使形成的絮凝体密度降低,溶解性气体大量吸附在絮凝体周围,不利于沉淀,而 PAFC 具备铁盐絮凝剂的特性就能够很好的解决絮凝体密度低和沉速慢这一问题<sup>[7]</sup>。

### 3.1.4 对有机物和油类物质去除效果明显

絮凝剂的聚合度及分子质量是影响絮凝效果的重要因素,随着聚合度及分子质量的提高,絮凝剂的吸附架桥能力会大大提高。PAFC 无论在聚合度还是分子质量上都高于 PAC,其对有机物和油类物质的去除效果显然要优于 PAC<sup>[8]</sup>。

### 3.1.5 采购便捷,腐蚀性小

PAFC 可以用多种工业废渣来制备,原料来源广泛,成本低廉。目前,国内绝大多数絮凝剂生产厂家都有生产 PAFC 技术和产品,以往的货源问题已得到有效的解决。另外,PAFC 中的铁含量只占到 10%~20%的比例,腐蚀性也小。

## 3.2 PAFC 技术经济分析

根据表 1 提供的顾桥煤矿矿井水混凝试验絮凝剂最佳用量试验数据,分析得出了 PAC、PAFC 单独投加与联合高分子助凝剂 PAM 投加的经济分析比较情况,结果如表 2。

表 2 絮凝剂经济分析比较

絮凝剂种类	絮凝剂最佳用量/(mg/L)	絮凝剂价格/(元/t)	絮凝剂消耗量/(t/d)	总处理成本/(元/d)	吨水处理成本/元	出水浊度/NTU
PAC	250	1500	0.75	1125	0.375	5.8
PAC+PAM	200+1.0	1500+20000	0.6+0.003	960	0.32	3.1
PAFC	200	1800	0.6	1080	0.36	4.9
PAFC+PAM	150+0.5	1800+20000	0.6+0.0015	930	0.31	2.5

注:表 2 中顾桥煤矿实际的矿井水处理水量为 3 000 t/d。

表 2 的数据表明,单独使用絮凝剂 PAC、PAFC 处理顾桥煤矿矿井水的成本分别为 0.375 元/t 水、0.36 元/t 水;絮凝剂 PAC、PAFC 联合高分子助凝剂 PAM 的处理成本分别为 0.32 元/t 水、0.31 元/t 水。可以认为,PAFC 无论单独投加还是联合 PAM 投加的处理成本都要优于 PAC,并且脱浊效果更好。

## 4 PAFC 的研究及应用现状

自 1982 年 Kuo 和 Wamser 首先合成 PAFC 以来,各国科研工作者相继对其进行了深入的研究。高宝玉等利用煤矸石和铁矿石为原料采取一定的工艺条件研制成了 PAFC,并把它用以处理煤矿矿井水和油田含油废水,结果表明:仅投加 40 mg/L 的 PAFC,煤矿矿井水的 COD 和 SS 去除率分别达到 82%和 90%;而对油田含油废水的除油率和 SS 去除率都超过了 90%<sup>[9]</sup>。葛中巧等人用 PAFC 处理电镀废水<sup>[10]</sup>,胡文慧等人用 PAFC 处理饮用水<sup>[11]</sup>,戴捷等人用 PAFC 处理造纸中段废水<sup>[12]</sup>,都取得了比较好的处理效果。

目前,聚合氯化铝铁在国内城市饮用水和一些工业废水领域实际应用很多,如上海市的泰和水厂,合肥市的四水厂等,并且都取得了较好的应用效果。在矿井水净化处理领域,煤矿企业由于受地域差异、絮凝剂采购模式、价格因素及一些固定思维等因素影响,PAFC 应用的实例鲜有报道。但随着国家及煤矿企业对矿井水利用率和用水水质要求的逐渐提高,矿井水净化处理技术必将要得到进一步的完善和提高,而 PAFC 凭借其自身独特的优势,在各方面都已具备取代 PAC 的条件,未来在矿井水净化处理中势必有着广阔的应用前景。

## 5 PAFC 今后研究方向

大量研究资料表明,PAFC 中的 Al/Fe 摩尔比不同,制成的絮凝剂对废水的处理效果就不同,这主要是因为其自身结构、稳定性等性能不同所致。由于 PAFC 体系的复杂性,还缺少表征 PAFC 的特

征参数,因而至今 PAFC 尚无统一的国家标准。今后应加强对 PAFC 共聚机理的理论研究,充分发挥铝盐和铁盐的协同增效作用,使其能够针对矿井水中污染物的种类及含量作出不同铝铁配比的调整。同时要不断改进 PAFC 的制备方法和性质,为 PAFC 的生产和运输创造便利条件,促进其在矿井水处理领域得到更广泛和有效应用。

## 6 结语

由于矿井水特殊的行业特征,传统絮凝剂 PAC 在矿井水混凝处理过程中往往投加大量,生成的煤泥密实度低,对有机物和油类物质去除效果有限,并由此还带来了絮凝剂加药系统、煤泥水排放系统和煤泥水压滤系统等环节上管理及操作上的困难。PAFC 由于拥有了铝盐和铁盐各自的优点,能够很好的解决上述问题,并且在经济上 PAFC 处理矿井水的成本也优于 PAC。虽然受一些因素影响导致 PAFC 目前实际应用较少,但综合各方面分析,PAFC 从各方面都已具备在矿井水处理应用中取代传统 PAC 的条件。

## 参考文献

- [1] 高 亮.我国煤矿矿井水处理技术现状及其发展趋势 [J].煤炭科学技术,2007,35(9):1-5.
- [2] 郭中权,王守龙,朱留生.煤矿矿井水处理利用实用技术[J].煤炭科学技术,2008,36(7):3-5.
- [3] 吴 钧,周志浩,金云云.聚碱式氯化铝铁的结构及应用研究[J].华东化工学院学报,1992,18(1):119-126.
- [4] 高 亮,周如禄,徐楚良,等.煤种与煤矿矿井水水质特征之间的相关性[J].能源环境保护,2004,18(6):46-48.
- [5] 周如禄,高 亮,陈明智.煤矿含悬浮物矿井水净化处理技术探讨[J].煤矿环境保护,2000,14(1):10-12.
- [6] 宁寻安.新型混凝剂聚合氯化铝铁的研制及混凝作用机理[D].华南理工大学(硕士学位论文),1998,31.
- [7] 张立东,张 磊,惠远峰.低温低浊松花江原水的强化混凝生产性试验[J].哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2012,28(6):668-670.
- [8] 陈芳艳.用聚合氯化铝铁混凝处理炼油废水研究[J].辽宁城乡环境科技,2000,4:35-38.
- [9] 高宝玉,于 慧.用煤矸石制备聚合氯化铝铁絮凝剂的研究[J].环境科学,1996,17(4):64-70.
- [10] 葛中巧,杜朝军.聚合氯化铝铁(PAFC)处理电镀废水的研究[J].南阳师范学院学报,2006,5(12):51-52.
- [11] 胡文慧,王 欣.聚合氯化铝铁在引用水处理中的生产试验研究[J].黑龙江水利科技,2004,2:52-53.
- [12] 戴 捷,吴 忠.聚合氯化铝铁处理工业废水的实验研究[J].环境科学与技术,2004,27:28-30.

(上接第 58 页)

于可见光的利用会增强,敏化材料对于甲基橙的吸附减弱,综合导致催化剂催化性能的下降。

为了测定光催化剂的稳定性,选取负载量为

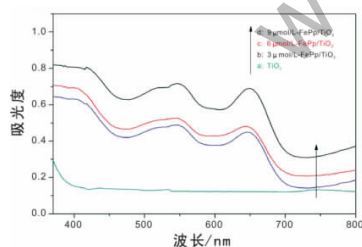


图 5 不同样品光催化降解甲基橙的降解率

6FePp/TiO<sub>2</sub> 重复使用降解甲基橙,图 6 为该光催化剂重复使用次数对甲基橙的降解率的影响。从图 6 中可以看出,催化剂重复使用 5 次,其催化降解效率几乎不变,第五次重复使用时 FePp/TiO<sub>2</sub> 降解效率能达到 87.6%,说明复合光催化剂性质稳定,TiO<sub>2</sub> 与铁卟啉之间化学吸附的结合很牢固,复合催化剂有较长的使用寿命。

## 4 结论

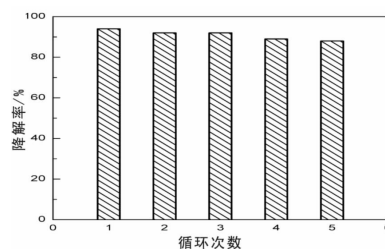


图 6 FePp/TiO<sub>2</sub> 对甲基橙降解反应循环使用的稳定性

以卟啉铁为敏化剂,P25 为二氧化钛载体,采用化学吸附合成了卟啉铁敏化二氧化钛复合催化剂:FePp/TiO<sub>2</sub>,制备方法简单。卟啉铁与 TiO<sub>2</sub> 复合后,并未改变二氧化钛的晶型、表面面貌、晶粒大小,而是以羧酸键的形式牢固的结合在 TiO<sub>2</sub> 表面,卟啉铁的存在使二氧化钛对可见光的吸收大大增强,拓展了二氧化钛的光响应范围。在可见光下光催化降解甲基橙的研究表明,卟啉铁在二氧化钛表面的负载量对光催化效果有着显著的影响,当负载量为 6 μmol/g 时其在可见光下光催化效果最为显著,并且卟啉铁复合催化剂性能稳定,可多次重复利用,未来可在实际的废水处理中得到应用。

## 参考文献(略)