

国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA06Z305)

国家自然科学基金资助项目(50448017)(50678172)

教育部科学技术研究重点项目(107022)

矿井水处理及资源化的 理论与实践

KUANGJINGSHUICHULI JI ZIYUANHUA DE
LILUN YU SHIJIAN

何绪文 贾建丽 著

煤炭工业出版社

国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA06Z305)

国家自然科学基金资助项目(50448017)(50678172)

教育部科学技术研究重点项目(107022)

矿井水处理及资源化的 理论与实践

何绪文 贾建丽 著

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书系统介绍了矿井水水质特征与分布情况,矿井水排水量预测与水质评价;全面论述了高浊、高铁锰、高矿化度和酸性矿井水处理及资源化技术,并对今后矿井水的地下处理与回用进行了介绍与展望。

本书可供大专院校师生、相关研究单位及管理部门的人员学习使用,亦可供相关专业研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井水处理及资源化的理论与实践/何绪文,贾建丽
著. —北京:煤炭工业出版社,2009
ISBN 978-7-5020-3549-5
I. 矿… II. ①何…②贾… III. 煤矿-矿井水-废水处理-研究 IV. X752.03 TD743
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 082186 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京中科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 14¹/₂
字数 300 千字 印数 1—700
2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 6359 定价 65.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

目前,我国水资源尤其是煤矿区水资源短缺状况非常严重,全国 86 个国有重点煤矿区中有 71% 缺水,40% 属于严重缺水,这种区域性富煤贫水的格局使得煤矿区水资源供需矛盾十分突出。国家发改委《矿井水利用专项规划》明确指出,要加大矿井水利用技术研发力度,注重自主创新,重点研发具有自主知识产权的关键技术;加强技术创新能力建设,建立以企业为主体的技术创新体系,推动“产学研”的联合,促进矿井水利用科技成果的产业化;组织实施矿井水利用的重大示范工程,研究和推广适用于重要产矿区、严重缺水矿区及大涌水矿区的矿井水利用技术,不断扩大矿井水利用规模,提高矿井水利用水平。可见,做好矿井水资源化利用工作既满足国家的战略部署和要求,又是国民经济发展的迫切需要。

根据 2005 年对全国原煤年产量达 0.2Mt (20 万吨)、近年的年涌水量在 $6 \times 10^5 \text{m}^3$ (60 万立方米) (含) 以上的煤矿统计,全国煤矿每年矿井水涌水量在 $4.2 \times 10^9 \text{m}^3$ (42 亿立方米) 左右,约占全国矿井水排放量(有色、冶金、黄金、化工等矿山)的 80% 以上,目前矿井水的利用主要是经过简单沉淀后用于洗煤、井下防尘等方面,利用率不到 26%,而大部分矿井水未经处理直接排放。矿井水的大量排放,不仅严重污染环境,而且造成水资源极大浪费。随着国家大型煤炭基地的建设,煤化工、煤电联合等下游产业链的进一步延伸,以及环境保护力度的日益加大,矿井水污染问题在煤矿地区已凸显出来。国家发改委明确要求,在 2010 年前矿井水利用率必须提高到 60% 以上,并作为煤矿地区重要的第二水源,未达标的一律不得再批准新建项目。基于此,矿井水的处理与资源化研究成为煤矿生态与环境的重要组成部分,必将受到广泛关注。为了促进该领域研究工作的深入开展,作者根据近年来已有的工作基础,特别是结合国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA06Z305)、国家自然科学基金资助项目(50448017)、(50678172)、教育部科学技术研究重点项目(107022)等所取得的研究成果,融合国内外最新研究进展,撰写了本著作。

本书的出版是我们项目研究小组集体智慧的结晶,邵立南、李福勤、杨静、张先、李丹、张珊珊、李焱等都先后参与了项目的研究和著作资料的准备工作;同时在矿井水的处理与资源化的科研实践中,我们得到很多方面的支持和帮助。在此,我们一并

表示诚挚的感谢!

由于时间和水平有限,疏忽与错误之处在所难免,恳请广大读者和有关专家批评指正。

何绪文 贾建丽

2009年3月

目 录

1 矿井水处理概述	(1)
1.1 矿井水的来源及水质特征	(2)
1.1.1 矿井水的来源	(2)
1.1.2 矿井水的水质特征	(3)
1.2 矿井水的分类	(3)
1.3 各类矿井水处理现状及存在的问题	(5)
1.3.1 含悬浮物矿井水处理现状及存在的问题	(6)
1.3.2 高矿化度矿井水处理现状及存在的问题	(7)
1.3.3 酸性矿井水处理现状及存在的问题	(8)
1.3.4 含有毒有害元素矿井水处理现状及存在的问题	(8)
1.4 我国矿井水资源化利用状况	(10)
1.4.1 矿井水水质分布区域和水质特征	(10)
1.4.2 矿井水的排放及利用状况	(10)
1.5 我国矿井水资源化利用总体规划	(13)
1.5.1 矿井水利用存在的主要问题以及面临的形势与任务	(13)
1.5.2 矿井水利用发展重点	(14)
1.5.3 矿井水利用中存在问题的解决对策	(15)
2 矿井水排水量预测与矿井水水质评价	(17)
2.1 矿井水排水量预测	(17)
2.1.1 矿井水排水量预测的意义	(17)
2.1.2 预测方法	(17)
2.1.3 矿井水排水量预测实例	(22)
2.2 矿井水水质评价	(25)
2.2.1 矿井水水质评价的意义	(25)
2.2.2 评价方法	(25)
2.2.3 矿井水水质评价实例	(34)
3 高浊矿井水资源化技术	(38)
3.1 高浊矿井水的分布情况与水质特征	(38)
3.1.1 高浊矿井水的分布情况	(38)
3.1.2 高浊矿井水的水质特征	(38)

3.2 高浊矿井水的资源化技术	(40)
3.2.1 高浊矿井水处理常规工艺及存在的问题	(40)
3.2.2 高浊矿井水资源化的试验研究	(41)
3.3 高浊矿井水的资源化工程实例	(50)
3.3.1 项目建设的必要性及研究的目的和意义	(50)
3.3.2 原水水质和处理要求	(51)
3.3.3 二矿矿井水除浊处理试验研究	(52)
3.3.4 二矿矿井水除浊最佳工艺参数确定	(54)
3.3.5 RO 设计计算软件出水水质模拟及脱盐水比例确定	(55)
3.3.6 工艺流程及工艺参数确定	(56)
3.3.7 工程处理效果	(59)
4 高铁锰矿井水资源化技术	(60)
4.1 高铁锰矿井水的分布情况与水质特征	(60)
4.1.1 高铁锰矿井水的分布情况	(60)
4.1.2 高铁锰矿井水的水质特征	(60)
4.2 高铁锰矿井水的资源化技术	(61)
4.2.1 高铁锰矿井水资源化常用的工艺	(61)
4.2.2 高铁锰矿井水资源化的试验研究	(63)
4.2.3 高铁锰矿井水过滤除铁锰机理研究	(85)
4.3 高铁锰矿井水的资源化工程实例	(90)
4.3.1 项目建设的必要性及研究的目的和意义	(90)
4.3.2 原水水质和处理要求	(90)
4.3.3 九矿矿井水处理试验研究	(91)
4.3.4 九矿矿井水处理工艺参数确定	(96)
4.3.5 九矿矿井水处理总体工艺流程及运行成本	(96)
4.3.6 工程处理效果	(99)
5 高矿化度矿井水资源化技术	(100)
5.1 高矿化度矿井水的分布情况和水质特征	(100)
5.1.1 高矿化度矿井水的分布情况	(100)
5.1.2 高矿化度矿井水的水质特征	(100)
5.2 高矿化度矿井水的资源化技术	(101)
5.2.1 高矿化度矿井水的资源化常用工艺	(101)
5.2.2 反渗透膜污染防治试验研究	(105)
5.2.3 反渗透膜污染机理	(122)
5.2.4 反渗透膜透过机理研究	(125)
5.2.5 反渗透技术在煤矿苦咸水处理中的应用	(136)

5.3 高矿化度矿井水的资源化工程实例	(153)
5.3.1 水量水质情况	(153)
5.3.2 RO膜的选择	(154)
5.3.3 工艺说明	(154)
5.3.4 结果与讨论	(156)
6 酸性矿井水资源化技术	(159)
6.1 酸性矿井水	(159)
6.1.1 酸性矿井水的形成过程	(159)
6.1.2 酸性矿井水的危害	(160)
6.1.3 酸性矿井水的分布情况	(161)
6.2 酸性矿井水的资源化技术	(161)
6.2.1 中和法	(161)
6.2.2 微生物法	(164)
6.2.3 人工湿地法	(165)
6.2.4 粉煤灰处理	(167)
6.3 酸性矿井水资源化试验研究	(169)
6.3.1 轻烧镁粉	(169)
6.3.2 试验试剂与仪器	(170)
6.3.3 用轻烧镁粉作中和剂的性能研究	(170)
6.3.4 加药量、搅拌速度与搅拌时间的正交试验研究	(173)
6.3.5 曝气氧化除铁的试验研究	(175)
6.3.6 结论及展望	(178)
6.4 工程实例	(179)
6.4.1 水质特征	(179)
6.4.2 处理工艺流程	(180)
6.4.3 矿井水处理主要工艺参数	(180)
7 矿井水井下处理及就地复用技术	(183)
7.1 矿井水井下处理及就地复用的目的和意义	(183)
7.2 矿井水井下处理及就地复用的难点	(183)
7.2.1 工程设计难点	(183)
7.2.2 设备设计和选型难点	(184)
7.2.3 自控系统难点	(184)
7.3 矿井水井下处理及就地复用的关键技术	(184)
7.3.1 矿井水井下处理及就地复用工艺	(184)
7.3.2 工艺选择上的技术考虑	(184)
7.3.3 矿井水井下处理及就地复用的试验研究	(192)

7.4 矿井水井下处理及就地复用的工程实例	(203)
7.4.1 工程目的和意义	(203)
7.4.2 工艺流程	(205)
7.4.3 工艺参数确定	(207)
7.4.4 工艺设备与主要构筑物尺寸确定	(209)
7.4.5 系统的可靠性	(212)
7.4.6 系统的安全性	(214)
7.4.7 应急系统	(214)
7.4.8 工程处理效果	(214)
主要参考文献	(220)

1 矿井水处理概述

水是社会文明、经济发展和人类生存必不可少的自然资源。但是我国淡水资源人均占有量只相当于世界人均的 $1/4$, 在全国 600 多座城市中, 有 400 多座城市缺水, 而煤矿区所在城市缺水状况更为严重。全国 86 个国有重点煤矿区中有 71% 缺水, 其中 40% 属于严重缺水。在国家“十一五”规划建设的 13 个煤炭基地中, 有 10 个基地是缺水或严重缺水地区。这种富煤贫水的格局, 使得煤矿区水资源供需矛盾十分突出, 为此国家对矿井水利用高度重视。2005 年 6 月, 国务院《关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知》(国发[2005]21 号), 对矿井水利用工作做出了明确安排。2006 年 3 月, 国家对外发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中再次指出: “积极开展海水淡化、海水直接利用和矿井水利用。”《国家“十一五”科学技术发展规划》中“面向紧迫需求, 攻克关键技术”的发展思路包括: “立足于当前国民经济和社会发展的紧迫要求, 把能源、资源、环境、农业、信息、健康等关键领域的重大技术开发放在突出位置, 加强工艺技术和产业共性技术的研究”, 其中在国家重大战略需求的基础研究领域明确提到“重点开展水循环与水资源高效利用”。2006 年 12 月国家发改委颁布了《矿井水利用专项规划》, 其中明确指出要加大矿井水利用技术研发力度, 注重自主创新, 重点研发具有自主知识产权的关键技术; 加强技术创新能力建设, 建立以企业为主体的技术创新体系, 推动“产学研”的联合, 促进矿井水利用科技成果的产业化; 组织实施矿井水利用的重大示范工程, 研究和推广适用于重要产矿区、严重缺水矿区及大涌水矿区的矿井水利用技术, 不断扩大矿井水利用规模, 提高矿井水利用水平。由此可见, 做好矿井水资源化利用工作既满足国家的战略部署和要求, 又是国民经济发展的迫切需要。

煤炭是我国的主要能源, 煤炭工业的健康持续发展是我国能源安全的重要保证。2005 年, 全国生产煤炭 1950Mt (19.5 亿吨), 约占全国一次能源生产总量的 74%, 但依然不能满足我国经济快速增长的需要, 在今后相当长的时期内, 能源生产和消费以煤为主的格局不会有大的改变, 煤炭产量还会逐年增加。根据 2005 年对全国原煤年产量达 0.2Mt (20 万吨)、近年的年涌水量在 $6 \times 10^5 \text{m}^3$ (60 万立方米) (含) 以上的煤矿统计, 全国煤矿每年矿井水涌水量在 $4.2 \times 10^9 \text{m}^3$ (42 亿立方米) 左右, 约占全国矿井水排放量 (有色、冶金、黄金、化工等矿山) 的 80% 以上。目前, 矿井水利用主要是经过简单沉淀后用于选煤、井下防尘等方面, 利用率不到 26%, 而大部分矿井水未经处理直接排放。矿井水的大量排放, 不仅严重污染环境, 而且造成水资源极大浪费。随着国家大型煤炭基地的建设, 煤化工、煤电联合等下游产业链的进一步延伸, 以及环境保护力度的日益加大, 矿井水污染问题在煤矿地区已凸显出来。我国规划建设

的 13 个大型煤炭基地及相邻城市的地下水、地表水水位急剧下降,不仅造成了地面沉降、地表塌陷等地质灾害,而且使农耕环境退化、生态平衡受到破坏,并严重污染地下和地表水体。为此,国家发改委明确要求,在 2010 年前矿井水利用率必须提高到 60% 以上,并作为煤矿地区重要的第二水源,未达标的一律不得再批准新建项目。这些政策为矿井水的大规模利用提供了巨大的发展空间,矿井水资源化利用的市场需求不断扩大,价值不断提高。因此,煤矿矿井水的资源化利用既是解决制约未来煤矿企业可持续发展“瓶颈”问题的关键,也是其可持续发展的必然选择。

1.1 矿井水的来源及水质特征

1.1.1 矿井水的来源

煤矿矿井水的形成主要是由于巷道揭露和采空区塌陷波及水源所致,其来源主要是大气降水、地表水、断层水、含水层水、采空区水。其中大气降水是矿井水的总来源,它可以给其他水源进行补给。

1. 大气降水

大气降水是矿井水的总来源,它除了一部分被蒸发和随河流流走以外,另一部分则沿岩石的孔隙和裂隙进入地下,或直接进入矿井。在不同地区、不同季节、不同开采深度大气降水对矿井水的影响也不相同。在降雨量少的西北地区,矿井涌水量就小;在降雨量多的南方地区,矿井涌水量就大;即使在同一地区,由于大气降雨量随季节的变化,矿井涌水量也随着发生周期性变化。同时,由于矿井开采深度不同,矿井涌水量也随着发生相应变化。一般而言,矿井涌水量随开采深度增加而增大。

2. 地表水

位于矿井附近或直接分布在矿井以上的地表水体,如河流、湖泊、水池、水库等,是矿井充水的重要来源,可直接或间接地通过岩石的孔隙、裂隙、岩溶等流入矿井,威胁矿井生产安全。

3. 断层水

大量流入矿井的水往往与区域地质有关,断层破碎带是地下水的通道和聚积区,沿断层破碎带可沟通各个含水层,并与地表水发生水力联系,形成断层水。断层水对矿井生产的影响,主要是由于巷道揭露或采掘活动破坏了围岩的隔水性能,造成断层带的水涌入井下。其特点是静储量小,动储量大,与地表水高压强含水层沟通,对矿

井生产造成巨大威胁,特别是在断层交叉处最容易发生透水事故。

4. 含水层水

含水层水是矿井主要的充水来源。多数情况下,大气降水与地表水先是补给含水层,然后再流入矿井。流入矿井的含水层水量包括静储量和动储量。静储量就是巷道未揭露含水层前,实际赋存在含水层中的地下水,它的大小决定于含水层的厚度、岩石裂隙大小及多少。一般在矿井开采初期排出的矿井水主要是静储量,能在矿井排水中逐渐减少以至疏干。如果大气降水、地表水(包括其他水源)不断流入含水层,使含水层的水得到新的补充,虽然井下长期排水,但含水层中的水仍源源不断,这些补给含水层的水量称为动储量。因此,属静储量的含水层水对矿井生产初期有一定的影响,而后逐渐减弱;属动储量的含水层水对矿井生产的影响将长期存在。

5. 采空区水(老窑积水)

以前和近期的采空区及废弃巷道,由于长期停止排水而存在的地下水,通常称为采空区水。我国煤矿开采有着悠久的历史,一些直接出露地表或易发现的煤层,浅部多数为采空区。再加上前几年乡镇煤矿的乱挖滥采,不仅老窑数量、采空区范围增大,而且开采深度也愈来愈大,就像一个个地下水库,一旦巷道揭露或巷道与老窑之间的煤岩柱强度小于它的静压时,就会像水库垮了水坝一样,突然淹没其“下游”,从而造成严重事故,后果不堪设想。

1.1.2 矿井水的水质特征

煤矿矿井水具有显著的煤炭行业特性,具体表现在:

- (1) 煤矿矿井水的悬浮物含量明显高于地表,且不稳定,感官性状差;
- (2) 悬浮物粒度小、密度小、沉降效果差;
- (3) 混凝的过程中矾花形成困难,沉降效果差;
- (4) 铁、锰含量高,其含量大于 30mg/L 的矿井水较为普通,与高悬浮物相互影响,去除困难;
- (5) 含有有机污染物和特殊污染物。

1.2 矿井水的分类

从本质上讲,矿井水实际上就是矿区所采煤层及开拓巷道附近的地下水,有时也会因地表裂隙而渗入部分地表水。但其基本水质与当地地下水水质相符,主要受当地水文地质以及气候、地理等自然条件的影响。矿井水除了保持当地地下水特征外,还因流经采掘工作面而带入了大量的煤粉以及岩粉等悬浮颗粒,具有高悬浮物的特

征。此外,由于矿工的生产生活活动,还使矿井水带有较多的细菌。对于开采高硫煤的矿井水,由于所夹带的硫铁矿物的氧化作用,矿井水会呈现酸性和高铁性。按照对环境的影响以及作为生活饮用水水源的可行性,习惯上将矿井水按水质类型分为洁净矿井水、含悬浮物矿井水、高矿化度矿井水(矿井苦咸水)、酸性矿井水和含有毒有害元素矿井水 5 类。

1. 洁净矿井水

洁净矿井水的水质中性,低浊度,低矿化度,有毒有害元素含量很低,基本符合生活饮用水标准,主要来源于奥陶纪石灰岩水、矿岩裂隙水等。

2. 含悬浮物矿井水

地下水受开采的影响带入煤和岩粉,水中含有较多的悬浮物,其主要成分为煤粉。煤粉的密度一般只有 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$,远远小于地表水系中泥砂颗粒物的密度(平均密度一般为 $2.4\sim 2.6\text{g}/\text{cm}^3$)。由于含悬浮物矿井水中煤粉的作用,尽管有时矿井水含悬浮物不算很高,可黑色却十分明显,感观性状差。含悬浮物矿井水中悬浮物的含量为每升几十至几百毫克,少数超过 $1000\text{mg}/\text{L}$,但其余理化和毒理指标基本符合生活饮用水标准。

3. 高矿化度矿井水(矿井苦咸水)

高矿化度矿井水是指矿化度(无机盐总含量)大于 $1000\text{mg}/\text{L}$ 的矿井水。据不完全统计,我国煤矿高矿化度矿井水的含盐量一般在 $1000\sim 3000\text{mg}/\text{L}$ 之间,少量矿井水达到 $4000\text{mg}/\text{L}$ 。它主要含有 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 HCO_3^- 等离子,硬度相应较高,水质多数呈中性或偏碱性,带苦涩味,少数为酸性。高矿化度矿井水不利于作物生长,会影响混凝土质量,人长期饮用将引起腹泻和消化不良。中国北方缺水煤矿的矿井水往往属于高矿化度矿井水。

矿井水中矿化度高的原因是由多种因素造成的,主要原因是:

- (1) 被采煤层中含有大量碳酸盐矿物及硫酸盐类矿物,使矿井水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等盐类离子增加;
- (2) 地区干旱,降水量小,蒸发量大,地下水补给不足,促使矿井水盐分浓缩;
- (3) 当开采高硫煤层时,因硫化物氧化产生游离酸,再同碳酸盐矿物、碱性物质发生反应,使矿井水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等离子增加;
- (4) 矿区处于沿海地带,地下咸水侵入煤田。

4. 酸性矿井水

酸性矿井水是指 pH 值小于 5.5 的矿井水,一般 pH 值为 $3\sim 5.5$,个别小于 3,总酸度高。当开采含硫煤层时,硫受到氧化与生化作用产生硫酸,酸性水易溶解煤及岩

石中的金属元素,故铁、锰等金属元素以及无机盐类增加,使矿化度、硬度升高,呈现出明显的黄色。根据 pH 值,可将酸性矿井水分为强酸型($\text{pH} < 3$)和弱酸型($3 \leq \text{pH} \leq 6.5$)。

5. 含有毒有害元素矿井水

含有毒有害元素矿井水是指主要含有氟、铁、锰、铜、锌、铅及铀、镭等元素的水。含氟矿井水来源于含氟较高的地下水区域或煤与岩石中含氟矿物萤石 CaF_2 、氟磷酸;含铁、锰矿井水一般是在地下水还原条件下形成的,多呈 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 低价状态,有铁腥味,易变浑浊,可使地表水的溶解氧降低;含重金属矿井水主要含有铜、锌、铅等;含放射性元素矿井水主要含有铀、镭等天然放射性核素及其衰变产物,其含量超过饮用水标准。

实际上矿井水的水质往往是复合型的,其中有的矿井水含了 10 多项超过饮用水标准和工业用水标准的成分,给矿井水的资源化带来了一定困难。

1.3 各类矿井水处理现状及存在的问题

目前矿井水处理工艺普遍采用混凝、沉淀、过滤、反渗透等工艺技术。混凝和沉淀主要针对去除高浊度矿井水中的悬浮物;过滤主要是去除高铁与高锰;反渗透主要是降低矿井水中无机盐的含量。

1968 年北京给水排水设计院及北京煤矿设计院在大台煤矿进行了井下排水净化后供给生活饮用水的试验研究,主要采用了混凝、沉淀、过滤工艺,使井下排水净化后的水质达到了饮用水标准。20 世纪 80 年代后,我国建立了许多矿井水净化站,如大同、平顶山、徐州、淮北等矿区净化站。刘立民等针对我国目前矿井的排供水状况,对矿井水净化处理的工艺技术进行了对比分析,提出了矿井水井下循环利用的技术方案。结合兖矿集团南屯煤矿井下水处理系统和井下供水系统改造的具体情况,对矿井水井下处理和利用的经济效益进行了计算分析,并证明了其技术上可行、经济上合理,从电化学角度分析了矿井水的净化机理。通过试验分析表明,矿井水中悬浮物属于半胶态体的过渡体,带负电荷,其 ζ 电位介于 $-30 \sim -20\text{mV}$ 之间。

煤炭科学研究总院杭州环境保护研究所的周如禄等人对姚桥煤矿矿井水提出采用水力循环澄清池和重力式无阀滤池相结合的处理方法。该工程设计了一种实现该处理工艺的计算机控制系统,具有良好的灵活性、较高的可靠性和可维护性。北京航空航天大学冯利利等人利用采空区过滤净化矿井水。该方案具有处理效果好、经济效益显著及出水回用率高等优点。该技术对浊度去除率在 90% 以上,是一种矿井水资源化的有效途径。山东科技大学的李甲亮等人运用循环经济原理讨论了不同矿井水的处理、回用和存在问题,对国内煤矿矿井水资源化进行了环境代价的可行性分析。武强、王志强等采用混凝-微滤膜分离组合工艺对含悬浮物的矿井水进行了处

理。系统出水水质稳定,所测项目达到饮用水标准。郭德、王红等人针对某些矿区高悬浮物矿井水的特性,提出了高效浓缩机、迷宫斜板沉淀池和压缩机回收煤泥矿井水的处理方案。关于高铁、高锰矿井水的研究国内外文献报道很少,Philips P 将酸性矿井水经过厌氧塘和好氧塘处理后再经生物滴滤,以达到去除矿井水中锰的目的。试验表明,利用带有藻类和生物群落并且以石灰石为底层的池塘除锰比单独采用石灰石过滤具有更高的去除率。Kevin B 利用好氧湿地和生物反应器处理酸性矿井水中的锰。试验表明,这种方法对铁的生物氧化效果良好,而对锰的氧化却不很理想。

1.3.1 含悬浮物矿井水处理现状及存在的问题

1. 含悬浮物矿井水处理现状

由于构成矿井水悬浮物的主要成分是粒径极为细小的煤粉和岩尘,因此,靠自然沉淀去除是困难的,必须借助混凝剂,采用混凝沉淀的处理方法以实现悬浮物的去除。

含悬浮物矿井水净化处理通常采用铝盐或铁盐混凝剂,絮凝剂则主要采用聚丙烯酰胺。采用聚合氯化铝铁对矿井水进行处理的试验结果表明,这种无机高分子混凝剂对矿井水的水温及 pH 值的变化适应性很强,其去浊率比硫酸铝有明显优势。而对聚丙烯酰胺这类有机高分子絮凝剂,由于其价格昂贵且具有毒性,在矿井水作生活饮用水源处理中较少采用,但在工业回用水中广泛采用。矿井水处理中混凝剂混合方式通常采用水泵混合、管道混合器混合和机械混合,其中水泵混合较为常用。

矿井水净化处理采用沉淀池或澄清池作为主要处理单元。沉淀池采用平流式沉淀、斜管(板)沉淀,其优点是处理能耗小,但存在处理设施占地面积大、沉淀污泥易堵塞造成排泥不畅等缺点。机械加速澄清池、水力循环澄清池都是集混凝反应和沉淀过程于一体的水处理设施。水力循环澄清池具有处理过程中动力消耗低、耐负荷冲击能力强、设施维护简单和操作方便等优点。机械加速澄清池占地面积较小,但处理能耗大、设备维护工作量大,实际应用中处理效果不如水力循环澄清池好。

矿井水处理常用的过滤设施有快滤池和重力式无阀滤池。快滤池管路、阀门系统复杂,反冲洗操作烦琐;重力式无阀滤池能自动反冲洗,操作简便,管理和维护方便,但处理效果不太稳定。滤池通常采用无烟煤和石英砂双层滤料。

矿井水净化处理后若作为生活用水必须经过消毒处理,一般采用二氧化氯消毒,次氯酸钠和液氯较少采用。

2. 存在的问题

1) 混凝剂及水力条件(GT 值)选择不合理

在常规矿井水处理工艺中,混凝是去除悬浮物杂质最关键的工艺,混凝剂的选择、投加量以及反应的水力条件直接影响着处理效果和运行成本。

煤是有机物和无机物的复合体,不同煤化阶段的煤分子大小和结构都不同,煤粒表面所带电荷数量也不相同,因而其亲水程度各异。含悬浮物矿井水中煤粉与无机混凝剂的亲和能力较地表水系中的泥砂颗粒弱很多,因此矾花形成较困难。不同煤矿的矿井水中所含悬浮物的浓度差异也较大,决定了投加混凝剂的种类和数量也不尽相同。矿井水混凝处理同样存在多种的脱稳机制,有些可能是以压缩双电层或产生电性中和为主的机制,而另有的是以网捕或架桥作用为主导。这些均与混凝剂的选择、药剂投加量以及反应条件等有关。其中混凝反应的 GT 值是目前矿井水处理中问题最多而又被人们忽视的重要问题。所以在常规矿井水处理技术上,有必要进行更加深入的探讨,尤其是根据不同的矿井水水质进行最优 GT 值的研究,而这一研究必须与实际问题相结合。

2) 设计参数选择不当

矿井水含有以煤粉微粒为主的悬浮物,具有粒径颗粒差异大、密度小、加药后形成的矾花沉降性能较差等特点。目前大多数含悬浮物矿井水处理工程的主要处理构筑物设计采用江、河、湖、泊等地表水水质为依据的设计参数,这种方法造成反应时间、沉淀的表面负荷取值不当,从而使沉淀设施出水水质得不到保证,增加过滤设施负荷,造成滤后水质不合格,最终使得出水水质和处理水量都难以达到要求。特别是目前全国各地许多煤矿使用一体化净水器处理悬浮物矿井水,它集反应、沉淀和过滤于一体,具有占地面积小、上马快等优点。但是由于一体化净水器的设计参数接近地表水水质选取,故处理水量通常只能达到设计水量的 50% 左右,并且水质经常出现不合格,不仅造成投资浪费,而且影响煤矿的正常生产。

1.3.2 高矿化度矿井水处理现状及存在的问题

高矿化度矿井水也就是常说的苦咸水,在我国北方地区分布较为广泛,主要分布于西北高原、黄淮海平原、东北、中东部部分矿区,其矿井水含盐量均在 1000mg/L 以上。这些矿区也多是我国煤矿缺水最严重的地区,因此对高矿化度矿井水的净化利用,已是解决严重缺水矿区水资源问题的一条捷径。高矿化度矿井水主要是因含盐量高而不宜饮用,其处理工艺除混凝、沉淀、过滤等以外,关键工序是脱盐。目前,苦咸水脱盐方法有电渗析和反渗透脱盐技术两种。

电渗析在高矿化度矿井水淡化工程中有诸多局限性。

(1) 电渗析对钙、镁、氯化物等溶解性无机盐类的去除率达 75%~93%,可以满足苦咸水淡化需求。

(2) 电渗析对硅的去除率基本无作用,但原水中硅的含量较低,故去除率虽低,尚能满足生活饮用水卫生要求。

(3) 电渗析 SO_4^{2-} 去除率很难超过 65%,只能用以淡化 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Na}$ 型的水,对 SO_4^{2-} 含量大于 800mg/L 的原水处理很难满足生活饮用水卫生标准,而在苦咸水处理中 SO_4^{2-} 浓度一般均大于此值。

此外,由于电渗析不能去除水中的有机物和细菌,设备运行能耗大,使其在高矿化度矿井水淡化工程中的应用受到限制,因而原有电渗析装置在高矿化度矿井水淡化方面逐渐被反渗透装置所取代。

我们研究采用膜法进行脱盐处理,为解决矿区缺水问题探索出一条新的途径,具有较高的实用价值。膜分离技术作为一种新型的流体分离的单元操作技术,近30年来取得了令人瞩目的巨大发展,已广泛应用于化工、食品、医药、电子等行业。但基于膜污染存在的广泛性和后果的严重性,必须对膜污染机理进行研究,并采取相应的措施进行清洗。

目前反渗透膜与组件的生产已相当成熟,膜的脱盐率高于99.3%,透水通量增加,抗污染和抗氧化能力不断提高,销售价格稳中有降。反渗透的给水预处理工艺经过多年的摸索,基本可保证膜组件的安全运行,高压泵和能量回收装置的效率也在不断提高。以上措施使得反渗透淡化的投资费用不断降低,淡化水的成本明显减少。

反渗透技术优越的价格性能比在高矿化度矿井水淡化中将发挥其更大的作用。无论出水水质、电耗、脱盐效率,还是占地面积、自动化程度,都是其他工艺所无法比的,是煤矿苦咸水淡化的首选工艺。

高矿化度矿井水内含悬浮物、微生物等杂质,必须加强预处理,以保证后续反渗透设备稳定运行,防止反渗透膜污染是高矿化度矿井水回用处理中的关键问题。

1.3.3 酸性矿井水处理现状及存在的问题

我国酸性矿井水基本上采用中和化学法处理,投加碱性药剂或以石灰石、白云石为滤料进行过滤中和。此外,人工湿地生态工程处理法处理酸性矿井水是近年来迅速发展起来的一种处理技术,具有很好的推广前景。

中和化学法的优点是对中和剂石灰石颗粒直径无严格要求,设备比较简单,操作管理方便,处理费用低;缺点是设备比较庞杂,噪声大,环境条件较差,二次污染严重,反应产物 CaSO_4 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 与过剩的石灰石混杂在一起,处理困难。

湿地生态工程处理酸性矿井水虽然在客观上和技术上均被证明是可行的,但在工程上实现这种工艺存在很大的差距。①湿地生态要求进水理想的pH值高于4.0,当低于4.0时,意味着要改善基质和腐殖土层并有必要添加石灰石,结果将导致成本提高和工艺的复杂化。②湿地生态工程系统处理酸性水速度非常慢,停留时间长,一般要求5~10d,需要占用大量的土地。

1.3.4 含有毒有害元素矿井水处理现状及存在的问题

1. 高铁高锰矿井水处理现状及存在的问题

国内对含铁锰矿井水的研究相对较少。煤炭科学研究总院杭州环境保护研究所