



## 我国煤矿矿井水处理技术现状及其发展趋势

高 亮

(煤炭科学研究总院 杭州环境保护研究所, 浙江 杭州 210081)

**摘 要:** 在充分分析我国矿井水利用现状的基础上, 指出了矿井水完全可以作为一种良好的水资源用于煤矿生产、生活和其他相关领域; 分析了矿井水被充分利用的可行性、矿井水的主要水质类型等, 总结了矿井水处理的一般工艺, 指出了矿井水处理技术的发展趋势。

**关键词:** 矿井水; 处理技术; 发展趋势

**中图分类号:** X703      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2007)09-0001-05

### Status of technology for processing mine water and its trend in China

GAO Liang

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute, China Coal Research Institute, Hangzhou 210081, China)

**Abstract:** Based on fully analyzing the status of utilization of mine water in China, the paper points out that mine water can be good water resource for using in coal production, daily life and other fields, it analyzes the possibility of fully utilization of mine water and main type of water quality, it also summarizes the general process for handling mine water and points out its development trend.

**Key words:** mine water; handling technology; development trend

煤矿区是自然生态环境污染与破坏严重的区域之一, 当今世界所面临的五大难题中, 其中的资源问题、能源问题和环境问题都与煤炭开采有着密切的联系。煤炭开采对生态环境的破坏和环境的污染同其他行业相比有着显著的特点, 它主要表现在以下方面。

(1) 对土地资源的破坏和占用。地下开采以地表塌陷和矸石山压占为主, 而露天开采则以直接挖损和外排土场压占为主, 我国95%以上的煤炭产量来自地下开采。

(2) 对水资源的破坏和污染。煤炭开采过程中, 为保证安全而进行的人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层的自然疏干, 共同破坏和污染了地下水资源。与此同时, 大量未经处理含有煤粉、岩粉和其他污染物的矿井水外排, 又影响到矿区及其周边环境。

(3) 对大气环境的污染。主要来自矿井排风、煤层瓦斯抽放和煤矿矸石山的自燃。

我国是世界煤炭产量和矿井数量最多的国家, 矿井水的年排放量也居世界之首。矿井水是伴随煤炭开采而进入采掘空间且必须排出的一种废水, 其

特点是排放量大, 除酸性矿井水外, 一般污染程度均较轻, 经处理后是很好的再生水资源。据粗略统计, 国内矿井平均吨煤涌水量在 $3.5 \sim 4 \text{ m}^3$ , 且不同地区差异很大, 东北地区在 $2 \sim 3 \text{ m}^3$ ; 华北、华东和河南大部分矿区为 $3 \sim 5 \text{ m}^3$ ; 南方矿区在 $10 \text{ m}^3$ 以上; 西部矿区在 $1.6 \text{ m}^3$ 以下。以此推算, 近几年国内煤矿矿井水的排放量在 $45 \sim 50 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$ 。大部分矿井水中含有煤粉、岩粉、细菌和其他污染物, 不经处理无法直接利用。

另外, 煤炭开采在破坏地下水资源同时, 还加剧了缺水地区的供水紧张。我国是世界上人均占有水资源量较低的国家之一, 且水资源分布极不平衡。从采煤地区分布来看, 富煤地区往往也是贫水地区。全国96个国有重点矿区中, 缺水矿区占71%, 其中严重缺水矿区占40%。随着煤炭开采强度的加大和延伸速度的不断提高, 矿区地下水位将大面积下降, 使缺水矿区供水更为紧张, 从而影响当地居民的正常生产和生活。另一方面, 大量地下水资源因煤系地层破坏而渗漏至矿井并被排出, 这些矿井水被净化利用率不到30%, 造成一边是大量矿井水白白流淌, 一边是矿区严重供水短缺。

## 1 矿井水被充分利用的可行性

目前煤矿矿井水的利用率较低有多种原因:

(1) 由于多数矿区工业经济不发达, 仍有较多的浅层地下水可供煤矿所用, 使他们没有用水紧张的紧迫感。

(2) 尽管国家提高了抽取浅层地下水的水资源费价格, 各地视情况不同一般为 0.3 ~ 0.65 元/t, 但由于当地水利部门执法力度不强, 实际收取的水资源费要低得多, 因而大幅度降低了煤矿抽取地下水的成本。

(3) 因为不与安全和生产直接相关, 许多煤矿对矿井水处理不重视, 当然也有一些是设计上的原因, 矿井水处理效果不好, 使一些领导认为矿井水不能复用。

(4) 由于直接参与了井下的生产活动, 职工对矿井水处理后作饮用水一直心存疑虑。

随着煤矿区工农业生产的发展和人们生活水平的提高, 特别是煤矿配套选煤厂、电厂和煤炭深加工项目的大量投产, 矿区的用水量将会大幅度增加。即使是现在的一些富水矿区, 将来也会逐渐成为缺水矿区。另外, 矿井水利用途径十分广泛, 主要可用作以下几个方面: ① 井下工业用水; ② 煤炭加工; ③ 矿区生活用水; ④ 其他用途用水, 如图 1 所示。矿井水利用原则应为先井下, 后井上, 先工业后生活, 最后是农业。从煤矿水的用途来看, 真正作生活饮用水的不到 20% (图 1), 绝大部分是工业和生活杂用水。

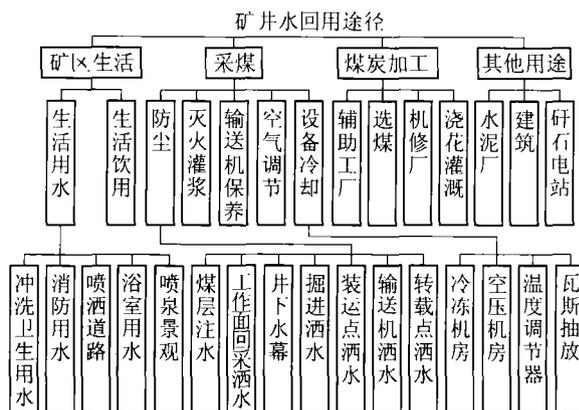


图 1 矿井水处理后的具体用途

因此, 煤矿完全可以通过分质供水来充分利用净化后的矿井水。将矿井水处理利用并取代地下水, 可以减少地下水的超量开采, 实现矿井水资源

化利用, 促进矿区可持续发展。

## 2 矿井水的主要水质类型

煤矿矿井水依据其中有害物质的主要种类可大致分为以下 4 种水质类型:

(1) 含悬浮物矿井水。在煤炭开采过程中, 地下水与煤、岩层接触发生一系列物理、化学和生化反应后被排出, 因此矿井水中一般均含有煤粉、岩粉和黏土等固体颗粒, 其主要成分为煤粉。煤粉的密度一般只有  $1.5 \text{ g/cm}^3$ , 远小于地表水系中泥砂颗粒物的密度 (平均密度一般为  $2.4 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$ )。因此, 煤矿矿井水中的悬浮物颗粒具有密度小、沉降速度慢等特点。

由于含悬浮物矿井水中煤粉的作用, 尽管有时矿井水悬浮物不算很高, 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  $1000 \text{ mg/L}$ 。但在井下水仓清仓时, 悬浮物含量每升最高可达上万毫克。

(2) 高矿化度矿井水中含有大量的  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  等离子, 这些离子总量大于  $1000 \text{ mg/L}$ , 水质多数呈中性或偏碱性, 带苦涩味, 俗称苦咸水。高矿化度矿井水又可分为微咸水 (矿化度为  $1000 \sim 10000 \text{ mg/L}$ )、咸水 (矿化度为  $10000 \sim 50000 \text{ mg/L}$ )。我国煤矿高矿化度矿井水含盐量一般在  $1000 \sim 4000 \text{ mg/L}$ , 少数达  $4000 \text{ mg/L}$  以上。高矿化度矿井水主要分布在我国北方矿区、西部高原、黄淮海平原及华东沿海地区。

矿井水中矿化度高的原因是多种因素形成的, 主要是: 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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  等离子增加; ④ 矿区处于沿海地带, 地下咸水浸入煤田。

(3) 煤矿酸性矿井水是煤矿外排水中危害较大的一种废水。其不仅腐蚀排水设备, 而且排到地面后还危害水生动植物及周围农作物的生长。酸性矿井水主要是由黄铁矿与氧和水反应所形成的, 故水中往往含有大量的铁离子成分而呈现出明显的黄色。根据 pH 值, 可将酸性矿井水分为强酸型 (pH

<3) 和弱酸型 ( $3 \leq \text{pH} \leq 6.5$ )。

(4) 含特殊有害成分矿井水。该类矿井水中往往含有一种或几种对人体有害的成分, 包括象微量放射性元素、重金属、氟、石油等, 这些有害成分尽管含量不高, 但由于超过了《国家生活饮用水水质标准》规定的限值, 从而成为矿井水处理作生活饮用水的最大障碍。

### 3 矿井水处理的一般工艺

#### 3.1 矿井水中悬浮物的去除

煤矿矿井水中的悬浮颗粒由煤屑、岩粉和少量黏土组成, 其中主要是煤屑, 其处理工艺与自来水处理厂的给水处理基本相同 (图 2)。

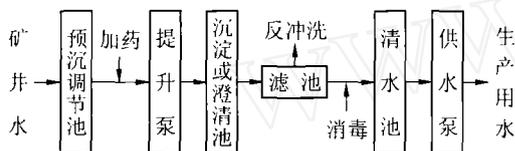


图 2 矿井水净化处理工艺流程

一般矿井水中的硬度离子普遍偏高, 因此在矿井水净化处理工艺中, 可以加入适当的除硬药剂去除钙、镁离子, 以改善出水水质, 拓宽用水范围。杭州环境保护研究所在东北某矿务局 50 000 t/d 的矿井水净化作城市生活用水工程中, 采用前置投加除硬药剂, 降低了出水硬度, 顺利实现了与城市自来水供水管路并网, 服务人口达 28 万人。

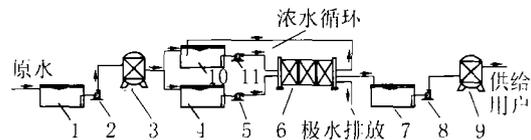
#### 3.2 高矿化度矿井水 (苦咸水) 中溶解性盐类的去除

据粗略统计, 我国煤矿约有 40% 的矿井水中的溶解性盐类大于 1 000 mg/L, 超过了国家饮用水标准所规定的限值。这类矿井水经净化处理后作为一般的工业用途是没有问题的, 但在诸如锅炉补给、井下配制乳化液、居民生活饮用等, 对水质要求相对较高的场合, 这部分水的利用就受到了限制。

苦咸水中盐类的去除大都采用膜法, 以往采用电渗析的占多数, 近年来随着反渗透技术的成熟及其投资和运行成本的降低, 反渗透法已后来居上, 大有替代电渗析法的趋势, 2 种方法处理的工艺流程如图 3、图 4 所示。

#### 3.3 酸性矿井水的处理方法

酸性矿井水的处理多采用中和法, 中和剂可以是各种碱性物质, 其中以苛性钠和纯碱作中和剂,



1—原水池; 2—原水泵; 3—精密过滤器; 4—清水池; 5—清水泵; 6—电渗析设备; 7—淡水池; 8—淡水泵; 9—气压供水罐; 10—浓水池; 11—浓水泵

图 3 电渗析淡化工艺流程



图 4 反渗透淡化工艺流程

用量少且污泥体积小, 但因成本较高, 现已不用。目前应用最广是采用石灰石或石灰作中和剂, 以石灰石作中和剂的主要有中和滚筒过滤法、升流膨胀过滤中和法, 以石灰为中和剂的主要有石灰乳中和法。

石灰石中和滚筒过滤法: 酸性矿井水→调节池→中和滚筒处理机→沉渣池→反应池→斜管沉淀池→外排。该方法的优点是操作简单, 管理方便, 处理费用低; 缺点是在中和后的出水中, 存在着大量的碳酸, 使出水的 pH 值一般只能维持在 4.0 ~ 4.5, 难以达到排放标准。目前解决问题的方法主要有: 对中和后的出水进行曝气处理, 一是驱赶溶于水中的  $\text{CO}_2$ , 使 pH 值升高, 二是使  $\text{Fe}^{2+}$  变成  $\text{Fe}^{3+}$  而去除。

石灰石升流膨胀过滤中和法: 酸性矿井水→调节池→中和滤罐→沉砂池→曝气池→斜管沉淀池→外排。该方法采用细小滤料, 酸性水自下而上通过滤料, 中和后产生硫酸钙被水及时带走, 处理后的 pH 值可达 6.0 以上。

石灰乳中和法: 由于该处理工艺简单, 且易于实现全过程自动控制, 目前已被企业所广泛采用, 其处理工艺流程如图 5 所示。

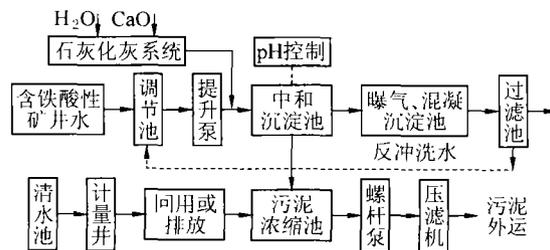


图 5 石灰乳中和法工艺流程

### 3.4 特殊有害成分的去方法

矿井水中微量放射性物质的去除工艺:

↓ 药剂 (专用吸附剂)

矿井水→调节池→提升泵→水力循环澄清池→  
无阀滤池→清水池→加压泵→用户

去除矿井水中硬度物质的软化工艺:

↓ 药剂 (专用软化剂)

矿井水→调节池→提升泵→水力循环澄清池→  
无阀滤池→清水池→加压泵→用户

矿井水中氟离子的去除工艺:

矿井水→调节池→提升泵→活性氧化铝罐→清  
水池→加压泵→用户

## 4 矿井水处理技术的发展趋势

矿区生产的发展和人们生活水平的提高,必然导致需水量的不断增加,特别是随着我国的重点产煤区逐渐向西北部干旱和半干旱地区转移,矿区供水紧张的矛盾将会日益突出。近年来,在国家产业政策和宏观调控措施指导下,大部分煤矿已改变原来将矿井水简单处理后直接排放的做法,而是将矿井水处理后作为宝贵的水资源加以充分利用,这势必对现有的水处理工艺技术提出更高的要求。因此,在没有发达国家同类技术得以借鉴的情况下,开展矿井水处理水质特性及其处理技术的攻关研究是非常必要的。根据国内煤矿矿井水处理的实际需求及所碰到的技术难题,目前应该集中解决以下技术问题。

### 4.1 矿井水的水质特征分析

矿井水是一种地下水,但它又区别于普通的地下水。由于长期赋存于地下,大量矿物质溶入其中;同时,受井下开采活动的影响,油类等有机物质也进入到水体中,使得矿井水的水质成分变得较为复杂。因此,从水化学角度研究与分析矿井水中悬浮性的、溶解性的和处于胶体状态的各种物质的组成,从而科学地确定矿井水的最佳处理路线。尽管来自不同煤矿的矿井水水质不完全相同,但通过矿井水的水质特征分析,可以找出不同类别矿井水中共性的成分,从而为矿井水的净化和资源化利用提供科学依据。矿井水的水质特征分析是一项基础性的科研工作,必须由国家投入经费来完成。

### 4.2 净化处理新工艺、新技术的研究

目前矿井水中悬浮去除的净化方法都是参照城市自来水管网的工艺而来的,只是采用的设计参数有

所不同,其最大的缺点是占地面积大、施工周期长,工程投资也比较大,因此研究具有高处理效率的水处理装置和药剂仍然有一定的空间。

(1) 水处理新工艺的开发。矿井水中的悬浮颗粒主要由煤泥组成,目前大都采用沉淀的方法来加以去除。但煤矿在生产过程中不可避免地会将乳化油和废机油混入到矿井水中,这些有机物由于密度比水小,不可能通过沉淀的方式来除去,给矿井水的净化带来了困难。为了解决这个问题,必须考虑在净化工艺中考虑到油类物质的去除工序。目前较常用的有加药上浮或吸附方式,但其实质的处理效果如何目前仍无定论,必须通过试验或工程实践加以判别2种方法各自的处理效率和优缺点。

根据现有水处理构筑物体积庞大的缺点,开发一种全新的高效水处理净化装置也很有必要,特别是适合井下使用的矿井水净化设备,把小水量的矿井水在井下就加以净化,直接用于配制乳化液、井下防尘等,这类设备目前用户的需求量比较大,市场前景良好。

(2) 高效水处理净化药剂的研发。目前最传统的混凝净化药剂均为铝盐、铁盐及其聚合物,尽管近年来不断有新净化药剂的报道,但综合技术效果与经济因素,上述2种药剂的市场主导地位在今后相当长的时间内将无法撼动。但助凝剂的情况就大不一样,市场上不断有新的药剂出现,而且往往是不同的水源就有不同的助凝药剂。因此,针对矿井水的水质特点,开展适合矿井水助凝药剂的研究仍存在相当大的空间。如以前研究人员根据矿井水中煤泥较多的特点,提出用高分子絮凝剂与铝盐类无机混凝剂配合投加,不但提高了矿井水的净化处理效果,而且使后者的投加量减少了1/3~1/4,大幅降低了水处理成本。

(3) 水中硬度物质的去除。水中的硬度物质(即钙、镁成分)一旦过高,即会引起与之接触的输送管路和设备的结垢。煤矿矿井水由于常年处于地下,水的流动性差,大量矿物质溶入其中,故一般矿井水的硬度离子均比较高。

石灰法去除水中的硬度成分是目前工业上应用最多的方法之一,其主要优点是处理成本低。缺点是工艺条件控制要求严,一旦投加过量或不足,会导致硬度成分除不尽或再度升高;另一个缺点是化石灰时操作工人的劳动强度很大。近几年随着工业自动化程度的提高,使化石灰和药剂投加的控制均

