

文章编号: 1009-6094(2005)03-0106-03

## 韩桥煤矿- 330 m 水平泵房水泵 水垢产生成因研究\*

刘汉湖<sup>1</sup>, 陈忠胜<sup>2</sup>, 陈景如<sup>3</sup>, 王为标<sup>3</sup>,  
张景钟<sup>2</sup>, 何康林<sup>1</sup>, 张红振<sup>1</sup>

(1 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221008;

2 徐州矿务集团有限公司, 江苏徐州 221006;

3 徐州矿务集团有限公司韩桥煤矿, 江苏徐州 221006)

**摘要:** 2003年4月, 徐州矿务集团韩桥煤矿- 330 m 水平泵房出现严重的结垢。首先用X-衍射分析仪对水垢成分进行测试, 然后对矿井水的水化学和微生物特征分3个不同时段(2003年4月、2003年10月、2004年4月)采样、测试, 并利用水质模拟软件PHREEQC计算方解石、文石、白云石的饱和指数。通过综合对比分析, 对水泵结垢原因进行了追踪研究。结果表明, 水垢主要成分以碳酸盐垢为主, 微生物主要为球菌和杆菌, 水泵结垢与微生物无直接关系; 矿井停采前, - 330 m 水平水质类型为 $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 质量浓度高达1 613.90 mg/L, pH = 6.71, 矿井停采后, 2003年4- 10月, - 330 m 东巷水质类型变化为 $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , 其中 $\text{HCO}_3^-$ 、 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)$ 质量浓度明显上升, pH 值明显上升, 尤其在2003年4月达到最高, 为8.36。2003年10月- 2004年4月, 水质类型又变化为 $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ , pH 值下降为6.35~ 7.02。综合分析认为, 矿井地面某造纸厂碱性污水渗漏引起pH 值升高是结垢的主要原因。

**关键词:** 安全工程 韩桥煤矿; 水泵结垢 水化学, 造纸厂污水, pH 值  
**中图分类号:** X931 **文献标识码:** A

### 0 引言

结垢是工业生产中常遇到的问题, 会造成巨大的经济损失。根据资料, 在法国, 每年用于核电站冷却塔结垢的防治费用高达1.3亿欧元。

对于结垢问题, 国内外学者从不同方面进行了深入研究。Sorbie K S 和Dyer S J 研究了油田注水开采过程中水垢的形成条件<sup>[1]</sup>, 尤其是温度、压力对结垢的影响<sup>[2]</sup>。Dawe R A<sup>[3]</sup>研究了 $\text{CaCO}_3$ 结垢的形成过程和机理。国内各个油田注水开采过程中都出现了较严重的结垢问题。张喜瑞等<sup>[4]</sup>研究了辽河油田40余口油井的结垢原因, 邢晓凯等<sup>[5]</sup>通过室内实验研究了溶液pH 值对 $\text{CaCO}_3$ 结垢的影响。

我国许多矿井水泵、排水管路都遇到结垢问题, 对其形成机理进行研究是矿井安全生产的必然要求。

### 1 韩桥煤矿泵房结垢问题

韩桥煤矿位于徐州市贾汪区, 井田为一狭长簸箕状, 东、东北、西北三面为古生界寒武系、奥陶系地层构成的低山丘

陵, 山顶标高在150~ 240 m, 大洞山为群山之首, 标高为361 m, 地面标高在28~ 34 m 之间; 地面坡降为0.3%~ 0.5%, 由西北向东南方向倾斜。经多年开采, 井田内形成了若干个塌陷区, 经过近几年的整治, 原地表凹凸不平范围已缩小, 地面积水情况有所改善。

井田内无大型河流和湖泊, 区内有东排洪道、中央排洪道、新西排洪道和屯石河等人工沟渠, 可将井田内外的内涝与山洪排入矿区南部的屯头河, 而后注入不牢河; 为防止汛期下游的河水倒灌, 分别在中央排洪道与东排洪道的交汇处、屯石河与屯头河的交汇处建立翻水站, 对汛期防洪排涝工作起到了明显的效果。由于对塌陷地的整治, 在矿井田范围内形成了较多的鱼塘, 地表水渗漏较为严重。

韩桥煤矿隶属于徐州矿务集团, 是一座有110多年开采历史的老矿井, 包括夏桥井和韩桥井。矿井前期主采下石盒子组、山西组煤层, 生产后期主要开采太原组17<sup>#</sup>、20<sup>#</sup>、21<sup>#</sup>煤, 水文地质条件较复杂。多年开采实践证明, 矿井涌水量变化与降雨、地表水关系密切。矿井正常涌水量为46.09 m<sup>3</sup>/min, 最大涌水量为105.77 m<sup>3</sup>/min。随着煤层可采资源的减少, 2001年10月, 夏桥井停止生产, 仅保留韩桥井生产。为了保证韩桥井开采安全, 在夏桥井- 45 m、- 270 m 和- 330 m 水平保留排水泵房。

据2003年4月23日调查, - 45 m 水平安设水泵6台, - 270 m 水平安设水泵8台, - 330 m 水平安设水泵9台, 水泵型号为D450×7。- 330 m 水平总涌水量约为19.0 m<sup>3</sup>/min, 其中- 330 m 总回风巷2.0 m<sup>3</sup>/min, - 330 m 东巷7.0 m<sup>3</sup>/min(刚停采时为3.0 m<sup>3</sup>/min), - 330 m 一采区石门3.5 m<sup>3</sup>/min, - 330 m 三采区石门4.0 m<sup>3</sup>/min, - 330 m 四采区石门1.6 m<sup>3</sup>/min, 其余地点0.9 m<sup>3</sup>/min。

在长期开采过程中, 排水泵房运转正常, 未出现水泵结垢现象。2003年3月31日, 矿方发现- 330 m 水平泵房9台水泵叶轮出现严重结垢现象。4、5月份正值矿井防洪准备阶段, 一旦水泵停止工作, 想重新启动十分困难, 水泵突然结垢对矿井排水和雨季安全构成严重威胁。矿方首先采取拆泵强行除垢, 后采用酸洗治理措施, 才保证了汛期的矿井安全。本文在对水垢成分进行分析的基础上, 将2003年4月- 2004年4月分3个时段(枯水期、丰水期、枯水期)进行水质监测和微生物分析, 对水垢的形成原因进行研究。

### 2 水垢的成分分析

一般地, 水垢可以分为碳酸盐垢、硫酸盐垢、硅酸盐垢和混合垢。为确定韩桥矿水垢化学成分, 2003年4月, 在- 330 m 水平泵房水泵叶轮、地面排水管路出水口采水垢样, 用X-衍射分析仪对水垢进行测试, 结果见表1。

表1 韩桥煤矿- 330 m 水平水垢成分

Table 1 Components of scaling in Hanqiao Coal Mine  
(- 330 m altitude)

| 地点              | 成分                                                              |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|
| - 330 m 水平水泵叶轮  | $\text{CaCO}_3$ (多)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (少)                |
| - 330 m 水平地面出水口 | $\text{CaCO}_3$ (多)、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (少)、粘土(少)、石英(少)、其他 |

\* 收稿日期: 2004-07-26

作者简介: 刘汉湖, 副教授, 博士生, 从事水资源评价和水污染控制工程教学和科研工作。

从 X-衍射测试结果看, 韩桥煤矿- 330 m 水平水垢主要以碳酸盐水垢为主。

3 水垢形成原因分析

从我国煤矿生产结垢实例分析, 水泵结垢是由内因(矿井水的水化学特征)和外因(矿井水的温度升高和压力降低)共同作用的结果<sup>[6]</sup>。对于韩桥矿, 从 2003 年 4 月水温实测结果看, 韩桥煤矿- 330 m 水平各出水点水温(19.9~ 21.7 )与泵房进水口水温 21.1 相当, 水泵结垢与温度、压力关系不明显, 因而将研究重点放在矿井水的化学特征上。

3.1 矿井停采前后水质变化对比

首先, 对矿井- 330 m 水平 5 个出水点(东巷、总回风巷、一采区石门、三采区石门、四采区石门)分 3 个不同时段(枯水期、丰水期、枯水期)采水样, 进行水质分析, 并将结果与停采前(1995 年 1 月)矿井水水质进行对比, 见表 2。

从表 2 可以看到, 矿井停采前后井下涌水水质发生了一些变化。1) 矿井停采前, - 330 m 水平水质类型为  $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  质量浓度高达 1 613.90 mg/L, pH = 6.71, 符合开采太原组煤层矿井水水质的一般特点。2) 矿井停采后, 2003 年 4- 10 月, - 330 m 东巷水质类型变化为  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , 其中  $\text{HCO}_3^-$ 、 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)$  质量浓度明显上升, pH 值明显上升, 尤其是 2003 年 4 月达到最高, 为 8.36。2003 年 10 月- 2004 年 4 月, 水质类型又变化为  $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ , pH 值下降为 6.35~ 7.02。pH 值的变化过程见图 1。

3.2 用水化学平衡计算水质饱和指数

按照水化学原理, 碳酸钙溶液存在下列 6 个平衡关系

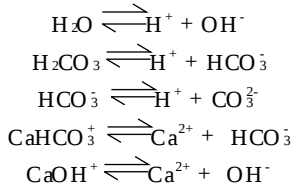


表 2 矿井停采前后水质变化对比

Table 2 Contrast of mine water quality before and after 1995

| 地点         | 时间          | 水质/(mg · L <sup>-1</sup> )          |                  |                  |                 |                               |                               | 水化学类型                                    | pH 值 |
|------------|-------------|-------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------|
|            |             | (K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> ) | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                                          |      |
| - 330 m 南巷 | 1995 年 1 月  | 1.33                                | 461.91           | 185.76           | 59.38           | 1613.90                       | 189.60                        | SO <sub>4</sub> -Ca-Mg                   | 6.71 |
|            | 2003 年 4 月  | 52.69                               | 223.65           | 72.82            | 37.95           | 589.68                        | 371.76                        | SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg | 8.36 |
| - 330 m 东巷 | 2003 年 10 月 | 47.40                               | 170.74           | 44.35            | 40.98           | 370.35                        | 327.15                        | SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg | 6.35 |
|            | 2004 年 4 月  | 68.54                               | 272.74           | 86.06            | 74.99           | 798.72                        | 300.38                        | SO <sub>4</sub> -Ca-Mg                   | 7.02 |

注: 1) 水化学类型是根据舒卡列夫分类法确定的; 2) - 330 m 水平其他出水点水质未列出。

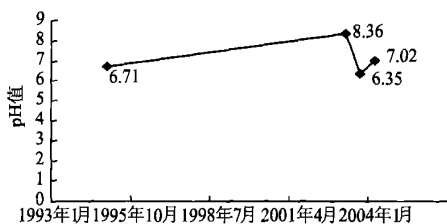
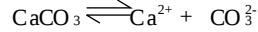


图 1 - 330 m 东巷矿井水 pH 值变化情况

Fig 1 Variations of pH with different period in eastern roadway



结垢是一个动力学过程, 要求结晶过程具有一定的过饱和度和度作为驱动力。只要  $c(\text{CO}_3^{2-}) \cdot c(\text{Ca}^{2+}) > K_{\text{SPCaCO}_3}$ , 就会发生  $\text{CaCO}_3$  结垢。

利用美国联邦地质调查局开发的水质模拟软件 PHREE-QC, 对矿井停采前后- 330 m 水平水样水质化学平衡进行计算, 求得方解石、文石、白云石的饱和指数, 见表 3。

从表 3 可以看出, 矿井停采前, 方解石、文石和白云石的饱和度指数皆小于 0, 处于不饱和状态, 因而没有结垢现象。矿井停采后, 2003 年 4 月, - 330 m 水平方解石、文石、白云石的饱和度指数皆大于 0, 且数值较大, 处于过饱和状态, 因而会发生结垢。2003 年 10 月- 2004 年 4 月, - 330 m 水平方解石、文石和白云石的饱和度指数较小, 因而没有再发生结垢。

3.3 - 330 m 水平泵房水泵结垢原因初步分析

根据上述测试和结果分析, 矿井停采前后水质确实发生了一些变化, 具体表现如下。

1) 矿井停采前, - 330 m 水平水质类型为  $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ , pH = 6.71, 偏酸性, 方解石、文石、白云石等矿物处于不饱和状态, 未出现结垢。

2) 矿井停采后, - 330 m 水平水质类型发生明显变化, 由  $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$  变为  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , 其中  $\text{HCO}_3^-$ 、 $(\text{K}^+ + \text{Na}^+)$  质量浓度明显上升, 同时, 水的 pH 值明显升高, 2003 年 4 月达到最高, 8.36, 方解石、文石、白云石等矿物处于过饱和状态, 因而产生了结垢。2003 年 10 月- 2004 年 4 月, 水质类型又变为  $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$ , pH 值下降为 6.35~ 7.02, 没有再出现结垢。

为探明 2003 年 4 月水泵结垢的主要原因, 在水质分析同时, 对- 330 m 水平各出水点及地面中央排洪道水的微生物特征进行研究。从细菌数量及形态观察看, 主要为球菌和杆菌, - 330 m 水平水样与地面中央排洪道水的微生物种类类似, 仅在数量上有差异。通过- 330 m 水平微生物特征研究, 初步确定- 330 m 水泵结垢与微生物无直接关系。

表 3 矿井停采前后- 330 m 水平水质饱和指数

Table 3 Saturation indexes of mine water quality before and after 1995

| 地点         | 时间          | 方解石    | 文石     | 白云石    |
|------------|-------------|--------|--------|--------|
| - 330 m 南巷 | 1995 年 1 月  | - 0.26 | - 0.41 | - 0.63 |
|            | 2003 年 4 月  | 1.47   | 1.32   | 2.73   |
| - 330 m 东巷 | 2003 年 10 月 | - 0.68 | - 0.83 | - 1.67 |
|            | 2004 年 4 月  | 0.31   | 0.16   | 0.49   |

徐州市贾汪区工业比较发达,主要包括造纸、煤矿、食品、印染、化工等行业。根据2003年度排污申报资料,全区主要工业污染源有75家,年排放工业废水2796万T。其中造纸企业的污染负荷占全区水污染负荷的65%,成为影响屯头河、不牢河及京杭运河水环境质量的重要因素之一。据初步调查,在韩桥煤矿地面中央排洪道附近有某造纸厂,造纸废水直接通过中央排洪道排入屯头河,年排放废水22万T,年COD排放量高达262T。

据矿方介绍,2003年1月19日,由于地面中央排洪道堵塞,地面造纸厂废水连同排到地面的矿井水突入井下-330m三采区,突水量为15.0m<sup>3</sup>/min,持续3h。造纸厂废水呈碱性,pH值较高,因而可以初步确定2003年4月水泵结垢的主要原因与地面造纸厂碱性污水渗漏有关。

#### 4 结 论

- 1) 利用X-衍射分析仪对水垢成分进行测试,韩桥煤矿-330m水泵结垢的成分主要为碳酸盐水垢。
- 2) 通过3个不同时段矿井水的水化学和微生物特征采样、测试,发现矿井停采前后水质有明显变化,并利用水质模拟软件PHREEQC计算了方解石、文石、白云石的饱和指数,对水泵结垢原因进行了研究。
- 3) 水泵结垢与微生物无直接关系,通过综合分析,地面某造纸厂碱性污水的渗漏是结垢的主要原因。
- 4) 建议结合煤矿地面防治水工程,采取加固、封堵地面塌陷坑等措施,防止造纸废水渗漏。
- 5) 从水污染控制角度出发,建议对造纸企业进行技术改造,提高造纸废水的治理水平。

#### References(参考文献):

- [1] Sorbie K S and Mackay E J. Mixing of injected, connate and aquifer brines in water flooding and its relevance to oilfield scaling [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2000, 27(1): 85~106
- [2] Dyer S J and Graham G M. The effect of temperature and pressure on oilfield scale formation [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2002, 35(1-2): 95~107
- [3] Dawe R A and Zhang Y P. Kinetics of calcium carbonate scaling using observations from glass micromodules [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 1997, 18(3-4): 179~187
- [4] Zhang Xirui(张喜瑞) and Lang Baoshan(郎宝山). Inorganic/Organic precipitate removing agent SQG-1 for use in electrical pump lift wells [J]. *Oil field Chemistry* (油田化学), 2002, 19(1): 27~28
- [5] Xing Xiaokai(邢晓凯) and Ma Chongfang(马重芳). An experimental study of influence of pH on calcium carbonate crystallization fouling [J]. *Petro-Chemical Equipment* (石油化工设备), 2004, 33(5): 11~14
- [6] Xu Zhengquan(许正全). Water pump scaling prevention techniques [J]. *Corrosion & Protection* (腐蚀与防护), 2000, 21(10): 461~462

## Research on scaling mechanism of pump house in Hanqiao Coal Mine

LIU Han-hu<sup>1</sup>, CHEN Zong-sheng<sup>2</sup>, CHEN Jing-ru<sup>3</sup>,  
WANG Wei-biao<sup>3</sup>, ZHANG Jing-zhong<sup>2</sup>, HE Kang-lin<sup>1</sup>,  
ZHANG Hong-zhen<sup>1</sup>

(1 School of Environment and Survey, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu, China; 2 Xuzhou Coal Mining Corporation, Xuzhou 221006, Jiangsu, China; 3 Hanqiao Coal Mine, Xuzhou Coal Mining Corporation, Xuzhou 221006, Jiangsu, China)

**Abstract** The present paper aims to report the authors' study of the cause that led to the pump house (-330m altitude) scaling in Hanqiao Coal Mine. In fact, during the period of April, 2003, the pump house (-330 m altitude) scaling emerged in Hanqiao Coal Mine in Xuzhou Coal Mining Corporation. Since the scaling seriously affected the production, it is of great urgency to test the components of scaling problem. At first, the sample water was analyzed by using X-ray diffractometer, then with PHREEQC software calculating the saturation index of calcite, aragonite and dolomite. The aim of the analysis is to define the chemical and micro-organic properties of mining water. Next, we have studied the mechanism of the scaling. Through comprehensive analysis and comparison, it can be concluded that the scaling is the result of carbonate accumulation. Microorganism is proved no direct relation with the scaling. The mining water (-330 m altitude) type belongs to SO<sub>4</sub>-Ca-Mg, with its concentration of sulfate being 1613.90 mg/L, pH was 6.71. When the mining activity ceased during April, 2003 and October, 2003, the water type turned to be SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg with a concentration of bicarbonate and sodium obviously increased. Its PH also has clearly increased. Its highest value reached 8.36. However, from October, 2003 to April, 2004, the mine water type changed into SO<sub>4</sub>-Ca-Mg, pH, actually dropped down to 6.35-7.02. The leakage of alkalic pulp and the paper mill wastewater proves to be the main reason liable for the scaling.

**Key words:** safety engineering; Hanqiao Coal Mine; pump house scaling; water chemistry; pulp and paper mill wastewater; pH

**CLC number:** X931 **Document code:** A

**Article ID:** 1009-6094(2005)03-0106-03