

以矿井排水为水源的电厂项目取水水源论证

秦海霞^{1,2}, 李永刚³, 马敏^{1,2}

(1. 河南省水利科学研究所, 河南 郑州 450003; 2. 河南省节水灌溉工程技术研究中心, 河南 郑州 450003; 3. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 在分析永城矿区区域水文地质状况的基础上, 采用富水系数法和“大井法”, 并结合实测数据, 对矿区各矿井涌水量进行分析计算, 并评价其水质, 论证其作为电厂生产用水水源的可靠性与可行性。分析结果表明: 矿区有保证的可供电厂利用的矿井排水量为 917 m³/h, 但矿井排水由于受煤粉、岩粉等污染, 水质不达标, 需经过深度处理才能满足电厂循环冷却水及锅炉补充水的用水要求。

关键词: 矿井涌水量; 富水系数法; 大井法; 水质; 水源论证

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)02-0226-04

Water source demonstration for power plant project using mine drainage

QIN Haixia^{1,2}, LI Yonggang³, MA Min^{1,2}

(1. Henan Provincial Water Conservancy Research Institute, Zhengzhou 450003, China;

2. Henan Provincial Water Saving Irrigation Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450003, China;

3. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Based on Yongcheng mining area hydrogeological conditions, using rich water coefficient method and “virtual large diameter well” method, combing measured data, the mine inflow of each mining had been analyzed and calculated, the water quality also had been evaluated in order to demonstration the reliability and feasibility as the process water of power plant. The results show that 917 m³/h water quantity could be used for plant, but the water quality indicators are not reaching standard, and need furthermore treatment on water quality in order to meet the requirements of process water.

Key words: mine inflow; rich water coefficient method; method of virtual large diameter well; water quality; water source demonstration

矿井排水是矿区所采煤层及开拓巷道附近的地下水, 只要采煤生产不停止, 就必然有矿井水排出。这种排放既是对水资源的一种浪费, 又会对矿区环境造成不良影响。刘喜信等^[1]采用解析法和相关分析法对林海铁矿涌水量进行计算, 并与实际观测涌水量进行对比分析, 取得了较好的效果; 李云峰等^[2]采用地下水动力学公式估算法和水文地质比拟法估算出梁花园矿井含水层涌水量, 为矿井排水系统的设计、施工提供了基础数据。

取水水源论证是建设项目水资源论证的核心内容^[3-6], 其论证结果的合理与否, 水量是否可靠, 水质是否满足项目生产用水要求, 直接关系到建设项目取水水源方案的可行与否。本文在分析永城矿区区域水文地质状况基础上, 采用富水系数法和“大井法”, 并结合实测数据, 对矿区各矿井涌水量进行分析计

算, 并评价其水质, 论证其作为电厂生产用水水源的可靠性与可行性, 为电厂取水水源的选择提供可靠依据。

1 项目背景

某 1 × 60 万 kW 发电机组项目厂址位于商丘市永城境内, 该项目计划于 2013 年底建成投产。机组供水系统设计采用带自然通风冷却塔的单元制循环供水系统, 最大补充水量为 1 195 m³/h, 其中生产用水 1 185 m³/h, 生活用水 10 m³/h, 全厂年需水量 661 万 m³。

永城市地处河南省东部平原区, 区内煤炭资源丰富, 为全国六大无烟煤基地之一。永城矿区葛店、新庄和刘河煤矿矿井排水除矿区生产、生活少量自用外, 大部分矿井水经处理达标后外排, 未被充分利用。

经过对项目所在区域水资源状况以及国家相关政策的综合分析,确定电厂取水方案为:生产用水首先利用葛店、新庄和刘河3座煤矿的矿井排水,不足部分由永城市污水处理厂中水补充;生活用水量较小,由工业区生活用水水源井管网统一供给。本文重点从水量和水质两个方面对电厂以矿井排水作为生产用水水源进行取水的可靠性与可行性分析论证。

2 矿区水文地质条件

葛店、新庄和刘河3座煤矿均属永城矿区,且相距较近,3座煤矿井水文地质条件极其相似。

葛店煤矿距电厂约2 km,是永城矿区最早开发的煤矿,设计生产能力为90万t/a,目前矿井经过20余年的开采,储量所剩有限,现矿井正向双庙扩大区开拓,设计生产能力仍为90万t/a,技术改造工期为2年,届时其生产能力将全部向双庙扩大区转移,服务年限35.6年;新庄煤矿距电厂约4 km,设计生产能力180万t/a,实际生产能力最高已达245万t/a,剩余服务年限25年;刘河煤矿距电厂约15 km,设计生产能力30万t/a,剩余服务年限32年。

2.1 地质条件

永城矿区位于华北中生代盆地东南部边缘,淮河冲积平原北部,黄河故道南侧。矿区总的构造形态为轴向北北东的复式褶皱,断裂发育,并有岩浆岩侵入。构造按展布方向以北北东向、东西向为主,北西向及其它方向为次,前者多呈雁行状向、背斜或地垒地堑式构造相间出现。

本区地下煤炭储量丰富,属华北晚古生界聚煤区,地层自上而下为第四系(Q)、第三系(N)、三叠系(P)、二叠系(P)、石炭系(C)和奥陶系(O),其中上石炭统太原组、下二叠统山西组和下石盒子组及上二叠统上石盒子组为含煤地层,主要可采煤层多集中在山西组和下石盒子组三煤段。新生界松散沉积物覆盖全区,平均厚312 m,为一掩盖型煤田。

2.2 含水岩组及其特性

根据含水层岩性特征、空隙特性、埋藏条件和水力特性,区域含水层自上而下划分为以下4种类型。

(1)新生界孔隙含水岩组。主要由新生界含水砂层组成,沿垂直方向,浅部属孔隙潜水,中深部为孔隙承压水,砂层沿水平方向分布不稳定,连续性不强,常呈透镜体状。

(2)二叠系碎屑岩孔隙裂隙含水岩组。主要是碎屑盐类的裂隙水,由二叠系下石盒子组和山西组砂、泥岩及燕山期岩浆岩组成,裂隙一般不发育,地下

水径流迟缓,单位涌水量 $q < 0.01 \text{ L/s} \cdot \text{m}$,属弱富水含水层。

(3)上石炭统碎屑岩夹石灰岩岩溶裂隙含水岩组。主要由石炭系太原组的砂泥岩类碎屑夹石灰岩组成,为含隔水互层形式,石灰岩含岩溶裂隙水。该组石灰岩含水层之间虽有隔水层相隔,但断裂构造已将诸灰岩含水层在一定程度上沟通,形成一个含水系统,系统上段含水层的初始水位27.32~28.70 m,年变幅0.70~0.95 m。

(4)奥陶系灰岩岩溶裂隙含水岩组。主要由马家沟组石灰岩、白云质灰岩、白云质大理岩和大理岩组成,没有隔水层,含丰富的岩溶裂隙水。在露头地段和永城背斜轴部,补给条件良好,浅部较深部富水性强,但富水性不均一,深部埋区富水性中等到强,富水程度变化较大,水位27.04~28.59 m,年变幅1.01 m。

2.3 矿井充水因素分析

矿区矿井直接充水水源为顶板砂岩裂隙承压水,间接充水水源为底板石炭系太原组上段灰岩裂隙水、奥陶系灰岩水、第三、四系底部空隙裂隙水。

二叠系裂隙空隙含水层组(Ⅱ)中,上石盒子组裂隙承压含水段(Ⅱ₁)K₅砂岩向矿床直接充水,下石盒子组裂隙承压弱含水段(Ⅱ₂)是开采三煤组的直接充水水源,山西组裂隙承压弱含水段(Ⅱ₃)是开采二₂煤层的直接充水水源;石炭系岩溶裂隙承压含水组(Ⅲ)上段灰岩(L₈~L₁₁)是二₂煤层的间接充水水源;奥陶系灰岩岩溶裂隙含水岩组(Ⅳ)为厚层状灰岩,岩溶裂隙比较发育,但各部位不均,富水性强弱差异悬殊,灰岩顶界面距二₂煤层底板200 m左右,通过垂向补给和越流补给太原组含水层,是二₂煤层的间接充水水源。

3 矿井涌水量计算

根据葛店、新庄和刘河3矿的实际运行以及所搜集资料情况,分别采用不同的方法计算其矿井涌水量。

3.1 富水系数法计算葛店煤矿涌水量

富水系数是评价矿井地下水丰富程度的指标,它等于矿井或坑道的排水量与同一时期矿石开采量之比。富水系数法根据相似条件选择具有多年矿井排水量资料的比拟矿区,分析确定比拟系数——富水系数,并结合规划矿井煤炭产量推算其矿井排水量。

葛店煤矿(扩大区)位于葛店老矿和其东部新庄煤矿之间,设计开采二₂煤和三煤组,开采水平-700 m,其地层产状、水文地质、开采规模、开采方法、

煤系含水层以及矿井充水水源等与葛店老矿均相似,且仍利用葛店老矿的井上下生产系统及设施,葛店老矿的实测涌水量与产煤量数据完全可以用来比拟计算扩大区的涌水量。

根据葛店煤矿2001年1月-2007年12月的逐月矿井涌水量监测数据以及年产煤量,计算其富水系数,结果如表1所示,富水系数在4.50~5.86间变化,相对比较稳定,又电厂生产用水供水保证率应不低于97%,从偏于安全考虑,取其富水系数的最小值4.50 m³/t,作为葛店煤矿(扩大区)的比拟富水系数。

葛店煤矿(扩大区)设计生产能力仍为90万t/a,经计算,其年排水量为405万m³,得单位排水量为460 m³/h,即为葛店煤矿(扩大区)正常情况下涌水量。

表1 葛店煤矿近年实测涌水量分析结果

项 目	m ³ /h, 万 m ³ , 万 t						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
平均值	526.3	600.1	502.9	529	434.1	437.1	451.5
年排水量	461	526	441	463	380	383	395
年产煤量	87.1	89.7	84.7	90.8	84.5	74.5	77.8
富水系数	5.29	5.86	5.2	5.1	4.5	5.14	5.07

注:平均值为单位排水量平均值。

3.2 大井法与实测数据分析法计算新庄煤矿涌水量

新庄井田主要可采煤层为三₂煤层和二₂煤层,巷道在开拓过程中的主要来水范围是煤系地层本身的砂岩,即三₂煤和二₂煤顶板砂岩裂隙水。运用“大井法”,并采用裘布依承压水公式进行涌水量计算^[7-8],即:

$$Q = 273K \frac{MH}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (1)$$

式中: $R_0 = R + r_0$ $R = 10H\sqrt{K}$ $r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$ 。

式中: Q 为涌水量,m³/d; K 为渗透系数,m/d; M 为含水层厚度,m; H 为疏降水头高度,m; R_0 为引用影响半径,m; r_0 为引用半径,m; R 为影响半径,m; F 为开采水平采区面积,m²。

新庄井田计算水平为开采大巷水平-300 m。计算面积:南起煤层露头线,北至-300 m标高,东起省界,西至王庄断层,约3.51 km²,主要计算参数见表2。

将以上参数代入公式进行计算,得井田在开采过程中,二₂煤顶板砂岩裂隙带涌水量为421 m³/h,三₂煤顶板砂岩裂隙带涌水量为150 m³/h,巷道正

常情况下涌水量总计为571 m³/h。

表2 参数选取值

来水范围	m/d, m		
	渗透系数	水位降深值	含水层厚度
二 ₂ 煤顶板砂岩裂隙带	0.371	327.68	14.01
三 ₂ 煤顶板砂岩裂隙带	0.09314	326.71	14.37

新庄井田于1996年12月投产运行,根据2001年1月-2007年12月矿井涌水量监测数据,其历年平均涌水量变化相对比较稳定,7年涌水量平均值为538.2 m³/h,最小为2001年的528.4 m³/h,最大为2007年的551.9 m³/h,月平均涌水量在499.0~590.3 m³/h之间波动,且涌水量有逐年上升趋势。

“大井法”计算得巷道系统正常涌水量为571 m³/h,矿井实测涌水量多年平均值为538.2 m³/h,理论计算结果与实测值吻合较好。考虑到电厂对供水保证率要求较高的实际,论证取最不利情况,即以最小涌水量499.0 m³/h作为新庄煤矿正常情况下涌水量值。

3.3 大井法计算刘河煤矿涌水量

刘河矿井主采煤层为二叠系山西组中部二₂煤层,开采大巷水平标高-400 m,矿井正常情况下涌水量主要由二₂煤层上(60 m)砂岩裂隙承压水含水组涌水量和二₂煤层底板砂岩含水组涌水量两部分组成,分别采用“大井法”裘布依承压转无压进行计算^[7-8]。

$$Q = 1.366K \frac{(2H - M)M}{\lg R_0 - \lg r_0} \quad (2)$$

式中:各参数符号意义同公式(1)。

根据稳定流抽水试验结果,选定相关参数如表3所示。

表3 参数选取值

来水范围	m/d, m, km ²			
	渗透系数	含水层厚度	水位降深值	计算面积
二 ₂ 煤上(60 m)砂岩裂隙承压水含水组	0.0348	14	417	4.29
二 ₂ 煤底板砂岩含水组	0.0348	35	423	4.29

将以上参数代入公式求得,二₂煤层上(60 m)砂岩裂隙承压水含水组涌水量 $Q_{上}$ 为102.6 m³/h;二₂煤层底板砂岩裂隙承压水含水组涌水量 $Q_{底}$ 为261.6 m³/h,刘河煤矿正常情况下涌水量理论计算值为364.2 m³/h。

刘河矿井于2007年8月试运行投产,尚无多年

逐月涌水量监测数据,从电厂用水偏于安全考虑,在理论计算值上计入0.8的折减系数,即刘河矿正常情况下涌水量为 $290.0\text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.4 矿井水可利用水量确定

经计算,葛店、新庄和刘河煤矿涌水量分别为460、499和 $290\text{ m}^3/\text{h}$,合计 $1\,249\text{ m}^3/\text{h}$,扣除矿区自用水量 $230\text{ m}^3/\text{h}$,并考虑矿井水的深度处理损失以及输水过程中的漏损(以10%计),则3座水源矿井可供电厂利用的矿井水资源量为 $917\text{ m}^3/\text{h}$ 。

4 矿井水水质分析

对葛店、新庄和刘河3座煤矿矿井排水的水质化验成果进行分析,其大多数监测因子都符合《地下水环境质量标准》Ⅲ类水质标准要求^[9],但由于矿井水

中含有大量煤粉,其溶解性总固体、悬浮物均超标,且超标倍数较高,例如刘河煤矿矿井排水中溶解性总固体(TDS)达到了 $3\,600\text{ mg/L}$,新庄煤矿矿井排水中悬浮物(SS)达到了 368 mg/L ,矿井水质综合评价结果均为V类,矿井排水不满足循环冷却水水质要求。同时,矿井水由于钾钠含量偏高,属起泡水,这对锅炉正常运转极为不利。矿井水在进入电厂各用水系统前需进行深度化学处理以达到水质要求。

对于含悬浮物(SS)矿井水,其主要污染物来自矿井水流经采掘工作面时带入的煤粒、煤粉、煤岩、岩粒、岩粉等悬浮物,含量一般在 $100\sim 400\text{ mg/L}$,其处理的关键是去除矿井水中SS和杀菌消毒,常用的处理工艺流程如图1所示^[10]。

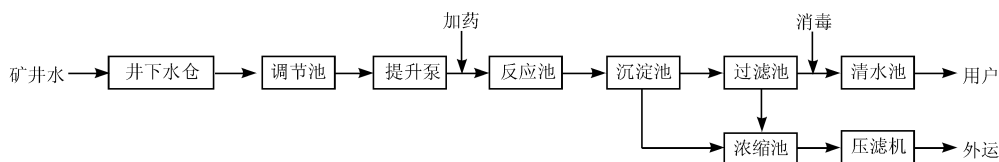


图1 含悬浮物矿井水处理工艺流程

对于溶解性总固体(TDS,又名总矿化度)含量较高的矿井水,主要是指水中含盐量 $>1\,000\text{ mg/L}$ 。水中的含盐量主要来源于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、

Cl^- 、 HCO_3^- 等离子,水质多偏碱性,带苦涩味,其硬度往往较高。因为含盐量较高,处理工艺的关键工序是脱盐,其工艺流程图如图2所示^[10]。



图2 高矿化度矿井水处理工艺流程

5 结语

在对永城矿区区域水文地质条件、矿井充水因素进行分析的基础上,分别利用富水系数法、大井法以及实测数据分析法对电厂水源地葛店、新庄和刘河3座煤矿矿井涌水量进行了分析计算,并评价其水质,论证其作为电厂生产用水水源的可靠性与可行性。计算结果显示,3座煤矿有保证的可供电厂利用的水资源量为 $917\text{ m}^3/\text{h}$,这在很大程度上可以解决电厂部分水源问题,同时矿井排水也实现了资源化和有效利用。但矿井排水由于煤粉、岩粉等污染水质不达标,需按照相应的矿井水处理工艺流程对水质进行深度处理以满足电厂用水要求。

参考文献:

[1] 刘喜信,荆龙华,赵海鹏. 矿坑涌水量的计算方法[J]. 黑龙江科技学院学报,2005,15(2):116-119.
[2] 李云峰,胥国富,左传明. 梁花园矿井涌水量估算[J].

中国煤田地质,2007,19(5):38-40.
[3] 水利部水资源司. 建设项目水资源论证培训教材[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
[4] 水利部水资源管理中心. SL/Z322-2005 建设项目水资源论证导则(试行)[S]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
[5] 史瑞兰,孙照东,刘永峰,等. 对我国开展规划水资源论证的几点认识[J]. 人民黄河,2009,31(6):75-79.
[6] 刘永峰,孙照东,史瑞兰,等. 水资源论证总体框架及内容研究[J]. 人民黄河,2010,32(3):33-34.
[7] 邓学成,孙万和,权宝增. 工程地质与水文地质[M]. 北京:中国水利水电出版社,1992.
[8] 吴吉春,薛禹群. 地下水动力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
[9] 国家环境保护总局. GB/T 14848-93 地下水质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,1993.
[10] 莫樊,郁钟铭,吴桂义,等. 煤矿矿井水资源化及综合利用[J]. 煤炭工程,2009(6):103-105.