

巨野煤田矿坑热水特征及其开发利用

李公岩¹, 刘红², 李霖¹, 贾德旺¹, 张敏¹

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100; 2. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:根据矿坑热水水质、水量、水温, 立足矿山实际, 因地制宜提出了综合开发利用方式: 赵楼煤矿矿坑水可向巨野县城提供洗浴用水; 彭庄煤矿矿坑水宜作为种植冬暖式大棚蔬菜的热源; 经热能梯级利用后, 郭屯煤矿矿坑水可与低氟水混合后作为水产养殖用水; 龙垌煤矿矿坑排水量大, 距巨野县城较近, 经降酸处理后可作为城镇工业供水水源。矿坑水经全部梯级利用后, 可节省地下水资源及煤炭资源费 2 493.84 万元/a。

关键词:矿坑热水; 热水特征; 开发利用; 巨野煤田

中图分类号: P314.1

文献标识码: A

1 区域地质环境条件

巨野煤田位于山东省菏泽市东部, 自北往南跨越郓城、巨野和成武 3 县, 含煤面积 960 km², 辖郓城、郭屯、彭庄、赵楼、龙垌和万福 6 个井田。煤田内含煤地层为石炭-二叠纪月门沟群太原组和山西组, 其中赋存于山西组中的 3 煤层为现阶段主采煤层, 目前彭庄、郭屯、赵楼和龙垌 4 对矿井已建成投产。

煤田内地层由下而上为奥陶系、石炭-二叠系、新近系及第四系, 煤层赋存于石炭-二叠系太原组及山西组中, 太原组由灰-灰黑色泥岩、粉砂岩、砂岩、薄层灰岩及煤层组成, 含 15, 16, 17, 18 煤等可采煤层, 平均厚度 170 m 左右; 山西组上部以粉砂岩和泥岩为主, 中、下部以砂岩为主, 含 2, 3 煤层, 平均厚度 67 m 左右, 其中 3 煤为区内首采及主采煤层。

煤田内地下水分为孔隙水、裂隙水、岩溶水 3 种。松散岩类孔隙水底板埋深一般大于 500 m, 含水层岩性主要为第四纪及新近纪粉质粘土、混粒砂、粉土、细砂、粗砂等, 富水性一般小于 30 m³/(d·m), 主要接受大气降水补给; 裂隙水埋藏深度大于 750 m, 含水层岩性由古近纪官庄群、侏罗纪淄博群、石炭-二叠纪石盒子组和月门沟群砂岩、泥岩夹石灰岩及煤层组成, 单位涌水量一般小于 10 m³/(d·m),

补给来源为下伏岩溶水的顶托补给; 岩溶水埋藏于煤系地层之下, 含水层岩性为奥陶纪马家沟组灰岩、白云岩及泥灰岩, 单位涌水量 100~200 m³/(d·m), 补给方式以东部的侧向径流为主^①。

2 矿坑热水赋存特征

2.1 热储盖层及热源

区内新近系底板埋深大于 500 m, 其中第四系主要是冲洪积相黄色粘土、砂质粘土夹不等粒砂层; 新近系则以棕色粘土岩夹粉砂质粘土岩和粉、细砂岩互层为主。厚层不透水的粘土岩切断了含水层间的垂向运移, 防止了地下热能的扩散。构成了石炭-二叠系热储盖层。热源主要来自地壳深部的热流传导和对流, 新构造运动使地壳深部的热源不断往上传递, 巨野断裂、田桥断裂及次生断裂多为发震构造, 对地壳深部的热源起到了重要的沟通和传导作用。

2.2 热储层及其水文地质特征

目前各矿山主要开采 3 煤, 对此煤层起直接充水影响的含水层为山西组 3 煤层顶底板砂岩及太原组石灰岩。

2.2.1 山西组 3 煤顶底板砂岩热储层

3 砂主要由深灰、绿灰、灰白色细、中砂岩和粗

* 收稿日期: 2011-03-24; 修订日期: 2011-06-17; 编辑: 王秀元

作者简介: 李公岩(1963—), 男, 山东东平人, 高级工程师, 主要从事水工环地质研究与管理工; E-mail: jiadewang123@163.com。

①山东省鲁南地质工程勘察院, 菏泽市巨野煤田矿坑排水综合利用报告, 2009 年。

砂岩组成,井田内砂岩厚度一般在 6.58~49.75 m,平均厚度约 27.68 m。裂隙局部发育,充填有方解石脉。钻孔单位涌水量为 0.03~4.32 m³/(d·m),富水性弱,渗透系数 0.000 0~0.006 6 m/d,水位标高 35.76~39.25 m。矿化度 942~7 790 mg/L,水质类型以 SO₄-Na 型为主。底板埋深一般在 700~800 m,由东北向西南埋深逐渐增大。

2.2.2 太原组三灰石灰岩热储层

厚度 2.90~9.84 m,平均厚度约 6.85 m,浅部裂隙较发育,岩溶裂隙常充填方解石和泥质。漏水点深度多在 749.40~874.31 m,均分布在浅部露头或断层附近,水位标高一般在 35.41~39.60 m,单位涌水量 0.10~10.63 m³/(s·m),富水性弱一中等,矿化度 1 457~4 450 mg/L,水质类型主要为 SO₄-Na 型。

2.3 地温变化特征

2.3.1 垂向变化特征

井田内非煤系地层地温梯度一般在 1.06~3.30℃/100m,平均为 2.13℃/100m;煤系地层地温梯度 2.34~5.05℃/100m,平均 3.21℃/100m。煤田内煤系地层地温高,地温梯度较大是主要特征,特别是在万福井田内某些钻孔自 3 煤层以下地温梯度大于 6℃/100m,地温高、地温梯度大,说明在 3 煤层的下部地层可能有岩浆的侵入,上部岩石尤其是煤层的导热性能较差,地下水流差,对地热有保温作用,从而导致地温梯度的升高。

2.3.2 水平变化特征

全煤田内地温梯度呈现为南高北低的趋势,东西方向上不同井田内变化也不一致,这主要与地质构造形态、水文地质条件、煤层埋藏深浅和煤层露头的影响有关,在断层及向斜轴部下降区,煤系上覆地层加厚,地温梯度普遍较低,而位于向斜两翼及穹隆构造核心部位区,二叠系多被风化剥蚀,煤系地层埋藏较浅,由于岩石导热系数的不同,造成地温梯度大,温度降低。一般情况下煤层埋藏越深地温越高,但同一深度,由于所处构造部位不同以及受其他地质因素的影响,地温梯度也不同,如背斜轴部,地温梯度略有增高。

2.4 热储概念模型

煤田内的热源主要以传导为主,对流为辅。在巨厚盖层覆盖下,热储层从地球深部获得热能后温

度升高,使侧向径流补给的热储层中的地下水不断升温,同时由于郟城断裂、菏泽断裂、巨野断裂及田桥断裂的存在,沟通了热储层内上下含水层之间的水力联系,使地壳深部的热源不断往上传递,长期对流循环受热增温后,形成了现今可开发利用的地热资源(图 1)。

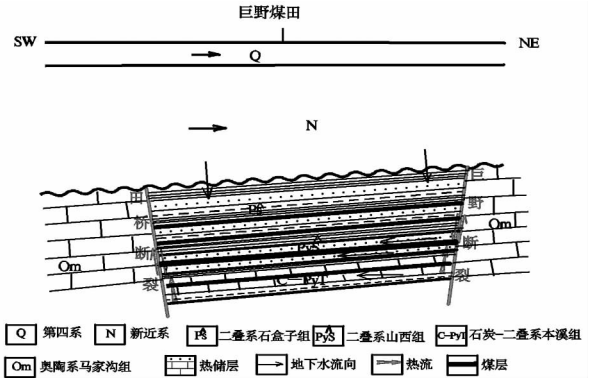


图 1 热储概念模型

3 矿坑热水水量及水质

3.1 矿坑热水排放量及水温

巨野煤田内 4 个生产煤矿的矿坑水外排量约 33 600 m³/d,出水口水温在 31~45℃之间,各煤矿排水水量及水温情况见表 1,矿坑排水以疏排静储地下水为主,下伏奥陶系岩溶水为其间接充水水源,矿井涌水量与掘进进尺、开采面积成正比关系。

表 1 生产矿山矿坑水产出量及外排量

矿山名称	产出量 (m ³ /d)	综合利用量 (m ³ /d)	外排量 (m ³ /d)	矿坑水水温 (℃)
彭庄	2520	1320	1200	31
郭屯	7200	1920	5280	36
赵楼	6480	2160	4320	40
龙垌	29160	6360	22800	45
合计	45360	11760	33600	

3.2 矿坑热水水质现状

各生产矿山矿坑排水水化学类型以 SO₄-Na 型为主,其中郭屯、赵楼和龙垌煤矿属 SO₄-Na 型水,彭庄煤矿则为 SO₄-Na·Ca 型水,矿坑水的主要污染组分有 Cl⁻,SO₄²⁻,F⁻、硬度、矿化度等,各矿坑水中 SO₄²⁻ 含量在 1 400~2 539 mg/L,F⁻ 含量在 1.4~1.9 mg/L,硬度在 265~955 mg/L 之间,矿化度在 2 850~4 455 mg/L 之间。Cl⁻ 含量在郭屯煤矿矿坑水中含量最高,而龙垌煤矿矿坑水中 SO₄²⁻ 含量达 2 539 mg/L。

4 矿坑热水水质评价

4.1 生活饮用水水质评价

选择 Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , NO_3^- , 硬度, pH 值, 溶解性固体等 8 项指标作为评价因子进行评价^[1], 各煤矿均有多项组分超标, 超标倍数最高的组分为 SO_4^{2-} , 龙垌煤矿矿坑排水的 SO_4^{2-} 超标倍数达 9.16 倍; 其次为 Na^+ , 赵楼煤矿矿坑排水的 Na^+ 超标倍数为 4.96 倍; 再次为溶解性固体, 赵楼煤矿矿坑排水的溶解性固体超标 3.46 倍; 除彭庄煤矿外, 其他矿山的矿坑排水的 Cl^- 含量均超标。矿坑排水不宜作饮用水。

4.2 农田灌溉用水水质评价

农田灌溉用水评价仅指水温小于 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 的水^[2], 矿坑排水水温大多大于 $35\text{ }^\circ\text{C}$, 故不能直接用来进行农田灌溉, 应利用循环梯级降温使水温冷却至低于 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 。除郭屯煤矿矿坑水中氯化物含量超标外(氯化物含量过高对农作物生长产生一定负面影响)。其他煤矿矿坑水指标含量均满足农田灌溉用水要求, 所以冷却后的水基本适宜进行农田灌溉。

4.3 渔业用水水质评价

选取 pH 值、汞、铬、砷、氰化物、氟化物作为评价指标^[3], 矿坑排水中氟离子含量全部超过了渔业用水水质标准, 出水口温度较高, 超过了鱼类生长适宜温度, 不适宜作为渔业用水。若适当与低氟冷水混合使用, 可供鱼类越冬、孵化及养殖罗非鱼等热带鱼种。

4.4 医疗热水评价

选取 CO_2 , F , Fe , H_2SiO_3 等指标进行评价^[4], 评价结果为: 各个井田内矿坑水均达到了医疗价值浓度, 具备医疗价值。

4.5 工业用水水质评价

主要进行冷却用水水质评价, 各生产矿山矿坑排水中主要超标组分为 SO_4^{2-} , 超标倍数为 0.11~0.86 倍, 用作冷却用水时需进行降酸处理后方可利用。

4.6 金属的腐蚀性评价

郭屯煤矿矿坑水中 Cl^- 的毫克当量百分含量超过 25%, 适合利用拉申指数进行评价。该矿坑水属强腐蚀性水。其他矿坑水参照工业上用腐蚀系数来衡量矿坑排水的腐蚀性, 经计算, 彭庄与龙垌煤矿矿

坑热水为腐蚀性水、赵楼煤矿矿坑热水为非腐蚀性水, 在选用供热管材或建筑材料时应考虑地热水对金属的腐蚀。

4.7 混凝土的侵蚀性评价

各矿坑排水中硫酸根对混凝土都具有中等—强腐蚀性, 其他项目对混凝土均无腐蚀性。因此地热水开发利用时, 建议工程建设使用抗硫酸盐水泥^[5]。

4.8 矿坑水结垢趋势评价

4.8.1 碳酸钙结垢趋势评价

利用拉申指数标准评价, 郭屯煤矿矿坑热水拉申指数大于 0.5, 为碳酸钙不结垢。彭庄、赵楼及龙垌煤矿矿坑水 Cl^- 毫克当量百分含量低于 25%, 用雷兹诺指数进行碳酸钙结垢评价, 评价结果矿坑水均为严重结垢热水。

4.8.2 硫酸钙结垢趋势评价

由石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的相对饱和度(R. S)定性对矿坑水进行计算, 得出: 各矿坑水均不会形成硫酸钙垢。

4.8.3 硅酸盐结垢趋势评价

硅酸盐垢的结垢比较复杂, 其垢通常含有 40%~50% 二氧化硅、25%~30% 的铁和铝的氧化物以及 10%~20% 的氧化钠。硅酸盐垢的结垢采用无定形二氧化硅的相对饱和度 R. S 来评价, 经计算矿坑排水无硅酸盐垢生成。

5 矿坑热水开发利用

5.1 矿坑水处理工艺及处理量

目前各投产矿山矿坑水在处理方法上有所差异, 但均为深度处理, 即将矿坑水通过特定装置絮凝、澄清及消毒, 处理的目的是去除 SS 和 COD, 经一级处理后的水可以满足排放要求, 二级处理后的水则可适用于井下生产用水、热电厂冷却用水及绿化用水等。各矿山排水均进行了一定程度的处理, 处理量为 $33\ 600\ \text{m}^3/\text{d}$, 处理率达到了 100%。

5.2 矿坑水资源化利用思路

立足矿山实际, 同时与当地工农业与城市供水相结合, 根据矿坑排水的水质、水量、水温等特点, 结合矿山所处位置及周边经济发展状况, 因地制宜提出不同的梯形或循环开发利用方式, 主要包括洗浴、冬季供暖、种植冬暖式大棚蔬菜、水产养殖、农田灌

溉、城镇工业供水等。矿坑排水除可作为医疗矿水直接用于洗浴外, 用作其他用途时必须经过一定方式的处理。

5.3 综合开发利用

5.3.1 洗浴用水

矿坑排水中氟离子含量丰富, 达到了氟矿水医疗标准, 可充分利用矿坑水的水温及医疗矿物质, 将矿坑排水作为洗浴用水, 既减少了地下水资源的开采, 又保障了职工的身体健康, 巨野煤田矿坑排水综

合利用见图 2。目前 4 个矿山职工及家属等约 11 000 人, 按每人洗浴用水量 50 L/d 计算, 则每年可减少地下水开采量 20.08 万 m³, 每年可节省水费 24.10 万元(按 1 m³ 地下水开采所需的水资源费和开采成本费为 1.20 元计算)。此外, 考虑到赵楼煤矿矿坑水排量较大, 水温较高, 距离巨野县城较近, 可适当将部分矿坑水作为城市居民洗浴用水, 按向县城每天提供 1 000 m³ 矿坑水计算, 可解决上万人的洗浴用水, 节省水费约 43.80 万元/a。

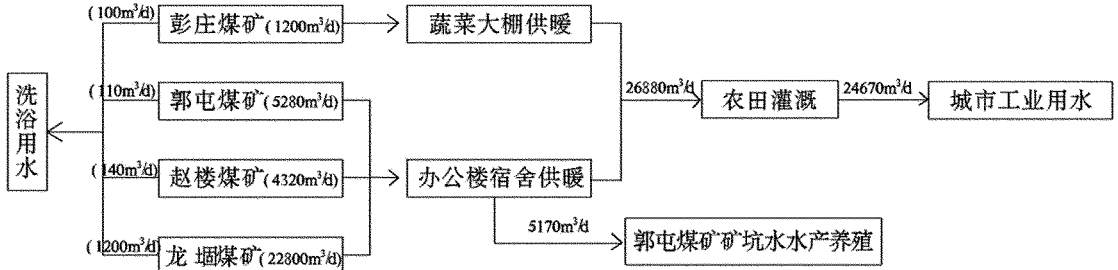


图 2 矿坑水综合利用流程图

5.3.2 冬季采暖

(1) 工业场区采暖。可利用现行的水源热泵技术, 利用矿坑热水向工业场地的办公楼和宿舍供热。该技术已在招远市河西金矿区进行利用, 可以将矿坑水资源化利用, 节省了能源, 节约了费用支出, 减少了环境污染。由于矿坑排水对金属具腐蚀性, 利用矿坑水作为冬季供暖能源时, 应选择耐腐蚀的供暖管材或建筑材料。

(2) 种植冬暖式大棚蔬菜。建设冬暖式大棚, 利用温度较高的矿坑排水作为热源, 提升大棚内的温度, 既可以充分利用天然的地下热水资源, 又可以降低种植成本, 增加农民收入。

(3) 供暖经济价值估算。利用剩余矿坑排水对矿区工业场地的办公楼和宿舍供热, 供暖周期设为 120 d, 按供暖出水口温度 35℃ 计, 则矿坑排水所释放的热量为 5.972×10^{14} J, 折合标准煤约 20 369 t, 潜在经济价值约 1 222.14 万元。由于彭庄煤矿矿坑水排放热量潜在经济价值低, 并且距郓城县较近, 易将矿坑水作为种植冬暖式大棚蔬菜的热源。

5.3.3 水产养殖

经冬季供暖等梯级利用处理后的矿坑水, 可发展水产养殖。这样不必消耗常规能源, 就能使冬季水产养殖池水温始终维持在预定值。不仅能保证鱼类安全过冬, 还能维持生长季节的生长速度, 提高养殖户的经济效益。郭屯煤矿矿坑排水中氯化物含量超

标, 经过供暖利用处理后的水不适宜进行农田灌溉, 可将该部分利用过的矿坑水经与低氟水混合后作为水产养殖用水, 每年可节省水费 226.45 万元。

5.3.4 农田灌溉

目前, 除郭屯煤矿矿坑水中氯化物含量超标, 不适宜进行农田灌溉外, 其他矿坑水水质均能满足农田灌溉标准, 供水量为 26 880 m³/d。据华北地区井灌区农户灌溉用水标准^[6], 巨野地区按每公顷地农灌水量 3 450 m³/a, 年农灌持续时间以 30 d 计, 则矿坑排水 30 d 的水量为 806 400 m³, 可满足约 233.33hm² 农田的灌溉用水需求。每年可节省水费 96.77 万元。

5.3.5 城镇工业供水

受地层成因控制, 矿区内地下水水质普遍较差, 多为 SO₄-Na 型水, 造成了区域水质性缺水。矿坑水经多级利用处理后的剩余量约为 24 670 m³/d, 相当于 1 个中型水源地的供水量, 因此, 利用处理后的矿坑水向巨野县境内的工矿企业供水, 可大大减少对地下水资源的开采量。因矿坑水中硫酸根离子含量较高, 需建设矿坑水处理站, 对矿坑排水进行降酸处理, 使其达到生活及工业用水水质标准, 然后向巨野县城区和企业供水, 以解决水资源的供需矛盾。经处理的矿坑水每年可向县城工矿企业提供 900.48 万 m³, 可节约水费约 1 080.58 万元。综上所述, 矿坑水全部经梯级利用后, 可节省地下水资源及煤炭

资源费达 2 493.84 万元/a, 开发利用潜力巨大。

6 结语

巨野煤田矿坑排水外排量约 33 600 m³/d, 出水口水温达 31~45 ℃, 经适当处理后可进行梯级开发利用, 分别作为洗浴、采暖、灌溉、水产养殖、工矿企业用水, 经概算可节省地下水资源及煤炭资源费约 2 493.84 万元/a, 具有非常大的开采潜力。

参考文献:

- [1] GB5749-2006. 生活饮用水卫生标准[S]. 2006.
- [2] GB5084-2005. 农田灌溉水质标准[S]. 2005.
- [3] GB11607-89. 渔业水质标准[S]. 1989.
- [4] GB13727-92. 医疗热矿泉水水质标准[S]. 1992.
- [5] GB50021-2001. 岩土工程勘察规范[S]. 2001.
- [6] 柳长顺, 陈献, 乔建华. 华北地区井灌区农户灌溉用水状况调查研究[J]. 水利发展研究, 2004, (10): 39-42.

Characteritics and Exploitation of Pit Hot Water in Juye Coal Mine

LI Gongyan¹, JIA Dewang¹, ZHANG Min¹, LIU Hong²

(1. Lunan Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100, China; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: According to actual condition of quality, quantity and temperature of pit hot water, based on local condition of mining areas, comprehensive development and utilization model has been put forward as follows: pit water in Zhaolou coal mine can be provided to the Juye county as the bathing water; pit hot water in Pengzhuang coal mine may be used as heat source for planting winter type greenhouse vegetables; after the cascade utilization of energy, pit water of Guotun coal mine can be mixed with low - fluoride water as the water aquaculture; water discharge amount of Longgu coal mine is large, thus, after descending acid treatment, it can be used as urban industrial water for Juye county. After all the cascade utilization of pit water, it can save groundwater resources and coal resource fee of 24.9384 million yuan each year.

Key words: Pit hot water; characteristics of hot water; exploitation and development; Juye coal mine