

流水壕泉域修建地下水库可行性分析

万伟锋¹, 李云峰¹, 王 玮¹, 刘万民², 付晓刚¹

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2. 青海省环境地质勘察局, 青海 西宁 810007)

摘要 :在分析流水壕泉域水文地质条件的基础上,提出设立地下截渗墙修建地下水库的办法,以拦蓄地下水资源。经过可行性分析,在流水壕泉域内修建人工地下水库是可行的,在古洼槽分布区补设开采井群抽取地下水,实现地下水库集中供水,并可获得开采量 5 400 m³/d。修建后可以解决由于附近煤矿不合理开采导致的缺水问题。

关键词 :煤炭开采;水资源;水文地质;地下水库;陕北能源基地;流水壕泉域

中图分类号 :X143 文献标识码 :B 文章编号 :1004-693X(2008)05-0059-03

Feasibility of groundwater reservoir in the Liushuihao Spring Basin

WAN Wei-feng¹, LI Yun-feng¹, WANG Wei¹, LIU Wan-min², FU Xiao-gang¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Qinghai Environmental Geology Exploration Bureau, Xining 810007, China)

Abstract :On the basis of the hydrogeological conditions in the Liushuihao Spring Basin, a method of building an artificial groundwater reservoir surrounded by cutoff walls is presented for groundwater interception. Analysis shows that it is feasible to build an artificial groundwater reservoir. A group of wells built in an ancient depression will supply 5 400 m³/d of water for the reservoir. The water shortage problem caused by unreasonable mining of coal in this area will be solved when the groundwater reservoir is built.

Key words :coal mining; water resources; hydrologic geology; groundwater reservoir; energy base in Northern Shaanxi; the Liushuihao Spring Basin

陕北能源基地位于黄河中游、毛乌素沙地南部、陕西省的北端,是我国煤炭、石油、天然气和盐矿资源高度富集区。基地重点地区又是基地煤炭最富集的地区,目前探明的煤炭保有储量占基地煤炭保有储量的 68.3%^[1]。但由于区域自然条件的限制加之能源基地建设的迅速发展,该区水资源匮乏,生态环境极为脆弱,缺水已成为制约基地建设的瓶颈问题^[2]。

1 研究区周边煤矿开采导致的水资源问题

流水壕泉域位于陕北能源基地的考考乌苏沟流域,神木县中西部。该地区煤炭资源丰富,开采条件便利。流水壕泉域内地下水资源的现状开采方式主要为引泉引流,主要用于区内人畜饮用、农业灌溉与

煤炭相关的工业生产。区内主要有水头泉和沙渠泉两个大泉,泉水流量丰富。

煤炭相关工业的蓬勃发展为当地带来了可观的经济效益,但由于种种原因,区内煤炭相关工业的发展也引发了一系列的环境地质问题^[1-2]。

1.1 深部疏干导致泉水干涸

2005 年 9 月,由于附近煤矿放炮炸煤,爆破导致煤矿与流水壕泉域北侧的烧变岩含水层沟通,大水从矿坑井巷涌出,水势凶猛。随后连同附近其他 3 个矿也开始涌水,均被迫完全停产,而且使得水头泉和沙渠泉完全干涸(多年来这两个泉总流量达 4 320 ~ 8 640 m³/d)。另外,还引起了附近地下水位下降,农用供水并干涸,作物旱死,当地居民因没有安全的饮用水源而被迫远距离买水、拉水以维持生活。

1.2 矿坑排水污染水土环境

由于矿坑排出的水中含有大量的煤粉等悬浮物及其他有害组分,在下游河道内大量堆积使得河床呈黑色,皮肤接触该矿坑排水后,有瘙痒感,河床中水土污染十分严重。

1.3 污水(煤粉)灌溉导致作物减产甚至死亡

在研究区煤矿周围,有大量的农田,因灌溉水源遭受矿坑排水的污染及河道内随意堆放的矿渣的污染,水中含有大量的煤粉等悬浮物及其他有害组分,用该水灌溉后,在田地地表沉积了一层黑色黏性物质,致使作物生长不良、减产甚至死亡。

2 水文地质条件^[3]

流水壕东、南、西三面地势较高,所处的基岩和黄土层,构成地表水与地下水基本相一致的泉域分水岭。地下水自成补径排系统,构成一个独立的水文地质单元(图1)。根据钻孔资料,区内的主要地层从下至上有:侏罗系的富县组(J_{1f})、延安组(J_{2y})、直罗组(J_{2z})、安定组(J_{2a})、第三系的上新统(N_2)及第四系(Q),开采煤层主要位于侏罗系的延安组(J_{2y})。泉域内地下水按其赋存条件、含水介质及水力性质,可分为第四系松散岩类孔隙、裂隙孔洞潜水和侏罗系碎屑岩类裂隙(烧变岩)潜水两大类,再根据地下水分布的地理位置,第四系潜水又可分为沙漠、黄土丘陵区冲湖积层和风积黄土层潜水。

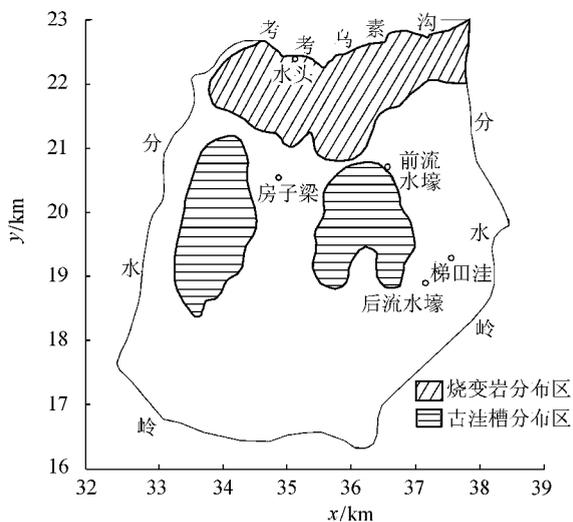


图1 流水壕泉域烧变岩及古洼槽分布

沙漠区冲湖积层即萨拉乌苏组和黄土含水层,是本区的主要供水含水层组,岩性以粉细砂、中细砂为主,含亚砂土,局部地段含泥质,结构疏松,孔隙率高,具有良好的储水条件,且透水性、导水性强。含水层厚度受古地形控制,变化较大,一般为10~30m,在古洼槽中心可达30~50m,单井出水量一般为100~500 m³/d,最大达1000 m³/d,近地表分水岭地

带为10~100 m³/d或小于10 m³/d(图2)。

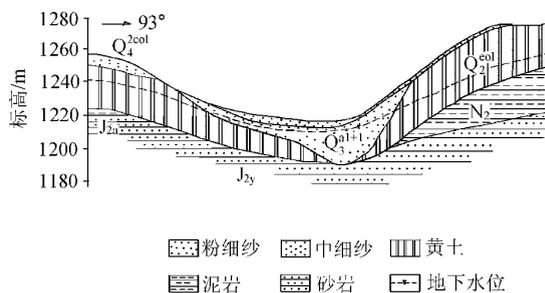


图2 流水壕古洼槽横向水文地质剖面

底部由侏罗系碎屑岩和第三系泥岩构成梁谷相间的古地理环境,可视为隔水层,地下水沿隔水层倾斜方向往沟谷下游汇集,具脉状分布规律。地下水在水平运动过程中补给下伏含水层,尤其是烧变岩中的地下水主要靠萨拉乌苏组的地下水补给而来。因此,萨拉乌苏组是本区的主要含水层之一。

碎屑岩类裂隙潜水主要赋存于侏罗系砂岩和砂质泥岩的风化裂隙及烧变岩中,分布于泉域北部的延安组烧变岩,其厚度达27.60~51.70m,最厚可达71.64m。空洞裂隙十分发育,裂隙率10%~30%,裂隙宽0.3~4cm,极有利于地下水的储存和径流,当有较为充足的地下水补给源时,可形成烧变岩泉,泉水流量较大,如原来的水头泉和沙渠泉常年月平均流量达50~100 L/s。烧变岩区潜水的分布严格受地形、上覆岩类组合和补给条件等因素控制。流水壕泉域因地形完整,能接受南部洼槽地下水的侧向补给,成为地下水的集中排泄带,故泉水流量较大(图3)。

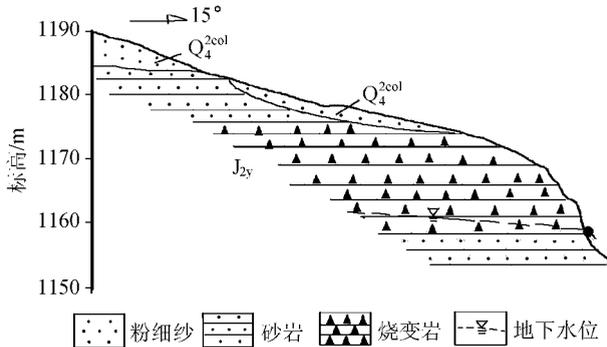


图3 原水头泉出露水文地质剖面

烧变岩泉水极易受本区煤矿开采等人为工程活动的影响而漏失。泉水流出口为当时烧变岩含水层的最低排泄基准面,当煤矿矿坑顶板裂隙带与烧变岩含水层相通时,就形成了比原来泉口更低的排泄基准面,因为烧变岩空洞裂隙十分发育,极易形成地下水强径流带,地下水将以强径流带的形式向更低的排泄基准面即矿坑排出,使得原来泉口处呈现疏干状态,而使泉水漏失干涸。如该泉域内著名的

水头泉和沙渠泉,因沟谷下游两煤矿开采到烧变岩下部,矿坑顶板与烧变岩含水层贯通,使得烧变岩地下水从阴湾煤矿矿坑排出,造成水头泉和沙渠泉干涸,煤矿透水被淹无法开采,地下水资源遭到严重破坏而流失浪费。

3 对策研究

根据对水文地质条件的分析,充分利用流水壕流域具有构建孔隙地下水这一有利条件,通过设置地下防渗墙的方法修建人工地下水库,拦蓄地下水资源,以解决该区的水资源短缺问题。

3.1 修建地下水库的有利条件

修建地下水库时,应选择边界条件清楚,储水空间的底部存在相对不透水层,除进水、出水边界外,储水空间的四周边界相对封闭或通过工程措施可使之相对封闭,另外,要有充足的补给水源和一定的调蓄能力^[4]。

3.1.1 储水边界

流水壕泉域分水岭与沟域地下水分水岭基本一致,南部的水头和沙渠两大泉为原来泉域地下水的总排泄口,基底为由侏罗系碎屑岩和第三系泥岩构成梁谷相间的古地理环境,可视为隔水层,整个泉域地下水构成一个独立完整的补径排系统。

根据区内地层结构及水文地质条件,截渗墙可设置在烧变岩分布区后部的黄土及萨拉乌苏组中细砂层(图4),这样截渗墙上游的萨拉乌苏组砂层及黄土将构成地下水库。地下水库建成后,拟在截渗墙上游,距截渗墙一定距离,萨拉乌苏组砂层较厚的位置,布设开采井群抽取地下水,实现地下水库集中供水。

3.1.2 储水结构

前已述及,在该泉域广泛分布的萨拉乌苏组和黄土含水层是本区的主要供水含水层组,具良好的储水条件,且透水性、导水性强。在泉域的两处古洼槽分布地带,顺古洼槽两侧谷坡沉积有风积黄土层,黄土层之上的古洼槽中部沉积冲湖积含水层,厚度一般为10~20m,最厚达25m,向古洼槽两侧逐渐变薄,直至尖灭。上部覆盖松散风积砂,大气降水极易入渗,地下水沿隔水层倾斜方向往沟谷下游汇集。

3.1.3 补给、调蓄条件

流水壕为一完整的水文地质单元,大气降水入渗是区内地下水的唯一补给来源。本区年降水量为108.6~819.1mm,多年平均降雨量为427.2mm。根据计算,流水壕泉域平均大气降水入渗补给系数为0.31,在多年平均降水量条件下,泉域可获得降水入渗补给量1.018万m³/d(流水壕泉域面积28.06km²),考虑到截渗墙下游的烧变岩分布区补给量不能汇入地下水库,扣除这部分补给量后的净补给量为8164.38m³/d(地下水库面积取22.50km²),这为地下水库的正常供水提供了补给量保证。

储量计算结果表明,现状条件下流水壕泉域萨拉乌苏组砂层及黄土中的储量为2960万m³,根据水位测量资料,流水壕泉域现状条件下地下水埋深近10m,黄土区地下水位埋深达20~50m,当地下水截渗墙修建以后,可使流水壕泉域内(地下水库部分)地下水位全面抬升,为地下水库实行以丰补歉、调节开采提供了库容保证。

3.2 开采方式及允许开采量

地下水库蓄水后,宜采用管井方式开发利用库内地下水资源,开采井宜布设在泉域内的古凹槽内,该处萨拉乌苏组砂层含水层厚度相对较大,可在较小降深下获得较大的开采量。开采井在给定降深下的开采量可采用下式计算^[5]:

$$Q = \pi K(2H - s)s / \ln \frac{R}{r}$$

$$R = 2s \sqrt{KH}$$

式中:Q为抽水井抽水量,m³/d;K为渗透系数,m/d;H为抽水前潜水含水层的厚度,m;s为水位降深,m;R为影响半径,m;r为抽水孔过滤器的半径,m。

根据流水壕泉域内抽水试验资料,在地下水库蓄水后,萨拉乌苏组砂层含水层厚度可达5~25m,在开采井群处按20m计,渗透系数为7.757m/d,开采井半径为0.127m,由此可计算出在井壁5m降深条件下,单井出水量为619.11m³/d,影响半径为124.56m。根据地下水库分布范围内萨拉乌苏组砂层含水层的分布特征,地下水库内(下转第65页)

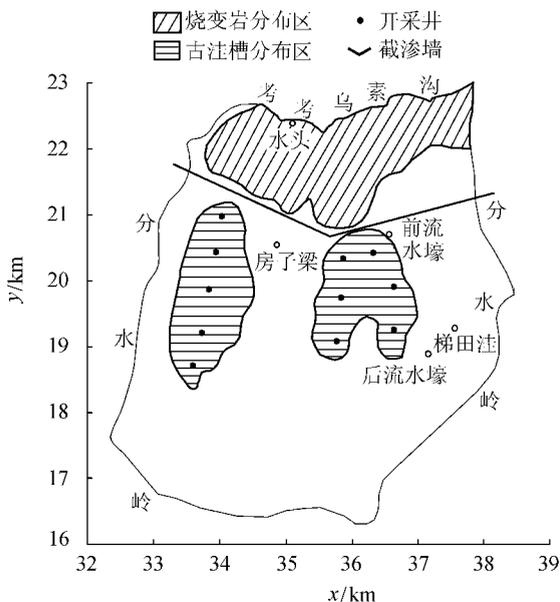


图4 截渗墙及开采井布置方案

式中: a 为水质参数 城市生活污水取 0.7 ; b 为阶梯式跌水曝气参数, 取 1.3 ; H_1 为阶梯式跌水装置垂直落差高度, m ; H_2 为阶梯式跌水装置落水高差, m ; H_3 为水体深度, m ; m 为流量系数 ; ϵ 为侧收缩系数 ; t 为水温, $^{\circ}C$; v_0 为跌水出口水流速度, m/s ; γ 为液流比重(水取 9.8) ; P_{atm} 为自由表面大气压 ; k 为氧亏比修正系数(经试验数据计算及验证:其在清水为 0.80~0.90, 在一般污染水体为 0.65~0.75, 在严重污染水体为 0.50~0.60)。

根据式(11)和相关数据, 计算得 IODSM 工艺的阶梯式跌水曝气装置在不同水质中氧亏比 r' 为 3.8~5.8 mg/L, 与测定数据吻合。

5 结论

试验结果表明:利用南方丘陵地势特点所开发的阶梯式跌水与微孔曝气一体化氧化沟工艺, 既能有效地处理城市生活污水, 又能节约污水处理设施基建费用, 且同比节能约 15%, 达到了节能降耗的效果。其节能机理分析表明:导出阶梯式跌水曝气装置复氧过程中的氧亏比及相关参数可作为该工艺工业试验的相应依据。

(上接第 61 页)

适合布井的范围见图 4。为减小井间干扰, 井间距按 300m 考虑, 这样可布设开采井 11 眼, 其中 2 眼为备用井, 9 眼正常开采, 可获得开采量 5400 m³/d。

根据流水壕泉域地下水库范围内大气降水入渗补给量计算成果, 区内多年平均补给量为 8164.38 m³/d, $P=75\%$ 的补给量为 6790.21 m³/d, 远大于允许开采量 5400 m³/d, 考虑到地下水库的调节作用, 说明是有补给保证的。人工地下水库在 5400 m³/d 的开采量作用下, 抽水井井壁水位降深为 5m, 仅占取水点处含水层厚度的 1/4。考虑到地下水库无补给的极端情况下, 需消耗地下水库中的库容(地下水储存量)来维持地下水库的正常供水, 根据储存量计算结果, 地下水库内萨拉乌苏组砂层的单位储存量为 150 万 m³, 即地下水位平均下降 1m, 可维持地下水库正常供水 277 d, 说明开采量为 5400 m³/d 时, 利用地下水库库容可以进行以丰补歉、调节开采。因而, 流水壕泉域人工地下水库条件下 5400 m³/d 的允许开采量是有保证的, 可以很好地解决该地区的水资源短缺问题。

4 结论

a. 由于独特的水文地质特点, 流水壕泉域有着

参考文献:

- [1] 董哲仁. 保护与恢复河流形态的多样性[J]. 中国水利, 2003(6): 34-36.
- [2] 姜湘山. 跌水曝气-改进型填料(滤料)排水系统处理屠宰废水的设计[J]. 环境工程, 2002, 23(2): 85-87.
- [3] 汪永红. 采用微孔曝气器的氧化沟实例分析[J]. 中国给水排水, 2003, 35(3): 23-25.
- [4] 邓荣森. 四川省城市污水处理示范工程: 一体化氧化沟[J]. 给水排水, 2001, 27(4): 1-3.
- [5] 张自杰. 废水处理理论与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003: 108-115.
- [6] 刘祖文. 微孔曝气器一体化氧化沟处理生活污水试验研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(9): 791-800.
- [7] MAYABHATE S P, GUPTA S K, JOSHI S G. Biological treatment of pharmaceutical wastewater[J]. Water, Air and Soil Pollution, 1988, 38(1-2): 189-197.
- [8] ARGAMAN Y. Single sludge nitrogen removal in an oxidation ditch[J]. Water Research, 1984, 18(12): 1493-1500.
- [9] 廖文根. 水工泄水建筑物泄流及河流的大气复氧[D]. 北京: 清华大学, 1991.
- [10] NAKASONE H. Study of aeration at weirs and caseake[J]. J of Environ Eng, 1997, 113(1): 83-85.

(收稿日期 2007-09-06 编辑 徐娟)

构建地下水库有利条件, 采用帷幕灌浆建立地下截渗墙, 可在流水壕泉域内形成人工地下水库。

b. 经分析计算, 地下水库修建后, 在古洼槽分布区布设开采井群抽取地下水, 实现地下水库集中供水, 可获得开采量 5400 m³/d。根据大气降水入渗补给量计算结果, 5400 m³/d 的允许开采量是有保证的, 可以很好地解决该地区煤矿不合理开采导致的水资源短缺问题。

参考文献:

- [1] 赵天石. 关于地下水库几个问题的探讨[J]. 水文地质工程地质, 2003(5): 65-67.
- [2] 袁传芳, 张运区, 遼志强. 从明水泉的成因谈采煤与保泉的关系[J]. 水资源保护, 2003, 19(4): 10-12.
- [3] 畅俊斌, 王玮, 马思锦, 等. 陕西省神木县考考乌素河流域地下水资源勘查报告[R]. 西安: 地质矿产部地质工程勘察院, 2005.
- [4] 付晓刚, 万伟锋, 毛正君. 地下水库及其在水资源开发和保护中的应用[J]. 地下水, 2007, 29(1): 65-67.
- [5] GB 50027—2001, 供水水文地质勘察规范[S].

(收稿日期 2007-03-30 编辑 高渭文)