大柳塔煤矿地下水库建设与水资源利用技术

陈苏社[1,2],黄庆享[1],薛 刚[2],李瑞群[2]
(1. 西安科技大学 能源学院,陕西 西安 710054; 2. 神华神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿,陕西 神木 719300)

摘 要: 为解决神东矿区因高强度大规模开采引起的生态环境脆弱与水资源匮乏的问题,基于对煤矿水灾的防治和井下水资源的保护与合理利用,提出了利用煤矿井下采空区对水资源进行“转移、净化、储存和利用”的地下水库水循环利用关键技术。大柳塔煤矿利用此技术建成了我国第一个具有立体空间网络的庞大的地下水库水资源保护与循环利用工程系统,实现了水资源的高效循环利用,既解决了矿井水灾问题,又创造性地保护了井下水资源,为我国浅埋煤层绿色开采开辟了新途径。

关键词: 水资源利用; 地下水库; 水灾防治; 矿井水; 采空区
中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)08-0021-08

Technology of underground reservoir construction and water resource utilization in Daliuta Coal Mine

Chen Sushe[1,2], Huang Qingxiang[1], Xue Gang[2], Li Ruiqun[2]
(1. *Energy Institute, Xi' an University of Science and Technology, Xi' an* 710054, *China*;
2. *Daliuta Coal Mine, Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu* 719300, *China*)

Abstract: In order to solve the problems of fragile ecological environment and water resource shortage caused by high strength and large-scale mining in Shendong Mining Area, based on the mine water disaster prevention and protection and utilization, the key technologies of underground reservoir, which used the goaf as the transfer, purification, storage and utilization of water resources were put forward to protect water resources and recycling use the underground water. By using above technologies, Daliuta Coal Mine had built the first huge underground reservoir water resource protection and recycling use engineering system with three-dimensional space network in China, which realized the efficient recycling of water resources. It could not only solve the problem of mine flood, but also effectively protect the mine water resources, which could provide a new approach to green mining in shallow depth coal seam in our country.

Key words: water resources utilization; underground reservoir; mine water disaster prevention and control; mine water; goaf

0 引 言

神东矿区位于毛乌素沙漠边缘地带,属于干旱缺水地区,自然生态条件非常脆弱,水资源严重缺乏。作为中国最大的煤炭基地,神东煤炭集团生产能力已从 2000 年的 1 714 万 t 增长到 2012 年的 2 亿多 t,大规模、高强度的煤炭开采已对矿区的生态环境和水资源系统造成一定影响[1-3]。矿区主要水源考考赖沟、哈拉沟等均出现水位降低的趋势,影响矿区的正常生产、生活用水。随着神东矿区生产规模的不断扩大,生产生活需水量也在不断增加,但是现有的地面水和井下水却在不断减少,神东矿区用水紧张的矛盾越来越突出,水资源短缺将成为制约未来神东矿区和谐发展、可持续发展的关键问题[4-5]。现有的保水采煤技术,如限制采高、留设煤柱及充填开采等因为效率低、成本高、对环境影响大等问题,对干旱缺水的浅埋煤层大采高且顶板冒落只有“两带”的神东矿区不宜适用[6-7],因此寻求合理而可靠的保水新技术,既能解决矿井的水灾安全问题,又能对矿井水资源形成有效的保护以及合理

收稿日期: 2016-05-10; **责任编辑:** 代艳玲 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2016.08.004
作者简介: 陈苏社(1966—),男,陕西西安人,教授级高级工程师,博士研究生,现任神华神东煤炭集团有限责任公司大柳塔煤矿总工程师。Tel: 0912-8237003, E-mail: chensushe@sina.com
引用格式: 陈苏社,黄庆享,薛 刚,等.大柳塔煤矿地下水库建设与水资源利用技术[J].煤炭科学技术,2016,44(8):21-28.
Chen Sushe, Huang Qingxiang, Xue Gang, *et al*. Technology of underground reservoir construction and water resource utilization in Daliuta Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 21-28.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

的循环利用，是矿区安全绿色高效开采亟待解决的重大技术难题。大柳塔煤矿是我国第一个建设地下水库的矿井，通过开发煤矿地下水库技术，既能解决矿井水灾问题，又能满足矿区生产及生活用水，还能保护矿区生态环境，为西部缺水矿区煤炭资源开采的水资源保护和利用提供了新的途径，为我国煤矿地下水库技术的推广应用作出了示范。

1　大柳塔煤矿水文地质条件

大柳塔井田位于乌兰木伦河中游东岸，地形北高南低，东侧和北侧支沟发育，北侧基岩裸露，相对高差最大 216 m。由松散层沙层泉或烧变岩泉排泄形成地表水系，流入乌兰木伦河和勃牛川。地表水系以柠条梁为分水岭，东及东北部属勃牛川流域，西部属乌兰木伦河流域。两流域内又有多个次一级分水岭，使两水系的支沟形成了各自的水流域单元。井田内主要含水层有位于乌兰木伦河及勃牛川河流域的第四系河谷冲积层潜水；还有主要分布于区内地势较低区段的第四系上更新统萨拉乌苏组潜水；主要分布在井田中部位于基岩之上、离石黄土层之下的第四系下更新统三门组砂砾层含水层，该层局部与第四系松散砂层直接接触，厚度 0～27.4 m，平均厚 11.77 m，含水层厚 0.10～27.48 m，平均 8.24 m；还有主要出露于哈拉沟、母河沟及王渠沟一带的中生界碎屑岩类裂隙含水层。

井田内隔水层主要有第四系中更新统离石黄土隔水层和中下侏罗统延安组隔水层。矿井主要充水水源有雨季对矿井充水影响较大的地表水；本区主要含水层的松散沙层水；对生产影响较小的基岩裂隙水和富水性较强的烧变岩水；以及对下部煤层的开采造成很大威胁的老采空区水。随着上部煤层的开采，采空区不断接受地表水、松散含水层水及基岩含水层水的补给，形成矿井主要的充水水源[8]。目前井田内 1^{-2}煤层和 2^{-2}煤层开采范围内，上覆基岩厚度大部分区域小于煤层开采后形成的导水裂隙带发育高度，局部甚至小于冒落带高度，故此“两带”是导通各种水源进入井下工作面的主要通道。1^{-2}、2^{-2}煤层充水强度较大区主要在上覆基岩冲沟部位及邻沟地带的基岩薄弱地段。2015 年矿井正常涌水量为 486 m^3/h，矿井水文地质类型为中等。

2　大柳塔煤矿水资源保护与循环利用技术

大柳塔煤矿作为神华神东的特大型骨干矿井，建矿 20 多年来，一直高度重视煤炭开采过程中对矿井水资源的保护工作，经过不断的摸索与实践[9-11]，首次在煤矿井下大胆建设了地下水库，创造性地设计施工了安全可靠的“T”字型地下水库人工坝体，通过喷混凝土封顶等措施基本解决了人工坝体的防渗漏问题，并充分利用水往低处流的原理将井下污水全部回灌到采空区自然净化，储存利用，基本实现了污水零升井，同时，首次成功施工了 155 m 的大垂深垂直钻孔，并利用连通器原理，使清水尽可能地实现自然压差供水，实现了水资源的高效循环利用，即具有流动过程中实现污水净化的功能，流到低凹处实现储水成库的功能，清水流出利用实现自压输水的功能，最终实现变水害为水利的功能[12]。

2.1　地下水库建设概况

大柳塔煤矿第一个采空区储水设施于 1998 年建成，在采空区储水技术的基础上，通过持续技术创新，2010 年在 2 个水平联合建成了充分利用采空区空间储水、采空区矸石对水体的过滤净化、自然压差输水的“循环型、环保型、节能型、效益型”的煤矿分布式地下水库，具有井下供水、井下排水、矿井水处理、水灾防治、环境保护和节能减排 6 大功能。

大柳塔矿一水平 2^{-2}煤层和二水平 5^{-2}煤层，层间距为 155 m，目前 2^{-2}煤层已经采完。利用 2^{-2}煤层已采的 3 个盘区采空区建成了 3 座地下水库，5^{-2}煤层建成了 2 个水循环利用硐室，4 号地下水库在 5^{-2}煤层正在建设，2 层煤通过多个钻孔连通，清水通过钻孔管道自流供下层煤生产使用，2 层煤的污水通过 6 个注水点全部回灌到 2^{-2}煤层采空区，循环利用。大柳塔煤矿地下水库工程系统主要由一水平 2^{-2}煤层 3 座地下水库、二水平 5^{-2}煤层 2 个水循环利用硐室、6 个污水回灌点和相关的钻孔及水循环利用水泵管道设施等组成，实现了层间距为 155 m 的 2 个水平的互联互通，建成了污水注入上层煤采空区、清水自流下层煤供生产利用的循环利用系统，形成了 1 个完整的、庞大的、具有立体空间网络的煤矿地下水库工程系统。

目前地下水库污水日回灌量约 9 790 m^3，经地下水库矸石沉淀过滤吸附净化后供井下生产和地面生产、生活使用，井下清水日均复用水量约 7 770 m^3，地面日均使用水量约 4 500 m^3，其余水储存于地下水库备用，地下水库现有总储水量约 710.5 万 m^3（表 1），实现了“地面清水零入井，地下污水零升井”的双零目标，有效保护了水资源。大柳塔煤矿

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

地下水库分布及其水资源循环工艺流程如图 1 和图　　2 所示。

表 1　大柳塔矿地下水库储用水情况

Table 1　Water storage and usage information of underground reservoir in Daliuta Coal Mine

地下水库编号	储水区域	水库最大储水能力/万 m^3	当前储水量/万 m^3	平均储水高度/m	井下复用水量/($m^3 \cdot h^{-1}$)
1	22400—22405 工作面采空区	617.3(h=10 m)	336.2	7.9	330
2	22601—22607 工作面采空区	339.2(h=16 m)	192.5	5.8	
3	22608—22616 工作面采空区	633.5(h=14 m)	181.8	8.3	
4	52302—52307 工作面	—	—	—	

注: 储水系数按 0.2 计算; 4 号地下水库在建; h 为最大出水高度, m。

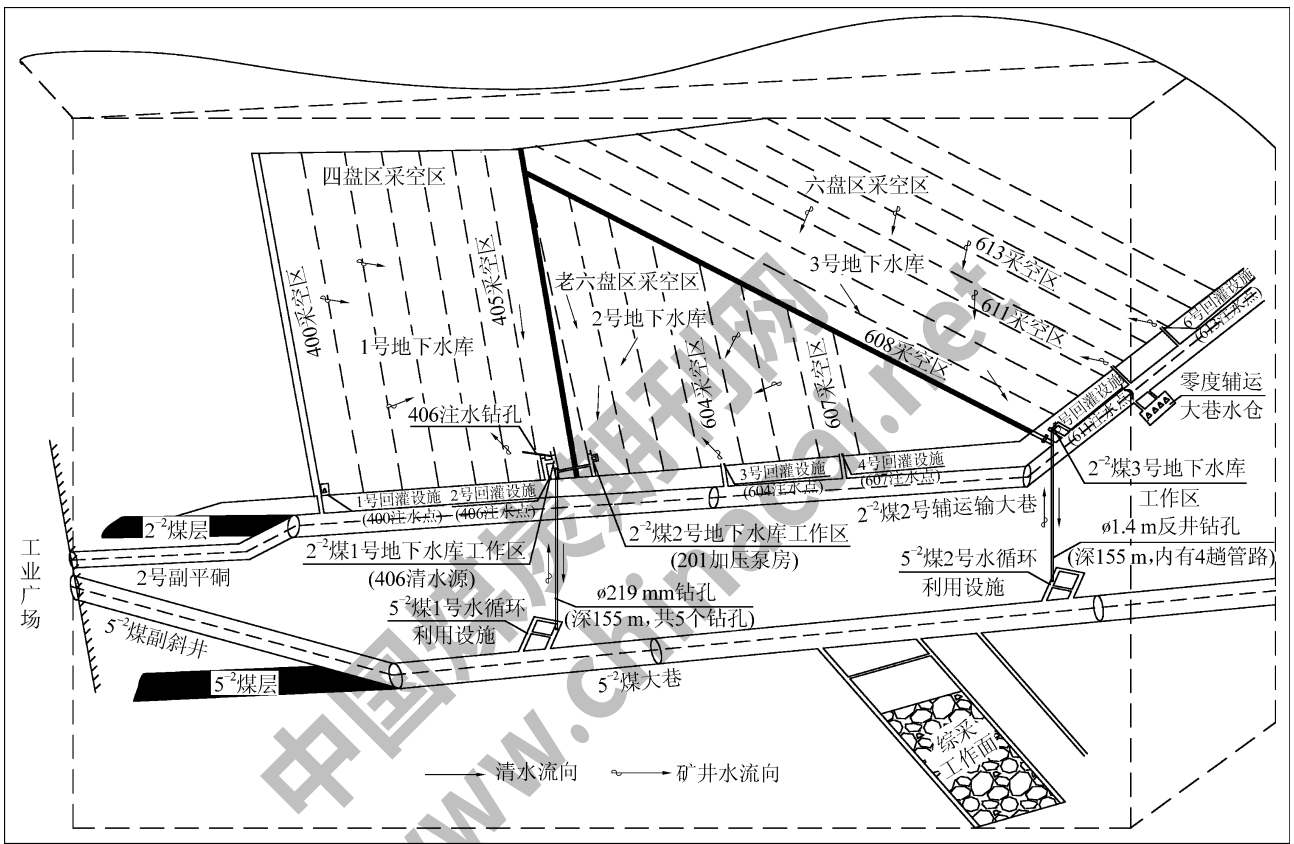


图 1　大柳塔煤矿分布式地下水库工程立体示意

Fig. 1　Three-dimensional schematic diagram of distributed underground reservoir engineering in Daliuta Coal Mine

2.2　地下水库储水容量分布

大柳塔矿 2^{-2}煤层 1 号、2 号、3 号 3 个地下水库分别位于 2^{-2}煤层四盘区、老六盘区、新六盘区，距地表约 90 m，总储水量约 710.5 万 m^3，其中总动态储水量约为 407.8 万 m^3，总静态储水量约为 302.7 万 m^3(动态储水量为水库中可以调配使用的水量，静态储水量为处于水库底板低洼处无法调用的水量)。根据各水库的底板等高线分布情况，并结合水库各观测点的水位记录，对井下 3 个地下水库的储水量分别进行了计算。各水库的具体储水情况如下所述:

1 号地下水库于 2010 年建成投用，包含 1 个主要水库和 2 个辅助水库，位于 2^{-2}煤层四盘区采空区，距地表约 93.6 m，距平硐井口约 3.6 km，与 2^{-2}煤层 2 号地下水库相邻。采空区总面积为 3.81 km^2，主要水库平均水深 7.9 m，总储水量约为 336.2 万 m^3(其中动态水量 165 万 m^3、静态水量 171.2 万 m^3)，如图 3 所示。

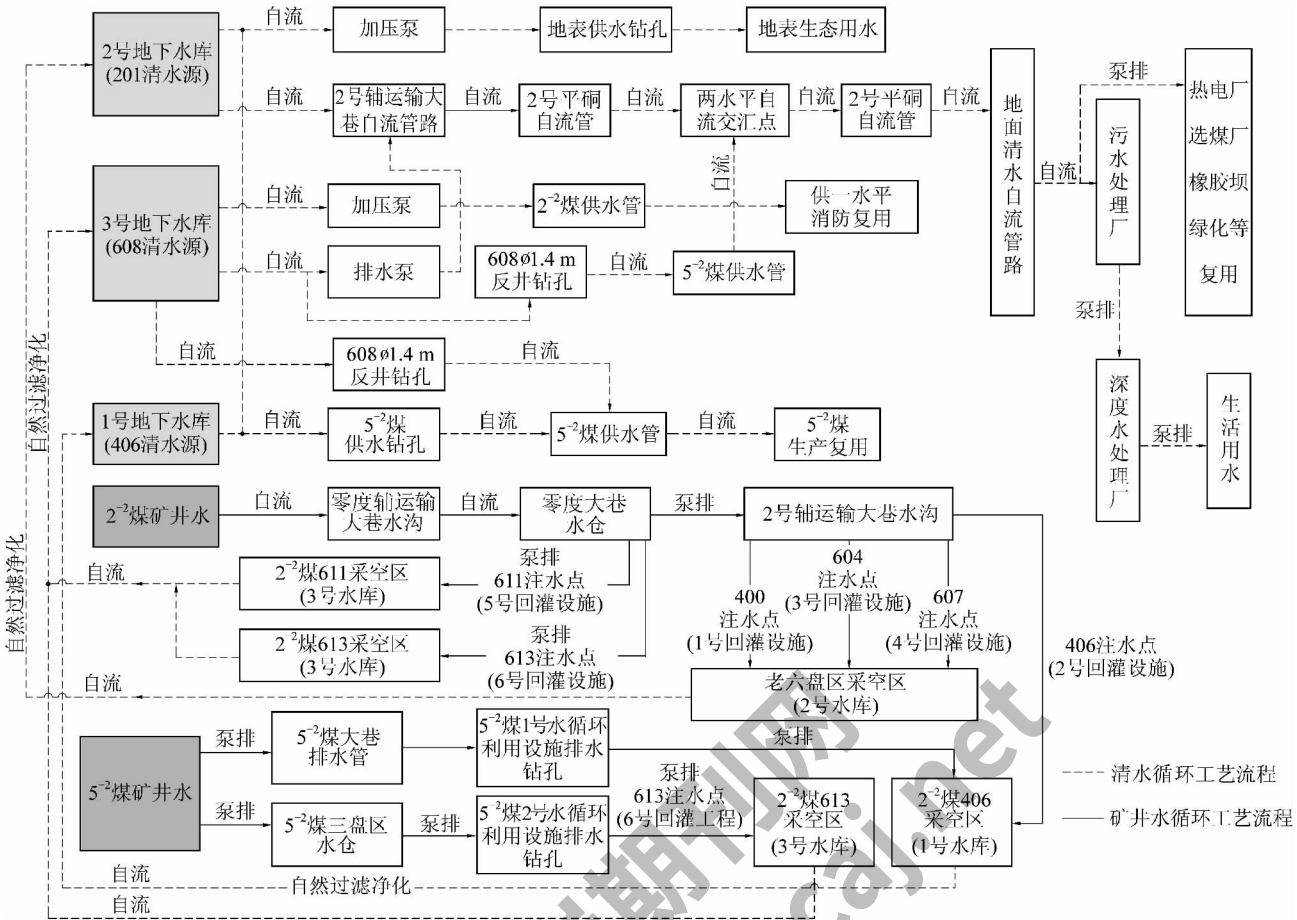


图 2　大柳塔矿地下水库水循环工艺流程

Fig. 2　Flow chart of water cycle technology of underground reservoir in Daliuta Coal Mine



图 3　2^{-2}煤层 1 号和 2 号地下水库示意

Fig. 3　Schematic diagram of No. 1 and No. 2 underground reservoir in No.2^{-2}coal seam

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

2 号地下水库是在 1998 年的采空区储水设施基础上经过技术提升和工程完善建成,包含 1 个主要水库和 1 个辅助水库,位于 2^{-2}煤层老六盘区采空区,距地表约 86.8 m,距平硐井口约 3.8 km。采空区总面积 1.82 km^2,主要水库平均水深 5.8 m,总储水量约为 192.5 万 m^3(其中动态水量 89 万 m^3、静态水量 103.5 万 m^3)。

3 号地下水库于 2010 年建成投用,包含 1 个主要水库和 7 个辅助水库,位于 2^{-2}煤层新六盘区采空区,距地表约 84.7 m,距平硐井口约 7.0 km。采空区总面积 2.23 km^2,主要水库平均水深 8.3 m,总储水量约为 181.79 万 m^3(其中动态水量 153.8 万 m^3、静态水量 27.99 万 m^3),如图 4 所示。

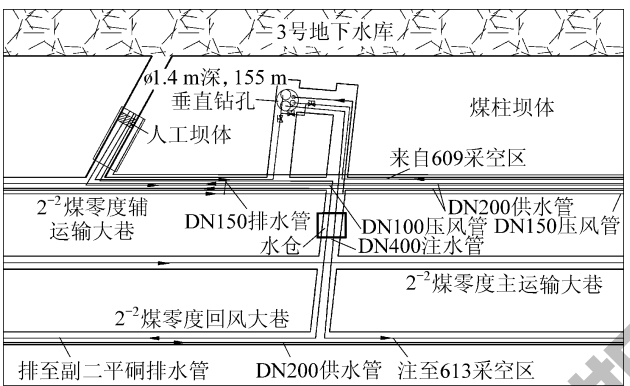


图 4　2^{-2}煤层 3 号地下水库示意

Fig. 4　Schematic diagram of No. 3 underground reservoir in No. 2^{-2} coal seam

2.3　地下水库坝体建设

地下水库是由煤柱坝体和人工坝体围成的一个封闭的采空区空间,在塌陷后的破碎岩层缝隙储存水资源,储水系数一般为 0.15~0.25,煤柱坝体均为综采工作面回采后余留的大巷保护煤柱,宽度一般最小在 30 m 以上(30~100 m)。由于大柳塔矿煤层硬度比较大,2^{-2}煤层抗压强度一般为 14.5 MPa,5^{-2}煤层抗压强度一般为 19.5 MPa,故煤柱坝体抗压强度一般不存在问题,能满足建设水库的要求。人工坝体是人为地对各综采工作面巷道口采用混凝土等材料进行封闭而形成的坝体,其安全可靠性对水库建设和防灾起到非常关键的作用[13-14]。

大柳塔煤矿在不同巷道断面处分别进行了“T”字型人工坝体的施工。施工后的坝体经相关水利专家论证,其结构安全可靠、稳定,当安全稳定系数为 3.0 时,最大承载水位均为 60 m 以上。大柳塔煤矿地下水库“T”字型人工坝体施工照片,如图 5 所示。

2.4　地下水库污水回灌系统

大柳塔矿 2^{-2}煤层和 5^{-2}煤层的污水通过泵排全部回灌到 2^{-2}煤层采空区地势较高的地方,通过渗流自然净化后循环利用,目前 2^{-2}煤层污水回灌点共有 6 处,分别为 1 号、2 号、3 号、4 号、5 号和 6 号。其中 2 号和 6 号通过 155 m 深的垂直钻孔可以回灌 5^{-2}煤层污水,2 号回灌点施工仰角 15°、孔径 65 mm、长度为 120 m 的注水孔 8 个,在两层煤之间施工 ø219 mm 的垂直钻孔 3 个,其中 1 个钻孔用于 5^{-2}煤层污水回灌,在 5^{-2}煤层对应建立了水利用硐室,硐室内设有水仓和型号为 MDA280-43×4 的排水泵,用于形成回灌系统,该处每天可向 1 号地下水库回灌 5^{-2}煤层污水约 1 840 m^3,如图 6、图 7 和图 8 所示。



图 5　大柳塔煤矿地下水库人工坝体施工成型照片

Fig. 5　Photo of artificial dam construction of the underground reservoir in Daliuta Coal Mine



图 6　5^{-2}煤层 1 号水循环利用设施作业区

Fig. 6　No. 1 water recycling facilities operating area in No. 5^{-2} coal seam



图 7　5^{-2}煤层向 2^{-2}煤层 1 号水库注污水垂直钻孔

Fig. 7　Sewage injection vertical drilling from No. 5^{-2} coal seam to No. 1 reservoir of No. 2^{-2} coal seam

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net



图 8　1 号地下水库回灌孔

Fig. 8　No. 1 underground reservoir recharge hole

6 号回灌点位于 22613 运输巷 2 号联络巷，该处施工有 4 个 ø219 mm 的水平钻孔，并在 608 区域施工有 ø1.4 m 的反井钻孔 1 个，孔内设有 4 趟管路，其中一趟 ø400 mm 的管路用于 5^{-2}煤层污水回灌，5^{-2}煤层三盘区的盘区水仓利用水泵经过 ø1.4 m 反井钻孔、2^{-2}煤层 0°总回风巷和 613 运输巷 6 号注水点，将污水直接回灌到 3 号地下水库，该处每天可以回灌 5^{-2}煤层污水约 5 600 m^3，如图 9 所示。其余 1 号、3 号、4 号和 5 号回灌点主要回灌 2^{-2}煤层积水。



(a) 5^{-2}煤层三盘区水仓泵房　(b) 2^{-2}煤层608反井钻孔　(c) 2^{-2}煤层613回灌孔

图 9　6 号污水回灌点管路及其附属设施布置照片

Fig. 9　Photo of No. 6 sewage recirculation point pipeline and its affiliated facilities

2.5　地下水库清水利用系统

经采空区自然净化后的清水主要供井下生产和地面生产、生态和生活利用。井下生产用水主要用于设备冷却、喷雾降尘和消防系统等方面；地面用水主要用于选煤厂、橡胶坝补水、地面绿化、露天开采、地表生态示范园、当地村民灌溉和小区生活管网补水等方面。井下生产用水每天约 7 770 m^3，地面用水每天约 4 500 m^3。清水供给方式主要有自流和泵排 2 种方式，原则上能自流的绝不泵排，以节能降耗，如图 10 所示。

1) 矿井生产供水主要采用自流供水方式。大柳塔矿地下水库所在的一水平 2^{-2}煤层与其下方的二水平 5^{-2}煤层间距约 155 m，在 1 号和 3 号地下水库附近施工了用于清水自流的垂直钻孔(孔深 155 m)，目前矿井一水平已采完，生产主要集中在 5^{-2}煤层。5^{-2}煤层生产用水采取自流供水方式，清水自流到 5^{-2}煤层产生的自然压差达到 1.6～1.7 MPa，不需要再用加压泵加压就能完全满足喷雾降尘和掘进工作面的水压要求，每天清水供应量约 7 770 m^3，可实现自然压差输水功能。另外，2^{-2}煤层地下水库库底比工业广场平硐井口底板高程高 50～100 m，5^{-2}煤层比平硐井口低 100 m 左右，应用连通器的原理，地下水库清水可以通过铺设在 2^{-2}煤层和 5^{-2}煤层的清水自流管道自流到地面供利用。

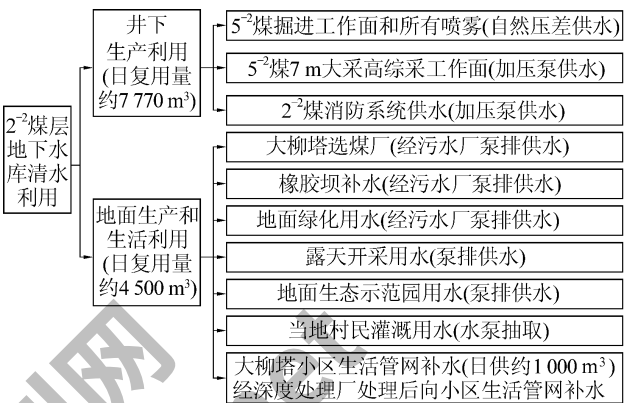


图 10　地下清水利用示意

Fig. 10　Sketch map of underground water utilization

2) 地面生产、生态、生活用水主要采取泵排供水方式。清水地面利用主要供选煤厂、橡胶坝、绿化、露天开采、生态示范园和小区生活管网补水等使用。其中露天开采和生态示范园用清水方案是在井下 2^{-2}煤层用加压泵通过垂直钻孔直接供到地面利用；小区生活管网补水方案是井下清水通过管路自流到地面经过水深度处理厂处理后采用泵排进行生活管网补水，地面选煤厂等其他用水均为井下清水通过管路自流地面后直接采用泵排供水。

矿井污水回灌、净化、储存和利用可以形象地用一座 3 层楼房作个比喻：将大柳塔煤矿从地表到井下想象成一座 3 层楼房，楼房的顶层就是地表，则 2^{-2}煤层就位于大楼的二层，平硐井口位于大楼的一层，5^{-2}煤层位于大楼的地下室。在大楼二层的部分房间修建水库收集水源，又将地下室的污水注入二层的其他房间进行净化然后流回到水库，水库清水一部分回流地下一层，一部分自流出地表一层，一部分由水泵排到顶层，用于屋顶花园的灌溉。

3　地下水库水循环利用技术应用效果

1) 地下水库的优越性。地面储水外露地表，占地面积大，蒸发量大，水质易受污染，建设运营成本

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

高,并且污水在地面处理排放导致矿井水利用率大幅降低[15]。井下储水深藏地下,不占地表面积,蒸发量小,水质可自然净化,建设运营成本低,井下采空区是"天然"的大容量储水空间和净化设施,矿井水利用率大幅提高,解放了现有保水开采方法无法开采的大量煤炭资源,与限高开采相比,煤炭资源回收率提高了约 40%。地下水库技术成功地解决了矿井水害问题,让矿井水变水害为水利,变废为宝,自然净化,循环利用[16-19]。

2) 地下水库的功能。大柳塔矿地下水库成功实现了"地面清水零入井、井下污水零升井"的双零目标,节约了地面生活水,保护了地下矿井水; 同时还成功实现了 6 大功能,即井下供水、井下排水、污水处理、水灾防治、环境保护和节能减排。每年节省的购水及污水处理和外排等费用约 6 000 万元。在大柳塔矿 5^{-2} 煤层形成了一个"无需用泵、无需用电、无需用材、无需用人"的"四无"型自然压差供水厂。在大柳塔矿 2^{-2} 煤层形成了一个"无人、无设备、无电耗、无材耗"的"四无"型天然污水处理厂。地下水库很好地兼顾了防灭火功能: 一是一水平 2^{-2} 煤层采空区储水以后,采空区不容易自然发火,提高了矿井的安全性; 二是二水平 5^{-2} 煤层消防管路系统实现了自然压差供水系统,不用加压泵,不用电。一旦 5^{-2} 煤层发生火灾停电后消防管路系统不会停水,有利于灭火工作,提高了矿井的火灾抗灾能力。

3) 地下水库技术在神东矿区推广应用情况。煤矿分布式地下水库技术已在神东煤炭集团全面推广应用,目前已在 13 个矿井建成 32 座地下水库,总储水量 2 499.5 万 m^3,提供了 95%的矿区生产、生态和生活用水,大幅减少了外购水和排水的费用,每年节省费用约 9.3 亿元,实现了矿区水资源良性立体循环。神东煤炭集团还利用地下水库蓄积的水资源,向周边的电厂、工业区、生活区和生态修复区等地供水,成了当地重要的供水基地。

大柳塔煤矿经过多年的实践,形成了一套高效建设与安全运行地下水库的关键技术,解决了矿井的供排水、污水处理、水灾防治、环境保护和节能减排问题,解决了神东矿区的生产、生态和生活缺水问题,使矿井水资源得到安全高效利用,保护了生态环境,为我国煤矿开采保护水资源开辟了一条斩新的道路,特别是对我国西部煤炭的安全、高效、绿色开发具有重大意义。

参考文献(References) :

[1] 董　颖,吴喜军.陕北地区供用水结构变化及需水量预测[J].水资源与水工程学报,2013,24(3):130-134.
Dong Ying,Wu Xijun.Water supply structure change and water demand forecast in northern Shaanxi[J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2013,24(3):130-134.

[2] 贾玉红,宋松柏.陕北地区年降水量频率分布参数估算研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(5):48-50.
Jia Yuhong,Song Songbai.Parmeters estimation of annual precipitation frequency distribution in north region of Shaanxi province[J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2012,23(5):48-50.

[3] 王国兴,戚建春,杨景辉.浅析陕北水资源保护与经济可持续发展[J].陕西煤炭,2011(4):4-6.
Wang Guoxing,Qi Jianchun. Yang Jinghui. Analysis of water resources and economic sustainable development in northern Shaanxi[J].Shaanxi Coal,2011(4):4-6.

[4] 刘炳南.论陕北煤炭基地建设中的水资源问题[J].陕西煤炭,2005(3):3-6.
Liu Bingnan.Discussion on the water resources problem in the construction of the coal base in northern shaanxi[J].Shaanxi Coal,2005(3):3-6.

[5] 李　琦,付格娟.陕北水资源利用与保护[J].环境保护,2014(10):25-27.
Li Qi,Fu Gejuan. Utilization and protection of water resources in Northern Shaanxi[J].Environmental Protection,2014(10):25-27.

[6] 钱鸣高,石平五.矿山压力与岩层控制[M].徐州: 中国矿业大学出版社,2003.

[7] 黄庆享,刘藤飞.浅埋煤层开采隔水层位移规律相似模拟研究[J].煤田地质与勘探,2006,34(5):34-37.
Huang Qingxiang,Liu Tengfei. Simulating test on the subsidence law of subsurface water resisting layer upon shallow coalbed mining[J].Coal Geology & Exploration,2006,34(5):34-37.

[8] 王长申,武　强,马国平,等.复杂条件下矿井水文地质类型划分方法[J].煤炭学报,2016,41(3):696-702.
Wang Changshen,Wu Qiang,Ma Guoping,*et al*.Arising issues and approaches to classify the hydrogeological types and complexity ranks of a complicated coal mine in China[J].Journal of China Coal Society,2016,41(3):696-702.

[9] 陈　雄,刘俊杰,吴　寅,等.矿井水资源化与生态环境安全探讨[J].安全与环境学报,2004,4(S):65-68.
Chen Xiong,Liu Junjie,Wu Yin,*et al*.Discussion on mine water resources and ecological environment security[J].Journal of Safety and Environment,2004,4(S):65-68.

[10] 顾则仁.矿井水资源的开发利用[J].煤炭科学技术,1999,27(12):11-14.
Gu Zeren.Exploitation and utilization of mine water resources[J].Coal Science and Technology,1999,27(12):11-14.

[11] 谷勇霞,周忠宁,李意民.采空区处理矿井水的资源化利用[J].煤炭科学技术,2007,35(4):90-92.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

Gt Yongxi,Zhou Zhongning,Li Yimin.Research on resource utilization of mine water in goaf [J].Coal Science and Technology,2007,35(4):90-92.

[12] 陈苏社,鞠金峰.大柳塔煤矿矿井水资源化利用技术 [J].煤炭科学技术,2011,39(2):125-128.
Chen Sushe,Ju Jinfeng.Utilization technology of mine water resources in Daliuta Mine [J].Coal Science and Technology,2011,39(2):125-128.

[13] 龙卿吉,张福斌.挡水墙设计及施工应注意的几个问题 [J].煤矿安全,2001,32(9):32-34.
Long Qingji,Zhang Fubin.Some problems to be noticed in design and construction of water retaining wall [J].Safety in Coal Mines,2001,32(9):32-34.

[14] 齐蓬勃.煤层中挡水墙施工工艺 [J].煤矿开采,2008,13(8):22-24.
Qi Pengbo.Construction technique of water-retaining wall in coal seam [J].Coal Mining Technology,2008,13(8):22-24.

[15] 袁　航,石　辉.矿井水资源利用的研究进展与展望 [J].水资源与水工程学报,2008,19(5):50-57.
Yuan Hang,Shi Hui.Research progress and prospect of coal mine water resource utilization [J].Journal of Water Resources and Water Engineering,2008,19(5):50-57.

[16] 何绪文,李福勤.煤矿矿井水处理新技术及发展趋势 [J].煤炭科学技术,2010,38(11):17-22.
He Xuwen,Li Fuqin.New technology and development tendency of mine water treatment [J].Coal Science and Technology,2010,38(11):17-22.

[17] 武　强.我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望 [J].煤炭学报,2014,39(5):795-805.
Wu Qiang.Progress,problems and prospects of prevention and control technology of mine water and reutilization in China [J].Journal of China Coal Society,2014,39(5):795-805.

[18] 范立民,马雄德,冀瑞君.西部生态脆弱矿区保水采煤研究与实践进展 [J].煤炭学报,2015,40(8):1711-1717.
Fan Limin,Ma Xiongde,Ji Ruijun.The progress of research and engineering practice of water-preserved coal mining in western eco-environment frangible area [J].Journal of China Coal Society,2015,40(8):1711-1717.

[19] 莫　樊,郁钟铭,吴桂义.煤矿矿井水资源化及综合利用 [J].煤炭工程,2009(6):20-23.
Mo Fan,Yu Zhongming,Wu Guiyi.Mine water resources and comprehensive utilization of coal mine [J].Coal Engineering,2009(6):20-23.

(上接第 181 页)

科学技术,2012,40(10):65-68.
Zhao Jin,Zhang Suian.Study on pressure drop transmission law of coal bed methane drainage reservoir stratum [J].Coal Science and Technology,2012,40(10):65-68.

[20] 樊　彬,秦　义,崔金榜,等.压降速度对煤层气井产量的影响分析 [J].中国煤层气,2010,7(6):20-23.
Fan Bin,Qin Yi,Cui Jinbang,*et al*.Analysis of the influence of pressure drop velocity on CBM well production [J].China Coalbed Methane,2010,7(6):20-23.

[21] 康永尚,邓　泽,刘洪林.我国煤层气井排采工作制度探讨 [J].天然气地球科学,2008,19(3):423-426.
Kang Yongshang,Deng Ze,Liu Honglin.Discussion about the CBM well draining technology [J].Natural Gas Geoscience,2008,19(3):423-426.

[22] 刘世奇,桑树勋,李梦溪,等.沁水盆地南部煤层气井网排采压降漏斗的控制因素 [J].中国矿业大学学报,2012,41(6):943-950.
Liu Shiqi,Sang Shuxun,Li Mengxi,*et al*.Control factor of coalbed methane well depressurization cone under drainage well network in southern Qinshui Basin [J].Journal of China University of Mining & Technology,2012,41(6):943-950.

[23] 王兴隆,赵益忠,吴　桐.沁南高煤阶煤层气井排采机理与生产特征 [J].煤田地质与勘探,2009,37(5):19-22.
Wang Xinglong,Zhao Yizhong,Wu Tong.Analysis on typical production mechanism and characteristics of coalbed methane wells for high rank coal in south Qinshui Basin [J].Coal Geology & Exploration,2009,37(5):19-22.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net