

鞠金峰,许家林,朱卫兵. 西部缺水矿区地下水库保水的库容研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(2): 381-387. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.6016
Ju Jinfeng, Xu Jialin, Zhu Weibing. Storage capacity of underground reservoir in the Chinese western water-short coalfield[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(2): 381-387. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.6016

西部缺水矿区地下水库保水的库容研究

鞠金峰^{1,2}, 许家林³, 朱卫兵³

(1. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008; 2. 矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室, 江苏 徐州 221008; 3. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要: 利用井下采空区进行水源蓄存和循环利用的地下水库技术是实现西部矿区保水采煤的有效措施, 研究确定采空区的合理储水容量对于地下水库技术的安全高效实施至关重要。综合采用理论分析、模拟实验与现场实测等手段, 就地下水库储水容量计算、以及极限库容与合理库容的确定等问题进行了研究, 结果表明: 地下水库的储水容量即为储水范围内覆岩垮落带破碎岩块间自由空隙量与裂隙带断裂岩层离层裂隙量的总和; 基于覆岩垮落带类抛物空间形态模型的构建, 得到了考虑煤层倾角条件下垮落带岩体空隙量的计算公式; 利用覆岩采动裂隙分布的“O”形圈理论模型, 获得了覆岩各层关键层底界面及相邻关键层间断裂岩层的离层空隙量确定方法; 由此根据储水水位在覆岩垮裂带内的不同位置, 建立了地下水库储水容量的数学表达式, 形成了地下水库极限库容与合理库容的确定方法, 指导了李家壕煤矿地下水库工程实践。

关键词: 保水采煤; 煤矿地下水库; 库容; 关键层; 采动岩体空隙

中图分类号: TD82; TV623 文献标志码: A 文章编号: 0253-9993(2017)02-0381-07

Storage capacity of underground reservoir in the Chinese western water-short coalfield

JU Jin-feng^{1,2}, XU Jia-lin³, ZHU Wei-bing³

(1. IoT Perception Mine Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. The National and Local Joint Engineering Laboratory of Internet Application Technology on Mine, Xuzhou 221008, China; 3. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The utilization of underground goaf for water preservation and the underground reservoir technology for water recycling are the effective measures to achieve a water-preserved mining in western mining area of China. It is crucial for the safe and efficient implement of underground reservoir technology to research and ascertain the rational water storage capacity in the goaf. The key issues, such as the calculation of water storage capacity, the maximum and rational capacity of underground reservoir, have been investigated by theoretical analysis, stimulation experiment and field observation. It shows that the water storage capacity of underground reservoir is the summation of void content of broken rock blocks in the overlying strata caving zone and the bed separation space of broken rock strata in the fissure zone within the water storage scope. The formula for calculating the void content of rock blocks in caving zone, which considers the coal seam dip angle, has been deduced based on the shape model resembling the parabolic body in the overlying strata caving zone. By utilizing the “O-shape circle” theory, the determination method of calculating the bed separation space under each key stratum and the broken rock strata between two key strata has been obtained. There-

收稿日期: 2016-07-31 修回日期: 2016-10-13 责任编辑: 许书阁

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2013CB227904); 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0501100); 国家自然科学基金资助项目(51604259)

作者简介: 鞠金峰(1986—), 男, 江苏如皋人, 副研究员, 博士。E-mail: jjfcumt@163.com

by according to the different locations of stored water level in overlying strata caving zone, the arithmetic expression for calculating water storage capacity in underground reservoir has been established, and the determination method of the maximum and rational capacity of underground reservoir has also been obtained. The capability of theoretical outcomes have been demonstrated by the practice of underground reservoir in Lijiahao coal mine.

Key words: water preserving mining; coal mine underground reservoir; storage capacity; key stratum(ks); spaces between mining-induced damage rock mass

煤炭开采过程中的水资源保护与利用一直是采矿业面临的一大难题,尤其是在西部干旱半干旱的生态脆弱矿区,这一问题更为突出^[1-2]。受西部矿区煤层埋藏浅、煤炭产量大等开采特征的影响,传统的通过降低覆岩导水裂隙发育高度来防止含水层破坏的保水途径常常难以适用,降低采高^[3]、充填^[4]或房柱式开采^[5]等保水采煤对策与西部矿区高产高效模式之间的矛盾往往难以调和。为此,西部代表性的神东矿区在大柳塔煤矿开展了利用井下采空区进行水资源蓄存、净化、以及循环利用的保水采煤实践^[6-7],合理解决了矿区生态保护与煤炭开采相协调的难题,取得了显著的经济效益和社会效益;目前该项技术已在神华集团下属矿区逐步推广使用^[8-10]。

煤矿地下水库主要利用采空区破断垮落岩体间的自由空隙进行储水,水库库容即是采空区储水范围内垮裂岩体的自由空隙总量。覆岩采动破坏后产生的自由空隙不仅与煤层开采尺寸有关,还与覆岩物理、力学禀赋特征及其破断垮落形态等因素密切相关^[11-12];所以,不同地质条件、不同开采参数下形成的采空区,其储水能力也有所不同。研究确定采空区储水容量的确定方法对于科学指导矿井地下水库的合理选址与规划、以及水库尺寸设计等都具有重要意义。因此,本文将基于岩层控制的关键层理论,结合采动覆岩破断垮落的形态特征及其自由空隙分布规律,开展煤矿地下水库储水容量计算方法的研究。

1 覆岩垮落带破碎岩体空隙量确定

覆岩垮落带破碎岩体的空隙量,即是垮落带空间范围除去进入垮落带岩体的体积而得到的体积

大小。因此,研究垮落带空间发育形态及其包络的空间大小是确定其中可供水资源蓄存的空隙总量的关键。

1.1 覆岩垮落带空间形态模型

一般而言,覆岩垮落带为第 1 层关键层(即基本顶)以下范围(特殊情况如特大采高时^[13-14],第 1 层关键层也会进入垮落带,相应垮落带范围为第 2 层关键层以下范围)。即,工作面开采范围内由边界煤岩体、关键层 1、以及煤层底板构成的空间范围可视为覆岩垮落带范围,如图 1 所示。因此,研究揭示覆岩关键层 1 破断回转后呈现的下沉曲线形态或其函数表达式,是计算垮落带空间大小的前提^[15]。

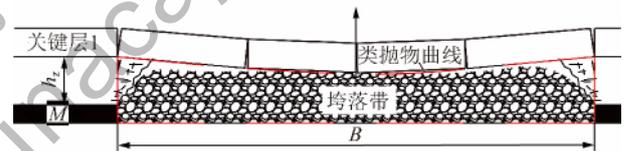
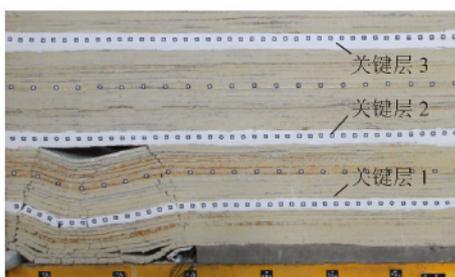
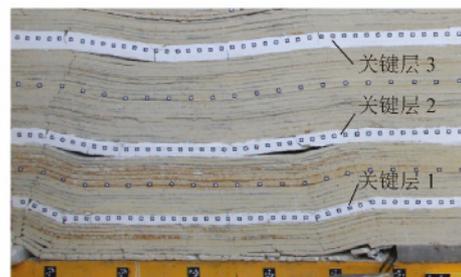


图 1 覆岩垮落带空间形态剖面

Fig. 1 Profile of mining-induced caved zone in the overburden. Internal rock displacement measurement^[16-17] and simulation experiment results show that, after the key layer 1 breaks and returns to a stable state, the subsidence profile of the caving zone presents a parabolic shape, and the coal seam mining state is different, corresponding to the parabolic shape of the curve is also different, as shown in Fig. 2. When the working face mining range is small and in a non-full mining state, the key layer 1 subsidence curve is parabolic; while when the mining range is increased, making the overburden in a full mining state, the key layer 1 subsidence curve presents a parabolic curve with a flat middle section, the width of the flat section corresponds to the compaction zone width of the caving zone (Fig. 2(c)). Considering the coal seam赋存多为近水平煤层(除新疆急倾斜煤层),而近水平煤层开采引起的覆岩垮裂形态无论在走向还



(a) 非充分采动



(b) 充分采动

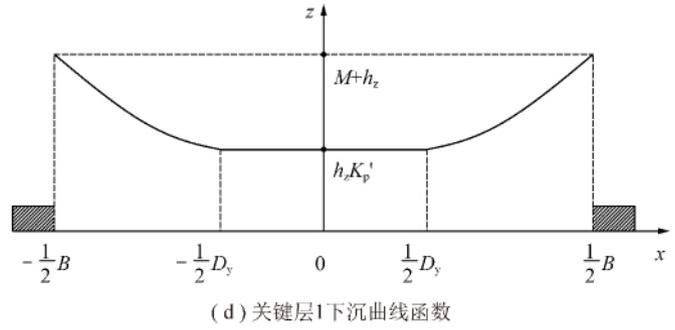
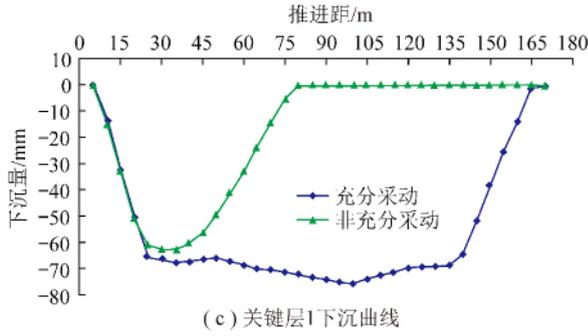


图 2 覆岩关键层 1 破断下沉形态的模拟实验结果及其曲线函数

Fig. 2 Simulation results of the shrinking form of the overlying broken key stratum 1 and its curve function

是倾向都呈对称性分布。因此,可对覆岩关键层 1 建立以工作面倾向或走向中心线为对称轴的一类抛物曲线函数模型,如图 2(d)所示。其中, M 为煤层采高; B 为工作面倾向宽度(或走向推进长度); h_z 为直接

顶厚度; D_y 为垮落带中部压实区宽度; K_p' 为压实区岩体残余碎胀系数。

根据图 2 所示的下沉曲线形态,可建立覆岩垮落带剖面对应顶界面类抛物曲线的函数表达式:

$$z = f(x) = \begin{cases} 4 \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} x^2 - 4D_y \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} x + \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} D_y^2 + h_z K_p', & \frac{1}{2} D_y < x < \frac{1}{2} B \\ h_z K_p', & -\frac{1}{2} D_y \leq x \leq \frac{1}{2} D_y \\ 4 \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} x^2 + 4D_y \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} x + \frac{M + (1 - K_p') h_z}{(B - D_y)^2} D_y^2 + h_z K_p', & -\frac{1}{2} B < x < -\frac{1}{2} D_y \end{cases} \quad (1)$$

式中, D_y 可按照工作面倾向宽度与 2 倍的覆岩主关键层弧形三角块长度之差(或工作面走向推进长度与覆岩主关键层初次破断距之差)进行计算,残余碎胀系数 K_p' 则可通过实验室测试或者现场覆岩内部岩体移实测获得^[12, 17]。

1.2 覆岩垮落带自由空隙量计算

由上述分析可知,覆岩垮落带空间范围对应顶界面应是类抛物球状的曲面,它与采空区四周边界及底板所包络的垮落空间可按 2 部分进行计算:第 1 部分为倾向方向类抛物函数与底板间包络面积在走向推进范围内形成的体积,第 2 部分为倾向方向类抛物函数与关键层 1 底界面间包络面积在走向方向两端未压实范围内的体积(图 3 中红色线条包络部分)。即,覆岩垮落带的整体空间大小可表示为

$$V_k = L \int_{-\frac{1}{2}B}^{\frac{1}{2}B} f(x) dx + \frac{1}{3} \left[(M + h_z) B - \int_{-\frac{1}{2}B}^{\frac{1}{2}B} f(x) dx \right] \times \left(\frac{B}{2} - \frac{D_y}{2} \right) \times 2 = L \int_{-\frac{1}{2}B}^{\frac{1}{2}B} f(x) dx + \frac{B - D_y}{3} \times \left[(M + h_z) B - \int_{-\frac{1}{2}B}^{\frac{1}{2}B} f(x) dx \right] \quad (2)$$

所以,若不考虑垮落带岩体自身体积的膨胀效应,则根据式(2)可对走向推进距为 L 范围内的垮落

带破碎岩体的空隙量计算为

$$V_p = V_k - B h_z L \quad (3)$$

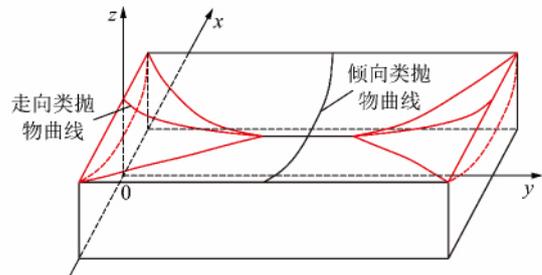


图 3 垮落带空间类抛物曲面包络模型

Fig. 3 Parabolic surface model of the caved zone space

2 覆岩裂隙带破断岩层空隙量确定

根据采动覆岩裂隙发育规律与分布特征^[11, 18],裂隙带内破断岩层间的自由空隙主要集中于开采边界附近范围(图 4),即“O”形圈内;其中,包括两层关键层间各层软岩之间的层理碎胀空隙,以及关键层与底部软岩间的离层空隙。因此,可对此两类空隙量分别进行计算。

第 i 层关键层与第 $i + 1$ 层关键层之间的软岩间的层理碎胀裂隙可按式计算

$$V_{i1} = L(B - D_y) \sum \Delta_i \quad (4)$$

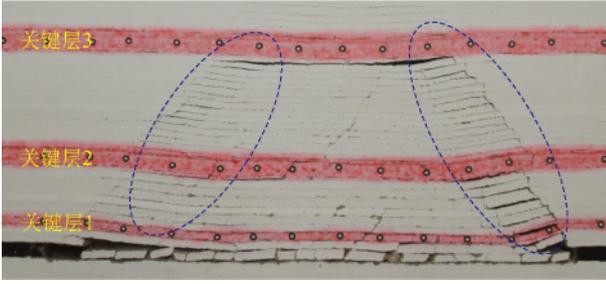


图 4 覆岩裂隙带破断岩层自由空隙分布特征

Fig. 4 Distribution of the free fracture in the fracture zone of the mining-induced overlying strata

式中, $\sum \Delta_i$ 为第 i 层关键层与第 $i+1$ 层关键层之间被水浸泡高度 $\sum h_i$ 范围内的软岩的层理间空隙量, $\sum \Delta_i = (K_p - 1) \sum h_i$, K_p 为裂隙带岩层的层理碎胀系数, 同样可通过现场覆岩内部岩移实测获得。

而对于第 $i+1$ 层关键层底界面与下部软岩形成的离层空隙量可按图 5 所示的模型进行计算。设第 $i+1$ 层关键层的破断回转下沉量为 Δ_{i+1} , 则此空隙量可计算为

$$V_{i2} = \frac{1}{2} \Delta_{i+1} (\sqrt{l_{i+1}^2 - \Delta_{i+1}^2} - \sqrt{l_i^2 - \Delta_{i+1}^2}) L \times 2 = \Delta_{i+1} (\sqrt{l_{i+1}^2 - \Delta_{i+1}^2} - \sqrt{l_i^2 - \Delta_{i+1}^2}) L \quad (5)$$

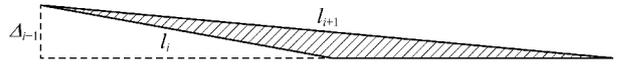


图 5 第 i 层关键层底界面下部的离层空隙模型
Fig. 5 Calculation model of the separation fracture space below the i^{th} key stratum

所以, 裂隙带破断岩体的空隙量 V_1 可表示为

$$V_1 = \sum (V_{i1} + V_{i2}) \quad (6)$$

3 地下水库储水容量的确定

3.1 储水容量计算

地下水库储水容量即为储水范围内覆岩垮裂带岩体自由空隙量总和, 利用上述理论计算模型可对地下水库的储水容量进行计算。若以采空区倾向为 x 轴、走向为 y 轴、垂直方向为 z 轴, 则按照储水水位在覆岩垮裂带内的不同位置, 其储水容量的计算可分为以下 3 种类型, 如图 6 所示。

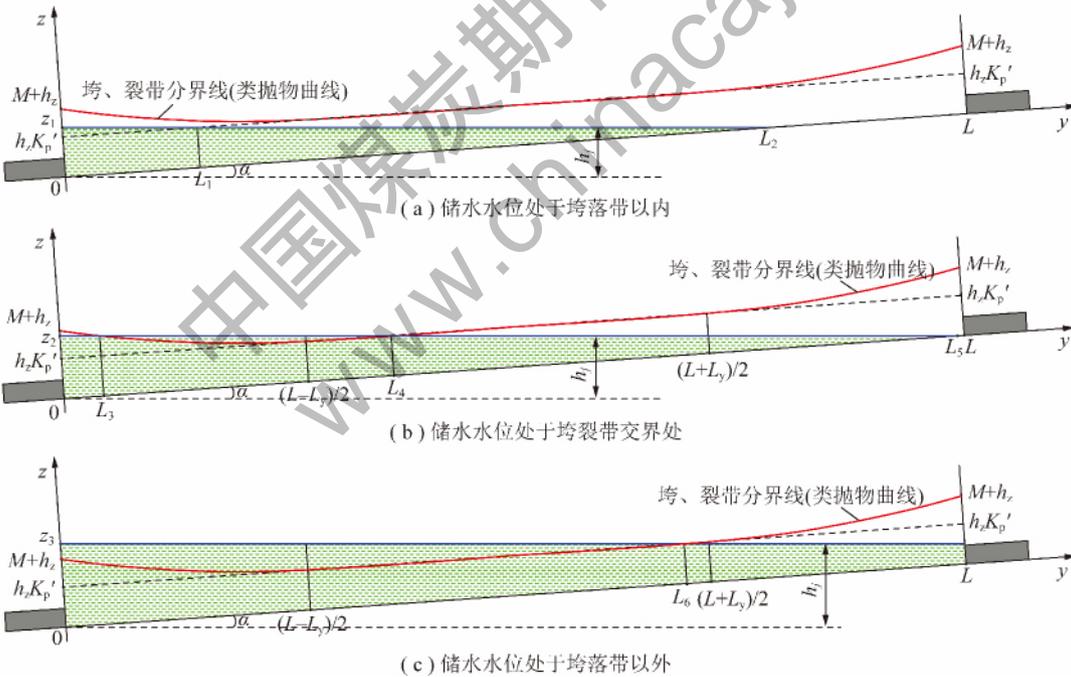


图 6 地下水库储水容量计算模型

Fig. 6 Calculation model of the underground reservoir capacity

(1) 当储水水位低于覆岩垮落带高度时(图 6 (a)), 其浸水范围包括以下 3 个部分:

① $(0, L_1)$ 范围内处于垮落带压实高度线 ($z = h_z K_p'$) 以下范围, 利用工作面倾向方向覆岩垮落带形态函数 $z = f(x)$, 该范围体积可计算为

$$V_{1a} = L_1 \int_{-x_1}^{x_1} f(x) dx \quad (7)$$

式中, $-x_1, x_1$ 为水位线与垮落带在倾向方向的类抛物线交叉点对应的倾向位置, 即 $z_1 = f(x_1)$ 。

② $(0, L_1)$ 范围内处于垮落带压实高度线 ($z = h_z K_p'$) 以上与水位线之间范围, 根据图 7 所示的几何模型可计算为

$$V_{1b} = \frac{1}{3} L_1 \left[2z_1 x_1 - \int_{-x_1}^{x_1} f(x) dx \right] \quad (8)$$

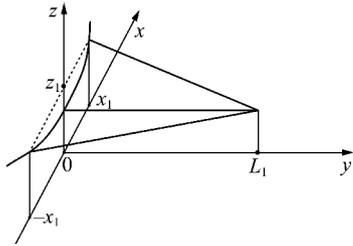


图 7 V_{1b} 计算几何模型

Fig. 7 Calculation model of V_{1b}

③ (L_1, L_2) 范围内处于垮落带压实高度线 $(z = h_z K_p)$ 以下范围的浸水空间, 可计算为

$$V_{1c} = \int_{L_1}^{L_2} B(L_2 - y) \tan \alpha dy \quad (9)$$

所以, 此类情况下的浸水空间总体积为 $V_{1z} = V_{1a} + V_{1b} + V_{1c}$ 。而处于该范围内的垮落直接顶岩体的体积则可按照浸水空间占垮落带空间总体的比值进行换算, 即结合式 (2) 可表示为

$$V_{1s} = \frac{V_{1z}}{V_k} B h_z L \quad (10)$$

如此, 此类情况下采空区空隙的储水容量可表示为

$$V_1 = V_{1z} - V_{1s} \quad (11)$$

(2) 当极限储水水位与覆岩垮落带类抛物线交叉时(图 6(b)), 其浸水范围包括垮落带和裂隙带两大部分:

① 垮落带内浸水范围总体积按照前一种情况可类比计算为

$$V_{2z} = L_4 \int_{-x_2}^{x_2} f(x) dx + \frac{1}{6} (L - L_y) (2z_2 x_2 - \int_{-x_2}^{x_2} f(x) dx) + \int_{L_4}^{L_5} B(L_5 - y) \tan \alpha dy \quad (12)$$

式中, $-x_2, x_2$ 为水位线与垮落带在倾向方向的类抛物线交叉点对应的倾向位置, 即 $z_2 = f(\pm x_2)$ 。

对应该类情况下垮落带空隙的储水容量为

$$V_{2a} = V_{2z} - \frac{V_{2z}}{V_k} B h_z L \quad (13)$$

② 对于裂隙带内浸水范围中的空隙储水容量, 根据走向剖面上是否处于压实区分为 2 个部分:

$y = L_3 \sim (L - L_y) / 2$ 区间, 其空隙储水容量为

$$\int_{L_3}^{(L-L_y)/2} B [z_2 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy \quad (14)$$

式中 $f(y)$ 为垮落带类抛物线在走向方向上的函数表达式, 可与式 (1) 同理确定。

$y = (L - L_y) / 2 \sim L_4$ 区间, 其空隙储水容量为

$$\int_{(L-L_y)/2}^{L_4} (B - D_y) [z_2 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy \quad (15)$$

需要说明的是, 考虑到垮裂带分界线即为覆岩第 1 层关键层所在位置, 且关键层存在一定的厚度, 因此, 若极限水位线处于关键层 1 上下界面之内, 则其中的储水空隙可忽略不计。此外, 当极限水位线处于上部第 2 层关键层底界面附近时, 上述公式中还需考虑式 (5) 计算的空隙量。

由此, 裂隙带内浸水范围的空隙储水容量为

$$V_{2b} = \int_{L_3}^{(L-L_y)/2} B [z_2 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy + \int_{(L-L_y)/2}^{L_4} (B - D_y) [z_2 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy \quad (16)$$

如此, 此类情况下采空区空隙的储水容量可表示为

$$V_2 = V_{2a} + V_{2b} \quad (17)$$

(3) 当极限储水水位超出覆岩垮落带类抛物线交叉时(图 6(c)), 同理, 其浸水范围也包括垮落带和裂隙带两大部分:

① 垮落带内浸水范围总体积按照前一种情况可类比计算为

$$V_{3z} = L_6 \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} f(x) dx + \frac{1}{6} (L - L_y) [B(M + h_z) - \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} f(x) dx] + \int_{L_6}^L B(z_3 - y \tan \alpha) dy \quad (18)$$

对应该类情况下垮落带空隙的储水容量为

$$V_{3a} = V_{3z} - \frac{V_{3z}}{V_k} B h_z L \quad (19)$$

② 对于裂隙带内浸水范围中的空隙储水容量, 与上述情况类似, 同样根据走向剖面上是否处于压实区分为 2 个部分, 其总空隙量为

$$V_{3b} = \int_0^{(L-L_y)/2} B [z_3 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy + \int_{(L-L_y)/2}^{L_6} (B - D_y) [z_3 - y \tan \alpha - f(y)] (K_p - 1) dy \quad (20)$$

如此, 此类情况下采空区空隙的储水容量可表示为

$$V_3 = V_{3a} + V_{3b} \quad (21)$$

综合上述采空区内储水水位范围内的总空隙量, 可得到水库的总储水容量为

$$\sum V = V_i + V_x \quad (22)$$

式中, V_i 代表上述 3 类不同情况下的空隙计算公式, 即 V_1, V_2, V_3 。

当上述储水水位为水库的极限水位时, 则对应储水容量即为地下水库的极限库容。其中, 极限水位的

确定主要考虑水库四周隔离煤柱及人工构筑密闭墙的极限承载与防渗透能力,限于篇幅,本文暂不讨论。

3.2 合理储水容量确定

地下水库的合理储水容量就是水库在合理储水水位 h_r 下的水量。合理的储水水位除了要处于极限水位以内 h_l 外,还应处于覆岩导水裂隙带高度 h_d 之内。即

$$h_r < h_l \ \& \ h_r < h_d \quad (23)$$

同时,考虑到裂隙带岩体内空隙主要处于关键层底界面之下;所以,若 h_l 位于第 i 层和 $i+1$ 层关键层之间,则合理储水位应为第 i 层关键层底界面位置。这样可保证在不减少过多储水的条件下大幅减小水库隔离煤柱及人工构筑坝体的防滑、防渗漏级别^[19-20]。

4 现场工程案例验证

李家壕煤矿位于内蒙古鄂尔多斯市东胜区东南,隶属神华包头能源有限责任公司,设计生产能力 600 万 t/a。考虑到井田范围内雨量稀少、生态脆弱,矿井在 3-1 煤 31108 和 31109 工作面采空区开展了地下水库的建设,目前已投入使用,为矿井水资源保护与利用提供了保障。两工作面均沿煤层倾向俯斜开采,煤层倾角 1.7° ,采高 3.3 m;两工作面开采后形成宽度为 581.3 m、长度为 3 338.3 m 的采空区范围。该区域对应岩层赋存柱状如图 8 所示。

根据矿方的试验与测算结果,该矿地下水库隔离煤柱及人工构筑坝体所能承受的水库储水水位为 13.5 m;据此可利用前述理论计算公式对地下水库的

层号	岩层岩性	关键层位置	柱状	厚度/m	埋深/m
21	表土层			5.07	5.07
20	粗砂岩	主关键层		47.75	52.82
19	砂质泥岩			23.97	76.79
18	细砂岩			8.04	84.83
17	砂质泥岩			14.96	99.79
16	细砂岩			9.09	108.88
15	砂质泥岩			14.52	123.40
14	细砂岩	亚关键层		22.43	145.83
13	砂质泥岩			18.89	164.72
12	细砂岩	亚关键层		22.66	187.38
11	砂质泥岩			2.63	190.01
10	煤层			0.40	190.41
9	砂质泥岩			8.68	199.09
8	2-2下煤层			1.80	200.89
7	砂质泥岩			3.84	204.73
6	2-2上煤层			2.05	206.78
5	砂质泥岩			5.28	212.06
4	2-2中煤层			2.57	214.63
3	砂质泥岩			13.38	228.01
2	粉砂岩	亚关键层		5.94	233.95
1	砂质泥岩			19.79	253.74
0	3-1上煤层			2.45	256.19

图 8 李家壕煤矿地下水库区域覆岩钻孔柱状

Fig. 8 Borehole column of the overlying strata in the underground reservoir region of Lijiahao Coal Mine

极限库容进行确定。根据图 7 所示的钻孔柱状揭示情况,3-1 煤上覆第 1 层关键层距离煤层 19.8 m;由此结合作面 3.3 m 的采高可判断 3-1 煤采后的垮落带将止于该关键层底界面,这与 31108 工作面曾开展的覆岩垮落带高度工程探测结果基本相同(实测垮落带高度 21.3 ~ 25.9 m)。因此,13.5 m 的极限储水水位将位于垮落带以内,属于 3.1 节中的第 1 种计算类型,如图 9 所示。

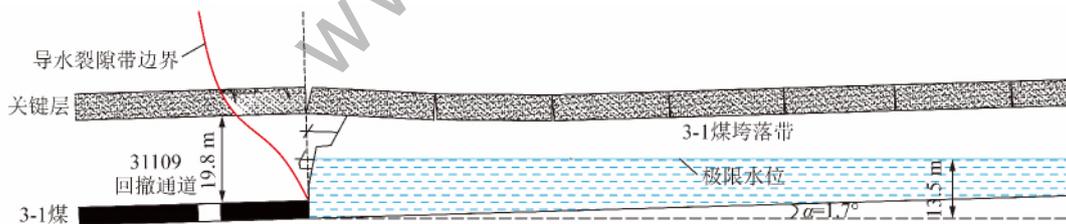


图 9 李家壕煤矿地下水库极限库容计算模型

Fig. 9 Calculation model of the limited capacity of underground reservoir in Lijiahao Coal Mine

考虑到极限储水水位低于直接顶厚度,因此储水容量仅需按照式(9)进行计算即可;代入相关参数可计算得出储水容量为 $1\ 791\ 135\ \text{m}^3$ 。根据钻孔柱状可计算得到覆岩主关键层极限破断距为 45.1 m,则采空区倾向压实区宽度为 D_1 为 409.9 m。取采空区残余碎胀系数为 1.1^[17],则利用式(2)可计算得到垮落带空间体积为 $4.3 \times 10^7\ \text{m}^3$ 。所以,处于储水范围内的垮落直接顶岩体的体积可根据式(10)按照浸水空间占垮落带空间总体的比值进行换算,其值为

$1\ 604\ 207\ \text{m}^3$ 。因此,采空区浸水范围内储水空隙量为 $1\ 791\ 135 - 1\ 604\ 207 = 18.7\ \text{万}\ \text{m}^3$;即李家壕地下水库的极限库容值为 $18.7\ \text{万}\ \text{m}^3$ 。而根据现场放水试验的测试结果,采空区注水 13.5 m 水深后,累计放水量 $185\ 759\ \text{m}^3$,与上述理论计算结果基本吻合。

5 结 论

(1) 地下水库以采空区垮落带岩体自由空隙为储水空间,可实现采动破坏水资源的蓄存、净化、以及

循环利用,是西部缺水矿区保水采煤的重要对策之一;研究确定地下水库的库容确定方法对于水库的合理选址与库容设计具有重要的指导意义。

(2) 覆岩垮落带可视为由关键层破断下沉的类抛物曲线与边界煤岩体和底板包络的空间,其内垮落岩体间的自由空隙量即为垮落带空间体积除去进入垮落带的直接顶岩层体积之后的体积。裂隙带破断岩层间的离层空隙量主要集中于开采边界的“O”形圈范围内,结合该离层空隙的三角形断面形态,可进行其空隙量的计算。

(3) 考虑采空区底板倾角,根据储水水位在覆岩垮裂带内的不同位置,分3种类型进行了储水容量的数学公式推导,由此形成了地下水库极限储水容量与合理储水容量的确定方法,并得到了李家壕煤矿地下水库现场试验测试数据的验证。

参考文献(References):

- [1] 钱鸣高,许家林,缪协兴. 煤矿绿色开采技术[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(4): 343-348.
Qian Minggao, Xu Jialin, Miao Xiexing. Green technique in coal mining[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2003, 32(4): 343-348.
- [2] 缪协兴,王安. 干旱半干旱矿区水资源保护性采煤基础与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 217-227.
Miao Xiexing, Wang An. Research on basic theory of mining with water resources protection and its application to arid and semi-arid mining areas[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(2): 217-227.
- [3] 康永华. 采煤方法变革对导水裂缝带发育规律的影响[J]. 煤炭学报, 1998, 23(3): 262-266.
Kang Yonghua. The effect of various mining methods on development law of water flowing fracture zone[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(3): 262-266.
- [4] 刘建功,赵利涛. 基于充填采煤的保水开采理论与实践应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1545-1551.
Liu Jianguo, Zhao Litao. Theory of water protection and practice application in mining based on the backfilling mining technology[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1545-1551.
- [5] 彭小沾,崔希民,李春意,等. 陕北浅煤层房柱式保水开采设计与实践[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(3): 301-304.
Peng Xiaozhan, Cui Ximin, Li Chunyi, et al. Design and practice of room & pillar water-preserved mining for shallowly buried coal seam in north of Shaanxi Province[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(3): 301-304.
- [6] 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.
- [7] 顾大钊. 煤矿地下水库理论框架和技术体系[J]. 煤炭学报, 2015, 40(2): 239-246.
Gu Dazhao. Theory framework and technological system of coal mine underground reservoir[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(2): 239-246.
- [8] 陈苏社. 神东矿区井下采空区水库水资源循环利用关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2016.
- [9] 顾大钊. “能源金三角”地区煤炭开采水资源保护与利用工程技术[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 33-37.
Gu Dazhao. Water resource protection and utilization engineering technology of coal mining in “Energy Golden Triangle” region[J]. Coal Engineering, 2014, 46(10): 33-37.
- [10] 曹志国,李全生,董斌琦. 神东矿区煤炭开采水资源保护利用技术与应用[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 162-164.
Cao Zhiguo, Li Quansheng, Dong Binqi. Water resource protection and utilization technology and application of coal mining in Shendong mining area[J]. Coal Engineering, 2014, 46(10): 162-164.
- [11] 许家林. 岩层采动裂隙演化规律与应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2016.
- [12] 钱鸣高,石平五,许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [13] 鞠金峰,许家林,王庆雄. 大采高采场关键层“悬臂梁”结构运动型式及对矿压的影响[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 2115-2120.
Ju Jinfeng, Xu Jialin, Wang Qingxiong. Cantilever structure moving type of key strata and its influence on ground pressure in large mining height workface[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12): 2115-2120.
- [14] 许家林,鞠金峰. 特大采高综采面覆岩关键层结构形态及其对矿压显现的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(8): 1547-1556.
Xu Jialin, Ju Jinfeng. Structural morphology of key strata and its influence on strata behavior in fully-mechanized face with super great mining height[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(8): 1547-1556.
- [15] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州: 中国煤炭出版社, 2003.
- [16] 李鸿昌,钱鸣高. 孔庄矿上行开采的研究[J]. 中国矿业学院学报, 1982(2): 12-24.
Li Hongchang, Qian Minggao. A Study of ascending mining method at Kongzhuang mine[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1982(2): 12-24.
- [17] 朱卫兵,许家林,鞠金峰. 浅埋煤层开采压架机理及防治[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [18] 钱鸣高,许家林. 覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(5): 466-469.
Qian Minggao, Xu Jialin. Study on the “O-shape” circle distribution characteristics of mining-induced fracture in the overlying strata[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5): 466-469.
- [19] 钮新强,杨启贵,谭界雄,等. 水库大坝安全评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [20] 张国恩. 煤矿地下水库人工挡水坝安全性分析[J]. 中国煤炭, 2014, 40(5): 78-81.
Zhang Guoen. Safety analysis of artificial blocking dam in underground coal mine reservoir[J]. China Coal, 2014, 40(5): 78-81.