

离层水突水模式与离层破断距

张文忠

(中煤科工集团西安研究院 水文地质研究所,陕西 西安 710054)

摘要:近几年,离层积水引发的突水事故较多,离层水害的发生往往难以预判,因此需要针对离层突水开展深入的研究,提出离层突水主要有3种模式,离层动水压突水、静水压突水以及重复扰动突水,并针对离层动水压突水,研究了离层的破断距,得出了其计算公式.利用模拟实验研究和实测资料,对离层发育规律和离层破断距进行了研究,并指出离层水害防治,重点在于预计离层发育位置,在正确预计离层发育位置基础上,可超前施工疏导钻孔,防止离层水害.

关键词:离层水害;突水模式;突水防治

中图分类号:TU745

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2015)02-0020-04

Water inrush model and broken distance of stratum separation

Zhang Wenzhong

(Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp., Xi'an 710054, China)

Abstract: Recently years, many water hazards caused by burst of water cells formed by overburden stratum separation, water hazards is often difficult to predict, so need study it three kinds of patterns were provided, they were hydrodynamic water inrush, hydrostatic water inrush, and repetitive disturbance water inrush, respectively, aimed at hydrodynamic water inrush, the separation of the broken distance was studied, the calculation formula was derived. By the simulation and the measured data, the development regularity of strata separation and broken distance were studied on, and it pointed out that water hazards caused by burst of water cells formed by overburden stratum separation prevention, focus on the development in the correct position was expected to separation, separation and development based on the expected location, advanced drilling construction guidance, to prevent water hazards caused by burst of water cells formed by overburden stratum separation.

Keywords: water hazards formed by overburden stratum separation; water inrush mode; water inrush prevention

近几年,离层积水引发的突水事故较多^[1],如黄陇煤田多个矿井已发生顶板离层水害事故,主要有铜川玉华煤矿、彬长火石咀及大佛寺矿、永陇崔木、郭家河煤矿、宁夏红柳煤矿、山东华丰煤矿、四川南桐煤矿、鱼田堡煤矿、重庆打通一矿、安徽海孜煤矿、新集煤矿等.一些专家学者对此进行了研究^[2],包括离层水的突出机制、防治措施等.但这些研究几乎全部集中于离层突水机理研究^[3].

离层水害的防治的关键在于正确预测离层发育的地点,然后针对该位置进行疏放水,解除离层水害威胁.因此,开展离层发育位置展开研究,对坚硬岩层下开采离层水害的防治,具有重要的理论意义和实用价值.

1 离层突水模式及离层破断距研究

1.1 离层突水模式

收稿日期:2014-06-24

基金项目:十二五国家科技支撑计划课题(2012BAK04B04)

通信作者:张文忠(1980-),男,陕西西安人,博士,助理研究员,主要从事水文地质与矿井防治水工作. E-mail: zhangwenzhong@cctegxian.com

离层水害的突水模式,主要有离层动水压突水和静水压突水,其中离层静水压突水^[4]是指,随着工作面的推进,由于覆岩在岩体抗弯强度、抗拉变形性能及岩层厚度等方面存在差异,在覆岩弯曲下沉带内会产生离层,并逐渐被地下水充填,形成的离层水体.随着离层空间水位不断上升,水位升到一定高度,即离层水压大到一定程度便可以破坏离层下位隔水层(泥岩),与下部导水裂隙带^[5]沟通,导致离层水下泄采空区.

重复扰动突水是在多煤层开采,存在重复扰动情况下,初始采动时,在覆岩内形成的离层空间,随着下组煤的开采会进一步扩大,导水裂隙带也会进一步向地表延展,当导水裂隙带进一步发育波及到离层区,则引起离层突水.

本文重点探讨离层动水压力突水模式及其防治方法.离层动水压突水模式,以红柳煤矿 1121 工作面离层突水为例.由于煤系地层与上覆粗粒砂岩在岩体结构、强度、变形性能方面存在明显差异,煤层开采中,岩浆岩下部地层会产生明显离层,并被地下水充填,形成封闭的离层水体.同时,由于粗粒砂岩结构完整,强度高,当其下的离层发展达到一定空间规模后,粗粒砂岩会产生突然冲击失稳,击拍离层水体,使其在瞬间产生很高的水压力,突破隔水岩层,产生瞬间突水^[6].由此可知,离层水害的防治关键在于准确预计离层位置,离层发育纵向层位一般在软硬岩交界处,但是横向层位较难预测,横向发育层位可通过硬岩的破断距推断出来,因此重点在于研究离层上部硬岩的破断距.

1.2 离层破断距研究

随着采场推进,上覆岩层暴露,在其重力作用下弯曲,当暴露达到一定跨度后,暴露岩层中部拉开后,是否发展至冒落^[7],则由其下部允许运动的空间高度决定,只有其下部允许运动的空间高度超过运动岩层的允许沉降值,岩层运动才会由弯曲沉降发展至冒落^[8].否则,将保持弯曲状态,如图 1 所示.

暴露岩层各层的跨度为

$$L_n = L - 2 \left[\sum h + (n - 1)h \right] \cdot \cot \theta, n = 1, 2, \cdots, n. \tag{1}$$

式中: h 为暴露岩层的分层厚度, m; $\sum h$ 为覆岩的垮落厚度, m. θ 为岩层垮落角,对于软弱性覆岩 $\theta = 65^\circ \sim 75^\circ$,中硬型覆岩 $\theta = 55^\circ \sim 65^\circ$,坚硬型覆岩 $\theta = 45^\circ \sim 55^\circ$.

岩层按其渗透性可分为透水层与不透水层. 饱含水的透水层便是含水层. 不透水层通常称为隔水层,但从整体上说,地层具有水力连续性^[9],因此在弱透水层或隔水层与含水层的交接面处,存在一层很薄的液膜,能够传递压强,岩石骨架受到地下水对其产生的向上的和向下的压力差^[10],形成向上托的浮托力. 由于离层空间的存在,在离层空间必然有地下水汇集,因此需要考虑地下水对岩石骨架作用的浮托力,本文将该因素考虑进去,分析其对顶板稳定性的影响.

假设老顶为覆岩内某一含水层中的一部分,覆岩中老顶的梁式破断,结合含水层岩石骨架中存在的浮托力,将老顶的力学模型概化,详见图 2.

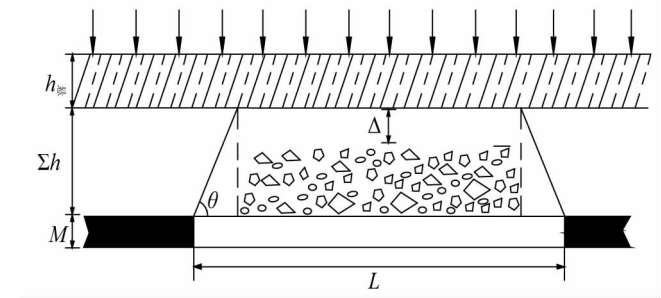


图 1 覆岩次垮落后采空区情形

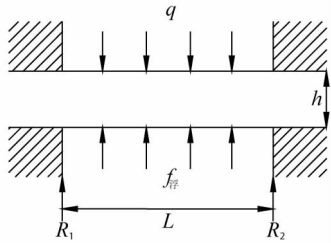


图 2 第一种情况浮托力作用下老顶力学模型

根据浮托力的概念可知,浮托力大小为

$$f_{\text{浮}} = \rho gh \cdot s. \tag{2}$$

式中: h 为含水层中老顶岩石骨架厚度, g 为重力加速度, s 为含水层中老顶岩石骨架下断面面积.

根据浮托力计算公式,覆岩中老顶的梁式破断极限跨距公式可修正为

$$L_t = h \sqrt{\frac{2R_t}{q - \rho gh}}.$$

(3)

式中: R_t 为含水层中老顶的极限抗拉强度, q 为含水层中老顶上部载荷.

由此,由式(1)和式(2),可得出离层破断距为

$$L = h \sqrt{\frac{2R_t}{q - \rho gh}} + 2[\sum h + (n - 1)h] \cdot \cot \theta.$$

(4)

2 离层模拟实验研究

2.1 离层发育规律模拟实验研究

以红柳煤矿 1121 工作面离层突水为例. 由于煤系地层与上覆粗粒砂岩在岩体结构、强度、变形性能方面存在明显差异,煤层开采中,粗粒砂岩下部地层会产生明显离层,并被地下水充填,形成封闭的离层水体. 同时,由于粗粒砂岩结构完整,强度高,当其下的离层发展达到一定空间规模后,粗粒砂岩会产生突然冲击失稳,击拍离层水体,使其在瞬间产生很高的水压力,突破隔水岩层,产生瞬间突水.

红柳煤矿 1121 工作面为矿井首采工作面,工作面宽 302 m,走向长 1 379 m,开采侏罗系上统延安组 2[#]煤层,煤厚平均 5.3 m,采用走向长壁综采一次采全高,全部垮落法管理顶板. 由工作面内 H1504 钻孔的岩性统计资料详见表 1.

表 1 覆岩岩石力学参数统计表

岩石名称	容重/(kg/m ³)	弹性模量/MPa	泊松比	抗拉强度/MPa	粘结力/MPa	内摩擦角/(°)	厚度/m
2 [#] 煤	1 350	2 381	0.29	0.30	1.30	30.9	5.0
粗粒砂岩	2 450	9 790	0.22	0.90	2.01	32.3	4.5
粉砂岩	2 630	10 670	0.44	0.55	1.04	36.1	7.0
粗粒砂岩	2 450	9 790	0.22	1.38	2.01	32.3	15.0
粉砂岩	2 630	10 670	0.44	0.55	1.04	36.1	15.0
泥岩	2 660	6 900	0.39	1.60	0.68	35.4	10.0
粗粒砂岩	2 450	9 790	0.22	0.90	2.01	32.3	40.0
细粒砂岩	2 330	6 740	0.17	0.34	2.06	35.4	30.0

相似条件:模型的几何相似、采动岩土体变形、破坏、运移过程的相似和单值条件相似,相似参数^[11]由与采动岩土体变形破坏过程有关的物理、力学参数:几何尺寸 l , 容重 γ , 运动时间 t , 运动速度 v , 重力加速度 g , 岩土层性质(强度、弹模 E 、粘结力 C 、内摩擦角 φ 等)及作用力 f 给出(下标 p 表示原型,下标 m 表示模型).

几何相似条件: $\alpha_l = \frac{l_m}{l_p} = \frac{1}{100}$; 重力相似条件: $\alpha_\gamma = \frac{\gamma_m}{\gamma_p} = \frac{2}{3}$;

时间相似条件: $\alpha_t = \frac{t_m}{t_p} = \sqrt{\alpha_l} = \frac{1}{10}$;

速度相似条件: $\alpha_v = \frac{v_m}{v_p} = \sqrt{\alpha_l} = \frac{1}{10}$;

位移相似条件: $\alpha_s = \alpha_l = \frac{1}{100}$;

强度、弹模、粘结力相似条件: $\alpha_R = \alpha_E = \alpha_C =$
 $\alpha_l \alpha_\gamma = \frac{1}{150}$;

内摩擦角相似条件: $\alpha_\varphi = \frac{1}{1}$;

作用力相似条件: $\alpha_f = \frac{f_m}{f_p} = \alpha_g \alpha_\gamma \alpha_l^3 = 0.08 \times 10^{-6}$

在 3 m 长的平面模型架进行物理相似模拟实验,实验结果详见图 3.

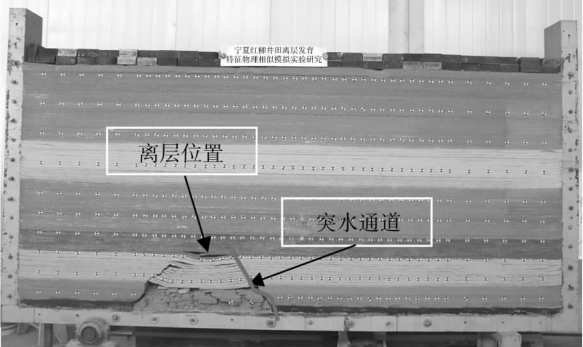


图 3 离层发育位置图

由图3可知,当工作面推进45 m时,离层发育到顶板上部45 m处泥岩与粗粒砂岩层位,离层空间垂向宽度最大约为1.6 m,水平方向延展长度25 m左右.根据物理相似模拟实验可知,离层发育在顶板泥岩与粗粒砂岩交界处,但是随着工作面的推进,离层上位硬岩发生破断时,离层空间突然弥合,从而对离层水产生冲击压力,导致离层动水压突水.离层的发育、成型到弥合跟覆岩上部粗粒砂岩破断步距基本一致.

2.2 离层发育规律理论分析及防治方法

根据现场实测,1121工作面为首采面,工作面推进46.5 m时,出现涌水量突然增大,使得工作面被迫停产,详见表2.

表2 1121工作面涌水异常与推进距离关系统计表

推进日期/年.月	推进距离/m	最大涌水量/(m³/h)	稳定涌水量/(m³/h)	涌出水量/m³
2009.11	46.5	212	135	31 800

此外,将 R_t 为粗粒砂岩的抗拉强度,1.38 MPa, h 为粗粒砂岩厚度,41 m,代入公式(4)可知,离层破断距为

$$L = h \sqrt{\frac{2R_t}{q - \rho gh}} + 2[\sum h + (n - 1)h] \cdot \cot\theta.$$

经过计算可知离层破断距为45.4 m.与实测结果基本吻合.

离层水害的防治,可利用离层破断距计算公式,可有效地预计离层发育位置,针对性地向预计的离层位置施工导流孔,使离层水随时流出,避免出现离层水害.

3 结论

离层水害的防治,关键在于离层发育位置的预计,针对离层发育位置,可进行提前疏导,避免发生离层水害.本文经过理论分析和模拟实验研究,得到以下结论.

- 1) 指出离层突水共有3种模式,离层动水压突水、静水压突水以及重复扰动突水.
- 2) 推导出了离层破断距公式.
- 3) 通过模拟实验研究了离层发育规律.
- 4) 指出离层水害防治,重点在于预计离层发育位置,在正确预计离层发育位置基础上,可超前施工疏导钻孔,防止离层水害.

参考文献:

[1] 朱卫兵,王晓振,孔翔,等.覆岩离层区积水引发的采场突水机制研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(2):306-311.

[2] 李凤荣,陈真富,王和志.煤层顶板离层水体分布规律及防治技术探讨[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):239-243.

[3] 王经明,喻道慧.煤层顶板次生离层水害成因的模拟研究[J].岩土工程学报,2010,32(2):50-55.

[4] 曹丁涛.离层静水压突水及其防治[J].水文地质工程地质,2013,40(2):9-12.

[5] 刘超,李树刚,许满贵,等.采空区覆岩采动裂隙演化过程及其分形特征研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2013,,28(3):1-5.

[6] 苏仲杰,于广明,杨伦.覆岩离层变形力学机理数值模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(8):1287-1290.

[7] 钱鸣高,缪协兴.采场矿山压力理论研究的新进展[J].采矿与安全工程学报,1996,2:16-19.

[8] 吴立新,王金庄,赵士胜,等.托板控制下开采沉陷的滞缓与集中现象研究[J].中国矿业大学学报,1994(4):10-19.

[9] 王大纯,张人权,史毅虹,等.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,2005:44-49.

[10] 刘建军,章宝华.流体力学[M].北京:北京大学出版社,2006:52-57.

[11] 曹磊,李基,姬玉成,等.急倾斜特厚煤层采场围岩运动相似材料模拟[J].矿业工程研究,2015,30(1):34-37.