

· 水文地质工程地质 ·

采场底板突水相似材料模拟研究

黎良杰 (北京大学 100871)

钱鸣高 (中国矿业大学 徐州 221008)

殷有泉 (北京大学 100871)

摘要 利用相似材料模拟试验,模拟了采场底板突水机理。实验表明,在无断层构造条件下,底板在承压水作用下呈 O-X 型破坏,并且在 O 与 X 的交点处最容易产生突水通道;在有断层构造条件下,断层突水的实质是在承压水作用下断层两盘的关键层向上产生相对移差。当断层越易产生最大位移差时,越容易突水;在突水的同时还伴随着断层带充填物的冲刷。

关键词 模拟试验 底板 突水 断层

中国图书资料分类法分类号 P641.73

作者简介 黎良杰 男 30 岁 讲师 博士后 采矿工程 力学

1 引言

由于采场底板突水问题的特殊性,人们不可能在现场观察到底板突水时的破坏过程,本文采用相似材料模型法来研究采场底板突水机理。

相似材料模型法的实质就是用与原型物理力学性质相似的材料按几何相似常数缩制成模型,在模型中开挖各类工程,观测模型在开挖过程中发生的一系列现象,以研究工程围岩的变形、破坏、塌落和突水等问题,从而得出问题的本质或机理。煤炭科学研究总院北京开采所刘天泉、张金才采用平面应力模型,利用弹簧模拟水压,模拟了煤层及其顶、底板的应力、位移变化情况^[1]。山东矿业学院特殊开采所、中国矿业大学等也曾经做过类似的工作,并得到了基本一致的结论。但是这些模型试验基本上是采用平面应力模型,不仅边界条件很难满足,而且在模拟水压时,既不能完全反映承压特点,也不能反映水的渗透冲刷性能。因此本文的相似材料模型法采用了定性立体模型和平面应力模型,而且含水层的水压力仍然用水来模拟。

2 相似理论基础

不管是平面应力模型,还是立体模型都必须满

足几何、物理力学性质、时间相似以及边界条件和开采过程相似。

2.1 几何相似

对二维或三维相似材料模型,各个方向都必须按如下相似常数比例制作,即满足:

$$\text{长度相似, } \alpha = l_p / l_m \quad (1)$$

$$\text{面积相似, } \alpha = l_p^2 / l_m^2 \quad (2)$$

$$\text{体积相似, } \alpha = l_p^3 / l_m^3 \quad (3)$$

其中 α 、 α 、 α 分别为长度、面积和体积相似常数;下角号 m 和 p 分别表示模型和原型。

2.2 物理力学性质相似

在弹性范围内,原型与模型都应当满足平衡微分方程,在考虑自重作用时,可推出满足方程的相似

$$\text{指标为: } \frac{\alpha_g}{\alpha \alpha_p} = 1 \quad (4)$$

其中 α_γ — 容重相似常数, $\alpha_\gamma = \gamma_p / \gamma_m$;

α_σ — 强度相似常数, $\alpha_\sigma = \sigma_p / \sigma_m$ 。

另外,物理力学性质还要求满足弹性模量相似,即常数 $\alpha = E_p / E_m$ 和变形相似,即常数 $\alpha = \xi / \xi_m$ 。

严格地讲,对于破坏过程应当使模型材料与原型材料的强度曲线相似,但是这一要求往往很难完全满足。事实上在底板突水机理的定性模拟中也没有必要,因此利用将莫尔圆包络线看作直线的简化方法,即满足:

$$\alpha_5 = (\sigma_p / \sigma_m); \quad (5)$$

$$\alpha_6 = (\sigma_p / \sigma_m); \quad (6)$$

$$\alpha_7 = C_p / C_m; \quad (7)$$

$$\alpha_8 = \phi_p / \phi_m; \quad (8)$$

式中 α_5 —— 抗压强度相似常数;
 α_6 —— 抗拉强度相似常数;
 α_7 —— 粘聚强度相似常数;
 α_8 —— 内摩擦角相似常数。

另外,破坏过程涉及运动学,严格地说还应满足牛顿第二定律,但是本文只考察破坏形式和结果,因此对运动过程相似不作考虑。

2.3 时间相似

$$\text{由 } a_p = a_m = g, \text{ 有 } \frac{L_p}{L_m} \cdot \frac{t_m^2}{t_p^2} = 1$$

$$\text{所以 } \alpha_9 = \frac{t_m}{t_p} = \alpha \quad (9)$$

式中 a_p —— 原型重力加速度, m/s^2 ;
 a_m —— 模型重力加速度, m/s^2 ;
 g —— 重力加速度, m/s^2 ;
 α —— 时间相似常数;
 t_m —— 模型上进尺单位长度所需时间;
 t_p —— 原型上进尺单位长度所需时间。

2.4 边界条件和开采过程相似

模型的边界条件和开采过程与原型应尽量一致。

3 无断层条件下底板突水模拟研究

3.1 模型总体设计及相似材料选择

本模型模拟的目的是要弄清楚在没有断层构造条件下底板在承压水作用下的破坏形式及破坏后的结构特征和最容易突水的位置。根据文献[2],主要模拟在底板突水中起关键作用的关键层的破坏形式。因此特别设计了一个长方体(1.3 m × 0.4 m × 0.2 m)的模拟架,总体模型设计如图 1 所示。

模型采用的几何相似常数为 $\alpha = 100$, 容重相似常数为 $\alpha = 1.54$, 泊松比、内摩擦角相似常数均为 1, 时间相似常数 $\alpha = 10$ 。相似材料选用砂子、碳酸钙及石膏,以硼砂作缓凝剂,其配比如表 1。

3.2 实验结果及分析

当水压增加到一定大小时,首先可以看到从模型表面中央沿长边方向出现微裂缝。事实上,从老顶

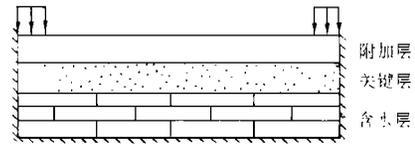


图 1 模型的总体设计

表 1 相似材料的配比及物理力学参数

序号	岩层	厚度 /cm	配比号	容重 / $N \cdot cm^{-3}$	σ_c /kPa	σ_t /kPa	σ_c / σ_t
	附加层	4	655	15	121	16	1/7.6
model 7,8	关键层	4	337	15	283	56	1/5.05
	含水层	10					

注:含水层由石子和水组成。

板模型来看,模型应当首先在下表面沿长边边界方向出现微裂缝(图 2a),然后沿短边方向出现微裂缝(图 2b),接着再沿长边中央方向出现微裂缝(图 2c),只是由于模型的上表面在四周边界处是受挤压的,下表面受张拉情况无法观察到,以致于在模型上看到的是先在其中央长边方向出现裂缝。最后中央方向裂缝与四周裂缝贯通,即形成所谓的 OX 型破坏,图 2d 所示(上述裂缝发展和本文中的全部实验结果均有彩色照片显示,见参考文献[3]),并且很快在 X 与 O 的交点处形成突水通道。此时沿长边的两个板块与周边仍可形成如图 3 所示的反三铰拱式 S-R 平衡结构^[2]。只有当水压进一步加大时,才会破坏它的稳定性,从周边产生突水。最容易产生突水的

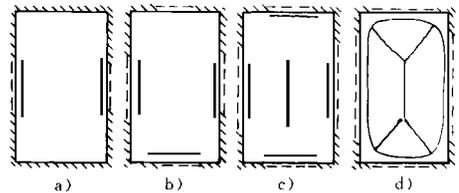


图 2 底板的破坏形式

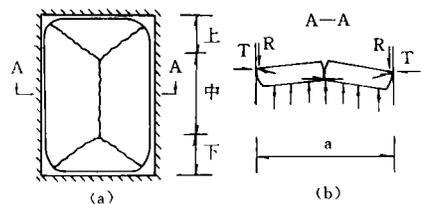


图 3 关键层形成的反三铰拱结构

a —— 关键层的跨距; T —— 水平挤压力; R —— 剪切力。

突水点位于 O 与 X 的交点, 这主要是因为 X 型裂缝中都是下表面相互咬合, 而在 O 型裂缝中都是上表面相互咬合, 只有在 O 与 X 型裂缝的交点处上下表面都不咬合, 因此, 这一位置最容易产生底板突水。文献[2]的理论分析也证实了这一点。对应于工作面就是上、下出口处最容易突水, 尤其是下出口, 因为靠工作面上、下出口附近, 一般直接顶板还未垮落, 其底板关键层上的反向荷载比采空区小, 而下出口标高一般较低, 其水压比上出口大, 中部岩梁则可能形成反三铰拱式 S-R 平衡结构^[2]。这就从实验上解释了工作面下出口处突水机率最大, 上出口次之, 中部最小的现象。

另外, 从底板岩层的 OX 型破坏特点证明, 尽管在底板关键层上加铺了附加岩层, 但破坏仍取决于底板关键层, 仍然是 OX 型破坏, 这就从实验上证明了底板突水的关键层(KS)理论^[2~4]是正确的。

4 断层构造条件下底板突水的模拟研究

4.1 模型总体设计及相似材料选择

本模型模拟的目的是要弄清楚断层突水的实质及其影响断层突水的主要因素。根据文献[4], 对断层突水的模拟, 可以简化为对断层两盘关键层闭合、张开(活化)情况及其随工作面推进方向、推进位置关系的模拟。考虑到支承压力对底板的破坏作用, 在模拟关键层的破坏时在其上加铺一层附加较软岩层, 模型采用平面应力模型, 其总体设计如图 4。

该模型采用的几何相似常数为 $\alpha=100$, 容重相似常数为 $\alpha_r=1.54$, 泊松比、内摩擦角相似常数均为 1, 时间相似常数为 $\alpha_t=10$ 。相似材料选用砂子、碳酸钙及石膏, 其配比如表 2。

4.2 实验结果及分析

模型 1、2、3 设计如图 5, 主要考察断层倾向相对于推进方向不同的突水难易程度及其本质。实验结果表明, 当断层倾向向左, 而工作面从左往右推进, 且左边长度较小时, 其突水的可能性小于工作面

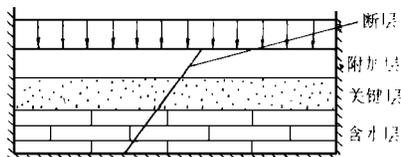


图 4 断层突水模型的总体设计

表 2 相似材料的配比及其物理力学参数

序号	岩层名称	配比号	容重 /N · cm ⁻³	α /kPa	α /kPa	α /kPa	α/α	α/α
model 1、2	附加层	655	15	121	16	42	1/7.6	1/2.9
	关键层	537	15	197	30	75	1/6.6	1/2.6
model 3~6	附加层	673	15	78	11	32	1/7.1	1/2.4
	关键层	537	15	197	30	75	1/6.6	1/2.6

含水层

注: 含水层由砂和石子组成。

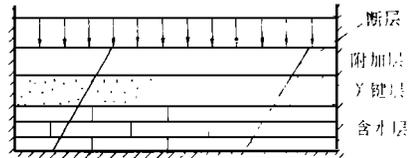


图 5 断层突水机理模型总体设计

从右向左推进的情况, 即与文献[4]中分析的张开型断层比闭合型断层更容易产生突水的结论完全一致。对于某一具体矿区范围, 由于其地质构造运动经历基本相同, 因此其断层的倾向也具有一定的规律性, 这就为特定条件下工作面开切眼的布置提供了理论依据。对于断层突水的实质, 实验结果表明, 随着工作面的不断推进, 由于断层两边板块的长度不同, 断层两盘向上位移就不一致。当两盘相对位移差达到一定大小时, 承压水即通过断层带突出, 并且在突水的过程中伴有断层带充填物的冲刷。这与文献[4]的理论分析也是完全一致的。

Model 4~6 考察了断层张开程度 K 距工作面煤壁 L₁ 和距老塘煤柱 L₂ 距离的关系, 实验结果见表 3。

从表 3 可以看出, 断层两盘关键层越容易产生相对位移时, 断层就越容易突水, 即张开型断层两盘长度相差越大, 越容易突水。

表 3 突水时断层两盘岩梁最大向上位移

序号	距煤壁距离 L ₁ /cm	距煤柱距离 L ₂ /cm	靠煤壁岩梁最大位移 δ /mm	靠煤柱岩梁最大位移 δ /mm
Model 4	30	24	63	41
Model 5	32	22	24	5
Model 6	27	27	70.5	70.5

* Model 6 突水与其它模型不同, Model 6 是从岩梁的两侧冒水, 不是从断层带冒水, 这主要是由两侧密封所给的位移量大小所决定。

5 结论

a. 在没有断层构造条件下,承压水的作用使底板呈 OX 型破坏,并且在 O 与 X 的交点处最容易产生突水通道,即对应于工作面上、下出口处最容易产生突水通道。

b. 断层突水的实质是断层在承压水作用下断层两盘关键层向上产生张开位移,而且当断层越容易产生最大张开量时,越容易发生突水事故。在突水的同时一般伴有断层带充填物的冲刷。

c. 断层突水与否与工作面布置及推进方向有关,张开型断层比闭合型断层更容易产生底板突水。

d. 底板突水机理的相似材料模拟研究结果,证明了文献[2]、[3]、[4]分析底板突水的关键层(KS)理论体系是正确的。

参考文献

- 1 张金才,刘天泉.论煤层底板采动裂隙带的深度及分布特征.煤炭学报,1990;15(2)
- 2 黎良杰,钱鸣高.底板岩体结构稳定性与底板突水关系的研究.中国矿业大学学报,1995;24(4):18~23
- 3 黎良杰.采场底板突水机理的研究.中国矿业大学博士论文,1995
- 4 黎良杰,钱鸣高.断层突水的力学分析.煤炭学报,(待刊)
(收稿日期 1995-11-30)

RESEARCH ON THE TESTS OF WATER-INRUSH FROM FLOOR SIMULATED BY SIMILAR MATERIALS

Li Liangjie Yin Youquan (Peking University)

Qian Minggao (China University of Mining & Technology)

Abstract The mechanism of water-inrush from coal floor in longwall face is simulated by the similar material tests. The results show that the O-X type failure will occur in the floor without fault but under the water-pressure of the confined aquifer, and the passage of water-inrush will be most easily formed at the point of intersection of "O" and "X"; The reason for water-inrush through fault is that the difference of upward relative displacements happens at the key strata of two sides of fault under the confined water pressure, and the more easily the most difference of displacement occurs, the more easily the accident of water-inrush happens, and the fill in the fault zone is eroded by the confined water while the accident of water-inrush occurs.

Keywords simulation tests; floor-inrush; fault.

(上接第 59 页)

就变得十分有害而不容忽视。对策:

a. 改用加速度检波器芯体,是治本之术;

b. 速度检波器芯体选型。选型是指在制做充气式两分量速度检波器前,以二次谐振作为选取槽波速度检波器芯体的主要依据。其主要要求有三点,其一要求检波器芯体的二次谐振幅度尽量小,其二要求检波器芯体的二次谐振峰数尽量少,其三要求检波器芯体的二次谐振峰频率高于 1 kHz;

c. 增大速度检波器芯体的阻尼,最简单的方法是减小速度检波器芯体上并联阻尼电阻的阻值,但应注意其副作用会降低速度检波器的灵敏度;

d. 增大槽波反射法施工中的纵向偏移距,当然这种作法要适当,否则会增大槽波反射法探测的盲区和分辨率;

e. 采用小药量和高覆盖次数的观测方法;

f. 在震源孔和检波器孔增填减震材料,其目的在于减小声波引起的横向激励强度;

g. 在遥控单元中增设专用带阻滤波器;

h. 在槽波数据处理时实施带阻滤波。因为尽管是同一型号同一批速度检波器芯体,其二次谐振频率也不完全相同,而是具有一定的离散性。我们在实践中曾试用过单谷陷波器的办法,因为很容易失谐,所以效果不如带阻滤波办法,若采用二级或三级带阻滤波处理,其效果会更好。

4 结论

尽管槽波反射法在实际应用中有上述种种局限性,只要能够正确地认识,就能更好地应用该方法探测矿井小构造,为采矿提供可靠的地质依据。

(收稿日期 1996-03-27)