

承压水沿煤层底板递进导升突水机理的物理法研究*

王经明 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 完整底板和非完整底板的注水试验发现底板深处的耗水早于浅部,显示底板的破裂发生在采前,相似材料模拟具一定导升高度的底板在采动中的变化揭示了同样的规律。底板的原位应力测试发现承压水在采前出现了向上入侵的现象,二次应力给导升的发展提供了条件,递进导升是突水机理之一。

关键词 突水 机理 模拟 注水试验

中国图书资料分类法分类号 P641.4

作者简介 王经明 男 41岁 博士研究生 高级工程师 水文地质工程地质

1 引言

煤层底板突水机理的研究对华北型煤田的水害防治有着重要意义。早在50年代这项研究就已开始,自80年以来,由于开采强度加大,煤矿突水频率和强度都有所增加,突水机理的研究有了迅速的发展。多项突水机理观点先后问世,其中较为流行的观点有:“下三带”说^[1]、“零位破裂”说^[2]和“岩水应力关系”说^[3]。其中仅“下三带”说涉及到导升高度这一重要的水文地质现象,这一观点认为底板完整岩石带和导升高度带的变化发生在采后。

然而根据笔者的现场实测和模拟试验发现,导

升高度变化不是发生在采面的后方而是发生在采面的前方。煤层底板突水是由于承压水导升高度在采矿过程中的递进发展引起的,即本文所要探讨的递进导升的突水机理。人们知道在承压水的富水区存在着一定高度的天然导升。开采过程中,在水压和二次应力的共同作用下,承压水沿裂隙递进地向上入侵,当入侵到底板破坏区时便突出。突水判据为:

$$H_0 + \Delta H - h \geq M,$$

式中 H_0 ——原始导升高度;

ΔH ——递进导升高度;

h ——底板破坏深度;

M ——底板全厚。

如果 $H_0 + h = M$,称为原始导升突水;如果 $H_0 + h > M$,为超越导升突水。

* 国家自然科学基金项目,批准号 49872084

参考文献

预测模型的研究. 中国矿业大学硕士论文, 1994

(收稿日期 1999-05-04)

1 郑纲. 贵州汪家寨煤矿充水因素分析和矿井涌水量非线性即时

THE STUDY OF IMMEDIATE PREDICTING NONLINEAR MODEL OF MINE DISCHARGE IN WANGJIAZHAI COAL MINE

Zheng Gang Wei Jianghan (Xi'an Branch, CCRl)

Abstract In Wangjiazhai Coal Mine, the discharge is mainly controlled by precipitation. In order to predict discharge, discharge series and precipitation series are used to establish immediate discharge nonlinear predicting model. By the mutual relation analysis between the discharge series and the precipitation series, the discharge is 0~1 month later than the precipitation. Applying the time series blend threshold autoregression model, the immediate discharge nonlinear predicting model Tarso [2, (1, 1), (1, 1)] is established. The discharge in 1991 is predicted, and the error ratio is 10%~20%, which meet the requirements of mining. Not only the selfrelation of discharge, but also the mutual relation between the discharge and the precipitation is considered in the model, it is applicable to the coal mines in the South of China in which discharge is controlled by precipitation.

Keywords discharge; time series; blend threshold autoregression; forecast

2 递进导升的试验研究

为了了解煤层底板的突水过程,在煤层底板的完整岩体内和断层内分别进行了注水试验。

2.1 断层带的注水试验

两个注水孔安排在某工作面煤层底板的试验巷道内,终孔于断层带。孔 1 的注水段是在煤层底板下 14.3 m 深处 (法向);孔 2 的注水段为煤层下 29.6 m 深处 (法向)。注水开始于工作面前方 (采前) 60 m (+ 60 m),结束于工作面后方 (采后) 60 m (- 60 m)。采用恒压注水,以观察断层在采矿过程中透水性的变化,观测结果如图 1 所示。从图中可以看出 29.6 m 深注水段的耗水主要发生在工作面的前方。开始时钻孔并不耗水,当工作面距注水孔 51.3 m 时,钻孔突然耗水,耗水量达 50 L/h,随着工作面的推进,注水量发生了振荡性的变化,但注水量总的变化趋势是随采面的推进而下降,当工作面采过后,注水量衰减到 8 L/h 以下,当工作面采过 20 m 时,注水量降为零。对于 14.3 m 深注水段的孔 2,钻孔耗水发生在工作面前 40 m (+ 40 m)至工作面后方 60 m (- 60 m) 区段内。初期钻孔的耗水量近乎为零 (+ 60 ~ + 40 m);但当工作面推进到距注水孔 40 m 时,钻孔开始耗水达 50 L/h,随着工作面的推进,注水量有所减少,一度降至 20 L/h (+ 22 m)处;当工作面推进到 20 m 时,注水量猛增到 300 L/h 以上,该水量一直保持到观测结束,两个深度段的注水量对比可以发现:

a. 断层带内底板深部的耗水明显早于浅部,且主要发生在工作面前方,这说明采矿对深部的影

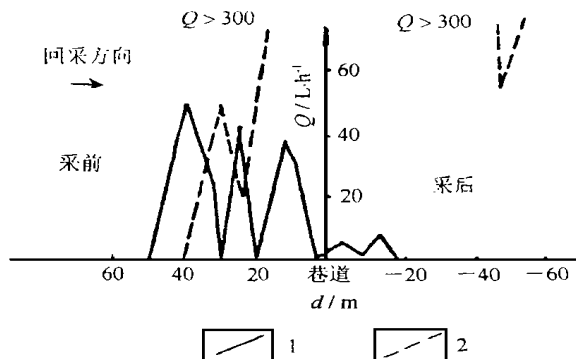


图 1 底板断层内注水量与采面位置的关系

1—孔 1 的耗水量; 2—孔 2 的耗水量

响或破坏较早;对浅部的影响较晚。

b. 底板浅部断层带的耗水量远大于深部,这说明采矿对浅部影响或破坏较深部强。随工作面推进,底板所受的影响或破坏是由深到浅向上发展的。

这一采矿引起的水文地质效应^[4]在突水机理研究上很有意义。

2.2 完整底板的注水试验

注水孔位于工作面上巷距切眼 86 m 处,孔深 20 m,以 76°倾角倾向工作面。钻孔从 6 m 深到孔底分 12 个注水段,进行常压注水,注水开始于采前 45 m (+ 45 m),结束于采后 115 m (+ 115 m)。注水初期,即工作面距注水孔大于 20 m 时,注水量很小,可以忽略不计。当工作面推进到距注水孔 + 20 m 时,注水孔 14 m 以下层段耗水量开始增加,达到 1 000 t/min,而 14 m 以上层段耗水量保持不变,仍然小于 500 t/min,如图 2 所示。在注水间歇期间,出现了一个很有意义的现象,钻孔 18 m 深处以下开始涌水,水源为距煤层约 22.5 m 深的徐庄灰岩,当工作面推进到 + 15 m 时,出水段发展到 16 m 深处;当工作面推进到 + 10 m 时,出水段发展到 14 m 深处,以后再没有向上发展。涌水现象持续到采面过后 20 m 方才停止,此后的注水量明显变小。但注水量与深度的关系和采前相似。这项试验表明,煤层底板 14 m 深以下的岩体在工作面前方一定范围处于相对引张状态,裂隙扩展。但必须说明,地下水的水压在涌水方面起着不容忽视的作用,可以认为承压水在底板内已自然入侵到一定高度,开采过程中,在张性二次应力和承压水的楔劈致裂作用下,水头渐进地向上入侵,即递进导升。如果水头入侵到底板破坏带时,便形成突水,在本次试验中,水头仅入侵到底板下 14 m 深处,没有和 11 m 深处的破坏带沟通,

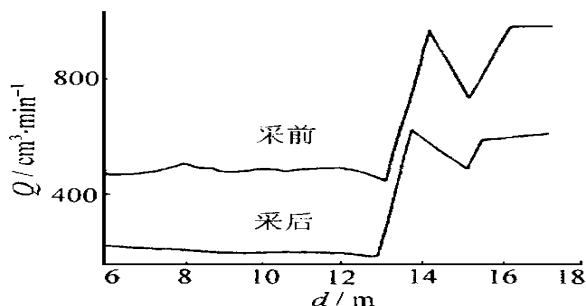


图 2 完整底板注水量与采面位置的关系

Q—注水量; d—孔深

所以没有突水。

上述两个试验表明不论是破坏底板还是完整底板在开采过程中,都具备引张破坏的力学条件,都反应了承压水具有递进导升的条件。

3 递进导升突水的实验研究

为了了解煤层底板有导升存在时的突水过程,进行了相似材料模拟试验。试验模型长 3 m,高 2 m,厚 0.2 m,以 1:100 的比例模拟真实情况。在模型中煤层底板设置了两条和含水层相通的断层,在断层内用充气的橡皮囊模拟承压水的导升高度。为了预测应力、位移状态和断层的活动情况,在模型上安装了大量的传感器,其中监测断层的传输器有 7 个。(图 3)模拟时首先在模型顶部和底部同时施加地层荷载和水压荷载,然后由左侧 50 m 处以走向长壁式开挖,每步开挖 5 cm,高 4 cm 共开挖 25 步。从观测曲线(图 4)可以看到开挖前水平应变为压性。在开挖开始时,断层带的水平压应力开始逐渐降低。当工作面推进到距 F₁ 断层 24 cm 时,最下部的 106 号应变片由压缩转变为拉伸,随着工作面的推进,106 号应变片发生了多次阶梯式地上升,此后应变保持不变。位于中部的 105 号应变片也显示了类似的规律:最初水平应变也为压性,随着工作面向断层接近,应变逐渐向张性发展,当工作面距断层 5 cm 时,应变由压性变为张性,直到工作面达到断层时这种变化才停止。最上方的 104 号应变片显示出采动对断层的这一部位影响很小。

对比 3 个应变片的观测值可以看出:

a. 拉伸或断裂扩展首先从断层的最下部开始,逐渐向上发展;

b. 断层带深部的拉伸或扩展开始于工作面前方。由于水压和导升水头的模拟是通过气囊实现的,

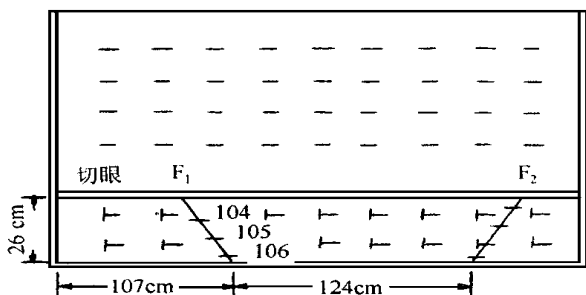


图 3 相似模拟实验结构图

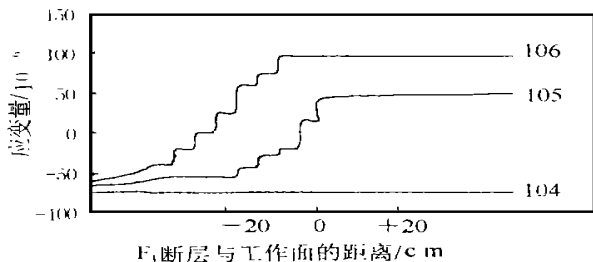


图 4 煤层底板不同深度的断裂

在开采过程中应变变化曲线而气囊的长度不能随裂隙扩展前进,因此无法模拟到导升的递进发展过程,这可能是上部的拉应变小于下部的原因。但从拉应变的先后次序上可以看到递进导升的形成条件和发展趋势。

4 递进导升原位应力观测研究

原位应力测试地点为某工作面下巷。工作面处煤层至奥陶系泥灰岩 30 m,至奥陶系灰岩(奥灰)强含水层 60 m,奥灰水水压为 0.8 MPa,根据物探,奥灰水沿断层带导升高度为 27 m。根据这种条件进行水压和应力的监测,即水头距煤层底板 33 m 27 m 深处的水压传感器显示当工作面距观测孔 45 m 42 m 34 m 27 m 时水压呈阶梯状地下降了 4 次。当工作面推进到距观测孔 18 m 时,水压急剧上升。(图 5)说明岩体发生了 5 次破裂,最后一次破裂使奥灰水导升高度发展到传感器处。20 m 深处传感器显示当工作面距观测孔 34 m 27 m 和 20 m 时,水压也呈阶梯状地下降 3 次。当工作面前进到 15 m 时,水压又急剧上升并稳定。(图 6)这也是裂隙扩展所造成的,最后一次破裂标志着奥灰水向上导升了 40 m。

水压曲线显示,深部的水压变化超前于浅部,这反应出奥灰水导升高度的发展过程,观测结果和注水试验结果具有很好的一致性。根据观测值,采用

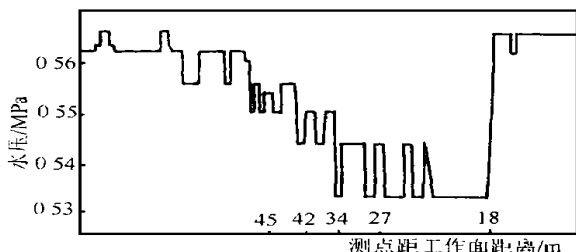


图 5 底板下 33 m 27 m 处水压随工作面推进的变化曲线

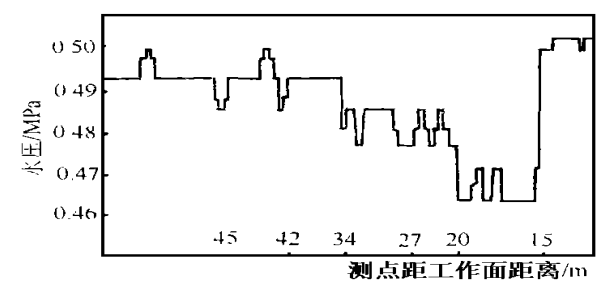


图 6 底板下 20 m 处水压随工作面推进的变化曲线

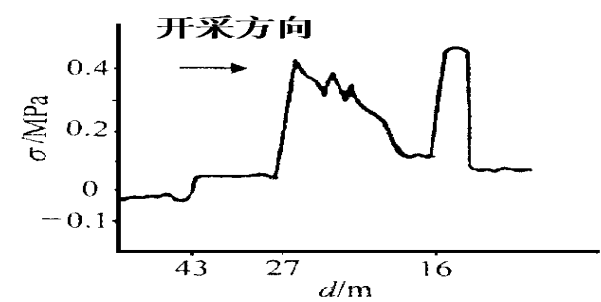


图 7 底板下 18 m 深处应力随工作面推进的变化

了数值模拟,并进行了突水预测,认为当工作面推进到观测孔处时,将发生突水。果然当工作面距钻孔只有 5 m 时,出现了顶板压力增大,支架下陷,底板轻度鼓起的直接突水前兆。于是工作面立即搬家到新切眼处,留下 30 m 的煤柱。

应力曲线也有相应的变化。当测点在工作面前方 43 m,底板 10 m 深处的二次地应力由压性转变为张性;当测点在工作面前方 27 m 时,张应力猛增,显示了顶板瞬间来压现象。(图 7)应力测量曲线

显示其变化是梯状的,和水压的变化一致,变化的阶段也和水压变化相对应,可以认为水压的变化是由应力引起的。

5 结束语

通过注水试验、模拟试验和底板预测,笔者认为在工作面前方煤层底板一定深度下,岩层处于相对拉伸状态,这是承压水导升发展的环境应力条件,承压水在裂隙内的楔劈致裂作用是裂隙扩展和导升发展的外荷载之一,二者的结合是导升高度递进发展的原因,在适当的条件下,可以导致突水。这就是本文提出的递进导升突水机理。导升突水可以根据判据 $H_0 + \Delta H + h \geq M$ 判别,其中 H_0 和 h 可以探测到,只有 ΔH 需要通过监测水压、水温、应力、应变等标志得到。数值模拟可以对 ΔH 进行预测,以实现突水预报。

参考文献

- 1 李白英. 采动矿压与底板突水的研究. 煤田地质与勘探, 1986 (6): 30~ 36
- 2 王作宇, 刘鸿泉. 承压水上采煤. 北京: 煤炭出版社, 1993
- 3 王成绪, 邓中. 煤层开采过程中底板突水的弹塑性有限元模拟及初步分析. 北京大学学报, 1990 (6): 711~ 719
- 4 王经明, 董书宁. 采矿断层扰动及水文地质意义. 煤炭学报, 1997 (4): 361~ 365

(收稿日期 1998- 11- 17)

PHYSICAL INVESTIGATION ON WATER INRUSH FROM COAL FLOOR INDUCED BY PRESSURE WATER PROGRESSIVE INTRUSION UP INTO PROTECTIVE AQUICLUDE

Wang Jingming (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract Not only water injections into both fracturing and intact coal floor strata but also the physical simulations about these two kinds of floor reveal that water drain in the upper part takes place earlier than the lower part in bore holes and rocks in deeper part of coal floor break or fracture ahead of working face. In-situ measurements verify the above by observing the confined water intruding up into the coal floor, the protective strata, before mining. This paper considers the secondary stress as the condition of pressure water up intrusion. The water progressive intrusion is one of the theories about mechanism of water inrush.

Keywords water inrush; mechanism; simulation; water injection test