

承压水底板失稳过程的数值模拟

刘红元¹, 唐春安²

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110006; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

[摘要] 利用自行开发的岩层破断过程分析系统, 对承压水底板的失稳过程进行了数值模拟。根据模拟结果, 分析了承压水底板失稳的机理, 对承压水底板的突水部位进行了预测。通过与理论分析方法和实验的对比, 说明了岩层破断过程分析系统可以作为一种新的数值模拟方法研究承压水底板突水问题。

[关键词] 底板突水; 数值模拟; 失稳

[中图分类号] TD823.83 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225(2001)01-0050-02

煤层底板突水是一种地质及采动影响现象, 是煤层下伏承压水冲破底板隔水层的阻隔, 以突水、缓发或滞发的形式进入工作面, 造成矿井涌水量增加或淹井的自然灾害。张金才等用解析方法从力学的角度对底板岩层进行了理论分析, 白晨光等提出应用突变理论来研究煤矿生产中底板突水问题。然而由于底板突水的多因素性, 采用一种方法较准确地预测煤层底板突水是较难做到的。作为一种尝试, 本文提出了应用自行开发的岩层破断过程分析系统来模拟煤矿生产中的底板突水问题, 旨在探讨承压水底板的突水机理及预测突水部位。

1 力学模型

煤层开采之后, 从煤层底板到底部承压含水层顶板之间可以分为“两带”, 即底板采动导水裂隙带 h_1 及完整隔水带 $h - h_1$ 。在采动导水裂隙带中岩层主要受到矿压的影响而产生导水裂隙。完整的隔水带仍受到矿压的影响, 但是其影响程度较小, 不产生破坏性裂隙, 由于其下部为承压含水层, 在水压力的作用下, 隔水带像板一样产生弯曲变形。

在正常的开采条件下, 对于长壁采煤工作面当煤层为近水平及缓倾斜状赋存时, 可以假设底板隔水带是四边固支的矩形平板。板的上部受底板导水裂隙带重力 h_1 的作用, 下部受均布水压力 P 的作用。隔水带的自重看成是以 $(h - h_1)$ 作用于板面的面力, 如图 1 所示。

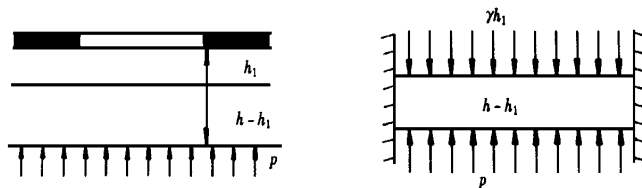


图 1 力学模型

2 数值模拟

2.1 数值模拟模型的建立

岩体是地壳的一部分, 由于岩石的建造和改造, 使得岩体内出现了不连续面, 具体表现为岩石的层面、断裂、劈理、节理等。因此, 岩体具体复杂的力学特性, 如弹性、塑性、粘性等。根据岩体

的生成特点和工程需求, 抓住岩体的主要特征, 对其进行概化, 得出工程岩体的等效介质模型。

从煤系地层的沉积过程来看, 岩体具有明显的“成层”性, 所以又称之为岩层。地质学家把岩层定义为“由同一岩性组成的、有两个平行或近于平行的界面所限制的层状岩石”, 即每一岩层具有相似的物理力学性质。虽然岩体的每一个岩层具有复

[收稿日期] 2000-07-28

[基金项目] 国家杰出青年科学基金(编号: 59472018)及中科院力学所开发基金资助项目

[作者简介] 刘红元(1974-), 湖南隆回人, 1997年毕业于东北大学采矿系, 2000年3月在东北大学采矿系获硕士学位, 现为东北大学博士研究生, 主要从事岩石破裂与失稳方面的实验和数值模拟工作。

杂的力学性质，但许多文献表明：仅考虑弹性或者弹塑性，而不考虑弱面，二者结果相近，且与现场实测资料吻合。开采引起的岩体变形与工程岩体尺寸相比可视作小变形。根据前述的力学模型，在本数值模拟模型中，对每一岩层的物理力学参数如弹性模量、强度、泊松比等赋一个平均值和均质度，通过韦伯统计分布来使每一岩层具有相似的物理力学性质。通过分步开挖来模拟采动的影响，具体的数值模拟模型如图2。

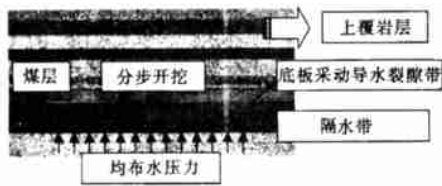


图2 数值模拟模型

2.2 数值模拟方法

依据上述的模拟模型，利用自行开发的岩层破断过程分析系统对底板隔水带失稳进行数值模拟。岩层破断过程分析系统是基于有限元的计算方法，但又不同于有限元的基本思路。通过嵌入的韦伯分布等各种统计分布函数，对模型的材料参数进行随机赋值，使其具有非均匀性和各向异性的特点。认为当单元应力达到单元破坏强度时，单元发生破裂，为使模型的几何连续性得到满足，仍然假定单元继续存在，只是单元参数发生了急剧变化。通过分步开挖来考虑采动所引起的卸荷力学效应及损伤积累，模拟采动岩体的动态发展过程。通过液体单元的设置，来模拟静水压力对岩层的作用，通过对裂纹扩展的跟踪，来模拟导水裂隙形成后渗透挤压压力的作用。

2.3 数值模拟结果及分析

数值模拟结果见图3中的应力图和弹模图。应力图中的灰度代表应力的的大小，应力越大，图形越亮，应力越小，图形越暗。从图中可以看出，随着工作面的推进，水压以静力的形式作用于岩层，使岩层产生变形与破坏。一旦静水压力导致岩层产生导水裂隙后，渗透挤压力随着裂纹的扩展而导致岩层破坏深度的加深。在压缩阶段，即煤壁下方的底板岩层中，随着工作面的推进，底板岩层在静水压力的作用下产生弯曲变形，由力学分析可知，底板岩层的下界面受拉应力作用，而上界面受压应力的作用，如图3应力图中的(a)，(b)所示，由于岩

石的抗拉强度远远低于抗压强度，所以首先在底板岩层的下界面产生张裂隙，如图3中的(c)所示，而含水层顶板岩层下界面的张裂隙能直接造成承压水挤入岩层中形成导水通道而导致岩层破坏深度的加深，如图3中的(d)，(e)，(f)所示，数值模拟结果表明此处是易产生突水部位。在膨胀阶段，即采空区的底板岩层中，随着采空区底板在静水压力的作用下产生变形，使采空区底板上界面受拉，而下界面受压，如图3中的(a)，(b)所示，由力学分析可知，采空区底板上界面中部所受的拉应力最大。随着工作面的推进，当采空区底板上界面的中部拉应力达到单元的抗拉强度后，在采空区底板的的上界面的中部首先产生张裂隙，进而扩展，如图3中的(c)，(d)，(e)，(f)所示，数值模拟结果说明此处也是易发生突水部位。综上所述，采动后，承压水底板中煤壁下方岩层的下界面及采空区下部岩层的上界面是导致岩层破坏的关键。这与实

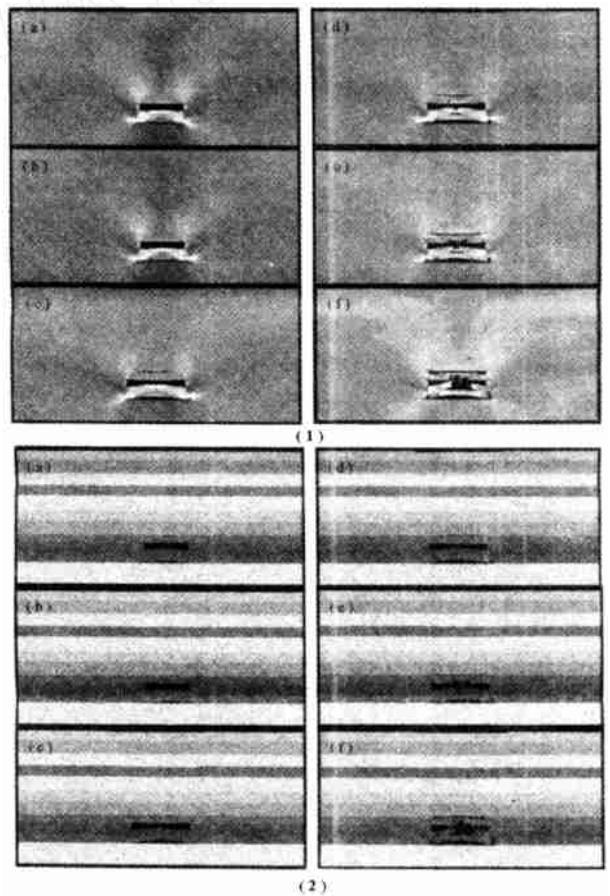


图3 承压水底板失稳过程的数值模拟
(1) - 应力图；(2) - 弹模图

(下转 41 页)

压显现观测结果,掘进期间顶底板移近量 192mm,两帮移近量 43mm;回采期间顶底板移近量 91mm,两帮移近量 93mm;在巷道的整个变形过程中,顶底板总移近量 439mm,两帮总移近量 141mm。巷道断面总收缩率为 22.78%,完全可以满足生产需要。而同期在该巷道架设的工字钢梯形棚,顶底板总移近量达 1194mm,棚梁多处被压弯,底鼓尤其严重,分别在掘进期间和回采安装支架前进行了 2 次卧底;帮部矿压显现也较明显,发生多处片帮和背帮材料折断现象,个别棚腿还出现了倒扎角现象,支护效果明显不如锚杆。

从西三采区 11-2 煤层胶带机下山的矿压观测结果来看,掘进 4 个月后顶底板移近量累计 25~30mm,两帮移近量累计 43~60mm;从围岩深部位移测站资料来看,顶板下沉量最大仅为 1mm,没有出现急剧下沉情况,表明顶板没有离层现象;而该下山上部 300m 左右的巷道,有的采用传统的锚、网、喷支护,有的采用架 U 型棚支护,掘进仅半年左右,巷道断面即严重变形,顶底及两帮移近量均在 400mm 以上。矸喷层大部分开裂脱落,部分顶板开裂破碎,甚至冒落,局部 U 型棚断裂,矿上已进行多次返修。

4.2 经济效益和社会效益

1151 (1) 下顺槽新的锚杆支护工艺与传统工艺相比,每米节约锚杆 11 根(原来锚杆间排距均为 600mm × 600mm),支护费用降低 44%,缩短了打

眼、安装锚杆等工序占用的时间,进尺速度得以大幅度提高。与矿用工字钢支护相比,每米巷道能节约 800~1 000 元。

西三采区 11-2 煤层胶带机下山采用锚梁网 + 锚索联合支护每米费用为 1 287.7 元,而同类架棚支护每米费用为 3 000 元左右,新的支护材料费用比原来下降了 50%~60%。

良好的支护效果杜绝了返工浪费,掘进劳动强度减小,辅助运输工作量少,简化了回采工作面端头支护,大大提高了生产的安全性。

4 结语

实践证明,潘一矿通过对围岩支护条件、锚杆支护机理的分析,合理选择了锚杆支护方式和参数,收到了良好的技术效果和经济、社会效益。一些具体问题,在现有的锚杆理论体系中,只要积极探索、勇于实践,不难克服,完全可以把锚杆支护工艺全面推广。

[参考文献]

- [1] 陕西省建筑设计院. 建筑材料手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [2] 侯朝炯, 等. 煤巷锚杆支护[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.
- [3] 袁和生主编. 煤矿巷道锚杆支护技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.

[责任编辑: 邹正立]

(上接 51 页)

验结果是一致的。从图中的底板突水发展过程中顶板的活动规律还可以看出,在顶板初次垮落时,底板发生突水失稳,此时,工作面推进距离为 40m。这与文献 [2] 指出的底板突水多发生在初次来压期间,此时,工作面距开切眼 20~40m 的结论也是一致的。

4 结论

尝试了用自行开发的岩层破断过程分析软件模拟承压水底板的失稳过程,分析底板突水的机理,对底板的易发生突水部位进行预测。根据所建立的数值模拟模型,以直观的图形方式展现了承压水底板的失稳过程,且分析得出了某些结论,如承压水底板最易发生突水的部位是底板的最大膨胀处等,这和其它承压水底板突水研究方法所取得的结论是

一致的,同时也说明了所开发的岩层破断过程分析系统可以作为一种新的数值模拟方法,来研究承压水底板突水问题。

[参考文献]

- [1] 张金才, 张玉卓, 刘天泉. 岩体渗流与煤层底板突水[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [2] 白晨光, 黎良杰, 于学馥. 承压水底板关键层失稳的尖点突变模型[J]. 煤炭学报, 1997.
- [3] Peng, S. S.: Surface Subsidence Engineering [M]. Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc., 1992.
- [4] C. A. Tang and P. K. Kaiser. Numerical simulation of cumulative damage and seismic energy release during brittle rock failure. Part I: Fundamental J. Int. Rock And Min. Sc. 1998 (2).
- [5] C. A. Tang P. K. Kaiser. Numerical simulation of cumulative seismic energy release during brittle rock failure. Part II: Fundamental J. Int. Rock And Min. Sc. 1998 (2).

[责任编辑: 邹正立]

煤矿开采

ENGLISH ABSTRACTS

The Technical Direction for the Development of Coal Mining in China—The paper introduces the direction for the mining with high efficiency, safety, clean, and Sustainable development, addresses the main work for coal science and technology at the beginning of the new century, reviews the achievement in roadway supporting, and points out some problems to be solved in future.

A Discussion on the Synthetic Technology System for Mining under Water Bodies—The theory of system engineering is the basic theory that constructs the synthetic technology system in underwater mining study. Inspired by this conception, the author comprehensively expounds the study contents and methods, test technology and means, and its carry-out steps. All of these provide guarantee for correctly evaluating the safety and rationality of underwater mining, deeply studying and truly mastering the underwater mining technology, and achieving to the safe and rational underwater mining.

Computer Interior Management and Drawing System on the Engineering Survey of Coal Mining and Roadway Driving—The paper introduces the computer interior management and drawing system on the engineering survey of coal mining and roadway driving. This system standardizes the computer interior management, intellectualizes drawing, storing, and editing. It is used well in Jinpushan Coal Mine.

Design and Management for the Working Face Without Supporting—Zhangzhuang Coal Mine in Xinwen Mining Area uses the mining technology without supporting to extract the coal under railway bridge. 400, 000t coal has been mined out from 6 working faces. It solves the problem of the hard roof, full height mining, low efficiency.

Test of Bolt-beam Support in Great Section Roadways under Compound Roofs—The Paper introduces the test of bolt-beam support in large section roadways un-

der compound roofs. The test optimizes the parameters to ensure roadway stability with good technical economic benefit.

Feasibility Study on the Technology of Filling the Vacant Space of the Caving Rock with Cement Materials—Filling the vacant space of the caving rock with cement materials is a new method to reduce subsidence. The paper mentions the principle, predicts the result, and put forward some suggestion about the application of this method.

Practice and Study on Reducing Subsidence by Filling the Overburden Separations in Multi-Seams—The paper fully mentions the location of the overburden separations, the location and structure of the drilling hole, the filling system, and the subsidence survey. It analyzes the result of filling the overburden separations.

Numerical Simulation for the Failure Process of Floor with Water Pressure—The instable progress of floor with water inrush is simulated with the Stratum Failure Progress Analysis (SFPA) system. Based on the result, the mechanism of instability in the floor with confined water is studied and the instable position is forecasted. Compared with theoretical approach and experiment, SFPA is a new numerical simulation approach to study the problem of instability in the floor with confined water.

Analysis of the Features of Support Running in Extra-long Face with Longwall Top-coal Caving Mining—Taking the extra-long face NO. 4326 with long-wall top-coal caving mining in Wangzhuang Coal Mine as an example, the paper analyzes the working state of the increasing face length, appraises its adaptation. The paper points out that Model ZZZ4800-17/33F supports are basically suitable to the full seam mining. By the adoption of the two-pump and two-circuit system, a great increase of setting load of the support is made to enforce the stability control at the end face.

Application of the Dynamic Power Function in the Design of 4-linkage Support for longwall Top-Coal Caving Faces—The parameters of the 4-linkage structure can be optimized with the dynamic power function. This method solves the problems of seeking the solution of super equation by computer.

(胡炳南 译 富强 校)