

文章编号:1000-582x(1999)06-0080-05

⑮  
80-85

# 关键层-应力墙瓦斯突出机理

吕绍林, 何继善,  
(中南工业大学, 长沙 410083)

TD71D.1

**摘要:**认为瓦斯突出的发生和发展受控于赋存在岩石-含瓦斯煤-岩石体系中诸多因素的综合作用,并在此基础上提出了关键层-应力墙的瓦斯突出机理。

**关键词:**瓦斯突出机理; 关键层-应力墙; 瓦斯突出媒体; 地球物理场

中图分类号: TD 713

文献标识码: A

物理模型

突出机理

瓦斯突出机理研究是一项十分重要的理论性工作,得到了世界各国的充分重视,特别是近20年来瓦斯突出机理的研究取得了巨大的进展。瓦斯突出机理综合作用假说得到了世界范围的公认,在此假说的指导下又出现了一些更为先进的瓦斯突出机理理论。国内外不同学者从不同的侧面、不同的研究角度,采用不同的研究方法和技术途径提出了100多种瓦斯突出机理的假说。瓦斯突出机理假说作为科学的理论体系,它的提出为煤与瓦斯突出防治提供理论依据。笔者在瓦斯突出的媒体结构特征、瓦斯突出媒体的力学特征、瓦斯吸附和放散特征、瓦斯突出媒体的强度及相同破坏条件下的破碎特征等瓦斯地质和地球物理介质条件研究的基础上提出了关键层-应力墙瓦斯突出机理,其主要目的是服务于瓦斯突出地球物理场的建立和识别,并在此基础上最终提出以电磁法为主的地球物理方法预测瓦斯突出新技术。

## 1 瓦斯突出的物理模型

### 1.2 研究现状

瓦斯突出的物理模型的建立是研究瓦斯突出地球物理场的基础和前提。国内外一些学者,特别是从力学角度研究瓦斯突出的学者曾提出过力学涵义上的瓦斯突出理论模型。那些模型都是为满足力学分析和计算上的需要而建立的,他们在其中强调了影响瓦斯突出的诸多因素中的某一方面的内容或作了简化和假设。德国的 H. Lippmann 等人<sup>[2]</sup>把瓦斯突出煤层视为平行无限水平煤层进行的应变状态分析研究,将简化的弹塑性理论用来揭示瓦斯突出的某些机理。澳大利亚的 L. 佩特森<sup>[3,4]</sup>提出了如图1所示的物理模型,并利用有限元方法进行了煤层二维应力分布计算,认为突出是与瓦斯压力梯度有关的体积力所产生的应

收稿日期:1999-04-28

基金项目:国家自然科学基金项目资助(49674230)

作者简介:吕绍林(1960-),男,河南人,博士,现为长春科技大学博士后研究人员。主要从事瓦斯灾害预测防治及工程地球物理勘察研究。

力造成的煤体结构的破坏,体积力不仅影响工作面煤层的稳定性,同时也影响到顶底板的稳定性。辽宁工程技术大学的梁冰和章梦涛<sup>[5]</sup>提出了与 L. 佩森相仿的物理模型,用来研究拉应力作用下的煤和瓦斯突出的失稳机理及数值模拟;中国矿业大学方键之和中国科学院力学研究所俞善炳和谈庆明<sup>[6]</sup>提出了描述瓦斯突出的一维模型,把煤体破坏划分为层裂和层裂片的粉碎两个阶段,即层裂—粉物理模型,见图 2。

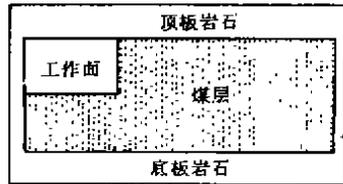


图 1 佩特森等提出的瓦斯突出理论模型

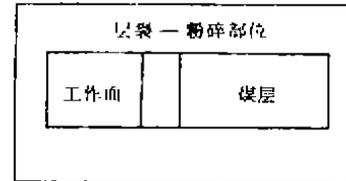


图 2 方键之等提出的瓦斯突出理论模型

## 1.2 关键层理论模型

瓦斯突出煤体是在突出前就已经客观存在的地质体。其呈现出来的严重破坏结构是在地质历史时期形成的。瓦斯突出煤体的存在和分布特征从本质上决定了瓦斯突出。虽然国内外对瓦斯突出机理的认识还停留在假说阶段,迄今还未形成统一的认识,但对瓦斯突出物理模型的研究则大同小异。通过大量瓦斯突出事例研究表明,瓦斯突出是一个以力学现象为主的地质问题,它的发生发展受

控于多种赋存在岩石—煤—瓦斯—岩石这一物理体系中的诸多因素。因此,作者提出了瓦斯突出关键层理论模型,见图 3。该模型由边界层、伴随层和关键层物理介质层组成。边界层是煤层的顶底板岩石,是发生瓦斯突出的边界条件。一般由渗透性较差的坚硬、刚性的岩石组成,具有封闭性质,有利于瓦斯的赋存和富集,在瓦斯突出中起到传递应力、积蓄能量的作用。由伴随层和关键层构成的瓦斯突出煤层是突出时破碎和抛出的主要对象,是瓦斯突出动力现象的主体。伴随层是指瓦斯突出煤层中的非突出煤体,它在瓦斯突出中扮演着辅助角色,即伴随关键层而参与突出。关键层就是前面所述的瓦斯突出煤体,其具有严重破坏结构,有较高的吸附瓦斯的能力和在煤体突然破坏情况下能快速放散瓦斯和把细粒物质喷向自由空间的能力。瓦斯突出往往只发生在该层或首先在该层发动后波及到整个煤层,瓦斯突出的危险程度随着该层厚度的加大而增加,该层是发生瓦斯突出必要的介质条件,也是从地球物理场和从地质角度研究瓦斯突出的主要对象和目的层,故称为关键层。

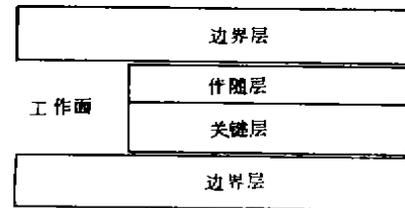


图 3 作者提出的瓦斯突出理论模型

## 2 关键层—应力墙瓦斯突出机理

### 2.1 关键层的形成

大量的现场观测证明,关键层是在瓦斯突出动力现象发生前就已经存在的客观地质体,是煤体在煤层的形成过程中受到构造应力作用发生变形的产物。它的形成和存在取决于一定的地质背景和地质条件。瓦斯突出物理模型的力学特征研究结果也表明,关键层在瓦斯

突出中起着决定性的作用。不存在关键层时,不管其它条件如何变化都不会发生瓦斯突出,这主要是由于不含关键层的煤层全为非突出煤体。非突出煤体煤质坚硬,为各向异性体。而瓦斯突出煤体为分散相介质,块状土状结构,在一定范围内可视为均质各向同性体。压力的作用会促进各向异性体的物理结构发生变化,静力的长时间作用会促进煤的芳香族稠环平行层面有规则地排列<sup>[7]</sup>。在采场应力作用下,非突出煤体易于形成许多层内裂隙或结构弱面,但由于其本身固有强度大而较难于达到破坏极限。故在此种情况下只能使瓦斯得到卸压,煤体的弹性应变能得到均匀释放,不会发生瓦斯突出。因此,关键层的形成是大自然的杰作,其存在从本质上决定了瓦斯突出的可能性和对瓦斯突出的控制作用。

### 2.3 应力墙的形成

井工煤矿的巷道开挖作业破坏了煤层中原岩应力平衡状态,煤体中应力发生重新分布。大量的矿压观测和开采实践表明,在采场前方煤体中存在着3个应力带,即卸压带(或称应力完全释放带)、应力集中带和原岩应力带。卸压带顾名思义就是应力得到了充分释放的带,此处煤体发生破裂,强度降低,只能承受低于原岩应力的载荷,煤体透气性增加,瓦斯大量解吸并释放到采场。原岩应力带的煤体远离采掘空间,基本上不受采掘动应力的影响,可以认为仍然处于原始应力状态。应力集中带位于卸压带和原岩应力带中间,在此带内煤体受力呈双向或准三向状态。由于矿山压力、地应力和瓦斯压力的共同作用,应力带内的煤体发生缩聚断裂<sup>[8]</sup>而处于十分复杂的应力状态。我们把位于应力集中峰峰顶附近位置的、有一定宽度,形似上述两带之间的分割墙的应力带称为应力墙。应力墙不等于应力集中带,它是应力集中带的中心部位,是承受最大采场压力和严重破坏的主体。应力墙内的煤体在峰值应力作用下,发生破坏,产生大量的裂隙,但随着矿山压力集中程度的增加,煤体内的裂隙不断产生、丛集和扩展,形成一个微裂隙密集的应变集中区,此区煤的力学性质发生明显的变化。随着应力作用的进一步增加,丛集的微裂隙间距逐渐变小,最终产生闭合。一方面应力墙对瓦斯气体具有阻隔作用,另一方面矿山压力又在某些方面和一定程度上阻止了煤的膨胀变形,导致了处应力墙内的煤体在高应力区被压缩,弹性变性能也就在应力墙内积蓄并逐渐增加。应力墙是由高压的气态瓦斯和严重破碎的半流态的煤(指煤在高压力作用下呈现出流变性质)组成,此时,工作面前方的应力墙和周围介质构成了一个二维力学变形系统,该系统处于动态平衡状态中。应力墙是采场集中应力造成的必然结果。

### 2.3 关键层和应力墙的作用

煤体在应力作用下的最终宏观断裂破坏与其内部微裂隙的分布、相互作用扩展密切相关,关键层在瓦斯突出中的作用是为瓦斯突出提供所必备的介质条件。关键层是煤层在强烈的构造应力的作用下形成的高分散相、多孔含气介质,其中含有大量随机分布的微孔隙和裂隙,故其煤体具有丰富的内表面积,储集瓦斯空间大,吸附瓦斯的能力很强,具有卸压后快速解吸瓦斯的能力。且被切割成粒状或鳞片状的构造煤的力学强度明显降低,煤的力学稳定性较差,受外力作用时所需要的破坏能量较小。关键层在瓦斯突出煤层中的存在有利于形成高应力梯度和高瓦斯含量梯度的快速破坏条带,即有利于应力墙的形成。再者,瓦斯突出煤体的高地应力作用下,进一步扩展会闭合,造成煤的透气性能降低,能够使煤体聚集大量的弹性能和形成具有携带破碎煤能力的高压瓦斯流,进而成为瓦斯突出发生时破碎和作用的主体,其存在有利于突出的发生和发展。关键层的瓦斯突出中的作用同时影响着应力墙内储集能量的大小和破坏煤体所需要的能量。

当应力墙具有发生瓦斯突出的临界条件时,由于采掘工作的扰动使应力墙处于非平衡状态,就会发生失稳破坏,引起大量弹性潜能的释放。巨大的弹性势能和瓦斯内能可以转化为巨大的机械功,使煤体在极短的时间内产生雪崩似的破坏。应力墙的中心位置距工作面的距离越小突出危险性也就越大。应力墙在瓦斯突出中的作用还体现在时间因素上。

### 1) 准备阶段

此阶段也可称做能量积聚阶段。在采场应力作用下,在工作面前方出现3个应力带,应力集中的进一步发展形成应力墙,瓦斯正常的排放受阻,在应力集中带和卸压带之间形成很高的瓦斯压力梯度,在应力墙内瓦斯膨胀能和弹性潜能开始积聚,直到具备发动瓦斯突出的能量并逐渐向工作面移近。

### 2) 发动阶段

当掘进破坏了应力墙的动态平衡状态时,煤层出现了自由表面,压力降低,煤体弹性能突然释放,煤体开始破坏,瓦斯在较大的压差下快速释放并伴随有气体动力现象。快速释放的弹性潜能和瓦斯内能共同发动了瓦斯突出。

关键层-应力墙瓦斯突出机理认为,关键层的存在和应力墙的形成是发生瓦斯突出的决定因素,即发生瓦斯突出的内因,采矿作业破坏应力墙的力学平衡状态则是瓦斯突出发生的外因。外因通过内因而起作用,关键层和应力墙的综合作用就为瓦斯突出提供了所需的内因条件。

## 3 关键层-应力墙瓦斯突出机理的意义

关键层-应力墙瓦斯突出机理可以描述为关键层的存在使煤层具备了发生瓦斯突出的破坏介质条件和在采场集中应力的作用下容易在工作面前方形成高瓦斯内能和高弹性潜能的应力墙,当应力墙的动态平衡破坏后发生瓦斯突出,见图4。其意义如下:

1) 该假说既承认瓦斯突出是在地压、瓦斯和煤的物理性质共同作用的结果,更强调了瓦斯突出发生的地质背景和地质条件。认为关键层是瓦斯突出的必要条件,但不是充分条件。瓦斯突出的充分条件是煤的物理性质,采场应力和瓦斯压力共同作用而形成的应力墙,应力墙处于动态平衡状态,平衡状态打破即发生突出。关键层-应力墙瓦斯突出机理可以较好地解释瓦斯突出机理综合假说能够解释的全部瓦斯突出动力现象。

2) 综合假说中的煤的物理性质需要大量的实验测定才能取得,况且误差大,测试周期长,目前还无法实现现场测定等缺陷,瓦斯也需在现场测定。笔者提出的假说中关键层作为一种地质现象是可知的。根据国内多数矿区的研究,关键层(即瓦斯突出煤体)物理力学性质、瓦斯吸附和放散特征基本是相同的,只是存在着厚度上的差异,即不同矿区发生瓦斯突出的关键层临界厚度不同。关键层的分布和应力墙的位置均可在现场直接测得,及时指导防治瓦斯突出灾害。

3) 关键层被认为是一个特殊的地质体,是在发生瓦斯突出前就已经存在的客观实体。关键层和应力墙构成了瓦斯突出地球物理场的介质条件,关键层和应力墙的空间上的分布

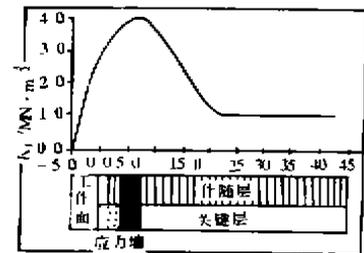


图4 关键层-应力墙瓦斯突出机理示意图

规律及相互作用机制属于地球物理问题。不仅可以利用地球物理方法进行关键层的预测,而且可以预测掘进工作面前方应力墙的存在及与工作面的相对位置。依据该突出机理可以提出全新的瓦斯突出预测阶段,填补非接触式瓦斯突出区域性预测的空白。实现瓦斯突出预测从接触式向非接触式的过渡。该假说的提出为研究瓦斯突出地球物理场奠定了理论基础。

#### 4 研究结论

笔者提出了一种基于瓦斯突出机理综合假说的全新的瓦斯突出机理假说——关键层-应力墙瓦斯突出机理,假说可以描述为关键层的存在使煤层具备了发生瓦斯突出的介质条件,在采场集中应力的作用下容易在工作面前方形成具有高瓦斯内能和高弹性潜能的应力墙,当应力墙的动态平衡被破坏就发生瓦斯突出。该假说既强调了瓦斯突出是综合作用的结果,更强调了瓦斯突出发生的地质背景和地质条件。可以很好地解释突出综合假说能够解释的全部瓦斯突出动力现象。关键层和应力墙在空间上的分布规律及相互作用机制属于地球物理问题并构成了瓦斯突出地球物理场的重要介质条件。该假说主要服务于瓦斯突出地球物理场的建立和识别,对实现瓦斯突出预测从接触式迈向非接触式具有重要的指导意义和实用价值。

#### 参 考 文 献

- [1] 吕绍林, 瓦斯突出地球物理场研究[博士论文][D]. 长沙:中南工业大学, 1998.
- [2] [德]LIPMANN H. 关于煤矿中“突出”的理论[J]. 力学进展, 1990, (4): 452~467.
- [3] PATERSON L. A model for outbursts in coal[J]. Int J Rock Mech Sci & Geomech Abstr, 1986, 23(4): 327~332.
- [4] HARGRAVES A J. Instantaneous outbursts of coal and gas—a review[J]. Proc. Australas. Inst. Min. Metall, 1983, 285: 1~37.
- [5] 梁冰, 章梦涛. 拉性载荷作用下煤和瓦斯突出的失稳机理及数值模拟[J]. 湘潭矿业学院学报, 1995, (2): 1~5.
- [6] 方键之, 俞善炳, 谈庆明. 煤与瓦斯突出的层裂-粉碎模型[J]. 煤炭学报, 1995, (2): 149~153.
- [7] 邱贤德, 庄乾城. 采场应力和煤结构和瓦斯突出关系的浅析[J]. 煤炭科学技术, 1994, (8): 2~6.
- [8] SIH G C, MACDONALD B. Fracture mechanics applied to engineering energy density fracture criterion[J]. Engineering fracture mechanics, 1974, (6): 61~86.

## Key Layer and Stress Dike Mechanism of Coal and Gas Outbursts

LU Shao-lin, HE Ji-shan

(Central South University of Technology, Changsha, Hunan 410083, China)

**ABSTRACT:** The outburst coal mass is a geologic body which had objectively existed before outbursts occurred. The authors think the occurrence and development of coal and gas outbursts are controlled by comprehensive factors according to a host of facts of outbursts in their researches, and all the

factors belong to the system of "rock-coal-gas-rock". Therefore the authors put forward a completely hypothesis, i. e. key layer and stress dike mechanism of coal and gas outbursts. This hypothesis emphasizes that the outbursts are the result of comprehensive action by coalbed gas, abutment stress and physical and mechanical properties of coal. Of special interest is emphasizing the geologic background and conditions of outbursts to a great extent. Any phenomenon of outbursts which a person could observe could be qualitatively explained with the hypothesis so that the hypothesis can serve the study of geophysical field of outbursts perfectly.

**KEYWORDS:** mechanism of coal and gas outbursts; key layer and stress dike; outburst coal mass; geophysical field

(责任编辑 钟学恒)

§ §

(上接 40 页)

## The Fuzzy Inputting And Outputting Method in Vibration Fault Diagnosis of Steam Turbine - Generator Set

LI Hua<sup>1</sup>, SUN Cai-xin<sup>1</sup>, HU Xue-song<sup>1</sup>, YUE Gang<sup>2</sup>, WANG Ken<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Chongqing Generating Plant, Chongqing 400053, China)

**ABSTRACT:** A fuzzy neural network diagnosis model is established on the basis of the vibration failure features of steam turbine - generator set, two kinds of fuzzy inputting method are discussed. At last, the performance of the fuzzy neural network is compared with that of the conventional BP network. The results show that the method presented is suitable for identifying the vibration failure of steam turbine - generator set, and it is more efficient in deal with the uncertain data than BP network diagnosis.

**KEYWORDS:** fault diagnosis; steam turbine - generator sets / FNN; fuzzy inputting method

(责任编辑 李胜春)