

撒占友 何学秋 王恩元 著

煤岩流变

MEIYAN LIUBIAN
DIANCI FUSHE XIAOYING
JI TUCHU YUCE

电磁辐射效应及突出预测

煤炭工业出版社

国家自然科学基金重点项目 (50134040)

国家自然科学基金项目 (50574050, 50204010)

国家杰出青年基金项目 (59925411)

建设部科技项目 (04-2-015)

煤岩流变电磁辐射效应 及突出预测

撒占友 何学秋 王恩元 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤岩流变电磁辐射效应及突出预测/撒占友, 何学秋, 王恩元著. —北京: 煤炭工业出版社, 2006

ISBN 7-5020-2850-1

I. 煤… II. ①撒…②何…③王… III. 煤岩—流变—电磁辐射—研究 IV. P618.11

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第010483号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居35号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 5^{5/8}

字数 142 千字 印数 1—500

2006年6月第1版 2006年6月第1次印刷

社内编号 5634 定价 20.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

随着矿井开采深度和开采规模的增大,煤与瓦斯突出、冲击地压等煤岩动力灾害事故发生的频次和强度亦呈现增强趋势。煤岩动力灾害事故给煤矿安全生产,特别是对井下作业人员的生命和财产安全造成了极其严重的威胁。为防止该类事故的发生,世界各主要产煤国均投入了大量的人力、物力研究煤与瓦斯突出机理,以便为突出危险性预测和防突措施的制定与实施提供科学依据。但是,迄今为止,对煤与瓦斯突出过程中煤岩体破坏与发展机制的认识还处在定性和假说阶段,如单因素作用假说、综合作用假说、流变假说等,还未能形成统一完整的理论体系。单因素作用假说主要有瓦斯主导作用假说、地应力主导作用假说以及化学本质作用假说;综合作用假说是受到多数学者们普遍公认的一种假说,即认为煤与瓦斯突出是由地应力、瓦斯压力及煤体自身的物理力学性质三者综合作用的结果;流变假说认为煤与瓦斯突出是含瓦斯煤岩体快速流变的结果,流变假说可很好地解释煤与瓦斯突出延期突出的动力现象。各国学者在对煤与瓦斯突出灾害事故产生机制进行研究的同时,对煤与瓦斯突出预测方法及防突措施也进行了深入研究,并取得了许多可喜的研究成果。目前,常用的煤与瓦斯突出预测方法按预测过程和连续性分有静态(非连续)点预测法和动态(连续)空间预测法两大类。常用的静态点预测法有综合指标 D 与 K 法、钻屑指标($S_{\max}$ 、 Δh_2 、 C 、 K_1)法、钻孔瓦斯涌出初速度 q 法、综合指标 R 值法、煤的瓦斯放散初速度 Δp 法等。常用的动态空间预测法有3种,一是利用环境监测系统连续监测工作面的瓦斯涌出变化特征,分析瓦斯涌出与突出的关系,从而预测煤与瓦斯突出;二是声发射监测技术;三是电磁辐射监测技术。

受载煤岩体在变形破裂过程中,伴随着裂纹的产生与扩展,以

弹性波形式向外释放一种弹性应变能,这种弹性应变能就是声发射。声发射技术已应用于矿井煤与瓦斯突出危险性预测,应用声发射Kaiser效应测定岩层地应力亦在矿山、石油、水利等行业得到广泛应用。声发射技术虽然可用于连续动态预测煤层突出危险性、测定岩层地应力,但也存在许多不足之处,如监测过程中要求声发射传感器必须与煤岩体完好耦合,这在实际测试过程中是很难实现的,故监测到的声发射信号常常不能真正反映煤岩体的破坏程度和煤层突出危险性。电磁辐射是受载煤岩体在变形破坏过程中产生的、以电磁波形式向外释放一种电磁能。电磁辐射技术在地震领域得到广泛应用,20世纪90年代,电磁辐射技术开始在矿山用来预测煤与瓦斯突出、冲击地压(岩爆)等煤岩动力灾害,如俄罗斯学者V.I.Frid结合现场研究了煤的物理力学性质、受力状态及瓦斯状况对采掘工作面电磁辐射强度的影响,认为岩石和瓦斯突出灾害的增加改变了采矿工作面附近岩石的不同物理参数,岩石破裂电磁辐射方法可以进行岩石与瓦斯突出预测;何学秋、刘明举、王恩元等对煤岩变形破坏电磁辐射特征、规律及产生机制进行了深入研究,提出了煤与瓦斯突出、冲击地压等煤岩动力灾害电磁辐射预测方法,研制出KBD5型煤与瓦斯突出(冲击地压)电磁辐射监测仪,在我国20余个矿区(井)推广应用。

煤岩流变破坏电磁辐射效应基础理论研究是电磁辐射技术应用于矿井煤岩动力灾害预测、岩体稳定性监测和地应力测试等工程实际的理论基础和前提。研究表明,不同类型的煤岩在载荷作用下变形破坏均有电磁辐射和声发射信号产生,且随着载荷和加载速率的增加而增强;瓦斯压力越大,受载煤岩破坏过程中电磁辐射和声发射信号越强;煤岩流变破坏电磁辐射具有记忆效应,即具有记忆先期最大应力、最大应变等参数的能力。

《煤岩流变电磁辐射效应及突出预测》一书是在广泛参阅前人研究成果的基础上,根据作者几年来的煤与瓦斯突出电磁辐射预测理论研究成果与工程实践而完成的。全书概括了煤岩流变破坏过程中电磁辐射信号变化规律记忆效应特征、记忆内容和实质、

产生机理、工作面煤岩流变破坏电磁辐射动态趋势预测方法等方面的理论与技术。全书共分8章：第1章介绍了国内外煤岩流变破坏电磁辐射效应理论和煤与瓦斯突出预测理论研究现状；第2章介绍了煤岩流变破坏电磁辐射效应实验系统、方案和实现过程；第3章介绍了煤岩流变破坏过程中电磁辐射噪声信号来源，以短时分形理论为基础，提出了煤岩电磁辐射信号的短时分形模糊控制滤波方法，并对不同加载阶段煤岩电磁辐射信号进行了频谱分析；第4章叙述了不同加载方式（连续、循环加载）煤岩流变破坏电磁辐射信号特征及变化规律以及煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应特征及记忆内容；第5章叙述了煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应的实质和微观损伤机理，提出了煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应的力电耦合模型；第6章叙述了工作面煤岩流变破坏电磁辐射影响因素及煤与瓦斯突出前兆电磁辐射特征变化规律；第7章叙述了工作面煤岩流变破坏电磁辐射神经网络预测方法；第8章叙述了工作面煤岩流变破坏电磁辐射异常判识技术。

本书的撰写，参阅了大量的国内外相关文献，他们的研究成果给了作者很大启发，在此谨向文献的作者表示诚挚的谢意。特别感谢中国矿业大学窦林名教授、刘贞堂博士、聂百胜博士、河南理工大学刘明举教授、中国安全科学研究院王云海博士在专题研究过程中给予的指导和帮助。感谢中国矿业大学刘长友教授、李玉寿高工、周钢高工、张少华老师、马文顶老师、赵海云老师等在实验室实验方面的帮助和支持，感谢沈阳矿业集团红菱矿、淮南矿业集团潘三矿和谢一矿、邢台矿业集团东庞矿、徐州矿业集团张集矿等有关领导与工作人员在现场试验方面的大力支持。

由于作者的水平有限，书中疏漏谬误之处在所难免，恳请读者不吝指正。

著 者

2006年1月10日

目 录

前 言

1 绪论	1
1.1 煤岩流变破坏电磁辐射效应研究现状	1
1.2 煤与瓦斯突出电磁辐射预测理论研究 现状	7
1.3 研究方法与研究内容	11
2 煤岩流变破坏电磁辐射效应实验方案	12
2.1 煤岩流变破坏电磁辐射效应实验系统	12
2.2 煤岩流变破坏电磁辐射效应实验方案	18
2.3 煤岩流变破坏电磁辐射效应实验的实现 过程	21
3 煤岩流变破坏电磁辐射信号处理与分析	24
3.1 煤岩流变破坏电磁辐射信号噪声来源及其 频谱分析	24
3.2 煤岩流变破坏电磁辐射信号的短时分形 模糊滤波去噪	27
3.3 煤岩流变破坏电磁辐射信号的频谱分析	39
4 煤岩流变破坏电磁辐射信号变化特征及规律	55
4.1 全程连续加载煤岩流变破坏电磁辐射信号 特征及规律	55

4.2	循环加卸载煤岩流变破坏电磁辐射信号特征及规律.....	62
4.3	煤岩流变破坏电磁辐射效应的记忆内容及变化规律.....	82
4.4	瓦斯、水对循环加卸载煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应的影响.....	84
5	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应的实质及机理.....	89
5.1	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应的实质及变化规律.....	89
5.2	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应损伤机理.....	97
5.3	煤岩流变破坏电磁辐射记忆效应力电耦合模型	108
6	工作面煤岩流变破坏电磁辐射影响因素及变化规律	118
6.1	采掘工作面电磁辐射主信号源位置的初步分析	118
6.2	工作面煤岩流变破坏电磁辐射影响因素分析	120
6.3	煤与瓦斯突出前兆电磁辐射特征变化规律的探讨	135
7	工作面煤岩流变破坏电磁辐射的神经网络预测方法及应用	139
7.1	自适应神经网络的基本原理及实现步骤	139
7.2	煤与瓦斯突出电磁辐射自适应神经网络预测预报原理	141
7.3	电磁辐射自适应神经网络预测煤与瓦斯突出危险性的特点	145
7.4	自适应神经网络在煤与瓦斯突出电磁辐射	

预测中的应用	146
8 工作面煤岩流变破坏电磁辐射异常判识技术及应用	151
8.1 工作面煤岩流变破坏电磁辐射信号的异常判识	151
8.2 电磁辐射信号异常判识模型的试验性应用	160
参考文献	167

1 绪 论

1.1 煤岩流变破坏电磁辐射效应研究现状

岩石破坏电磁辐射的研究是与震前电磁波的异常变化研究紧密相连的。地震工作者从震前电磁波异常现象中发现地壳岩层破裂过程中有电磁辐射信号产生, 中国和前苏联是这方面研究较早的国家, 美国、日本、希腊、瑞典、德国等许多国家也均发现了极为明显的震前电磁异常现象, 并开展了研究。

前苏联中亚的阿什巴尔德 (1948)、勃里奇穆拉 (1959)、塔什干 (1966)、格罗兹尼 (1971)、塔瓦克 (1977) 等地地震时见到了光现象, 有的还记录到了上空电离层临震频率变化、大气电位改变等电磁异常现象。1978 年 M. A. 萨多夫斯基用仪器测量到了天然电磁辐射的异常畸变。20 世纪 90 年代初, A. B. 波诺马廖夫研究单轴循环加载时岩石样品 (花岗岩、云英岩、水泥) 电阻和固有带电的变化, 发现了与岩石内部破裂发展有关的局部电状态异常, 指出了非弹性电效应, 给出了室内和野外岩石破裂前兆的例子; Г. A. 索波列夫等进行了玄武岩和凝灰岩样品的单轴压缩应变实验, 并在混凝土样品中同时记录了应变、声发射、超声波、电阻率和自由电位等地球物理参数, 研究了壁垒破裂过程, 认为震电效应值 E 随样品中裂缝生成过程的进展而有规律地增大, 其变化幅度随应变速率增加而增大, 综合观测力学的、声学的、电学的参量可进行壁垒破裂的时间预报; M. E. 佩列利曼和 H. Г. 哈季阿什维利认为产生电磁辐射主要有 5 种机制: ①离子晶体发生断裂时, 裂缝表面形成电荷不均匀镶嵌, 当裂缝突张, 这种不均匀镶嵌导致电磁辐射; ②这类裂缝类似电容器, 裂缝宽度的振动使其成为电磁辐射发生器; ③晶体中电荷位错的振动产生电磁辐

射；④掺入微量金属产生浮动电荷，浮动电荷的振动导致电磁辐射，辐射频率为超声波频率；⑤双电层压缩和扩张时，古伊（Гун）层的容量发生变化并辐射剩余能量。

美国学者 Nitson 在实验室研究了岩石破坏过程中电磁辐射现象，最先提出压电效应是产生电磁辐射的原因。而 Шевцов、李均之、徐为民、孙正江等所做的实验表明，含压电材料和不含压电材料的岩石都有电磁辐射产生。М. В. Гохберг、И. Л. Гуфельд 等认为，岩石的力电效应（包括压电效应、斯捷潘诺夫效应、摩擦起电、双电层的破坏和断裂）和动电效应均可能是电磁辐射源。Ogawa 等认为，岩石破裂时产生新生表面，其裂缝的两侧壁面带有相反的电荷，相当于一个偶极子充电和放电，向外辐射电磁信号。Cress 等认为，岩石破裂时有新生的碎石片，其表面有静电荷分布。这种带电碎片的转动、振动和直线运动是产生低频电磁辐射的主要原因；而在断裂面上电荷分离产生强电场，使空气击穿产生高频电磁信号。Р. М. Гольд 等认为岩石变形及破裂时产生电磁辐射是形成的带电裂隙壁面间的气体被击穿而放电的结果。М. И. Мирошниченко 等通过实验排除了这种击穿放电观点，认为不含压电材料的玻璃破裂时也能产生电磁辐射且裂隙壁面上自由电荷的变速运动会产生电磁辐射。日本的 Yuji Enomoto 等在室温下通过对花岗岩、大理岩等岩石进行单轴压缩实验，发现不论岩石是否含石英等压电材料，其破裂前均优先产生瞬态电信号，且在迅速变形直至破坏过程中瞬态电信号非常明显，可以用于预测地震。俄罗斯的 O. A. Molchanov、日本的 M. Hayakawa 通过实验室岩石压缩实验发现岩石微破裂过程中有甚低频电磁辐射产生。V. V. Ivanov 等通过受载岩石电磁辐射和破坏动力学的研究，提出了电磁辐射理论模型，由已知的破坏电磁辐射参数值预测固体物质破坏时产生的电磁辐射值。

我国开展地震电磁辐射研究是在1976年唐山7.8级地震后开始的，国家地震局地球物理研究所、北京工业大学、安徽省地震局、北京大学和北京市第三十一中学等单位从野外爆破实验和室

内模拟实验等方面进行了研究。钱书清等从野外观测到大块岩石破裂过程中发射的电磁波；李均之、徐为民、孙正江等的室内实验研究结果表明，岩石受力发生破裂时发射电磁波并发光；郭自强等进行了岩石破裂的光声效应、电子发射、电声效应的实验研究，并用电四极子模型计算了近区电磁场的频率特性，提出了电子发射的压缩原子模型，认为当岩石受到压缩时，在相邻原子的泡利斥力下原子动能将剧增，电子将最终克服原子核的库仑引力和近邻原子“泡利势墙”的约束而电离成自由电子，形成电子发射；朱元清等对电磁辐射的机理进行了研究，并建立了电磁辐射的数学模型，认为岩石破裂电磁辐射是裂纹尖端电荷随着裂纹加速扩展运动产生的；熊皓对地震前兆进行了研究，认为孕震过程中机电转换机制可能由断裂与摩擦起电、压电效应、斯捷潘诺夫效应及动电效应等引起，同时压电效应和动电效应存在反效应，即电磁能的一部分以电致伸缩、震动及欧姆形式损耗，转变为机械能和热能，并加剧源区应变和破裂过程，有利于主震的发生；王炽仑等认为岩石受压破裂成碎块时，在断裂面产生电荷分离、聚集或震荡，电荷运动产生电磁场，并利用超导量子干涉仪测得了长石砂岩和石英岩破裂电磁辐射的磁场强度数量级 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ nT}$ 。

何学秋和刘明举认为煤岩变形破裂过程中有电磁辐射产生，是由诱导电偶极子的瞬变、裂隙边缘分离电荷随裂隙扩展作变速运动以及裂隙壁面分离电荷的弛豫等综合作用产生的，压电效应、摩擦起电、带电缺陷（如空位、线性位错、刃形位错等）的非平衡应力扩散、共价键断裂、EDA 键断裂和分子力的消长等原因导致裂隙壁面产生电荷分离；对于含瓦斯煤来说，EDA 和共价键断裂是裂隙壁面上电荷分离的重要原因，电荷分离产生高强电场大大降低了表面势阱的深度和宽度，削弱了对粒子的束缚作用，使之逃逸成自由粒子，形成粒子辐射，粒子辐射削弱壁面间的电场，是分离电荷弛豫的主要方式。王恩元认为煤岩变形破裂时产生电磁辐射有两种形式：一种是自由电荷特别是试样表面积累电荷引

起的库仑场(或静电场);另一种是带电粒子作变速运动而产生的电磁辐射,是脉冲波。在非均匀应力作用下非均匀煤岩体各部分产生的非均匀形变,由此引起电荷迁移,原来自由的和逃逸出来的电子由高应力区向低应力区迁移,同时在试样表面积累大量的电荷,形成库仑场,电荷的变速迁移会产生低频电磁辐射。裂纹扩展前,在裂纹尖端煤体内积累了大量的自由电荷(主要为电子),由此形成很强的库仑场。裂纹扩展时,向外发射带电粒子(主要为电子),带电粒子在裂纹尖端库仑场的作用下加速运动,运动的带电粒子碰撞周围介质分子或原子,发生减速运动,形成阻尼发射。裂纹扩展时带电粒子的变速运动是形成高频电磁辐射的主要原因。

电磁辐射技术在地震、煤与瓦斯突出、冲击地压、岩体稳定性预测预报的应用方面已取得了许多可喜的研究成果。V. I. Frid等结合现场研究了煤的物理力学性质、受力状态及瓦斯状况对采掘工作面电磁辐射强度的影响,采用谐振频率为100kHz的天线测定了多种采矿条件下的电磁辐射,并用电磁辐射脉冲数指标确定了工作面前方岩石突出的危险程度,认为岩石和瓦斯突出灾害的增加改变了采矿工作面附近岩石的不同物理参数,岩石破裂电磁辐射方法可以进行岩石与瓦斯突出预测。Airuni等经研究认为煤在外力作用下有电磁辐射产生,利用电磁辐射可以确定煤体燃烧、瓦斯抽放及采掘工作面附近的应力再分配情况。H. Г. Хамияцвили测定了矿井采煤过程中由爆破引起的矿山冲击及塌陷时的电磁辐射谱,在实验室测定了不同岩石及复合岩层(煤层在砂岩层之间)破坏时的电磁辐射。20世纪90年代后期,何学秋和王恩元分析了含瓦斯煤岩破裂过程中电磁辐射的特征,提出了以电磁辐射强度 E 和脉冲数 N 为测定指标的煤与瓦斯突出(冲击地压)电磁辐射预测法,系统研究了电磁辐射法预测煤与瓦斯突出的原理和技术。

煤岩变形破坏电磁辐射记忆效应是煤岩变形破坏电磁辐射效应的重要特征之一。其与声发射Kaiser效应有着诸多相似的特点,

均是对煤岩历史应力水平和应力历程记忆的具体表现形式。对于煤岩变形破坏声发射Kaiser效应特征,前人已经作了大量的研究工作,并应用于生产实际,而对煤岩破坏电磁辐射记忆效应的研究则处于刚起步阶段。声发射Kaiser效应最早(1953)是由Kaiser在对磁滞材料(如金属)反复施加应力时发现的,经过一次应力作用后的磁滞材料,当再次施加应力时,在应力水平达到先前所施加的应力水平前,其声发射信号较弱或无声发射信号,而当应力水平达到先前所施加的应力水平后,声发射信号突然增强,这种现象称为声发射的Kaiser效应。岩石声发射Kaiser效应是由Goodman(1963)在对Boise砂岩、Berea砂岩和石英闪长岩等岩石进行声发射实验时发现的,Hughson、Muraymama等的研究表明,安山岩、石灰岩、花岗岩等许多其他材料均具有声发射Kaiser效应。樊运晓通过单轴压缩试验对岩石声发射的Kaiser效应记忆内容、实质和机理进行了研究,认为岩石的Kaiser效应记忆的内容包括先前应力、纵向应变和横向应变,并且记忆3项参数超前或滞后具有明显的一致性,其记忆准确程度随加载阶段的不同而不同;记忆的实质是岩石内部物理特性,具有记忆先前体应变、弹性模量和泊松比的能力,其中尤以弹性模量的记忆能力表现为最好,不仅记忆准确,而且记忆稳定,各加载阶段的记忆准确程度基本相当;岩石单轴压缩下声发射产生的真正原因是加载过程中试样不断受到损伤,岩石声发射Kaiser效应的机理在于对岩石先前损伤的记忆。Muraymama、卢兴宇分别用花岗岩和水泥砂浆进行声发射Kaiser效应方向独立性试验,结果表明每个方向的Kaiser效应基本不受其他方向应力的影响;王建军用房山花岗岩进行了声发射Kaiser效应试验,结果表明,测试的应力均低于预加应力值,且侧向应力变化在轴向应力测试中有所反映,说明侧向应力的存在对AE法测试的可靠性是有影响的;陈忠辉等利用统计损伤模型研究了岩石声发射的Kaiser效应机制,建立了声发射数和岩石微元损伤统计分布之间的定量关系,根据微观统计损伤理论,利用简单的力学模型推导出单轴应力状态下的Kaiser效

应表达式；黄志鹏等根据裂纹尖端微裂纹密度理论，假定声发射总数与裂纹尖端的显微裂纹总长度成正比，推导出了岩石裂纹稳定扩展时声发射总数与应力强度因子之间的关系式。

岩石声发射Kaiser效应主要应用于探测原岩应力、岩石损伤估计以及震前微震行为的研究。日本金川忠等首先将声发射Kaiser效应用于估计岩石地应力，国内开展此项工作主要是从20世纪80年代以后，在石油、水利和矿业等部门先后进行了研究，并在矿井岩层、坝基、边坡和隧道围岩等的地应力测试领域得到应用，如黄河水利委员会规划研究院应用声发射Kaiser效应测量黄河小浪底工程坝址基岩的地应力；中国地质科学院力学研究所应用声发射Kaiser效应测量塔里木盆地北部油田古应力等。对于岩石声发射Kaiser效应基础理论及其应用技术，国内外专家学者已经进行了大量的研究，并取得了丰硕的研究成果。

煤岩变形破坏声发射具有Kaiser效应（即记忆效应）已被证实并应用，那么煤岩变形破坏电磁辐射是否具有记忆效应呢？何学秋、徐为民等证实了岩石变形破坏电磁辐射具有记忆效应。何学秋、刘明举等通过对模型巷道进行反复加卸载实验证实煤岩变形破坏电磁辐射存在记忆效应。实验中，采用砂子、石蜡等材料混合制成的模拟试验巷道三向加压的方式反复加卸载，观测各个不同加卸载时期的电磁辐射信号强弱变化情况。结果发现，当首次加载时，随着应力水平的增大，电磁辐射信号增强，到一定应力水平后卸载，电磁辐射信号减弱；当再次加载时，在应力水平接近或达到之前，电磁辐射信号较弱，基本不随应力的增大而变化，而当应力达到先前所加的最大应力水平之后，电磁辐射信号突然增强，表明煤岩变形破坏电磁辐射同样具有记忆效应。何学秋等从热力学的角度探讨了煤岩断裂电磁辐射记忆效应的微观机理，认为煤岩变形破坏过程是典型的能量耗散不可逆过程，过程的能量耗散导致的过程不可逆是产生记忆效应的必要条件，煤岩体内部的微裂纹、裂隙不仅与实际应力状态有关，而且还与应力历程有关，煤岩记忆的选择性和非均衡性是煤岩断裂电磁辐射表

现出记忆效应的根本原因。

电磁辐射技术已在地震、煤岩动力灾害预测预报等方面得到普遍应用,但在煤岩破坏电磁辐射记忆效应特征、内容、实质、微观机理及煤岩动力灾害(煤与瓦斯突出、冲击地压等)连续动态趋势预测方面尚未见深入研究的报道,而电磁辐射记忆效应不仅可以应用于煤岩体地应力的测定,而且还可应用于巷道围岩卸压带范围的确定、煤岩损伤状况估计、煤岩动力灾害预测等许多场合,该技术的应用可大大地降低系统工作量和生产成本。电磁辐射技术应用于煤岩体稳定性监测,可实现真正的非接触连续动态趋势预测,监测范围较大,有效性较常规预测法有较大提高,且简便易行。因此,电磁辐射技术有着广阔的应用前景,煤岩流变破坏电磁辐射效应及其应用研究是对电磁辐射技术的进一步深化,对拓宽其应用领域具有重要的理论和现实意义,必将产生巨大的社会和经济效益。

1.2 煤与瓦斯突出电磁辐射预测理论研究现状

煤与瓦斯突出是煤矿井下采掘过程中含瓦斯煤岩体在外力作用下快速破坏(一般在几秒到几十秒),并被迅速从煤壁内部向采掘空间抛出的煤岩动力灾害现象,是一个经历孕育、发展并最终达到煤岩体所能承受的能量极限的流变-突变行为。自1834年世界上首次在法国伊萨克矿井发生煤与瓦斯突出动力灾害以来,各国学者在探索煤与瓦斯突出发生发展的机理、预测方法和防治措施等方面付出了艰辛的努力,取得了许多可喜的成果,但时至今日,对煤与瓦斯突出发生、发展机理的认识也尚未达到完美的地步,尚不能实现针对不同状况下的煤与瓦斯突出发生、发展过程,提出更加高效合理的预测手段及防治措施。各国专家学者采取各种各样的方法对煤与瓦斯突出机理进行深入的研究,如观察统计法、逻辑演绎法、实验法和数值计算法等,对煤与瓦斯突出发生的原因提出了数十种假说,但影响面较大的概括起来主要有瓦斯说、地应力说和综合假说等,其共同点是以力学为基础,从宏观

方面进行研究。在煤系地层中，煤岩体介质孔隙内存在大量的某种性态的孔隙流体。孔隙流体的存在，使煤岩体介质的性态及行为发生变化，甚至是质的变化，特别是当孔隙流体为具有强吸附性的气体和水时，孔隙流体所引起的变化就更显著。因此，含孔隙流体的煤岩介质在性态及行为上不同于一般固体介质，呈现出非均匀的多相介质状态，在分析其在外力作用下损伤破坏特性及机理时，只采用纯力学理论的有效应力原理（如Terzaghi原理）从宏观上进行力学分析尚存在许多缺陷，更不能单独从流体力学或渗流力学领域上研究含孔隙流体的煤岩破坏或突出特性规律，煤岩体中的孔隙完全不同于管路和裂隙，其间流体运移规律有着巨大的差异。清华大学杨卫教授认为，固体材料失效的起因在于电场载荷，失效的机理根植于应力引起的破坏，力场与电场的耦合造就了力电失效的内因。含孔隙流体的煤岩体破坏或突出同样遵循力电失效原理，只不过是孔隙流体的存在，使煤岩体破坏或突出的力电耦合失效机理更加复杂化，增加了煤岩破裂或突出的动力源，使力电耦合失效现象的表现更为明显。含孔隙流体的煤岩性态变化和运动过程涉及力学（岩石力学、岩石断裂力学、岩石流变力学、损伤力学和渗流力学）、物理学、表面物理化学、量子力学、电动力学、声学和热力学等多个学科，需采用宏观、微观相结合、多学科或理论相交叉的观点和方法来揭示含孔隙流体的煤岩性态变化、破坏及煤与瓦斯突出动力灾害过程。

煤与瓦斯突出机理研究的目的是准确地预测煤与瓦斯突出，并提出合理有效的煤与瓦斯突出防治措施。半个世纪以来，各主要产煤国在致力于研究煤与瓦斯突出机理的同时，对煤与瓦斯突出危险性预测的方法亦进行了深入研究。前捷克斯洛伐克、罗马尼亚、英国、比利时和澳大利亚，采用在工作面前方钻孔中测定绝对瓦斯压力，以及煤的瓦斯解吸指标法预测煤层的突出危险性。前苏联根据预测的范围，将突出预测分为区域的（对整个矿区）、局部的（对单个矿井煤层）和现场的（在采掘过程确定突出危险带）3类预测方法，采掘过程中，为确定工作面煤层突出危险性，