

MEIKUANG TUSHUI SHUIYUAN DE JIGUANG GUANGPU

JIANCE JISHU YANJIU

煤矿突水水源的激光光谱 检测技术研究

■ 周孟然 闫鹏程 著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”国家科技支撑计划子课题资助(批准号:2013BAK06B01)

国家安全监管总局 2016 年安全生产重大事故防治关键技术科技资助
(批准号:anhui-0001-2016AQ)

煤矿突水水源的激光光谱 检测技术研究

周孟然 闫鹏程 著

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤矿突水水源的激光光谱检测技术研究/周孟然, 闫鹏程著. —合肥: 合肥工业大学出版社, 2017. 3

ISBN 978-7-5650-3301-8

I. 煤… II. ①周…②闫… III. ①煤矿—矿井突水—水源—激光光谱—检测—研究 IV. ①TD742②0433.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 053487 号

煤矿突水水源的激光光谱检测技术研究

周孟然 闫鹏程 著

责任编辑 陆向军 刘 露

出 版 合肥工业大学出版社
地 址 合肥市屯溪路 193 号
邮 编 230009
电 话 总 编 室:0551-62903038
市场营销部:0551-62903198
网 址 www.hfutpress.com.cn
E-mail hfutpress@163.com

版 次 2017 年 3 月第 1 版
印 次 2017 年 3 月第 1 次印刷
开 本 710 毫米×1010 毫米 1/16
印 张 9.75
字 数 175 千字
印 刷 合肥现代印务有限公司
发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-3301-8

定价:29.80 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场部联系调换

前 言

在国民经济发展中,煤炭占据着重要地位。现今中国 95%左右的煤炭产量来自井下开采,且随着时间的流逝,浅部煤炭开采殆尽,许多矿井逐步向纵深发展,这就会受到井下恶劣水文地质环境的影响。我国地域辽阔,地质构造多样,因此出现煤矿突水的概率和危险性也较大。现阶段对煤矿的突水预防多使用以下几种技术:(1)地质勘探技术。获取水文地质构造情况,提前规避危险水源。(2)水源识别技术。获取含水层或涌水水源类型,确定地下水分布或进行煤矿涌水危险度评价。(3)水参数实时监测技术。获取水压、涌水量、电导率等实时水参数,实现涌水的实时监测预警。三种技术中,地质勘探技术后期进行的水文地质构造分析需要水源识别技术支持,鉴于突水发生的突然性,水参数实时监测技术对于突水预警意义不大。因此,如何快速地进行煤矿水源识别,无论是对于煤矿的水文地质研究还是预防突水灾害都具有重大意义。这些技术在实际的煤矿生产中也存在以下不足之处:(1)对水文地质和构造等勘察资料的详细程度依赖性高。(2)对规模相对较小的含导水构造难以查明。(3)水源识别多以水化学方法为主,耗时较长(需 1~2 小时),且准确率相对较低。(4)多采用机械类传感器或电阻类传感器,需防爆处理,抗干扰性能差。

针对这种状况,作者提出一种新型快速的煤矿水源识别方法,即采用激光诱导荧光技术(Laser Induced Fluorescence),以煤矿不同含水层水源作为研究对象,通过获取煤矿不同含水层水源的荧光光谱信息,建立突水水源的光谱数据库,并以此为依据,构建突水水源的快速识别模型。该系统在数据库完备的情况下,仅需数秒即可完成水源的快速识别,为进一步开发基于激光诱导荧光技术的煤矿突水水源快速识别模型奠定了理论和技术基础,从而实现煤矿的安全生产以及为突水灾后救援提供了快速判别依据。本书的主要研

究成果和结论如下:

1. 根据光学原理和煤矿特征, 构建了适用于煤矿特征的激光诱导荧光水源快速识别系统, 设计了相应的本安电源, 开发了煤矿水源快速识别软件。

2. 以淮南新集一矿的奥灰水、老窑水、冲积层水、砂岩水和灰岩水作为实验对象, 建立了水源快速识别的 SIMCA 模型和 PLS-DA 模型。在 SIMCA 模型中, 原始光谱经 Gaussian-Filter 预处理, 在主成分数为 2, 显著性程度 $\alpha=5\%$ 的情况下, 对建模集样品进行识别, 5 种水样模型对水样样本的识别正确率皆达到 100%, 对验证集中样本进行识别时, 5 种水样模型对水样样本的识别正确率也皆达到 100%。在 PLS-DA 模型中, 根据 PLS 原理建立 5 种水样的 PLS-DA 模型, 各模型建模集的识别正确率皆达到了 100%, 相关系数 r 依次达到了 0.976, 0.996, 0.982, 0.971, 0.993, RMSECV 依次达到了 0.087, 0.040, 0.073, 0.079, 0.047; 对验证集的识别正确率也皆达到了 100%, RMSEP 依次达到了 0.116, 0.054, 0.089, 0.123, 0.061, 表明 LIF 技术结合 PLS-DA 模型可以用于淮南新集一矿水源的快速识别。

3. 以大同燕子山煤矿的老窑水、冲积层和砂岩水作为实验对象, 验证所建立的 SIMCA 模型和 PLS-DA 模型的可行性。在 SIMCA 模型中, 原始光谱经 Moving-Average 预处理, 在主成分数为 2, 显著性程度 $\alpha=5\%$ 的情况下, 对建模集样品进行识别, 3 种水样模型对水样样本的识别正确率皆达到了 100%, 对验证集中样本进行识别时, 3 种水样模型对水样样本的识别正确率也皆达到了 100%, 验证了 LIF 技术结合 SIMCA 模型可以用于煤矿水源的快速识别。在 PLS-DA 模型中, 根据 PLS 原理建立 3 种水样的 PLS-DA 模型, 各模型建模集的识别正确率皆达到了 100%, 相关系数 r 依次达到了 0.997, 0.991, 0.987, RMSECV 依次达到了 0.037, 0.065, 0.069; 对验证集的识别正确率也皆达到了 100%, RMSEP 依次达到了 0.062, 0.093, 0.151, 验证了 LIF 技术结合 PLS-DA 模型可以用于煤矿水源的快速识别。

4. 以建立的水源快速识别模型为基础, 结合矿井突水实例, 建立一种突水预警模型。以大同燕子山煤矿水样为实验对象进行了模

型验证,依据建立的 SIMCA 模型和 PLS-DA 模型对冲积层水 & 砂岩水和老窑水 & 砂岩水,以及一种正常水样砂岩水进行水源快速识别。在 SIMCA 模型中,原始光谱经 Moving-Average 预处理,在主成分数为 2,显著性程度 $\alpha=5\%$ 的情况下,对建模集样品进行识别,3 种水样模型对水样样本的识别正确率皆达到了 100%,对验证集中样本进行识别时,3 种水样模型对水样样本的识别正确率也皆达到了 100%,证明了 LIF 技术结合 SIMCA 模型用于井下在线式水源快速识别预警模型的可行性。在 PLS-DA 模型中,根据 PLS 原理建立 3 种水样的 PLS-DA 模型,各模型建模集的识别正确率皆达到了 100%,相关系数 r 依次达到了 0.992, 0.989, 0.985, $RMSECV$ 依次达到了 0.041, 0.073, 0.087; 对验证集的识别正确率也皆达到了 100%, $RMSEP$ 依次达到了 0.075, 0.108, 0.197, 证明了 LIF 技术结合 PLS-DA 模型用于突水预警的可行性。

5. 对比建立的 SIMCA 模型和 PLS-DA 模型对煤矿水源的识别结果,发现两者皆可以进行较佳的水源识别,但是相对而言 PLS-DA 模型可体现出更高的判别能力,且无须进行光谱预处理,步骤相对简化。

综合运用本研究的技术结论,构建煤矿水源类型的快速识别模型,以淮南新集一矿与大同燕子山矿的相关水样进行分类建模验证。通过 LIF 系统获取水样荧光光谱,经过光谱预处理对水样荧光光谱进行数据分析,将处理后的光谱信息带入分类识别模型,确定水源类型,即可进行涌水危险程度评价。模型的搭建对于煤矿水害的预防意义重大,以本模型为基础开发的设备已作为突水监测预警子系统进行测试应用,其经济、社会效益显著。

本书从实际出发,力求为煤矿的井下突水预警及安全生产和科研工作者提供借鉴,同时也对煤矿突水的监测提供了一个全新的手段和方法。本书共分为 9 章,主要内容包括绪论,煤矿水源概述,荧光光谱分析理论,光谱数据分析, LIF 系统的构建,水源快速识别建模,水源快速识别模型验证,煤矿突水预警建模,总结及展望等。

本书在编写过程中,得到了相关煤矿企业和同行的大力支持,同时本人所培养的博士研究生闫鹏程(现为安徽理工大学教师),硕

士研究生刘栋、胡峰、张杰伟等在本书的编辑过程中都付出了辛勤的劳动，在此向他们表示衷心的感谢！

由于编写时间仓促，加之水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请读者提出宝贵的意见和建议。

周孟然

2017 年 3 月

目 录

前 言	(1)
1 绪 论	(1)
1.1 煤矿安全生产的重要性	(1)
1.2 研究现状与存在的问题	(3)
1.2.1 研究现状	(3)
1.2.2 当前研究存在问题	(10)
1.3 研究目标和内容	(11)
1.4 研究意义	(11)
2 煤矿水源概述	(13)
2.1 煤矿突水源简介	(13)
2.1.1 煤矿水灾危害	(13)
2.1.2 常见煤矿水源类型	(13)
2.1.3 煤矿水源识别指标	(16)
2.2 本章小结	(16)
3 荧光光谱分析理论	(18)
3.1 LIF 技术的基本原理	(18)
3.1.1 原子荧光光谱	(18)
3.1.2 荧光的速率方程	(21)
3.1.3 分子荧光光谱	(23)
3.2 时间分辨荧光技术	(25)
3.2.1 荧光寿命的测量	(25)
3.2.2 荧光寿命测量光子统计法理论	(30)
3.2.3 测量方法与装置	(32)
3.2.4 时间分辨荧光光谱测量	(38)
3.2.5 应用举例 (NO ₂ 分子可见光谱区的荧光激发谱研究)	(39)
3.3 激光诱导荧光光谱技术	(41)
3.3.1 原理及特点	(41)

3.3.2 测量装置	(42)
3.4 LIF 技术与煤矿水源识别	(44)
3.5 本章小结	(46)
4 光谱数据分析	(47)
4.1 光谱预处理方法	(48)
4.1.1 谱图平滑法	(48)
4.1.2 中值滤波法	(49)
4.1.3 高斯滤波法	(49)
4.1.4 标准矢量归一化法	(49)
4.1.5 相关优化翘曲法	(50)
4.1.6 微分谱	(50)
4.1.7 谱段积分	(54)
4.1.8 数学变换——傅里叶变换	(55)
4.1.9 光谱预处理效果的评价指标	(58)
4.2 光谱模式识别建模方法	(58)
4.2.1 SIMCA	(60)
4.2.2 PLS-DA	(61)
4.2.3 KNN	(61)
4.2.4 SVM	(62)
4.2.5 神经网络	(63)
4.2.6 遗传算法	(65)
4.3 本章小结	(67)
5 LIF 系统的构建	(68)
5.1 系统总体概述	(68)
5.2 硬件电路设计	(69)
5.2.1 电源设计	(69)
5.2.2 通信链路设计	(70)
5.3 光路系统设计	(75)
5.3.1 激光器	(75)
5.3.2 光纤及荧光探头	(76)
5.3.3 光谱仪	(77)
5.4 上位机设计	(77)
5.4.1 C#语言介绍	(78)
5.4.2 C#调用 Matlab 介绍	(78)

5.4.3 上位机系统开发	(79)
5.4.4 上位机系统使用	(79)
5.5 本章小结	(88)
6 水源快速识别建模	(89)
6.1 淮南矿区概况	(89)
6.1.1 区域地层及构造	(89)
6.1.2 主要含水层及其含水性	(89)
6.2 实验材料与方法	(90)
6.2.1 实验材料	(90)
6.2.2 光谱采集	(91)
6.3 快速识别系统光谱数据处理	(93)
6.3.1 波长范围选择	(93)
6.3.2 光谱预处理	(93)
6.4 快速识别系统分类建模	(97)
6.4.1 SIMCA 建模	(97)
6.4.2 PLS-DA 建模	(102)
6.4.3 KNN 建模	(109)
6.5 本章小结	(110)
7 水源快速识别模型验证	(112)
7.1 大同矿区概况	(112)
7.1.1 区域地层及构造	(112)
7.1.2 主要含水层及其含水性	(112)
7.2 实验材料与方法	(113)
7.2.1 实验材料	(113)
7.2.2 光谱采集	(113)
7.3 快速识别系统光谱数据处理	(114)
7.4 快速识别系统分类建模	(115)
7.4.1 SIMCA 建模	(116)
7.4.2 PLS-DA 建模	(118)
7.5 本章小结	(123)
8 煤矿突水预警建模	(124)
8.1 建模思想	(124)
8.2 实验材料与方法	(125)

8.2.1 实验材料	(125)
8.2.2 光谱采集	(125)
8.3 光谱数据处理	(126)
8.4 分类建模	(127)
8.4.1 SIMCA 建模	(127)
8.4.2 PLS-DA 建模	(130)
8.5 本章小结	(133)
9 总结及展望	(135)
9.1 总结	(135)
9.2 展望	(137)
参考文献	(138)

1 绪 论

1.1 煤矿安全生产的重要性

现阶段我国产业正向资源节约型转型，但是不可忽视的是我国经济的发展主要还是依靠能源的消耗。虽然 2014 年中国的能源消费量出现了大幅下降，但在全球能源格局中，中国仍占据重要地位，在全球能源的生产、消费以及净进口比例方面，中国仍位居首位。

由于全球经济的发展，能源在其中的作用愈加明显。当今世界的能源主要由石油、天然气、煤炭、核能、水电、可再生能源六类构成。据 2015 年 BP 能源公司发布《BP 世界能源统计年鉴 2015》统计的 2014 年数据显示，全球的一次能源消费量主要以石油为主，约占能源结构的三分之一，其次为煤炭，世界主要国家的能源结构中也主要以石油和天然气为主（如美国和俄罗斯等），而在中国的一次能源消费量中，煤炭在能源结构中占比达到 66.03%，从没有哪个国家像中国这样，煤炭在能源结构中占有如此重大的比例。由表 1-1 可见，在煤炭探明储量方面，中国以占世界总量比例的 12.8% 位居世界第三位，仅次于美国的 26.6% 和俄罗斯的 17.6%。在煤炭产量方面，由 2004—2014 年的煤炭产量表可以看出，中国一直稳居世界第一，其 2014 年煤炭产量占世界总量的 46.9%，接近世界煤炭产量的一半，远高于 2014 年煤炭产量排名第二的美国（12.9%）和第三的印尼（7.2%）。在煤炭消费量方面，由 2004—2014 年的煤炭消费量可以看出，中国同样一直稳居世界第一，其 2014 年煤炭消费量占世界总量的 50.6%，超过世界煤炭消费量的一半，远高于 2014 年煤炭产量排名第二的美国（11.7%）和第三的印尼（9.3%）。

表 1-1 2014 年全球主要国家一次能源消费量

单位：百万吨石油当量

	石油	天然气	煤炭	核能	水电	可再生 能源	总计
美国	836.1	695.3	453.4	189.8	59.1	65.0	2298.7
俄罗斯	148.1	368.3	85.2	40.9	39.3	0.1	681.9
中国	520.3	166.9	1962.4	28.6	240.8	53.1	2972.1

(续表)

	石油	天然气	煤炭	核能	水电	可再生 能源	总计
世界	4211.1	3065.5	3881.8	574.0	879.0	316.9	12928.4

据 BP 能源公司发布的《BP 2035 年世界能源展望》显示，中国的煤炭消费量将在以后较长的一段时间内保持稳定的增长趋势，预计在 2025 年达到顶峰，然后在随后的十年里保持平稳。与此同时，在 2015—2035 年这段时间内，煤炭在一次能源消费中占有比例也将出现最大幅度的下降，尽管如此，其在 2035 年中国一次能源的消费结构占比中预计仍将达到 51%，在六大类能源中仍将位居第一。

由此可见煤炭产业在中国的经济发展中占有重要地位，是国民经济的支柱产业，因此煤矿的安全生产也就是关乎民生、国家经济命脉的大事，对于关乎煤矿安全生产的各项事宜必须给予足够的重视。

煤矿产业的安全生产一直是我国各项生产中的重中之重，但是以瓦斯、水害、火灾、顶板、粉尘为代表的五大类矿难事故频发，其中水害事故无论是在发生次数上还是死亡人数上皆仅次于瓦斯事故，位居矿难灾害事故的第二位。由表 1-2 可见，世界主要产煤国的煤炭开采主要集中于露天开采，对于井下开采占比不大，而中国的煤炭开采主要集中于井下开采，而且随着开采的不断进行，浅部煤炭开采殆尽，许多矿井逐步向纵深发展。随之而来的就是恶劣的水文地质环境，而且我国地域辽阔，地质构造多样，因此出现煤矿突水的概率和危险性也逐渐增大。据中国煤炭工业协会指出，我国一大批煤矿快速进入深部开采阶段，如淮南的朱集矿采深已达 900 米，且每年以 15~20 米继续向下进行，采深超过千米的煤矿已有 47 处，“亚洲第一深井”山东能源新矿集团孙村煤矿，其开采深度已达到 1501 米。

表 1-2 主要产煤国煤炭开采比例

	露天开采	井下开采
美国	61%	39%
澳大利亚	83.8%	16.2%
中国	5%	95%

我国的煤矿开采受水害威胁较大，600 多座重点煤矿受水害威胁的就有 285 处，仅安徽、河北、山东及陕西地区共计 385 亿吨的煤炭，有突水危险的就达到了 39%，尤其是黄淮地区煤矿，水文环境恶劣，地质构造多样，受水害的威胁更大。据国家煤矿安全监察局从 2011 年发布的“十一五”期间全国

煤矿水害事故分析报告可以看出,我国的煤矿水害事故状况依然严峻,虽然事故发生起数逐年下降,但是死亡人数并没有显著降低,特别是死亡人数在 10 人以上的重特大水害事故没有明显改善(见表 1-3 所列)。进入“十二五”以后,煤矿水害依然没有下降趋势,2015 年 1 月 30 日 18 时 55 分,淮北矿业集团公司朱仙庄煤矿采煤工作面发生一起突水事故,死亡 7 人;2014 年 8 月 14 日 11 时 10 分,黑龙江省鸡西市城子河区安之顺煤矿发生重大水害事故,死亡 16 人;2013 年 2 月 3 日凌晨零时 35 分许,安徽宿州市桃园煤矿井下南三采区 1035 切眼掘进工作面发生透水事故,当班 443 人逃出虎口,1 人失踪;2012 年 5 月 2 日,黑龙江省鹤岗市峻源二矿井下采煤工作面发生透水事故,造成 13 人死亡;2011 年 10 月 11 日,黑龙江省鸡东县金地煤矿发生透水事故,造成 13 人死亡。

表 1-3 “十一五”期间全国煤矿水害遇难统计

年份	全国煤矿 事故统计		其中水害事故统计							
			事故/起	遇难/人	3~9 人		10~29 人		30 人以上	
	事故/起	遇难/人			事故 /起	遇难 /人	事故 /起	遇难 /人	事故 /起	遇难 /人
共计	10339	16811	306	1325	114	577	22	344	4	162
2006	2945	4746	99	417	40	213	4	68	1	56
2007	2421	3786	63	255	28	146	3	56	0	0
2008	1954	3215	59	263	17	81	7	99	1	36
2009	1616	2631	47	166	16	77	4	54	0	0
2010	1403	2433	38	224	13	60	4	67	2	70

1.2 研究现状与存在的问题

1.2.1 研究现状

1) 突水预警研究

在国外,煤矿突水问题也困扰其煤矿生产,故而对煤矿突水的定义以及形成机理都有一套详尽的研究分析。国外在探究矿井水害机理和判别突水水源类型方面始终走在前列。早期的突水预警研究不过是基于对过往煤矿水害事故的整合。力学因素在 20 世纪 40 年代被引入分析,基于此相对隔水层这一名称由匈牙利的威戈·弗仑司首先提出,并认为隔水层跨度和水压皆会影响煤矿的

底板突水。使用经典力学中的静力学作为分析手段,苏联的司列沙廖甫重点分析了承压水对矿井底板的损害。60~70年代这一时期,以隔水层各属性参数为主的地质因素在静力学分析的同时被逐渐重视。70~80年代这一时期,煤矿专家主要以分析矿井底板损害机理为主。最近这一时期,构建地下水运移模型被澳大利亚的煤矿专家所使用,以模拟井下的水文地质环境。伴随着理论研究的指导,以及地质探测技术的与时俱进,多种地质探测设备应运而生,此类设备可以相对高效地辨识底板的损伤程度,可用于验证理论的正确性,对含水层煤炭的开采提供了安全保障。50~60年代,苏联专家就在探测煤矿地质的过程中使用了直流电法,并在长时间的实践中得到了大量的应用勘探经验,较好地将其应用于矿井建设以及生产等过程中出现的地质问题,尤其是煤矿的水文环境勘探。70年代后,在矿井勘探以及水文环境探查方面开始使用了探地雷达,如匈牙利学者 J. CsKofiS 在勘探含水煤层构造时使用了直流层测深技术,效果良好。近年来,伴随着电子通信科技的飞速发展,越来越多的尖端技术被应用于保障煤矿安全中,各种各样的高新技术地质勘查装置使用在矿井的生产建设中,对于防治水害具有很重要的意义。其中较为先进的有:德国 DMT 生产的 SUMMIT II ex 井下防爆槽波地震仪,美国 Geometrics 和 EMI 联合生产的 EH-4 连续电导率剖面仪,以及美国 GSSI 研发的 SIR-3000 型探地雷达等。此类设备可高效地勘察矿井未采煤区的水文地质状况,以预先获知含导水构造等。其他还有一些高集成化系统装备,应用较广的有美国、德国等国研制的 DAN6400、MINOS 和 TST 等系统,其可以进行监控煤矿安全生产的多个流程,包括一氧化碳浓度和水灾等,但是此类系统价格多较为昂贵且维护困难,且国内技术日益成熟,因此逐渐摒弃。

突水预警在国内的研究相对来说较为迟缓,50年代,一些煤矿专家和学者提出矿井水害的发生与断层、水压等有一定联系。60~70年代,煤科总院对突水系数的定义,使得一些关键问题的研究得到突破,同时也认识到矿井水害的发生和矿井底板的损坏有着直接关系,并在某些煤矿进行了实地勘探与验证。70年代末,相关煤矿专家和学者研究了带压开采和煤深之间的关系,得到了大量对煤矿实际生产建设具有指导意义的结论。80~90年代,结合多年来一些典型煤矿在突水和水文地质勘探方面积累的资料,相关专家提出了“原始导高”这一理念,指出底板突水为煤矿水害频繁发生的根本原因,并据此对某些煤矿的隔水层底板进行了实地探测和数据采集。

在突水预警的方法方面国内多使用如下几种。①瞬变电磁法:以接地导线(不接地回线)为发射装置朝待测区域发射磁冲,使用相应的接收装置获取井下媒介中产生的受激场效应,据此即可获知被测区域的电阻率分布。其优点在于可勘察深度和对低电阻率感应敏锐,因此可在富水性强含水层进行勘察,但是在煤层较深时纵向的分层识别不准确。②直流电法:根据矿井中煤、水、砂

等介质的导电性不同,以稳流源向待测区域输出电流,通过探测待测区域的电流场布局,确定煤、砂、水等的煤层构造布局。体积效应是其不足之处,会干扰对异常体位置的正常识别。③红外探测:矿井地质结构中出现的晶格及分子振动将会往四周岩体发射红外射线,进而形成一个场区。对采煤工作面来说,若工作区域四周藏有含水区,那么煤层岩体的密度以及媒介组成会出现改变,随之出现一个异常红外场区,并影响正常红外场,导致其发生改变。鉴于实体所占区域一定小于其产生的红外场区,因此即能根据场的动态预先获知含水区域位置。④探地雷达:异常体的出现会导致其边界区域的正常岩层被损坏,而岩体的损坏程度会影响到其对电磁波的损耗,通常情况下电磁波在未发生损坏的岩层中速度快,反之则较慢,反映到雷达波形上,即会出现较为显著的异常体边缘。其缺点在于电磁方程存在多解,尤其是待测区域煤层相对介电常数的大小对勘察的准确度影响巨大。除上文所述,遥感勘查以及放射性勘查在煤矿建设中也较为常用,但是皆不能满足突水预警所要求达到的勘查范围。由于能源需求及开采利用的不同,国内外应用激光诱导荧光技术(Laser Induced Fluorescence, LIF)判别煤矿突水水源的研究文献尚无。

在突水预警的理论方面国内形成了如下学说:下三带理论、隔水层理论、突水系数理论和板模型理论。国内煤矿科技工作者对煤矿水害形成机制的探究集中体现于矿井底板突水问题上。煤炭科学研究院联合一些煤矿高校先后选取了焦作、淮南、开滦等矿区的若干煤矿进行了底板深部破坏现场的数据收集工作,检测了突水发生前后长观孔中弹性波以及水压的动态情况,结合底板改变状况,得到了与突水相关的一系列动态物理参数,并据此建立了相关模型以用于突水辨识,开发了相应装置以用于检测前兆。一系列实验证明对矿井突水事故进行预测具有一定的科学性。然而因为装置和技术上存在诸多缺陷,此类系统仅可在短时间内进行小范围且较为简易的检测,对于煤矿安全生产所渴望建立的全方位二十四小时不间断水害预警系统,显然无法达到,不过此类系统的设计却给后继相关问题的探究提供了借鉴。

21世纪以来,伴随着互联网的普及和电子通信技术的飞速进步,检测装置出现了高度集成化,大量突水综合检测仪器被研发。煤科院在借鉴国外先进安全监控系统的同时,研制开发了适宜于我国煤矿生产特点的一系列安全监控预警系统,较为代表性的如KJ90系列,可全面监测预警包含水灾在内的多种灾害事故的发生。中煤科工集团的靳德武、刘英锋等人研制了一套以光纤光栅为主导的新型煤层底板突水预警系统,并在东庞矿北井进行了初步实验,效果良好。山东大学的白继文、李术才等人针对王楼煤矿的突水防治需求,构建了深部岩体断层滞后突水多场信息监测预警研究,实现了矿井的安全开采。中国矿业大学的刘志新和同济大学的王明明为实现监测回采中导含水的实时状态,提出环工作面电磁法底板突水监测技术,较好地解决了这一难题。中国矿业大

学(北京)的武强、张志龙等人解决煤层底板突水的预警问题,相继提出了主控指标体系法和脆弱性指数法,并具体分析了其在太原东山煤矿的作用特征与方式。龙口矿业集团有限公司的王兰健、韩仁桥针对龙口矿区采煤区的位于海下的特点,建立了海下采煤的水情监测预警系统,用于监测顶板水以及海水。太原理工大学的张雪英、成韶辉等人以 ArcGIS Engine 软件为平台,利用瞬变电磁法原理建立了矿井突水预警信息系统,并在山西西山晋兴能源有限公司斜沟煤矿投入使用。山东科技大学的张亮、陶士西等人以 Labview 软件为平台,采集突水数据,针对铜川矿业公司下石节煤矿实际需要,建立了矿井工作面突水预警系统,系统具有远程分析、实时预警等特点。中国矿业大学(北京)的贾明魁和北京科技大学的姜福兴以高精度地震监测技术为手段,对采煤区底板、顶板进行破裂深度监测,并在演马庄矿应用,证明了微震技术进行预警的可行性。中煤科工集团西安研究院的张雁和中山大学的吕明达通过对现有预警系统的总结分析,对其中的关键技术如:装置精度、钻孔分布、参数和阈值设定等进行了分析和优化。山东大学的刘斌、李术才等人通过对矿井突水灾变过程电阻率约束反演成像实时监测模拟研究,实现了对岩层断裂等的监控成像,可提前得到突水前兆,进而进行水害预警。华北科技学院白越、王经明为了解决每层地板破裂产生微震,而检测震源是确定突水部位这一关键问题,采用微震监测技术在矿区煤矿进行了底板突水预测实验研究,发现微震规律符合煤层底板“递进导升”的突水机理。山东科技大学梁德贤、翟培合介绍了三维高密度电法勘探的原理,以及它的数据采集、数据处理、资料解释,而且重点介绍了三维高密度电法的数据反演方法,得到了电阻率的三维数据体。结合实例,运用切片技术,将得到的三维数据体进行横向、纵向任意切片,揭示了该技术具有采集数据量大、能够进行切片处理、直观立体地展示富水区域等优点,从而更好地为矿井水灾害防治服务。西山煤电(集团)有限责任公司费明泽根据高密度电阻率法的工作原理、装置形式和异常特点,勘察了东曲矿采煤区下沉底板区域,勘察使用高密度直流电法温纳装置,对采集的数据通过基于圆滑约束最小二乘法反演,获得电阻率成像断面色谱图,结合已知异常地质体的电性特征,对矿井含水层富水性进行评价。解释结果表明运煤通道东曲段底板存在一个低阻异常区,且上下连通,应作为底板水防治的重点区域。澄合矿务局张存干、赵建国为了准确探测上层煤老窑采空区积水危险源位置,通过研究采煤工作面顶板老窑采空区性质及其地球物理特征,采用矿井直流电法探测技术研究了顶板采空积水区的分布规律。贵州大学刘超、张义平为煤矿防治水工作提出指导性意见,通过布置在地面的所有电极对地层进行电阻率采集,进而在二维电阻率反演软件中得到二维电阻率断面图,较为直观地反应地下赋水情况,通过现场的实际的工作,圈定了导水裂隙带采空区积水的范围,为煤矿防治水工作提供了准确信息。