

国家重点基础研究发展计划 (973计划 2007CB209400)

工作面底板突水的 理论与研究与远程监控

孙希奎 许进鹏 刘盛东 王 勃 著

Gongzuomian Diban Tushui De

Lilun Yanjiu Yu Yuancheng Jiankong

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家重点基础研究发展计划 (973计划 2007CB209400)

工作面底板突水的 理论与远程监控

孙希奎 许进鹏 刘盛东 王 勃 著

Gongzuomian Diban Tushui De
Lilun Yanjiu Yu Yuancheng Jiankong

中国矿业大学出版社
China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

本书研究工作面底板稳定性,对防范工作面底板突水、开采保护层等有十分重要的意义。

本书对条带开采工作面的煤柱和工作面底板的应力分布进行了理论分析,对底板变形破坏、底板应力强度因子进行了数值模拟,得出了条带开采工作面底板稳定性相关规律。

本书对埕村煤矿大量突水事例进行了统计分析,得出了影响工作面底板稳定性因素,建立了基于神经网络的工作面底板突水判别系统。

本书阐明了运用并行电法、岩层角位移、震波等方法实现远程监控工作面底板稳定性的理论、方法,介绍了相关仪器性能特点。特别是通过弹塑性力学、断裂力学和数值模拟分析,并结合埕村煤矿突水事例研究,得出了岩层角位移临界值。

本书详细介绍了在埕村煤矿 9113、9115 工作面建立的角位移、并行电法、声发射联合的远程实时监控系统及监测过程,总结了监控结果反映的工作面底板稳定性变化规律。

图书在版编目(CIP)数据

工作面底板突水的理论与远程监控/孙希奎等

著. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.1

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0943 - 6

I. ①工… II. ①孙… III. ①煤矿开采—回采工作面—
一 矿山突水—理论研究②煤矿开采—回采工作面—一 矿山突
水—安全监控 IV. ①TD742

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 004217 号

书 名 工作面底板突水的理论与远程监控

著 者 孙希奎 许进鹏 刘盛东 王 勃

责任编辑 姜 华

责任校对 何晓惠

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 12 字数 235 千字

版次印次 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价 45.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



孙希奎 1965 年出生,1988 年毕业于中国矿业大学采矿工程专业,中国煤炭学会资深会员,工程应用研究员,享受国务院政府特殊津贴,曾荣获第十四届孙越崎能源科学技术奖。2009 年获中国矿业大学(北京)工学博士学位,现在北京大学地球与空间学院从事博士后研究工作。曾获得国家科技进步奖二等奖 1 项,省部级科技进步奖 20 多项,发表论文 30 多篇。



许进鹏 1970 年生,安徽省安庆人,中国矿业大学副教授、硕士生导师。2006 年于山东科技大学获博士学位,2009 年从中国矿业大学地质资源与地质工程博士后流动站出站。曾长期在生产一线从事矿井水文地质和矿井地质工作,现主要从事矿井水灾害的理论及防治的研究工作。负责了江苏博士后基金支持课题 1 项,横向课题 30 多项。以第一作者发表论文 15 篇,其中 EI 收录 4 篇。获国家实用新型专利 3 项,山东省科技进步奖二等奖 1 项。



刘盛东 1962 年生,安徽安庆人,1993 年获硕士学位。中国矿业大学教授、博士生导师,深部岩土力学与地下工程国家重点实验室(复杂地质环境方向)首席教授。兼任煤炭工业技术委员会煤矿防治水专业委员会委员、中国煤炭学会矿井地质专业委员会委员。主要从事工程地球物理与地质工程的科学科研工作,参与国家“973 计划”项目、“十一五”国家支撑项目各 1 项,获国家科技进步奖二等奖 1 项,省部级奖 2 项,2006 年获安徽省特殊津贴。公开发表学术论文 50 余篇,出版专著 1 部,获国家发明专利 1 项。

序

我国是世界上以煤炭为主要能源的少数国家之一。长期以来,煤炭就是我国经济发展的重要物质基础和制约因素。随着煤炭开采深度越来越大,采煤工作面受底板承压水害的问题也越来越严重,对工作面底板突水的研究也越来越重要。研究工作面底板突水的远程监控系统,对防范工作面底板突水、保证矿井安全开采具有十分重要的意义。

本书作者根据淄博矿区的开采需要,对条带开采工作面的煤柱和工作面底板的应力分布进行了理论分析,对底板变形破坏、底板应力强度因子进行了数值模拟,得出了条带开采工作面底板突水的相关规律;对埠村煤矿大量突水事例进行了统计分析,得出了影响工作面底板突水的因素,建立了基于神经网络的工作面底板突水判别系统;阐明了运用并行电法、岩层角位移、震波等方法实现远程监控工作面底板突水的理论、方法,介绍了相关仪器性能特点。特别是通过弹塑性力学、断裂力学分析和数值模拟分析并结合埠村矿突水事例研究得出了岩层角位移临界值;详细介绍了在埠村煤矿 9113、9115 工作面建立的角位移、并行电法、声发射联合的远程实时监控系统及监测过程,总结了监控结果反映的工作面底板稳定性变化规律。

工作面底板突水研究是一个非常复杂的问题,主要是因为煤矿开采是一个动态过程,工作面底板的应力分布十分复杂并且是随着开采而动态变化的,工作面底板的岩性具有各向异性和不均一性,并且存在裂隙断层等薄弱带,所以工作面底板破坏导水是一个非常复杂的过程。对这种复杂问题的研究,仅仅依靠理论分析和室内分析是不够的。本书作者孙希奎、许进鹏、刘盛东等,有着多年的生产和科研实践经验,他们从大量突水案例中总结工作面底板破坏的规律,特别是运

用角位移、并行电法、声发射联合的远程监控系统监测工作面底板突水,不仅取得的数据反映了工作面底板的稳定性规律,更重要的是这种方法为我们以后研究矿井安全开采问题提供了很好的范例。应该说,本书在工作面底板突水研究成果上迈进了一小步,但在研究方法上迈进了一大步。这是本人阅读该书的最大感受,也希望该书的读者能够在阅读此书后更加关注工作面底板突水研究,更加关注新技术、新方法在煤矿生产中的应用。

当然,该书所做的是一个探索性工作,由于种种原因,也还存在一些不足与局限。希望该书的作者在以后的工作中再接再厉,将本研究推向深入。

中国科学院院士



2010年12月

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 课题的提出	2
1.1.3 课题研究的意义	3
1.1.4 研究试验区情况区简介	4
1.2 研究现状	6
1.2.1 工作面底板突水的机理	6
1.2.2 工作面底板突水的数值模拟研究	8
1.2.3 工作面底板突水相关影响因素研究	9
1.2.4 工作面底板突水监测方法研究	13
1.3 本书研究思路及主要内容	14
1.4 本书出版的目的	14
2 条带开采工作面底板的力学解析	15
2.1 基本原理	15
2.1.1 半无限平面边界上受垂直集中力的作用	15
2.1.2 半无限平面边界上受分布载荷的作用	16
2.2 条带开采工作面底板应力计算	17
2.2.1 条带煤柱荷载计算	17
2.2.2 条带煤柱荷载强度计算	18
2.2.3 条带开采底板的应力解析	19
2.3 工作面底板不同位置应力分析	21
2.4 不同采留比的工作面底板应力分析	24
2.5 工作面底板在水压力作用下破裂导水的断裂力学分析	26
2.6 本章小结	28
3 工作面底板突水的数值模拟研究	29
3.1 大型有限元软件 ANSYS 简介	29
3.2 模型的建立及参数选择	29

3.2.1	模型建立	29
3.2.2	应力和边界条件	30
3.2.3	材料性质与格网划分	31
3.3	不同开采步骤的模拟结果	32
3.3.1	不同的开采步距模拟方案	32
3.3.2	应力变化情况	32
3.3.3	应变变化情况	37
3.4	工作面的采留比与底板突水的关系数值模拟	41
3.5	工作面底板裂隙带应力强度因子的数值方法计算	47
3.5.1	计算思路及模型建立	47
3.5.2	有限元计算过程及结果	49
3.5.3	结果分析	51
3.6	本章小结	52
4	工作面底板突水数理统计及 ANN 突水预测	54
4.1	工作面底板突水数理统计研究的意义	54
4.2	工作面底板突水的相关因素统计分析	54
4.2.1	资料收集情况	54
4.2.2	断层对底板突水的影响	56
4.2.3	工作面宽度对工作面底板突水的影响	57
4.2.4	地下水压力、隔水层厚度与工作面底板突水的关系	58
4.2.5	底板岩层组与工作面底板突水的关系	60
4.3	工作面突水的神经网络判别系统	61
4.3.1	ANN 简介	61
4.3.2	神经网络的选择	62
4.3.3	网络设计	62
4.3.4	神经网络的训练与预测	64
4.3.5	应用界面的建立	68
4.3.6	应用实例	68
4.4	本章小结	70
5	工作面底板突水监控方法的基础研究	71
5.1	运用工作面底板岩层角位移监控工作面底板突水的相关理论	71
5.1.1	开采过程的工作面顶底板变化规律	71
5.1.2	角位移临界值作为岩层破坏突水的理论依据	72

5.1.3	工作面底板岩层角位移与其破坏导水关系的数值模拟分析	75
5.1.4	岩层角位移与其破坏导水关系的室内测试	80
5.1.5	岩层角位移与其破坏导水关系的实例	84
5.2	工作面底板突水的网络并行电法监测基本原理	86
5.2.1	基本原理	86
5.2.2	分析原理	87
5.3	微震监测的基本原理	94
5.4	多种方法的综合运用	95
5.5	本章小结	95
6	监测仪器设备	97
6.1	网络并行电法系统	97
6.1.1	网络并行电法技术概述	97
6.1.2	网络并行电法监测系统	100
6.2	角位移监测系统	104
6.2.1	角位移检测原理	104
6.2.2	HZI—J101S 系列多点角位移监测系统	105
6.3	微震监测系统	109
6.3.1	微震监测原理	109
6.3.2	微震监测系统	110
6.4	本章小结	116
7	工作面底板突水监控实践	117
7.1	概述	117
7.1.1	矿区概况	117
7.1.2	观测工区地质及水文地质特征	117
7.1.3	研究目的与任务	120
7.2	监测系统设计与施工	120
7.2.1	监测系统设计	120
7.2.2	安装监测系统	123
7.2.3	选用的仪器设备	126
7.3	数据采集与处理	126
7.3.1	数据采集	126
7.3.2	数据处理	130
7.4	分析与解释	135

7.4.1	埠村煤矿 9113 工作面底板破坏变形综合观测成果分析与解释	135
7.4.2	埠村煤矿 9115 工作面底板破坏变形综合观测成果分析与解释	162
7.4.3	埠村煤矿 9115 工作面开采对 9113 工作面破坏的叠加效果分析	172
7.5	本章小结	174
8	主要结论及应用展望	176
8.1	主要结论	176
8.2	应用展望	177
8.2.1	监测方法应用展望	177
8.2.2	ANN 突水预报方法应用展望	177
	参考文献	178

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

目前,煤炭分别占中国一次能源生产和消费结构的 76% 和 68.9%。虽然华北石炭~二叠系煤炭储量占 38%,侏罗~白垩系煤炭储量占 28%,但中国煤炭产量 90% 以上出自华北石炭~二叠系和侏罗系;华南二叠~三叠系煤炭储量占 30%,但煤层变异系数大,地质和水文地质条件复杂,产量仅占全国的 6%。

华北石炭~二叠系煤田基底为奥陶系岩溶富含水层,太行山以东的所有矿区均在奥陶系岩溶承压水面下开采,太行山以西的矿区随着开采延伸绝大多数矿井已经转入奥陶系岩溶承压水面下。原开采二叠系和侏罗系(如大同)煤层的广大华北煤田已经有许多矿井转入石炭系煤层的开采。石炭系煤层(下组煤)底板距离奥陶系顶板较近,最薄的间距不足 20 m(沁水、渭北和豫西煤田),一般的厚度为 30~60 m,个别厚度 168 m(开滦矿区)。有些矿井在开采过程中,常因工作面底板破坏或工作面底板存在缺陷(断层、陷落柱)而导水。而石炭系本身的薄层灰岩在一些区域是良好的含(导)水层,并且距离煤层比奥陶系更近,一旦工作面底板破坏,也会出现突水事故。

随着矿井向深部延伸,工作面底板含水层的水压逐渐增大,突水的危险在不断扩大。近年来,工作面底板突水事故频率、单点突水量及经济损失均处于上升的趋势。以奥灰突水为例,1950 年以前 30 年间发生突水 13 次,其中突水量大于 $60 \text{ m}^3/\text{min}$ 的 5 次,以淄博北大井突水最大($443 \text{ m}^3/\text{min}$,死亡 536 人);1950~1960 年发生突水 3 次,一般突水量为 $5\sim 29 \text{ m}^3/\text{min}$,最大的为林西矿突水($71.8 \text{ m}^3/\text{min}$);1960~1970 年发生突水 7 次,一般突水量为 $20\sim 40 \text{ m}^3/\text{min}$,最大的为峰峰一矿突水($150 \text{ m}^3/\text{min}$);1970~1980 年发生突水 12 次,一般突水量为 $45\sim 75 \text{ m}^3/\text{min}$,最大的为演马庄矿突水($240 \text{ m}^3/\text{min}$);1980~1990 年发生主要突水 25 次,一般突水量 $70\sim 200 \text{ m}^3/\text{min}$,历史上最大的为范各庄矿陷落柱突水($2\,053 \text{ m}^3/\text{min}$,也是世界范围内最大);1990~2000 年发生主要突水 31 次,一般突水量 $70\sim 200 \text{ m}^3/\text{min}$,最大的为任楼矿突水($576 \text{ m}^3/\text{min}$);2000~2007 年发生主要突水 21 次,最大的为东庞矿突水($1\,167 \text{ m}^3/\text{min}$),仅次于 1984 年 6 月 2 日的范各庄矿

突水。2010年3月1日,神华骆驼山煤矿因掘进巷道遇隐伏的陷落柱而发生特大突水,最大涌水量 $1\,083\text{ m}^3/\text{min}$ 。

这些突水事故大多造成了矿井的重大灾害。突水事故在造成群死群伤的死亡人数上和发生次数上,仅次于瓦斯事故,居第2位;而造成的直接经济损失却一直位列第一,一般每一次淹井的直接经济损失高达2亿~3亿元人民币,治理和恢复矿井的代价也相当高,有些矿井因经济等原因而被迫放弃恢复。例如,1984年范各庄矿特大陷落柱突水淹井,用了3年多时间才恢复矿井,造成直接经济损失6亿元;1988年淮北杨庄矿淹井,仅治水时间就用了2年多,损失6亿元;1996年皖北任楼矿刚试生产就淹井,用近1年时间才恢复,损失3亿元;1998年徐州张集矿淹井,治水用92 d,全部恢复矿井用了近1年,损失3亿元;2003年邢台东庞矿淹井,仅治水就用了8个多月,注浆和排水费用近5 000万元。

据统计,在过去的20多年里,我国有250多对矿井被水淹没,经济损失高达350多亿元。特别是2000年以来,煤矿水害事故呈现上升趋势,从2000年到2007年底,共发生重特大突水事故473起,死亡及失踪2 622人(见表1-1)。

表 1-1 2000~2007 年煤矿重特大突水事故统计表

年份	事故次数/次	死亡及失踪人数/人
2000	9	98
2001	38	176
2002	93	387
2003	92	424
2004	61	254
2005	104	593
2006	38	267
2007	38	423
总计	473	2 622

1.1.2 课题的提出

多年来,经过科技工作者的不断探索,工作面底板突水研究取得了重大进展,对承压水上采煤起到了重要的指导作用。但是,工作面底板突水事故还是时有发生。工作面底板突水难以完全消除的原因是多方面的,其客观原因主要表现在以下几个方面。

(1) 工作面底板含水层富水性的不均一性。我国华北煤田危害较大的底板水主要是灰岩含水层,属于岩溶含水层,其特征表现为:不均一性特别明显,有溶

洞的块段富含水,而没有发育岩溶的块段不含水;在含水层中,存在富水性强的强径流带。由于这种特征,现有勘探手段尚难以准确地查明岩溶含水层各个不同块段的富水性。

(2) 煤层到底板含水层之间的隔水层具有多样性。煤层到工作面底板含水层间的隔水层一般为砂岩、泥岩及薄层的灰岩,这些岩层的抗压性能和阻水性能都不相同,而且经过多期的地质构造运动,隔水层中存在节理、裂隙、断层等薄弱带,这些都使得底板隔水层的隔水性能差异性很大。

(3) 采煤工作面的开采过程是非常复杂的破坏过程。工作面底板在开采过程中会受到开采的“卸压”作用,同时还有水压力作用,有些作用力的时空分布各不相同,在工作面底板不同的时间和地点,应力和应变有较大的变化,目前要完全搞清楚工作面底板破坏情况尚有一定的困难。

正是由于存在以上客观原因,目前工作面底板突水研究中还存在一些问题尚未解决,主要表现在:

(1) 在突水判据的准则上,目前还没有统一而准确的标准,一些突水理论是利用岩石的塑性破坏作为岩层突水标准(如板壳理论和关键层理论),一些工作者在数值模拟中也是以塑性破坏作为突水标准,有些理论还以抗压强度作为突水标准(如突水系数法),也有一些理论以裂隙的扩展作为岩层导水的标准。这些标准之间差异较大,且实际上岩石破坏与岩石导水不是同一概念,比如砂岩的抗压与抗剪强度都较强,不易破坏,但具有较强导水性;而泥岩的抗压与抗剪强度都较弱,但阻水性能较强。因此,如何寻找一个岩体导水的标准,目前仍是一个难题。

(2) 在开采作用下,采场底板的应力分布十分复杂,有应力集中区,也有应力释放区,对底板的破坏多种多样。一些工作者认为工作面煤壁前方应力集中所造成的压缩破坏是底板突水的主要原因,一些工作者认为采空区应力释放及拉应力造成的拉张破坏是底板突水的主要原因,还有一些人认为地下水的向上作用力是工作面突水的主要动力。因此,目前对工作面突水主要动力源尚未完全弄清。

正是由于存在以上客观困难和研究不足,目前对工作面底板突水的预测预报还不是十分准确。因此,为了解放受水威胁的煤炭资源,保证矿井安全生产,必须寻找承压水上安全开采的方法。在目前阶段,建立工作面底板突水的监控系统是值得探索的途径。这种监控系统要能对底板破坏和渗流情况比较敏感,要能适应井下复杂情况,而且要具有远程监控功能。

1.1.3 课题研究的意义

本课题的研究有着重要的现实意义和理论意义,主要表现在以下几方面:

(1) 在安全方面——通过本课题的研究,可以建立一套工作面底板突水的监控系统,及时预警工作面底板突水,保证工作面安全开采,这对维护矿井工人的生命安全、维护矿山的财产安全,有着十分重要的意义。

(2) 在经济方面——本课题的成果将保证最大限度地开采煤炭资源,提高煤炭资源回收率,有着较大的经济意义。

(3) 在社会意义方面——目前我国许多矿区资源量越来越少,开采越来越深,水害问题越来越严重,本课题研究成果的应用对延长矿区寿命、建设和谐矿区有着重要意义。

(4) 在理论方面——本课题研究将在工作面底板突水理论上形成一些新的思路,对防治工作面底板突水有着理论意义。

(5) 在推广应用方面——本课题研究出的监控方法、监控仪器可以在各个矿区应用,有着较广泛的推广价值。

1.1.4 研究试验区情况区简介

建立工作面底板突水的远程监控系统,首先必须要选择一个矿区进行试验,然后在此基础上推广应用。本课题研究选用水害较为严重的山东省淄博矿区埠村煤矿开展试验工作。

淄博矿区受承压岩溶水的威胁和危害十分严重,在国内外同类型煤田中是极少见的,在历史上就曾造成多次重大淹井伤亡事故。据不完全统计,新中国成立前矿区岩溶突水淹井 5 次,如 1935 年中日合办的鲁大公司北大井发生岩溶突水,突水的瞬时高峰流量为 $1\ 011.5\ \text{m}^3/\text{min}$,整个矿井被淹,536 人同时遇难。从 1948 年至今,淄博矿区共计发生了大小突水事件 200 多次^[1-2]。

埠村煤矿位于章丘煤田的中南部,行政区划属济南市章丘市管辖。该矿以前有三个生产井口,一号井与二号井已关闭,现在只剩下三号井在生产。三井井田面积 $50.56\ \text{km}^2$,在东南部为 2003 年关闭的一号井井田,井田内及周边有仍在生产的小煤矿 7 处,另有报废矿井多处。

三号井 1958 年 10 月开始建设,1970 年 7 月简易投产,原设计生产能力 $0.90\ \text{Mt/a}$,2002 年核定生产能力 $1.30\ \text{Mt/a}$ 。

埠村煤矿为典型的分区开拓方式,三号井分为东西两区生产,东区和西区有各自独立的生产系统,在 $-390\ \text{m}$ 水平贯通。东区先采用立井和斜井混合方式开拓(到 $-85\ \text{m}$ 水平),后采用暗斜井延深。

井田内有可采煤层 5 层,即 1_1 、 3_1 、 9_{-1} 、 10_{-1} 、 10_{-3} 煤,煤种主要为贫煤和瘦煤。以上 5 个可采煤层中, 3_1 煤沉积较稳定,厚度较大,是本井的主采煤层,但经过多年开采, 3_1 煤储量已所剩不多,到 2005 年底,埠村矿 3_1 煤的储量为 $333.4\ \text{万 t}$; 1_1 煤沉积不稳定且被岩浆侵蚀,基本失去可采价值。因此,埠村矿要保持矿井

的生产能力,保证矿井可持续发展,就必须开采 9_{-1} 和 10_{-1} 煤。

但是 9_{-1} 和 10_{-1} 煤受水害威胁十分严重,影响 9_{-1} 煤开采的含水层主要有上石炭统太原组薄层灰岩、中石炭统徐上砂岩、徐家庄石灰岩和奥陶系石灰岩。由于水文地质十分复杂,埠村矿一号井发生了淹工作面以上突水事故 13 次(见表 1-2),最大突水量达 $421.2 \text{ m}^3/\text{h}$,自开采 -150 m 水平以下 9_{-1} 、 10_{-1} 层煤以来,几乎面面出水。三号井东区首采面 9110 开采 9_{-1} 煤已发生突水事故,突水量达 $334.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 。而 10_{-1} 煤层在 9_{-1} 煤 15 m 以下,开采危险性将会更大^[3]。

表 1-2 埠村煤矿突水情况表

突水地点	开采煤层	突水时间	突水点标高/m	突水水源	最大突水量/ (m^3/h)	处理及损失
一井东北石门采区 1002 面	10_{-1} 煤	1972.4	-40	徐灰	48.0	采区被淹隔离
一井东北石门采区 1007 面	10_{-1} 煤	1973.5	-70.8	徐灰	180.0	采区被淹隔离
一井东北石门采区 1006 面	10_{-1} 煤	1975.5	-39	徐灰	18.0	采区被淹隔离
一井东北石门采区 1008 面	10_{-1} 煤	1975.9	-80	断层(徐奥灰)	421.2	采区被淹隔离
一井东区十行一号上山 1009 面	10_{-1} 煤	1990.3	-77	断层(徐灰)	77.4	工作面撤出
一井 1043 下山	10_{-1} 煤	1992.8	-6	断层(徐灰)	45.0	强排
一井 905 采区 1051 面	10_{-1} 煤	1995.9	-137	徐灰	102.0	留煤柱退出开采
一井 905 采区 1053 面	10_{-1} 煤	1996.9	-110	徐灰	24.0	强排
一井 908 采区 1080 上山	10_{-1} 煤	1997.2	-145	断层(徐灰)	210.0	投资 23 万元堵水
一井 907 采区 1071 面	10_{-1} 煤	1997.6	-138	徐灰	147.6	工作面撤出
一井 907 采区 1073 面	10_{-1} 煤	1999.7	-188	徐灰	57.0	留煤柱退出开采
一井 909 采区 9091 面	9_{-1} 煤	1999.7	-323	断层(徐灰)	60.0	留煤柱退出开采
一井 908 采区 1089 面	10_{-1} 煤	2001.4	-169	断层(徐灰)	42.0	留煤柱退出开采
三井 911 采区 9110 面	9_{-1} 煤	2004.7	-380	徐灰	334.8	注浆封堵

为了保证矿区安全,最大限度地开采利用煤炭资源,淄博矿业集团联合有关科研单位,对埠村煤矿防治水工作进行了大量研究并取得了不少成果,包括含水层的探查方法、断层防水煤柱留设方法、底板突水机理、含水层的疏干降压方法、底板加固方法等方面,其中不乏行之有效的方法。

对于埠村煤矿 9_{-1} 煤、 10_{-1} 煤在承压水上安全开采的方法,由于水量丰富和环保方面原因,用疏干降压的方法显然是不可行的。虽然一号井在开采过程中研究并应用了黏土水泥预注浆改造含水层技术,取得了较好的效果,但该方法工程大、工期长,经济效益较差。考虑到经济成本的合理性,全面、大规模地注浆加固底板或帷幕注浆也难以进行。

因此,埠村煤矿 9₁煤、10₁煤将来安全开采方法应该是缩小采面宽度,减小开采对工作面底板造成的破坏。在缩小工作面采宽的基础上,可以对一些易突水的有构造的地段进行底板局部加固。

近年来,由于为满足保护地面建筑物的需要,埠村矿以及淄博矿区其他煤矿,在一些采区推行了条带开采的方法,从开采实践中发现,条带开采不仅减小了地面沉降,同时也减少了底板突水事故的发生。实践证明,实施条带开采对减少底板突水是有有效的。

但是目前缩小工作面的宽度的设计是凭经验进行的,基本操作方法是一旦工作面发生了突水事故,与之相近的下一个工作面的尺寸就相应缩小。这样做既不能保证工作面的安全,也不能保证资源的合理利用。

本次工作面底板突水监控系统在埠村煤矿试验,其直接目的就要通过监控系统的监测数据,从理论上进一步确定条带开采工作面的合理尺寸。

1.2 研究现状

1.2.1 工作面底板突水的机理

(1) 国外研究现状

早在 20 世纪初,国外就有人注意到底板隔水层的作用,并从若干次底板突水资料中认识到,只要煤层底板有隔水层,突水次数就少,突水量也小,隔水层越厚则突水次数及突水量越少。

20 世纪 40 年代至 50 年代,匈牙利学者韦格弗伦斯第一次提出底板相对隔水层的概念。他认为煤层底板突水不仅与隔水层厚度有关,而且还与水压力有关;突水条件受相对隔水层厚度的制约;相对隔水层厚度是等值隔水层厚度与水压力值之比。同时提出,在相对隔水层厚度大于 1.5 m/atm 的情况下,开采过程中基本不突水,而 80%~88% 的突水都是相对隔水层厚度小于此值。由此,许多承压水上采煤的国家引用了相对隔水层厚度大于 2 m/atm 就不会引起煤层底板突水的概念。

在这期间苏联学者 B. 斯列萨列夫将煤层底板视做两端固定的承受均布载荷作用的薄板,并结合强度理论推导出底板理论安全水压值的计算公式。

(2) 国内研究现状

国内在突水机理的理论研究方面相继出现以下理论:

① “下三带”理论^[4-5]——由山东矿业学院李白英等于 1988 年提出。该理论认为煤层底板自上而下存在着三个带:采动破坏带(1 带)、完整岩层带(2 带)和导升高度带(3 带)。底板采动导水破坏带是指由于采动矿压的作用,底板岩

体连续性遭到破坏,导水性发生明显改变的层带;承压水导升带是指含水层中的承压水沿隔水底板中的裂隙或断裂破碎带上升的层带,有时称其为原始导升带;而完整岩层带位于二者之间,其特点是保持采前岩层的连续性及阻水性能,它是阻抗底板突水的最关键因素,故又称为保护层带。该理论基于大量实测资料,揭示了底板突水的内在规律。但是“下三带”理论在具体应用中,还需要对底板破坏带和原始导升带在矿山压力作用下如何发展、完整岩层带如何破坏等问题做进一步研究。另外,该理论对断裂构造导水没有深入研究。

②“强渗通道”说^[6]——由中国科学院地质所提出。该理论认为底板是否发生突水,关键在于是否具备突水通道。这分为两种情况:其一,底板水文地质结构存在与水源沟通的固有突水通道,当它被采掘工程揭穿时,即可产生突破性的大量涌水,造成突水事故;其二,底板中不存在这种固有的突水通道,但在工程应力、地壳应力以及地下水共同作用下,沿袭底板岩体结构和水文地质结构中原有的薄弱环节发生形变、蜕变与破坏,形成新的贯穿性强渗通道而诱发突水。前者属于原生通道突水,后者属于再生或次生通道突水。该理论重视了地质构造(包括断层和节理)薄弱面对突水的影响,但对采动矿压和水压对突水产生的影响作用缺乏深入研究。

③“原位破裂”理论^[7]——由煤科院北京开采所王作宇、刘鸿泉于1992年提出。他们认为煤层底板在水平挤压、支承压力及水压的联合作用下,使工作面前方的超前压力段在煤层底板上半部产生水平挤压、下半部受到引张,在中部的底界产生无位移的张裂隙(原位破裂)并沿原来的构造裂隙扩大。在工作面推进过程中,底板由处于压缩的岩体应力急剧卸压,围岩的储存能大于岩体的保留能,便以脆性破坏的形式释放残余弹性应变能以达到岩体能量的平衡,从而形成采场底板岩体的零位破坏。承压水沿零位破坏带和原位破裂上升,和底板破坏带相接后在工作面煤壁前3 m至后5 m处突出。该理论解释了矿井突水的过程,对承压水上采煤实践具有一定的指导意义。但该理论对原位破裂发生、发展过程缺乏深入研究,其发育高度(厚度)难以确定,限制了其在实际中的应用。

④“岩水应力关系”说^[8]——由煤科院西安分院提出。该学说认为底板突水是岩(底板砂页岩)、水(底板承压水)、应力(采动应力和地应力)共同作用的结果,采动矿压使底板隔水层出现一定深度的导水裂隙,降低了岩体强度,削弱了隔水性能,造成了底板渗流场重新分布,当承压水沿导水裂隙进一步浸入时,岩体因受水软化而导致裂缝继续扩展,直至两者相互作用的结果增强到底板岩体的最小主应力小于承压水水压时,便产生压裂扩容,发生突水。该学说综合考虑了岩石、水压及地应力的影响,揭示了突水发生的动态机理,但对采动导水裂隙带及承压水的再导升高度等问题未得出定量结论。

⑤“板壳”理论^[9-10]——该模型由煤科院北京开采所张金才、刘天泉于1997