

煤层开采覆岩离层水体 致灾机理与防控技术研究

曹海东 靳德武 著



地质出版社

煤层开采覆岩离层水体 致灾机理与防控技术研究

曹海东 靳德武 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书在系统分析煤层开采覆岩离层透水案例及其典型特征的基础上,将离层水害划分为四种类型;研究了不同开采和覆岩条件下离层的发育规律、充水特征及致灾机理;提出“一般离层-充水离层-致灾离层”的三级判别方法和发育在导水裂缝带范围内的离层储水主控因素及其确定方法,在典型案例分析的基础上,研究了离层水体致灾机理、主控因素和透水条件,并进行离层透水危险性分区研究,提出了离层水害防控的6种技术措施,最终形成具有推广意义的离层水害防治的基本思路和防控技术体系。

本书供大专院校、科研单位及煤炭企业从事煤矿水害防治工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤层开采覆岩离层水体致灾机理与防控技术研究 /
曹海东等著. —北京:地质出版社,2018.8

ISBN 978-7-116-11129-5

I. ①煤… II. ①曹… III. ①煤矿-矿山水灾-防治-研究 IV. ①TD745

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第157019号

Meiceng Kaicai Fuyan Liceng Shuiti Zhizai Jili yu Fangkong Jishu Yanjiu

责任编辑:李惠娣

责任校对:王 瑛

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)66554646(邮购部);(010)66554579(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554579

印 刷:固安华明印业有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.25

字 数:280千字

版 次:2018年8月北京第1版

印 次:2018年8月河北第1次印刷

定 价:78.00元

书 号:ISBN 978-7-116-11129-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

矿井水害是煤矿五大灾害之一，给国家财产和人民生命造成了重大损失，预防矿井水害事故是煤矿安全生产工作的重中之重。离层水害作为一种新的顶板水害类型，目前全国被业界认可或被验证的离层水害案例共有 19 例。从分布地域看，有安徽、辽宁、山东、陕西、甘肃、宁夏、重庆及新疆；从开采煤系看，有二叠系、侏罗系、古近系等；从开采方式看，有单煤层开采、厚煤层分层开采及近距离煤层群开采；从致灾离层水体发育位置看，有发育在导水裂缝带范围以内的，也有发育在导水裂缝带范围外的。总之，离层水害给煤矿安全生产带来了重大影响，由于其突发性、复杂性和随机性的特点，在预防和治理上存在较大困难。

本书以水文地质学、采矿工程学、岩层控制学、水文地球化学、钻探工艺学等相关学科的理论为指导，通过理论分析、案例解剖、数值模拟、相似模拟及现场验证等手段，对不同煤层开采覆岩离层水体的致灾机理及其防控技术开展研究，旨在从理论和技术两个层面上探索煤矿离层水害防治的具体思路。

本书作者自 2007 年以来一直从事离层水害透水机理及其防治技术的研究工作，先后于 2007 ~ 2009 年、2016 ~ 2017 年以辽宁抚顺老虎台矿厚煤层分层开采，2011 ~ 2014 年以神华宁煤红柳煤矿单煤层开采为工程背景，对离层水害形成的主控因素、探查及防治技术开展研究，取得了大量第一手资料。2015 年以来，作者对全国其他煤矿区的离层水害事故案例进行了系统搜集和整理。在此基础上，提出了离层水害分类分型、透水模式、一般离层

—充水离层—致灾离层划分、透水危险性分区等概念，基于上述概念以及作者多年来的现场经验，建立了离层水害防控技术体系，继红柳煤矿 1121 工作面在第 4 次发生透水淹没工作面后，将本书建立的离层水害防控技术体系应用于 1121 后续工作面、其他工作面乃至整个宁东矿区，并在新疆沙吉海煤矿、陕西铜川玉华煤矿以及陕西彬长矿区的离层水害防治中得到了广泛应用，取得了显著的工程效果。

全书共分 8 章，第 1 章论述了研究背景、意义、国内外研究现状及研究内容；第 2 章在分析大量透水案例的基础上，将离层水害划分为四种类型，并建立了三种透水模式；第 3 章通过理论分析、数值模拟、相似模拟研究了一般离层的发育规律；第 4 章建立了充水离层和充水水源的判别方法；第 5 章提出了由充水离层演变为致灾离层的三种机理，即断裂冲击、静水压力、重复扰动；第 6 章应用所建立的一般离层—充水离层—致灾离层的概念，对红柳煤矿单煤层开采、老虎台矿厚煤层重复开采进行了透水危险性分区，为实现以井田为单元的离层水害分区治理奠定了基础；第 7 章在致灾离层判别方法研究的基础上，提出了 6 种离层水害防控技术措施，并在红柳煤矿开展了工程应用，取得了良好的效果；第 8 章为结束语。

在本书撰写过程中，承蒙中煤科工集团西安研究院有限公司董书宁研究员、虎维岳研究员、刘其声研究员、黄选明研究员等在研究思路确定、关键问题解决等方面提供过有益的借鉴和启迪。中煤科工集团西安研究院有限公司水文地质研究所赵宝峰副研究员、李德彬助理研究员、田增林硕士等在数值模拟、资料处理等方面提供了有益的帮助。宁煤集团、抚矿集团的领导及工程技术人员在现场应用中提供了大力支持和帮助。书中引用了很多国内外专家学者的观点和研究成果，在此一并表示感谢！

本书出版得到了国家重点研发计划“大型煤电基地水资源保护关键技术”（2016YFC0501104）、国家重点研发计划“过水大通道快速封堵截流技术与装备”（2017YFC0804106）和中煤科工西安院科技创新重点项目“宁东矿区煤炭安全高效开采与水资源保护关键技术研究”（2017XAYZD08）项目的资助。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请同行专家及读者批评指正！

目 录

前 言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究背景与意义	(1)
1.2 国内外研究现状	(4)
1.2.1 国外研究现状	(4)
1.2.2 国内研究现状	(5)
1.3 研究内容	(7)
第 2 章 离层水害类型及透水模式	(8)
2.1 离层水害案例	(8)
2.1.1 安徽淮北海孜、杨柳煤矿	(8)
2.1.2 国家开发投资集团有限公司新集一、二矿	(10)
2.1.3 山东华丰煤矿	(10)
2.1.4 山东济宁二矿	(11)
2.1.5 宁夏红柳煤矿	(11)
2.1.6 陕西铜川玉华煤矿	(12)
2.1.7 陕西彬长大佛寺煤矿	(14)
2.1.8 陕西彬长火石嘴煤矿	(15)
2.1.9 陕西宝鸡郭家河煤矿	(17)
2.1.10 陕西宝鸡崔木煤矿	(17)
2.1.11 甘肃华亭大柳煤矿	(19)
2.1.12 新疆沙吉海煤矿	(19)
2.1.13 重庆能源鱼田堡矿	(20)
2.1.14 重庆南桐一、二井	(21)

2.1.15	重庆松藻煤电公司打通一矿	(22)
2.1.16	辽宁抚顺老虎台煤矿	(23)
2.2	离层水害分类	(24)
2.2.1	一类一型	(25)
2.2.2	一类二型	(26)
2.2.3	二类一型	(27)
2.2.4	二类二型	(28)
2.3	离层水体透水模式	(33)
2.3.1	离层上覆岩体断裂冲击离层水体引发透水	(33)
2.3.2	静水压力导致离层水体破裂引发透水	(33)
2.3.3	重复扰动沟通离层水体引发透水	(34)
第3章	离层发育规律	(35)
3.1	理论分析	(35)
3.1.1	离层发育位置的判别	(36)
3.1.2	离层产生的参数确定	(38)
3.2	数值模拟	(40)
3.2.1	单煤层开采离层发育及覆岩破坏规律	(40)
3.2.2	断层影响条件下厚煤层分层开采离层发育及覆岩破坏规律	(55)
3.3	相似材料模拟	(68)
3.3.1	模型及装架	(70)
3.3.2	实验模拟分析	(70)
3.3.3	断层对离层发育的影响规律	(75)
第4章	充水离层及水源判别方法	(79)
4.1	充水离层判别方法	(79)
4.1.1	离层发育过程分析	(79)
4.1.2	离层下部岩体垂向渗流分析	(82)
4.2	离层充水水源判别方法	(85)
4.2.1	取样与测试	(85)
4.2.2	水样测试结果	(88)
4.2.3	离层充水水源判别	(98)
第5章	充水离层致灾机理	(100)
5.1	离层上覆岩体断裂引发透透水力分析	(100)
5.1.1	坚硬岩层冲击能量	(101)

5.1.2	离层水体内冲击波压力	(102)
5.1.3	离层水体下部岩体承受的压力	(104)
5.1.4	离层水体下部岩体破坏范围确定	(104)
5.2	静水压力引发离层透水机理分析	(105)
5.2.1	离层下部岩体极限厚度确定	(105)
5.2.2	极限破断距的确定	(107)
5.3	离层空间持续时间	(108)
5.4	典型离层水害致灾机理	(110)
5.4.1	典型单煤层开采充水离层致灾机理	(110)
5.4.2	典型厚煤层分层开采充水离层致灾机理	(112)
第6章	离层透水危险性分区研究	(119)
6.1	典型单煤层开采离层透水危险性分区	(119)
6.1.1	矿井地质及水文地质概况	(120)
6.1.2	分区原则及其指标	(123)
6.1.3	离层透水危险性分区	(123)
6.2	典型厚煤层分层开采离层透水危险性分区	(125)
6.2.1	分区原则	(125)
6.2.2	中部区各剖面分区	(127)
6.2.3	中部区各分区平面图	(133)
6.3	离层透水危险性分区验证	(135)
6.3.1	I010202 工作面离层水探放结果	(136)
6.3.2	I010203 工作面	(136)
6.3.3	I020204 工作面	(139)
6.3.4	I040203 工作面	(142)
第7章	离层水害防控技术体系及工程应用	(144)
7.1	致灾离层的判别及研究思路	(144)
7.2	致灾离层综合防控技术体系	(146)
7.2.1	针对充水水源的提前预疏放	(146)
7.2.2	针对强径流带的水平钻孔截流	(147)
7.2.3	针对致灾离层水体的地面钻孔探放与治理	(148)
7.2.4	回采过程中的离层水体探放	(148)
7.2.5	开采布局、工艺、速度及工作面布置优化	(150)
7.2.6	防控技术体系的建立	(151)

7.3 离层水害防治工程应用.....	(152)
7.3.1 离层水害防控体系检验	(153)
7.3.2 工程应用	(154)
第8章 结束语	(162)
参考文献	(165)

第1章 绪 论

1.1 研究背景与意义

水害事故在煤矿建设和生产过程中时有发生,对矿工生命及国家财产造成了重大损失(董书宁,2010;董书宁等,2007;靳德武等,2009)。以往矿井水害防治的技术与方法主要针对我国华北型煤田受底板奥陶系灰岩溶水(靳德武,2002;靳德武等,2008b;董书宁等,2009;刘再斌等,2013)以及老空水、陷落柱水威胁矿井的探测技术与装备研发等(董书宁等,2008;靳德武等,2013),并已形成较为成熟的防治水技术体系。

近年来,以煤层顶板含水层为主要充水水源的水害事故日益增多(虎维岳,2005;虎维岳等,2010a),造成的人员伤亡约占3.9%,事故发生的频次约占8.8%(魏久传等,2015)。顶板水害事故发生的原因除了顶板含水层(体)水通过采动裂隙、构造及封闭不良钻孔等导入矿井造成灾害外(孙文洁等,2017;虎维岳,1999;虎维岳等,2010b,2016,2017;武强等,2011,2013a,b),离层水害作为一种新的水害类型,给许多矿井造成了重大的经济损失和人员伤亡。

开采过程中煤层覆岩产生离层,一部分充水离层空间在受静水压力、矿山压力等因素影响下,离层水体破裂并在短时间内溃入井下造成灾害(王启庆等,2014)。

目前,被业内认可或被验证的离层水害案例较多。例如,2005年5月21日,淮北海孜矿745工作面发生透水事故,最大水量 $3887\text{ m}^3/\text{h}$,造成5人死亡(李伟等,2008;李小琴,2011);2007年3月10日,抚顺老虎台矿73003工作面发生透水事故,透水量 3000 m^3 ,包括绿色页岩、油母页岩、煤泥及少量砂砾岩在内的溃积物 5000 m^3 ,造成29名矿工遇难(靳德武等,2008a;曹海东,2015;曹海东等,2017)。2009年9月至2010年3月,宁夏红柳煤矿1121首采工作面推进了186 m,其间发生了4次较大规模的周期性透水,两次淹面,最大透水量 $3000\text{ m}^3/\text{h}$ (曹海

东, 2017b; 曹海东等, 2010, 2011; 陈占海等, 2014)。2010年12月至2011年7月, 陕西铜川玉华煤矿1412工作面开采至1270 m、1645 m和1800 m时均出现了较大规模的顶板透水, 透水量分别为1000 m³/h、2000 m³/h和1400 m³/h; 2012年3月31日, 1418工作面回采至725 m时出现了最大600 m³/h的顶板透水, 5月26日, 1418工作面回采至883 m时出现了最大500 m³/h的顶板透水, 工作面多次停产(曹海东等, 2012; 周建军等, 2015; 方刚, 2016; 方刚等, 2016)。2006年6月到8月, 重庆打通一矿S1818综采工作面发生多次透水, 透水量从186 m³/h到432 m³/h不等, 造成工作面多次被淹停产; 2008年11月到12月, S1821综采工作面发生多次透水, 最大透水量650 m³/h, 造成工作面多次停产和巨大的经济损失(李吴波等, 2008; 徐德金等, 2013)。2003年1月30日, 安徽新集二矿推覆体下1307工作面发生透水, 透水量400 m³/h(郭惟嘉等, 1997; 傅宪杰, 2001; 朱卫兵等, 2009; 李新风等, 2016; 王争鸣等, 2008; 王经明等, 2010)。此外, 陕西崔木煤矿、郭家河煤矿、火石嘴煤矿、大佛寺煤矿, 山东华丰煤矿(刘心广等, 2011; 景继东, 2007; 景继东等, 2006; 王志强等, 2014; 林青等, 2016; 张金涛, 2002; 施龙青等, 2010; 苏宝成, 2005), 新疆沙吉海煤矿(李东发等, 2016)等均不同程度发生离层透水事故。详见表1.1。

从这些离层透水案例中可看出, 离层水害与常见的顶板水害相比, 具有明显的特点: 离层的直接充水含水层富水性往往不足以支撑其较大的透水量, 富水性弱或

表 1.1 全国煤矿离层水害案例统计表

序号	地点	矿井名称	开采煤层	透水时间	最大透水量/(m ³ ·h ⁻¹)	水源	后果
1		鱼田堡矿	二叠系 K2、K3 煤	1985 年	1500	玉龙山及长兴灰岩水	淹面停产
2	重庆南桐	南桐一井	二叠系 4、5 煤	1994 年 8 月 28 日	963	长兴灰岩水	淹面停产
3		南桐二井		1965 年 8 月 23 日; 1966 年 6 月 2 日			
4	重庆打通	打通一矿	二叠系 M7-2、M8 煤	2006 年 6 月至 8 月; 2008 年 11 月 6 日至 12 月 12 日	S1818 工作面: 186, 294, 430; S1821 工作面: 650	玉龙山及长兴灰岩水	淹面停产
5	安徽	海孜煤矿	二叠系 7 煤	2005 年 5 月 21 日	3887	太原组砂岩含水层水	死亡 5 人
6	淮北	杨柳煤矿	二叠系 10 煤	2017 年 7 月 17 日至 18 日	总水量 7845.6 m ³	石盒子组砂岩含水层水	潜在威胁

续表

序号	地点	矿井名称	开采煤层	透水时间	最大透水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	水源	后果
7	安徽	新集一矿	二叠系 13^{-1} 煤	2003年1月30日	400	片麻岩含水 层水	淹面 停产
8	凤台	新集二矿		2001年12月28日	85		潜在 威胁
9	山东 泰安	华丰 煤矿	二叠系4煤	2005年9月	此前多次周期性透水, 最大720	古近-新近系巨 厚砾岩含水层水	停产
10	山东 济宁	济宁二 号煤矿	二叠系3煤	2007年7月至 12月25日	总水量: $46.6 \times 10^4 \text{ m}^3$	山西组砂岩 含水层水	采空区 水量大
11	辽宁 抚顺	老虎 台矿	古近系	2007年3月10日; 2011年6月21日	73003工作面: 5000 m^3 ; 73004工作面: 1342 m^3	白垩系砂砾 岩含水层水	死亡29人; 死亡3人
12	宁夏 银川	红柳 煤矿	侏罗系2煤	2009年9月至 2010年3月	周期性透水: 212, 1817, 793, 3000	直罗组下段粗 砂岩含水层水	两次淹面, 4次停产
13	陕西 铜川	玉华 煤矿	侏罗系 4^{-2} 煤	2010年12月至 2011年7月	1412工作面: 1000, 2000; 1400; 1418工作面: 6次透水, 最大为600	宜君组砂岩 和洛河组砂 岩含水层水	多次淹面、 停产
14	陕西 彬长	大佛寺 煤矿	侏罗系4煤	2010年7月至 2013年8月	40106工作面: 170; 40108工作面: 90; 40110工作面: 460; 41104工作面: 330; 41103工作面: 600		多次淹面、 停产
15		火石嘴 煤矿		2003年8月23日	总水量: 1000		淹面、 停产
16	陕西 宝鸡	郭家河 煤矿	侏罗系3煤	2012年8月24日	1306工作面: 1200		淹面、 停产
17		崔木 煤矿		2013年3月2日	21301工作面: 372, 1000, 500, 1100; 21302工作面: 500; 21303工作面: 570; 21305工作面: 300	多次淹面、 停产	
18	甘肃 崇信	大柳 煤矿	侏罗系4煤	2013年4月3日	1402工作面: 430	志丹群砂 砾岩水	停产
19	新疆 和布 克赛 尔	沙吉海 煤矿	侏罗系B10煤	2016年12月	总水量: 38316.2 m^3	头屯河组含水 层水、西山窑 组中-粗砂岩 含水层水	排水量大

中等居多,透水前无任何征兆,瞬时水量较大、破坏性强、总水量有限,持续时间短,机理复杂多样、难探查、难治理等。

发生如此多的离层透水事故,其离层水体发育的条件和致灾机理是不同的。如宁夏红柳煤矿,陕西玉华矿、崔木煤矿、郭家河煤矿、火石嘴煤矿、大佛寺煤矿的致灾离层水体发育在开采覆岩导水裂缝带范围以内;淮北海孜煤矿、安徽新集矿区的致灾离层水体发育在导水裂缝带范围以外;抚顺老虎台矿的致灾离层水体是厚煤层分层开采条件下,上分层开采产生离层空间并充水后,下分层开采覆岩遭到破坏沟通了离层水体导致的灾害;重庆南桐一、二井和打通一矿是近距离煤层群开采条件下,后开采的煤层覆岩遭到破坏沟通了先期煤层开采时产生的离层水体等。

离层水体发育位置的不同也导致其充水特征和透水机理的不同,国内学者虽然针对个别矿井发生的离层水害也做了大量的研究工作,但是系统性地从区域乃至全国的角度进行研究稍显不足,仅就机理和透水模式而言,也很难实现较为统一的认识,有的甚至将不同类型的离层透水机理混淆;特别是对于致灾离层处于导水裂缝带范围内的情况,无法合理解释或定量判别此类离层空间的储水机制;正是由于这些原因,导致在离层水害防治措施方面缺乏针对性或者过度防治造成盲目性浪费;另一方面,当一个工作面推进到某一区段时发生了离层透水后,又无法确切判别该工作后续回采、相邻工作面、整个采区、全井田、甚至整个矿区是否受到离层水害的威胁,威胁程度有多大,总体上缺乏系统的梳理和深入的研究。因此,需要对离层水害进行全面、系统的研究,准确判别可致灾离层,明确各类型离层水害的致灾机理及其典型特征,形成一套具有针对性、可操作性和有一定推广意义的防控技术体系就显得尤为迫切。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

1983年,德国学者 H. Kratsch (1983) 在其著作《采动损害及防护》一书中,首次提出离层的概念;1984年,美国学者 S. S. 彭 (1984) 提出:开采覆岩离层和破坏均发生在压力拱内,工作面回采后顶板覆岩在垂向上分为三带,离层现象发生在裂隙带(比尼斯基,1990);1989年,波兰学者 J. Palarski 提出:采用离层注浆的方法控制地表沉陷,并预测离层注浆可使地表的沉陷量减少 20%~30%;1990年,苏联学者 В. Л. Самарин 以水体下开采为研究对象,重点研究了离层带的形成、发育位置及其影响因素;S. Lin (1993) 分析了复合顶板层面位移的不连续性和应力的变化特征;Gregory Molinda 对复合顶板离层进行了现场观测,提出了注浆加固顶板的

方法 (Meng et al., 2007)。

总体上,国外学者对离层的概念及发育规律进行了系列研究,但未涉及离层积水、透水问题。

1.2.2 国内研究现状

钱鸣高等 (2003a, b) 的关键层理论认为,离层是随着覆岩地层下沉,产生于层与层之间的裂隙,离层的发育、发展及时空分布受关键层控制,并发育于关键层之下;随着工作面推进,关键层初次破断前离层空间体积不断增加,初次破断后位于采空区中部的离层逐渐被压实,而采空区两侧的离层区是随着工作面的推进不断前移的,其高度和宽度仅为关键层初次破断前的 $1/4 \sim 1/3$ 。

高延法 (1996)、高延法等 (2001) 提出的“四带”理论是将原“三带”中弯曲下沉带的底部与导水裂隙带的顶部范围划分为离层带,增加了“分”松散冲积层带。认为煤层开采后,垮落带上部的岩层虽然发生断裂或下沉,仍保持层状结构,但沿着地层层面方向已不具有连续性,当断裂破坏现象发展到一定程度时,其上覆地层则出现离层和下沉现象。

姜岩 (1997)、姜岩等 (1997)、郭惟嘉 (2000)、郭惟嘉等 (1995, 1999)、张玉卓 (1996)、张玉卓等 (1996, 1998, 2000) 研究了开采覆岩离层发育及分布规律、离层产生的力学条件和空间体积的计算方法,及工作面开采速度、覆岩岩性、工作面尺寸等因素对离层体积计算结果的影响等。

王金庄等 (1999) 在离层注浆减沉方面做了相关的研究,认为在地质和开采条件相似的情况下,采空区尺寸的大小直接影响离层带高度,在充分采动条件下离层带高度发育到最大值。

赵德深 (1986, 2000)、赵德深等 (1998, 2002, 2005a, b) 利用相似模拟方法研究了开采覆岩离层分布规律,提出了覆岩拱梁平衡理论和力学平衡结构,分析了影响离层时空分布的地质和开采等因素,揭示了开采覆岩离层从产生到消失随时间变化规律,给出了近水平煤层开采覆岩离层发育位置判别和离层空间大小的计算方法。同时利用计算机数值模拟方法研究了开采覆岩离层的空间展布、高度变化规律及其影响因素。

郝延锦等 (1999)、S. Lin (1993)、张建全等 (2001, 2002, 2003) 通过岩层位移观测、覆岩破坏分析及相似模拟方法,研究了开采覆岩“三带”发育特征及规律,对可能发育离层的位置及其随着工作面不断推进过程中的动态变化规律,提出了确定离层位置动态变化的计算公式。

滕永海等 (1999) 以理论分析为基础,结合实际观测资料,提出当覆岩移动速度达到最大时,离层发育最为迅速;覆岩垂向位移量最大时,离层发育最为充分;

之后,随着采空面积的不断增大,离层上覆岩层不断下沉,离层空间逐渐被压缩直至消失。

苏仲杰(2001)、苏仲杰等(2003)通过数值模拟、室内试验等方法研究了开采覆岩离层的力学机理,认为覆岩中压力平衡拱的存在是离层产生的必要条件,离层产生与否则取决于覆岩岩性、岩层厚度及组合结构。

李树刚(1999)、李树刚等(2000)、涂敏等(2004)将瓦斯在介质中的运移与矿压变化规律相结合,分析了综放开采条件下覆岩离层空间的发育和变化规律(段欣等,2006),提出了控制离层的关键层在初次破断前后的理论表达公式。

此外,还有许多学者通过计算机模拟方法对开采覆岩破坏、变形、移动及应力分布特征进行了研究,分析了煤层开采覆岩离层随着开采面积变化而变化的动态过程。

上述学者总体上对煤层开采覆岩离层空间产生的机理、力学条件,空间展布规律及离层空间体积的计算方法、离层空间随着采空面积增大发生动态变化的特征等做了大量的研究工作。

1992年,谢宪德以南桐3个井田的透水案例为研究对象,首次对离层透水机理展开了相关研究工作,提出了此类离层透水的机理:先开采的煤层顶板覆岩破坏移动,在弯曲下沉带产生离层空间并充水,处于稳定状态,后开采的煤层对覆岩重复扰动,破坏的强度和范围增大而导通了该离层水体引发透水。

李文平等(2008)、程新明等(2008)、李小琴(2011)以海孜煤矿745工作面为研究对象,将此类离层透水定义为煤矿动力透水。此后,赵团芝等(2009)、韩东亚(2008)等以海孜煤矿、新集一矿、新集二矿为研究对象,认为此类离层透水的机理是:由于煤层顶板覆岩发育巨厚的坚硬岩层,煤层开采覆岩破坏移动,而该坚硬岩层承受巨大的荷载发生弹性形变,使弹性能积聚,随着采空面积的增大突然断裂,离层水体破裂而引发透水。

乔伟等(2011a)、乐建(2009)等学者以济宁二号煤矿为研究对象,得出了静水压力透水机理:煤层开采覆岩离层空间形成并接受地下水补给,随着水量的增加离层变形量增大并接近补给水源的压力,离层下覆岩层在荷载和水压力的共同作用下产生一定的下行裂隙,使其与导水裂缝带之间的有效隔水岩层厚度减小,随着工作面的不断推进,离层水体破裂引发透水。

李吴波等(2009)、谢宪德(1997)、陈正华等(2017b)、朱卫兵等(2009)、胡东祥(2010)等学者以打通一矿、鱼田堡煤矿、南桐一井、南桐二井等为研究对象,得出了近距离煤层群重复开采离层透水机理:先期开采的煤层覆岩发育离层空间充水后处于稳定状态,后采煤层覆岩破坏对先期开采的煤层覆岩有重复扰动作用,导水裂缝带沟通了上覆的离层水体引发离层透水。

方刚(2016)、方刚等(2016)以玉华煤矿为研究对象,认为离层形成后,由

于离层下部岩体的水理特征导致导水裂隙自闭合后再充水，随着离层水体聚集量增加失稳后发生透水。

1.3 研究内容

通过案例解析、理论分析、数值模拟、相似模拟、工程验证等技术手段开展以下研究：

(1) 分析国内发生的典型离层水害案例，首先按照不同的开采方式对致灾离层进行分类；然后从致灾离层所处的位置与导水裂隙带的相对位置关系进行分型；并总结分析离层透水的不同模式。

(2) 通过理论分析、数值模拟、相似模拟、化学检测等技术手段对离层空间的发育规律、充水特征、致灾离层透水条件进行研究，提出“一般离层—充水离层—致灾离层”三级判别方法。

(3) 通过典型离层水体致灾机理和主控因素研究，评价离层透水条件，对单因素离层透水危险性和多因素耦合作用离层透水危险性进行分区研究，并通过离层水害发生的案例和现场的探查工程，验证分区结果的可靠性。

(4) 建立离层水害防控技术体系。首先对离层空间发育的位置、充水水源、透水条件等进行系统分析并判别致灾离层，进而确定离层水害类型、致灾机理及主要控制因素并进行危险性分区，根据分区结果制定有针对性的经济、可靠的防控措施，包括：充水含水层的提前疏放、充水含水层强径流带的截流、地面钻孔的探放、井下钻孔探放、工作面回采过程中探放及开采方法、开采序次、工作面布置优化等。

(5) 以典型致灾离层水体防治作为工程应用实例，即以红柳煤矿 1121 工作面离层水害防治工程为例，验证防控体系的合理性和可操作性。

第2章 离层水害类型及透水模式

近年来,由于离层水体溃入矿井造成人员伤亡或较大经济损失,且被业内认可或被验证的案例较多。这些离层水害案例分布区域广、涉及开采煤系全、开采方式多、致灾离层水体的发育位置及透水机理复杂,因此,需要对离层水害类型进行系统梳理,为研究各类离层水害的致灾机理、制定有针对性的防控技术奠定基础。

本章将从已发生离层水害案例分析入手,以煤层的开采方式和致灾离层水体与导水裂缝带的相对位置关系对离层水害进行科学分类,并从不同角度总结各类型离层水害的典型特征,同时对离层水害的透水模式进行归类。

2.1 离层水害案例

目前被业内认可或被验证的离层水害案例在全国共涉及19个矿井,从分布地域看,有安徽的淮北和凤台,辽宁抚顺,山东的济宁和泰安,陕西彬长、宝鸡和铜川,甘肃华亭,宁夏银川,重庆南桐和打通及新疆和布克赛尔,分布的区域较广;从开采的煤系看,有侏罗系、古近系、二叠系等。从开采方式看,有单煤层开采、厚煤层分层开采及近距离煤层群开采;从致灾离层水体发育的位置看,有发育在导水裂缝带范围内的,也有发育在导水裂缝带范围外的。

下面对这19个矿井所发生离层水害的时间、地点、透水量、开采煤层、开采方式、补给水源以及与导水裂隙带的关系等进行全面总结。

2.1.1 安徽淮北海孜、杨柳煤矿

2.1.1.1 海孜煤矿

开采二叠系7煤,厚度为0.2~3.2 m,平均1.29 m,倾角18°。2005年5月21日一水平84采区745工作面发生瞬时最大透水量达3887 m³/h的透水事故,造成5