



煤矿深孔预裂爆破治理 瓦斯技术及应用

——煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱

袁 亮 刘泽功 黄文尧 朱福元
章万龙 刘 健 蔡 峰 傅菊根 ◎著



科学出版社

煤矿深孔预裂爆破 治理瓦斯技术及应用

——煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱

袁 亮 刘泽功 黄文尧 朱福元 著
章万龙 刘 健 蔡 峰 傅菊根

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了煤矿深孔预裂爆破治理瓦斯的背景,煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱生产技术及其工程应用,具体包括炸药爆炸应力波在深部煤岩中的传播规律,煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的组成、结构、配方与生产工艺、产品性能、检验规程、使用安全操作规程和爆破安全管理,以及利用该药柱在高瓦斯矿井中进行煤层增透、井筒和石门揭煤防突、综采面厚硬顶板超前弱化、冲击地压动力灾害治理等深孔预裂爆破的应用实例。

本书可供从事煤矿许用炸药生产,以及煤层瓦斯快速增透、井筒和石门揭煤防突、综采面厚硬顶板超前弱化等深孔预裂爆破技术研究的工程技术人员和科研人员参考,也可作为工科院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿深孔预裂爆破治理瓦斯技术及应用:煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱/袁亮等著. —北京:科学出版社,2018.8

ISBN 978-7-03-058402-1

I. ①煤… II. ①袁… III. ①煤矿—深孔爆破—预裂爆破—药柱—瓦斯抽放—研究 IV. ①TD712

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第170900号

责任编辑:赵晓霞 孙 曼/责任校对:樊雅琼

责任印制:吴兆东/封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年8月第一次印刷 印张:15 1/4 插页:6

字数:290 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

高瓦斯低透气性突出煤层的开采与巷道掘进一直是制约煤矿安全高效开采的重大技术难题。近年来,随着煤矿开采强度的加大、开采深度的不断延伸,出现了高地应力、高瓦斯、低透气性、松软强突出共存于同一煤层的特征。传统的钻孔法预抽原始煤层瓦斯的方法很难快速降低煤层瓦斯含量,在高瓦斯低透气性突出煤层内施工巷道,特别是在井巷揭穿高瓦斯低透气性突出煤层的过程中,历史上曾经发生过多起重特大煤与瓦斯突出事故,导致众多人员伤亡和重大经济损失,造成了极其不良的社会影响。为了解决煤层的局部增透问题,安徽理工大学的科研团队经过“十五”、“十一五”和“十二五”期间的精心研究,并得到国家自然科学基金面上项目(51474009)的资助,开发研制出了一种专门用于提高高瓦斯低透气性煤层透气性的新型爆破器材——煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱,其具有药柱结构简单、孔内装填方便、长距离连续传爆等特点,解决了传统的长距离孔内装药难、深孔爆破拒爆等问题。

煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱主要是通过煤层内钻孔或靠近煤层顶底板的岩层钻孔的方式实施深孔爆破,增加局部煤层或煤层顶底板岩层的裂隙,改变局部煤层的物理学特性,提高煤层的透气性。早期煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱被成功地应用在综采工作面深孔爆破增透瓦斯超限治理和突出煤层深孔爆破增透井巷揭煤工程中,之后推广到综采工作面坚硬厚顶板超前深孔爆破预裂爆破弱化、矿山冲击地压动力灾害治理工程中。为了使从事煤矿许用炸药的生产、煤矿瓦斯治理及动力灾害防治等工作的技术人员更加全面系统地了解煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的组成、结构、性能和工程应用等,本书详细介绍了煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的生产和工程应用的最新进展。

从煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的构思、设计、生产和现场试验到加工生产,历经十余年,不但安徽理工大学煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的研究团队投入了大量的精力,而且两淮矿区从事煤矿安全生产技术和管理、煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱生产的企业工程技术人员也参与大量煤矿井下试验、产品性能检验、药柱生产工艺优化和产品标准制定和修订等工作。淮南矿业(集团)有限责任公司方良才、李平,皖北煤电集团吴玉华、司春风,国投新集能源股份有限公司刘德成、周应江,淮南舜泰化工有限责任公司曹怀成、周福强、王世龙和安徽理工大学颜事龙等参与了煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的试验研究和推广应用工作。

本书第1章由袁亮和刘泽功撰写，第2、7、9章由刘泽功、刘健和蔡峰撰写，第3、4、6、8章由黄文尧撰写，第5章由朱福元和章万龙撰写，第10章由傅菊根和黄文尧撰写。

工业和信息化部安全生产司金鑫、肖月华，原国家安全生产监督管理总局规划科技司吴鑫，安标国家矿用产品安全标志中心臧梦和中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司夏斌对煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱性能试验研究和安全生产标准的制定和修订给予大力支持，在本书撰写过程中，安徽理工大学、淮南舜泰化工有限责任公司和科学出版社给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢！

限于作者水平，书中难免存在一些缺点和不足，恳请广大读者批评指正。

作 者

2018年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 煤层深孔预裂爆破	2
1.2.1 研究历史	2
1.2.2 研究进展	4
1.2.3 存在的问题	8
1.3 研究意义	9
第 2 章 炸药爆炸应力波在深部煤岩中的传播规律	12
2.1 应力波传播的基本方程	12
2.2 应力波在弹性介质中的传播规律	13
2.2.1 应力波在半无限弹性介质中的传播特性	13
2.2.2 应力波在分界面处的传播特性	14
2.3 应力波在黏弹性介质中的传播规律	15
2.4 应力波在自由界面的反射	18
2.4.1 应力波遇自由界面的反射效应	18
2.4.2 入射应力波和反射应力波的叠加	20
2.5 炸药爆炸应力波在煤体中传播规律的数值模拟	20
2.5.1 数值分析模型的建立	20
2.5.2 炸药爆炸应力波在煤体中传播	23
2.5.3 炸药爆炸应力波对煤体质点的影响	23
2.5.4 炸药爆炸应力波叠加效应分析	23
2.5.5 炸药爆炸应力波在煤岩体介质中的传播与衰减规律	28
2.6 柱状装药爆破对含瓦斯煤作用的力学特性	32
2.6.1 运动学和动力学控制方程及应力应变关系	32
2.6.2 边界条件	33
2.6.3 塑性区应力	34
2.6.4 弹性区应力	35
2.6.5 响应关系	35

2.6.6	塑性区半径的确定	35
2.6.7	模型实验和数值模拟	36
第3章	煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的组成和结构	42
3.1	组成	42
3.1.1	氧化剂	42
3.1.2	可燃剂	44
3.1.3	水	48
3.1.4	胶凝剂	48
3.1.5	交联剂	55
3.1.6	消焰剂	57
3.1.7	传爆体	58
3.1.8	装药管	58
3.2	结构设计	60
第4章	煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱配方与生产工艺	64
4.1	三级煤矿许用水胶炸药的配方	64
4.1.1	配方设计的基本原则	64
4.1.2	配方设计的步骤	66
4.1.3	三级煤矿许用水胶炸药的基本配方	67
4.1.4	热化学参数的理论计算	67
4.2	三级煤矿许用水胶炸药的混合原理	72
4.2.1	主体流动和湍流	72
4.2.2	液体物料的混合过程	73
4.2.3	搅拌液体的复合涡流运动	75
4.2.4	搅拌液体流型	76
4.3	煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的生产工艺	78
4.3.1	煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的生产工艺流程及生产技术条件	78
4.3.2	硝酸甲胺中和工艺	79
4.3.3	混药工艺流程	86
4.3.4	装药工艺流程	88
4.4	安全生产规程	90
4.4.1	工作时间	90
4.4.2	人员	90
4.4.3	设备与设施	91
4.4.4	生产现场	92

4.4.5 工艺过程	93
4.4.6 运输	93
4.4.7 安全管理	93
第5章 煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱原材料、半成品和成品检验规程	94
5.1 原材料的标准及验收规程	94
5.1.1 硝酸	94
5.1.2 一甲胺	94
5.1.3 硝酸铵	95
5.1.4 硝酸钠	95
5.1.5 田菁粉	96
5.1.6 铝粉	98
5.1.7 膨胀珍珠岩	99
5.1.8 消焰剂	101
5.1.9 交联剂	102
5.1.10 泡沫稳定剂	103
5.1.11 传爆体	104
5.1.12 装药管	104
5.2 半成品检验规程	105
5.2.1 稀硝酸	105
5.2.2 硝酸甲胺	106
5.2.3 三级煤矿许用水胶炸药	108
5.3 成品检验规程	109
5.3.1 技术条件	109
5.3.2 检验规则	110
5.3.3 实验方法	112
第6章 深孔预裂爆破工艺流程及其安全管理	121
6.1 煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱使用安全操作规程	121
6.1.1 范围	121
6.1.2 规范性引用文件	121
6.1.3 术语和定义	121
6.1.4 技术要求	122
6.1.5 拒爆事故处理措施	123
6.2 深孔预裂爆破工艺流程	123
6.3 深孔预裂爆破安全管理	127

6.3.1	火工品管理	127
6.3.2	爆破管理	127
第7章	回风上山底抽巷穿层深孔预裂爆破增透技术	130
7.1	深孔预裂爆破增透数值模拟	130
7.1.1	引言	130
7.1.2	数值模型和边界条件	130
7.1.3	数值模拟	141
7.2	深孔预裂爆破增透应用实例	149
7.2.1	工程概况	149
7.2.2	爆破参数设计	150
7.2.3	爆破施工及其安全技术措施	153
7.2.4	爆破增透效果	156
第8章	深部井筒揭双层煤深孔预裂爆破防突技术	158
8.1	某矿二副井井筒基本情况	158
8.1.1	某矿二副井井筒	158
8.1.2	8煤层基本概况	158
8.1.3	6煤层基本概况	160
8.2	煤层瓦斯基础参数测试	161
8.2.1	8煤层瓦斯基础参数	161
8.2.2	8煤层瓦斯含量测算	162
8.2.3	煤层瓦斯流量衰减系数与透气性系数测算	164
8.2.4	煤与瓦斯突出指标测算	168
8.2.5	6煤层瓦斯基础参数	170
8.3	井筒揭煤深孔预裂爆破防突技术现场试验	174
8.3.1	井筒揭8煤深孔预裂爆破增透试验	174
8.3.2	井筒揭6煤深孔预裂爆破增透试验	181
8.4	爆破后井筒护壁固化研究	189
8.4.1	井筒护壁固化原理	189
8.4.2	井筒揭8煤深孔预裂爆破后井筒护壁固化	190
8.4.3	井筒揭6煤深孔预裂爆破后井筒护壁固化	191
第9章	深孔预裂爆破在石门揭煤中的应用	193
9.1	潘东公司西四运输石门揭煤应用	193
9.1.1	试验地点工程概况	193
9.1.2	深孔预裂爆破石门揭煤参数设计	193

9.1.3 试验结果分析	194
9.2 潘三矿石门揭煤工程应用	196
9.2.1 预裂控制爆破松动半径考察方案	196
9.2.2 考察结果及分析	198
9.2.3 石门揭煤消突工业试验	203
9.2.4 试验效果考察	204
第 10 章 综采面厚硬顶板超前深孔预裂爆破治理瓦斯技术	207
10.1 工程概况	207
10.1.1 井下及地面位置	207
10.1.2 邻近采掘	207
10.1.3 采面参数	207
10.1.4 生产安排	208
10.1.5 顶底板岩性描述	208
10.1.6 地质构造情况	208
10.1.7 水文地质	209
10.2 综采面厚硬顶板超前深孔预裂爆破弱化瓦斯治理方案	210
10.2.1 强制放顶方法	210
10.2.2 综采工作面爆破强制放顶参数设计技术	213
10.2.3 瓦斯治理方案	216
10.3 爆破参数	216
10.4 瓦斯涌出量预计	220
10.4.1 综采面已采块段的瓦斯涌出量	220
10.4.2 综采面瓦斯情况及瓦斯涌出量预计	220
10.5 通风排瓦斯	221
10.5.1 通风方式	221
10.5.2 综采面风量	223
10.5.3 通风排瓦斯观测结果	223
10.6 老塘埋管抽采瓦斯	224
10.6.1 老塘埋管布置	224
10.6.2 老塘埋管抽采瓦斯结果与分析	225
10.7 高抽巷抽采瓦斯	225
10.7.1 高抽巷抽采瓦斯布置	225
10.7.2 高抽巷抽采瓦斯结果与分析	226
参考文献	228
彩图	

第1章 绪 论

1.1 背 景

安徽两淮煤炭基地一直被誉为华东地区的“工业粮仓”。随着我国经济的快速发展,对煤炭的需求量逐年增长。但是安徽两淮矿区煤层赋存条件复杂,特别是随着煤矿开采强度的加大、开采深度的不断延伸,出现了高地应力、高瓦斯、低透气性、松软强突出共存于同一煤层的特征,煤层中的瓦斯成为煤矿安全生产的“第一杀手”。这一时期安徽两淮矿区的煤炭产量一直在 3000 万 t/a 左右波动,难以满足我国华东地区经济增长对煤炭的需求。历史上安徽两淮矿区曾是瓦斯灾害的重灾区,20 世纪 80~90 年代,几乎连年都有重特大瓦斯事故发生,导致众多人员伤亡和重大经济损失,百万吨死亡率居高不下,有的年份百万吨死亡率高达 10 以上,给社会带来严重的不良影响。矿区要实现安全生产,保证煤炭产能的提高,需要对老井进行挖潜改扩建和大规模建设一批新的矿井,从而就有大量的原始煤巷掘井和井巷揭煤工程。为保证煤巷掘井和井巷揭煤工程的安全生产,必须对原始煤层的瓦斯进行高效抽采,而两淮矿区煤层透气性极低,原始煤层瓦斯极难抽采。

实践证明,解决矿井煤与瓦斯突出、瓦斯积聚或异常涌出问题的主要措施应是开采卸压保护层和预抽区域煤层瓦斯,但由于开采卸压保护层受地质条件的制约较大,大部分矿井并不具备开采卸压保护层条件,此时预抽区域煤层瓦斯将成为主要的治理手段。特别是在新矿井建设期间,经常遇到井巷揭煤工程,揭煤前必须将待揭煤层的含瓦斯参数通过预抽瓦斯措施降到安全标准规定值。

原始煤层瓦斯的抽采普遍采用钻孔法,由于煤层渗透率低,抽采钻孔工程量大,抽采效率低,要保证抽采效果达到《煤矿安全规程》和《防治煤与瓦斯突出规定》的指标要求,需要相当长的抽采工程期。高瓦斯突出煤层巷道掘进每月不足 30m,井巷揭开一层突出煤层需要 1 年以上,这导致改扩建矿井的采掘比严重失调,新建矿井建井工期长,高瓦斯低透气性突出煤层的瓦斯抽采效率严重制约着生产矿井产能的提升和新井建设速度。为了提高高瓦斯低透气性突出煤层的瓦斯抽采效率,达到提高煤层巷道掘进速度、缩短井巷揭煤工期的目的,安徽理工大学煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱的研究团队开始了针对高瓦斯低透气性煤层的深孔爆破强化增透研究,历经十余年,煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱从构思、设计、

加工生产到现场试验,成功地应用在综采工作面深孔爆破增透瓦斯超限治理和突出煤层深孔爆破增透井巷揭煤工程中,杜绝了生产过程中煤与瓦斯动力灾害的发生,之后推广到综采工作面坚硬厚顶板超前深孔预裂爆破弱化、矿山冲击地压动力灾害治理工程领域。

煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱在安徽两淮矿区高瓦斯突出煤层深孔预裂爆破增透的成功推广应用,使得煤层巷道掘进速度提高 4 倍以上,井巷揭煤工期由原来的 1 年以上缩短到 3 个月以内,改扩建矿井的采掘比严重失调的状态得到缓解,新建矿井建井工期大大缩短。安徽两淮矿区随着高瓦斯低透气性煤层抽采瓦斯难题的突破,现代化先进技术和装备应用在煤矿生产和矿山建设中,杜绝了重特大瓦斯事故的发生,实现了煤矿的安全高效开采。

“十五”期间全国煤炭产量为 2001 年 10.9 亿 t、2005 年 21.9 亿 t,5 年时间全国煤炭产量翻了一番,到 2013 年达到 36.8 亿 t。随着防治瓦斯灾害难题的逐个攻克,安徽两淮矿区煤炭产量由“十五”期间的 3000 万 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 左右,增加到了“十二五”初的 1.3 亿 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$,淮南矿业(集团)有限责任公司煤炭产量由“十五”初 1000 余万 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$,增长到“十一五”末的 7000 万 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。在煤层条件极其复杂的瓦斯灾害重灾区,煤炭产量增长速度超过全国平均水平,百万吨死亡率低于发达采煤国家的平均水平。

1.2 煤层深孔预裂爆破

国内外的实践证明,低透气性高瓦斯煤层采用常规的瓦斯抽采方法效果都不太理想。由于煤层松软,透气性低,瓦斯抽采困难,预抽时间长,无法消除采掘工作面的瓦斯灾害威胁,同时回采工作面的生产能力受到限制。“八五”以来,国内科研、生产技术人员对高瓦斯低透气性煤层如何强化瓦斯抽采进行过相关研究,其研究的基本内容主要基于两个观点:一是提高煤层透气性,二是增加单位煤体钻孔长度,以达到提高抽采率的目的。高瓦斯低透气性煤层增透方法很多,但归纳起来主要可以分为两类:一类是区域性方法,该类方法包括煤层区域长钻孔法、穿层钻孔法、煤层注水法、开采保护层法等;另一类是局部增透方法,该类方法有浅孔松动爆破、深孔预裂爆破、高压水力冲孔、高压水射流、水力压裂、水力割缝、加密钻孔和交叉钻孔等方法。实际工程应结合煤层的赋存条件来选取合理有效的增透方法。水力压裂和深孔预裂爆破是当前煤矿瓦斯抽采实践中比较常用的增透方法。

1.2.1 研究历史

从 20 世纪 50 年代开始,国内外就采用深孔预裂爆破的方法来解决低透气性煤层瓦斯抽采率低的问题。深孔预裂爆破的基本原理是利用炸药爆炸瞬间产

生的爆轰压力和高温高压爆生气体,使爆破钻孔周围的煤岩体产生裂隙、松动、压出和膨胀变形,以提高煤层的透气性,提高瓦斯抽采率。1956~1958年,苏联在卡拉干煤田进行了煤层预裂爆破试验,将装有8.5kg硝酸铵炸药的药柱置入爆破钻孔内,并注入0.5~0.6MPa的水,爆破后近20天内,钻孔瓦斯总流量比爆破前同一类煤层增加了33%,1958年进行了第二次试验,并对爆破工艺进行了改进,主要改进了爆破筒结构和爆破技术。爆破前百米钻孔瓦斯流量为 $21.7\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,爆破后为 $46.7\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,增加了一倍多,在随后的试验中增加了爆破筒的长度,单孔装药长度为20m,药量24.1kg。试验结果表明,在爆破段内每米钻孔的瓦斯流量增加了70%,裂隙影响区域与爆破段长度相同,其影响区域直径达到6m左右,这说明,采用深孔预裂爆破的方法可以大大提高煤层钻孔平均瓦斯流量。

此外,深孔预裂爆破技术也被应用在煤矿生产过程的动力灾害防治工程中。深孔预裂爆破是通过在较深的钻孔内采用药柱爆破松动工作面前方的煤岩体,使煤岩体产生裂隙、松动、卸压和排放瓦斯,缓解工作面前方的应力集中,达到或消除动力灾害的一种措施。其基本原理是:爆破孔内炸药爆炸的作用力发生在煤岩体内部,除在爆破孔装药段四周形成扩大的空腔外,同时还形成了破碎圈、裂隙圈和松动圈,这些构成了预裂爆破的影响范围。当若干个钻孔按一定规则排列,预裂爆破后,形成一个爆破影响圈的组合,大大降低煤与瓦斯突出动力灾害发生的危险性,甚至消除动力灾害的发生。

我国开展煤层深孔预裂爆破技术用于防治煤与瓦斯突出动力灾害的研究已经有60多年历史,涟邵和北票矿务局的煤矿在20世纪60年代中期开始试验并应用深孔预裂爆破防治煤与瓦斯突出。“八五”期间,通过“八五”国家科技攻关计划的支持,中国煤炭科学研究总院抚顺分院在淮南矿业集团潘一矿进行深孔预裂爆破防治煤与瓦斯突出试验,采用爆破孔和控制孔交替布置方式,进行深孔预裂爆破,将这种局部防突手段用于掘进工作面煤与瓦斯突出的防治工作,取得了较好的应用效果,该技术明显提高了掘进面防突措施的可靠性。“九五”期间,中国煤炭科学研究总院抚顺分院在平顶山天安煤业股份有限公司五矿进行了深孔预裂爆破试验,实现了深孔装药技术,封孔长度达到10m,煤层透气性系数提高了近5倍,钻孔瓦斯抽放量提高了3.5倍,同时对预裂爆破工艺进行了改进,完善了封孔器,封孔长度可达10m。焦作矿务局焦西煤矿进行了预裂爆破抽瓦斯试验,爆破孔径为75mm,控制孔径为90mm,孔间距为5~10m,爆破孔封孔长度为10~12m,采用压风送泥封孔,控制孔封孔长度为1m,一次起爆2~3个爆破孔,爆破后把所有钻孔的封孔段打开,插管封孔进行瓦斯抽采,深孔预裂爆破后,煤层透气性系数比爆破前该区域的煤层平均提高了1.45倍,在6个月的抽采期内,瓦斯抽采量也比未爆破区提高了1.5倍。

1.2.2 研究进展

深孔预裂爆破煤层无论是出于强化增透抽采瓦斯，还是防治煤与瓦斯突出的目的，最关键的是其中的爆破器材或爆破工艺。煤矿许用瓦斯抽采水胶药柱问世以前，煤层深孔爆破器材或爆破工艺一直没有重大突破，主要围绕以下四个关键问题进行研究。

1. 深孔装药

在松软煤层打钻成孔困难，容易垮孔塌孔，目前国内外煤矿火工品生产厂家出产的炸药，无论是乳化状还是粉状，都无法实现在爆破孔内连续均匀装药。

20 世纪 80 年代开始，深孔预裂爆破装药方式进入试验研究阶段：

(1) 利用压风装药器将粉状炸药送入钻孔内，进行连续耦合装药，装药前钻孔内已铺设导火索，正向起爆。现场试验结果表明：利用压风装药器装药，单位长度钻孔内的装药量是不可控的，无法保证长距离钻孔内装药连续均匀。

(2) 此种装药方式多用于深孔预裂爆破，消除煤与瓦斯突出，即采用药壶在钻孔内正向装药，炮线连接采用孔内外大串联，实行一次起爆，这种装药方式每个药壶为一个爆破单元，也就是说每个药壶需要一个起爆点。

(3) 直接将药卷捆扎在竹片上，做成一个 1~1.5m 的长条药卷，这样容易将炸药送到孔中一定的位置，每个长条药卷装上一发雷管，正向装药，炸药和炮泥需要用专门的木制封孔工具送入孔内，炮线连接方式采用孔内、孔间大串联，如图 1-1 所示。

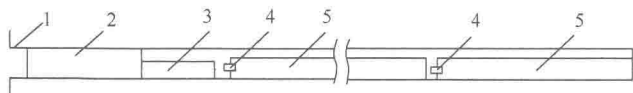


图 1-1 预裂爆破孔装药和封孔结构示意图

1. 爆破孔；2. 炮泥；3. 水炮泥；4. 雷管；5. 长条药卷

现场应用时，深孔预裂爆破的装药长度为孔深减去 5m 左右，一般为 3~5m，即炮孔深度为 8~10m。装药后应装入长度不小于 0.4m 的水炮泥，水炮泥外应充填长度不小于 2m 的炮泥，装药和充填炮泥时，防止折断雷管的脚线。通常用黄泥封孔，为了提高爆破效果，必须将炮泥充填捣实，以避免放炮时炮泥冲出炮孔造成高温高压气体泄漏。六枝矿务局化处煤矿为了消除煤巷掘进工作面前方煤层突出的危险性，采用在掘进工作面前方煤层进行深孔预裂爆破，布置 5 个爆破孔，

孔深 8~10m, 偏角和仰角为 2° ~ 10° , 孔底间距一般为 0.7~1.0m, 每孔装药量 3~4.5kg, 每个孔用 3~4 发雷管, 采用水炮泥和黄泥封口。

2. 防拒爆残爆

普通的煤矿许用水胶卷装炸药在钻孔内爆炸的传爆距离一般不超过 5m, 因此只能适用浅孔或中深孔爆破。采用粉状或者散装黏性炸药作为煤层深孔爆破器材, 煤层孔成孔、护孔困难, 经常发生垮孔、塌孔, 无法保证炸药在孔内连续均匀分布, 其拒爆或残爆问题一直没能得到很好的解决。第一种方法是研制时用压风装药器将粉状炸药送入钻孔内, 钻孔内预铺设导爆索, 通过导爆索的连续爆炸, 起爆爆破孔内分布不均匀的粉状炸药, 以解决拒爆、残爆问题。第二种方法是采用被筒式装药, 钻孔打好后, 很快将塑料管送入钻孔内, 管内预铺设导爆索, 然后进行压风装药, 同样也是通过导爆索的连续爆炸起爆爆破孔内粉状炸药。第三种方法是自制药卷, 每一卷药安装一发雷管, 然后将药卷捆扎在竹片上, 以解决拒爆、残爆问题。

3. 深孔预裂爆破机理

国内外对于深孔预裂爆破机理的研究主要是基于研究炸药爆炸对岩体工程的力学作用机理, 建立爆炸能量、爆轰速度和冲击波等物理量对岩体工程作用的本构关系, 研究主要采用理论分析、物理模拟试验和数值解算等方法。近些年来, 国内外科研工作者通过长期的岩体工程领域研究, 对岩石爆破破碎机理研究取得了一定的进展, 将应力波冲击作用、爆生气体膨胀与应力波共同作用进行综合研究, 研究结果与现场试验结果吻合, 对指导工程实践起到积极作用。

深孔预裂爆破是在煤岩与瓦斯固流耦合介质中进行的, 从预裂爆破原理看, 钻孔装药的爆破作用只发生在煤岩体内部, 除在爆破孔周边形成扩大的空腔外, 主要在钻孔周边煤岩体内形成破碎圈、裂隙圈和松动圈, 这些构成了深孔预裂爆破的影响范围, 能起到卸压和排放瓦斯作用的是破碎圈、裂隙圈所包括的范围。破碎圈主要是由爆破时冲击波产生的, 爆炸能量大部分消耗于此范围的煤岩体内, 而作用范围却较小。裂隙圈的形成过程比较复杂, 它是由冲击波、瓦斯和爆生气体共同作用的结果, 爆生气体在压裂过程中起主要作用, 弹性应力波的劈裂作用范围很小, 地应力值越大, 起裂越晚, 且裂缝扩展速度越小, 作用方向是沿爆破孔的径向延伸的, 所以就裂隙的形状而言, 既有径向裂隙, 也有环状裂隙, 它们共同构成网状裂隙, 裂隙圈的大小决定了深孔预裂爆破的效果。松动圈(破碎圈、裂隙圈)的大小与煤岩体的坚固性有关。根据有关资料, 在辽宁省北票市台吉 3 号井的第 10 煤层的坚固性系数为 0.8~0.9 的情况下, 炮孔直径为 35mm, 装药直径为 32mm, 炮孔深为 5m, 测得松动圈的半径为 0.8m 左右。预裂爆破后, 工作

面前方的应力集中带距工作面 6m 以上。实践证明,如果炮孔太浅,其作用等于爆破落煤,不能取得防突效果,相反,还容易导致突出的发生,因此在深孔预裂爆破时,应留有一定长度的应力释放长度。

基于波动理论,通过分析应力波在弹性介质中的传播规律和在临空面处的反射规律,从理论分析角度论述了控制孔的导向作用。研究指出,爆炸应力波在控制孔临空面处发生反射后,反射波会与入射波叠加,在叠加位置会产生更大的切向拉应力,当作用在煤体的拉应力超过煤体的抗拉强度时,煤体会在爆破孔与控制孔中心连线位置上产生拉断裂隙,因此控制孔不仅具有生成裂隙的导向作用,也更有利于爆生裂隙的产生;通过理论分析、模型试验、现场试验分析了深孔预裂爆破增透的机理和效果;将爆炸应力波看作平面波,通过推导控制孔周围入射波和反射波的叠加应力场表达式,从理论上证明了控制孔的导向致裂作用;通过定性分析,炮孔炸药爆炸后形成的高强冲击波使得炮孔周围瞬间生成一定厚度的粉碎区,在应力波作用下粉碎区之外形成一定范围和长度的径向拉伸裂隙,随后高压爆生气体进入径向裂隙,在高压爆生气体的准静态尖劈作用下,径向裂隙进一步扩展,直到爆生气体压力衰减至不足以使裂隙尖端裂纹继续扩展为止,然后运用岩石断裂力学和爆炸力学理论给出准静态爆生气体作用下孔间形成贯通裂隙条件的理论公式;还从理论上定量地分析了煤层瓦斯压力对裂隙扩展的驱动作用和控制孔的导向致裂作用。

深孔预裂爆破的增透机理研究与分析:炸药在煤体爆破孔内爆炸后,在爆破近区产生压缩粉碎区,形成爆炸空腔,煤体固体骨架发生变形破坏,在爆炸空腔壁上产生长度约为炮孔半径数倍的初始裂隙;在爆破中区,应力波过后,准静爆生气体楔入空腔壁上已张开的裂隙中,与煤层中的高压瓦斯气体共同作用于裂隙面,在裂隙尖端产生应力集中,使裂隙进一步扩展,在爆破孔周围形成径向“之”字形交叉的裂隙网;在爆破远区,由于爆破孔附近存在辅助自由面及控制孔临空面的作用,形成反射拉伸波,当拉伸波大于介质的抗拉强度时,介质从自由面向里剥落。利用 LS-DYNA3D 动力计算软件,作者对埋深近 600m 的淮北矿业集团祁南矿高瓦斯低透气性 349 工作面采用深孔预裂爆破的卸压增透效果进行了数值模拟,研究结果再现了爆破过程中裂纹扩展的整个过程,分析了爆破孔间距对爆生裂隙和增透效果的影响,提出了高瓦斯低透气性煤层深孔预裂爆破孔与控制孔的合理间距为 5~6m;数值模拟计算结果和现场试验监测结果均证实了深孔预裂爆破技术能有效地提高煤层透气性和瓦斯抽采率。作者还分析了煤体硬度、埋深、瓦斯压力对爆破增透范围的影响,研究结果表明,煤体硬度越小,煤体越容易破碎,在爆生应力波的作用下,炮孔周围的煤体被极度破碎,起到了缓冲应力波的作用,阻止了裂隙的进一步发育,煤层的硬度越大,裂隙发育越充分;煤层埋深对深孔预裂爆破效果的影响较小;煤体瓦斯压力对煤体裂隙的发育起促进作用,但作者并未定量地区分爆炸应力波和爆生气体对煤体裂隙扩展的影响。

4. 深孔预裂爆破煤层增透

我国在深孔预裂爆破技术的实践方面进行了一系列相关研究,采用深孔预裂爆破技术对高应力软岩巷道进行试验,结果表明,高应力软岩巷道卸压对围岩变形速度、变形量和稳定时间具有很好的控制作用,能改变围岩应力状态。其爆破参数中孔深为4m,孔径为75mm。采用深孔预裂爆破技术对深井软岩巷道进行卸压的试验研究,研究表明,深孔预裂爆破可以有效地改变深井软岩巷道围岩的应力分布,其孔深为4~5m。淮南矿业集团顾桥煤矿在综采面防治瓦斯上运用深孔预裂爆破技术,先后采取了瓦斯抽放、超前钻孔释放瓦斯等措施,彻底消除了瓦斯超限现象,保证了矿井安全生产,深孔预裂爆破的孔深一般是8~12m。淮南矿业集团李一煤矿研究了低透气性高瓦斯突出煤层快速掘进综合防突技术。中国煤炭科学研究总院抚顺分院利用深孔预裂爆破技术强化瓦斯抽放,消除回采工作面突出危险性,深孔预裂爆破可提高松软低透气性突出煤层的瓦斯抽放率;深孔预裂爆破的孔深为65m,孔径为91mm。窑街煤电集团有限公司海石湾矿与中国煤炭科学研究总院重庆分院合作开展深部矿井上山揭穿近水平特厚煤层防治煤与瓦斯、油气突出技术的研究,并拥有该研究的科技成果。综合防治突出的技术原理可归纳为:采用钻孔抽排(瓦斯预抽、超前钻孔措施)降低或消除突出的地应力及瓦斯、油气压力,排放瓦斯、油气,消除突出潜能;采用超前支架增加工作面煤体稳定性,预防垮落引起突出;采用排爆微差控制爆破减少诱导突出的能量,以预防石门揭煤突出;上山掘进采用短循环(爆破循环进尺控制在1km)全封闭支护的掘进工艺减少诱导突出的能量,以降低突出强度与频率。

国外也有一些深孔预裂爆破技术研究与实践方面的研究。例如,印度学者 Pal-Roy 等研究了印度煤矿采区中使用的创新型的爆破技术,对钻孔参数、爆炸参数、瓦斯危险性、地层行为和地表震动等方面进行了研究。印度学者 Kumar 等研究了印度东南煤炭公司鲍拉姆长壁工作面的一个案例,描述了深孔在表面的泥土层引起岩石爆破试验的调查结果。印度学者 Mandal 等利用单响爆破方法隔离露天煤矿混合煤层,用深孔爆破和撞车联合掘进机开掘的方式在一个14m厚的联合煤层的底板上做了一个沟渠,这个走向1200m、倾向300m的煤矿坐落在通往乔伊蓝布尔的铁路支线的下方,北接乔伊蓝布尔矿,南面有10煤层的通风上山,东连吉那果拉矿,西面是摩地维塔村庄。印度学者 Singh 等研究了深孔爆破诱发长壁工作面片状垮落的控制技术,通过对深孔爆破诱发垮落的介绍,使得在浅部煤层采用长壁采煤法开采时利用低荷载支护成为可能。美国学者 Winston 拥有一项“高压应力转化爆破乳剂”专利,该爆破乳剂可用于深孔爆破作业中。

综上所述,国内外学者都对深孔预裂爆破技术进行了相关的研究,但是在低透气性高瓦斯煤层深孔预裂爆破技术卸压增透方面,国外学者基本没有进行过研