

回采工作面底板注浆加固防治水技术新进展

许延春, 杨 扬

(中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘 要:基于回采工作面底板注浆加固技术对我国大水矿区防治底板承压水突水事故的重要性,介绍了该技术在理论方法和工程实践等方面的新进展,包括:大埋深工作面底板破坏深度计算方法,注浆加固工作面突水“孔隙-裂隙升降型”结构力学模型,注浆加固模拟试验,底板破坏深度的直流电法探测技术和赵固二矿加固工程参数优化等,最后对突水机理研究、注浆材料研制、探测手段发展和治水方法进步等方面进行了展望。

关键词:工作面底板;含水层;注浆加固;防治水

中图分类号:TD745.21

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2014)01-0098-04

New Progress on Floor Grouting Reinforcement Technology of Water Control in Coal Mining Face

XU Yan-chun, YANG Yang

(School of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the importance of the floor grouting reinforcement techniques in the prevention of floor pressurized water inrush accidents in China's water hazard mine area, the paper summarized the development in theoretical methods and engineering practice, including the floor grouting techniques of the calculation method for the failure depth of coal seam floor in deep mine, the structural mechanics model 'porous and fractured lift type' of water inrush in coal faces, the simulating test for grouting reinforcement, the DC detecting method for the failure depth of coal seam floor and the reinforcement parameters in Zhaogu No.2 Mine. In the end, the outlook of water-inrush mechanism, grouting materials research, development of detection and water control methods progress were proposed.

Key words: face floor; aquifer; grouting reinforcement; water control

0 引 言

目前,全国煤矿遭受水害威胁的煤炭储量高达250亿t,主要分布在占全国产量50%以上的华北型的石炭—二叠系煤田^[1]。华北型石炭—二叠系煤田基底普遍赋存有奥陶纪或寒武纪厚层石灰岩,矿井水文地质条件较为复杂^[2],煤炭资源的开采受水害威胁严重,突水事故频繁发生。随着我国煤矿开采深度和强度不断增加,回采工作面受底板承压水威胁也越来越严重。目前回采工作面底板注浆加固技术是一种改善底板隔水性、提高底板完整性和抗水压能力的重要的防治水技术措

施,对防治煤矿底板水患,保障矿井安全正常生产起到了很好的效果。回采工作面底板含水层注浆加固改造技术(简称底板注浆加固技术)是目前防止底板突水的重要举措,根据岩水应力关系学说,煤层底板下伏承压水是底板突水的物质基础,水压、矿压是煤层底板突水的力源,导水裂隙是底板突水的水力通道。大量的生产实践证明,削弱底板突水物质基础最直接的方法是注浆充填、阻隔底板直接充水薄层含水层的裂隙、断层和岩溶等导水通道和储水空间,使其变为隔水层或相对隔水层^[2-4],因此很有必要对底板注浆加固技术进行探讨和研究。

收稿日期:2013-10-11;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.est.2014.01.023

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2013CB227903)

作者简介:许延春(1963—),男,河北乐亭人,研究员,博士生导师,博士。E-mail:yanchun-xu@163.com

引用格式:许延春,杨 扬.回采工作面底板注浆加固防治水技术新进展[J].煤炭科学技术,2014,42(1):98-101,120.

XU Yan-chun, YANG Yang. New Progress on Floor Grouting Reinforcement Technology of Water Control in Coal Mining Face[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 98-101, 120.

1 底板注浆加固技术原理

回采工作面底板含水层注浆加固技术是20世纪80年代中后期发展起来的一种注浆防治水方法。当煤层底板含水层富水性强且水头压力高,或煤层底板隔水层薄,底板有导水构造破碎带等,则工作面底板突水危险性高。

据统计,底板受构造破坏块段突水系数一般不大于0.06 MPa/m,正常块段不大于0.10 MPa/m。当工作面突水系数大于临界突水系数时,一般可采取2种防治水措施。①采用疏水降压方法,降低突水系数,实现安全开采。但是当含水层富水性强、补给性好时,会遇到难以疏降水压、排水量大、费用高、疏降时间长等问题,因此目前很少有矿井采用该方法疏降奥灰或与奥灰有水力联系的含水层。②采用对底板含水层改造与隔水层注浆加固防治水方法,可通过增加隔水层厚度降低突水系数,减少矿井突水危险性,并且有效果显著、工程规模灵活、技术可行等优点,目前被大多数矿井采用。

如图1所示,底板注浆加固技术原理是利用回采工作面已掘出的上部回风巷和下部运输巷,应用地球物理勘探成果或钻探等手段,探查工作面范围底板岩层的富水性及其裂缝发育状况,通过设计加固工程参数,采用注浆措施改造含水层和加固隔水层,使其变为相对隔水层或进一步提高其隔水性。注浆站可建在地面也可建在井下,注浆材料选择水泥、黏土水泥浆、粉煤灰水泥浆等。当前随着对水泥等原材料的过度消耗,对环境造成了严重污染,国内外材料科学工作者开始致力于工业废渣的资源化利用,研制开发新型绿色注浆材料^[5]。

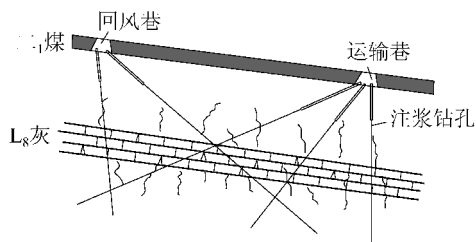


图1 煤层底板注浆加固技术原理示意

2 底板注浆加固技术新方法

2.1 底板破坏深度的计算

工作面底板导水破坏带深度(以下简称底板破坏深度)是设计防水安全煤岩柱、评价底板突水危险性 & 确定底板注浆加固深度等的关键参数。底板

注浆加固工作面与未加固工作面的底板破坏深度采用相同的计算公式。

1)经验公式。《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[6](以下简称《三下采煤规程》)中给出了3个工作面底板破坏深度的统计计算公式:

$$h_1 = 0.7007 + 0.1079L$$

$$h_1 = 0.303L^{0.8}$$

式中: h_1 为底板破坏深度,m; H 为开采深度,m; α 为煤层倾角,(°); L 为工作面斜长,m。

从以上计算公式可以看出,3个统计公式均没考虑采高的因素。据《三下采煤规程》中3个统计公式获得的实测数据可知,大部分实测数据集中于埋深小于400 m和采高较小的条件,适用性分析表明上述3个公式仅适用于埋深小于400 m的工作面,当埋深大于400 m时计算结果误差较大。实际应用时,一般采用3个公式计算,然后选择1个数值较大的结果,以保障安全性。

有学者通过实测资料做了进一步的研究分析^[7],总结出了埋深大于400 m,采高小于4.5 m条件下,并且反映采高因素的底板破坏深度 h_1 的统计公式: $h_1 = 0.042H - 0.416\alpha + 0.013L - 3.276M + 7.255$,其中, M 为工作面采高。同时,分别对大埋深条件下受断层影响、一次采全高和特厚煤层分层开采工作面底板破坏深度进行了计算分析,得出了对应底板破坏深度的修正计算公式:断层影响时 $h_d = A_d h_1$;一次采全高时 $h_q = h_1 + 4.3\Delta M$;特厚煤层分层开采时 $h_f = h_1 + 0.57M_2$ 。其中: A_d 为比例系数,取1.0~1.6; ΔM 为一次采全高度与3.6 m的采高增量; M_2 为第2分层采高。

2)基于支持向量机(SVM)的底板破坏深度预测。选取尽量多的底板破坏深度实测样本用来建立底板破坏深度模型,即训练样本;选取需要预测的少量样本用来预测,即预测样本的核函数,分别选用多项式核函数、RBF核函数和Sigmoid核函数进行预测,选取最优的作为预测模型的核函数。分别用网格搜索算法(Gridsearch)、遗传算法(GA)和粒子群算法(PSO)进行预测,选择最优的预测结果^[8]。

2.2 底板破坏深度探测方法

常规底板破坏深度探测方法,常用观测方法有钻孔注水法、电磁波法、钻孔声波法、超声成像法、钻孔应变感应法和震波CT技术^[9-11]。对高突水危险

的工作面观测钻孔可能成为导水通道,因此须采用封孔的观测方法,为此发展了直流电法观测法。工作面底板布置观测钻孔,钻孔中安装专门电极电缆(一般电极间距2 m)形成电极观测线,采用对称四极电剖面法。观测开采前后底板岩体的视电阻率变化,从而反映岩体裂隙(缝)的生产和发展。确定结果解释选择电缆下面的地质点,选取岩层电阻率值一般是正常值的1.5倍作为底板破坏深度的边界,研究开发了直流电法观测和空间定位解释方法^[12]。

2.3 底板注浆加固模拟试验

中国矿业大学(北京)研制成功突水地质力学试验平台^[12]如图2所示,可进行底板突水及加固效果的相似模拟试验,可得出顶底板的破坏规律、视电阻率变化规律和底板岩层应力分布规律。试验结果表明对底板进行注浆加固,改善底板隔水层结构和提高岩层强度,能够积极有效地防治煤层底板突水事故。

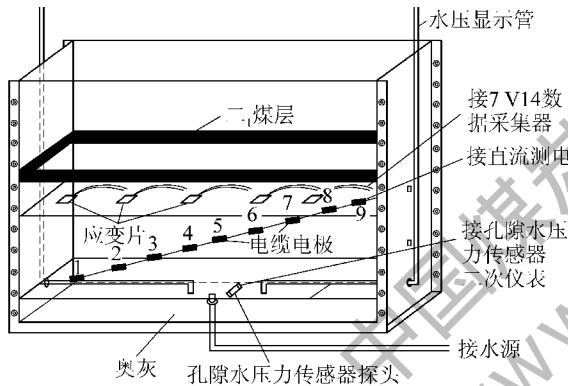


图2 突水模拟试验装置示意

2.4 注浆加固工作面底板突水模型

通过对近年来焦作矿区底板注浆加固工作面8起突水事故原因综合分析,认为导致工作面突水主要是由于地质构造、采动影响、注浆加固改造技术因素、高阻异常区等因素造成^[13]。

很多学者对工作面底板突水的机理进行了大量研究,但对于注浆加固后的工作面底板突水的机理研究相对较少,更没有形成相应的理论。文献[13]提出了“注浆加固工作面突水‘孔隙-裂隙升降型’力学结构模型”,文献[17]提出了参考孔隙裂隙弹性理论对双重孔隙介质的划分,按照底板岩体的破碎程度和裂隙连通性,将岩体大致分为4型:①I型孔隙岩层,底板岩层完整,主要是连通性差的节理、裂隙,则基本符合单一孔隙体模式,如图3a所示;②II型裂隙岩层,岩层中存在裂隙,但不贯通,符合非

贯通孔隙-裂隙模式,如图3b所示;③III型导水岩层,裂隙岩层贯通导水如图3c所示;④IV型导、储水岩层,底板岩层比较破碎,表现为即有主裂隙通道,又有次生裂隙通道,如图3d所示。

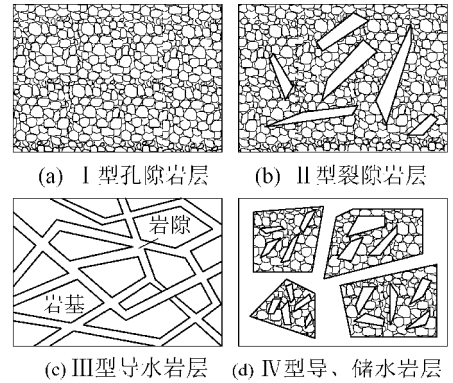


图3 孔隙-裂隙岩体类型

注浆加固不会改变岩石的结构性质,主要使得破碎岩体裂隙及岩溶被充填,使岩体变得致密,裂隙的连通性随之下降,从而岩层类型降低。如果注浆效果理想,所有类型的岩体都会变成I型岩体。然而比较现实的情况是,对于部分断层带和破碎带注浆充填加固后,岩体类型只降到II型岩体。在采动作用下,注浆后底板损伤或原始损伤底板中的裂隙重新扩展并相互贯通,从而岩层类型上升。当I型岩体发育为II型时工作面不突水,但是当部分区域由II型岩体上升为III型或者IV型岩体,从而出现工作面底板突水事故。对以上模型分别建立了各阶段的各种相关方程,各突水模型较好解释了注浆对底板突水的防治作用,也解释部分断层破碎带虽然探测注浆效果好但仍然出现突水的现象,以及工作面导水通道表现为垂直的、小范围的导水通道特点。指导煤矿不仅要作好注浆以及探测工作,同时也作好减小采动对底板的破坏影响。

3 底板注浆加固工程实践

1984年在肥城矿区首先开展底板含水层注浆改造工程试验,其后河北峰峰和河南焦作等矿区引进该技术。经过近30年来的发展,无论是注浆堵水先期的条件勘查技术,还是在工程工艺、设备配套及材料研究方面都有长足发展。底板注浆加固技术经历了地面打孔、地面注浆和井下打孔、井下注浆2个发展阶段,现已实现了井下大面积打孔地面连续注浆的新工艺,已经形成了成熟底板注浆加固技术,积累了丰富的经验。其中焦作矿区于1999年引进底板注浆加固技术,至今已在多个矿井成功应用,解放

了近 100 Mt 煤炭资源,安全回采煤炭超过 40 Mt,工作面突水次数和突水强度均大幅降低,取得十分显著的社会经济效益^[14]。

3.1 底板注浆加固工程

1) 底板注浆加固参数。赵固二矿主采二₁煤层平均厚 6.16 m,埋深 760 m 的块段,水头压力 7.6 MPa,底板太原组八灰(L₈)的突水系数为 0.28 MPa/m。采用传统典型工程参数设计方法:当采顶分层采高 3.0 m 时,加固深度为 60 m;当大采高 5.5 m 时底板加固深度为 82 m,钻孔间距 50 m 左右,注浆压力约 15 MPa。另外,以王伟东等^[15]依托新桥煤矿设计了方格网布孔注浆法,改变了传统靠经验设计的思路,使复杂的问题简单化,为保证工作面底板注浆加固质量打下了基础。

2) 注浆工艺。在常规注浆工艺的基础上,针对赵固矿区底板富水性强,水压大,隔水层薄的特点,研究了“分散制浆、细管输浆、双重固管防喷、反复透孔注浆”的超高压注浆工艺方法^[16],即采取分散制浆机,改善浆液的可注性,采用多路输浆管,避免或减少浆液堵管现象的发生。研究出二级和三级套管结构,多重固管防喷,其结构组成如图 4 所示,反复透孔注浆,达到单孔注浆结束标准:注浆压力 15 MPa,进浆量小于 30 L/min,稳定时间 20 min 后,凝固时间 30 h 以上可进行透孔,当涌水量小于 0.2 m³/h 时视为合格,否则要重复注浆,以保证每个钻孔的注浆效果。

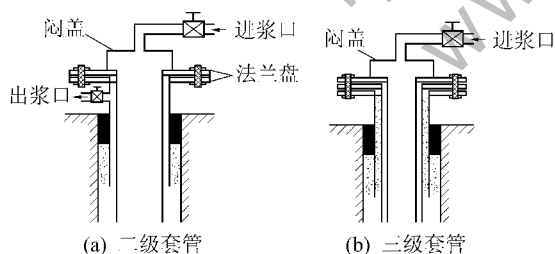


图 4 多级套管结构示意图

3.2 底板注浆要求与效果检测

1) 注浆效果钻孔检测。注浆结束后,通过布置检查孔、取心孔、对出水量较大的钻孔进行扫孔检查来检验注浆效果。赵固二矿要求检查孔涌水量小于 10 m³/h,布孔重点考虑褶曲的轴部、断层的破碎带。施工取心孔,通过取心观察底板充填胶结情况。

2) 常用的煤矿井下物探技术包括直流电法和瞬变电磁法,在工作面注浆加固改造工程实施前、后分别进行探测。注浆工程前利用物探手段对工作面顺槽巷道进行探测,划分底板低阻异常区,确定富水

地段,例如赵固二矿以视电阻率小于 5 Ω·m 所圈定区域为相对低阻异常区。同时物探可进一步了解底板的岩溶裂隙发育情况、承压水原始导升高度和富水状况等,为钻探注浆提供目标并且指导注浆孔的合理布置。底板注浆加固改造工程后,井下物探可检验注浆改造的效果,当底板岩体视电阻率上升,低阻异常区域明显减小,浅部异常区消失时,表明注浆工程效果好。近年来,随着三维高密度电法技术等新型物探手段的应用,真正实现了采前三维电阻率成像及切片技术,能够将工作面底板富水状态更直观地表现出来,这为查明岩层富水性、指导注浆工程提供了形象、直观的图像资料,具有很强的实用性、有效性^[17]。

4 底板注浆加固技术研究展望

目前对于底板注浆加固技术的研究还存在一些问题:①加强对工作面突水机理、征兆和条件的研究和认识,指导防治水工作;②加强对注浆新工艺和新型注浆材料的研究,提高堵水效能;③加强对物探技术的研究,发展多种物探手段相结合的综合物探方法,提高物探的准确性。需要通过对底板注浆效果检测方法的研究给出定性分析和定量计算相结合的综合方法;④强底板突水的治理,降低突水对安全生产的影响程度。

参考文献:

- [1] 刘纪良,于飞,刘洪刚.底板注浆改造治理边界水患技术研究[J].山东煤炭科技,2013(2):184-186.
- [2] 武强.煤矿水害综合治理的新理论与新技术[C].北京:第六次全国煤炭工业科学技术大会论文集,2005:294-296.
- [3] 赵兵文.葛泉矿煤层底板承压隔水层整体注浆加固技术[J].煤炭科学技术,2008,36(10):86-88.
- [4] 武强.煤矿防治水手册[M].北京:煤炭工业出版社,2013:707-717.
- [5] 张高展.新型工业废渣双液注浆材料的研究与应用[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [6] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [7] 许延春,杨扬.大埋深煤层底板破坏深度统计公式及适用性分析[J].煤炭科学技术,2013,41(9):129-132.
- [8] 李振华.薄基岩突水威胁煤层围岩破坏机理及应用研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2010.
- [9] 施龙青,朱鲁,韩进,等.矿山压力对底板破坏深度监测研究[J].煤田地质与勘探,2004,32(12):20-23.
- [10] 刘传武,张明,赵武升.用声波测试技术确定煤层开采后底板破坏深度[J].煤炭科技,2004(3):4-5.

(下转第 120 页)