

文章编号: 1001-1986(2010)06-0054-03

# 高水材料充填技术在减小地表沉降中的应用

刘 辉<sup>1</sup>, 何春桂<sup>2</sup>, 董增林<sup>1</sup>, 牛争分<sup>3</sup>, 张兆江<sup>1</sup>

(1. 河北工程大学资源学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学水电学院, 河北 邯郸 056038; 3. 冀中能源邯郸矿业集团陶一煤矿, 河北 邯郸, 056109)

**摘要:** 高水材料用于采空区充填有着工艺简单、凝结速度快、性能稳定等优点。采用建立地表沉降观测站方式, 研究了用高水材料充填采空区后地表沉降变形规律。结果显示, 充填后地表的下沉量明显减小。2009 年 5—12 月, 充填后地表最大下沉值为 165.6 mm, 月平均下沉 20.7 mm。该方法用于减小开采引起的地表沉降, 比传统的充填方法效果明显。

**关键词:** 高水材料; 地表沉降; 充填; 变形监测

**中图分类号:** P642.26; TD265.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.06.011

## Surface subsidence based on filling technology with materials of high water content

LIU Hui<sup>1</sup>, HE Chungui<sup>2</sup>, DONG Zenglin<sup>1</sup>, NIU Zhengfen<sup>3</sup>, ZHANG Zhaojiang<sup>1</sup>

(1. Resource College, Hebei Engineering University, Handan 056038, China;  
2. College of Water Resource and Hydropower, Hebei Engineering University, Handan 056038, China;  
3. Taoyi Coal Mine, Handan Coal Mining Group, Jizhong Energy Group, Handan 056109, China)

**Abstract:** Technology of filling with materials of high water content has many advantages, such as process simplification, fast condensation, and stable performance. After filling with materials of high water content, the settlement deformation of surface deformation observation stations was studied. Experimental studies have shown significant reduction of surface subsidence. Since May 2009 the establishment of the settlement movement of surface observation stations to December 2009 the surface maximum subsidence was 165.6 mm after filling, the average monthly subsidence 20.7 mm. This method reduces more surface subsidence caused by mining than the traditional method of filling. The method has obvious effect and provides an effective new approach for coal mining under railway, buildings and the water body.

**Key words:** high-water; surface subsidence; filling; deformation monitoring

为减小开采引起的地表建、构筑物的变形, 采矿工程的采空区一般需要支护或充填<sup>[1]</sup>, 传统的充填材料主要有两类<sup>[2-3]</sup>: 一是以硅酸盐水泥掺加水玻璃等的充填料, 但该类材料的使用寿命短(通常仅可用 2~3 a), 且存在作业固化时间长, 材料浪费等缺点<sup>[4]</sup>; 二是以高分子为主的充填材料, 近年来, 科研人员已研制出高水速凝固材料<sup>[5]</sup>(简称高水材料), 它是一种价格低廉, 使用方便, 并具有一定力学性能的可泵性支护材料, 高水材料可替代木材、钢材使用, 充填工艺简单, 凝结速度快, 可减少固化剂的用量<sup>[6-7]</sup>。

高水材料充填技术作为一种新方法, 已在某些矿区开展了试验性研究。本文以冀中能源邯郸矿业集团陶一煤矿为例, 研究采用高水材料充填技术后

地表沉降的变形规律。

## 1 工程概况

冀中能源邯郸矿业集团陶一煤矿自 2008 年 9 月以来, 在七采区综合开采工作面中尝试采用高水材料开放式充填技术, 取得了良好效果。该工作面平均埋深 315 m, 采高 1.9~2.2 m。采空区直接顶板除局部掉渣外, 整体没有出现垮落现象, 充填体在可观测范围内没有出现明显变形。

### 1.1 工作面布置

七采区总共布置 5 个高水材料充填工作面(充 I 面—充 V 面), 每个工作面宽度约 50 m。为尽量减小开采对地表沉降的影响, 采用间隔开采, 并对采空区进行高水材料充填, 即开采顺序为: 充 I 面、充

收稿日期: 2010-03-18

基金项目: 地理空间信息工程国家测绘局重点实验室基金项目(200812); 河北工程大学青年基金项目(2009Z27)

作者简介: 刘 辉(1982—), 男, 山东肥城人, 硕士, 讲师, 从事矿山测量、变形监测方面的教学和科研工作。

V面、充III面、充II面、充IV面,目前充I面、充V面、充III面已经开采结束,具体的开采计划为:充I面2008年9—12月;充II面2010年3—7月;充III面2009年9—12月;充IV面2010年9月—2011年1月;充V面2009年3—7月。

特别需要说明的是,距离充填试验面约100 m处的12701工作面为非充填工作面,且于2007年12月开采结束,该工作面距离充填试验面较近,会对充填效果产生一定的影响。

## 1.2 ZKD型高水材料简介

该矿采用的ZKD型高水速凝充填材料是一种新型双料特种水泥混合材料,是近年来矿山充填较为成功的材料。该材料由甲料、乙料两种组分构成。甲、乙料以重量比1:1配合使用。其中甲料是以硫酸盐水泥熟料为基材,与悬浮剂及少量超缓凝剂混磨而成,乙料是由石灰、石膏、悬浮剂和复合速凝早强剂等混磨而成。针对工作面采高大、充填体接顶相对困难的特点,选用袋装净浆材料进行充填,以使充填体接顶密实。根据数值计算分析,充填体使用的水灰比确定为2:1<sup>[8]</sup>。

与传统的充填材料比较,该材料具有以下优点:  
a. 浆材颗粒细,渗透性能好;b. 主、配料单独加水搅拌而成的浆液24 h不凝结,相同水灰比的主、配料浆1:1混合使用,混合浆液凝结时间十几秒至几小时随意可调;c. 混合浆液凝结时基本不析水,结石强度高,抗渗性好,微膨胀,不龟裂及凝结后受扰动甚至破坏后具有再结胶性能;d. 价格低,又特别适合高水灰比情况下使用,所以成本较低。

## 2 地表沉降观测站的建立及观测

### 2.1 技术路线

为研究高水材料充填技术在减小地表沉降中的应用效果,一般通过在工作面上方设置地表沉降观测站,周期性的开展地表移动沉降观测<sup>[9]</sup>。为此,按照地质采矿条件和有关规程的要求,根据工作面的起推位置和停采位置、采空区上方地形和地物条件、便于控制点和监测点的长期保存及土地占用补偿费的使用等因素,在工作面上方的地表大致沿煤层走向和倾向方向布设观测线<sup>[10]</sup>。根据设计,采用GPS定位技术、全站仪测量系统等方法进行地表沉降观测站点位的放样<sup>[11]</sup>,采用精密水准测量按规定周期和观测精度进行观测站的连接测量、全面测量和日常测量,测定基准点与监测点的高程;采用计算机进行监测信息的数据处理与变形分析,得出地表下沉规律<sup>[12]</sup>。

### 2.2 观测站的建立

综合考虑陶一煤矿矿井地质采矿条件、工作面上方的地形条件,并顾及方便基准点和监测点的长期保存等因素,基准点选在远离开采工作面的两侧不受开采影响处,如山头、铁路等处;监测点在开采面正上方,沿近似煤层走向方向、垂直于走向方向的地表上方布设南北4条、东西3条总共7条观测线,走向观测线编号依次为MZ1—MZ4,垂直方向观测线编号依次为MQ1—MQ3,重合点以MZ编号,观测站覆盖整个采区,形成观测点群。由于该工作面位于村庄下方,受地表地形条件限制,观测站主要以农村道路、空地为主,共设置基准点4个(MC1—MC4),监测点29个,观测点间平均间距50 m,观测线总长度约2 800 m,如图1所示。

### 2.3 地表沉降观测

观测方法采用四等精密水准,组成水准观测网,采用整体平差,共有2个固定水准闭合环(闭合环1、闭合环2)和一个往返测支水准路线。按照国家四等水准技术要求,闭合差限差按照如下公式<sup>[13]</sup>计算:

$$f_h = \pm 20\sqrt{L},$$

式中  $L$  为路线长度, km。

闭合环1的闭合差限差为24.0 mm,闭合环2的闭合差限差为18.2 mm,往返测支水准闭合差限差为21.7 mm。

按照四等水准的要求,每千米水准测量全中误差不得超过10.0 mm<sup>[13]</sup>,按照如下公式计算:

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{WW}{L} \right]},$$

式中  $M_w$  为高差全中误差, mm;  $W$  为闭合差, mm;  $L$  为计算各  $W$  时相应的路线长度, km;  $N$  为支水准路线或闭合环的个数。

自2009年5—12月,观测周期为30 d,共观测8期。经检测,每期的观测精度均能达到国家四等水准测量所规定的各项技术指标,精度统计见表1。

### 2.4 观测成果分析

首期全面观测于2009年5月30日进行,每期日常观测间隔30 d,观测至2009年12月30日,共观测8期,部分监测点下沉情况见表2。从表2可以看出:

a. 所有观测点均有不同程度的下沉,最大下沉点为MQ34,下沉量165.6 mm,月平均下沉23.7 mm;最小下沉点为MZ21,下沉量7.0 mm,月平均下沉1.0 mm。

b. 受12701非填充工作面影响,MZ27、MQ35、MQ34、MZ35、MZ45下沉量较大,平均下沉量为135.7 mm。

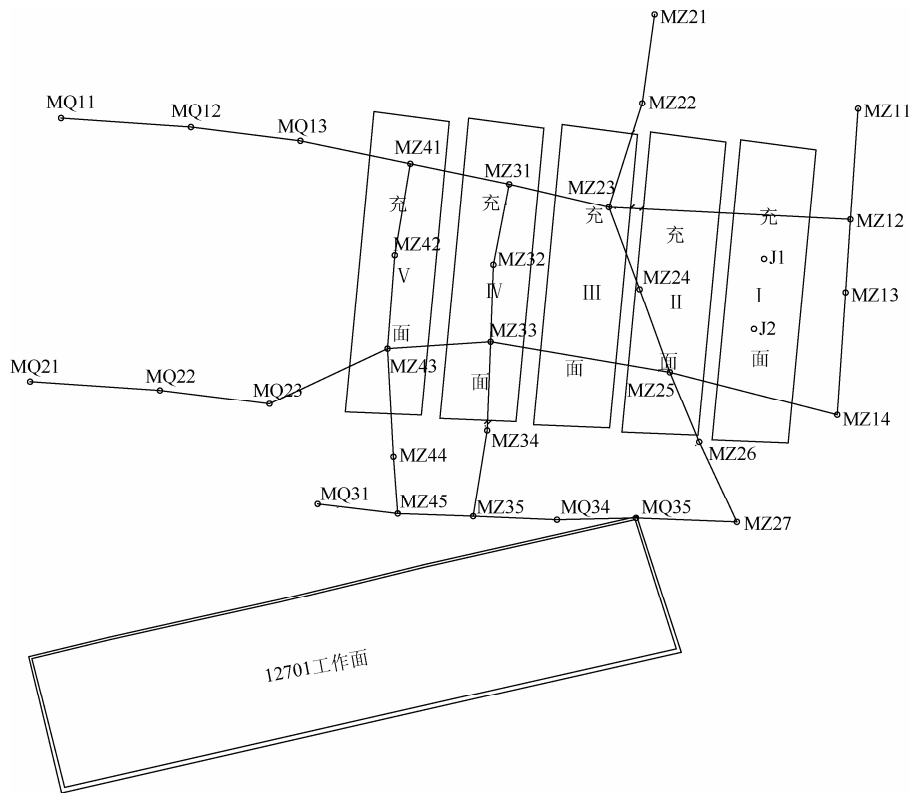


图1 地表沉降观测站点位分布图

Fig. 1 Distribution of surface subsidence observation site

表 1 水准路线闭合差检核统计表  
Table 1 Statistics of level closure differences

监测日期	环 1 闭合差 /mm	环 2 闭合差 /mm	支水准闭合差 /mm	M <sub>w</sub> /mm
2009-05	-5.5	-3.5	8.3	5.6
2009-06	7.9	4.1	-4.5	5.2
2009-07	3.5	8.4	-5.7	6.4
2009-08	7.6	7.9	9.2	7.9
2009-09	7.6	-2.5	-5.7	5.0
2009-10	-5.7	8.2	7.9	7.2
2009-11	4.7	-9.0	11.9	8.8
2009-12	2.0	3.0	4.6	3.2

c. 充 I 面正上方 J1、J2 两点, 4 个月下沉量分别为 31.6 mm、40.4 mm, 月平均下沉 7.9 mm、10.1 mm, 该工作面自 2008 年 12 月开采完毕, 至 2009 年 11 月出现月下沉值突然增大, 说明该地质条件下, 开采引起的地表沉降反映至地表活跃期大约需要 1 a 时间。

d. 走向线 MZ21—MZ27, 7 个观测点自北向南下沉量逐渐增大, MZ21 总下沉量为 7.0 mm, MZ27 总下沉量为 125.3 mm, 由于南边临近 12701 非充填工作面, 下沉量逐渐增大, 能充分说明高水材料充填对减小地表沉降的有效性。

e. 垂直于工作面走向线 MQ11—MQ13, 由于充 V 面开采完成时间较短(2009 年 7 月完成), 3 个点下沉量较小, 总下沉量分别为 14.0 mm、26.1 mm、23.1 mm, 但已呈下沉趋势, 下沉规律有待进一步观测。

大下沉点进入活跃期后, 月下沉值大约在 10~20 mm,

表 2 部分监测点下沉量统计表 \* mm  
Table 2 Statistics of subsidence at some monitoring points

测点	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	总下沉值
MZ12	-7.9	-5.2	-2.2	-0.7	-3.2	-2.2	-2.0	-23.4
MZ13	-6.5	-4.7	-4.0	-3.0	-2.1	-2.5	-4.3	-27.1
MZ14	-8.7	-9.9	-4.5	-5.0	-2.1	-7.9	-8.8	-46.9
MZ21	-0.4	-1.2	-0.8	1.2	-1.4	-2.0	-2.4	-7.0
MZ22	-1.3	1.2	-0.8	-1.4	-1.3	-3.3	-4.2	-11.1
MZ23	-0.3	-1.1	-1.9	-1.2	-2.3	-5.6	-7.5	-19.9
MZ24	-0.5	-1.6	-3.4	-8.7	-11.1	-16.1	-24.4	-65.8
MZ25	-2.5	-3.8	-10	-11.1	-16.4	-18.5	-30.7	-93
MZ26	-2.8	-12.4	-14.7	-14.1	-17.8	-28.3	-32.3	-122.4
MZ27	-6.6	-8.1	-13.6	-20.9	-19.8	-27.1	-29.2	-125.3
MZ31	-2.7	-5.0	-3.9	-3.6	-7.0	-11.7	-16.0	-49.9
MZ35	-9.0	-15.8	-17.8	-20.3	-18.3	-19.1	-21.4	-121.7
MZ41	-7.7	-2.3	-6.1	-6.8	-2.9	-7.2	-5.4	-38.4
MZ43	-6.8	-7.8	-2.3	-8.5	-9.1	-8.8	-10.0	-53.3
MZ44	-6.7	-3.2	-5.2	-9.3	-10.5	-15.7	-11.7	-62.3
MZ45	-24.4	-26.4	-8.3	-7.1	-11.6	-11.3	-11.9	-101.0
MQ11	-0.8	-1.4	-2.1	-1.8	-2.3	-2.5	-3.1	-14.0
MQ12	-2.3	-4.5	-4.2	-2.5	-2.6	-4.3	-5.7	-26.1
MQ13	-2.5	-3.7	-4.8	-4.1	-2.0	-2.3	-3.7	-23.1
MQ34	-27.4	-20.7	-11.9	-17.3	-28.7	-27.3	-32.3	-165.6
MQ35	-16.4	-16.6	-10.9	-19.2	-34.6	-30.6	-36.6	-164.9
J1				-2.0	-1.8	-9.4	-18.4	-31.6
J2				-3.3	-3.0	-15.3	-18.8	-40.4

\* -表示下沉。

### 3 结论与不足

a. 采用高水材料进行充填后, 工作面正上方的最

(下转第 61 页)

有效指导防治水方案制定,确保安全生产。

## 5 结论

a. 建立了煤矿突水事故树,根据事故树基本事件及其结构重要度建立了防治水系统专项评价指标体系与专项安全检查表。

b. 以某煤矿工程实际为例,建立了该煤矿六采区的突水事故树。经编程计算得到六采区突水事故树共 116 个最小割集与基本事件的结构重要度。根据事故树分析,建立了专项安全评价指标体系。体系共包括水仓水泵完好率、管路电路完好率、水害隐患源探明程度、安全技术设计合理性、采动破坏和构造导水等及安全管理状况 6 项安全评价指标。

c. 根据安全评价指标体系和基本事件的结构重要度建立了相应的煤矿突水专项安全检查表。该表有别于传统安全检查表,对煤矿防治水系统做出了专项检查。可以在其他矿区试行推广。

## 参考文献

- [1] 隋旺华,孙亚军. 矿井水害防治关键技术及防治水专业人才培养方案探讨[J]. 中国地质教育, 2009(1): 26-29.
- [2] 中国煤炭工业劳动保护科学技术学会. 矿井水害防治技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2007: 90-93.

- [3] 范维唐,卢鉴章,申宝宏. 煤矿灾害防治的技术与对策[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2007: 1-2.
- [4] 隋旺华,董青红. 近松散层开采孔隙水压力变化及其对水砂突涌的前兆意义[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9): 1908-1916.
- [5] 赵铁锤. 坚持“十六字”原则落实“五项”措施努力构建煤矿水害防治长效机制[J]. 当代矿工, 2006(7): 6-8.
- [6] 国家安全生产管理监督总局. 安全评价[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2004.
- [7] 林伯泉,周延,刘贞堂. 安全系统工程[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2005: 15-18.
- [8] 沈斐敏. 安全系统工程理论与应用[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2001: 22-25.
- [9] 凌标灿. 煤矿水灾安全评价内容探讨[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 64-66.
- [10] 国家安全生产监管总局,国家煤矿安全监察局. 煤矿防治水规定[S]. 北京:煤炭工业出版社, 2009.
- [11] 曾康生. 我国煤矿安全评价方法的应用现状及其改进[J]. 中国煤炭, 2008, 34(11): 94-96.
- [12] 王长申,孙亚军,杭远. 安全检查表法评价中小煤矿潜在突水危险性[J]. 采矿与安全工程学报, 2009(9): 298-305.
- [13] 冯治斌. 基于事故树分析法的矿井水灾安全评价[J]. 中州煤炭, 2003(4): 43-44.
- [14] 陈文学,曹庆贵,单国文. 事故树分析系统设计与老空区透水分析[J]. 工业安全与环保, 2004, 30(11): 33-35.

(上接第 56 页)

对地表构筑物、建筑物的影响甚微,能有效防止地表的沉降变形。

b. 由于地表村庄的影响,部分观测点未能建立在理想的位置,但该观测站用于多个相邻工作面综合开采的地表沉降观测,效果良好。

c. 由于观测数据有限,且未能在充填开采之前建立观测站,不能得出高水材料充填技术下单个工作面的下沉规律。

d. 有望结合工作面上方综合地质情况,进行沉降规律的进一步研究。

## 参考文献

- [1] 周邦全. 煤矿安全监测监控系统的发展历程和趋势[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(6): 76-77.
- [2] 贾静丽,陈娟浓,郭君,等. 充填体中矿柱留设对地表沉降的影响[J]. 金属矿山, 2009(6): 32-34.
- [3] 耿建平. 高水材料巷旁充填沿空留巷技术探讨[J]. 山西建筑, 2003, 29(8): 67-68.

- [4] 毕国旗. 高水材料充填留巷技术中的关键问题[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002(3): 6-7.
- [5] 马建强,孙新荣,陈长臻. 高水速凝固化充填在“三下”开采中应用的探讨[J]. 煤矿现代化, 2001(4): 27-28.
- [6] 周明凯,张文生,李北星. 高水速凝固结材料性能和硬化机理研究[J]. 武汉工业大学学报, 1998, 20(4): 18-21.
- [7] 张农,李伟. 高水材料注浆加固技术在煤巷支护中的应用[J]. 岩土力学, 1997, 36(8): 257-261.
- [8] 潘海良,卢志敏. 高水材料巷旁充填沿空留巷技术研究与应用[J]. 中国煤炭, 2009, 35(8): 48-50.
- [9] 冯文辰,柯冬,梁霄,等. 一种新的布设沉降观测点的方法[J]. 北京测绘, 2009(3): 69-71.
- [10] 黄声享. 变形监测数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2003.
- [11] 刘辉,何春桂,张安兵,等. GPS 技术在三峡库区滑坡监测中的应用[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(4): 33-35.
- [12] 余学祥,秦永洋,孙兴平,等. 相邻工作面综合地表移动观测站的设计与连接测量[J]. 大连大学学报, 2008, 29(6): 74-79.
- [13] 中国标准出版社. GB12898—91 国家三、四等水准测量规范[S]. 北京:中国标准出版社, 1992.