

# 覆岩离层注浆控制地表沉降技术的理论与实践

## Principle and application of surface subsidence controlled by grouting in overlying-separation layer

隋惠权<sup>1</sup>, 王忠林<sup>2</sup>

(1. 大连民族学院 土木建筑工程系, 辽宁 大连 116600; 2. 大连经济技术开发区规划局造价处, 辽宁 大连 116600)

中图分类号: TD 327

文献标识码: A

文章编号: 1000- 4548(2001)04- 0510- 03

作者简介: 隋惠权, 男, 1960 年生, 硕士, 副教授, 现在大连民族学院土木建筑工程系任教。曾任辽宁工程技术大学开采损害与控制工程研究中心开采损害评价与治理工程研究室主任, 主要从事岩土工程、开采沉陷与治理工程等方面的教学与科研工作。

全可行的。

### 1 前言\*

地下采矿引起岩层移动和地表塌陷, 造成地面建筑设施破坏。塌陷盆地大面积积水, 可使农田绝产, 有限耕地面积减少, 人们赖以生存的环境恶化, 采矿与环境保护之间的矛盾日趋尖锐。已有的旨在减少地表塌陷的开采方法, 如局部开采法、限厚开采法和采空区水砂充填法, 由于生产效率低, 已经不能满足当前高产高效现代化矿井生产的需要。

辽宁工程技术大学开采损害与控制工程研究中心与抚顺矿务局联合开发研制了覆岩离层注浆控制与减缓地表沉降的专利技术, 是利用发电厂粉煤灰配成浆液通过地面钻孔高压注入地层中, 达到了控制与减缓地表沉降的目的。该项技术不仅可以减少由采矿引起的地表塌陷危害, 而且还解决了电厂粉煤灰占地排放污染环境的问题。在实施该项技术中, 了解和掌握覆岩破坏及离层的发生和发展规律是技术的关键。本文用相似材料模拟实验方法, 研究了近水平煤层开采覆岩的变形特征和移动规律。并结合工程实践, 提出实施该项技术的一般原则, 以及离层带注浆减沉的作用机理。

### 2 覆岩离层发展规律的相似模拟研究

#### 2.1 模型尺寸与相似材料配比

煤层上方的覆盖层多为沉积岩, 一般由砂岩、泥岩、砂砾岩等交替沉积而成。由于沉积环境和成岩条件不相同, 各岩层的岩性将有很大差异。根据现场的实际条件, 用相似材料模拟实验方法, 可以直观地模拟地下开采引起岩层与地表移动的全过程。采用平面模型进行实验, 模型尺寸为: 长 4 m, 高 2 m, 宽 2 m。不同的覆岩结构和岩性条件对应不同的制模程序和相似配比。表 1 是一组典型岩层的配比方案。实践表明只要开采空间足够大, 用平面模型模拟覆岩移动规律是完

表 1 相似材料配比

Table 1 Ratio of mixed similar material

| 岩石名称 | 骨胶比   | 骨料比          |               |
|------|-------|--------------|---------------|
|      |       | 重晶石: 石英砂: 云母 | 胶料比<br>石灰: 石膏 |
| 砂岩   | 8: 1  | 1: 15: 9     | 7: 3          |
| 砂砾岩  | 7: 1  | 1: 6: 1      | 8: 2          |
| 粉砂岩  | 9: 1  | 1.4: 5: 4    | 7: 3          |
| 页岩   | 10: 1 | 0: 11: 7     | 2: 1          |
| 泥岩   | 11: 1 | 0.5: 5: 3    | 8: 2          |
| 煤    | 10: 1 | 0: 10: 8     | 7: 3          |

#### 2.2 岩层移动规律及离层形成与发展过程

对长壁式采煤方法进行模拟, 用全部垮落法管理顶板。在工作面推进过程中, 随着采空区面积的不断扩大, 煤层上方的覆岩层按照一定的垮落步距顺序垮落。根据岩层移动和覆岩破坏形式, 一般将破坏区划分为三带, 即冒落带、断裂带和弯曲带。冒落带和断裂带由于裂隙互相导通, 在水体下采煤时称为导水裂隙带<sup>[1]</sup>。在离层注浆工程中, 为防止浆液溃入井下, 注浆层位应选择在导水裂隙带以上的弯曲带内。以往的研究认为弯曲带为整体弯曲沉降, 其间不存在有离层, 这种认识是不正确的。实验表明在覆岩移动过程中, 弯曲带内仍然有离层存在。可以说离层是固结性层状岩体由开采沉陷引起的变形和破坏的重要特征之一。在覆岩离层注浆工程中, 将岩层内部移动和破坏划分为 4 带, 即冒落带、断裂带、可注浆离层带和整体弯沉带。如图 1 所示。图中  $h_1$  是下位已闭合离层层位;  $h_2$  是产生新离层的位置;  $h_3$  是预计离层位置;  $H_m$  为冒落带;  $H_d$  为断裂带高度;  $H_w$  为整体弯沉带;  $H_z$  为可注浆离层带;  $h_b$  为保护层厚度;  $W(x)$  为地表下沉曲线。

覆岩中具有有一定厚度的坚硬岩层的刚度条件和空间位置, 控制和影响着整个移动、变形和破坏的全过

\* 收稿日期: 2000- 11- 13

程。在实际工程中,一般可根据覆岩的结构特征、硬岩层的相对位置、各层之间的胶结程度等因素,将整个上覆岩层划分为几个单个和若干自然分层组。这些单独分层和自然分层组有自己的挠度极限和垮落步距,单独或成组垮落。其垮落步距可根据弹性基础梁的弯曲微分方程求解。离层的形成位置和发展过程在时间上和空间上随各分层的垮落步距及工作面的推进速度和位置而变化。在开切眼的一侧由垮落角  $\delta$  近似确定的边界线  $OA$  为离层发生的起始点。如图2所示。

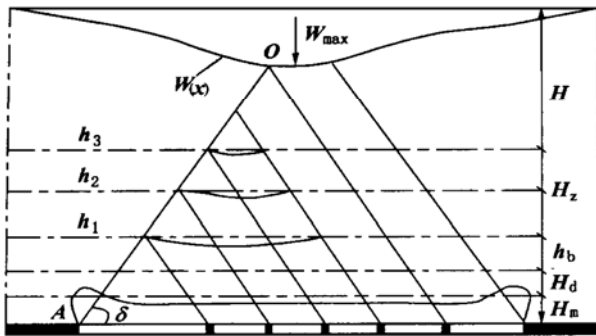


图1 覆岩破坏与离层发展示意图

Fig. 1 Failure of overlying strata and evolution of separation layer

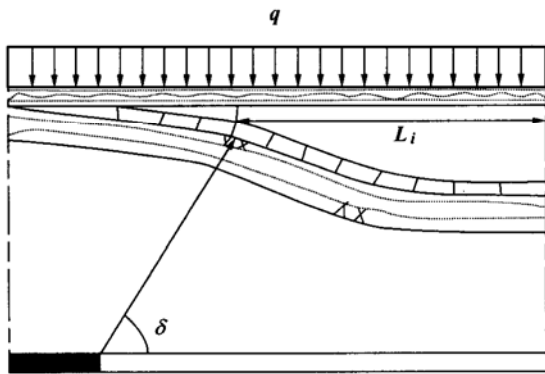


图2 岩层极限跨距计算模型简图

Fig. 2 Model for limit-span of strata

垮落角按下列方法求得。首先在剖面图上确定垮落边界,垮落边界由各分层的极限跨距近似确定。各分层的极限跨距由下式自下而上分别计算求得<sup>[2]</sup>:

$$L_i = \xi \sqrt{\frac{2h_i^2 \sigma_i - k \gamma \sum h}{q}}, L_{i+1} = L_i - h_{i+1} \quad (1)$$

式中  $L_i$  为第  $i$  层自然分层的跨距;  $L_{i+1}$  为上一层自然分层的跨距;  $h_{i+1}$  为上一层自然分层的厚度;  $\sigma_i$  是第  $i$  层岩石的抗弯强度极限;  $\gamma$  为对  $i$  层加载的岩石平均容重;  $k$  为由实验确定的参数;  $\sum h$  为加载层岩石厚度;  $q$  为作用在该层上的载荷;  $\xi$  为蠕变参数。最后通过垮落边界连线确定垮落角。

在工作面推进过程中,覆岩移动和破坏不断向上发展。当覆盖层中存在有一定厚度和强度的坚硬岩层时,其下方所形成的离层持续的时间较长,且离层的空

间相对较大。当工作面继续推进,在某一高度上形成新的最大离层时,其下方的原有最大离层将闭合。如果工作面推进距离相对较短,  $O$  点不达到地表,采动不充分,此时离层带最发育,最大离层保持时间相对较长,离层空间大,是离层注浆的最好时机。当工作面推进尺寸足够长时,  $O$  点将达到地表,覆岩充分采动。此时应加大注浆量并保持一定的注浆压力,控制离层在所选择的注浆层位继续发展,以达到注浆减沉的最佳效果。

在覆岩离层注浆工程中,正确确定离层带的位置,掌握最大离层的发生、扩展和闭合过程至关重要。另外,把握离层与注浆的有利时机也是决定注浆减沉质量和成败的关键。

### 3 覆岩注浆技术的工艺过程与实施原则

覆岩注浆技术的工艺过程如图3所示。所使用的主要设备包括压裂泵、注浆泵、泥浆池、搅拌机、清渣过滤池、井口装置等。其中井口装置是由一组大小四通与高压控制阀门组合,构成注浆井内外管循环回路,以便在特殊情况下冲洗注射井中的灰浆,避免堵井事故发生。注浆钻孔的设计位置应满足以下两个条件:

a) 距开采煤层高度

$$H_l \geq \frac{100 \sum M}{K_1 \sum M + K_2} + H_b \quad (2)$$

b) 距工作面开切眼的位置

$$D > H_l / \tan \delta \quad (3)$$

式中  $K_1, K_2$  是随上覆岩层岩性变化的系数,  $K_1$  的取值范围为  $1 \sim 5$ ,  $K_2$  为  $2 \sim 8$ ;  $\sum M$  为累计采出煤层厚度;  $H_b$  是保护层厚度(一般取  $20 \sim 50$  m)。

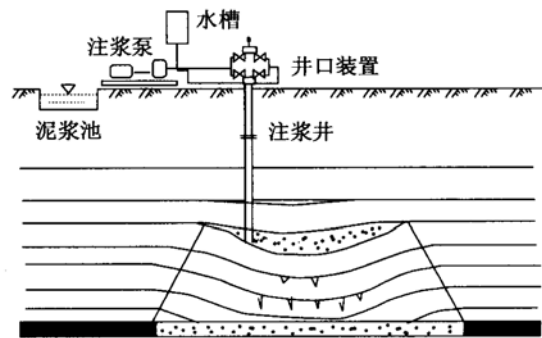


图3 覆岩注浆技术的工艺过程图

Fig. 3 Grouting in the overlying separation layer

注浆压力是实施该项技术重要参数之一<sup>[3]</sup>。注浆前应进行压水实验,以便于离层带按设计位置形成。在形成最大离层时(此时注浆压力为零),应加大注浆

量,并减小井下工作面的推进速度,使离层空间的发展速度与注浆量协调一致。

#### 4 覆岩注浆减沉的作用机理

开采形成了地下空间,破坏了岩体的原始平衡状态。覆岩移动过程的实质是将地下开采所形成的空间传递到地面的过程。如果在岩层移动过程中,能在地层空间的某一位置,将这一空间及时充填,阻断这一过程继续向上发展至地表,就可以控制和减小因地表沉降造成的危害。离层带注浆减沉的主要作用机理可概括为:①支撑作用。通过地面钻孔向覆岩离层空间高压注入混合浆液,水将固体充填物质输送到离层空间中,固体充填物质脱水沉淀,体积和密实程度不断增加,支撑上覆岩层,阻止或减小其弯曲下沉,控制最大离层位置不再向上发展。②压实作用。注入在离层空间内的高压浆液,作用于四周的围岩,挤压其下部岩层,使岩层移动过程中所形成的裂隙和碎裂空间被压实,在设计注浆层位置形成更大的可注浆离层空间,有利于充分充填,减小二次沉降量,提高减沉效果。③控制和减缓地表破坏程度。实施覆岩离层注浆技术,不仅可以减小开采引起的地表沉降和各种变形的绝对值,而且可以降低沉降速度,使地表下沉盆地平缓,从而降低对地面建筑设施的破坏程度。

#### 5 覆岩离层注浆减沉技术的应用

我国已先后在抚顺、大屯、新汶和兖州等地进行了覆岩离层注浆技术的工业性实验,实验结果表明,地表减沉率在36%~65%<sup>[4]</sup>。

某矿井下采煤工作面长793 m,宽185 m,平均采深520 m,平均开采厚度2.7 m,煤层倾角在6°左右。长臂式采煤方法,全陷法管理顶板。覆岩结构与岩石物理力学特性见表2。如果不采取任何措施,按类比法计算地面最大下沉将达到1.5 m。为了减小地表沉降危害,采用覆岩离层注浆减沉技术。设计注浆孔2个,深度415 m,间距360 m。注浆材料采用电厂粉煤灰,平均粒径在80 μm左右,直接与水混合成比重为1.1~1.2的浆液。注浆压力一般为1~2 MPa,压水实验井口最大压力10 MPa。

表2 注浆段覆岩结构与岩石物理力学特性

Table 2 Properties of rocks

| 序号 | 岩性  | 深度 /m | 抗压强度 /MPa | 抗拉强度 /MPa | 弹模 /10 <sup>3</sup> MPa | 渗透系数 / (10 <sup>-5</sup> cm·s <sup>-1</sup> ) |
|----|-----|-------|-----------|-----------|-------------------------|---|
| 1  | 砂岩  | 247   | 47        | 1.63      | 5.2                     | 4.7   |
| 2  | 砾岩  | 278   | 40        | 2.58      | 5.3                     | 1.5   |
| 3  | 中砂岩 | 329   | 63        | 3.38      | 7.2                     | 5.1   |
| 4  | 细砂岩 | 341   | 93        | 2.69      | 12.4                    | 1.3   |
| 5  | 粉砂岩 | 402   | 55        | 2.09      | 5.6                     | 7.6   |
| 6  | 粗砂岩 | 458   | 34        | 1.21      | 4.5                     | 251.0   |
| 7  | 砾岩  | 510   | 46        | 2.19      | 6.1                     | 0.9   |

实施覆岩离层注浆减沉技术后,地面最大下沉小于0.5 m,平均减沉率达50%以上。有效地控制了地表沉降和变形对地面设施的危害,减少了不必要的损失。

#### 6 结 语

(1) 覆岩离层注浆减沉技术是一项新的地层控制技术。对于控制和减缓由地下采矿引起的地表大面积塌陷和由此而带来的危害是一种行之有效的方法。

(2) 为了保证注浆工程质量,提高减沉效果,掌握覆岩移动规律、离层的发生条件和发展与闭合过程,正确确定注浆井的位置,注浆时间,是注浆减沉工程成败的关键。

(3) 覆岩的结构特征、具有一定厚度硬岩层的存在状态、工作面尺寸及地质采矿条件等因素对覆岩离层的发生和发展过程有很大程度的影响。所以,对每个现场实际问题应做具体分析,以便合理选择注浆参数。

#### 参考文献:

- [1] 何国清,杨伦,凌庚娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991.
- [2] Борисов А. А. Расчеты Горного Давления в Лавях Полгих Пластов НЕДРА[M]. Москва, 1964.
- [3] Zhao Deshen, Sui Huiquan. Research on match between pressure and delivery of a pump in the technology of seperated strata[J]. Journal of Coal Science & Technology, 1997, (2): 57~ 61. (in Chinese)
- [4] 张玉卓,徐乃忠. 地表控制新技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1998. 18~ 19.