

# 离层注浆钻孔成孔及注浆时机数值模拟研究

Numerical Simulation Research on Timing of Abscission Grouting Hole Completion and Grouting

任有奎(中国煤炭地质总局一一九勘探队,河北邯郸 056107)

**摘要:**为了合理确定离层注浆钻孔成孔与注浆时机,本文采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟软件,建立数值计算模型,模拟分析了工作面推进过程中离层的演化规律和工作面推进对钻孔的影响。研究得出:离层注浆钻孔终孔成孔时间为工作面推进到150 m时,开切眼前方150 m处、工作面倾向中间位置为最优打钻位置。

**关键词:**离层注浆;数值模拟;钻孔位置;注浆时机;水平变形

**中图分类号:** TD355 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)01-0061-06

**Abstract:** In order to reasonably determine the timing of abscission grouting hole completion and grouting, this paper uses FLAC3D numerical simulation software to establish a numerical calculation model to simulate and analyze the evolution law of abscission during the advancement of the working face and the influence of the advancement of the working face on drilling. The research concluded that the timing for completing the abscission grouting drillhole is when the working face advances to 150 m, and the best drilling position is 150 m in front of the first cut and the middle position of the working face inclination.

**Key words:** abscission grouting; numerical simulation; drillhole position; grouting timing; horizontal deformation

## 1 前言

煤矸石离层注浆充填技术是通过将煤矸石破碎球磨制浆,利用地面注浆管路和钻孔向地下采空造成的离层空间进行注浆。该技术为煤矸石等大宗固体废弃物治理提供了一个绿色、经济、环保的治理方案,具有广阔的推广应用前景。但在实施过程中,由于钻孔破坏和离层空间闭合等原因,在注浆过程中容易发生浆液跑浆和冒浆事故,造成地表二次污染。

本文以龙泉煤矿矸石注浆充填科研工程4203工作面离层注浆方案为依托,采用FLAC<sup>3D</sup>数值模拟技术,分析工作面采动过程中离层的演化规律和不同位置钻孔的水平位移变化情况,合理确定钻孔成孔与注浆时机,为离层注浆方案的实施提供了保障。

4203工作面所采煤层为4号煤,煤层厚度变化范围为6.2~7.4 m,平均厚度为6.8 m,煤层平均倾角7°。工作面走向长度2568 m,倾向长度为255 m,工作面开采方法为放顶煤一次采全高,机采采高3.5 m,放顶煤厚度为3.3 m,采放比为1:0.94。日

进6循环,循环进度为0.865 m。

## 2 开采离层发育分析

当采深较深,覆岩中存在多层或多组坚硬岩层时,根据关键层理论分析,主关键层下部将产生较为显著的离层变形,并且主关键层的破断将引起地表较大幅度的沉降移动<sup>[1]</sup>。因此,沿主关键层下部,将是控制离层的主要目标层位<sup>[2]</sup>。

相比于其他岩层,关键层的抗弯曲变形能力大,其变形与下部岩层不协调<sup>[3]</sup>,依据龙泉煤矿4203工作面地质条件及岩层柱状图通过确定覆岩中的坚硬岩层位置,计算各硬岩层的破断距,得到4203工作面关键层分布如图1所示。

## 3 模拟研究方案

本研究主要通过建立FLAC<sup>3D</sup>数值模型确定地面注浆钻孔的最佳钻孔时机和钻孔位置,并分析工作面推进对钻孔的影响。为保证在离层扩展期间及时充分地完成注浆作业,钻孔的终孔时间应略提前于主要离层空间的扩展期,避免因注浆过晚而来不及注满全部离层空间或因成孔过早,孔壁坍塌而影响注浆。所以,可按工作面推进速度和终孔时间确定合适的开钻时间。基于此目的,本次数值模拟设计了以下两个模拟方案。

[作者简介] 任有奎(1983-),男,河北邯郸人,采矿工程师,中国矿业大学(徐州)硕士,采矿工程专业。

[引用格式] 任有奎. 离层注浆钻孔成孔及注浆时机数值模拟研究[J]. 中国矿山工程,2022,51(1):61-66.

层号	厚度/m	埋深/m	岩层岩性	关键层位置	岩层图例
23	442	142.00	松散层		△ △ △
22	6	448.00	中砂层		△ △ △
21	4	452.00	砂质泥岩		● ● ● ●
20	5.5	457.50	中砂岩		● ● ● ●
19	1.4	458.90	砂质泥岩		● ● ● ●
18	7.2	466.10	中砂岩	主关键层	● ● ● ●
17	5	471.10	粉砂岩		— — — —
16	6	477.10	泥岩		— — — —
15	8	485.10	粉砂岩		— — — —
14	7	492.10	砂质泥岩		● ● ● ●
13	13	505.10	细砂岩	亚关键层	— — — —
12	7	512.10	砂质泥岩		— — — —
11	4	516.10	细砂岩		— — — —
10	9	525.10	砂质泥岩		— — — —
9	4	531.10	粉砂岩		— — — —
8	6	535.10	砂质泥岩		● ● ● ●
7	14	541.10	细砂岩		— — — —
6	9	555.10	砂质泥岩	亚关键层	— — — —
5	5.7	564.10	砂质泥岩	亚关键层	— — — —
4	3.2	569.80	砂质泥岩		— — — —
3	2.2	573.30	细砂岩		● ● ● ●
2	2	575.30	粗砂岩		● ● ● ●
1	2	577.30	砂质泥岩		— — — —
0	6.06	583.36	中砂岩		● ● ● ●

图1 4203工作面覆岩关键层判别结果

(1) 研究工作面不同推进距离(50 m、100 m、150 m、200 m)主关键层正下方离层发育情况。

(2) 研究不同钻孔位置下(距离开切眼50 m、100 m、150 m),工作面推进过程中钻孔水平变形情况。

## 4 FLAC<sup>3D</sup>数值模拟

### 4.1 模型建立

本研究依据龙泉煤矿4203工作面地质条件及岩层柱状图为基础,运用FLAC<sup>3D</sup>有限元软件,建立长宽高为700 m×10 m×611 m数值计算模型(如图2所示)。模型四周固定水平位移,底面固定水平位移及垂直位移,整体施加重力加速度9.8 m/s<sup>2</sup>。模型共建立26层。数值模型岩层力学参数以实验室测定为依据,煤层岩层数值模型力学参数见表1。

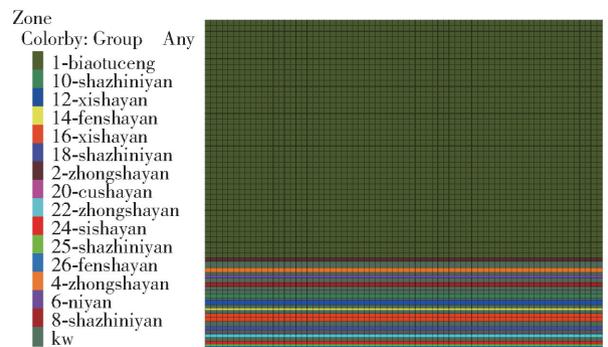


图2 数值模型计算图

表1 数值模型岩层力学参数

煤层名称	密度/ kg·m <sup>-3</sup>	抗压强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	弹性模量/ MPa	泊松比
粉砂岩	2 550	53.43	5.61	12.5	30.76	5 540	0.21
泥岩	2 579	67.74	5.024	12.468	19.54	1 643	0.16
砂岩	2 702	104.77	8.624	15.03	36.53	7 399	0.16
砂质泥岩	2 654	44.82	3.595	6.35	36.96	2 813	0.19
细砂岩	2 643	59.19	4.862	10.55	27.81	1 517	0.21
泥岩	2 633	42.92	3.276	5.319	35.79	1 955	0.19
煤	1 353	8.5	0.75	2.996	26.35	1 821	0.27
砂质泥岩	2 499	33.5	3.35	5.3	32.9	1 643	0.29
中砂岩	2 494	81.5	7.536	14.4	28.21	4 644	0.2
砂质泥岩	2 499	24.82	4.71	4.716	29.79	1 764	0.29
砂岩	2 640	71.06	6.237	13	36.9	2 497	0.24
4号煤	1 353	13.58	0.737	2.02	26.35	1 222	0.27
细砂岩	2 555	59.5	5.2	13.5	25.87	1 636	0.18

### 4.2 开采离层发育分析

工作面分别推进50 m、100 m、150 m和200 m

时,覆岩的竖直位移云图如图3所示,根据模型竖直位移云图判断上覆岩层间的分层面附近在水平方向

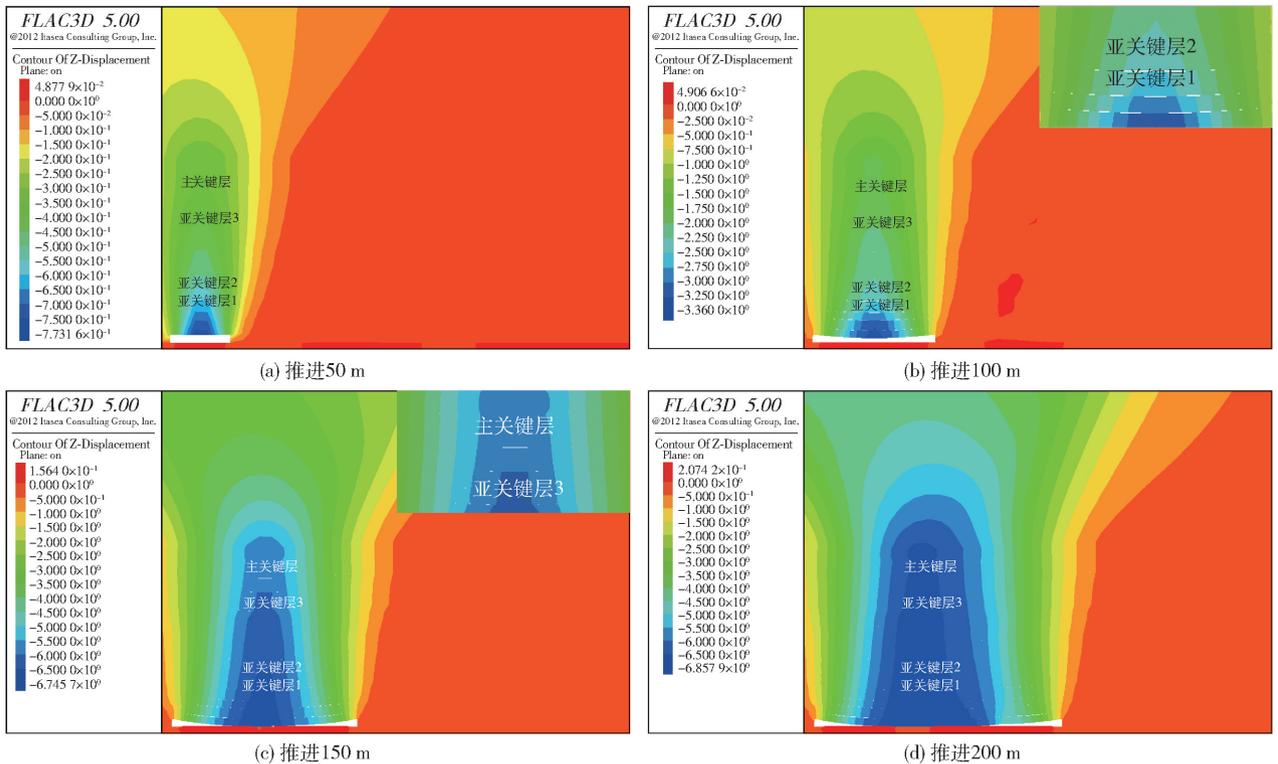


图 3 开采过程离层发育云图

和竖直方向上竖直位移是否连续、是否存在较大的位移梯度来确定覆岩是否发生离层以及离层的发育过程,同时根据竖直应力云图中覆岩分层处是否存在应力不连续(即层间是否能够相互传递应力)来辅助判断离层的发育情况。

如图 3 所示,当工作面推进 100 m 时,亚关键层 1 下方离层开育,离层发育位于采空区中间位置,主关键层下无离层发育;当工作面继续推进到 150 m 时,亚关键层 1、2 开始破断,亚关键层 1 下方离层由中间位置转向两端,主关键层下方离层开始发育;工作面推进到 200 m 时,主关键层发生破断,离层逐渐闭合。由于钻孔的终孔时间应略提前于主要离层空间的扩展期,因此,合理的钻孔终孔时间为工作面推进 150 m 时,初步确定钻孔位置在开切眼前方 50 ~ 150 m,终孔位置应位于主关键层下方的粉砂岩中。

### 4.3 采动对注浆钻孔稳定性的影响

注浆钻孔稳定性的主要指标是岩层的水平位移对钻孔垂直度和孔径大小的影响,即垂直度是针对管材能否顺利下放而言的,孔径大小是针对不影响

料浆输送而言的,同时要保证岩层移动不压垮、剪断和拉断管材。因此,需要研究开采过程中岩层移动对钻孔造成的水平变形影响。本模拟分别在开切眼前方 50 m、100 m、150 m 处设置钻孔,研究不同推进距离钻孔水平变形情况,不同位置钻孔开采过程中水平位移云图如图 4 至图 6 所示,并绘制工作面推进 400 m 时不同布置钻孔水平位移曲线图如图 7 所示。

如图 4 至图 7 所示,随着工作面的推进,钻孔水平变形量逐渐增大,且随着埋深的增大,水平变形量逐渐减小。当工作面推进 400 m 时,钻孔布置在工作面开切眼前方 50 m、100 m、150 m 处的最大水平位移分别为 78.1 mm、59.7 mm、52.4 mm,随着钻孔距离开切眼位置增加水平变形逐渐变小,在 150 m 处变形最小。根据理论研究、室内试验及现场经验<sup>[4-6]</sup>,注浆孔的扩散半径一般在 300 m 左右,但考虑到实际充填效果,并经查阅资料得知:一般注浆半径多为沿煤层走向 160 ~ 250 m、沿煤层倾向 130 ~ 200 m<sup>[7]</sup>,钻孔设置在距离开切眼 150 m 处可以满足离层注浆需求。

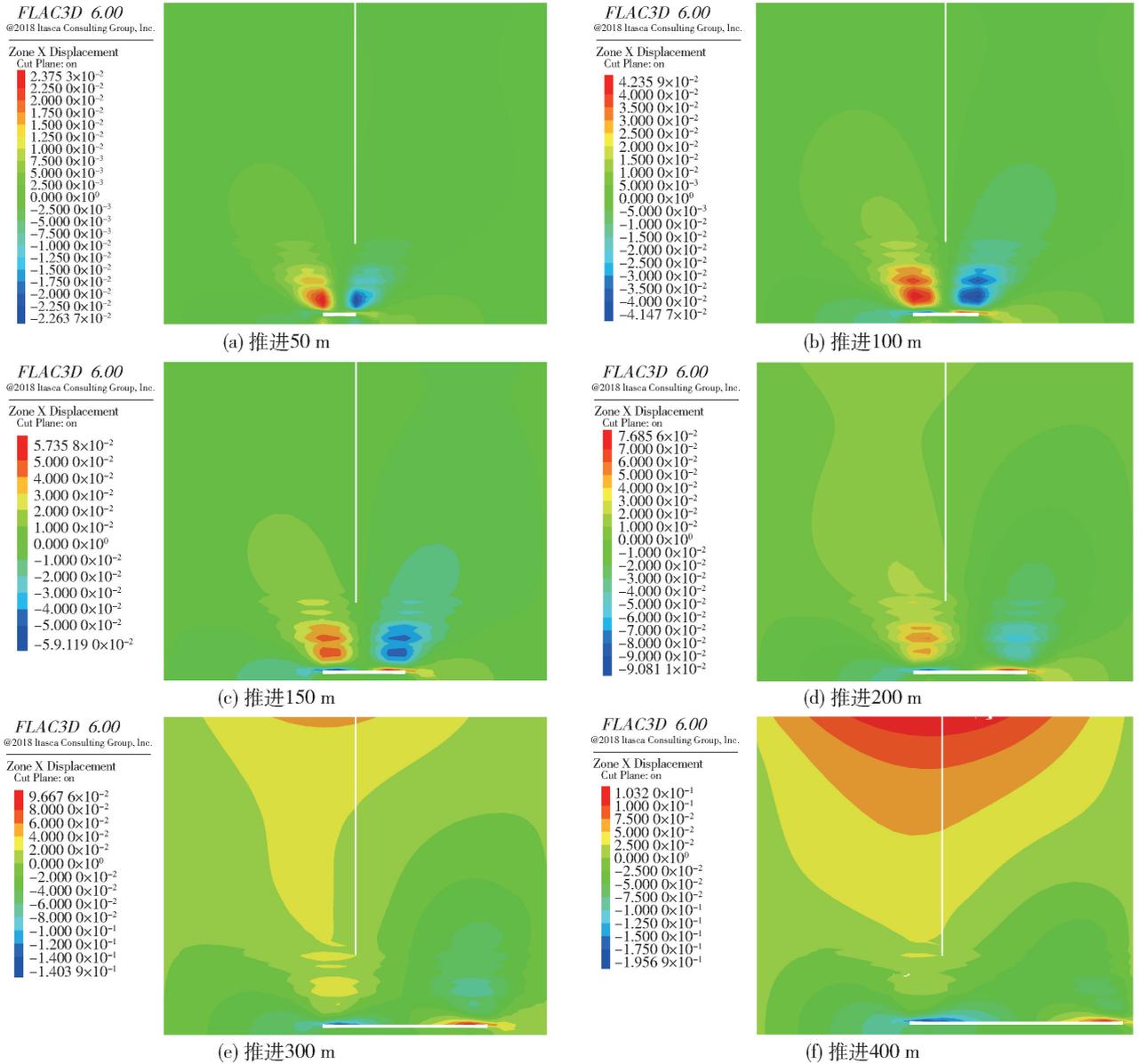


图4 钻孔位于开切眼前方50 m水平方向位移云图

### 5 结论

综合考虑覆岩离层发育位置及钻孔水平变形情况及注浆扩散半径,确定终孔成孔时间为工作面推进150 m时,开切眼前方150 m处为最优打钻位置,考虑到工作面日进尺5.19 m,推进150 m大约需要29 d,而打钻时间为1个月。因此,工作面推进的同时,在开切眼前方150 m、工作面倾向中间位置开始打钻较为合理,此时成孔和注浆为最优时机。

### [参考文献]

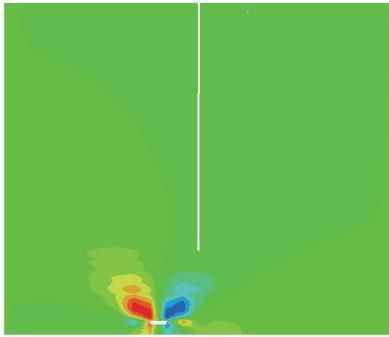
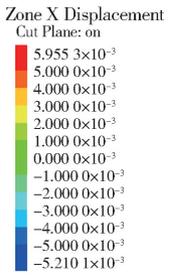
[1] 缪协兴,钱鸣高.采动岩体的关键层理论研究新进展[J].中国矿业大学学报,2000,29(1):25-29.

[2] 郭伟嘉.覆岩沉陷离层发育的解析特征[J].煤炭学报,2000,25(S1):49-53.

[3] 王素华,高延法,傅志亮.煤矿覆岩离层注浆减缓地表沉降技术的应用[J].山东农业大学学报(自然科学版),2006(3):138-142.

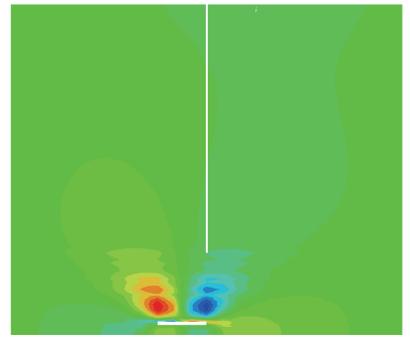
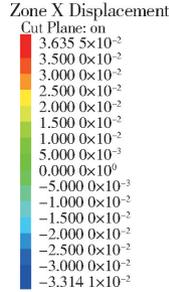
[4] 朱学军,魏中举,赵铁鹏.离层注浆技术在冲击地压防治中的应用[J].中国矿业,2011(11):67-70.

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



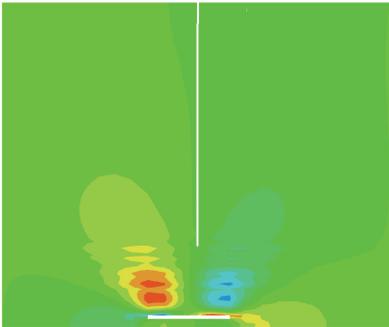
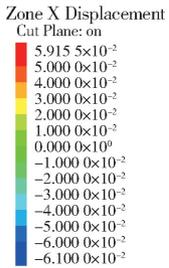
(a) 推进50 m

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



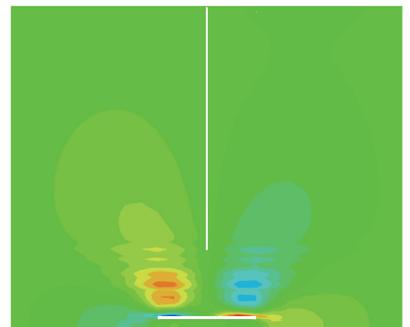
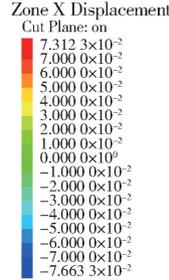
(b) 推进100 m

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



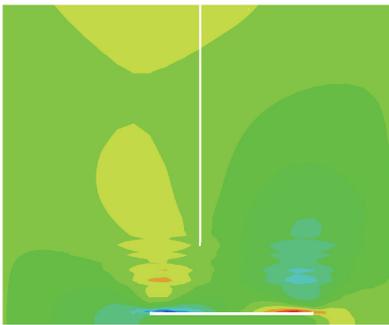
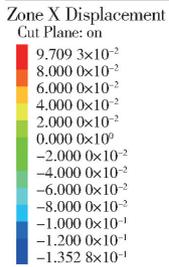
(c) 推进150 m

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



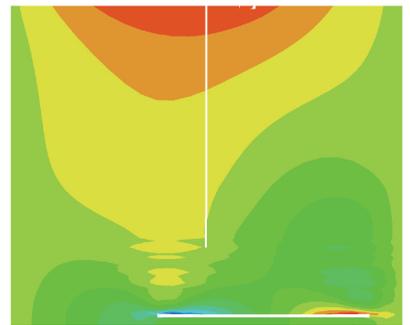
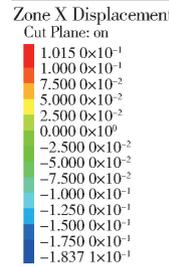
(d) 推进200 m

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



(e) 推进300 m

FLAC3D 6.00  
©2018 Itasca Consulting Group, Inc.



(f) 推进400 m

图 5 钻孔位于开切眼前方 100 m 水平方向位移云图

- [5] 谢和平,周宏伟,刘建锋,等. 不同开采条件下采动力行为研究[J]. 煤炭学报,2011,36(7):1067-1074.
- [6] 张健全,戴华阳. 采动覆岩应力发展规律的相似模拟

- 实验研究[J]. 矿山测量,2003(4):49-51.
- [7] 宋振骥,蒋宇静,刘建康. “实用矿山压力控制”的理论和模型[J]. 煤炭科技,2017(2):1-10.

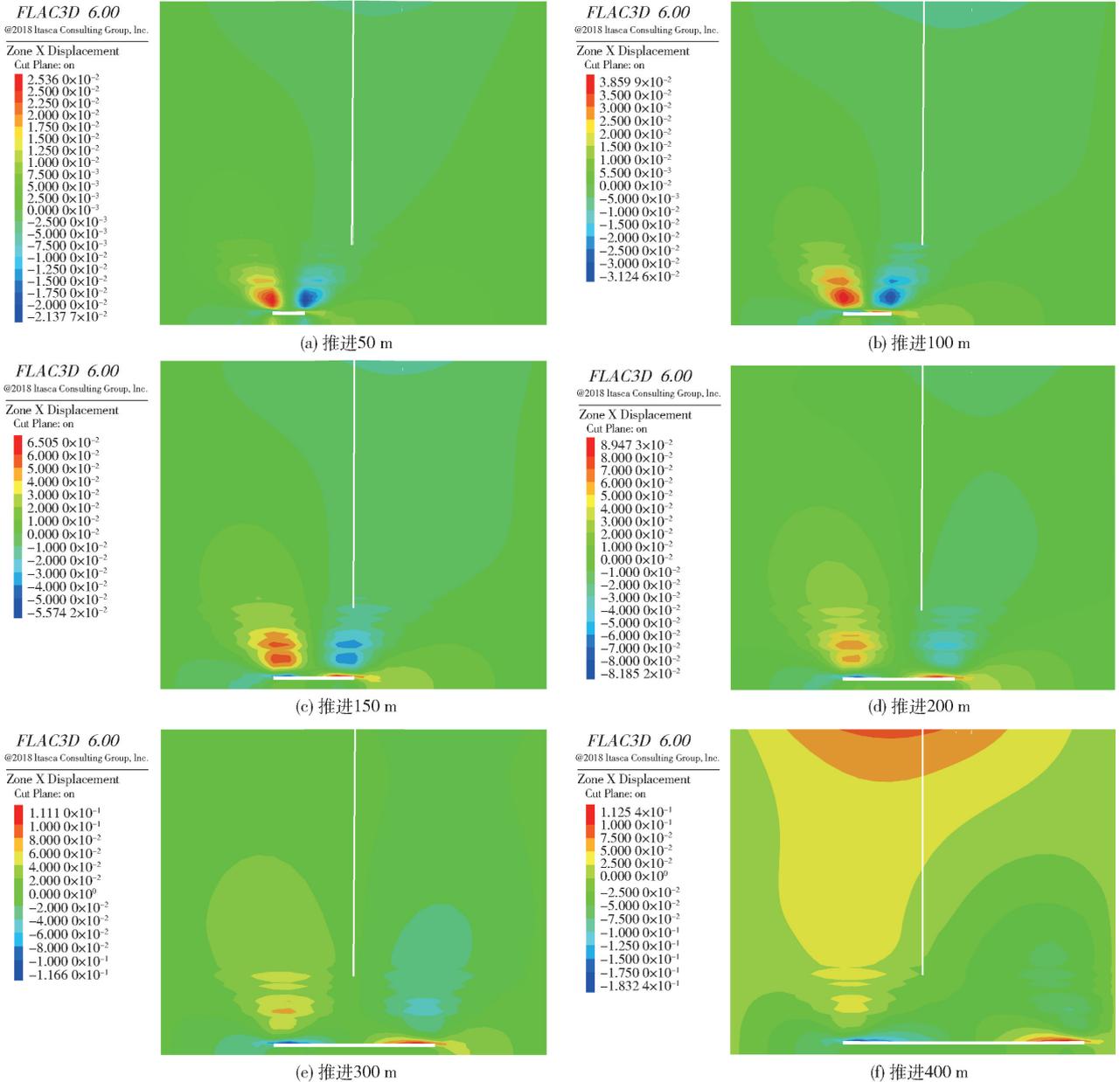


图6 钻孔位于开切眼前方150 m水平方向位移云图

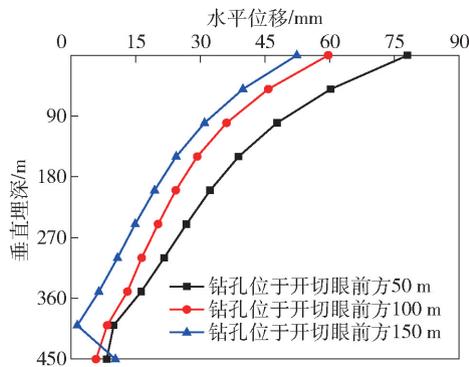


图7 工作面推进400 m时不同布置钻孔水平位移曲线图