



## 抚顺龙凤矿-635水平面地应力反演分析

梁政国 潘一山

(阜新矿业学院 辽宁省阜新市 123000)

### 提 要

本文根据地应力测量结果及构造形迹调查资料,通过有限元法,对抚顺龙凤矿-635水平面地应力进行了反演计算.反演计算结果表明,它与构造形迹分析,观测到的巷道宏观变形破坏及冲击地压显现地带是基本一致的.这一结果对冲击地压防治、巷道部署、软岩底鼓治理与灾害防治等问题,有一定参考价值.

### 一、问题的提出

抚顺龙凤矿是一个具有七十余年开采历史的老矿,-635水平是该矿最深生产水平,进入70年代以来,频繁发生矿井震动,据抚顺地震台记录的大于里震级0.5级以上的竟达675次,其中最高2.5级,调查确认破坏性冲击地压有数十次,已造成数十人伤亡.

结合冲击地压防治的深入研究,在龙凤矿开展了原岩地压力测量,巷道宏观变形破坏调查,构造形迹筛分等方面的工作<sup>[1,2]</sup>,在此基础上运用有限元法进行了地应力反演计算,进而提出龙凤井田构造应力场和-635水平面地应力分布的趋势.这对于探讨构造型冲击地压防治措施,评价采场冲击危险程度及工程部署的合理性提供了理论依据.

### 二、地质概况与地应力测量

#### 1. 地质概况

龙凤矿位于抚顺煤田最东端,成煤时代为老第三纪.井田埋藏区域是浑河冲积平原,煤系地层赋存为不对称向斜构造,向斜轴近于东西.可采煤层由上至下为3、4、5层.煤层倾向南翼 $10^{\circ}$ 左右,北翼 $18^{\circ}$ 左右,轴部煤层间距很小,属缓斜特厚煤层.



龙凤矿年产量为180万吨,开拓方式为竖井多水平阶段石门,现开采最深生产水平是-635m,开采深度是730m,采煤方法为倾斜分层上行V型水砂充填采煤法。

## 2. 地应力测量

本测量采用长沙矿冶所研制的,由浙江大星电讯机械厂生产的XY-90型岩石钻孔三轴应变计和安装仪,这种孔壁应变法是在超前小孔内壁上粘贴电阻应变片,测量应力解除前后孔壁的应变值,后按弹性理论来计算岩体原岩应力的。

在-635水平面内共布置5个测点,见图1。这些测点基本都选在不受采动影响,大于3倍

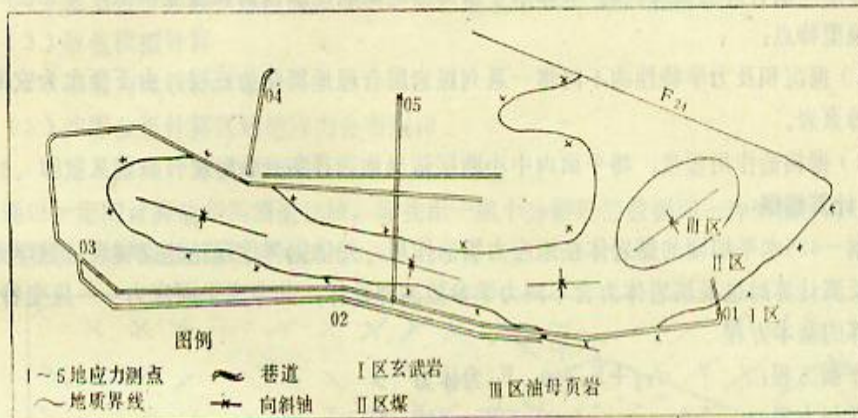


图1 -635水平地质模型及地应力测点分布(比例: 1:20000)

Fig.1 Geological structure and distribution of ground stresses measuring points for -635 level

表1 地应力测量简况表

Tab.1 measurement of ground stresses

编号	测点部位	钻孔方位	实测主应力及主向			水平切面应力 MPa	水平切面应力及主向	
			主应力 MPa	方向			主应力 MPa	主向 方位角
				φ 斜角	ψ 方位角			
1	井田东604 大巷中	265°	$\sigma_1 = -34.64$	30°16'	312°12'	$\sigma_x = -31.11$ $\sigma_y = -13.76$ $\tau_{xy} = -8.45$	$\sigma_1 = -34.5$	112.13°
			$\sigma_2 = -11.52$	74°10'	232°32'			
			$\sigma_3 = -10.24$	15°36'	221°13'			
2	-631水平 三井车场	270°	$\sigma_1 = -65.93$	4°17'	323°42'	$\sigma_x = -45.5$ $\sigma_y = -26.8$ $\tau_{xy} = -29.7$	$\sigma_1 = -67.28$	126.3°
			$\sigma_2 = -8.24$	75°27'	54°23'			
			$\sigma_3 = -6.73$	13°53'	36°53'			
3	井田西端601 采区流水巷	30°	$\sigma_1 = -59.14$	9°19'	276°17'	$\sigma_x = -48.43$ $\sigma_y = -16.58$ $\tau_{xy} = -19.66$	$\sigma_1 = -57.8$	64.5°
			$\sigma_2 = -13.16$	76°41'	322°32'			
			$\sigma_3 = -7.0$	9°6'	189°32'			
4	井田北翼中 段联络石门	75°	$\sigma_1 = -53.21$	8°21'	322°9'	$\sigma_x = -42.61$ $\sigma_y = -14.38$ $\tau_{xy} = -17.65$	$\sigma_1 = -51.09$	64.3°
			$\sigma_2 = -9.14$	73°27'	242°32'			
			$\sigma_3 = -5.73$	9°53'	221°13'			
5	井田西北部 联络石门	90°	$\sigma_1 = -51.63$	6°17'	343°13'	$\sigma_x = -45.73$ $\sigma_y = -15.76$ $\tau_{xy} = -13.24$	$\sigma_1 = -50.7$	69.3°
			$\sigma_2 = -18.48$	75°27'	56°27'			
			$\sigma_3 = -14.35$	13°43'	38°46'			



巷道宽度的巷道内,其岩性为玄武岩,石英质砂岩层中,测点钻孔深均在10m左右,从实测情况看来,大部分测点测得的数据可靠,仅个别测点测得的数据显示出一定的离散性,分析其误差主要是测量误差和井下作业条件较差等因素所致,结合该矿构造形迹和井下大量巷道变形特征调查测量结果分析与各点实测应力场结果比较符合,见表1

### 三、地应力场反演计算模型

#### 1. 地质模型

为考虑反演计算的需要,将-635水平切面的地质状况加以简化建立模型,(见图1)

该模型特点:

(1) 据沉积及力学特性的不同将一系列煤岩层合理地简化为三层,由下至上为玄武岩、煤、油母页岩。

(2) 据构造作用程度,将平面内中小断层适当地选择与舍弃。

#### 2. 计算模型

依据-635水平切面的煤岩体在地应力场的作用,并依据弹性理论建立物理、数学方程。同样在反演计算时也视该岩体为含不同力学参数的弹性体,并考虑平面应力—应变特征。

计算的基本方程

$$\textcircled{1} \text{平衡方程: } \sigma_{ij} + F_i = 0 \quad F_i \text{ 为体力}$$

$$\textcircled{2} \text{几何方程: } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (V_{ij} + U_{ji})$$

$$\textcircled{3} \text{物理方程: } \varepsilon_{ij} = \frac{1+\mu}{E} \sigma_{ij} - \frac{3\mu}{E} \sigma_m \delta_{ij}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

(1) 计算展布范围 在-635水平切面面积6.4平方公里,  $X=84400$ 至 $x=80400$ ,  $Y=7100$ 至 $Y=5500$ 。选定的上述计算区域,按有限元的计算要求把区域剖分为563个三角单元,310个结点,在每个单元上应力—应变是均匀的。

(2) 选定介质的力学性质 计算区域内分三种不同的介质,它们分别为玄武岩、煤(包括夹矸层)和油页岩,有关力学参数见表2

表2 煤岩力学性质表

Tab.2 mechanical properties  
of coal and rocks

煤岩介质名称	弹性模量(MPa)	泊松比	容重( $t/m^3$ )
油母页岩	$1.8 \times 10^4$	0.26	2.6
煤	$0.25 \times 10^6$	0.30	1.5
玄武岩	$6.0 \times 10^4$	0.20	2.9

(3) 选定计算边界条件 根据对抚顺矿区构造形迹分析,该矿区现存的构造形迹归属东西向构造和华夏式构造,通过调查分析,东西向构造最大主应力 $\sigma$ 为南北向作用,华夏式构造最大主应力 $\sigma$ 为北西~南东向作用。据上述构造主应力特征选定计算区域的外力方向,对于外力大小,计算区域处于地表以下700m埋深,煤岩层平均容重为 $2.5t/m^3$ ,其自重应力为17.5MPa,以此为计算基础,进行优化反演。

### 四、地应力场反演计算基本过程

本文反演计算的基本思想就是根据实测的原岩地应力值的资料,采用有限元法,利用计算机进行相关的数值模拟计算,进而优化反演选定的整体区域内各部位的地应力大小与方向。



**反演计算要点：**

- (1) 给定介质力学参数，取若干组边界外力的大小与方向。
- (2) 计算区域内的各点应力大小。
- (3) 比较模拟计算值和实测值的吻合程度。
- (4) 选择吻合程度基本接近一致的那种类型，也就是计算的误差小于规定的误差为止。

**1. 反演计算的主要步骤**

- (1) 确定计算区域和地质模型
- (2) 选定力学计算模型，给定相关参数，建立剖分单元与结点。
- (3) 数值模拟计算
- (4) 整理与比较计算结果
- (5) 作图分析计算区域地应力分布规律

**2. 确定及整理计算模拟结果**

通过一定的计算值与实测值比较，寻找出一组十分接近的数据即一种模拟计算结果，而后归纳整理，编写出总结报告（见图2、3、4。）

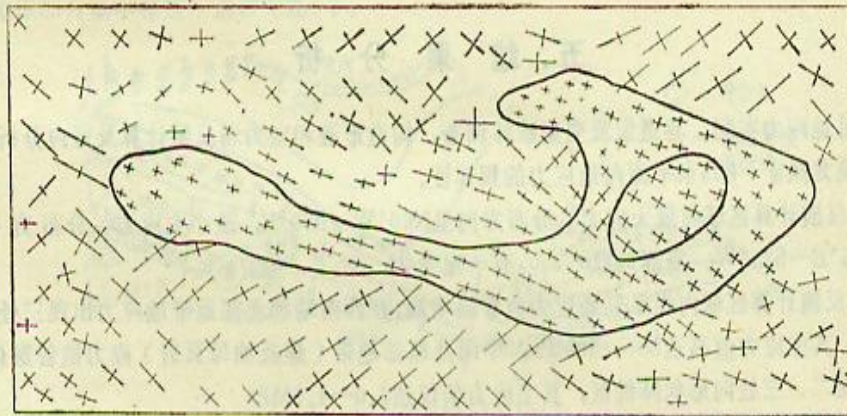


图2 -635水平面内地应力分布状态 (1cm = 29MPa)

Fig. 2 Distribution of ground stresses for -635 level

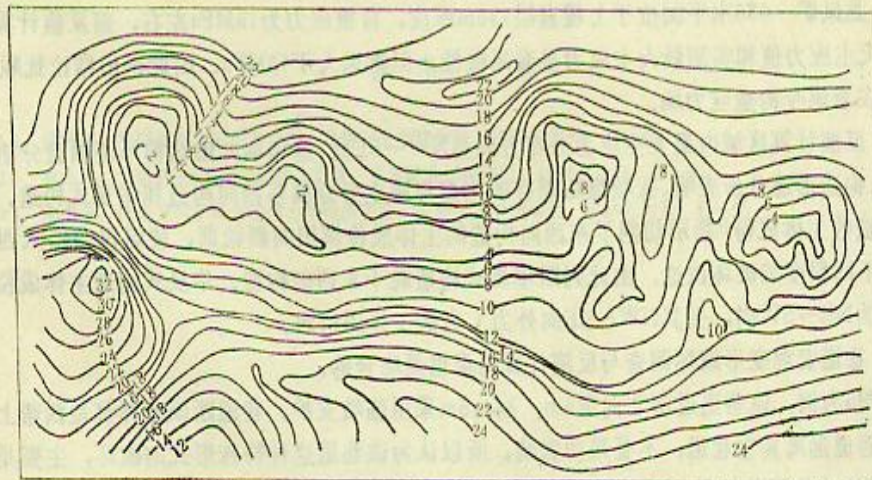


图3 -635水平面内 $\sigma_3$ 主应力分布状态 (应力单位MPa)

Fig. 3 Distribution of principle stress  $\sigma_3$  for -635 level



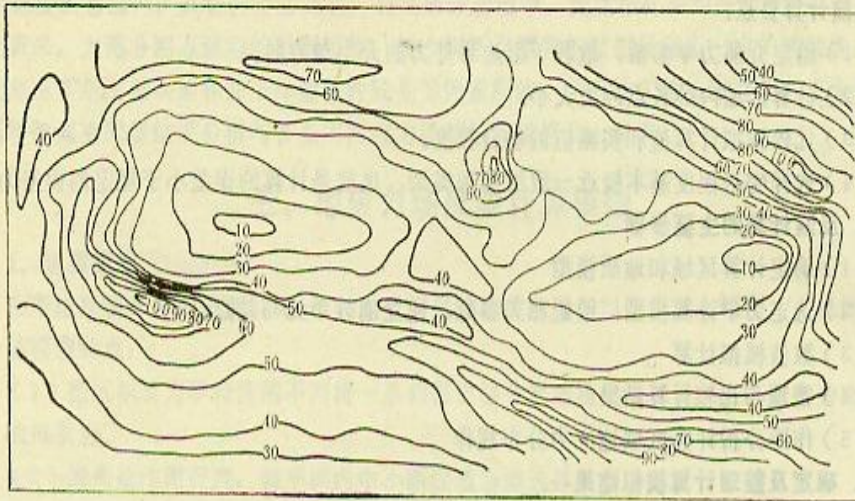


图4 -635水平面内 $\sigma_1$ 主应力分布状态(应力单位MPa)

Fig. 4 Distribution of principle stress  $\sigma_1$  for -635 level

## 五、结果分析

通过地应力实测,巷道宏观变形破坏调查,构造形迹和应力场反演计算及室内分析,可得出抚顺龙凤矿-635水平面内地应力的规律性。

1. 反演计算区域内最大应力 $\sigma_1$ 分布方向呈 $N60^\circ W \sim S60^\circ E$ ,最小主应力 $\sigma_3$ 分布方向呈这样 $N25^\circ E \sim S25^\circ W$ .局部地段 $\sigma_1$ 、 $\sigma_3$ 有一定变化。

2. 反演计算区域内煤系基底应力值普遍增高,在西南端和北部地带地应力出现三处形状增高区,其主应力值高达 $80 \sim 100$ MPa,中间及核部地带(煤及油母页岩)应力值普遍偏低,相继出现二、三处向形状降低区,其主应力值仅 $2.0 \sim 4.0$ MPa

3. 反演计算区域地应力存在着东西高,中间低的趋势,局部地段应力值呈现差异变化。这主要是受介质成份结构及构造赋存形态不均一性等因素影响所致。

4. 龙凤矿-635水平面位于上覆岩层730m深度,自重应力为18MPa左右,而反演计算水平面最大主应力值和实测最大主应力虽有离散性,但都远大于18MPa。因此得出结论抚顺龙凤矿存在着现今构造应力场。

5. 反演计算区域内最大主应力分布方向呈NW-SE向,这和本井田结构形迹调查分析是一致的。构造形迹分析表明,抚顺煤田现存的构造形迹主要分属东西向构造和华夏式构造。华夏式构造的主体成份F断层切割了东西向构造的主体成份煤田向斜轴部,使煤田向斜从西至东遭到不同程度的破坏改造,由此判断华夏式构造晚于东西向构造。华夏式构造主体成份大致走向为NE~SW向,受其NW~SE向外力(力偶)作用所致。

6. 巷道宏观变形破坏调查与反演计算结果也是吻合的。

以图5为例,该巷道近南北向宽5m,高4.5m采用锚喷支护,巷道断面破坏都是西帮上角处,该巷道远离其它巷道,不受采动影响,所以认为该巷道这种特殊形式的破坏,主要是受NW向地应力作用的结果。

而在03号西部测点所在巷道,由于巷道轴向近北西~南东向,与最大主应力平行,所以



巷道内没有发生此类破坏现象, 巷道断面呈现比较规正。

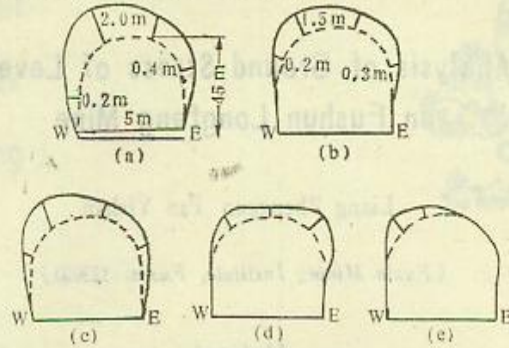


图5 604大巷断面破坏素描

Fig. 5 Some types of failure section in tunnel 604

7. 地应力值高区是冲击地压呈现集中的地带, 这与反演计算结果也是一致的。从图4可见, 在井田西部有一处高应力区, 此位置正是龙凤矿601, 602采区附近。该矿近几年来发生冲击地压85%集中在这一地带(图6)。

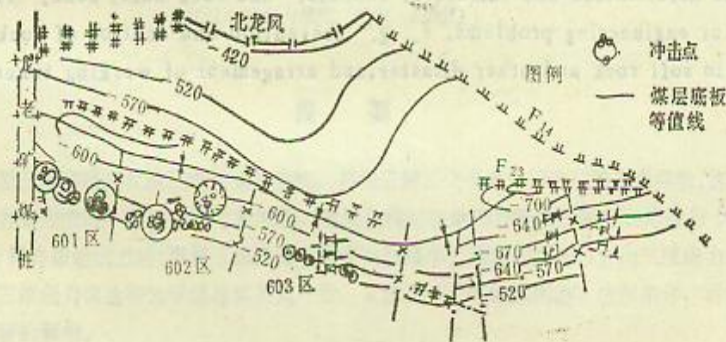


图6 龙凤矿冲击地压分布情况

Fig. 6 Distribution of rock burst in Long Feng mine

### 参 考 文 献

- (1) 梁政国, 抚顺煤田构造形迹分析, 阜新矿业学院学报, 1985年增刊: 79~89
- (2) 赵本均, 龙凤矿—635水平地应力测量, 阜新矿业学院学报, 1985年增刊: 57~64
- (3) 朱之芳, 抚顺龙凤矿煤岩物理力学性质实验, 阜新矿业学院学报, 1985年增刊: 41~56

## Back Analysis of Ground Stress of Level -635 in Fushun Longfeng Mine

Liang Zhengguo Pan Yishan

(*Fuxin Mining Institute, Fuxin, 123000*)

### Abstract

Using finite element method, the author obtains ground stress of level -635 in Fushun Longfeng Mine according to the surveying data of ground stress and the structural traces.

The result is consistent with the analysis of the structural traces, the measured microscopic deformation and failure of tunnels, and rock burst zone. The result is useful for engineering problems, e. g. prevention and control of rock burst, floor lift in soft rock and other disaster, and arrangement of working tunnel