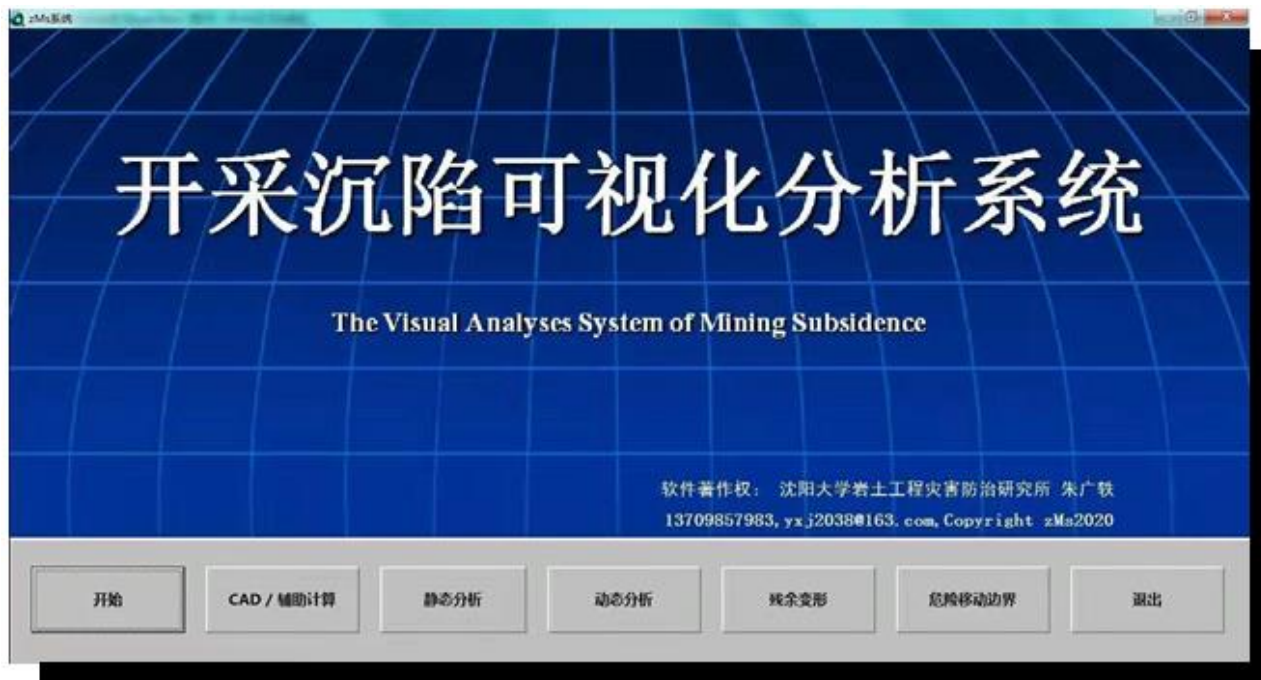


ZMS2020 软件简介



朱广轶 三级教授、研究生导师、岩土工程方向带头人

沈阳大学岩土工程灾害防治研究所所长
辽宁省环境岩土工程重点实验室学科带头人
教育部学位中心专家
河南省科技评审专家
沈阳市科技评审专家
新加坡 VISER 期刊学术委员

●研究方向:

采动地基稳定性评估、抗采动变形建筑研究、沉陷区治理;
地质动力区划、岩体力学与岩层控制理论;
计算机软件开发;
测绘工程

沈阳市大东区望花南街21号 沈阳大学建筑工程学院, 邮政编码: 110044
电子信箱: yxj2038@163.com 手机: 13709857983
电话: 岩土工程灾害防治研究所: 024-62721578

一、朱广轶科研成果、ZMS 软件系统简介

煤科院沈阳所朱广轶2001年被引进到沈阳大学，任沈阳大学沈阳大学岩土工程灾害防治研究所所长。2019年6月，基于残余移动变形预测理论与程序的完成，软件升级为ZMS2020。通过多年际科研过程优化，对采区地表稳定性评价与新建建筑实施各过程各环节的全面分析，提出了一整套静态分析、动态分析和老采区地表残余移动变形分析方法、地基稳定性评价方法、建筑抗变形的工艺流程和沉陷区规划治理的6项基本原则。在《岩石力学与工程学报》、《辽宁工程技术大学学报》、《沈阳建筑大学学报》等著名核心期刊发表，被美国EI收录的科研论文7篇。

ZMS2020软件主要解决建筑物、道桥、水体下开采、原地建抗变形建筑、沉陷区环境治理等地表移动预测和岩移参数分析问题。软件分为【VB调用CAD自动获取矿图坐标为DTM文件/其它辅助计算】、开采沉陷地表的【动态分析】、【静态分析】、【残余移动变形分析】、【危险移动边界分析】、【井下开采方案优化分析】6大部分。ZMS软件在东北有30余年的应用和研发历史，已在沈阳、抚顺、本溪、铁法、阜新、南票、鹤岗、双鸭山、七台河、安徽宿州、淮北、内蒙白音华矿区等大矿区 and 高校进行了推广，解决了大量科研课题，达到国内外领先水平。



获我国特大型煤矿区-鹤岗市科技进步一等奖

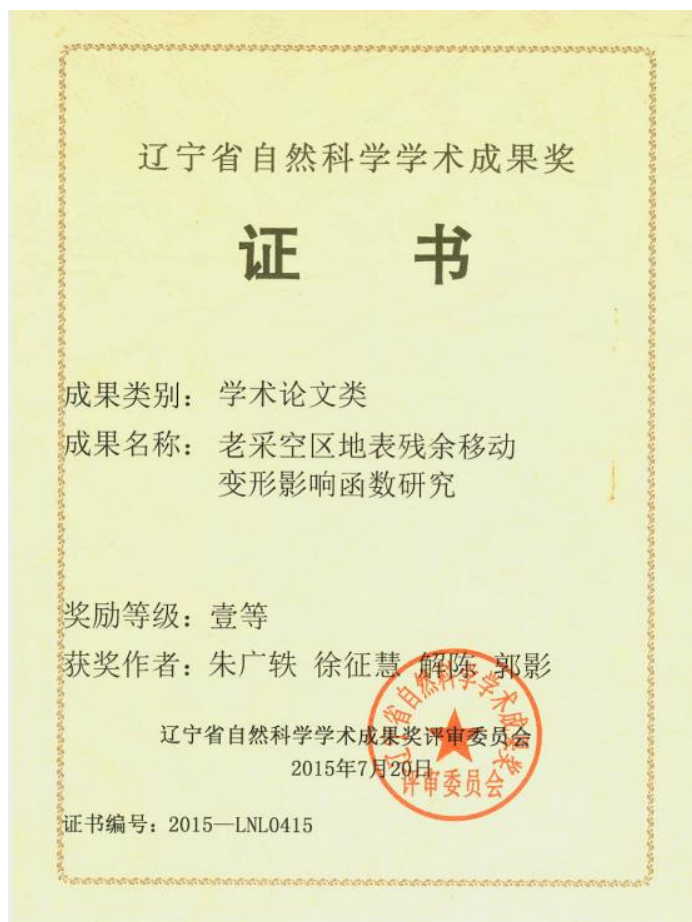




省级科技进步三等奖

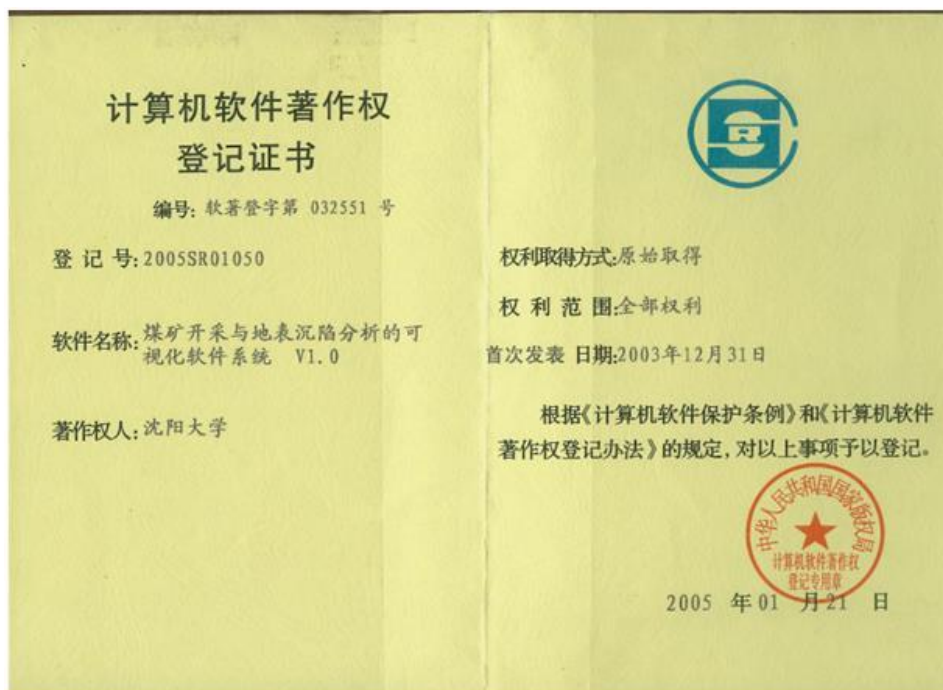


省自然科学成果一等奖;



 国家版权局“计算机软件著作权”三项；

1、朱广轶静态分析软件著作权证书：



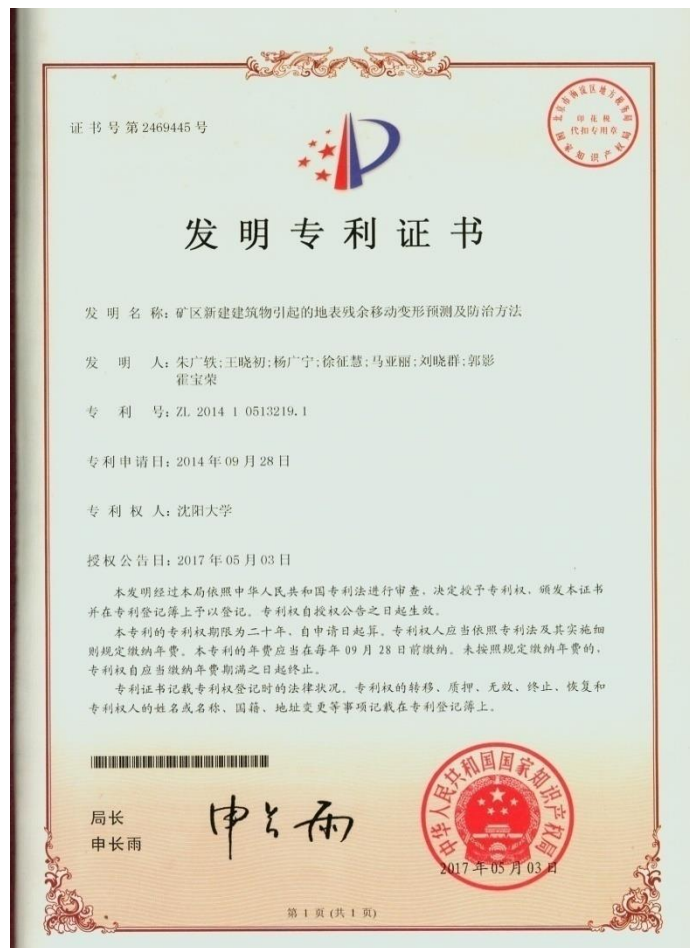
2、朱广轶动态分析软件著作权证书：



3、朱广铁残余变形软件著作权证书：



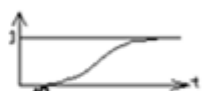
国家发明专利



二. ZMS2020 软件特点

1. 计算机系统： Windows7以上、 CAD2006以上。
2. ZMS岩层移动与变形软件的主要功能：①地下开采方案分析；②动态、静态、残余移动变形分析；④岩移参数分析；⑤可视化绘图。
3.  **动态分析**是对工作面推进过程中地表移动变形的预测分析。国内外应用的Knothe时间函数 $W(t) = W_0 \Phi(t)$ 仅有一个变量 t 。2011年，朱广铁带领沈阳大学岩土工程灾害防治研究所团队，采用自己创立的“地表移动变形时-空函数” $W(x, t) = W(x) \Phi(x, t)$, (美国EI收录) 进行软件开发，**克服了knothe时间函数一、二阶导数的曲线形态错误**，见表1。

表1 Knothe时间函数与朱广铁坐标-时间函数比较

时间函数类型	knothe 时间函数	朱广铁时-空函数 (理想函数)
下沉 w		
一阶导数 v		
二阶导数 v'		
参数	单参数 c , 参数不足	变量增加为 x, t ; 多个既有参数

朱广铁时-空函数**比Knothe时间函数多引入了坐标变量 x** ，如，朱广铁 $W(x, t)$ 不仅比Knothe时间函数能精确反映各点的 $W(t)$ 、 $V(t)$ 曲线，还能绘出Knothe时间函数无法描述点 x 的 $i(t)$ ， $K(t)$ ， $U(t)$ ， $\varepsilon(t)$ 时间过程曲线(因Knothe时间函数无 x 变量，而无法对 x 求导)；某一时间的空间(坐标)过程曲线 $W(x)$ 、 $U(x)$ 、 $i(x)$ 、 $K(x)$ 、 $\varepsilon(x)$ 。注意，有的软件应用Knothe时间函数 $W(t) = W(x)(1 - e^{-at}) = W(x) \Phi(t)$ 只能**近似**求不同时间的 $W(x)$ ，因其形态函数 $\Phi(t)$ 无 x 变量等错误。朱广铁的动态地表移动变形函数是国内唯一克服Knothe缺点，能正确进行动态分析的预测函数。

4. **静态分析**是对地表移动稳定后最终移动变形的预测分析。可计算出下沉 W ，沿计算方向、垂直于计算方向的：水平移动、倾斜变形、水平变形、曲率变形， 一次获得计算方向和垂直计算方向的**二维等值线图形、三维立体图形、剖面图、成果表**。调用CAD可在绘图机上输出。

5.  **老采区地表残余地表移动变形分析**。在老采空区浅部地表新建建(构)筑物或地下水位下降或地震等外来因素影响下，老采空区及覆岩活化，地表继续产生的移动变形，这阶段移动变形对建(构)筑物影响常常是不可忽略的，在浅部采区厚煤层、多煤层开采，可达到IV级。残余地表移动变形发生的时间取决于外来因素的影响时间，可在停采后50年甚至更长。残余地表移动变形属现行规程没考虑到的新问题。见《岩石力学与工程学报》2014第10期(EI)：朱广铁等，老采空区地表残余移动变形影响函数研究。ZMS2020可预测主断面地表静态残余移动变形、残余下沉的时间过程。在

朱广铁亲自授课情况下，ZMS2020的残余移动变形分析完全可以绘制平面等值线图 and 三维立体图。

6. VB调用AutoCAD轻松采集矿图坐标，并自动形成DTM起算数据文件。只要将井上下对照图（AutoCAD图或扫描图）插入计算机屏幕，一切在计算机上轻松完成，见图1～图3。抛弃了三角板手工获取坐标、输入计算机的繁重劳动模式。此功能不仅用于开采沉陷,还可用于工程设计、地质、测量、采矿专业的坐标采集工作。

7. 复杂地质采矿条件分析：用于各种开采方案的多个采场的井上下联合分析；如果煤层走向变化（如，盆形煤层底板等高线）可采用多坐标系计算。这是其它一些软件做不到的。

8. 调用CAD——可以采用移动角绘制盆地边界：(1)弥补概率积分法绘制移动盆地等值线边界收敛与移动角不一致问题；(2)建筑动迁过程的影响范围划定及其与移动变形等值线的对比。

9. 输入数据的自检：如果起算数据超出限度，软件自动停止，进行汉字提示。

三. CAD 自动获取坐标

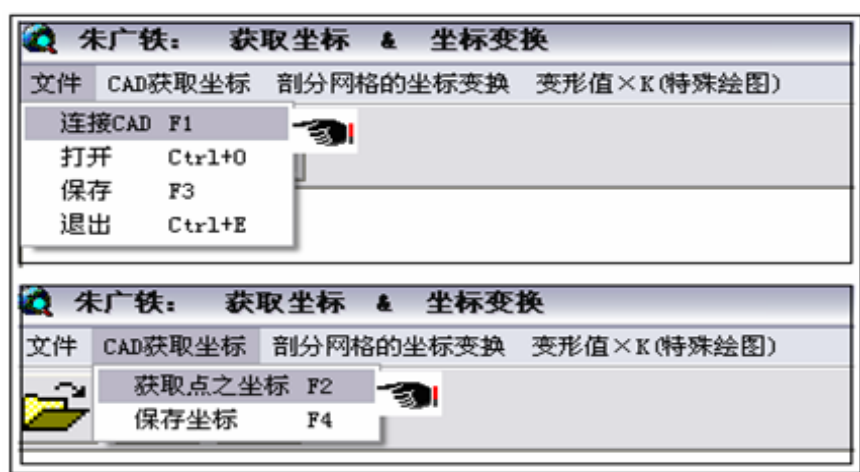


图1 调用CAD和提取采矿图纸坐标界面下拉菜单

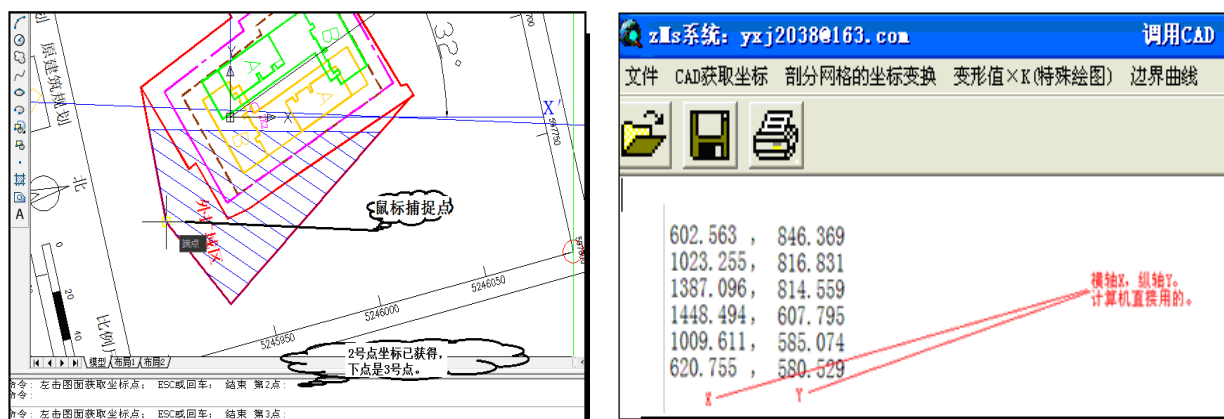


图2 鼠标在CAD井上下对照图中采集数据，形成DTM文件

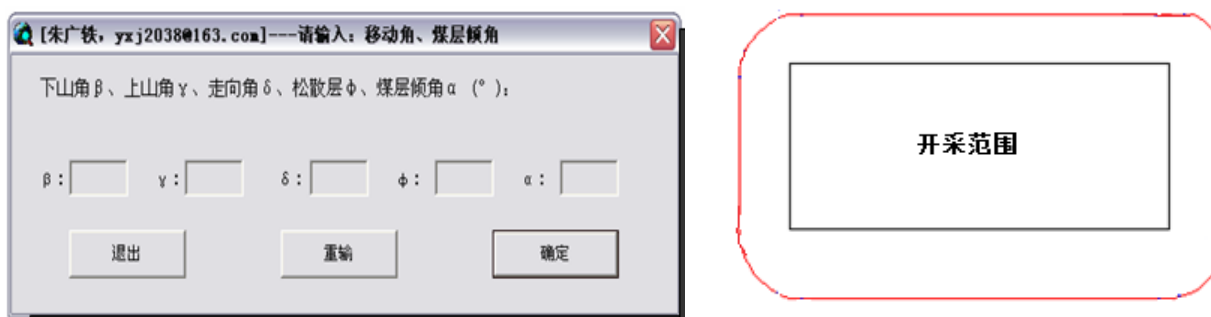


图3 调用C A D—用移动角绘制盆地危险移动边界

四. 动态分析

4.1 ZMS2020 动态预测说明

岩层移动动态分析的研究, Knothe 提出了著名的时间函数。Knothe 时间函数存在不完善性(表 1)。此前, 国内外对于动态分析一直处于不成熟发展阶段。沈阳大学岩土工程灾害防治研究所创立了比 Knothe 函数更优越的“朱广铁时-空函数”。国内外领先, 独一无二。



图4 朱广铁坐标-时间函数

1. 由图 11, 开切眼右侧附近, 非充分采动时, 走向线各点地表水平变形出现负值(地表压缩变形), 负水平变形和负曲率变形的动态过程均经历了: 先由小到大逐渐增加, 然后又由大变, 至充分采动时达到一固定值(图 12 右侧那条灰色曲线一为静态曲线)。

2. 由图 11, 移动稳定时, 发生压缩变形的建筑物, 在移动过程中可能遭受拉伸。在超充分采动条件下, 地表下沉盆地出现平底, 在此平底范围内地表下沉相同, 地表静态变形等于或接近于零(图 11 右侧灰色曲线), 但不能认为在此区域内的建筑物不经受动态变形与破坏。

实地调研证明: 在移动盆地平底区, 静态预测地表移动变形为零。然, 平底区建筑被动态变形破坏。见图 5 之左 1。

3. 地表移动变形静态分析, 仅是采用朱广铁坐标-时间函数动态分析在时间 $t \rightarrow \infty$ 时的一个特例。

4. 对于受采动影响建筑物何时变形何程度，何时采用何措施，必须进行地表移动活跃期的分析-动态分析。

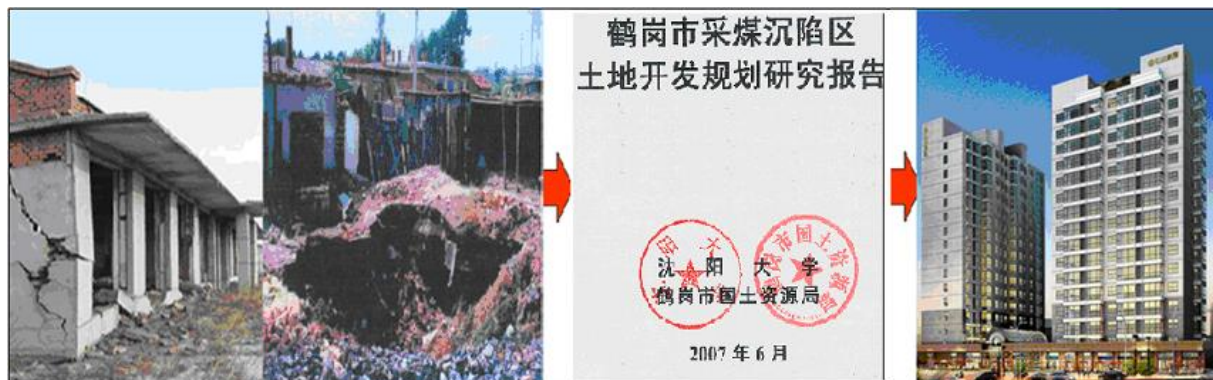


图5 朱广铁完成的鹤岗市政府重点支持项目（136万元）

4.2 ZMS2020 动态曲线展示



图6 软件动态分析部分首介面(可绘 $WV(t)$ 、 $WIKUE(t)$ 、 $WIKUE(x)$ 动态曲线)

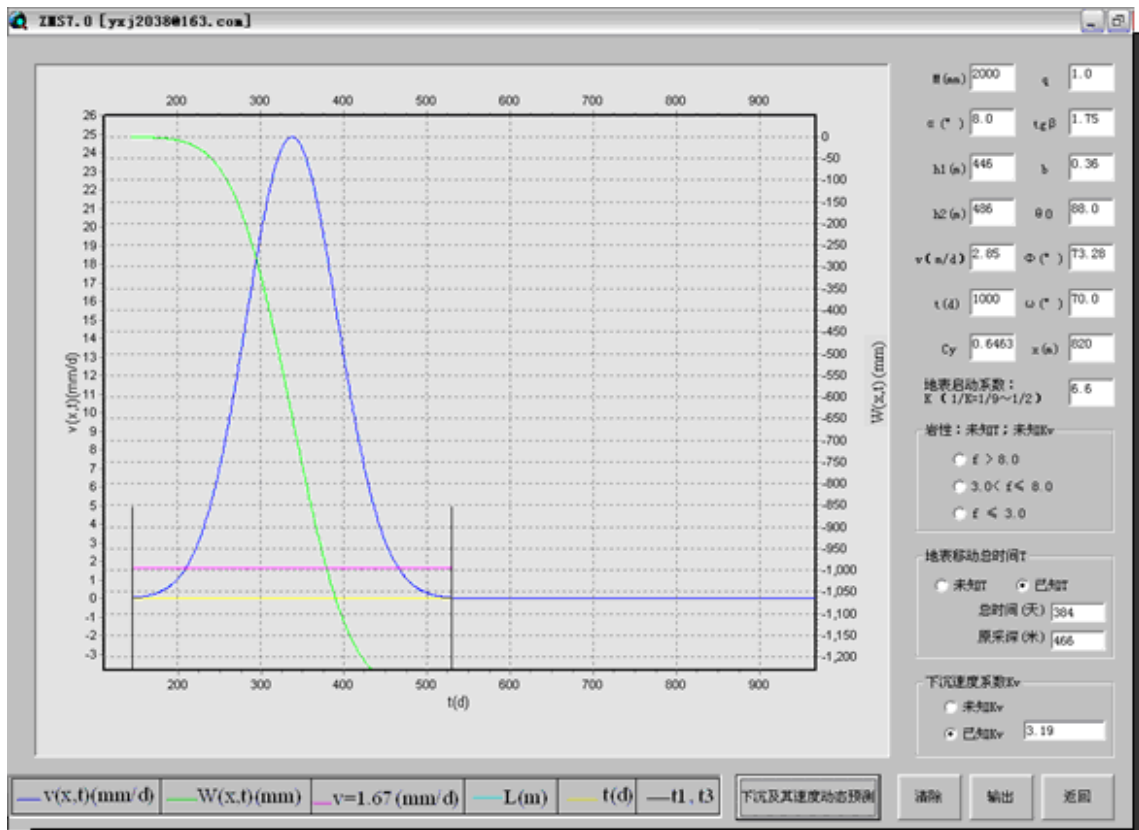


图7 x点的下沉和下沉速度时间过程曲线 $W(t)$ 、 $V(t)$

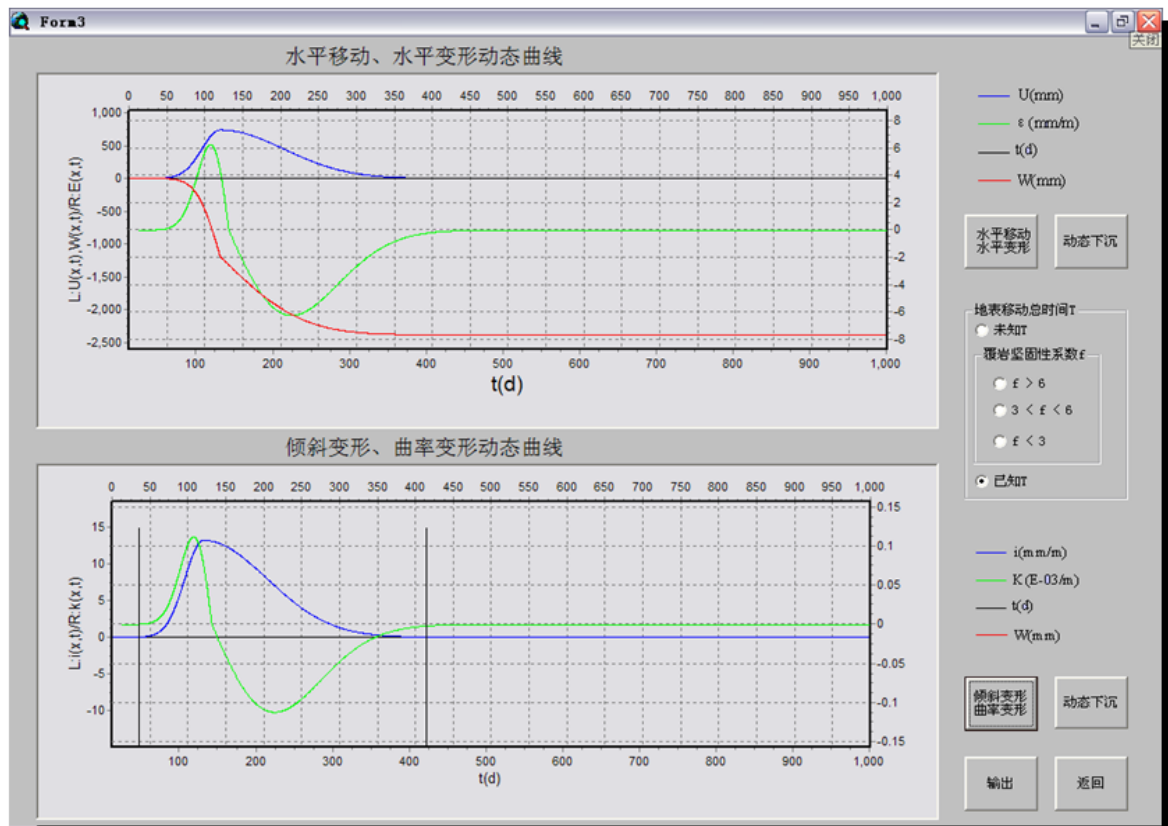


图8 x点的倾斜、曲率、水平移动、水平变形、下沉时间过程曲线- $IKUEW(t)$

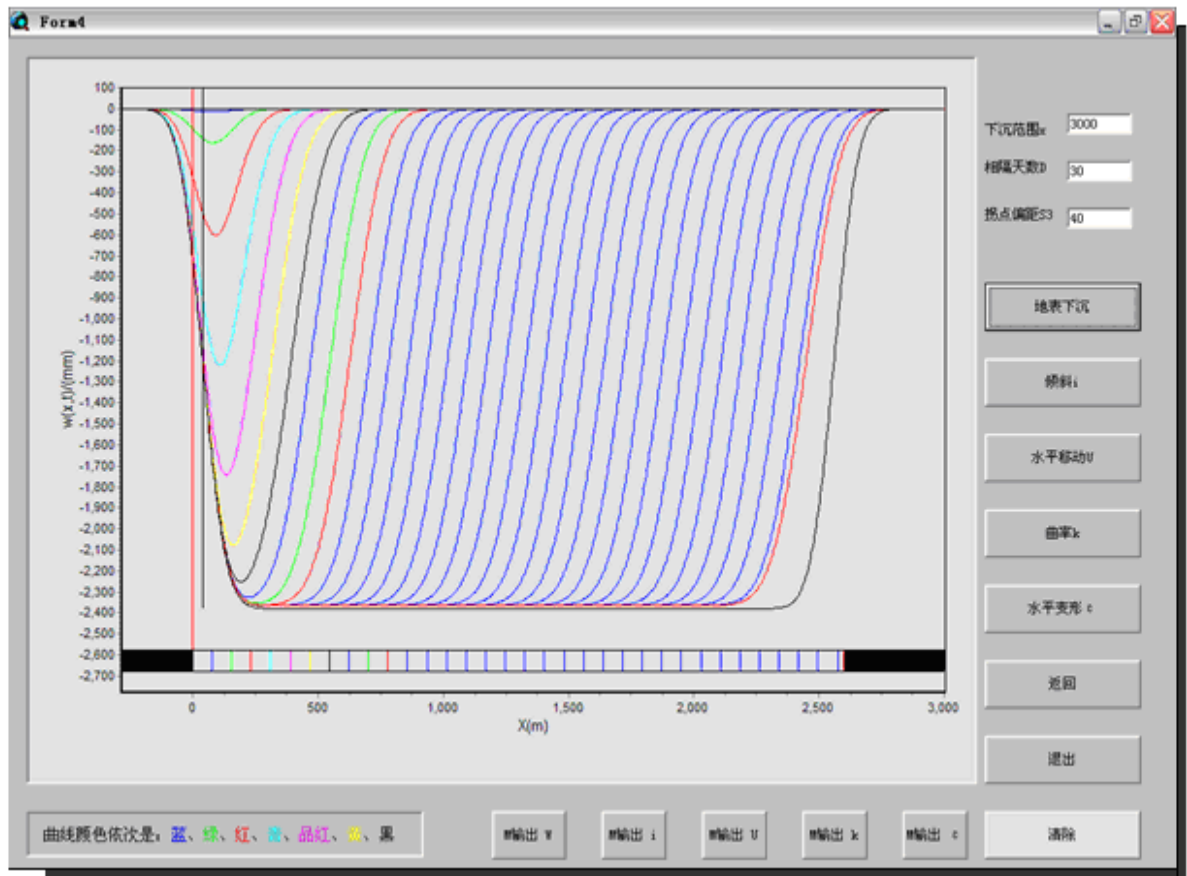


图9 不同时间 t 地表下沉 $W(x)$ 的空间过程曲线

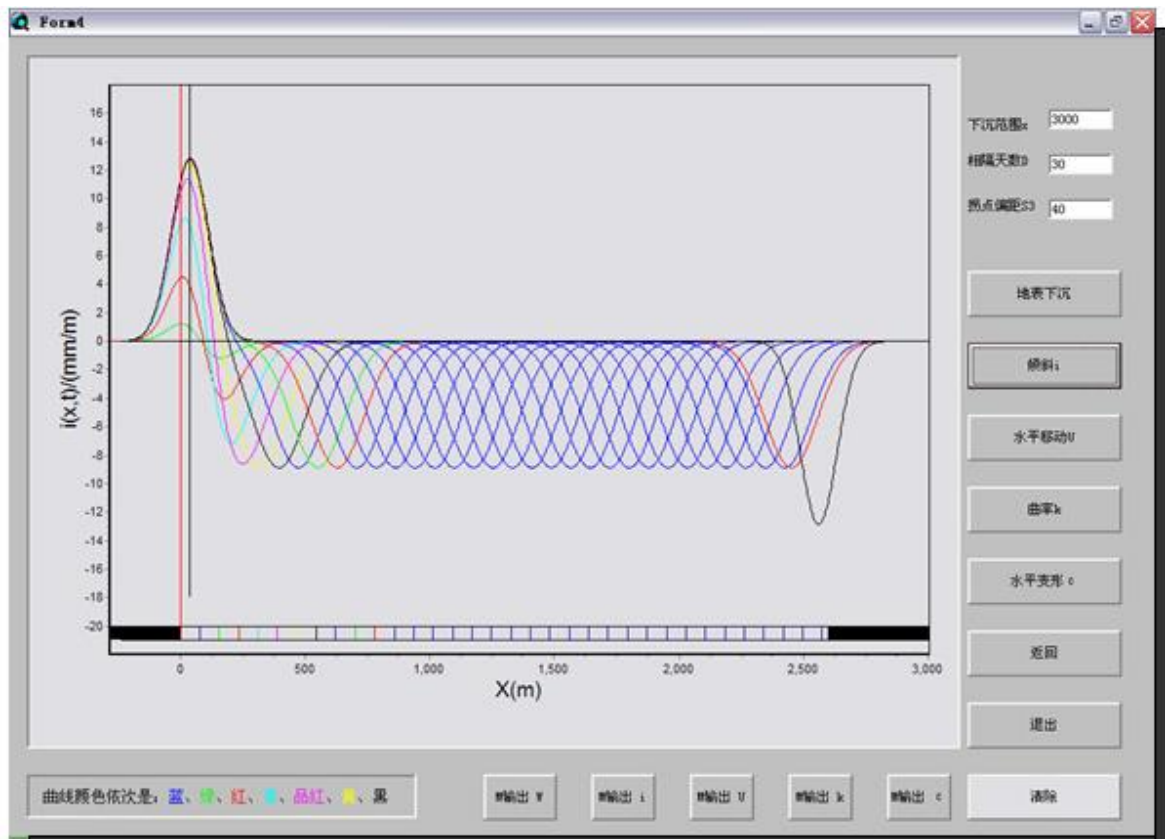


图10 不同时间 t 地表倾斜变形 $i(x)$ 的空间过程曲线

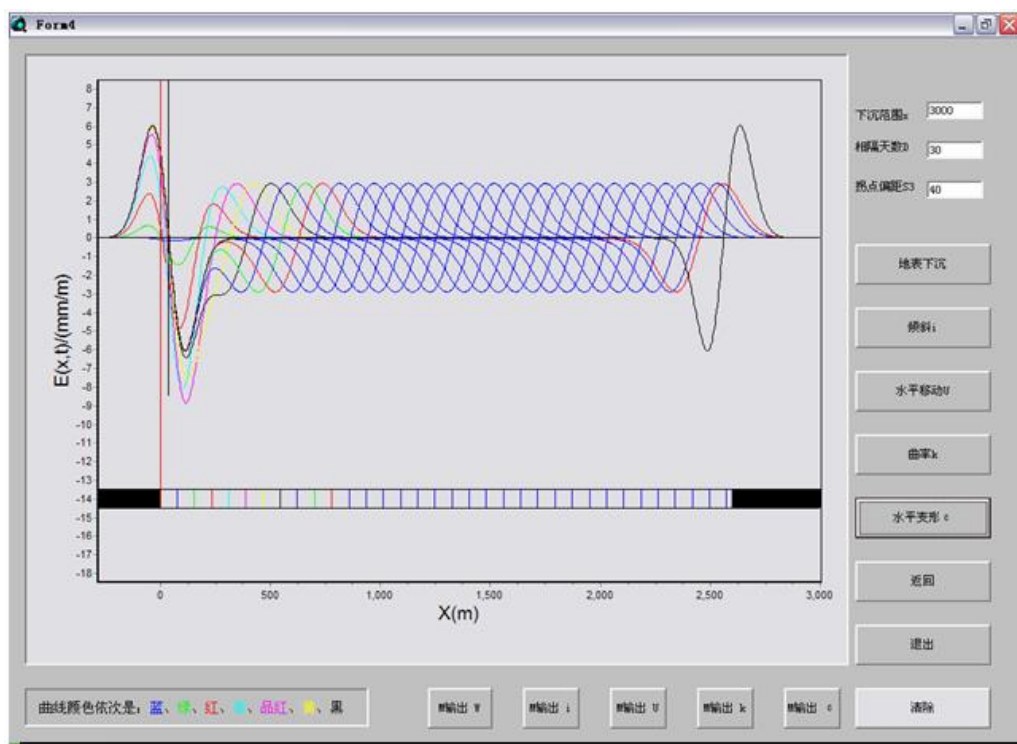


图11 不同时间 t 地表水平变形 $\epsilon(x)$ 的空间过程曲线

说明：ZMS2020可绘制出地表移动变形全部曲线。然，因 $U(x, t)$ 与 $i(x, t)$ 、 $K(x, t)$ 与 $\epsilon(x, t)$ 曲线形态相似，故， $K(x, t)$ 、 $U(x, t)$ 曲线略之。

五. 静态分析

5.1 界面展示

图12 输入数据的自动提示、显示

表格方式步骤

打印表格，应回答：

预计点数： 全部采场数： 地表第一个待求点号：

Y 方向坐标系增加

采用几套坐标系？

第2套坐标系：原点Y02坐标 ，起始面号 ，终止面号

第3套坐标系：原点Y03坐标 ，起始面号 ，终止面号

第4套坐标系：原点Y04坐标 ，起始面号 ，终止面号

第5套坐标系：原点Y05坐标 ，起始面号 ，终止面号

相关提示：

1. 最后一个坐标系的“终止面号”应为所用采场中的最大编号。
2. 多个坐标系仅对绘图方式起作用，表格方式无需（亦不可）采用。
3. 一般情况下，也不用采用多个坐标系。

继续

图13 自动提示，不可输入时汉字变白，不能被点中

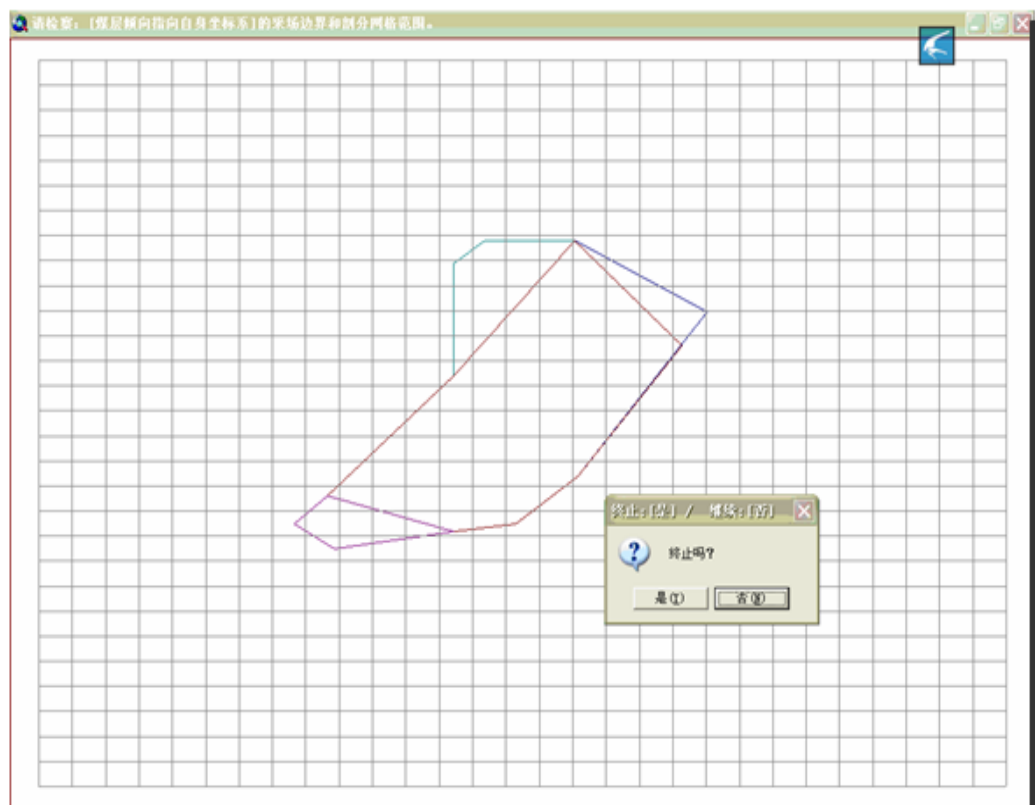


图14 自动根据形成井下采场图形、自动剖分



图15 开采方案选择：计算全部采场或部分采场

5.2 静态分析实例——分析完整(wiuk ε)、表达方式多样:

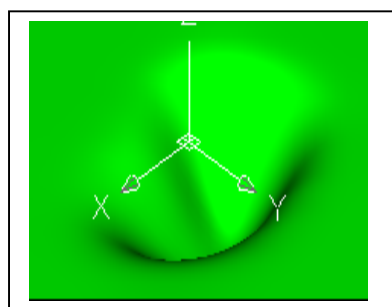
铁法顾家房煤矿为解决其村庄下压煤开采问题, 拟定冒落条带式开采方案。通过分析, 获得条带煤柱承受的极限荷载能力满足要求, 见表2。

表2 条带式开采验算成果

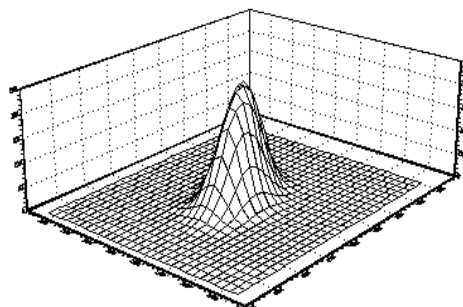
1. 起始数据:
 $r = 2.5 \text{ 吨/米}^3$; $H = 60.552 \text{ 米}$
 $a = 6 \text{ 米}$; $b = 3 \text{ 米}$; $M = 1.7 \text{ 米}$
2. 煤柱能承受的极限荷载:
 $a \geq 1.029384$; $dD = 3326.45 \text{ 吨/米}$.
3. 煤柱实际承受的荷载:
 $PD = 1343.67 \text{ 吨/米}$.
4. 验算: $K = 2.475645$, 满足: $K \geq 2$.
 $a_2 = 1.633989$ 满足: $a > a_2$.

输出图形下沉 W 、沿计算方向和垂直于计算方向: 水平移动、倾斜变形、水平变形、曲率变形  共 9 种图形。此处仅以下沉 $W(x, y)$ 图为例展示。

1. 地表下沉的立体图、平面等值线图、断面图:



以 $W \leq 0$ 方式下沉图



按规定的 $W \geq 0$ 方式显示

图16 地表下沉的立体图

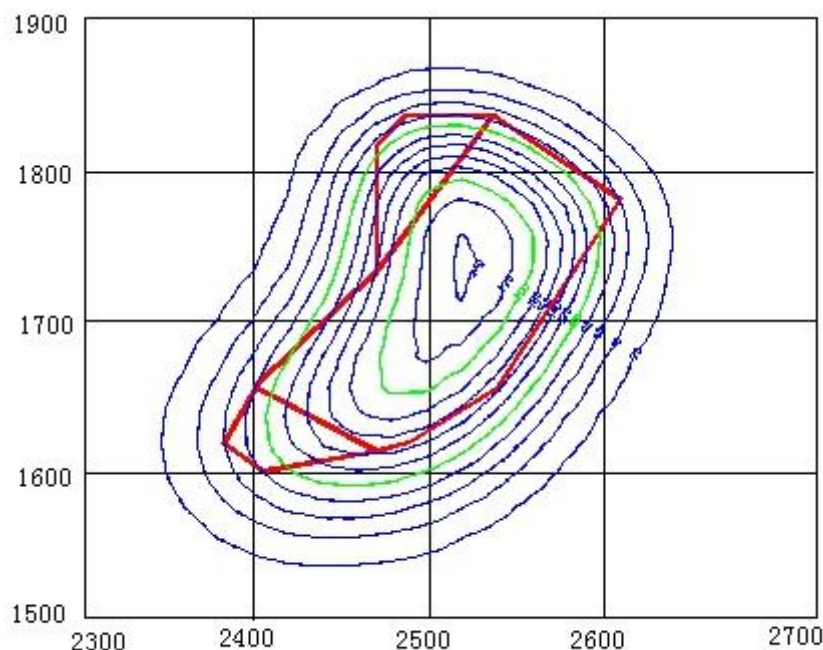


图17 地表下沉平面等值线图 (红色粗线——井下采场)

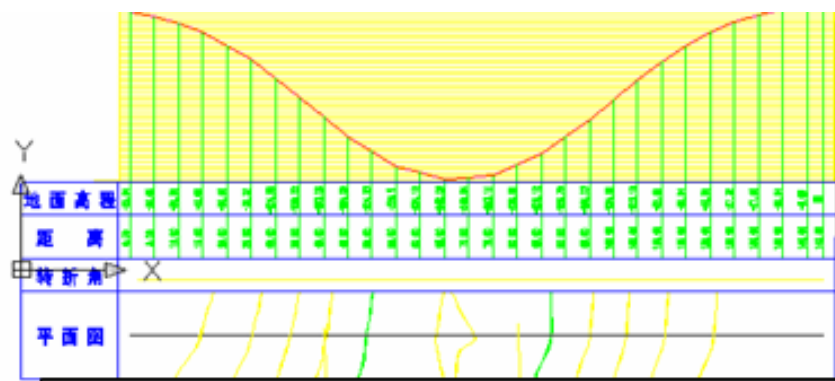


图18 通过最大下沉点的断面图

2. 特别重要的建筑物之关键点的移动变形值计算成果表:

铁法顾家房煤矿条带开采地表移动与变形预计成果表

说明:

1. 共准备 6 个采场, 但计算者选择参与迭加的采场号为:

1、2、5、6。

注意, 表中的[迭加值]只含这些采场;

2. 计算方向: $\Phi = 0.00$ 度;

3. 应用软件: 沈阳大学 朱广铁, 煤矿开采与地表沉陷分析的可视化软件系统;

4. 计算者: 宋XX

计算日期: 2008年9月5日。

第 2 号 点:

采场号	W (mm)	iF (mm/n)	i9 (mm/n)	UF (mm)	U9 (mm)	EF (mm/n)	E9 (mm/n)	KF (10E-3/n)	K9 (10E-3/n)	Un (mm)	Un (mm)
1	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.00	0.00	164	48
2	101	1.2	-1.5	26	-25	-1.9	-0.9	-0.14	-0.06	167	48
3	8	-0.1	0.6	0	8	-0.3	0.3	-0.02	0.02	164	48
4	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.00	0.00	128	37
5	68	0.6	-1.0	17	-20	-1.2	-0.6	-0.07	-0.03	130	38
6	6	0.0	0.3	0	5	-0.2	0.1	-0.01	0.01	128	37
迭加值	175	1.8	-2.3	44	-40	-3.3	-1.4	-0.22	-0.09		

六. 残余移动变形分析

在朱广轶亲自授课情况下，ZMS2020的残余移动变形分析完全可以绘制三维立体图和平面等值线图！

我国《规程》尚无地表残余地表移动变形的概念和影响函数。2014年朱广轶在《岩石力学与工程学报》2014第10期（美国EI全文收录）发表：老采空区地表残余移动变形影响函数研究。该软件可预测主断面地表残余移动变形、地表残余移动变形的动态时间过程。目前，朱广轶通过辽宁省自然科学基金【20170540651】等多项课题研究，已完成三维残余移动变形理论体系的创立和软件开发。见图19。



图 19 ZMS2020 地表残余移动变形预测首界面

根据我国情况，朱广轶首次提出定义：现行规程规定的地表移动延续时间(T)结束（连续6个月下沉不超过30mm，本研究称为地表初始稳定）之后的地表移动变形，称为地表残余移动变形，它属于小变形，是一个连续渐进过程。这属于地表残余移动变形的严格定义。地表残余移动变形分为两阶段：第一阶段，连续6个月下沉不超过30mm之后，各移动变形增量逐渐趋于零的过程，这阶段移动变形对建（构）筑物影响可以忽略（现行规程认为“地表稳定”基于此）；第二阶段，在老采空区浅部地表新建建（构）筑物或地下水位下降或地震等外来因素影响下，老采空区及覆岩活化，地表继续产生的移动变形，该阶段移动变形对建（构）筑物影响常常是有害的、不可忽略的（现行规程没考虑到）。并且，在老采空区浅部地表新建建（构）筑物等外来因素影响时，第一阶段残余移动变形已经发生，并不能对新建建（构）筑物构成影响。因此，残余移动变形的研究实际是第二阶段残余变形的研究，人们通常将第二阶段残余变形，称为地表残余移动变形。

朱广轶ZMS2020对地表残余下沉、残余倾斜变形、残余曲率变形、残余水平变形、残余水平移动的预测例举，如图20-图26。



图 20 走向主断面地表残余移动变形预测

残余下沉时间过程：老采空区活化后岩层所有空洞、离层、裂隙都被充填压实后，可获得走向主断面地表残余下沉曲线中最大值点。岩体充填压实过程可看作岩石蠕变，随时间推移，覆岩中离层、裂隙会逐渐变小，岩体应变随着时间增加不断增大，最后趋于常数。在地表动态残余移动变形中体现为地表下沉一直在增加，最后趋于常数。ZMS2020 的地表下沉时间过程曲线，如图 21。

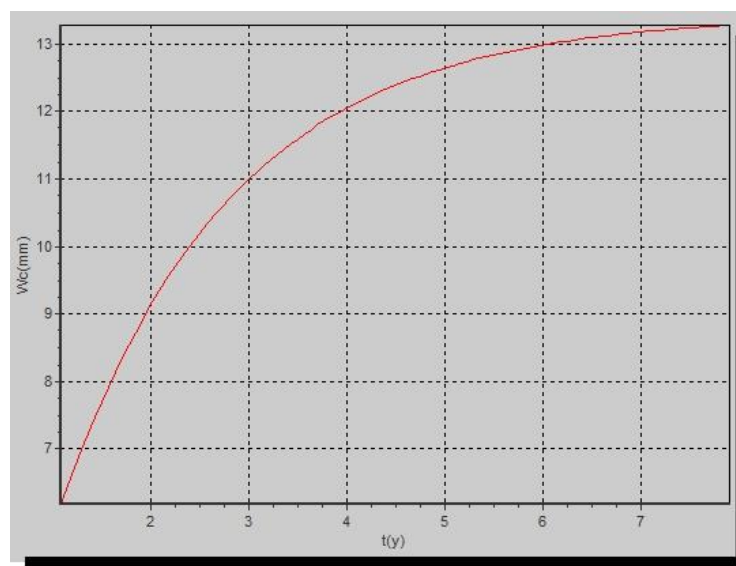


图 21 残余下沉时间过程



缓倾斜煤层倾向主断面地表残余移动变形相关模型



图 22 缓倾斜煤层的倾向主断面地表残余移动变形预测



大倾角煤层倾向主断面地表残余移动变形相关模型



图 23 大倾角煤层的倾向主断面地表残余移动变形预测

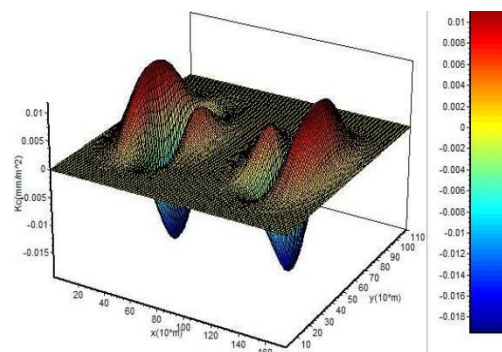
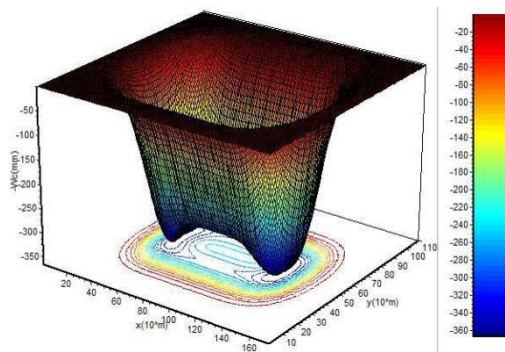


图 24 单采场地表全盆地残余下沉例 (mm) 图 25 单采场地表全盆地走向残余曲率变形例 ($10^{-3}/m$)

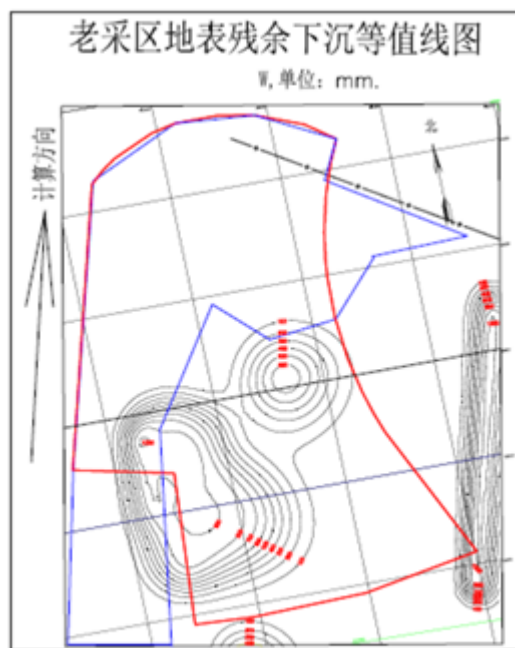


图 26 南翔集团60.0万元项目-多采场地表残余移动变形平面等值线

七. 鹤岗市完成的抗采动变形建筑与非抗变形建筑对比



(a)



(b)

图 27. 抗变形建筑 (a) 与非抗变形建筑 (b)