

西安科技大学本科生教学案例库建设项目

科研转化课程案例

案例库名称： “三下安全开采及控制”

科研转化课程案例库

适用课程： 开采损害与防治

专业名称： 采矿工程

学院名称： 能源学院

项目负责人： 赵兵朝

西安科技大学教务处制

2022 年 8 月 28 日

目 录

科研促进教学案例	1
案例 1 郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面开采地表移动观测工程	1
案例 2 陕西腾晖矿业有限公司双山煤矿综放开采地表移动变形规律研究	7
案例 3 薛庙滩煤矿 30201 工作面开采地表与岩层移动观测研究	17
案例 4 柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面开采地表移动变形规律研究	23
案例 5 园子沟矿井 101 盘区上覆建筑物采动影响评估	28
案例 6 薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬顶风险性评价	35
案例 7 黄陵县杨岭村民房受损技术鉴定报告	39
案例 8 杉木树煤矿石炭沟河下煤层安全开采研究	43
案例 9 亭南煤矿工作面导水裂缝带高度观测	49
案例 10 覆岩导水裂缝带发育高度预计与模拟研究	55
案例 11 董东煤矿开采对渭南光伏领跑者 4# 升压站开采损害预计与评价	60
案例 12 王峰煤矿开采对 330kV 线路工程的影响评价	70
案例 13 西气东输管道公司 DD245-246 管道煤矿采空区山体沉降评价	73

科研促进教学案例

(一) 案例 1

1.1 案例名称：郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面开采地表移动观测工程

案例以郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面为研究对象,郭家河井田位于陕西省麟游县北部。井田东西长约 14.8km, 南北宽约 8.4km, 面积约 94.7km², 呈不规则矩形, 矿井交通条件便利。矿井目前的实际生产能力达到 500 万 t/a。郭家河煤矿生产的标准是按第四代矿井的要求进行的, 由于矿区煤层厚度大, 使得矿区开采损害比一般条件下的开采损害严重得多。矿区大规模的开发, 开采范围内地表沉陷、农田耕地损害、地表植被损害较为严重。其将成为制约矿区实现第四代矿井和矿井可持续发展的主要因素之一。郭家河井田采矿地质条件, 其主要特征为: (1)井田属陇东黄土高原南部边缘地带, 总的地形特征呈南高北低态势, 观测区的地表标高为+1191~+1348m, 相对高差一般为 157m, 观测区煤层标高+750~+820m, 观测区属沟岭相间的残塬沟壑梁峁相间复杂的地貌类型; (2)观测区基岩厚度为 407~446m, 上覆黄土与红土层厚度达 33~149m; (3)观测区开采煤层厚度大, 厚度约 15m 左右。到目前为止, 在郭家河井田还没有进行过一次较为完整的地表移动规律的观测研究, 对于郭家河煤矿三下安全开采可行性研究缺乏相关岩移参数和科学依据。

因此, 根据矿井地质、地形、开采条件, 设计并建立一盘区 1303 和 1305 工作面开采的地表移动观测站, 进行开采地表移动变形观测研究; 通过地表移动观测取得郭家河矿区采矿地质条件下采动地表的相关岩移参数, 为矿区村庄、道路及其公共设施下煤层开采和留设保护煤柱提供相关参数与科学依据, 为矿区“三下”安全开采服务; 观测期间进行地表移动数据的动态跟踪分析, 全面分析开采过程地表移动变形规律。

郭家河煤矿由于矿区煤层厚度大且采用放顶煤开采, 使得该矿区开采损害程度比一般条件下的损害程度要重, 放顶煤开采覆岩导水裂缝带发育高度是否波及上覆含水层, 是否会给矿井的安全生产带来安全隐患, 将成为制约该矿区实现第四代矿井和矿井可持续发展的主要因素。因此陕西郭家河煤业有限责任公司与西安科技大学合作, 联合进行郭家河煤矿煤层开采覆岩“三带”分布、地表移动变形规律及地面灾害预警方案研究, 通过对郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面开采, 地表移动变形进行观测, 获取郭家河煤矿采矿地质条件下采动地表的相关岩移参数, 再结合相似材料模拟实验和理论分析, 定性分析给出覆岩导水裂缝带的高度, 研究成果为矿区村庄、道路及其公共设施下煤层开采和留设保护煤柱提供相关参数与科学依据; 结合郭家河煤矿导水裂缝带发育高度及覆岩“三带”的分布特征, 为麟游矿区保水开采提供理论指导, 并为矿区“三下”安全开采服务与矿区灾害防治提供科学依据, 给出了郭家河煤矿地面灾害预警的相关建议。该研究将对矿区煤层合理开发利用、矿区地表建筑物保护、生态环境保护及保证矿区经济的持续协调发展具有重要的理论研究意义和应用价值。

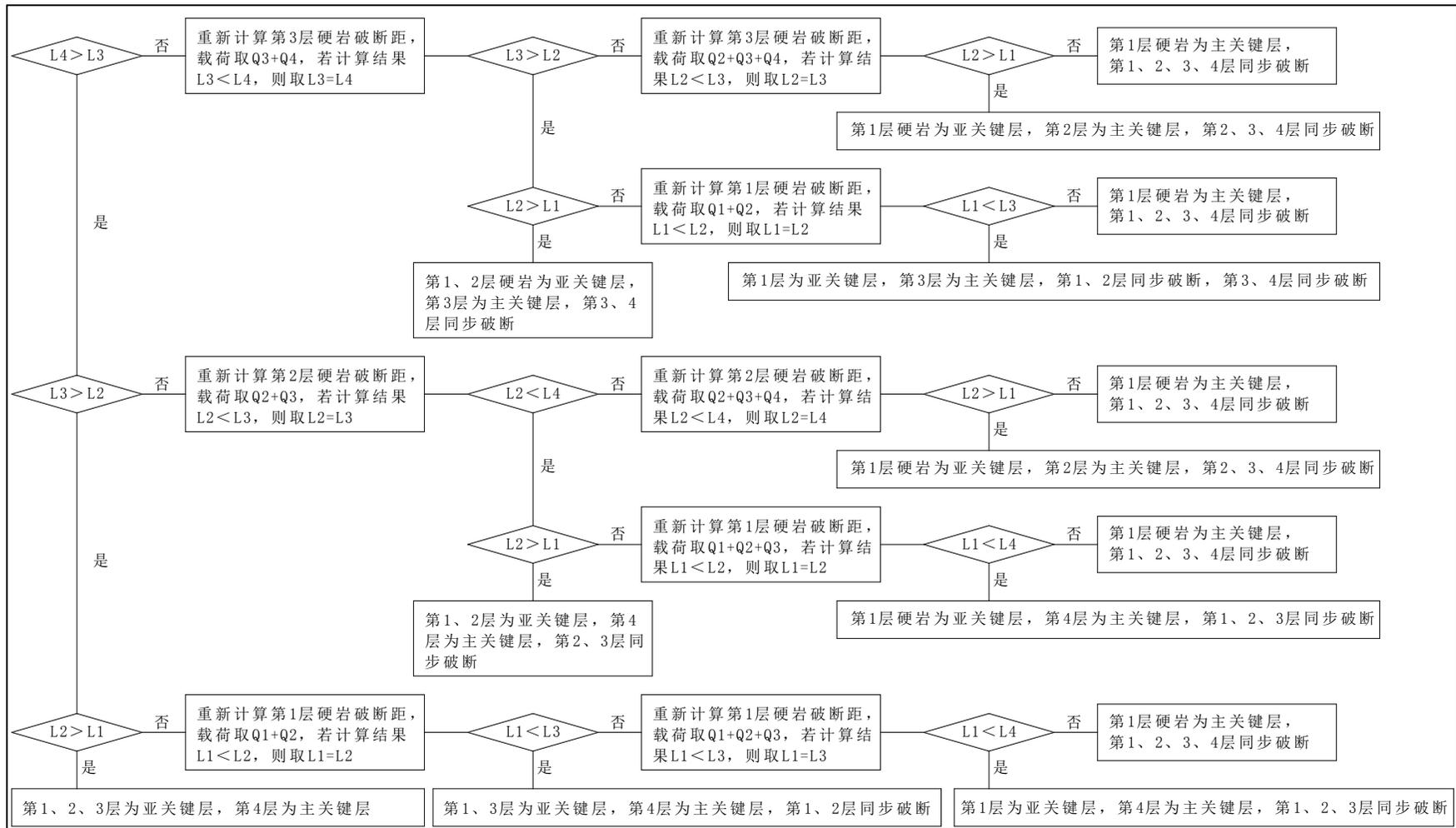


图 1.1 关键层的判别流程图

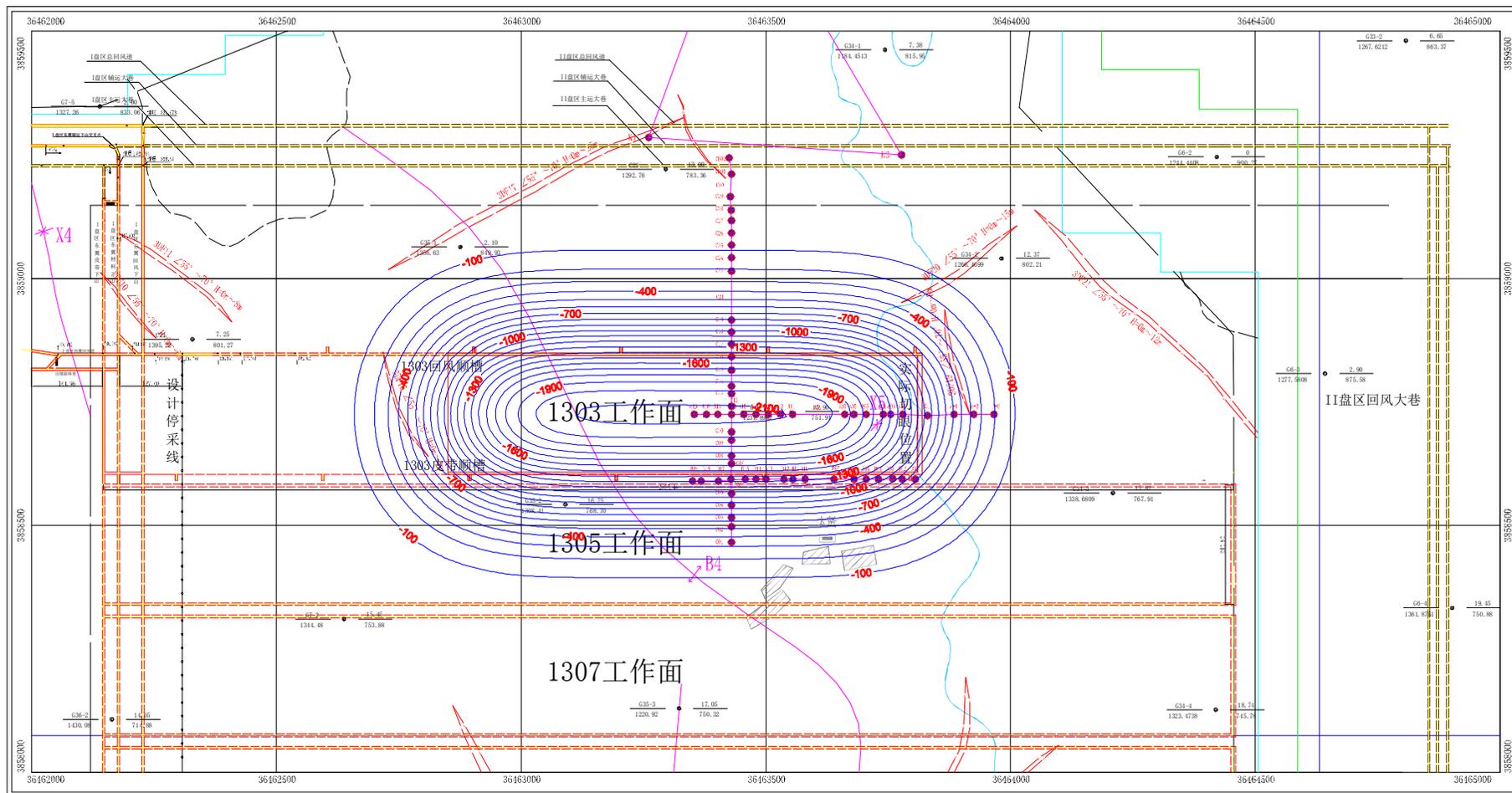


图 1.2 1303 工作面开采后地表下沉预计结果 (mm)

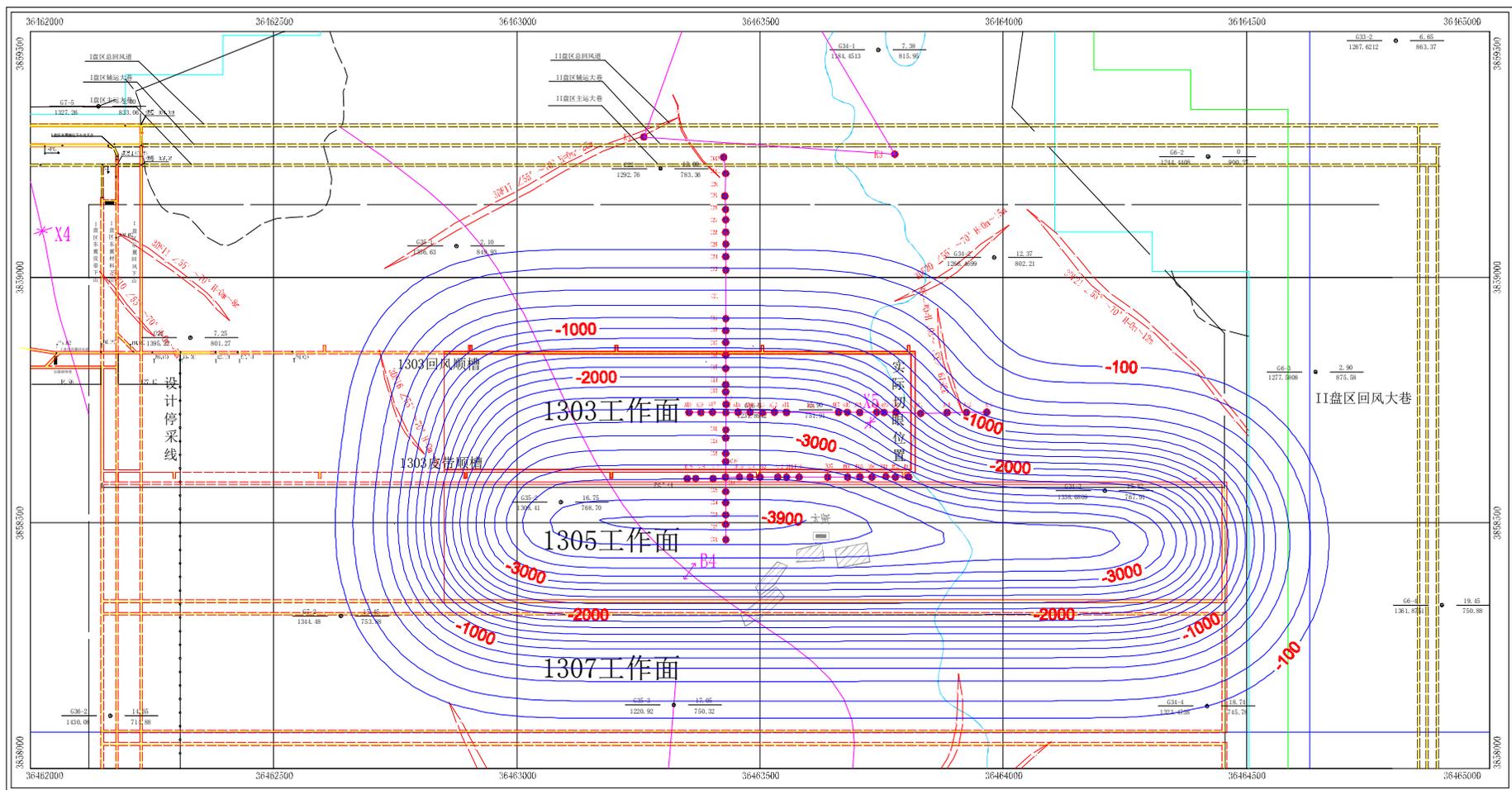


图 1.3 1303 与 1305 两个工作面开采后地表下沉预计结果 (mm)

1.2 案例实际应用效果简介

报告通过对郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面开采地表移动变形观测,计算分析给出了煤层开采引起地表的移动变形规律及其相关的岩移参数,研究的主要结论如下:

给出了 1303 工作面与 1305 工作面开采地表岩层移动角值参数:边界角 60.6° ,移动角 66.4° ;超前影响角为 63.8° ,最大下沉速度滞后角为 63.5° ,最大下沉角为 79.4° ,充分采动角为 72.7° 。

1303 工作面单一回采结束后的下沉系数为 0.14,1303 与 1305 工作面回采结束后的下沉系数 η 为 0.254,主要影响角正切值 $\tan\beta=1.77$,水平移动系数 $b=0.11$,拐点偏移距 $d=0.117H$ (H 为煤层的平均埋深 512m)。

地表移动启动阶段、活跃阶段、衰减阶段分别为:56 天、279 天、273 天,地表总移动期为 608 天;地表活跃阶段占总移动期的 46%,活跃期(阶段)地表移动剧烈,下沉量占总下沉量的 95.00%,最大下沉速度达 15.10mm/d,而受地形地貌、观测间隔时间等多方面的影响,地表的实际下沉速度远大于 15.10mm/d。

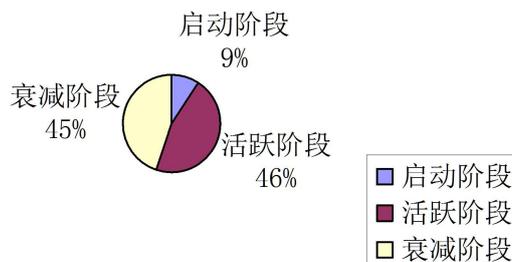


图 1.4 地表移动持续时间比例图

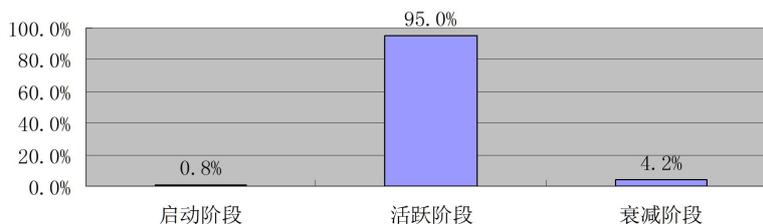


图 1.5 地表各持续时间下沉量柱状图

依据观测数据,在实测数据计算的地表移动参数的基础上,通过计算机大量反复分析计算,给出了适合概率积分预计方法的预计参数:1303 工作面单一回采结束后的下沉系数为 0.198,1303 与 1305 工作面回采结束后的下沉系数 η 为 0.325,主要影响角正切值 $\tan\beta=1.77$,水平移动系数 $b=0.11$,拐点偏移距 $d=0.1H$ (H 为煤层的平均埋深 512m)。计算结果与地表拟合比较表明,在不考虑坡体沟壑对地表移动变形的影响时,理论预计参数满足郭家河矿区地质采矿条件下应用概率积分法预计的要求;在考虑坡体沟壑对地表移动变形的影响时,需要分析坡体的稳定性,在理论预计参数的基础上附加坡体对地表移动变形的影响。

1.3 支撑材料

《郭家河煤矿 1303 与 1305 工作面开采地表移动观测工程》案例在《开采损害与防治》

实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法和第六章 计算机计算模拟方法等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律；
- 3、复杂条件对地表沉陷的影响。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、地表移动观测站设计；
- 2、地表移动观测站的设计方法。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

(二) 案例 2

2.1 案例名称：陕西腾晖矿业有限公司双山煤矿综放开采地表移动变形规律研究

案例以双山煤矿 308 综放工作面为研究对象，双山井田范围内，柳巷河横穿井田中部，河水流向西，在距井田 20km 处注入榆溪河，同时，地面还有村庄、道路和高压线塔架等保护对象，虽然双山煤矿为该保护对象留设了保护煤柱，但保护煤柱留设是否合理、柳巷河下煤矿工作面能否实现安全开采及确定柳巷河下合理煤层开采高度是双山煤矿目前安全生产亟待解决的重大难题，而获取开采引起地表移动的相关岩移参数是目前如何解决矿区水体下煤层合理开采及保护煤柱的合理留设的关键性研究基础，截止目前为止，在双山煤矿尚未进行过一次较为完整的地表移动规律观测研究，对于双山煤矿三下安全开采可行性研究缺乏相关岩移参数和科学依据。

因此，通过矿井地质、地形、开采条件等相关资料，设计并建立 308 工作面综放开采的地表移动观测站，进行 308 综放工作面开采地表移动变形监测，在 308 工作面地表沿煤层走向布设 A 观测线，A 观测线自边界煤柱线位置分别向内和向外延伸，延伸长度分别为 255m 和 165m，总长度达 420m；A 测线测点编号为 A01~A29，同时在 A 测线末端布设控制点 AK1 和 AK2，监测 308 工作面开采达到充分采动状态下的地表移动盆地，有利于进一步研究走向主断面的地表移动变形规律；在 308 工作面地表沿煤层倾向布设 B 观测线，B 观测线距离井田边界保护煤柱线 225m，测点编号 B01~B24，且 B03 测点与 A03 测点重合，测线沿煤层倾向超出 308 工作面辅运顺槽约 168m，同时在 B 测线末端布设控制点 BK1 和 BK2，用于观测研究充分开采条件下沿倾斜主断面的地表移动变形规律。

通过对 308 综放工作面开采的地表移动观测数据跟对应地表观测的时间、过程及观测区开采工作面的位置、开采速度、开采强度和煤层上覆的基岩岩性和土层厚度，地形地貌等影响因素进行综合对比分析计算，并通过概率积分理论求取相关岩移参数，利用开采损害软件对双山煤矿 308 综放工作面地表岩移规律进行模拟，并且结合工作面开采地表沉陷及损害情况，对厚松散层薄基岩综放工作面上覆岩层移动变形规律进行研究，为合理确定双山煤矿建（构）筑物下安全开采方案和柳巷河下安全开采方案提供相关参数与科学依据。

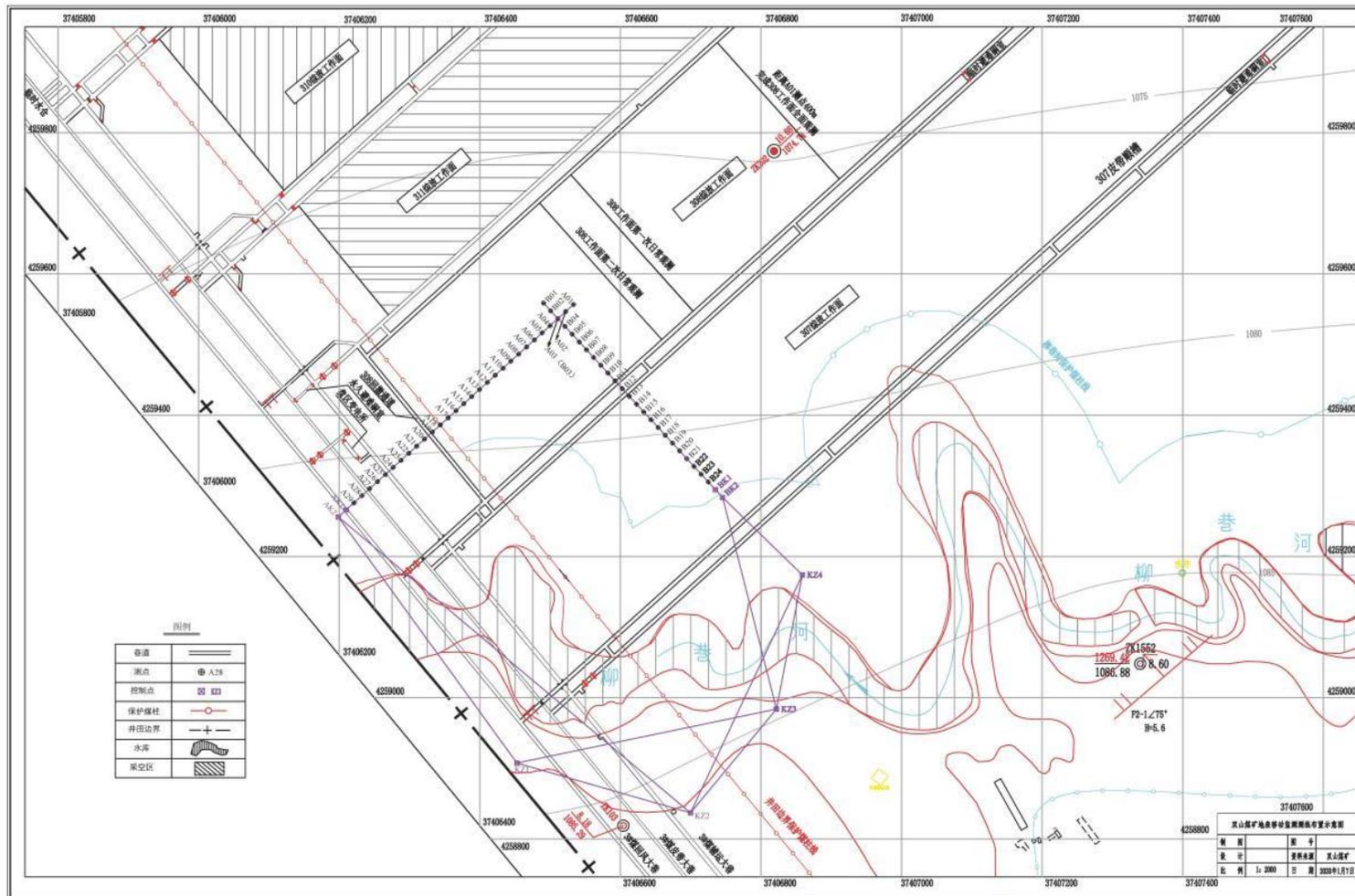


图 2.1 双山煤矿 308 综放工作面开采地表观测站布置图

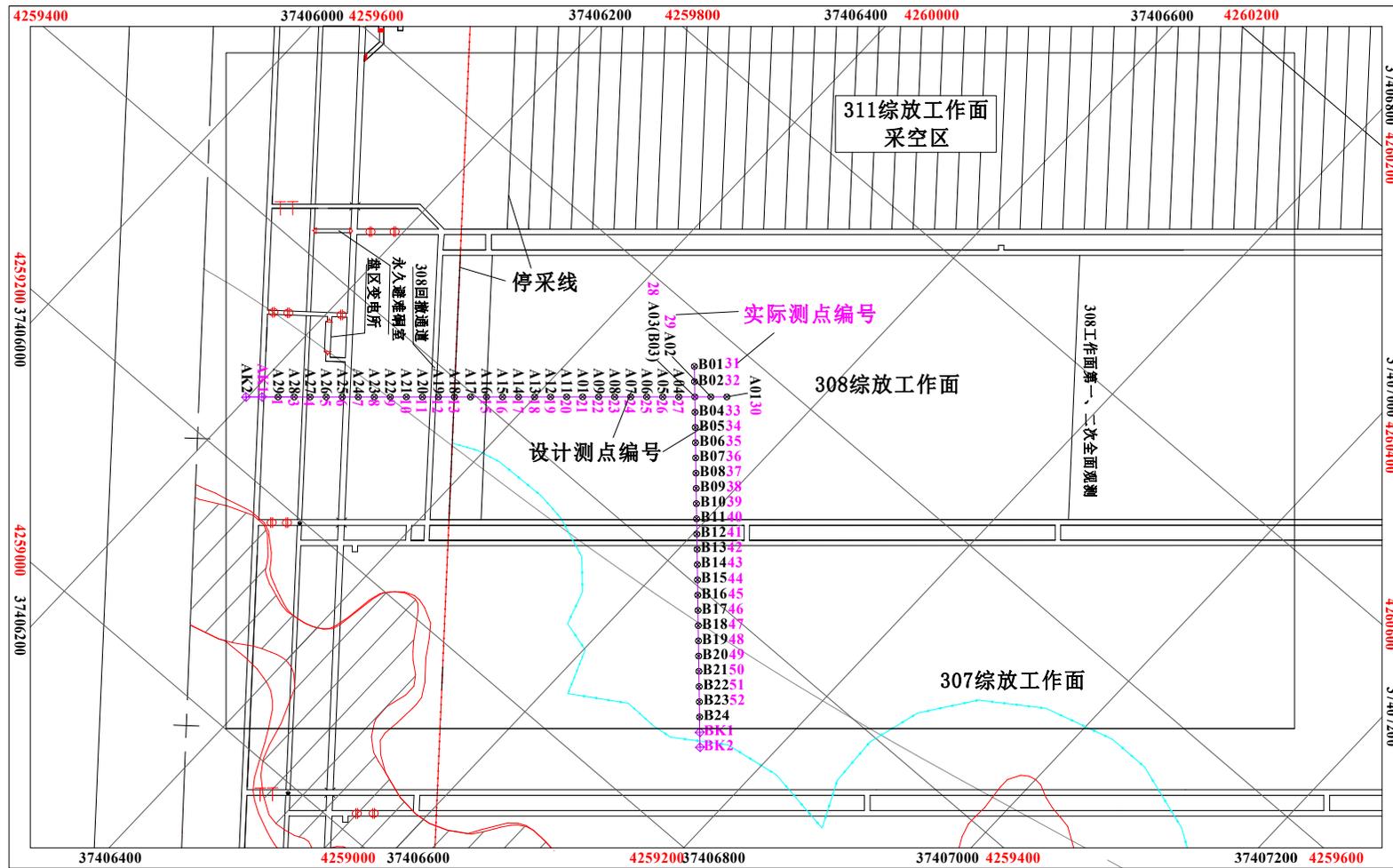


图 2.2 实际测点与对应的设计测点

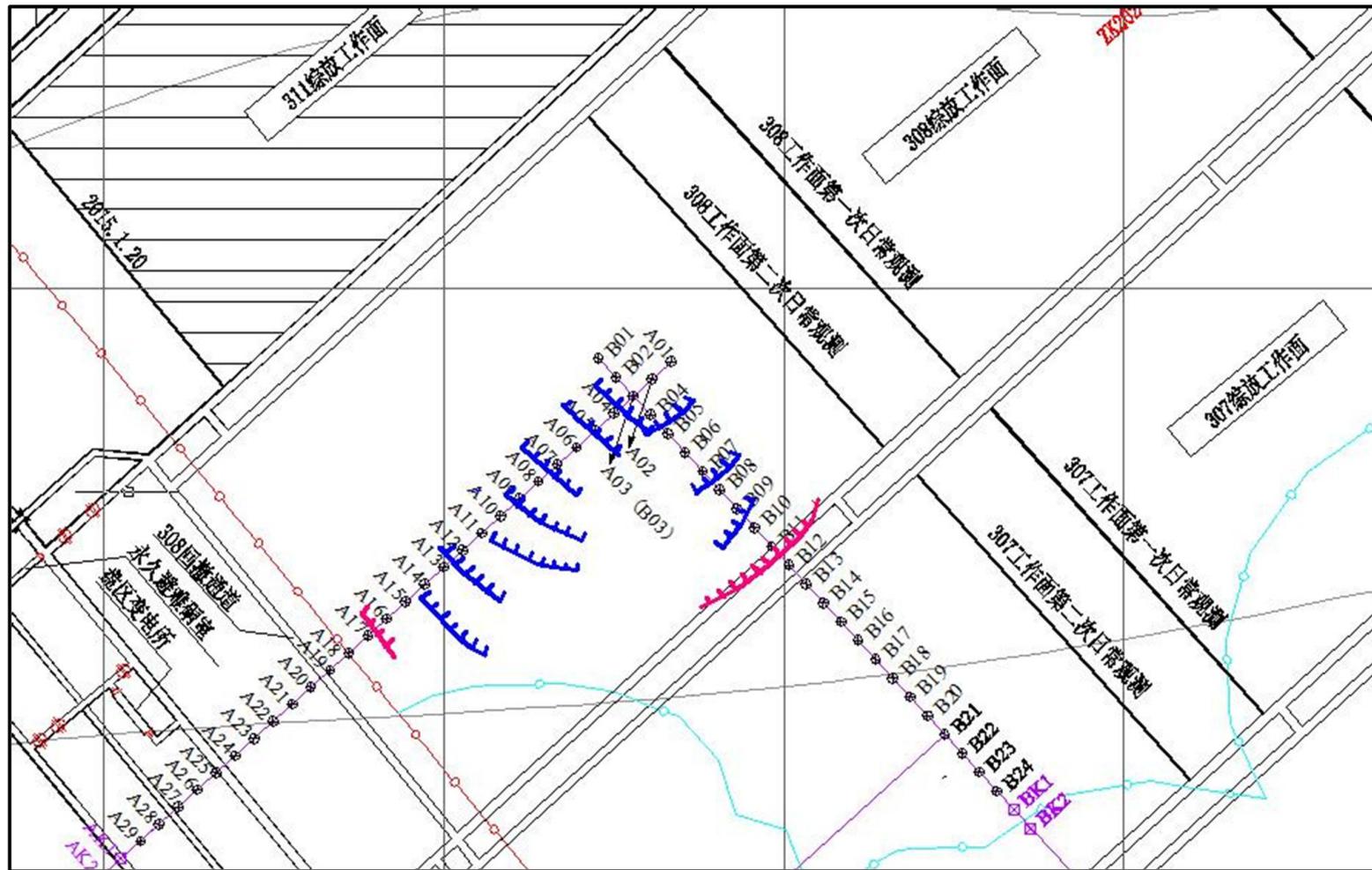


图 2.3 308 综放工作面开采 A、B 测线方向地表裂缝分布及特征

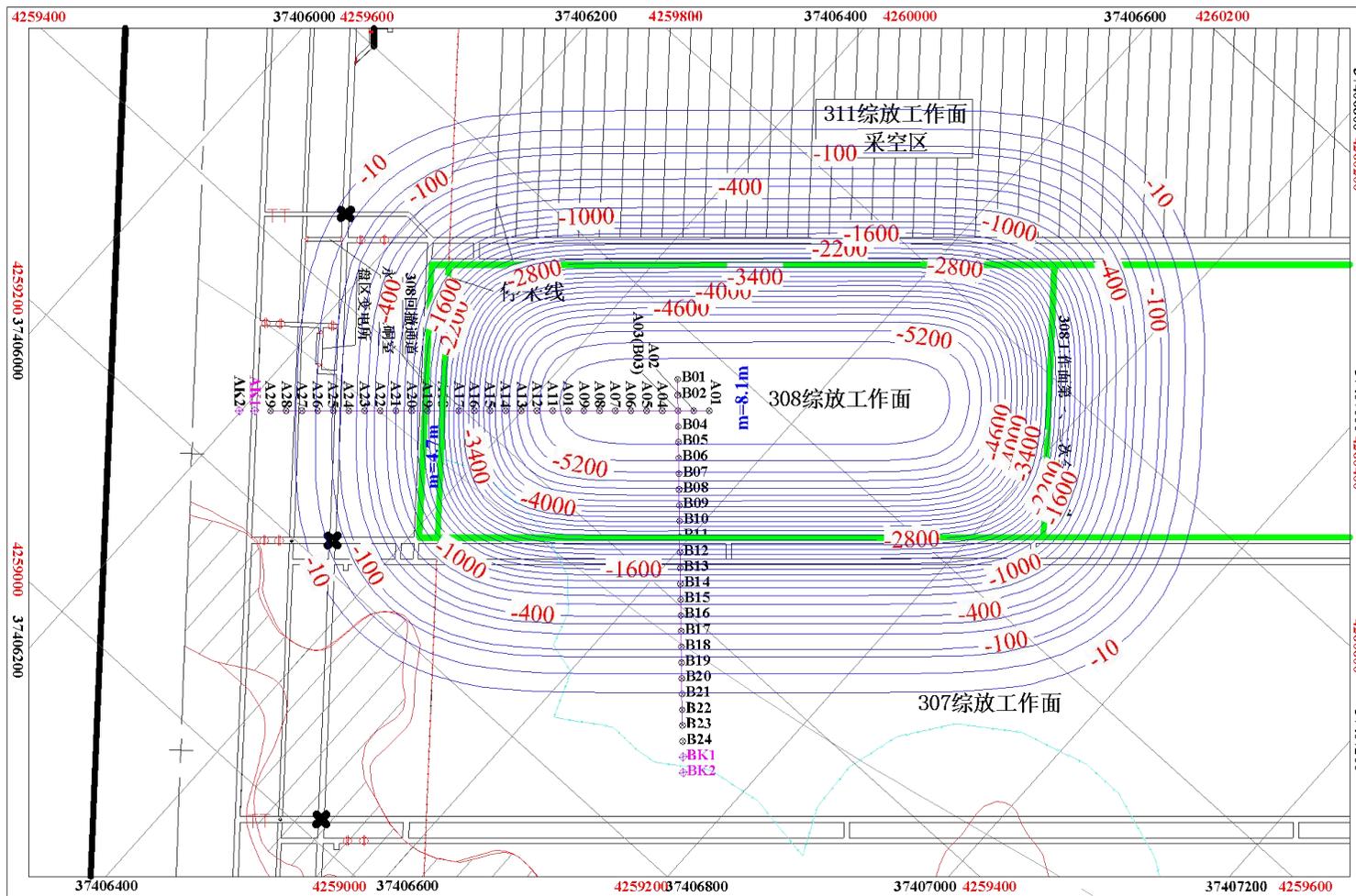


图 2.4 308 综放工作面下沉预计结果 (mm)

2.2 案例实际应用效果简介

通过对《陕西腾晖矿业有限公司双山煤矿综放开采地表移动变形规律研究》案例进行分析，主要结论如下所示：

给出了双山煤矿 3#煤层 308 综放工作面开采地表岩层移动角值参数：综合边界角 $\delta_0=\beta_0=\gamma_0=51.5^\circ$ ；综合移动角 $\delta=\beta=\gamma=75.4^\circ$ ；综合裂缝角： $\delta'=\beta'=\gamma'=88.7^\circ$ ；超前影响角： $\omega=55.0^\circ$ ；最大下沉速度滞后角： $\Phi=54.4^\circ$ 。

地表移动初始阶段、活跃阶段、衰退阶段分别为：13 天、156 天、254 天，地表总移动期为 423 天；地表移动期短，地表活跃阶段下沉量占总下沉量的 98.22%，地表活跃期（阶段）地表移动剧烈，地表活跃期平均下沉速度达 163.8mm/d。

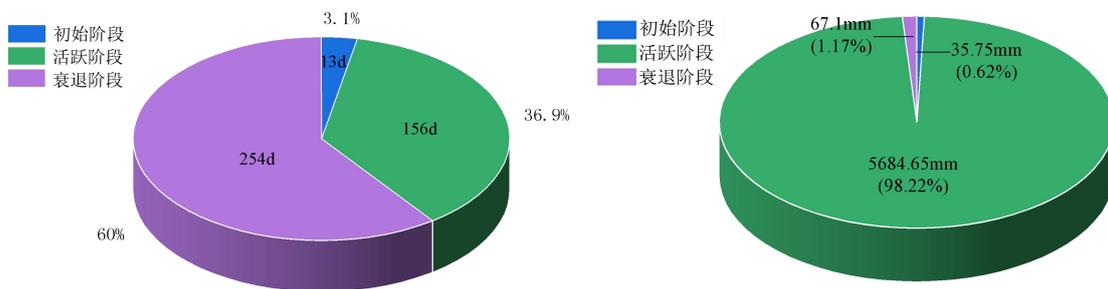


图 2.5 地表移动时间及下沉值分布规律图

由 A 测线地表裂缝的分布特征可知，该方向上停采线上方裂缝位于停采线以内 18m，地表产生非连续型切冒破坏，一方面由于接近停采线 30m，矿方采取只采不放的回采方式，采高降低为 4.7m，地表产生非连续型切冒破坏，台阶下沉最大高度约 30~40cm。地表裂缝发育与地形变化有关，山脚位置由于受挤压，导致裂缝宽度较小，且裂缝长度较短；而在山坡顶部，受拉伸变形的影响较大，导致导致裂缝宽度较大，且裂缝长度较长。从 B 测线地表裂缝的分布特征可知，永久裂缝为于采空区边界外 4m，为典型台阶型裂缝，裂缝深度 30~40cm。采空区中部动态裂缝每 20~30m 循环出现，与 A 测线方向的裂缝分布规律一致；由于观测区域地表为风积砂层，地表形成的动态裂缝和永久裂缝发育深度在风砂堆砌作用下，逐渐减小。

根据观测数据可知，A 观测线地表最大下沉为 5971mm，倾斜最大值为 59.60mm/m，水平移动最大值为 2244.8mm，曲率变形最大值为 $3.90 \times 10^{-3}/m$ ，水平变形最大值为 49.16mm/m；B 观测线地表最大下沉为 5778mm，倾斜最大值为 77.90mm/m，水平移动最大值为 2261.2mm，曲率变形最大值为 $3.81 \times 10^{-3}/m$ ，水平变形最大值为 31.78mm/m，根据 A 测线和 B 测线的理论预计结果与地表实测数据结果比较，给出了合理概率积分预计方法的预计参数：地表下沉系数取 $\eta=0.74$ ；主要影响范围角正切值 $\tan\beta=3.84$ ；水平移动系数 $b=0.39$ ；拐点偏移距 $d=0.30H$ 。

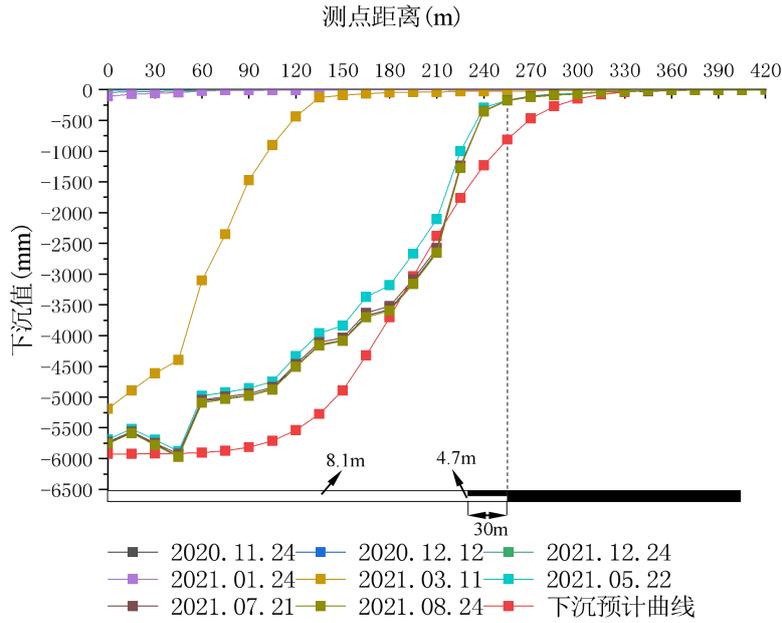


图 2.6 A 观测线实测地表下沉曲线与理论预计曲线比较

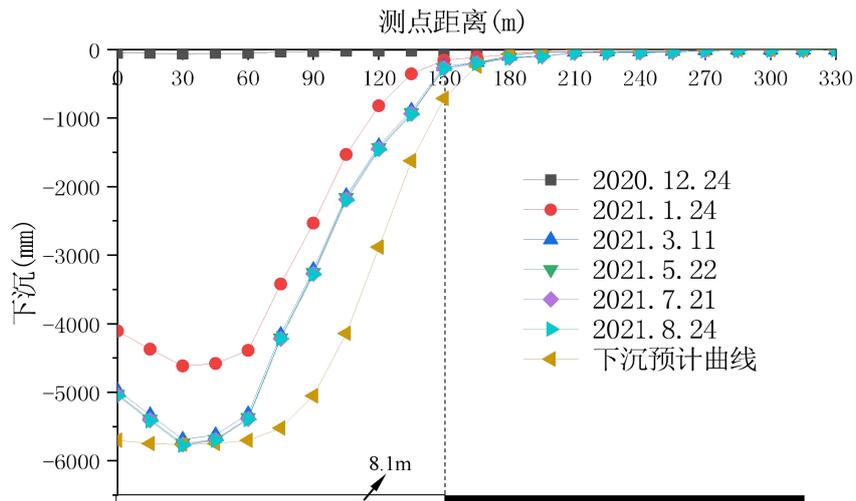


图 2.7 B 观测线实测地表下沉曲线与理论预计曲线比较

通过开采损害软件模拟可得，在工作面推进方向预计倾斜最大值为+45.6mm/m 和 -46.2mm/m，曲率变形值最大值为 $+0.54.0 \times 10^{-3}/m \sim -0.54.0 \times 10^{-3}/m$ ，水平变形最大值为 +25.9mm/m \sim -25.9mm/m；在垂直于工作面推进方向预计倾斜最大值为+46.9mm/m 和 -47.0mm/m；曲率变形最大值为 $+0.54.8 \times 10^{-3}/m \sim -0.54.8 \times 10^{-3}/m$ ；水平变形最大值为 +26.2mm/m \sim -26.2mm/m。

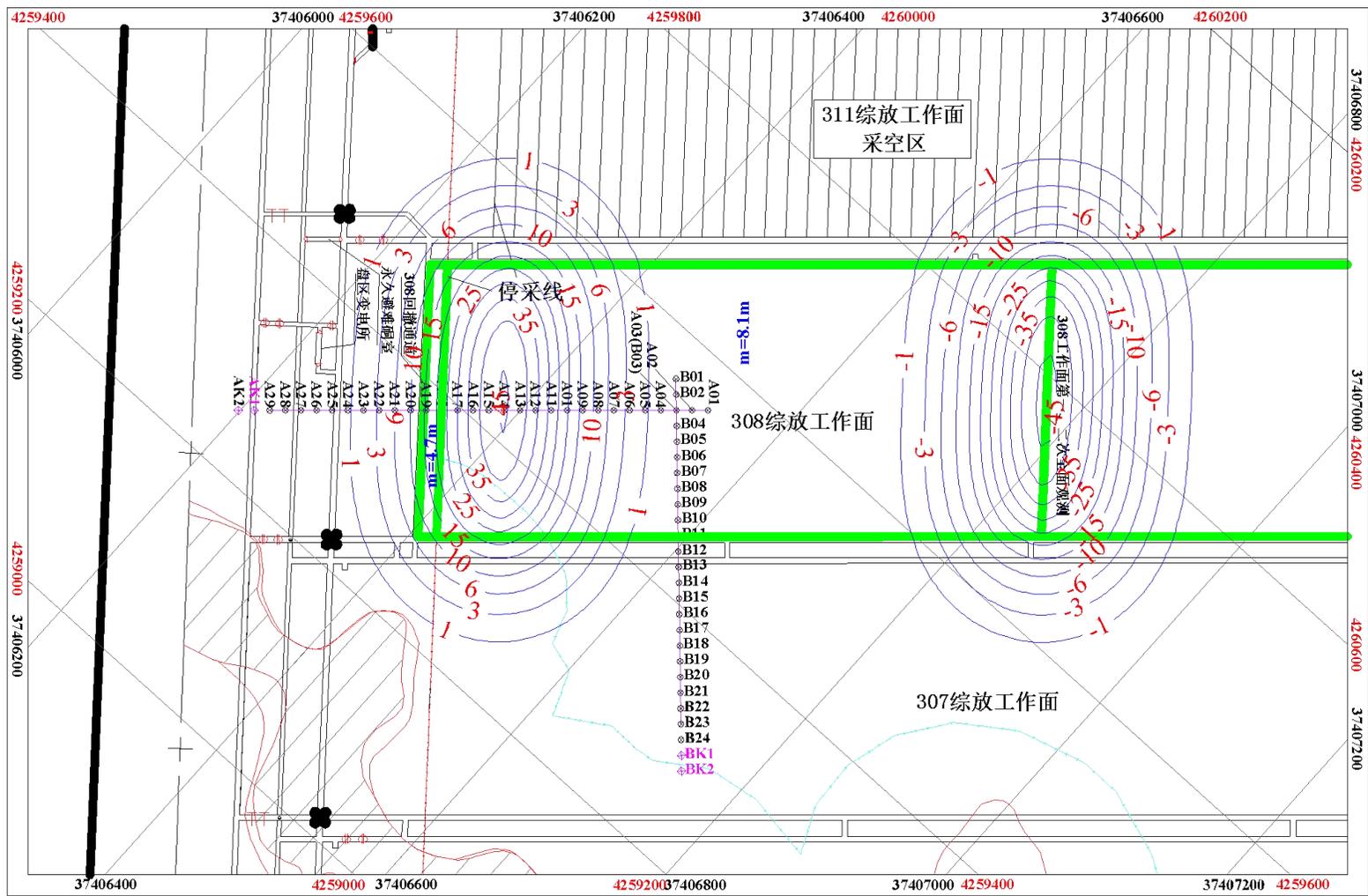


图 2.8 308 综放工作面工作面推进方向倾斜变形 (mm/m)

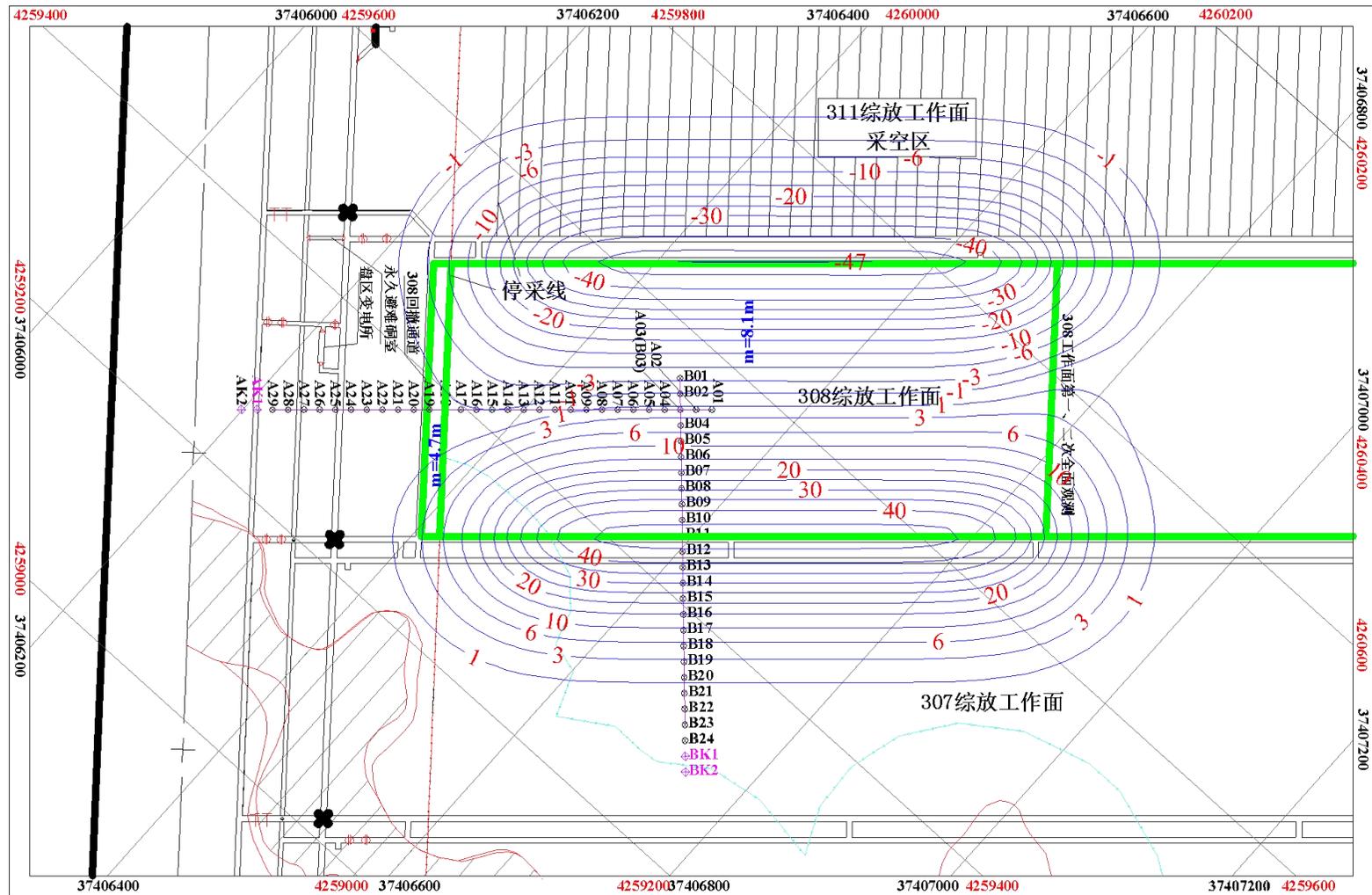


图 2.9 308 综放工作面垂直于推进方向倾斜变形 (mm/m)

双山煤矿 308 综放工作面开采，在常规开采条件下，开采高度为 8.1m，煤层开采地表产生的最大下沉值为 5971mm；在实际开采过程中，随着开采厚度的变化，下沉量也会随着变化。如：靠近停采线开采高度由 8.1m 降低为 4.7m，在该区域范围内下沉为 800~1500mm。

在双山煤矿 308 综放工作面对应的地表建立地表移动观测站，从 2020 年 11 月 24 日至 2021 年 8 月 24 日共进行了 2 次全面观测、8 次常规观测工作，获得了可靠的观测数据，观测数据满足观测设计要求，符合矿山测量有关《规程》《规范》的要求，为研究双山煤矿 308 综放工作面开采地表岩层移动变形规律及开采沉陷灾害防治奠定了基础。通过分析观测成果，确定了双山煤矿 308 综放工作面地表岩层移动参数，并基于概率积分理论，采用开采损害软件对双山煤矿 308 综放工作面地表岩移规律进行模拟，研究结果为双山煤矿今后的“三下”开采和地表沉陷灾害防治提供了可靠的依据。

2.3 支撑材料

《陕西腾晖矿业有限公司双山煤矿综放开采地表移动变形规律研究》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法和第六章 计算机计算模拟方法等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、地表移动观测站设计；
- 2、地表移动观测站的设计方法。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

(三) 案例 3

3.1 案例名称：薛庙滩煤矿 30201 工作面开采地表与岩层移动观测研究

案例以薛庙滩煤矿 302 盘区为研究对象，薛庙滩煤矿井田范围内地表工业建筑设施、民用房屋建筑、河流等保护对象，保护对象种类繁多、数量众多、分布范围广而分散，且矿区为榆林水资源保护基地。由于 302 盘区属于特殊开采区域，需要保护的對象种类多、数量大，基于上述因素，受陕西银河煤业开发有限公司委托对薛庙滩煤矿“三下”开采方案进行综合分析评价，完成了 302 盘区首采工作面的安全开采方案，评价了应用条带开采方法开采 302 盘区对地表保护设施的影响程度。薛庙滩煤矿开采方式为条带开采，可供选择的两种安全开采方案为：分别为采 25m 留 25m 和采 28m 留 30m，这两种开采方案留设的煤柱具有足够的强度和长期的稳定性；针对上述开采方案，陕西银河煤业开发有限公司从安全角度出发，结合薛庙滩煤矿生产实际，薛庙滩煤矿首采工作面—30201 工作面采用了采 24m 留 30m 的条带开采方案，观测结果表明：302 盘区东翼采用采 24m 留 30m 的条带开采方案，开采方案过于保守，地表点最大下沉值为 130mm，可以进一步调整采、留比，进而提高矿井资源回采率和矿井技术经济效益；302 盘区应用条带开采于 2015 年 1 月已开采结束，截止 2018 年，按照榆神矿区地表移动时间开采结束约 1~2 年来看，302 盘区条带开采留设的条带煤柱若具有足够的强度和长期的稳定性，则 302 盘区地表移动变形应趋于稳定，地面建构建筑设施将在 I 损害范围之内。同时现场实践表明：目前 302 盘区地面建筑设施完好，302 盘区东翼采用采 24m 留 30m 的条带开采方案安全可行。基于上述研究成果，陕西银河煤业开发有限公司对于采留比进行了调整，302 盘区西翼采用 23: 24m 条带采留宽方案，东翼采用 22: 25m 条带采留宽方案。该案例对薛庙滩煤矿条带开采区域的煤柱进行稳定性评价，同时针对评价结果给出条带开采采空区上覆建（构）筑物的安全监测措施。

因此，根据观测区的地质、地形及开采条件进行综合分析，观测站设计参数取值为：观测区煤层埋深按 170m 取值，观测区域松散层厚度按 60m 取值；基岩厚度按 110m 取值；结合《薛庙滩煤矿 30201 工作面开采地表与岩层移动观测研究》成果：边界角按 45° 取值；基岩走向边界角按 67° 取值；开采影响半盆地长约为 110m。为了能够使观测线有效地控制开采影响半盆地，确保较详细地研究采空区沿走向与倾向两个方向的地表移动变形规律：(1) 沿榆神二级公路布设一条观测线，测点为 Z01~Z151，共 151 个测点。(2) 为了不占用农田、耕地和影响地表居民的生活，在 30218 工作面采空区偏东部部正上方沿倾斜方向分布布置 A 观测线，测点为 A01~A56，共 56 个测点。2013 年完成了薛庙滩煤矿 30201 工作面的地表移动观测。在 30201 工作面布设了 3 条测线，在一、三、五和七区段沿走向布设一条走向观测线 Z 线，在三和五区段左侧条带开采工作面中部正上方沿倾斜方向分布布置 A 和 B 两条观测线。本次项目的 B 观测线是在原项目 B 观测线的基础上进行部署的，测点为 B01~B80，共 80 个测点，地表观测站布置如图所示。

并通过概率积分理论求取相关岩移参数，利用开采损害软件对薛庙滩煤矿 302 盘区地表岩移规律进行模拟，并且结合工作面开采地表沉陷及损害情况，带开采采空区上覆建（构）筑物的移动变形规律进行研究，薛庙滩煤矿保护地表建（构）筑提供相关参数与科学依据。

3.2 案例实际应用效果简介

针对薛庙滩煤矿目前采用的条带开采方案：采留比为 22:25m 和 23:24m，通过理论分析、数值模拟和概率积分数值计算，得到出以下结论：

通过煤柱稳定性计算分析可知：采宽 22m、留宽 25m 及采宽 23m、留宽 24m 两个方案均符合煤柱稳定性的常规要求，即：保留煤柱宽高比 5；安全系数=1.76~1.841.5；保留煤柱的核区率为 62.6%~67.2%，基本满足条带开采核区率大于 65%的要求，因而确定采宽=22m、留宽=25m，或采宽=23m、留宽=24m，煤柱具有足够的强度和长期的稳定性；根据计算结果可知，薛庙滩煤矿西翼 I 类区域和东翼 V 类区域的核区率都小于 65%，而在生产实践中，留设煤柱的核区率一般应大于 65%才具有长期的稳定性，所以需要煤矿条带开采结束后采空区上覆地表进行移动变形监测。

应用 FLAC3D 数值计算模拟方法，分析确定条带开采方案，结论表明：选择 22：25m 及 23：24m 两个条带采留宽方案的条带支撑煤柱宽度合理，其中 22：25m 留宽方案煤柱应力大部分为 5~6Mpa,峰值最大为 6.6Mpa，地表最大下沉值为 87mm；23：24m 留宽方案煤柱应力大部分为 5~7Mpa,峰值最大为 7Mpa，地表最大下沉值为 110mm。因此具有足够的强度和长期的稳定性（安全系数=1.76~1.84）；开采宽度合理，开采后不会引起地表波浪下沉，同时为影响函数预计模拟提供了参考依据。

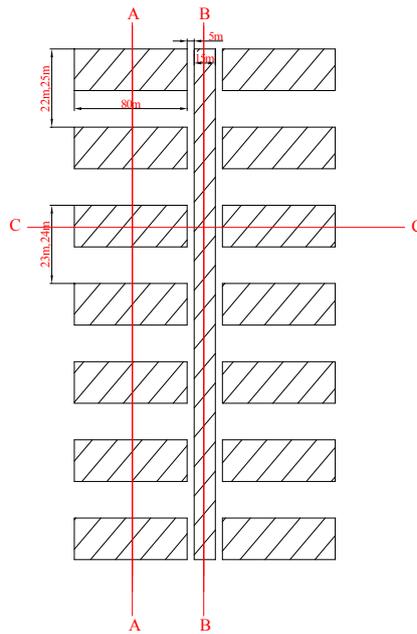
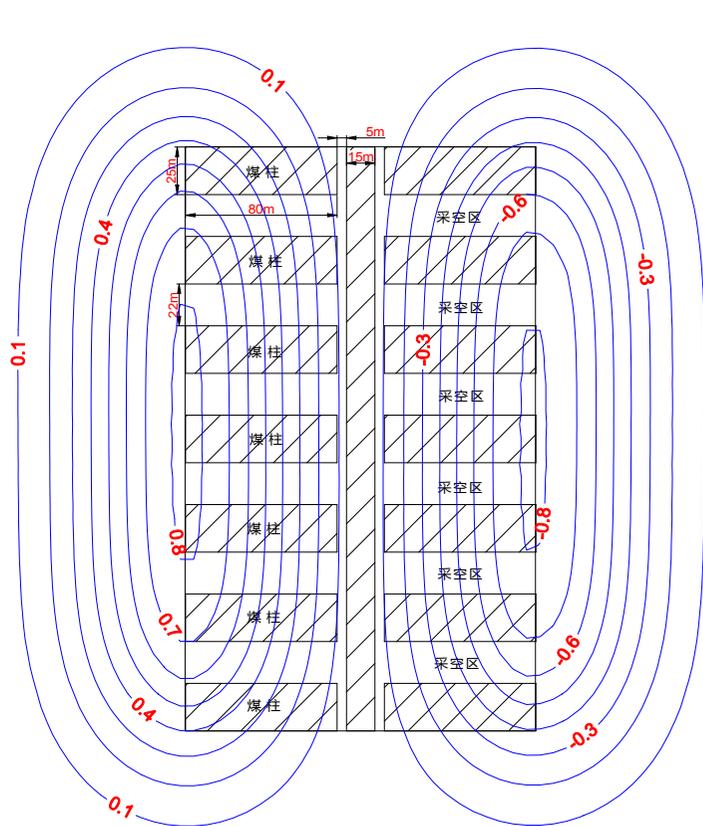
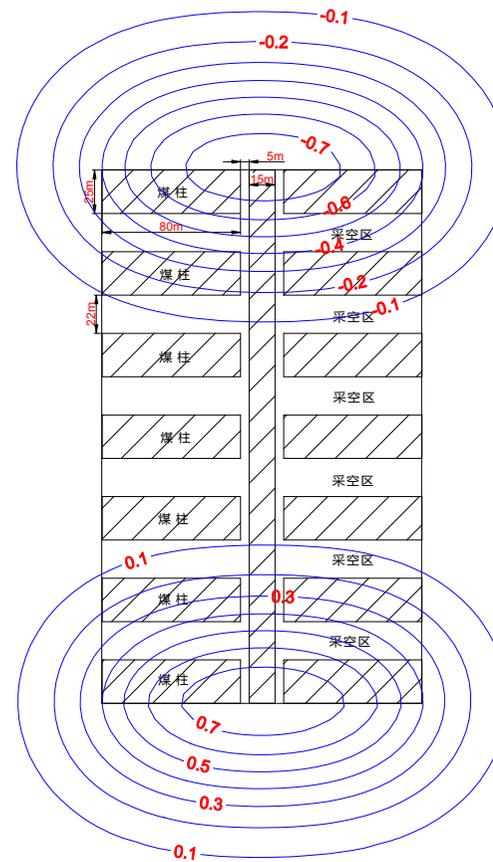


图 3.2 开采方案参数优化及剖面位置图

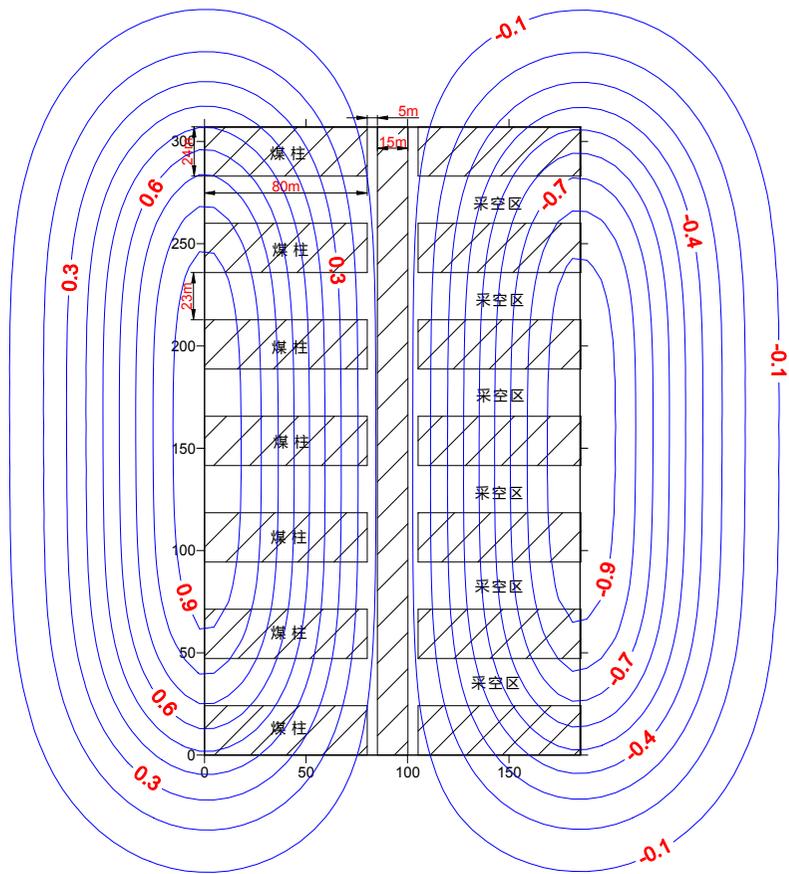
通过概率积分数值计算可知：当采用采留宽为 22：25m 时：地表最大下沉值为 85mm、地表倾斜最大值达-0.8~0.8mm/m、地表水平变形极值达到-0.3~0.3mm/m、地表曲率变形极值为-0.011~0.11 $\times 10^{-3}$ /m；当采用采留宽为 23：24m 时：地表最大下沉值为 110mm、地表倾斜最大值达-0.9~0.9mm/m、地表水平变形极值达到-0.35~0.35mm/m、地表曲率变形极值为-0.012~0.012 $\times 10^{-3}$ /m。预计开采后的地表移动变形值中水平变形值和地表曲率变形值小于 I 级损坏，若留设的条带具有足够的强度和长期的稳定性，则薛庙滩煤矿目前采用的采留比为 22：25 和 23:24 是可行的，不会对地面保护建（构）筑物造成明显的影响。



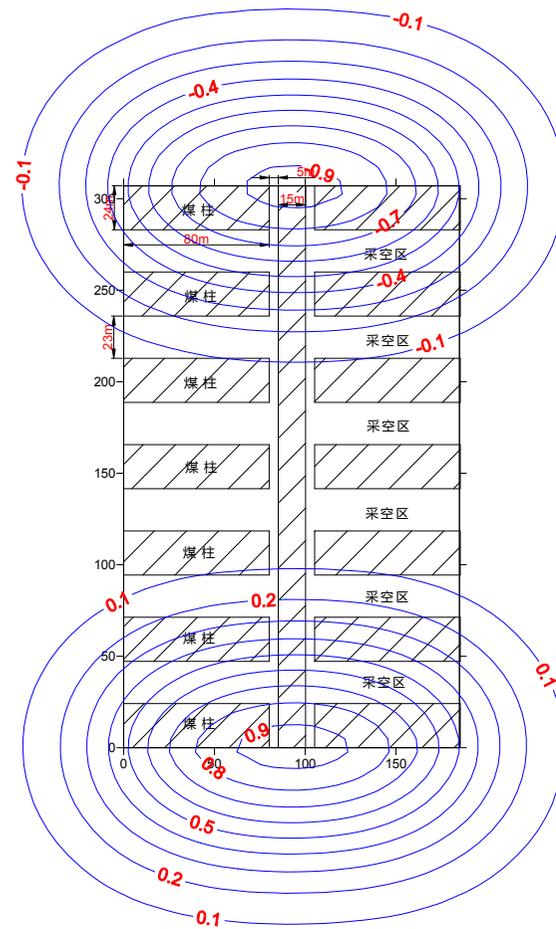
采留宽为 22：25m 时地表在 X 方向的倾斜等值线图



采留宽为 22：25m 时地表在 Y 方向倾斜等值线图



采留宽为 23: 24m 时地表在 X 方向的倾斜等值线图



采留宽为 23: 24m 时地表在 Y 方向倾斜等值线图

图 3.3 不同采留宽时地表倾斜等值线图 (单位: mm/m)

由于理论分析煤柱的稳定性，局部存在接近煤柱具有足够的强度和长期的稳定性（核区率大于 65%、安全系数大于 1.5），在薛庙滩煤矿条带开采采空区建立了地表移动变形观测站，给出了薛庙滩煤矿条带开采采空区地面建（构）筑物的安全监测措施，确保了薛庙滩煤矿条带开采采空区地面建（构）筑物的安全。

3.3 支撑材料

《薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬顶风险性评价》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第四章 特殊条件下的地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法、第六章 计算机计算模拟方法、第八章 建筑物下开采技术和第十一章 保护煤柱设计等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律；
- 3、复杂条件对地表沉陷的影响。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第四章 特殊条件下的地表移动变形预计

- 1、条带开采地表移动变形预计。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、地表移动观测站设计；
- 2、地表移动观测站的设计方法。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

第八章 建筑物下开采技术

- 1、控制地表破坏程度的开采方法；
- 2、条带开采方法。

第十一章 保护煤柱设计

- 1、保护煤柱的留设原理。

（四）案例 4

4.1 案例名称：柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面叠置开采地表移动变形规律研究

案例以柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面为研究对象，柠条塔矿业有限公司井田位于陕北黄土高原北部，毛乌素沙漠东南缘。柠条塔矿业有限公司矿区煤层属于典型的浅埋煤层，且研究区地貌为典型的黄土梁峁地貌，沟壑纵横。柠条塔矿业有限公司特殊的采矿地质条件，使得煤层开采地表产生的损害比一般条件下要严重得多，其将成为制约柠条塔矿业有限公司乃至陕北浅埋煤层矿区可持续发展的主要因素之一。由于柠条塔矿业有限公司特殊的采矿地质条件，其开采 1⁻² 煤和 2⁻² 煤时，地表移动变形规律不能盲目照搬临近矿区的地表移动变形规律，否则在安全上存在很大隐患，在经济上必然会造成巨大损失。可见，进行柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面叠置开采地表移动变形规律研究，不仅对柠条塔矿业有限公司今后的开采沉陷治理具有指导意义，也为浅埋厚煤层群开采地表治理技术研究提供科学依据。

根据矿井地质、地形、开采条件、工作面开采顺序及现场开采实际情况，设计 N1114 和 N1206 工作面开采的地表移动观测站，进行开采地表移动变形观测研究。在观测中严格按照观测规程要求进行观测，保证了观测数据的准确、详实。观测工作分为全面观测和日常观测两部分。柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面开采地表移动观测从 2013 年 11 月至 2015 年 3 月进行了 2 次全面观测，9 次日常观测，共 11 次地表移动观测工作。同时在工作面开采期间，进行了地表裂缝破坏、裂缝特征参数及裂缝分布情况进行了量测和统计，完成了地表移动的野外观测工作。

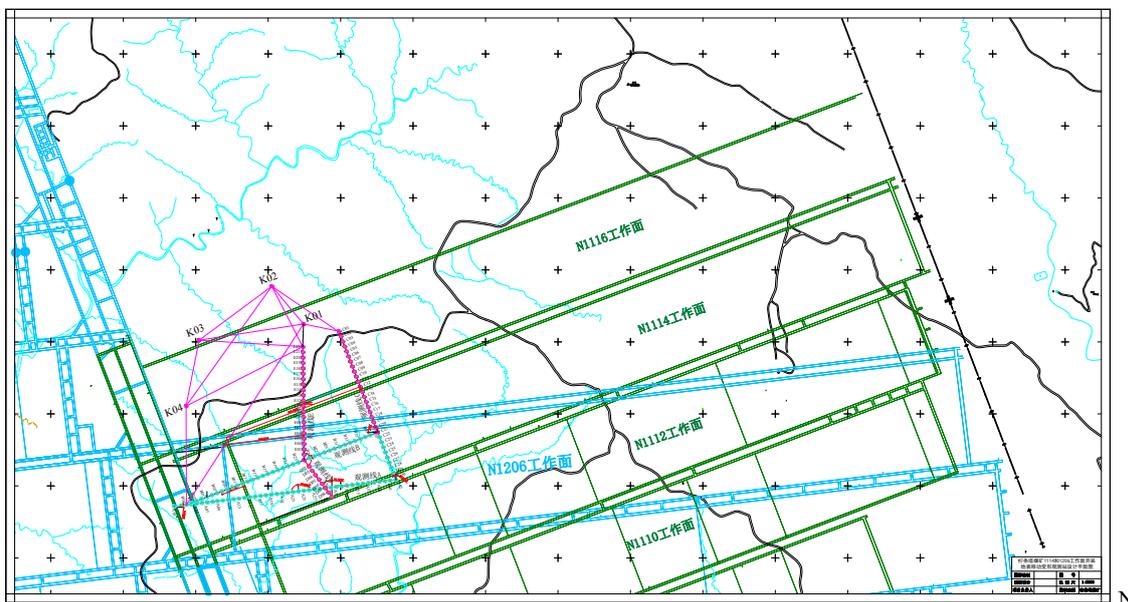


图 4.1 N1114 和 1206 工作面开采地表观测站布置图



C10 测点地表裂缝



A10 测点地表裂缝



D04、D05 测点塌陷区地表裂缝



A28 与 A29 测点之间裂缝



A30 与 A31 测点之间裂缝



C11 测点附近水平裂缝



E11 测点附近裂缝



A10 测点处台阶下沉



A10 与 B08 测点附近裂缝



A07 测点南部坡体

图 4.2 不同裂缝现场实测图

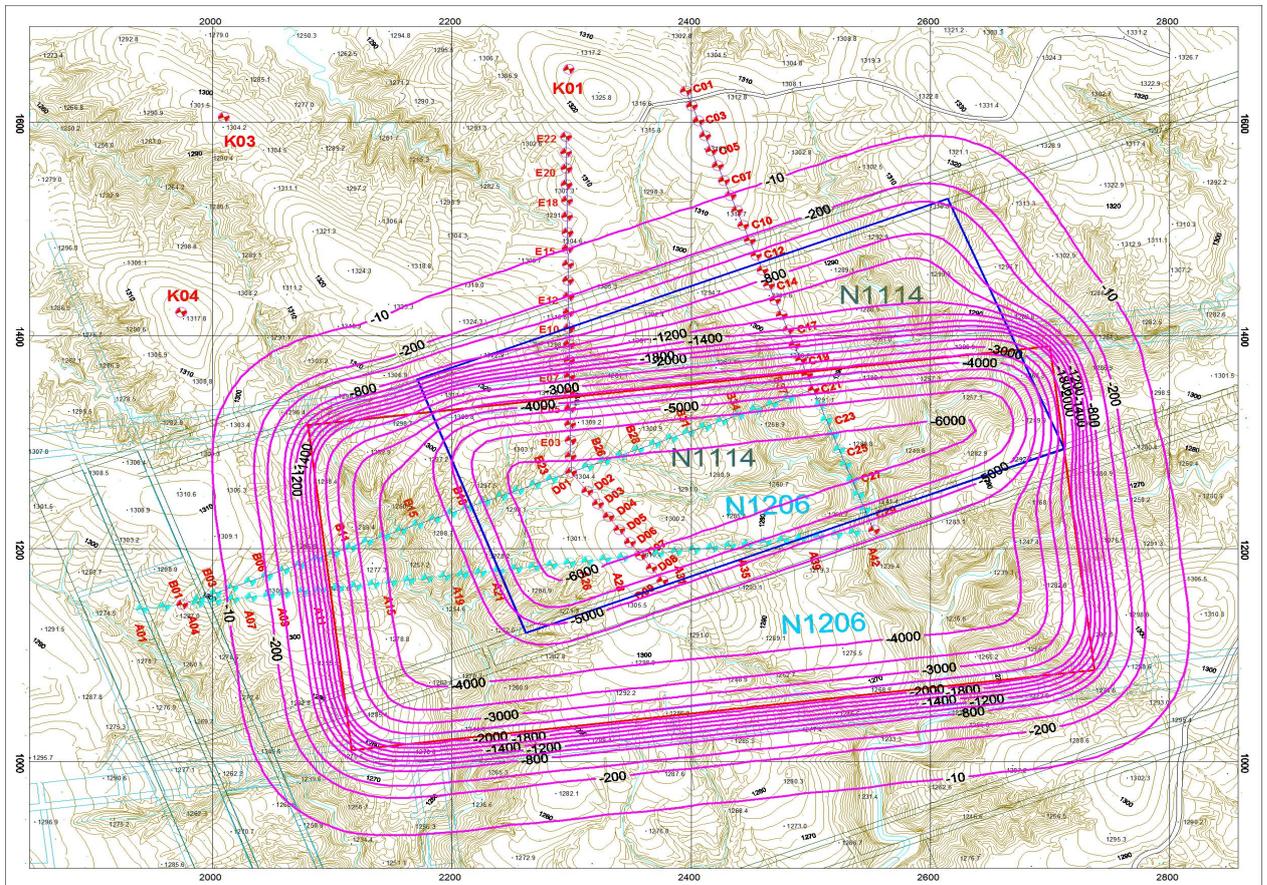


图 4.3 N1114 工作面与 N1206 工作面开采地表下沉等值线图（单位：mm）

4.2 案例实际应用效果简介

通过对《柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面叠置开采地表移动变形规律研究》案例进行分析，主要结论如下所示：

通过观测数据计算分析，给出了柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面叠置开采区地表岩层移动角值参数及其地表沉陷破坏特征：

- ① 边界角：N1114 工作面的边界角为 59.7° ，N1206 工作面的边界角为 62.6° ；
- ② 移动角：N1114 工作面的移动角为 68.7° ，N1206 工作面的移动角为 72.2° ；

③ 裂缝角：N1114 工作面的裂缝角为 73.3° ，N1206 工作面的裂缝角为 81.9° ；

④ N1114 工作面的超前影响角为 75.4° ，超前影响距为 32m；叠置区的最大下沉速度为 273.5mm/d，滞后角为 54.2° ，滞后距为 117m；叠置区最大下沉角为 78.2° ，充分采动角为 79.9° ；

⑤ N1114 工作面的下沉系数 η 为 0.63，N1206 工作面的下沉系数为 0.73；N1114 工作面的主要影响角正切值 $\tan\beta=1.52$ ，N1206 工作面的主要影响角正切值 $\tan\beta=1.93$ ；N1114 工作面水平移动系数 $b=0.28$ ，N1206 工作面的水平移动系数 $b=0.25$ ；N1114 工作面的拐点偏移距 $d=0.12H$ （ H 为 N1114 工作面的平均埋深 123m）；N1206 工作面的拐点偏移距 $d=0.13H$ （ H 为 N1206 工作面的平均埋深 162m）；

⑥ 地表移动变形不仅与煤层开采深度、采高、覆岩岩性和结构有关，还与采空区地表的地形地貌有关，且黄土沟壑区下煤层开采，地表的移动变形与坡体的角度、展布形态以及其与采空区的相对位置有较大的关系，位于坡体顶部拉伸变形的影响较大，导致裂缝较发育；位于坡脚位置，由于受挤压作用，裂缝宽度相对较小，且裂缝长度较短；

⑦ 地表移动启动阶段、活跃阶段、衰减阶段分别为：20 天、51 天、245 天，地表总移动期为 316 天；地表活跃阶段占总移动期的 16%，活跃期（阶段）地表移动剧烈，下沉量占总下沉量的 94.08%，最大下沉速度达 273.5mm/d，而受地形地貌、观测间隔时间等多方面的影响，地表的实际下沉速度远大于 273.5mm/d。

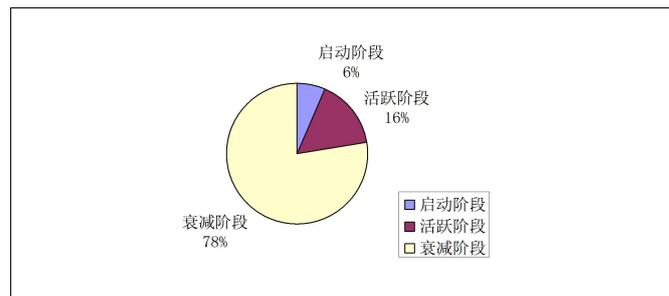


图 4.4 地表移动持续时间比例图

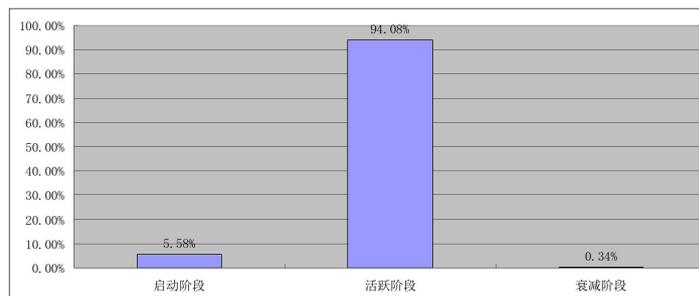


图 4.5 地表各持续时间下沉量三维柱状图

依据观测数据分析，在实测数据计算的地表移动参数的基础上，通过大量反复分析计算，给出了适合概率积分预计方法的预计参数：N1114 工作面的下沉系数 $\eta=0.60$ ，主要影响角正切值 $\tan\beta=1.52$ ，水平移动系数 $b=0.28$ ，拐点偏移距 $d=0.12H$ ；N1206 工作面的下沉系数 η 为 0.71，主要影响角正切值 $\tan\beta=1.88$ ，水平移动系数 $b=0.25$ ，拐点偏移距 $d=0.13H$ ；经计算机反演分析得重复采动系数为 1.13。计算结果与地表拟合比较表明，在不考虑坡体沟壑对地表移动变形的影响时，理论预计参数满足柠条塔矿区地质采矿条件下应用概率积分法预计的要求；在考虑坡体沟壑对地表移动变形的影响时，需要分析坡体的稳定性，在理论预计参数的基础上附加坡

体对地表移动变形的影响。

通过地表移动观测数据和地表沉陷损坏特征,分析了柠条塔煤矿特有的采矿地质条件下的开采沉陷规律:地表移动剧烈而总移动期较短;黄土沟壑对地表变形产生较大影响,在坡体自身稳定性较差的情况下,工作面的开采易破坏坡体自身稳定性,导致其产生滑移或滑坡,主要影响半径增大,地表出现大量裂缝或台阶下沉。

通过对 N1114 工作面覆岩与地表移动变形破坏规律研究,可以得出黄土沟壑区初采时地表移动变形规律,通过对 N1206 工作面覆岩与地表移动变形破坏规律研究,可以得出重复采动条件下的地表移动变形规律。此次研究成果不仅可以得出初采的岩移参数,也可以得出重复采动条件下的相关岩移参数,为今后矿井“三下”开采、保护煤柱的安全合理留设和地表沉陷灾害治理提供相关参数与科学依据;其研究成果不仅对陕煤集团神木柠条塔矿业有限公司,而且对榆神府煤田采煤方法改革、防止地质灾害发生和实现高产高效都具有重要意义。

4.3 支撑材料

《柠条塔煤矿 N1114 和 N1206 工作面叠置开采地表移动变形规律研究》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法和第六章 计算机计算模拟方法,其中涉及相关知识点分别为:

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算;
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律;
- 3、复杂条件对地表沉陷的影响。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法;
- 2、概率积分法的过程推导;
- 3、概率积分预计参数的确定。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、地表移动观测站设计;
- 2、地表移动观测站的设计方法。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述;
- 2、数值计算模拟方法。

(五) 案例 5

5.1 案例名称：园子沟矿井 101 盘区上覆建筑物采动影响评估

案例以园子沟矿井 101 盘区为研究对象，首采盘区 101 盘区 1012001 工作面、1012002 工作面、1012003 工作面和 1012004 工作面将涉及“三下开采”的问题，若留设村庄保护煤柱，则保护煤柱范围内压覆资源量（不含与铁路装车站保护煤柱重叠范围内的压覆资源量）为 7.26Mt，受村庄保护煤柱留设，1012001 工作面部分资源量无法正常回采，该部分资源量为 1.49 Mt。此外，受村庄保护煤柱的留设的影响，1012001 工作面、1012002 工作面和 1012003 工作面推进总长度减小 2350m，未有效利用顺槽（保护煤柱范围内顺槽）工程量达 4740m。即使通过降低开采高度的方式直接在村庄保护煤柱下进行开采，也将对崖窑村地面建筑物造成不同程度的损害，针对园子沟矿井 101 盘区地表村庄多、地形复杂导致大量煤炭资源无法正常回采问题，需进一步分析 101 盘区 1012001 工作面、1012002 工作面、1012003 工作面和 10120004 工作面的开采对崖窑村地面建筑物的影响。

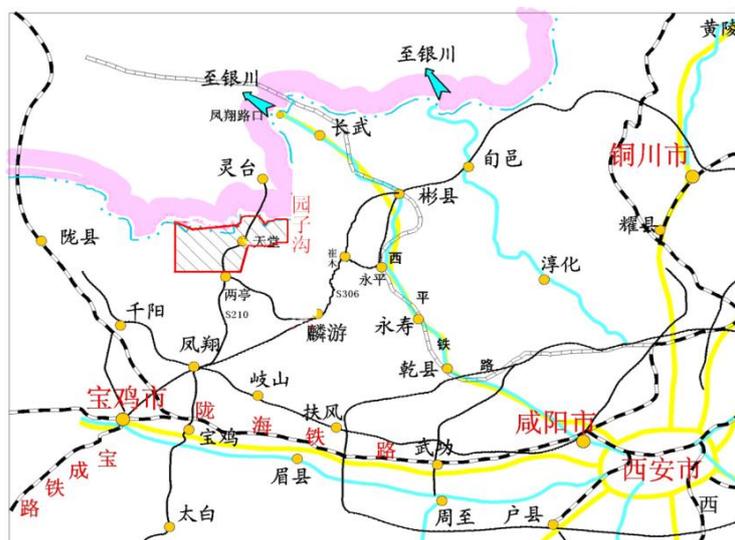


图 5.1 矿井位置交通示意图

对工作面煤层开采进行地表移动变形观测，并选取适合参数。因园子沟煤矿目前没有完整的地表移动变形参数，目前仅围绕 101 盘区 1012001 工作面煤层开采进行了地表移动变形观测。但因其为极不充分的采动，且该工作面为本矿井首采工作面、观测时间短，导致目前获取的概率积分参数偏小，因此，本次评价报告概率积分参数选取结合园子沟煤矿临近矿井郭家河煤矿的实测数据和《三下规范》进行综合选取，园子沟煤矿开采厚度较郭家河煤矿开采厚度小、埋藏深度大，则园子沟的概率积分参数比郭家河煤矿参数偏小，但在本次评估园子沟煤矿 101 盘区煤层开采地表沉陷预计评价时，考虑评价区域护坡的稳定性和崖窑新村附近 DF26 断层对开采沉陷规律的影响，在下沉系数取值时，下沉系数适当增加了 0.025，按 0.35 进行取值；水平移动系数选取是考虑采动过程中的坡体滑移，水平移动系数按工程类比和经验方法进行选取，水平移动系数按 0.25 进行取值，使得预计评价结果更为保守。

5.2 案例实际应用效果简介

通过开采损害模拟软件得出工作面的下沉、水平移动、水平变形、倾斜、曲率等数据，并绘制等值线图。由下沉等值线图可知：园子沟煤矿 101 盘区 1012001 工作面开采，在常规开采条件下，开采高度为 10.4m，煤层开采地表产生的最大下沉值为 2413mm；在实际开采过程中，随着开采厚度的变化，下沉量也会随着变化。如：靠近 1012001 工作面回风巷侧 50m 范围内开采高度为 5.0m，中央 100m 范围内开采高度为 7.0m，靠近 1012001 工作面胶带巷侧 50m 范围内开采高度为 5m。结合园子沟井上下对照图可知：涉及评估范围内建筑物位置的最大下沉值约为 150mm，护坡位置最大下沉值约为 300mm。

由 X 和 Y 方向的倾斜等值线图可知：在 X（工作面推进方向）方向产生的倾斜最大值为 +8.54mm/m 和 -4.73mm/m，在 Y 方向（垂直于工作面的推进方向）产生的倾斜最大值为 +10.91mm/m 和 -10.98mm/m，产生极值的位置位于开采边界附近，开采煤层厚度越大，产生的倾斜值越大。结合园子沟井上下对照图可知：在 X 方向涉及评估建筑物位置的最大水平倾斜值为 -0.8mm/m，护坡位置的最大倾斜值为 -1.4mm/m；在 Y 方向涉及评估建筑物位置的最大水平倾斜值为 +1.8mm/m，护坡位置的最大倾斜值为 +3.0mm/m。

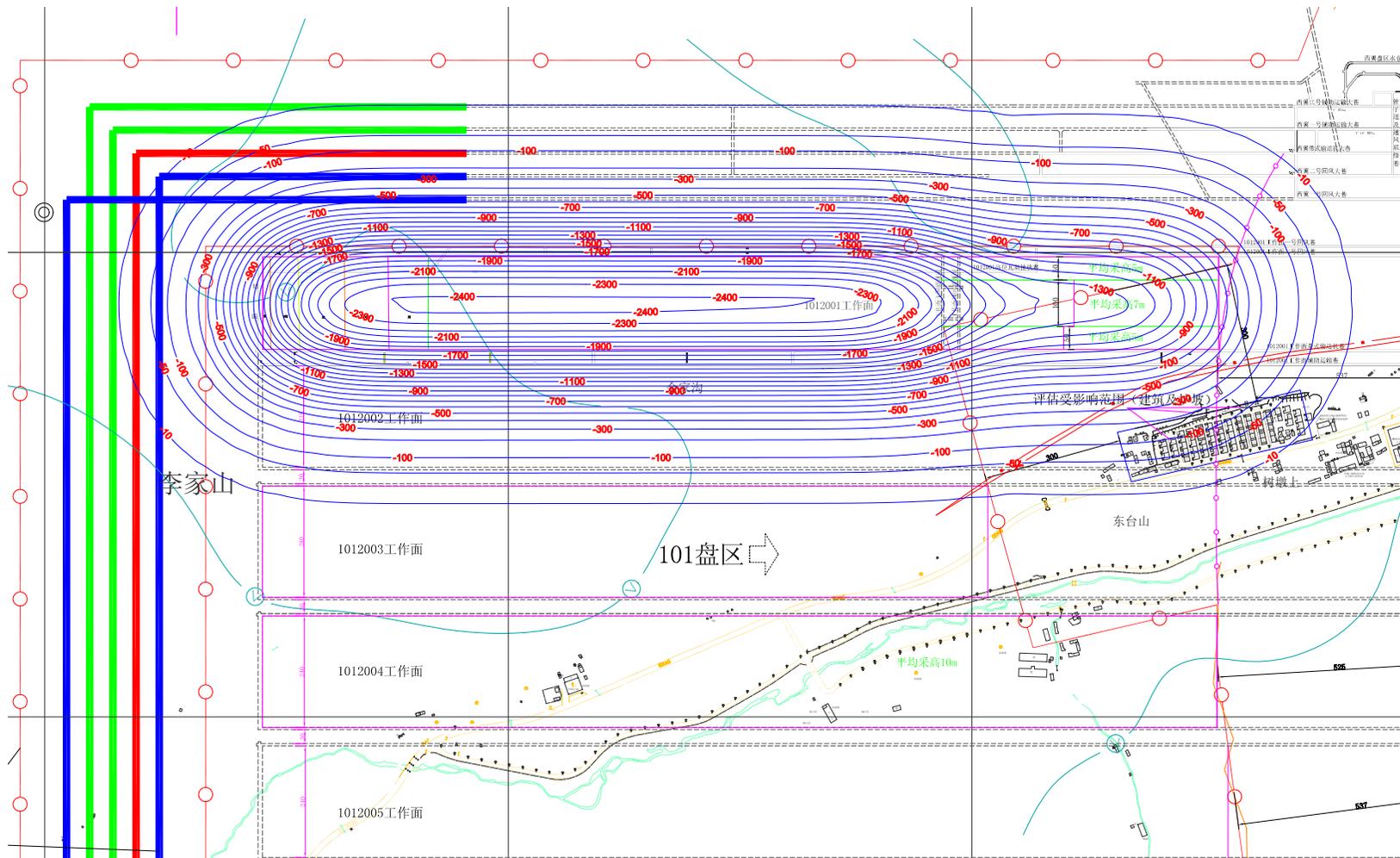


图 5.2 1012001 工作面开采地表下沉等值线图 (单位: mm)

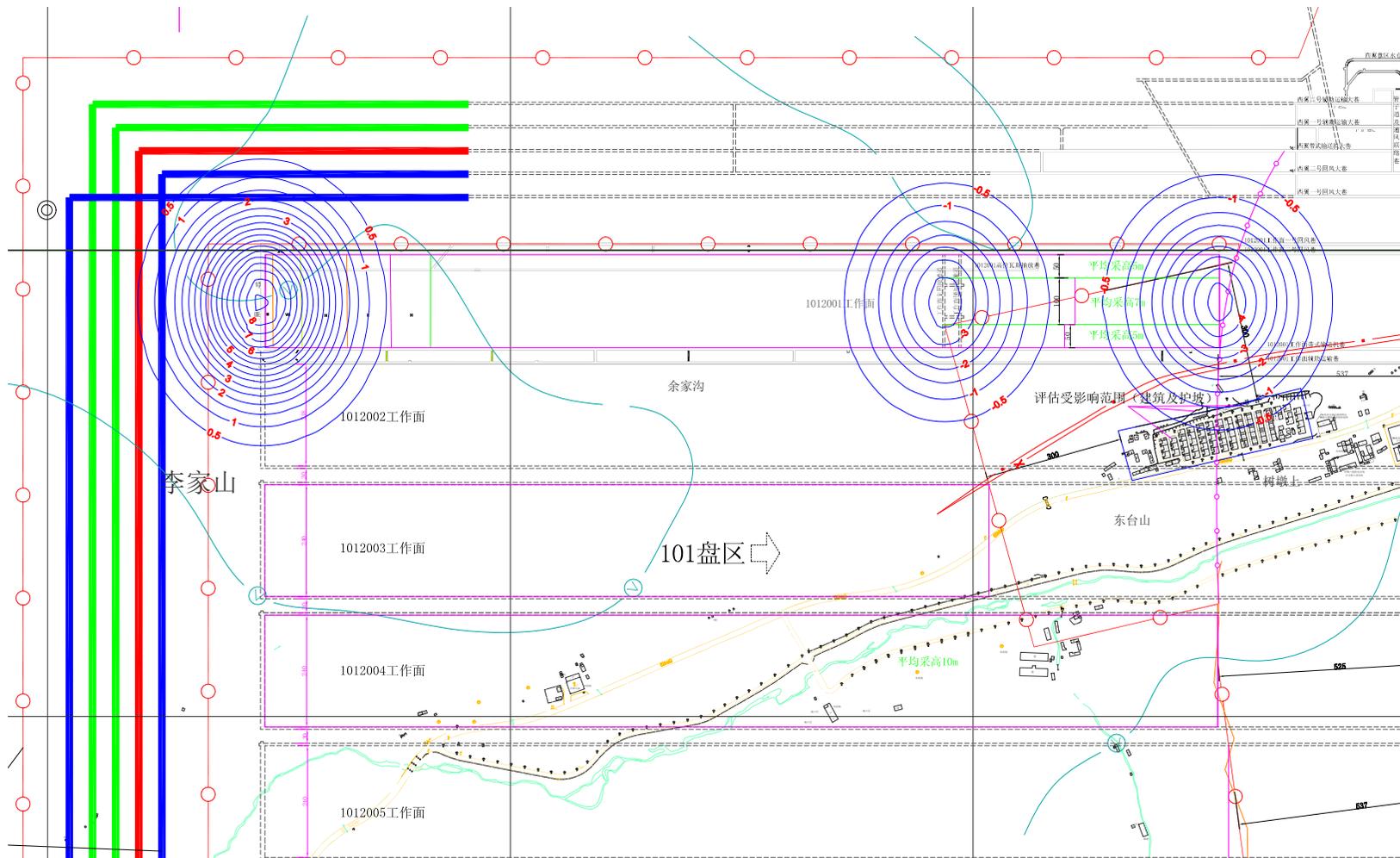


图 5.3 1012001 工作面开采地表 X 方向倾斜等值线图 (单位: mm/m)

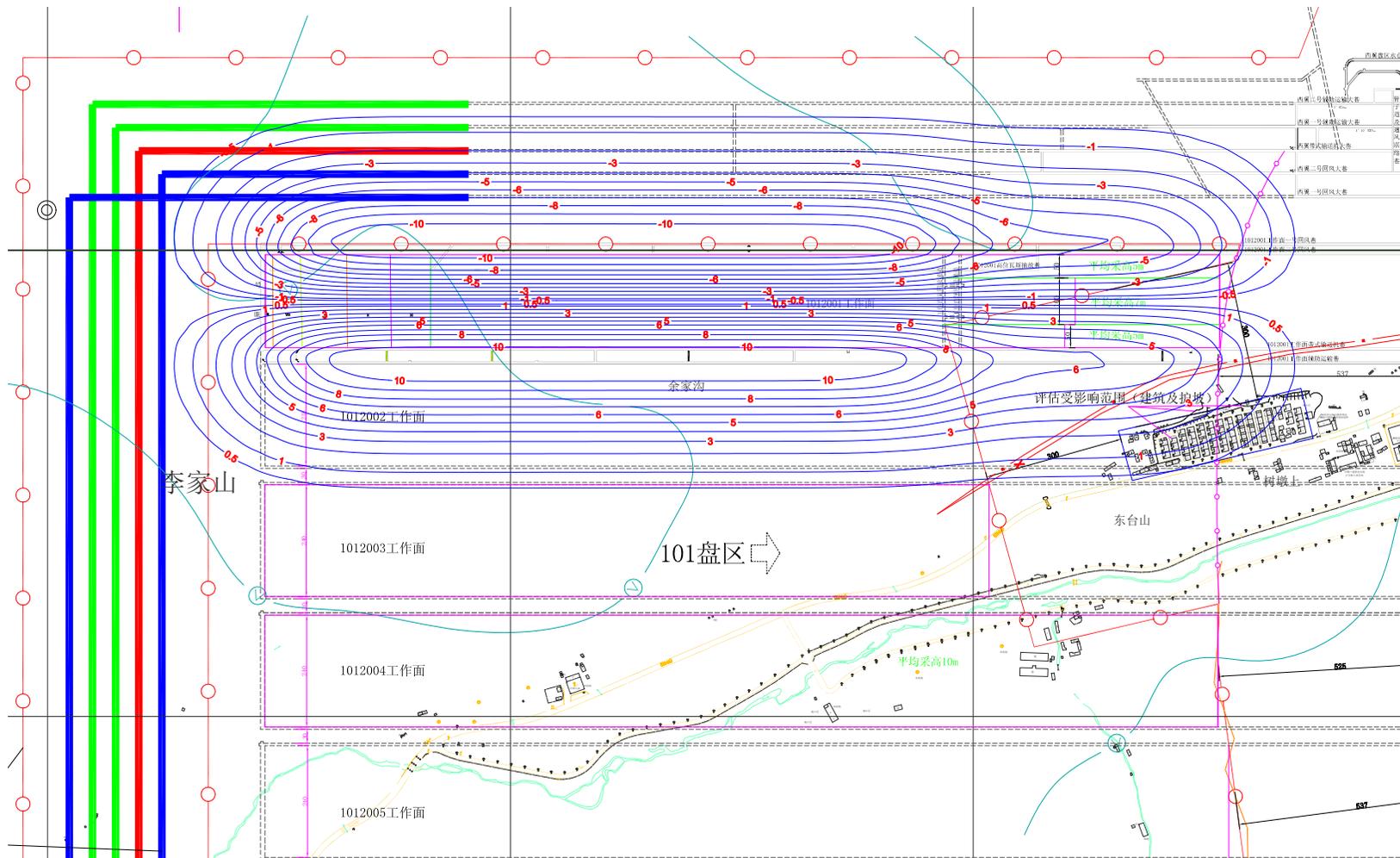


图 5.4 1012001 工作面开采地表 Y 方向倾斜等值线图 (单位: mm/m)

因崖窑新村北部井下有 DF26 断层，该断层对煤层开采地表沉陷存在一定的影响，在本次预计评价过程中，不仅概率积分参数选取时考虑了断层的影响，同时从 DF26 断层与井下工作面开采相对位置来看，因其主要位于其主要位于崖窑新村保护范围内，其主要受 1012001 工作面开采的影响。

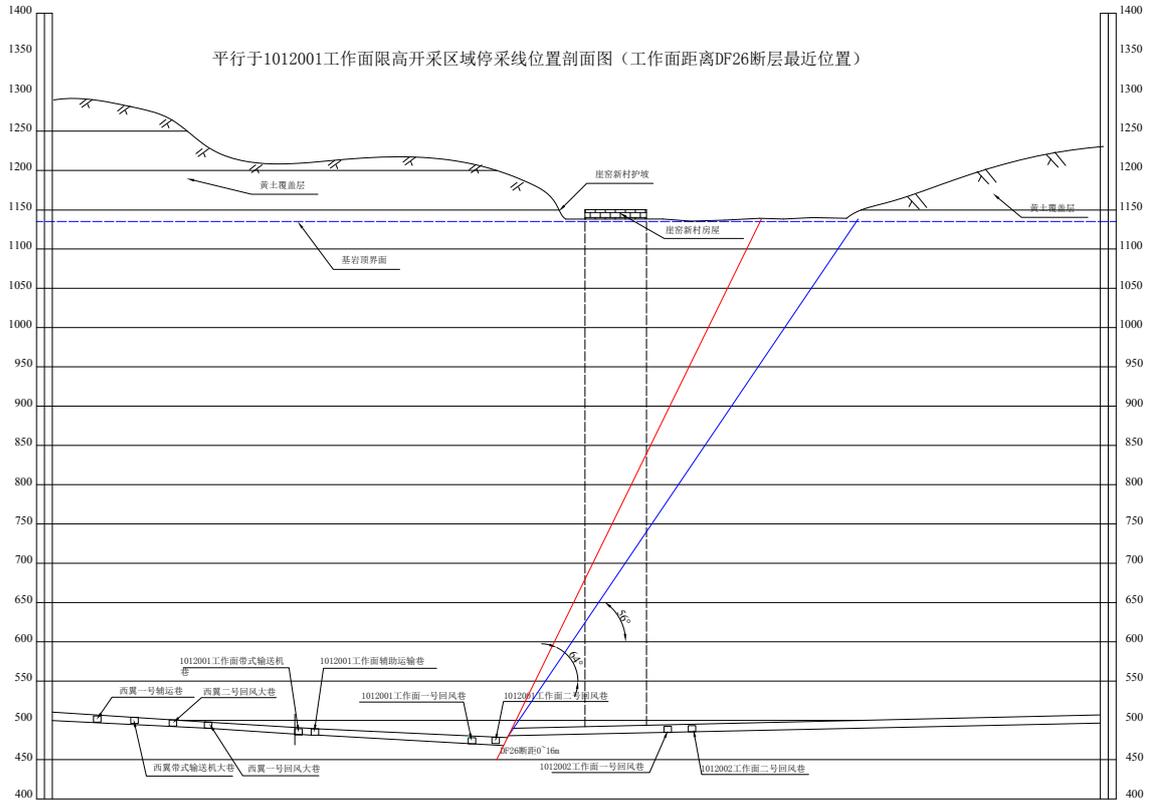


图 5.5 崖窑新村房屋、护坡与 DF26 断层和 1012001 工作面的相对位置关系剖面图

因崖窑新村建筑物及护坡位于 1012002 工作面上部，1012002 工作面长度 + 1012001 工作面和 1012002 工作面区段煤柱尺寸 + 1012002 工作面和 1012003 工作面区段煤柱尺寸为 278m，小于断层影响的最小距离 320m，因此煤层开采过程中及时断层产生滑移，崖窑新村建筑物及护坡均位于 DF26 断层的上盘，其与 DF26 断层一起移动，断层露头处也在崖窑新村建筑物及护坡等评估范围的南部 40m 处，采动过程在断层 DF26 对崖窑新村建筑物及护坡影响相对较小；12002 ~ 1012004 工作面开采及停采线均距离断层 FDF26 较远，1012001 工作面开采类似孤岛工作面开采，其工作面开采宽度仅占评估平均埋藏深度的 1/3 左右，采动程度属于极不充分采动；1012001 工作面开采地表实测下沉值较小（开采 9 个月后目前最大下沉值仅 204mm）；崖窑新村房屋周边护坡倾斜方向与地表下沉方向相反，可以有效的抑制护坡的滑移和倾斜。因此，1012001 工作面开采对其影响甚微，在进行采动影响评估时可以通过增加概率积分参数（下沉系数和水平移动系数）的方式，增加其倾斜值和水平移动量来抵消 DF26 断层对崖窑新村房屋及护坡的影响。

通过对工作面进行观测和分析表明：当 1012001 工作面在常规开采区域开采高度为 10.4m，在限高开采区域，以工作面总线为界开采高度分别为 5m、7m 和 4m 时，倾斜 i 、曲率 K 和水

平变形 ϵ 三个指标在上覆评估范围内的建筑物损害程度均在 I 级范围以内。上覆评估范围内的护坡在 X 方向的最大倾斜值为-1.4mm/m，在 Y 方向的最大倾斜值为+3.0mm/m；在 X 方向的水平变形最大值为+0.50mm/m，在 Y 方向的水平变形最大值为+2.0mm/m；在 X 方向的曲率变形最大值为+0.008 $\times 10^{-3}$ /m，在 Y 方向的曲率变形最大值为+0.02 $\times 10^{-3}$ /m。参照《采空区地表建设地基稳定性评估方法》中构筑物的地表（地基）允许和极限变形值：极限倾斜 $i = \pm 9\text{mm/m}$ ；允许水平变形 $\epsilon = \pm 4\text{mm/m}$ 。因此，1012001 工作面开采上覆评估范围内的护坡损害也在可修复范围之内。

5.3 支撑材料

《永陇矿区麟游区园子沟矿井及选煤厂项目 101 盘区上覆建筑物采动影响评估报告》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第六章 计算机计算模拟方法和第八章 建筑物下开采等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

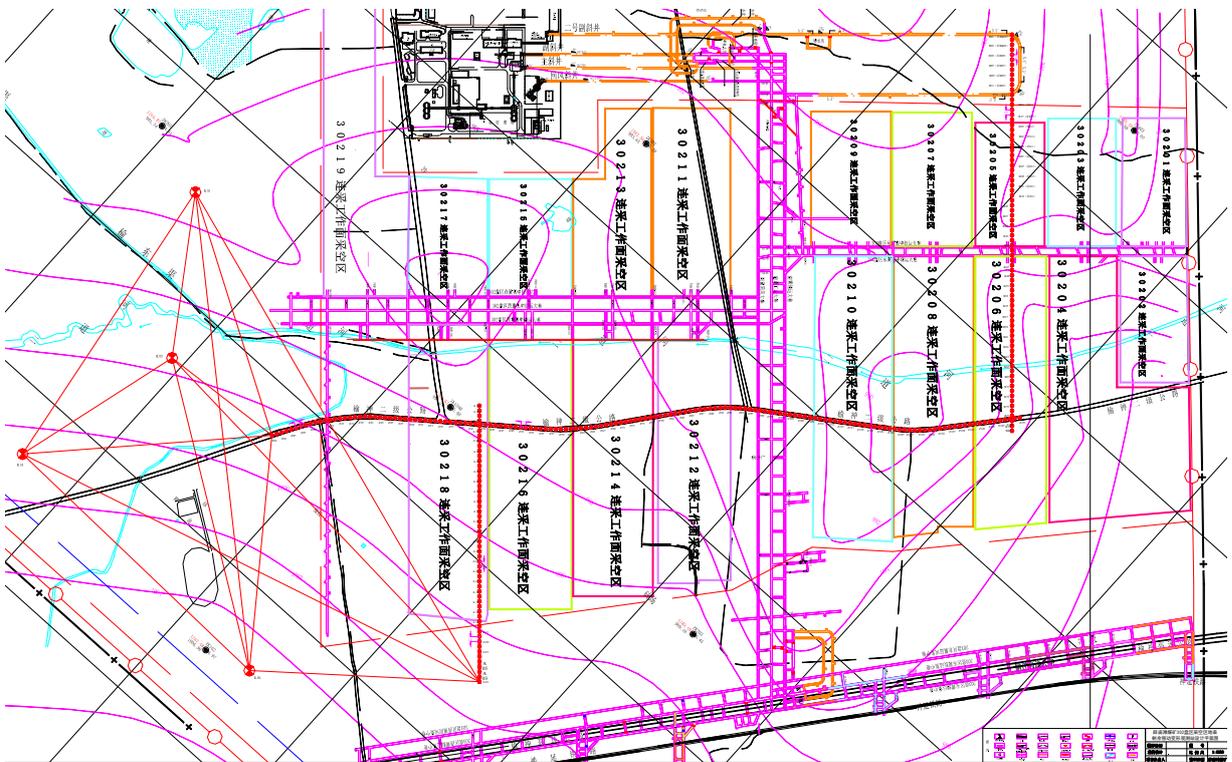
第八章 建筑物下开采

- 1.采动地表移动变形对建筑物的影响；
- 2.保护建筑物的开采措施。

(六) 案例 6

6.1 案例名称：薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬顶风险性评价

案例以薛庙滩煤矿 302 盘区为研究对象，302 盘区上部对应地表分布有七条输变电路，总长度约 35km。中部有二级公路与河流横穿，下部地区还有多个村庄、学校、工厂等建筑设施。由于 302 盘区属于特殊开采区域，需要保护的物体种类多、数量大。基于上述因素，薛庙滩煤矿首采工作面—30201 工作面采用了采 24m 留 30m 的条带开采方案，但在之后的观测中，采用采 24m 留 30m 的条带开采方案，开采方案过于保守，地表点最大下沉值为 130mm，可以进一步调整采、留比，进而提高矿井资源回采率和矿井技术经济效益。基于上述结果，决定对 302 盘区西翼采用 23: 24m 条带采留宽方案，东翼采用 22: 25m 条带采留宽方案。对于新的开采方案，需对薛庙滩煤矿条带开采区域的煤柱进行稳定性评价，同时针对评价结果给出条带开采采空区上覆建（构）筑物的安全监测措施。



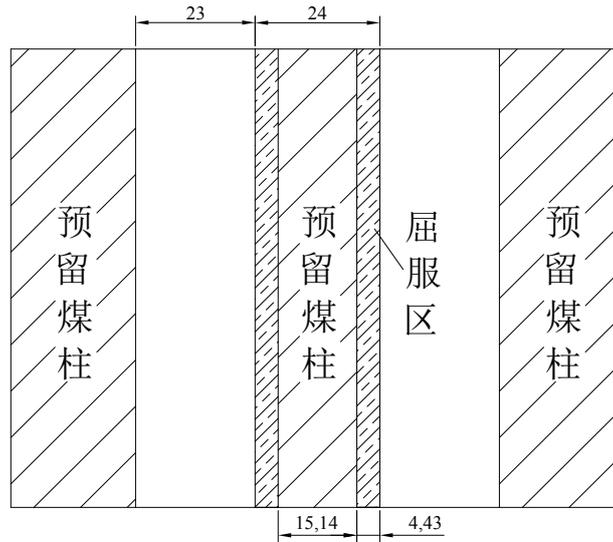


图 6.2 条带开采参数示意图

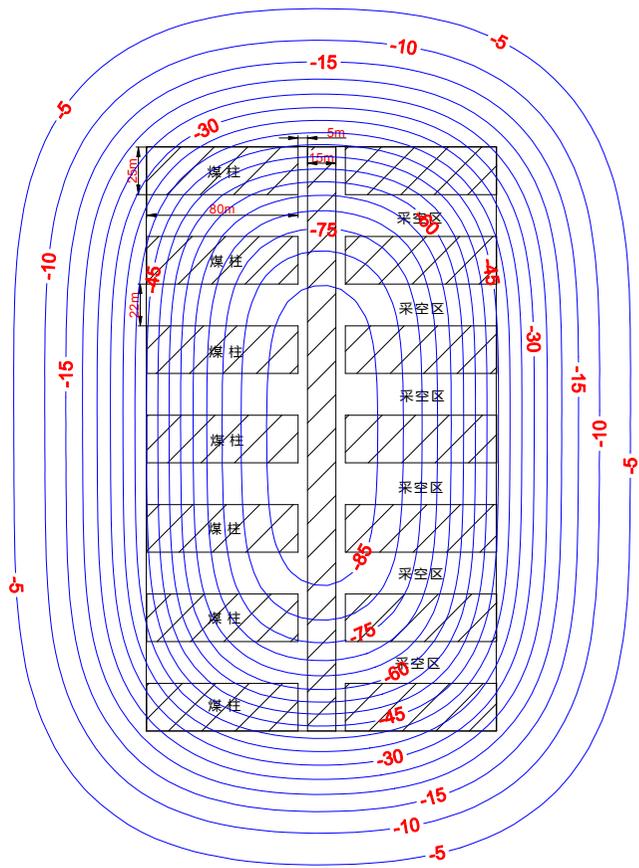
6.2 案例实际应用效果简介

案例以薛庙滩煤矿 302 盘区大面积悬顶现象为研究对象，通过理论分析、数值模拟和概率积分数值计算等三种手段，对薛庙滩煤矿 302 盘区目前采用的两种条带开采方案开采形成的采空区大面积悬顶造成的条带开采区煤柱的弹塑性区及地表沉陷情况进行风险性评价，同时针对评价结果给出相应的采空区治理措施或安全监测措施，可以为今后矿井“三下”开采、保护煤柱的安全合理留设和地表沉陷灾害治理提供相关参数与科学依据。

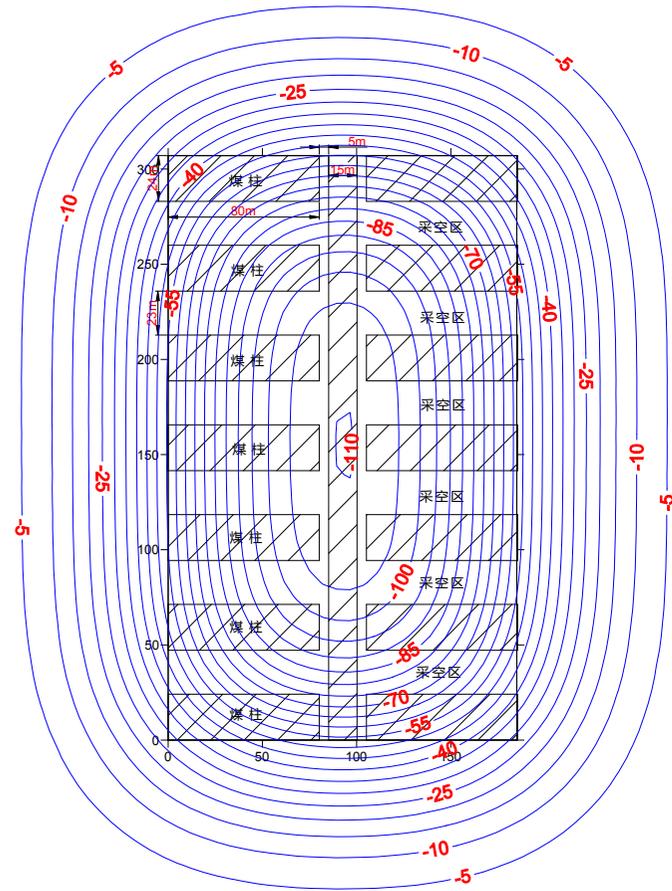
通过威尔逊理论和煤柱屈服区参数计算理论对于薛庙滩煤矿 302 盘区条带开采以后的煤柱的稳定性进行计算，发现采宽 22m、留宽 25m 及采宽 23m、留宽 24m 两个方案均符合煤柱稳定性的常规要求，即：保留煤柱宽高比 5；安全系数=1.76~1.84；保留煤柱的核区率为 62.6%~67.2%，基本满足条带开采核区率大于 65%的要求，因而确定采宽=22m、留宽=25m，或采宽=23m、留宽=24m，煤柱具有足够的强度和长期的稳定性。

通过 FLAC3D 数值计算模拟方法可知，选择 22m：25m 及 23m：24m 两个条带采留宽方案的条带支撑煤柱宽度合理，其中：采用采 22m：留 25m 的条带开采方案，煤柱应力大部分为 5~6Mpa，峰值最大为 6.6Mpa，地表最大下沉值为 87mm；采用采 23m：留 24m 的条带开采方案，煤柱应力大部分为 5~7Mpa，峰值最大为 7Mpa，地表最大下沉值为 110mm，与现场采用采 24m：留 30m 的条带开采方案，地表实测最大下沉值为 130mm 基本吻合，开采宽度合理，开采后不会引起地表波浪下沉，同时为影响函数预计模拟提供了参考依据。

依据概率积分数值计算可知，当采用采留宽为 22：25m 时：地表最大下沉值为 85mm、地表倾斜最大值达-0.8~0.8mm/m、地表水平变形极值达到-0.3~0.3mm/m、地表曲率变形极值为-0.011~0.11×10⁻³/m；当采用采留宽为 23：24m 时：地表最大下沉值为 110mm、地表倾斜最大值达-0.9~0.9mm/m、地表水平变形极值达到-0.35~0.35mm/m、地表曲率变形极值为-0.012~0.012×10⁻³/m。预计开采后的地表移动变形值中水平变形值和地表曲率变形值小于 I 级损坏，若留设的条带具有足够的强度和长期的稳定性，则薛庙滩煤矿目前采用的采留比为 22：25 和 23:24 是可行的，不会对地面保护建（构）筑物造成明显的影响。



当采留宽为 22：25m 时地表的下沉等值线图



当采留宽为 23：24m 时地表的下沉等值线图

图 6.3 不同采留宽地表下沉等值线图（单位：mm）

通过煤柱稳定性的理论分析：302 盘区局部留设的条带煤柱的核区率为 62%，略小于煤柱具有足够的强度和长期的稳定要求（核区率要求大于 65%），从安全角度考虑，在薛庙滩煤矿 302 盘区采空区地表建立了地表移动变形观测站，给出了薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬的安全监测措施，确保了薛庙滩煤矿 302 盘区地面建（构）筑物的安全。

课题研究在薛庙滩煤矿 302 盘区地表建立了地表移动观测站，并进行了长期观测，观测数据满足观测设计要求，符合矿山测量有关《规程》、《规范》的要求，为进一步提高薛庙滩煤矿的回采率提供了科学依据。开展《薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬顶风险性评价》研究项目，不但对于解决薛庙滩煤矿安全正常生产，具有重要的应用价值和科学研究意义，而且对于整个榆阳地区煤层合理开发利用、矿区地表建筑物保护、生态环境保护，保证矿区经济的持续协调发展均具有重要的理论研究意义和应用价值。

6.3 支撑材料

《薛庙滩煤矿 302 盘区采空区大面积悬顶风险性评价》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第四章 特殊条件下的地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法、第六章 计算机计算模拟方法和第八章 建筑物下开采等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第四章 特殊条件下的地表移动变形预计

- 1、条带开采地表移动变形预计。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、地表移动观测站设计；
- 2、地表移动观测站的设计方法。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

第八章 建筑物下开采

- 1.采动地表移动变形对建筑物的影响；
- 2.保护建筑物的开采措施。

(七) 案例 7

7.1 案例名称：黄陵县杨岭村民房受损技术鉴定报告

案例以黄陵县杨岭村民房受损鉴定为研究对象,通过对杨岭村民房受损情况及地表塌陷特征进行了现场详细调查,结合民房受损情况和地表塌陷特征,进而分析村民房损害原因。当地居民民房主要以砖窑洞和砖+预制板房、砖+木房为主,窑洞以砖拱结构为主,窑洞以单拱砖墙,顶部覆土单点支撑结构为特征,各排中的窑洞互相由窑腿连接成排,这些窑洞大部分修建 90 年代左右。

杨岭村受损房屋共五排,通过对村民房屋建筑物的破坏现状进行调查分析,发现大部分窑洞以窑洞顶部出现一条或几条横向裂缝为主,窑洞裂缝发育程度不一,砖+预制板房屋,通常板间存在 1mm~2mm 宽的板间裂缝。

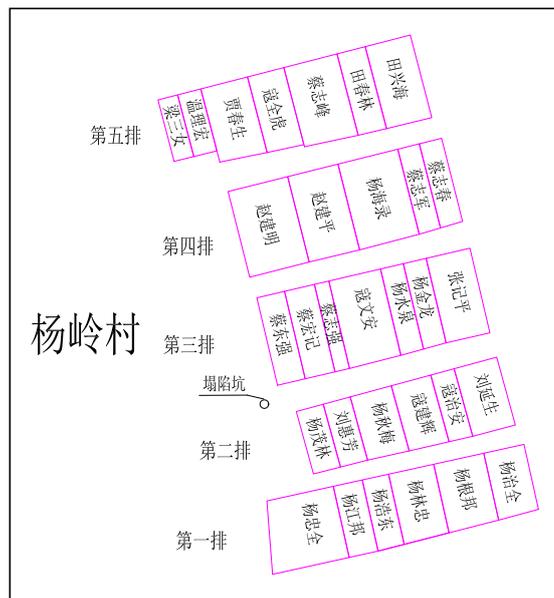


图 7.1 杨岭村受损民房分布图

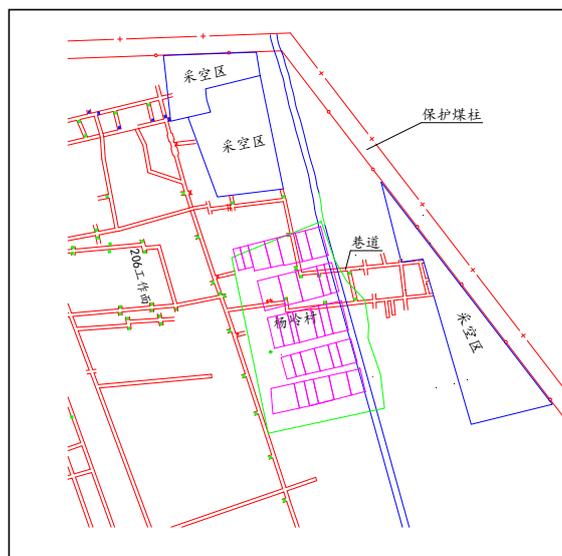


图 7.2 杨岭村受损房屋附近矿井开采情况图

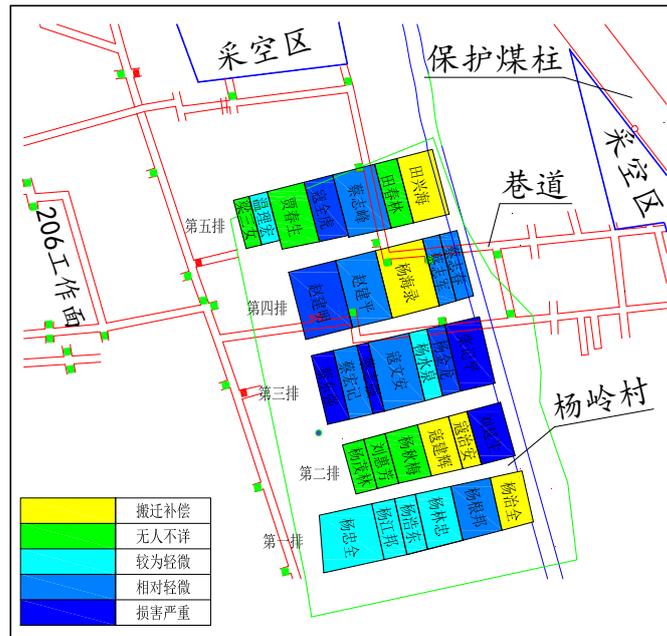


图 7.3 杨岭村受损房屋损害程度示意图

7.2 案例实际应用效果简介

通过案例发现：金咀沟煤矿在杨岭村鉴定区域东侧及北侧存在采空区，其沉陷影响范围已波及杨岭村鉴定区域所有房屋（除第一排杨忠全家部分房屋）。由现场房屋勘察结果可知杨岭村受损房屋损害相对轻微，大部分房屋破坏等级在 I ~ II 级；同时结合鉴定区附近存在巷道掘进、冒落及多个密闭来看，可推测鉴定区域附近仅存在小范围的房柱式采空区而不是大规模开采。

杨岭村受损民房附近有且仅有一个煤矿，即黄陵县仓村金咀沟煤矿，且鉴定区除第三排外，每排均有村民房屋已得到补偿并搬迁，可确定杨岭村鉴定区受损民房的责任主体为黄陵县仓村金咀沟煤矿。虽然黄陵县仓村金咀沟煤矿在杨岭村鉴定区域附近的采掘活动对杨岭村鉴定区域民房损害影响较大，但是杨岭村部分受损房屋破坏还存在修建时间长、砖+预制板房板间干燥收缩易出现轻微裂缝等影响，在进行经济补偿时，建议适当考虑上述影响因素。

课题研究基于现场调查、黄陵县国土资源局提供的黄陵县仓村金咀沟煤矿井上下对照图、黄陵县地质测绘队提供的黄陵县仓村金咀沟煤矿采掘工程平面图和收集鉴定区域相关的采矿、地质资料，通过对已有基础资料和现场勘测数据的认真分析，对民房结构及破坏特征进行详细调查，从工程地质稳定性、非采矿因素和煤矿开采沉陷等非三方面对房屋受损原因进行综合分析，完成了黄陵县杨岭村民房受损技术鉴定报告。其研究成果不仅为今后矿井“三下”开采和地表沉陷灾害治理提供相关参数与科学依据，而且对保护煤柱的安全合理留设、矿区地表建筑物保护、生态环境保护 and 实现高产高效都具有重要意义。

课题研究基于现场调查、黄陵县国土资源局提供的黄陵县仓村金咀沟煤矿井上下对照图、黄陵县地质测绘队提供的黄陵县仓村金咀沟煤矿采掘工程平面图和收集鉴定区域相关的采矿、地质资料,通过对已有基础资料和现场勘测数据的认真分析,对民房结构及破坏特征进行详细调查,从工程地质稳定性、非采矿因素和煤矿开采沉陷等非三方面对房屋受损原因进行综合分析,完成了黄陵县杨岭村民房受损技术鉴定报告。其研究成果不仅为今后矿井“三下”开采和地表沉陷灾害治理提供相关参数与科学依据,而且对保护煤柱的安全合理留设、矿区地表建筑物保护、生态环境保护和实现高产高效都具有重要意义。

7.3 支撑材料

《黄陵县杨岭村民房受损技术鉴定报告》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律和第八章 建筑物下开采,其中涉及相关知识点分别为:

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、采动过程中地表移动表形的一般规律;
- 2.影响地表移动和变形的地质和采矿因素

第八章 建筑物下开采

- 1.采动地表移动变形对建筑物的影响;
- 2.保护建筑物的开采措施。

（八）案例 8

8.1 案例名称：杉木树煤矿石炭沟河下煤层安全开采研究

案例以杉木树煤矿石炭沟河下煤层为研究对象，矿区地质、采矿条件复杂，N24 采区河床下煤柱范围开采煤层上覆岩层坚硬而脆性较大，基本不存在隔水层；河床下煤柱的可采储量约 186 万 t。石炭沟河流经 N24 采区，由东向西穿越矿井西部 N26 采区，占压煤炭可采储量约 83 万 t。石炭沟河下占压煤炭的总可采储量约 269 万 t，严重影响矿井的接替与安全生产，石炭沟河下安全开采已经成为矿井生产中亟待研究解决的技术难题。

根据矿井开采技术设备条件、地质采矿条件，采用应用理论分析计算导水裂隙带高度为 62m、保护层厚度为 18m，最终求得安全防水煤岩柱高度 $H \geq 80\text{m}$ 。使用 FLAC^{3D} 和 RFPA^{2D} 软件进行数值模拟计算，通过计算结果可以看出：A-A 截面处在石炭河附近的沟谷处下沉量最大，约 1100mm，由于煤层上覆覆岩的载荷分布不均以及煤层存在一定的倾角，导致上覆岩层移动呈非对称型分布，且最大下沉值出现的位置不在采空区的正上方，而在偏下山方向，偏移距约 20m。B-B 截面处在石炭河附近的沟谷处下沉量最大，约 1500mm，且最大下沉值出现的位置不在采空区的正上方，而在偏下山方向，偏移距约 20m。C-C 截面处由于石炭河并非位于下沉开采工作面的正上方，所以在石炭河附近的地表下沉量并非最大，约 500mm，而在山坡的中部，该处位于采空区的正上方，该处下沉量最大，最大下沉为 900mm。D-D 截面处由于石炭河并非位于下沉开采工作面的正上方，所以在石炭河附近的地表下沉量并非最大，约 800mm，而在山坡的中部，该处位于采空区的正上方，该处下沉量最大，最大下沉为 1200mm。

使用 F-RFPA2D 进行固液耦合模拟分析得出：石炭河下工作面采高为 3m 时，预计导水裂隙带约为 105m，工作面采高为 2m 时，预计导水裂隙带约为 70m，均是采高的 35 倍，符合实际芙蓉矿区采高/采深比 35~40 倍，采高为 3m 时，覆岩高度低于 105m；采高为 2m，覆岩高度小于 70m 时，开采煤层后覆岩均破坏，河床水会渗入井下，影响安全生产。地表最大下沉量为 1500mm，根据开采高度为 3m，可知在该采矿地质条件下，地表的下沉系数为 0.4~0.5。煤层开采后地表的最大的下沉量并未出现在采空区的正上方，而是略偏采空区的山下方向，大约 20m。煤层开采若不采取相应的措施，则不能实现杉木树煤矿石炭沟河下的安全开采。

通过分析杉木树煤矿地质、采矿和地面保护设施条件，结合矿井的生产技术和设备条件，确定了适合杉木树煤矿 N24 采区石炭沟河下的河流局部协调开采、建筑群集位置的条带开采、开采后进行河道防护处置的综合防护方法。应用理论分析、FLAC^{3D} 数值模拟开采覆岩应力应变和破坏分布情况、F-RFPA^{2D} 数值试验模拟固液耦合条件下开采引起覆岩导水裂隙带的高度，结合相似材料模拟试验模拟开采引起覆岩冒裂带发育高度、范围和地表裂缝情况，给出了 40 倍采高的安全防水煤岩柱的结论，为河道导水裂缝带工程处置提供了依据。根据数值模拟，结合矿井地质、采矿条件选择影响函数预计参数，分析开采地表移动变形对石炭沟河流的影响。确定了开采高度为 3m 和 2m 方案河道裂缝破坏的范围。在分析开采条件的基础上，根据协调减损原理，确定采用局部协调限高开采结合地表河道防护工程综合防护方法开采，确定了协调限高开采方案。在分析河道地形及河道水力条件的基础上，设计了两种河道防护方案及其河道防洪排导渠的结构与地表裂缝充填方法，为在河道渗漏的条件下采取相应的安全防护措施，保证矿井安全生产提供了依据。在分析开采煤层上覆岩层岩性及结构的基础上，应用条带开采理论，设计了两河口煤矿地表建筑物下条带开采方案。结合石炭沟河下协调开采方案，制订了相

应的开采安全技术措施。

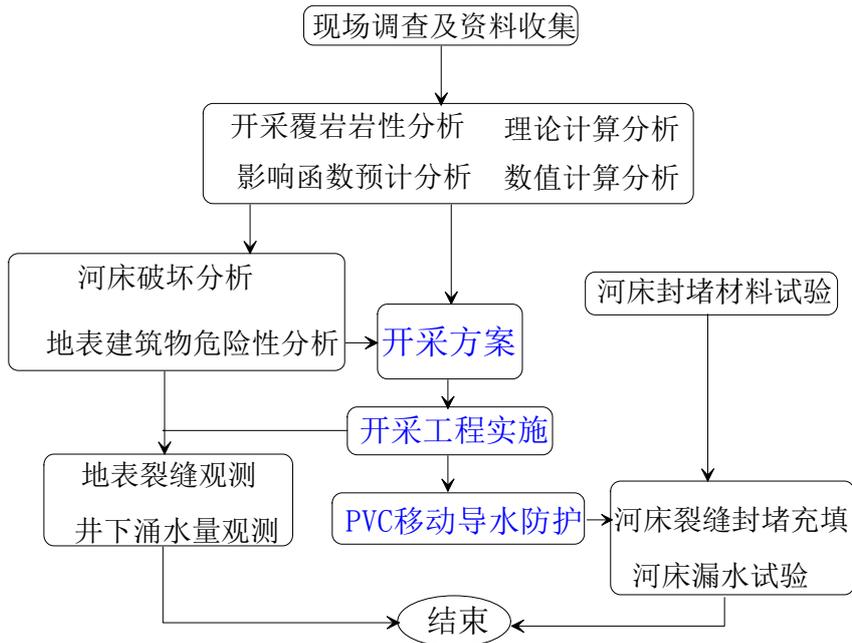


图 8.1 石炭沟河下开采技术路线

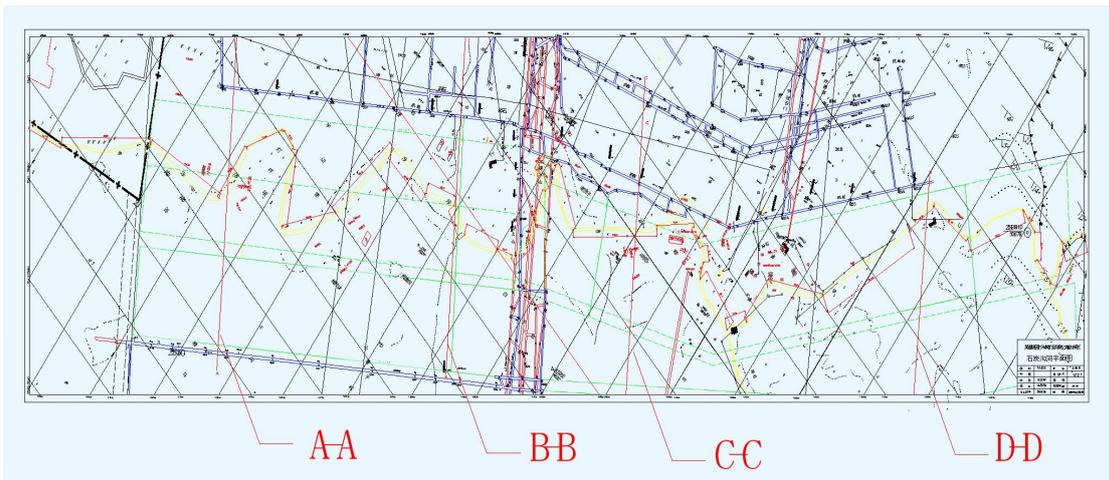
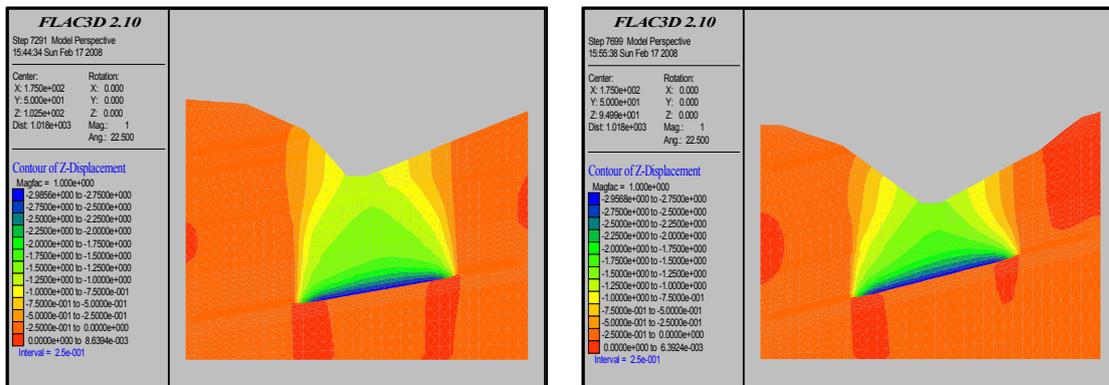
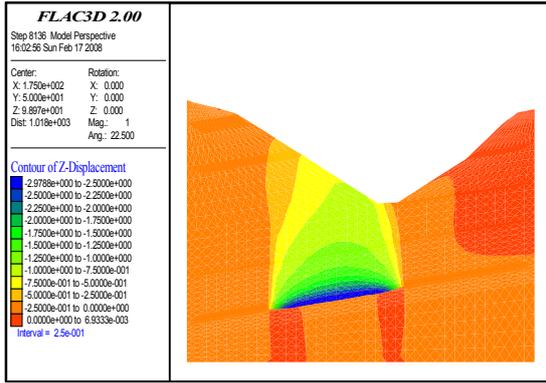


图 8.2 数值模拟模型不同剖面图

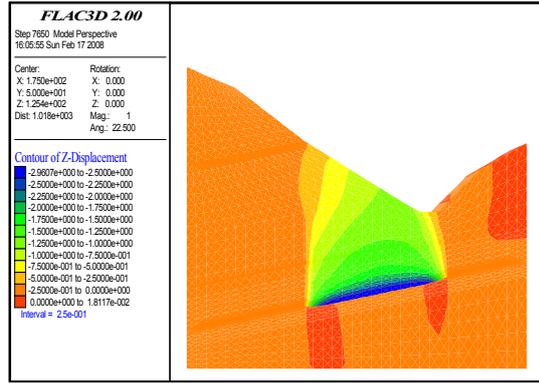


A—A 剖面图煤层开采地表下沉云图

B—B 剖面图煤层开采地表下沉云图



C—C 剖面图煤层开采地表下沉云图



D—D 剖面图煤层开采地表下沉云图

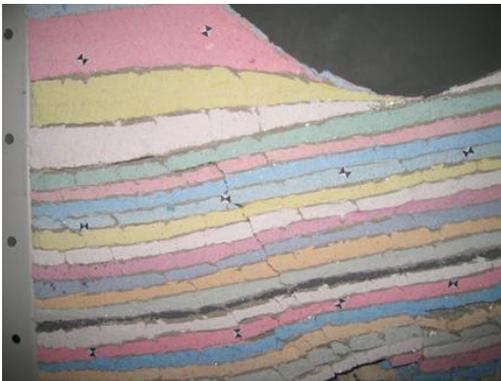
图 8.3 FLAC^{3D} 不同剖面模拟结果



右侧山体裂缝



左侧山体裂缝



覆岩内部裂缝



河床整体破坏

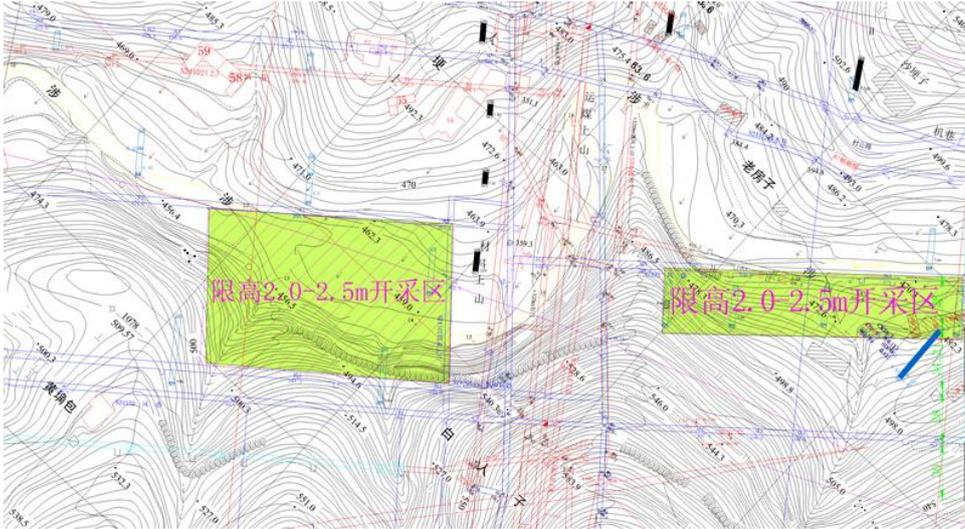
图 8.4 相似材料模拟实验模型形态示意图

8.2 案例实际应用效果简介

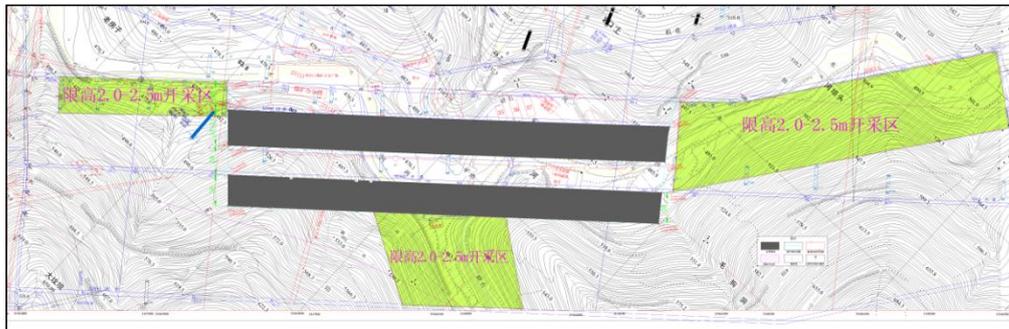
以石炭沟河水为主要防治对象，应用协调限高开采方法，结合河道设排导渠工程措施，确保矿井安全生产。河道在开采边界内外侧 30m 范围区域，实施限高开采，同时对河道以外开采形成的地表大裂缝，进行实时填堵，防止地表水涌入井下，控制减小地表水渗入量，降低矿井排水费用。跟踪监测河道受开采影响及其河水的下渗量，及时对河道贯通性导水裂缝进行填堵，必要时构筑河道防洪排导渠，保证矿井生产安全。对两河口煤矿建筑物应用条带开采理论，计算确定条带开采方案。加强井下防水、排水设施管理，制定突水灾害安全预案。

根据计算分析，如果开采厚度为3m，开采后导水裂隙带将波及整个河道部分；如果开采厚度为2m，开采后导水裂隙带将局部波及河道的结论，对应河道分布剖面图，确定局部限高协调开采范围。

当河道位于开采边界内侧30m~外侧30m范围，且开采深度小于75m时，进行局部限高2.0~2.5m开采。当河道位于开采边界内侧30m~外侧30m范围，且开采深度在75~100m范围时，进行局部限高2.5~3.0m开采。限高开采范围以河道中心向两侧延伸距离按开采深度一半计算(0.5H)，一般可取30~40m。当河道位于开采工作面中心位置，在河道两侧30m范围按3.0m限高开采。在距河道40m以外区域，采用一次采全高进行非限高开采。



(a) 两河口以西范围平面示意图



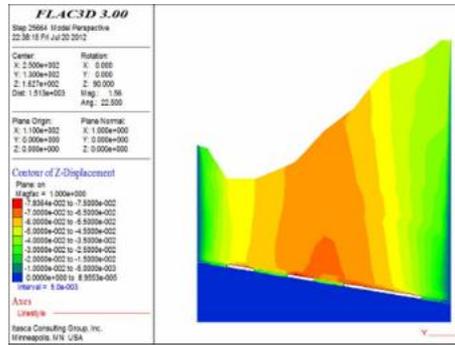
(b) 两河口以东范围平面示意图

图 8.5 石炭沟河下主要限高开采区域示意图

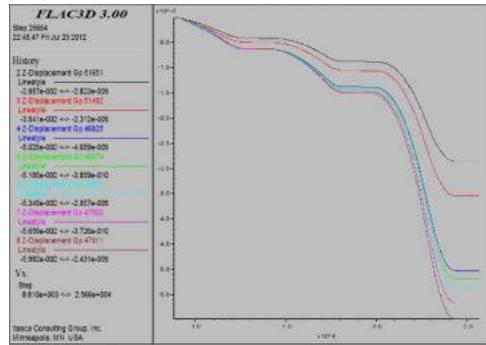
两河口煤矿保护煤柱范围涉及地表建筑物及两河口煤矿井筒两部分，考虑满足走向条带综采工作面的基本要求，确定的条带开采宽度较常规条件下要宽。地表建筑物可能会出现较小的裂缝破坏，但不会引起人身安全事故。因此，在开采期间应加强地表移动破坏监测，便于根据实际情况及时调整条带开采宽度。

根据开采煤层埋深及煤层厚度、倾角等条件，初步确定走向条带开采采宽、留宽，拟布置方案为：留宽35m，分别计算采25m、28m、30m时煤柱的稳定性。留宽30m，分别计算采25m、28m、30m时煤柱的稳定性。留宽25m，分别计算采25m、28m、30m时煤柱的稳定性。根据威尔逊理论，煤柱的塑性宽度约为 $0.005mH$ ，取 $m=3.5$ ， $H=110m$ ，得煤柱塑性宽度约为4m，煤柱的85%处于弹性状态，煤柱具有较好的支撑能力与长期的稳定性。上述计算结果表

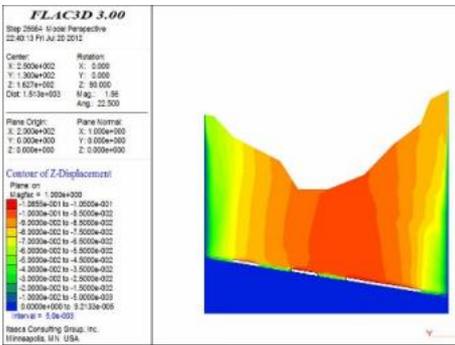
明, 采用采宽 $b=28\text{m}$ 、留宽 $a=35\text{m}$ 方案, 符合煤柱稳定性的常规要求, 即: 煤柱长宽比 >3 ; 煤柱宽高比 >5 ; 安全系数 $k=2.28>1.5$; 稳定煤柱的核区率 $\rho=0.85>0.65$; 因而确定采宽 $b=28\text{m}$ 、留宽 $a=35\text{m}$, 满足煤柱长期支撑稳定性要求。



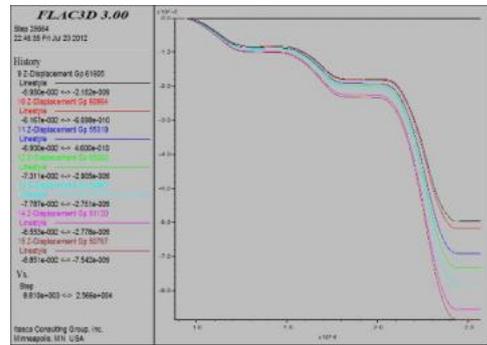
开采后 A-A 剖面岩层移动云图



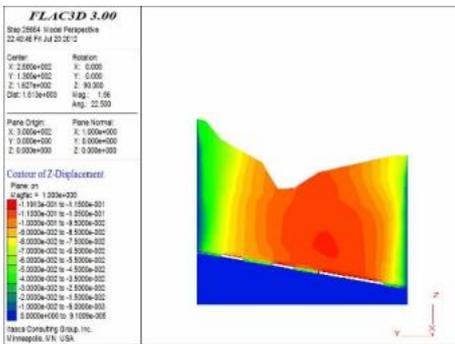
开采后 A-A 剖面地表移动



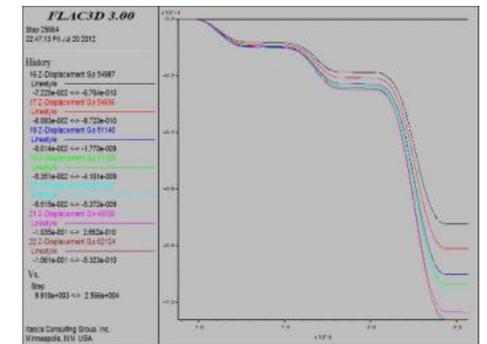
开采后 B-B 剖面岩层移动云图



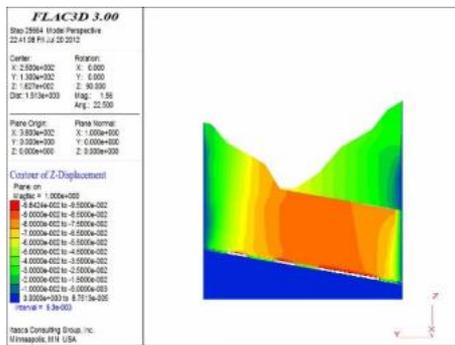
开采后 B-B 剖面地表移动



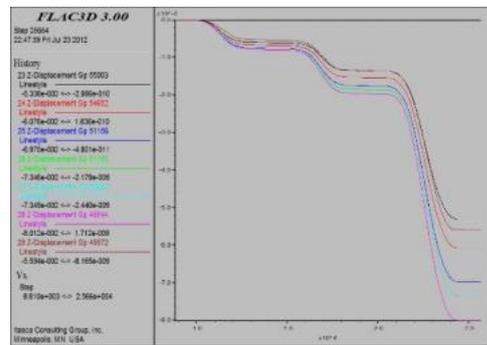
开采后 C-C 剖面岩层移动云图



开采后 C-C 剖面地表移动



开采后 D-D 剖面岩层移动云图



开采后 D-D 剖面地表移动

图 8.6 走向条带开采数值模拟分析

模拟结果表明：开采煤层上覆岩层呈整体移动，地表下沉值在保护建筑物范围均在 100~120mm 以内。说明煤柱支撑强度足够，覆岩形成连续拱形式，地表建筑物受开采影响能够保证在 I 级破坏范围以内。地表下沉盆地比较平缓，未出现波浪形态的地表下沉；再次验证了该条带开采方案的可靠性。

按条带开采宽度 28m（包括顺槽），煤层顶板垮落角度 65°估算，条带开采覆岩成拱高度不超过 30m，且飞仙关一段存在厚度较大的坚硬岩层起到关键层的控制作用，能够有效控制地表移动变形，达到保护建筑物的安全。

根据保留条带稳定性计算表明，条带具有足够的支撑能力和长期的稳定性。但是开采宽度较常规开采要大得多，因此在开采实施中第一开采条带按 28m 宽度开采，根据开采后地表显现和对建筑物的影响，确定对第二开采条带宽度是否进行调整。

通过概率积分法预计条带开采地表移动变形极值，表明开采后地表建筑物保护范围的地表移动变形值小于 I 级破坏，能够保证 90%左右的建筑物不受损。极个别建筑物可能会出现较小的裂缝，不影响正常使用，必要时进行维修即可。

综上所述，可以确定条带开采采宽 28m，留宽 35~30m 方案是安全可靠的，建议在 N24102 上工作面试采期间，加强两河口煤矿地表建筑物监测，以便在出现特殊情况下，采取相应的安全处置措施。在 N24102 上工作面试采期间如果河道渗漏严重，则必须采取河道防护措施；如果河道防护工程无法实施，则应在对应河道两侧各 30~40m 范围降低开采高度（2.5~2.0m）。为了实现在石炭沟河下安全开采，建议在开采过程中对河床和河床附近部分山体进行监测，适时进行山坡裂缝充填、山体危岩清理处置。合理安排开采时间，确保河下开采时间避过雨季汛期。由于两河口煤矿工业广场保护范围受到上部早期开采影响，在第一条带开采后，如果地表建筑物出现小的裂缝破坏，则第二条带开采工作面宽度应缩短至 25m 以内。

8.3 支撑材料

《川陕集团杉木树煤矿石炭沟河下安全开采》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第四章 特殊条件下的地表移动变形预计、第六章 计算机计算模拟方法、第七章 相似材料模拟实验、第十章 水体下开采技术等，其中涉及相关知识点分别为：

第四章 特殊条件下的地表移动变形预计

- 1、条带开采设计原则；
- 2、条带开采采、留宽度确定；
- 3、条带开采地表移动变形预计。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、数值计算模拟方法；
- 2、影响函数模拟计算方法。

第七章 相似材料模拟方法

- 1、相似材料模拟实验；
- 2、相似材料模拟法应用实例。

第十章 水体下开采

- 1、防水煤岩柱的留设；
- 2、水体下开采技术措施。

（九）案例 9

9.1 案例名称：亭南煤矿工作面导水裂缝带高度观测

案例以亭南煤矿 106 工作面开采为研究对象，研究亭南煤矿地质、地形条件下的厚煤层综放开采引起上覆岩层中的“三带”形成的机理、高度和范围。通过井下仰孔注水测漏方法确定开采煤层覆岩断裂导水裂缝带的高度，给出适合亭南煤矿 8 煤层应用放顶煤开采条件下的覆岩断裂导水裂缝带高度预计公式。结合相似材料物理模拟试验，确定煤层覆岩冒落带、断裂导水裂缝带的高度、范围和分布规律，为亭南煤矿“三下”开采提供基础计算依据。

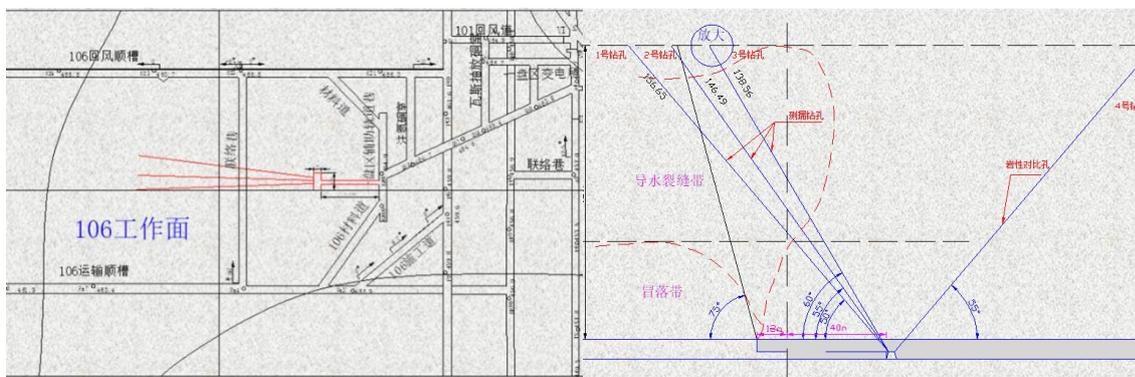
井下仰孔注水测漏法是采用钻孔双端封堵测漏装置探测两带高度的一种较新的探测方法。观测过程如下：首先进行观测孔施工，钻孔使用专用的钻孔机进行，由于钻孔的下端为实体煤层，所以钻孔施工中首先要进行孔口处理，先用 130 钻头施工 10m 左右，然后视其稳定情况适当注浆加固，岩体（煤）加固后，在孔口位置植入 120 套管，此后以 107 钻头向深部钻孔进行施工，当孔深达到要求后，拆卸钻杆。拆卸钻杆完毕后，将两端封堵测漏装置加在钻杆顶部，续接钻杆靠钻机的推力向孔的深部送进，同时以卡带连接固定好送气管。钻杆向深部送进时保持非旋转推进方式进行。观测装置送入观测孔底部位置后，连接供水限压控制系统；供气限压控制系统，测试是否运行正常。测试运行正常后，进行加压测试。

通过井下仰孔注水测漏法观测得出：1 号测孔的导水裂缝带高度为 96.5m，采裂比为 12.85；2 号测孔的导水裂缝带高度为 108m，采裂比为 13.30；3 号测孔的导水裂缝带高度为 106.06m，采裂比为 12.93；导水裂缝带最大高度位于采空区内侧 26m 左右的充分放煤区边界，符合覆岩上硬下软岩性组合的条件下放顶煤开采覆岩破坏发育基本规律；导水裂缝带形态为两边高中间低的“马鞍型”，即：最大导水裂缝带高度位于靠近开采采空区内边界一侧，采空区中央的导水裂缝带平缓且发育较低；观测工作面（106 工作面）开采的最大采裂比为 13.30，最小采裂比为 12.85，低于特厚煤层分层开采的情况；依据《建筑物、水体、铁路下及井巷煤柱留设规程》的有关防水煤岩柱安全厚度的要求，在亭南煤矿的地质、采矿条件下，当采用放顶煤开采方法在水体下开采时，安全防水煤岩柱的厚度为预计的导水裂缝带高度加上 3 倍的采放高，即 16.3 倍的采放高。

相似模型试验是以亭南煤矿一盘区 106 工作面地质、地形条件为模拟对象，模拟长为 116m 的工作面厚煤层走向长壁综放顶煤开采引起上覆岩层中的冒落带、断裂导水裂缝带、弯曲下沉带形成的高度和范围，得出煤层开采初次来压步距和周期来压步距。模拟区域煤层的平均埋深为 480m，从地表至煤层底板共 31 个岩层和 1 个黄土层，其中：黄土层厚度 91m，基岩厚度 389m。基岩中有些岩层厚度较小或有的岩层和相邻岩层的岩性相近按同一岩层处理，最后共折合了 9 个岩层和一个黄土层，其中考虑到主要模拟基岩上部关键层的稳定条件和模型稳定性对高度的要求，黄土层的一部分由加配重方法处理。根据相似模拟试验要求，确定的试验采用长 300cm，高 150cm，宽 20cm 的模型架。模型比例 1：150，模型装架高度为 44cm。经过相似材料模拟实验得出以下结果：（1）本工作面上覆基岩属坚硬岩石，当煤层开采 8m 时，初次来压为步距约为 45m 左右，周期来压步距在 25~32m 之间，冒落带高度约为 40m 左右，导水裂缝带的高度约为 114m 左右。（2）根据模型上的断裂尺寸量出破断角约为 $70^{\circ}\sim 65^{\circ}$ ，按 8m 采高、15 倍断裂导水裂缝带高度计算，106 工作面沿走向推进尺寸达到 172m 以上时就达到充分采动。相似材料模拟结果的裂缝带高度约为 114m，采裂比 14.25，与现场实测结果的换

算同厚度裂缝带最大高度 106.4m 相近。(3) 由于采放高度较大, 所以开采引起的裂缝带边界比一般分层开采条件下的裂缝带边界角陡立, 最大导水裂缝带位于采空区边界的内侧, 裂缝带呈马鞍型分布。

为了获得导水裂缝带最大高度, 除了采用现场实测的方法, 还可通过理论分析计算覆岩导水裂缝带高度, 本课题拟采用变形分析方法确定导水裂缝带的顶点, 由于导水裂缝带内的岩层保持原有的层次, 且位于导水裂缝带顶点内的岩层只是产生微小开裂而不断开, 因此仍可以用固支梁力学模型来分析水平拉伸变形。综合变形分析计算结果, 可以看出在 106 工作面覆岩的岩层中, 序号为 14 的粗粒砂岩分层厚度为 14.4m, 其产生临界水平拉伸变形值时该岩层岩梁的跨距为 154.1m, 在该临界跨距下的最大挠度远大于其最大允许下沉空间, 离煤层顶板较远, 抑制了导水裂缝带向上发展; 序号为 19 和 20 的岩层由于其产生最大水平拉伸变形值时的岩梁挠度小于其最大允许下沉空间, 因此该梁岩层最终会因产生断裂破坏而导水。106 工作面覆岩中序号为 14 的粗粒砂岩为抑制导水裂缝带向上发展的“关键层”, 因此在 106 工作面开采 8m 厚煤层的条件下, 引起覆岩最大断裂导水裂缝带高度为 106.4m, 小于理论预计的 158m。

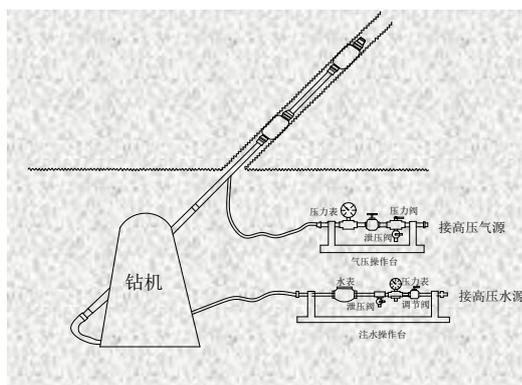


观测钻孔平面位置示意图

钻孔剖面布置参数

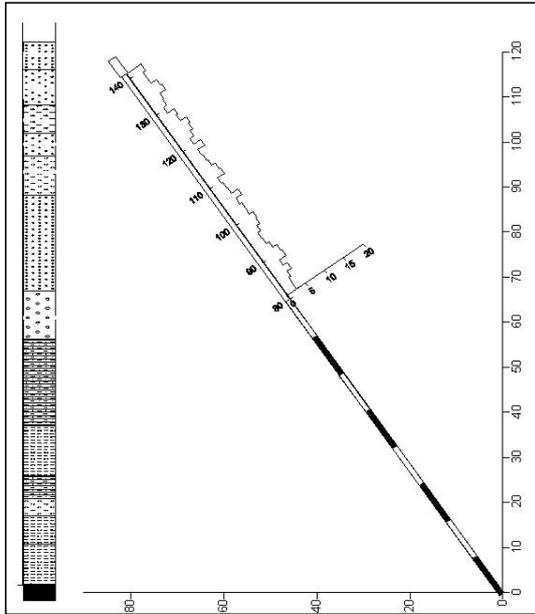


煤矿覆岩导水裂缝带仰孔观测仪的研发

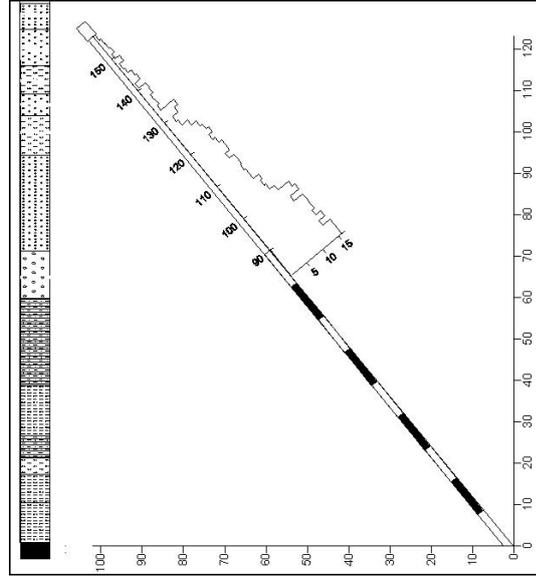


导水缝观测原理图

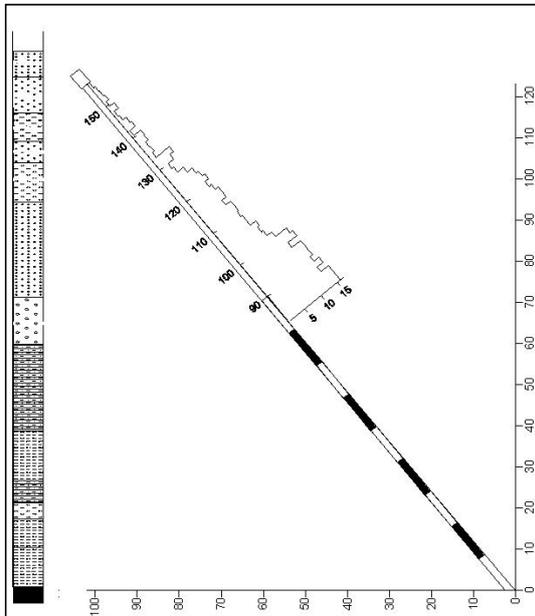
图 9.1 导水钻孔及原理示意图



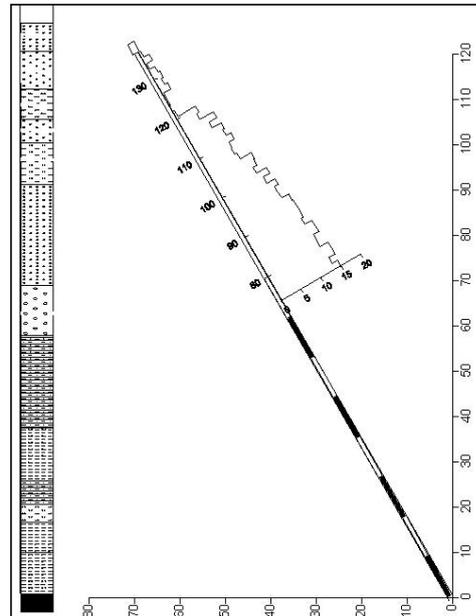
对比孔注水流量变化对比图



50°观测孔净水流量变化梯度图

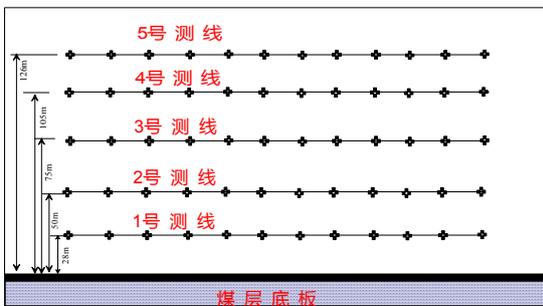


55°观测孔净水流量变化梯度图



60°观测孔净水流量变化梯度图

图 9.2 不同角度测孔净水流量变化梯度图



模型观测线布设示意图



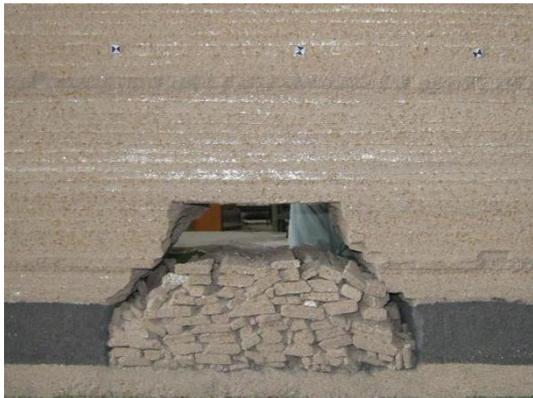
相似材料模拟实验全景



开挖 30m 时，覆岩垮落形态图



开挖 45m 时，覆岩垮落形态图



开挖 54m 时，覆岩垮落形态图



开挖 84m 时，覆岩垮落形态图



开挖 114m 时，覆岩垮落形态图



开挖 144m 时，覆岩垮落形态图



开挖 172m 时，覆岩垮落形态图



开挖 202m 时，覆岩垮落形态图

图 9.3 相似模拟实验图

9.2 案例实际应用效果简介

以 106 工作面开采引起覆岩破坏为研究对象。研究采用井下仰孔注水测漏试验观测方法结合相似材料模拟试验和理论分析方法，综合分析研究了亭南煤矿 106 工作面开采所引起覆岩“三带”分布形态、特征及其预计参数，主要研究结论如下：

(1) 亭南煤矿 106 工作面 1 号测孔的导水裂缝带高度为 96.5m，采裂比为 12.85；2 号测孔的导水裂缝带高度为 108m，采裂比为 13.30；3 号测孔的导水裂缝带高度为 106.06m，采裂比为 12.93。开采的最大采裂比为 13.30，最小采裂比为 12.85，低于特厚煤层分层开采的采裂比。

(2) 导水裂缝带最大高度位于采空区内侧 26m 左右的充分放煤区边界，符合覆岩上硬下软岩性组合的条件下放顶煤开采覆岩破坏发育基本规律。

(3) 导水裂缝带形态为两边高中间低的“马鞍型”，即：最大导水裂缝带高度位于靠近开采采空区内边界，采空区中央的导水裂缝带平缓且发育较低。

(4) 经过相似材料模拟试验得出：当煤层开采 8m 时，初次来压为步距约 45m 左右，周期来压步距在 28~32m 之间；冒落带高度约为 40m，导水裂缝带的高度为 114m，与井下观测结果相接近；岩层破断角为 70°~65°，导水裂缝带形态异为两边高中间低的“马鞍型”。

(5) 经过对覆岩断裂导水裂缝带高度理论分析得出：在亭南 8 号煤层上覆岩层中岩层序号为 14 的粗粒砂岩，由于其产生临界水平拉伸变形值时岩梁的挠度大于其最大允许下沉空间，其产生临界水平拉伸变形值时该岩层岩梁的跨距大于工作面的推进距离，从而能够有效的起到阻隔导水裂缝带向上进一步发展的作用。结果表明在亭南矿井地质开采条件下，对于不同的开采高度，可以借助于导水裂缝带发育高度理论分析方法，确定限制导水裂缝带发育高度的关键层位。

(6) 在亭南煤矿的地质、采矿条件下，当采用放顶煤开采方法在水体下开采时，可按 16.3 倍的采放高设计安全防水煤岩柱的厚度。

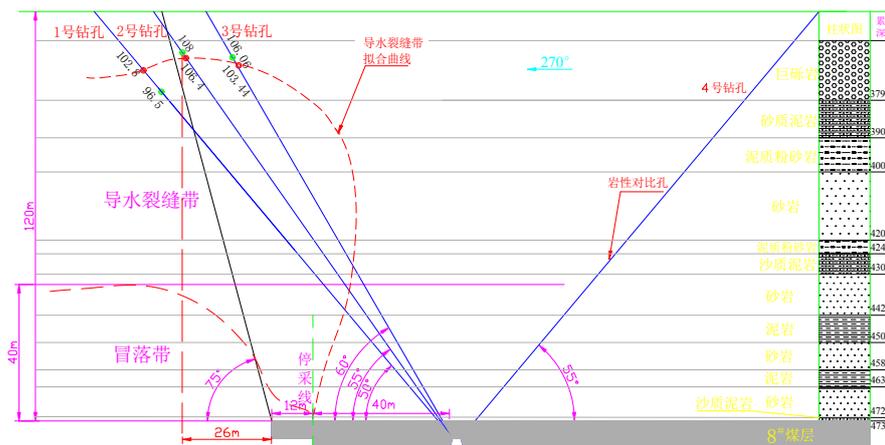


图 9.4 106 工作面冒裂带分布形态分析图

9.3 支撑材料

《亭南煤矿 106 工作面倒水裂缝带高度观测》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第三章 采动覆岩内部移动变形预计、第五章

采动损害的观测研究方法、第七章 相似材料模拟方法、第十章 水体下开采等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、覆岩“三带”特征及在开采损害防治中的重要性；

第三章 采动覆岩内部移动变形预计

- 1、覆岩内部移动变形与地表移动变形参数间的关系；
- 2、采动引起覆岩内部的移动变形规律。

第五章 采动损害的观测研究方法

- 1、井下仰孔注水测漏法设计。

第七章 相似材料模拟方法

- 1、相似材料模拟实验；
- 2、相似材料模拟法应用实例。

第十章 水体下开采

- 1、水体下开采技术措施。

(十) 案例 10

10.1 案例名称：覆岩导水裂缝带发育高度预计与模拟研究

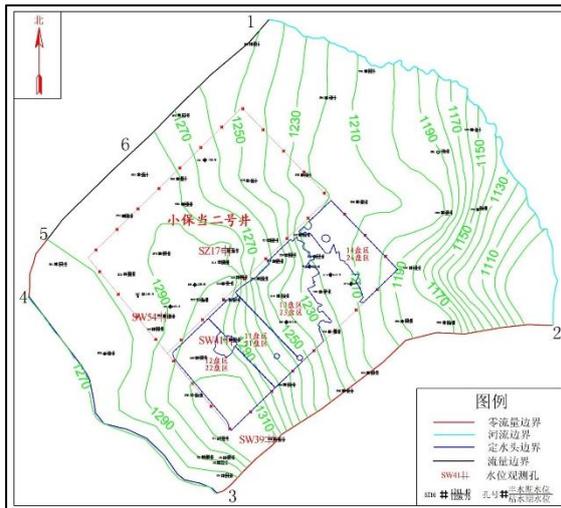
案例以榆神矿区小保当煤矿为研究对象，针对矿区生态环境保护体系建设进行研究，通过现场调研，收集研究区域相关采矿及水文地质资料，获取矿区开采工作面的具体开采参数及煤层上覆岩岩性特征，进行地表岩移观测、地下水动态监测、大气污染源在线监测、生态环境监测及水污染源监测的基础上。根据矿区地质资料和开采参数，引入地表沉陷预测模型和地下水数值模型，分析模型数据并提出建设期开采对地下水影响分析与防治对策。在数值模型研究的基础上，进行生态环境模型识别及验证，提出煤炭开采对地下水水位的影响预测。

通过概率积分法计算得到：一阶段开采后地表沉陷面积 36.35km^2 ，地表下沉量最大值为 6546.1mm ，倾斜变形量最大值为 38.0mm/m ，水平变形量最大值为 17.3mm/m ，主要影响半径确定为 $89.3\sim 165.2\text{m}$ 。二阶段（21.1 年）煤层开采地表沉陷面积 58.15km^2 ，地表下沉量最大值为 7356.6mm ，地表倾斜变形量最大值为 62.5mm/m ，地表水平变形量最大值为 28.5mm/m ，主要影响半径确定为 $81.9\sim 165.2\text{m}$ 。前 51.1 年一水平煤层开采沉陷区面积为 60.06km^2 ，地表下沉量最大值为 7356.6mm ，地表倾斜变形量最大值为 62.5mm/m ，地表水平变形量最大值为 28.5mm/m ，主要影响半径确定为 $81.9\sim 165.2\text{m}$ 。51.1~73.8 年一水平煤层开采沉陷区面积为 25.03km^2 ，地表下沉量最大值为 9977.0mm ，地表倾斜变形量最大值为 59.6mm/m ，地表水平变形量最大值为 27.2mm/m ，主要影响半径确定为 $160.6\sim 178.0\text{m}$ 。从总体来说，煤炭开采地表沉陷对小保当井田区域内总体地形地貌影响相对较小。

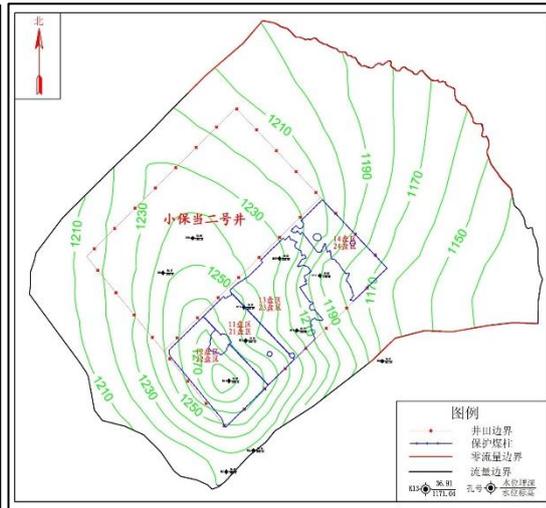
采用《煤矿床水文地质、工程地质及环境地质勘查评价标准》给出的公式进行冒落带高度预测，在《榆神矿区三期规划区煤炭开采对水资源影响评价》报告中，确定研究区域导水裂缝发育高度为 26.5 倍采高，此结果与榆阳煤矿 2304 工作面现场实测的导水裂缝带发育高度结果（24.2~27.5 倍采高）相符，具有合理性、代表性。

经计算，确定该研究区域导水裂缝带高度预测结果为 $21.2\sim 185.2\text{m}$ ，导水裂隙带发育最大高度所处位置同保德组隔水层底板所处位置距离差值大于 20m ，所以煤层开采导水裂隙不会直接影响保德组隔水层以及潜水含水层结构，也不会直接影响第四系潜水含水层。

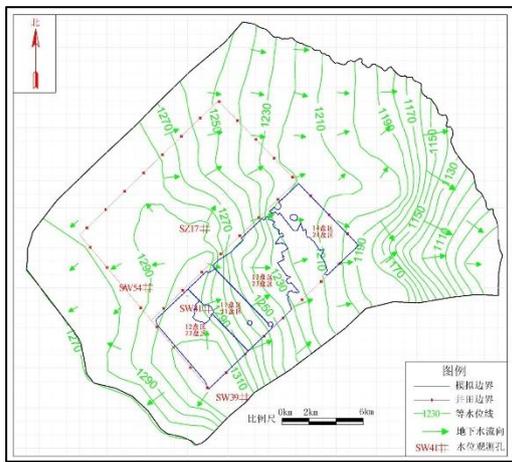
为了分析煤炭开采对于第四系含水层的水位及水量的影响，研究应用 Visual MODFLOW 模拟软件，对小保当煤矿煤层开采地表沉陷诱发含水层流场和水量的变形进行了模拟分析。在综合考虑研究区域的水文地质条件、井田范围内地表地形地貌以及所处第四系流场等因素的基础上，确定模拟区域边界条件，模拟区域经确定总面积大约为 657.29km^2 ，南北最宽可以达到 31km ，东西最长可以达到 35km 。针对研究区域内含水介质的剖分，通过采用等间距有效差分的离散方法进行确定，网格单元确定为： $184\times 166\times 5$ （行 \times 列 \times 层），单元 $Y=4290000$ ， $X=19400000$ 。由于采煤引起的矿井涌水即为地下水流失量，根据设计资料，矿井正常涌水量为 $21600\text{m}^3/\text{d}$ ，按一年 365 天计时，研究区地下水流失量为 788.4 万 m^3/a 。数值模拟预测结果显示，一水平煤层开采各开采时段采煤结束以后第四系含水层地下水最大越流增加量为 $6.4724\times 106\text{m}^3/\text{a}$ ，所占矿井涌水量百分比为 82.10% 。



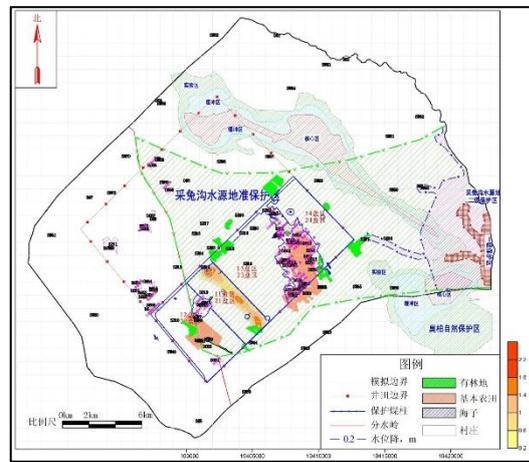
潜水流场及边界类型划分图



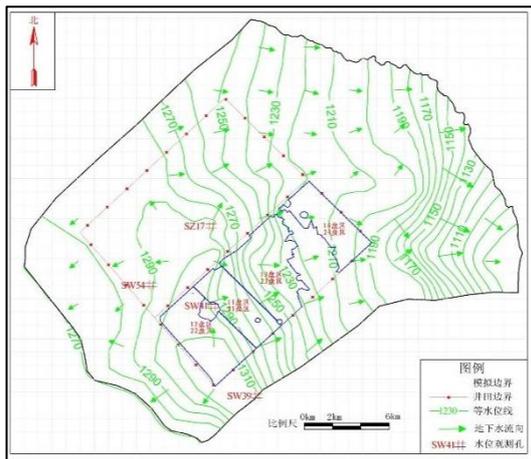
承压水流场及边界类型划分图



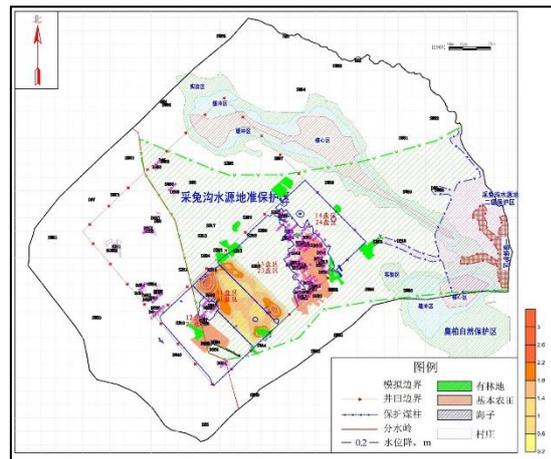
第5年潜水流场



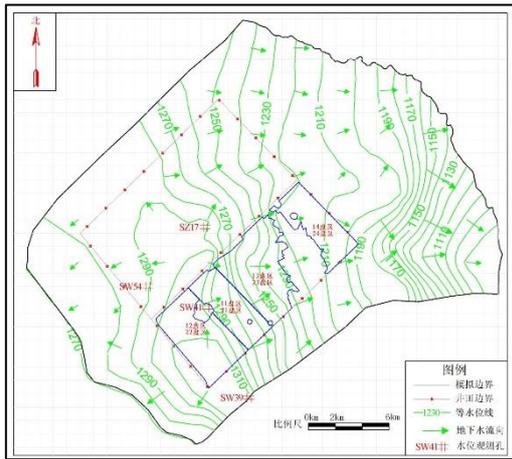
潜水第5年水位降幅及分布



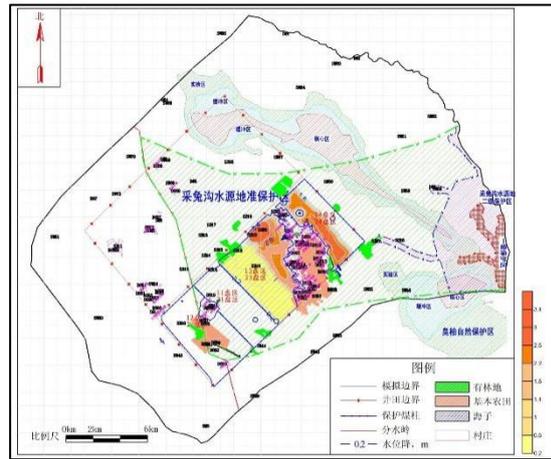
第12年潜水流场



潜水第12年水位降幅及分布



第 51 年潜水流场



潜水第 51 年水位降幅及分布

图 10.1 不同时间潜水流场示意图

10.2 案例实际应用效果简介

研究区域内生态环境信息的获取主要通过采用遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 等高新技术。以 2013 年 9 月的资源三号卫星多光谱图像 (分辨率 5.8m) 为信息源与同卫星同时相的全色波段 (分辨率 2.1m) 进行融合, 在收集和分析前人工作的基础上, 建立各生态环境因子的遥感影像特征, 并进行了野外调查验证; 依靠 MAPGIS 软件, 通过利用人机交互解译方法进而获取研究区域生态环境信息。针对研究区域生物多样性, 采用样方调查方式进行了调查。

基于生态环境现状调查, 结合研究区域的地质环境特征, 采用概率积分法预测煤层开采地表沉陷相关数据; 采用专业软件模拟煤层开采并绘制地表移动变形等值线; 采用《三下采煤规程》以及其它相关构筑物保护要求对井田构筑物损害进行评价, 并提出保护要求; 根据国家及地方生态环境保护保护相关要求, 提出矿区生态环境综合治理方案。

通过与国内其他矿区、邻近矿区矿井进行环境经济损益对比结果表明: 该矿井环境成本处于中上水平, 相对其他矿井, 环境成本比较高; 本矿井经济效益系数为 0.41 元/元, 表明在矿井运营期每付出 1 元环境保护费用后, 在煤炭开采与生态环境保护相协调的情况下, 又挽回了约 0.41 元经济效益, 其环境经济具有一定程度的可行性。

通过采取水土流失控制措施、土地复垦与生态重建措施, 一方面, 减少因施工或地表沉陷造成的地表裸露、裂缝、滑坡, 以及由此而造成的水土流失加剧, 土壤风蚀沙化; 另一方面, 提高林草植被覆盖率, 减少土壤侵蚀量; 通过土地复垦与生态重建改善土壤物理化学性状, 改善生态环境。

通过对小保当煤矿一号矿井当前煤炭开采对生态环境影响因素进行分析, 在国家产业政策、环境保护政策和矿区总体规划基础上, 采用设计和评价提出完善的污染防治、沉陷治理及生态恢复措施, 将矿区的生态环境污染可降到当地环境可接受的程度。研究得出的主要结论有:

(1) 以小保当煤矿的地质资料为基础, 分析总结了小保当煤矿开采生态环境主要影响因素为: 地下水、地表沉陷及环境污染; 对于煤矿开采所带来的生态环境污染问题, 给出了具体的防治措施;

(2) 结合小保当煤矿当前开采对生态环境的影响, 建立了地表沉陷预测模型, 得出一阶段

沉陷区面积 36.35km²，平均沉陷面积 3.08km²/a，当沉陷区土壤侵蚀加速值取 3 时，研究区域平均土壤侵蚀模数值为 9970t/a.km²，井田一阶段煤炭开采新增土壤侵蚀量约为 18424.6t/a；

(3) 建立了预测导高水文地质概念模型，得出了导高发育高度为 21.2~185.5m，不会对保德组隔水层、潜水含水层结构以及第四系潜水含水层造成直接影响；

(4) 使用模拟软件 Visual MODFLOW 建立研究区域地下水流数值模型，数值模拟预测结果显示，一水平煤层开采各开采时段采煤结束以后第四系含水层地下水最大越流增加量为 6.4724×106m³/a，所占矿井涌水量百分比为 82.10%。

(5) 在生产过程中，通过采取有效可行的污染防治措施，污染物排放总量满足当地环保部门总量控制要求。同时，在矿井投产前后，矿井生产生活用水对红石峡水源地和采兔沟水源地原有水资源的影响不大，有效地保护了矿区生态水位。

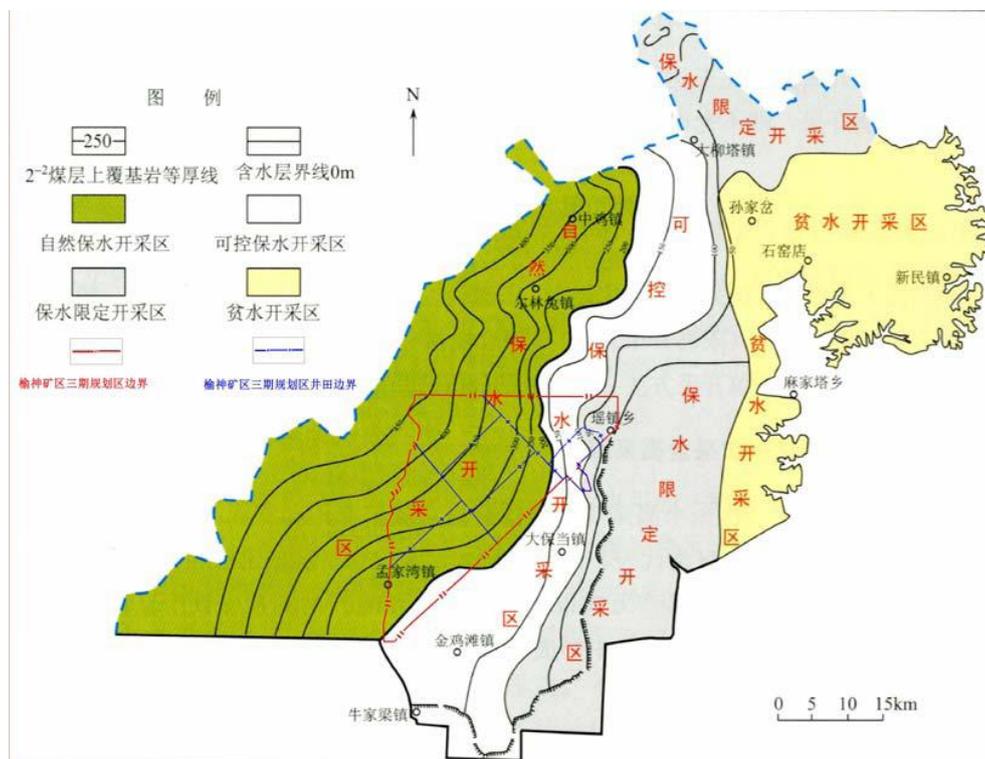


图 10.2 陕北生态脆弱区保水开采条件分区

10.3 支撑材料

《小保当煤矿试采损害监测及水资源与生态环境》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第六章 计算机计算模拟方法、第十章 水体下开采、第十二章 开采对矿产资源的破坏及保护、第十三章 开采对土地资源的损害及保护等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、覆岩“五区”和“三带”的定义；
- 2、覆岩“三带”特征及在开采损害防治中的重要性；
- 3、采动上覆岩层移动破坏的六种形式。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定；
- 4、如何利用叠加原理，进行有限开采时地表移动盆地主断面的移动变形预计。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、数值计算模拟方法。

第十章 水体下开采

- 1、水体下开采技术措施。

第十二章 开采对矿产资源的破坏及保护

- 1、开采对矿产资源的破坏；
- 2、矿产资源的保护。

第十三章 开采对土地资源的损害及保护

- 1、开采对土地资源的损害；
- 2、矿区土地资源保护土地复垦。

(十一) 案例 11

11.1 案例名称：董东煤矿开采对渭南光伏领跑者 4# 升压站的开采损害预计与评价

案例以渭南光伏领跑者 4# 升压站为研究对象，4# 升压站位于董东煤矿 501 采区上部，若不受下部煤层采动影响，需董东煤矿在开采 50110、50118 和 50120 工作面时留设 4# 升压站保护煤柱。留设 4# 升压站保护煤柱将对董东煤矿生产正常接续造成较大影响，且留设的保护煤柱压煤量较大（约 90 余万吨），因此董东煤矿无法按照项目的建设要求为其建设的 4# 升压站留设保护煤柱，将按照原计划正常进行 50110、50118 和 50120 工作面回采。经技术人员现场踏勘结果表明：董东煤矿目前的工作面回采已于地表产生台阶下沉，将来 50110、50118 和 50120 工作面开采，必然对 4# 升压站造成较大影响。故需要对董东煤矿开采对渭南光伏领跑者 4# 升压站位置的移动变形进行预计与评价。

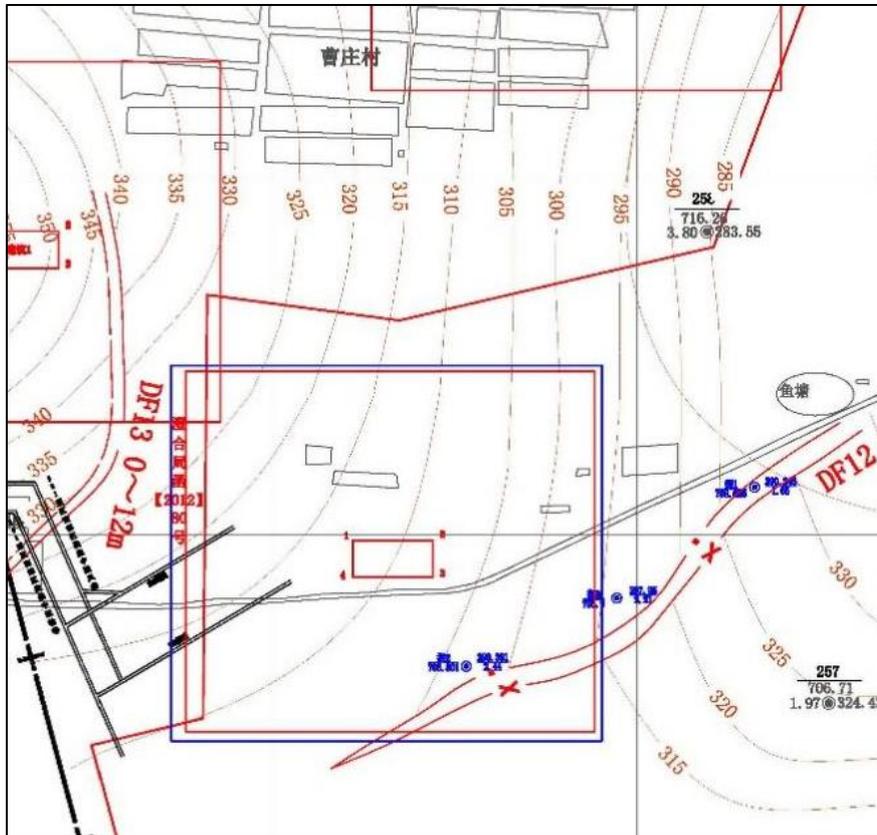


图 11.1 董东煤业采掘平面图

因此，以董东煤矿现场提供的综合柱状图、实际采掘资料和邻近煤矿现场实测的地表岩移参数（参照权家河煤矿村庄下采煤观测报告）为基础，根据保护煤柱的留设原理及方法，确定 4# 升压站留设保护煤柱的范围。50110 工作面开采时，开采范围为极不充分采动；50110 和 50118 两个工作面开采时，开采范围近似为充分采动；50110、50118 和 50120 三个工作面开采时，开采范围达到为充分采动。利用开采损害软件对 4# 升压站位置的地表岩移规律进行模拟，分别预计 50110、50118 和 50120 三个工作面开采对渭南光伏领跑者 4# 升压站的影响，并分别给出每种情况下对应的下沉 w 、水平移动 u 、倾斜 i 、水平变形 ϵ 及曲率 k 等值线图。并且结合工作面开采地表沉陷及损害情况，对预计结果进行分析并提出建议，为合理确定董东煤矿开采对

渭南光伏领跑者 4# 升压站方案提供相关参数与科学依据。

50110 工作面开采时，开采范围为极不充分采动，概率积分参数取值为：下沉系数 $q=0.7$ ，水平移动系数 $b=0.36$ ，岩层移动角选取按 71° ，松散层移动角按 50° 选取，采深、岩性时间参数 $c=2.5$ ，平均开采厚度 $m=3.5\text{m}$ ，地表标高 706m ，煤层标高 290m ，煤层倾角 $3^\circ\sim 6^\circ$ ，黄土覆盖层厚度约为 138m ，黄土覆盖层底部至 5 号煤顶面基岩层厚度约为 278m 。

50110 和 50118 两个工作面开采时，开采范围近似为充分采动，概率积分参数取值为：下沉系数 $q=0.7$ ，水平移动系数 $b=0.36$ ，岩层移动角选取按 71° ，松散层移动角按 50° 选取，采深、岩性时间参数 $c=2.5$ ，50110 工作面平均开采厚度 $m=3.5\text{m}$ ，50118 工作面平均开采厚度 $m=2.44\text{m}$ ，地表标高 706m ，煤层标高 290m ，煤层倾角 $3^\circ\sim 6^\circ$ ，黄土覆盖层厚度约为 138m ，黄土覆盖层底部至 5 号煤顶面基岩层厚度约为 278m 。

50110、50118 和 50120 三个工作面开采时，开采范围达到为充分采动，概率积分参数取值为：下沉系数 $q=0.7$ ，水平移动系数 $b=0.36$ ，岩层移动角选取按 71° ，松散层移动角按 50° 选取，采深、岩性时间参数 $c=2.5$ ，50110 工作面平均开采厚度 $m=3.5\text{m}$ ，50118 和 50120 工作面平均开采厚度 $m=2.44\text{m}$ ，地表标高 706m ，煤层标高 290m ，煤层倾角 $3^\circ\sim 6^\circ$ ，黄土覆盖层厚度约为 138m ，黄土覆盖层底部至 5 号煤顶面基岩层厚度约为 278m 。

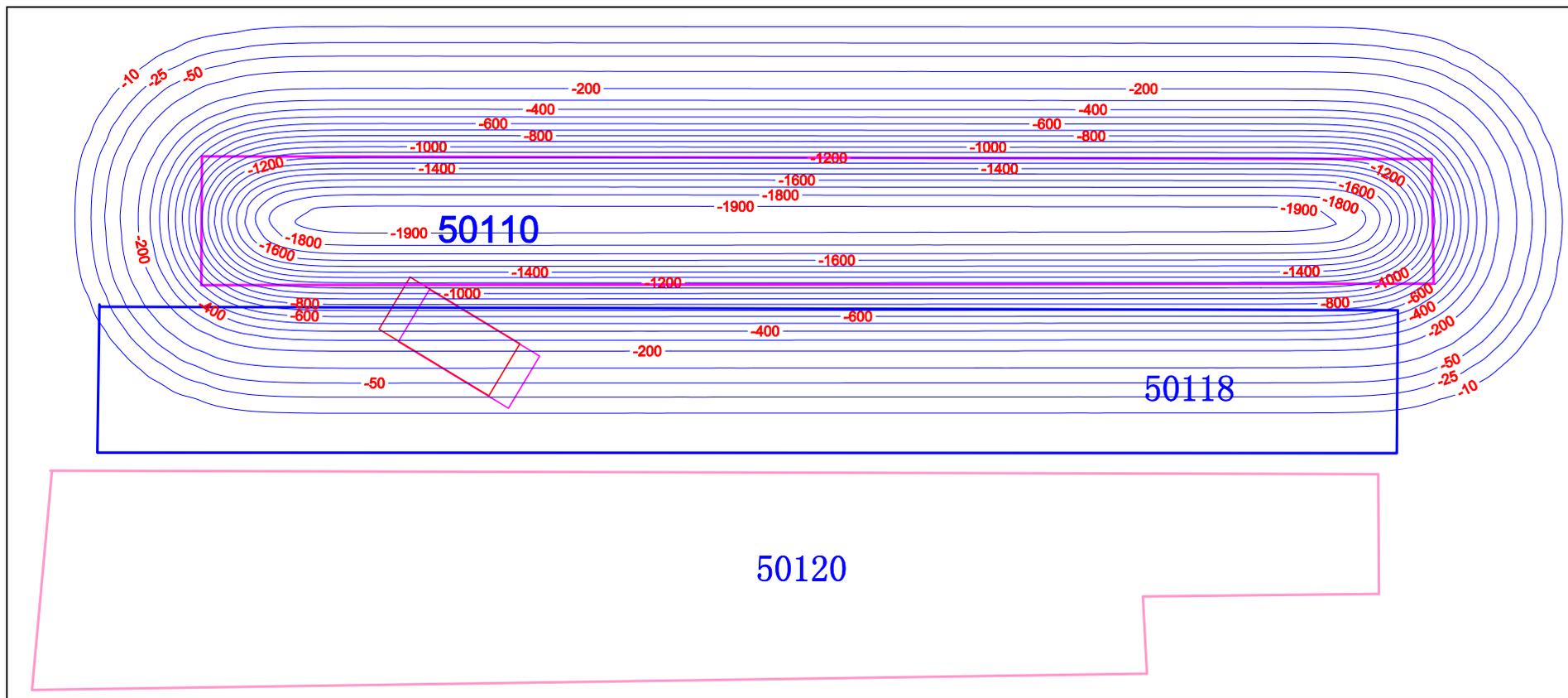


图 11.2 50110 工作面开采时地表下沉等值线图

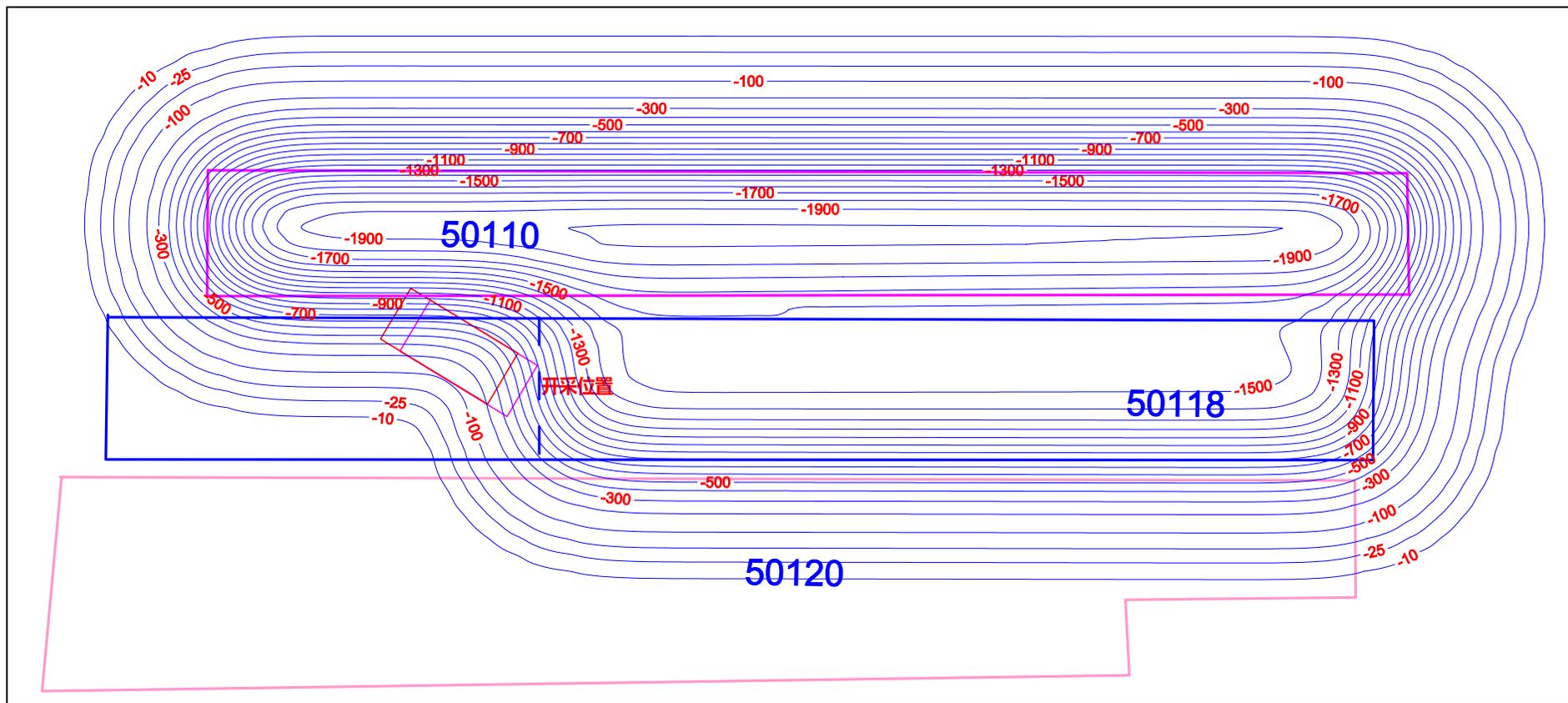


图 11.3 50118 工作面推进至 4# 升压站位置时地表下沉等值线图

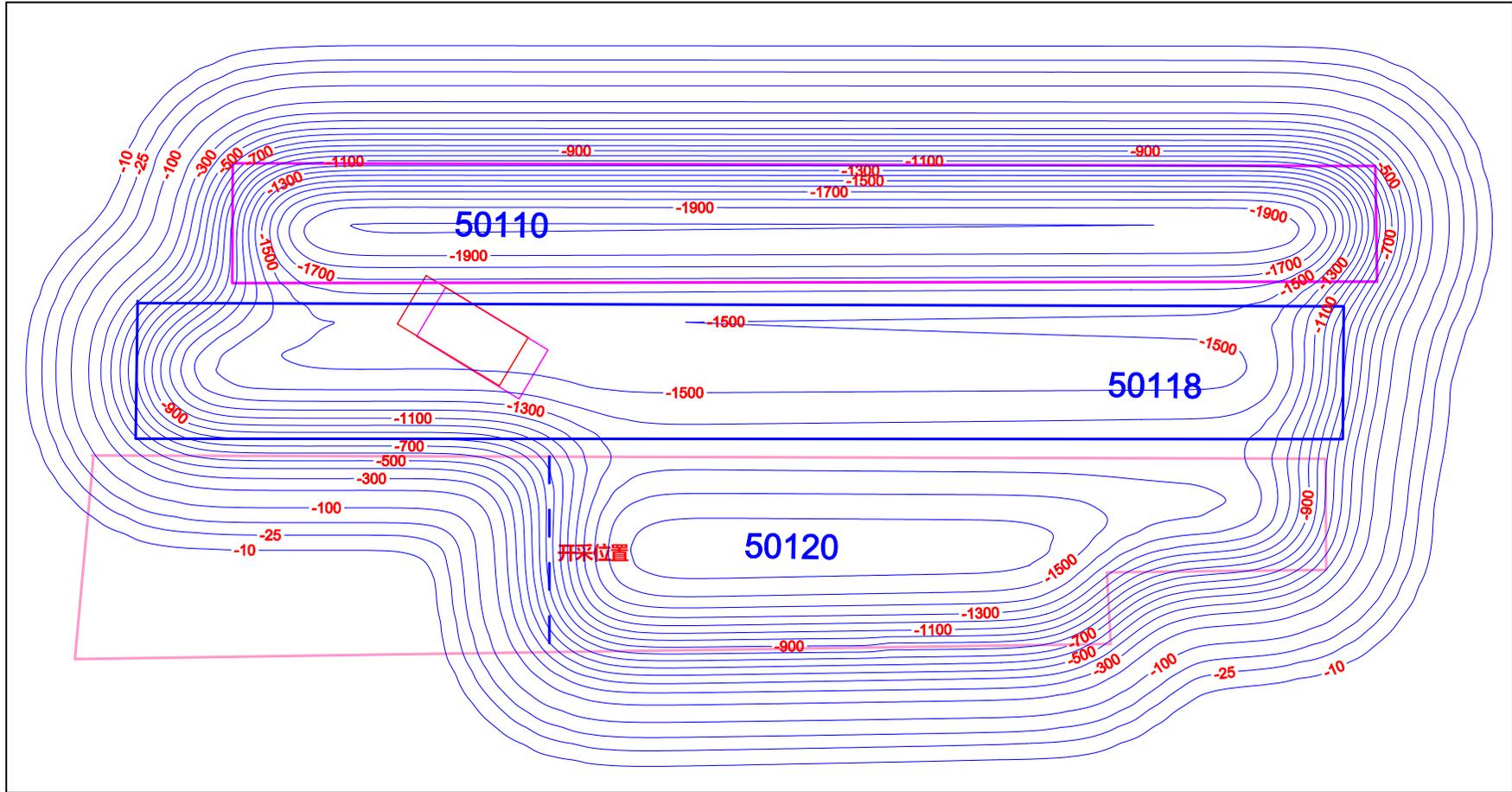


图 11.4 50120 工作面推进至 4# 升压站位置时地表下沉等值线图

10.2 案例实际应用效果简介

通过对《董东煤矿开采对渭南光伏领跑者4#升压站的开采损害预计与评价》案例进行分析，主要结论如下所示：

50110工作面开采时，煤层开采地表最大下沉值为1948mm，4#升压站位置下沉值在15mm~1100mm之间；当50110和50118工作面开采时，煤层开采地表最大下沉值为2011mm，4#升压站位置下沉值较50110工作面开采有明显的增加，下沉值在1350mm~1650mm之间；当50110、50118和50120工作面开采时4#升压站位置处下沉量未发生明显变化；在50110和50118工作面开采过程中，应注意4#升压站因下沉值增加引起地表其它移动变形的增加，进而诱发4#升压站位置产生较大采动影响。

从下沉角度来看，在50110、50118和50120工作面开采过程中，应对4#升压站进行地表移动变形监测，监测4#升压站在工作面开采过程中因下沉值而诱发地表移动变形对4#升压站位置产生较大的采动影响；从倾斜变形角度看，4#升压站的损害程度按砖石结构建筑物的破坏等级达IV级；从水平变形角度看，4#升压站的损害程度按砖石结构建筑物的破坏等级达III级。本次评价结果是按目前煤矿提交的采掘计划进行预计的，若董东煤矿因采矿、地质条件发生变化而调整采掘计划，应重新对4#升压站进行预计与评价。鉴于煤矿地表移动变形为非连续变形，应动态监测地表移动变形，同时做好地表拉伸裂缝出现在4#升压站位置处时的相关措施。

综上所述，为了保证渭南光伏领跑者4#升压站不发生损害并及时采取相关措施，建议对4#升压站建立地表移动观测站，对50110、50118和5120工作面开采时对地表的移动变形进行动态监测。

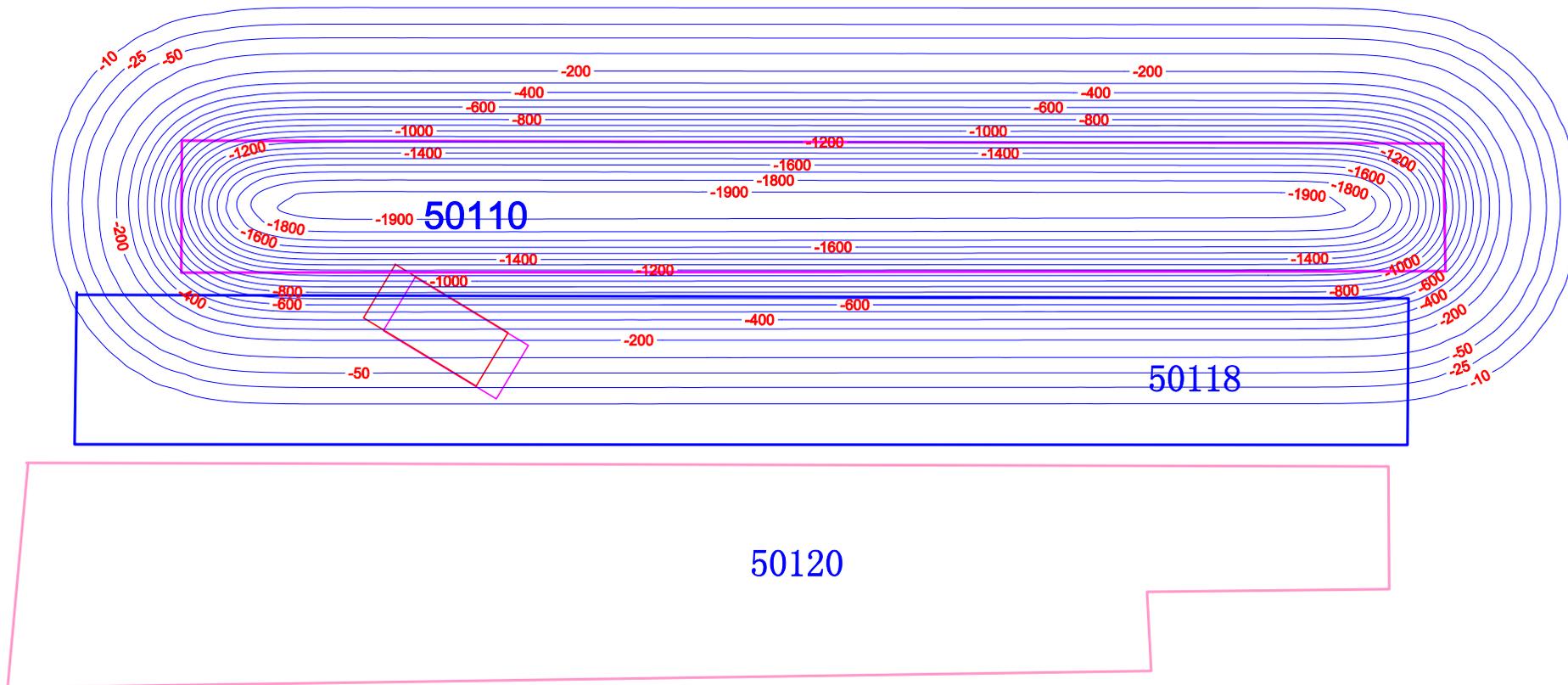


图 11.5 50110 工作面开采时地表下沉等值线图 (mm)

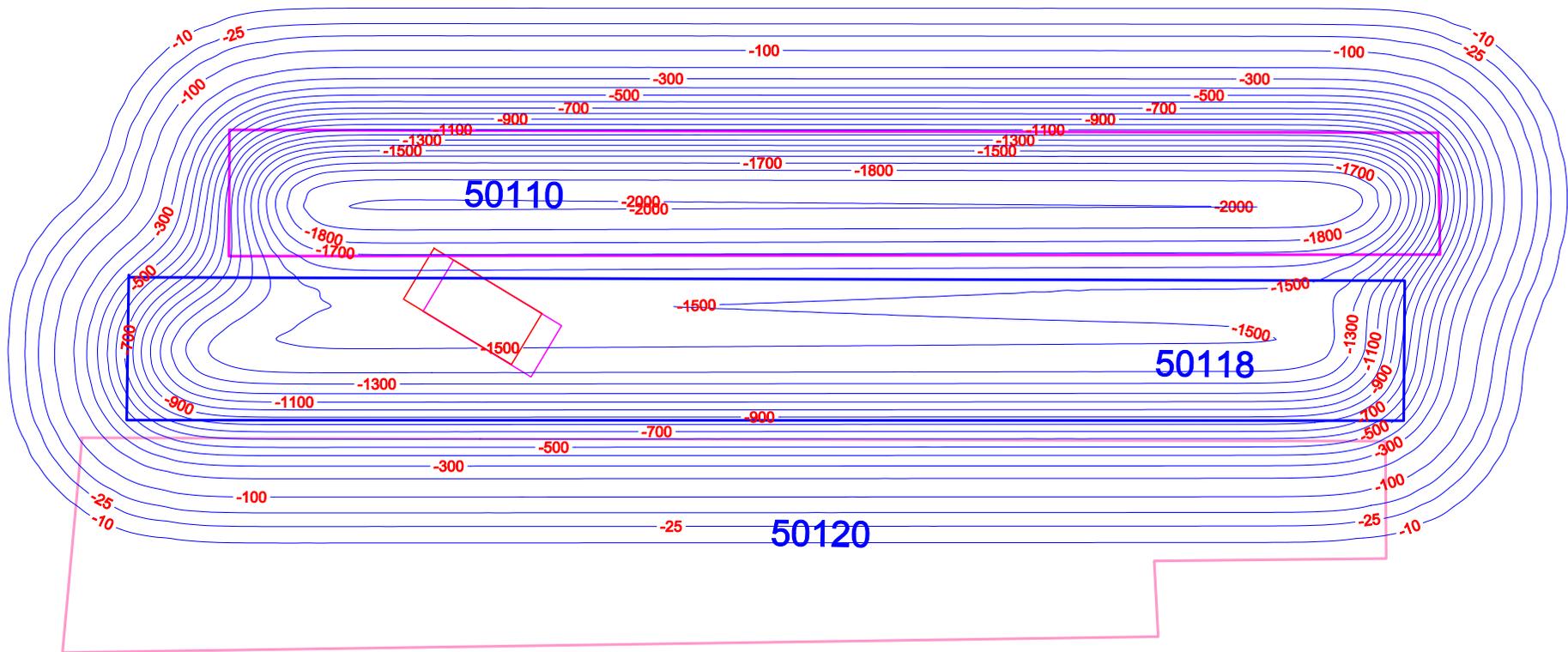


图 11.6 50110 和 50118 工作面开采地表下沉等值线图 (mm)

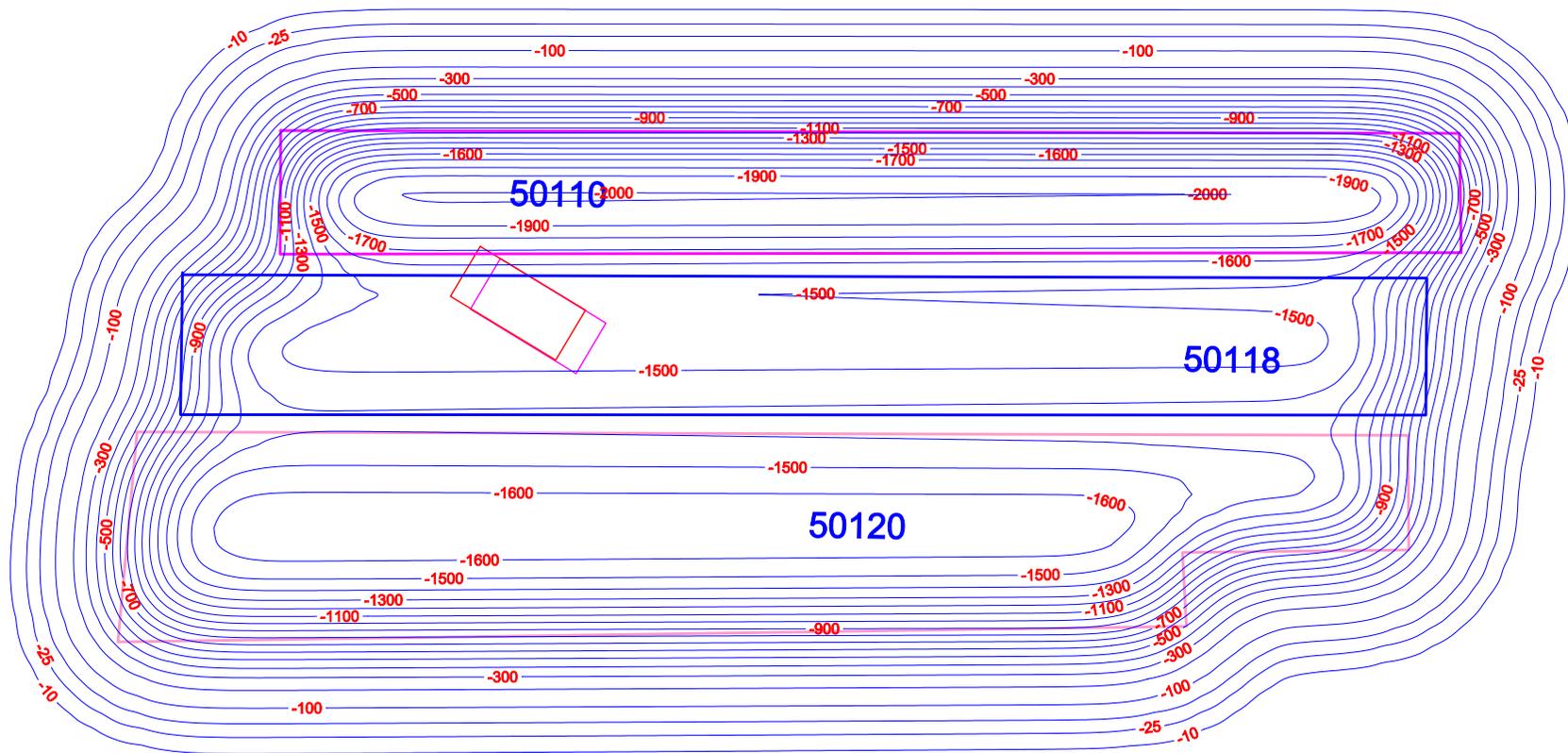


图 11.7 50110、50118 和 50120 工作面开采地表下沉等值线图 (mm)

10.3 支撑材料

《董东煤矿开采对渭南光伏领跑者 4# 升压站的开采损害预计与评价》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第六章 计算机计算模拟方法、第九章 铁路、公路下开采和第十一章 保护煤柱设计等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、采动过程中地表移动表形的一般规律；
- 2、影响地表沉陷盆地的主要因素。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

第九章 铁路、公路下开采

- 1、开采沉陷对铁路、公路及其构筑物的损害。

第十一章 保护煤柱设计

- 1、保护煤柱的留设原理；
- 2、垂直断面法和垂线法。

(十二) 案例 12

12.1 案例名称：王峰煤矿开采对 330kV 线路工程的影响评价

本案例中，因蒙华铁路（陕西渭南段）牵引站供电工程项目西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程压覆范围与王峰煤矿矿区范围存在重叠，需对压覆区域内 3#煤层开采对西庄-韩城北牵引站 330kV 线路工程的影响作出评价。分析判断若影响程度超过相关要求，可采取什么开采措施或地面建筑物加固保护措施后，能满足西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程安全使用要求。因此，根据陕西陕煤韩城矿业有限公司王峰煤矿的委托要求和王峰煤矿提供的《王峰矿井初步设计》和《330 千伏蒙华铁路（陕西渭南段）牵引站供电工程项目西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程压覆重要矿产资源储量评估报告》开展了陕西陕煤韩城矿业有限公司王峰煤矿开采对西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程的影响评价工作。

井田内由于凿开河从井田中部穿过，沿河有韩宜公路及多个村庄，上部存在 330kV 蒙华铁路（陕西渭南段）牵引站供电工程项目西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程。根据井田走向与倾向长度、煤层倾角及主、辅助运输设备能力，设计井田划分两个水平，一水平南、北翼上下山共划分 7 个盘区；二水平北翼划分 2 个盘区，共 9 个盘区。因受褶曲及倾角变化影响，具体划分后的各盘区倾斜长度一般为 1200~3800m 左右，下山盘区基本按倾向布置。

本次研究是以开拓方案二为基础进行分析：仅考虑王峰煤矿有限公司开采 3#煤层对 330kV 线路工程的影响；若不留设保护煤柱开采压覆区域 3#煤层对地面 330kV 线路工程的影响程度，以及若影响程度超过相关要求，可采取何种开采措施或地面建筑物加固保护措施，能满足 330kV 线路工程安全使用要求。

根据地质、采矿及开采条件进行计算开采单元划分，通过开采损害预计评价系统进行模拟计算，以点阵式分布形式计算全盆地的地表移动变形值，然后经过图形处理，给出地表移动盆地的移动变形等值线图。计算开采单元按开采时间、煤层埋深、倾角、开采厚度、开采方法及顶板管理情况划分，同一开采单元的这些参数应基本一致或差别很小。在确定王峰煤矿概率积分预计相关计算参数时，在王峰煤矿开采影响范围内，结合高压输电线塔架的地面标高，埋深按最小值，开采厚度按最大值进行选取。

12.2 案例实际应用效果简介

通过对《陕西陕煤韩城矿业有限公司王峰煤矿开采对西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程的影响评价》案例进行分析，主要结论如下所示：

因王峰煤矿目前没有进行地表移动变形观测，且在陕西境内大埋深条件下开采的地表观测资料较少，因此评价报告在进行概率积分参数选取时，采用工程类比法，参考埋深及地质条件相似的宝鸡市麟游县郭家河煤矿已测得的地表移动变形参数（数据来源于论文《郭家河煤矿综放开采地表岩移参数分析》）。郭家河煤矿开采煤层为 3#煤层，煤层标高+750~+820m，埋藏深度为 441~583m，平均埋深 512m，基岩厚度 407~446m，上覆黄土与红土厚度 33~149m，工作面平均开采厚度 15m，煤层为近水平煤层。通过实测得到郭家河煤矿 3#煤层开采下沉系数为 0.325，基岩移动角为 71.1°（由倾斜临界值 $i=3\text{mm/m}$ 得到）。王峰煤矿 3#煤层相对郭家河煤矿煤层条件：埋藏较大、采高较小，本次评价从保护西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程安全角度出发，选取的概率积分参数为：下沉系数取 0.35、基岩移动角取 72°，可确保预计结

果更为安全可靠。具体确定的王峰煤矿 3#煤层开采相关概率积分计算参数。

由 3#煤层开采地表下沉等值线图可知：王峰煤矿 3#煤层开采，西庄—韩城北牵引站 330kV 线路除 JJAMX 和 JJBMX（不设塔）外，剩余的 38 个输电线塔架基础均在其采动影响范围之内；南一盘区北部区域最大下沉值为 1747mm，南一盘区南部区域最大下沉值为 1625mm；南三盘区北部区域最大下沉值为 1398mm，南三盘区南部区域最大下沉值为 1048mm；南四盘区最大下沉值为 1300mm。

王峰煤矿 3#煤层全厚开采情况下，南一盘区北部区域和南部区域地表移动变形均达到 III 级损害程度，南三、南四盘区煤层开采地表移动变形均在高压线塔架基础可承受的损害范围内（II 级损害移动变形指标范围内）。

为了有效地保护西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程，王峰煤矿 3#煤层开采，在布置开采工作面时应遵循以下原则：根据西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程现有分布位置，适当调整王峰煤矿工作面长度，尽量使西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程中杆塔及塔基位于开采工作面的中部位置附近；由西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程中杆塔及塔基抗拉、抗压变形能力和移动盆地的拉伸、压缩变形区综合分析确定有利的开采方案；由西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程中杆塔及塔基重要程度和分布情况分析确定最优开采方案。

鉴于 3#煤层全厚开采地表倾斜预计结果：南一盘区北部区域最大倾斜值为 6.7mm/m，南一盘区南部区域最大倾斜值为 6.15mm/m，南三盘区北部区域最大倾斜值为 5.0mm/m，南三盘区南部区域最大倾斜值为 3.79mm/m，南四盘区最大倾斜值为 4.30mm/m。3#煤层全厚开采按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》进行评价，采动过程中涉及塔架基础损害程度达到了 II ~ III 级，南一盘区北部区域和南部区域地表倾斜值超过了 II 级损害程度。同时根据《采空区地表建设地基稳定性评估方法》（征求意见稿）输电线路杆塔的地表（地基）允许和极限倾斜变形值：5.0mm/m，发现南一盘区北部区域和南部区域均超出了输电线路杆塔极限倾斜变形值 5.0mm/m。因此西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程下王峰煤矿 3#煤层南三、南四盘区均可全厚开采，南一盘区则需要进一步确定合理的采高，进行限高开采。

西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》II 级损害标准：水平变形 $\epsilon \leq 4.0\text{mm/m}$ ，倾斜变形 $i \leq 6.0\text{mm/m}$ 。西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程下 3#煤层在允许损害程度范围内南三、南四盘区均可全厚开采，南一盘区北部区域的安全开采高度上限为 3.43m，地表下沉量在 1200mm 以内，损害程度控制在 II 级损害范围之内，南一盘区南部区域的安全开采高度上限为 4.22m，地表下沉量在 1470mm 以内，损害程度控制在 II 级损害范围之内；按照《采空区地表建设地基稳定性评估方法》（征求意见稿）附表输电线路杆塔的地表（地基）允许和极限倾斜变形 5.0mm/m 标准，西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程下 3#煤层在允许损害程度范围内南三、南四盘区均可全厚开采，南一盘区北部区域的安全开采高度上限为 2.86m，地表下沉量在 1000mm 以内，南一盘区南部区域的安全开采高度上限为 3.51m，地表下沉量在 1230mm 以内，输电线路塔架基础的最大倾斜值在 5.0mm/m 之内。

由于王峰煤矿没有进行地表岩移观测，本次评估选用的概率积分参数是通过工程类比法进行选取的，为了保障西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程安全运营和王峰煤矿的正常生产，建议王峰煤矿在 3#煤层开采时应及时进行地表岩移观测；王峰煤矿在进行 3#煤层开采时，对

西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程进行监测，确保西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程安全运营。

12.3 支撑材料

《陕西陕煤韩城矿业有限公司王峰煤矿开采对西庄—韩城北牵引站 330kV 线路工程的影响评价》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动地表移动变形预计、第六章 计算机计算模拟方法、第八章 建筑物下开采技术和第九章 铁路、公路下开采，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、概述；
- 2、数值计算模拟方法。

第八章 建筑物下开采技术

- 1、采动地表移动变形对建筑物的影响；
- 2、控制地表破坏程度的开采方法；
- 3、条带开采方法；
- 4、充填开采。

第九章 铁路、公路下开采

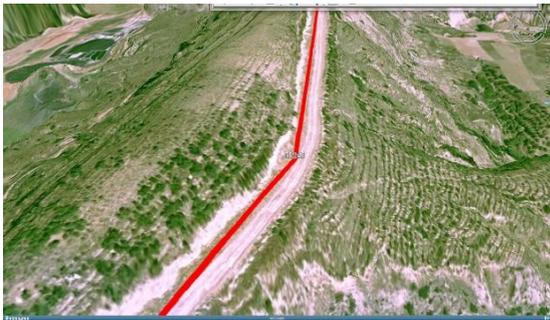
- 1、开采沉陷对铁路、公路及其构筑物的损害。

(十三) 案例 13

13.1 案例名称：西气东输管道公司宁陕管理处 DD245-246 管道煤矿采空区山体沉降评价

本案例中，子长县恒发煤矿采空塌陷区上方地表变形，导致西气东输管道穿越岷岷顶部伴行路出现裂缝，管道右侧坡体出现环形裂缝，裂缝延伸至管道左侧伴行路边缘，裂缝走向南偏东，延伸长度约 80m，裂缝宽 20~40cm，靠近管道一侧下错约 30cm，靠近管道一侧地表下错约 30cm。环形裂缝南侧穿过管道，沿岷岷浆砌石护坡北侧边缘延伸至沟底，裂缝宽度 15~30cm，岷岷底部排水渠坍塌；环形裂缝北侧穿过管道，顺管道右侧坡面延伸约 300m，裂缝宽度 10~20cm。目前管道上方地表已产生明显的下沉和水平位移，推测管道已受到土体的剪切和推动；结合采空区形成的裂缝和该地区黄土的特性，在降雨作用下易导致边坡失稳形成滑坡，进而对管道形成更大的威胁；同时管道与开采工作面并行距离长，影响管道长约 800m。

鉴于上述原因，有必要根据现场实际情况和煤矿开采情况，提出采空区沉降曲线、沉降量、沉降时间和对影响区域的移动变形进行预测，并对煤矿继续开采进一步对管道造成的影响，山体如何变化形成相关的风险性评价报告。



天然气管道 DD243 处地形地貌图



天然气管道 DD243~DD244 处地形地貌图



天然气管道 DD245 处地形地貌图



天然气管道 DD246~DD247 处地形地貌图

图 13.1 不同天然气管道地形地貌图

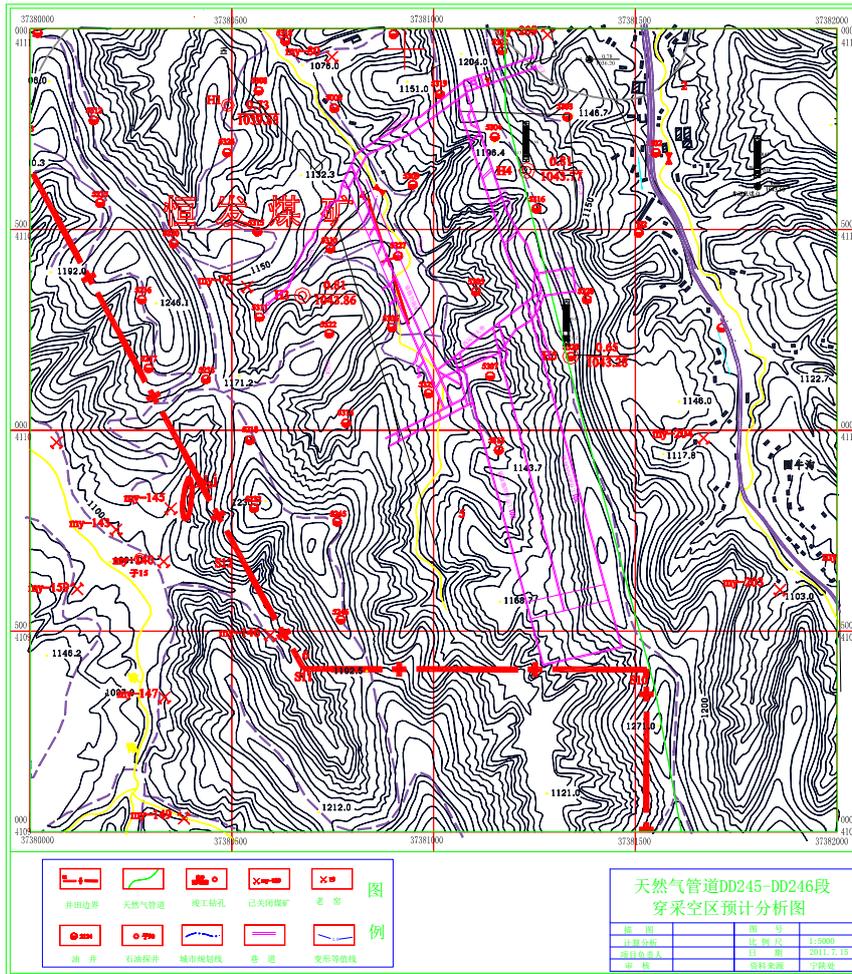
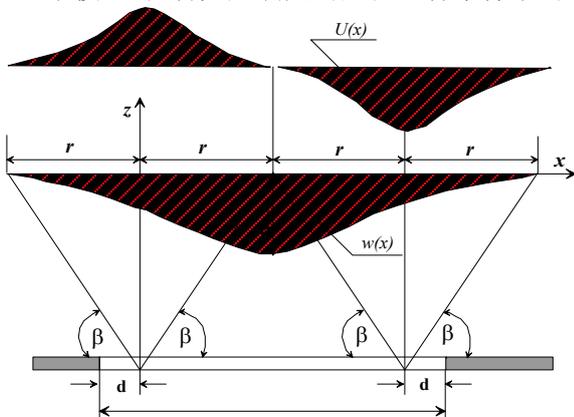
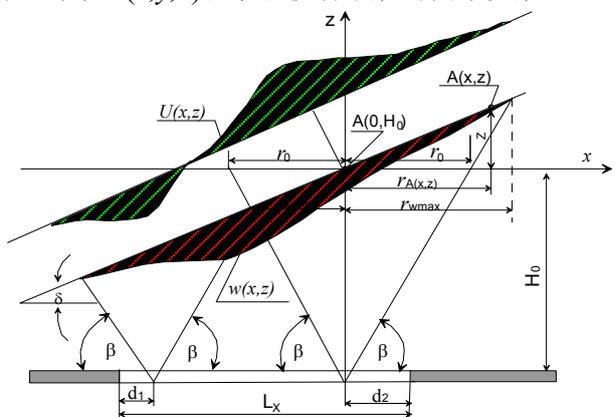


图 13.2 301 工作面开采井上下对照图

山区及丘陵地形条件下的采动地表移动变形预计同样可由水平矿层水平地形的数学模型来预计。但是当当地表坡角较大时，会引起计算参数的变化。地表坡角的变化相当于开采深度在变化。在水平及近水平矿层条件下，采动主要影响范围角近似于不变，因而随地表坡角的变化会引起主要影响半径的变化如图所示。开采实践观测表明，倾斜地表的水平移动系数 b_s 除了与覆岩岩性有关外，还与地表倾角 $\alpha(\varphi)$ 及移动方向有关。因而应用概率积分法预计的水平数学模型时，首先应确定的是在这种条件下的主要影响半径 $r(x,y,z)$ 和水平移动系数 b_s 两个参数。



水平矿层开采引起水平地表移动分布形式



水平矿层开采引起倾斜地表移动分布形式

图 13.3 水平矿层开采引起地表变形形式

13.2 案例实际应用效果简介

通过对《西气东输管道公司宁陕管理处 DD245-246 管道煤矿采空区山体沉降评价》案例进行分析，主要结论如下所示：

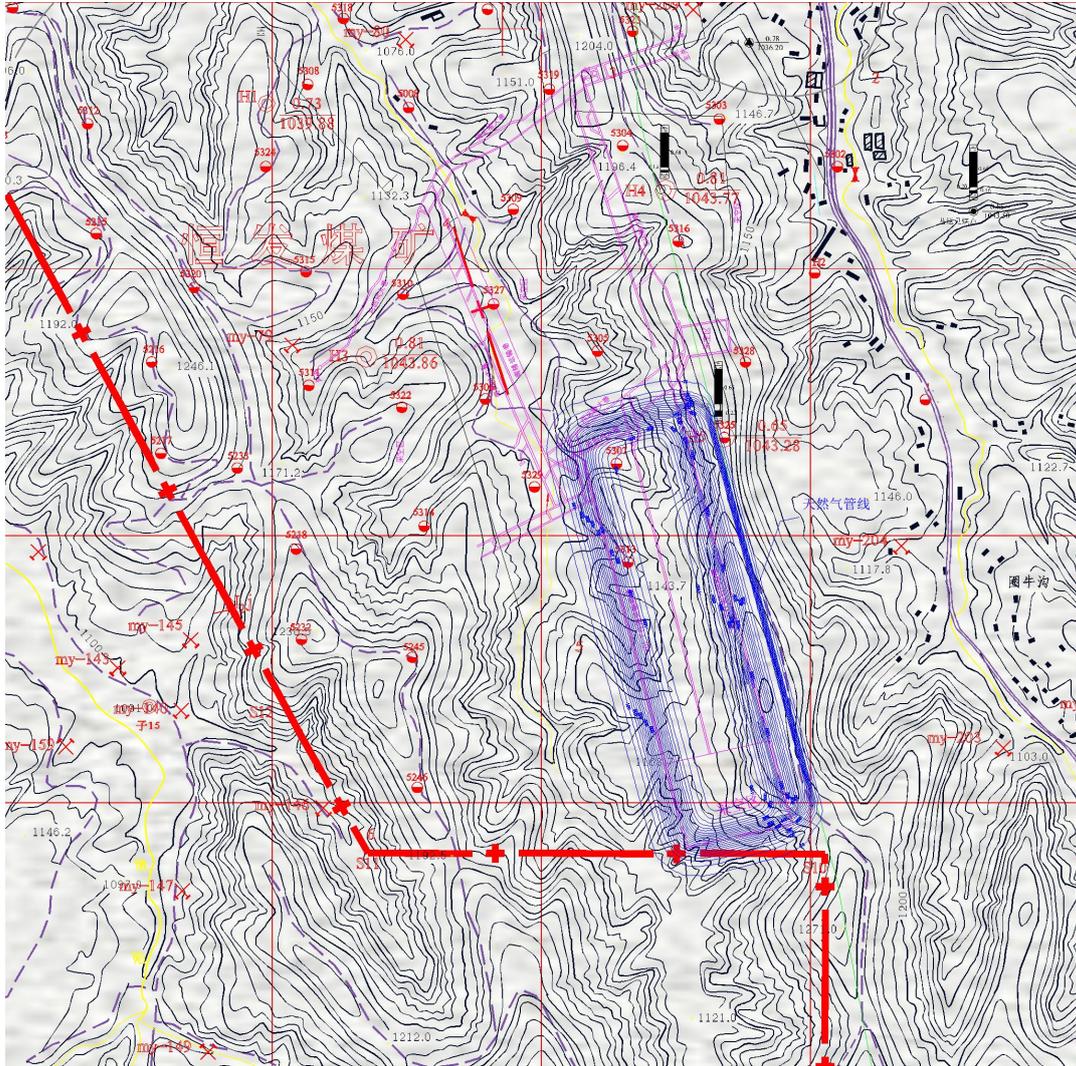


图 13.4 301 工作面在管道 DD245-DD246 段及伴行段的下沉等值线图

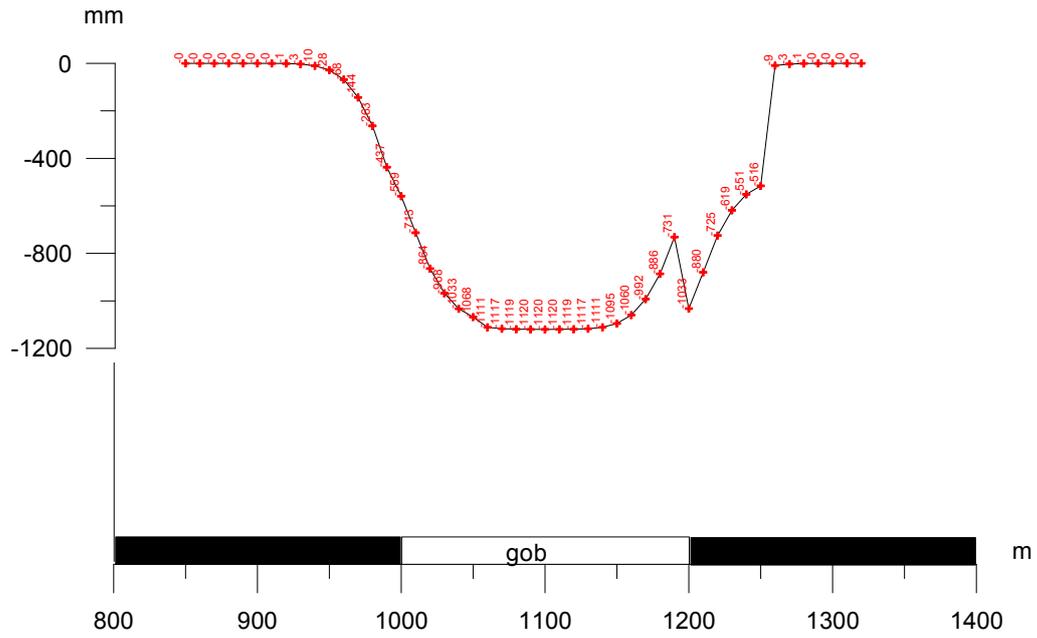


图 13.5 301 工作面垂直管道 DD245-DD246 段及伴行段的下沉等值线

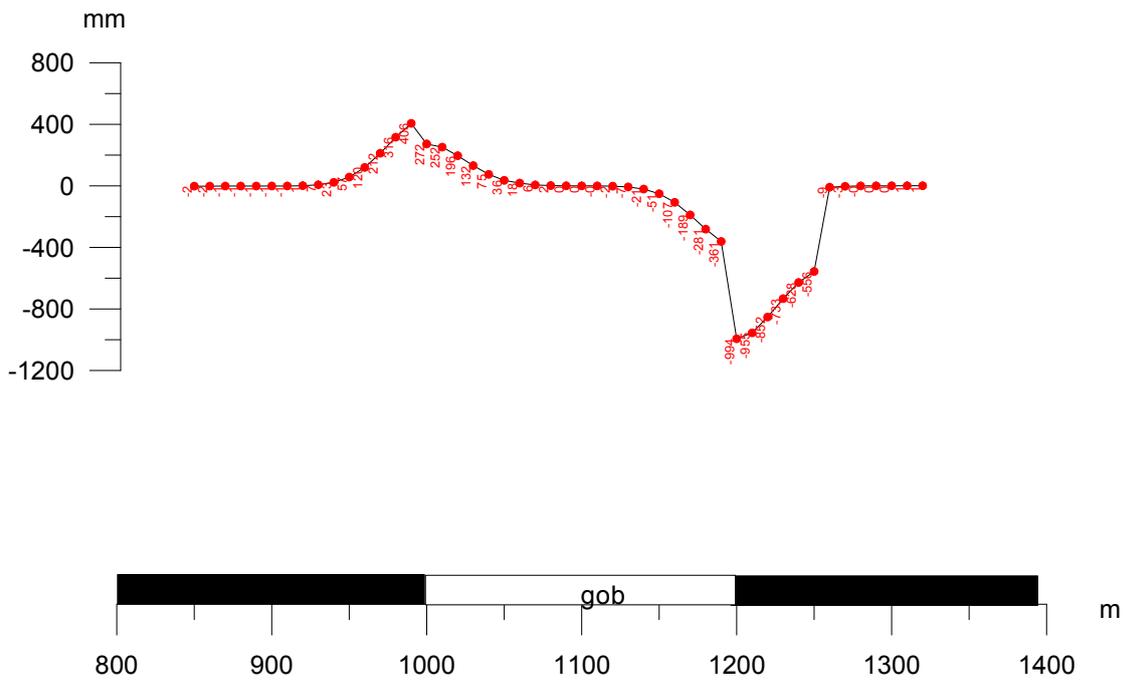


图 13.6 301 工作面垂直管道 DD245-DD246 段及伴行段水平移动等值线图

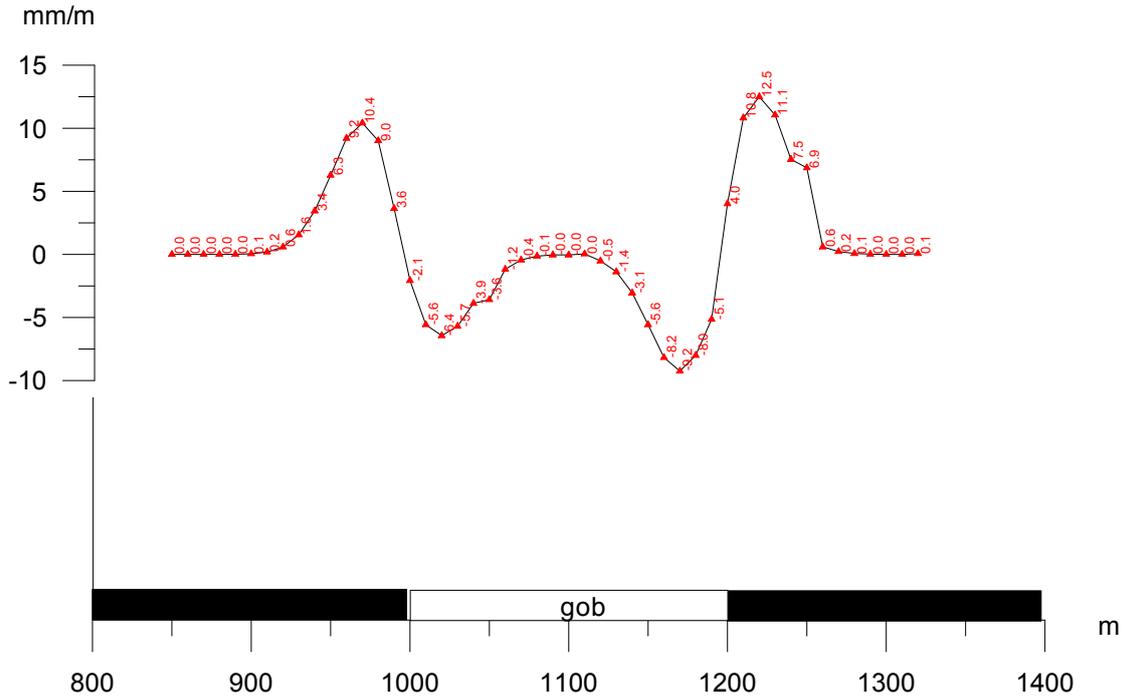


图 13.7 301 工作面垂直管道 DD245-DD246 段及伴行段水平变形等值线图

由上图可知：301 工作面开采，其影响范围约 97m，评价区域的移动变形量为：地表的最大下沉量为 1611mm；水平移动量为 1131mm；地表水平变形量为 13.17 mm/m。评价区域内管道附近的移动变形量为：地表的最大的下沉量为 600mm，现场实测为：300+143= 443mm，由于管道处出现裂缝前地表也产生了一定的下沉，且地表下沉仍在继续，故预计的下沉量比较可靠；水平移动量为 700mm，在进行现场观测前，管道处附近已产生的最大裂缝宽度为 200~400mm。现场监测地表最大的水平移动量为 146mm，且地表产生裂缝前也产生了一定的水平移动量，且地表水平移动仍在继续，故预计的水平移动量比较接近可靠；地表水平变形量为 13.17mm/m，在岷岷部位的地表水平变形量为 6mm/m，煤层开采产生裂缝对输气管道 DD245~DD246 造成了一定影响，随着工作面的继续推进，与 301 工作面伴行的管道将随时受工作面开采的影响，工作面前方山体和伴行管道侧将承受水平移动和变形的影响。若不对山体产生的裂缝进行处理，则有可能发生山体滑坡。

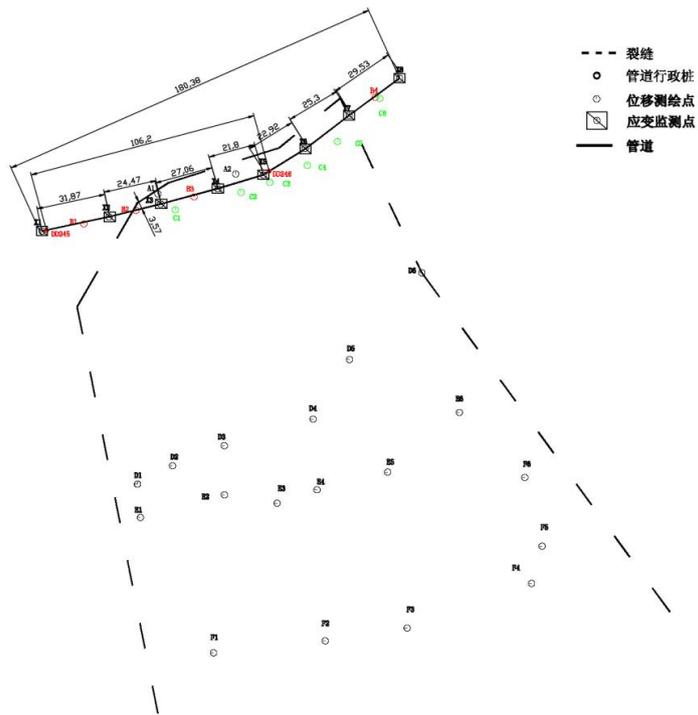


图 13.8 DD245 应急监测点分布图

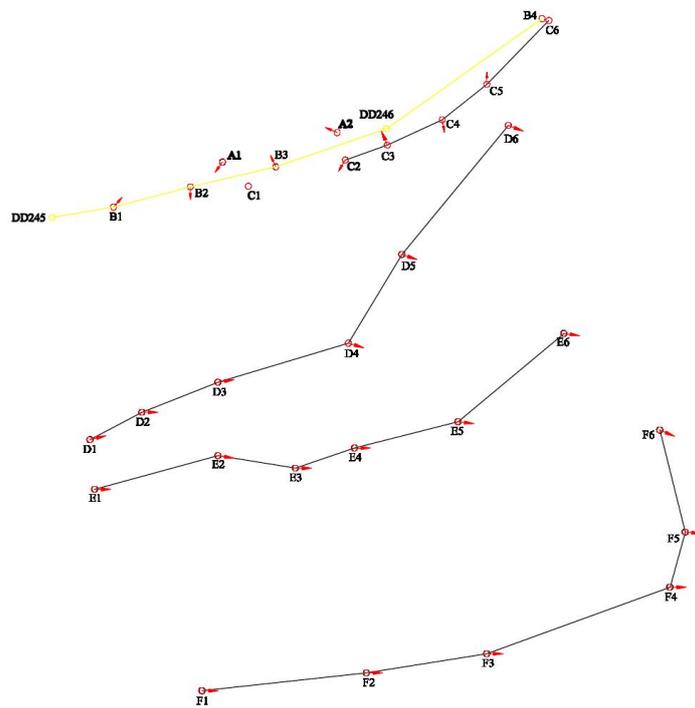


图 13.9 DD245 应急监测点水平位移矢量图

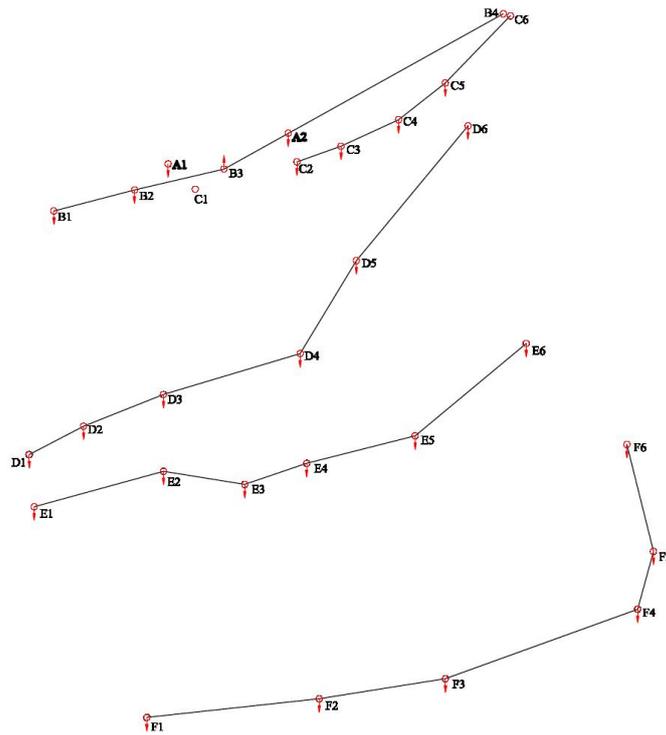


图 13.10 DD245 应急监测点垂直位移矢量图

在开始阶段和衰减阶段地表下沉速度 $v \leq 1.67\text{mm/d}$ ，活跃阶段 $v > 1.67\text{mm/d}$ 。在活跃阶段内地表点的下沉量可达其总下沉量的 85% 以上，说明地表点的下沉主要发生在活跃阶段内。由 DD245 应急监测 7 月 3 日报表可以看出，地表监控点 B2 的下沉量最大，由 6 月 30 日至 7 月 3 日这三天时间内，地表下沉量为 27mm，故 $v = 9\text{mm/d}$ ，可见山体接近与活跃阶段的后期，且山体发生缓慢的下沉。由于评价区域的取值为 1.224，该区域可能发生滑坡。若山体裂缝进行处理，且坡体进行加固，坡体不发生滑坡的条件下，下沉对管道不会造成较大影响。

评价报告在对评价区域采矿、地质条件进行综合分析的基础上，给出了相关计算分析参数，分析了坡体自身的稳定性，通过概率积分法预计了 301 工作面开采对坡体、DD245—DD246 段管线及伴行管线的影响，得出如下结论：在不发生地质灾害的条件下，地表移动变形的活跃期为工作面开采后 6 个月，地表移动变形时间为工作面开采停止后 1~1.5 年；若坡体不发生滑坡，现煤层开采对 DD245—DD246 段管道的影响已基本趋于稳定，需对坡体进行加固，若不进行加固，则坡体的缓慢移动仍将持续，直至发生山体滑坡。随着工作面的继续推进，与 301 工作面伴行的管道将随时受 301 工作面开采的影响，若不对山体产生的裂缝进行处理，则有可能发生山体滑坡；随着开采宽度的增加，地表移动盆地受地形及表土层的影响，呈波浪分布。地表移动盆地的压缩区、拉伸区完全取决于地形地势以及地质条件的情况，地下开采导致地表沉陷产生许多拉裂缝，滑坡稳定性与裂缝位置、深度有关，山体边缘产生拉裂破坏，地表变形裂缝使黄土层渗透系数增大，有利于降雨入渗，可能诱发山体滑坡。

13.3 支撑材料

《西气东输管道公司宁陕管理处 DD245-246 管道煤矿采空区山体沉降评价》案例在《开采损害与防治》实际教学中涉及的相关知识分别有第一章 覆岩与地表移动规律、第二章 采动

地表移动变形预计、第五章 采动损害的观测研究方法和第六章 计算机计算模拟方法等，其中涉及相关知识点分别为：

第一章 覆岩与地表移动规律

- 1、地表沉陷盆地的移动角值的计算；
- 2、采动过程中地表移动表形的一般规律；
- 3、影响地表沉陷盆地的主要因素；
- 4、复杂条件对地表沉陷的影响。

第二章 采动地表移动变形预计

- 1、地表移动和变形预计理论方法；
- 2、概率积分法的过程推导；
- 3、概率积分预计参数的确定。

第四章 特殊条件下的地表移动变形预计

- 1、倾斜矿层开采引起地表移动变形预计方法；
- 2、倾斜地表水平矿层开采地表移动变形预计。

第六章 计算机计算模拟方法

- 1、计算机计算模拟方法概述；
- 2、数值计算模拟方法。

第九章 铁路、公路下开采

- 1、开采沉陷对铁路、公路及其构筑物的损害；
- 2、铁路、公路下开采及防护措施。