采矿理论与工程

厚煤层协调全采沉陷控制技术及在村庄下采煤中的应用

戴华阳[1]，阎跃观[1]，刘存玉[2]，朱元昊[1]，白志辉[2]

(1. 中国矿业大学 (北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京　100083; 2. 冀中能源峰峰集团有限公司, 河北 邯郸　056107)

摘　要: 我国煤矿“三下”压煤严重，滞压资源的回采与受护对象的保护存在矛盾，寻求解决资源高采出率与受护体安全问题的办法，是我国矿山开采沉陷研究长期以来的一个技术难题。针对条带开采资源采出率较低、充填开采成本较高、同步协调开采实施难度较大的问题，考虑煤矿主要地质采矿因素，基于开采沉陷基本规律、上下煤层重复开采影响规律和采区内多工作面的相邻开采影响规律，提出了村庄下厚煤层横向采宽控制、纵向分层采厚控制、开采顺序优化控制的联合协调控制技术思路和采区内工作面跳采、全采、分层开采 3 个阶段沉陷控制方法。为了提高技术应用效果，提出了开拓系统单翼布置和大采区、长工作面的优化设计方法。通过实测和理论分析，揭示了协调式跳采全采方法精准控制地表变形、改善村庄地表变形过程和分布状况的机理，得出了开采各阶段工作面优化设计参数。经过不同煤厚、不同采深条件的多个矿井 20 a 的应用研究，解放了大量滞压资源，实现了多个村庄下滞压资源的安全高效全采，采厚 3.5～5.7 m、跳采宽度达 305 m、年度出煤量达 128 万 t/a，村庄煤柱采出率达到 93.5%，避免了上千户村民的搬迁和异地耕作，创造了良好的经济和社会效益。

关键词: 厚煤层开采; 沉陷控制; 协调全采方法; 村庄下采煤

中图分类号: TD325;TD823.83　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 0253−9993(2023)12−4352−13

Subsidence control by coordinated full-area mining of thick coal seam and its application in mining under villages

DAI Huayang[1], YAN Yueguan[1], LIU Cunyu[2], ZHU Yuanhao[1], BAI Zhihui[2]

(1. *School of Earth Science and Mapping Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing*　100083, *China*; 2. *Jizhong Energy Fengfeng Group Co., Ltd., Handan*　056107, *China*)

Abstract: In China, some coal resources are severely stagnated by buildings, railways, water bodies and others, and there is a contradiction between the recovery of stagnated coal resources and the protection of protected objects. It has been a technical problem for a long time to find a solution to the problem of a high resource extraction rate and the safety of protected objects in China's mining subsidence research field. In view of the problems of low recovery rate of stagnant resources by strip mining, high cost by filling mining and difficulty by implementing synchronous coordinated mining, this paper puts forward some technical ideas of coordinated control of combinations with horizontal mining width control, vertical stratified mining thickness control and mining sequence control of thick coal seam under villages. In addition, the subsidence control methods of three stages of skip mining, full-area mining and stratified mining of working face are pro-

收稿日期: 2023−02−28　**修回日期:** 2023−05−24　**责任编辑:** 韩晋平　**DOI:** 10.13225/j.cnki.jccs.2023.0266

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51574242)

作者简介: 戴华阳 (1964—), 男, 湖南湘阴人, 教授, 博士生导师。E-mail: dhy@cumtb.edu.cn

引用格式: 戴华阳, 阎跃观, 刘存玉, 等. 厚煤层协调全采沉陷控制技术及在村庄下采煤中的应用[J]. 煤炭学报, 2023, 48(12): 4352−4364.

DAI Huayang, YAN Yueguan, LIU Cunyu, et al. Subsidence control by coordinated full-area mining of thick coal seam and its application in mining under villages[J]. Journal of China Coal Society, 2023, 48(12): 4352−4364.

移动阅读

posed. In order to improve the application effect of the technology, the single wing layout of the development system and the optimization design of large mining area and long working face are put forward. Through some actual measurements and theoretical analysis, the mechanism of coordinating all-mining method to accurately control surface deformation and improve the process and distribution of village surface deformation is revealed, and the optimal design parameters of working face at each stage of mining are obtained. After 20 years of application research in several mines with different coal thicknesses and mining depth conditions, a large number of stagnated resources have been extracted, and the safe and efficient mining of stagnated coal reserve under several villages has been realized. The mining thickness is 3.5−5.7 m, the jump mining width is 305 m, and the annual coal output is up to 1.28 million t/a, The yield rate of coal pillar in the village has reached 93.5%, which brings some social and economic benefits, avoiding the relocation of thousands of villagers.

Key words: thick coal seam mining; subsidence control; coordinated skip and full-area mining method (CSFM); mining under villages.

我国村庄下采煤问题由来已久, 理论研究与技术实践需要与时俱进。华北、华东许多矿区开采历史达百年, 一些矿井资源衰减, 生产接续困难, 面临无煤可采的局面。另一方面, 大量资源滞压于建筑物、铁路、水体等受护对象之下 (简称“三下”), 难于回采。如: 峰峰、开滦等矿区滞压资源占比达 50%～80%, 特别是大型、特大型村庄压煤尤为严重[1-6]。

以峰峰矿区为例, 13 个矿井 159 个村庄, 压煤 3.58 亿 t, 占比 53.4%(据 2007 年统计)。滞压资源处理, 关系矿井生存与发展, 关系村民房屋使用安全, 涉及矿区工农关系和社会安定, 需要从技术方法上提高煤柱的采出率, 提升煤柱开采的安全可靠性。

1　村庄下采煤方法概述

1.1　村庄下采煤的基本方法

(1) 地表移动控制要素。

在一定的开采技术下, 单个工作面开采引起的地表移动变形 S_{sur} 的主要影响因素有 6 个 (式 (1))。自然地质因素 3 个: 采深 H、煤层倾角 α、上覆岩层综合岩性硬度 f_r。开采工艺类因素 3 个: 采厚 M、采宽 D_1、邻接的煤柱或邻接的已采工作面宽度 D_2。自然地质因素属于不可调整的因素, 开采工艺类因素是技术调整和改变的因素, 是地表移动变形源头控制的关键要素, 通过开采工艺和开采布置方法进行调整, 可以达到开采沉陷控制的目的。

$$S_{sur} = f(M, D_1, D_2, H, \alpha, f_r) \tag{1}$$

式中, S_{sur} 为单工作面开采地表移动变形; H 为采深, m; α 为煤层倾角, (°); f_r 为上覆岩层综合岩性硬度; M 为采厚, m; D_1 为采宽, m; D_2 为相邻煤柱或邻接的已采工作面采宽, m。

(2) 厚煤层开采沉陷控制的难点。

地表移动变形的控制指标有 3 类: 下沉控制、变形控制、移动变形速度控制。地表最大下沉值很大程度决定变形值, 因此最大下沉值通常是沉陷控制的重要目标, 地表最大下沉值得到控制。

地表最大下沉值与采厚 M 成正比, 相比于薄及中厚煤层, 厚煤层开采 (煤厚 3.5～8.0 m) 引起的地表移动变形较大, 沉陷控制的难度也更大。

一些矿区实例表明, 厚煤层按常规 (顺序) 开采, 地表移动变形值大, 房屋损坏严重, 甚至造成房屋倒塌。

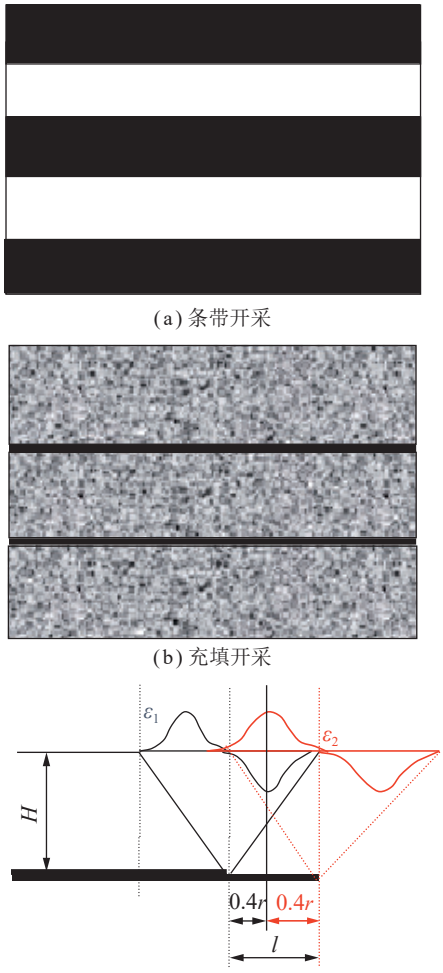
(3) 地表移动控制基本方法。

村庄下采煤的关键在于地表移动变形控制。地表移动变形控制常用的方法有 3 种 (图 1): ① 条带开采[7-10]。限制采宽, 留一条煤柱, 通过部分开采, 减少地表移动变形, 其控制效果好, 下沉系数 q_t=0.05～0.25, 但资源损失 50%～60%、生产效率较低, 主要适宜中厚煤层、中等采深或深部开采条件。② 充填开采[8]。通过工作面充填置换煤层, 来减少地表移动变形, 下沉系数 q_c=0.06～0.40, 减沉效果明显, 有利于处理固废, 但受到充填材料来源限制, 充填成本较高。③ 2 个工作面错距协调开采。通常是指上、下 2 个工作面错距同步开采, 根据工作面不同的错距关系, 可以全部或部分抵消地表动态水平变形、倾斜变形、曲率变形等。该方法技术成本低, 但应用受到诸多条件的限制, 不适于高潜水位矿区。

条带开采是通过煤层部分面积开采来减沉减变形, 充填开采相当于减小有效采厚来减沉减变形, 协调开采是上、下工作面错距同步推进抵消地表变形, 是减部分变形不减沉。

1.2　多工作面联合协调开采的方法类型

区别于常规的一个工作面紧邻一个工作面的顺序开采, 多工作面联合协调开采类型是指关于采区内同一个煤层各工作面的平面布置、开采顺序安排、开采尺寸优化设计的各类方法, 按联合的程度不同可分为 3 类: 全部工作面同期联合协调、部分阶段工作面



(a) 条带开采

(b) 充填开采

注: ε_1、ε_2 分别为上、下工作面开采地表水平变形; r 为主要影响半径。

(c) 协调开采

图 1 地表移动控制的基本方法示意

Fig.1 Schematic diagram of the basic method of surface movement control

同期联合协调、分阶段联合协调。联合协调开采方法的目的是减少阶段的地表移动变形,减缓区域性的地表变形,使受护对象得到较大范围、较大程度的保护。以下简述国内外的相关研究。

(1) 波兰贝托姆城下多矿多工作面同期联合开采。采用跨矿联合开采方法进行贝托姆城下采煤,煤厚 2 m 左右。3 个矿 18 个工作面联合开采,如图 2 所示。

(2) 峰峰二矿辛寺庄矿村庄下同期联合开采[12] (图 3),我国峰峰矿区二矿于 1983 年 1 月至 1984 年 7 月,在辛寺庄村下开展 8 个工作面同期联合开采 (3 个工作面同时开采),各工作面保持 20～70 m 的错距成台阶状,以 1.5 m/d 的均匀推进速度,沿煤层走向方向相继联合协调开采。采深 307～460 m,采厚 1.0～1.2 m,煤层倾角 6°～24°,开采面积 2.9 万 m^2,采出煤量 34.6 万 t。采后村庄民房完好及轻微破坏占 98%,地

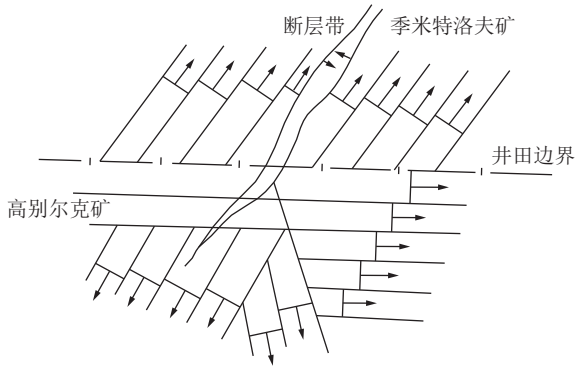


图 2 波兰贝托姆城下联合开采布置[11]

Fig.2 Combined mining layout under Bytom, Poland[11]

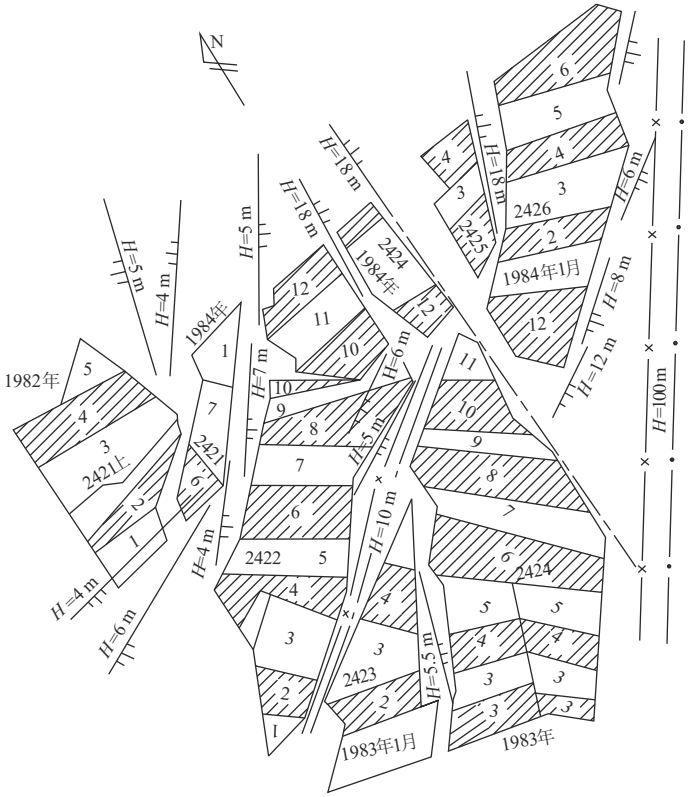
面建筑物得到了良好的保护。

(3) 大条带协调式全采方法。文献[13]提出了先跳采后同步开采,属于部分阶段工作面同期联合协调方法。先采用大条带跳采,地表产生移动变形全部值的 30%;而后用半数工作面联合开采剩余条带,地表产生剩余的 70%移动变形值。此方法阶段性地减少了地表移动变形值和采动影响次数,有利于保护地面建 (构) 筑物。如图 4 所示,每个煤层分 2 个阶段进行:第 1 阶段条带开采 B 和 D 工作面;第 2 阶段尽可能同时开采 A、C、E 工作面。

(4) 宽条带及 2 次跳采法。文献[14]提出了 2 次跳采法 (图 5),采用跳采注浆后同时开采,属于部分阶段工作面同期联合协调方法。第 1 次跳采条带 1、3、5,并采用注浆充填措施;经过一定间隔后,再回头同时开采剩余的条带煤柱 (条带 2、4)。文献[15-16]给出了介于窄工作面与普通条带工作面 (约 $H/8$) 之间的宽条带开采的概念,提出了进行宽条带工作面开采与后期全柱工作面同时开采的方法,论述了控制不同阶段的地表变形值、保护地面建筑物的可行性。

以上同期联合开采方法存在的问题是:① 井下生产准备周期长,布置受到生产安全和生产管理方面的限制,多工作面同时、同期联合开采不适合现代高效开采要求,难于推广应用;② 工作面宽度设计主要依据条带开采理论,工作面宽度较小,而煤柱全采涉及超充分问题;③ 应用案例主要为薄煤层或中厚煤层条件,未考虑厚煤层问题;④ 联合协调开采方法涉及全采区,关系到开拓系统布局和采区设计,但以往对于开采方法技术环境的研究较少,不利于充分发挥技术方法的作用。

笔者考虑现代开采的安全要求和难以进行 2 个或多个工作面同时开采的实际,聚焦于联合开采工作面的分阶段协调、工作面尺寸优化、开采顺序安排和技术应用环境的构建,提出了协调全采的沉陷控制技



工作面	1982 年												1983 年												1984 年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2421上																																				
2421下																																				
2422																																				
2423																																				
2424																																				
2424外																																				
2425																																				
2426																																				

图 3　辛寺庄矿多工作面联合开采布置与开采顺序[12]

Fig.3　Combined mining layout and mining orders of faces in Xinsizhuang Coal Mine[12]

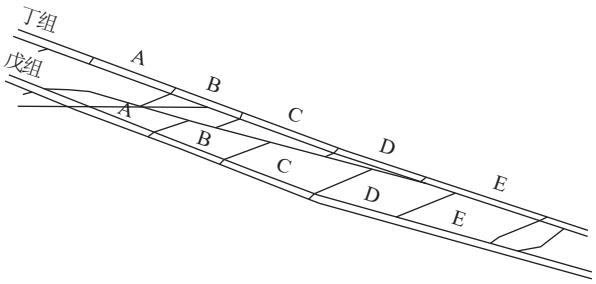


图 4　大条带协调式全采布置[13]

Fig.4　Large strip coordinated full mining layout profile[13]

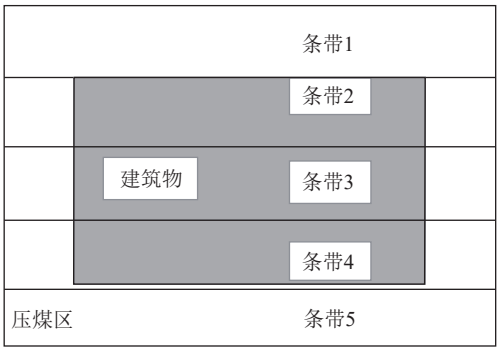


图 5　2 次跳采法布置平面[14]

Fig.5　Layout plan of double skip mining[14]

术思路和 3 种布置方法。自 2001 年以来，相关研究工作和应用试验经历了中厚煤层 2 阶段协调全采、厚煤层 3 阶段协调全采研究过程[20-22]。从布置方法分类，本文布置方法属于分阶段联合协调类型。以下从技术思路、布置方法、技术环境构建等方面，对中厚煤层、厚煤层协调全采技术问题综合进行介绍。

2　厚煤层协调全采技术

2.1　协调全采技术目标与思路

2.1.1　技术目标

协调全采主要针对大型村庄下采煤，其技术目的

是：村庄不搬迁、井下不充填、滞压资源全面积全厚回收。其技术目标是：对受护区地表进行大面积总体的、分阶段的移动变形控制。对于一个大型村庄，需控制村庄房屋损坏程度大部分为Ⅰ、Ⅱ级损坏、少量为Ⅲ级损坏。这低于条带开采房屋Ⅰ级或极少数Ⅱ级损坏的要求。

区别于常规的一个工作面紧邻一个工作面的顺序开采，协调全采方法是分阶段开采、间隔工作面跳采、工作面同时开采，其目标是阶段性减少地表移动变形，区域性减缓地表变形，使受护对象得到较大范围、较大程度的保护。协调全采，首要的是减少较严重损坏房屋的占比，并结合房屋保障措施来确保这些房屋的使用安全。在进行应用设计时，还需要与矿方取得共识，以便应用时做好思想准备、防护准备、补偿准备。

2.1.2 技术思路

地表移动变形控制按时段和区域不同可分为：静态与动态移动变形控制、移动变形全程控制与阶段性控制、沉陷影响区全域控制与局部区域控制。相比于条带开采和充填开采地表移动变形的全程、全域、动态及静态控制，协调全采的地表移动控制，属于阶段性、区域性、动态性控制。协调全采方法的技术思路是：

(1) 把村庄或其他受护对象的煤柱划归一个采区，采区内布置宽度合理限制、分层采厚控制的多个工作面进行联合开采。

(2) 按跳采、全采或分层全采方法，分阶段控制地表的移动变形，跳采阶段控制工作面采宽 D_t(单个跳采工作面宽度可取 D_t=0.2H～0.3H，大采深时跳采工作面组的宽度可取 2D_t=0.2H～0.3H)，实行极不充分开采，控制地表的移动变形；全采阶段为多工作面影响连通的超充分开采，形成地表大面积均匀沉陷区，减少地表移动过程的变形。

(3) 全采阶段，中厚煤层全厚开采；厚煤层可分 2 层开采，先全采上分层，再全采下分层，进一步控制全采阶段的地表变形量。

(4) 跳采顺序为先采煤柱采区外围，然后进行采区中央跳采工作面开采；全采工作面开采顺序也为先采外围后采中央，分区形成平底大面积下沉盆地，整体控制地表变形分布。

2.2 中厚及厚煤层协调全采技术方法

2.2.1 协调全采技术方法

根据采深、煤厚条件的变化，技术布置可以进行进一步优化。对于大采深条件，跳采阶段可以取相邻 2 个工作面作为跳采工作面组合；对于中厚及厚度较小的厚煤层，可以不进行分层。由此提出了 3 种协调控制方法：方法 1，跳采 1 个工作面全采 1 个工作面(图 6(a)、7(a))；方法 2，跳采 2 全采 1(图 6(b)、7(b))；方法 3，跳采 1 全采 1 并分层 (图 6(c)、7(c))。

表 1 列出了协调全采各方法的工作面布置、开采顺序及开采条件，图 6 为工作面编号及布置情况。图 7 为协调全采各方法的岩层移动状态示意。

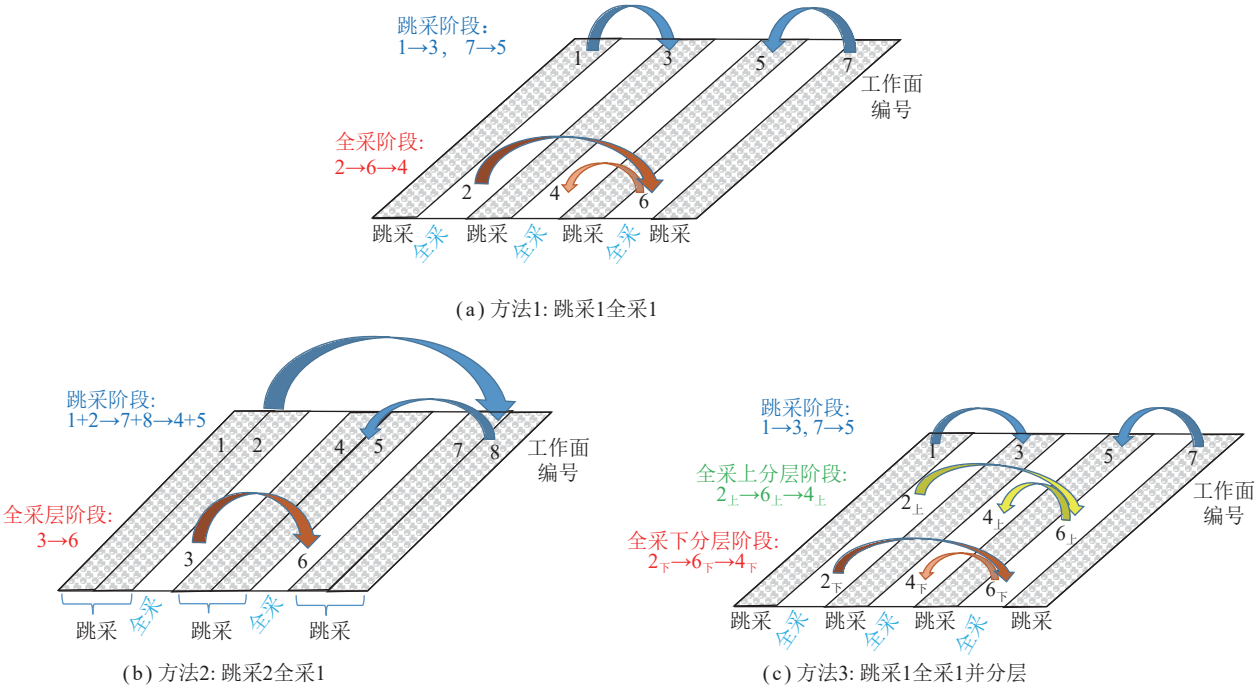
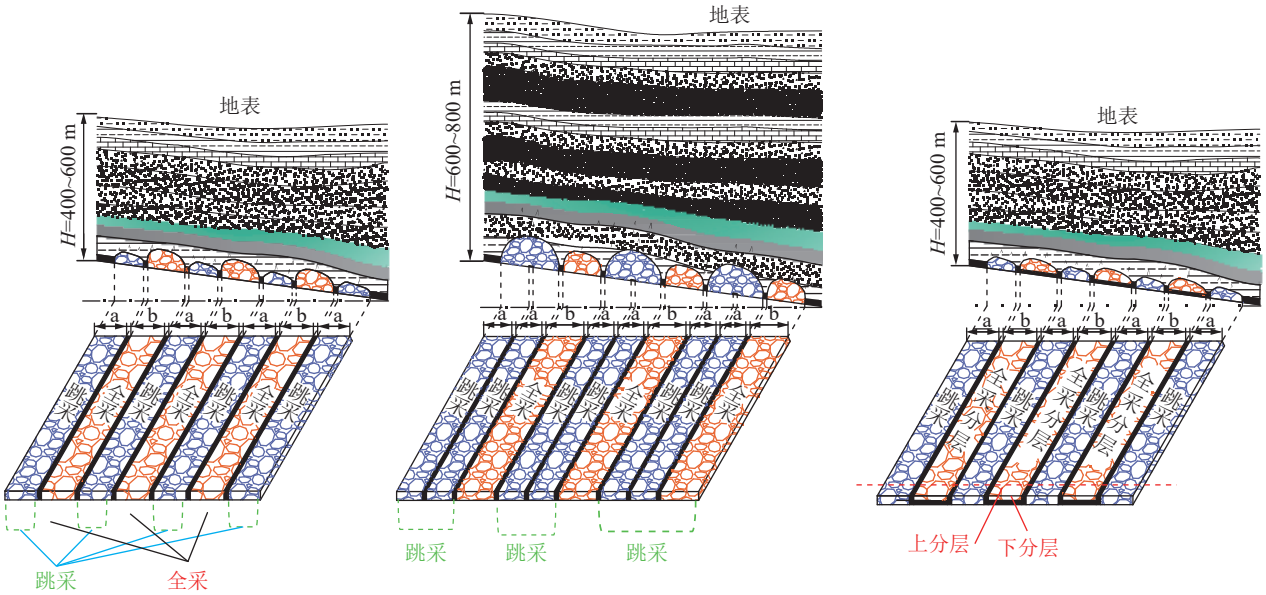


图 6 协调全采方法工作面布置与开采顺序

Fig.6 Faces layout and extraction order diagram of CSFM method



(a) 方法1: 跳采1全采1　　(b) 方法2: 跳采2全采1　　(c) 方法3: 跳采1全采1并分层

图 7　协调全采岩层移动状态示意

Fig.7　Schematic diagram of CSFM method

表 1　协调全采方法工作面布置与开采条件

Table 1　Faces layout and mining conditions of CSFM method

方法1：跳采1全采1	方法2：跳采2全采1	方法3：跳采1全采1并分层
先进行单工作面跳采，开采顺序为1→3、7→5；后进行单工作面全采，开采顺序为2→6→4； 适用条件为H=400～600 m的中等采深、M=3.0～5.0 m中厚及厚煤层； 布置如图6(a)所示	先进行双工作面跳采，开采顺序为1+2→7+8→4+5；后进行单工作面全采，开采顺序为 3→6； 适用条件为H=600～1 000 m大采深、M=3.0～5.0 m中厚及厚煤层； 布置如图6(b)所示	先进行单工作面跳采，开采顺序为1→3, 7→5；再进行单工作面全采上分层，顺序为$2_{上}$→$6_{上}$→$4_{上}$；最后全采下分层，顺序为 $2_{下}$→$6_{下}$→$4_{下}$； 适用条件为H=400～600 m的中等采深、M=6.0～8.0 m厚煤层； 布置如图6(c) 所示

2.2.2　协调全采沉陷控制过程

以方法 3 为例, 协调全采地表沉陷控制的过程如下:

(1) 跳采阶段工作面进行横向采宽 D_t 控制, 跳采工作面可按先采外围后采中央的顺序, 也可根据需要调整顺序。此阶段工作面之间有煤柱 (煤柱宽度 D_{mz}= 全采宽度 D_q), 地表处于极不充分开采状态, 跳采工作面引起地表移动变形的主要因素可用式 (2) 表示。

(2) 全采工作面控制采厚 M, 可以分 2 层 (M_{up}、M_{down}) 开采, 实行纵向控制, 全采阶段的顺序应按技术思路图实行, 最后回采中部工作面。全采上分层时, 至少 3 个工作面连成开采空区, 地表达到超充分开采, 出现平底下沉盆地, 最大下沉值因采厚减半而减小, 全采工作面盆地中央变形很小。此阶段地表移动变形的主要因素和相邻关系可用式 (3) 表示。

(3) 全采下分层阶段是在全采上分层全部工作面采完后实施的开采阶段, 全采下分层可以再次协调与跳采工作面的移动变形, 虽然地表最大下沉值加倍, 盆地边缘变形增大, 但平底变形较小。此阶段地表移动变形的主要因素可用式 (4) 表示。

$$S_{sur,t} = f(M, D_t, D_{mz}, H, \alpha, f_r) \tag{2}$$

$$S_{sur,q,up} = f(M_{up}, D_t + D_q + D_t, H, \alpha, f_r) \tag{3}$$

$$S_{sur,q,down} = f(M_{down}, D_t + D_q + D_t, H, \alpha, f_r) \tag{4}$$

式中, $S_{sur,t}$、$S_{sur,q,up}$、$S_{su,q,down}$ 分别为跳采工作面、全采上分层工作面、全采下分层工作面地表移动变形; M、M_{up}、M_{down} 分别为跳采采厚、全采上分层采厚和全采下分层采厚, m; D_{mz}、D_q 为跳采阶段的煤柱宽、全采工作面宽度,m。

2.3　基于开采充分性的跳采全采工作面宽度设计

工作面宽度是决定地表采动程度和地表移动变形最大值的重要影响因素, 无论是跳采时单工作面, 还是全采过程形成的 3 个或更多连通工作面, 都需要考虑开采充分性控制的问题。我国学者对不同采留尺寸的条带开采地表移动规律、预计参数确定方法等进行了大量研究[7,9-10,17]。一些文献基于开采充分性变化对地表移动的影响规律、预计方法和参数的确定方法进行了研究[18-19, 23], 据此进行跳采和全采工作面宽度的优化设计讨论。

非充分开采沉陷的特点表明，地表最大下沉值与开采的充分性有密切关系，根据实测资料和理论分析，可以得到地表下沉率 η/下沉系数 q 与开采宽深比 k_D 的关系如图 8 所示。根据其变化规律，可以采用玻尔兹曼 (L. E. Boltzmann) 函数拟合地表下沉率随不同充分度 (开采宽深比变化) 曲线，如图 9 所示。地表下沉率的玻尔兹曼表达式为

$$\eta(k_D) = q\left[1 - \frac{1}{1+e^{(k_D-A_3)/A_4}}\right] \tag{5}$$

$$k_D = D/H \tag{6}$$

式中，η 为地表下沉率；q 为地表下沉系数；k_D 为开采宽深比；k_{DS}、k_{D0}、k_{DC} 为极不充分、非充分、临界充分时宽深比；A_3、A_4 为玻尔兹曼系数。

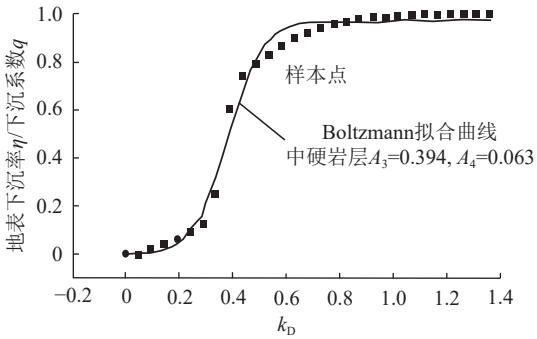


图 8 地表下沉率/下沉系数与开采宽深比的关系[19]

Fig.8 Relationship of normalized surface subsidence rate and mining width-depth ratio[19]

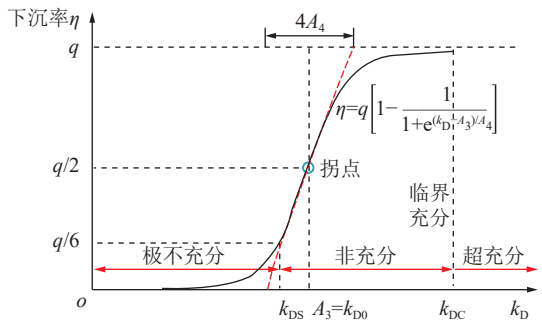


图 9 下沉率玻尔兹曼拟合曲线

Fig.9 Sub-critical mining subsidence rate curve simulated with Boltzmann function

对于不同矿区、不同矿井上覆岩层的岩性，拟合的玻尔兹曼系数、临界宽深比等均不相同。在厚松散层条件时还需对采深进行综合计算。

梧桐庄矿实测的下沉系数 q=0.76，不同充分度的地表下沉率拟合函数为

$$\eta(k_D) = 0.76\left[1 - \frac{1}{1+e^{(k_D-0.674)/0.286}}\right] \tag{7}$$

为了使跳采工作面处于极不充分开采状态，跳采工作面宽度 D_t 需满足式 (8)，另外，一组跳采全采工作面 (2 个跳采工作面加 1 个全采工作面) 的宽度之和需要达到超充分开采条件，即满足式 (9)。这就是进行跳采全采工作面宽度设计的依据。

$$D_t \leqslant k_{DS}H \tag{8}$$

$$D_q \geqslant k_{DC}H - 2D_t \tag{9}$$

一般的中硬覆岩条件下，可以取极不充分宽深比 k_{DS}=0.2～0.3、临界充分宽深比为 k_{DC}=1.0～1.2。如在中硬岩层条件下，取平均采深 H=500 m，则 D_t 取值为 100～150 m，D_q 取值为 200～300 m。

村庄煤柱采区工作面数个数，由采区总宽度和跳采全采布置方法、跳采全采工作面宽度确定，一个煤柱采区的跳采全采工作面个数一般为 5～10 个。

全采分层开采设计时，分层数一般为 2 层，各分层采厚按全煤厚平均分层设计确定。

在具体的村庄下采煤设计中，除了考虑采深、岩性、松散层厚度等条件，还需要综合考虑矿井技术条件、村庄房屋分布情况等因素。

3 协调全采技术应用环境的优化构建

矿井开拓系统和采区布置，是协调全采方法的技术应用环境，它关系到协调全采方法能否有效地进行地表移动变形的阶段性、大区域控制。因此构建有利于协调全采方法应用的技术环境，对于发挥技术优势至关重要。下面结合案例进行分析。

3.1 新建矿井密集村庄压煤开拓系统和采区布局优化

峰峰矿区梧桐庄矿 1992 年开工建设，2003 年 10 月正式投产，井田内 13 个村庄 4 500 余户，压煤 2 号煤层 8 098 万 t，占矿井总储量 57%，村庄煤柱分布如图 10 所示，该矿投产即面临生产接续的严重困难。矿井原规划设计为：设有−470、−700、−900 m 等 3 个开采水平，井田范围划分为 17 个采区，计划采取村庄搬迁或按条带开采处理压煤问题。原设计采区多、工作面小、长期边界多，这不利于村庄下资源回采、不利于村庄保护。

后经论证，改为协调全采方法[20]。为了改善技术应用环境，对矿井系统进行优化改造，利用矿井建井初期生产系统尚未完全形成、布局还有改变的可能性，以村庄下开采为目标，优化开拓布置，重新布置采区，以构造一个有利于村下开采技术应用的生产与开拓环境，从而改变了原设计一个煤柱分属多个采区的不良状况，改善了村庄下采煤的边界环境，提高了技术

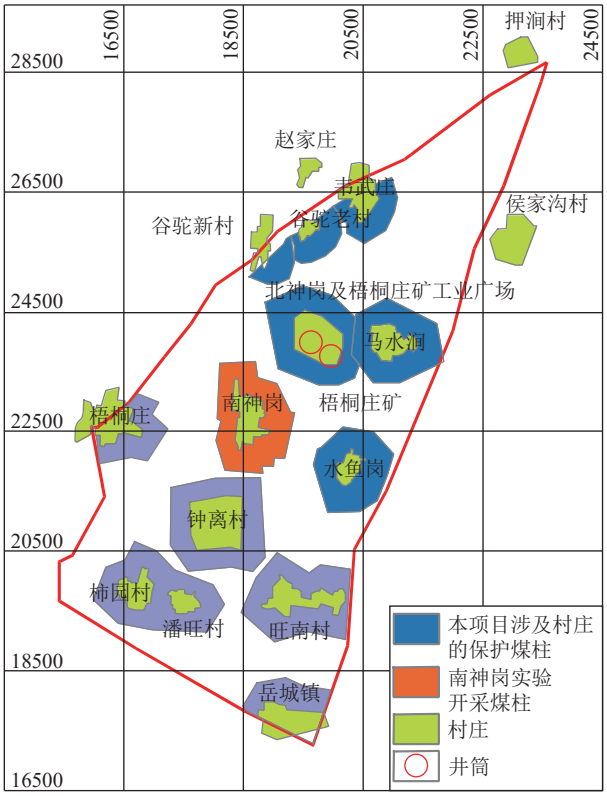


图 10　密集村庄煤柱分布平面

Fig.10　Coal pillar distribution plan under villages

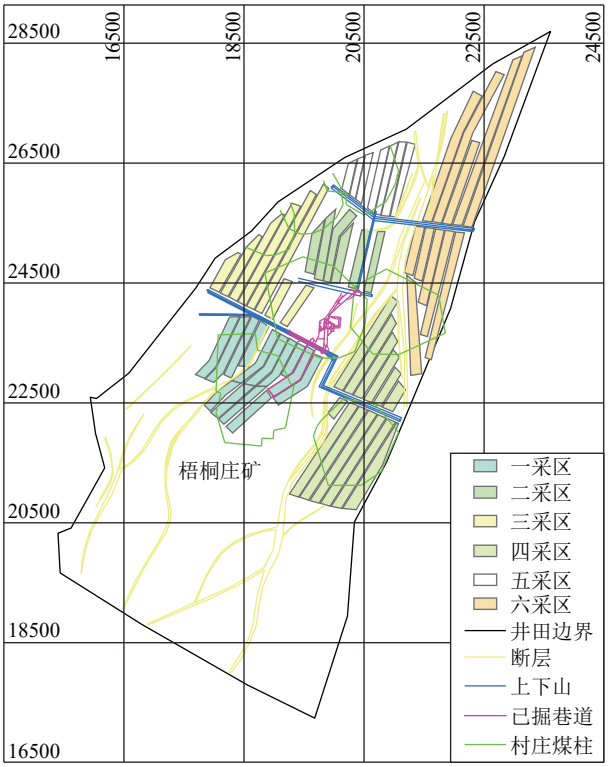


图 11　矿井开拓系统优化布置平面

Fig.11　Optimization layout plan of development system

应用效果。制定的开拓系统优化原则是: ① 立足矿井全局和生产长远, 在矿井设计时期即要专项制定村庄下采煤长远规划, 不应只考虑单个村庄煤柱或几个工作面开采问题, 或到无煤可采时再匆忙考虑开采滞压资源; ② 以受护对象为中心, 设计大采区、长工作面的技术思想; ③ 兼顾断层煤柱留设、巷道煤柱留设、村庄煤柱分布, 布置采区, 争取一柱多用; ④ 系统开拓系统改造应考虑矿井现实技术水平和生产能力, 兼顾技术应用的原则性与灵活性。

矿井开拓系统和采区布局优化后, 梧桐庄矿以村庄下全采为目标的新设计是: 1 个水平有 (−470 m) 加下山布置, 8 个采区 (图 11)。

3.2　村庄煤柱单翼开采系统布置

峰峰矿区辛安矿 (原黄沙矿) 大型村庄漳村下采煤, 矿方在初步设计中, 为实现采区两翼均衡生产和分区通风要求, 将漳村煤柱所在的采区上山布置在村庄煤柱的中央 (图 12(a))。在采区上山的单侧要留设 40 m 的保护煤柱, 滞压的 2 号煤工业储量为 68.8 万 t, 占该采区总工业储量的 9%。而且, 采区上山所留设的永久性保护煤柱, 当采区两翼开采后, 将在上方地表形成拉伸变形集中区, 不利于村庄砖木结构平房或砖混结构平房的保护。

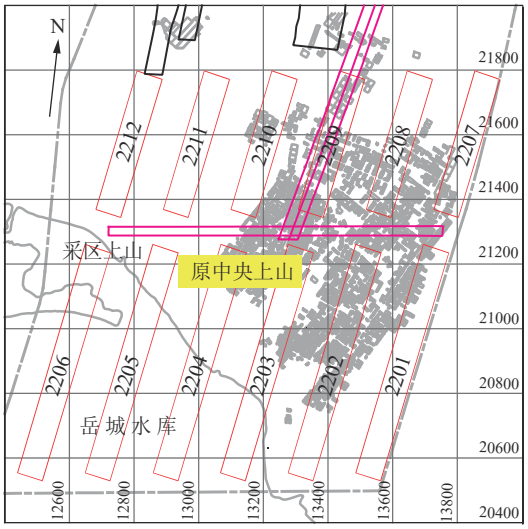
为了克服原设计的不足, 优化设计构建了有利的技术应用环境, 具体做法是[21]: ① 上山布置由村庄煤柱采区的中央改为采区的边缘。将其布置在 2 号煤 (大煤) 的底板内, 这样既避免了上山保护煤柱的留设, 减少了资源损失, 也避免了两翼开采在地表形成拉伸变形集中区; 同时减少了 3 条大巷的掘进工作量 1 689 m, 可节约 1 a 的大巷施工工期, 大大减缓工作面接替紧张的局面, 经济效益也十分显著。图 12(b) 为漳村煤柱系统优化与单翼开采布置平面图。② 开拓系统由双翼开采改为单翼开采。单翼开采有效增加了工作面延伸长度, 减少了煤柱区内的开采边界, 有利于协调全采工作面的布置, 有利于全采过程中的变形控制。

按照优化技术应用环境的思路, 在峰峰矿区梧桐庄矿钟离村煤柱协调全采方案中采用了单翼布置模式 (图 13), 在羊东矿东彭厢村煤柱开采设计中采用了单翼布置 (图 14), 为村庄下高效协调全采技术应用创造了良好的技术环境。

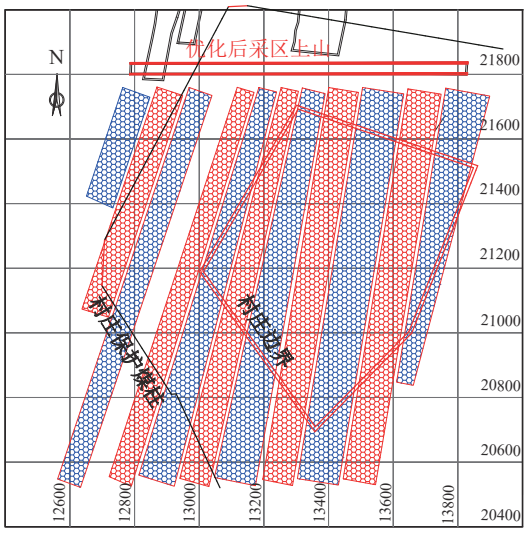
3.3　协调全采技术的适用条件

(1) 适宜于大型村庄下采煤, 其技术应用效益较明显; 不适宜房屋零星分布的小型村庄或孤立建构筑物下采煤。适宜于丘陵地区, 不适宜地下潜水位较高、下沉可能带来大面积积水的平原地区, 因为该技术不减沉只减缓地表变形。

(2) 适宜于采深较大、基岩厚度较大的条件, 设计工



(a) 原有中央上山和两翼条带开采布局



(b) 优化后边沿上山和单翼协调全采布局

图 12 辛安矿大型村庄下系统优化与单翼开采布置平面

Fig.12 System optimization and single wing mining layout plan of large village in Xin'an Mine

作面宽度可以较大，生产效率较高；不太适宜浅部开采。

(3) 适宜于缓倾斜及倾斜煤层，便于工作面的设计布置；不太适宜急倾斜煤层。

(4) 矿井如有冲击地压、瓦斯突出等问题时，需专门分析安全风险，慎重考虑跳采的可行性。

4 村庄下协调全采方法的实践

4.1 村庄下 2.7～3.9 m 中厚煤层协调全采应用

峰峰矿区新建矿井梧桐庄矿首采区涉及南神岗村庄压煤。南神岗村 552 户 2 583 人，占地 40.24 万 m^2，村庄下压 2 号煤储量 794.2 万 t。煤层倾角 0～25°，煤层厚度 M=2.7～3.9 m，平均 3.0 m；采深 488～850 m，平均采深 H=600 m；村庄范围地形平坦，地面标高 170 m，松散层厚度 96.6 m。

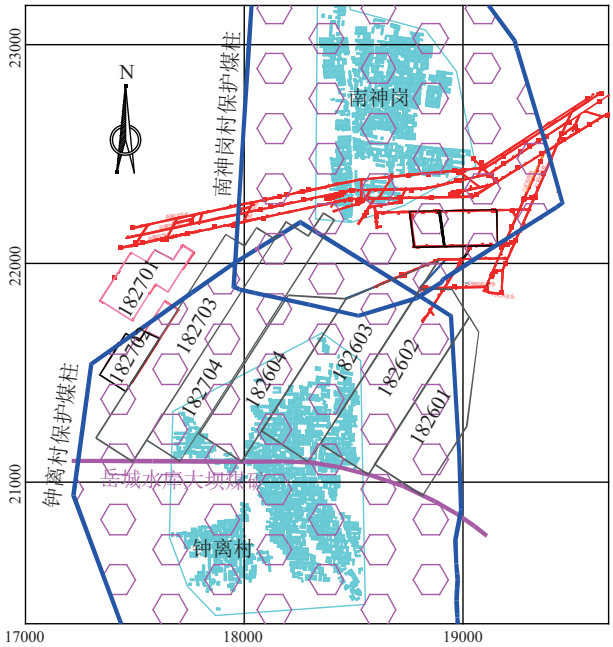


图 13 梧桐庄矿钟离村煤柱开采单翼布置

Fig.13 Single wing arrangement of coal pillar mining in Zhongli Village of Wutongzhuang Mine

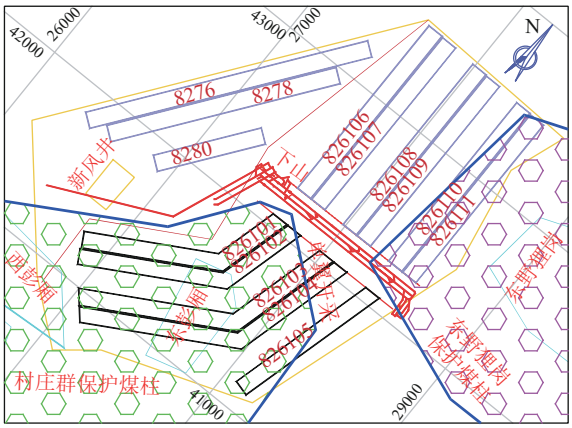


图 14 羊东矿东彭厢村煤柱开采单翼布置

Fig.14 Single wing arrangement of coal pillar mining in Dongpengxiang Village, Yangdong Mine

根据南神岗村庄煤柱的地质开采条件和地表情况，采用跳采 1 全采 1 的协调全采方法进行设计。图 15 为南神岗村庄下采煤设计平面图，跳采工作面设计宽度为 120～140 m，全采工作面宽度 150～160 m，工作面推进长度 590～1 832 m。跳采工作面开采顺序 102→104→106→107→109；全采工作面顺序为 102w→101→103→105→110→108。

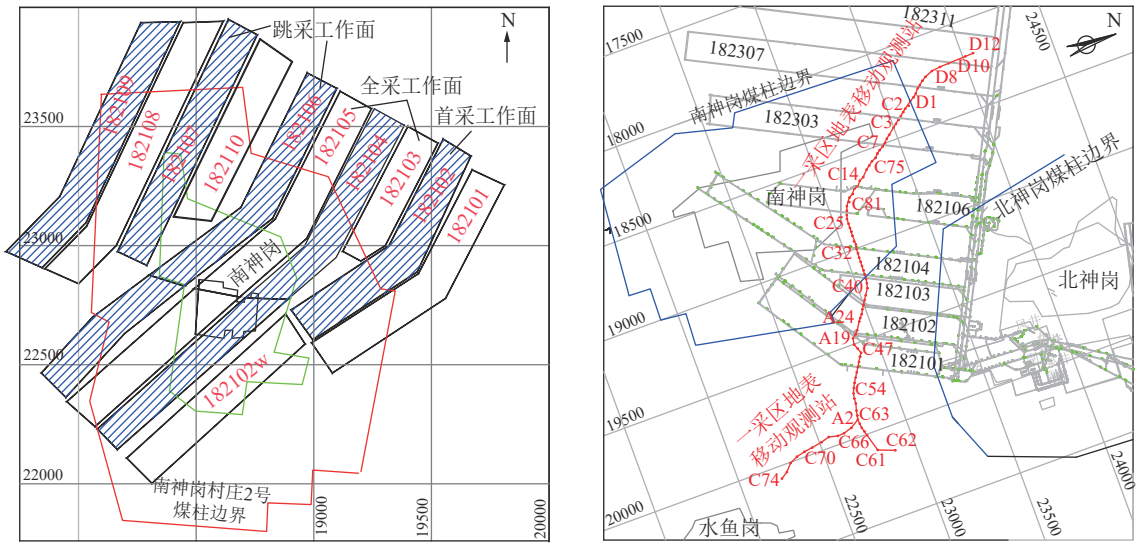
2002—2009 年开采方案实施并进行地表移动观测 (图 16)，已回采南神岗村庄煤柱全部工作面，跳采阶段地表实测最大下沉量 815 mm，跳采下沉率 0.25～0.35，全采后测得地表最大下沉 1 748 mm，下沉

系数 0.76。村庄煤柱采出率达 94%, 采出煤量为 676.0 万 t, 实现了村庄不搬迁、煤柱全部回采的目标, 房屋使用安全得到了保障。

4.2　村庄下 4.2～4.5 m 厚煤层协调全采应用

峰峰矿区辛安矿历年产能 50 万～150 万 t/a, 至 2005 年矿井储量所剩不多, 而漳村滞压工业储量 731.6 万 t, 成为可供挖掘的资源。漳村 770 户, 3 000 余人, 旧房为砖木、砖石或土坯结构, 新房屋砖混结构。庄村下 2 号煤煤厚 4.2～4.5 m; 平均采深 600 m。

2005 年 5 月, 针对漳村丘陵地区和深部厚煤层滞压条件, 采用方法 1(跳 1 采 1) 进行了村庄煤柱开采方案设计[21]。2010 年 4 月, 村庄煤柱首采 2162 工作面; 2013 年 4 月因新揭露断层, 调整 2145 工作面布置; 2015 年 11 月因保障产能, 调整 2161 工作面开采顺序, 实际工作面开采情况如图 17 所示。自 2010 年 5 月起地表移动局部观测, 2016 年 5 月—2020 年 11 月进行地表和建筑物全面观测, 2016 年 12 月—2020 年 6 月进行房屋损坏调查 5 次。地表观测成果如图 18 所示。跳采阶段实测下沉率为 0.15～0.30, 全采后测得地表最大下沉 2 641 mm, 最大水平移动 531 mm, 最大倾斜变形 9.6 mm/m, 下沉系数 0.71。2010 年 4 月—2021 年 7 月实际采煤 683.9 万 t, 煤柱产出率 93.5%。



(a) 工作面设计布置平面图　　(b) 实际开采与地表移动观测站布置

图 15　梧桐庄矿南神岗村庄下采煤设计与实际开采情况

Fig.15　Plan of face design and actual mining under Nanshengang Village in Wutongzhuang Mine

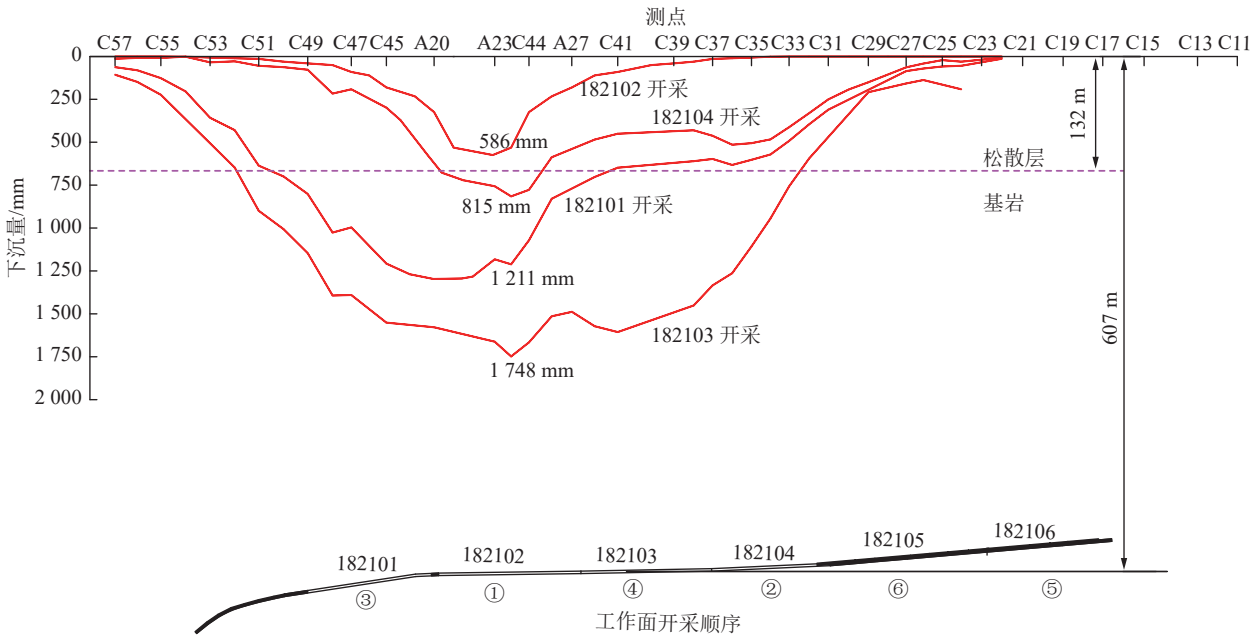


图 16　梧桐庄矿村庄下采煤地表实测下沉曲线

Fig.16　Measured surface subsidence curves of coal mining under village in Wutongzhuang Mine

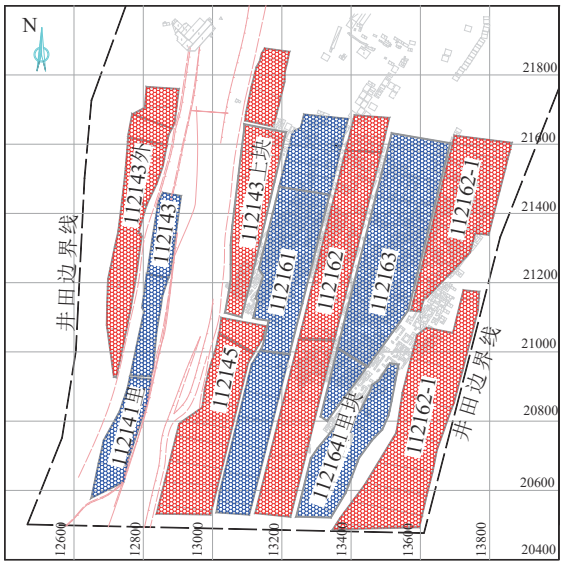


图 17 辛安矿漳村下协调全采工作面实际分布

Fig.17 Actual distribution of coordinated all-mining face under Zhangcun in Xinan Mine

村庄下跳采工作面宽度达到 305 m，单矿单村庄煤柱下年度出煤量 128 万 t/a，实现了特大型村庄压煤的完全回收和房屋安全保障。

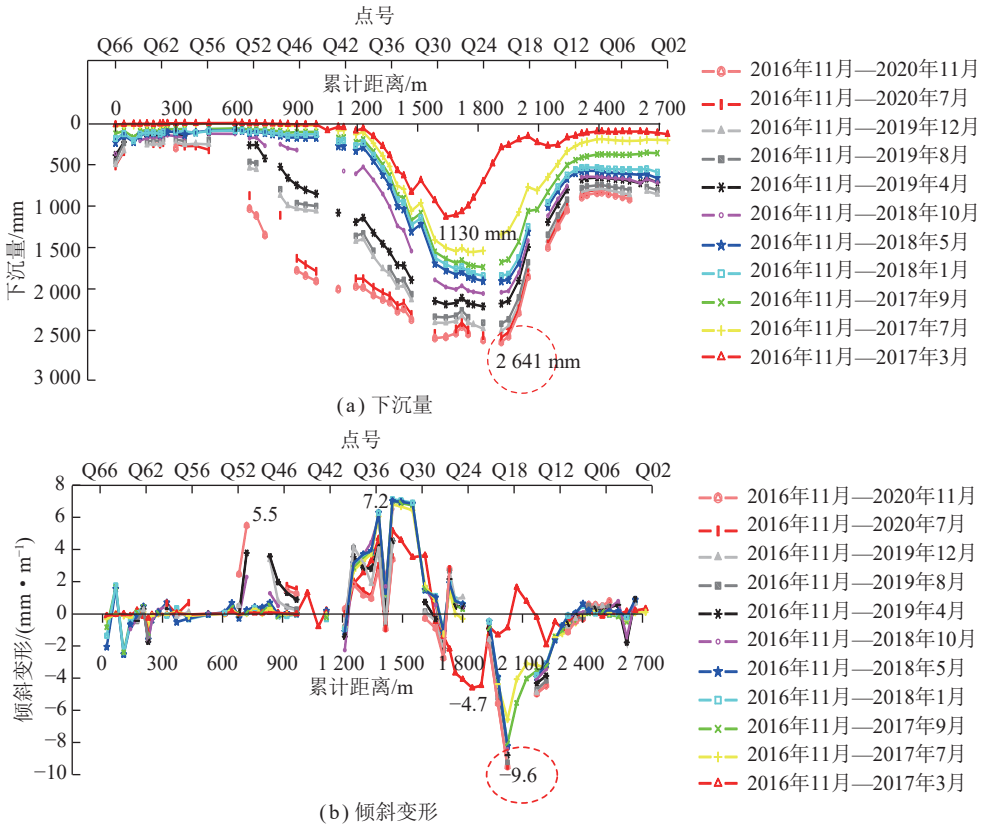
4.3 村庄下 5.7 m 厚煤层协调分层全采应用

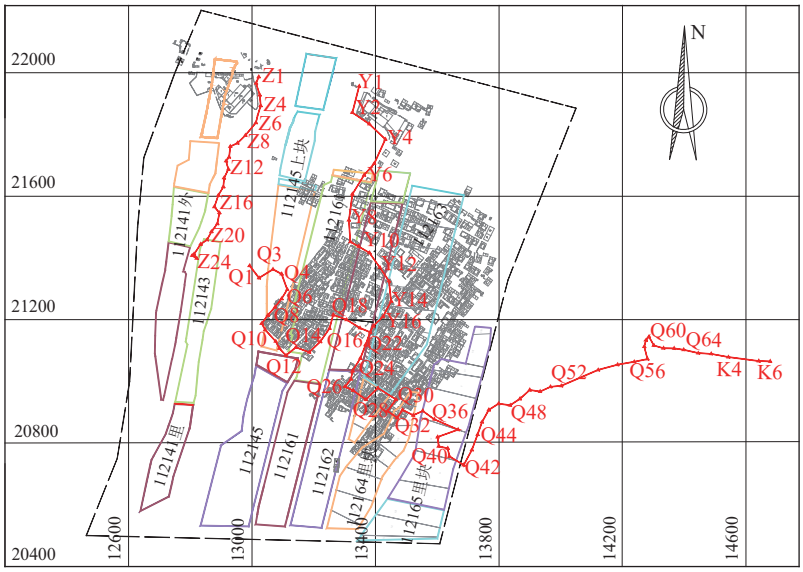
峰峰矿区羊渠河矿苗庄村 480 户 1 850 余人，滞压 2 号工业储量 664 万 t。2 号煤平均煤厚 5.7 m；平均采深 550 m，属于厚煤层深部压煤。受断层和大巷布置影响，苗庄煤柱可供设计开采的区域为煤柱西北部分。在前期条带开采 (采宽 50 m，留宽 90 m) 的基础上，2006 年采用方法 3(跳 1 全 1 分层) 进行了苗庄下厚煤层协调分层全采方案设计，全采上分层采厚 2.4 m，下分层 3.3 m，第 1 阶段跳采工作面 (原条带工作面)8239、8241、8243、8245、8247；第 2 阶段全采上分层工作面及开采顺序为 8242s、8246s →8244s；第 3 阶段全采下分层工作面及开采顺序为 8242x、8246x → 8244x，工作面布置平面如图 19 所示。

预计全采上分层开采地表最大下沉量 1 256 mm，水平变形 3.9 mm/m，倾斜 5.2 mm/m，Ⅱ级损坏占 38%，Ⅲ级损坏占 17%；全采下分层即全部开采，地表最大下沉 3 136 mm，水平变形−9.8 和+2 mm/m，倾斜 10.0 mm/m，Ⅱ级损坏占 36%，Ⅲ级损坏占 22%，Ⅳ级损坏占 19%。

实际开采，1998—2004 年跳采工作面 5 个，采出煤量 87.2 万 t，村庄房屋大部分无损坏或Ⅰ级损坏，20 余户房屋出现Ⅱ级损坏。

2006—2009 年全采情况：出煤量 97.3 万 t，村庄房屋出现了Ⅲ级、Ⅳ级损坏，补偿经费较多。虽然实现了村庄下厚煤层全采，但由于前期条带开采工作面尺寸不够宽，煤柱受断层分割，工作面延伸不够长、村庄下充分度不够，地表移动受断层影响，致使房屋损坏较为严重。由此可见，村庄下采煤设计关系到矿井





(c) 观测线布置

图 18　辛安矿漳村下采煤地表实测移动变形曲线

Fig.18　Measured surface movement and deformation curves of coal mining under Zhangcun Village

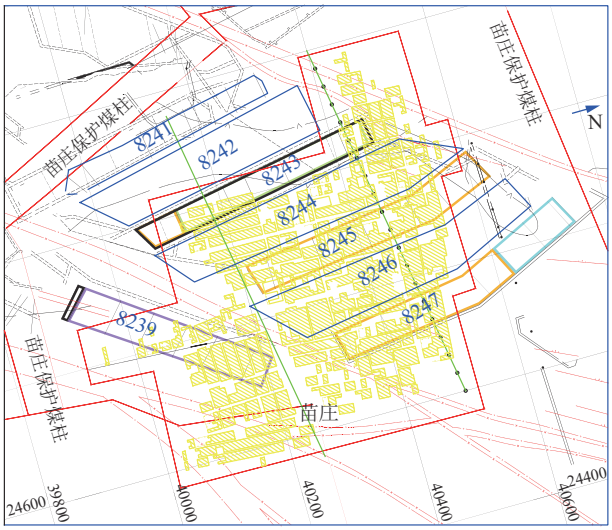


图 19　羊东矿苗庄村下厚煤层协调分层全采布置

Fig.19　Layout plan of coordinated sliced full mining of thick coal seam under Miaozhuang Village in Yangdong Mine

布局和采区设计, 宜早规划, 为技术方法的选择和方案设计提供更有利的技术应用环境。

5　结　　论

(1) 提出了将采区内工作面划分跳采、全采上分层、全采下分层 3 个开采阶段, 进行横向采宽控制、纵向分层采厚控制、开采顺序阶段性控制的开采沉陷协调控制思路, 提出了“跳采 1 全采 1”、“跳采 2 全采 1”和“条采 1 全采 1 分层”协调全采 3 种方法, 为村庄下滞压资源的高采出率回采提供了技术手段。

(2) 提出了协调全采技术应用环境构建方法, 即上山布置于村庄煤柱外缘, 实行单翼开采。技术环境的优化, 有利于采区内充分地进行分阶段协调布局, 避免了长期多边界带来紊乱变形的不利影响, 提升了煤柱开采效率。

(3) 分析揭示了厚煤层协调全采地表移动的阶段性叠加规律和减缓地表移动变形、改善地表变形分布的机理。研究区实测协调跳采阶段地表下沉率为 0.15～0.35, 全采下沉系数 0.71～0.76。

(4) 协调全采方法在村庄下采煤应用研究中取得良好成效, 村庄下全采采厚 3.5～5.7 m、双面跳采宽度达 305 m(160+145 m)、单矿单个村庄下年度出煤 128 万 t/a, 实现了滞压资源采出率 93.5%, 延长了矿井服务年限 10～20 a, 避免了井下充填和村庄搬迁, 保证了村庄房屋安全, 保障了村民的安居生活和正常生产, 取得了村庄下全采的实践经验。

参考文献(References):

[1]　周国铨. 建筑物下采煤[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983.

[2]　焦传武. 我国村庄下采煤的可能性[J]. 煤炭科学技术, 1982(2): 8−14, 59.
JIAO Chuanwu. The possibility of coal mining under villages in China[J]. Coal Science and Technology, 1982(2): 8−14,59.

[3]　周国铨, 黄乐亭. 我国村庄下压煤及其开采途径[J]. 矿山测量, 1986(3): 30−38.
ZHOU Guoquan, HUANG Leting. Underpressure coal and its mining path in China's villages[J]. Mine Survey, 1986(3): 30−38.

[4]　张玉卓, 陈立良, 周万茂. 村庄下采煤的理论基础——地表沉陷预测与控制[J]. 煤炭科学技术, 1998, 26(4): 39−42.
ZHANG Yuzhuo, CHEN Liliang, ZHOU Wanmao. Theoretical basis of coal mining under the village—Surface subsidence prediction and

control[J]. Coal Science and Technology, 1998, 26(4): 39−42.

[5] 李凤明, 耿德庸. 我国村庄下采煤的研究现状、存在问题及发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 1999, 27(1): 10−13.
LI Fengming, GENG Deyong. Research status, problems and development trend of coal mining under villages in China[J]. Coal Science and Technology, 1999, 27(1): 10−13.

[6] 戴华阳, 王金庄, 刘天新, 等. 村庄下深部压煤开采的技术途径探讨[J]. 矿山测量, 2003(3): 15−17.
DAI Huayang, WANG Jinzhuang, LIU Tianxin, et al. Exploration of technical ways of deep pressure coal mining under the village[J]. Mine Survey, 2003(3): 15−17.

[7] 吴立新, 王金庄, 刘延安, 等. 建 (构) 筑物下压煤条带开采理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.

[8] 谭志祥, 邓喀中. 建筑物下采煤研究进展[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(4): 485−488.
TAN Zhixiang, DENG Kazhong. Research progress of coal mining under buildings[J]. Journal of Liaoning University of Engineering and Technology, 2006, 25(4): 485−488.

[9] 柴华彬, 邹友峰, 郭文兵, 等. 村庄下条带开采对地表建筑的影响预测及评价[J]. 河南理工大学学报, 2008, 27(6): 662−665.
CHAI Huabin, ZOU Youfeng, GUO Wenbing, et al. Prediction and evaluation of the impact of strip mining on surface construction under the village[J]. Journal of Henan University of Technology, 2008, 27(6): 662−665.

[10] 郭文兵, 邓喀中, 邹友峰. 条带开采地表移动参数研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(3): 182−186.
GUO Wenbin, DENG Kazhong, ZOU Youfeng. Study on surface movement parameters of strip mining[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(3): 182−186.

[11] 王金庄. 矿山开采沉陷及其损害防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995.

[12] 冯家棋, 王银锁, 邢安仕. 辛寺庄村下野青、山青煤层试采[J]. 矿山测量, 1990(2): 34−41.
FENG Jiaqi, WANG Yinsuo, XING Anshi. Test mining of the Noqing and Shanqing coal seams under Xinsizhuang Village[J]. Mine Survey, 1990(2): 34−41.

[13] 黄乐亭. 建 (构) 筑物下大条带协调式全采方法[J]. 煤炭学报, 1995, 20(6): 632−636.
HUANG Leting. Coordinated total mining method for large strips under construction[J]. Journal of China Coal Society, 1995, 20(6): 632−636.

[14] 胡炳南, 刘天泉. 两次跳采法开采建筑物下压煤技术探讨[J]. 煤矿开采, 1999, 36(3): 45−47.
HU Bingnan, LIU Tianquan. Discussion on the technology of mining coal under buildings by two jump mining methods[J]. Coal Mining, 1999, 36(3): 45−47.

[15] 张华兴, 王建学. 宽条带开采的探讨与实践[J]. 矿山测量, 2000(2): 22−24.
ZHANG Huaxing, WANG Jinxue. Exploration and practice of wide strip mining[J]. Mine Survey, 2000(2): 22−24.

[16] 张华兴, 李效刚, 刘德民. 利用宽条带实现全柱开采的方法[J]. 煤矿开采, 2002, 49(2): 16−18, 25.
ZHANG Huaxing, LI Xiaogang, LIU Demin. A method to achieve full column mining using wide stripes[J]. Coal Mining, 2002, 49(2): 16−18,25.

[17] 郭文兵. 深部大采宽条带开采地表移动的预计[J]. 煤炭学报, 2008, 33(4): 368−372.
GUO Wenbing. Prediction of surface movement in deep large mining wide strip mining[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(4): 368−372.

[18] 郭增长, 王金庄, 戴华阳. 极不充分开采地表移动与变形预计方法[J]. 矿山测量, 2000(3): 35−37.
GUO Zengzhang, WANG Jinzhuang, DAI Huayang. A method for predicting surface movement and deformation in very inadequate mining[J]. Mine Survey, 2000(3): 35−37.

[19] 戴华阳, 王金庄. 非充分开采地表移动预计模型[J]. 煤炭学报, 2003, 28(6): 583−587.
DAI Huayang, WANG Jinzhuang. A model for predicting surface movement of non-sufficient mining[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(6): 583−587.

[20] 中国矿业大学 (北京). 峰峰矿务局梧桐庄矿. 峰峰矿区梧桐庄矿南神岗村庄压煤开采设计[R]. 北京: 2001.

[21] 中国矿业大学 (北京). 峰峰黄沙矿 (现辛安矿) 漳村下压煤开采方案设计研究[R]. 北京: 2005.

[22] 戴华阳, 闫伟涛, 王志军, 等. 峰峰矿区某矿建筑物下深部压煤开采方案设计研究[C]//第 234 场中国工程科技论坛——深部矿产资源高效开发与利用. 2016.

[23] 李全生, 赵毅鑫, 戴华阳, 等, 现代集约化开采损伤监测与减损修复构建技术及应用[M]. 北京: 应急出版社, 2022.