

小纪汗煤矿抗采动变形试验房变形规律研究

刘立忠^{1,2} 张云鹏¹ 崔云龙³

(1. 华北理工大学 矿业工程学院 河北 唐山 063009; 2. 中煤科工集团唐山研究院有限公司 河北 唐山 063012;
3. 陕西华电榆横煤电有限责任公司小纪汗煤矿 陕西 榆林 719000)

摘 要: 为了检验建筑物的抗采动安全性,小纪汗煤矿在11201工作面采动影响区修建抗变形结构试验房,并在试验房和附近地表布置建筑物变形观测点,进行变形观测。试验房经历了地表移动变形的全过程,保持完好。对观测数据进行总结、分析,研究试验房的变形规律,结果表明:按照该抗变形标准修建的建筑物至少可以抵抗最大下沉量1 500 mm、倾斜7.7 mm/m、水平拉伸变形量10.15 mm/m和水平压缩变形量-9.15 mm/m的变形,此次抗变形试验的结果可由11201工作面推广至首采盘区乃至整个井田,并在实践中不断完善,可以使该矿达到不搬迁开采的目的,并在陕北地区进行推广。

关键词: 不搬迁开采; 抗变形试验; 建筑物变形; 试验房

中图分类号: TD32 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2017)03-0179-06

Study on deformation law of testing building with anti-mining induced deformation in Xiaojihan Coal Mine

Liu Lizhong^{1,2} Zhang Yunpeng¹ Cui Yunlong³

(1. School of Mining Engineering North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China;
2. Tangshan Research Institute, China Coal Technology & Engineering Group Corp., Tangshan 063012, China;
3. Xiaojihan Coal Mine, Shaanxi Huadian Yuheng Coal Industry Group Co., Ltd., Yulin 719000, China)

Abstract: In Xiaojihan Coal Mine, a testing building with anti-deformation structure was built on No. 11201 working face in order to test the building safety by mining influence. The observation points of building anti-deformation were made on the testing building and its surface around in order to observe the deformation. Through the whole process of the surface movement, the testing building was kept in a good condition. The laws of building deformation were analyzed and the deformation values were concluded. The results showed that the anti-deformation building with current standard can at least resist the deformation values of subsidence 1500 mm, incline 7.7 mm/m, horizontal tensile deformation 10.15 mm/m and horizontal compression deformation -9.15 mm/m. The test results by No. 11201 working face can apply to the first panel and the whole mining area, and then continuously improve in practice. It also is proved that it was feasible to make mining without relocation in the mining area and north Shaanxi Area.

Key words: mining without relocation; anti-deformation testing; building deformation; testing building

0 引 言

村庄压煤问题严重制约着村庄密集型煤矿的发展和生产接续,亟待解决。采用传统的搬迁村庄的做法具有搬迁费用高、农民意愿不情愿、用地指标紧张等弊端^[1]。因此,可以采用“不搬迁开采”(即开采前在村庄原址就地重建抗变形民房)的途径来解

决村庄压煤问题。

在煤矿区进行开采前就地重建村庄,意味着重建的民房将经历地表沉陷的初始期、活跃期和衰退期的变形全过程,并面临地表动态变形和采空区的威胁,这在技术上有较大的难度,需要对地基、新建建筑物采取一系列的抗变形技术措施,才能保障建筑安全^[2]。20世纪60年代,峰峰、枣庄、鹤壁矿务

收稿日期: 2016-10-10; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2017.03.032

基金项目: 中国煤炭科工集团有限公司科技创新基金资助项目(2014MS036)

作者简介: 刘立忠(1982—),男,河北石家庄人,助理研究员,硕士。Tel: 13832970363, E-mail: 250486114@qq.com

引用格式: 刘立忠,张云鹏,崔云龙.小纪汗煤矿抗采动变形试验房变形规律研究[J].煤炭科学技术,2017,45(3): 179-184.

Liu Lizhong, Zhang Yunpeng, Cui Yunlong. Study on deformation law of testing building with anti-mining induced deformation in Xiaojihan Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(3): 179-184.

局通过对建筑物加固实现在建筑物下采煤,取得了较好的效果;80年代开始,资江、峰峰、平顶山、阳泉等矿务局在沉陷区上方进行了建筑试验和科学研究^[3-5];煤炭科学研究总院唐山分院与平顶山矿务局研究的国家“七五”科技攻关项目“抗变形房屋村庄下采煤”于1990年5月通过技术鉴定^[6];同年,中国矿业大学采动区抗变形建筑物研究与试验课题组也进行了相关研究,并编写了《矿山砖混结构建筑物抗采动设计要点建议书及编制说明》^[7];1993年李健民等^[7]在兖州矿区进行建筑物下试采试验,掌握了井下开采对建筑物的影响规律,成功地采出了煤炭31.03万t;张俊英等^[8]在潞安矿务局对综放开采条件下的抗变形农房进行开采试验,指出处于受拉区的房屋比处于受压区的房屋受力要大些,建筑物基础是最大的受力部位等规律。

我国陕北地区进行村庄的采前重建尚无先例。由于涉及村庄及人口较多,为安全起见,小纪汗煤矿在11盘区的11201工作面下方新建试验房,进行抗变形试验研究,该试验房采用砖混和抗变形结构。抗变形试验时,在建筑物墙壁上布置墙壁点和附近地表布置地表点,并对其进行周期性观测,截至2015年8月,共进行9次位移观测和15次水准观测,试验房经历了地表移动变形全过程,保持完好。试验证明,采取相应抗变形结构的民房可以抵抗11201工作面的采动影响。

1 试验房概况与煤层赋存状况

1.1 试验房概况

小纪汗煤矿位于我国陕北地区,为沙漠滩地区,井田内村庄较多,主要涉及10个行政村、47个自然村,共计1988户、8411人;其中,井田首采11盘区内涉及5个自然村、437户、1717人。该地区的村庄分布具有分散、广布的特点。

试验房为一独栋建筑,建筑层数为地上2层,局部4层,室内外高差300mm,上部结构体系为砖混,采用抗变形结构建设,建筑物抗变形技术措施自下而上包括:地基加固处理、基础抗变形措施和上部结构抗变形措施。采用煤矸石垫层处理地基,占地面积为64.08m²,外墙尺寸最大为长9.6m,宽7.1m,如图1所示。

1) 地基加固处理:预填高主要物料为煤矸石,地基加固主要采用矸石分层回填碾压处理,大量研究和实践证明该方法为矸石回填地基处理之最佳方

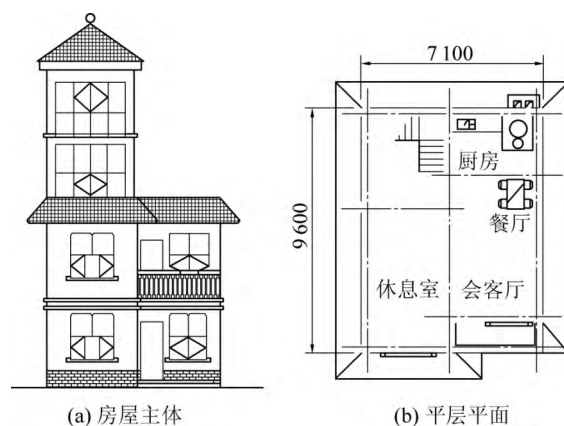


图1 试验房

Fig. 1 Side view of testing building

法。开挖至-3.9m,原土夯实,使用煤矸石垫层2000mm厚,外放1200mm,分层5~6层换填,每层不超过400mm厚,含水率8%~12%,并在第3、4层之间加1层厚100mm的砂层,并压实,煤矸石层每层压实系数不小于0.95,处理后地基承载压力特征值不小于140kPa^[1]。

2) 基础抗变形措施:煤矸石地基处理后,在地基和基础之间铺设均匀的碎石垫层,厚100mm,基础采用条形毛石基础,宽0.6m,高1.2m,剖面呈台阶状,呈三级台阶,单级台阶高0.4m,宽0.2m,基础埋深为1.5m。在毛石基础和基础圈梁之间设置水平滑动层,滑动层采用采用2层油毡中夹滑石粉构成。基础圈梁为钢筋混凝土材质,根据位置不同分370mm×450mm、240mm×450mm两种规格,内配置φ6mm×200mm的钢筋^[1]。

3) 上部结构抗变形措施:主要包括檐口圈梁、构造柱以及墙内的拉结筋。所有基础圈梁均设在同一水平,所有檐口圈梁设在同一水平,圈梁均形成连续闭合圈。构造柱主要设在建筑的四角,变形大的区域、建筑单体相对较长的建筑还设置了中构造柱和双中构造柱,构造柱与圈梁整体浇筑,柱两端钢筋在圈梁内锚固。墙体内根据需要铺设拉结筋,以提高墙的强度^[1]。与基础相关联的抗变形措施如图2所示^[1]。

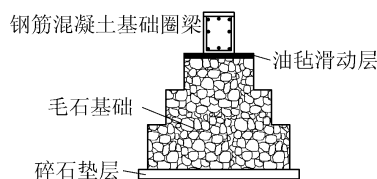


图2 抗变形措施示意

Fig. 2 Diagram of anti-deformation measures

1.2 煤层赋存状况

井田内地表大部分被第四系风成沙及黄土所覆盖。井田内地层由老至新依次为: 侏罗系下统富县组、中统延安组、直罗组、安定组, 白垩系下统洛河组、第四系。断层及各种构造不发育。

小纪汗煤矿的主要可采煤层自上而下为 2、4⁻²、5、7 号等共 4 层, 采用下行式开采, 自 2013 年 8 月开始首采 2 煤层, 平均采厚约为 2.6 m, 属稳定型中厚煤层, 煤层倾角约 0.5°, 平均埋深 360 m。采用走向长壁综合机械化一次采全高采煤法, 全部垮落法管理顶板。由于 2 号煤层的分布稳定, 开采时间长, 距离下一煤层 4⁻² 煤层的开采时间久远, 因此, 本次试验研究仅考虑 2 号煤层的采动影响。

2 试验房观测设计

2.1 选址分析

试验房位于 11201 工作面相应地表, 11201 工作面位于井田首采区北翼东北部, 工作面长约 2 534 m, 宽约 345 m。

鉴于搬迁工作的紧迫性, 结合矿井开采规划和地表附着物分布状况, 选取在工作面的倾向中点偏东 50 m 处, 该处地表为风沙滩地, 较为平坦, 且地表变形较为稳定和均匀, 同时, 基本位于下沉盆地的中央, 最终稳沉后的地表倾斜小, 具有典型性和代表性, 位置如图 3 所示。

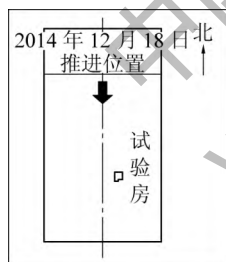


图 3 试验房与工作面位置关系

Fig. 3 Position relationship between testing building and working face

2.2 建筑物变形观测点布置

本次试验研究中, 为了更好地研究试验房的变形情况, 设置了建筑物变形观测点。在试验房布置 17 个墙壁点 (F_1 — F_{17}), 并在对应的地表布置 17 个地表点。地表点和对应墙壁点之间的距离为 1.5 m。地表点布置如图 4 所示。

墙壁点采用 $\phi 18$ mm 的钢筋做成, 全长 200 mm, 一端做成燕尾或其他形式锚爪; 另一端向上弯起, 端面平整并刻划宽为 0.5 mm 左右的十字丝, 用 200

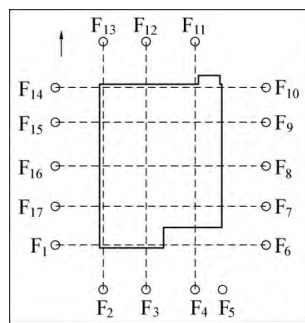


图 4 地表点布置

Fig. 4 Layout of soil points on the testing building

标号混凝土将测点埋在砌体内。地表点用 $\phi 18$ mm 的钢筋做成, 一端锚固在混凝土中, 另一端平整, 刻划十字丝, 并露出墩面 10 mm。

埋设的测点用经纬仪按设计要求标定, 同时, 为了保证观测点的可靠性, 对观测点采取一定的保护措施, 使之免遭破坏^[9-10]。

3 试验房观测结果及影响分析

试验房以及相关的观测点于 2014 年 11 月建成, 12 月 18 日开始观测。开始观测时 11201 工作面的推进位置与试验房间平距为 304 m, 该矿的超前影响距约为 100 m, 因此, 开始观测时所有观测点均处于不受扰动状态。

11201 工作面的推进速度约为 7 m/d, 至 2015 年 5 月 25 日开采完毕。通过对建筑物变形观测, 总结分析建筑物变形的实测成果, 并从中验证抗变形建筑物可以抵抗的变形等级。试验房变形观测时重点对地表点的移动变形情况进行, 分别进行了位移观测和水准观测。位移观测共进行了 9 次, 观测时间为 2014 年 12 月 18 日至 2015 年 8 月 5 日; 水准观测共进行了 15 次, 观测时间为 2014 年 12 月 27 日至 2015 年 8 月 5 日。

通过对原始的观测数据的整理, 分别对试验房进行沉降、沉降速度、倾斜和水平变形分析。

3.1 试验房沉降分析

在工作面推进过程中, 前方的地表受采动影响而下沉, 这种现象称为超前影响^[11-13]。按照实测数据, 2015 年 1 月 8 日地表点下沉量约 10 mm, 地表开始移动。之后, 建筑物沉降量逐渐增大, 直至进入一个稳定期。通过对实测数据的分析与整理, 各个地表点的实测沉降曲线趋势基本相同, 因此仅选用其中的一个代表点 F_{12} 分析建筑物的沉降变化趋势, 如图 5 所示(横坐标中“0”为试验房位置, 试验房以北

为“-”,以南为“+”,下同)。

由图5可知,在工作面的超前影响刚到达试验房时(2015年1月8日),试验房开始出现缓慢的下沉,下沉量逐渐增大;在之后工作面推进位置即将到达试验房正下方时(2015年1月16日),试验房开始了剧烈下沉;直至工作面推进越过试验房约300 m后(2015年2月25日),试验房逐渐稳沉,最大下沉量逐渐达到1 500 mm。

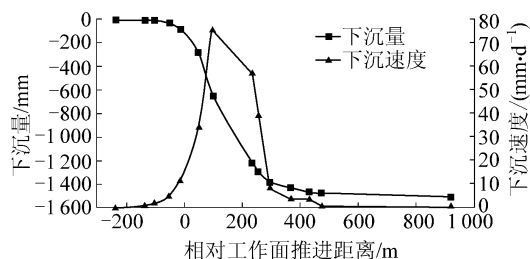


图5 F_{12} 观测点沉降和沉降速度曲线

Fig. 5 Subsidence and its speed curves of No. F_{12} soil point

3.2 试验房下沉速度分析

试验房的沉降历经了缓慢到剧烈,再从剧烈到缓慢的过程,具体的衡量指标就是地表下沉速度。根据实测数据计算出的各个地表点在不同时间段的下沉速度,各个地表点的下沉速度曲线基本相同,均经历了一个“波峰”的过程。选用 F_{12} 点作为代表点,下沉速度曲线如图5。

地表点移动的初始期约为2015年1月8日,时长为1 d;活跃期约为2015年1月8日至3月16日,时长为68 d,其中最大下沉速度出现在1月22—27日,约为75 mm/d;衰退期时长约为210 d。因此,试验房经历了一个完整的初始期至活跃期,再到衰退期的全过程。

其中,初始期内(I),工作面推进位置在北侧,试验房在以北85~92 m;活跃期内(II),工作面推进位置为试验房以北85 m至试验房以南450 m;衰退期内(III),工作面推进位置为试验房以南450 m至工作面开采完毕(试验房以南911 m)。初始期、活跃期、衰退期对应的工作面推进范围如图6所示。

3.3 试验房倾斜分析

对试验房倾斜的分析选择南北方向(走向)的 F_2-F_{13} 、 F_3-F_{12} 、 F_5-F_{11} 三条观测线和东西方向(倾向)的 F_6-F_1 、 F_7-F_{17} 、 F_8-F_{16} 、 F_9-F_{15} 、 $F_{10}-F_{14}$ 五条观测线,观测线的布置如图4所示。

根据实测水准观测资料计算的每条观测线上两点的下沉差,并计算历次观测的各条线倾斜,由此绘成的倾斜曲线如图7和图8所示。

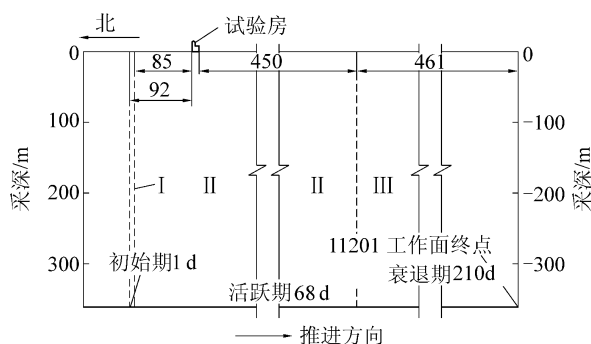


图6 不同移动时期工作面推进范围示意图

Fig. 6 Working face advancing range in different periods

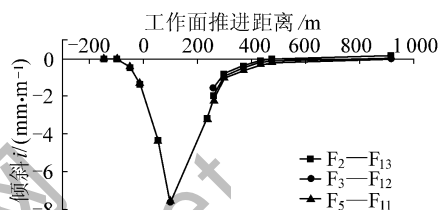


图7 南北方向观测线倾斜曲线

Fig. 7 Incline curves in north-south direction survey line

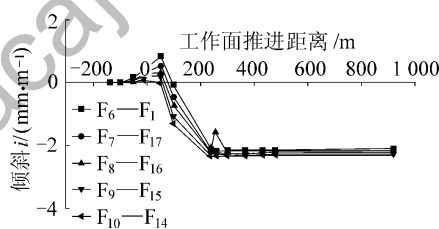


图8 东西方向观测线倾斜曲线

Fig. 8 Incline curves in east-west direction survey line

由图7可知,各条观测线的倾斜曲线基本相同,均经历了一个“波谷”的过程。从南北方向观测线来看,试验房约在2015年1月8日开始向北倾斜(倾斜为负),倾斜逐渐加大,至第7次观测时(1月27日)达到最大值,约为-7.7 mm/m,之后试验房倾斜程度逐渐向南“回撤”,在第10次观测时(2015年2月25日)修正为-1 mm/m,最后修正约为0,即在南北方向上基本达到垂直。南北方向上倾斜的变化过程也反映了随着工作面的逐渐推进,下沉盆地逐渐形成的过程^[14-16]。

由图8可知,各条观测线的倾斜曲线基本相同,即先向东(倾斜为正)略为倾斜,之后恢复垂直,然后向西倾斜,直至第八次观测时(2015年2月10日),向西倾斜达到最大值,约为-2.3 mm/m,之后一直稳定在该值左右,不再变化。这是因为试验房并未处于工作面倾向方向上的正中央,而处于下沉盆地的永久倾斜变形区^[17]。

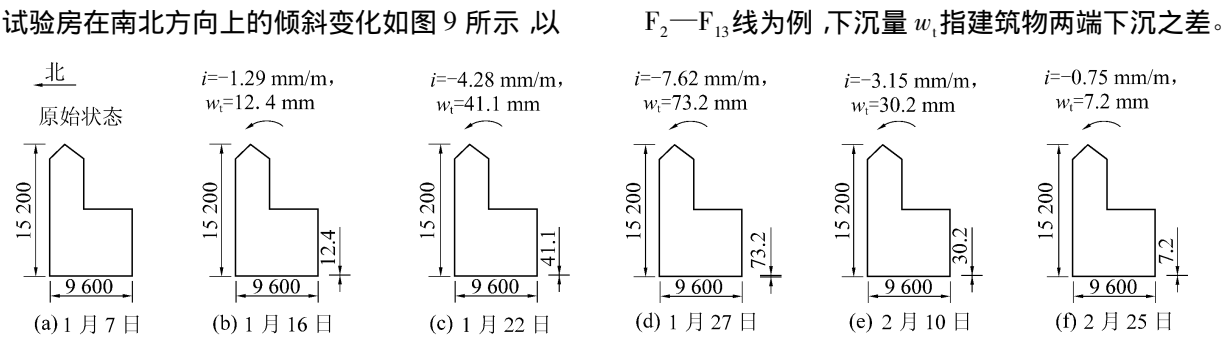


图 9 试验房南北方向倾斜变化

Fig. 9 Inclination diagrams in north-south direction of testing building

3.4 试验房水平变形分析

对试验房水平变形的分析也选择南北方向(走向)的 F_2-F_{13} 、 F_3-F_{12} 、 F_5-F_{11} 三条观测线和东西方向(倾向)的 F_6-F_1 、 F_7-F_{17} 、 F_8-F_{16} 、 F_9-F_{15} 、 $F_{10}-F_{14}$ 五条观测线。根据实测位移观测资料计算的各条线水平变形,结果见表 1,水平变形拉伸为正,压缩为负。

由表 1 可知,在走向方向上主要受到拉伸变形的影响,最大拉伸变形量为 5.88 mm/m,最大压缩变形量为-3.71 mm/m;在倾向方向上试验房受到反复的压缩和拉伸变形的影响,最大拉伸变形量为 10.15

mm/m,最大压缩变形量为-9.15 mm/m。由上可见,在倾向方向上水平变形的变化幅度要远大于走向方向,因此,试验房主要受倾向方向上水平变形的影响。

3.5 影响分析

综合以上对试验房沉降、沉降速度、倾斜、水平变形的分析,截止最后一次观测(2015 年 8 月 5 日),试验房所在区域出现的最大下沉量约为 1 500 mm;最大倾斜为 7.7 mm/m(向北倾斜);最大水平拉伸变形量为 10.15 mm/m,最大水平压缩变形量为-9.15 mm/m,地表变形程度达到 IV 级。另外,试验房经受住了最大下沉速度 75 mm/d 的考验。

表 1 水平变形观测结果

Table 1 Results of horizontal deformation

观测日期	走向方向水平变形/(mm·m ⁻¹)			倾向方向水平变形/(mm·m ⁻¹)				
	F_2-F_{13}	F_3-F_{12}	F_4-F_{11}	F_6-F_1	F_7-F_{17}	F_8-F_{16}	F_9-F_{15}	$F_{10}-F_{14}$
2014-12-22	1.32	-3.71	-0.13	-0.26	-0.50	-0.36	0.16	1.07
2015-02-12	3.24	-0.76	-0.89	-6.11	-6.15	-3.53	-7.29	-9.15
2015-02-25	0.10	3.09	1.92	-3.39	-2.48	-1.76	-1.41	-2.63
2015-03-05	3.77	2.21	2.33	-6.10	-3.39	4.23	-1.50	-2.32
2015-03-16	4.60	3.09	1.30	-3.06	2.66	2.17	7.88	1.33
2015-03-20	5.88	3.30	2.73	0.07	0.42	1.15	10.15	2.82
2015-04-16	2.04	4.33	1.71	-4.79	1.73	1.81	5.13	-2.00
2015-08-05	1.49	2.13	2.19	-3.96	-0.41	1.72	3.22	0.73

从目前实际情况来看,建筑物经历了地表变形的初始期、活跃期和衰退期,建筑物周边出现裂缝区,但建筑物保持完好,墙体和地面未出现明显裂缝,本次修建抗变形结构试验房进行抗变形试验取得了成功。

地表移动变形结束后,试验房最终位于盆地的中心偏东的位置,由以上对倾斜的分析可知,试验房稳定后稍向西倾斜,倾斜约为-2.3 mm/m,不超过

GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》规定的 ± 4 mm/m 的允许值,不影响建筑的正常使用。

4 结 论

1) 试验房逐渐达到稳沉,最大下沉量为 1 500 mm;下沉速度经历一个“波峰”的过程,最大沉降速度为 75 mm/d,出现的时间段为 2015 年 1 月 22 日至 1 月 27 日。

2) 倾斜对试验房的影响主要位于南北方向,最大倾斜为 -7.7 mm/m ;本次抗变形试验由于地形问题,选择场址位于倾向中心偏东 50 m 的位置,致使试验房位于地表下沉盆地的永久倾斜变形区,稳沉后建筑物仍保持 -2.3 mm/m 的倾斜。因此,实际修建民房时,应使民房位于下沉盆地的“盆底”,以使稳沉后建筑物仍处于基本垂直的状态。

3) 在倾向方向上水平变形的变化幅度大于走向方向,因此,水平变形对试验房的影响主要位于东西方向,最大水平拉伸变形量为 10.15 mm/m 。

4) 按照设计的抗变形标准修建的房屋至少可以抵抗下沉量 $1\ 500\text{ mm}$ 、倾斜 7.7 mm/m 、水平拉伸变形量 10.15 mm/m 、水平压缩变形量 -9.15 mm/m 的变形影响。

5) 该煤矿开展的抗变形试验工作在陕北地区尚属首次,抗变形试验房的变形规律为下一步移民搬迁工作提供了依据,同时,也为陕北地区的移民搬迁工作提供了一个新思路。

参考文献(References):

- [1] 刘立忠,李虎民,姜升.松散沙层煤矿区采动影响试验[J].金属矿山,2015(4):127-131.
Liu Lizhong, Li Humin, Jiang Sheng. Experimental study on mining effect in coal mining area with loose sand bed [J]. Metal Mine, 2015(4): 127-131.
- [2] 姜升,刘立忠.动态沉陷区建筑复垦技术实践[J].煤炭学报,2009,34(12):1622-1625.
Jiang Sheng, Liu Lizhong. Practice of land reclamation technique by constructing buildings in dynamic subsidence area [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1622-1625.
- [3] 周国铨,崔继宪,刘广容,等.建筑物下采煤[M].北京:煤炭工业出版社,1983.
- [4] 邓喀中,郭广礼,谭志祥.采动区建筑物地基、基础协调作用特性研究[J].煤炭学报,2001,26(6):43-47.
Deng Kazhong, Guo Guangli, Tan Zhixiang. Property study on coordination function between foundation and base of buildings in coal mining-induced area [J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(6): 43-47.
- [5] 夏欢阁.建筑群下特厚松散覆层煤层条带式开采方法的研究与应用[D].阜新:辽宁工程技术大学,2007.
- [6] 杨刚.国家“七五”科技攻关项目“抗变形房屋村庄下采煤”技术鉴定报告[R].唐山:煤炭科学研究总院唐山研究分院,1990.
- [7] 李健民,王斌恩.唐村煤矿建筑物不搬迁安全开采试验研究[J].矿山测量,1993(4):26-28.
Li Jianmin, Wang Binen. Experimental study on mining without relocation in Tangcun Coal Mine [J]. Mine Surveying, 1993(4): 26-28.
- [8] 张俊英,黄乐亭,滕永海,等.综放开采大开间抗变形农房结构的试验研究[J].湘潭矿业学院学报,2002(3):5-8.
Zhang Junying, Huang Leting, Teng Yonghai et al. Testing study of the surface big room width antideformation house influenced by the coal mining of fully mechanized top-coal caving [J]. Journal of Xiangtan Mining Institute, 2002(3): 5-8.
- [9] 煤炭科学研究院北京开采所.煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M].北京:煤炭工业出版社,1982.
- [10] 邹友峰,邓喀中,马伟民.矿山开采沉陷工程[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [11] 滕永海,唐志新,郑志刚.综采放顶煤地表沉陷规律研究及应用[M].北京:煤炭工业出版社,2009.
- [12] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [13] 滕永海,高德福,朱伟,等.水体下采煤[M].北京:煤炭工业出版社,2012.
- [14] 张俊英,王金庄.采空区地表新建建筑地基稳定性评价技术研究[J].矿山测量,2003(3):28-30.
Zhang Junying, Wang Jinzhuang. Research on evaluation technique for foundation stability of newly built surface buildings in gob area [M]. Mine Surveying, 2003(3): 28-30.
- [15] 刘书贤,魏晓刚,张弛,等.煤矿多煤层重复采动所致地表移动与建筑损坏分析[J].中国安全科学学报,2014,24(3):60-65.
Liu Shuxian, Wei Xiaogang, Zhang Chi et al. Analysis of construction damage and surface movement caused by repeat multiple seam mining of coal mine [J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(3): 60-65.
- [16] 罗艳玲.论煤矿采空区建筑地基的选择与处理[J].煤炭技术,2014(1):152-155.
Luo Yanling. Selection and treatment of coal gob area of the building foundation [J]. Coal Technology, 2014(1): 152-155.
- [17] 滕永海,王金庄.五阳矿综采放顶煤地表移动与变形特点[J].煤炭科学技术,2003,31(12):57-59.
Teng Yonghai, Wang Jinzhuang. Characteristics of ground displacement and deformation for fully mechanized coal caving mining in Wuyang Mine [J]. Coal Science and Technology, 2003, 31(12): 57-59.