



移动扫码阅读

阎跃观,师晓波,刘吉波,等.矿区地表与建(构)筑物移动变形关系实测研究[J].煤炭科学技术,2020,48(10):158-165. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.10.020

YAN Yueguan,SHI Xiaobo,LIU Jibo,et al.In-site monitoring study on relationship between movement and deformation of surface and buildings in mining area[J].Coal Science and Technology,2020,48(10):158-165. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.10.020

矿区地表与建(构)筑物移动变形关系实测研究

阎跃观¹,师晓波¹,刘吉波²,田秀国³,张国光¹

(1.中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083;2.贵州工程应用技术学院 矿业工程学院,贵州 毕节 551700;

3.开滦(集团)有限责任公司,河北 唐山 063018)

摘要:针对矿区建(构)筑物损害防护的研究由来已久,特别是我国东部矿区压煤问题较为突出,因缺乏科学合理的抗变形建筑设计指导原则,存在建(构)筑物防护的不合理或搬迁矛盾激化等经济社会问题。传统的地表与建构筑物变形关系研究成果,难以适用于现代建筑材料与结构形式下建构筑物与地表变形特征。为此,以开滦某矿工业广场煤柱开采下的建构筑物为研究对象,针对建(构)筑物分布情况来设计地表与建(构)筑物变形监测网,并选取典型建(构)筑物及对应的地表点进行7次同步观测,研究矿区地表及典型建(构)筑物间的移动变形关系。结果表明:建(构)筑物和地表同步下沉,呈线性函数关系;建筑物整体倾斜变形与地表基本同步,受整体结构影响,建筑物局部倾斜变形较小;占地面积小的低层规则建筑物受到的曲率变形比地表小,占地面积大的多层建筑物易出现负曲率变形。研究成果可为类似条件下煤矿开采与建筑物保护提供依据和参考。

关键词:地表变形;建(构)筑物变形;变形关系;同步观测

中图分类号:TD325.4

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2020)10-0158-08

In-site monitoring study on relationship between movement and deformation of surface and buildings in mining area

YAN Yueguan¹, SHI Xiaobo¹, LIU Jibo², TIAN Xiuguo³, ZHANG Guoguang¹

(1.School of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083,China;

2.College of Mining Engineering, Guizhou University of Engineering Science, Bijie 551700, China;3.Kailuan (Group) Limited Liability Corporation, Tangshan 063018,China)

Abstract:The research on the damage protection of buildings and structures in mining area has a long history, especially in the coal mine in the eastern area of China. Due to the lack of scientific and reasonable guiding principles for the design of anti-deformation buildings, there are economic and social problems such as unreasonable protection of buildings and structures or intensified relocation contradictions. The results of traditional research on the relationship between the surface and the deformation of buildings and structures are difficult to apply to the deformation characteristics of buildings and surfaces in the form of modern building materials and structures. In this paper, the coal pillar mining of a mine industrial square in Kailuan Group is taken as the research object. According to the distribution of buildings, the surface and buildings' deformation monitoring network was designed, and the typical buildings and their surfaces are selected for 7 times of synchronous observation, and then the influence relationship between the surface of the industrial square and the movement and deformation of the typical buildings is obtained. The results show that: the subsidence of buildings (structures) and surface are synchronous with the linear function. The overall tilt of buildings is basically synchronous with the surface, and the local tilt deformation of buildings is small due to the influence of the overall structure. The curvature deformation of regular low rise buildings with small footprints smaller than that of the surface, and the multistory buildings with large footprint are prone to negative curvature deformation. The research results can provide basis and reference for coal mining and building protection under similar conditions.

Key words:surface deformation; deformation of building structures;deformation relationship; synchronous observation

收稿日期:2020-06-18;责任编辑:曾康生

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404272, 51574242);贵州省科技合作计划资助项目([2016]7045)

作者简介:阎跃观(1981—),男,山西太原人,副教授,硕士生导师,博士。E-mail:yanyueguan@cumb.edu.cn

0 引 言

煤炭作为我国的主要能源,在可预见的未来仍将在国民经济发展中发挥其不可替代的作用。在煤矿开采沉陷区,围岩、地表均会产生移动变形^[1-2],煤炭开采中井筒压煤、建筑物及村落压煤、公路下压煤的开采不可避免,各大中小型煤矿在开采中均会面临工业广场地表建(构)筑物的安全问题^[3-6]。

我国大量学者在开采与建筑物关系研究方面开展了工作。谭志祥等^[7]建立了建筑物移动变形与地表移动变形之间的系列关系式。王录合等^[8]评价了老采空区上方建筑物的稳定性。孙凯华等^[9]计算了采动区某框架结构建筑物所在区域的地表变形量,分析鉴定了建筑物受损的原因。黄乐亭等^[10]提出了采用人工强面、人工弱面间接保护建筑物新技术;荣建科等^[11]采用概率积分法计算了地表下沉量,对影响较大的建(构)筑物提出相应的保护措施。文献[12-13]针对工业广场建筑进行了监测并分析了变形的原因。许延春等^[14]基于实测数据建立了分土层的地层压缩量及地面倾斜值计算模型,对疏水影响区域的典型建筑物的沉降量及倾斜进行了预计和损害评价,取得了较好的效果。崔希民等^[15]基于建筑物分类和计算机辅助分析,提高了建筑物采动损害评价的准确性,克服了评价因子的不确定性影响。高安琪等^[16]揭示了位于露天矿边坡不同距离、修建年代、结构形式的建筑物损害特征,提出了针对不同区位建筑物的加固建议和措施。刘潇鹏等^[17]采用理论分析和数值模拟相结合的方法,对曲率变形引起的建筑物变形和破坏进行了研究。贾新果等^[18]进行了工作面推进速度对地表沉陷动态变形影响研究;张凯等^[19]优化了地表动态沉陷预测的时间函数模型,为地表建(构)筑物的有效保护提供了技术依据。

从众学者研究成果分析可知,建(构)筑物受开采影响的损坏程度主要取决于地表变形值的大小和建筑物本身抗变形能力的大小。目前我国《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》对单体长度小于 20 m 的单层砖混结构建筑物,允许其地表变形值:倾斜为 $\pm 3\text{ mm/m}$,曲率为 $\pm 0.2\text{ mm/m}^2$,水平变形为 $\pm 2\text{ mm/m}$ ^[20],这也是我国目前最常用的分级标准。

在建筑物安全使用的前提下更高效的回收煤炭资源是矿井可持续发展的必由之路。特别对资源枯竭型矿井收尾阶段尤为重要,而且现代矿山工业广场的建筑物多为砖混多层结构,抗变形能力较强,规

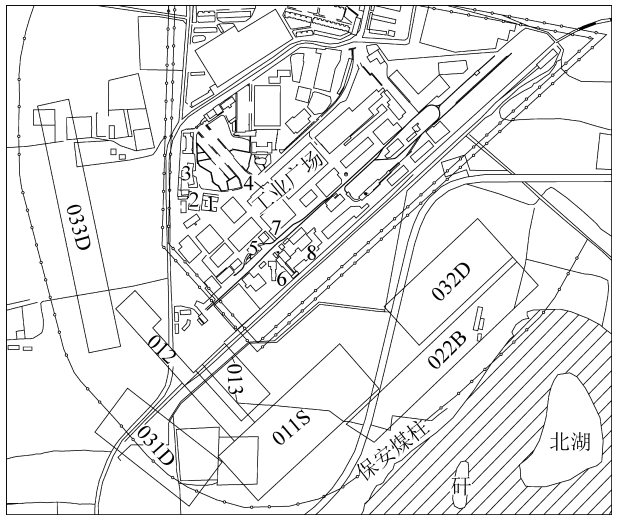
范中的允许地表变形值是否适用尚需进一步研究。为此,以开滦某矿工业广场煤柱回收为研究对象,结合矿区地质采矿条件和开采方案,针对地表及其附属建筑制定工业广场变形监测方案,完整获取地面及建筑物沉降数据,并结合不同结构的建筑物及附近地表监测点下沉情况,开展地表及建筑物移动变形及两者之间关系的研究工作。

1 工程概况

研究区位于河北省唐山市开平区某矿井,可采煤层 4 层,分别为 1 煤、2 煤、3 煤及 4 煤,各煤层煤厚分别为 7.0、1.5、5.0、1.3 m,1 煤与 2 煤间距为 18.0 m,2 煤与 3 煤间距为 4.5 m,3 煤与 4 煤间距为 17.0 m。工业广场范围内 1 煤的底板标高东南部最低为-300 m,东北部最高为-180 m。煤层倾角为 4°~8°。厂区内建(构)筑物密集,工业广场周边开采情况见表 1。各工作面和工业广场典型建(构)筑物对应关系如图 1 所示,工作面位于工业广场西、南两侧,距工业广场建筑 100~400 m。

表 1 周边开采工作面信息

Table 1 Conditions of surrounding mining working face			
工作面	采深/m	煤厚/m	倾角/(°)
010N 柱	258~327	3.5~5.0	1~19
011S	306~331	4.0	2~14
12	301~319	4.6~4.8	1~11
033D	355~379	3.6~3.8	3~12
022B	344~370	1.7~2.0	1~14



- 1—招待所,层砖混;2—消防队平房,1 层砖结构;
- 3—社区楼,6 层砖混;4—公司办公楼,4 层砖混;
- 5—副井绞车房,2 层排架;6—通风机房,1 层砖混;
- 7—主井绞车房,2 层排架;8—主井选矸楼,多层砖混

图 1 工业广场井上下对照

Fig.1 Mining industrial square up and down control chart

2 变形监测网设计与监测数据处理

监测网设计时先布设控制网,后根据局部重要区域调节、加密监测点,并通过主井、副井、风井、绞

车房、办公楼、招待所、社区楼等典型建(构)筑物,其监测网如图 2 所示,由 1 条附和观测线(Z 线)、2 条支线(R 线、 C 线)组成,各监测对象以及监测点布设位置设计如图 3 所示。

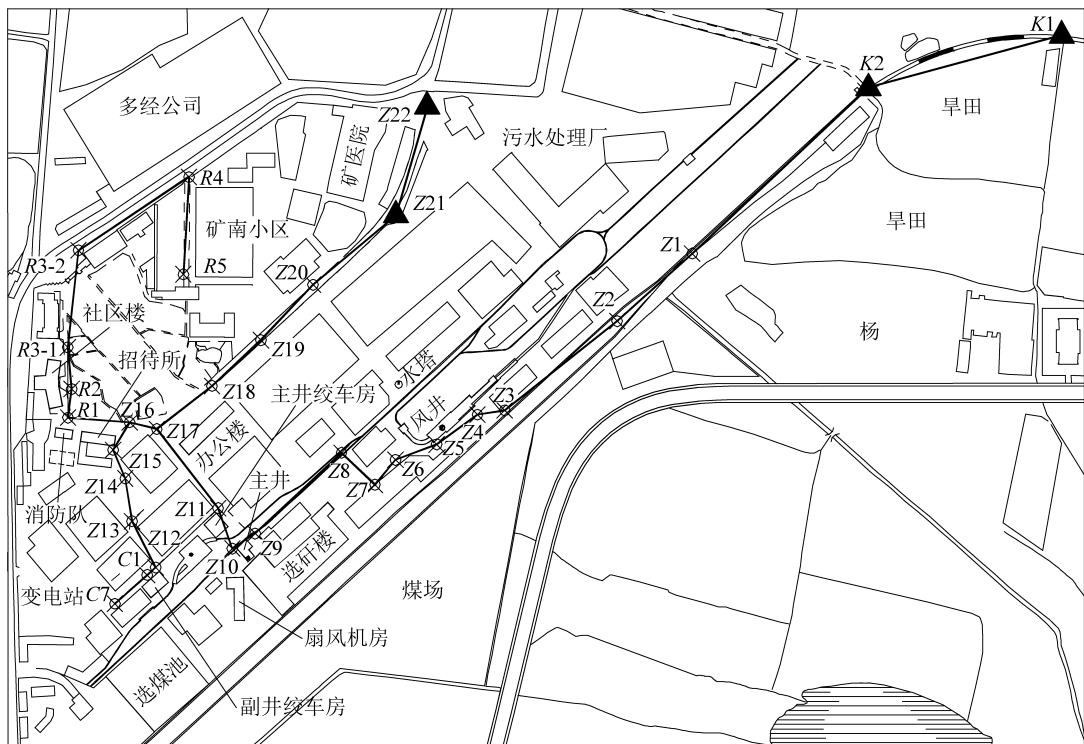


图 2 监测网设计

Fig.2 Layout of monitoring network lines

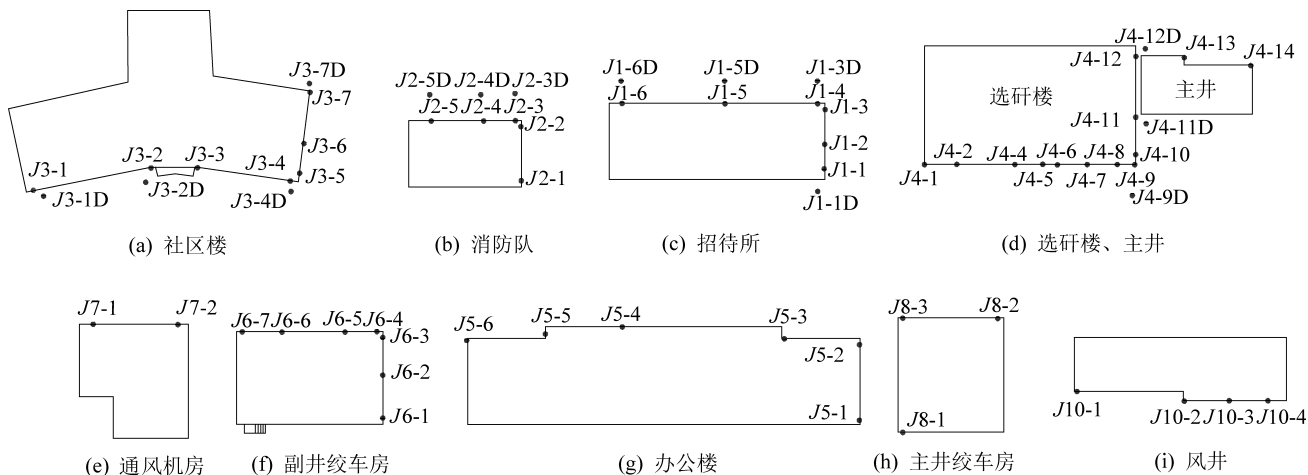


图 3 工业广场典型建(构)筑物监测点设计

Fig.3 Design of building monitoring points in mine plant

建筑物沉降观测周期使用 $T \geq \sqrt{2m_h K/v}$ 来确定。其中, m_h 为同一建筑物上两沉降点间的高程误差/ m ; K 为变形值与误差之比; v 为沉降速度, mm/d 。2016 年 7 月至 2017 年 11 月期间,共进行了 7 次观测。

监测数据处理包括导线数据处理和水准数据处理。其中水准监测中仪器测量精度高于设计需求精度,采用简易平差即可。根据二等水准测量规范要

求,7 次观测数据均满足精度要求。

3 地表及建(构)筑物实测结果分析

3.1 地表移动变形实测分析

3.1.1 地表下沉实测分析

以首次观测为初始数据,得到工业广场区域内不同时期下沉曲线如图 4 所示,由图 4 可知,2016 年

7月至2017年11月,Z3—Z6段最大下沉量为27 mm,Z10—Z17段最大下沉量达52 mm。C线以Z12为起

点,最近点距离工作面100 m,最大下沉点C6的累积下沉量达到138 mm。R线最大下沉量为23 mm。

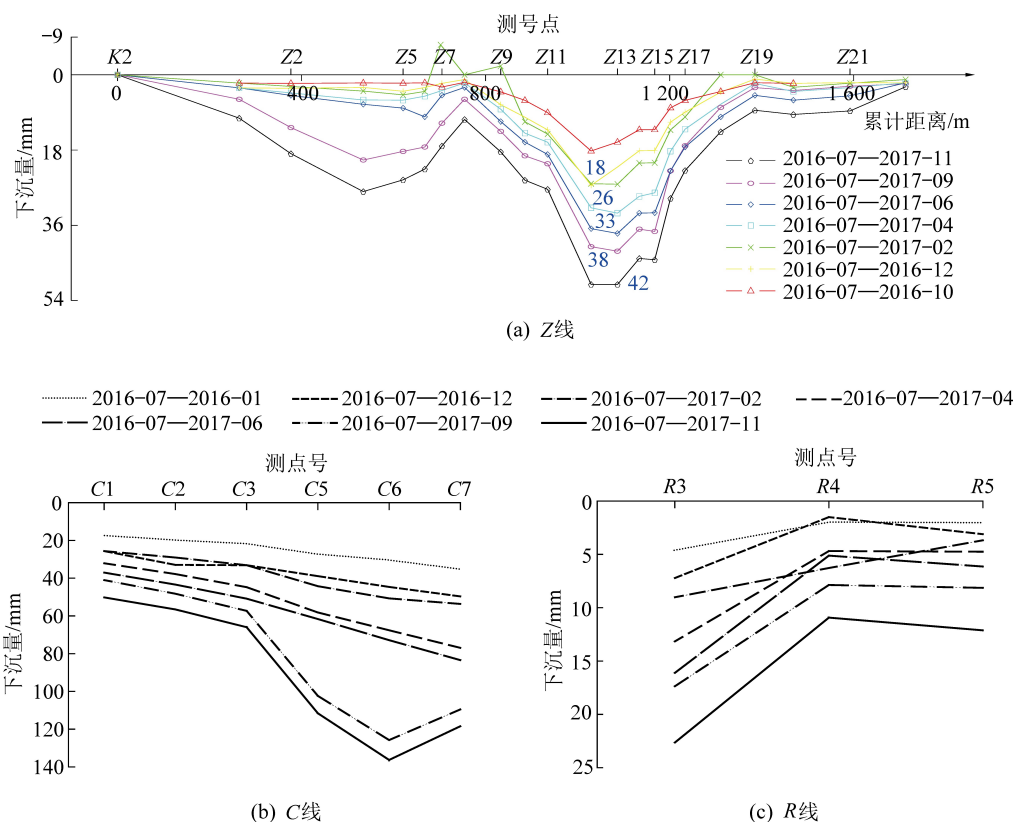


图4 地表监测线下沉曲线

Fig.4 Surface subsidence curves

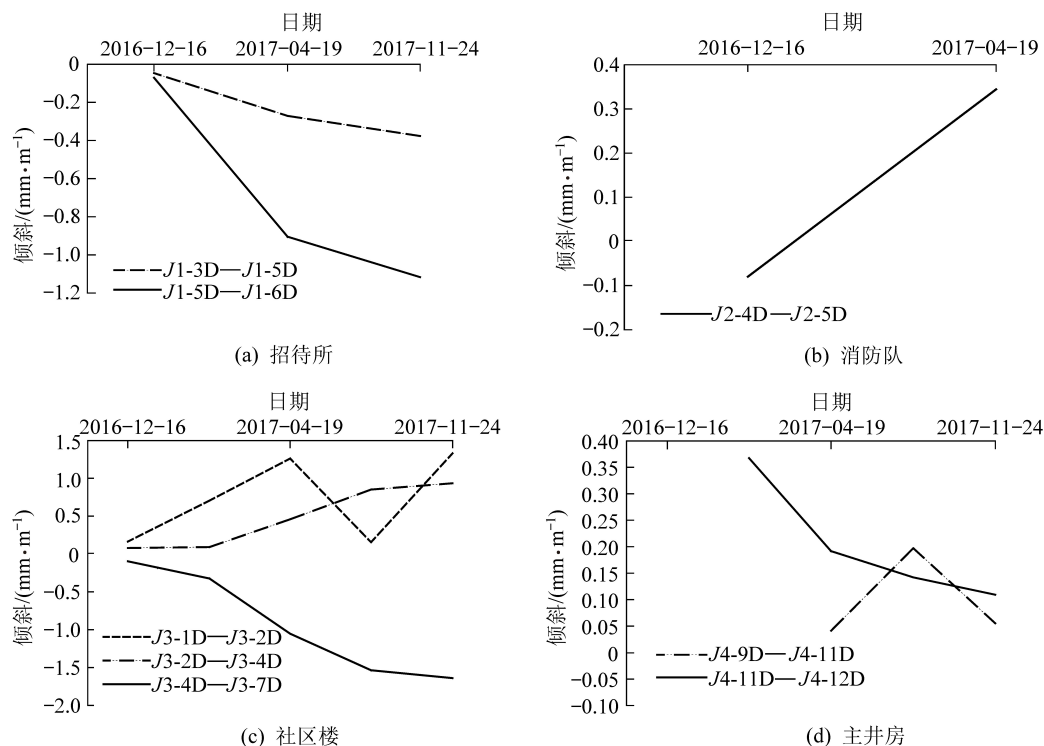


图5 建筑物附近地表倾斜曲线

Fig.5 Surface tilt near buildings

3.1.2 建筑物附近地表倾斜分析

建筑物附近地表倾斜曲线如图5所示,由图5可知,2016年7月至2017年11月,招待所附近地表倾斜度为1.15 mm/m;消防队附近地表倾斜度为0.34 mm/m;社区楼附近地表倾斜为1.67 mm/m;主井房附近地表倾斜为0.37 mm/m。

3.2 典型建(构)筑物移动变形实测分析

3.2.1 下沉量分析

根据实测数据计算各建(构)筑物监测点的下沉量如图6所示。计算可得2016年7月至2017年11月,招待所最大下沉量为72.0 mm;消防队最大下沉量为87.8 mm;社区楼最大下沉量为89.7 mm;主井房最大下沉量为35.8 mm;办公楼最大下沉量为19.2 mm;副井绞车房最大下沉量为67.3 mm;通风

机房最大下沉量为34.7 mm;主井绞车房最大下沉量为30.3 mm;水塔最大下沉量为9.3 mm;风井最大下沉量为27.0 mm。

3.2.2 倾斜分析

建筑物基础倾斜*i*计算公式为

$$i_{1-2} = (W_2 - W_1) / L_{1-2}$$

式中: W_1 、 W_2 为1、2点的下沉量,mm; L_{1-2} 为两点之间的水平距离,m。

由此计算建筑物沿长、宽方向倾斜及局部监测点间的倾斜值。图7为典型建筑物的倾斜曲线。通过最大倾斜值计算分析可知,2016年7月至2017年11月,招待所最大倾斜为0.77 mm/m;消防队房屋最大倾斜为0.53 mm/m;社区楼房最大倾斜为0.81 mm/m;主井房最大倾斜为0.65 mm/m。

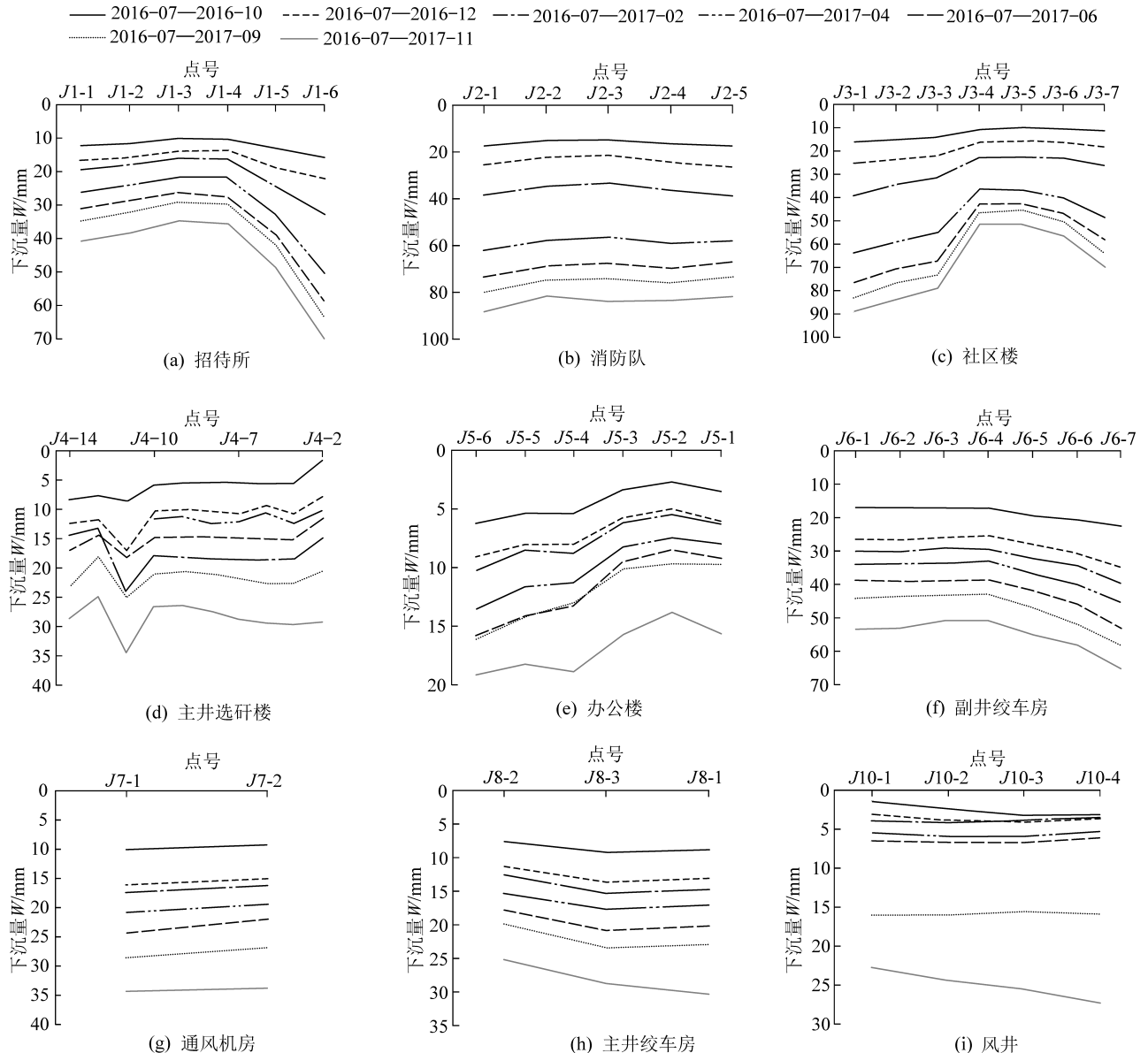


图6 典型建(构)筑物监测点下沉量

Fig.6 Subsidence of typical buiding monitoring points

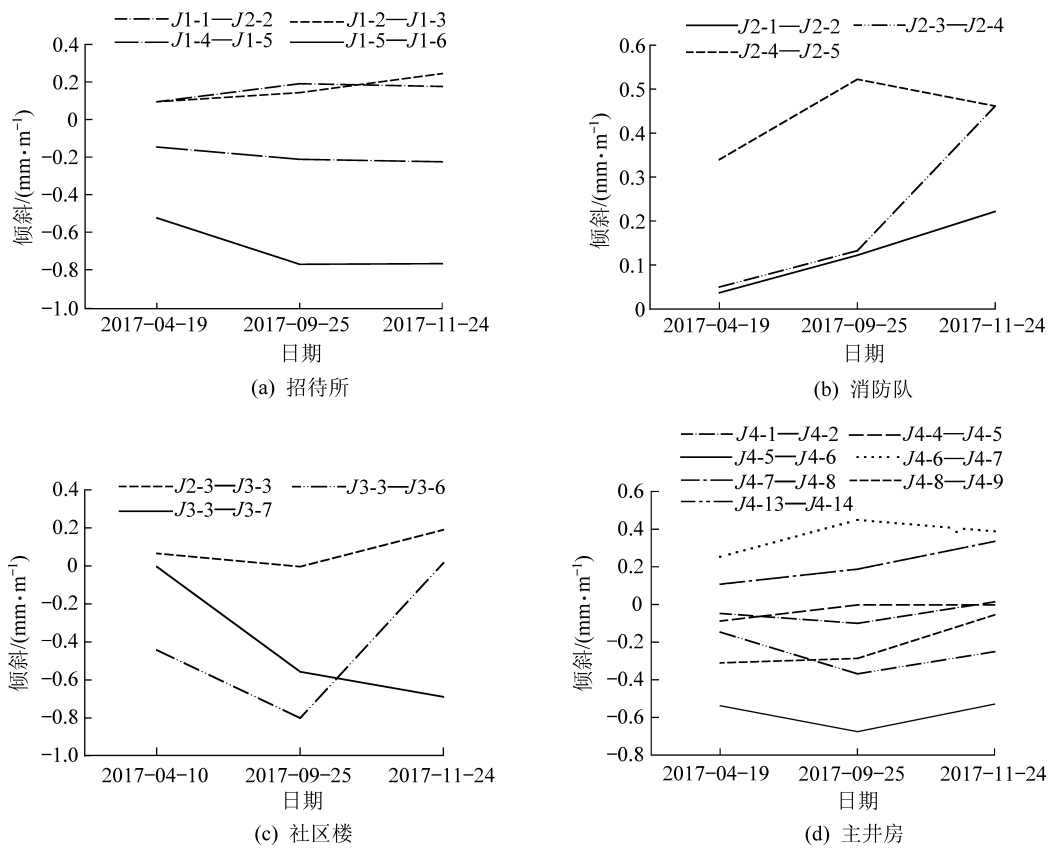


图 7 典型建筑物倾斜曲线

Fig.7 Tilt curves of typtcal buildings

4 地表与建(构)筑物移动变形影响关系分析

4.1 下沉影响关系分析

监测中在建筑物监测点旁埋设了对应地表监测点,用以对比分析地表沉降和建筑物沉降关系,7次观测结果如图8所示,其中日期加J表示建筑物上的点位,日期加D表示地表点点位。

由图8分析可得,建筑物和地面监测点基本同步下沉,呈线性正相关。建筑物本身有一定的抗变形能力,地表变形传递到建筑物上时,建筑物具有一定的调节能力。根据实测数据分别对各个建筑物进行线性回归分析,得

$$W_J = a W_D + b$$

式中: W_J 、 W_D 为建筑物和附近地表同步观测点下沉量,mm。

分别对同一建筑监测点及其对应地面监测点的4组下沉数据进行拟合,计算单点和地表下沉的对应关系;对同一建筑物所有监测点及其对应地面监测点的4组数据也进行拟合,计算整个建筑物和地表的下沉对应关系,得到回归数据见表3。

表 3 建筑物与地表监测点下沉影响关系回归系数

Table 3 Regression coefficients of subsidence influence relationship between buildings and surface monitoring points

组	点号	a	b	组	点号	a	b
J ₁	J1-1	0.92	0.56	J ₂	J3-1	1.01	0.76
	J1-3	0.91	0.46		J3-2	1.5	-6.83
	J1-5	1.07	0.91		J3-4	1.56	-7.57
	J1-6	1.03	0.16		J3-7	0.98	-1.53
	J1	1.05	-1.21		J3	1.08	0.06
J ₂	J2-3	0.96	-0.86	J ₄	J4-9	0.79	0.7
	J2-4	0.98	0.13		J4-10	0.83	0.33
	J2-5	1.00	0.04		J4-12	1.15	-1.19
	J2	0.98	-0.26		J4	0.99	-1.04

注:a、b表示建筑物和附近地表下沉关系的乘系数和加常数,与建筑物结构、建筑物基础、地表土层性质等因素有关。

分析可知,加常数b相对a W_D 部分很小,可以忽略,由此确定地表与建筑物的下沉函数关系式为

$$W_J = (0.84 \sim 1.31) W_D$$

4.2 倾斜影响关系分析

监测数据分析可知建筑物和对应地表倾斜呈线性相关,由于建筑物具有一定的调节变形能力,因此建筑物变形和地表变形存在差异,根据实测数据对建筑物倾斜和地表倾斜关系进行线性回归分析为

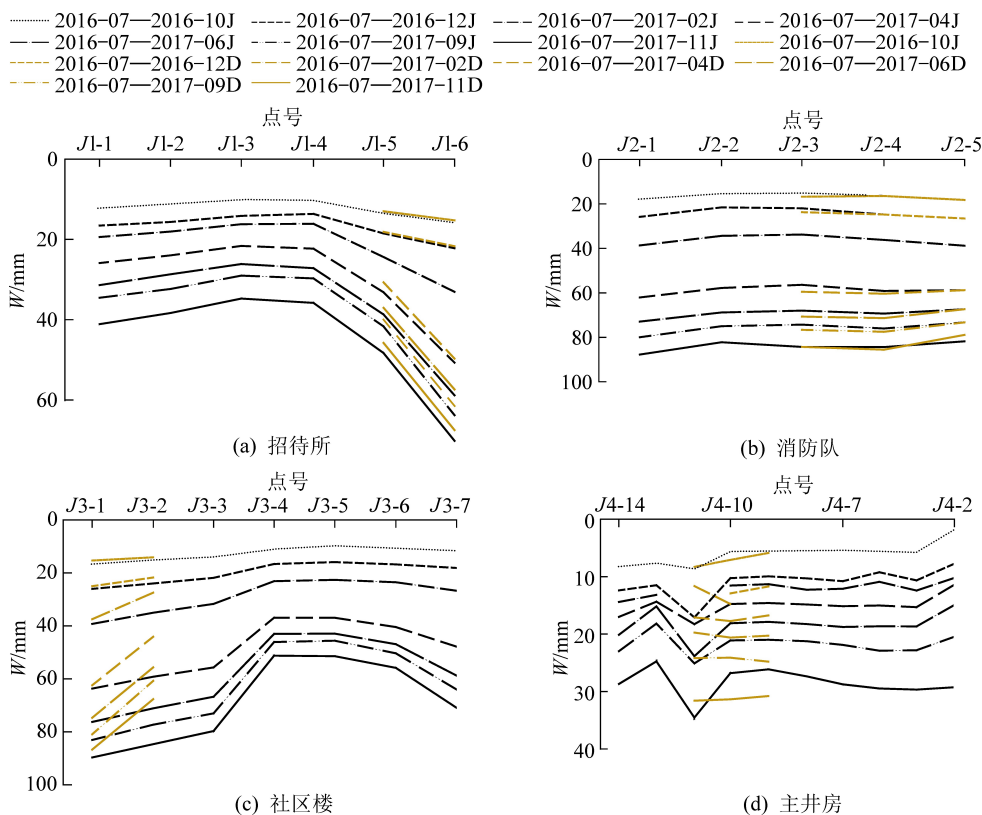


图 8 地表和建筑物下沉对比

Fig.8 Comparison of surface subsidence and building subsidence

$$i_j = a_1 i_0 + b_1$$

式中: i_j 、 i_0 分别为建筑物和附近地表同步观测点倾斜值; a_1 、 b_1 为回归系数。

以招待所为例, 对其从 2017 年 2 月至 2017 年 11 月建筑物监测点和对应地表监测点倾斜数据进行拟合, 回归系数见表 4。

表 4 招待所与地表监测点倾斜影响关系回归系数

Table 4 Regression coefficients of influence relationship between guest house and surface monitoring point

点号	a_1	b_1
J1-4—J1-5	0.728	0.048
J1-4—J1-5	0.697	0.051
J1-5—J1-6	0.689	0.043
J1-5—J1-6	0.589	0.045

注: a_1 、 b_1 表示建筑物和附近地表倾斜关系的乘系数和加常数, 与建筑物结构、建筑物基础、地表土层性质等因素有关。

从表 4 可见, 招待所的总体拟合中, 乘系数 a_1 的变化区间为 0.589~0.728, 加常数 b_1 平均为 0.047, 由此给出拟合式为

$$i_j = (0.589 \sim 0.728) i_0 + 0.047$$

分析可知招待所的倾斜和地表倾斜呈正相关。在地表下沉过程中, 由于招待所具有一定的抗形变能力, 在自重作用下使位于地表下沉的一侧建筑物切入地基, 使建筑物的变形趋于均匀, 从而使招待所

的倾斜小于地表倾斜。

4.3 曲率影响关系分析

根据曲率计算公式可计算出 J1、J2、J3 点沿长轴方向的地表曲率以及建筑物曲率, 对比分析可知曲率与建筑物的占地面积和层高有关。占地面积小、形体规则的低层建筑物(招待所、消防队)和地表曲率变化一致, 曲率一般都小于地表曲率; 占地面积较大的多层建筑物(社区楼的长达 45.6 m、6 层)两端下沉量比地表大, 建筑物两端切入土地中, 受力较中部大, 易出现负曲率。

5 结 论

1) 根据地表及建筑物移动的实测数据, 分析了本矿区地表移动变形与建筑物移动变形的关系, 可知建(构)筑物和地表同步下沉, 建筑物下沉与地表下沉的拟合函数为线性函数。

2) 建筑物整体倾斜与地表基本同步, 但是受建筑物整体质量的影响局部倾斜却不相同, 出现建筑物局部倾斜小于地表倾斜的情况。

3) 对于占地面积小、形体规则的低层建筑物和地表曲率变化一致, 一般均小于地表曲率变形值。而对于占地面积大的多层建筑物, 其两端下沉量比地表大, 受力较中部大, 通常会出现负曲率变形。

参考文献(References):

- [1] 郭文兵,王云广. 基于绿色开采的高强度开采定义及其指标体系研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2017, 34(4): 616-623.
GUO Wenbing, WANG Yunguang. Study on overburden failure characteristics and fracture evolution law of shallow buried coal seam through trench mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2017, 34(4): 616-623.
- [2] 郭俊廷, 李全生. 浅埋高强度开采地表破坏特征: 以神东矿区为例[J]. 中国矿业, 2018, 27(4): 106-112.
GUO Juntao, LI Quansheng. Surface damage characteristics in shallow-buried coal seam with strong disturbance mining: taking Shendong coal mine district as example[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(4): 106-112.
- [3] 何国清, 杨 伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [4] 郑志刚, 滕永海. 综放开采地表移动与建筑物变形规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(5): 114-116, 124.
ZHENG Zhigang, TENG Yonghai. Analysis on surface ground movement and building deformation law under condition of fully mechanized top coal caving mining[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(5): 114-116, 124.
- [5] 姜 岳, PREUSSE Axel, SROKA Anton, 等. 控制开采速度减缓建筑物损害程度的方法与应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 162-166.
JIANG Yue, PREUSSE Axel, SROKA Anton, *et al.* Method and application of controlling mining speed to reduce structures damage[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 162-166.
- [6] 郭 帅, 张吉雄, 邓雪杰, 等. 基于固体充填开采的井筒保护煤柱留设方法研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 43(3): 30-35.
GUO Shuai, ZHANG Jixiong, DENG Xuejie, *et al.* Study on protective coal pillar left design method of mine shaft based on solid backfill mining[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(3): 30-35.
- [7] 谭志祥, 刘润芳, 邓喀中. 采动区建筑物移动变形及附加应力数值模拟研究[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(3): 94-97, 102.
TAN Zhixiang, LIU Runfang, DENG Kazhong. Research on numerical simulations of displacement deformation and additional stress for buildings in mining active area[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(3): 94-97, 102.
- [8] 王录合. 老采空区上方建筑物稳定性分析及抗变形设计[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(6): 34-36, 40.
WANG Luhe. Stability analysis and anti-deformation design of buildings above mine goaf[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(6): 34-36, 40.
- [9] 孙凯华, 贾林刚, 刘鹏亮. 采动区框架结构建筑物变形分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(10): 5-8, 12.
SUN Kaihua, JIA Lingang, LIU Pengliang. Analysis on deformation of frame structure buildings in mining area[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(10): 5-8, 12.
- [10] 黄乐亭, 张俊英, 许建军, 等. 采动区基岩地基建筑物间接保护技术的研究[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(2): 2-7, 62.
HUANG Leting, ZHANG Junying, XU Jianjun, *et al.* Study on indirect protection technology of foundation buildings on base rock in mining area[J]. Coal Science and Technology, 1996, 24(2): 2-7, 62.
- [11] 荣建科. 井筒附近工作面保护煤柱的确定及开采影响分析[J]. 煤炭科技, 2020, 41(1): 50-52.
RONG Jianke. Determination of protective coal pillar in working face near wellbore and analysis of mining influence[J]. Coal Science Technology, 2020, 41(1): 50-52.
- [12] 王凤志. 荆各庄矿工业广场煤柱开采变形监测研究[J]. 矿山测量, 2019, 47(4): 13-20.
WANG Fengzhi. Research of ground movement monitor of industrial square pillar mining of Jinggezhuang Mine[J]. Mine Surveying, 2019, 47(4): 13-20.
- [13] 刘焕新, 杨 成. 煤矸立井井筒变形监测方法研究[J]. 煤炭科技, 2019, 40(2): 38-41.
LIU Huanxin, YANG Cheng. Research on deformation monitoring method of vertical shaft in coal mine[J]. Coal Science Technology Magazine, 2019, 40(2): 38-41.
- [14] 许延春, 端 恒, 杜明泽, 等. 大降深疏水对建筑物稳定性的影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(8): 149-154.
XU Yanchun, DUAN Heng, DU Mingze, *et al.* Study on effect of drastic drawdown dewatering to stability of buildings[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(8): 149-154.
- [15] 崔希民, 张 兵, 彭 超. 建筑物采动损害评价研究现状与进展[J]. 煤炭学报, 2015, 40(8): 1718-1728.
CUI Ximin, ZHANG Bing, PENG Chao. Current status and progress on the estimation of mining-induced building damage[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(8): 1718-1728.
- [16] 高安琪, 王金安, 李 飞, 等. 西露天矿周边建筑物损害区位特征分析[J/OL]. 煤炭学报: 1-11 [2020-06-10]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2019.1628>.
GAO Anqi, WANG Jin'an, LI Fei, *et al.* The local characteristics of buildings damage around the West Open-pit Mine[J/OL]. Journal of China Coal Society, 1-11 [2020-06-10]. <https://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.2019.1628>.
- [17] LIU Xiaopeng, GUO Guangli, LI Huaizhan. Study on damage of shallow foundation building caused by surface curvature deformation in coal mining area[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2019, 23(11): 4601-4610.
- [18] 贾新果, 宋桂军, 陈 凯. 工作面推进速度对地表沉陷动态变形影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(7): 208-214.
JIA Xinguo, SONG Guijun, CHEN Kai. Study on influence of mining face advancing velocity on progressive surface subsidence and deformation[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(7): 208-214.
- [19] 张 凯, 胡海峰, 廉旭刚, 等. 地表动态沉陷预测正态时间函数模型优化研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(9): 235-240.
ZHANG Kai, HU Haifeng, LIAN Xugang, *et al.* Optimization of surface dynamic subsidence prediction normal time function model[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(9): 235-240.
- [20] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 等. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.