

doi: 10.11799/ce201812003

公路大桥压煤条带开采方案设计及有害因素研究

张英

(中赆国际工程股份有限公司, 河南 郑州 450007)

摘要: 为了探讨公路大桥压煤开采对桥安全性和稳定性的影响, 以某公路大桥压煤开采为例进行研究。首先提出条带开采不同采、留煤柱宽度的技术方案, 其次利用该矿地表移动观测数据拟合出开采沉陷预计参数, 最后利用计算机预测不同开采方案的沉陷最大值, 并对压煤开采有害因素进行分析、评价, 最终得出采出条带 50m、留设条带 60m 的开采技术方案。通过分析得出条带开采合理的采、留煤柱宽度可以安全地采出该公路大桥压煤, 且大桥下部 2 个断层不会对公路大桥造成影响, 同时本文的研究方法可用于同类压煤开采的方案确定。

关键词: 公路大桥压煤开采; 条带开采; 沉陷预测; 采动影响

中图分类号: TD823.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0959(2018)12-0009-04

Design of strip mining scheme under highway bridge and study on the harmful factors

ZHANG Ying

(Zhongyun International Engineering Co., Ltd., Zhengzhou 450007, China)

Abstract: In order to investigate the impact of coal mining on the safety and stability of highway bridges, the coal mining under a highway bridge is taken as an example. Firstly, the technical schemes of strip mining with different mining and retaining coal pillar width is proposed. Secondly, the mining surface observation data is used to fit the predicted parameters of mining subsidence. Finally, the maximum value of subsidence of different mining schemes is predicted by computer, and the harmful factors for the strip mining were analyzed and evaluated. A mining technical plan with 50m mining and 60m retaining is obtained. According to the analysis, it is safe to extract the coal under the highway bridge with the reasonable mining and retaining coal pillar width, and the two faults in the lower part of the bridge will not affect the highway bridge. At the same time, research method of this paper can be used in coal mining scheme selection under similar engineering conditions.

Keywords: coal mining under highway bridge; strip mining; subsidence prediction; mining impact

随着我国经济建设的发展, 基础设施不断完善、桥梁建设越来越多, 桥梁压占煤炭资源的情况也随之增加, 为回收宝贵的煤炭资源, 需对桥梁压煤进行开采。桥梁压煤开采产生的采空区打破了地层原岩的应力平衡, 使得上覆岩层冒落、塌陷和弯曲下沉, 自下而上形成冒落带、裂隙带和弯曲下沉带, 引起地表拉裂、倾斜、扭曲、地表阶梯状等不同形式的变形, 造成桥梁损坏, 引起交通中断及事故, 对人民生命财产安全造成威胁^[1,2]。桥梁压煤开采对大

桥的影响及有害因素研究对于保证桥梁安全的条件下尽可能多的回收煤炭资源具有重要意义, 本文以某公路大桥压煤开采为例来分析公路大桥压煤开采对公路桥梁的影响及有害因素分析。

1 工程概况

该公路大桥位于我国中部某矿井井田范围内, 矿井开采二、煤层, 目前开采区域第四系厚度 60m, 第三系厚度

收稿日期: 2017-12-18

作者简介: 张英(1980—), 男, 河北唐山人, 采矿高级工程师, 现主要从事煤矿设计工作, E-mail: hmzh1980@126.com。

引用格式: 张英. 公路大桥压煤条带开采方案设计及其有害因素研究 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(12): 9-12.

170m, 基岩厚度 250m, 埋藏深度为 480m, 煤层厚度 3.86m, 直接顶为砂质泥岩, 厚度 9.8m; 老顶为砂质泥岩, 厚度 11.5m。公路大桥建成于 2002 年, 紧邻矿井目前开采区域, 桥面全宽 15m(净 14m), 与河道交角 60°, 为 16~20m 预应力混凝土空心板桥; 之后道路拓宽改造, 在原桥两侧分别加宽 4.75m, 加宽部分采用 16~20m 预应力混凝土空心板、桥式墩、钻孔灌注桩基础。根据“三下”压煤开采规范, 除特级保护煤柱严禁开采外其他煤柱凡技术上可行、经济上合理的均应当进行开采^[3,4], 该公路大桥压煤若回采工作面布置不当, 桥梁压煤开采引起的地表移动变形会对该公路大桥产生破坏。

2 公路大桥压煤开采技术方案

该公路大桥煤柱开采拟采用条带开采, 条带开采是一种部分采矿业, 将开采区划分为比较规则的条带, 采一条、留一条, 使留下的条带煤柱能够充分支撑上覆岩层的载荷, 在整个开采条全部采出后地表形成单一均匀的下沉盆地, 且产生的移动变形较小, 达到保护地面建(构)筑物的目的。同时尽可能在增大采出条带宽度, 以减少工作面搬家次数, 提高劳动生产率和煤炭回收率, 从而达到既尽可能多的采出煤炭资源又能有效的防止因开采而造成地面建(构)筑物的破坏。

2.1 条带煤柱采、留宽度的确定

自 20 世纪中叶开始, 随着采矿工业的迅速发展, 国内外条带开采煤柱设计理论研究也非常活跃, 以杜瓦尔(Duvall, 1948)的孔眼金属板加载试验为始, 陆续提出的煤柱设计理论大致可以分为六大类: 压力拱理论(1963)、有效区域理论(1969)、核区强度不等理论(1970)、A. H. 威尔逊(A. H. Wilson)理论(1972)、大板裂隙理论(1982)和极限平衡理论(1992)^[5]。本文结合各种理论的特点, 采用更加实用可靠的 A. H. 威尔逊(A. H. Wilson)理论和检验方法对该公路大桥压煤条带开采煤柱采、留宽度进行计算。

2.1.1 A. H. 威尔逊理论

英国 A. H. 威尔逊通过对煤柱的加载试验, 发现在加载过程中煤柱的应力是变化的。从煤柱应力峰值到煤柱边界这一区段, 煤体应力已超过屈服点, 并且向采空区有一定量的流动, 这个区域成为屈服区。试验表明, 屈服区宽度 y 与开采厚度 m 有关, 其关系式为公式(1):

$$y = 0.005 \times m \times H \quad (1)$$

条带煤柱的宽度 a 应满足公式(2)关系:

$$a \geq 2 \times y + s \quad (2)$$

式中, y 为屈服区宽度, m ; m 为开采厚度, 取 3.86m; H 为煤层埋深, 取 480m; s 为煤柱核区宽度, 取 35m; a 为条带煤柱的宽度, m 。

将参数代入式(2)得: $a \geq 2 \times y + s = 2 \times 0.005 \times 3.86 \times 480 + 35 = 53.5$ 。

经过以上计算方法所得的结果, 初步选取留设条带宽

度 $a = 60m$, 开采条带宽度 $b = 50m$ 。

2.1.2 A. H. 威尔逊检验方法

A. H. 威尔逊根据一定的假设, 得出了留设条带煤柱(有核区和无核区)承载能力和分担载荷的计算公式。本设计留设条带煤柱可看作为有核区的长煤柱, 煤柱的承载能力^[6]:

留设条带煤柱的极限承载能力 $F_{\text{长极}}$ 为:

$$F_{\text{长极}} = 40\gamma H(a - 4.92 \times m \times H \times 10^{-3}) \quad (3)$$

留设条带煤柱的实际载荷值 $N_{\text{长实}}$ 为:

$$N_{\text{长实}} = 10 \times \gamma \left[H \times a + \frac{b}{2} \left(2H - \frac{b}{0.6} \right) \right] \quad (4)$$

安全系数 K 为:

$$K = \frac{F_{\text{长极}}}{N_{\text{长实}}} \quad (5)$$

式中, γ 为岩体密度, 取 $2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; a 为条带煤柱的宽度, 取 60m; b 为采出条带宽度, 取 40mm。

将有关参数代入计算得安全系数 $K = 1.93$, 根据我国多年来采用的 A. H. 威尔逊理论校核煤柱强度的经验, 计算安全系数 K 大于 1.5 即可满足要求, 本设计安全系数满足需要。

综合以上分析, 根据 A. H. 威尔逊理论和检验方法, 该公路大桥煤柱条带开采采出条带宽 50m、留设条带宽 60m 符合要求的。

2.2 开采布置方案

根据计算采用采出条带宽 50m、留设条带宽 60m 可以保证开采条全部采出后地表形成单一均匀的下沉盆地, 且产生的移动变形较小, 可以保护公路大桥安全, 根据计算条带值并结合开采区域的范围, 提出了两个可行的开采布置方案: 在目前开采区域布置三个工作面(41 工作面 and 两个条带开采工作面), 方案一采 40m、留 80m, 方案二采 50m、留 60m, 并对两个方案进行安全性研究。开采布置如图 1 所示。

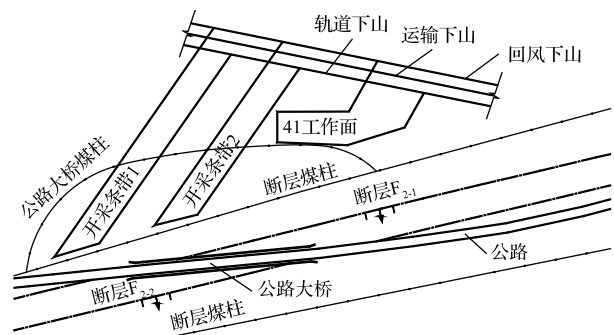


图 1 开采布置图

3 开采沉陷预测

3.1 预测参数确定

矿井在此区域采区 32、52、71 工作面时设置了地表移

动观测站,布置走向观测线1条,倾向观测线2条,总测点49个,观测总长度为1440m,其中走向观测线A布设在走向主断面上,布置18个观测点,测线总长度为418m;倾向观测线B布设在工作面的中心,布置15个观测点,观测线全长500m;倾向观测线C布设在工作面开切眼位置,布置16个观测点,观测线总长度为528m。地表沉降观测线布置如图2所示。

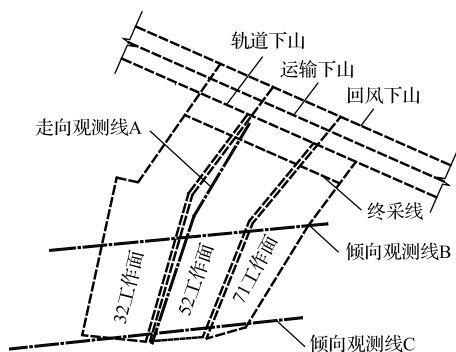


图2 地表沉降观测线布置图

三条观测线于2010年布设完毕,52工作面于2010年自开采眼由南向北开采,32工作面于2011年自开切眼由南向北开采,2012年7月4日第一次观测结果记录,2012年11月14日第二次观测结果记录,2013年4月10日第三次观测结果记录。

3.1.1 主断面岩移曲线拟合

根据地表移动变形观测站观测数据,拟合出主断面上移动变形剖面线如图3所示。

3.1.2 预计参数选取

以矿井目前开采区域32、52、71工作面地表观测站观测数据进行拟合,拟合出主要影响角、松散移动角、采深岩性系数、下沉系数。预计参数根据矿井的实际情况和矿区充分采动后的地表移动变形预计参数^[7],并结合条带开采的特点进行调整达到非充分采动下的预计参数如下^[8]:下沉系数 $q=0.2$;影响角正切 $\tan\beta=2.4$;拐点偏移距 $s=0.20H$;水平移动系数 $b=0.30$;开采影响传播角 $\theta=88^\circ$;开采深度 $H=480\text{m}$ (最大500m,最小460m);煤层倾角 $\alpha=15^\circ$;开采厚度 $h=3.86\text{m}$ 。

3.2 沉降预测

地表移动变形预测方法很多,有典型曲线法、负指数函数法、概率积分法等^[1]。根据各预测方法的特点,结合矿井地质条件、采煤方法等,本次设计采用最常用的概率积分法进行地表移动变形预测。

1) 开采方案一沉降预测:根据确定的预计参数,使用以概率积分法为基础的开采沉降计算系统对矿井目前开采区域41工作面、两个条带开采,采40m留80m,对三个工作面地表移动变形进行预计,预计最大值见表1。

2) 开采方案二沉降预测:根据确定的预计参数,使用以概率积分法为基础的开采沉降计算系统对矿井目前开采

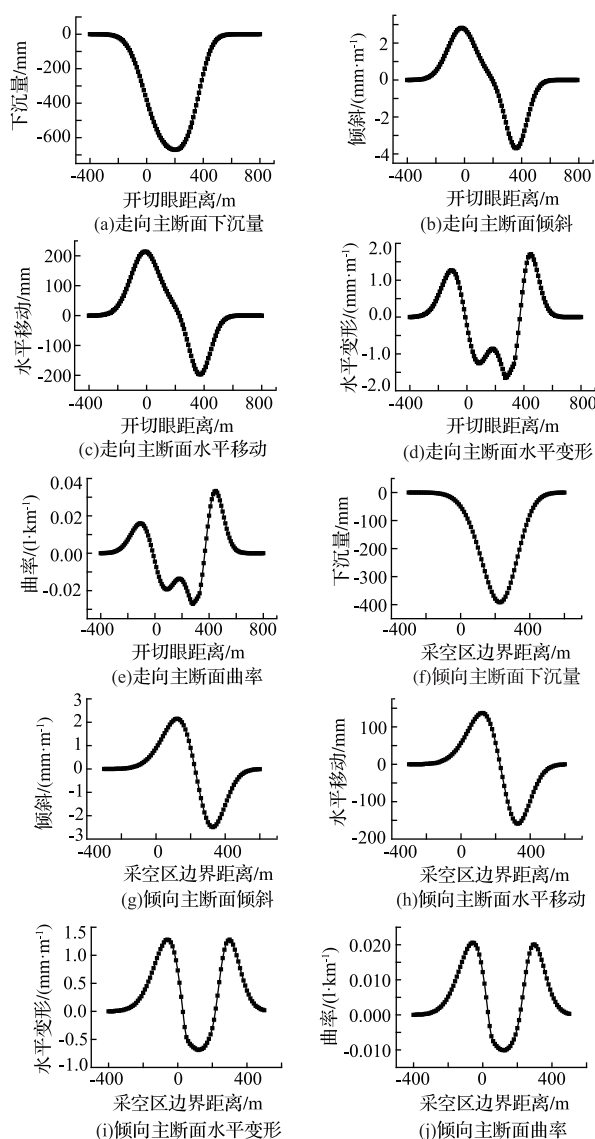


图3 走向与倾向主断面移动变形拟合曲线

区域41工作面、两个条带开采,采50m留60m,对三个工作面地表移动变形进行预计,预计最大值见表1。

3.3 开采沉降预测结果分析

根据开采沉降预计结果可知该公路大桥的地表移动变形数据,两方案结果均显示倾斜最大值小于 3mm/m ,曲率最大值小于 0.3mm/m^2 ,水平变形最大值小于 $\pm 2\text{mm/m}$,根据《岩土工程勘察规范》地表变形破坏等级为I级,地表变形值在允许范围内,方案二采出率较高,推荐采用方案二,即采出条带宽50m、留设条带宽60m。

4 公路大桥压煤开采有害因素分析及评价

该公路大桥压煤开采主要受到有害因素 F_{2-1} 断层和 F_{2-2} 断层影响, F_{2-1} 断层落差30~60m、倾角 55° , F_{2-2} 断层落差20~80m、倾角 70° 。当所采煤层的上覆岩层中有断层,或回采工作面在断层附近长久停留时,引起断层上、下盘沿

断层相对移动,在断层露头处产生台阶状下沉。台阶落差的大小取决于断层要素和断层露头在下沉盆地中的位置,断层引起的台阶落差最大可达地表下沉值的1/3以上,但不会超过最大下沉值。

表1 沉陷预测结果极大值

参数	方案一	方案二
下沉 W/mm	209	259
倾斜 T_0 正向/ $(mm \cdot m^{-1})$	0.94	1.25
倾斜 T_0 反向/ $(mm \cdot m^{-1})$	-0.98	-1.01
倾斜 T_{90} 正向/ $(mm \cdot m^{-1})$	1.32	1.42
倾斜 T_{90} 反向/ $(mm \cdot m^{-1})$	-1.35	-1.56
倾斜 T_{max} / $(mm \cdot m^{-1})$	1.36	1.58
水平移动 U_0 正向/ mm	60	80
水平移动 U_0 反向/ mm	-60	-82
水平移动 U_{90} 正向/ mm	85	92
水平移动 U_{90} 反向/ mm	-79	-93
水平移动 U_{max} / mm	88	100
水平变形 E_0 拉伸/ $(mm \cdot m^{-1})$	0.39	0.5
水平变形 E_0 压缩/ $(mm \cdot m^{-1})$	-0.55	-0.77
水平变形 E_{90} 拉伸/ $(mm \cdot m^{-1})$	0.65	0.76
水平变形 E_{90} 压缩/ $(mm \cdot m^{-1})$	-1.48	-1.57
水平变形 E_{max} 拉伸/ $(mm \cdot m^{-1})$	0.69	0.79
水平变形 E_{max} 压缩/ $(mm \cdot m^{-1})$	-1.48	-1.57
正曲率 $K_0/(1 \cdot km^{-1})$	0.0064	0.0079
负曲率 $K_0/(1 \cdot km^{-1})$	-0.0087	-0.0119
正曲率 $K_{90}/(1 \cdot km^{-1})$	0.0116	0.0134
负曲率 $K_{90}/(1 \cdot km^{-1})$	-0.0242	-0.0256
正曲率 $K_{max}/(1 \cdot km^{-1})$	0.0121	0.0136
负曲率 $K_{max}/(1 \cdot km^{-1})$	-0.0242	-0.0256

4.1 断层对地表移动变形的影响分析

当开采煤层的覆岩中有断层,且回采工作面在断层附近长时间开采时,可能引起断层上、下盘沿断层面相对滑动,影响移动变形范围,同时在断层露头附近引起地表下沉曲线改变,断层对地表移动变形影响有如下规律^[9]:

1) 当断层倾角大于 20° 、落差大于10m时,断层对岩层和地表移动的影响明显。

2) 断层对地表移动变形影响较大的位置位于断层露头附近。

3) 断层露头位于下沉盆地边缘,或断层倾角大于覆岩的内摩擦角,回采边界距断层面较近时,有害影响边界受断层面控制。是当断层倾角与岩层倾角位于同一象限时,岩体容易产生沿断层面的滑动。当断层露头在盆地边缘时,距露头5~10m以外的变形值较小,对地面建(构)筑物影响小。

4) 当断层露头在地表下沉盆地中,露头距最大下沉点近时,引起台阶落差大;距露头最大下沉点远时,引起台阶落差小。

5) 断层落差大时,地面产生台阶落差大;断层落差小时,地面产生台阶落差小。

6) 最大下沉值大、台阶落差大,最大下沉值小、台阶落差小。

4.2 有害因素评价

该公路大桥位于 F_{2-1} 断层和 F_{2-2} 断层的上盘上,该公路大桥压煤开采区域位于断层的下盘上,断层对煤岩层的切割方向有利于目标构筑物的保护,但是下盘开采更容易导致断层的“活化”,在断层破碎带附近覆岩活动剧烈,在出断层露头区域可能出现较大裂缝和台阶,根据计算断层出断层露头距离公路大桥约340m,其断层露头下沉台阶对该公路大桥构不成影响。

5 结论

1) 根据分析确定该公路大桥压煤采用条带开采,根据条带煤柱留设的基本理论和计算方法确定采出条带50m、留设条带60m。

2) 根据矿井地表移动观测数据,拟合出公路大桥压煤开采沉陷预计参数:下沉系数0.2,影响角正切值2.4,拐点偏移距 $0.20H$,水平移动系数0.30,开采影响传播角 88° 。

3) 采用概率积分法进行开采沉陷预测,得出地表变形破坏等级为I级、在大桥允许范围内。

4) 压煤开采有害因素进行分析,发现断层对公路大桥压煤开采不造成影响。

5) 以上分析研究方法,可供类似工程开采设计及安全分析时作为参考,以便判定“三下”压煤可行性及安全性,为提高矿井采出率、回收宝贵的煤炭资源做出贡献。

参考文献:

- [1] 师凯. 开采沉陷对地面建(构)筑物的损害及防护加固[J]. 煤炭工程, 2007(7): 43-45.
- [2] 何国清, 杨伦, 凌赓娣. 开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [3] 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.
- [4] 胡炳南. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- [5] 李德海. 厚松散层下条带开采技术研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.
- [6] 刘在祥. 东欢坨矿建筑物下条带开采方案设计与应用[J]. 煤炭工程, 2016, 48(6): 4-7.
- [7] 郭增长, 谢和平, 王金庄. 极不充分开采地表移动和变形预计的概率密度函数法[J]. 煤炭学报, 2004, 29(2): 155-158.
- [8] 张文馨, 郭广礼, 郭庆彪. 基于D-InSAR技术的矿区地表沉陷监测[J]. 煤炭工程, 2017, 49(6): 122-124.
- [9] 丁建闯, 闫方方. 大倾角逆断层条件下开采地表移动规律的研究[J]. 华北科技学院学报, 2014, 11(11): 8-14.

(责任编辑 张宝优)