

抗动压井壁结构型式的模拟优化研究

冯永光 刘希亮 踞晓东

(河南理工大学土木工程学院, 河南焦作 454003)

【摘要】 安阳鑫龙矿业有限责任公司根据公司发展规划, 对现有矿井进行全面技术改造和矿区扩建, 计划在采动影响范围内建设一个新的风井。运用 Flac^{3D} 数值模拟软件对不同结构形式的井壁(素混凝土、钢筋混凝土、井壁外侧加垫层的复合井壁、井壁内加垫块的复合井壁)进行模拟比较, 同时研究不同垫块位置(刚度), 进行模拟比较。得出井壁内加垫块的井壁结构较好、垫块位置(刚度)对井壁受力影响较小的结论。

【关键词】 复合井壁; 数值模拟; 采动影响; 井壁破坏; 垫块刚度

【中图分类号】 TB 115

Simulation-Optimization Investigate Into Resist Dynamical Pressure Shaft Wall

Feng Yongguang Liu Xiliang Ju Xiaodong

(School of Civil Engineering College, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454003 China)

【Abstract】 Based on the construction of a shaft wall in mining influence area, the different structure types of the shaft wall are numerical simulated by FLAC^{3D} numerical simulation soft. The structure types, includes pure concrete, reinforced concrete, complex shaft wall with added gasket to outside shaft wall and complex shaft wall with added stow-wood to inside shaft wall, are compared with each other. And the influences of stow-woods in different positions and its stiffness are analyzed. The simulation indicates that added stow-wood to inside of shaft wall is better and gasket thickness positions(stiffness) have little effect to shaft wall loaded.

【Key Word】 complex shaft wall ; numerical simulation ; mining influence ; shaft wall destroy ; stow-wood stiffness

0 引言

为了满足经济发展对煤炭的需求量增加, 各矿区在新技术、新理论的支持下, 对原有生产系统、通风系统进行改建。为了尽可能合理利用现有资源, 需要对风井周围的煤柱尽可能开采, 但由于地下煤层的开采会造成地应力的重新分布, 引起风井井壁受力的较大变化, 严重时会使井壁产生弯曲、剪切破坏, 影响煤矿的安全生产, 甚至会造成严重的停产事故。在此情况下, 就需要对具有抗弯曲、抗剪切的新型井壁进行研究, 物理实验是较好的研究方法, 但是实验环境与真实环境相差太大, 使得实验结果的可靠度降低且物理实验的成本太高, 因此用数值模拟实验可以很好地研究开采工程中井壁的受力和不同井壁型式抗采动的破坏的能力。

1 数值模拟方案参数确定

1.1 井壁地压的估算和井壁的厚度初步确定

井壁的受力荷载包括: 水平地压、自重、温度应力、施工荷载、动压荷载等, 模拟按照常规井壁的水

平地压值确定井壁的厚度, 以此为数值模拟计算的前提。模拟井壁地压采用重液公式 $P = K \cdot H$ 计算, 其中表土中 K 取 0.013; 岩石中 K 取 0.01; 混凝土采用 C40, 钢筋选用热轧钢筋 HPB235、HRB335、HRB400; $f_c = 19.1 \text{ MPa}$; 井壁的厚度公式采用 $B = r \left[\sqrt{f_c} \left(\frac{f_c - \sqrt{3} p}{f_c} \right) - 1 \right]$ 计算; 设计过程中井壁的竖向失稳安全系数取 2.5。

通过计算得到: 混凝土井壁的厚度为 650 mm, 考虑到风井的特殊情况和今后的受力工况, 在数值模拟过程中, 井壁的厚度统一按 650 mm 进行模拟。

1.2 地层的模拟力学参数

FLAC^{3D} 在采用 C-M 准则时不但需要输入材料的 c 、 φ , 还要确定材料的体积模量 K 和剪切模量 G 。根据材料的弹性模量和泊松比, 可以按式(1)确定出数值模拟过程中所需要的参数 K 、 G , 地层及井壁的 c 、 φ 、 K 、 G 见表 1。

$$3K(1-2\nu) = E \quad 2G(1+\nu) = E \quad (1)$$

表1 地层及井壁的参数

岩土性质	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	粘聚力 c/MPa	抗拉强度 σ/MPa	弹性模量 E/GPa	泊松比 ν	体积模量 K/GPa	剪切模量 G/GPa
表土	20.0	0.02	0	0.025	0.30	0.0208	0.0096
泥岩	33.0	0.52	0.04	5.000	0.27	3.6200	1.9700
砂岩	36.0	0.90	0.20	10.000	0.25	6.6700	4.0000
C40 砼	45.0	0.80	1.71	0.393	0.30	0.3280	0.1500
钢筋砼	45.0	0.80	300.00	200.000	0.20	111.000	83.3000
煤	34.0	0.60	0.70	9.000	0.15	4.330	2.2000
垫块				32.500	0.20	18.100	13.5000

1.3 边界条件

结合风井的情况以及工程的施工情况,对于地层的边界条件确定为:地表为自由边界,模型底面为固定边界,模型四周为应力边界。土层中采用土的实际重度产生的侧压力作为边界;而在岩石中,考虑到水平地压的影响,边界条件按照重度为 25 kN/m^3 产生的侧向压力计算。

1.4 模拟方案的说明

1)两种基本井壁模型:混凝土井壁和钢筋混凝土井壁。

2)两种基本井壁类型:井壁周边加垫层和井壁内加垫块,形成可缩层。

3)井壁内加垫块的间距分别为 7 m 、 10 m 、 13 m 、 16 m 。通过可缩层的间距变化的数值模拟,分析可缩层间距对井壁变形以及受力的影响,确定合理的可缩层间距。

4)垫块刚度分别取了井壁刚度的 $1/3$ 、 $7/15$ 、 $9/15$ 、 $11/15$ 、 $13/15$ 。通过对可缩层刚度变化的数值模拟,分析可缩层刚度对井壁变形以及受力的影响,确定合理的可缩层刚度。

5)破坏准则: Mohr-Coulomb 破坏准则。

2 井壁结构优化数值模拟

2.1 基本模型

本研究的目的是对抗动压井壁的结构进行优化,比较井壁周边布置可缩层和在井壁内布置可缩层两种抗动压井壁的受力特点,分析可缩层参数对受力和变形的影响,模型采用宽 60 m 、长 100 m 、高 100 m 的长方体模型,按照矿上提供的地质资料总体上分四层:煤层下部岩石、煤层、煤层上部岩石以及上覆盖土层,厚度分别为 10 m 、 2 m 、 50 m 和 38 m ,井筒内径为 4.5 m ,厚度 0.65 m 。模型建成后总单元数为 45968 ,节点数为 48549 ,因井壁结构型

式的局部变化,单元数和结点数稍有变化。地层及井壁基本模型见图1。

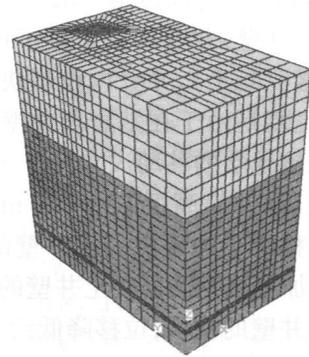


图1 基本模型单元划分

2.2 不同井壁结构参数的数值模拟

2.2.1 钢筋混凝土、素混凝土井壁,井壁周边加垫层、井壁加垫块基本模型模拟对比研究

钢筋混凝土、素混凝土井壁,井壁周边加垫层(厚度 60 mm)、井壁加垫块(7 m)部分数值模拟结果见图2、图3。

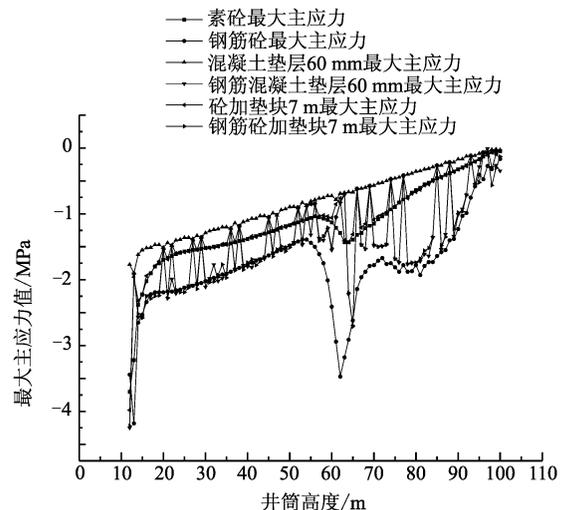


图2 井壁远侧最大主应力

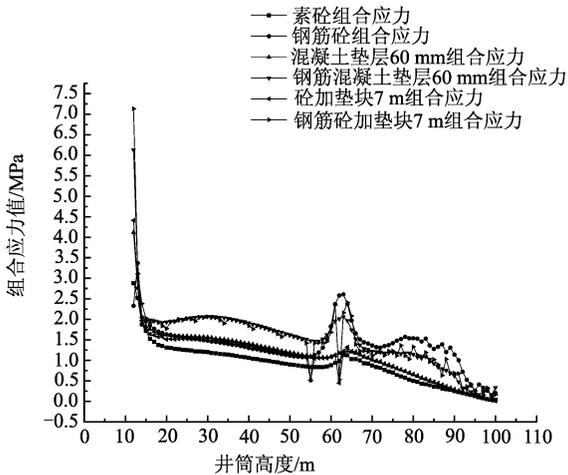


图3 井壁远侧组合应力图

1)在基岩段(井筒高度0~62 m, 纯钢筋混凝土、纯素混凝土井壁, 井壁周围布设了可缩层(纯钢筋混凝土、纯素混凝土), 井壁内设垫块的组合位移已没有差别, 主要是由于在基岩段井壁与围岩成为一个整体来抵抗地层的移动。

2)在表土段(井筒高度62~100 m), 纯钢筋混凝土井壁的位移小于纯素混凝土井壁的位移, 位移降低约25%; 加垫层钢筋混凝土井壁的位移小于加垫层素混凝土井壁的位移, 位移降低约35%。这主要是由于钢筋混凝土的抗弯能力较高, 抵抗变形的能力较大, 加垫层井壁的位移比不加垫层的大10%, 加垫块井壁位移和加垫层井壁的位移接近, 说明在井壁中加垫块的力学行为与周边加垫层, 对钢筋混凝土井壁和素混凝土井壁的位移影响规律是相同的。

3)图3显示, 钢筋混凝土井壁的组合应力高于素混凝土井壁的组合应力, 在表土与基岩的接触面上, 组合应力发生跳越, 这说明不同岩层的交界是应力发生变化、容易使井壁产生破坏的关键部位。对于素混凝土井壁由于抗弯刚度较小, 在地层的移动下, 抗弯能力较差, 因此, 在表土与基岩的接触面上, 组合应力跳越不明显。

4)在煤层的顶面, 也就是煤层与基岩的交界处, 各种应力以及组合应力都发生跳越, 也是井壁受力的薄弱点。

由图2和图3可以看出, 在井壁中安置垫块比在井壁周围设置垫层的抗采动效果明显一些。

2.2.2 垫块间距和垫块刚度对井壁的受力影响

井壁应力和变形随垫块间距的模拟数据并对比可知(见图4、图5):

1)垫块的间距对井壁的受力和变形不产生明显

的影响。这主要是由于井壁的水平位移受地层的影响, 地层的力学性质的变化, 导致了井壁在水平方向上的移动, 当垫块放置在井壁中, 而且放置的部位不是地层力学性质变化的位置时, 垫块对位移的影响较小。在井壁内设置垫块需要考虑地层的变化, 对于统一的地层不宜设置过多, 设置过多起不到垫块吸收或释放应力和变形的作用。

2)垫块设置部位, 应力变小。主要是由于垫块的刚度较井壁刚度小, 垫块吸收一部分变形能量。除去垫块设置部位, 总体上主应力不随垫块的间距而变化。

3)垫块的刚度对井壁的应力和位移的影响较小, 但在垫块设置处, 刚度越小, 降低的组合应力越大。

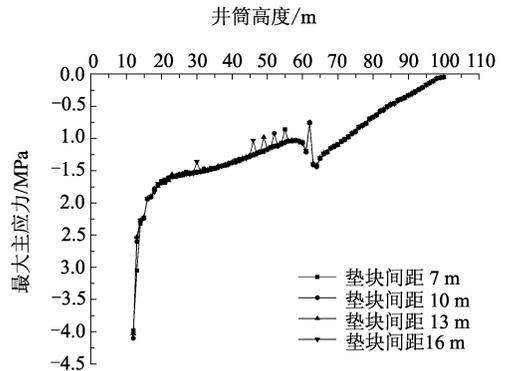


图4 井壁远侧最大主应力对比

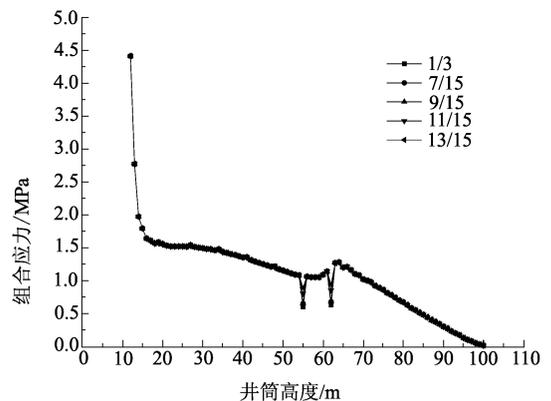


图5 井壁远侧组合应力对比

3 井壁结构优化结论

1)钢筋混凝土井壁和素混凝土井壁在基岩段内, 如果基岩地质条件均匀或变化不大时, 两者的承载能力是相同的。但在表土段, 钢筋混凝土井壁的抵抗能力大于素混凝土井壁的抵抗能力。

2)在基岩与表土段的交界处、煤岩的交界处以及地层性质相差较大的交界处, 采动影响会导致接触面上力学以及变形性质的变化, 由此会对井壁受

力产生较大的影响,在抗采动井壁设计过程中,需要重点考虑。

3)通过井壁周边布置可缩层和井壁内布置垫块两种模型的对比分析,两者的对变形的吸收作用差别不大,但垫块应力释放比可压缩层较大,宜采用在井壁内布置可缩层的型式。

4)在均匀地层中,布置不同间距的可缩层,效果并不明显,在均匀地层的条件下,只在地层性质的突变处布设可缩层。

参 考 文 献

[1] 徐永圻. 煤矿开采学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1993.

- [2] 刘希亮. 深厚表土层不稳定地层中井壁受力研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004.
- [3] 张培森,张文泉. 近距煤层巷道煤柱尺寸的优化设计[J]. 矿山压力与顶板管理,2004(3):26-28.
- [4] 王永秀,齐庆新,陈兵,等. 煤柱应力分布规律的数值模拟分析[J]. 煤炭科学,2004(10):59-62.
- [5] 杜波,陈寒秋. 近距离煤层开采侧向支承压力分布的相似模拟试验研究[J]. 河南理工大学学报,2006(10):359-363.
- [6] 司英脉. 采空沉陷区风井井壁结构设计[J]. 河北煤炭,2006(4):18-19.

收稿日期:2007-08-24

(上接第 295 页)

表 6 稳定性系数计算结果

工况	层面强度参数		侧面强度参数		危岩体自重 G/kN	稳定性系数 F_s
	c/kPa	F	c/kPa	F		
正常水位	150	0.4	300	0.4	126 670	2.978
校核水位	150	0.4	300	0.4	126 670	2.737

6 结 论

上述稳定性计算结果已为设计单位所采纳,而且,评审专家一致认为计算结果比较符合实际情况,并能作为坝工设计的依据。

实际应用表明,改进的楔形岩体稳定性评价方法具有以下优点:

①应用简便。尤其是由相关计算机自动处理过程取代了原始的手工赤平投影过程,不仅简化了操作,而且提高了成果精度。

②思路清晰。原有的极限平衡法过于简单,而且需人为预先判断滑移类型,然后才能对应求取稳定性系数,改进方法所采用的矢量分析理论能根据现场相关受力条件的输入,自动判断出可能的滑移类型,能易为一般的工程设计人员所应用。

③计算结果准确、合理。

参 考 文 献

- [1] 刘佑荣,唐辉明. 岩体力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1999:102.
- [2] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等. 岩质边坡稳定分析—原理方法程序[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:243-289.
- [3] 朱志澄,宋鸿林. 构造地质学[M]. 北京:中国地质大学出版社,1990.
- [4] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京:地质出版社,1994:87.
- [5] 陈胜宏. 岩坡中楔形体的稳定分析[J]. 水利学报,1990(11):18-26.
- [6] 李爱兵,周先明. 露天采场三维楔形滑坡体的稳定性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(1):52-55.
- [7] 张宜虎. 鱼筒河拱坝坝肩岩体稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(18):3305-3310.

收稿日期:2007-09-04