

矿井需风量计算方法改进

郑海力^{1*}, 沈善强², 陈礼石¹, 李寿山¹, 高新¹

(1.化工部长沙设计研究院,湖南长沙410116;2.青海盐湖工业股份有限公司,青海格尔木816000)

摘要:针对传统理论计算矿井需风量与实际总有出入,对矿井风量进行了更贴近实际的分析.将矿山井下柴油设备需风量严格按照污风稀释规律进行计算,同时将以人员呼吸及柴油设备排污需要分别校核风量的方式,改进为综合考虑人员呼吸及柴油设备排污进行需风量计算.经实践检验,该需风量计算方法思路清晰,逻辑合理,可在实践中进行应用.

关键词:矿井;通风;风量;改进

中图分类号:TD722 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)01-0027-07

Calculating Method Improvement of Mine Airflow Required

Zheng Haili¹, Shen Shanqiang², Chen Lishi¹, Li Shoushan¹, Gao Xin¹

(1. Changsha Design and Research Institute of Chemical Industry Ministry, Changsha 410116, China;

2. Qinghai Salt Lake Industry Co., Ltd., Golmud 816000, China)

Abstract: Due to the discrepancies between traditionally theoretical calculation and actual situations of mine airflow, this paper makes analysis of the mine airflow, which is closer to the actual conditions. Required airflow of mine underground diesel equipment is calculated based on the law of polluted air dilution. When calculating the required airflow, the traditional method calculates the airflow of personnel breathing and diesel equipment pollution respectively. This paper improves it by synthetically calculating the required airflow of personnel breathing and diesel equipment pollution. Practices show that this method is clear, logical and reasonable, which can be used in reality.

Keywords: mine; ventilation; airflow; improvement

地下矿山要给井下作业人员供给足够新鲜空气,并能有效地排除有毒有害气体,就必须给井下作业地点提供足够的风量.通常情况下,风量越大,通风效果越好.但风量越大,井下通风能耗也越大,同时通风的井巷断面可能也要加大,井巷工程投资也要随之增加;而且风量越大,则井下员工寒冷感觉也越强,长期下来会造成井下作业人员风湿等疾病高发;同时风量大,风速强也有可能产生二次扬尘影响人员健康.而风量小,则井下空气无法及时更新,井下作业人员长期受有害气体毒害,身体健康受到威胁,则更是有悖井下通风的初衷.因此矿井通风需风量的合理计算对于井下经济生产及安全生产均有重要意义^[1-3].

1 矿井分量计算方法改进

1.1 现有矿井需风量计算方法

目前,在计算地下矿山矿井需风量计算时,采用先分别对回采工作面、备采工作面、掘进工作面及各需要独立通风的硐室的需风量进行计算.然后将各类工作面与需要独立通风的硐室需风量进行累加,即得到矿井通风系统风量,然后考虑系统漏风等因素,即得到矿井总需风量.然后按井下同时工作最多人员需风量与井下同时使用的柴油设备排污需风量进行校验^[4,5].

收稿日期:2017-04-20

*通信作者,E-mail:zhenghaili1986@126.com

其计算公式见式(1):

$$Q_{\max} = \max \begin{cases} Q_x = K(\sum Q_h + \sum Q'_h + \sum Q_j + \sum Q_d + \sum Q_h) \\ Q_r = N_r q_r \\ Q_y = N_y q_y \end{cases} \quad (1)$$

式中: Q_{\max} 为矿井实际需风量, m^3/s ; Q_x 为矿井各工作面总需风量, m^3/s ; K 为矿井风量备用系数; Q_h 为回采工作面总需风量, m^3/s ; Q'_h 为备采工作面总需风量, m^3/s ; Q_j 为掘进工作面总需风量, m^3/s ; Q_d 为硐室总需风量, m^3/s ; Q_h 为其他需风点总需风量, m^3/s ; Q_r 为井下作业人员总需风量, m^3/s ; N_r 为井下同时工作最大人数; q_r 为单人需风量, $4 \text{ m}^3/\text{min}$; Q_y 为井下作业人员总需风量, m^3/s ; N_y 为柴油设备最大功率, kW ; q_y 为单位功率供风量, $4.08 \text{ m}^3/(\text{kW} \cdot \text{min})$.

式(1)中,手册中推荐的柴油设备最大功率通风量计算公式为

$$N_y = N_1 f_1 + N_2 f_2 + N_3 f_3 + \dots + N_n f_n \quad (2)$$

式中: N_1, N_2, \dots, N_n 为各种柴油设备额定功率, kW ; f_1, f_2, \dots, f_n 为工作时间系数,各种柴油设备在井下每小时作业的时间百分比, %.

实际中,对于 N_1, N_2, \dots, N_n ,井下同种设备一般第1台和第2台同时工作系数分别为1.00和0.75,第3台及以上均为0.50.即得到折减后的同种设备同时启动功率:

$$N'_i = W_i + 0.75 W_i + 0.5 \sum_{j=3}^m W_j \quad (3)$$

式中: N'_i 为同种柴油设备同时启动的额定功率, kW ; W_i 为某型柴油设备额定功率, kW .

则式(2)变为式(4):

$$N_y = N'_1 + N'_2 + N'_3 + \dots + N'_n \quad (4)$$

1.2 现有矿井需风量计算方法分析

该风量计算方法全面考虑了井下工作场所、井下作业人员以及井下柴油设备的通风需要,其总需风量为工作场所、人员及柴油设备各类型所需风量的最大值.此种计算方式认为满足场所、人员及设备3者中的最大风量要求即可同时满足其余2类的较小风量的需求,即最大即合理的数学逻辑^[6,7].但现实生产中的通风除了数学逻辑外更多的应考虑时序逻辑,即风流进入矿井后通过地点的先后也对通风有影响,且这种影响应较之于最大即合理的数学逻辑占据更为主导地位.按照以往通风需风量的计算方式,如柴油设备需风量较之于工作场所及人员需风量大,则总需风量即为柴油设备通风量,但仅仅只考虑柴油设备通风的需要时,如果风流先经过在主要开拓巷道中运行的柴油设备后即成为污风,无法再满足风流下游工作面人员通风的需要,则井下人员将可能在污风下作业,明显不合理,这也成为数学逻辑考虑矿井需风量的缺陷所在.传统的矿井需风量计算模式见图1.

此外,传统计算方法对于柴油设备功率的计算,井下同种设备第1台和第2台同时工作系数分别为1.00和0.75,第3台及以上均为0.50.此种计算方法是考虑了井下柴油设备对新鲜风流的污染是逐步稀释与加重的过程.即风流经过的第1台柴油设备对新鲜风流的污染最重,经过第2台柴油设备的风流是已经被第1台柴油设备污染的风流,因此污染会加重,但是加重程度较之于新鲜风流通过第1台柴油设备时稍轻,以此类推.可见,风流流经的第1台柴油设备的工作系数应最大,流经第2台柴油设备工作系数应稍小,越往后流经的柴油设备,其工作系数应越小,而不是第3台以后的设备都取成0.50的系数.

1.3 矿井风量计算方法改进

鉴于此,有必要对原有矿井风量计算方法进行改进.充分考虑通风时新鲜风流的流经路线及路线上通过的设备与人员等的先后顺序等因素^[8-10].例如,以无轨斜坡道开拓,开拓巷道进风,回风井负压抽出通风为例,风流大致流经路线为:开拓巷道斜坡道→中段巷道→上山→分段巷道→采场→回风分段→专用回风道→回风井.当新鲜风流先经过柴油设备时,增加的柴油废气会影响井下作业人员的呼吸,需要增加新鲜

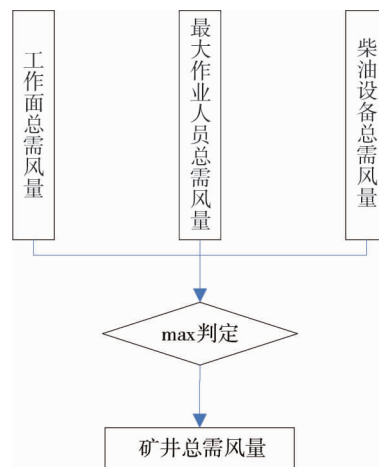


图1 传统矿井需风量计算模式

风量;但是如果新鲜风流先经过井下作业人员,只增加了 CO_2 浓度,但仍然可以用来稀释冲洗柴油废气.因此柴油设备与人员的位置先后,也对风量的实际需求有所影响,因此在需风量计算时,除了考虑各作业场所的需要外,还应该将柴油设备稀释排污与井下作业人员呼吸用风综合考虑计算一个需风量,取二者中的大值.对于柴油设备稀释排污与井下作业人员呼吸用风综合用风 Q_x ,应考虑风流流经路线特点分别对人员呼吸需风 Q_r 及柴油设备需风 Q_y 各按一定比例取风后综合相加,此比例定义为作业人员风量需求系数 F_1 及柴油设备风量需求系数 F_2 .

改进需风量计算公式如下:

$$Q_{\max} = \max \begin{cases} Q_x = K(\sum Q_h + \sum Q'_h + \sum Q_j + \sum Q_d + \sum Q_h) \\ Q_x = F_1 Q_r + F_2 Q_y = F_1 N_r q_r + F_2 N_y q_y \end{cases} \quad (5)$$

式中: Q_x 为柴油设备稀释排污与人员呼吸用风综合风量, m^3/s ; F_1 为井下作业人员风量需求系数, $0.0 \sim 1.0$; F_2 为柴油设备风量需求系数, $0.0 \sim 1.0$.

同时,对于柴油设备最大功率通风量的计算,在后的柴油设备工作系数与前一台柴油设备的工作系数之比应是一个小于 1 的固定比值 p ,则同种柴油设备同时启动功率 N'_i 为

$$N'_i = W_i + W_i p + W_i p^2 + \dots + W_i p^{m-1} = W_i \frac{1 - p^m}{1 - p} \quad (6)$$

比值 p 取值范围为 $0.75 \sim 1.00$.为方便计算,参考《金属非金属矿山安全规(GB16423-2006)》及《采矿设计手册》中相关取值规定及计算方法,按式(6)反向推理测算出 p 的建议值:当同启设备数 m 为 1, 2~4, 5, 6, 7, 8, 9, 14~16, 17~19, 20~22, 23~26, 27~30 时, p 分别为 1.00, 0.75, 0.78, 0.81, 0.83, 0.84, 0.86, 0.87, 0.88, 0.89, 0.91, 0.92, 0.93, 0.94, 0.95.

对于柴油设备稀释排污与井下作业人员呼吸用风综合用风 Q_x .其井下作业人员风量需求系数 F_1 , 柴油设备风量需求系数 F_2 的取值应充分考虑风流路线上设备与人员的先后顺序,例如,如新鲜风先通过设备再供给人员呼吸,则通过设备后的污风无法满足人员呼吸之用,此时风量需求应充分考虑设备排污与人员呼吸之用,人员风量需求系数 F_1 及设备风量需求系数 F_2 均应取较大值;如新鲜风流先供给人员呼吸再通过设备,则人员呼吸后的污风仍然可以用来冲洗设备,此时设备稀释用风为主导, F_1 应取小值, F_2 应取大值.

由于在矿山实际中,风流流经的人员与设备均为单个个体且存在相互交叉,即风流不可能先通过所有人员后再流经设备或通过所有设备后再流经人员,总是流经部分设备或人员后再流经部分人员或设备.为方便实际操作,考虑到矿山实际生产时,人员多位于采场或最低中段进行开拓掘进,故可将矿山柴油设备分为采场类柴油设备及巷道类柴油设备,对其各自计算总功率后进行比较,如巷道类柴油设备(如坑内卡车)总功率占柴油设备总功率大部分,此时则可认为风流先流经排污设备,后经过人员, F_1 及 F_2 均取较大值;如采场类柴油设备(如铲运机,采矿台车等)总功率占柴油设备总功率大部分,此时可认为风流先经过人员,再流经排污设备, F_1 应取小值, F_2 应取大值.

根据搜集得到的大量矿山企业柴油设备类型、功率及通风实际需风量等经验数据,参考《金属非金属矿山安全规程》(GB16423-2006)及《采矿设计手册》中相关取值规定,按式(5)反向推理测算出 F_1 及 F_2 建议取值见表 1.

表 1 F_1 及 F_2 系数建议取值表

采场类设备 功率占比/%	F_1	F_2	巷道类设备 功率占比/%	F_1	F_2
50~60	0.35~0.45	0.95~0.96	50~60	0.55~0.65	0.95~0.96
60~70	0.25~0.35	0.96~0.97	60~70	0.65~0.75	0.96~0.97
70~80	0.15~0.25	0.97~0.98	70~80	0.75~0.85	0.97~0.98
80~90	0.05~0.15	0.98~0.99	80~90	0.85~0.95	0.98~0.99
90~100	0.00~0.10	0.99~1.00	90~100	0.90~1.00	0.99~1.00

注:表中数值范围下限值含本数,上限值不含本数

改进后的风量计算方法流程见图 2.

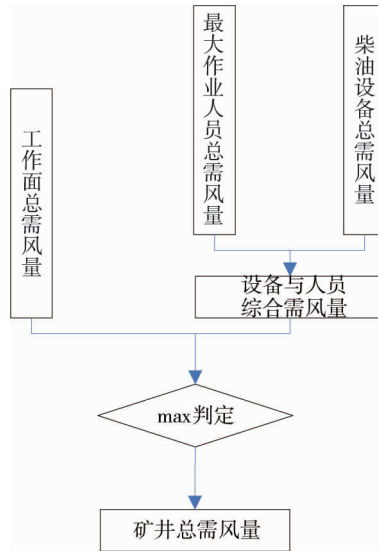


图 2 改进矿井需风量计算模式

2 实例分析

2.1 项目背景

华中地区某地下磷矿山矿区范围 14.2 km², 矿产资源储量约 8×10¹⁰ kg. 采矿方法为盘区房柱法开采, 采用坑内卡车运矿, 铲运机进采场出矿. 矿山采用对角抽出式通风系统, 新鲜风流分别从南北平硐进入, 经上山斜坡道、中段或分段巷道进入采场, 清洗工作面的污风分别进入各自的回风系统, 然后经南回风井和北回风井排出地表.

按规划, 矿山正常生产时有切割及回采工作面 14 个, 备用采场 4 个, 掘进工作面 4 个, 硐室 4 个. 矿山开拓系统见图 3.

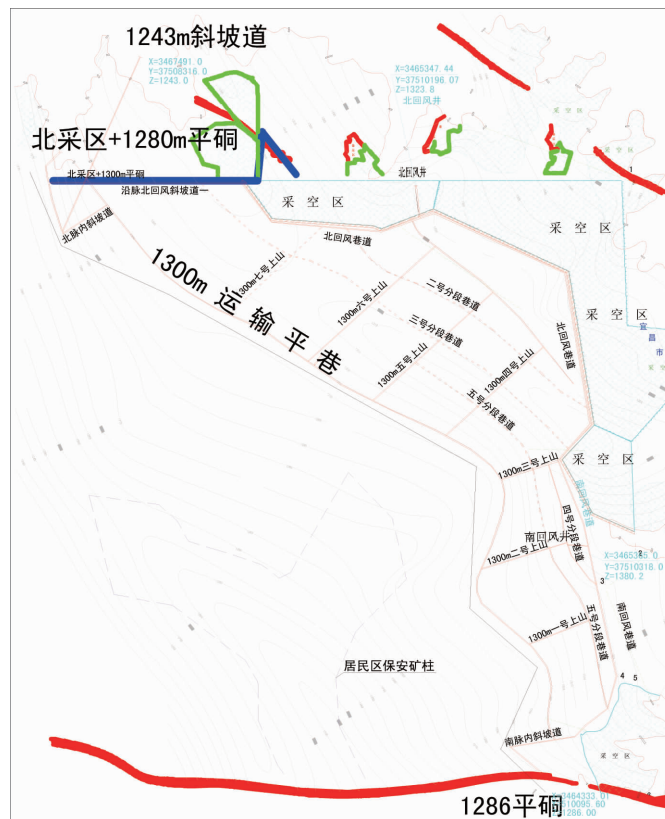


图 3 矿区开拓系统

2.2 传统方法计算风量

2.2.1 工作面需风量计算

需风工作面分为回采工作面、备采工作面、掘进工作面及硐室工作面4类,各类工作面需风量计算如下:

1) 回采工作面需风量

回采工作面风量按排尘风速、工作面同时工作的最多人数、排除炮烟等进行风量计算后取最大值作为回采工作面计算风速.

(1) 按排尘风速计算

$$q_s = sv. \quad (7)$$

式中: s 为工作面过风断面, m^2 ; v 为要求的排尘风速, m/s ; 硐室型采场最低风速应不小于 $0.15 m/s$.

本矿山井下回采工作面最大过风断面积为 $20 m^2$,则: $q_s = 3.0 m^3/s$.

(2) 按工作面同时工作的最多人数计算

$$q_s = 4n. \quad (8)$$

式中: n 为工作面同时工作的最大人数.

回采工作面同时作业的最大人数为10人,则:

$$q_s = 40 m^3/min = 0.67 m^3/s. \quad (9)$$

(3) 按排除炮烟计算

本矿井采场属于巷道型采场,可采用中南工业大学经验公式计算风量.

$$q_s = \frac{N}{t}LS = 2.8 m^3/s. \quad (10)$$

由此可知,该矿山回采工作面需风量 q_s 为 $3.0 m^3/s$.

2) 备采工作面需风量

根据矿山资料,考虑备用工作面无法有效密闭,备采工作面按回采工作面供风,备采工作面风量取 $3.0 m^3/s$.

3) 掘进工作面需风量

掘进工作面风量按排尘风速、工作面同时工作的最多人数、排除炮烟等进行风量计算后取最大值作为回采工作面计算风速.

(1) 按排尘风速计算

$$q_j = sv. \quad (11)$$

式中: s 为工作面过风断面, m^2 ; v 为要求的排尘风速, m/s ; 掘进头最低风速应不小于 $0.25 m/s$.

本矿井掘进工作面最大过风断面积为 $13.54 m^2$,则: $q_j = 3.39 m^3/s$.

(2) 按工作面同时工作的最多人数计算

$$q_j = 4n. \quad (12)$$

式中: n 为工作面同时工作的最大人数.

掘进工作面同时作业的最大人数按6人考虑,则: $q_j = 24 m^3/min = 0.4 m^3/s$.

(3) 按排除炮烟计算

压入式通风掘进头需风量计算公式

$$q_j = \frac{0.465}{t} \left(\frac{Abs^2L^2}{p^2C} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (13)$$

式中: t 为通风时间,一般为 $20 \sim 30 min$; A 为同时爆破炸药量, kg ; b 为每千克炸药CO当量,岩巷 $40 L/kg$; s 为工作面过风断面, m^2 ; L 为巷道独头掘进距离, m ; P 为风筒漏风系数; C 为CO允许浓度, 0.0024% .

本矿山 t 取 $30 min$,根据掘进进尺及炸药单耗得出 A 为 $25 kg$, s 为 $13.54 m^2$,采切掘进最长距离 L 为 $180 m$,根据风筒性能及相关规范 p 取 1.10 ,则 $q_j = 3.27 m^3/s$.

经上述计算可知,掘进工作面风量最大为 $3.39 m^3/s$,取 q_j 为 $3.50 m^3/s$.

4) 硐室工作面需风量

炸药库、破碎硐室等要求独立回风的硐室需风量需单独计算,本矿井需单独回风的硐室为炸药发放硐

室,根据硐室尺寸及发放材料量确定其需风量为 $3 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

漏风系数 K 取 1.38,根据各工作面及硐室的需风量计算全矿区矿井总风量为

$$Q_x = K(\sum Q_h + \sum Q'_h + \sum Q_j + \sum Q_d + \sum Q_h) = 110.4 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (14)$$

2.2.2 风量校核

1)按井下同时工作的最多人数校核

按《金属非金属矿山安全规程》规定,按井下同时工作的最多人数计算,供风量应不少于每人 $q_s = 4 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

矿区每班采掘直接人员 89 人,加上运输和其他辅助工种人员,同时工作的最多人数小于 250 人,按 250 人计算需要风量为

$$Q_r = N_r q_r = 1\,000 \text{ m}^3/\text{min} = 16.67 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (15)$$

2)按柴油设备功率校核需风量

井下柴油设备主要有柴油铲运机及坑内卡车,柴油铲运机共 12 台,单台功率 79 kW;坑内卡车共 8 台,单台功率 230 kW.得到柴油设备同时启动最大功率计算如下:

$$N_y = N'_1 + N'_2 = (W_1 + 0.75W_1 + 0.5 \times 10 \times W_1) + (W_1 + 0.75W_1 + 0.5 \times 6 \times W_1) = 1\,625.75 \text{ kW}. \quad (16)$$

根据《金属非金属矿山安全规程》(GB16423-2006),“有柴油设备运行的矿井,按同时作业机台数每千瓦每分钟供风量 4 m^3 计算”.则其需风量为

$$Q_y = N_y q_y = 6\,503 \text{ m}^3/\text{min} = 108.38 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (17)$$

据此可知,该矿山柴油设备成为了需风量校核的主要决定因素.

2.2.3 总需风量

根据式(1),得到该矿山按照传统模式计算的需风量为 $110.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.3 改进风量计算方法

2.3.1 工作面需风量计算

工作面风量计算过程及结果与 2.2.1 节一致,各工作面及硐室的需风量计算全矿区矿井总风量为 $110.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.3.2 按同时工作最多人数及柴油设备功率计算需风量

1)按井下同时工作的最多人数计算需风量

按井下同时工作的最多人数校核风量,需风量为 $16.67 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2)按柴油设备功率校核需风量

按照改进方法,对柴油设备功率需风量进行计算.

井下柴油设备有柴油铲运机及坑内卡车,其中柴油铲运机单台功率 79 kW,共 12 台,则参考表 1,其 p 值取 0.89,则柴油铲运机同时启动功率 N'_1 为

$$N'_1 = W_1 \frac{1 - p^m}{1 - p} = 540.80 \text{ kW}. \quad (18)$$

坑内卡车单台功率 230 kW,共 8 台,则参考表 1,其 p 值取 0.84,则柴油铲运机同时启动功率 N'_2 为

$$N'_2 = W_2 \frac{1 - p^m}{1 - p} = 1\,081.18 \text{ kW}. \quad (19)$$

得到同时启动的柴油设备总功率 N_y 为

$$N_y = N'_1 + N'_2 = 1\,621.98 \text{ kW}. \quad (20)$$

得到柴油设备需风量 Q_y 为

$$Q_y = N_y q_y = 6\,487.92 \text{ m}^3/\text{min} = 108.13 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (21)$$

柴油铲运机为采场类设备,总功率为 948 kW;坑内卡车为巷道类设备,总功率为 1 840 kW.巷道类设备功率占柴油设备总功率 66%,则参考表 1, F_1 取为 0.70, F_2 取为 0.97,得到设备与人员综合需风量 Q_z 为

$$Q_z = F_1 Q_r + F_2 Q_y = 116.55 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (22)$$

2.3.3 总需风量

根据式(5),得到矿山总需风量为 $116.55 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.4 总结

根据2.2节传统方法计算需风量以及2.3节改进方法计算需风量时可知,在该矿山利用传统方法计算需风量时,工作面为总需风量决定因素;而在利用改进方法计算需风量时,人员及柴油设备综合需风量则上升为总需风量决定因素.因此改进方法计算风量时,其总需风量必定不小于传统方法计算所得的总需风量.这也较好的解决了采用传统需风量计算方法时,矿山风量普遍偏小,井下空气普遍较差的缺陷.

3 结论

1)传统风量计算时,为求简化便于操作,很多计算过程都不尽合理.改进方法计算风量时,对整个风流过程进行科学详细地分析,用数学手段对需风量计算进行科学计算.对柴油设备需风量,对排污稀释过程进行分析后,利用等比数列公式进行柴油设备总功率计算,再进行风量计算.对于总需风量计算,将柴油设备排污用风与呼吸需风综合考虑作为风量校核.整个风量分析过程更加合理,计算过程更加科学.

2)对于文中同启设备数 m 和比值 p 以及表1中系数的选取,本文以若干矿山经验数据进行推算得到,并不一定具有普适性.在后续应用中,应边应用边修正相关数据,使得表中系数更加贴近于矿山生产实际,也使得改进的需风量计算方法更加具有普适性.

3)经实践验证,该方法可在实践中进行,但为了有更加广泛的适用性及更高的准确性,相关参数仍需在实践中不断进行修正.

参考文献:

- [1] 张梦麟.采矿设计手册2 矿床开采卷下[M].北京:中国建筑工业出版社,1987:1563-1632.
- [2] GB16423-2006.金属非金属矿山安全规程[S].北京:中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2006.
- [3] GB50830-2013.冶金矿山采矿设计规范[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2013.
- [4] GB50771-2012.有色金属采矿设计规范[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2012.
- [5] GB6722-2014.爆破安全规程[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会,2014.
- [6] 郑海力,陈建宏,胡达涛.矿山企业经济的多层次嵌套型灰色关联分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2009,24(4):85-90.
- [7] 周心权,吴兵,杜红兵.矿井通风基本概念的理论基础分析[J].中国矿业大学学报,2003,32(2):133-137.
- [8] 黄元平.矿井通风[M].徐州:中国矿业大学出版社,1990:47-79.
- [9] 黄寿元,赵伏军,李艳波,等.周源山煤矿通风阻力与测定[J].矿业工程研究,2009,24(4):34-36.
- [10] 彭云,赵伏军.矿井通风系统降阻优化及综合评价[J].矿业工程研究,2014,29(3):25-29.