

# 排山楼金矿新民矿区通风系统优化

李传迎<sup>1</sup>, 周乐<sup>2</sup>, 赵龙<sup>2</sup>, 赵天野<sup>1</sup>, 毕俊阔<sup>1</sup>

(1. 辽宁排山楼黄金矿业有限责任公司; 2. 长春黄金研究院有限公司)

**摘要:** 矿井通风的实质是依靠通风动力, 源源不断地向井下提供新鲜空气, 稀释并排出有毒有害物质, 为井下作业人员提供良好的环境, 从而保证矿山安全生产。排山楼金矿的生产中心逐步向新民矿区进行转移, 针对其现有井下通风系统存在的供风量不足, 风流短路, 难以满足正常生产要求等问题, 结合现场测风结果和矿山未来生产规划, 提出了侧翼对角式分区通风方案, 并采用 Ventsim 通风模拟软件对方案进行计算分析。分析结果表明: 新的通风系统方案通风效果改善明显, 并能满足改扩建后新民矿区的通风需求, 具有很好的应用推广价值。

**关键词:** 矿井通风; 分区通风; Ventsim 通风模拟软件; 井筒断面计算; 数值模拟; 风机效率

中图分类号: TD724

文献标志码: A

文章编号: 1001-1277(2025)03-0054-05

doi:10.11792/hj20250310

## 引言

采矿业一直是生产原材料的基础工业, 对于维持社会正常发展至关重要。目前, 随着矿产资源逐渐枯竭, 矿山开采开始逐步转为地下开采, 而地下作业空间相对狭小, 资源开采过程中产生的粉尘及爆破产生的气体, 使得井下工作环境相对恶劣。因此, 矿井通风质量好坏严重影响着矿山安全生产<sup>[1-3]</sup>。

辽宁排山楼黄金矿业有限责任公司(下称“排山楼金矿”)新民矿区由于矿体西翼缺乏有效的回风通道, 致使提升井和盲斜井以西的开采区域处于风流短路状态, 并且新民矿区井下缺乏有效的风流调控措施, 使得井下风量难以实现合理分配。为此, 本研究针对排山楼金矿新民矿区通风系统存在的问题, 同时兼顾新民矿区改扩建后井下深部中段的通风需求, 提出了侧翼对角式分区通风方案, 对新增进风井筒断面进行计算, 确保进风通道满足井下需求。采用 Ventsim 通风模拟软件对方案进行数值模拟分析, 数值模拟结果显示: 研究提出的通风优化技术方案可有效改善新民矿区井下通风效果, 并能满足新民矿区未来改扩建后的通风需求。

## 1 工程背景

目前, 排山楼金矿共有2个分矿: 上排矿区和新民矿区, 实际生产能力分别为1 500 t/d和400 t/d。其中, 新民矿区采用竖井加盲斜井进行开拓, 通风系统为对角抽出式通风系统, 属于独立通风系统, 井下通风利用

现有罐笼井和盲斜井作为进风井兼安全出口, 污风经人行通风井进入上中段沿脉回风道, 经端部回风井抽出地表, 主扇风机位于223 m中段37#勘探线回风井附近(主扇风机型号及参数如表1所示)。

表1 主扇风机型号及参数

Table 1 Main fan models and parameters

指标	参数
风机型号	DK40-6-No17
转速/(r·min <sup>-1</sup> )	980
电动机型号	Y3155-6
功率/kW	2×75
风量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	26.5~63.5
风压/Pa	491~2 171
风机叶片角度/(°)	25
风机效率/%	80

由于上排矿区剩余开采资源量已经不多, 排山楼金矿生产重心正逐步向新民矿区转移。按照排山楼金矿对新民矿区未来的发展规划, 新民矿区的生产能力将大幅度增加到1 500 t/d。为满足新民矿区未来的生产需求, 排山楼金矿初步确定在矿体东翼(现有回风井以东)施工1条连通各个中段的斜坡道。因此, 新民矿区的通风系统优化技术方案在解决现有通风问题的基础上, 还要兼顾未来的发展规划, 以满足扩产能后的通风需求。

## 2 通风系统优化

矿井通风系统优化是根据矿山现场条件, 采用各

收稿日期: 2024-08-20; 修回日期: 2024-09-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC2903802)

作者简介: 李传迎(1985—), 男, 高级工程师, 从事金属矿山生产、技术和管理工; E-mail: 952176309@qq.com

种有效方法寻求矿井通风的电能消耗低,投资少,安全可靠,管理方便的最佳系统方案<sup>[4]</sup>。因此,针对新民矿区的通风系统优化技术方案,需要考虑到矿山实际条件的约束:①受当地条件限制,新民矿区无法在矿区西翼施工1条通达地表的回风井,构成中央进风两翼回风的通风网络;②矿区东翼岩体渗水量巨大,无法在矿体东翼布置入风井,否则会出现冬季井筒结冰现象,造成井筒完全堵塞,无法入风;③靠近矿区东翼即将施工的斜坡道与各个中段的连接处要做好密闭工作,防止斜坡道无轨设备产生的废气掺入到新鲜

风流中。

## 2.1 侧翼对角式分区通风方案

结合矿山的实际现场条件和生产规划,最终确定采用侧翼对角式分区通风方案(如图1所示)。方案实质为:在矿体西翼掘进盲竖井形成一个独立进风井,因此新民矿区将形成2个独立的分区通风系统,主进风井巷包括提升井、措施井辅助进风(主要服务223 m中段和180 m中段的东部区域)、盲竖井(负责提升井和盲斜井以西和深部中段的进风),主回风井巷为东回风井<sup>[5]</sup>。

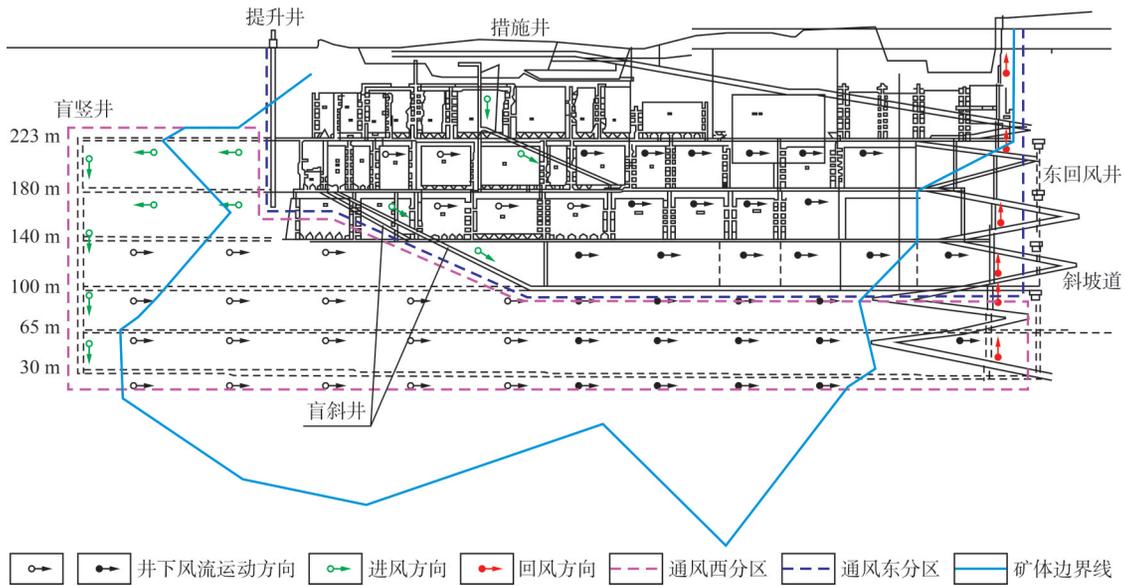


图1 新民矿区通风系统优化示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the ventilation system optimization in the Xinmin mining district

1)通风东分区。通风东分区主要是指新民矿区223 m中段、180 m中段提升井以东和140 m中段、100 m中段盲斜井以东的区域。在该分区通风系统中,提升井和措施井为223 m中段和180 m中段进风井,盲斜井为140 m中段和100 m中段进风井,各中段的回风井均为东回风井。

2)通风西分区。通风西分区主要是指新民矿区223 m中段、180 m中段提升井以西,140 m中段、100 m中段盲斜井以西和65 m中段及以下中段区域。在该分区通风系统中,提升井和盲竖井为140 m中段和100 m中段进风井,回风井为东回风井。新鲜风流经提升井到达223 m中段和180 m中段,通过运输巷道到达矿体西翼的盲竖井,经盲竖井到达盲斜井以西和深部中段,在洗刷工作面之后,污风经东回风井排出地表。

侧翼对角式分区通风方案的优势在于:①在无法施工西风井连通地表的前提下,施工盲竖井,让新鲜风流沿着盲竖井到达矿体西侧,解决现有提升井西部区域风路短路的问题;②盲竖井可随着开采深度向下

继续延伸,可以服务于深部中段;③可以实现分区通风,按需分配。

## 2.2 盲竖井井筒断面计算

为保证矿区西翼盲竖井(进风井)能够满足改扩建后的新民矿区风量需求,需要对盲竖井的井筒断面尺寸进行计算,确保井巷风速满足GB 16423—2020《金属非金属矿山安全规程》规定。

### 2.2.1 井下需风点通风量计算

1)中深孔大爆破需风量计算。新民矿区井下采矿工艺以中深孔为主,采矿方法为分段凿岩阶段矿房采矿法,采场内由于存在矿柱,多为封闭性采场。爆破后,在采场内部形成较高的气压,在这个压力作用下,炮烟通过天井、漏斗和耙矿巷道向外涌出至回风巷道,其通风过程与巷道型采场相似,故按排烟计算,大爆破后的采场需风量( $Q$ )为:

$$Q = \frac{40.3}{t_1} \sqrt{iA_1V} \quad (1)$$

式中: $t_1$ 为通风时间(s); $i$ 为炮孔涌出系数,取0.175; $A_1$ 为大爆破的炸药量(kg); $V$ 为充满炮孔的巷道容积( $m^3$ ), $V = V_1 + iA_1b_c$ ,其中, $V_1$ 为排风侧巷道容积,约为

1 866.6 m<sup>3</sup>,  $b_c$  为 1 kg 炸药所产生的全部气体量, 约为 0.9 m<sup>3</sup>。

根据排山楼金矿生产现状, 井下大爆破后通风时间约为 4.5 h, 大爆破消耗炸药量为 10 t。因此, 采用分段凿岩阶段矿房采矿法回采的采场大爆破后需风量为 4.5 m<sup>3</sup>/s。

2) 二次破碎爆破通风需风量计算。

(1) 按排出炮烟计算需风量。经统计, 新民矿区二次爆破炸药单耗为 0.25 kg/t, 按未来出矿量 1 500 t/d 进行计算, 二次爆破共消耗炸药 375 kg, 每班单次爆破炸药消耗量约为 125 kg。排出炮烟需风量( $Q_p$ ) 计算公式为:

$$Q_p = \frac{25.5}{t_2} \sqrt{A_2 S_B l_B} \quad (2)$$

式中:  $A_2$  为二次爆破消耗的炸药量(kg);  $S_B$  为出矿巷道的断面积(m<sup>2</sup>);  $l_B$  为出矿巷道长度的一半(m);  $t_2$  为二次破碎爆破后的通风时间(s)。

经计算:  $Q_p=5.13$  m<sup>3</sup>/s。因此, 按排出炮烟计算需风量为 5.13 m<sup>3</sup>/s。

(2) 按排尘风速计算需风量, 计算公式为:

$$Q_p = Sv \quad (3)$$

式中:  $S$  为巷道断面积(m<sup>2</sup>);  $v$  为排尘风速, 按巷道型回采工作面要求的排尘风速为 0.15~0.5 m/s, 取 0.5 m/s。

经计算:  $Q_p=3.645$  m<sup>3</sup>/s。因此, 按排尘风速计算掘进工作面的需风量为 3.645 m<sup>3</sup>/s。

综上, 二者取最大值, 则新民矿区二次破碎爆破通风需风量为 5.13 m<sup>3</sup>/s。

由于无法估计新民矿区改扩建后的需风点数量, 只能根据上排矿区的生产情况, 预估改扩建后其需风点需风量为 30 m<sup>3</sup>/s。因此, 新民矿区需风量为 39.63 m<sup>3</sup>/s, 考虑其采矿方法主要为空场采矿法, 存在采空区漏风, 因此取风量备用系数  $k=1.35$ , 则最终新民矿区需风量为 53.5 m<sup>3</sup>/s。

### 2.2.2 按生产能力校核需风量

新民矿区生产能力按 1 500 t/d、每年作业时间 330 d 进行计算, 其生产能力为 49.5 万 t/a, 属于大型矿井。则根据生产能力对新民矿区需风量进行校核计算如下:

$$Q = YA \quad (4)$$

式中:  $A$  为矿井年产量(万 t);  $Y$  为万吨耗风量, 大型矿井万吨耗风量为 1.2~3.5 m<sup>3</sup>/s, 取 1.5 m<sup>3</sup>/s。

经计算:  $Q=74.25$  m<sup>3</sup>/s。因此, 新民矿区按万吨耗风量估算矿井需风量为 74.25 m<sup>3</sup>/s。

通过中深孔大爆破炸药消耗量和生产能力分别

计算新民矿区的需风量, 综合二者结果, 最终确定新民矿区需风量为 74.25 m<sup>3</sup>/s。根据 GB 16423—2020《金属非金属矿山安全规程》规定, 井巷允许最高风速<sup>[4]</sup>如表 2 所示。

表 2 井巷允许最高风速

Table 2 Maximum allowable airflow velocity in underground shafts and roadways

井巷名称	允许最高风速/(m·s <sup>-1</sup> )
专用风井, 专用总进、回风道	15
专用物料提升井	12
风桥	10
提升人员和物料的井筒, 中段的主要进、回风道, 修理中的井筒, 主要斜坡道	8
运输巷道, 采区进风道	6
采场	4

新民矿区盲竖井只作进风通道使用, 不提升人员和物料, 因此允许最高风速为 15 m/s。经计算, 井巷断面尺寸最小为 4.95 m<sup>2</sup>, 圆形井筒断面尺寸最小直径为 2.5 m。

## 3 通风系统方案数值模拟分析

目前, 国内应用比较普遍的通风系统三维仿真软件是澳大利亚开发的 Ventsim 三维通风模拟软件。该软件是一款实用性较强的矿井通风仿真模拟软件, 可建立直观的矿井三维通风系统模型, 通过路径模拟、风网解算和风机设置, 对通风系统的效果进行模拟、控制与优化设计<sup>[6-11]</sup>。

### 3.1 通风系统三维模型创建

打开 Ventsim 通风模拟软件, 建立图层, 根据中段地质平面图坐标数据绘制通风系统的主要风路、井筒, 并设置断面类型、尺寸参数、巷道摩擦系数(如表 3 所示)等; 根据通风系统优化技术方案, 进行风机、密闭工程等通风构筑物布置<sup>[12-16]</sup>。采用 Ventsim 通风模拟软件建立的改扩建后新民矿区通风系统三维模型如图 2 所示。

### 3.2 风机工况

根据所确定的侧翼对角式分区通风方案进行数值模拟, 改扩建后新民矿区通风系统主要风机运行情况为: 主扇风机工况点全压 1 061.6 Pa, 风量 51.5 m<sup>3</sup>/s, 风速 10.4 m/s, 风机效率 75%, 功率 72.8 kW, 轴功耗 76.7 kW, 其风机工况风压、风机效率曲线如图 3、图 4 所示。

总体来看, 新民矿区的风机处于稳定、高效运转状态, 风机效率均达到 60%, 技术性、经济性良好, 符合 GB 16423—2020《金属非金属矿山安全规程》规定<sup>[17]</sup>。

表3 数值模拟参数设置

Table 3 Parameter settings for numerical simulation

风路	断面规格/(m×m)	支护类型	摩擦系数/(kg·m <sup>-3</sup> )	主要通风构筑物	风阻/(N·s <sup>2</sup> ·m <sup>-8</sup> )
提升井	3.2×2.5	混凝土砌碛	0.006 5	普通铁皮风门	10
盲竖井	φ2.5 <sup>a)</sup>	无	0.006 5	自动无压风门	20
盲斜井	2.7×2.7	无	0.003 7	加强密闭墙	1 000
主运巷道	2.7×2.7	无	0.003 7	砖砌体密闭墙	500
穿脉巷道	2.7×2.7	无	0.003 7	矿渣封堵	50
天井	1.5×2.0	无	0.003 7		
通风井	2.7×2.7	无	0.015 8		

注:a)单位为m。

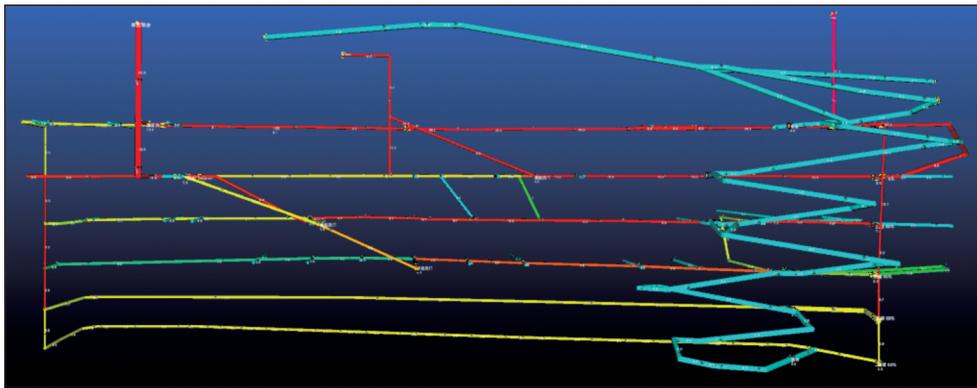


图2 改扩建后新民矿区通风系统三维模型

Fig. 2 3D model of the ventilation system in the Xinmin mining district after reconstruction and expansion

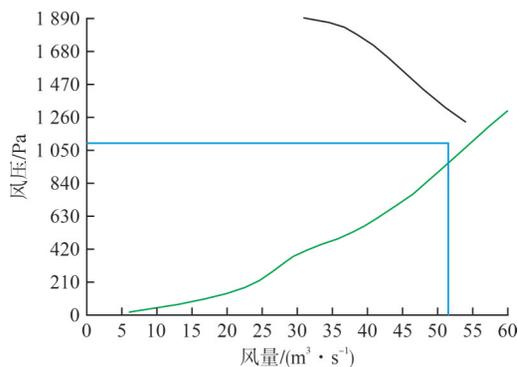


图3 改扩建后新民矿区主扇风机全压特性曲线

Fig. 3 Full pressure characteristic curve of the main fan in the Xinmin mining district after reconstruction and expansion

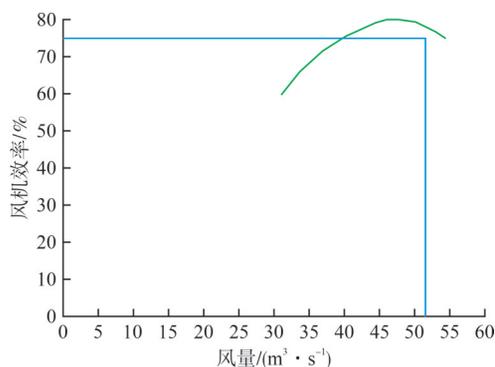


图4 改扩建后新民矿区主扇风机效率特性曲线

Fig. 4 Efficiency characteristic curve of the main fan in the Xinmin mining district after reconstruction and expansion

### 3.3 通风指标

根据 GB 16423—2020《金属非金属矿山安全规程》要求,井下采掘工作面进风中的空气成分(按体积计算)氧气浓度应不低于 20%,CO 浓度不应高于 0.002 4%;采掘面温度不高于 27℃(湿球温度),风速不小于 0.25 m/s。

根据模型计算结果,其主要风路节点的风速统计数据如表 4 所示,其风速、风量和温度均满足要求,因此侧翼对角式分区通风方案可以满足矿山生产通风要求。

## 4 结论

1)根据排山楼金矿新民矿区现场实际条件及未来发展规,提出了侧翼对角式分区通风方案为最终的通风技术方案,该方案在解决目前新民矿区通风系统提升井以西区域风流短路问题的基础上,还兼顾了深部中段的通风需求,实现了按需供风,分区独立调整。

2)根据新民矿区井下通风需求和矿井的生产能力,对技术方案中新增盲竖井进风通道的井筒断面进行了计算,确定在符合 GB 16423—2020《金属非金属矿山安全规程》规定前提下,圆形井筒断面尺寸最小直径为 2.5 m。

表4 通风系统优化方案模型主要地点风量统计

Table 4 Air volume statistics at key locations in the ventilation system optimization model

序号	风路名称	风速/(m·s <sup>-1</sup> )	风量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	温度/℃
1	新民矿区提升井井口	2.3	29.2	5.4
2	新民矿区提升井井底	1.5	18.6	6.2
3	新民矿区盲斜井井口	2.3	9.5	5.5
4	新民矿区盲斜井井底	2.4	9.5	6.2
5	新民矿区回风井井口	12.9	51.4	7.5
6	新民矿区回风井井底	0.6	2.9	9.4
7	盲竖井井口	1.7	8.3	5.0
8	盲竖井井底	0.6	2.9	5.0
9	新民矿区223 m中段	4.1	20.5	6.2
10	新民矿区180 m中段	2.9	14.5	6.6
11	新民矿区140 m中段	1.1	5.4	8.2
12	新民矿区100 m中段	1.0	4.9	8.8
13	新民矿区65 m中段	0.5	2.7	5.0
14	新民矿区30 m中段	0.6	2.9	5.0

3)采用 Ventsim 通风模拟软件对侧翼对角式分区通风系统的主辅扇风机工况和主风路节点风速进行模拟分析,风机的运转效率、风速、风量和温度均满足要求,符合矿山生产通风要求。

## [参考文献]

- [1] 赵龙,周乐,李传迎,等.辽宁排山楼金矿通风系统优化模拟研究[J].现代矿业,2022,38(4):81-85,90.
- [2] 冯福康.复杂采空区条件下多井筒通风系统优化研究[J].采矿技术,2018,18(5):58-62.
- [3] 陈小竹,赵龙,汪志国,等.江西金山金矿湾家坞矿区井下通风系

统优化模拟研究[J].黄金,2019,40(10):34-38.

- [4] 程力.玲珑金矿九曲分矿通风系统优化研究[J].黄金,2023,44(10):9-12.
- [5] 姚银佩.深部矿井通风系统调试优化方案与数值模拟分析[J].黄金,2022,43(12):44-47.
- [6] 张东,张希巍,王洪波,等.基于 Ventsim 软件矿山通风系统设计的优化[J].有色矿冶,2013,29(6):7-9.
- [7] 杨正松,任红岗.矿井三维可视化通风系统设计[J].中国矿业,2019,28(增刊2):226-228.
- [8] 冯福康,赵天勇,唐学义,等.秦岭矿业公司杨砦峪分矿通风系统方案数值模拟优化研究[J].黄金,2020,41(1):34-40.
- [9] 许卫军,冯福康,刘冠胜,等.基于 Ventsim 的凌源矿业公司通风系统优化及应用[J].黄金,2019,40(6):27-34.
- [10] 罗志华,代涵,陈新.凡口铅锌矿深部通风系统测定与三维仿真优化研究[J].黄金,2024,45(2):14-20.
- [11] 陈浩,陈宜华,胡秀林,等.基于 Ventsim 的深井金属矿山通风系统优化[J].工业安全与环保,2018,44(4):30-33.
- [12] 李孜军,徐宇,贾敏涛,等.深部矿井岩层地热能协同开采治理热害数值模拟[J].中南大学学报(自然科学版),2021,52(3):671-680.
- [13] 卢新明,尹红.矿井通风智能化理论与技术[J].煤炭学报,2020,45(6):2236-2247.
- [14] 李方波,代涵,陈新.基于 VentNetLab 的凡口铅锌矿深部通风系统优化[J].黄金,2021,42(6):31-34,40.
- [15] 刘成敏,刘红芳,王海宁,等.多风机联合作业在某大型铜矿山的应用与分析[J].有色金属工程,2015,5(1):69-71,89.
- [16] 马艳玲.基于 Ventsim 软件的矿井通风系统全局经济性优化[J].黄金,2023,44(5):28-31,36.
- [17] 王军民.基于 iVent 的沃溪坑口矿井通风系统优化改造[J].黄金,2021,42(12):33-37.

## Optimization of the ventilation system in the Xinmin mining district of the Paishanlou Gold Mine

Li Chuanying<sup>1</sup>, Zhou Le<sup>2</sup>, Zhao Long<sup>2</sup>, Zhao Tianye<sup>1</sup>, Bi Junkuo<sup>1</sup>

(1. Liaoning Paishanlou Gold Mining Co., Ltd.; 2. Changchun Gold Research Institute Co., Ltd.)

**Abstract:**The essence of mine ventilation lies in utilizing ventilation power to continuously supply fresh air underground, dilute and remove toxic and harmful substances, and provide a safe working environment for personnel, thereby ensuring safe and normal mining operations. As production at the Paishanlou Gold Mine gradually shifts to the Xinmin mining district, the existing ventilation system faces challenges such as insufficient air supply, airflow short-circuiting, and failure to meet operational demands. Based on field airflow measurements and future production plans, a flank diagonal zoning ventilation system was proposed. Ventsim ventilation simulation software was employed to analyze the proposed system. Results demonstrate that the new ventilation design significantly improves ventilation efficiency, meets the expanded operational needs of the Xinmin mining district, and holds strong potential for broader application.

**Keywords:**mine ventilation; zoning ventilation; Ventsim ventilation simulation software; shaft cross-section calculation; numerical simulation; fan efficiency