Mine Engineering 矿山工程, 2026, 14(6), 1494-1500
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/me
https://doi.org/10.12677/me.2026.146148

# 焦家金矿焦家矿区通风系统优化研究

桑军胜[1]，程　力[2,3*]，曲星军[1]，周　伟[4]

[1]山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿，山东 烟台
[2]山东黄金矿业科技有限公司深井开采实验室分公司，山东 烟台
[3]山东黄金集团有限公司，山东 烟台
[4]中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，安徽 马鞍山

收稿日期：2026年9月7日；录用日期：2026年10月15日；发布日期：2026年11月4日

## 摘　要

**针对焦家矿区深部通风井巷工程滞后造成高温高湿问题，通过现场调研、核算总风量、机站优化设置、新增通风井巷工程等手段，确定了焦家矿区通风技术优化方案。研究结果表明：通过新掘4项通风工程，将新南风井−335 m回风机站风机更换为两台DK-12-№34轴流式风机，同时将−150 m北风井机站移至−570 m二分巷，运行DK45-6-№19轴流式风机，经Ventsim三维通风模拟软解算，系统总风量达到499.8 m³/s，能满足深部通风要求。研究成果为矿区深部系统优化奠定了基础。**

## 关键词

**机站优化，总风量，通风系统优化，通风网络解算**

# Optimization of Ventilation System in Jiaojia Mining Area of Jiaojia Gold Mine

**Junsheng Sang[1], Li Cheng[2,3*], Xingjun Qu[1], Wei Zhou[4]**

[1]Shandong Gold Mining (Laizhou) Co., Ltd. Jiaojia Gold Mine, Yantai Shandong
[2]Deep Mining Laboratory of Shandong Gold Group Co., Ltd, Yantai Shandong
[3]Shandong Gold Group Co., Ltd, Yantai Shandong
[4]China Steel Group Ma'anshan Mining Research Institute Co., Ltd, Ma'anshan Anhui

Received: September 7, 2026; accepted: October 15, 2026; published: November 4, 2026

## Abstract

**In response to the problem of high temperature and humidity caused by the lagging of deep**

*通讯作者。

文章引用: 桑军胜, 程力, 曲星军, 周伟. 焦家金矿焦家矿区通风系统优化研究[J]. 矿山工程, 2026, 14(6): 1494-1500.
DOI: 10.12677/me.2026.146148

**ventilation shaft and roadway engineering in Jiaojia mining area, a ventilation technology optimization plan for Jiaojia Mining Area was determined through on-site research, calculation of total air volume, optimization of machine station settings, and addition of ventilation shaft and roadway engineering. The research results show that: through the excavation of four new ventilation projects, two DK-12-№34 axial flow fans were replaced for the return fan station at new ventilation shaft −335 m. At the same time, the −150 m north air shaft fan station was moved to the −570 m secondary lane, and DK45-6-№19 axial flow fans were operated. After Ventsim three-dimensional ventilation simulation software calculation, the total air flow of the system reached 499.8 m³/s, which can meet the requirements of deep ventilation. The research results lay a foundation for the optimization of deep mining system.**

## Keywords

**Fan Station Optimization, Total Air Volume, Optimization of Ventilation System, Ventilation Network Calculation**

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

## 1. 引言

矿井通风是矿井安全生产的基本保障，是保证井下人员安全、健康，促进地下开采高效生产的一个重要因素[1]，随着我国大部分金属矿山开采深度的增加，深部通风井巷工程滞后造成的影响逐步显现[2]-[4]，严重影响矿山深部生产效率。因此，需对矿山原有通风系统进行优化设计。在进行矿井通风系统优化时，要求改造后的矿井通风系统必须能大大改善矿井的安全生产状况，通风能力与生产能力相适应；既要充分利用现有的通风设施，又要根据本单位的财力、物力尽可能采用新技术和设备；既要考虑当前的生产需要，又要兼顾长远的规划等。但矿井通风系统优化同新建矿山通风设计相比更为复杂。

十四五期间，焦家分矿未来几年出矿量维持在 6500 t/d，随着开采 的推进。而−630 m 水平以下采掘工作面环境温度一般为 28℃~33℃，个别高达 35℃。深部通风井巷工程滞后造成的影响逐步显现，高温高湿的工作环境严重影响劳动生产效率的提高和矿工身体健康。

本文通过梳理矿山通风系统存在的问题，通过总风量核算，机站设置、新增通风井巷工程及构筑物优化通风系统[5]-[7]，可提升矿井安全与生产效率。因此，矿井通风优化是矿井通风系统改造中的重要组成部分。

## 2. 矿山概况

矿区位于莱州市区北东 31 km 处，行政区划隶属莱州市金城镇。采用竖井 + 辅助斜坡道联合开拓方式，中央两翼对角式通风系统。到 2025 年，焦家分矿主采中段为 17-21 中段(−710 m 至−870 m)，主要开拓工程有：混合井、管缆斜井、盲管缆斜井、斜坡道、南风井、北风井。各井筒规格参数见表 1。

**Table 1.** Main technical parameters of mine shafts
**表 1.** 各井筒主要技术参数

| 井筒名称 | 井筒规格/(m) | 标高/m | 备注 |
|---|---|---|---|
| 新主井 | Φ5.6 | +45~−710 | 担负井下矿、废石提升 |
| 混合井 | Φ5.5 | +40~−355 | 混合井，设梯子间，作为安全出口 |

续表

| | | | |
|---|---|---|---|
| 管缆斜井 | 3.0 × 2.8 | +40.93~−360.60 | 专用管缆井和进风井 |
| 北风井 | Φ2.5 | +41~−148.5 | 专用回风井 |
| 南风井 | Φ3.5 | +29.7~−148.76 | 专用回风井 |
| 新南风井 | Φ6.0 | −335.8 | 专用回风井 |
| 旧斜坡道 | 2.8 × 2.8 | +43.3~−270 | 无轨设备通道，辅助进 |
| | 4.0 × 3.5 | −270~−390 | 风且兼做安全出口 |
| 新斜坡道 | 4.0 × 3.5 | +40~−270 | |
| 盲管缆斜井 | 3.0 × 2.8 | −270~−390 | 专用管缆井和进风井 |

## 3. 通风系统简介

### 3.1. 系统通风方式

矿山采用中央两翼对角式通风系统，抽出式通风方式。矿区新鲜风流自管缆斜井、混合井和斜坡道进入井下，经盲管缆斜井和盲竖井进入井下各中段，洗刷作业面后，污风由人行通风天井汇入上中段回风巷，经倒段风井，最终由矿区南北两翼南风井、新南风井和北风井排至地表。

### 3.2. 机站设置和通风设备

通过现场调查与计算，矿区机站设置情况如下：

(1) 南风井−150 m 中段风机硐室运行 FKZ №18/160 型风机一台。风机风量 50.9~96.2 $m^3/s$，装置静压 826~1585 Pa，配套电机功率 N = 160 kW。该风机可反转反风，反风率 60%。

(2) 北风井−150 m 中段风机硐室运行 FKZ №14/132 型风机一台。风机风量 35.7~67.2 $m^3/s$，装置静压 1094~2099 Pa，配套电机功率 N = 132 kW。该风机可反转反风，反风率 60%。

(3) 新南风井井底−335 m 水平风机硐室并联运行 FKZ №22/250 型风机 2 台。风量 61.3~113.4 $m^3/s$，装置静压 372~1716 Pa，配套电机功率 N = 250 kW。该风机可反转反风，反风率 60%。

## 4. 通风系统存在的问题

经现场勘查、设计资料分析及通风系统现状检测结果，矿山通风系统存在的问题分析如下：

(1) 深部−630 m 中段以下现有通风工程难以满足不断延深的深部开采通风需求。当前系统的通风工程主要服务−630 m 中段以上生产中段，随着矿井生产中段的下延，−630 m 中段以下生产区域缺少稳定、专用回风井，系统进、回风工程明显滞后。

(2) 斜坡道通风系统通风方式亟待调整。各中段分层进风主要依赖斜坡道，而斜坡道运输繁忙，无轨车辆排出的尾气、散热量等严重污染深部进风风源。

(3) 通主要生产中段和作业区域风量分配有待优化。矿山主要生产区域已下沉至−630 m 中段以下，深部回风量偏少。

## 5. 通风系统优化调控

为解决焦家矿区十四五期间矿井通风系统存在的深部作业采区通风量偏低、生产中段之间部分新风短路及污风循环等及−630 m 水平以下通风工程欠缺等问题，通过总风量核算、新增通风构筑物、机站设置等方式对通风系统进行优化。

### 5.1. 深部总风量核算

研究表明矿山计算矿井需风量时均选用按排尘风速来计算其需风量[8] [9]。−630 m 中段~−870 m 中段作业区域风量计算时，《GB 16423-2020 金属非金属矿山安全规程》[1]规定风速不小于 0.5 m/s；借鉴国内科研院所针对采场降温风速的研究成果，本次作业面通风降温的最佳风速取值为 1 m/s。−630 m 中段以上作业区域风量计算时，排尘风速取值为 0.3 m/s。

本研究矿井需风量计算结果见表 2、表 3。其中，需风量计算中的“系数”为用风地点风量备用系数，用于考虑生产过程中工作面数量变化、风流漏失以及通风条件波动等因素的影响。该系数依据矿山实际生产组织、采掘工作面同时作业数量及类似金属矿山通风设计经验确定：采场采用 0.4~0.5，主要考虑采场作业连续性较强且风量需求相对稳定；掘进工作面采用 0.1~0.5，根据掘进阶段、同时作业数量及局部通风可靠性进行调整。系数取值遵循《GB 16423-2020 金属非金属矿山安全规程》关于保障作业地点有效风量的要求，并结合矿山生产规划进行校核。

**Table 2.** Calculation of required air volume based on dust removal wind speed at the working face (mining area)
**表 2.** 按作业面排尘风速计算需风量表(采场)

| 用风工作面 | 断面 | 排尘风速 (m/s) | 用风点数目 (个) | 系数 | 总风量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| −150 及以上 | 10.94 | 0.3 | 14 | 0.5 | 23.0 |
| −190 | 10.94 | 0.3 | 3 | 0.5 | 4.9 |
| −270 | 10.94 | 0.3 | 1 | 0.5 | 1.6 |
| −330 | 10.94 | 0.3 | 2 | 0.5 | 3.3 |
| −390 | 10.94 | 0.3 | 10 | 0.5 | 16.4 |
| −450 | 10.94 | 0.3 | 8 | 0.5 | 13.1 |
| −510 | 10.94 | 0.3 | 6 | 0.5 | 9.8 |
| −570 | 10.94 | 0.3 | 6 | 0.5 | 9.8 |
| −670 | 10.94 | 1 | 20 | 0.4 | 87.5 |
| −710 | 10.94 | 1 | 6 | 0.5 | 32.8 |
| −750 | 10.94 | 1 | 17 | 0.4 | 74.4 |
| −790 | 10.94 | 1 | 5 | 0.5 | 27.3 |
| −830 | 10.94 | 1 | 3 | 0.5 | 16.4 |
| 其它 | | | | | 10 |
| 合计 | | | | | 330.5 |

**Table 3.** Calculation of required air volume based on dust removal wind speed at the working face (excavation)
**表 3.** 按作业面排尘风速计算需风量表(掘进)

| 用风工作面 | 断面 | 排尘风速 (m/s) | 用风点数目 (个) | 系数 | 总风量 ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|---|
| −70 | 10.45 | 0.3 | 1 | 0.5 | 1.6 |
| −110 | 10.45 | 0.3 | 2 | 0.5 | 3.1 |
| −190 | 10.45 | 0.3 | 3 | 0.5 | 4.7 |
| −390 | 10.45 | 0.3 | 2 | 0.5 | 3.1 |

[1]https://xj.chinamine-safety.gov.cn/web/searchInfo.shtml?infoid=906590871600678

续表

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| −450 | 10.45 | 0.3 | 1 | 0.5 | 1.6 |
| −570 | 10.45 | 0.3 | 2 | 0.5 | 3.1 |
| −670 | 10.45 | 1 | 8 | 0.2 | 16.7 |
| −710 | 10.45 | 1 | 6 | 0.2 | 12.5 |
| −750 | 10.45 | 1 | 6 | 0.2 | 12.5 |
| −790 | 10.45 | 1 | 17 | 0.1 | 17.8 |
| −830 | 10.45 | 1 | 38 | 0.1 | 39.7 |
| −830 及以下 | | 1 | 39 | 0.05 | 20.4 |
| 合计 | | | | | 136.9 |

另外，根据矿山发展规划，到 2025 年，焦家矿区出矿能力基本维持在 6500 t/d，2022 年至 2025 年−630 m 以下新增采场 86 个，闭坑采场 77 个，年均新增采场 2.25 个，新增采场排尘风速 1 m/s，新增风量 22.5 $m^3/s$，2022 年至 2025 年焦家分矿年均总风量为 489.9 $m^3/s$。

### 5.2. 新增通风井巷工程及构筑物

通风系统主体回风工程是矿井通风系统的基础，矿山需对−630 m 水平以下系统进、回风井进行规划。

进风工程方面，优化方案新增焦家明混合井(Φ7 m)，作为深部主要进风工程，焦家 1#皮带斜井、箕斗斜井、焦家 2#管缆斜井辅助进风；回风工程方面，新掘南翼倒段回风井(Φ7 m)，新掘北翼倒段回风井(Φ3.5 m)作为深部回风工程。

−630 m 至−870 m 中段进风，新掘中段进风井 4 条，由−630 m 向−670 m、−710 m 及−750 m 施工一条进风井，由−870 m 向−830 m、−790 m 及−750 m 各施工一条进风井。新掘进风井直径为 3.5 m。

明混合井与−630 m 及−870 m 贯通，分别于明混合井石门巷新掘进风井至−630 m 与−870 m 间分层，−870 m 明混合井石门进风 173.16~230.88 $m^3/s$，巷道断面不低于 28.86 $m^2$。

−630 m 至−870 m 中段回风，新掘南、北回风井，南风井直径为 7.0 m，北风井直径为 3.5 m。

焦家分矿通风系统井下设置了大量有效的风墙、风门等通风构筑物，根据通风系统现状检测，有些通风构筑物出现破损而导致漏风，有些通风构筑物的开关管理仍需加强，避免系统风流短路。

通风构筑物设置如下：

(1) 溜井使用分段的下口不能放空，避免风流短路；

(2) −450 m 中段二分层、−510 m 中段二分层、−570 m 中段二分层、−630 m 中段二分层、−670 m 中段二分层、−710 m 中段二分层、−750 m 中段二分层、−790 m 中段二分层、−830 m 中段二分层进风侧各设置两道风门(留人行小门)，处于常闭状态。

(3) 与望儿山分矿、寺庄分矿贯通巷处各增设一道自动风门。

(4) 开采结束的采场联络道全部封闭。

## 6. 通风系统优化方案网络解算

焦家矿区通风系统共设 3 个主回风机站，通风技术方案回风机站设置及目标回风量见表 4。通风系统技改方案经 Ventsim 三维通风软件计算机网络模拟解算[10]-[12]，其解算结果见表 4。

方案中矿井总风量 499.8 $m^3/s$，风机运行实耗功率 1979.2 kW，通风阻力 3343 Pa，风机运行平均效率 69.47%。方案中的−390 m 以上区域、−390 m 以下区域形成相对独立的通风系统，且通风系统模拟的风量均能满足各区域用风需要。

**Table 4.** Fan station arrangement and operation targets
**表 4.** 机站设置及运行目标

| 方案概述 | 机站位置 | 目标回风量 ($m^3/s$) | 拟选用风机 | 叶片角度 /° | 总风量 /$m^3/s$ | 风压/Pa | 实耗功率 /kW | 效率/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1) −150 m 水平南风井设置的系统主回风机站承担−390 m 以上区域回风；(2) −335 m 水平新南风井设置的系统主回风机站承担−390 m 以下区域回风；(3) −510 m 二分层北风井倒段联络巷设置的系统主回风机站承担北翼回风； | 南风井−150 m 水平 | 40~50 | 1 台 FKZ№18 (160 kW/台) | 40 | 52.8 | 1675.2 (全压) | 136.5 | 62.0 |
| | 新南风井−335 m 水平回风巷 | 350~400 | 2 台 DK-12-№34 (轮毂比 ν = 0.62，叶片数 Z = 32、A 型)轴流式风机并联运行(2 × 450 kW) | 45/40 | 391.6 | 2956.0 (静压) | 1522.6 | 85.6 |
| | 北风井−510 m 二分层回风巷 | 40~60 | 1 台 DK45-6-№19 (2 × 200 kW) | 45/40 | 55.4 | 3343 (全压) | 320.1 | 60.8 |
| | 总计 | / | 4 台风机，2360 kW | / | 499.8 | / | 1979.2 | 69.47 |

针对原通风系统存在的系统回风工程欠缺，污风无法及时回到回风井、多中段生产污风串联，下部采区通风困难等问题，通过通风系统区域分区、梳理采场通风线路，优化新增回风工程，合理设置通风构筑物，对系统进风及中段风量进行调控。运用三维通风模型动态仿真模拟解算，系统总风量为 499.8 $m^3/s$，其中−390 m 以下采区回风量 447 $m^3/s$，−390 m 以上采区回风量 52.8 $m^3/s$，满足设计要求。

## 7. 结论与建议

针对焦家金矿焦家矿区深部通风实际情况，在维持原总体设计不变的基础上，对通风路线、回风机站设置及风机选型进行优化，结论与建议如下：

(1) 优化方案采用多机站通风系统，设三处主回风机站。南风井回风机站利旧，新南风井−335 m 回风机站风机更换为两台 DK-12-№34 (轮毂比 ν = 0.62，叶片数 Z = 32、A 型)轴流式风机，并联运行，额定功率 2 × 450 kW，风机采用交流变频远程控制，运行频率调高至 50 Hz。−150 m 北风井机站移至−570 m 二分巷，运行 DK45-6-№19 轴流式风机，功率 2 × 200 kW。

(2) 优化方案新增 4 项通风工程，包括：① 焦家明混合井(Φ7 m，进风井，施工至−870 m 水平)；② 北风井(Φ3.5 m，回风井，从−670 m 延伸至−870 m 水平)；③ 南风井(Φ7 m，回风井，倒段延伸至−870 m 水平，可用 4 条直径为 3.5 m 的风井替代)。④ −630 m 新掘中段 1 条进风井分别至−670 m、−710 m 及−750 m，−870 m 新掘中段 3 条进风井分别至−870 m、−830 m 及−790 m，井筒断面 Φ3.5 m。

(3) 配备通风技术及管理人员，配备必要的通风测定仪器仪表，对通风系统的运行情况进行日常监测、管理。当溜井参与通风时，及时对相关中(分)段溜井口进行封闭，减少溜井上下中段间的窜风，保证通风系统的稳定性和可靠性。通风构筑物(风门、风桥、风窗、挡风墙等)应由专人负责检查、维修，保持完好严密状态。

## 基金项目

山东省自然科学基金创新发展联合基金项目(ZR2026LKC016)；山东省重点研发计划(重大科技创新

工程)项目(2025SFGC0504-3)。

## 参考文献

[1] 李刚, 王彦军, 汪群芳. 罗河铁矿井下通风远程集中监控系统设计[J]. 现代矿业, 2017, 33(2): 176-179.
[2] 王凯旋, 彭俊兴, 梁宗霍, 等. 深部复杂矿井通风系统优化数值模拟研究[J]. 金属矿山, 2023(10): 221-230.
[3] 陈科旭, 程力, 孙玉强, 等. 山东黄金集团深部矿山热害特征与治理措施研究[J]. 现代矿业, 2022, 38(5): 171-177.
[4] 李亚俊, 夏美琼, 李印洪, 等. 自然风压影响下的矿井通风系统优化工程实践[J]. 黄金, 2022, 43(4): 42-44+52.
[5] 司俊鸿. 矿井通风系统风流参数动态监测及风量调节优化[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2012.
[6] 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.
[7] 陶树银, 熊正明, 程哲, 等. 金属矿山矿井通风系统优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2012, 32(2): 58-60+83.
[8] 付文姜, 贾志伟, 魏慧. 基于 Ventsim 的大白阳金矿通风系统优化[J]. 黄金, 2023, 44(8): 30-34.
[9] 吴文博, 刘洋, 任高峰, 等. 程潮铁矿深部开采通风系统优化与热害模拟研究[J]. 金属矿山, 2022(10): 197-203.
[10] 柳明明. Ventsim 三维通风仿真系统在金属矿山的应用[J]. 金属矿山, 2010(10): 120-122.
[11] 张亚明, 何水清, 李国清, 等. 基于 Ventsim 的高原矿井通风系统优化[J]. 中国矿业, 2016, 25(7): 82-86.
[12] 聂军, 陈新. 基于 Ventsim 的矿井通风系统优化及应用[J]. 黄金, 2021, 42(5): 29-34.