谦比希铜矿深水平多风井通风系统优化及改造研究*

张芃涛[1],覃凯[1],赵承佑[1],王从陆[2],陆锦涛[3,4]

(1.中色非洲矿业有限责任公司, 北京 100089;
2.中南大学 资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083;
3.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
4.国家金属采矿工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012)

摘要:谦比希铜矿东南矿体是中南部非洲典型的深井矿山。随着开采范围不断扩大,该矿井下通风系统面临风路长、阻力大、风量分配不均及局部通风困难等问题,严重影响了矿山生产安全与作业环境。以该矿深水平多风井通风系统为研究对象,基于系统调查与参数测定,合理划分通风分区,从通风网络、通风工程、通风构筑物及通风动力等方面,针对性制定优化方案。南采区将696 m水平作为总回风巷,搭配自动风门与短风井工程保障斜坡道新风供给,通过800～680 m专用回风井联合变频风机,实现900 m水平高效通风;北采区增设通风构筑物封堵980 m水平漏风,并新掘北主斜坡道至1 000 m水平的进风井,解决了深部水平进风难题。利用Ventsim软件搭建了三维仿真模型,其模拟解算结果与实测数据的误差小于10%。工程应用后,900 m水平的分风量增加至102.2 m^3/s,东南矿体漏风量降低了57.89%,有效风量率提高了19.51%,深部中段风量明显提升,井下环境得到了显著改善。

关键词:深井矿山;多风井系统;通风系统优化;分区通风

中图分类号:TD724 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2026)08-0040-09

Study on Optimization and Transformation of Ventilation System for Deep Horizontal Multi-Ventilation Shaft in Chambishi Copper Mine

Zhang Yuantao[1], *Qin Kai*[1], *Zhao Chengyou*[1], *Wang Conglu*[2], *Lu Jintao*[3,4]

(1.NFC Africa Mining PLC, Beijing 100089, China;
2.School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha, Hunan 410083, China;
3.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
4.National Engineering Research Center for Metal Mining, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: The southeast ore body of the Chambishi Copper Mine is a typical deep-level mine in central and southern Africa. As the mining scope continuously expands, the underground ventilation system of the mine faces problems such as long ventilation routes, high ventilation resistance, uneven airflow distribution, and local ventilation difficulties, which severely affect mine production safety and the working environment. Taking the deep-horizon multi-shaft ventilation system of the mine as the research object, and based on systematic investigation and parameter determination, the ventilation districts were rationally partitioned. Furthermore, targeted optimization schemes were formulated from the perspectives of the ventilation network, ventilation engineering, ventilation structures, and ventilation power. In the south mining district, the 696 m level was utilized as the main return airway; coordinated with automatic ventilation doors and short shaft engineering, this configuration ensured the fresh air supply to the ramp. Furthermore, efficient ventilation at the 900 m level was achieved via the 800-680 m dedicated return shaft operating in conjunction with variable-frequency fans. In the north mining district, ventilation structures were added to seal the air leakage at the 980 m level, and a newly excavated intake shaft from the north main ramp to the 1 000 m level resolved the difficulty of fresh air intake in deep levels. A three-dimensional simulation model was established using Ventsim software, and the error between its simulation results and the measured data was less than 10%. After engineering

* **收稿日期**:2025-08-22
作者简介:张芃涛(1999—),男,湖南怀化人,硕士,助理工程师,主要从事深井矿山开采技术研究。E-mail:1440579878@qq.com
通信作者:覃凯(1986—),男,湖南益阳人,高级工程师,主要从事金属矿开采工作。E-mail:553763130@qq.com

application, the distributed air volume at the 900 m level increases to 102.2 m^3/s, the air leakage volume of the south ore body decreases by 57.89%, and the effective airflow rate improves by 19.51%. The air volume in the deep middle level is obviously improved, and the underground environment is significantly improved.

Key words: Deep-level mine, Multi-shaft ventilation system, Ventilation system optimization, District ventilation

0 引言

随着矿山资源开采逐渐向深部延伸,矿井通风系统面临通风网络拓扑结构复杂、通风阻力增大、局部风流紊乱、漏风严重及通风成本高等挑战[1]。谦比希铜矿东南矿体具有开采深度大(最深 1 080 m)、采区多、作业面分布广、通风路径长等典型深井特征[2],现有通风系统难以满足生产与安全的双重需求。依赖手工解算与经验调控的传统管理模式已难以适应高精度、动态化的通风需求[3],如何借助三维建模与通风仿真技术[4-6],实现通风系统的可视化管理与科学优化,已成为保障矿山高效运行的重要研究方向。

近年来,随着计算机三维建模与通风仿真技术的发展,以 Ventsim 为代表的通风系统仿真软件凭借其风网解算精确、三维可视化直观及动态模拟高效等优势,在矿井通风系统优化中得到广泛应用。郑建国等[7]基于 Ventsim 对大型矿井复杂通风系统进行仿真分析,通过多方案对比确定了最优改造方案,有效解决了通风阻力过大与风量不足等问题。王兵建等[8]借助 Ventsim 构建了王家塔煤矿三维通风模型,通过调整风井进风比例与风机参数,实现了通风阻力的合理分布,降低了通风能耗。王小龙等[9]提出的三维通风数字孪生系统,融合了大数据分析技术,实现了通风系统全要素精准建模与动态调控,为深部矿山通风管理提供了全新范式。此外,网络解算技术的应用也为通风系统优化提供了量化支撑[10],通过对风阻、风量、风压等参数的精确测算,结合通风系统监测数据,可科学诊断通风系统的关键问题,制定针对性的优化措施。

矿井通风系统是一个开放、动态的整体,具有局部与全局动态相互作用的特征。通风系统的优化首先应从全局整体规划,兼顾当前生产与未来发展需求,落实到分区层面,解决关键通风痛点问题,以实现最佳通风效果。谦比希铜矿东南矿体采用“多井进风、多井回风”中央对角式通风方式,属于典型的深水平多风机复杂通风系统。随着开采范围扩大与产能提升,逐渐暴露出深部中段风量不足、关键风路阻力超限及局部区域风流短路漏风等典型通风问题。

综上,以谦比希铜矿东南矿体通风系统为研究对象,在全面调查与测定通风参数(包括巷道风阻、风机工况、风量分配等)的基础上,构建基于 Ventsim 的高仿真三维通风仿真模型;通过网络解算,诊断通风系统现存核心问题,提出包括优化通风网络、调整风机工况及增设通风构筑物和通风工程在内的优化方案;借助 Ventsim 进行仿真验证[11],旨在减少浅部漏风、增加深水平风量,以实现中段级风量可控、可调,主通风机安全、节能运行[12],从而全面、高效地改善通风现状,确保矿山通风安全。研究结果可为类似深水平多风井矿山通风系统优化提供参考。

1 矿井概况与通风系统现状

1.1 矿井概况

谦比希铜矿东南矿体位于赞比亚铜带省,设计产能为 3.3 Mt/a,现生产能力约为 3.0 Mt/a,长远规划扩产能力为 5.0 Mt/a。矿山采用主井、副井配合盲斜坡道的开拓方式,现有生产中段包括 680 m、800 m、900 m、980 m 及 1 080 m 水平,最大开采深度为 1 080 m,属于典型的深水平多中段金属矿山。东南矿体采用“主副井中央进风,南、北风井两翼回风”的抽出式通风方式。南、北风井地表分别设有主扇,型号均为 FBCDZ-10-№38 轴流风机,电机功率为 2×1 000 kW,采用变频控制。

1.2 通风系统现状

1.2.1 风流路径

目前井下风流路径为:新鲜风流经主副井、中段车场、中段进风巷、采区进风井(或斜坡道)进入采区分段巷道,再经分段巷道、采联进入到采场;污风经回风井或回风斜坡道进入总回风巷,经南、北风井排至地表。具体如图 1 所示。

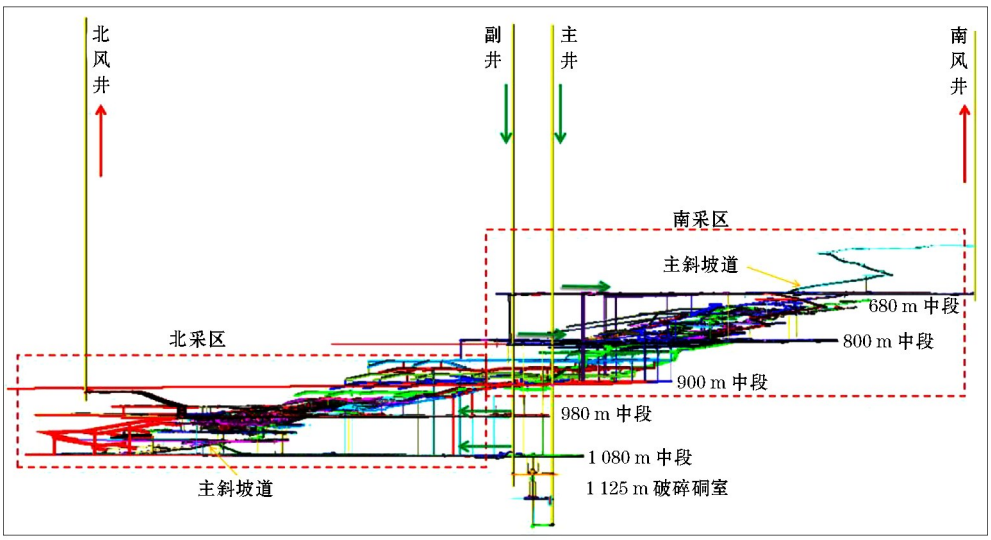


图 1 东南矿体井下通风路径示意

Fig.1 Schematic of underground ventilation path in the southeast ore body

1.2.2 通风典型问题

东南矿体以 900 m 水平为分界线,以上为南采区,以下为北采区。在 900 m 中段投入生产前,南、北采区通风系统相互独立。900 m 水平投产后,原本相对独立的两个采区通风系统连为一体,对全矿风量分配提出了更高要求。同时,随着 680 m 水平以上新中段投产,进一步扩大了采矿范围、增加了采矿点数,形成了典型的多中段、多分段同时开采格局。由于东南矿体埋藏深,开采范围广,生产中段多,完全依靠自然分风已无法满足井下生产要求。此外,东南矿体面临着生产能力逐年增加、扩产项目开工建设等因素,井下通风问题日渐凸显。

为彻底排查井下通风主系统、区域性通风及通风管理方面存在的问题,对东南矿体关键风路、通风阻力、通风动力、通风构筑物等开展了全面的测定与调查,共完成了 122 个测点的通风指标测定。

测定结果表明,目前东南矿体通风系统总进、回风量约为 430 m^3/s,基本满足设计要求。对照主扇测定结果,主扇通风动力能满足现在及未来达产要求。其中,北风井设计工况点参数:风量为 311 m^3/s,风压为 3 750 Pa,效率为 80%,风阻为 0.038 771,目前风机以 34.8 Hz 的频率运行;运行工况为:静压均值为 1 184 Pa,风机风量为 216.3 m^3/s 左右。南风井设计工况点参数:风量为 305 m^3/s,风压为 3 550 Pa,效率为 80%,风阻为 0.038 162,目前风机以 29.8 Hz 的频率运行;运行工况为:静压均值为 551.4 Pa,风机风量为 196.2 m^3/s 左右。但该通风系统仍存在以下主要问题。

(1) 漏风现象严重。经调查,东南矿体主要为内部漏风,未发现明显外部漏风,漏风点集中分布在以下区域:①680 m 水平风门损坏,进风直接进入回风巷汇入南风井;②800 m 水平通风管缆井与上部采准斜坡道连接,导致部分新鲜风流直接进入回风巷道内;③980 m 水平 2#、3#、4# 穿脉直接与回风巷连通,形成漏风;④980 m 水平西线回风巷内的风门关闭不严,形成漏风;⑤主斜坡道部分新鲜风流直接进入最上部回风中段。

(2) 风量调控能力不足。目前井下中段通风系统风量调控设施缺失,辅扇、风墙、风窗、风帘等通风设备较少,主要依靠主风机变频调节南、北采区风量分配。当生产重心出现中段转移时,难以保障各生产中段的需风量。

(3) 进、回风线路长,阻力大。北采区回风段阻力尤为突出,风压损失显著。

(4) 总供风量偏小。目前南、北风机均低频运行,频率分别为 30 Hz、35 Hz,矿井总供风量约为 430 m^3/s。随着回采区域向深部推进,且产能进一步提升后,现有供风量将难以满足未来井下需求。

(5) 重要通风评价指标有待提升。目前东南矿体全矿需风点总数为 227 个,但因部分作业面开拓导致长距离独头通风困难,以及粉尘、尾气和高温在风流中累积,影响风质,导致符合《金属非金属地下矿山通风技术规范通风系统》中井下空气质量评价相关标准的需风点数仅有 189 个,矿井有效风量率

为76%,风点风质合格(达标)率为83.3%,重要通风评价指标有待提升。

1.3 通风系统优化研究技术路线

目前东南矿体井下通风问题繁杂,亟须对其进行系统性优化整改,以改善井下作业条件。对此,本研究基于现场调研,开展理论计算并提出优化方案,结合数值仿真进行验证,技术路线如图2所示。

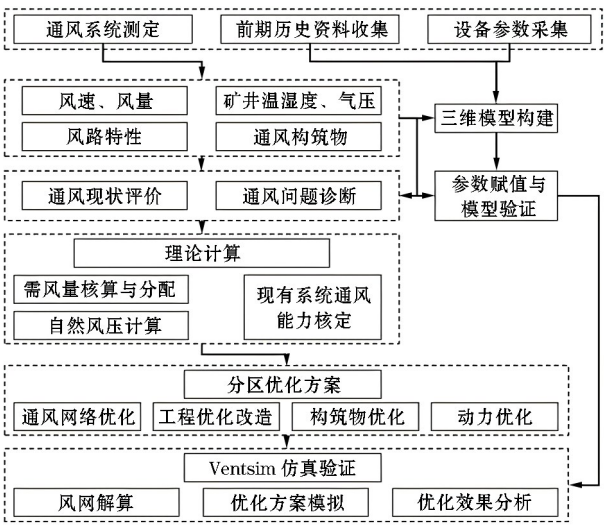


图2 技术路线

Fig.2 Technical route

2 通风系统优化方案

2.1 风量核算与分配

根据矿山年度生产计划,综合考虑井下需风作业面分布、人员需风量、爆破排尘需求及柴油设备需求等因素,对东南矿体现阶段井下需风量进行核算[13-15]。经计算可知,矿井需风量为462 m^3/s,根据各中段需风要求,对风量进行分配,其中680 m水平分配风量44 m^3/s,800 m水平分配风量120 m^3/s,900 m水平分配风量58 m^3/s,980 m水平分配风量140 m^3/s,1 080 m水平分配风量100 m^3/s。

根据现有进、回风井巷断面,结合相关规程规范,综合考虑行人及运输等因素,对现有进、回风井巷通风能力进行核定。进风系统最大井巷进风能力为590.9 m^3/s,常规井巷进风能力为443.2 m^3/s;回风系统最大井巷回风能力为994.99 m^3/s,常规井巷回风能力为663.3 m^3/s。东南矿体进风能力相对薄弱,回风能力较为充裕,但均能满足当前井下通风需求。

2.2 自然风压

东南矿体属热带森林-草原气候区,全年分为3个季节,每年11月至次年4月为雨季,温暖而潮湿;4月至8月凉爽而干燥,8月至11月气候干热。年极端最低温度为1.5 ℃,年极端最高温度为36.2 ℃。东南矿体开采深度超100 m,自然风压计算公式见式(1)。

$$H_n = gZ\frac{P}{R}\left(\frac{1}{T_{m1}}-\frac{1}{T_{m2}}\right) \tag{1}$$

式中:H_n为自然风压,Pa;Z为由井口到井底最深处的深度,m;g为重力加速度,取值约为9.81 m/s^2;P为井口地表平均大气压力,Pa;R为空气气体常数,对于空气而言,其数值约为288 J/(kg·K);T_{m1}、T_{m2}分别为进风井和回风井空气柱的平均绝对温度,K。

根据通风系统测定的数据,地表标高为1 250 m,最深回采中段埋深为1 080 m,地表大气压为883 hPa,地表温度为21 ℃,相对湿度为31%。根据矿山历年记录温度资料及温度推算公式,得到各个季节1 080 m水平温度[16],据此计算自然风压,结果见表1,自然风压变化曲线如图3所示。

表1 自然风压计算结果

Table 1 Calculation results of natural wind pressure

水平/m	季节	g/(m·s^{-2})	Z/m	P/Pa	R/(J/(kg·K))	T_{m1}/℃	T_{m2}/℃	H_n/Pa
1 080	干冷季	9.8	1 080	88 000	288	22.55	27.50	180
1 080	干热季	9.8	1 080	88 000	288	32.50	30.60	−66
1 080	雨季	9.8	1 080	88 000	288	29.50	29.05	−15

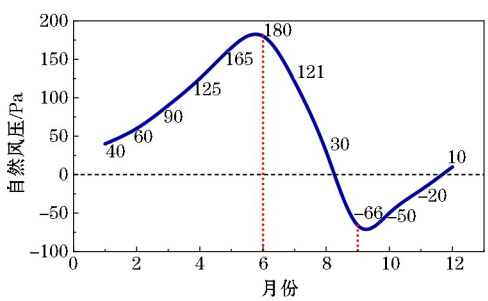


图3 东南矿体自然风压变化曲线

Fig.3 Variation curve of natural wind pressure in the southeast ore body

由表1和图3可知,东南矿体干冷季最大自然风压为180 Pa,干热季最小自然风压为−66 Pa,雨季自然风压介于两者之间。干冷季的自然风压有利于矿井通风,干热季的自然风压不利于矿井通风。由于东南矿体开采过程中有大功率的柴油设备投入运行,导致回风段的风流温度会出现一定程度的增

加,同时副井淋水较多,使进风得到冷却降温。因此,全年基本不会出现自然风压不利于通风的情况,东南矿体最不利的自然风压值为-66 Pa。

2.3 通风网络优化

2.3.1 优化原则及思路

通风优化方案的制定应遵循以下原则:

(1) 重点满足主采区通风需要;

(2) 主要的人员与材料等运输通道,尽量不设置通风构筑物;

(3) 优化后的通风系统高效、可靠;

(4) 减少采场污风串联;

(5) 通风管理相对简便。

根据以上原则,基于各中段及作业区域需风要求,合理分配风量并全局规划风流路径;通过必要的通风工程施工、通风构筑物改造、辅扇增设及主通风机变频调节,科学实现风流路径规划,并在有需求的区域设置辅扇等相关通风动力设备[17]。

2.3.2 区域划分

南、北采区通风回风相对独立,故先根据南、北采区通风系统中现存的核心问题分别进行优化[18-19]。考虑到南、北采区区域较大,点多面广,南采区优化细分为 4 个子区域,北采区优化细分为 2 个子区域,具体见表 2,通风系统区域划分如图 4 所示。

表 2 通风系统分区及子区

Table 2 Zoning and sub-zones of ventilation system

区域	子区域	说明
南采区	A 区域	680 m 水平以上区域,目前有少量采场。
	B 区域	680~800 m 水平,目前主生产区,采场众多。
	C 区域	900 m 水平的东、西部采区。
	D 区域	900 m 水平的北部采区,目前有少量采场。
北采区	E 区域	900~980 m 水平的采区
	F 区域	980~1 080 m 水平的采区

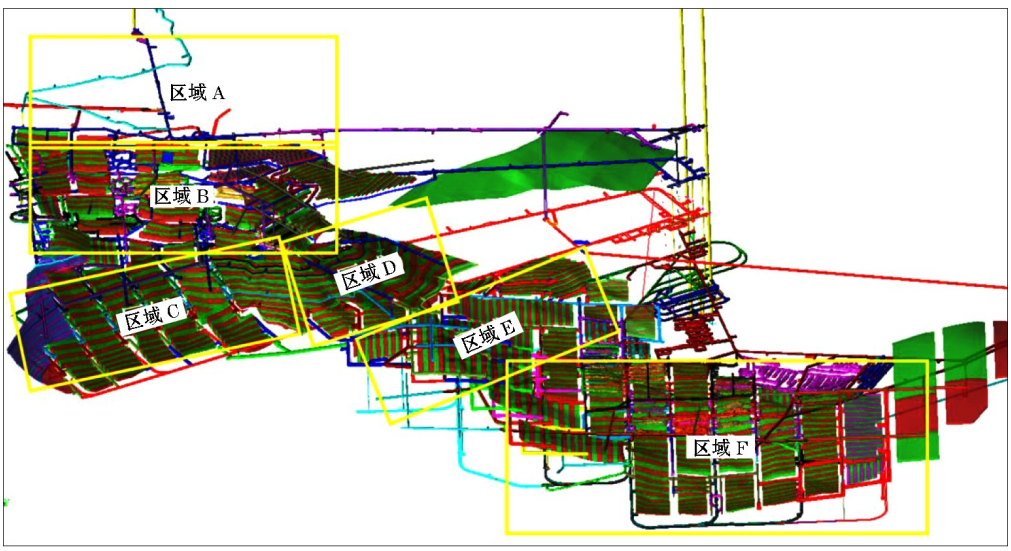


图 4 通风系统区域划分示意

Fig.4 Schematic of ventilation system regional division

2.3.3 南采区优化方案

(1) 通风网络优化。

南采区中,A、C、D 区域均为新设计的施工区,采场数量较少,通风系统设计完整,通风网络整体较好。但 B 区域的采场与作业面较多,风流紊乱,角联现象突出,多处存在污风循环串联,由于回采不断进行,原设计的总进风与总回风线路已无法实现。对此,重新规划 B 区域回风路线,所有新鲜风流均通过主斜坡道及采准斜坡道进入作业面,将 696 m 分段巷道作为 696~800 m 区域的总回风巷,污风通过回风井或上部采准斜坡道汇至 696 m 分段巷道,再进入到南采区总回风巷,最后排至地表,以此解决风路混乱的问题。南采区优化后的通风路径如图 5 所示。

(2) 通风工程优化。

封闭 696~800 m 区域的管缆井,避免新鲜风流从 800 m 水平直接漏风至 680 m 水平;施工 696~680 m 专用回风井,断面直径为 4 m,连接 696 m 分段巷与南采区总回风巷,成为总回风线路;在 680 m 东回风巷处施工风桥,避免 696 m 汇至 680 m 的污风混入 680 m 新鲜风流;施工 800~680 m 专用回风井,完善 900 m 水平开采的回风通道,如图 6 所示。

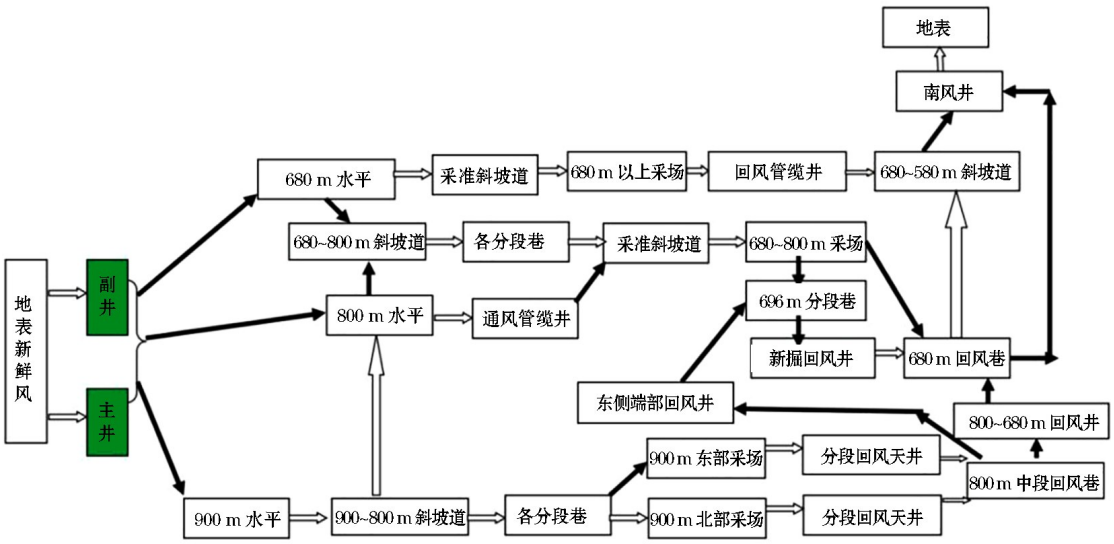


图 5　南采区优化方案通风路径

Fig.5　Ventilation path of the optimization scheme in the south mining area

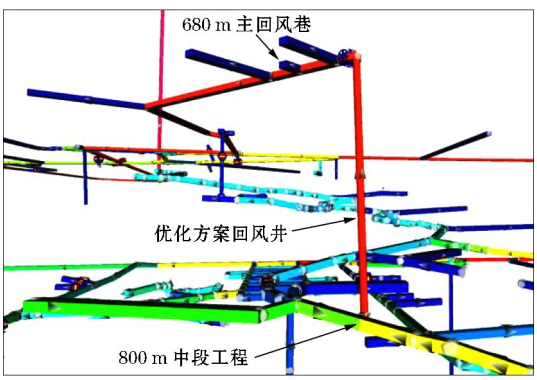


图 6　900 m 水平开采回风路径

Fig.6　Return air path of 900 m level mining

(3) 通风构筑物优化。

在 680 m 中段回风巷处修复原有风门,并强化管理,避免 680 m 水平进风短路至南风井;696 m 分段巷与主斜坡道连接处设置自动化风门,避免 696 m 分段巷汇总的污风与主斜坡道新鲜风串联,并考虑此处频繁的设备通行;在 800～900 m 主斜坡道处设置自动化风门,避免主斜坡道新鲜风短路至 680 m 水平,并便于此处的设备通行。

(4) 通风动力优化。

主通风机运行频率为 36 Hz,696 m 分段巷作为总回风线路后,导致 696～800 m 段的总回风阻力增大,因此,在 696～800 m 的 1# 采准斜坡道内设置一台辅扇,型号为 FKZ-8-№20/75 kW,以克服通风阻力。在 696～680 m 专用回风井口设置一台辅扇,型号为 FKZ-8-№24/200 kW,采用变频调节。

2.3.4　北采区优化方案

(1) 通风网络优化。

北采区 E 区域进风路线多,可从 900 m、980 m 及主斜坡道进风,但各分段巷道及采场互相连通,角联现象突出,目前风流走向紊乱。F 区域整体风流线路与设计相近,但风量分配不均,难以满足用风需求。为此,对 E 区域通风网络进行重新规划设计,避免新鲜风与污风串联,减少角联,采用 900 m、980 m 及 1 080 m 水平进风,980 m 中段回风巷回风的方案。北采区优化后的风流路径如图 7 所示。

(2) 通风工程优化。

为解决 1 000 m 及 1 020 m 水平进风困难的问题,从北主斜坡道新掘至 1 000 m 水平的进风井位置如图 8 所示。

(3) 通风构筑物优化。

目前 980 m 的 2#、3#、4# 穿脉主要用作人行通道,漏风现象较为突出。为此,在 2#、3# 穿脉设置普通风门,在 4# 穿脉所连接的 980 m 顶盘回风巷处设置风窗风门,通过调节风窗实现回风量的调控。在 960 m 的 3# 穿脉处设置普通风门,避免进入 960 m 水平的新鲜风流短路至回风巷,并在 960 m 的 0# 穿脉处设置自动化风门,在避免漏风的同时兼顾

设备频繁通行需求。

(4) 通风动力优化。

由于 1 000～1 020 m 水平东部临近回风端,自然分风风量小,难以满足生产需风要求,同时该区域存在风流折返现象,导致回风阻力大,故在 980 m 的 3# 穿脉处设置一台型号为 FKZ-8-№20/75 kW 的抽出式辅扇,以增加该区域的负压,解决其风量分配不足的问题。

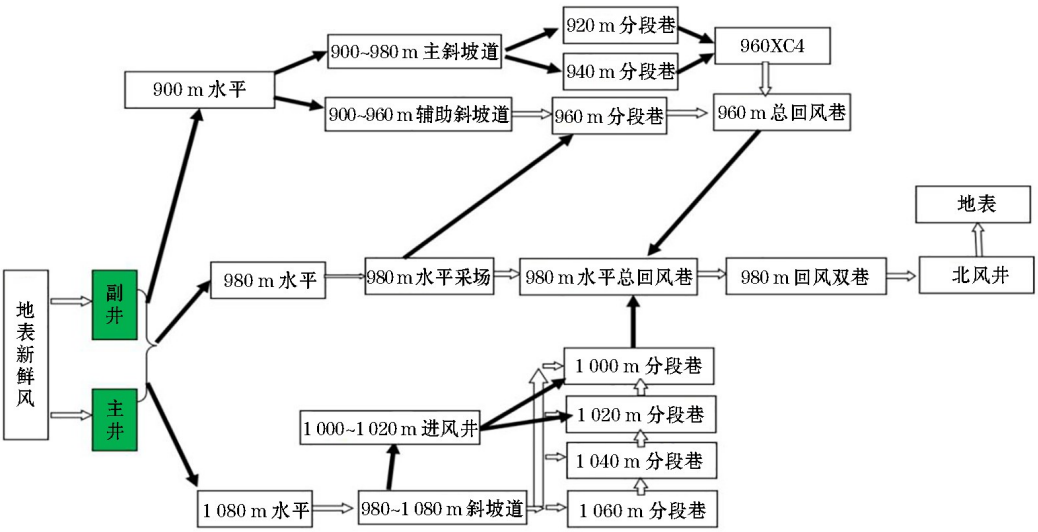


图 7 北采区优化方案通风路径

Fig.7 Ventilation path of the optimization scheme in the north mining area

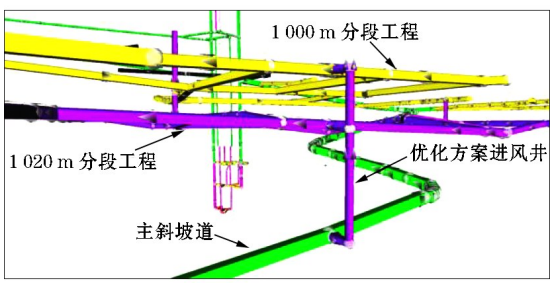


图 8 新掘进风井位置示意

Fig.8 Location of the newly excavated air shaft

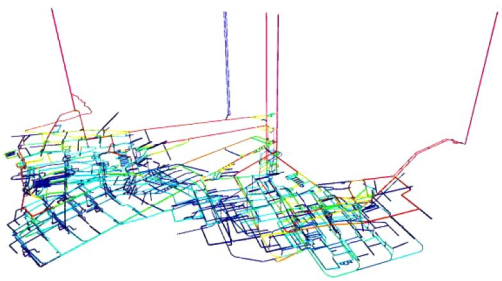


图 9 东南矿体 ventsim 仿真三维模型示意

Fig.9 Schematic of ventsim simulation 3D model of the southeast ore body

3 Ventsim 仿真与优化效果分析

基于东南矿体新盘区的开拓、采准、各水平及各分段平面图、DIMINE 三维模型等资料信息[20-22],利用 Ventsim 通风系统软件构建了该盘区通风系统的可视化模型。在模型中添加优化方案涉及的通风井巷工程、通风构筑物及主风机,在设置好网络解算的系列参数后,进行优化方案的模拟解算。前期对通风网络参数进行了大量模拟,并与现场实测结果进行对比分析,通过迭代优化模型参数,使网络解算的可信度达到了 90%以上。通风系统仿真模型如图 9 所示,模拟解算结果见表 3 至表 5。

表 3 数值模拟风量分配结果

Table 3 Results of air volume distribution of numerical simulation

风路名称	优化方案风量/(m^3/s)	需风量/(m^3/s)	优化前风量/(m^3/s)	备注
主井	210.9			
副井	281.4			
南风井	247.7		196.2	运行频率 29.8 Hz
北风井	244.7		216.3	运行频率 34.8 Hz
680 m	70.7	44	38.3	
800 m	105.1	120	84.8	
900 m	102.2	58	84.8	
980 m	125.6	140	110.6	
1 080 m	90.4	100	83.2	

表 4 优化前后漏风量对比

Table 4 Comparison of air leakage before and after optimization

通风地点	优化前漏风量/(m^3/s)	优化后漏风量/(m^3/s)
680 m	20	5
800 m 的通风管缆井	20	10
南斜坡道	15	5
980 m 西线回风巷	10	5
980 m 各穿脉	20	10
960 m 各穿脉	10	5
合计	95	40
有效风量率	76.9%	91.90%

表 5 优化前后环境参数对比

Table 5 Comparison of environmental parameters before and after optimization

指标类别	具体指标	优化前	优化后	合格标准
通风系统	风量、风速合格率/%	=65	≥70	≥65
	风质合格率/%	=83	≥95	≥90
作业环境空气质量	空气质量合格率/%	≥60	≥65	≥60
	最高干球温度/℃	31.6	31.0	27(湿球温度)
	最大总粉尘浓度/(mg/m^3)	5.620	4.5	4

根据优化方案模拟结果可以得到以下结论。

(1) 通风动力满足现状需要。南风机风量为 248 m^3/s,静压为 1 656.3 Pa;北风机风量为 245 m^3/s,静压为 2 258.3 Pa。

(2) 风流分配与风流路径更加合理。主斜坡道由回风改为进风,风流类型由污风转变为新鲜风,其风量由 136 m^3/s(污风)调整为 34 m^3/s(新鲜风)。此外,900 m 水平的分风量由原来的 84.8 m^3/s 增加至 102.2 m^3/s,风流路径符合优化方案规划。

(3) 漏风现象显著减少,通风指标大幅提升。东南矿体漏风量由 95 m^3/s 减少至 40 m^3/s,降低了 57.89%;矿井总有效风量由 317 m^3/s 提升至 454 m^3/s;矿井有效风量率由 76.9%提升至 91.9%,提高了 19.51%,内部漏风减少,增加了工作面风量,减少了能耗浪费。优化后,通过构筑物状态调节,可在一定程度上实现中段风量的可控与可调,作业面环境参数也得到了显著改善。

4 结论

(1) 随着谦比希铜矿东南矿体通风系统 900 m 水平投产,原相对独立的南、北采区通风系统连通融合,导致整体通风系统变得更加复杂,调控难度显著增加。原通风系统由于缺乏配套的通风构筑物和通风工程,导致内部漏风严重,局部区域通风困难,作业面风量不足,作业环境质量较差。

(2) 南采区通过将 696 m 水平作为总回风巷,辅以自动化风门和短风井工程,确保了南斜坡道内风流新鲜;通过 800～680 m 专用回风井工程,联合变频调节风机,实现了 900 m 水平的安全、高效通风。北采区通过增设通风构筑物控制 980 m 水平漏风,提升了通风系统的有效风量率,增加了深部作业区域的风量;通过新掘北主斜坡道至 1 000 m 水平的进风井,有效解决了 1 000 m 和 1 020 m 水平进风困难问题。

(3) 利用 Ventsim 软件构建了高仿真通风系统模型,其模拟解算结果与实测数据的误差在 10%以内,该模型可直接用于优化方案效果模拟。工程应用后,900 m 水平的分风量由原来的 84.8 m^3/s 增加至 102.2 m^3/s;东南矿体漏风量由 95 m^3/s(优化前)减少至 40 m^3/s(优化后),降低了 57.89%,矿井有效风量率由 76.9%(优化前)提升至 91.9%(优化后),提高了 19.51%。

参考文献(References):

[1] Wang Yadong, Jia Shuliang, Guo Mingze, et al. Dynamic multi-path airflow analysis and dispersion coefficient correction for enhanced air leakage detection in complex mine ventilation systems[J]. Processes,2025,13(7):2214.

[2] 田文东,张芃涛,赵兴宽,等.东南矿体 3# 斜坡道矿柱回收采场结构参数优化研究[J].现代矿业,2025,41(6):73-80+85.
Tian Wendong, Zhang Yuantao, Zhao Xingkuan, et al. Research on optimization of the structural parameters of the pillar recovery quarry in the 3# ramp channel of the southeast ore body[J]. Modern Mining,2025,41(6):73-80+85.

[3] 谭星宇,唐子龙,盛建红,等.超深井开采复杂高阻力通风系统的提质降耗研究[J].矿业研究与开发,2025,45(8):1-7.
Tan Xingyu, Tang Zilong, Sheng Jianhong, et al. Study on quality improvement and consumption reduction of complex high-resistance ventilation system in ultra-deep mines[J]. Mining Research and Development,2025,45(8):1-7.

[4] 张浩强,刘大可.基于 Ventsim 的帕鲁特金矿通风网络优化研究[J].矿业研究与开发,2024,44(9):131-142.
Zhang Haoqiang, Liu Dake. Ventilation network optimization of pakrut gold mine based on Ventsim[J]. Mining Research and Development,2024,44(9):131-142.

[5] 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.
Fu Wenjiang, Jia Zhiwei, Wei Hui. Ventilation system optimization of Dabaiyang gold mine based on Ventsim[J]. Gold,2023,44(8):30-34.

[6] 汪仁建,翟雪峰,张永亮,等.三维仿真技术在大柳行金矿深井热害治理中的应用[J].矿业研究与开发,2021,41(10):95-98.
Wang Renjian, Zhai Xuefeng, Zhang Yongliang, et al. Application of 3D simulation technology in the treatment of deep well heat hazard in Daliuhang gold mine[J]. Mining Research and Development,2021,41(10):95-98.

[7] 郑建国,张文宇,赵怀璞,等.基于 Ventsim 的大型矿井复杂通风系统优化[J].煤炭技术,2016,35(7):201-203.
Zheng Jianguo, Zhang Wenyu, Zhao Huaipu, et al. Optimization of complex ventilation systems in large-scale mines based on Ventsim software[J]. Coal Technology,2016,35(7):201-203.

[8] 王兵建,刘煜成,高运增,等.基于 Ventsim 的王家塔煤矿通风系统优化研究[J].煤炭技术,2024,43(2):145-149.
Wang Bingjian, Liu Yucheng, Gao Yunzeng, et al. Study on optimization of Wangjiata coal mine ventilation system based on Ventsim[J]. Coal Technology,2024,43(2):145-149.

[9] 王小龙,吕志文,董峰,等.基于三维通风数字孪生系统的通风系统优化研究[J].现代矿业,2023,39(9):27-32.
Wang Xiaolong, Lyu Zhiwen, Dong Feng, et al. Research on ventilation system optimization based on three-dimensional ventilation digital twin system[J]. Modern Mining,2023,39(9):27-32.

[10] Amir N S, Pierpaolo O, Sandro G. Improving environmental conditions of a room and pillar underground quarry using numerical modelling of the ventilation system [J]. Mining Technology,2022,131(2):80-89.

[11] Ye Yongjun, Yao Xuanli, Chen Daijia, et al. Numerical simulation of radon ventilation optimization in filling stope of trackless Z-shaped roadway[J]. Nuclear Engineering and Technology,2025,57(10):103691.

[12] Gerike B L, Dolzhko D M, Ludzish V S, et al. Development of a system for monitoring the technical condition of main mine ventilation fans [J]. Mining Equipment and Electromechanics,2025,177(1):65-74.

[13] 李传迎,周乐,赵龙,等.排山楼金矿新民矿区通风系统优化[J].黄金,2025,46(3):54-58.
Li Chuanying, Zhou Le, Zhao Long, et al. Optimization of ventilation system in Xinmin mining district of the Paishanlou gold mine[J]. Gold,2025,46(3):54-58.

[14] 虎啸,王宁.煤矿通风系统优化与智能化管理[J].工矿自动化,2024,50(增刊 2):33-34.
Hu Xiao, Wang Ning. Optimization and intelligent management of coal mine ventilation system[J]. Journal of Mine Automation,2024,50(Suppl.2):33-34.

[15] 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.
Wu Wenbo, Liu Yang, Ren Gaofeng, et al. Optimization of ventilation system and simulation of thermal damage in deep mining of Chengchao Iron Mine[J]. Metal Mine,2022(10):197-203.

[16] Semin M A, Knyazev N A, Koshhkov D S. Thermal processes in deep mine ventilation shafts in case of airflow reversal in cold seasons[J]. Journal of Mining Science,2023,59(1):99-107.

[17] 原晋兵.基于层次分析法的矿井通风系统安全评价与优化研究[J].矿业装备,2025(5):80-82.
Yuan Jinbing. Research on safety evaluation and optimization of mine ventilation system based on analytic hierarchy process[J]. Mining Equipment,2025(5):80-82.

[18] 梁宏伟.分区通风系统优化改造工程实践[J].黄金,2025,46(5):33-38.
Liang Hongwei. Practices of the zoned ventilation system optimization and renovation project[J]. Gold,2025,46(5):33-38.

[19] 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.
Cheng Li. Optimization of ventilation system in Jiuqu sub-mine of Linglong gold mine[J]. Gold,2023,44(10):9-12.

[20] 牛文杰,姜鹏,侯卫钢,等.眼前山铁矿三维可视化仿真井下通风系统优化研究[J].黄金,2024,45(11):62-68.
Niu Wenjie, Jiang Peng, Hou Weigang, et al. Optimization of the underground ventilation system using 3D visualization simulation for Yanqianshan Iron Mine[J]. Gold,2024,45(11):62-68.

[21] Siddhartha Roy, Devi Prasadmishra, Hemant Agrawal, et al. Wbgt prediction and improvement in hot underground coal mines using field investigations and ventsim models[J]. Mining Metallurgy & Exploration,2023(40):985-1005.

[22] 李卫国,孙长胜,张明峰,等.某高温深井金矿通风降温工程优化[J].现代矿业,2025,41(3):224-230.
Li Weiguo, Sun Changsheng, Zhang Mingfeng, et al. Optimization of ventilation cooling project in a deep gold mine with high temperature[J]. Modern Mining,2025,41(3):224-230.