

凡口铅锌矿深部通风系统测定与三维仿真优化研究

罗志华¹,代 涵²,陈 新^{3*}

(1. 中金岭南有色金属股份有限公司凡口铅锌矿; 2. 中色非洲矿业有限公司谦比希铜矿; 3. 中南大学资源与安全工程学院)

摘要:为改善凡口铅锌矿深井通风条件,对深部通风系统进行了风量、风阻的测定与需风量的计算,深部通风系统总进风量为 $330.38\text{ m}^3/\text{s}$,总回风量为 $345.95\text{ m}^3/\text{s}$;矿井深部总风阻为 $0.0123\text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ 。为解决其深部各中段及各工作面之间风量分配不合理、通风线路长且阻力大的问题,提出了4种优化方案并进行了三维仿真模拟。结果表明:深部通风系统的优化改造应选择“增加进、回风措施井+设置多级机站”的方案,既能够实现不同中段、采场风流的按需分配,也能够增加进入各个中段及分段采场的风量,适应未来生产需求。

关键词:深部开采;矿井通风;风量测定;通风阻力;Ventsim 数值模拟

中图分类号:TD853

文章编号:1001-1277(2024)02-0014-07

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20240203

引 言

随着国民经济的快速发展,国内各类型矿山也在不断扩大开采规模与延伸开采深度以提升产量^[1]。对于地下矿山,随着矿山开采规模与开采深度的不断增加,面临的安全问题在很大程度上制约着矿山生产。因此,解决安全问题,提升矿山安全能力已成为矿山工作的重中之重^[2-4]。矿井通风的根本目的是将数量充足、质量合格的新鲜风流送入井下各作业点,以满足各作业点的用风要求^[5]。矿山通风系统作为矿山安全生产的重要保障,其在向井下输送新鲜空气,排除有毒有害气体,营造良好的工作环境等方面起着不可替代的作用^[6-8];在发生灾害时,通风系统又是控制、缩小、消除灾害必不可少的一种手段;合理的通风系统,还可以起到节能作用,节省成本,提高企业效益。因此,加强有关矿山通风系统的研究对于矿山的安全生产具有重要意义。

当矿山开采规模较小或生产布局较为简单时,风流的按需调控也较为简单;而随着矿山开采规模与开采深度的逐渐增加,其生产布局与通风网络也越来越复杂,风流的按需调控也随之变得越来越困难^[9-10]。事实上,如何依据实际生产需要对风流进行及时有效调控已经成为很多大中型矿山通风中亟须解决的问题^[11-13]。部分矿山开采深度已接近或超过1 km,这对井下通风系统提出了更高的要求,如何解决好通风问题,直接关系到井下工作人员的高效作业和生产安全。

中金岭南有色金属股份有限公司凡口铅锌矿

(下称“凡口铅锌矿”)经过几十年的开采,深部盘区作业点数量逐渐增多,生产区域变更也愈加频繁,在对凡口铅锌矿深部盘区风流进行调控时不仅要考虑同一作业点处于不同生产阶段时需风量发生变化的情况,更要考虑作业点发生变化时需风量发生变化的情况。目前,凡口铅锌矿在井下安置了大量局扇与临时风墙,通过人工开闭局扇与拆砌风墙的方式对风流进行调控,此种风流调控方式在实际使用中不仅需要投入大量的人力物力,而且对风流的调控也无法满足作业点经常发生变化的情况。因此,施工新的通风构筑物辅以风流调控技术或手段实现对风流的及时、合理调控已成为凡口铅锌矿通风工作的重点。

1 凡口铅锌矿深部通风系统

凡口铅锌矿采用中央进风、两翼对角抽出式的通风系统,其新鲜风流经由新、老副井,大斜坡道,小斜井等井巷进入,洗刷工作面后产生的污风经东风井及新、老南回风井由主扇抽出至地表。

凡口铅锌矿深部盘区目前共有4个作业中段(-500 m、-550 m、-600 m、-650 m),3个服务性硐室中段(-680 m、-710 m、-750 m),深部各中段作业点分布较为分散,通风线路长。其中,较长中段巷道沿走向长度可达2 000多m。

凡口铅锌矿深部各中段采用平行双巷式通风,即新鲜风流经各中段主巷、无轨巷进入,然后经采场穿脉进入各采掘工作面,洗刷工作面产生的污风经采场回风天井进入上一中段回风巷,最后经各回风井排出地表。

收稿日期:2023-07-01;修回日期:2023-09-18

基金项目:国家自然科学基金项目(52204165);湖南省自然科学基金项目(2021JJ40733)

作者简介:罗志华(1994—),男,助理工程师,硕士研究生,从事采矿技术管理工作;E-mail:1172445900@qq.com

*通信作者:陈 新(1989—),男,副教授,博士,从事矿山通风与充填研究工作;E-mail:chenxin_ck@csu.edu.cn

采场通风网络基本采用本中段或分段平巷进风,经采场至上中段专用回风巷回风,在各采场通风天井的穿脉靠中段回风巷一侧均设有采场调节风窗,用于调节和控制各采场的风量,改善各采场的作业环境,以达到最佳空气条件。

通过现场调查,凡口铅锌矿深部通风系统存在以下问题:

1)深部热害严重且热源情况复杂,井下部分巷道、采场温度已达到 30℃以上,工人劳动条件差;随着 VCR 法爆破及机械化大、小台车采矿量不断加大,部分中段供风量无法满足生产与降温需求。

2)通风系统庞大且复杂,深部 -500 m、-550 m、-600 m 和 -650 m 中段生产作业面多、作业点集中,人员密集,局部生产实际需风量大且通风效果不佳,深部通风系统局部调整难以满足需求。

3)通风线路长、阻力大,矿井用风部分网络结构不合理,风流可控性差,单纯通过通风系统来调大深部盘区通风量无法实现。

为改善凡口铅锌矿深井劳动条件,满足现有与未来工艺需求,通风系统的升级改造已经变得刻不容缓。

2 通风系统测定

2.1 风速(风量)测定

为全面了解井下各用风地点的风速和风量、考察通风点排尘风速能否满足要求、发现通风系统存在问题、计算深井区域通风阻力,对深井区域风量进行测定。在矿井深部整体通风系统中,通过测定 -455 m、-500 m、-550 m、-600 m、-650 m 中段进、回风量,可间接确定矿井深部通风系统总进、回风量。

风量测定采用侧身法,因测风员的站立减少了过风断面面积约 0.4 m²,使实测风速偏大^[14],因此需采用校正系数对真实风速进行校正,校正系数 K 为:

$$K = \frac{S - 0.4}{S} \tag{1}$$

式中: S 为巷道断面面积(m²)。

测定过程采用九点法,将风速仪正对风流,在所测巷道的全断面上均匀移动风速仪,移动线路如图 1 所示。

测点布置于矿井深部整体通风系统:在矿井深部的副井、盲副井、大斜坡道、狮岭南小斜坡道处布置进风测点,在矿井深部中段南、北回风井和老南盲风井处布置回风测点。其中,竖井的风量测值可通过测量 -455 m、-500 m、-550 m、-600 m、-650 m 中段马头门的风量测值间接确定。

同时,在深部盘区各中段的主要进、回风井,运输巷道,主巷,穿脉,分段平巷,采场进路及溜井联道等联道的三通节点、中段与其他中段的联络斜巷/井等

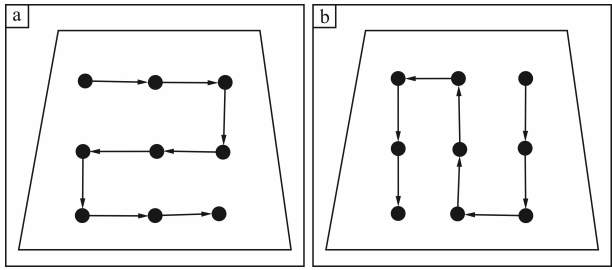


图 1 风速仪移动路线

Fig. 1 Wind speed instrument mobile route

处布置测点,并测量其断面用于模拟。

通风系统测定结果如表 1 所示。凡口铅锌矿深部通风系统总进风量为 330.38 m³/s,总回风量为 345.95 m³/s。深部通风系统回风量大于进风量,说明矿井存在漏风情况;同时,深部回风量偏小,这也是造成深部工作面通风困难,高温的主要原因。

2.2 通风阻力测算

对通风系统阻力分布计算是通风系统设计优化的关键之一,掌握矿井通风阻力大小和分布状况是进行矿井通风科学管理、风量调节和通风设计优化的根本依据^[15]。通风阻力测算需要在通风系统网络图上选定路线,再对选定的通风网络路线各分段的通风阻力进行测定。凡口铅锌矿深部各中段生产状况、井巷复杂程度大致相似,本次研究以具有代表性的 -550 m、-600 m 中段采场为例,从各中段进风口到回风口选择 1 条最能反映该段通风阻力的连续风路,观察凡口铅锌矿深部通风阻力情况。凡口铅锌矿深部通风路线为新副井→水平主巷→大斜坡道→分段平巷→采场→回风巷→回风井,测定路线的选择根据矿山实际预先确定:

1) -550 m 中段 209[#]S 采场测定回风路线:①地表新副井口→②-500 m 新副井马头门→③-500 m 水平主巷→④大斜坡道→⑤-550 m 二分段平巷→⑥209[#]S 采场→⑦15-WN1-1[#]天井→⑧-500 m 中段回风巷→⑨深部北回风井→⑩地表。

2) -600 m 中段 0[#]N 采场测定回风路线:①地表新副井口→②-550 m 新副井马头门→③-550 m 水平主巷→④大斜坡道→⑤-600 m 三分段平巷→⑥0[#]N VCR 采场→⑦-550 m 中段回风巷→⑧深部北回风井→⑨地表。

本次测定针对深部中段新副井马头门至回风井底区段通风阻力,所以无需考虑自然风压的影响。采用气压计基点测定法,两个测点之间通风阻力按照式(2)计算。在通风阻力测量的基础上,确定选定路线上各巷道分支的风阻参数和摩擦阻力系数,各巷道分支的风阻、摩擦阻力系数按照式(3)、式(4)计算^[14]。

表 1 矿井深部通风系统进、回风量实际测定结果

Table 1 Actual measurement results of the intake and return air volumes in the deep ventilation system of the mine

测点位置	断面/(m×m)	断面面积/m ²	平均风速/(m·s ⁻¹)	风量/(m ³ ·s ⁻¹)	风流性质
-455 m 新副井马头门	3.10×2.80	8.28	6.18	51.17	进风
Shn -455 m 盲进风井	2.68×1.90	4.69	2.32	10.89	进风
-455 m 大斜坡道	4.58×3.92	17.55	2.00	35.11	进风
-455 m 北回风井底	3.00×2.90	8.20	3.65	28.49	回风
-455 m 老南盲风井	2.95×2.45	6.80	0.63	4.05	回风
-455 m 南回风井底	3.80×2.40	8.70	2.30	19.25	回风
-500 m 新副井马头门	5.00×3.30	15.60	4.10	63.91	进风
-500 m 盲副井联巷	5.00×3.24	15.49	1.05	16.25	进风
Shn -500 m 盲进风井	1.80×0.34	0.61	20.78	12.68	进风
-500 m 北回风井底	3.51×2.67	8.47	8.15	69.06	回风
-500 m 老南盲风井	1.80×1.80	3.24	4.60	14.99	回风
-500 m 南回风井底	2.96×2.45	7.02	1.52	10.09	回风
-550 m 新副井马头门	3.10×2.60	7.39	6.85	47.90	进风
-550 m 北回风井底	3.20×3.24	9.12	5.76	50.23	回风
-550 m 南回风井底	3.63×2.24	7.56	7.41	53.05	回风
-600 m 新副井马头门	2.40×2.80	6.32	7.51	47.45	进风
-600 m 北回风井底	3.10×2.30	6.73	7.41	49.85	回风
-650 m 新副井马头门	4.08×2.91	11.47	4.50	51.63	进风
-650 m 大斜坡道	4.71×4.11	18.37	0.54	9.70	进风
-650 m S1#进风措施井	1.80×1.20	2.16	7.55	16.31	回风
-650 m 北回风井底	2.74×2.26	5.79	5.28	30.58	回风

$$h_{ij} = p_i - p_j + \frac{1}{2}(\rho_i v_i^2 - \rho_j v_j^2) + \frac{1}{2}(\rho_i - \rho_j)g(Z_i - Z_j)$$
(2)

$$R_{ij} = h_{ij}/Q_{ij}^2$$
(3)

$$\alpha_{ij} = R_{ij}S^3/l_{ij}P$$
(4)

式中: h_{ij} 为井巷*i,j*两测点间通风阻力(Pa); p_i,p_j 为井巷*i,j*两测点基点校正气压计的读数(Pa); ρ_i,ρ_j 为井巷*i,j*两测点空气密度(kg/m³); v_i,v_j 为井巷*i,j*两测点风速(m/s); g 为重力加速度(m/s²); Z_i,Z_j 为井巷*i,j*两测点标高(m); R_{ij} 为井巷*i,j*两测点间风阻(N·s²/m⁸); Q_{ij} 为井巷*i,j*两测点间断面风量(m³/s); α_{ij} 为井巷*i,j*两测点间摩擦阻力系数; S 为井巷*i,j*两测点间断面面积(m²); l_{ij} 为井巷*i,j*两测点间长度(m); P 为井巷*i,j*

两测点间断面周界长度(m)。

通风阻力测算结果如表 2 所示,通过通风阻力测算得知:凡口铅锌矿深部盘区 -550 m 中段 209#S 采场回风通风阻力约为 1 660.566 Pa。其中,新副井马头门至回风井底区段回风通风阻力约为 630.80 Pa;-600 m 中段 0#N 采场回风通风阻力约为 1 571.57 Pa,新副井马头门至回风井底区段回风通风阻力约为 568.44 Pa。由于各中段生产状况、井巷复杂程度大致相似,该结果表明,凡口铅锌矿深部通风系统状态较困难,风流合理分配困难,两次测量采场有效风量仅 4.52 m³/s、5.62 m³/s。为使深部作业正常运行,通风满足作业要求,凡口铅锌矿井下设置了大量辅扇和局扇,造成浪费。

表 2 采场回风路线通风阻力计算结果

Table 2 Calculation results of the ventilation resistance of return air routes in the mining area

-550m 中段	井巷长度/	风量/	摩擦阻力系数	通风阻力/	-600 m 中段	井巷长度/	风量/	摩擦阻力系数	通风阻力/
209#S 采场	m	(m ³ ·s ⁻¹)	$\alpha \times 10^4$	Pa	0#N 采场	m	(m ³ ·s ⁻¹)	$\alpha \times 10^4$	Pa
①~②	632.0	261.9	50	321.56	①~②	682.0	261.9	50	346.99
②~③	274.6	63.9	68.8	95.15	②~③	294.4	47.9	68.8	57.32
③~④	149.6	26.5	68.8	8.92	③~④	635.0	17.22	68.8	15.98
④~⑤	377.7	51.5	81	22.00	④~⑤	266.5	48.6	81	13.82
⑤~⑥	234.1	7.56	77	1.27	⑤~⑥	203.5	12.52	77	4.52
⑥	70.0	4.52	220	0.046	⑥	19.0	5.62	220	0
⑦	47.7	4.52	156.8	14.42	⑥~⑦	233.1	30.7	97	46.80
⑦~⑧	753.2	13.1	97	27.53	⑦~⑧	313.1	50.2	97	168.07
⑧~⑨	181.6	69.1	97	184.70	⑧	567.0	228.3	97	656.14
⑨	612.0	228.3	97	708.21	局部阻力				261.93
局部阻力				276.76					
合计	2 088.5			1 660.566	合计	1 964.6			1 571.57

根据表 2,进、回风井产生通风阻力大小约为总路线的 2/3,其原因是进风井(主要是新副井)和回风井风量较大、风流到达深部路线较长。风流从新副井马头门到回风井路线长约 2 000 m(- 550 m 中段 209#S 采场回风路线长 2 088. 5 m、 - 600 m 中段 0#N 采场回风路线长 1 964. 6 m),产生了较大通风阻力,大大增加了通风的困难程度,使风流难以到达深部盘区。而采取加大主扇功率克服阻力,能源利用率低。为减轻主扇负担、提升通风效率,可将进回风井、回风巷内壁修整光滑以减小摩擦阻力系数,从而达到减小通风阻力的效果;还可在进、回风路线上安装多级机站,以增大深部中段压差。

凡口铅锌矿深部通风网络异常复杂,在矿井通风网络中,风流按各分支风路风阻值大小自然分配,由于现有规划路线较长,矿井需风点众多,风流难以沿着预定的路线流动,导致井下深部斜坡道、溜井串风严重;即使沿着既定路线的风流,也可能受到巷道漏风的影响,风流到采场时,却无风可用,工作环境也无法得到改善。

表 3 深部盘区各中段作业点及需风量分配情况

Table 3 Operation points and air volume demand distribution in various sections of the deep panel

中段	回采工作面		掘进工作面		备采工作面		出矿巷		独立硐室		风量备用系数	中段需风量/ (m ³ · s ⁻¹)
	数量	需风量/ (m ³ · s ⁻¹)	数量	需风量/ (m ³ · s ⁻¹)	数量	需风量/ (m ³ · s ⁻¹)	数量	需风量/ (m ³ · s ⁻¹)	数量	需风量/ (m ³ · s ⁻¹)		
- 455 m							2	4. 06	1	9. 05		16. 39
- 500 m	7	35. 84	1	3. 3			8	16. 24				69. 22
- 550 m	9	46. 08	3	9. 9	1	2. 56	5	10. 15	4	12	1. 25	100. 86
- 600 m	9	46. 08	2	6. 6	3	7. 68	1	2. 03	2	6		85. 49
- 650 m	4	20. 48	1	3. 3	1	2. 56	5	10. 15	1	9. 05		56. 93
合计	29	148. 48	7	23. 1	5	12. 80	21	42. 63	8	36. 1		328. 89

为便于生产作业管理,凡口铅锌矿深部盘区采场较为集中,如表 3 所示,需风较多的中段为 - 550 m 中段和 - 600 m 中段,如 - 550 m 中段需风量达到 100. 86 m³/s,根据表 1 风量测定结果,井下两中段实际进风量远远满足不了生产作业需求,只能通过溜井或斜坡道串风从其他中段提供。而 - 455 m 中段和 - 650 m 中段实际进风量远大于中段需风量,造成少许风量以无效风形式浪费,最终导致深部盘区生产作业点风量不足。作业点风量不足的根本原因在于井下构筑物调风方式及中段风量分配不合理,导致风流未按照预定通风风流方式流动,唯有根据各中段生产实际需风量合理规划构筑物调风方式,才能够满足需求。

3 基于 Ventsim 的通风系统模拟

3.1 模型建立与校验

通风系统仿真模拟是解决错综复杂通风网络风

2.3 深部盘区需风量计算

深部盘区需风量是通风调控的重要基础,凡口铅锌矿深部盘区总需风量应为深部各采掘工作面、服务性硐室、出矿巷等需风量及矿井漏风量之和。计算深部盘区总需风量需要首先确定井下深部盘区采掘工作面、出矿巷及各类辅助硐室的情况及数量,根据各类型单个工作面及硐室的需风量,继而计算出各类工作面及硐室的总需风量,还应考虑矿井风量备用。

凡口铅锌矿深部盘区各中段作业点及风量分配情况如表 3 所示。风量备用系数是考虑到矿井有难以避免的漏风,同时也包含风量调整不及时和生产不均衡等因素而设立大于 1 的系数,考虑实际漏风比较严重的情况,此处取 1. 25。计算结果表明,为满足井下最多工作人数需风要求,凡口铅锌矿深部盘区总需风量为 328. 89 m³/s,万吨风量比为 3. 97。通过与实际测得的深部盘区进风量进行比较,在没有串风、无效风的情况下,凡口铅锌矿深部总进风量(330. 38 m³/s)可恰好满足井下生产作业需求。

量分配调节困难的有效手段之一,能够大大提升通风系统优化、通风构筑物设计、日常通风管理方案提出和效果检验的效率^[16-17]。为实现通风网络的快速调节、通风系统的可视化和动态模拟,在对凡口铅锌矿深部巷道的通风阻力完成测定、掌握矿井深部通风系统基础参数的基础上,建立了基于 Ventsim 的矿井深部通风三维仿真系统(如图 2 所示),并开展模型验证与通风系统优化模拟。

通过 Ventsim 数值模拟及通风网络解算,凡口铅锌矿深部 - 550 m、 - 600 m 中段新副井马头门至北回风井底区段回风通风阻力约为 629. 24 Pa、575. 75 Pa,与测算得到的深部中段通风阻力基本相同,说明了模拟结果的可靠性。矿井通风仿真系统数据如表 4 所示。其中,矿井深部通风系统外部漏风率为 10. 76 %,对于有提升设备的凡口铅锌矿来讲,属于外部漏风较小矿井,符合矿山安全规程。通过对模拟结果进行分

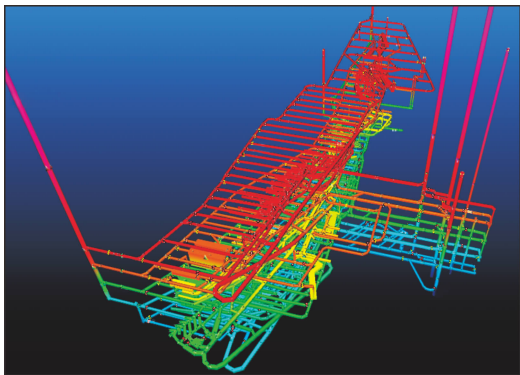


图2 基于 Ventsim 的矿井深部通风三维仿真系统

Fig.2 Three-dimensional simulation system of deep mine ventilation based on Ventsim

析,发现存在循环风、串风和深部风流混乱的情况,井巷数量多且分布错综复杂等诸多问题。矿井深部风阻特性曲线如图3所示,总风阻为 $0.0123\text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$,与实际测量数据大致相符。

表4 矿井通风仿真系统数据统计结果

Table 4 Statistics of mine ventilation simulation system data

序号	名称	数值
1	系统风路个数	3 255
2	风路总长度/m	80 007.3
3	总进、回风量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	370.2
4	深部通风系统外部漏风率/%	10.76
5	深部新副井进风量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	261.2
6	深部北回风井回风量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	228.3
7	深部南回风井回风量/ $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	82.3
8	矿井深部总风阻/ $(\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-8})$	0.012 3

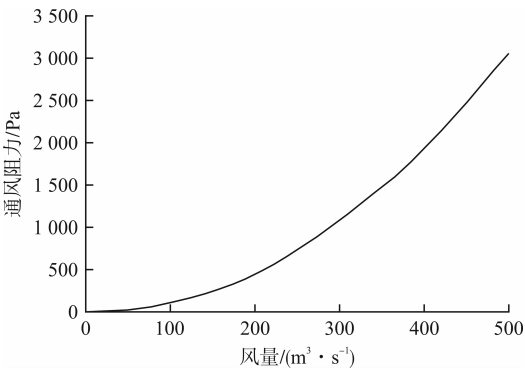


图3 风阻特性曲线

Fig.3 Air resistance characteristic curve

3.2 深部通风系统问题分析

通过实地测算、Ventsim 数值模拟,不仅验证了勘查中确定的深部通风问题的准确性,而且进一步发现了深部通风存在的问题:

1)深部通风存在通风阻力大,主扇对深部通风作用力不足,深部盘区中段进风点与回风点间压差普遍

小于通风阻力。

2)深部盘区风量在各中段之间、同中段各工作面之间分配不合理。

3)深部通风存在通风路线过长,通风阻力增大的同时导致柴油机设备运行油烟污染新鲜风源。

4)存在溜井倒矿粉尘返出至分段平巷、斜坡道与溜井串风、部分分段平巷口反风现象。

4 深部通风系统优化

根据上述调查计算与仿真结果,为增风降阻、提高风流分配能力,在增强深部进、回风管理与完善局部通风构筑物的基础上,拟定以下4种通风系统优化方案:①增加进风措施井+设置多级机站;②增加回风措施井并设置多级机站;③增加进风措施井+回风措施井;④增加进、回风措施井并设置多级机站。

根据需风点位置确定各方案中进风措施井分别位于-500 m中段N2[#]穿脉、-550 m中段N3[#]N穿脉、-600 m中段N2[#]N穿脉、-650 m中段N2[#]穿脉;回风措施井分别位于各中段的S2[#]穿脉。新增回风措施井通风模拟示意图如图4所示。

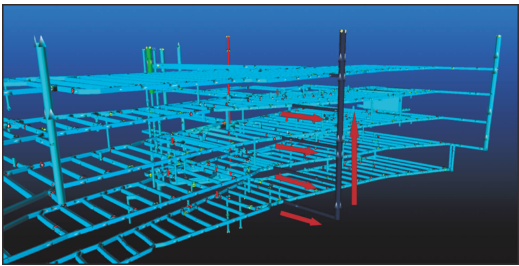


图4 新增回风措施井通风模拟示意图

Fig.4 Schematic diagram of added air return measure shaft ventilation simulation

各方案的进风量模拟结果如表5所示,各方案不同中段进风量与需风量的比值如图5所示,理论上,进风量/需风量的值应不小于100%。

根据表5、图5:“增加进风措施井并设置多级机站”方案中-455 m中段进风量、“增加回风措施井并设置多级机站”方案中-600 m中段进风量均不足需风量的75%，“增加进风措施井+回风措施井”方案中-455 m中段进风量大于需风量的150%。“增加进、回风措施井+设置多级机站”时,各中段进风量略高于生产通风需求。

模拟结果还表明:只增加进风措施井能够实现部分中段内采场风流的主动分配,无法实现中段与中段之间的风流分配;只增加回风措施井能够降低回风段的通风阻力,增大采场的进风量,但对于不同中段之间、同中段不同采场之间的风流均无法有效调控。

表 5 不同方案各中段进风量
Table 5 Air intake volume at each level for different schemes

m³/s

中段	测点位置	方案① 进风量	方案① 总进风量	方案② 进风量	方案② 总进风量	方案③ 进风量	方案③ 总进风量	方案④ 进风量	方案④ 总进风量
-455 m	-455 m 新副井马头门	11.2		20.6		25.4		17	
	Shn -455 m 盲进风井	0	11.6	0	20.6	0	25.4	0	17.4
	Sh -455 m 盲副井	0.4		0		0		0.4	
	-455 m 大斜坡道	0		0		0		0	
-500 m	-500 m 新副井马头门	42.4		59.2		35.7		51.1	
	-500 m 盲副井联巷	3.6	77.6	16.25	97.95	2.6	60.6	0	73.4
	Shn -500 m 盲进风井	24.2		15.2		15		14.9	
	-500 m 大斜坡道	7.4		7.3		7.3		7.4	
-550 m	-550 m 新副井马头门	56.2		55.9		52		33.9	
	-550 m S1#措施井	30		0.9		14.3		33	
	-550 m 狮岭南盲进风井	5.8	113.1	14.8	90	15	99.7	18.1	103.4
	Sh -550 m 盲副井联道	2.7		0		0		0	
	-550 m 大斜坡道	18.4		18.4		18.4		18.4	
-600 m	-600 m 新副井马头门	53.1		21		36.4		59.4	
	-600 m 大斜坡道	16.4	88	16.4	57.4	16.4	82.8	18.4	86.3
	Sh -600 m 盲副井联道	3.5		0		0		3.5	
	-600 m 回风净化	15		20		30		5	
-650 m	-650 m 新副井马头门	19.4		24.7		30.4		20.9	
	-650 m 大斜坡道	14.2	48.6	14.2	69	14.2	61.3	14.2	60.1
	-650 m S1#措施井	0		20.1		16.7		0	
	-650 m 回风净化	15		10		0		25	
总计			338.9		334.95		329.8		340.6

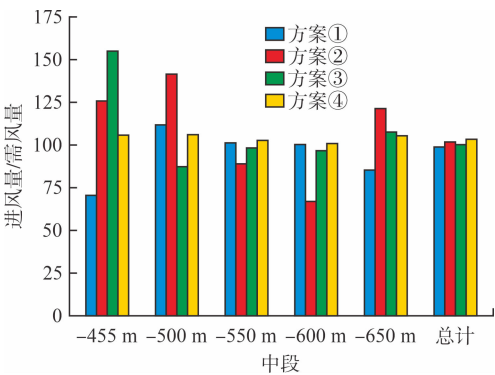


图 5 不同方案各中段进风量/需风量

Fig. 5 Air intake volume/air volume demand at different locations for different schemes

“增加进风措施井 + 回风措施井”方案对于调控中段间风流效果较差,其原因在于未设置多级机站,风流调节方式仍属于被动调节,距离生产对于风量的需求有一定差距。

“增加进、回风措施井 + 设置多级机站”方案具有很强的风流主动调控能力,一方面能够实现不同中段、采场风流的按需分配;另一方面能够增加进入各个中段及分段采场的风速及风量,减少无效风,并且

对未来需风量的变化也具备较强适应能力。

综上,对于凡口铅锌矿深部通风系统的改造初步选择“增加进、回风措施井 + 设置多级机站”的方案。然而该方案的工程量及资金投入均高于其他 3 组方案,可以将该方案分两步来进行:第一步是新增进、回风措施井,首先解决深部盘区进风量不足、有效风量率低的问题,在一定程度上实现风流的按需分配。其进、回风措施井的施工顺序应当根据凡口铅锌矿的实际生产情况进行,如针对采场较多的中段可以优先施工。第二步是设置多级机站,实现对于中段间或者中段内风流的精准调控,使深部盘区的风流能够适应凡口铅锌矿以后的生产变化。

5 结 论

为改善凡口铅锌矿深井通风条件,对深部通风系统风量、风阻、需风量进行了测定与计算,针对其通风系统存在问题提出优化方案并进行了优选,主要结论如下:

1) 凡口铅锌矿深部通风系统总进风量为 330.38 m³/s,总回风量为 345.95 m³/s;进、回风井产生通风阻力大小近总路线通风阻力的 2/3;为满足

井下最多工作人数需风要求,凡口铅锌矿深部总的需风量为 $328.89\text{ m}^3/\text{s}$ 。

2) 矿井通风仿真系统数据表明,深部通风系统外部漏风率为 10.76% ,属于外部漏风较小矿井;矿井深部总风阻为 $0.0123\text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ 。深部通风线路长、通风阻力大、各中段及各工作面之间风量分配不合理问题突出。

3) 凡口铅锌矿深部通风系统的优化改造应选择“增加进、回风措施井+设置多级机站”的方案,能够实现不同中段、采场风流的按需分配,也能够增加进入各个中段及分段采场的风量,适应未来生产需求。

[参 考 文 献]

[1] 李夕兵,周健,王少锋,等. 深部固体资源开采评述与探索[J]. 中国有色金属学报,2017,27(6):1 236 – 1 262.

[2] 徐丹. 新桥硫铁矿中深部资源安全开采技术研究[D]. 长沙:中南大学,2012.

[3] SHI J J,FENG J C. Simulate on support technology of deep mining[J]. Geotechnical and Geological Engineering,2021,39:4 663 – 4 668.

[4] 聂兴信,赵好瑞,付小艳,等. 基于大风流综合净化技术的深井可控循环通风系统研究[J]. 金属矿山,2021(2):201 – 208.

[5] 温勇锋. 基于矿井通风网络的通风系统优化研究[J]. 科技与企业,2013(20):202,204.

[6] 邓志平. 江西宜丰新庄铜铅锌矿通风系统优化改造与安全评价[D]. 衡阳:南华大学,2018.

[7] 吴超. 矿井通风与空气调节[M]. 长沙:中南大学出版社,2008:1 – 2.

[8] 金元甲. 优化矿井通风与安全生产的关系研究[J]. 世界有色金属,2019(5):124,126.

[9] 黄生福,罗资,刘振兵. 大梁子铅锌矿通风系统优化研究与应用[J]. 采矿技术,2020,20(6):13 – 16.

[10] 余友平,段细春,肖志荣. 天河煤矿矿井风量分配浅议[J]. 江西煤炭科技,2012(1):60 – 61.

[11] 林荣平. 平行矿脉多中段开采复杂矿井通风系统的优化[J]. 矿业研究与开发,2019,39(2):92 – 95.

[12] 彭家兰. 金属矿山通风系统优化与管理[D]. 赣州:江西理工大学,2014.

[13] 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.

[14] 李艳昌,张箭,杨雨濛,等. 人员对巷道风速测量影响的数值模拟分析[J]. 金属矿山,2016(1):167 – 170.

[15] 张士岭. 矿井通风阻力测定技术发展现状及趋势[J]. 煤矿安全,2019,50(6):188 – 191.

[16] 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.

[17] 耿守锋. 矿井通风系统三维模型构建与优化设计[J]. 煤矿现代化,2022,31(1):77 – 79.

Study on measurement and 3D simulation optimization
of deep ventilation system in Fankou Lead – Zinc Mine

Luo Zhihua¹, Dai Han², Chen Xin³

- (1. Fankou Lead – Zinc Mine, Zhongjin Lingnan Non-ferrous Metals Co., Ltd.;
2. Chambishi Copper Mine, NFC Africa Mining PLC;
3. School of Resources and Safety Engineering, Central South University)

Abstract: In order to improve the deep ventilation conditions at Fankou Lead – Zinc Mine, the air volume and resistance were measured and the air volume demand was calculated. The total air inlet and return of the deep ventilation system were $330.38\text{ m}^3/\text{s}$ and $345.95\text{ m}^3/\text{s}$, respectively. The total air resistance in the deep panel is $0.0123\text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$. In order to solve the problems of unreasonable distribution of air volume, lengthy ventilation lines, and high resistance among deep levels and working faces, 4 optimization schemes are proposed and simulated in 3D. The results show that the optimization and transformation of the deep ventilation system should choose the scheme of "adding air inlet and return shafts & setting multi-stage ventilators", which can not only realize on-demand air flow in different levels and stopes. It can also increase the air volume that enters each level and sublevel stope to meet future production needs.

Keywords: deep mining; mine ventilation; air volume measurement; air resistance; Ventsim numerical simulation