

大型地下多采区矿山通风系统运行模式研究

程亚清 窦宝星 谢博伦 邹广友

唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司, 河北 唐山 063000

[摘要]此文主要对大型地下矿山多采区通风系统进行研究,根据矿山可能遇到的多种情况(极端天气井下撤人、爆破等)多角度分析,确定井下通风方案。本矿山采用矿用对旋主扇风机,可通过地表上位机随时调节风机频率,实现变频控制。随着矿山地下开采建设与生产的不断推进,节能降耗成为生产的重要指标。大型主通风机作为井下主要能耗设备,更是管控的重中之重。因此,在保证安全的情况下,通过多次通风试验,保证井下作业的情况下,确定井下最低通风频率,在无特殊情况下低频运行,降低能耗,达到降本增效要求。

[关键词]多采区矿山;通风;变频;经济节能

DOI: 10.33142/ec.v8i8.17791

中图分类号: TD724

文献标识码: A

Research on the Operation Mode of Ventilation System in Large Underground Multi Mining Area Mines

CHENG Yaqing, DOU Baoxing, XIE Bolun, ZOU Guangyou

Tangshan Shougang Malanzhuang Iron Mine Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract: This article mainly studies the ventilation system of multiple mining areas in large underground mines. Based on the various situations that the mine may encounter (such as extreme weather underground evacuation, blasting, etc.), a multi angle analysis is conducted to determine the underground ventilation plan. This mine adopts a mining counter rotating main fan, which can adjust the fan frequency at any time through the surface upper computer to achieve variable frequency control. With the continuous advancement of underground mining construction and production, energy-saving and consumption reduction have become important indicators of production. As the main energy consuming equipment underground, large main ventilation fans are of paramount importance for control. Therefore, while ensuring safety, multiple ventilation tests are conducted to determine the minimum ventilation frequency underground and operate at low frequencies without special circumstances, reducing energy consumption and achieving cost reduction and efficiency improvement requirements.

Keywords: multi mining area mines; ventilation; frequency conversion; economic energy-saving

1 矿山情况

唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司是首钢总公司(现为首钢集团有限公司)与唐山市人民政府按现代企业制度模式,本着“优势互补、互惠互利、共同发展”的原则共同投资兴办的国有股份制矿山企业。马兰庄铁矿资源是首钢“战略性矿产资源”组成部分,是首钢钢铁业原料保障基地之一,矿区周边人口密集,经济较发达,主要以农业和采矿业为主,电网已覆盖整个矿区,电力供应充足。2017年12月,以地采工程开工建设为标志,公司开启了二次创业的新序幕,进入了转型发展的新阶段。

随着地下建设的不断进行,地下矿山主脉络网形成,根据不同地理位置及作业面水平进行划分。挂帮矿区域分为东采区、西采区、南采区和218运输水平;流程区域分为-398水平、-578水平、-628水平、-673水平和-741水平。如下图1为唐首马铁矿地采建设脉络图。

2 井下通风方法

2.1 自然通风

自然通风主要依赖自然风压实现矿井内空气的流动。自

然风压的产生源于矿井进、回风井口的标高差以及井口与井下巷道中空气温度的差异。当进风井口的标高低于回风井口,且井下空气温度高于地面空气温度时,会形成向上的自然风压,促使空气从进风井口流入矿井,再从回风井口排出。

优点:无需额外能源消耗,运行成本低。在小型、开采深度较浅的矿井中,有时能满足基本的通风需求。

缺点:通风能力受季节、气候等自然因素影响较大,可靠性和稳定性不足。在夏季或极端天气条件下,通风效果可能大打折扣。

2.2 机械通风

机械通风是目前铁矿井下广泛采用的通风方法。它通过安装通风机,人为地为空气流动提供动力。根据通风机的工作方式不同,机械通风可分为抽出式、压入式和混合式三种。

2.2.1 抽出式通风

抽出式通风将通风机安装在回风井口,通过通风机的运转,将矿井内的污浊空气抽出,使矿井内形成负压状态,新鲜空气则在大气压力的作用下从进风井口流入。

优点：通风效率高，能有效排除矿井内的有害气体和粉尘。适用于大型矿井或开采范围广的矿井。

缺点：对通风机的性能要求较高，设备投资和维护成本较高。

2.2.2 压入式通风

压入式通风将通风机安装在进风井口，通过通风机向矿井内压入新鲜空气，使矿井内空气压力高于大气压力，从而将污浊空气从回风井口排出。

优点：设备安装相对简单，初期投资较低。在一些新建的小型矿井中，能满足基本的通风需求。

缺点：风流的有效射程较短，容易在井下形成通风死角，导致部分区域通风不良。

2.2.3 混合式通风

混合式通风结合了抽出式和压入式通风的优点。在进风井口安装压入式通风机，向矿井内压入新鲜空气；同时在回风井口安装抽出式通风机，将污浊空气抽出。

优点：能显著提高矿井的通风效率，确保各个作业区域的空气质量。适用于开采范围广、通风线路长的矿井。

缺点：系统相对复杂，设备投资和维护成本较高。对通风机的协同工作要求较高，操作不当可能影响通风效果。

2.3 唐首马铁矿通风概述

唐首马铁矿参考自身实际情况采用抽出式通风，采用对角双翼式通风系统，总的通风网络为进风井、副井及斜坡道进风，西风井、东风井和主井回风，设置东回风井、西回风井、进风井三个大型通风机，东风井井口标高为+80m，东风井井底标高为：-218m；西风井井口标高为+220m，西风井井底标高为-218m；进风井井口标高为+160m，进风井井底标高为-398m，通过-140水平东回风井和西回风井大型主通风机和采区巷道局部通风机的运行，保证-218水平及以上采区通风系统的正常，主通风机型号为FKCDZNo25/2x280KW。在主井引风巷设置主井引风机，-398水平、-578水平、-628水平主井方向设置辅扇，通过主井引风机与大型辅扇运行，保证-218水平到-741水平的通风正常，主井引风机型号为FKZNo.17/75kW，辅扇型号为FKZNo.17/30。下表1为唐首马矿通风机规格型号及使用位置。

表1 唐首马矿通风机规格型号及使用位置

序号	通风机名称	规格型号	使用位置	序号	通风机名称	规格型号	使用位置
1	主通风机	FKCDZNo25/2×280kW	-140m 西风井风机硐室	33	局部通风机	JK58-1No4.5	-673m 主井
2	主通风机	FKCDZNo25/2×280kW	-140m 西风井风机硐室	34	局部通风机	JK58-1No4.5	-673m 主井
3	主通风机	FKCDZNo.25/2×280kW	-140m 东风井风机硐室	35	局部通风机	FBD6.0	地表
4	主通风机	FKCDZNo.25/2×280kW	-140m 东风井风机硐室	36	局部通风机	FBD6.0	地表
5	主井引风机	FKZNo.17/75kW	主井引风巷	37	局部通风机	FBD6.3	-95m 东采区斜坡道
6	主通风机	FKZNo.17/30	-398m 主井	38	局部通风机	FBD6.3	-110m 东采区斜坡道
7	主通风机	FKZNo.17/30	-578m 主井	39	局部通风机	FBD6.3	-125m 东采区斜坡道
8	主通风机	FKZNo.17/30	-628m 主井	40	局部通风机	FBD6.3	-95m 南采区斜坡道
9	局部通风机	FBD5.6	-80m n600-1	41	局部通风机	FBD6.3	-110m 西采区斜坡道
10	局部通风机	FBD5.6	-80m5 穿	42	局部通风机	FBD6.3	-125m 西采区斜坡道
11	局部通风机	FBD5.6	-80m2.5 穿	43	局部通风机	FBD6.3	地表
12	局部通风机	FBD5.6	东帮-65m10 穿	44	局部通风机	FBD6.3	地表
13	局部通风机	FBD5.6	-65m5 穿	45	局部通风机	FBD6.3	地表
14	局部通风机	FBD6.0	地表	46	局部通风机	FKD5.6	-95mN400-1 风井
15	局部通风机	FBD6.0	-65 米 4 穿	47	局部通风机	FKD7.1	-95m 西采区联络道
16	局部通风机	FBD6.0	-80m10 穿	48	局部通风机	JK58-1No4.5	地表
17	局部通风机	FBD6.0	-80m6 穿	49	局部通风机	FBD5.6	-218mS500 穿
18	局部通风机	FBD6.3	-65m6 穿	50	局部通风机	FBD5.6	-218mS400 穿
19	局部通风机	FBD6.3	-80m1 穿	51	局部通风机	FBD6.3	-218mS300 穿
20	局部通风机	FBD6.3	-65m7 穿	52	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
21	局部通风机	FBD6.3	-50m5 穿	53	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
22	局部通风机	FBD6.3	-50m3 穿	54	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
23	局部通风机	FBD6.3	上沿-65m 巷道	55	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
24	局部通风机	FBD6.3	-80m11 穿	56	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
25	局部通风机	FBD6.3	-50m4 穿	57	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库

序号	通风机名称	规格型号	使用位置	序号	通风机名称	规格型号	使用位置
26	局部通风机	JK58-1No4.5	-80m1 穿	58	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
27	局部通风机	JK58-1No4.5	地表	59	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
28	局部通风机	JK58-1No4.5	地表	60	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
29	局部通风机	FBD6.0	-673m 电梯井口	61	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
30	局部通风机	FBD6.3	-741 粉矿仓通道	62	局部通风机	FB5.0	-140 爆破器材库
31	局部通风机	JK58-1No4.5	-578m 变电所	63	局部通风机	FBC5.6	-140 爆破器材库
32	局部通风机	JK58-1No4.5	地表	64	局部通风机	FBC5.6	-140 爆破器材库

3 变频运行实现风机低频运行

动力作业区围绕公司重点工作计划,以服务矿石、矿粉生产大局为中心,坚持“极低成本运行”原则,优化井下通风组织模式,通过调节主通风机频率,进行低频运行,实现通风经济运行。

3.1 爆破后风机运行模式

调整爆破后风机运行模式,通过对井下爆破后排烟时间进行分析,发现掘进爆破的炸药用量较小、产生的有毒有害气体较少,将主风机升频时间由掘进响炮时升频改为回采响炮时升频,每天高频运行时间由 3.7h 降低为 3.2h,进一步降低通风能耗。

优化主风机升频模式进一步降低通风能耗,有计划地组织安排回采爆破点位。结合生产现场实际情况,技术专业从月计划上强化回采进路的中深孔组织,增加三个采区的可爆破工作面个数,分采区轮换组织回采爆破,实现主风机每天的轮换升频运行。如组织东、西采区回采爆破,只需要调节东风井频率,组织南采区回采爆破,只需要调节西风井频率,避免了风机同时高频运行,造成电能损耗。

3.2 加装局部通风设备设施

增加通风设备设施,在沙河山西采区-80mN400-2 风井联络道处安装辅扇,并在-50m、-65m、-80m 水平 N400-2 溜井处安装风帘防止溜井漏风。组织对主通风机降频进行测试实验,非爆破排烟期间西风井主风机由 35Hz 逐步降到 26Hz 运行,东风井主风机由 45Hz 降到 25Hz 运行。-578m 辅扇由 25Hz 逐步降到 8Hz, -628m 辅扇由 25Hz 逐步停止运行。

3.3 加强岗位专业素质培训与各岗位信息传递

强化信息反馈能力,建立采场爆破信息群,提高信息传递效率,降低爆破前升频操作时间;强化动力调度升频管控,杜绝出现某一点位气体不合格将主风机升频操作,需要确认是否为车辆设备运行过程中产生的气体短时间超标;作业区传感器安装人员与通风专业,结合现场生产环境,对传感器安装位置进行优化,减少不必要传感器安装,减少无效报警升频主风机时间。

4 唐首马矿主通风机运行方式

为确保井下通风系统的稳定运行,提高爆破后排烟效率,并适应不同季节的气象条件,现制定西回风井和东回

风井在不同工况下的运行频率调整方案,由于爆破后会产生大量烟尘和有害气体,需提高主通风机运行频率以加速排烟。调整方案根据季节变化制定。

4.1 爆破后风机调频

当井下需要进行爆破前,有爆破安全员提前在爆破反馈群中进行反馈,动力集控工接到通知后,在爆破前 10 分钟,根据爆破点位对主通风机进行调频,当对南采区进行爆破时,需调高西回风井主通风机运行频率;当对西采区和东采区进行爆破时,需提高东回风井风机运行频率,爆破前需根据爆破点位启动爆破位置局部通风机辅助主通风机进行通风。爆破后动力集控工观察梅安森监测监控系统,保证一氧化碳传感器及二氧化氮传感器无报警,一氧化碳为 0~24ppm,二氧化氮为 0~2.5ppm,保证响炮区域气体合格后,方可将对应区域主通风机进行降频。

4.2 夏季运行模式和冬季运行模式

夏季:常规运行频率在无特殊情况下(如正常采矿作业、无爆破排烟需求),主通风机按以下频率运行:西回风井运行频率为 26Hz,东回风井运行频率为 25Hz。当采矿作业需要进行排烟工程时:夏季时,响炮排烟时,西回风井运行频率为 40Hz,东回风井运行频率为 35Hz。

冬季:常规运行频率在无特殊情况下(如正常采矿作业、无爆破排烟需求),主通风机按以下频率运行:西回风井运行频率为 23Hz,东回风井运行频率为 25Hz。当采矿作业需要进行排烟工程时:冬季时,响炮排烟时,西回风井运行频率为 35Hz,东回风井运行频率为 40Hz。

4.3 井下撤人情况下风机运行模式

在人员撤离井下期间,传统主风机持续运转的运行模式,会导致电能资源的严重浪费。主风机作为矿山能源消耗的核心设备在非生产时段的空转运行,造成了能源利用效率的极大损耗。以保障井下作业通风安全为前提,制定主风机在井下撤人期间的经济运行方案。遇有极端天气执行井下人员撤离命令时,在井下人员全部撤离井下后,方可启动主风机经济运行模式。

运行模式为当生产技术部调度接收到总经理下达井下撤人指令,待人员全部撤离井下后,由动力调度先对矿业平台传感器进行报备,并将东、西风井主风机全部调整

为 10Hz 运行。人员恢复入井前 20min，生产技术部调度通知动力调度恢复东风井主风机 25Hz，西风井 26Hz 运行模式。

4.4 调整原则

4.4.1 季节性适应

夏季高温时，西回风井承担更大风量，防止烟尘滞留。冬季低温时，东回风井提高频率，弥补风压不足情况。爆破后，主通风机应在 2~3h 内维持高频率运行，确保烟尘完全排出。通过观察梅安森系统有毒有害气体数值，调整风机运行频率，排烟完成后，逐步降低至常规频率。

4.4.2 安全监测

调整频率后，需实时监测井下 CO 浓度、风速、风压，确保通风效果达标。若发现局部通风不足导致有毒有害气体堆积，可临时调整东、西回风井频率比例；为保证井下作业人员安全，进入东、西风井风机硐室 200m 前，作业人员需联系动力集控工将主风机降频至 15Hz 以下，并做好汇报工作；当主通风机发生故障时，需动力集控工立即联系公司总调，组织有影响区域进行井下撤人。

5 高频运行与低频运行电量对比

东、西风井主通风机承担着马矿向井下输送新鲜空气、稀释有害气体和调节井下环境的重要任务。然而，高频运行的主通风机系统普遍存在“大马拉小车”的痛点，即主通风机长期以 45Hz 转速运行，不根据矿井实际需求动态调节风量，不仅造成巨大的能源浪费，机械损耗与维护成本也随之攀升。因此在保障安全生产的前提下，通过降低主通风机运行频率可以能耗效率提升至全新高度，以下为

主通风机高频运行与低频运行对比情况。

5.1 主通风机全天高频运行与低频运行电量对比。

根据本次研究需要，我对全天高频运行时运行费用和节能低频运行时运行费用分别进行统计，主通风机高频运行模式为东回风井和西回风井全天满负荷 45Hz 运行风机频率无变化，主通风机低频运行行为东回风井 25Hz 和西回风井 26Hz 低频运行，响炮后，东回风井 35Hz 和西回风井 40Hz，根据炮烟排出具体情况进行调节，保证井下气体正常后恢复东回风井 25Hz 和西回风井 26Hz 低频运行，现取气体排烟 3 小时为例。同时峰谷期不同，电费不同，本月尖峰期每度电 1.0683 元，峰期每度电 0.9179 元，平期每度电 0.608 元，谷期每度电 0.2982 元，对比计算得出下表 2 东、西风井各分段运行电量及电费。

5.2 主通风机 2024 年与 2025 年通风成本对比

对主通风机 2024 年和 2025 年每月运行电量及运行费用 4 为 2025 年度 1~6 月每月所用电量。

5.3 总结

通过对比高频运行与低频运行时每日电量与电费可明显看出当高频运行时，东、西回风井每日电费总和为 16405.548 元，低频运行时，东、西回风井每日电费总和为 5716.364 元，低频运行仅为高频运行电费的 34.8% 左右，无特殊情况下，每日节省约 10000 元，对比 2024 年度及 2025 年度每月用电量，可以明显看出采用低频运行模式用电量明显比高频运行时有明显降低趋势，2025 年度用电量消耗明显降低，企业生产经营成本显著下降，有效提高了企业的经济效益。

表 2 东、西风井各分段运行电量及电费

序号	运行模式	日电量总和 (度)	尖峰期电量 (度)	峰期电量 (度)	平期电量 (度)	谷期电量 (度)	电量总和 (度)	东、西风井日电费 (元)
1	西风井高频运行	14560	1580	2880	5000	5080	26560	16405.548
2	东风井高频运行	12000	1480	2540	3980	3980		
3	西风井经济运行	4580	1020	1080	1260	1200	8140	5716.364
4	东风井经济运行	3560	780	920	920	920		

表 3 为 2024 年度每月所用电量

主风机电量												
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
东风井	251910	275498	274490	233901	344176	464374	292006	258227	261654	230406	221805	143382
西风井	139485	147661	213136	266874	379770	465181	191094	178416	187354	156733	130494	96298
总	391395	423159	487626	500775	723946	929555	483100	436643	449008	387139	352299	239680
东风井变化		23588	-1008	-40589	110275	120198	-172368	-33779	3427	-31248	-8601	-78423
		9.36%	-0.37%	-14.79%	47.15%	34.92%	-37.12%	-11.57%	1.33%	-11.94%	-3.73%	-35.36%
西风井变化		8176	65475	53738	112896	85411	-274087	-12678	8938	-30621	-26239	-34196
		5.86%	44.34%	25.21%	42.30%	22.49%	-58.92%	-6.63%	5.01%	-16.34%	-16.74%	-26.21%
总		31764	64467	13149	223171	205609	-446455	-46457	12365	-61869	-34840	-112619
		8.12%	15.23%	2.70%	44.57%	28.40%	-48.03%	-9.62%	2.83%	-13.78%	-9.00%	-31.97%

表 4 为 2025 年度 1~6 月每月用电量

主风机风量						
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
东风井	115133	114433	103576.8	108727	96305	116905
西风井	92236.5	90743	95460	142923	124032.6	140162.4
总	207369.5	205176	199036.8	251650	220337.6	257067.4
东风井变化		-700	-10856.2	5150.2	-12422	20600
		-0.61%	-9.49%	4.97%	-11.42%	21.39%
西风井变化		-1493.5	4717	47463	-18890.4	16129.8
		-1.62%	5.20%	49.72%	-13.22%	13.00%
总		-2193.5	-6139.2	52613.2	-31312.4	36729.8
		-1.06%	-2.99%	26.43%	-12.44%	16.67%

6 结论

（1）非特殊情况下低频经济运行模式可以满足井下用风需要，介绍了多种特殊情况下风机频率调节情况。

（2）对比低频运行模式和高频运行模式，总结计算出用电量的不同及差距，采用低频运行模式，大大降低企业生产成本，有效提高了企业的经济效益。

[参考文献]

[1]王从陆,吴超.矿井通风及其系统可靠性[M].北京:化学

工业出版社,2007.

[2]王海宁.矿井风流流动与控制[M].北京:冶金工业出版社,2007.

[3]王英敏.矿井通风与防尘[M].北京:冶金工业出版社,1993.

作者简介：程亚清（1999.5—），男，华北理工大学，本科，采矿工程专业，唐山首钢马兰庄铁矿有限责任公司，通风专业技术管理，所在职务 2 年，矿山工程助理工程师。