

高原矿井井下环境参数测定及改善方案

徐阳^{1*}, 何淼¹, 黄辉¹, 甘黎嘉¹, 段朝辉²

(1.重庆安全技术职业学院,重庆 404020;2.义海能源有限责任公司 大煤沟煤矿,青海 海西 817000)

摘要:针对高原矿井低压缺氧环境,以大煤沟煤矿井下环境为研究对象,对井下环境参数及工人作业感受进行测定和分析.测定内容包括大气压强、氧含量、温度、工人肺通气量等.结果表明:井下部分作业点温度偏低,空气氧含量约为 0.188 kg/m^3 ,仅为标准状态下的 63.1%;井下大气压强在抽出式通风条件下比自然状态约低 722.9 Pa.为改善工作条件,提出了井口风流加热、改变通风方式、井下集中与局部弥散补氧等建议和思路.

关键词:高原矿井;井下环境;测定;低压缺氧;低温

中图分类号:TD727 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)02-0049-06

On the Measurement and Improvement of the Underground Environment Parameters of the Plateau Mine

Xu Yang¹, He Miao¹, Huang Hui¹, Gan Lijia¹, Duan Chaohui²

(1. Chongqing Vocational Institute of Safety & Technology, Chongqing 404020, China;

2. Dameigou Coal Mine of Yihai Energy Co., Ltd., Haixi 817000, China)

Abstract: According to the low-pressure and anoxic environment of the plateau coal mine, in order to clarify the actual problems of the underground environment and improve the working conditions of Dameigou Coal Mine, the underground environment parameters and workers' working feelings are measured and analyzed. The content of measurement includes atmospheric pressure, oxygen content, temperature, pulmonary ventilation volume of workers, etc. Results show that the temperature of some underground operation points is low, and the air oxygen content is about 0.188 kg/m^3 , only 63.1% of the standard state. Under the condition of exhaust ventilation, the underground air pressure is about 722.9 Pa lower than the natural state. Some suggestions are put forward, such as heating the air flow at the wellhead, changing the ventilation mode, concentrated oxygen supplement and local dispersion oxygen supplement in the underground of coal mine.

Keywords: plateau coal mine; underground environment; determination; hypobaric hypoxia; low temperature

煤炭资源开采强度的加大使得东部地区矿山资源日渐枯竭,国内很多矿山企业将目光纷纷转向西部.我国西部高原地区矿产资源丰富,这些资源的开发可以更好地促进西部经济建设,更能够缓解我国矿产资源匮乏的局面.但是高原地区空气稀薄、大气压力低、气候寒冷、干燥,高原气体性质大幅度变化,使得高原矿井与平原地区普通矿井的环境条件相差较大.人员、设备出现严重的降效现象,特别是人员在高原环境下工作,不仅劳动效率大幅度下降,而且严重影响身体健康.高原低氧环境对人的影响主要体现在对人体呼吸系统、中枢神经系统、消化系统等方面,容易引起脑组织代谢障碍、颅内压增大、呼吸和心跳异常、肠胃功能紊乱、消化腺分泌减少等问题.如何改善高原矿井作业环境条件,保证人员健康安全,成为高原矿井安

全生产的一大问题。

崔延红^[1]等通过分析高原低气压环境对矿井安全生产的影响,提出了高原矿井适宜生产环境指标,并提出了符合娘姆特煤矿实际的补氧系统设计.李国清^[2]等以高原某金属矿为研究对象,进行了井下环境数据测定,分析了该矿山井下氧气分布规律,并提出矿井通风系统的优化建议.目前关于高原病学及高原保健问题的研究相对广泛,研究成果(如发病机制、防治措施和相关药物等)对解决高原矿井应急医疗问题起到技术指导作用,如董旭、胡松涛^[3,4]等学者分析了高原低氧环境对人体心肺结构等功能及人体舒适度的影响.张继业、张宝勇、康建东^[5-7]等学者针对高寒环境,提出了井筒防冻加热系统设计思路.基于高原矿井井下环境改善的研究,对保证高原矿井安全、高效生产,保障员工生命健康安全具有重要的理论和应用意义.

1 矿井概况

大煤沟矿位于柴达木盆地北缘东部、大肯德克山东南,位于青海海西大柴旦,海拔+3 500 m左右.矿区年平均气温 1.6 ℃,最高气温 29.6 ℃,最低气温 -28.5 ℃,平均温差 30.8 ℃;年降水量 80 mm,最高 96.1 mm,降水时间集中在 6 月~8 月.

矿井采用三条斜井双翼片盘开拓,单水平上下山开采.副斜井作为矿井进风井和安全出口,担负全矿井升降人员和设备、提矸下料等任务.矿井现有 2 个进风井(主井和副井),一个回风井(风井).通风方式为中央并列式,通风方法为抽出式.矿井总进风量为 2 090 m³/min,总排风量达 2 198 m³/min,矿井有效风量为 88.8%,矿井总等积孔为 2.55 m².

2 井下环境参数测定及分析

矿山所在区域高寒缺氧,干旱少雨,气候恶劣,矿区内大部分职工来自平原地区,较难适应高原环境下的连续工作.为改善矿井工人工作环境,保证矿井安全生产,对井下各作业点的氧含量、温湿度、大气压变化等环境参数进行测定分析,掌握其分布规律.

2.1 测定方案

结合前期文献分析及矿山工作实际,制定具体测定方案.选择井下 F211040, F211050 关键作业点,规划布置(测面布置见图 1),利用精密气压计、氧浓度测试仪、干湿球温度计等设备于测点处每 1 h 检测一次,记录井下主要作业时间内环境参数并分析.测定计划如表 1 所示.



图 1 测面布置

表 1 测定计划表

测定地点	测定内容	使用仪器	人员分工
F211040 工作面进风巷、F211040 工作面、F211040 工作面回风巷、F211050 工作面回风巷、F211050 工作面、F211050 工作面进风巷	大气压力 氧气体积分数 湿度 温度	高原空盒气压表(DYM3-1) 氧气检测仪(MS400-02) 机械通风干湿表(DHM2)	研究人员联合矿山当班人员,分3组,每组测定8h

2.2 测定数据分析

结合测定数据,将每条巷道测点数值取平均,绘制参数变化图,图 2~图 6 为具有代表性的趋势图.

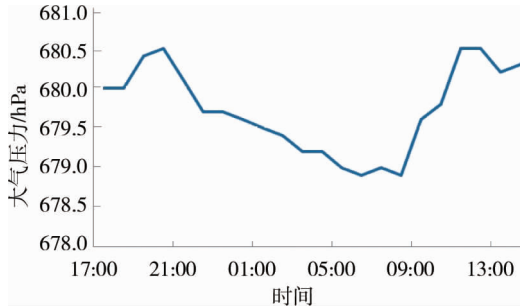


图 2 F211050 工作面大气压力变化

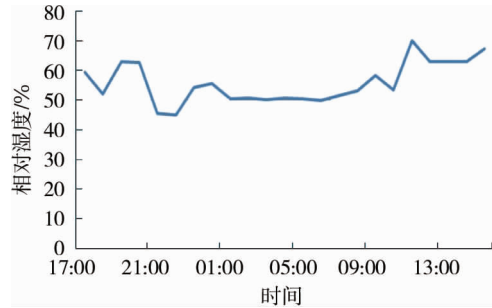


图 3 F211050 工作面进风巷相对湿度变化

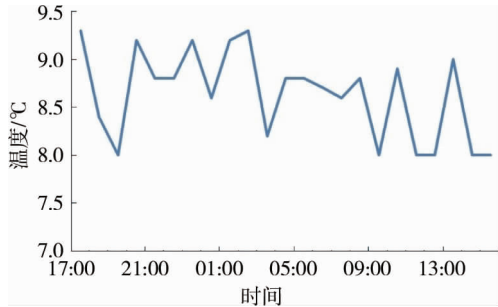


图 4 F211040 工作面进风巷温度变化

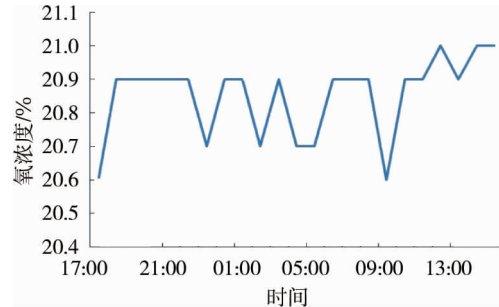


图 5 F211040 工作面氧浓度变化

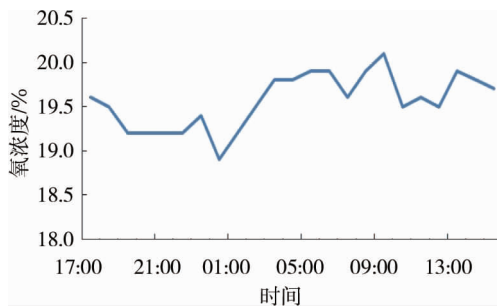


图 6 F211050 工作面回风巷氧浓度变化

测定结果表明,井下全天大气压力压差变化在 150~200 Pa,相比地面来说,整体变化幅度较小,但大气压总体偏低.巷道内相对湿度约 50%,整体较适宜.井下温度整体偏低,F211040 工作面进风巷平均温度约为 8.5 °C,部分测点最低值为 5 °C,远低于井下人体工作适宜温度(15~20 °C).F₂11040 工作面及 F₂11050 工作面回风巷氧浓度要比相应进风巷低一个百分点左右,回风巷氧浓度(体积分数)在 19.8%左右,进风巷氧浓度(体积分数)在 20.8%左右,原因在于工人们在劳动过程中会消耗部分氧气,使得回风巷中的氧浓度降低.

2.3 井下氧含量分析

经测定,井下氧气体积分数与正常值相比差异不大,但由于高原地区空气稀薄,同等体积分数下的氧气质量必然减少,势必影响工人正常用氧量.

2.3.1 大煤沟矿区空气密度

理想气体状态方程为

$$PV = \frac{m}{M}R_0T. \tag{1}$$

式中: P 为大气压强,Pa; V 为气体体积, m^3 ; m 为气体质量,g; M 为气体的摩尔质量, $M=29$ g/mol; R_0 为通用气体常数, $R_0=8.314$ J/(mol·K); T 为空气的绝对温度,K.

由式(1)得空气密度 ρ 为

$$\rho = \frac{PM}{R_0T} \tag{2}$$

由于 T, M, R_0 不变,所以 $\frac{\rho}{P} = \text{常数}$.即

$$\frac{\rho}{P} = \frac{\rho_0}{P_0} \quad (3)$$

根据现场实测数据,标准状态下 $P_0 = 101\ 325\ \text{Pa}$, $\rho_0 = 1.293\ \text{kg/m}^3$,大煤沟矿区大气压强 $P = 63\ 624\ \text{Pa}$,根据式(3)得出大煤沟矿区空气密度为 $0.811\ 9\ \text{kg/m}^3$.

2.3.2 大煤沟矿区空气氧含量

氧含量为空气密度与氧气质量分数的乘积.根据空气的平均相对分子质量(29)和氧气相对分子质量(32)计算氧气的质量分数约为 23.1%,大煤沟矿所在海拔的空气密度约为 $0.811\ 9\ \text{kg/m}^3$,得出大煤沟矿区空气氧含量约为 $0.188\ \text{kg/m}^3$.标准状态下空气中的氧气含量为 $0.298\ \text{kg/m}^3$,可见大煤沟矿区空气氧含量远低于标准值,仅为标准状态下的 63.1%,人员长期在氧含量不足的环境下工作,必定会降低工作效率,影响身体健康.

2.4 井下作业感受调查及肺通气量测定

2.4.1 井下作业感受调查

为了解一线工人在井下低压低氧状态下的工作感受,制定调查问卷(见表2).

表2 大煤沟矿井下人员作业感受调查

一、基本情况						
年龄			身高		体重	
所在队别	采煤队		从事工种		具体班次	早班 <input type="checkbox"/>
	掘进队			中班 <input type="checkbox"/>		
	通修队			夜班 <input type="checkbox"/>		
	运输队					
	机电队					
二、作业感受						
作业时间	无特殊感受	稍微气喘	气喘	气喘严重	其他感受	
<2小时						
<3小时						
<4小时						
<5小时						
<6小时						
<7小时						
7小时以上						
备注(对井下作业环境改善的建议、想法):						

分别在掘进队、运输队、通修队和采煤队四个队中随机抽取 30 名工人作为调查对象进行问卷调查分析.调查结果为掘进队 30 名工人中,有 24 名工人在工作达 7 h 后出现气喘严重的现象;运输队 30 名工人中,有 15 名工人在工作达 5 h 内出现气喘现象,有 10 名工人在工作超过 5 h 后出现气喘严重现象;通修队 30 名工人中,有 18 名工人在工作 5 h 内出现气喘现象,有 16 名人在工作 5 h 后气喘严重,同时也有 4 名工人在工作 2 h 后即出现气喘严重现象;采煤队 30 名工人中,有 16 名工人在工作不到 2 h 就出现气喘现象,21 名工人工作达 4 h 以上出现气喘严重现象.调查结果表明,多数工人井下作业时有明显缺氧感受,气喘严重.

2.4.2 井下工人肺通气量测定及分析

为衡量大煤沟矿井下工人的劳动强度适宜度,采用整群抽样法^[3],对井下工人肺通气量情况进行了实测,测试仪器为 FT-01 型肺通气量仪,具体测定结果见表 3.

由测试结果分析可得

1)各工种人员的肺通气量比平原地区高.井下肺通气量较小的为绞车司机和技术员(因其体力劳动相对较小),其平均流量达到 $15.79\ \text{L/min}$,远远超出平原地区成人的 $6\sim 8\ \text{L/min}$ ^[8].

2)不同工种人员的肺通气量差异明显.劳动强度低的工种人员肺通气量低,如绞车司机和技术员;劳

动强度高的工种人员肺通气量高,如采煤工、架子工和掘进工。

3)相对于平原地区,高原地区同工种作业人员需氧量较大,又因高原地区氧气质量分数降低,实际供氧量达不到氧需的要求,工人劳动强度变相增大,因此矿山在进行劳动组织设计时要将供氧问题纳入考虑。

表3 大煤沟煤矿各工种肺通气量数据(均值)

测点	工种	工龄/a	平均流量/(L/min)
F ₁ 11020 上巷	绞车司机	14	14.71
F ₁ 11020 上巷	掘进工	5	36.47
F ₂ 11050 工作面	泵工	2	25.13
F ₂ 11050 工作面	电工	2	17.44
F ₂ 11050 工作面	机修工	29	27.15
F ₂ 11050 工作面	采煤工	3	38.49
F ₂ 11050 工作面	架子工	6	36.85
F ₂ 11050 工作面	采煤机司机	14	25.62
候车室	技术员	2	16.86

3 井下环境改善方案

为改善大煤沟煤矿井下低温、低压、低氧含量的环境状况,创建适宜的煤矿井下工作环境,提出以下优化建议。

3.1 井口风流加热

查阅历年气象资料发现,近年来该矿区温度每年4月~10月相对较高,11月至次年2月较低,平均温度在5℃左右,最低气温可达-30℃左右。为保证冬季正常作业,依据《煤矿安全规程》要求,需对风流进行加热处理。可在进风井附近设置专用空气加热室,采用电炉加热或利用低浓度瓦斯蓄热氧化加热技术,对进风流进行加热处理,保证井下各作业点温度适宜^[5-7]。该方案在实施时要考虑温度变化对风速和风量的影响,定期调节风量风速,保证用风合理性;还需考虑温度沿风流方向衰减的现实问题,在确定初始加热温度时要综合考虑,结合现场温度实测,合理调节,必要时可采取多级多点加热的方法。

3.2 改变通风方式

矿井目前通风方法是抽出式通风,该方式为负压通风,加剧了井下低压问题。高原地区大气压强计算公式为

$$P = 101\,325 \left(1 - \frac{h}{44\,329} \right)^{5.005\,876} \quad (4)$$

式中: P 为大气压强,Pa; h 为海拔标高,m。

根据式(4)计算各测点自然状态下的大气压,结合井下实测大气压数据,对比发现井下抽出式通风状态下大气压强比自然状态下平均约低723 Pa,详见表4。

表4 井下抽出式通风与自然状态大气压对比

地点	测点编号	实测气压/Pa	空气密度/(kg/m ³)	自然状态气压/Pa	海拔标高/m
副井	5 [#]	67 698.3	0.831 55	68 413.1	3 368.9
主井	8 [#]	67 708.5	0.843 49	68 396.4	3 350.9
联络巷	10 [#]	67 948.5	0.832 77	68 626.2	3 323.5
辅助运输巷	15 [#]	68 248.4	0.847 73	68 922.9	3 288.1
延伸皮带巷	24 [#]	68 608.1	0.846 96	69 342.2	3 238.3
工作面	17 [#]	67 868.0	0.816 28	68 558.5	3 331.6
回风巷	18 [#]	67 718.3	0.814 09	68 482.8	3 340.6
回风井	20 [#]	67 379.2	0.830 68	68 170.3	3 378.1
运输巷	23 [#]	68 598.3	0.852 78	69 384.3	3 233.3
联络巷	22 [#]	68 527.7	0.845 48	69 281.3	3 245.5
回风巷	19 [#]	67 868.2	0.837 35	68 645.4	3 321.1

从表4数据看出,在抽出式通风影响下,井下低压状态不仅没有改善,反而更加严重,井下的氧分压更低.建议矿山综合考虑各项因素,优先选择压入式通风^[9,10].同时可以合理设置进、回风段风阻,减小用风段阻力,提高回风段阻力,增加用风段大气压力,辅助解决低压问题^[2].

3.3 井下集中与局部弥散补氧

为应对井下员工因缺氧产生的突发性事故,及时提供救助条件,可在地面建立制氧系统,通过氧气管网送至井下各补氧地点.在井底车场、避难硐室等固定场所设置集中补氧点,当工人出现思维紊乱、头晕呕吐等缺氧状况时能被及时送至集中补氧点进行吸氧恢复.在工作面、掘进面等作业人员集中场所(工作强度大、需氧量大)设置弥散式补氧^[11-14],即在上述地点利用输氧管网适当补充氧气,提高局部作业区域的氧含量,满足井下高强度作业工人的需氧量(弥散补氧示意图见图7).弥散式补氧的主要目的在于保证正常生产时多人用氧需求.由于输氧管网中存在高压、高浓度氧气,氧化性极强,需加强对氧气管网的风险识别和隐患排查,考虑掘进面、工作面环境复杂和多变性,要实时监测补氧点的氧含量,装设氧浓度监测报警和超标连锁切断装置,以保证补氧的安全性.在具体实施时,要结合矿山实际,综合考虑设备的高原适应性和安全性,以及方案的经济合理性等.

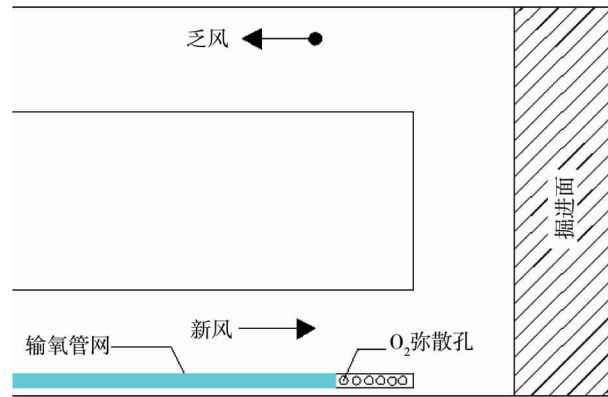


图7 局部弥散补氧

4 结论

- 1) 大煤沟地区井下环境温度整体偏低,应采用井口风流加热的方法调节井下温度.
- 2) 矿井在抽出式通风状态下,井下大气压比自然状态下平均约低 722.9 Pa,加剧了井下低压缺氧问题,应将通风方式调整为压入式通风.
- 3) 大煤沟矿区空气氧含量约为 0.188 kg/m^3 ,仅为标准状态下的 63.1%,井下员工多数受到低压缺氧环境影响.井下应采用集中与局部弥散补氧相结合的补氧方案.

参考文献:

- [1] 崔延红.高原低气压环境对矿井安全生产的影响与对策研究[D].青岛:山东科技大学,2010.
- [2] 李国清,吴晓君,胡乃联,等.高原矿井氧气含量检测与分布规律研究[J].有色金属(矿山部分),2016,68(1):1-5.
- [3] 董旭,申广浩,谢康宁,等.高原低压低氧环境下富氧干预对心肺功能影响的研究进展[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(11):876-878.
- [4] 胡松涛,王东.青藏高原气候对室内环境品质的影响及研究意义[C]//全国暖通空调制冷2004年学术年会资料摘要集(1).2004.
- [5] 张继业.某高寒高海拔铜矿井口防冻加热系统设计[J].世界有色金属,2018(20):49-50.
- [6] 张宝勇.采油井口电加热技术的研究及应用[J].科技经济导刊,2018,26(12):30-31.
- [7] 康建东.低浓度瓦斯蓄热氧化井筒加热技术试验研究[J].煤炭科学技术,2018,46(6):211-216.
- [8] 赵鸥.平原自行车队高原训练强度监控的研究[D].北京:北京体育大学,2000.
- [9] 郑良忠.高原矿井不同时期通风方式解析[J].世界有色金属,2019(15):227.
- [10] 樊庆强,张洪伟.高原矿井不同时期通风方式研究[J].山东煤炭科技,2014(5):61-63.
- [11] 崔延红,辛嵩,尹玉鹏.高原矿井补氧方式研究[J].煤矿安全,2010,41(2):49-52.
- [12] 魏晓斌,杨学光,张军凯,等.高原长途运输车辆增氧设备设计[J].液压与气动,2014(9):85-88.
- [13] 何磊.高原矿山独头巷道增氧通风数值模拟研究[J].现代矿业,2011,27(2):37-40.
- [14] 杨鹏,董宪伟,蔡嗣经,等.高原非煤矿山增氧技术可行性分析[C]//中国金属学会采矿分会、中国矿业杂志社.2010全国采矿科学技术高峰论坛论文集.北京:中国矿业杂志社,2010:135-137.