

高温采煤工作面集中供冷和分段供冷方式对比分析

隋秀华, 曾现伟, 黄云前, 王凤娇, 曹冬冬

(山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要: 为了研究采煤工作面空冷器供冷方式对工作面温度的影响, 基于能量守恒定律及热传递原理, 采用有限元分析软件和现场试验的方法对采煤工作面集中供冷及分段供冷的方式进行研究。发现2种供冷方式均对采煤工作面的温度起到降温作用; 实例中分段供冷方式采煤工作面平均温度为27.5℃, 比采用集中供冷方式采煤工作面平均温度低0.3℃; 通过计算方差, 分段供冷方式采煤工作面方差仅为0.079, 集中供冷方式采煤工作面温度方差为0.585。结果表明: 分段供冷方式能够给采煤工作面提供更低、更稳定的温度, 能够保证整个采煤工作面具有更好的工作温度环境。

关键词: 空冷器; 集中供冷; 分段供冷; 高温热害

中图分类号: TD323

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2016)12-0091-05

Comparison analysis on centralized cooling and sectional cooling methods of high temperature coal mining face

Sui Xiuhua, Zeng Xianwei, Huang Yunqian, Wang Fengjiao, Cao Dongdong

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: In order to study the cooling method of the air cooler in the coal mining face affected to the temperature of the coal mining face, based on the energy conservation law and heat transmission principle, the finite element analysis software and the site experiment method were applied to the study on the centralized cooling and the sectional cooling methods of the coal mining face. The two cooling methods found both could have the temperature cooling function to the coal mining face. In the practices, the average temperature of the coal mining face with the sectional cooling method was 27.5℃ and was 0.3℃ lower than the average temperature of the coal mining face with the centralized cooling method. With the variance of the calculation, the variance of the coal mining face with the sectional cooling method was 0.079 only and the temperature variance of the coal mining face with the centralized cooling method was 0.585. The results showed that the sectional cooling method could provide much lower and more stable temperature to the coal mining face and ensure a better working temperature environment to the coal mining face.

Key words: air cooler; centralized cooling; sectional cooling; high temperature thermal disaster

0 引言

随着煤炭资源的枯竭, 开采深度不断加深, 矿井地温不断升高, 矿井热害问题逐渐成为现代煤矿又一显著难题。据统计, 我国目前已有30多处矿井采掘工作面风流温度超过30℃, 最高达37℃, 相对湿度接近100%, 高温热害已成为深部矿井开采普遍面临的一大自然灾害^[1-3]。如临矿集团王楼煤矿

12303工作面采深为-864~-932 m, 围岩温度达到35℃, 位于一级高温区, 高温热害已成为该矿三大难题之一; 赵楼煤矿埋深700~1 200 m, 初期采区原岩温度高达37~45℃, 地温高^[4]。矿井高温不仅影响工人的身体健康, 对矿井安全生产也是一种危害。因此, 调节和改善矿井气候条件已经成为煤矿安全生产亟待解决的难题。

国内外对矿井的高温热害防治做了大量的研

收稿日期: 2016-04-11; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2016.12.016

基金项目: 中国博士后科学基金面上基金资助项目(2015M572061)

作者简介: 隋秀华(1974—), 女, 山东青岛人, 副教授, 博士。Tel: 13573299193, E-mail: suixh@126.com

引用格式: 隋秀华, 曾现伟, 黄云前, 等. 高温采煤工作面集中供冷和分段供冷方式对比分析[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(12): 91-95.

Sui Xiuhua, Zeng Xianwei, Huang Yunqian, et al. Comparison analysis on centralized cooling and sectional cooling methods of high temperature coal mining face[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(12): 91-95.

究取得了一定的成果^[5-12]。空冷器作为矿井降温设备,在高温矿井中已广泛应用。苗德俊等^[13]研究了进风巷空冷器的位置对工作面的降温效果和降温效率,提出了空冷长度的概念,并确定了空冷长度的计算方法,确定了采煤工作面进风巷空冷器的有效位置;付斌等^[14]通过对矿井集中降温系统末端空冷器布置方式及降温效果研究,发现采用梯级供冷、串级供冷和通风机群的方式供冷均可解决采掘工作面的热害问题;褚召祥等^[15]通过对回采工作面空冷器组合降温方式试验研究,发现工作面空冷器采用不同的组合方式,采煤工作面温度变化不大。但是这些方案均采用采煤工作面进风巷集中供冷的方式进行降温,没有涉及到采煤工作面分段供冷的研究。因此,对采煤工作面集中供冷方式和分段供冷方式的降温效果进行对比分析研究,以提高矿井降温效率。

1 2种供冷方式的设计方案

山东某矿采煤工作面长度250 m,进、回风巷为矩形巷道,断面面积为12 m²,进风风速为1.2 m/s,温度为30℃,工作面原岩温度34℃,采空区温度为36℃,采煤工作面总装机容量为2 500 kW左右。该矿9月实测1214采煤工作面进风巷平均温度为30.3℃,相对湿度达到99.8%。由于采煤工作面是典型的高温高湿采煤工作面,需要对进入采煤工作面的风流进行除湿降温处理,达到采煤工作面供风要求。

现设计该矿采煤工作面冷风供风方式有2种:

①集中供冷方式。在距工作面60 m处的进风巷安装2套空冷器,每套空冷器处理风量为300 m³/min,出口风流温度为23℃,出口断面长×宽为2.0 m×1.5 m,降温后空气直接吹入回风巷内,与未处理空气混合后,进入采煤工作面。②采用工作面分段供冷方式。距采煤工作面60 m处进风巷安装2套空冷器,每套空冷器处理风量为300 m³/min,经过1套设备降温后的空气直接进入回风巷,与未处理空气混合进入工作面,另一套空冷器将降温后的空气通过风管送至工作面,在工作面0、50、100、150、200 m处各设置出口将冷空气等量送入采煤工作面,每个出风口的风量为60 m³/min。出口断面长×宽为0.5 m×0.5 m。这2种布置方式,保证工作面有相同的通风量,具有可比性。采煤工作面不同供冷方式设计如图1所示。

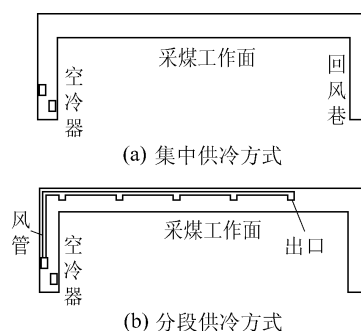


图1 采煤工作面不同供冷方式设计示意

Fig. 1 Design sketch of different cooling ways for coal mining face

采煤工作面采用空冷器降温,空冷器只能对部分空气降温后,与另一部分不经过空冷器的空气进行混合达到一定温度后,流入采煤工作面。风流在这个过程中进行传热,巷道围岩以及机械转动设备表面通过热传递将一部分能量传递给空气。假设这个过程是在绝热条件下进行的,并且忽略此过程中风流动能和势能的变化,则这个过程由能量方程可得^[13]

$$m_1 i_1 + m_2 i_2 + K_r UL(T_{gu} - T) + Q_m = (m_1 + m_2) i \quad (1)$$

式中: m_1 为冷却风流质量流量, kg/s; m_2 为未冷却风流的质量流量, kg/s; i_1 为冷却风流的焓值, kJ/kg; i_2 为未冷却风流的焓值, kJ/kg; K_r 为围岩传热系数, kW/(m²·℃); U 为围岩周长, m; L 为测温地点与空冷器出口距离, m; T_{gu} 为原岩温度, ℃; T 为混合后风流的平均温度, ℃; Q_m 为其他绝对热源放热, kJ; i 为混合后风流的焓值, kJ/kg。

风流的焓值 i 能够反映出单位质量的空气与各种热源、湿源进行交换的能量,一般情况下,通过风流焓值与温度的关系式可以求出测量点温度,其关系式为

$$i = 1.005T + (2500 + 0.84T) d_p \quad (2)$$

式中: T 为空气的平均温度, ℃; d_p 为空气的含湿量, kg/kg。

2 2种供冷方式效果的有限元分析

在 Solidworks 软件中根据采煤工作面实际情况,按照比例1:1建立这2种不同供冷方式的三维图。采用 ANSYS 软件,按照实际情况对应设置边界条件,模拟采煤工作面风流温度变化情况。边界条件设置见表1。通过对采煤工作面不同供冷方式的模拟,得出集中供冷及分段供冷方式工作面温度的分布云图及工作面中心线温度曲线图,其采煤工作面中心线的温度变化如图2所示。由图2a可知,在整

个采煤工作面内,温度从工作面入口的 300 K 至出口 302 K,在空冷器出来的风流为最低温度,在回风巷出口达到最高温度,整个过程为温度不断升高的过程。由图 2b 可知,空冷器出来的风流为最低温度,回风巷出口达到最高温度。但是在进风巷段,风流混合后温度是上升趋势,到达工作面进风口时,由于有冷风流的进入,冷热风流混合后温度下降,随着风流的前进以及围岩的热传导作用,风流温度上升,但是到达下一个冷风流出口,由于低温空气的进入,工作面风流温度又会下降。所以分段供冷方式采煤工作面温度是一个往复变化的曲线,温度基本为 300~301 K。

表 1 边界条件

Table 1 Boundary conditions

位置	集中供冷方式		分段供冷方式	
	速度/(m·s ⁻¹)	温度/℃	速度/(m·s ⁻¹)	温度/℃
空冷器 1 号	1.670	23	1.670	23
空冷器 2 号	1.670	23	—	—
工作面冷却出口	—	—	4	23
进风巷进口	0.367	30	0.367	30
进风巷壁温	—	34	—	34
回风巷壁温	—	34	—	34
工作面壁温	—	34	—	34
采空区温度	—	36	—	36

表 2 采煤工作面温度数据

Table 2 Temperature data of coal mining face

序号	工作面位置/m	集中供冷温度/℃	分段供冷温度/℃	序号	工作面位置/m	集中供冷温度/℃	分段供冷温度/℃
1	0	26.4	27.4	14	130	27.8	27.6
2	10	26.6	27.1	15	140	27.9	27.8
3	20	26.8	27.3	16	150	28.1	27.8
4	30	26.9	27.4	17	160	28.1	27.4
5	40	27.0	27.5	18	170	28.2	27.5
6	50	27.1	27.6	19	180	28.3	27.7
7	60	27.1	27.1	20	190	28.4	27.8
8	70	27.2	27.3	21	200	28.5	27.9
9	80	27.3	27.5	22	210	28.6	27.5
10	90	27.5	27.7	23	220	28.7	27.6
11	100	27.6	27.7	24	230	28.8	27.8
12	110	27.6	27.3	25	240	28.9	27.9
13	120	27.7	27.5	26	250	29.0	28.1

注:采用集中、分段供冷方式时,回风巷出口温度分别为 29.9、29.3℃,工作面平均温度分别为 27.8、27.5℃。

由表 2 可知,在工作面 0~100 m 范围内,集中

供冷工作面温度低于分散供冷采煤工作面温度,在

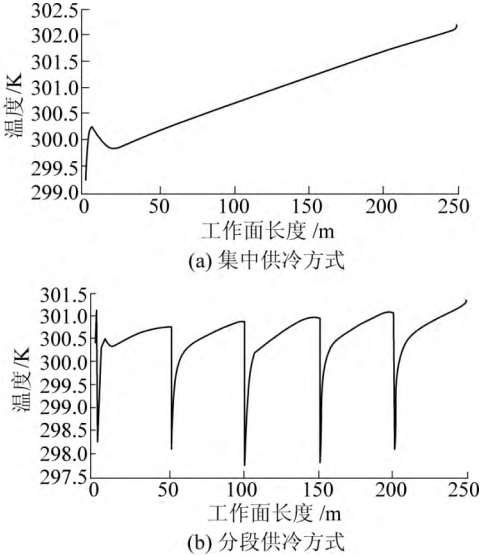


图 2 不同供冷方式采煤工作面中心线温度

Fig. 2 Temperature of different cooling ways for coal mining face center line

3 2 种供冷方式的试验分析

通过不同供冷方式向工作面供风,沿采煤工作面中线,距底板 2 m 的上方进行温度数据采集,工作面内每隔 10 m 采集 1 个温度数据,共计采集 26 个工作面温度数据。在回风巷段距工作面 70 m 处采集 1 个温度数据。采煤工作面温度见表 2。

采煤工作面 100~250 m 范围内,集中供冷采煤工作面温度高于分段供冷采煤工作面温度。集中供冷采煤工作面平均温度 27.8℃,回风巷出口温度 29.9℃;分段供冷采煤工作面平均温度 27.5℃,回风巷出口温度 29.3℃。这是由于在进风巷内,集中供冷方式 2 套空冷器降温后的空气直接进入进风巷中,分段供冷方式只有 1 套空冷器冷却的空气进入进风巷,集中供冷方式进风巷的风流质量大,通过具有相同的原岩温度和周长的巷道时,集中供冷工作面温度上升速度要比分段供冷方式的慢,所以在工作面前段,集中供冷方式比分段供冷方式的采煤工作面温度低。随着工作面长度的增加,分段供冷采煤工作面不断有一定质量的冷却空气进入采煤工作面,对采煤工作面的风流进行混合冷却,所以采煤工作面 100~250 m 范围分段供冷采煤工作面温度比集中供冷方式温度低。

通过对数据整理,得出集中供冷方式及分段供冷方式工作面温度变化曲线,如图 3 所示。可以看出,集中供冷采煤工作面温度曲线是不断上升的,分段供冷采煤工作面温度是一个波形上升曲线。这是由于集中供冷方式风流经过采煤工作面过程中,不断吸收围岩热量,风流温度不断上升。分段供冷方式在不断吸收围岩热量的过程中,不同位置空冷器向采煤工作面供应冷却空气,对采煤工作面空气进行混合冷却,使采煤工作面风流温度下降,所以分段供冷采煤工作面温度曲线也是一个不断上升的趋势,但是在工作面冷却风流出口之后有一个下降过程。

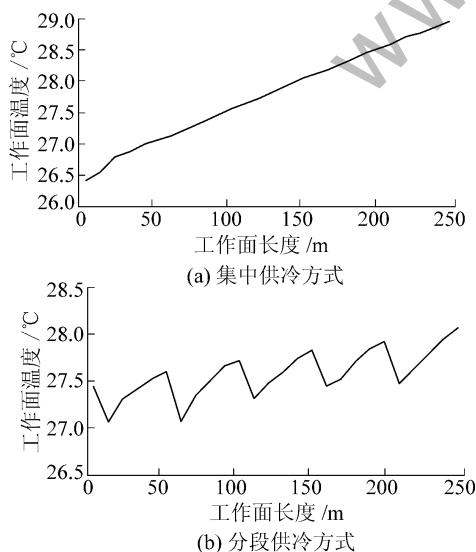


图3 不同供冷方式采煤工作面温度曲线

Fig. 3 Temperature curve chart of different cooling ways for coal mining face

在样本容量相同的情况下,方差越大,说明数据的波动越大,越不稳定。通过方差来描述 2 种不同的供冷方式采煤工作面温度的变化,其方差公式为

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

其中: n 为采煤工作面温度检测次数; x_i 为工作面温度,℃; \bar{x} 为工作面平均温度,℃。

通过方差公式计算,集中供冷方式的方差 $s_j^2 = 0.585$;分段供冷方式的方差 $s_s^2 = 0.079$ 。可以看出分段供冷方式比集中供冷方式采煤工作面温度平稳。

4 结 论

1) 集中供冷采煤工作面温度呈不断上升趋势,分段供冷采煤工作面为波形上升趋势。集中供冷方式比分段供冷方式温度变化范围大。

2) 集中供冷采煤工作面平均温度 27.8℃,回风巷出口温度 29.9℃;分段供冷采煤工作面平均温度 27.5℃,回风巷出口温度 29.3℃。分段供冷方式比集中供冷方式采煤工作面的平均温度低 0.3℃,回风巷出口温度低 0.6℃。

3) 集中供冷采煤工作面温度的方差 $s_j^2 = 0.585$,分段供冷采煤工作面温度的方差 $s_s^2 = 0.079$,分段供冷方式采煤工作面的温度比集中供冷方式采煤工作面的温度平稳,波动小。

参考文献 (References):

- [1] 杨德源,杨天鸿.矿井热环境及其控制[M].北京:冶金工业出版社,2009.
- [2] 程卫民,陈平.我国煤矿矿井空调的现状与亟待解决的问题[J].暖通空调,1997,27(1):17-19.
Cheng Weimin, Chen Ping. Current situation and problems in coal mine air conditioning in China [J]. Journal of HV&AC, 1997, 27(1): 17-19.
- [3] 齐玉栋,程卫民,于岩斌.我国煤矿高温热害防治技术现状综述与进展[J].煤矿安全,2014,45(3):167-170.
Qi Yudong, Cheng Weimin, Yu Yanbin. Status summarization and progress of heat hazard control technology in coal mine of China [J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(3): 167-170.
- [4] 何国家,阮国强,杨壮.赵楼煤矿高温热害防治研究与实践[J].煤炭学报,2010,36(1):101-121.
He Guojia, Ruan Guoqiang, Yang Zhuang. Research and application on preventive measures against heat disaster in Zhaozhou Coal Mine [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 36(1): 101-121.
- [5] He Manchao. Application of HEMS cooling technology in deep mine heat-hazard control [J]. Mining Science and Technology, 2009, 19

- (3): 269-275.
- [6] 胡保林. 浅析矿井制冷降温系统方案的选择[J]. 矿山机械, 2009(18): 50-54.
Hu Baolin. Analysis on the collection of project of mines refrigeration and cooling system [J]. Mining & Processing Equipment 2009 (18): 50-54.
- [7] 李伟, 程久龙, 刘国庆. 特大型高地热矿井综合降温技术研究[J]. 中国矿业 2009, 18(10): 80-83 99.
Li Wei, Cheng Jiulong, Liu Guoqing. Research on the comprehensive cooling technology for outsize and high geothermal mine [J]. China Mining Magazine 2009, 18(10): 80-83 99.
- [8] 孙希奎, 李学华, 程为民. 矿井冰水辐射降温技术研究[J]. 采矿与安全工程学报 2009 26(1): 105-109.
Sun Xikui, Li Xuehua, Cheng Weimin. Study of cold radiation cooling technology using ice water from mine [J]. Journal of Mining & Safety Engineering 2009 26(1): 105-109.
- [9] 王文, 桂祥友, 王国君. 矿井热害的治理[J]. 矿业安全与环保 2002 29(3): 31-33.
Wang Wen, Gui Xiangyou, Wang Guojun. The treatment of mine heat-hazard [J]. Mining Safety and Environment Protection 2002, 29(3): 31-33.
- [10] 胡汉华, 古德生. 矿井移动空调室技术的研究[J]. 煤炭学报, 2008 33(3): 318-321.
Hu Hanhua, Gu Desheng. Research on technology of mobile air condition room in mine [J]. Journal of China Coal Society 2008, 33(3): 318-321.
- [11] 赵运超, 石发恩, 蒋达华. 矿井工作面空调降温效果的数值模拟分析[J]. 中国煤炭 2011 37(3): 108-111.
Zhao Yunchao, Shi Faen, Jiang Dahua. Numerical simulation and analysis of air conditioning cooling effect at working face [J]. China Coal 2011 37(3): 108-111.
- [12] 夏洪满, 徐庆武, 高尚青. 井下深部开采工作面冷量配置及优化[J]. 中国煤炭 2012 38(3): 113-116.
Xia Hongman, Xu Qingwu, Gao Shangqing. Cooling capacity configuration and optimization of working face in deep coal mine [J]. China Coal 2012 38(3): 113-116.
- [13] 苗德俊, 程卫民, 隋秀华. 高温矿井采煤工作面进风巷空冷器有效位置的确定[J]. 中国矿业 2010 19(3): 110-113.
Miao Dejun, Cheng Weimin, Sui Xiuhua. Effective position determination of air-cooler in working face intake alley in high temperature coal mine [J]. China Mining Magazine 2010, 19(3): 110-113.
- [14] 付斌, 李浪, 曾明明. 矿井集中降温系统末端空冷器布置方式及降温效果研究[J]. 制冷与空调 2011 11(3): 83-85.
Fu Bin, Li Lang, Zeng Mingming. Research on the layout modes of air coolers and the cooling effect of centralized cooling system for mine [J]. Refrigeration and Air-Conditioning 2011 11(3): 83-85.
- [15] 苗德俊, 谭冬伟, 张坤, 等. 小型矿用空冷器除湿效果研究[J]. 煤炭科学技术 2016 44(11): 121-126.
Miao Dejun, Tan Dongwei, Zhang Kun, et al. Study on de-moisture effect of small type mine air cooler [J]. Coal Science and Technology 2016 44(11): 121-126.
- (上接第 84 页)
- Society 2010 35(7): 1120-1124.
- [10] 韦纯福, 李化敏, 袁瑞甫. 含水率对煤与瓦斯突出强度影响的试验研究[J]. 煤炭科学技术 2014 42(6): 118-121.
Wei Chunfu, Li Huamin, Yuan Ruifu. Experimental study on intensity of coal and gas outburst effected by coal water content [J]. Coal Science and Technology 2014 42(6): 118-121.
- [11] 涂庆毅, 程远平, 王亮, 等. 煤与瓦斯突出的动态过程研究[J]. 煤炭科学技术 2015 43(6): 71-75 96.
Tu Qingyi, Cheng Yuanping, Wang Liang, et al. Study on dynamic process of coal and gas outburst [J]. Coal Science and Technology 2015 43(6): 71-75 96.
- [12] 王维忠, 陶云奇, 许江, 等. 不同瓦斯压力条件下的煤与瓦斯突出模拟试验[J]. 重庆大学学报 2010 33(3): 83-86.
Wang Weizhong, Tao Yunqi, Xu Jiang, et al. Simulation of coal and gas outburst with different gas pressure [J]. Journal of Chongqing University 2010 33(3): 83-86.
- [13] 许江, 刘东, 彭守建, 等. 煤样粒径对煤与瓦斯突出影响的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报 2010 29(6): 1232-1237.
Xu Jiang, Liu Dong, Peng Shoujian, et al. Experimental research on influence of particle diameter on coal and gas outburst [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2010 29(6): 1232-1237.
- [14] 许江, 陶云奇, 尹光志, 等. 煤与瓦斯突出模拟试验台的研制与应用[J]. 岩石力学与工程学报 2008 27(11): 2354-2362.
Xu Jiang, Tao Yunqi, Yin Guangzhi, et al. Development and application of coal and gas outburst simulation test device [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008 27(11): 2354-2362.
- [15] 尹光志, 赵洪宝, 许江, 等. 煤与瓦斯突出模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报 2009 28(8): 1674-1680.
Yin Guangzhi, Zhao Hongbao, Xu Jiang, et al. Experimental study of simulation of coal and gas outburst [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2009 28(8): 1674-1680.
- [16] 唐巨鹏, 吕家庆, 潘一山, 等. 基于射流理论的瓦斯压力与突出参数关系研究[J]. 自然灾害学报 2014 23(2): 232-238.
Tang Jupeng, Lyu Jiaqing, Pan Yishan, et al. Research on the relationship between gas pressure and outburst parameters based on jet flow theory [J]. Journal of Natural Disasters 2014 23(2): 232-238.