

文章编号:1671-251X(2018)12-0043-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010012

采煤工作面降温系统布置方式优化研究

汪杰^{1,2}, 毛国勇^{1,2}, 陈海琴^{1,2}

(1. 常州工学院 电气与光电工程学院, 江苏 常州 213031;

2. 常州大学 机械工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要:针对长距离矿井采煤工作面存在热害严重、局部高温及温度分布不均匀等问题,以某矿采煤工作面为研究背景,在该矿热源进行分析的基础上,提出了一种工作面冷量分流的降温布置方式,即在冷量不变的情况下,将空冷器安装于进风巷内,同时匹配1台通风机,通风机与空冷器通过风筒进行连接,利用风筒将部分冷量直接输送至工作面,以起到降温的作用。通过运用CFD软件建立三维模型,分别对常规降温布置和冷量分流布置2种布置方式进行数值模拟,结果表明,采用冷量分流布置方式后,温度场分布更匀称,低温区域面积更广,能有效改善工作面的降温效果。

关键词:采煤工作面; 矿井热害; 冷量分流; 通风机; 空冷器; 降温

中图分类号:TD727 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.tp.20181025.1651.001.html>

Research on optimization of layout method of cooling system on coal face

WANG Jie^{1,2}, MAO Guoyong^{1,2}, CHEN Haiqin^{1,2}

(1. School of Electrical and Optoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology,
Changzhou 213031, China;

2. School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: In view of problems of serious thermal damage, local high temperature and uneven temperature distribution of long-distance coal face, on the basis of analysis of heat source on the coal face of a coal mine, a layout method of cooling quantity shunting was proposed. That is, under the condition of constant cooling quantity, the air cooler is installed in intake airflow roadway, and one ventilator is matched at the same time. The ventilator is connected with the air cooler through air duct, and part of the cooling quantity is directly transferred to the coal face by the air duct to play the role of cooling. CFD software is used to establish three-dimensional models, and the two layout methods of conventional cooling layout and cooling quantity shunting are numerically simulated respectively. The simulation results show that the distribution of the temperature field is more uniform, and the low temperature area is wider after using the layout method of cooling capacity shunting, which can effectively improve the cooling effect of coal face.

Key words: coal face; thermal damage of mine; cooling quantity shunting; ventilator; air cooler; cooling

收稿日期:2018-01-06;修回日期:2018-06-01;责任编辑:张强。

基金项目:江苏省“333”工程科研项目(BRA2014065);江苏省研究生实践创新项目(SJ CX17_0733)。

作者简介:汪杰(1992—),男,江苏苏州人,硕士研究生,研究方向为传热传质,E-mail:310882329@qq.com。

引用格式:汪杰,毛国勇,陈海琴.采煤工作面降温系统布置方式优化研究[J].工矿自动化,2018,44(12):43-48.

WANG Jie, MAO Guoyong, CHEN Haiqin. Research on optimization of layout method of cooling system on coal face[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(12): 43-48.

0 引言

随着对煤矿资源的开采消耗,煤矿开采向深层化发展是必然趋势^[1]。目前我国有 1/3 的煤矿进入了深层开发,且以平均每年 10 m 的速度逐年深入^[2]。由于地热的缘故,越往深处,矿井的热害问题越严重,其中主要热源围岩的温度甚至超过 40 ℃^[3]。同时随着机械化程度的提高,采煤工作面热害问题越发突出,采煤机械设备散发大量热量,导致采煤工作面产生局部高温,加上通风降温措施不当,导致温度场分布不均匀,严重威胁着煤矿的安全生产。

近年来,随着计算机技术的发展和模拟软件的普及,不少学者以此来对矿井热害问题进行模拟研究。杨伟等^[4]以高温矿井采煤工作面为研究对象,对采空区的煤体、空气换热系统进行了二维数值模拟。张源^[5]在建立一维导热数学模型的基础上,采用有限差分法,利用 FORTRAN 语言编制计算机程序并对高地温巷道围岩温度场进行计算,分析了温度场的一般性规律。孔松^[6]针对高温矿井掘进工作面的通风和换热特点,在不同风流雷诺数、风筒直径和出口距工作面距离的组合下,采用 ANSYS 软件对特定巷道的换热情况进行了模拟,得出风流参数对温度场变化影响的一般规律。周健等^[7]运用 CFD(Computational Fluid Dynamics)数值模拟软件对 U 型综采工作面在多种降温方案情况下的温度场进行二维数值模拟对比,得出了最佳空冷器布置位置和降温参数。这些成果说明数值模拟分析能够应用于高温矿井的研究工作,同时,也为本文的研究工作提供了借鉴。本文以某矿采煤工作面为背景,在对该矿热源进行分析的基础上,提出了一种工作面冷量分流的降温布置方式,并运用 ANSYS Fluent 分别对其温度场进行模拟分析,验证冷量分流布置方式的可行性。

1 矿井简介

某矿东西长为 10 km,南北宽为 5~10 km,面积为 90 km²,是一座现代化大型煤矿,机械化程度达 80% 以上。该矿开采深度为 -400~-900 m;最低气温在每年的 1 月,平均温度为 -1.5 ℃;最高气温在 7 月中旬,平均温度为 28.6 ℃。

第二水平(-800 m 水平)是热害较严重区域,也是目前矿井主要生产区域。该区域采煤工作面原岩温度为 40~43 ℃,属于一级高温区。在不安装降

温设备的情况下,采煤工作面空气温度已超过《煤矿安全规程》限定的工作温度,工作面风流温度为 29~34 ℃,回风巷温度为 31~35 ℃,湿度接近 100%。本文选取第二水平上 E2801 采煤工作面为研究对象,如图 1 所示。

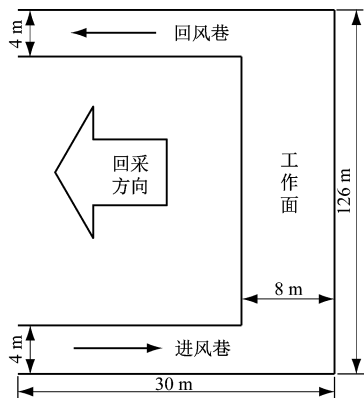


图 1 E2801 采煤工作面

Fig. 1 E2801 coal face

2 热源分析与计算

矿内热量主要来源于围岩放热、机电设备散热、氧化放热、运输放热和其他热源放热^[8]。本文重点考虑围岩散热与采煤机械设备放热。

围岩热量计算公式为

$$Q_1 = K_\tau(t_{gu} - t_a)UL \quad (1)$$

$$K_\tau = 1.163 / \left(\frac{1}{9.6V_B + 0.441} \right) \quad (2)$$

式中: K_τ 为不稳定换热系数, kW/(m²·℃); t_{gu} 为围岩初始温度,℃; t_a 为《煤矿安全规范》规定的平均风流温度,℃; U 为巷道截面的周长, m; L 为巷道的长度, m; V_B 为巷道中的风速, m/s。

采煤机械设备放热量计算公式为

$$Q_2 = 0.8k_{cj}N_{cj} \quad (3)$$

式中: k_{cj} 为采掘机械的时间利用系数,它等于每天实际工作时间(h)除以 24; N_{cj} 为采掘机械电动机消耗功率, kW。

矿井各参数设置如下: V_B 为 0.7 m/s; t_{gu} 为 39 ℃; t_a 为 28 ℃; k_{cj} 为 0.7; N_{cj} 为 40 kW; 巷道几何及热力参数见表 1。

根据式(1)~式(3),结合矿井各参数计算可得需冷负荷为 394.2 kW,考虑 1.1~1.2 的修正系数,所以,该矿至少需提供的冷量为 394.2 kW×1.1=433.62 kW。根据以上计算,选用 1 台制冷量为 450 kW、型号为 RWK-450 的空冷器,理论上即可满足降温需求。

表1 巷道几何及热力参数

Table 1 Geometric and thermal parameters of roadway

风路名称	长度/m	截面周长/m	宽度/m	高度/m	风速/ (m·s ⁻¹)	干球温度/℃	热焓/ (kJ·kg ⁻¹)	压力/Pa	空气密度/ (kg·m ⁻³)
进风巷	30	16.8	4	3.8	0.5~1.5	30.8	96.09	105 198	1.17
工作面	126	24	8	3.9	0.4~1.4	32.2	108.86	105 134	1.16
回风巷	30	16.8	4	3.8	0.5~1.5	33.9	105.24	105 087	1.16

3 冷量分流的降温布置方式

常规降温布置方式如图 2 所示,即把空冷器安装于进风巷道内,配合通风机与风筒为采煤工作面提供冷量,这种布置方式存在的问题是下隅角温度较低,而上隅角及回风巷温度较高,温度场分布不合理。

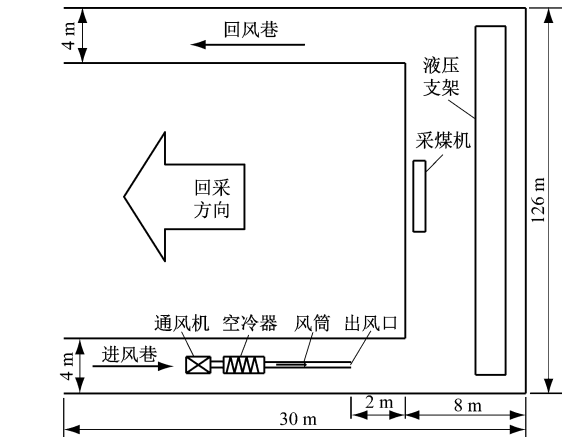


图2 常规降温布置方式

Fig. 2 Layout method of conventional cooling

针对常规降温布置方式存在的问题,提出了一种冷量分流布置方式,如图 3 所示。即仍把空冷器安装于进风巷内,同时匹配一台通风机,通风机与空冷器用风筒连接;利用隔热保温小管径(半径为 200 mm)风筒将部分冷量直接输送至工作面,以起到分流冷量的作用,根据工作面长度,设置 4 个半径为 200 mm 的圆形出风口,间距为 28 m;风筒被悬挂安装于液压支架上,能够随液压支架移动;剩余冷量由进风巷内半径为 300 mm 的圆形风筒出风口输出。为了提高模拟的准确性,考虑了采煤工作面上液压支架和采煤机的影响。

4 控制方程与数值建模

CFD 计算流体力学,即利用数值结算方法求解流体力学的基本控制方程。本文所用的方程包括连续性方程、动量方程、能量方程和传热模型^[9]。根据本次研究,作如下几点假设:

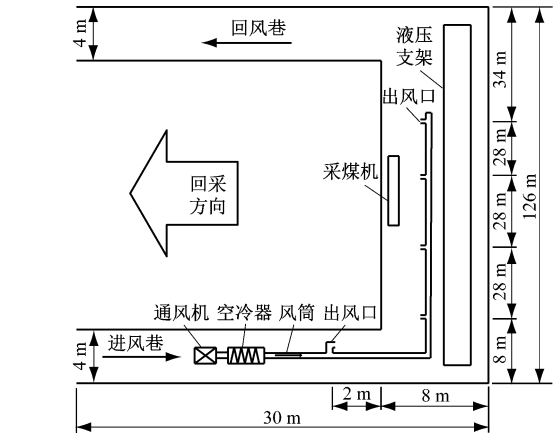


图3 冷量分流布置方式

Fig. 3 Layout method of cold quantity shunting

- (1) 巷道内气流为不可压缩的流体,忽略流体黏聚力做功引起的散热。
- (2) 工作面巷道内气密性良好,不考虑壁面空气渗漏的影响。
- (3) 流动时为稳态紊流,满足 Boussinesq 假设,即流体中黏性耗散忽略不计,仅在计算浮升力时考虑密度的变化^[10-11]。
- (4) 采煤工作面暂时没有采空区。

根据表 1 中的几何参数,建立如图 4 所示的采煤工作面几何模型。使用 ICEM 软件对几何模型进行网格划分,选择划分为非结构网格,网格数量为 2 201 681,节点数为 376 268,侧视图如图 5 所示。

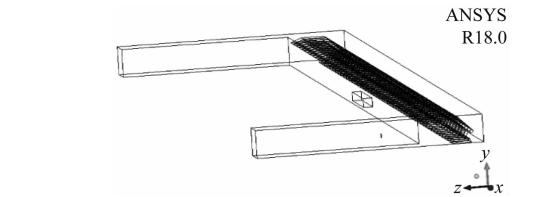


图4 采煤工作面几何模型

Fig. 4 Geometric physical model of coal face

5 数值模拟与分析

本文拟通过建立三维模型分别对常规降温布置和冷量分流布置 2 种布置方式进行模拟与对比,以验证冷量分流布置方式的可行性。

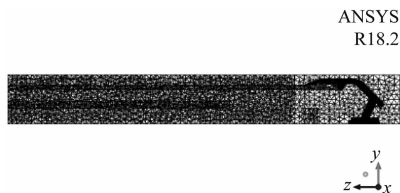


图 5 网格划分侧视图

Fig. 5 Side view of meshing generation

5.1 参数设置

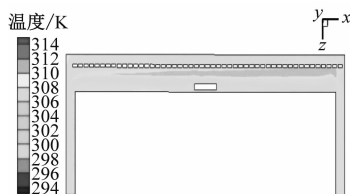
根据雷诺公式: $Re = dvp/\mu$ (其中 d 为特征长度, v, ρ, μ 分别为流体的流速、密度与黏性系数) 可得, 所研究区域雷诺数 Re 远大于 2 300, 因此, 数值模拟模型选用湍流模型和能量模型; 进风巷边界条件 Type(类型) 设为 velocity-inlet(速度入口), 送风风量为 $11.2 \text{ m}^3/\text{s}$, 温度为 $29.6 \text{ }^\circ\text{C}$; 围岩 Type(类型) 为 Wall(墙), Velocity-Specification Method(进口速度制定方法) 为 Stationary Wall(固定壁) 和 No Slip(无相对滑动), 温度为 $39 \text{ }^\circ\text{C}$; 风筒出风口 Type(类型) 为 velocity-inlet(速度入口), 冷量为 $6.24 \text{ m}^3/\text{s}$, 温度为 $18.3 \text{ }^\circ\text{C}$, 当采用常规降温布置方式时, 巷道内风筒风速为 20 m/s , 当采用冷量分流方式布置时, 各出风口风速为 8 m/s 。

5.2 模拟结果对比

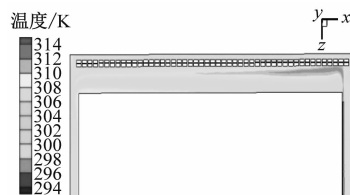
通过 Fluent 解算后, 运用 Tecplot 后处理软件分别取 $Y=1$ (离工作面高 1 m 的截面), $Y=1.5$ (离工作面高 1.5 m 的截面) 和 $X=63$ (工作面中央垂直的截面) 的温度场云图对 2 种布置方式的模拟结果进行分析。

常规降温布置方式的温度场分布云图如图 6 所示, 冷量分流布置方式的温度场分布云图如图 7 所示。

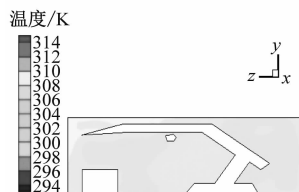
常规降温布置方式由于冷量只从进风巷道的风筒流入工作面, 所以, 冷量无法均匀分布于整个采煤工作面, 在下隅角就完成了大部分的冷热交换, 当冷量流经上隅角时, 温度已经上升明显, 冷风与热空气温差减少, 根据传热学原理, 换热效率将下降。由图 6(a)、(b) 可知, 风筒中的冷量按自由射流规律流入工作面下隅角, 冲击于液压支架上, 随后拐入回风巷, 根据云图温度场的分布, 可以直观地看出, 回风巷附近局部温度过高, 已超过《煤矿安全规程》规定的温度范围, 整个工作面温度分布不均匀。由图 6(c) 可知, 离液压支架远端处温度较高, 达到 $29 \text{ }^\circ\text{C}$, 制冷效果不佳, 这是由于大量冷量集中射流至液压支架上后直接流向回风巷所致, 此处正是工作人员作业区域, 对工作人员影响较大。



(a) $Y=1$



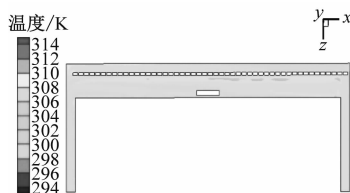
(b) $Y=1.5$



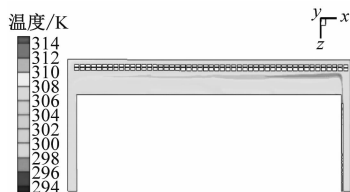
(c) $X=63$

图 6 常规降温布置方式的温度场分布云图

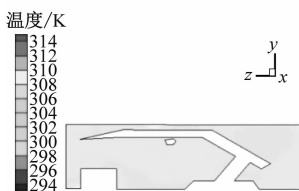
Fig. 6 Cloud of temperature field distribution of conventional cooling layout method



(a) $Y=1$



(b) $Y=1.5$



(c) $X=63$

图 7 冷量分流布置方式的温度场分布云图

Fig. 7 Cloud of temperature field distribution of cooling capacity shunt layout method

采用冷量分流布置方式后, 冷空气能够分散输送至采煤工作面上, 在冷量总量不变的情况下, 能够

解决由下隅角换热充分,而上隅角换热不充分所导致的温度场分布不均匀的问题。由图 7(a)、(b)可知,冷量分流后,虽然进风巷内射流进入工作面的冷量减少,但是能够满足下隅角的换热降温需求。通过 2 种布置方式的温度场分布云图对比可知,在冷量分流输送后,冷风风流能够与工作面热风进行充分换热,整个工作面温度分布更为均匀,整体满足降温要求。由图 7(c)可知,液压支架前端的低温区域面积比冷量分流前更广,温度较高区域则位于液压支架后部,而此处为采空区,对工作人员影响相对较小。

在 2 种布置方式的模拟结果中,分别取 Z 方向 24 m, Y 方向 1 m ($Z=24, Y=1$) 处的直线 line 上的温度值,得到风流温度与相对位置的 XY plot 图,如图 8、图 9 所示。

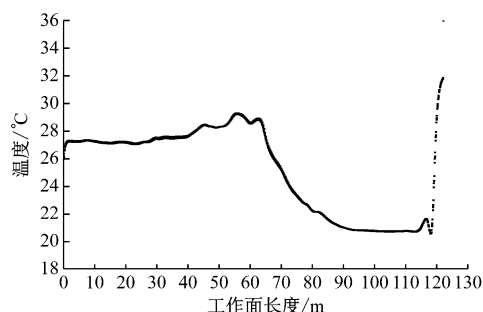


图 8 分流前 line($Z=24, Y=1$) 风流温度分布

Fig. 8 Distribution of air temperature in the line ($Z=24, Y=1$) before shunting

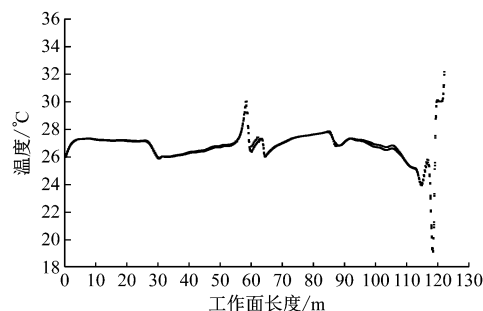


图 9 分流后 line($Z=24, Y=1$) 风流温度分布

Fig. 9 Distribution of air temperature in the line ($Z=24, Y=1$) after shunting

由图 8、图 9 可知,在进风巷通风量与温度、围岩温度、制冷量与温度等都不变的情况下,通过冷量分流后的温度折线波动幅度平缓,温度较为均衡;距离工作面 60 m 附近温度起伏较大是由采煤机的散热引起的。数值模拟与分析结果表明,将冷量分流至工作面后能够实现更佳的降温效果。

6 结论

(1) 针对长距离工作面分流温度分布不均匀和局部高温的问题,提出了利用风筒将冷量分流的降温布置方式,分析了采煤工作面热量来源并估算了需冷量。

(2) 通过建立三维模型分别对常规降温布置和冷量分流布置 2 种布置方式进行模拟,模拟结果表明,采用冷量分流布置方式后的温度场分布更为均匀,低温区域面积更广,能够很好地缓解采煤工作面局部高温、温度分布不均匀的问题,这对改善工作面环境,提高人员舒适度和高效利用冷量等都具有一定的实际意义。

参考文献 (References):

- [1] 刘亮亮. 常村煤矿井底选矸车间通风方案研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2015.
- [2] 聂晓邺. 基于 FLUENT 的掘进作业面通风降温数值模拟研究[J]. 采矿技术, 2015, 15(6): 29-31.
NIE Xiaoye. Study on numerical simulation of ventilation cooling based on FLUENT [J]. Mining Technology, 2015, 15(6): 29-31.
- [3] 冯德清, 赵向东, 陈洲. 深部开采局部降温技术在徐庄煤矿的应用[J]. 工矿自动化, 2013, 39(3): 92-97.
FENG Deqing, ZHAO Xiangdong, CHEN Zhou. Application of local cooling technology in deep mining of Xuzhuang Coal Mine [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(3): 92-97.
- [4] 杨伟, 杨琳琳, 安静, 等. 高温矿井综采工作区通风条件温度场的数值模拟[J]. 煤田地质与勘探, 2011, 39(5): 55-58.
YANG Wei, YANG Linlin, AN Jing, et al. Numerical simulation and analysis of mine ventilation temperature field of integrated mining area in high temperature mine [J]. Coal Geology & Exploration, 2011, 39(5): 55-58.
- [5] 张源. 高地温巷道围岩非稳态温度场及隔热降温机理研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2013.
- [6] 孔松. 高温采煤工作面风温预测理论及数值模拟[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2016.
- [7] 周健, 刘泽功. 高温综采工作面降温方案数值模拟[J]. 煤矿安全, 2014, 45(1): 183-185.
ZHOU Jian, LIU Zegong. Numerical simulation of cooling scheme at fully mechanized high temperature working face [J]. Safety in Coal Mines, 2014, 45(1): 183-185.
- [8] 解彬, 王海宁, 晏江波, 等. 某矿采掘工作面通风降温措施及数值模拟研究[J]. 矿业研究与开发, 2016,

36(5):105-109.

XIE Bin, WANG Haining, YAN Jiangbo, et al. Numerical simulation and measures of ventilation cooling for an extracting face in a mine [J]. Mining Research and Development, 2016,36(5):105-109.

[9] 白银,王长彬. 高家堡煤矿热湿源分析与控制技术研究[J]. 能源与环保, 2017,39(5):170-174.

BAI Yin, WANG Changbin. Analysis on hot-wet sources and relevant control technology of Gaojiabao Coal Mine [J]. Energy and Environmental Protection, 2017,39(5):170-174.

[10] 杜春涛,董志峰,孟国营,等. 矿井回风喷淋换热器挡水板 CFD 仿真及研究[J]. 煤炭工程,2013,45(4): 106-108.

DU Chuntao, DONG Zhifeng, MENG Guoying, et al. Construction and research on CFD of waterproof plate of mine return airflow heat exchanger [J]. Coal Engineering, 2013,45(4):106-108.

[11] 朱红钧. FLUENT 15.0 流场分析实战指南[M]. 北京:人民邮电出版社, 2015.