

高温采煤面局部降温技术优化研究与应用

苗德俊^{1,2}, 于东业^{1,2}, 宋大川^{1,2}, 高 新^{1,2}

(1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制省部共建国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 矿业与安全工程学院, 山东 青岛 266590)

[摘 要] 介绍了井下采煤面存在的高温热害问题, 针对现有降温技术存在的不足之处, 设计了一种新型局部降温系统。在采取降温措施后, 利用 FLUENT 模拟软件对工作面温度分布场进行了模拟, 根据现场实测与模拟结果, 验证了系统具有很好的降温效果, 使工作面降温幅度为 4~6℃, 为井下采煤面工人提供一个相对舒适的环境。

[关键词] 高温热害; 局部降温系统; 降温效果

[中图分类号] TD727.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2018) 05-0108-03

Studying and Application of Local Cooling Technique Optimization of High Temperature Coal Mining Face

MIAO De-jun^{1,2}, YU Dong-ye^{1,2}, SONG Da-chuan^{1,2}, GAO Xin^{1,2}

(1. Province and Ministry Co-building National Key Laboratory Breed Base, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. Mining and Safety Engineering School, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: It introduced high temperature disaster of coal mining working face in underground, to some disadvantages of existed cooling technique, and then new type local cooling system was designed, and then some cooling measures was adopted, and temperature distribution of working face was simulated by fluent software, based on field measurement and simulation, and excellent cooling results was verified, and working face temperature drop scale reached about 4~6℃, and relative comfortable environment was provided for worker in underground.

Key words: high temperature disaster; local cooling system; cooling results

随着能源需求的增长, 煤矿的开采深度在不断增加, 热害矿井数量也越来越多, 热害已严重制约了煤矿的发展。我国地层恒温带深度多为 50m 以内, 温度约为 15~17℃。据我国煤田地温观测资料统计, 地温梯度为 2~4℃/100m。当采掘深度 700m 时, 地温可达 40~45℃。而出现二级热害矿井^[2]。我国煤矿目前开采深度平均每年以 10~15m 的速度增加, 超过 1000m 深的矿井越来越多, 是世界上热害矿井最多的国家^[3]。在深部开采的条件下, 随着开采深度的增加, 井下热害问题变得越来越严重。持续的高温将对人体的健康和工作能力造成极大的伤害, 使劳动生产率大大下降。可见, 热害已成为限制煤炭资源深部开采的主要障碍之一^[4-8]。

降温技术多年的研究, 已经取得了很大的突破, 工作面环境也取得了一定的改善。但是, 各种降温技术都具有一定的局限性, 当前主要存在的问题有: 制冷系统冷损大, 换热效率不高; 制冷以

后, 工作面冷热不均, 靠近进风口地方风流温度较低; 靠近出风口地方, 风流温度较高。

1 工作面热湿源与风流热湿交换机理

1.1 工作面热湿源

由于井下作业环境特殊, 存在着诸多的热湿源。采煤工作面在开采的过程中, 风流会与周围环境中的热湿源发生热、湿交换, 从而导致风流温湿度增高, 焓值增加, 矿井高温热害问题日益严重^[9]。其中, 主要热源包括: 围岩散热、机电设备散热、矿物放热、氧化放热、人员散热以及其他热源等^[10-12]。主要湿源包括: 地表大气、围岩渗水、降尘洒水及排水散湿等。其中, 地表大气的含湿量变化对井下风流湿度影响较为显著。

1.2 热湿交换分析

干燥的围岩壁面与风流只有热交换, 没有湿交换, 而湿润的围岩壁面与风流既有热交换也有湿交换。在采掘过程中, 围岩壁面大多是潮湿的, 其与

[收稿日期] 2018-06-22

[基金项目] 山东省重点科技攻关项目 (2018GGX104008)

[作者简介] 苗德俊 (1970-), 男, 山东烟台人, 硕士生导师, 主要从事矿井降温技术研究。

[引用格式] 苗德俊, 于东业, 宋大川, 等. 高温采煤面局部降温技术优化研究与应用 [J]. 煤矿开采, 2018, 23 (5): 108-110.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2018.05.027

风流换热由显热和潜热两部分组成。围岩放出热量，使得风流干球温度升高，即为显热；使围岩壁面水分蒸发，即为潜热。计算方法如下：

$$Q_t = Q_s + Q_r \quad (1)$$

式中， Q_t 为巷道围岩总放热量，kW； Q_s 为巷道围岩与风流换热显热，kW； Q_r 为巷道围岩与风流换热潜热，kW。

2 局部降温系统优化设计

2.1 降温系统基本原理

结合矿井实际情况，将制冷机组布置在井下大巷硐室中，主空冷器布置在井下距工作面进风巷迎头 250m 的进风巷内。为了使工作面冷量均匀，避免不必要的冷损，利用主空冷器与小型空冷器进行联合降温，在工作面相邻液压支架悬挂小型空冷器。在工作面靠近进风口处，小型空冷器布置稀疏一些，在工作面靠近出风口处，小型空冷器布置稠密一些。制冷机组制取低温冷冻水，一部分通过输冷管路将其输送到进风巷主空冷器中，一部分通过输冷管路输送到采煤工作面小型空冷器中，与井下工作面风流均匀换热。冷却出水通过回水管路输送到地面冷却塔冷却以后，重新返回制冷机制冷。制冷降温系统如图 1 所示。

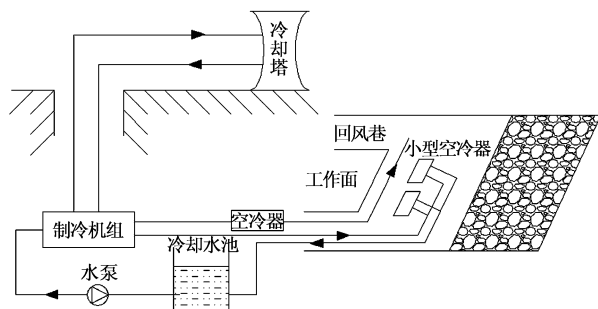


图1 制冷降温系统结构

2.2 工作面需冷量

为了使工作面达到理想的降温效果，给工人提供一个相对舒适的环境，需要确定采煤面需冷量，从而更好地确定系统设备选型。根据《煤矿安全规程》的规定，采掘工作面风流干球温度不高于 26℃，理论需冷量即为达到安全规程后的需冷量。工作面需冷量可通过以下公式计算：

$$Q_f = M_B(i_q - i_h) \quad (2)$$

式中， Q_f 为工作面需冷量，kW； M_B 为风流质量流量，kg/s； i_q 为降温前工作面入风流焓值，kJ/kg； i_h 为降温后工作面允许风流焓值，kJ/kg。

2.3 主要设备选型

通过对照湿空气焓湿图，降温前工作面入风流

焓值： $t_q = 33.5^\circ\text{C}$ ； $\varphi_q = 94\%$ ， $i_q = 114.6\text{kJ/kg}$ ；降温后工作面允许风流焓值： $t_h = 26.0^\circ\text{C}$ ， $\varphi_h = 75\%$ ， $i_h = 66.6\text{kJ/kg}$ ，风流的质量流量 $M_B = 6.5\text{kg/s}$ ；将工作面实测风流参数代入式（2）计算得，工作面需冷量为 312kW。在降温系统投入使用后，会存在着一定的冷量损失，主要发生在连接主空冷器的风筒与连接小型空冷器的输冷管路中，冷量损失为 $Q_l = 52\text{kW}$ 。

(1) 制冷机制冷量

$$Q_w \geq 1.2(Q_f + Q_l) \quad (3)$$

式中， Q_w 为制冷机的制冷量，kW； Q_f 为工作面需冷量，kW； Q_l 为管路冷量损失，kW。

将数据带入式（3）得： $Q_w = 436.8\text{kW}$ 。选用型号为 TS-450ZM 制冷机组，制冷功率为 500kW。

(2) 空冷器参数

主空冷器选型为 QS-350，送风量 $320\text{m}^3/\text{min}$ ，进水量为 $11.5\text{m}^3/\text{h}$ ；额定功率 110kW。小型空冷器选型为 HSPC-100-2.5，在工作面靠近进风巷迎头 0~80m 处，布置 2 台小型空冷器；80~150m 处，布置 3 台小型空冷器；在 150~220m 处，布置 5 台小型空冷器。每台小型空冷器送风量 $35\text{m}^3/\text{min}$ ，进水量 $2.8\text{m}^3/\text{h}$ ，额定功率为 25kW。

(3) 冷却水泵选型

冷却水泵选型 MD145-30×D，额定功率为 80kW，抽水量为 $(65 \times 2)\text{m}^3/\text{h} = 130\text{m}^3/\text{h}$ 。

3 现场应用及效果分析

3.1 工作面概况

淮南唐口煤矿位于安徽省淮南市，距市中心 25km，井田东西长度 12.5km，南北宽度 8~10km，面积为 110km^2 ，年产量为 40Mt。设定服务年限为 60a，2002 年建成投产。随着近些年矿井开采规模的扩大，采深也在不断增加。目前，最大开采深度已达到 -1050m，工作面围岩温度达 37.5°C ，热害问题较为突出，该矿各水平温度见表 1。

表1 地温预测

	标高/m					
	恒温带	-600	-700	-800	-900	-1000
温度/℃	19.2	25.6	28.2	30.8	34.1	37.2

3.2 工作面风流温度分布场

工作面采取局部降温措施后，在主空冷器与小型空冷器送风风速一定时，利用 FLUENT 模拟软件模拟工作面温度分布场，在送风温度为 290K 的情况下，工作面布置的第 2、第 5、第 10 台空冷器处，风流温度场分布如图 2 所示。

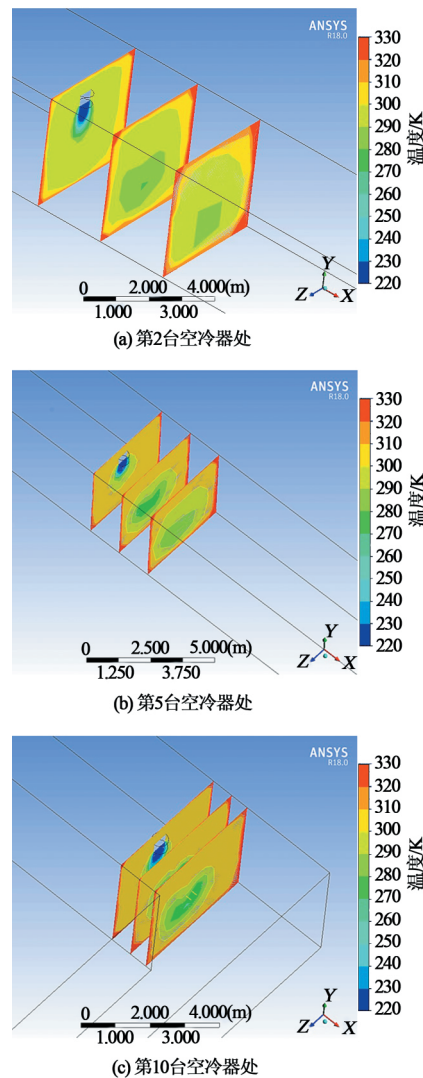


图 2 工作面温度分布场云图

通过以上模拟可以看出，在主空冷器与小型空冷器送风风速一定的情况下，当送风温度为 290K，即 17℃ 的情况下，工作面所有小型空冷器开启以后，整个工作面温度均能维持在 27℃ 以下，取得了较理想的降温效果，为采煤工作面工人提供了相对舒适的环境。

3.3 降温效果分析

针对井下工作面存在的高温热害问题，利用上述局部降温系统对其降温，取得了很好的降温效果，第 2、第 5、第 10 台空冷器出风口实测温度如图 3 所示，干湿球温度有了明显的降低。

由于小型空冷器体积较小，质量较轻，方便在工作面的布置。较传统意义上工作面进风巷道布置的空冷器相比，不需要开凿大的硐室，节约了成本。采取降温措施后，工作面整体降温幅度为 4~6℃，相对湿度也降到了 81%，很好地改善了工作面的作业环境，保证了工作面安全高效生产。降温

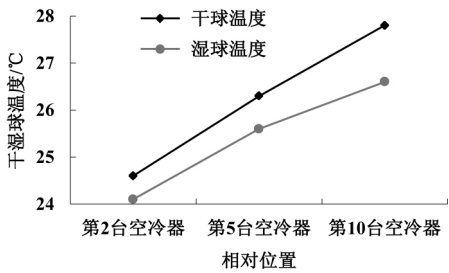


图 3 不同位置空冷器干湿球温度

前后工作面干湿球温度、相对湿度如表 2 所示。

表 2 工作面降温前后对比

风流参数	干球温度/℃	湿球温度/℃	相对湿度/%
降温前	33.5	32.4	94
降温后	27.8	28.2	81

4 结 论

针对采煤工作面存在的高温热害问题，利用主空冷器与小型空冷器进行联合降温。在采取降温措施后，工作面降温幅度为 4~6℃，温度可维持在 27℃ 左右，相对湿度也降低到 81%，改善了工作面的作业环境，取得了良好的降温效果，具有一定的推广价值和实用价值。

[参考文献]

[1] 彭苏萍. 深部煤炭资源赋存规律与开发地质评价研究现状及今后发展趋势 [J]. 煤, 2008, 17 (2): 1-11.

[2] 刘冠男. 高温采煤工作面热害机制及风流特性的热-流理论研究及数值模拟 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2010.

[3] 姬建虎. 掘进工作面传热特性及热害治理研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.

[4] 何满潮, 徐 敏. HEMS 深井降温系统研发及热害控制对策 [J]. 中国基础科学, 2008, 10 (2): 1653-1361.

[5] 何满潮, 李春华, 朱家玲, 等. 中国中低焓地热工程技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[6] 何满潮, 张 毅, 乾增珍, 等. 深部矿井热害治理地层储冷数值模拟研究 [J]. 湖南科技大学学报, 2006, 21 (2): 13-16.

[7] 何满潮, 张 毅, 郭东明, 等. 新能源治理深部矿井热害储冷系统研究 [J]. 中国矿业, 2006, 15 (9): 62-66.

[8] He Manchao, Zhang Yi, Guo Dongming, et al. Numerical analysis of doublet wells for cold energy storage on heat damage treatment in deep mines [J]. Journal of Mining & Technology, 2006, 16 (3): 278-282.

[9] 常德化, 王红艳, 张 坤. 高温采煤面一维温度分布函数的研究 [J]. 山东科技大学学报, 2016, 35 (9): 21-22, 25.

[10] 胡汉华. 深热矿井环境控制 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2009.

[11] 杨德源. 矿井热环境及其控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.

[12] 辛 嵩. 矿井热害防治 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011.

[责任编辑: 施红霞]