

实施降温措施的采掘工作面空气处理过程分析

杨威¹, 刘何清^{1,2}, 熊慧灵¹, 李伊洁¹

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南科技大学 煤矿安全开采湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘 要:针对高温矿井采掘工作面空冷器常见安装位置和冷风输送方式,分析了冷风流自空冷器出口后沿途发生的变化及其对应的冷风流状态参数变化过程;分析了各空冷器安装位置、送风方式下引起冷风流状态变化的原因;提出了各空冷器安装位置、送风方式下确保工作面设计状态的空冷器出口冷风参数确定路径及装机冷量的构成;定性得出将空冷器距工作面一定距离安装、采用隔湿风筒输送冷风的方式较优。得出的结论对指导高温矿井降温系统设计有一定的指导意义。

关键词:采掘工作面;空冷器;安装位置;送风方式;空气处理过程

中图分类号:TD727 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2014)04-0017-06

Analysis of the air handling process in extracting coal face with cooling system

YANG Wei¹, LIU Heqing^{1,2}, XIONG Huilin¹, LI Yijie¹

(1. School of Mining and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: According to the common installation position and the cold air conveying mode in the extracting coal face of high temperature mine, this paper analyzes the cold air changing process when it is translated to extracting coal face. It also analyzes the changing process of colder airflow status parameters. Then, the reason of change in cold airflow status with different installation position and cold air conveying mode is analyzed in detail. In order to achieve the optimal cooling solution in different installation positions of air cooler and air supply mode, the paper has taken the following steps: first of all, it proposes the calculation method of air cooler exit parameter under different conditions. Calculation result must ensure the temperature of extracting coal face to meet the design requirement. Secondly, every part which constitutes the cooling capacity of air cooler is introduced under different cooling schemes. Thirdly, it qualitatively analyzes the size of cooling capacity needed. Results show that it is the optimum cooling solution when air cooler is far from extracting coal face and colder air is translated by saliva isolation. It can say that the above researches help to provide a guide for high temperature mine cooling system design.

Key words: extracting coal face; air cooler; installation position; air supply mode; air handling process

20 世纪 90 年代初,中国煤田地质总局在所探明的煤炭储量中,埋深大于 1 000 m 的占全国预测总量的 59.5%^[1]。当埋深在 1 000 ~ 2 000 m 之间时,地温

正常区的原岩温度预计可达 46 ~ 76 °C 左右,采掘工作面进风流温度预计可达 35 ~ 46 °C 左右^[2](采取降温措施前)。因此,随着矿井开采深度的不断加深,必

然有愈来愈多的煤矿面临高温热害威胁,且会愈来愈严重,热害将是制约矿井生产的重要因素。

目前,解决矿井采掘工作面高温的最有效措施是人工制冷降温技术^[3-6]。人工制冷降温技术的工艺流程如图1所示。冷源设备生产出低温冷冻水;冷冻水通过水泵输送到安装在工作面附近的空冷器;冷冻水在空冷器内与高温风流进行热交换,生产出低温冷风;低温冷风沿巷道或风筒输送到工作面空间,吸收工作面热量,降低工作面风流温度,实现工作面降温。

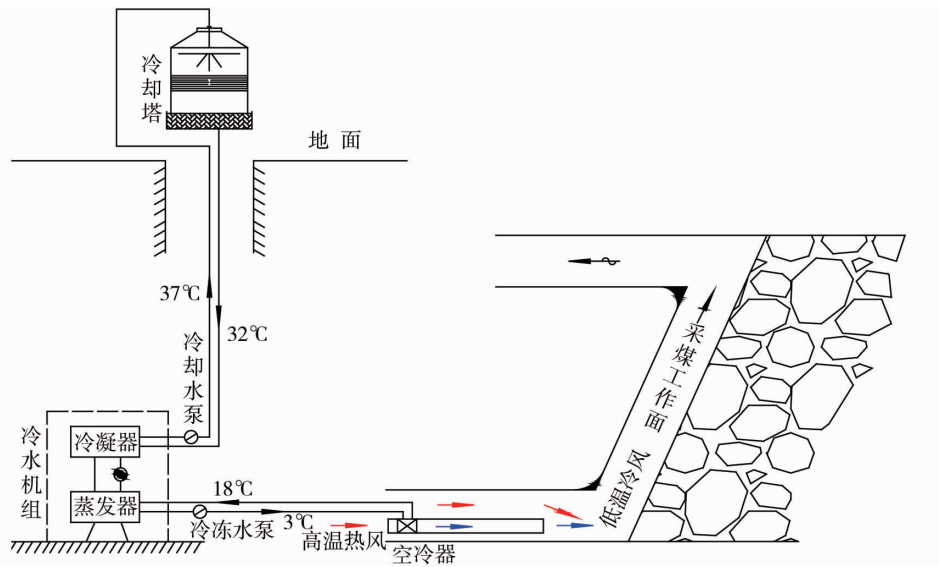


图1 人工制冷降温技术工艺流程图

但是,空冷器出口冷风参数不仅与工作面空间冷负荷大小、冷风沿途冷损失大小有关,还与冷风输送方式有关。掌握不同冷风输送方式下的采掘工作面空气状态变化过程,是准确确定空冷器出口冷风参数、装机冷量、冷冻水供水参数的保证,是确保工作面达到设计温度、实现预期降温效果的保证。

本文针对常见的空冷器安装位置和冷风输送方式,分析自空冷器出口到工作面空间的冷风流状态参数变化过程,定性分析不同空冷器安装位置和冷风输送方式对空冷器出口冷风参数、冷冻水供水温度、装机冷量要求,为合理确定空冷器出口冷风参数、冷冻水供水参数、装机冷量提供理论依据。

1 实施降温措施的采煤工作面空气处理过程分析

由于矿井开采过程中会产生大量有毒有害气体和粉尘,禁止使用循环风^[3,7]。因此,根据空气调

在上述矿井降温工艺流程中,经空冷器生产出的低温冷风温、湿度参数高低及处理冷风量的大小是影响工作面降温效果的关键。在工作面空冷器处理风量一定的情况下,其出口风流温、湿度参数将直接决定工作面空间能否达到设计温湿度要求。反过来讲,要实现工作面空间温湿度参数要求、达到预期降温效果,必须根据工作面空间冷负荷及冷风输送沿途冷损失大小等反推空冷器出口的冷风温湿度参数。只有这样才能保证工作面降温效果,才能合理选择供冷参数和降温设备。

节理论^[8,9],采掘工作面空气处理系统只能使用全新风系统,即:空气调节理论中的直流送风系统。直流送风系统的特点是:送入工作空间的冷风流吸收工作空间多余的热量后,全部排出工作空间。

另外,由于煤矿开采过程中会涌出大量具有爆炸性的瓦斯气体,为了保证安装空冷器的巷道内的瓦斯及时排出,巷道内的高温新鲜风流不能全部通过空冷器降温处理,还必须有部分高温风流旁通(旁通量按《煤矿安全规程》要求巷道内风流速度不小于0.25 m/s确定)^[3,7],再与降温处理的冷风流混合,进入工作面空间实现工作面降温。

目前,采煤工作面常见的空冷器安装位置与冷风输送方式如图2~图4中的(a)图所示,其对应空气状态变化过程如图2~图4中的(b)图所示。

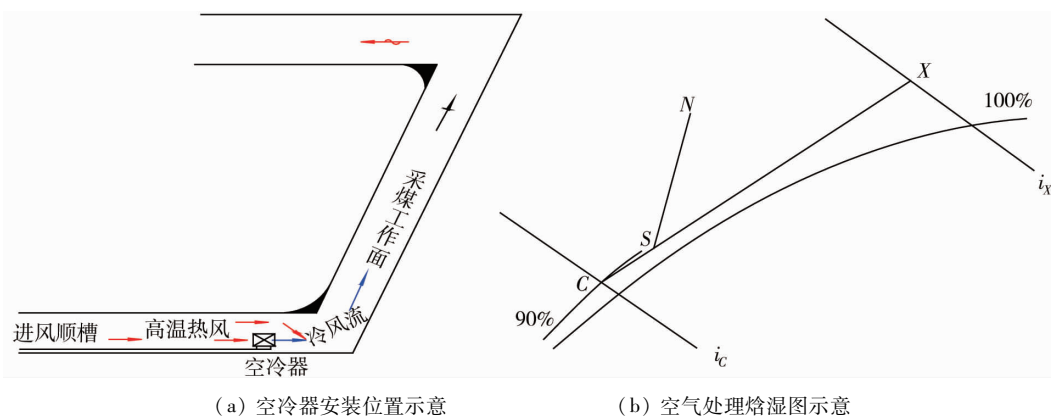
1.1 空冷器安装在靠工作面入口附近处

此种空冷器安装位置的空气处理状态变化过程如图2(b)所示:部分X状态的高温新鲜风流经

空冷器降温、降湿处理到机器露点 C 状态, C 状态的冷风流在空冷器出口与未经处理的 X 状态高温风流混合到 S 状态, S 状态的冷风送入工作面空间, 吸收工作面空间多余热量、湿量, 实现设计预期的工作面温湿度状态 N 。

图2所示的空冷器安装位置及冷风输送方式下, 空冷器的装机冷量包括: 进入工作面的高温风流携带的热量(进入工作面的全部风流携带的热量, 而不仅仅是被空冷器处理的风量携带的热量)和工作面空间各种热源产生的热量, 由于空冷器距工作面很近, 忽略冷风输送冷损失。

根据图2(b)所示的空气处理变化过程可知:



(a) 空冷器安装位置示意

(b) 空气处理焓湿图示意

图2 空冷器安装在进风顺槽靠工作面入口附近空气处理过程

只有按上述计算程序, 将设计风量处理到状态 C , 送入工作面空间, 才能实现工作面预期的温湿度状态 N , 达到预期降温效果。

1.2 空冷器安装在距工作面入口较远距离处, 冷风沿巷道输送

此种空冷器安装位置的空气处理状态变化过程如图3(b)所示: 部分 X 状态的高温新鲜风流经空冷器降温、降湿处理到机器露点 C 状态, C 状态的冷风流在空冷器出口与未经处理的 X 状态高温风流混合到 H 状态, H 状态的低温风流沿巷道送入工作面空间前, 吸收进风顺槽内的热量、湿量, 变化到 S 状态, S 状态的冷风进入工作面空间, 吸收工作面空间多余热量、湿量, 实现设计预期的工作面温湿度状态 N 。

图3所示的空冷器安装位置及冷风输送方式下, 空冷器的装机冷量包括: 进入工作面的高温风流携带的热量(进入工作面的全部风流携带的热量, 而不仅仅是被空冷器处理的风量携带的热量)

要想使工作面风流温湿度维持在设计状态(N 状态点)的温湿度, 必须根据工作面冷负荷、湿负荷大小和进入工作面风量的大小, 计算确定进入工作面冷风流的温度、湿度大小(即确定 S 状态点); 确定了 S 状态点后, 再根据经空冷器处理的风量的大小和旁通高温风流流量大小, 计算确定满足工作面降温要求的空冷器出口冷风流 C 状态(即机器露点, 此状态相对湿度一般设定在90%左右)的温度大小; 再根据 C 状态点温湿度大小、空冷器处理风量大小、空冷器换热效率等参数, 计算确定获得 C 状态的风流温湿度需要供给的冷冻水温度及水量。

和工作面空间各种热源产生的热量, 还包括冷风自空冷器出口沿巷道输送到工作面入口一段距离的沿途输送冷损失(此输送冷损失包括冷风流与巷道围岩及电气设备间的温差传热、与巷道壁面等产生的湿量交换引起的潜热换热, 忽略辐射换热)。

根据图3(b)所示的空气处理变化过程可知: 要想使工作面风流温度维持设计状态(N 状态点)的温湿度, 必须根据工作面冷负荷、湿负荷大小, 进入工作面风量的大小, 计算确定进入工作面风流的温度、湿度大小(即确定 S 状态点。注: 在工作面冷负荷及送风量不变的情况下与图2(b)中的 S 状态点的温湿度应一致, 但图3(b)中为了反映输送冷损失存在, 图示稍有出入); 确定了 S 状态点后, 根据冷风自空冷器出口沿巷道输送到工作面入口一段距离的沿途输送冷损失大小, 计算空冷器出口冷、热风流混合状态 H 的温湿度大小, 再根据经空冷器处理的风量的大小和旁通高温风流流量大小, 计算确定满足工作面降温要求的空冷器出口冷风

流 C 状态的温度大小;再根据 C 状态点温湿度大小、空冷器处理风量大小、空冷器换热效率等参数,

计算确定获得 C 状态的风流温湿度需要供给的冷冻水温度及水量.

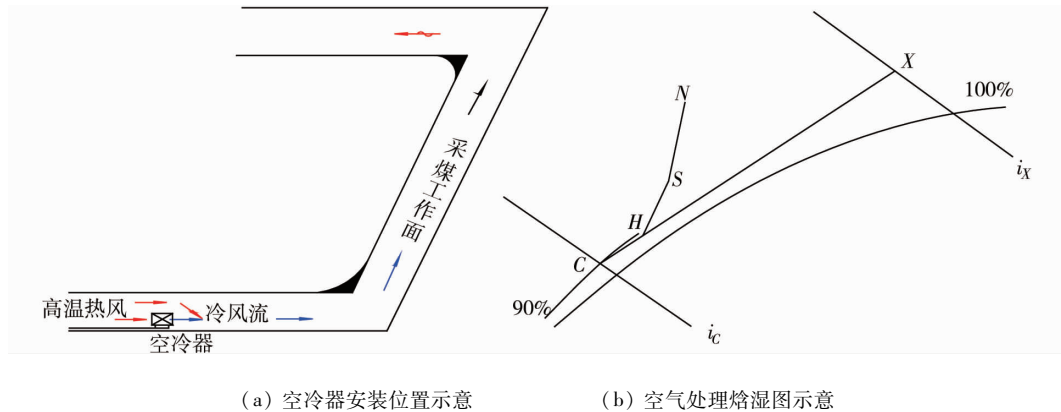


图 3 空冷器安装在距工作面入口较远位置、冷风沿巷道输送空气处理过程

从图 2 和图 3 所示的空冷器安装位置及冷风输送方式可知:在相同的空冷器进风参数和工作面冷负荷情况下,图 3 所示的方式较图 2 所示方式增加了冷风沿巷道输送的冷损失,此沿途冷损失受巷道围岩温度、湿度及巷道内摆放的机电设备散热量的影响;此沿途冷损失既包括温差传热引起的显热冷损失,还存在湿量交换引起的潜热冷损失,同时增加了冷风流的含湿量及相对湿度.因此,要保证工作面设计风流状态 N,必然要求空冷器出口风流状态 C 的温度、含湿量较图 2 所示方式的更低;空冷器出口风流状态 C 的温度、含湿量较低,必然要求供给空冷器的冷冻水温度更低(或要求供给更多的冷冻水量),进而对冷水机组(或其它冷源设备)提出更高的要求.

1.3 空冷器安装在距工作面入口较远距离处,冷风沿风筒输送

此种空冷器安装位置的空气处理状态变化过程如图 4(b)所示:部分 X 状态的高温新鲜风流经

空冷器降温、降湿处理到机器露点 C 状态,C 状态的冷风流沿风筒送到工作面空间前,通过风筒壁与进风顺槽内高温热风进行换热,假如风筒隔湿性能良好,冷风流在风筒内将等湿升温到 T 状态,T 状态的冷风流再在风筒出口与未经处理的 X 状态(忽略进风顺槽内风流状态变化)高温风流混合到 S 状态,S 状态的冷风进入工作面空间,吸收工作面空间多余热量、湿量,实现设计预期的工作面温湿度状态 N.

图 4 所示的空冷器安装位置及冷风输送方式下,空冷器的装机冷量包括:进入工作面的高温风流携带的热量(进入工作面的全部风流携带的热量,而不仅仅是被空冷器处理的风量携带的热量)和工作面空间各种热源产生的热量,还包括冷风自空冷器出口沿风筒输送到工作面入口一段距离的沿途输送冷损失.此种情况的沿途输送冷损失,在风筒隔湿性能良好的情况下,仅为风筒内外温差引起的显热交换,不存在湿量交换及其引起的潜热交换.

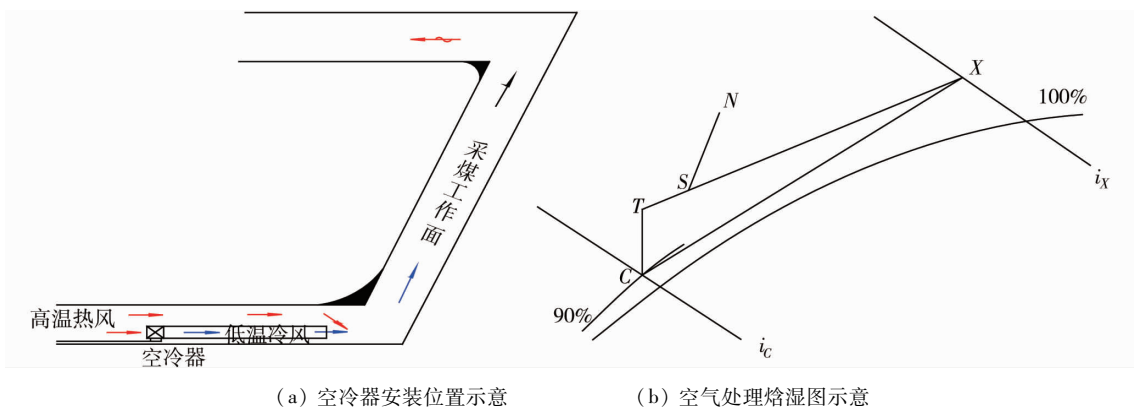


图 4 空冷器安装在距工作面入口较远位置、冷风沿风筒输送空气处理过程

根据图4(b)所示的空气处理变化过程可知:要想使工作面风流温度维持设计状态(N 状态点)的温湿度,必须根据工作面冷负荷、湿负荷大小,进入工作面风量的大小,计算确定进入工作面风流的温度、湿度大小(即确定 S 状态点);确定了 S 状态点后,根据风筒出口冷风量大小和巷道内高温风流风量大小,计算确定风筒出口满足工作面降温要求的冷风流温湿度状态 T ;再根据冷风自空冷器出口沿风筒输送到工作面入口一段距离的沿途输送冷损失大小,计算满足工作面降温要求的空冷器出口冷风流 C 状态的温度大小;再根据 C 状态点温湿度大小、空冷器处理风量大小、空冷器换热效率等参数,计算确定获得 C 状态的风流温湿度需要供给的冷冻水温度及水量。

从图2~图4所示的空冷器安装位置及冷风输送方式可知:在相同的空冷器进风参数和工作面冷负荷情况下,图4所示的方式较图2所示方式增加了冷风沿风筒输送的冷损失。但图4所示送冷风方式的沿途冷损失仅受风筒内外风流温度差的影响(风筒隔湿性能良好情况下);当不考虑风筒漏风对巷道内风流状态影响的情况下(即使考虑风筒漏风,只会降低巷道内风流温度),可近似认为近工作面一定距离的送风顺槽内的风流温、湿度变化很小;而风筒内冷风流由于吸热,温度会随输送距离的增加逐渐升高。因此,在相同的冷风输送距离下,图4所示方式较图3所示方式,沿途冷风输送冷损失必然要小些,约减小了湿量交换引起的潜热冷损失。

因此,在相同的工作面冷负荷情况下,保证工作面设计风流状态 N ,图4所示的布置方式和冷风输送方式,要求的空冷器出口风流状态 C 的温度、含湿量较图2所示方式要低些,但较图3所示方式要高些;要求供给空冷器的冷冻水温度较图2也要低些(或要求供给更多的冷冻水量),较图3要高些。

综合上述分析可知,图4所示空冷器安装位置及冷风输送方式的装机冷量、空冷器出风温度、冷冻水供水温度介于图2和图3所示方式之间。但考虑采煤工作面生产的其它因素,图4所示方式具有以下优点。

1)避免了图2所示安装位置空冷器频繁搬迁现象,对工作面生产影响较小。

2)冷风沿风筒输送过程中,虽然风筒出口风流温度升高了,但风流含湿量和相对湿度较小,送入工作面空间的干燥风流,吹在人体表面有利于人体表面汗液蒸发。实践证明:温度较高的干燥风流送入工作面空间可提高人体热舒适感,避免了图2所示方式风温较低引起的人体不适。

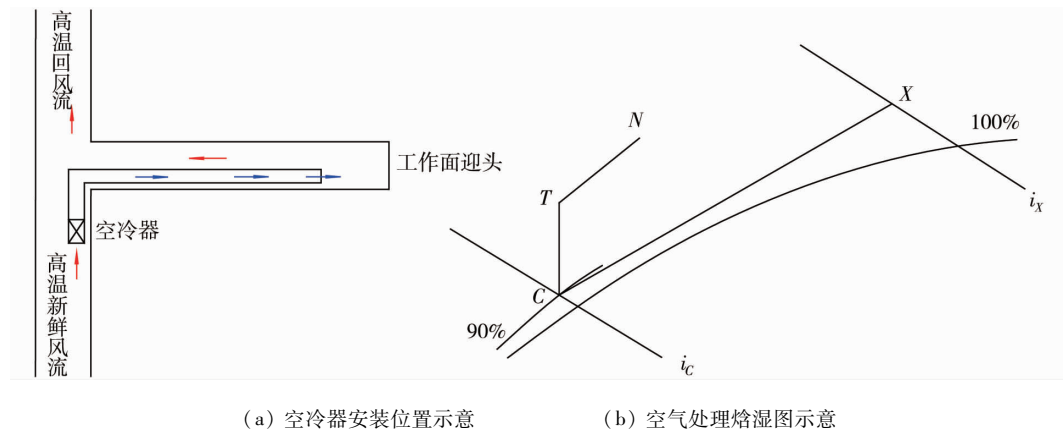
3)避免了图3所示方式可能引起巷道内风流结雾现象。因为,空冷器出口风流温度较低,一般都低于巷道内高温热风流的露点温度。当空冷器出口低温冷风流与巷道内高温热风流在巷道内混合时,会产生冷凝现象,凝结产生的水珠弥散到风流中,出现结雾现象。冷凝结露过程中释放出来的冷凝热,重新进入风流,增加了冷风的冷量损失,同时会使冷风温度升高。

2 实施降温措施的掘进工作面空气处理过程分析

掘进工作面常见的空冷器安装位置与冷风输送方式如图5中的(a)图所示^[7],其对应空气状态变化过程如图5中的(b)图所示。

掘进工作面的冷风流沿风筒输送到工作面迎头,其空气处理状态变化过程如图5(b)所示: X 状态的高温新鲜风流经空冷器降温、除湿处理到机器露点 C 状态, C 状态的冷风流沿风筒送到工作面空间前,通过风筒壁与掘进巷道内热回风流进行换热,假如风筒隔湿性能良好,冷风流在风筒内将等湿升温到 T 状态, T 状态的冷风流进入工作面空间,吸收工作面空间多余热量、湿量,实现设计预期的工作面温湿度状态 N 。

由于掘进工作面通风的特殊性,经风机压入空冷器的新鲜风流,被空冷器全部冷却到机器露点状态 C ,此 C 状态的冷风沿风筒输送到工作面迎头空间的过程中,存在2种冷量损失:一是风筒沿途输送冷损失,该部分冷损失是由于风筒内冷风流通过风筒壁与巷道热风流间的温差传热引起的冷量损失(假设风筒隔湿性能良好,不存在湿交换);二是风筒漏风冷损失,因为风筒沿途漏风是不可避免的,这部分漏风携带的冷量没有进入工作面迎头空间,而是沿途漏入掘进巷道回风流中被排出,其对工作面迎头空间不起降温作用(但其对掘进巷道回风流有一定的冷却作用,可降低风筒内外传热温差,减少风筒内外温差传热冷损失)。



(a) 空冷器安装位置示意 (b) 空气处理焓湿图示意

图5 掘进工作面空冷器安装位置及空气处理过程

根据上述分析,掘进工作面空冷器的装机冷量等于将风机吸风量从 X 状态处理到机器露点 C 状态所需的全部冷量. 其包括:掘进工作面迎头空间各种热源产生的热量、风筒漏风损失冷负荷、风筒沿途温升损失冷负荷和高温新风携带的热量.

从降温系统设计角度出发,要确保工作面迎头空间状态 N 的温湿度要求,必须要根据掘进工作面迎头空间各种热源产生的热量、风筒漏风损失冷负荷、风筒沿途温升损失冷负荷及高温新风携带的热量反推空冷器出口冷风状态 C 的温湿度大小. 但由于风筒漏风冷损失是沿途逐渐损失的,其对 C 状态的确定影响不大. 因此,在 C 状态确定过程中,可不考虑漏风及其漏风冷损失,按进入工作面迎头空间的风量为基准,反推空气处理过程中的 T 状态、 C 状态.

根据图 5(b) 所示的空气处理变化过程可知:要想使工作面风流温度维持设计状态(N 状态点)的温湿度,则必须根据掘进工作面迎头空间冷负荷、湿负荷大小,进入工作面风量的大小,计算确定进入工作面 T 状态风流的温度、湿度大小;确定了 T 状态点后,再根据沿途输送冷损失大小,计算满足工作面降温要求的空冷器出口冷风流 C 状态的湿度大小;再根据 C 状态点温湿度大小、空冷器处理风量大小、空冷器换热效率等参数,计算确定获得 C 状态的风流温湿度需要供给的冷冻水温度及水量.

3 结论

1) 采煤工作面在不同降温模式下,空冷器的出口参数计算须根据需冷量的构成按计算流程计算. 空冷器安装在工作面入口附近冷风沿巷道输送时,其需冷量由新风携带热量、工作面散热量构成;空冷器安装在距工作面较远距离处冷风沿巷道输

送时,其需冷量由新风携带热量、工作面散热量、冷风沿途输送冷损失构成;空冷器安装在距工作面较远距离处冷风沿风筒输送时,其需冷量由新风携带热量、工作面散热量、冷风沿风筒输送冷损失构成.

2) 掘进工作面空冷器的装机冷量应包括掘进工作面迎头空间各种热源产生的热量、风筒漏风损失冷负荷、风筒沿途温升损失冷负荷和高温新风携带的热量 4 部分. 其空冷器出口参数的计算须根据需冷量的构成计算.

3) 将空冷器距工作面一定距离安装、并用风筒输送冷风的采煤工作面降温方式较其他 2 种方式在实用上与经济上具有一定的优越性,建议实际工作中采用.

参考文献:

- [1] 李化敏,李华奇,周苑. 煤矿深井的基本概念与判别准则[J]. 煤矿设计,1999(10):5-6.
- [2] 梅甫定. 高温矿井是否进行增风降温的判别[J]. 煤矿设计,1992(4):9-12.
- [3] 余恒昌,邓孝,陈碧琬,等. 矿井地热与热害治理[M]. 北京:煤炭工业出版社,1991.
- [4] 刘何清. 高温矿井井巷热质交换理论及降温技术研究[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [5] 姬建虎,廖强,胡千庭. 矿井冷负荷分析[J]. 重庆大学学报,2013,36(4):125-130.
- [6] 郭平业,朱艳艳. 深井降温冷负荷反分析计算方法[J]. 采矿与安全工程学报,2011,28(3):484-487.
- [7] 张国枢,谭允祯,陈开岩,等. 通风安全学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [8] 赵荣义,范存养,薛殿华,空气调节[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [9] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.