

孔庄煤矿集中降温方案的选择与优化

吴继忠, 刘祥来, 姚向东, 王建军

(上海大屯能源股份有限公司, 江苏沛县 221611)

[摘要] 从孔庄煤矿井筒布置和矿井生产条件出发,先后总结、分析了片冰降温系统、热-电-乙二醇降温系统、井下低温水排热的井下集中降温系统(HEMS)和真空制冰降温系统。从集中降温方案效果、投资、降温系统运行稳定性、井筒输冷管路安装、矿井制冷水质、井下制冷排热等方面综合考虑,适合孔庄煤矿特点的集中降温途径只能是真空制冰降温方案,为矿井三期改扩建工程按期投产、验收创造了条件。同时,该降温工程的实施必将填补我国在矿井集中降温领域的一项技术空白,并在制冰技术、输冰管道、输冰工艺、压风冷却、井下融冰工艺、制冰节能技术上取得突破,进而推动我国煤矿降温制冷工艺的创新和发展。

[关键词] 煤矿;热害治理;集中降温系统;真空制冰;方案选择;优化

[中图分类号] TD727 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)11-0059-09

1 前言

孔庄煤矿主采下二叠系山西组7号和8号煤层,7号煤层平均厚度为4.54 m,8号煤层平均厚度为2.93 m,矿井核定生产能力为150万t/a。2007年进行矿井三期改扩建,深部扩建区生产能力为75万t/a。矿井改扩建后仍采用立井开拓,共5个立井,即主副井担负矿井进风和运输,东风井和南风井担负矿井回风,距现有主井约850 m新建一个混合立井至井田深部-1 015 m水平,担负扩建区域的进风和运输。矿井总排风量为17 000 m³/min,通风方式为混合式,通风方法为抽出式。

矿井采用立井多水平开拓方式,开采深度为-150 m~-1 300 m。全矿共划分为4个开采水平,第一水平标高为-375 m,第二水平标高为-620 m,第三水平标高为-785 m,第四水平标高为-1 015 m。-1 015 m水平为新扩建水平,目前正在进行开拓。

矿井恒温带深度为26~30 m,温度为16℃。-620 m以上区域的地温梯度为2.36℃/100 m,-620 m以下区域的地温梯度为2.42℃/100 m,-450 m~-620 m水平地温为26~30℃,

-620 m~-900 m水平地温为30~37℃,为一级热害区。-900 m~-1 000 m地温为38~39℃,为二级热害区。-785 m原岩温度为35.2℃,气温约为30℃。-1 015 m原岩温度为40.4℃,气温约为34℃。

2 降温课题的提出

根据国家有关规定及孔庄矿的实际情况,孔庄矿目前及将来的开采区域会遇到矿井高温热害,从安全生产和保护矿工合法权益出发,必须采取降温措施。该项目列为中国中煤能源集团有限公司(以下简称中煤集团)2011年重大科技项目。

2.1 煤矿建设项目“三同时”的要求

根据孔庄煤矿三期改扩建进度安排和矿井接续计划,三期工程的IV1采区首采工作面于2012年7月份投产。IV1和IV2采区放在-1 015 m水平回采,目前正紧张地施工-1 015 m水平大巷和IV1采区准备巷道。矿井深部降温系统为改扩建工程安全设施,必须和煤矿建设项目主体工程同时设计、同时施工和同时投入使用。

2.2 国家法律法规的要求^[1,2]

《煤矿安全规程》第102条规定:“生产矿井采

[收稿日期] 2011-08-30

[作者简介] 吴继忠(1962—),男,江苏南京市人,教授级高级工程师,主要研究方向为采矿工程;E-mail: wjz6888@126.com

掘工作面空气温度不得超过 26 ℃,采掘工作面的空气温度超过 30 ℃时,必须停止作业”。因此,矿井降温是为了严格按照国家法规进行生产。

2.3 消除热害对职工和安全生产的影响

综合国内外最新研究成果,矿井高温热害可分为对人的影响、对机电设备的影响和综合影响。

2.3.1 对人的影响

当气温为 30 ℃时,在这种温度下工作 2~3 h,人体通过微微渗汗散发积蓄的体热。31 ℃时,人体心跳加快,血液循环加速,应限制体弱者工作。32 ℃时,人体通过蒸发汗水散发热量进行“自我冷却”,每天大约排出 5 L 汗液,可带走 Na 15 g、维生素 C 50 mg 及其他矿物质,血容量也随之减少从而容易造成电解质紊乱。33 ℃时,多脏器参与降温,人体通过汗腺排汗已非常困难,且难以保证正常体温,不仅肺部急促“喘气”以呼出热量,就连心脏也要加快速度。34 ℃时,汗腺濒临衰竭,这时容易出现心脏病猝发的危险。35 ℃时,高温直逼生命中枢,导致头昏眼花、站立不稳。36 ℃时,已危及生命并可造成休克。

2.3.2 对机电设备的影响

矿井里任何机电设备、电缆均是通过与环境的对流来散发本身所产生的热量,其工作环境温度、湿度超过规定的限值或长期处在限值附近,必将导致设备散热困难,以致发生设备故障。一般情况下,按常规方法难以查明发生事故的原因。

机电设备的环境温度要求:我国矿用一般型机电设备的工作环境温度需 ≤ 40 ℃;矿用隔爆型机电设备的工作环境温度需 ≤ 45 ℃。但这并不等于说,只有到了上述限值才会发生设备故障,如果机电设备长期处在上述限值附近,则机电设备故障率将明显上升。

日本通产省的调查统计表明,机电设备在相对湿度 90% 以上且气温为 30~34 ℃的地点工作时,其事故率比低于 30 ℃的作业地点高 3.6 倍。

2.3.3 矿井高温的综合影响

以目前的气候标准为基础,国内外研究统计表明,气温每升高 1 ℃,矿井生产效率则降低 6%~8%,矿工劳保医疗费增加 8%~10%。根据南非的最新统计,在湿球温度 32.8~33.8 ℃下工作的工人,千人中暑死亡率为 0.57。以 30 ℃为标准,气温每升高 1 ℃,井下机电设备的故障率增加 1 倍以上。实际上姚桥、孔庄两矿内,高温作业地点的工作效率

相对低下的情况也是客观存在的。

综上所述,孔庄煤矿 IV1 采区生产和 -1 015 m 大巷开拓掘进均受热害影响,并且热害比较严重。如果不采取降温措施,势必制约矿井三期工程投产,违反国家有关法规、危害职工身心健康、增加设备故障率、影响高温地点作业效率,从而影响公司发展战略的实现。因此,建立孔庄煤矿集中降温系统势在必行。

3 孔庄煤矿集中降温系统方案的选择

3.1 降温系统方案选择的提出

孔庄矿改扩建初步设计于 2007 年 8 月由北京华宇设计公司设计完成,设计中含一套矿井地面集中降温系统,降温工艺为地面电制片冰,然后将冰输入井下融冰池,制成冷水,将冷水输往工作地点进行风水热交换,以达到降低作业地点气温的目的。井筒输冰管设计外径为 325 mm,井筒装备的采购和安装按照输冰管设计外径尺寸预留位置。降温范围为 1 个采煤工作面和 6 个掘进工作面,日需冰量 720 t。设计中提出了热害治理方案,但方案没有细化,只是列出了大概的投资及制冰规模。

结合项目的不断推进,发现井筒预留输冰管路的管径无法满足输送片冰的要求。电制片冰厂家提出最小输冰管径为 460 mm,再加上输冰管外保温层,输送片冰管路外径达 560 mm,混合井筒内无法安装。这就限制了采用片冰降温的可能性。

为确保矿井集中降温方案按期实施,需对国内外集中降温方案进行考察,选择适合孔庄煤矿实际特点的降温系统。

3.2 国内外集中降温系统方案工艺特点

从 2009 年起,上海大屯能源股份有限公司(以下简称大屯公司)先后多次组织人员对煤矿集中降温系统进行了实地考察。先后考察了新汶矿业集团孙村矿、唐口矿和中国平煤神马能源化工集团有限责任公司(以下简称中平能化集团)六矿电制片冰降温 and 四矿、十一矿热电乙二醇低温制冷技术;徐州矿务集团有限公司(以下简称徐矿集团)夹河矿、三河尖矿井下集中降温。2011 年 3 月份组织相关部门及武汉星田热环境控制技术有限公司、北京华宇设计公司有关人员 for 南非最深金矿真空制冰降温系统进行了考察。

3.2.1 电制片冰降温系统

平煤六矿隶属中平能化集团,原煤产量为

360 万 t/a,最深水平为 650 m,降温前工作面温度为 34~36 ℃。制冰机装机容量为 2 449 kW (电功率),总制冷量为 3 500 kW,降温地点冷量为 2 100 kW,制冷量损失约为 1 400 kW。设计日产片冰 720 t,实际产冰 600 t,系统于 2006 年 2 月 12 日开始安装,7 月 12 日安装调试后投入运行,设计供 1 个采煤工作面和 2 个掘进工作面使用。2009 年至今,降温系统已停止使用。该冰冷降温系统总投资 5 200 多万元,其中设备投资 2 900 万元。制冷站占地面积 500 m²,主要由地面制冷机房、主井井筒及主回风巷降温管路、主井底供水泵房、各采掘迎头分支管路及空冷器 4 个部分组成,其中地面制冷机房是降温系统的核心部分,主要作用是制出矿井降温所需的片冰。

其主要设备组成及流程如下:首先由 Grasso 公司生产的 4 台制冷机提供冷源,再由 12 台 X60T 型片冰机制出片冰,通过 2 台螺旋输冰机把冰收集到各自的落冰口,然后分别经螺旋输冰装置将片冰送至主井井口漏斗。片冰进入主井输冰管路,靠自重进入井底融冰硐室融冰池。由 1 台 220 kW 供冷水水泵将融冰池内低温冷水通过输冷管路送至各用冷地点,并利用安装在进风巷和采掘工作面的空冷器、裸管、喷淋等进行冷量交换,来降低风流温度,交换后剩余大部分水再通过管路流回融冰池,用于融冰。

其他主要配套设备由 12 台蒸发器和 4 座冷却塔组成,主要配电装置采用 10 kV KYGG 型高压开关柜。降温系统年运行费用为 848 万元,维护人员 18 人,工作量集中在制冰站。制冷剂选用 R22,年消耗 5.5 t 左右。

目前系统运行采用非集中控制,不能监测井下采掘工作面温度,也不能根据井下热负荷变化来自动控制制冷机的制冷量。降温系统能将工作面上口温度降低 3~4 ℃,下口温度降低 6~8 ℃,但存在输冰立管二次结冰产生的冰堵问题,对输冰管管径要求较高,管径小则无法使用。

运行成本上能耗高,一天的运行电费为 2.6 万元左右,一年的综合运行成本达 848 万元。电制片冰降温系统流程如图 1 所示。

3.2.2 热-电-乙二醇低温制冷系统^[3]

平煤四矿隶属中平能化集团,原煤产量为 300 万 t/a,最深水平为 -850 m,降温前工作面进风温度为 28.8 ℃。制冷机装机总容量为 1 350 kW (电功率),总制冷量为 7 092 kW,降温地点冷量为

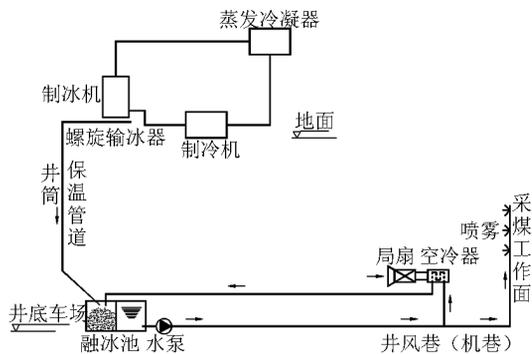


图 1 电制片冰降温系统流程图

Fig. 1 System diagram of mine cooling by slice-ice

4 600 kW,制冷量损失约为 1 300 kW。系统于 2007 年 2 月 26 日开始安装,7 月 8 日安装调试后投入运行,供 1 个采煤工作面和 4 个掘进工作面使用。目前采煤工作面空冷器运行 2 组(共 3 组),降温后进风温度为 19.2 ℃,掘进工作面温度为 24~26 ℃。降温系统总投资为 3 980 多万元,其中设备投资 1 600 万元,占地面积 900 m²,主要由 1 台溴化锂冷水机组、2 台乙二醇螺杆冷水机组及 7 台矿用高低压换冷器、42 台矿用高压组合式空冷器、10 台水泵等部分组成。其中地面制冷机房是降温系统的核心部分,主要作用是制出矿井降温所需的低温乙二醇溶液。

其主要设备组成及流程如下(见图 2):由远大集团生产的 1 台 BY300 型制冷机提供冷源,再由 Grasso 公司生产的 2 台 1000 型螺杆制冷机组制出 -3.4 ℃ 低温乙二醇溶液(目前为 8 ℃ 的冷水)。通过 1 台水泵把低温乙二醇溶液送入主井输冷管路,通过低温乙二醇溶液循环与井下冷冻水热交换。由 1 台 200 kW 供冷水水泵将低温冷水通过输冷管路送至各采掘工作面,并利用安装在进风巷和采掘工作面的空冷器进行热交换,来降低风流温度。交换后剩余大部分水再通过管路返回,继续与低温乙二醇溶液热交换。

其他主要配套设备由 3 台蒸发器和 3 座冷却塔组成。降温系统年运行费用 455 万元,维护人员 18 人,工作量集中在地面制冷站和井下换冷硐室。制冷剂选用溴化锂,年消耗为零。

目前系统运行实现了集中控制,并可监测井下采掘工作面温度,还可根据井下热负荷变化来自动控制制冷机的运转。降温系统能将工作面上口温度降低 6 ℃ 左右,下口温度降低 8 ℃ 左右,不会产生冰堵现象,能连续运转,但井筒中需布置两趟输冷管路。

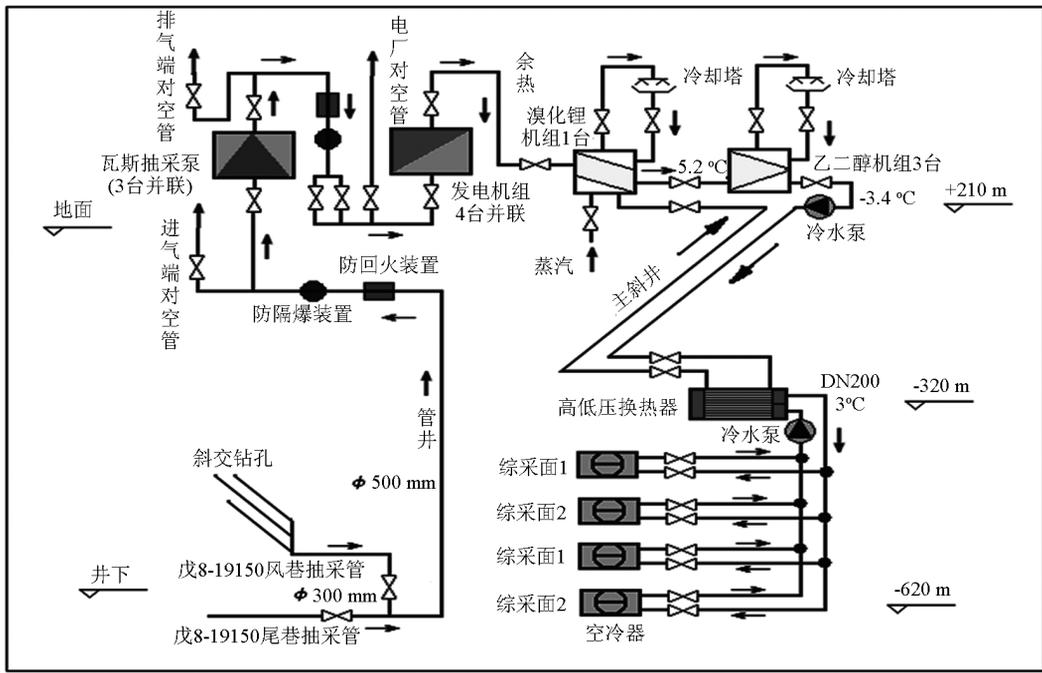


图2 热-电-乙二醇低温制冷流程图

Fig. 2 Flow diagram of heat-power-glycol low temperature refrigeration

运行成本上,该系统充分利用本矿瓦斯电站及矸石电厂余热,能耗较低,一天的运行电费为 1.47 万元,一年的综合运行成本为 455 万元。

3.2.3 井下集中降温系统

该系统在徐矿集团三河尖煤矿得到成功应用。三河尖煤矿核定生产能力为 220 万 t/a,最深水平为 -980 m,降温前工作面气温为 36 °C 左右。系统于 2008 年 7 月投入运行,供 2 个采煤工作面和 4 个掘进工作面使用。工作面降温后进风温度为 26 ~ 29 °C。矿井 -700 m 水平矿井涌水量为 100 ~ 120 m³/h,水温为 25 ~ 30 °C。奥陶系灰岩水在 21102 工作面突水动态补给量为 1 020 m³/h,水温为 50 °C 左右。

其主要组成及流程如下:针对三河尖矿冷源短缺、地热资源丰富的特点,采用 HEMS 降温技术,结合三河尖矿地面供热情况,利用三河尖煤矿底层温度存在热异常特性,首先利用井下热水进行地面热能利用,冬季取热代替锅炉供热,将取热后的冷水进行地下储存,夏季补充井下冷量不足,进行井下降温取冷换热。地热异常降温工作原理如图 3 所示^[4,5]。

在井下 -700 m 水平设置 HEMS-I 制冷工作站,从循环水体中提取冷能,供给 HEMS-II 降温工

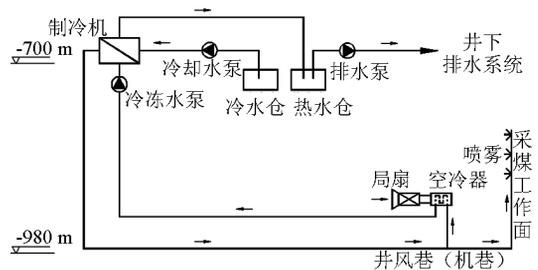


图3 井下低温水热的井下集中降温系统

Fig. 3 Systematic diagram of HEMS

作站。在井下 -980 m 水平设置 HEMS-II 降温工作站,对井下高温采掘工作面进行降温。在地面设置 HEMS-III 热(冷)能利用工作站,提取循环水体中的热能,取代地面锅炉系统进行供热。在 -700 m 水平设置 HEMS-PT 压力转换工作站,降低 HEMS-I 承受的压力。将第四系含水层作为储能层调节冷热能。整个项目分两期实施,一期实现井下降温,二期实现井上供热。

降温系统能将工作面温度降低 6 ~ 10 °C,实现连续运转,对矿井冷源量要求较高,井下需要有良好的排热条件,且水质硬度较高会对系统热交换效果产生一定影响。该系统如果在孔庄煤矿使用,其降温系统总投资约为 2 100 万元,年运行费用为

214 万元。

3.2.4 真定制冰降温系统

英美矿业母朋能金矿(南非)年产黄金 500 万盎司(1 盎司 \approx 28.35 g),最深水平为 4 000 m,主井深为 3 770 m,降温前作业地点气温为 55 $^{\circ}$ C,水温为 55~60 $^{\circ}$ C,岩温为 60 $^{\circ}$ C,降温后作业地点气温为 28 $^{\circ}$ C。

真定制冰降温系统主要由 9 套 VIM850 真定制冰机、5 台螺杆式冷水机、9 座冷却水塔、1 条水平输冰皮带和 2 趟垂直输冰管(直径分别为 300 mm 和 500 mm)组成,其中真定制冰机是降温系统的核心部分,主要作用是制出矿井降温所需的颗粒冰。地面制冷系统无建筑物,设置防雨篷。制冰机装机容量为 3 410 kW(电功率),系统总装机制冰量为 9 180 t/d,总制冷量为 27 MW,设计日产颗粒冰为 9 180 t。整个降温系统分三期建设,第一套制冰系统于 1990 年开始安装,1991 年安装调试后投入运行,安装周期为 3 个月。设计供冷 2 个水平 20 多个作业地点。真定制冰降温系统投入运行后,降温幅度达 27~30 $^{\circ}$ C。真定制冰工作原理如图 4 所示。

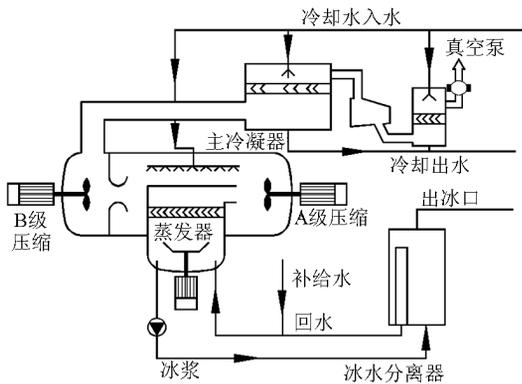


图 4 真定制冰机工作原理

Fig. 4 Working diagram of vacuum ice maker(VIM)

真定制冰降温系统主要设备有压缩机、搅拌器、刮冰机、冰浆泵、冷却水泵、增压泵、真空泵和乙二醇泵。当冷水机组预冷的 5 $^{\circ}$ C 的水泵入制冰机内处于真空的蒸发器内时,水在真空状态下,部分水将蒸发。蒸发所需要的潜热来自没有蒸发的水,从而导致没有蒸发的水因放热而冷冻成冰。每蒸发 1 kg 的水大约可以产生 7.5 kg 的冰。

料浆泵的额定流量为 200 m³/h,用来抽出蒸发器内体积浓度为 16%~20% 的冰浆,并输送至冰水分离器的集冰器,在集冰器内冰的质量含量达到 75%。从冰浆中排出的水通过缓冲罐返回到蒸发器。

集冰器的原理类似于一个液压活塞,冰块浮在水的上部经浓缩过滤,实现冰水分离,同时水返回至蒸发器。

集冰器上部的冰通过刮刀刮下,通过皮带或气动输送至井筒内的垂直高密度聚乙烯(high density polyethylene, HDPE)管输冰管内,通过管道输送至井下。蒸发器内的水蒸气由 2 台串联运行的特殊压缩机抽出,送至直接接触式冷凝器,水蒸气在冷凝器内与来自冷却塔的补给水相向流动而凝结成水,凝结水再返回蒸发器蒸发。抽出系统经冷凝后的不溶气体通过除雾分离器真空泵抽出。

降温系统维护人员有机械维护工 5 人,电气维护工 2 人,工作量集中在泵、电机等转动设备,制冷剂选用 R134A。降温系统每周进行一次机械润滑检查及添加润滑剂,每月一次 8 h 停机维护,每 5 年一次大的检修维护。

真定制冰降温系统工作流程:螺杆式冷水机制出低温冷水,输送到真定制冰机制冰(见上述制冰机工作原理),真定制冰机制出的冰浆通过管道泵送到冰水分离器。冰水分离后通过水平输冰皮带、漏斗输送到垂直输冰管,垂直输冰管下口通过水泵水力输送到融冰池,经融冰后,冷冻水通过保温管道输送到降温地点安装的空冷器进行风水热交换,实现降温目的。地面除用皮带输冰外,也有 1 台冰水分离器直接布置在井筒附近,利用冰的自身重力倾斜向下至垂直输冰管。螺杆式冷水机产生的热量由冷却水带走,冷却水吸收的热量经冷却塔冷却散热。

真定制冰降温系统制冷对水质要求不高,不需要特殊处理。在使用和维护方面,按照正常的维护程序执行,真定制冰系统很少出现问题,仅在冬季气温 -7~-8 $^{\circ}$ C 时偶有堵管现象发生。该矿自制冰系统运行 20 年以来仅发生过 2 次堵管,每次处理用时约一周。按照孔庄煤矿设计制冰量,降温系统总投资为 6 800 万~7 000 万元,年运行成本为 427 万元。

3.3 国内外集中降温系统方案比较与选择

1) 从降温效果来看,片冰降温系统、热电乙二醇降温系统、HEMS 井下集中降温系统和真定制冰降温系统均能够满足孔庄煤矿井下降温需要,真定制冰降温系统效果较优。

2) 从项目投资总费用来看,片冰降温系统和热电乙二醇降温系统总投资相差不大,真定制冰降温系统投资最高,HEMS 井下集中降温系统投资最省。

3) 从降温系统运行稳定性来看,热电乙二醇降温系统、HEMS 井下集中降温系统和真定制冰降温

系统降温性能连续稳定,输冷管路不会出现冰堵现象,而片冰降温的管路一旦出现冰堵将导致较长时间不能运行。

4)从井筒输冰管路安装来看,片冰降温的管路管径较大(460 mm),热电乙二醇降温系统需布置2趟输冷管路,均不适合孔庄矿混合井布置。

5)HEMS井下集中降温系统对水质要求较高,且冷源水量要求也大(187 m³/h左右)。而孔庄矿水质较硬,且矿井-785 m水平涌水量为40 m³/h,-1 015 m水平涌水量为40 m³/h,不满足井下制冷排热条件。

综上所述,在国内外所有降温方案中,电制片冰降温要求输冰管路直径为460 mm以上,热电乙二醇低温制冷降温要求井筒敷设两趟DN250保温管,井下集中降温孔庄矿又不具备排热条件,符合孔庄矿条件的只有真空制冰降温方案。因此,初步决定把该方案作为孔庄矿深部开采的主体降温方案,进行细化设计。

4 孔庄煤矿真空制冰降温方案的优化

4.1 矿井冷负荷及冷量分布

根据孔庄煤矿井下实际情况,降温标准执行国家《煤矿安全规程》的规定,按26℃考虑,实际降温幅度平均为8℃,即可以确保降到26℃以下。降温范围按1个采煤工作面和6个掘进工作面考虑,结合孔庄煤矿条件,根据TEMPS计算软件,相关参数计算结果见表1。

表1 孔庄煤矿井下风流热力参数

Table 1 Thermodynamic parameters of underground airflow in Kongzhuang Coal Mine

| 热力参数 | 降温目标 | 降温前 | |
|---|----------|------------------------------|---------------------------|
| | 相关参数 | 回采工作面 | 掘进工作面 |
| 干/湿球温度/℃ | 26/24.08 | 34/33.28 | 34/33.28 |
| 大气压力/Pa | 114 553 | 114 553 | 114 553 |
| 相对湿度/% | 85 | 95 | 95 |
| 含湿量/(g·kg ⁻¹) | 15.91 | 28.71 | 28.71 |
| 焓/(kJ·kg ⁻¹) | 66.63 | 107.93 | 107.93 |
| 露点温度/℃ | — | 33.08 | 33.08 |
| 密度/(kg·m ⁻³) | 1.32 | 1.28 | 1.28 |
| 风量/(m ³ ·min ⁻¹) | — | 1 200 (20 m ³ /s) | 300 (5 m ³ /s) |
| 显热负荷/kW | — | 1 057.28 | 264.32 |
| 除湿量/(g·s ⁻¹) | — | 327.68 | 81.92 |
| 全热负荷/kW | — | 1 118.63 | 279.66 |
| | | (取1 120) | (取280) |

根据孔庄煤矿采掘接替安排,需对1个综采工作面和6个掘进工作面降温,因此孔庄煤矿的采掘

工作面降温冷负荷为: $q_w = 1120 + 280 \times 6 = 2\ 800\text{ kW}$ 。

按服务1个综采工作面和6个掘进工作面以及总冷负荷为2 800 kW进行矿井降温系统设计,根据工作面风水热交换需要的水量和温度,可以确定需冰量为37 t/h。选用以色列产VIM850型真空制冰机(日产颗粒冰1 020 t),可以满足-1 015 m水平降温需要。采掘工作面降温需要的冷水总量: $Q = 106 + 27 \times 6 = 268\text{ m}^3/\text{h}$,供冷温度按3℃考虑。

4.2 真空制冰降温方案比较

世界上最早采用冰降温的国家是南非的英美矿业公司母朋能金矿,采用以色列产真空制冰机制取颗粒状冰,形成了完整的制冰、水平输冰和垂直输冰、井下融冰工艺。根据考察,由于该矿井深大,井下工作面温度高,降温系统基本一年365天连续运转。该矿开发真空制冰降温系统的主要原因是:

1)井深大,热害严重,传统的井下集中制冷规模受限;

2)采用地面集中制冷水降温时,井下热压转换设备技术要求高,投资大,能耗大;

3)采用电制片冰降温时,冰堵严重、运行成本高、降温效果差、维护费用高。

根据技术经济比较和孔庄煤矿井筒预留位置以及矿井实际情况,在是用电还是用余热作为制冰动力上,共提出了3个方案,即余热真空制冰、自备锅炉蒸汽真空制冰和电真空制冰,各方案的技术经济比较如下。

4.2.1 真空制冰方案

1)方案一:电厂余热真空制冰。根据大屯矿区的建设安排,计划在沛县经济开发区建设2×350 MW热电联产电厂。电厂距孔庄矿5.7 km,距6 000户住宅小区2.5 km,距大屯公司新建行政办公楼2 km,冬季供热基本上满足这3个单位(小区)的使用。如何提高夏季的余热利用量,是决定电厂热效率能否提高到热电联产要求的关键因素之一。同时,实施集中供热可取消周边用户自建的锅炉房,减少环境污染,提高供热效率,实现循环经济的发展。结合孔庄矿特点,探讨余热制冷降温的可行性具有重要意义。大屯公司已把夏季余热降温作为热电联产项目经济合理性的主要因素之一。电厂可提供蒸汽直供孔庄矿。在孔庄矿工业广场建热交换站,在换热站预留制冰站蒸汽接口,为孔庄矿余热制冰(利用蒸汽量为6.23 t/h)及办公场所中央空调

(利用蒸汽量为6 t/h)服务。在2×350 MW发电站建成前,在孔庄矿现有锅炉房预留位置安装1套10 t/h蒸汽炉,一旦电厂建成,可改成电厂供汽。再利用溴化锂吸收式冷水机组制取低温冷水,通过真空制冰机实现制冰。

2)方案二:自备锅炉蒸汽真空制冰。目前孔庄矿锅炉房安装有2台10 t/h热水炉和2台10 t/h蒸汽炉,并留有1台位置,设计新增SZL10-1.25-P蒸汽炉1套,专用于降温系统热源供应。除制冷水方

式用自备锅炉和溴化锂冷水机组外,其他方案内容和电厂余热真空制冰相同。

3)方案三:电真空制冰。采用电力驱动螺杆冷水机组制取低温冷水,通过真空制冰机制冰。除制冷水方式不同外,其他方案内容和电厂余热真空制冰相同。方案布置主要组成有地面散热塔、3台螺杆式冷水机组、1台真空制冰机、1台冰水分离器、地面水平输冰管、混合井垂直输冰管、井底融冰池、井下输冷管和工作面空冷器,方案布置如图5所示。

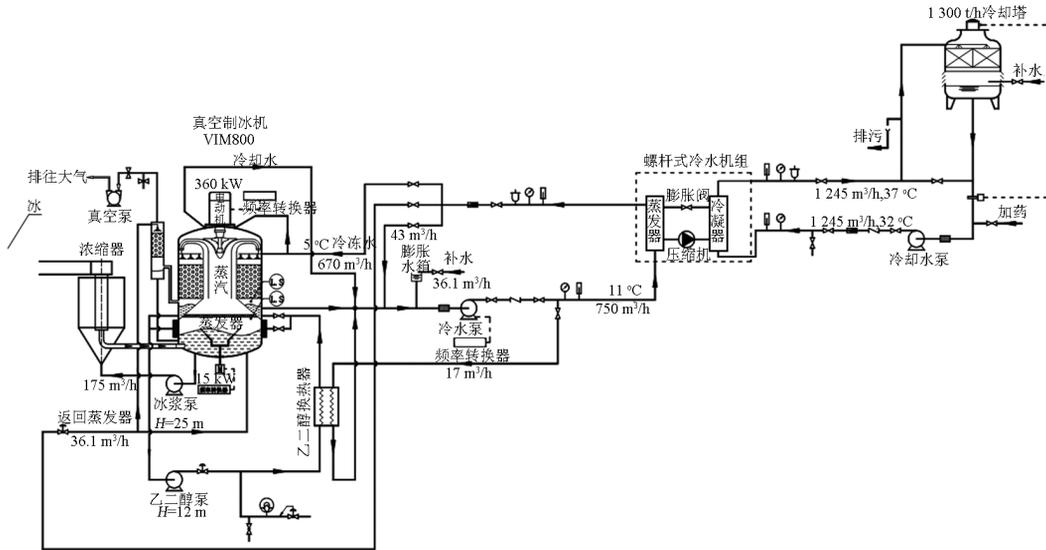


图5 真空制冰方案布置图

Fig.5 Diagram of equipment distribution of VIM

4.2.2 技术经济比较

真空制冰降温技术是南非深井开采普遍采用的降温技术,因此从技术可行性、可靠性、降温效果而言,提出的3个方案在技术上没有大的差别,只是提供冷水的方式有差别,也就是说,技术上均可行,主要技术经济指标比较见表2。

表2 三套方案主要技术经济指标比较

Table 2 Comparison of main technological and economic indexes

| 序号 | 名称 | 指标 | | |
|----|---------|--------------|--------------|--------------|
| | | 余热真空制冰 | 自备锅炉蒸汽真空制冰 | 电真空制冰 |
| 1 | 服务范围 | 1 综面 +6 头 | 1 综面 +6 头 | 1 综面 +6 头 |
| 2 | 降温幅度/°C | 6~10 | 6~10 | 6~10 |
| 3 | 总制冷量/kW | 5 815 | 5 815 | 5 289 |

续表

| 序号 | 名称 | 指标 | | |
|----|---|---------|------------|---------|
| | | 余热真空制冰 | 自备锅炉蒸汽真空制冰 | 电真空制冰 |
| 4 | 总电功率/kW | 1 678.7 | 1 964.7 | 2 718.5 |
| 5 | 总有功功率/kW | 1 350.8 | 1 571.6 | 2 232.1 |
| 6 | 系统 COP(kW/kW) | 4.30 | 3.70 | 2.37 |
| 7 | 蒸汽耗量/(t·h ⁻¹) | 6.23 | — | — |
| 8 | 煤耗量/(t·h ⁻¹) | — | 0.90 | — |
| 9 | 总耗水量/(m ³ ·h ⁻¹) | 73.5 | 80.5 | 74.5 |
| | 冷却补给/(m ³ ·h ⁻¹) | 36.5 | 43.5 | 37.5 |
| | 制冰消耗/(m ³ ·h ⁻¹) | 37 | 37 | 37 |
| 10 | 主要工程量 | — | — | — |
| | 地面建筑物/m ³ | 3 276 | 3 276 | 4 788 |
| | 地面构筑物/m ³ | 220 | 220 | 220 |

续表

| 序号 | 名称 | 指标 | | |
|----|---------------------------------|----------|------------|----------|
| | | 余热真空制冰 | 自备锅炉蒸汽真空制冰 | 电真空制冰 |
| | 设备硐室/m | 61.13 | 61.13 | 61.13 |
| | 输冷管道/m | 10 158 | 10 158 | 10 158 |
| | 制冷设备/台 | 52 | 56 | 63 |
| | 电气设备/台 | 32 | 34 | 37 |
| 11 | 总投资/万元 | 7 016.89 | 7 008.67 | 6 641.68 |
| | 制冷单元/万元 | 3 920.97 | 3 920.97 | 3 821.33 |
| | 换冷单元/万元 | 245.24 | 245.24 | 245.24 |
| | 散冷单元/万元 | 567.62 | 567.62 | 567.62 |
| | 输冷管路/万元 | 1 124.40 | 1 124.40 | 1 124.40 |
| | 供配、电/万元 | 230.42 | 230.42 | 324.29 |
| | 余热利用/万元 | 185.18 | 177.64 | 0.00 |
| | 其他费用/万元 | 743.06 | 742.38 | 758.80 |
| 12 | 劳动定员/人 | 24 | 28 | 24 |
| 13 | 年运行费/万元 | 1 068 | 1 024 | 860 |
| | 电费/万元 | 191 | 222 | 315 |
| | 热力/原煤费/万元 | 323 | 234 | — |
| | 水费/万元 | 21 | 25 | 22 |
| | 人工费/万元 | 46 | 52 | 46 |
| | 折旧费/万元 | 441 | 445 | 433 |
| | 维修费/万元 | 46 | 46 | 44 |
| 14 | 单位运行费用/ (元·t ⁻¹) | 8.89 | 8.53 | 7.17 |
| 15 | 安装周期/月 | 14 | 14 | 14 |

注:COP(coefficient of performance)为能效比;1综面+6头指一个综采工作面和6个掘进工作面

根据表2,从投资和运行费用比较,方案三,即电真空制冰最低,因此设计推荐采用电真空制冰降温方案作为孔庄矿的主体降温方案。但制冷站预留余热制冷机组的位置,同时预留孔庄矿新建办公楼的中央空调主机位置,如果将来在孔庄矿附近的电厂建成投产,则直接利用电厂余热实施余热真空制冰,可最大限度地发挥企业整体经济效益。电真空

制冰降温的要点是:螺杆式冷水机组制取低温冷水,再通过真空制冰机实现制冰。

5 结语

文章从孔庄煤矿井筒布置和矿井现存冷源出发,先后研究了片冰降温系统、热电乙二醇降温系统、HEMS井下集中降温系统、真空制冰降温系统等方案布置方式。从集中降温方案效果、投资、降温系统运行稳定性、井筒输冷管路安装、矿井制冷水质、井下制冷排热等方面,找到了一条适合孔庄煤矿特点的集中降温途径,为矿井三期工程按期投产验收创造了条件,项目研究具有较大的经济效益和社会效益。

通过对余热真空制冰、自备锅炉蒸汽真空制冰和电真空制冰3个方案的比较优选,找到了适合孔庄煤矿的真空制冰降温最佳方案,为下一步矿井降温设计和设备招标奠定了基础。

真空制冰降温为国内首创,在制冰技术、输冰管道、输冰工艺、压风冷却、井下融冰工艺、制冰节能技术上均具有突破性,在项目建成后,不仅填补了我国在矿井集中降温上的一项技术空白,而且推动了我国煤矿降温制冷工艺的创新和发展。项目实施完成后,将作进一步总结,为丰富深井开采做出应有贡献。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50215-2005 煤炭工业矿井设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2005.
- [2] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50418-2007 煤矿井下热害防治设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2007.
- [3] 卫修君,胡春胜. 矿井降温理论与工程设计[M]. 北京:煤炭工业出版社,2008.
- [4] 袁亮. 淮南矿区矿井降温研究与实践[J]. 采矿与安全工程学报,2007,24(3):298-301.
- [5] 何满潮,郭平业,陈学谦,等. 三河尖矿深井高温体特征及其热害控制方法[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(增1):2593-2597.

Optimization of centralized cooling schemes in Kongzhuang Coal Mine

Wu Jizhong, Liu Xianglai, Yao Xiangdong, Wang Jianjun

(Shanghai Datun Energy Co. , Ltd. , Peixian, Jiangsu 221611, China)

[**Abstract**] According to the cross-section layout of Kongzhuang Coal Mine shaft and mine production conditions, the paper summarized and analyzed the systems of slice ice cooling, the thermo-power glycol cooling, HEMS underground centralized cooling, and vacuum ice cooling. From the effect, investment, cooling system operating stability, thermal transportation pipe installation, quality of water, discharge of heat underground, and other comprehensive consideration of the centralized cooling plan, the suitable way of cooling the mine is only the vacuum ice cooling scheme. Meanwhile, through implementation of the project, it will fill a centralized cooling technology gap in ice making technology, ice transportation pipes, ice transportation process, pressurized air cooling, underground ice melting technology, and energy-saving technology in ice making, which is a great breakthrough in our coal mines.

[**Key words**] coal mine; elimination of heat disaster; centralized cooling system; vacuum ice making; scheme selection; scheme optimization

(上接 38 页)

Research on key technology of thin seam plough complete equipment

Song Qiushuang

(China National Coal Mining Equipment Co. , Ltd. , Beijing 100011, China)

[**Abstract**] According to the worldwide problem of thin-seam security and economic exploitation, this paper analyzes the thin-seam mine resource distribution and the present situation of coal mining technology, proposes the technical matters of China's coal plow complete equipment system, gives some technical solutions through analyzing and researching on key technology of complete equipment, and provides technical support for automatic system of plough.

[**Key words**] complete plant of plough; directional and quantitative pushing; heterogeneous geological; self-adaptation control