

深井热害与通风

深井矿山热害防治及制冷降温技术应用

Prevention and Control of Heat Damage and Application of Mechanical
Refrigeration and Cooling Technology in Deep Mine

张爱民, 叶勇, 陈庆刚(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

摘要:随着金属矿山开采深度的增加,高地温越加显现,而矿山在热害控制方面经验不足、个体防护及培训缺失、有效的机械制冷技术应用较少等,亟待加强深井金属矿山热害防治安全技术相关研究。本文分析了深井矿山热环境对作业人员、生产效率的影响,总结了热害防治的综合措施,包括通风系统优化、热源控制、个体防护、压缩空气制冷、机械制冷等方面,列举了南非、澳大利亚两座典型深井矿山机械制冷降温技术的典型应用,供其他深井矿山借鉴。

关键词:深井矿山; 热害防治; 个体防护; 通风系统; 机械制冷

中图分类号: TD724 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2024)01-0072-07

Abstract: With the increase of the mining depth of metal mines, the high ground temperature is becoming more and more serious. However, our mines have insufficient experience in heat hazard control, lack of individual protection and training, and less application of effective mechanical refrigeration technology. Therefore, it is important to strengthen the research on the safety technology of heat damage prevention and control in deep well metal mines. This paper will analyze the influence of thermal environment on operators and production efficiency in deep mine, summarize the comprehensive measures for heat hazard prevention and control, including ventilation system optimization, heat source control, individual protection, compressed air refrigeration, mechanical refrigeration, etc., and will list the typical applications of mechanical refrigeration and cooling technology in two typical deep mine in South Africa and Australia, which can be used as reference for other deep mine.

Key words: deep mines; heat hazard prevention and control; individual protection; ventilation system; mechanical refrigeration

1 前言

我国金属矿山经过几十年的开采,浅部资源逐步消耗殆尽,已有一批超千米的深井矿山正在生产,如冬瓜山铜矿、金川二矿区、三山岛金矿、凡口铅锌矿、红透山铜矿等,还有思山岭铁矿、陈台沟铁矿、瑞海金矿、高地锰矿等一批在建的深井矿山,这些深井矿山将对我国国民经济产生重要影响。

随着开采深度的不断增加,深井开采高地温越来越显现^[1-2],当达到千米深时地温可达到30~40℃,当矿体埋藏深度达到1500m时,温度将达到36~50℃。工人在井下的高温下作业,轻则效率低下,出现中暑,重则危及生命。因此,持续开展深井金属矿山热害防治安全技术研究意义重大。

2 深井矿山热环境危害

2.1 对作业人员的危害

长期在矿井的高温、高湿环境中作业,可能使人产生一系列生理功能的改变^[3],如体温调节发生障碍,表现为体温和皮温升高;水盐代谢出现紊乱,有机体的机能受到影响;神经系统、循环系统、消化系统和泌尿系统等均会因高温大量失水,改变正常的功能,甚至导致中暑。长期在矿井下热害环境中作业,人的中枢神经系统特别容易失调,从而造成人精神恍惚、疲劳、浑身无力,进而将成为矿山劳动生产率低下和诱发矿山事故的重要原因。

深井热害作业环境中也存在着生产性粉尘和噪声等有害因素,与深井高温因素联合作用,共同

[作者简介] 张爱民(1984—),正高级工程师,主要从事矿山开采咨询与设计工作。

[基金项目] 国家“十四五重点研发计划”金属矿超深规模化智能通风降温技术与装备课题(课题编号:2023YFC2907205)。

[引用格式] 张爱民,叶勇,陈庆刚.深井矿山热害防治及制冷降温技术应用[J].中国矿山工程,2024,53(1):72-78.

危害着工人的呼吸系统、听力系统和心血管系统等。开采作业工人同时接触粉尘和高温,温度越高的深井作业工人尘肺发病率越高;高温本身对人体语言听阈和高频听阈没有影响,但高温与噪声的联合作用,能加剧噪声对人耳高频听阈和语言听阈的增高。

2.2 对生产效率的影响

深井热环境对矿山生产效率的影响分“有形”“无形”两种。“有形”影响指恶劣热环境直接损害工人身心健康,特别是生产第一线的工人,因为对全矿来说,往往越是在采掘作业面等,环境越恶劣,使工人出现各种疾病,降低出勤率,影响整个生产效率。据统计显示,超过适合人体温度后,温度每增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,工人劳动生产率将降低 $7\% \sim 10\%$ 。另有相关试验表明,在风速 2 m/s 、相对湿度 90% 条件下,气温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,劳动生产率为 90% , $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时为 72% , $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时为 62% 。

“无形”影响是指中枢神经受抑制,降低肌肉活动能力,且在热环境中作业,工人感到闷热难受、汗流浹背、心情烦躁,注意力不集中,以及机电设备在高温高湿条件下散热困难,或绝缘受损,或设备温升过高而加速井下设备老化或损坏,造成生产效率的降低,甚至容易出安全(如火灾事故的发生)和设备事故。统计表明,气温每增加 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,井下机电设备故障率增加1倍以上,日本通产省统计相对湿度 90% 以上,气温 $30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 地点工作比低于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作业地点高3.6倍。

M. Karsten 和 L. Mackay 分析井下湿球温度与事故发生频率和劳动生产率之间的关系:在井下湿球温度超过 $27.5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 29.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之后,事故发生率急剧增加,同时劳动生产率急剧下降^[4]。

3 热害防治措施综述

深井热害防治措施主要包括热源控制、个体防护、通风系统优化、机械制冷降温等方面。

3.1 通风系统优化

1) 开拓和通风方式

分区开拓方式可以有效地缩短矿井入风线路长度,热害矿山的开拓系统设计应充分考虑到这一有利降温条件。矿山多中段、多盘区开采时,或作业点多且散的情况下,应优先考虑分区通风,合理选定进、回风井位置,尽可能缩短风流线路的长度,达到降低入风风温的目的。

2) 开采顺序

巷道中的风流温度与通风时间有关,采准巷道存在时间长短取决于采用何种开采方式,后退式开采布置的采准巷道维护时间长,初期入风线路也较长,回采工作面的入风温度比前进式布置高,另一方面,漏风对风流温度也有一定的影响,后退式开采的漏风较少,前进式开采的漏风量大,有时漏风量可达入风量的 $20\% \sim 30\%$ 。漏风将采空区中岩石散热和矿岩氧化生热带出来,使回采工作面入风温度升高。

3) 加大风量通风

理论研究和生产实践表明,加大采掘工作面风量对于降低风温、改善气候条件,效果是明显的,费用也比较低;当风量加大到一定程度后,风温的降低就不太明显了^[5]。但由于风速的增加,人体的散热条件仍可得到改善。

风量的增加虽然会使围岩的放热量加大,致使风流总的加热量增大,但在其他条件相同的情况下,风流的温升却有所降低,同时,围岩的冷却速度也加快了。因此,增加风量除了能降低风流温升外,还能为进一步降低围岩的放热强度创造条件。但是,增加风量的可能性受许多条件的制约,其一,受矿内最高允许风速(巷道横截面积)的限制;其二,风机的功率与风量呈三次方关系,风量增加到一定程度时,在经济上是不合理的;其三,当风量增加到一定程度时,对风温的影响不大。

使用局扇也可以降低工作面的气温,但有局扇传动机械发热而影响周围空气温度的缺点,此外,提高通风效率是改善矿井气温条件的又一有效途径,可以通过提高通风构筑物的密闭性来提高通风效率。

4) 受控循环通风

受控循环风是将采区废风经过净化冷却后再送回作业点的一种通风技术。如果开采过程中所产生的有毒有害气体都能得到有效的净化,则矿井生产中的通风可完全采用循环通风技术。但是开采过程中所产生的一部分有毒有害气体无法有效净化,因而需要引进新鲜空气以稀释这些有毒有害气体。

研究表明,在高温矿井中,从地面引进的风量越大,井巷岩石对空气的散热量也越大。但多排出的这部分热量不足以抵消空气从井巷多获得的热量。从降低高温矿井的风温角度考虑,应尽量减少从地面引进的风量,故说明利用循环通风技术减少矿井

总进风量对改善高温矿井的热环境是有利的。另外,在受控循环过程中增加高压(低温)喷雾系统,也有助于改善深井热害环境。

3.2 热源控制

1) 岩壁隔热

采用隔热材料喷涂岩壁,以减少围岩放热。如采用锅炉渣、聚乙烯泡沫、硬质氨基甲酸泡沫、膨胀珍珠岩以及其他防水性能较好的隔热材料喷涂岩壁。一层 10 mm 厚的聚氨脂泡沫塑料,就能产生较好的隔热效果。岩壁隔热一般用在热害严重的局部地段,它作为一种辅助手段与其他降温措施配合使用。

2) 热水及管道热的控制

如超前疏放热水,并用隔热管道排到地表,或经有隔热盖板的水沟导入水仓;将高温排水管设于回风道;热压风管设于回风道,或将压缩空气冷却后送入井下等。

3) 机械热的控制

如大型无轨设备(尤其是柴油设备)运行时释放热负荷较大,设备运行频繁路段设置专用回风道,避免较高的回风串风;机电硐室设置独立通风通道;辅扇安装在合适的位置;避免使用低效率机械等。

4) 爆破热的控制

井下爆破所产生的热量,一般在爆破后不久即被气流排走。为避免其影响,在深井环境下,回采可设集中爆破时间段,将爆破时间与出矿作业、凿岩作业时间分开。

5) 减少巷道中的湿源

研究资料表明,在高温矿井中,空气中的相对湿度降低 1.7%,等于风温降低 0.7℃。因此,在巷道和采掘工作面中,由于各种原因出现的水,杜绝水的漫流,用管道(或加盖水沟)集中排走。

3.3 个体防护

穿着冷却服是保护个体免受恶劣气候环境危害的有效措施,当环境的温度较高时,可以防止其对身体的对流和辐射传热,使人体在体力劳动中所产生的新陈代谢热能,较容易地传给冷却服中的冷媒。

如美国宇航局研制的阿波罗冷却背心是一种自动冷却服,但其冷却能力小、效果差、比较重(6.5 kg)等;南非和西德德来格尔公司生产的冰水冷却背心,安全性能和冷却效果都较好,并很少妨碍运动。利用 5 kg 冰的冷却能力,在 220 W 冷却功率的条件下,其持续时间最少可达 2.5 h。

干冰冷却服具有很大的优点,由于干冰的自升华作用,在使用过程中冷却服重量逐渐减轻。现将南非的加尔德-莱特公司生产、充以干冰的冷却夹克,冷却时间可达 6~8 h,干冰的重量为 4 kg。因为二氧化碳干冰的升华热为 537 kJ/kg,则其冷却功率为 106~80 W。

另外,井下的无轨设备配置有带空调的驾驶室,也是非常有效的个体防护方式。

3.4 压缩空气制冷

井下部分采掘机械采用压缩空气驱动,由于压缩空气排出的膨胀冷却效应,对降低风温无疑是有利的,但这种方法效率低,费用高。如 1989 年南非一金矿建成了压缩空气制冷空调系统;前苏联采用喷射器喷射预先冷却的压缩空气,在工作面气温 28℃~32℃ 的条件下,使用旋流管式喷射器,可以把工作面气温控制在 18℃~20℃ 之内,效果较好。

3.5 机械制冷降温

1) 人工制冷水降温技术

矿井降温技术主要有井下集中式、地面集中式、井下地面联合集中式、分散式。据实践表明:对于负荷小于 2 MW 的矿井,采用分散式最优;对于负荷大于 2 MW 的矿井,才采用集中式;集中式的三种型式,又以井上、下联合集中系统费用(投资、运行、维护)最低,地面集中式系统次之,而以井下集中式系统最高。我国安徽淮南煤田谢桥矿,在进行矿井降温方案的经济技术比较表明,地面集中式系统的总费用也是最小的。

各种集中式系统均有其特点,如井下集中式系统的致命弱点是冷凝热的排放困难,致使井下制冷设备不能充分发挥其效力;地面集中式和井上下联合集中式系统克服了井下集中式系统的冷凝热排放问题,但必须使用高低压转换设备,此设备在冷冻水转换过程中会产生 3℃~4℃ 的温度跃升,提高了进入空冷器的进水温度,降低了空冷器的制冷效率。

人工制冷水降温技术经历了几十年的实践,已经是一种比较成熟的矿井降温技术,也是当前矿井降温技术的主流应用技术。

2) 人工制冰降温技术

由于人工制冷水降温技术系统不可避免的存在过高的静水压力和冷凝热排放问题,因此,20 世纪 80 年代初期,南非等国家开始进行冰冷却降温技术

的研究,1985 年德国东兰德矿山控股公司的梅里普特一号井建成了冰冷却降温系统。

冰冷却降温系统与水冷却降温系统不同之处:

①冰冷却降温系统主要是利用冰的融化潜热降温,获得相同冷量所需的冰量仅为水冷系统水量的 1/4 ~ 1/5;②冰冷却系统是通过冰与水直接接触换热,换热效率高,可获得 1℃左右的低温冷水,因此送入空冷器的水量可相应减少,减少了水泵的输送能耗。对于一个井下热负荷为 25 MW 的矿井降温系统,采用冰冷却降温系统,水泵的输送能耗仅为水冷系统的 21% 左右;③冰冷却降温系统,在系统组成上较水冷降温系统不同之处有:制冰、输冰和融冰三个环节。目前,制冰已不是制约该项技术的问题,国内外都有制造大型制冰机的能力;冰的输送方面,风力输送比较有利,水力输送仍然避免不了水冷系统的高静水压力问题;冰的融化是冰冷却系统中一个非常重要的环节,关系到能否获得稳定的低温水和稳定的水流量。

4 国外典型矿山制冷降温技术应用

4.1 南非 Evander (伊万达) 金矿降温制冷系统

1) 矿山概况

南非 Evander 金矿位于南非东部姆普马兰加省、豪登省约翰内斯堡市东南 120 km,地表平均海拔 1 600 m。主要开采 6 号矿井,采用竖井开拓,规模为 144 万 t/a,最大开采深度为 2 351 m (31 水平),矿体最大走向长度为 5 km,目前开采至 18 水平 (深 1 375 m)。

2) 通风系统

采用主井进风、回风井回风的对角式通风系统,总通风量为 600 kg/s。回风井地表井口安装 3 台主扇,主扇参数:风量 200 kg/s,静压 6.0 kPa,电机功率 1 600 kW,入风密度 0.94 kg/m³。

3 台主扇不同年份投入,2019 年安装第一台主扇,2020 年安装第二台主扇,2021 年安装第三台主扇。

当采矿巷道长度达到 3 km,风阻较大,需要在主回风道内安装辅扇。井下辅扇:风量 110 m³/s,静压 3 kPa,电机功率 550 kW,入风温度 29℃,密度 1.05 kg/m³。

3) 热负荷计算

设定采场的环境标准为最小风速为 0.4 m/s,湿球温度 ≤ 29.0℃、或额定工况冷负荷大于 250 W/m²。

采用 VUMA 仿真模拟,井下总热量为 38.2 MW,包括采场围岩放热和破碎岩石放热 9.5 MW、缓倾斜采场围岩和破碎岩石放热 12.5 MW、空气自压缩放热 (平均) 12.2 MW、辅扇放热 2.0 MW、其他 2.0 MW 等。

4) 制冷设施配置

地表共设 3 台机组,每台机组 5 MW,制冷能力为 15 MW;井下制冷能力为 12 MW,三个制冷站,每个制冷站内设 2 个机组,每个机组 2.1 MW。制冷系统如图 1 所示。

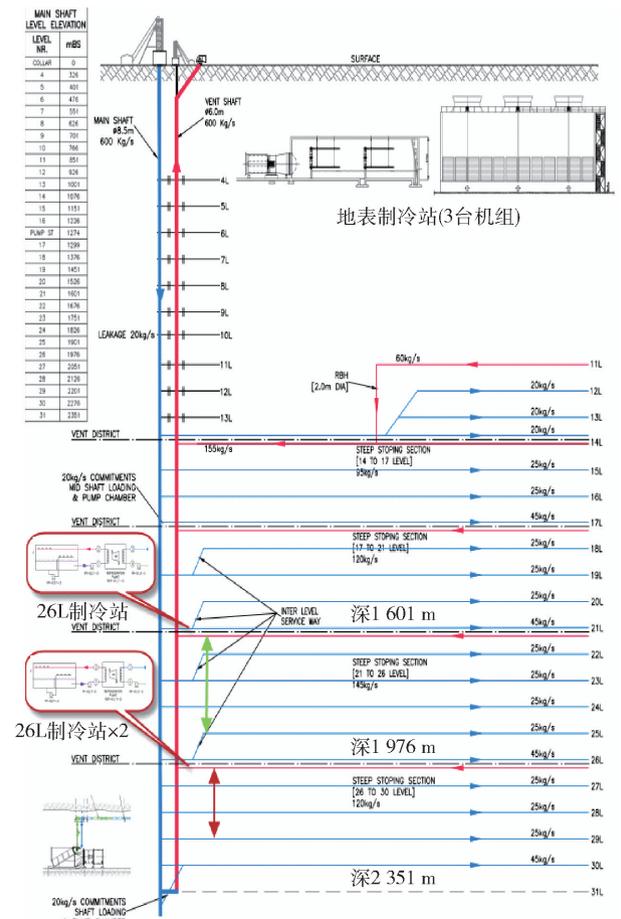


图 1 制冷系统图

具体配置为:

1) 地表制冷系统

地表一共设 3 台制冷机,每台制冷能力为 5.2 MW,先安装 1 台,随着制冷需求量的大增,其余 2 台机组会分批设置,设计布置如图 2 所示。3 台制冷机冷却的风量为 500 kg/s,温度会降至 7.4℃,冷却后的风量将会与 100 kg/s 未被冷却的风混合,共 600 kg/s 风量,将以 9.8℃/11.2℃送至地下,具体配置见表 1,地表制冷站总功率为 5 045 kW。

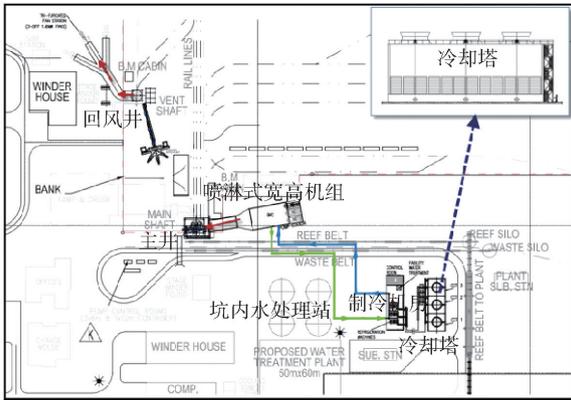


图2 地表制冷系统设计布置图

制冷效果主要参数:

- ①空气冷却功率: 15.0 MWR (每个机组 5 MW);
- ②水量: 510 L/s;
- ③进/出水温度: 4.2 °C/11.3 °C;
- ④冷却风量: 500 kg/s;
- ⑤入风湿球/干球温度: 18 °C/28 °C;
- ⑥主井入风混合后空气温度为 8.6 °C/9.3 °C。

2) 地下制冷系统

当开采达到一定深度之后,由于距离较长,考虑高压管道成本高,在地下增加井下制冷系统。即在

表1 地表制冷站配置一览表

序号	设备	型号	参数	数量(台)
1	离心式冷水机组	YKN5N2K3.5DEG	$Q = 5\,200\text{ kW}$ $t = 4/11.3\text{ °C}$ $N = 1\,100\text{ kW}$	3
2	冷冻水循环泵	KL300/300	$L = 720\text{ m}^3/\text{h}$ $H = 28\text{ m}$ $N = 25\text{ kW}$	4
3	冷却水泵	QPG300-480B	$L = 780\text{ m}^3/\text{h}$ $H = 55\text{ m}$ $N = 200\text{ kW}$	4
4	喷淋式大流量空冷器	$L = 670\,000\text{ m}^3/\text{h}$	$H = 800\text{ Pa}$ $Q = 5\,000\text{ kW}$ 进风 $t = 18/28, N = 185\text{ kW °C}$, 出风 $t = 7.4\text{ °C}$	3
5	空冷器再喷淋泵	KL300/315A	$L = 660\text{ m}^3/\text{h}$ $H = 28\text{ m}$ $N = 75\text{ kW}$	3
6	方形超低噪声冷却塔	HMTIV-800	$L = 800\text{ m}^3/\text{h}$ $N = 110\text{ kW}$	3
7	全自动软化水器	GWT-10B		1

21 水平(地下 1 601 m)中段设一个制冷站,安装 2 台 2 300 kW 的制冷机,为 21 至 25 水平提供冷源。

在 26 水平(地下 1 976 m)设置一个制冷站,设备与 21 水平相同,为 26~29 水平供冷。在 26 水平还设有另一个制冷站,为 26~28 水平供冷。当开采到 3 000 m 以下时,在地下设置制冷站。冷水送到工作面,用大型风机盘管冷却巷道内的空气,保证生产安全。

每个制冷站配置如下:

(1) 制冷站有 2 台离心制冷机,型号为 YKH3FWP95CSG, $Q = 2\,300\text{ kW}$, $N = 510\text{ kW}$, $t = 4/15.5\text{ °C}$, 供回水 2 台。

(2) 冷却水喷淋冷却装置冷却喷水量 $L = 180\text{ g/s}$, $t = 35/42.4\text{ °C}$, 1 套。

(3) 冷冻水循环泵型号为 QPG200-400A, $L = 210\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 46\text{ m}$, $N = 55\text{ kW}$, 3 台, 2 用 1 备。

(4) 冷却水循环泵型号为 KL200/315K, $L = 375\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 28\text{ m}$, $N = 45\text{ kW}$, 3 台, 2 用 1 备。

(5) 冷却水二次喷淋泵型号为 KL200/315, $L = 375\text{ m}^3/\text{h}$, $H = 28\text{ m}$, $N = 45\text{ kW}$, 3 台, 2 用 1 备。

(6) 大型空冷器规格为 $Q = 250\text{ kW/台}$, $t_{湿} =$

28/19.9 °C, $N = 15\text{ kW}$, 18 台。每 3 台盘管组合在一起由 1 台风机吹出冷风。

(7) 地下制冷机房硐室 50 m × 8 m × 8 m(h), 地下制冷机冷水水降温硐室 70 m × 4.5 m × 4 m(h)。

4.2 澳大利亚 Mount Isa 矿的 Enterprise 矿段制冷

1) 矿山基本概况

Mount Isa 矿(MIM)位于澳大利亚昆士兰州西北部蒙特艾萨镇,属嘉能可(Glencore)旗下公司,矿山采用分段空场嗣后充填法。

Mount Isa 矿分为铜矿和锌矿(含铅、银)。其中铜矿山为 Mount Isa 矿区的 Enterprise、X41 矿体和 Ernest Henry 矿区,是澳大利亚第二大产铜公司。年产铜矿石量 620 万 t/a,年产金属铜 15 万 t,拥有铜矿石储量 5 600 万 t,平均 Cu 品位 2.4%;

铜矿山采用竖井开拓。其中深部 Enterprise 矿体由 M62 盲主井(直径 5.3 m, $L = 713\text{ m}$)提升,然后经胶带斜井倒运至 U62 主井,提升至地表。

2) 热负荷计算

在 Mount Isa,夏季地表最高湿球温度为 26.5 °C。地表气候显示,超过 220 h 或者一年

2.5%的时间内温度是25℃。夏季平均湿球温度为21℃。计算不同热源贡献率,总共热负荷为40 MW_r。

3) EM 矿制冷系统

矿山必须通过制冷来保证生产环境,Enterprise 矿深度1 000~2 000 m时,深部原岩温度超过60℃,通风总风量最大为700 m³/s,空气压缩升温每1 000 m上升10℃(DB)或4℃(WB)。目前Enterprise 矿地表安装40 MW_r制冷能力的制冷系统,采用自动远程控制系统(由冷却塔出口气温控制)。

表3 空气冷却

名称	水温/冷却塔位置	其他设施
地表制冷车间1# (8 MW _r)	3℃/地表进风井口	
地表制冷车间2# (24 MW _r)	7℃/地表进风井口	
地表制冷车间3# (10 MW _r)	10℃/地下	佩尔顿水轮机
<3 000 kW _r	可采用空调	

注:冲击式水轮机可回收1 MW的电能,同样可减低自压缩对本本身的影响,如果没有此能量回收装置,水温将会每1 000 m上升2.33℃,通过能源回收,水温将增加0.8℃或更少。

Mount Isa 为澳大利亚最深最热的矿井,最深超过2 000 m,原岩温度有时超过60℃,故需要进行制冷降温。R67 井口安装最大的空调机组和冷却水站,提供25 MW的制冷量,使得580 kg/s风量温度降低至11.4℃,这制冷量相当于产生6 300 t/d冰。空调机组的设计能力为34 MW(R),通过7 m的制冷井。采用完全自动化控制,为了提高效率,采用机组外置的空气温度来控制制冷站的运行。

地表空气温度28℃,地热梯度为2℃/100 m,地下2 000 m深,原岩温度达到60℃,另外空气自压缩对空气的加热也是潜在的能量,导致每千米干球温度上升10℃,湿球温度上升4℃。

矿山于2000年11月建成制冷系统,具体如图3所示。制冷站包括压缩机组、蒸发器、冷凝器。制冷站由两台制冷机组组成,每台制冷机又由2台豪顿的压缩机组(电机功率为1 300 kW,3.3 kV),每台制冷机含3.5 t氨。制冷站尺寸19 m(宽)×32 m(长)×12 m(高),控制室尺寸8.3 m(宽)×15 m(长)×3 m(高),还包括11 kV/3.3 kV变电所。

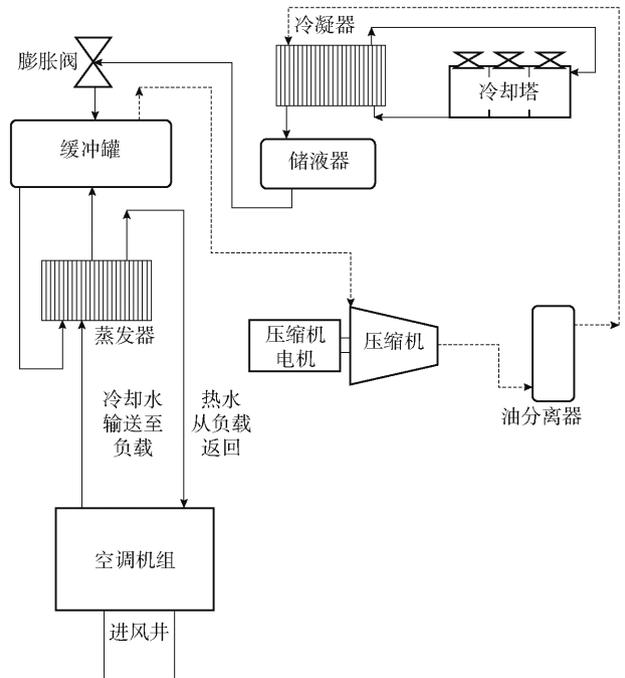


图3 R67井制冷装置配置流程图

水冷系统包括冷却塔、泵和管线。其中,冷却塔含4组单元,总尺寸为40 m(长)×10 m(宽)×15 m(高),每组单元为9 m×9 m,110 kW变速驱动风扇。冷却塔可以将1 120 L/s水从35.2℃降低到28.2℃。冷水泵参数:560 L/s,扬程50 m,功率为375 kW,电压3.3 kV。

制冷机房前面包括变电站、电气开关室、控制室,左侧管线为冷却水的进/回水管,冷却塔前方为废水罐冷却水系统:冷却水以520 L/s流量、6.5℃对580 kg/s新鲜风冷却,将新鲜风由26℃(WB)降低至14.6℃(WB),冷却水温度升高至18℃。升温后冷却水返回至制冷站的蒸发器,再次冷却至6.5℃。

空调机组由四组单元组成,尺寸为16 m(宽)×24 m(长)×22 m(高),直接安装在R67进风井上,机组和冷却水系统具有扩展至750 kg/s的能力。

冷却水泵参数:2台工作1台备用,每台260 L/s流量,扬程113 m,电机功率335 kW,电压3.3 kV。

5 结论

(1)深井矿山热环境对作业人员、生产效率的影响非常大,超过一定温度(27.5℃~29.0℃),将导致事故发生率急剧增加,同时劳动生产率急剧下降。

(2)总结了热害防治的综合措施,包括通风系

统优、热源控制、个体防护、压缩空气制冷和机械制冷降温等措施。

(3)国外深井机械制冷技术应用成熟,且常使用“地表风冷+水冷”联合降温系统。本文了列举了南非 Evander 金矿和澳大利亚 EM 铅锌矿的制冷降温系统配置情况,可供我国深井矿山制冷系统建设借鉴。

[参考文献]

[1] 冯兴隆,陈日辉.国内外深井降温技术研究和进展[J].云南冶金,2005(5):9-12.

- [2] 王晶,曹亮,李争荣,等.高寒地区超低温空气源热泵余热回收技术研究[J].中国矿山工程,2022,51(1):77-81.
- [3] 崔文广.深井热害对矿工生理和生化指标的影响[D].武汉:华中科技大学,2008.
- [4] 张爱民,马俊生.深井大规模矿山通风制冷有效性研究[J].矿冶,2015,24(S1):5-9.
- [5] 李锦峰,谢贤平,纪承子.受控循环通风技术降温理论分析及应用探讨[J].有色金属(矿山部分),2013,65(1):83-86.

(上接第64页)

4 结论

根据收集到的资料,对于单条长距离、大运量带式输送机而言,其可靠性能达到94.5%,通过提高装配和自动化水平、减少人为因素影响等方式,单条带式输送机可靠性可进一步提高。

对于大型矿山,当采用带式输送机系统接力运输,串联设备较多时,应结合项目的检修制度和装备水平对系统的有效工作时间进行分析,确定合理运量。

对于接力运输的带式输送机系统,尤其既包含可能发电的下运带式输送机,也包含耗电的上运带式输送机时,整个系统的能耗情况会变得非常复杂。对带式输送机系统可能发生的工况和该工况发生的概率进行分析,按照经常发生、可能发生、小概率事件和不可能发生的情况进行分类,将能够通过合理化控制做到避免发生的情况进行剔除,从而得到生

产中需要考虑的工况,以确定系统运行时最大耗电量及发电量,以及对应的发生时间,为合理安排设备起停时间、调配系统能耗需求、合理选择发电站配置等提供依据,避免配置上的浪费,有利于降低投资,提高项目的经济效益。

[参考文献]

- [1] 陈甲斌,刘超,聂宾汗,等.矿产资源安全需要重点关注十种矿产[J].中国国土资源经济,2023,36(5):14-21,41.
- [2] 郭新有,吴桂盛.我国钢铁工业铁矿石资源全球化战略[C]//中国可持续发展研究会.2011中国可持续发展论坛2011年专利(二).北京师范大学珠海分校,2011:3.
- [3] 王晗,徐亮,吴彬.长距离带式输送机规划设计研究重点[J].科技风,2023(18):4-6.
- [4] 杨迪.带式输送机系统可靠性分析[D].辽宁:东北大学,2007.