

获各琦铜矿利用采空区及废旧巷道 预热冬季入风流的研究

邸 冬,余 龙

(巴彦淖尔西部铜业有限公司,内蒙古 临河 015000)

摘 要:获各琦铜矿利用地温预热的原理,设计了冬季井筒防冻通风系统。该预热系统经过一年多的运行,采空区及废旧巷道可使约 $63\text{ m}^3/\text{s}$ 的冷空气由 $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预热到 $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,有效地降低了冬季期间进风井的预热压力及预热成本,节省了大量能源消耗。在实践上证明了利用采空区及废旧巷道预热冬季入风流在技术上的有效性、经济上的合理性和安全上的可靠性。

关键词:通风系统;地温;预热;井筒防冻;废旧巷道

中图分类号:TD166

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2020)01-0119-07

Preheating winter inflow in Huogeqi copper mine by using goaf and waste laneway

DI Dong, YU Long

(Bayan Nur Western Copper Co., Ltd., Linhe Inner Mongolia 015000, China)

Abstract: Huogeqi Copper mine used the principle of preheating the ground temperature to design the shaft antifreeze ventilation system in winter. After more than one year of operation, the preheating system can preheat the cold air of about $63\text{ m}^3/\text{s}$ from $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ to over $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ through the abandoned laneway and goaf, which effectively reduced the preheating pressure and cost of the shaft during winter, and saved a large amount of energy consumption. And the practice proved the technical effectiveness, economic rationality and safety reliability of using the goaf and the waste roadway to preheat the winter inflow.

Key words: ventilation system; geotemperature; preheating; shaft antifreeze; waste laneway

北方地区冬季严寒,地表冷空气如不预热而直接进入矿井内,势必会导致进风井筒发生冰冻现象。获各琦铜矿地处阴山北麓,冬季严寒漫长,封冻期为十月到来年五月,冬季最低气温可达 $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。矿山采用中央多路进风,东、西两翼风井回风的对角式通风系统,冬季大量冷空气由进风井及各副井进入井下,且井筒存在滴水,因此各井筒防冻成为冬季安全生产的一项重要工作。为解决进风井冬季防冻问题,矿山设计了锅炉预热和电预热系统,每年预热运行费用约为 860 万元,消耗大量的能源、资金和人力。

目前国内冬季利用空区废旧巷道预热入风流的

矿山较少,其根本原因在于空区废旧巷道预热需要足够的可利用的废旧巷道或采空区。获各琦铜矿生产中段已经进入到 1 690 m 以下,1 690 m 以上中段已结束回采,并且 1 810 m、1 750 m 两个中段采用浅孔留矿采矿法回采,回采结束后存在大量的采空区及废旧巷道,同时这两个中段的通风网络都与 3[#]进风井或 2[#]副井贯通,具备利用采空区及废旧巷道进行预热的条件。

1 地温预热原理

随着开采深度的增加,由于越靠近地心,岩石温度会越高。地层温度随深度增加的增长率称为地温梯度,即深度每增加 1 m 所升高的温度(单位: $^{\circ}\text{C}/\text{m}$),计算通常从不受任何影响保持温度不变的恒温带开始。若空气与岩体间存在着温度差,便会发生热

交换。当空气温度高于岩体温度时,空气向岩体散热,岩体吸收热量使空气温度降低;当空气温度低于岩体温度时,岩体便向空气散热,空气获得热量又使岩体的温度降低^[1-2]。

2 可利用岩壁暴露面积统计

利用地温预热入风流要求矿山已经结束的浅部回采中段存在足够的可利用的与地表采坑或塌陷区贯通的采空区及废旧巷道,并且已结束回采的中段必须位于地热升温带,同时至少要有一条能让预热后的空气进入主通风系统的通道。矿山可利用的暴露岩壁有效预热面积为可利用的浅部采空区岩壁暴露面积和废旧巷道岩壁暴露面积之和,两部分可以分别统计。

2.1 采空区暴露岩壁有效预热面积

获各琦铜矿冬季进风空气预热可利用的废旧巷道及采空区主要位于 1 810 m 和 1 750 m 两个中

段。采空区预热面积接触原岩部分约占总数的 40%,大量的采空区预热面积接触采场间未开采围岩或夹石形成的夹墙;同时,由于各采空区风路风阻不均衡,且难以对采空区进行风量调节,可能使采空区中风流出现分配不均。因此,在充分考虑以上两个对采空区预热效果影响因素的基础上,采空区有效预热面积可按式(1)计算:

$$S'=K_1K_2S \tag{1}$$

式中: S' —采空区有效预热面积, m^2 ; K_1 —采空区预热面积接触采场间未开采围岩或夹石形成的夹墙对预热的影响系数,根据矿山实际调查情况取 $K_1=0.6$; K_2 —采空区中风流出现分配不均对预热的影响系数,根据矿山实际调查情况取 $K_2=0.8$; S —采空区暴露面积, m^2 ;统计结果见表 1。

则采空区有效预热面积 $S'=K_1K_2S=0.6\times 0.8\times 66\,100=31\,728\text{ m}^2$ 。

表 1 可利用预热采空区面积统计表

Table 1 Statistical table of available preheating goaf area

采空区名称	采空区位置	形态参数/m	空区暴露面积/ m^2	有效预热面积/ m^2
1 810 m 中段 CuV 采场	10 线至 14 线	周长 286 高 50	14 300	6 864
1 810 m 中段 Pb-1 东采场	11 线至 14 线	周长 447 高 50	18 100	8 688
1 750 m 中段 CuV 采场	10 线至 12 线	周长 238 高 50	11 900	5 712
	13 线至 14 线	周长 180 高 50	9 000	4 320
1 750 m 中段 Pb-1 东采场	11 线至 13 线	周长 256 高 50	12 800	6 144
小计			66 100	31 728

2.2 废旧巷道暴露岩壁有效预热面积

矿山可利用的废旧巷道包括没有垮塌的沿脉巷道和穿脉巷道,有效预热面积计算为废旧巷道的断

面周长乘以巷道长度。1 810 m、1 750 m 及 1 690 m 中段可利用预热废旧巷道暴露面积统计情况见表 2。

表 2 可利用预热废旧巷道统计表

Table 2 Statistical table of waste roadway with preheating

中段名称	巷道位置	巷道长度/m	巷道周长/m	巷道面积/ m^2
1 810 m 中段	11 线至 13 线穿脉巷道	270	9.79	2 643
	10 线至 15 线穿脉巷道	430	9.79	4 210
1 750 m 中段	10 线至 15 线沿脉巷道	280	11.02	3 086
小计				9 939

总有效预热面积为废旧巷道有效预热面积与采空区有效预热面积之和,即矿山废旧巷道及采空区总有效预热面积为 $31\,728+9\,939=41\,667\text{ m}^2$ 。

3 矿山围岩温度测定及分析

通过测定的原岩温度数据,分析井下岩温的分布规律,以便得出矿山原岩变温带、恒温带、升温带的位置及其地温梯度。

3.1 原岩温度测定过程

3.1.1 测温探头选择

测量温度的方法常用的是接触式测量,它是把测温敏感元件和被测介质直接接触,使测温元件与被测介质之间进行充分的热交换达到传热平衡。按照测温元件的不同,接触式测温又可分为膨胀式温度计、压力式温度计、电阻式温度计和热电偶。其中热电偶价格相对便宜且精度较高,且可以深埋于钻孔中^[3-4]。因此,本次围岩温度测定选用热电偶作为

测温元件。

本次围岩温度测试,使用的温度传感器型号为 JQS-1002,记录仪型号为 JQA-1069NG,测温范围 $-55\sim+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2 测定方法选择

针对矿山预热地点为老采空区,巷道开掘及采矿后,围岩中的地温场会受到矿井排水、通风等因素的影响,因此选择在各中段巷道水平布置围岩温度观测点,选取钻孔深度为 $20\sim30\text{ m}$ 。将标定好的测温热电偶探头送入孔底,封孔完成后,等待 24 h ,传热稳定后,测得稳定的温度值即为原岩温度。

3.1.3 测孔布置方案

表 3 原岩温度测定结果
Table 3 Rock temperature measured results

序号	测孔地点	孔深/m	倾角/($^{\circ}$)	岩温/ $^{\circ}\text{C}$	地表温度/ $^{\circ}\text{C}$
1	1 690 m 中段 13 线半	21.6	36.0	10.1	29.0
2	1 630 m 中段 13 线半	20.8	14.0	12.6	32.5
3	1 570 m 中段 13 线半	26.0	29.3	13.6	32.5
4	1 520 m 中段 13 线半	21.3	15.0	14.3	34.0
5	1 450 m 中段 13 线半	25.6	14.0	15.3	34.0
6	1 390 m 中段 13 线半	19.6	14.0	17.1	25.0
7	1 330 m 中段 13 线半	19.6	14.0	18.3	25.0

3.2 测定结果分析

3.2.1 地温梯度

由表 3 可以看出,随着矿井深度的增加,原始岩温不断增加,近似呈线性关系,可由下式计算出升温带地温梯度:

$$G=\frac{\sum(t_i-t_{i-1})}{\sum(Z_i-Z_{i-1})}$$

(2)

式中: G —地温梯度,即原岩温度随深度的变化率, $^{\circ}\text{C}/\text{m}$; t_i —距离地面垂直深度 Z_i 处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$; t_{i-1} —距离地面垂直深度 Z_{i-1} 处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$; Z_i-i 点处原岩的深度, m ; $Z_{i-1}-i-1$ 点处原岩的深度, m 。

代入数据即可计算得矿山地温梯度为 $0.022\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。

3.2.2 恒温带深度

由于恒温带的原岩温度近似等于当地年平均气温,取恒温带原岩温度等于当地年平均气温,则可由式(3)计算出恒温带深度:

$$Z_0=Z_i-\frac{t_i-t_0}{G}$$

(3)

式中: t_i —距离地面垂直深度 Z_i 处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$; t_0 —恒温带处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$;取 $t_0=6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; Z_0 —恒温带的深度, m 。

为了便于获取围岩温度纵向变化规律,预测不同深度的地温变化趋势,测点位置选择应尽可能选在同一勘探线位置。测温孔可以选择无渗水或渗水量极小的已有探矿孔,以减少原岩温度测孔的钻凿工程量;孔深大于 20 m ,钻孔水平应稍向上倾斜 10° 以上,以便于测温孔渗水的流出,孔口距巷道底板高度 1.0 m ,以方便安装测温设备^[4]。

根据矿山实际情况,1 690 m 中段以上回采已结束,已形成采空区,经过长期的通风,围岩温度已发生较大改变,因此,选择 1 690 m 以下各中段进行围岩温度测定。各中段测孔原岩温度测定结果见表 3。

即恒温带深度为 $Z_0=Z_i-\frac{t_i-t_0}{G}=(1896-$

$$1690)-\frac{10.1-6.7}{0.022\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}}=56.88\text{ m}$$

3.2.3 岩温分布规律分析

矿山露天采坑的标高为 $+1\text{ }896\text{ m}$,从而导致露天采坑附近的恒温带位置及恒温带标高也相应发生了下移。通过以上分析,可知矿山变温带深度为地表往下 57 m 左右,标高即为 $+1\text{ }839\text{ m}$ 以上,恒温带的位置大约在 $55\sim60\text{ m}$,标高即为 $+1\text{ }841\sim+1\text{ }836\text{ m}$,恒温带原岩温度约为 6.7°C ,从 57 m (标高为 $+1\text{ }839\text{ m}$) 以下为升温带。即已结束回采的两个中段位于地热升温带。

3.3 预热利用采空区平均岩温

矿山用于入风流预热的采空区平均原岩温度计算为设计利用的已结束回采中段标高处测定的岩温相加后取平均值。采空区原岩温度按式(4)计算:

$$t_i=t_0+(Z_i-Z_0)G$$

(4)

式中: t_i —距离地面垂直深度 Z_i 处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$; t_0 —恒温带处的原岩温度, $^{\circ}\text{C}$;取 $t_0=6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$; Z_0 —恒温带的深度, m ; Z_i-i 点处原岩的深度, m 。

1 750 m 标高原岩温度 $t_i=t_0+(Z_i-Z_0)G=6.7+(146-57)\times0.022\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}=8.73\text{ }^{\circ}\text{C}$; 1 810 m 标高原岩温度 $t_i=t_0+(Z_i-Z_0)G=6.7+(86-57)\times$

0.022 8=7.36℃。

即可计算 1 750 m 中段采空区平均原岩温度为 (8.73+7.36)÷2=8.04℃。

3.4 空气与岩体热交换分析

3.4.1 热交换系数

岩体与空气间的热交换过程随时间而变化,而对于冬季最冷的时刻,空气与岩体的热交换过程可视为稳定过程。以冬季地表气温最低时,使冷空气通过采空区及废旧巷道预热后达到 2℃ 以上的巷道暴露面积来计算热交换系数 K,岩体与空气热交换系数按式(5)计算^[2,5]:

$$K = \frac{10.1\lambda}{1.55 + \frac{\lambda}{0.8}} \tag{5}$$

式中,K—空气与岩体的热交换系数,W/m²·℃;λ—岩体的导热系数,W/m²·℃;矿体顶底板围岩为炭质板岩、透辉透闪石灰岩,取 0.8W/m²·℃;v—巷道风速,m/s;风流通过风机安装巷道的风速约 6 m/s。

$$\text{则,岩体与空气热交换系数 } K = \frac{10.1\lambda}{1.55 + \frac{\lambda}{0.8}} =$$

$$\frac{10.1 \times 0.8}{1.55 + \frac{0.8}{6^{0.8}}} = 4.642 \text{ W/m}^2 \cdot \text{℃}$$

3.4.2 预热单位风量所需岩壁暴露面积

根据相关矿山实践,预热单位体积冷空气所需岩壁暴露面积按式(6)计算^[2-3,6]:

$$A' = \frac{3000}{K} \log \frac{t_n - t_0}{t_n - t_1} \tag{6}$$

式中:A'—预热单位体积冷空气时所需岩壁暴露面积,m²;K—空气与岩体的热交换系数,W/m²·℃;t_n—预热处原岩温度,℃;t_n=8.04℃;t₀—冷空气进入预热巷道前的温度,℃;取矿山冬季历年最低温度-39℃;t₁—空气预热后的温度,℃;取 t₁=3℃(根据《金属非金属矿山安全规程》要求,进风巷的空气温度应高于 2℃)。

则将-39℃的单位风量预热至 3℃,所需岩壁暴露面积为:

$$A' = \frac{3000}{K} \log \frac{t_n - t_0}{t_n - t_1} = \frac{3000}{4.642} \log \frac{8.04 - (-39)}{8.04 - 3} = 626.91 \text{ m}^2$$

3.4.3 采空区及废旧巷道预热风量

废旧巷道及采空区预热空气总量按式(7)计算:

$$Q = \frac{S}{A'} \tag{7}$$

式中,Q—废旧巷道及采空区预热空气总量,

m³/s;S—废旧巷道及采空区有效总预热面积,m²;A'—预热单位体积冷空气所需岩壁暴露面积,m²。

则可计算出矿山利用 1 810 m、1 750 m 中段采空区及废旧巷道将冷空气预热至 3℃ 以上的预热总风量 $Q = \frac{S}{A'} = \frac{41667}{626.91} = 66.46 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

4 预热系统实施方案的确定

4.1 预热系统通风线路的选择

矿山 2[#]副井目前处于停用状态,地表井口已封闭,并且 2[#]副井与井下各生产中段相通,因此可将 2[#]副井作为预热后风流进入主通风系统的通道。因 1 750 m 中段 2[#]副井井筒处于砌筑状态,无法打通进风通道,最终确定预热系统实施方案为地表冷空气经 1 810 m、1 750 m 采空区及废旧巷道预热,预热后的风流经 1 810 m 中段 2[#]副井石门进入主通风系统。

如图 1 所示,通风线路为:1)地表冷空气→露天采坑塌陷区及 1 875 m 平硐→1 810 m 中段 CuV 及 Pb-1 东采空区→1 810 m 中段穿脉及沿脉巷→1 810 m 中段 2[#]副井石门→主通风系统;2)1 750 m 中段风流线路为:1 750 m 中段 CuV 及 Pb-1 东采空区→1 750 m 中段穿脉及沿脉巷→1 750 m 中段 14 线通 1 810 m 中段盲斜井→1 810 m 中段 2[#]副井绕道→1 810 m 中段 2[#]副井石门→主通风系统。

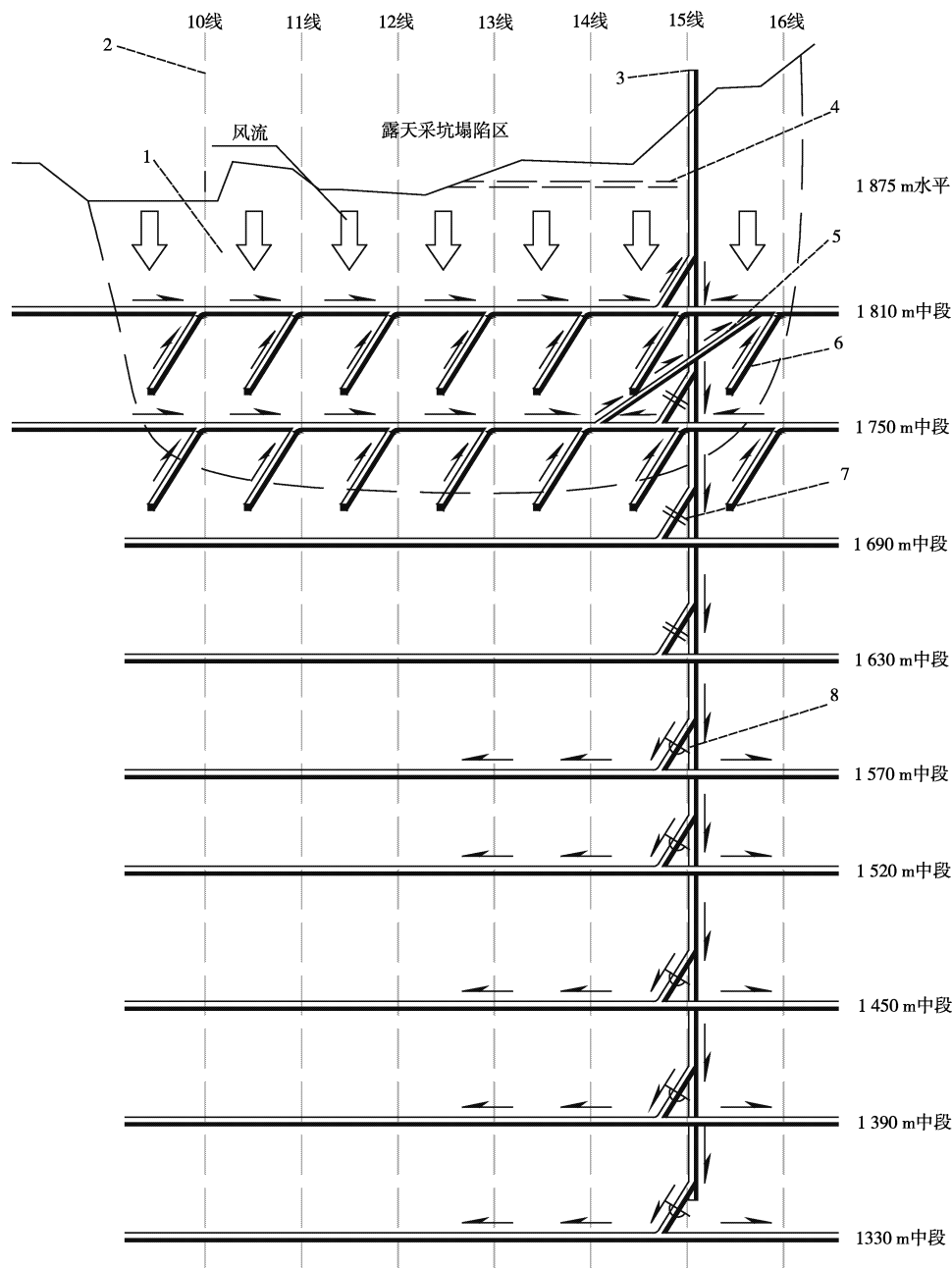
4.2 预热系统通风机的选择

在预热系统实施时,把通风机的选择安装放在最后一步。便于检验预热系统靠自然风压进风的进风量能否达到设计预热总风量,如若能达到设计预热风量,将矿山最低气温时的空气预热到 2℃ 以上则可以不架设或不开启风机;如若不能达到设计要求,则需架设通风机,并通过计算设计预热总风量和自然风压进风量的差值及预热风流线路的风阻来选择通风机的型号。

4.3 预热系统风量调控

4.3.1 预热系统与矿山生产中段的隔离

地温预热系统如不能与矿山生产中段进行有效隔离,将与生产中段产生的污风及主通风系统产生循环风流,污染预热的风流。为了使地温预热系统与生产中段及主通风系统进行有效隔离,首先,在 1 810 m 和 1 750 m 两个中段巷道与矿山斜坡道之间用风门隔离。其次,在 1 750 m 至 1 690 m 之间所有通道采取密闭措施有效隔离上下中段的连接,从而使预热区与下部生产中段隔离。



1—Cu V 及 Pb-1 东采空区;2—勘探线;3—2[#] 副井(井口已封闭);4—1875 平硐;5—1750 中段通 1810 中段盲斜井;
6—穿脉巷道;7—密闭墙;8—调节风门

图 1 获各琦铜矿利用采空区及废旧巷道预热入风流示意图

Fig. 1 Preheating winter inflow in Huogeqi copper mine by using goaf and waste laneway diagram

4.3.2 采空区进入风量调节

由于矿山 1 810 m 和 1 750 m 两个中段可利用的采空区并联且各采空区风路风阻不均衡,如不采取风流调控措施,风量分配必然不均,从而影响空区预热效果。为了对采空区风量进行调节,根据各采空区进入风量大小,利用通风构筑物分别在 1 810 m、1 750 m 中段穿脉巷道对采空区进入风量进行风量调节,实现采空区进入风量均匀分配,以提高采空区

预热效果。

4.4 实施后效果评价

预热系统实施后,仅通过自然风压进风,地表温度为-26℃时,测定实际预热空气总量为 62.89 m³/s,地表温度为-32℃时,测定实际预热空气总量为 57.33 m³/s,地温预热后风流进入各生产中段风量测定结果见表 4,即达到设计预期。同时减少了 3[#] 进风井冷风进风量,预热系统实施前,地表 3[#] 进风

井冷风进风量为 120~140 m³/s;实施完成后,冷风量约 45~50 m³/s。并且减少了矿井通风阻力,降低进风量为 75~90 m³/s,即减少了地表 3# 进风井冷风了主扇运行风压,实施后主扇风压测定结果见表 5。

表 4 预热风流进入各中段风量测定结果

Table 4 The measured results of air volume when preheating airflow entering the middle section

测定时间	地表温度/ ℃	地点	风速/ (m • s ⁻¹)	面积/ m ²	风量/ (m ³ • s ⁻¹)	温度/ ℃	粉尘浓度/ (mg • m ⁻³)
2017.01.21	—26	1 570 m 中段	0.89	8.0	7.12	8.4	0.3
		2# 副井石门					
		1 520 m 中段	1.05	8.5	8.93	8.4	0.1
		2# 副井石门					
		1 450 m 中段	0.90	12.0	10.80	8.2	0.2
		2# 副井石门					
		1 390 m 中段	1.22	10.5	12.81	9.0	0.1
		2# 副井石门					
		1 330 m 中段	2.42	9.6	23.23	9.0	0.3
		2# 副井石门					
小计					62.89		
2018.01.12	—32	1 570 m 中段	0.89	8.0	4.36	3.6	0.2
		2# 副井石门					
		1 520 m 中段	1.05	8.5	10.88	3.8	0.1
		2# 副井石门					
		1 450 m 中段	0.90	12.0	13.74	4.1	0.1
		2# 副井石门					
		1 390 m 中段	1.22	10.5	16.21	4.1	0.1
		2# 副井石门					
		1 330 m 中段	2.42	9.6	12.14	4.4	0.3
		2# 副井石门					
小计					57.33		

表 5 预热系统实施后主扇运行风压测定结果

Table 5 Wind pressure of main fan operation after implementation of preheating system results

风压/Pa 运行频率/Hz			
	实施前	实施后	降低量
35	776 ~ 790	643 ~ 665	125 ~ 133
30	553 ~ 576	426 ~ 440	127 ~ 136
25	423 ~ 441	305 ~ 320	118 ~ 121

5 经济效益分析

利用地温预热与锅炉预热技术经济指标比较见表 6。

矿山目前使用的一台 20 t 的锅炉预热系统,运

行年承包费用为 860 万元,折算成预热 63 m³/s 风量的运行费用为 860×63÷240=225.75 万元;建设地温预热系统基建费用仅为 15.3 万元,且没有运行费用。由此可知,地温预热系统每年可以为获各琦铜矿节省运行费用约为 225.75 万元。

表 6 地温预热与锅炉预热经济效益比较

Table 6 Comparison of economic benefits between preheating of ground temperature and boiler preheating

项目名称	锅炉预热		地温预热	
预热风量	240/(m ³ · s ⁻¹)		63 /(m ³ · s ⁻¹)	
基建费用	费用名称	费用/万元	费用名称	费用/万元
	预热锅炉	850	清理疏通巷道	1. 5
	锅炉房	60	风门	1. 8
	供热管道	30	密闭	12. 0
	预热机组	150		
	环保实施	100		
小计		1190		15. 3
运行费用	年承包费用	860		0

6 结论

1)获各琦铜矿地温预热系统在未安装辅助风机的状态下,可将 62. 89 m³/s 的-26 ℃冷空气预热到 8. 2~9 ℃,将 57. 33 m³/s 的-32 ℃冷空气预热到 3. 6~4. 4 ℃,说明该预热系统的预热能力仍具有很大潜力。

2)地温预热系统充分利用浅部采空区和废旧巷道,不需要新掘预热巷道,投资费用少,施工简便,易于管理。

3)利用采空区及废旧巷道预热进风,减少了预热锅炉的运行时间和台数,煤炭消耗减少约 4 000 t/a,显著减少了大气污染物排放。

4)通风系统的进风线路增多,有效降低了通风系统的通风阻力,减少主扇电能消耗,具有节能降耗的作用。

5)预热后的空气完全符合《金属非金属矿山安全规程》中关于风源和工作面风质量的规定。

6)存在多条通道可用于预热后风流进入主通风系统的矿山,宜选择多条预热线路相并联的方式,以降低风流速度和矿井通风阻力,使冷空气能与岩体有充足的时间进行热交换,并且能够降低通风机能耗。

参 考 文 献

[1] 王英敏. 矿内空气动力学与矿井通风系统[M]. 北京:冶金工业出版社, 1993.

WANG Yingmin. Mine aerodynamics and mine ventilation system[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993.

[2] 王殿平,韩建勇. 利用废旧巷道预热冬季入风流可行性分析[J]. 煤炭技术, 2000(2):25-26.

WANG Dianping, HAN Jianyong. Feasibility analysis on preheating winter incoming wind by using abandoned drift[J]. Coal Technology, 2000(2):25-26.

[3] 杨永军. 温度测量技术现状和发展概述[J]. 计测技术, 2009(4): 62-65.

YANG Yongjun. Overview of current status and development of temperature measurement technology [J]. Metrology & Measurement Technology, 2009(4):62-65.

[4] 刘 凯,朱兆文,朱万成,等. 新城金矿深部热环境分析及围岩温度测试[J]. 金属矿山, 2016(6):157-161.

LIU Kai, ZHU Zhaowen, ZHU Wancheng, et al. Analysis on deep thermal environment and temperature measurement of surrounding rock in Xincheng Gold Mine[J]. Metal Mine, 2016 (6):157-161.

[5] 王福成,王英敏,王保安,等. 入风调温系统热交换规律研究与应用[J]. 中国矿业, 1996(3):65-69.

WANG Fucheng, WANG Yingmin, WANG Baoan, et al. Research and application of heat exchange regularity in air-inlet temperature-regulating system[J]. China Mining Magazine, 1996(3):65-69.

[6] 袁梅芳,袁永忠,刘伟强,等. 峪耳崖金矿冬季竖井防冻通风系统研究[J]. 金属矿山, 2012(11):129-130.

YUAN Meifang, YUAN Yongzhong, LIU Weiqiang, et al. Study on ventilation system of preventing frozen shaft in winter in Yuerya Gold Mine[J]. Metal Mine, 2012(11): 129-130.