

双碳政策下煤矿余热利用分析

王 策

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘 要: 本论指出了在碳达峰碳中和的政策影响下煤矿供热热源的替代问题,重点探讨了空压机余热利用、矿井涌水余热利用及矿井回风余热利用的工作原理、优缺点和适用范围。以鄂尔多斯某煤矿为例,对其热源进行选择。对煤矿节能减排提、清洁供暖提供了参考依据。

关键词: 空压机余热; 矿井涌水余热; 矿井回风余热

面对各国二氧化碳大量排放,全球温度不断上涨的问题。2020年12月,我国提出了到2030年,二氧化碳排放量达到峰值;到2060年,通过植树造林、节能减排等方式将排放的二氧化碳中和掉,彰显了大国的责任和担当,对全球生态可持续发展具有重要意义。

矿井供热属于煤矿生产和生活不可或缺的重要组成部分,随着矿井余热技术的发展,利用空压机余热、矿井涌水余热、矿井回风余热满足井筒防冻、建筑供暖、洗浴热水等用热需求在矿井供热中已广泛应用,成为矿井绿色供热的首选热源。矿井余热供热属于绿色能源,相比化石能源的利用,更符合国家长期的节能减排政策,具有长远发展的潜力。

空压机的能效很低,有用功只占输入功率不足20%,绝大部分能量转换成热量,其中约70%能够转换为可利用热量。矿井在开采过程中排出大量矿井水,排水温度一般在17℃~30℃左右,温度基本恒定,蕴含大量低温热能。煤矿在开采过程中通风量大,通风温度常年基本维持不变,取热后的回风温度可以达到0℃以下,矿井回风中蕴含巨大的可利用低温热能。

1 空压机余热

空压机在煤炭生产系统中主要为各种气动工具提供动力,其耗电量较大,约占企业用电量的十分之一。长期以来,空气机的能效较低,仅有约20%左右的输入能转化为有用功,约80%的能量转换为热量,还要对空压机进行通风降温,空压机系统存在大量电能转化为热量而造成的能源浪费。通过对原有的空气压缩系统进行改造,增加热回收装置,既可解决空压机散热的问题,又可以充分利用废热^[1]。

空压机余热回收系统增加油-水换热装置,将冷却油中的热能提取用于供热。该余热回收系统原理为:在原油路系统的出口加装温控三通电磁阀,将机油引出后通过换热器实现换热。为了提高安全系数,保留原有风冷

系统,即空压机余热回收系统与原有冷却系统并联。经油气分离后,分离出的高温气直接通往原有的气冷却系统,分离出的高温油则经三通温控比例调节阀内的感温元件检测其温度,若油温度低于60℃,则不用进行热交换,直接通过过滤器去往油路循环系统,若油温度高于60℃,则进行热交换降温后再进入油路循环系统。该油-水换热系统中的水选用软水,防止因腐蚀或积垢造成对空压机的损伤^[2]。

2 矿井涌水余热

为了确保煤矿井下生产安全,矿井在开采过程中要排出大量矿井水,矿井排水温度一般在17℃~30℃左右,温度基本恒定,蕴含大量的可利用低温热能^[3]。水源热泵机组可将矿井排水中蕴含的低品位热能转换为高品位热能供煤矿使用。

水源热泵技术是一种以可再生能源,以浅层低温热能(包括浅层地下水、矿井水等)为热源的新型、节能环保型冷暖中央空调系统。它具有冬季向建筑物供暖,夏季向建筑物供冷及常年提供生活热水的功能,是一种以消耗少量电能为代价,将大量无用的低温热能变为有用的高温热能的装置^[4]。

水源热泵技术具有以下优点:①水源热泵能效比(COP值)较高,理论计算值可达到7,实际运行值为2~6。②通过水源热泵技术可实现一机多用,一套系统可实现全年生活热水、冬季供热、夏季供冷,非常适合煤矿企业的用热需求。③以矿井涌水为热源,不消耗其它水资源(如地表水、地下水),不会对环境造成污染,节省场地空间。④水源热泵机组运行无任何污染,无燃烧、无排烟,不产生废渣、废水和废气,不会产生城市热岛效应,对环境非常友好,是理想的绿色环保产品。⑤运行稳定可靠,维护检修方便。

3 矿井回风余热

矿井回风温度全年维持在15-20℃之间,可采用热泵

技术充分提取其全热。乏风热泵可将回风中的大量低温热能变为可利用的高温热能。因此,乏风热泵是一种高效的节能装置,可广泛应用于矿井供热中。

矿井回风量大,回风湿度高,蕴含巨大的低温全热。在供暖季这部分全热资源可结合乏风热泵余热回收装置得以高效利用。利用高效换热装置提取回风中的全热,回风将携带的全热热量交换给换热介质,换热介质作为乏风热泵供热系统中的低温热源,通过热泵装置提热转化为高温热源供矿井生产和生活使用。若煤矿回风得以高效处理并加以利用,可获得节能和减排的双重收益。

目前矿井回风全热提取技术中较为成熟的为以下五种:

- ①喷淋式换热热泵技术;
- ②直膨式换热热泵技术;
- ③乙二醇换热热泵技术;
- ④热管换热技术;
- ⑤喷淋+乙二醇换热热泵技术。

下面就以上五种热泵技术分别进行叙述。

(1) 喷淋式换热热泵技术

在矿井回风热泵系统中,矿井回风换热器在改造后的回风换热塔内制造一个水雾空间,将矿井回风中所蕴含的热能通过喷淋换热方式转移到水雾里面,水雾下降后汇集到汇水池,吸热后的循环水作为热泵系统的低温热源。

冬季制热工况时,热泵系统提取循环水中的热量,循环水温度降低,降温后的低温冷水回到回风换热器中喷淋吸收回风中的热能,吸收热能后水温升高返回热泵机组,为热泵机组提供低温热源^[5],如此循环往复。

喷淋式矿井回风热交换器经过数十个矿井回风项目的应用,已经发展非常成熟。矿井回风换热器能很好地适用于矿井回风恒温、高湿、粉尘大的环境下,可将矿井回风中所蕴含的大量低温热能高效的转移到循环水里面,为热泵系统提供稳定的低温热源。

喷淋回风换热特点:①喷淋回风换热温度分布均匀,换热充分;换热器内空气速度分布均匀,阻力小;喷淋水滴分布均匀、回风矢量分布均匀,换热无死角。②水雾和矿井回风直接接触换热,换热效率高,既可以回收矿井回风中的显热热量又可以回收其潜热热量。③无电动设备,无需考虑防爆。④喷淋式回风换热器具有很强的回风净化能力,回风经过换热后粉尘等污染物可大大降

低。该回风换热器阻力低于50Pa,通风阻力小,对矿井通风机影响很小。⑤可有效降低回风立井排风噪音^[6]。

(2) 直膨式换热热泵技术

直膨式换热热泵技术将蒸发器设在回风立井上方回风取热平台上,氟利昂直接膨胀蒸发提取回风中的热量。

直膨式换热特点:①直膨回风换热为一级间壁式换热,换热不够充分,机组能效比低,是所有热泵技术中效率较低的一种。②机组为分体式设计,制冷剂管路长,压缩机回油困难,易烧毁压缩机。蒸发器距压缩机垂直高度一般不超过16m,只能将热泵机房布置在高处尽量靠近蒸发器,增加土建成本。③需设置冲洗系统,定期对蒸发器进行冲洗。④由于换热效率低,单体设备制热量不能太大,机组数量多,管路复杂。⑤该系统无循环水路,设备投资较低。⑥低温换热时易结霜堵塞换热器,通风阻力大,难以实现低温换热。

(3) 乙二醇换热热泵技术

矿井回风通过与乙二醇换热器热交换,将其所蕴含的热能转移到乙二醇溶液中,作为热泵系统的低温热源。热泵系统提取乙二醇溶液中的热量,温度降低后再通过换热器吸收回风中的热能,温度升高返回机组为热泵机组提供热源,如此循环往复。

乙二醇换热特点:①循环介质为乙二醇溶液,可有效避免冻结问题。②换热翅片间距大,阻力小,可实现深度提热,总制热量高,提热后回风温度理论上可实现-20℃,可完全满足矿井用热需求。③机房布置较灵活,不受空间限制。④由于乙二醇低温水源热泵机组的蒸发侧采用闭式循环,水质不受回风粉尘影响,系统维护成本低。⑤需设置冲洗系统。

(4) 热管换热技术

矿井回风经风机加压后流经热管下端加热管中介质,介质吸收热量后由于密度差向上流动,从而加热进风的冷空气。介质释放热量后比重增加,向下流动,从而形成介质的自动循环。

热管换热技术的特点:①靠重力循环,可节约大量电能,运行费用低②系统简单,设备初投资低。③热管的排数多,通风阻力大。④不利于煤尘的清洗,不适合大的粉尘场合。⑤需要制作进回风钢制风道,占地面积大。

4 鄂尔多斯某煤矿余热利用案例

表1 工业场地热负荷统计表

序号	内容	耗热量 (kW)	换热损失	管网损失系数	热负荷 (kW)	热媒温度
一	热水负荷					
1	行政福利建筑采暖通风	4491.3		1.05	4715.9	50/40℃
2	工业建筑采暖通风	14144.8		1.05	14852.04	70/60℃
3	矸石充填系统建筑物采暖通风	2543.5		1.05	2670.68	70/60℃

续表:

序号	内容	耗热量 (kW)	换热损失	管网损失系数	热负荷 (kW)	热媒温度
4	选煤厂生产系统建筑物采暖通风	8678.6		1.05	9112.53	70/60℃
5	井筒防冻	11104.06	5%	1.05	12242.23	45/35℃
6	职工浴室、洗衣房、职工宿舍生活热水	2810.7	5%	1.05	3098.8	45℃
	小计	43126.46			46692.18	
二	蒸汽负荷					
1	深度水处理站蒸发结晶用汽	5180		1.2	6216	0.5MPa蒸汽

1.该矿井工业场地空压机房安装有3台250kW螺杆式风冷空压机,2用1备。可回收热量按空压机功率的70%计算,则空压机可提供的热量为 $250 \times 2 \times 0.7 = 350\text{kW}$ 。

2.矿井工业场地井下正常涌水量为 $40800\text{m}^3/\text{d}$ ($1700\text{m}^3/\text{h}$),根据《煤炭工业供暖通风与空气调节设计标准》,矿井水排水热能分析应按井田地质报告中正常涌水量的50%-70%计算,本设计取正常涌水量的70%,水温按 20°C 计算,考虑到矿井排水经过预处理后还需进行深度水处理,水温不宜过低,因此设计矿井水提热后温度不低于 8°C ,矿井水可回收的热量为:

$$Q = 70\% \times L_s \times \rho_{\text{水}} \times C_p \times (t_2 - t_1)$$

L_s : 正常涌水量, $1700\text{m}^3/\text{h}$;

$\rho_{\text{水}}$: 水密度, $1000\text{kg}/\text{m}^3$;

C_p : 水的比热容, $4.2\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$;

t_2 : 进水温度, 20°C ;

t_1 : 排水温度, 8°C ;

$$\text{则每小时可回收热负荷 } Q = 70\% \times 1700 \times 1000 \times 4.2 \times (20 - 8) / 3600 = 16660\text{kW}$$

考虑矿井水余热热泵系统COP为4.5,系统实际供热能力为 21420kW 。

3.矿井工业场地回风立井的总回风量为 $280\text{m}^3/\text{s}$,冬季回风温度基本维持在 15°C ,相对湿度为80%。采用矿井回风间壁换热技术可提取的热量计算如下:提取热量前温度 15°C 、相对湿度80%,提取热量后排风温度按 -2°C ,相对湿度为100%计算,可提取的热量为:

$$Q = L_h \times \rho \times (H_1 - H_2)$$

L_h : 风井回风量, $280\text{m}^3/\text{s}$;

ρ : 回风空气密度, $1.05\text{kg}/\text{m}^3$;

H_1 : 回风热回收前焓值, 风温 15°C ,相对湿度80%,焓值为 $40.26\text{kJ}/\text{kg}$;

H_2 : 回风热回收后焓值, 风温 -2°C ,相对湿度100%,焓值 $7.29\text{kJ}/\text{kg}$;

矿井回风可回收热量:

$$Q = 280 \times 1.05 \times (40.26 - 7.29) = 9693.18\text{kW}$$

考虑矿井回风余热热泵系统COP为3.5,系统实际供热能力为 13570.45kW 。

矿井工业场地余热资源可提供的热负荷为 35340.45kW ,所需要的水热负荷为 46692.18kW ,余热资源不满足工业场地内所需热负荷,但满足除行政福利建筑及选煤厂外其余热水负荷 32863.75kW ,因此采用余热资源解决工业建筑采暖、矸石充填建筑采暖、井筒防冻和职工浴室、洗衣房、职工宿舍热水负荷可行,行政福利建筑采暖、选煤厂建筑采暖和深度水处理站蒸发结晶负荷采用电蒸汽锅炉解决。

结论:矿井余热供热技术应用于煤矿行业的井口防冻、建筑供暖、洗浴热水已有成熟的技术基础。利用电能驱动的热泵进行矿井涌水和乏风的余热利用,属于绿色能源,与采用燃煤锅炉相比大大降低了二氧化碳的排放,具有节能和减排双重收益,是实现碳中和目标的有效方式,具有长远发展的潜力。

参考文献

[1]尹华,郭华芳,何兆红,等.空气压缩机热能回收改造实践[J].节能,2011,30(6):3.DOI:10.3969/j.issn.1004-7948.2011.06.017.

[2]贾玲,吴勇生.空压机余热利用案例及影响系统运行问题探讨[J].资源节约与环保,2019(9):2.DOI:CNKI:SUN:ZYJH.0.2019-09-036.

[3]张莉.低温余热资源在煤矿中的应用探讨——以宝鸡市某煤矿为例[J].绿色科技,2016(14):2.DOI:10.3969/j.issn.1674-9944.2016.14.071.