

葛泉矿风源热泵回风井煤尘治理改造研究

李晓瑜

(冀中能源股份有限公司葛泉矿, 河北 邢台 054106)

摘要: 随着机械设备的快速应用, 现阶段煤矿挖掘的效率在不断提高, 但同时也在煤矿挖掘过程当中所产生的粉尘量级也变得越来越大, 这不仅会极大程度地破坏环境, 同时也会危及施工工作人员的人身安全。文章着重介绍了葛泉矿结合热泵直蒸技术进行煤尘治理改造工程, 并通过技术人员的优化设计, 使该项目同时具备井口抑尘功能与余热回收功能, 提高了能源利用率, 并改善了井下作业环境, 对煤炭实现绿色开采具有重要指导意义。

关键词: 煤矿 余热回收 煤尘治理 优化

DOI: 10.12319/j.issn.2096-1200.2022.24.172

一、引言

葛泉矿为冀中能源主力矿井, 生产规模为185万t/a。葛泉矿于1989年10月正式投产, 主要产品有炼焦精煤、高炉喷吹煤、洗混煤、块煤等。葛泉矿本部风水源热泵余热回收工程是全国煤炭系统首次采用热泵直蒸技术的乏风余热回收项目。项目于2013年建设投产, 采用2台环保型超高能效水源热泵机组, 2台超高能效水源热泵机组, 2台矿井乏风源热泵机组等设备回收余热资源, 为葛泉矿本部办公建筑、厂房提供冬季供热、夏季空调和职工洗浴热水等。风源热泵系统已连续运行9年, 运行过程中发现存在下述一些问题:

一是由于风口风速较高, 导致井口周围扬尘较大, 煤灰污染周边空气和地面环境; 二是井口蒸发器冷凝水未能有效收集, 造成冬季周边地面结冰, 影响人员行走安全; 三是井口蒸发器容易脏堵, 严重时影响风源热泵系统的正常运行和能效, 需要经常维护; 四是维护工作不太方便等。

由于存在上述问题, 亟待对该系统进行有针对性的合理优化和升级改造, 以更好保证项目供热、供冷效果及周边环境改善等。

二、乏风抑尘能源系统工作原理分析

(一) 乏风抑尘能源塔的主要功能

葛泉矿的乏风抑尘问题, 设计了一套“乏风抑尘能源塔”。此装置的主要功能为:

一是排风抑尘。葛泉矿主井回风的通风量在8000m³/min, 约50万m³/h(考虑未来产能增长的需求), 以粉尘浓度20~30mg/m³计算, 则排风粉尘量约为240kg~360kg/天。该系统抑尘原理为: 通过降低出风速度, 对大颗粒起到沉降作用; 乏风经抑尘塔上部返流回下部换热器, 部分中等颗粒沉降; 换热器冷凝水自清洁效应, 将细微尘过滤^[1]。在安装

抑尘能源塔后, 主井回风排放可达标。

二是实现余热回收利用。主井冬季乏风温度基本稳定在15℃左右。可见, 矿井乏风是一种良好的余热资源, 加以有效利用将有效降低厂区采暖能耗。初步估计, 乏风可利用热量1800kW左右, 主要用于厂区全年洗浴热水。

(二) 矿井乏风热源取热量分析计算

根据相关资料, 采取相对保守取值方式, 取矿井回风量(乏风)50万m³/h, 冬季温度18℃, 相对湿度86%, 此状态点即为热泵蒸发器进风状态, 乏风被热泵系统蒸发器取热后, 出风参数确定为: 干球温度10℃, 相对湿度95%。查询对应大气压力焓湿图, 空气状态参数如下(图1, 图2所示):



图1 进口空气参数



图2 出口空气参数

乏风可取热量计算:

$$Q = \frac{50 \times 10^4}{3600} m^3 / s \times 1.2 kg / m^3 \times (46.8 - 28.7) kJ / kg = 3016 kW$$

乏风取热过程中产生的冷凝水量:

$$G = 50 \times 10^4 m^3 / h \times 1.2 kg / m^3 \times \frac{(1.3 - 7.4)}{1000} kg / kg = 2340 kg / h$$

(三) 主要技术措施

1. 关于乏风中煤灰的除尘问题

关于矿井乏风煤灰含量较高的原因分析: 矿井回风最大风量约为39.6万m³/h(目前风量值, 未来预计增加到50万m³/h), 通风断面尺寸约4.45米×2.58米, 风口平均风速达到9.6m/s(考虑一个风机运行的单通道和单风口), 高速风处甚至超过10~15m/s, 所以乏风卷吸带走大量煤灰。

由于矿井回风量和通风通道、通风口都不允许改变和改造, 所以我们考虑采取搭建“乏风抑尘能源塔”的技术方案(详见图3乏风取热塔原理图), 乏风抑尘能源塔通风口断面尺寸达到70m², 此时断面平均风速降至不足2m/s, 所以乏风中的煤灰将在此处快速沉降, 落在维修和清扫平台。空气中残存的较为细小粉尘在蒸发器处被拦截过滤^[2]。因此经过乏风抑尘能源塔的沉降和蒸发器的拦截过滤, 乏风中95%以上(重量比率)的煤灰将被清除干净, 井口周边空气和地面环境污染问题将大为改善。

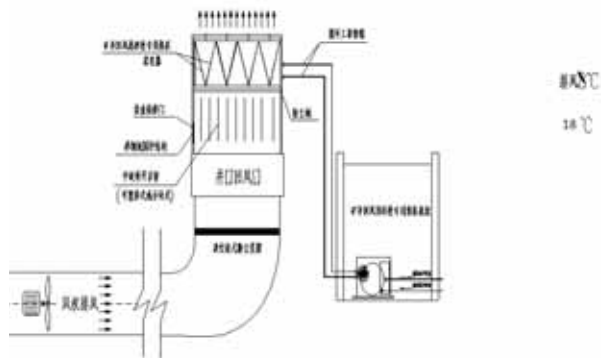


图3 乏风取热塔原理图

2. 解决井口周边冬季结冰问题

热泵蒸发器在提取乏风热量时, 蒸发器出口乏风温度降低, 由于乏风进入蒸发器前相对湿度比较大, 所以乏风被冷却后将产生大量冷凝水^[3]。如上述计算所示, 设计工况下每小时可产生约2340kg冷凝水, 所以必须有组织排放。

本改造方案在每组热泵蒸发器下部设置冷凝水收集水盘, 实现冷凝水有组织的收集和排放, 不会造成地面产生结冰现象。

3. 关于热泵蒸发器阻力对于矿井通风系统的影响计算

现有抑尘系统, 由于顶部换热器堵塞, 对井下通风造成很大阻力。根据现场实测, 现系统排风面积仅为5m², 在通风量6600m³/min时, 排风速度为22m/s。

则现有系统总阻力为:

$$p = \frac{1}{2} \rho v^2 = 0.5 \times 1.2 \times 22^2 = 290.4 pa$$

即现有系统的回风阻力约为290Pa。

本改造方案在矿井通风气流通道增设的部件有和热泵蒸发器。这两个部件通风面积基本一致, 设计流速不超过2m/s, 此时过滤器空气阻力不超过20Pa, 热泵蒸发器空气阻力不超过60Pa, 两者合计不大于80Pa。关于此阻力对于通风系统影响分析如下:

1) 根据通风机铭牌参数, 风机额定风压为280mmH₂O, 即2800Pa, 热泵蒸发器所增加的阻力仅相当于目前风机额定风压约2.8%。

2) 根据通风机静压实测数据, 目前整个通风系统阻力约2600Pa, 热泵蒸发器所增加的阻力仅相当于目前系统阻力约3.1%。

3) 本改造方案的热泵蒸发器通风面积比目前项目实际状况显著增加, 穿过蒸发器的乏气流速显著降低, 而蒸发器空气阻力与风速的平方成正比, 因此本改造方案蒸发器阻力比目前项目实际状况的阻力更小。

从以上三个方面分析看, 热泵蒸发器阻力对于通风系统基本无影响, 不会引起通风机喘振等严重问题。

4. 乏风抑尘能源塔风速场模拟验证

应用Fluent模拟软件对本方案的风速场进行了数值模拟(验证结果如图4、图5所示)。结果表明, 乏风取热塔出口风速均匀性显著改善, 平均风速明显降低, 因此气流传输煤灰尘埃的能力大为减弱, 绝大部分煤灰将在取热塔沉降。

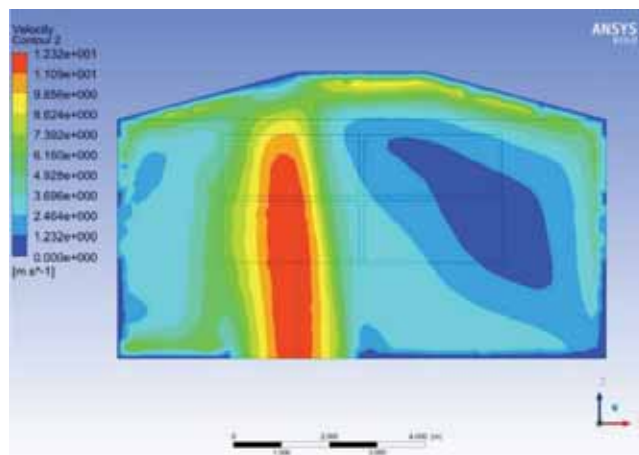


图4 A-A剖面风速场模拟结果

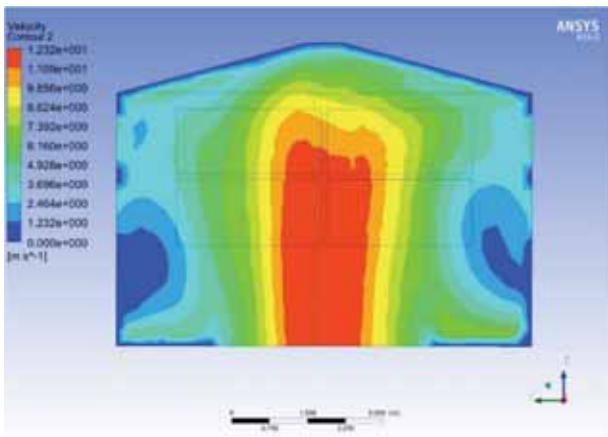


图5 B-B剖面风速场模拟结果

三、乏风抑尘能源系统实施内容

因回风井口风量增加，原风源热泵蒸发器脏堵，造成出风风速较高，导致井口周围扬尘较大，煤灰污染周边空气和地面环境，需进行煤尘治理改造，通过在回风井井口增加乏风抑尘能源塔，原余热回收装置拆除工程、冷媒管路改造改善回风口周边环境，恢复和完善风源热泵供热能力。

一是在原有的矿井回风口处搭建“乏风除尘取热塔”，塔身外形尺寸约12米×12米×7.5米（高度）。塔内设置热泵蒸发器、过滤器、冷凝水盘、检修门和清扫平台等。

二是在塔身四周布置8组热泵蒸发器，蒸发器外形尺寸约4.880米×1.146米，部分利旧，用于提取乏风热量。每组蒸发器下部设置冷凝水集水盘，实现冷凝水有组织的收集和排放，避免污浊冷凝水污染周围地面，以及避免冷凝水冬季在周围地面结冰，影响人员行走安全。

三是在塔身与井口之间区域设置维修和清扫平台，通过塔身检修门进入该空间。由于乏风在此区域流速大大降低，来自于乏风的煤粉绝大部分将沉降在此平台。利用此平台，一方面可以清扫在此沉降的煤粉灰尘；另一方面可以检查热泵系统的运行状况，维修热泵系统相关部件。

四是塔身采用工字钢、槽钢、角钢等搭建，结构牢固、稳定。检修平台采用防滑钢板。井口周边设置安全护栏。

五是蒸发器设置在取热塔的侧壁上，每面放置2台，共8台蒸发器，蒸发器的详细设计可由厂家完成。

六是取热塔钢结构设计，按照每台蒸发器900kg计算，则蒸发器总重量为7200kg，后续可按照厂家的蒸发器实际重量做调整。

七是取热塔顶部须设置反向风口，面积大于20m²，保障事故通风需求。

八是在出风口处设置导流风罩，风罩顶部设置可调节长度和角度的风档装置。

四、乏风抑尘能源系统项目实施后预期目标分析

一是能重点解决乏风煤粉造成环境污染问题，包周围空气和地面的环境污染问题；二是可将井口蒸发器冷凝水有组织收集，避免无组织排水，解决井口周边地面污染和冬季结冰问题，保证人员行走安全；三是彻底解决井口蒸发器脏堵问题；四是井口取热装置增设检修门、检修通道，考虑合理的检修空间等，便于维护保养；五是结合风源热泵最新技术，进一步提高风源热泵系统的运行可靠性和能效^[4]。

五、结语

本项目是全国煤炭系统首次结合热泵直蒸技术进行煤尘治理改造，通过优化设计，使之同时具备井口抑尘功能与余热回收功能的环保节能项目。本项目通过对井口加装专业设计的乏风抑尘能源塔，对回风口乏风进行抑尘处理，优化周边环境，达到环保部门要求。同时以矿井乏风作为低温热源，采用2台矿井乏风源热泵机组等设备回收余热资源，为矿井建筑供暖、井口保温、提供洗浴热水等。将取得显著的环保效益及良好的经济效益。

本项目投入运营后，每年可减少回风口粉尘排放约90吨，减少二氧化碳（CO₂）排放约3400吨，减少氮氧化物（NO_x）排放0.4吨，环保及节能降碳效益显著。本次改造项目，具有抑尘环保、降低风道阻力和余热回收三大功能。不仅可有效过滤矿井出风的粉尘，净化厂区作业环境，更可以回收乏风中的热能，用于厂区的供暖空调，预计可回收热能1800kW，有效解决矿区职工洗浴问题。

参考文献

- [1]樊勇飞.井下综合防尘措施研究[J].江西化工,2019(4):153-154.
- [2]袁碧波.煤矿采煤工作面粉尘运移规律研究[J].山东煤炭科技,2018(7):042.
- [3]武晓斌.综采工作面综合防尘措施分析[J].江西煤炭科技,2019(1):046.
- [4]韩志敏.煤矿综采工作面防尘技术研究现状及趋势[J].矿业装备,2018(3):60-61.