

蒸汽冷凝液低品位热能回收利用途径及经济效益

周清 李 宁 (兖矿鲁南化工有限公司, 山东 滕州 277500)

摘要: 在工业生产中, 蒸汽是一种重要的能源, 在做工以后会还原成高温状态的冷凝水, 其中还含有较高的能量, 如果直接排放不仅会造成较大的能量浪费, 还会造成热污染, 因此加强蒸汽冷凝液热能的回收利用具有重要意义。通过对锅炉蒸汽冷凝水进行回收利用, 可以有效的降低能源消耗, 节约生产成本, 降低环境污染, 具有良好的经济效益和设备效益。

关键词: 节能; 冷凝水; 回收利用; 水质处理; 效益分析

0 前言

随着社会的快速发展, 对能源的需求量快速增加, 因此提高能源的利用效率, 节能减排成为发展的重要方向, 同时也是解决当前面临的能源危机的重要手段。在我国工业生产过程中会产生大量的余热资源, 据统计可以占到燃料消耗总量的 43%, 其中约有 60% 都是可以进行回收利用的, 具有非常大的节能潜力。

在工业生产中蒸汽具有重要应用, 是一种具有清洁、安全等特点的动力能源, 其全热能量由潜热和显热两部分组成。蒸汽在做功过程中会释放潜热, 然后还原成为高温状态的冷凝水, 这些高温冷凝水具有较高的能量, 如果被直接排掉, 不仅会造成资源的浪费, 而且还会对生态环境造成热污染。

以锅炉蒸汽冷凝水为例, 在蒸汽压计在 0.1~1.0MPa 的情况下, 冷凝水中含有蒸汽全热量的 20~30%, 由于蒸汽冷凝水中的杂质非常少, 是非常优质的热源给水, 通过合理利用, 能够有效的降低锅炉排污率, 同时减少锅炉补水, 有效的降低蒸汽的生产成本。相关研究显示, 锅炉补水的温度每降低 5~6℃, 就能够降低燃气使用量 1%, 使燃气锅炉效率提高 10~15%, 同时, 通过将蒸汽冷凝水和软化水混合后补水, 能够提高补水温度, 具有热力除氧效果, 从而有效的降低锅炉的氧腐蚀。

当前, 我国工业用蒸汽锅炉数量超过 50 万台, 平均冷凝水回收利用率却很低, 不足 20%, 每天造成大量的热量损失, 如果将工业冷凝水的回收利用率提高到 80%, 那么将节约超过 5000 万 t 标准煤, 同时有效的降低排污率, 减少排污热亏损。相关数据显示, 若锅炉排污率没降低 1%, 可以节约超过百万吨的标准煤, 这说明通过对蒸汽冷凝水进行高效的回收利用, 具有较高的经济效益, 同时可以产生良好的环境效益和社会效益。

本文以某公司的锅炉为例, 进行了锅炉冷凝水回收改造, 对其经济效益进行了分析。

1 蒸汽冷凝水回收的目的、意义和方式

通过对蒸汽冷凝水进行回收利用, 可以有效的节约能源。同时, 蒸汽凝结水除了携带热能以外, 其水质也要高于自来水, 在作为锅炉给水时, 处理措施相对简单, 在节约水资源的同时, 还能够降低水处理的费用。

使用自来水作为工业锅炉的补给水时, 需要对水进行处理, 需要较高的水处理费用, 通过将回收的蒸汽凝结水作为锅炉给水, 处理工艺更加简单, 在节约大量用水的同时, 水处理方式也显著降低。

在锅炉运行过程中, 为了保证蒸汽品质合格, 管道受热面日久结垢等情况的出现, 需要定时进行排污, 不仅造成热能、给水损失, 而且会增加排污量, 通过实现蒸汽冷凝水的回收利用, 可以有效的降低给水损失, 提高热能的利用效率, 降低污染排放量。

对于蒸汽凝结水来说, 其温度通常在 70~100℃, 正常的锅炉补给水的温度在 20℃, 凝结水回水温度通常可以达到 60~70℃, 通过将这部分水作为锅炉补水进行再次利用, 可以节约将水从 20℃ 加热至 60~70℃ 的热能, 从而实现大量的能源节约, 减少燃料消耗, 达到节能效果。

蒸汽冷凝水回收利用的方式有开式回收系统和密闭式回收系统等, 其中, 开式系统的冷凝水收集箱是开口式的, 冷凝水的给水箱和大气直接接触, 冷凝水进入到收集箱以后, 由于压力突然降低, 会产生大量二次闪蒸汽, 导致回收温度降低, 只有 70℃ 左右。此外, 由于会有空气进入到回收管道, 还可能会造成管道腐蚀, 不过开式系统的优点在于装置简单, 需要的投资较少, 而且具有一定的节能效果。密闭式回收系统有效的解决了开式系统存在漏气、闪蒸损失以及回

收凝结水温度低等方面的问题,该系统用汽设备排放的冷凝水通过管道集中到密闭保温储水罐中,然后通过回收装置将凝结水直接输入到锅炉,组成一个从给设备供汽到凝结水回收利用的密闭循环系统。

2 项目实施中水质常见问题原因分析

从理论层面上讲,蒸汽冷凝水本质上式纯净的蒸馏水,但是在实际操作过程中,开放式回收系统和密闭式回收系统中回收的冷凝水都存在回收的冷凝水呈酸性,且全铁含量超标的问题,如果将其作为锅炉补给水,可能会对锅炉造成腐蚀,产生氧化铁垢等情况,对锅炉的运行安全造成影响。

2.1 游离 CO₂ 产生的酸性腐蚀

冷凝水系统被腐蚀的根本原因是冷凝水中含有的游离 CO₂,当前锅炉的补给水不是除盐水,里面含有碳酸氢盐以及碳酸盐阻垢剂等物质,在高温高压条件下,锅炉水中的碳酸盐和碳酸氢盐等物质会发生分解,产生 CO₂,产生的 CO₂ 被蒸汽携带,从而使冷凝水或者湿蒸汽显酸性。虽然 CO₂ 溶于水后产生的碳酸是弱酸,但是由于蒸汽的纯净度有比较高,在冷凝成水以后缓冲性很小,从而导致少量的 CO₂ 就会是冷凝水的 pH 显著降低,酸性的水会给 pH 造成显著的腐蚀。此外,除了对锅炉造成酸性腐蚀以外,CO₂ 还能够使金属铁发生电化学腐蚀。在腐蚀过程中消耗掉的 H⁺,会由弱酸继续电离补充,而 H⁺ 与溶解氧同是腐蚀电池中阴极去极化剂,这样会导致阳极金属铁受到比较大的腐蚀,同时对回收管网造成影响。

2.2 溶解氧会加剧腐蚀

根据《工业锅炉水质》标准的要求,在蒸发量小于 10t/h 的锅炉,使用的水不需要进行除氧。在锅炉实际运行过程中,锅炉给水中含有一定量的溶解氧,在高温锅炉运行过程中,溶解氧随着蒸汽一起溢出,进入到蒸汽相中,并随着蒸汽凝结溶解到冷凝水中;同时,若冷凝水回收系统不是绝对密闭的,那么空气中的水也会溶解到冷凝水中。冷凝水中含有的 CO₂ 和溶解氧会导致系统设备、管网、回收系统等出现酸腐蚀和氧腐蚀。

含有 CO₂ 的冷凝水腐蚀性比较强,尤其是有氧存在的条件下,腐蚀性会进一步提升。在冷凝水系统中,如果同时存在有力 O₂ 和 CO₂ 可能会造成钢出现严重的腐蚀。由于 CO₂ 的存在,水会呈现出微弱的酸性,酸性条件下管路的保护膜会被破坏,随着 O₂ 含量增加,会加速钢管的腐蚀,使冷凝水含铁量提高,呈现

出红黑色,这也是导致蒸汽管道和冷凝水管道穿腐蚀穿孔的主要原因。

2.3 其他影响因素

导致锅炉设备出现腐蚀的因素还有以下几方面:防腐蚀措施不到位,锅炉的水处理设备、水箱以及再生系统等没有做好防腐蚀措施,或长时间使用以后防腐层出现脱落,补水系统产生的铁腐蚀产物进入到给水中;给水成酸性;水系统中本身的腐蚀产物使水中含有铁;一些设备使用的润滑油进入蒸汽中,再被转入到冷凝水中,导致给水含油量高,使锅炉水中产生泡沫对蒸汽品质造成影响。

3 水质控制处理方法

要实现冷凝水的回收利用,确保冷凝水的水质可以达到锅炉给水的要求是重要的前提条件,通过对冷凝水水质问题的原因进行分析以后,需要采取措施来对水质进行控制。

3.1 投药法

通过上面分析可知,在冷凝水 pH 低是导致设备、管网和回收系统腐蚀的重要因素,因此需要通过提高 pH 值的方式来降低腐蚀,减少冷凝水中的铁杂质,降低锅炉铁垢的结构效率。当前,提高冷凝水 pH 值的有效方法是添加化学药剂,采用这样的方式来使金属管道内表面钝化,在表面形成疏水性保护膜,从而使 CO₂ 和溶解氧不能够直接和管道金属表面接触;此外,通过化学药剂来提高冷凝水的 pH,使其呈现出弱碱性,能够避免金属出现酸性腐蚀、

3.2 阻截除油

水中的油脂和杂质等对于冷凝水的回收利用也有一定的影响,因此可以通过“阻截除油”技术来去除杂质。如可以通过纤维阻截膜的方式来实现油水分离,这种技术具有精度高、安全可靠和稳定的特点。在实际应用中,为了更安全、合理的方式回收冷凝水,可以在凝水进入到给水箱之前设置旁路排放阀和取样点,从而做好日常监测检查,提高锅炉运行的安全性和可靠性。

4 蒸汽冷凝水回收的经济效益分析

以某公司蒸发量为 4t/h、工作压力为 1.0MPa 的蒸汽锅炉进行分析,对蒸汽冷凝水回收的经济效益进行分析。在进行经济效益分析时,以某周实际运行 6 天,每天运行 24h 计算;冷凝水和软化水混合后的温度取全年的平均值,为 67℃;给水补水温度为 20℃;天然气热值为 35559kJ/m³;自来水价格为 7.85 元/t;天然

气燃烧后变成水蒸气热能为 70%，通过以上数据，根据蒸汽冷凝水回收利用实际情况，计算出蒸汽冷凝水回收所带来的经济效益。

4.1 节约用水费用

通过蒸汽冷凝水回收利用，可以节约自来水的用量，从而节约用水成本。在锅炉正常运转计算下，自来水用量为蒸汽产量的 1.1 倍，通过冷凝回收可以回收的蒸汽按照 80% 计算，可以计算出每年节约的自来水的量。其中，锅炉的蒸汽量为 4t/h，年运行时间为 7488h，根据以上数据可以计算出每年可以节约自来水 206908.42 元。

4.2 节约水处理成本费用

锅炉补水对于水质有一定的要求，自来水中含有较多的盐等物质，处理过程相对复杂；蒸汽冷凝水则含有少量其他物质，处理起来相对而言比较简单，成本也较低。在锅炉实际运行过程中，若采用自来水，需要先对其进行化学处理，根据当前的生产的实际情况，自来水处理的成本在 5 元/t 左右；相对而言，冷凝水回收利用以后，处理过程比较简单，处理费用就要低很多，根据当前的实际情况，处理费用仅为 1.5 元/t，因此每吨水的处理成本节约 3.5 元，计算每年回收的冷凝水量为 26357.8t，节约水处理费用 83865 元。

4.3 节约天然气费用

在此蒸汽锅炉运行过程中，采用天然气作为燃料进行加热，若采用自来水作为补给水，水温较低；相较于自来水，通过蒸汽冷凝水作为锅炉补给水，锅炉补给水的温度得到了较大提升；采用自来水作为补给水时，在正常情况下自来水的水温在 20℃ 左右，本文计算过程中以 20℃ 进行计算；而相关生产实践显示，通过应用冷凝回收水温度达到了 67℃，水温提高了 47℃。根据水的比热容，水温提高 47℃，1t 水需要应用 1.97×10^5 kJ 的热量，按照天然气锅炉的热效率为 90% 进行计算，相当于节约天然气 8.77m³，按照每立方米天然气 3.65 元计算，1t 高温冷凝水可以节约的天然气费用为 32.01 元，全年节约的天然气费用达到 766995.35 元。

从中可以看出，通过蒸汽冷凝水作为补给水，可以显著降低燃料的用量，从而节约大量的成本。随着近年来燃料价格不断上涨，未来还能够降低更多的燃料成本。

4.4 降低排污

在没有进行冷凝水回收利用之前，该蒸汽锅炉的

排污率较高，数据显示该锅炉未进行冷凝水回收之前，日常运行过程中的排污率为 13.04%，在应用蒸汽冷凝水作为补给水以后若冷凝水回收率达到 80%，在其他参数不变的情况下可以将排污率降至 2.61%，也就是说通过应用冷凝水回收利用技术，能够减少 10.43% 的高温炉水排放，排污率显著降低，从而能够减少对环境造成的影响，带来良好的社会效益。

5 节能效益分析

在对蒸汽锅炉冷凝水进行回收改造之前，每生产 1t 蒸汽消耗的天然气体量为 130m³，在改造之后消耗的天然气体量为 113m³ 左右，降低天然气消耗约 12.31%，每年可以降低天然气费用 76.70 万元。综合计算，通过进行蒸汽锅炉改造，实现冷凝水的回收率用，该公司蒸发量为 4t/h、工作压力为 1.0MPa 的蒸汽锅炉每年可以降低支出 105 万元，具有良好的经济效益，同时还能够降低超过 10% 的高温炉水排放，降低由此导致的热污染，具有良好的经济效益。

6 结论

通过对蒸汽锅炉冷凝水回收改造项目进行分析，采用蒸汽冷凝水回收技术能够实现蒸汽冷凝水的高效回收利用，在确保锅炉运行安全的前提下，可以有效的降低水、燃料资源的消耗，提高企业经济效益。在实际应用过程中，由于行业不同，运行控制条件以及冷凝水回收系统的差异，冷凝水的水质存在一定的差别，因此需要通过对冷凝水水质进行处理，确保其满足锅炉运行的需求。总之，蒸汽锅炉冷凝水的回收利用具有良好的经济价值和设备价值，具有推广的价值。

参考文献：

- [1] 王士永. 蒸汽冷凝液低品位热能的回收利用 [J]. 石化科技, 2006(3):6.
- [2] 梁明超. 造气系统蒸汽冷凝液回收利用小结 [C]// 全国造气技术年会. 中国化工学会; 全国化肥工业信息总站, 2015.
- [3] 周江沛. 合理利用蒸汽冷凝液的低品位热量 [J]. 化工设计, 2005, 15(1):3.
- [4] 江涛. 工业蒸汽凝结水回收利用的方法和节能效益 [J]. 中文信息, 2017, 000(009):213, 212.
- [5] 谭智申, 张立德, 侯立. 蒸汽锅炉冷凝水回收利用与效益分析 [J]. 节能技术, 2016, 34(4):4.
- [6] 陈鸿鹏. 蒸汽锅炉冷凝水回收利用及效益分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2015(25).