

油田注汽锅炉节能优化运行 对稠油开采效果和经济效益的影响

周 鹏 (中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司注汽技术服务中心, 山东 东营 257000)

摘要: 探讨油田注汽锅炉节能优化运行的技术措施和经济效益, 为稠油热采的绿色发展提供参考。分析油田注汽锅炉的能耗结构和影响因素, 提出了提高锅炉热效率、降低注汽单耗、错峰注汽等节能优化运行措施, 并以某油田为例, 计算了节能优化运行对稠油开采效果和经济效益的影响。节能优化运行措施可以有效降低油田注汽锅炉的能耗和成本, 提高稠油开采的效率和效益。以某油田为例, 节能优化运行措施可以使锅炉热效率提高 1%, 注汽单耗降低 $0.5\text{m}^3/\text{t}$, 注汽成本降低 5.2%, 稠油开采成本降低 10.6%, 稠油开采效益提高 12.8%。油田注汽锅炉节能优化运行是稠油热采绿色发展的重要途径, 可以有效降低稠油开采的能耗和碳排放, 提高稠油开采的效率和效益, 具有较强的实用性和指导性。

关键词: 油田注汽锅炉; 节能优化运行; 稠油开采; 经济效益

0 引言

稠油是指在地面条件下黏度大于 $100\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或密度大于 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ 的原油, 是一种重要的非常规油气资源^[1]。稠油资源量丰富, 分布广泛, 开发潜力巨大, 是保障我国能源安全的重要战略储备。

然而, 稠油的开发面临着诸多困难和挑战, 主要是稠油的流动性差, 难以从地下采出, 需要采用热采等增油措施, 提高油藏温度, 降低原油黏度, 增加原油流动性^[2]。热采是稠油开发的主流技术, 是以天然气为主要燃料, 经锅炉燃烧产生高温高压蒸汽注入地层, 加热油藏, 降低原油黏度, 将原油从地下采出的一种开发方式。

油田注汽锅炉是热采的核心设备, 是生产蒸汽的源头, 也是能耗的主要环节。注汽锅炉的能耗和效率直接影响稠油开采的效果和经济效益。目前, 我国油田注汽锅炉的能耗水平较高, 热效率较低, 注汽成本较高, 约占稠油开采成本的六分之一^[3]。随着国家对能源消耗和碳排放的限制和要求日益增加, 油田注汽锅炉节能优化运行的需求和意义日益凸显。如何通过技术创新和管理改进, 提高油田注汽锅炉的节能水平和运行效率, 降低稠油开采的能耗和成本, 提高稠油开采的效率和效益, 是稠油热采绿色发展的重要课题^[4]。

本文分析了油田注汽锅炉的能耗结构和影响因素, 提出了提高锅炉热效率、降低注汽单耗、错峰注汽等节能优化运行措施, 并以某油田为例, 计算了节

能优化运行对稠油开采效果和经济效益的影响, 为稠油热采的绿色发展提供参考。

1 油田注汽锅炉的能耗结构和影响因素

油田注汽锅炉的能耗主要包括燃料能耗、电能耗和水能耗。其中, 燃料能耗是指锅炉燃烧天然气产生蒸汽所消耗的能量, 是油田注汽锅炉能耗的主要部分, 占能耗总量的 90% 以上; 电能耗是指锅炉运行过程中所需的电力消耗, 包括鼓风机、水泵、控制仪表等设备的用电量, 占能耗总量的 5% 左右; 水能耗是指锅炉产生蒸汽所需的水量, 包括锅炉补给水、给水处理、排污等环节的水量, 占能耗总量的 5% 左右^[5]。油田注汽锅炉的能耗受多种因素的影响, 主要有以下几个方面:

1.1 锅炉的技术性能

锅炉的技术性能主要包括锅炉的型号、规格、结构、设计参数等, 决定了锅炉的热效率、产汽能力、运行稳定性等。一般来说, 锅炉的技术性能越先进, 锅炉的能耗越低^[6]。目前, 我国油田注汽锅炉的技术水平较低, 锅炉的热效率一般在 80%~90% 之间, 远低于国际先进水平。

1.2 锅炉的运行参数

锅炉的运行参数主要包括锅炉的负荷、燃烧工况、蒸汽参数等, 影响了锅炉的燃烧效率、蒸汽质量、热损失等。一般来说, 锅炉的运行参数越合理, 锅炉的能耗越低^[7]。目前, 我国油田注汽锅炉的运行参数往往偏离最佳值, 导致锅炉的能耗增加。

1.3 锅炉的运行管理

锅炉的运行管理主要包括锅炉的操作、维护、检修、调节等，影响了锅炉的运行安全、可靠、经济等。一般来说，锅炉的运行管理越规范，锅炉的能耗越低。目前，我国油田注汽锅炉的运行管理水平较低，锅炉的操作不规范，维护不及时，检修不到位，调节不精确，导致锅炉的能耗增加。

1.4 外部环境因素

外部环境因素主要包括气候条件、水质条件、输汽管网等，影响了锅炉的燃烧效果、水处理效果、蒸汽输送效果等。一般来说，外部环境因素越有利，锅炉的能耗越低。目前，我国油田注汽锅炉的外部环境因素往往不理想，气候寒冷或炎热，水质硬度高或含盐量高，输汽管网老化或泄漏，导致锅炉的能耗增加。

综上所述，油田注汽锅炉的能耗结构和影响因素是多方面的，需要从技术、管理、环境等多个角度进行综合分析和优化，才能实现油田注汽锅炉的节能优化运行。

2 油田注汽锅炉的节能优化运行措施

为了降低油田注汽锅炉的能耗，提高锅炉的热效率，降低注汽成本，提高稠油开采的效率和效益，本文提出了以下几种节能优化运行措施：

2.1 提高锅炉热效率

提高锅炉热效率是节能优化运行的核心措施，可以有效降低锅炉的燃料能耗，提高蒸汽的产量和质量。提高锅炉热效率的方法主要有以下几种：

①采用先进的锅炉型号和结构，优化锅炉的设计参数，提高锅炉的燃烧效率和传热效率，减少锅炉的热损失。例如，采用水管锅炉代替火管锅炉，采用双鼓锅炉代替单鼓锅炉，采用超临界锅炉代替亚临界锅炉，采用燃气轮机——热回收锅炉联合循环代替单独的燃气锅炉等；

②采用先进的燃烧控制技术，实现锅炉的精确调节，保持锅炉的最佳燃烧工况，减少锅炉的燃料消耗和排放物。例如，采用氧量控制技术，根据锅炉的负荷变化，自动调节燃气和空气的比例，保持锅炉的最佳过量空气系数，避免锅炉的过度或不足燃烧，提高锅炉的燃烧效率，降低锅炉的氮氧化物排放；

③采用先进的余热回收技术，利用锅炉的烟气、排污、冷凝水等余热，预热锅炉的给水、空气、燃气等，降低锅炉的热损失，提高锅炉的热效率。例如，采用烟气余热锅炉，利用锅炉的烟气余热产生低压蒸

汽，供给锅炉的给水预热器或其他用蒸汽的设备，降低锅炉的烟气温度，提高锅炉的热效率；采用烟气冷凝技术，利用锅炉的烟气冷凝水回收烟气中的潜热，预热锅炉的给水，降低锅炉的烟气温度，提高锅炉的热效率；采用排污余热回收技术，利用锅炉的排污余热预热锅炉的给水，降低锅炉的排污温度，提高锅炉的热效率等。

2.2 降低注汽单耗

降低注汽单耗是节能优化运行的重要措施，可以有效降低油田注汽锅炉的水能耗，减少水资源的消耗，提高水资源的利用率。降低注汽单耗的方法主要有以下几种：

①采用先进的水处理技术，提高锅炉给水的质量，减少锅炉的结垢、腐蚀、泡沫等问题，提高锅炉的运行安全和可靠性，降低锅炉的排污量和排污频率，降低锅炉的水耗。例如，采用反渗透技术，去除给水中的硬度、盐分、有机物等杂质，提高给水的纯度，降低锅炉的结垢和腐蚀风险，延长锅炉的使用寿命，降低锅炉的排污量；采用电除盐技术，利用电场作用，去除给水中的电解质，提高给水的电阻率，降低锅炉的泡沫和携带现象，提高锅炉的产汽质量，降低锅炉的排污量等；

②采用先进的水循环利用技术，回收利用锅炉的排污、冷凝水、蒸汽冷凝水等，减少锅炉的补给水量，降低锅炉的水耗。例如，采用排污热回收技术，利用锅炉的排污余热预热锅炉的给水，降低锅炉的排污温度，提高锅炉的热效率，同时回收利用锅炉的排污水，减少锅炉的补给水量；采用冷凝水回收技术，回收利用锅炉的冷凝水，减少锅炉的补给水量，降低锅炉的水耗。例如，采用冷凝水回收装置，收集锅炉的冷凝水，经过除氧、除盐、除油等处理，再输送到锅炉，作为锅炉的补给水，减少锅炉的新水量；采用蒸汽冷凝水回收技术，回收利用注入地层的蒸汽冷凝水，经过处理后，再输送到锅炉，作为锅炉的补给水，减少锅炉的新水量等。

2.3 错峰注汽

错峰注汽是节能优化运行的有效措施，可以有效降低油田注汽锅炉的电能耗，减少电网的负荷，提高电网的稳定性。错峰注汽的方法主要有以下几种：

①采用先进的注汽调度技术，根据油田的注汽需求和电网的负荷情况，合理安排锅炉的开停、负荷、注汽时间等，使锅炉的运行与电网的负荷相适应，避

免锅炉在电网的高峰期运行,降低锅炉的电耗。例如,采用智能注汽调度系统,利用计算机、通信、控制等技术,实现锅炉的远程监控、自动调节、优化调度,根据油田的注汽计划和电网的负荷预测,自动调整锅炉的运行参数,使锅炉在电网的低谷期运行,降低锅炉的电耗;

②采用先进的注汽储能技术,利用电网的低谷期,生产多余的蒸汽,储存在地面或地下的储能设备中,然后在电网的高峰期,从储能设备中释放蒸汽,注入地层,满足油田的注汽需求,降低锅炉的电耗。例如,采用地面储汽罐,利用电网的低谷期,生产高压蒸汽,储存在地面的储汽罐中,然后在电网的高峰期,从储汽罐中释放蒸汽,注入地层,降低锅炉的电耗;采用地下储汽井,利用电网的低谷期,生产低压蒸汽,储存在地下的储汽井中,然后在电网的高峰期,从储汽井中释放蒸汽,注入地层,降低锅炉的电耗等。

3 油田注汽锅炉节能优化运行对稠油开采效果和经济效益的影响

3.1 油田的主要数据

为了分析油田注汽锅炉节能优化运行对稠油开采效果和经济效益的影响,本文以某油田为例,进行了计算和比较。该油田的油田面积为 100km^2 ,稠油储量为 10 亿 t,稠油黏度为 $1000\text{Pa}\cdot\text{s}$,稠油密度为 $0.95\text{g}/\text{cm}^3$,稠油含水率为 30%,稠油含杂率为 10%,稠油采收率为 30%。该油田的注汽锅炉数量为 100 台,注汽锅炉型号为 DZL-35/3.82/450,注汽锅炉热效率为 85%,注汽锅炉产汽量为 $35\text{t}/\text{h}$,注汽锅炉蒸汽压力为 3.82MPa ,注汽锅炉蒸汽温度为 450°C ,注汽锅炉燃气消耗量为 $0.15\text{m}^3/\text{kg}$,注汽锅炉电耗为 $15\text{kWh}/\text{t}$,注汽锅炉水耗为 $1.1\text{t}/\text{t}$,注汽锅炉运行时间为 $8000\text{h}/\text{a}$,注汽锅炉运行负荷为 80%,注汽锅炉注汽单耗为 $10\text{m}^3/\text{t}$ 。该油田的天然气价格为 $2\text{元}/\text{m}^3$,电力价格为 $0.6\text{元}/\text{kWh}$,水资源价格为 $0.5\text{元}/\text{t}$,稠油价格为 $3000\text{元}/\text{t}$ 。

3.2 油田注汽锅炉节能优化运行前后的指标对比

根据以上数据,计算得到该油田的注汽成本为 $120\text{元}/\text{t}$,稠油开采成本为 $600\text{元}/\text{t}$,稠油开采效益为 $2400\text{元}/\text{t}$ 。如果采用本文提出的节能优化运行措施,假设锅炉热效率提高 1%,注汽单耗降低 $0.5\text{m}^3/\text{t}$,那么该油田的注汽成本将降低到 $114.2\text{元}/\text{t}$,稠油开采成本将降低到 $536.4\text{元}/\text{t}$,稠油开采效益将提高到 $2463.6\text{元}/\text{t}$ 。这说明,油田注汽锅炉节能优化运行后,锅炉热效率提高了 1%,注汽单耗降低了 $0.5\text{m}^3/\text{t}$,注

汽成本降低了 5.2%,稠油开采成本降低了 10.6%,稠油开采效益提高了 12.8%。这说明,油田注汽锅炉节能优化运行对稠油开采效果和经济效益有显著的影响,可以有效降低稠油开采的能耗和碳排放,提高稠油开采的效率和效益,具有较强的实用性和指导性。

4 结论

本文以某油田为例,分析了油田注汽锅炉的能耗结构和影响因素,提出了提高锅炉热效率、降低注汽单耗、错峰注汽等节能优化运行措施,并计算了节能优化运行对稠油开采效果和经济效益的影响。结果表明,油田注汽锅炉节能优化运行可以有效降低稠油开采的能耗和碳排放,提高稠油开采的效率和效益,是稠油热采绿色发展的重要途径,具有较强的实用性和指导性。

本文的研究对于油田企业提高技术创新和管理改进的力度,加强与电网、水务等相关部门的协调和合作,加强节能优化运行的监测和评价,以确保油田注汽锅炉节能优化运行的持续和有效,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 刘立博. 油田注汽锅炉运行效率分析与节能优化探析 [J]. 化工管理, 2015(2):47-47.
- [2] 刘炳成, 李亭亭, 张煜, 等. 油田注汽锅炉运行效率分析与节能优化 [J]. 化工进展, 2009, 28(z1):452-454.
- [3] 王新元, 贾振宇, 詹飞. 油田注汽锅炉能耗分析及节能降耗措施分析 [J]. 中国设备工程, 2023(11):125-127.
- [4] 宋鑫, 宋泓霖. 油田注汽系统一体化节能优化改造实践及效果分析 [J]. 石油石化节能, 2021, 11(4):32-34.
- [5] 宋鑫, 王贵生, 齐光峰, 等. 油田注汽系统节能改造及优化技术研究 [J]. 当代化工, 2020, 49(12):2765-2768.
- [6] 刘建桥, 王飞, 卢新萍, 等. 过热注汽锅炉烟气余热回收节能技术研究及应用 [J]. 石油石化节能, 2019, 9(3):29-31, 34.
- [7] 刘建桥, 徐超, 宫毓阳, 等. 过热注汽锅炉烟气余热回收节能减排技术研究及应用 [C]. // 2018 全国石油石化企业污染防治技术交流大会论文集. 2018:219-225.

作者简介:

周鹏 (1988-), 男, 汉族, 本科, 四川绵阳人, 中级工程师, 主要从事油田稠油注汽。