

奥里乳化油工业试验结果分析*

吴东垠¹, 田文栋¹, 魏小林¹, 黎军¹, 马玉峰², 盛宏至¹

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 胜利发电厂, 东营 257087)

摘要: 介绍奥里乳化油的性质及其贮存、运输方法, 通过燃煤锅炉试烧奥里乳化油的运行情况可知: 如能解决受热面腐蚀和污染物排放等问题, 奥里乳化油完全可以作为燃煤锅炉的替代燃料。

关键词: 奥里乳化油; 锅炉; 燃烧

中图分类号: TK224.1

文献标识码: B

文章编号: 1006-8740(2000)02-0120-04

Experimental Study of Orimulsion Oil in Industry

WU Dong-yin¹, TIAN Wen-dong¹, WEI Xiao-lin¹, LI Jun¹, MA Yu-feng², SHENG Hong-zhi¹

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Shengli Power Plant, Dongying 257087, China)

Abstract: This paper introduces the property and the method of storage and transport of orimulsion oil. From the operation test of burning orimulsion oil in a pulverized coal boiler, we found that it could be used completely as a fuel instead of coal if the problems of the erosion in the heat transfer surface and the pollutant emission could be solved.

Keywords: Orimulsion oil; boiler; combustion

奥里乳化油是以产于南美委内瑞拉奥里诺科河(Orioco)油田的一种环烷基超重质原油为原料, 加乳化剂和水稀释而成。其储量丰富, 已探明储量约为420亿t(相当于中东石油储量的80%), 而且价格上具有优势。以英国为例, 在1996年, 奥里乳化油到岸价格为\$45/t, 相同热值的煤价为\$40/t, 当年世界各国用于发电的燃油量达到444.5t, 表1为1996年奥里乳化油在世界各国发电厂的燃用量。我国在1996年进口了50万t奥里乳化油, 用于电厂锅炉的试烧, 同年, 中国石油天然气总公司与委内瑞拉方面就联合开发年生产能力为500万t规模的油田签定了意向书。

奥里乳化油作为一种替代燃料, 在国外用于发电已有十多年, 但世界上仅有英国和日本等少数国家掌握奥里乳化油的燃烧技术。其中, 英国是最早燃用奥里

表1 1996年奥里乳化油在世界各国发电厂的燃用量

国家	发电厂	装机容量 /MW	燃油量 /万t
丹麦	Aasnaes	650	120.0
加拿大	Dalhousie	100+215	75.0
英国	Ince	1×500	100.0
立陶宛	Elektrenai	2×150+2×300	50.0
日本	Kashima	220	37.5
	Mitsubishi Chemicals	70	30.0
	Kansai Electric	156	20.0
	Hokkaido Electric	200	12.0
合计		3011	444.5

乳化油的国家之一, 英国Powergen公司从1987年底就在Ince电厂进行先期试验, 并先后在3个电厂经过近3年的试烧和设备改造, 于1991年正式投入商业运行。在我国, 一些科研院所和高校也进行了相关的研究

* 收稿日期: 1999-03-29; 修回日期: 1999-05-31。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19682010)。

作者简介: 吴东垠(1966-), 男, 博士生。

工作, 盛宏正等 1988 年进行了乳化柴油燃烧机理的研究, 采用激光全息摄影技术首次观察到乳化油雾的“团状微爆”现象, 并分析了乳化柴油的燃烧雾化机理。为了在我国获得奥里乳化油的燃烧经验, 用奥里乳化油替代重油发电, 有必要进行工业性试验。胜利石油管理局胜利发电厂对 670 t/h 的燃煤锅炉进行了技术改造, 于 1997 年 5 月 15 日至 1997 年 6 月 24 日进行了奥里乳化油的试烧试验。

1 奥里乳化油的性质

开采过程中, 先向井下注入添加剂使超重质原油

稀释再抽到地面, 经乳化厂加工处理, 使之成为乳化油, 该种乳化油是由 70% 的超重质原油, 30% 左右的水和 0.3% ~ 0.5% 的乳化添加剂经蒸汽雾化而成, 密度与水接近, 是一种非牛顿液体, 简称奥里油 (Orimulsion)。其中水为连续相, 油为分散相, 呈“水包油”状, 油滴被表面活性剂包围形成亲水界面薄膜, 沥青油颗粒一般在 10 μm 左右, 奥里油与燃料油(重油)特性如表 2 所示, 其中, 奥里油的实测值由石油大学和中科院工程热物理所提供, 样品在胜利发电厂采集。在一定温度范围内, 奥里油的粘性系数小于普通原油, 但比原油难于着火, 在 5 ~ 70 之外其稳定性急剧下降, 直至破乳, 即油水分离, 形成沥青块而不易燃烧。

表 2 奥里乳化油与燃料油特性比较

项 目	单 位	实测值	奥里乳化油 (委内瑞拉)		燃料油
			典型值	范围	
高位发热量	(kJ/kg) $\times 10^{-3}$	30.13	29.90	29.00~31.00	42.10
低位发热量	(kJ/kg) $\times 10^{-3}$	27.87	27.60	27.00~29.00	40.10
颗粒直径	m $\times 10^6$	8.58	10.00	8.00~15.00	
灰分	%	0.22	0.20	0.12~0.20	0.10
含水量	%	28.6	29.3	27.0~30.0	0.2
密度(20)	(kg/m ³) $\cdot 10^6$	1.009	1.010	0.990~1.020	0.995
凝点		-1	3	2~4	
开口闪点		172	120	120~125	
碳	%	62.57	60.00	55.00~62.00	
氢	%	7.48	7.30	10.00~12.00	10.00
氮	%	0.00	0.50	0.40~0.55	0.40
硫	%	2.86	2.70	2.70~2.90	2.00~3.00
钠	(kg/kg) $\times 10^{-6}$	25.8	30.0	15.0~50.0	10.0~50.0
镁	(kg/kg) $\times 10^{-6}$	268	350	300~450	<10
矾	(kg/kg) $\times 10^{-6}$	295	300	270~340	50~300
镍	(kg/kg) $\times 10^{-6}$	85.4	70.0		10.0~60.0

2 奥里乳化油的炉前预处理

奥里油在贮存、运输和燃烧特性等方面与燃料油不同, 需要根据其特性采取相应的炉前预处理措施。

2.1 保持适宜温度

奥里油流动时温度应控制在 5 ~ 70 之间, 最佳储存温度 20 ~ 25 , 进入锅炉前温度应 50 ~ 60 左右, 否则, 将破坏其乳化和燃烧特性。因此不能用高压和过热蒸汽加热, 最好用低于 80 的热水或饱和蒸汽循环加热。

2.2 保持适宜粘度

奥里油是一种剪切力低(假塑性)的非牛顿液体, 温度一定时, 表观粘度随剪切率的增大而降低。温度低于 20 、剪切率在 (0~20) s⁻¹ 之间时, 这种效果最明显。表观粘度在任意剪切率下均随温度的升高而降低,

粘度降低到一定程度即产生破乳。其次, 剧烈的液体紊流和搅拌也会降低其稳定性, 输送过程中应保持流动状态为层流, 不能用多级离心泵, 只能用容积式油泵或低速单级离心泵, 泵入口的流速宜控制在 1.5 m/s 以下, 管道内宜控制在 3 m/s 以下, 其次, 要求管道的局部压力降小于 0.3 MPa, 最大不能超过 0.5 MPa。为了减少局部压力降, 管道上只能用全开或全关的阀门(如球阀), 而不能用调节阀和截止阀来调节流量。管道上也不能安装孔板流量计等压降大的测量仪表。

2.3 防止腐蚀和控制污染的措施

奥里油的硫分和有害金属钒等的含量比较高, 燃烧时需要采取必要的处理措施。为了控制 SO₂ 的生成, 防止受热面的高温腐蚀, 在奥里油的制备过程中加入一定量的 MgO, 但作用有限, 还需开发其它防腐措施。由于加入了 MgO, 奥里油的含灰量达 0.22%, 这种灰分有较强的粘附性, 受热面容易挂灰, 这就对吹灰

装置提出了特殊要求。奥里油的含硫量也比较高,为了防止低温腐蚀,要求炉内低氧燃烧,以控制 SO_3 的生成。为了达到环保要求,还需另外加装脱硫装置。

2.4 与其它燃料的混烧

奥里油与其它液体燃料混合后极易破乳,特别是不能与原油、汽油等轻组分的燃料油混合,如特殊需要必须混合,则应严格控制混合比率低于 0.2%。

3 设备简介

试验用 DG670/13.7-8A 型超高压自然循环炉,平衡通风,燃烧煤粉,固态排渣,设计燃用晋中贫煤,采用直流燃烧器,四角切圆布置,火焰中心标高 17.55 m。由于 1994 年至 1996 年连续 3 年供煤的煤质较差,曾对燃烧系统做了较大改动,增加了重油燃烧器。该锅炉实际上是既能烧油又能烧煤的双功能锅炉。为了研究锅炉燃烧奥里油的运行特性,对锅炉仅做一些必要的改造。改造以不破坏燃煤功能为前提,将炉膛火焰中心标高抬高到 22.55 m,增加了奥里油燃烧器,其布置方式与原油燃烧器相同,每角安装 5 支,油燃烧器也由 AFJ 雾化型(英国专利技术)取代原来简单的机械雾化式,作为辅助设备,增加了与之配套的蒸汽雾化系统和奥里油供油系统,供油系统中以 70 ~ 80 热水控制油温,以保持燃油的乳化特性。

4 运行状况分析

奥里油与蒸汽在油枪内雾化后喷入炉膛,由于高温烟气的对流和受热面的辐射作用,形成微爆^[1]。油滴被分离为 μm 级的细小油滴,这样就加大了与氧气的

接触面积,使燃烧非常迅猛,火焰较短,在高温下即使过剩氧量很低,也能完全燃烧,Ince 电厂实际运行的过剩空气系数仅为 0.05%,还能完全燃烧。据现场观察:烧乳化油与原油相比,着火推迟,在开始着火时,火焰根部扩展到液雾锥外很多,着火声音较大,这是由于乳化油的微爆所致。表 3 为几组有代表性的运行参数。可以看出:锅炉蒸发量和锅炉效率均低于设计值,而过热器两级喷水,热风温度和排烟温度却高于设计值。

4.1 锅炉蒸发量

运行时锅炉最大蒸发量是 562 t/h,仅为设计值的 80% 左右,这是因为:

1) 供油系统设计不合理,供油泵选型偏小致使供油量不足;

2) 奥里油中含有约 30% 的水分,这些水分的吸热使炉膛烟温比烧重油时低 150 左右,该燃煤锅炉的蒸发受热面比燃油锅炉布置得少,而且水冷壁积灰严重,水冷壁的吸热量严重不足;

3) 送风系统漏风严重,高负荷时送风量不足;

4) 为了保留燃煤功能,奥里油燃烧器的布置受到限制,上面 3 层的奥里油燃烧器间距太小,使配风和燃烧受到不同程度的影响。

4.2 排烟温度及锅炉效率

排烟温度高的原因是:

1) 锅炉蒸发量不足,炉内吸热量少,而且火焰中心标高提高到 22.55 m,尽管炉内烟温较低,但炉膛出口烟温并不低于设计值;

2) 过热蒸汽流量小,过热器总吸热量低于设计值,尾部受热面入口烟气温度较高,排烟温度随之上升;

3) 受热面积灰严重,影响对流换热。

锅炉效率低的主要原因是:

表 3 主要运行参数

项目	单位	设计值	实测值(工况号)					
			T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6
机组负荷	MW	200.0	162.3	155.0	151.0	150.0	145.6	135.9
过热蒸汽压力	MPa	13.83	12.98	12.78	12.76	12.72	11.85	13.02
过热蒸汽温度		540.1	533.4	538.8	531.4	538.5	533.0	529.0
再热蒸汽压力	MPa	2.50	1.64	1.50	1.52	1.50	1.49	1.40
再热蒸汽温度		520.0	536.8	542.3	529.8	534.8	530.2	530.5
第一级喷水量	t/h	0.0	18.5	17.0	16.0	13.0	16.3	11.3
第二级喷水量	t/h	0.00	6.68	4.00	11.00	10.00	12.60	7.88
主蒸汽流量	t/h	670	562	545	535	525	515	477
排烟温度		162.8	196.8	188.1	186.3	186.4	189.5	187.6
热风温度		338.3	376.0	364.0	359.5	365.0	360.0	345.0
环境温度		30.0	29.1	22.5	22.0	23.9	25.5	31.8
排烟损失	%	6.95	9.64	10.19	9.30	9.65	9.72	9.96
锅炉效率	%	92.25	88.99	89.35	89.13	89.89	89.83	89.19

- 1) 排烟温度高, 排烟损失均大于 9.30%, 最高达 10.19%, 是导致锅炉效率降低的主要因素;
- 2) 主蒸汽温度较高, 过热器喷水量大;
- 3) 保留了制粉系统和煤粉燃烧系统, 漏风增加。

显然, 为提高锅炉效率, 降低排烟温度, 关键在于蒸发受热面和过热受热面的匹配, 其次是保持受热面的清洁, 而改善空气预热器蓄热元件并非有效措施。

4.3 过热器喷水量和热风温度

奥里油中大量的水分导致烟气体积增大, 尽管受热面积灰, 对流换热系数仍然增加, 炉膛出口下游的各级受热面恰好均为对流受热面, 各级受热面入口的烟温本来就高, 加之主蒸汽流量较低, 因而主蒸汽温度较高, 致使过热器喷水量增加, 同时, 热风温度也高。

4.4 受热面的腐蚀和积灰

锅炉水冷壁用次声波吹灰, 过热器、再热器用声波吹灰, 空气预热器用蒸汽吹灰, 试烧奥里油期间未改动, 停炉检查时发现受热面积灰较严重, 声波和次声波吹灰几乎没有作用, 当锅炉运行(5~6)d后, 水冷壁侧墙上部、顶棚和大屏过热器积灰厚达(1.0~1.5)mm, 高温过热器、低温过热器、省煤器积灰厚达(2.5~3.0)mm, 以致运行时不得不降负荷或停炉清灰, 但空气预热器蒸汽吹灰效果良好, 说明奥里油宜采用蒸汽吹灰, 但需优化吹灰器数量和布置方式。

为了观察奥里油燃烧产物 V_2O_5 和 SO_x 等对锅炉受热面的腐蚀情况, 在高温过热器入口处设置了高温腐蚀观察点, 空气预热冷端和烟道中布置了金属挂片, 经过一个月试烧后, 未发现腐蚀现象, 这是因为:

- 1) 排烟温度高于其露点温度, 未产生低温腐蚀;
- 2) 低氧燃烧控制了 SO_x 的生成;
- 3) 在奥里油的制备过程中, 加入了适量的 MgO , 这不仅充分抑制了 V_2O_5 和 SO_x 的生成, 也在一定程度上缓解了高温腐蚀和低温腐蚀;
- 4) 燃烧时间短。

根据 Ince 电厂燃烧奥里乳化油的运行经验, 锅炉的大屏过热器和高温过热器的局部区域高温腐蚀比较严重, 腐蚀速度达 1.5 mm/a, 对于高温腐蚀, 只能定期更换减薄管, 此外没有更好的防止办法。

4.5 烟气中 SO_2 的排放量

奥里油的含硫量较高, 必须考虑烟气中 SO_2 的排放, 表 4 为烟气中 SO_2 排放量的实测值。可见, 尽管在测量期间机组最大负荷仅 146.0 MW, 但烟气中 SO_2 的排放量仍然比较高, 显然, 随着机组负荷的增加, 燃

油量将增加, 烟气中 SO_2 的排放量必然会进一步增加, 因此, 必须采取有效措施, 降低烟气中 SO_2 的排放。

表 4 烟气中 SO_2 的排放量

机组负荷/MW	111.8	140.0	146.6
SO_2 的排放量/ $t \cdot h^{-1}$	2.453	2.967	3.158

5 结 论

(1) 奥里油储量丰富, 价格适宜, 国外已有相对成熟的燃烧技术, 借鉴国外的经验, 适量引进, 可以填补我国燃料油的缺口。

(2) 为保持奥里油的乳化特性, 其贮存、输运方式与普通燃料油不同, 需要保持适宜的温度和粘度, 并设法降低管道的局部阻力压力降, 由于常规流量计的局部阻力较大, 奥里油的流量计量亦有一定的技术要求。

(3) 由于奥里油含有大量的水分, 燃烧奥里油锅炉内的理论燃烧温度较燃煤锅炉低, 而且烟量大, 必须保持蒸发受热面和过热受热面的匹配。

(4) 受热面积灰较为严重, 蒸汽吹灰效果较好, 吹灰器数量和布置方式还需要进一步优化。

(5) 奥里油中硫和有害金属钒等的含量较高, 燃烧产物 V_2O_5 和 SO_x 等对受热面的腐蚀比较严重, 添加剂 MgO 虽然抑制 V_2O_5 的生成, 但有局限。国外锅炉的高温腐蚀就比较严重, 而且除了定期更换管子外没有更有效的措施; 其次, 通过低氧燃烧来控制 SO_3 的产生可以缓解受热面的低温腐蚀, 但烟气中 SO_x 的排放仍然比较严重, 为了达到环保要求, 需要安装脱硫装置, 但脱硫装置造价较高, 从长远利益出发, 应该开发新的添加剂和先进的炉前脱硫、脱钒措施。

(6) 奥里油燃烧的关键是雾化, 本次试验采用英国专利技术, 因此, 需要深入研究奥里油的蒸发雾化和微爆机理, 进而控制 V_2O_5 和 SO_x 等的生成。

(7) 应该考虑水分和灰分对环境的影响。

参考文献

- [1] 傅维标, 葛阳, 周宇, 等. 单滴奥里油燃烧特性的实验研究[J]. 燃烧科学与技术, 1998, 4(4): 429~436
- [2] Sheng H Z, Chen L. Experimental Investigation on Atomization and Evaporation of Droplets in Spray by Ruby Laser Off-Axis Holography[A]. The Proc of 4th ICLASS, The Fuel Society of Japan, Sendai, Japan[C], 1988: 391~396