

# Research on Pre-treatment Methods for Measuring the Particle Size of Oil in Power Plants

Jian Guan Feng Yu

Qinhuangdao Power Plant Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066003, China

## Abstract

A study on the pre-treatment method for determining the particle size of oil in power plants. Particle size detection of lubricating oil in power plants is a routine test for detecting the content of impurities in lubricating oil. At present, automatic particle counters using shading methods are widely used at home and abroad, but various industry standards focus on oil defoaming methods; The impact of trace moisture in oil on particle size measurement has not been thoroughly studied, resulting in significant differences in particle size measurement data from different laboratories. In this paper, systematic validation experiments have been conducted to address the shortcomings of various industry standards for particle size, and the direction of pre-treatment that must focus on trace moisture has been identified; Suggestions for improving the accuracy of oil particle size analysis in various industries are provided, which is helpful for scientific revision of oil particle size measurement standards in various industries.

## Keywords

power plant; oil particle size; test method

## 发电厂油液颗粒度测定前处理方法研究

关键 于枫

秦皇岛发电有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066003

## 摘 要

发电厂润滑油颗粒度检测是检测润滑油杂质含量的一项常规试验。目前国内国外均广泛采用遮光法自动颗粒计数器, 但各行业标准聚焦在油液消泡方法上, 没有深入研究油中微量水分对颗粒度测定的影响, 造成了不同实验室颗粒度检测数据差异极大的情况经常发生。论文针对颗粒度各行业标准中的不足之处进行了系统性验证实验, 找出了必须聚焦微量水分的前处理方法, 对提高各行业油液颗粒度分析准确性提供了改进意见, 有助于各行业油液颗粒度测定标准科学修订。

## 关键词

发电厂; 油液颗粒度; 检测方法

## 1 引言

润滑油颗粒度检测是一项常规试验, 主要有显微镜法、显微镜比较法和自动颗粒计数法, 目前广泛采用遮光法自动颗粒计数器。但影响遮光法自动颗粒度检测的因素极多, 之前的研究主要聚焦在测试环节中气泡对自动颗粒计数的影响; 国防科技工业颗粒度一级计量站王秉杰在《油品固体污染度监测消除气泡影响的方法》对分析气泡对颗粒度测定的影响做了较详细的论述; 海军工程大学动力工程学院龚小龙等在《遮光法颗粒计数器测量结果的影响因素研究》一文中通过试验数据确定超声波、负压和正压方法都能消除油样中的气泡。GJB 380.6B—2015《航空工作液污染测试》、DLT 432—2018《电力用油颗粒度测定方法》两个行业标准均对

消除气泡做了专门说明, 但超声波油液消泡方法在实际应用中误差较大的情况时有发生, 给广大一线试验人员带来很大困扰。而且军用和电力两个行业标准没有深入研究油中微量水分对颗粒度测定的影响, 造成了不同实验室颗粒度检测数据差异极大的情况经常发生。

## 2 军用、电力两行业标准关于油液颗粒度测试前消泡的规定

### 2.1 航空工作液污染测试规定

CJB 380.4A《航空工作液污染测试》第 4 部分: 自动颗粒计数法测定固体颗粒污染度 5.2.d 规定: “采用超声波或抽真空方式对被测液样进行消泡处理, 直至成层的气泡上升至液面。”海军工程大学动力工程学院研究结果: 超声波、负压和正压方法都能消除油样中的气泡。气泡消除不彻底, 测量的结果就有较大的偏差(见表 1)。

【作者简介】关键(1968-), 男, 满族, 中国辽宁辽阳人, 本科, 高级工程师, 从事发电厂化学监督研究。

表 1 四种消泡方法的污染度测量结果

试样	1* (超声波 + 负压 + 正压消泡)			2* (负压 + 正压消泡)			3* (超声波 + 负压消泡)			4* (超声波消泡)		
	≥ 4 μm	≥ 6 μm	≥ 14 μm	≥ 4 μm	≥ 6 μm	≥ 14 μm	≥ 4 μm	≥ 6 μm	≥ 14 μm	≥ 4 μm	≥ 6 μm	≥ 14 μm
实验结果	20	17	12	22	20	17	21	18	13	22	20	15

## 2.2 电力行业标准中的相关规定

DLT 432—2018《电力用油中颗粒物测定方法》(8.1.3.1b)规定:充分摇动油样使颗粒分布均匀,将其置于超声浴中振荡(越 10min)脱气。

## 3 油液颗粒度测定超声波前处理方面的探索

从上述润滑油颗粒度测定的行业标准可以看出,气泡对颗粒度测定的影响是存在的,但在技术交流中发现国神伊犁电厂、国神焦作电厂、京能秦皇岛电厂多次出现经过超声处理的油样颗粒度等级反复无常的情况。为此,我们开展了有针对性的超声消泡验证实验,所用的颗粒度仪经过计量检定,前处理采用了两个不同型号的超声波仪:功率分别是 180W (A 型)、秦电 150W (B 型)。具体见表 2 和表 3。

数据对比分析:

①两台不同型号的超声波仪对同一个油样的消泡效果是不同的:A 型高于 B 型 1 个等级;

②用 A 型超声波仪消泡后,各等级颗粒数量反复波动;用 B 型超声波仪消泡后,各等级颗粒数量波动较小。

以上实测数据说明,超声波处理油中气泡在原理上是可行的,但在实际测试中,不同厂家的超声波仪由于超声波声压、频率、气泡初始半径等参量对空化产生的高温高压以及气泡内外热传递有重要影响,会影响最终的颗粒度测试结果;军用标准 GJB 380.4A—2015 在 4.2.2 条中规定超声波清洗器底面功率应为 3000~10000W/m<sup>2</sup>,说明该标准已经考虑了超声波清洗器功率问题;电力行业标准也应做相应修订。

## 4 油中水分的存在对油品颗粒度测定的影响巨大

电力行业标准 DLT 432—2018《电力用油中颗粒度测定方法》考虑了水分对油中颗粒度测定的影响,但所提出的解决方法过于笼统且操作性不强;仅油样透明后才可进行测试,油样透明不代表油中(5~100 μm)微小水珠已消失;对于明显乳化的样品提出应预先向油中加入一定量适宜清洁液,使油样透明后才可进行测试(清洁液的颗粒度范围是 4~5 级;加入清洁液对颗粒度低于 4 级的油品是干扰)。

水分的存在也是影响颗粒度测定的重要因素:水分的影响会大于气泡对颗粒度测定的影响。从表 4 可以看出,油中水分对颗粒度影响巨大(8 级降到 4 级);且各等级颗粒的数量均跟随水分的下降而下降,基本没有反弹(超声波处理后颗粒度数据反弹并不鲜见)。为了印证这种现象是否为个例,我们又用同样实验条件下测试了含水量较低的 3A 小机汽轮机油的油品颗粒度值(见表 5)。

从表 5 中数据可知,水分含量较低的 3A 小机油和水分含量较低的 2 号主机油颗粒度变化规律完全一致:随着时间的增加,各等级颗粒度数量减少。但由于 3A 小机油水分含量较低,最终在颗粒度等级上变化较小。

以上实验证明,油液颗粒度检测前处理的方向必须聚焦在微量水分上,在不影响样品的前提下,如何脱水是我们必须面对的问题。为此,我们进行了一系列真空+烘箱脱水实验:将盛有油液的装入塑料小瓶并盖盖,放入真空烘箱中在 50℃~60℃的条件下,处理 0.5~48h 后测量油液颗粒度(见表 6—表 9)。

表 2 3A 小机汽轮机油颗粒度数据(A 型超声波仪前处理、HACH PODS 测定颗粒度)

超声波仪功率	150W	油品名称	3A 小机汽轮机油					超声条件:时长:10min,温度:50℃	
序号	静置时长 (min)	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数		
1	超声后,直接做	19247	577	160	17	0	7		
2	超声后,等 5min	30367	1323	360	0	0	7		
3	超声后,等 15min	18900	510	130	17	10	7		
4	超声后,等 25min	24326	1037	340	17	20	7		

表 3 3A 小机汽轮机油颗粒度数据(B 型超声波仪前处理、HACH PODS 测定颗粒度)

超声波仪功率	150W	油品名称	3A 小机汽轮机油					超声条件:时长:10min,温度:50℃	
序号	静置时长 (min)	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数		
1	超声后,直接做	11916	430	40	10	10	6		
2	超声后,等 5min	10396	240	26	20	0	6		
3	超声后,等 15min	9330	206	63	0	0	6		
4	超声后,等 25min	11180	250	46	0	0	6		

表 4 2 号主机汽轮机油颗粒度数据

实验条件		(非真空+烘箱)烘箱温度: 50℃				HACH PDOS 测定颗粒度		
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数
1	直接做	98.6	38546	563	173	0	0	8
2	烘箱 0.5h	89.3	4910	270	80	0	0	5
3	烘箱 2h	75.4	4616	136	63	0	0	5
4	烘箱 6h	70.0	4153	186	43	0	0	5
5	烘箱 10h	60.2	3346	116	26	0	0	4

表 5 3A 小机汽轮机油颗粒度数据

实验条件		(非真空+烘箱)烘箱温度: 50℃				HACH PDOS 测定颗粒度		
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数
1	直接做	15.2	17103	963	210	26	0	7
2	烘箱 0.5h	20.7	14720	816	216	10	0	6
3	烘箱 2h	19.0	12870	566	116	0	0	6
4	烘箱 6h	18.3	11473	360	43	0	0	6
5	烘箱 10h	21.0	10070	283	60	0	0	6

表 6 2 号主机汽轮机油颗粒度数据 (真空+升温脱水)

实验条件		2 号主机汽轮机油 (真空+烘箱) 烘箱温度: 60℃; 真空度: kPa						
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数
1	烘箱 30min	201.2	859803	14760	1150	40	0	12
2	烘箱 1h	185.7	42040	760	200	0	0	8
3	烘箱 4h	122.3	77510	723	30	0	0	9
4	烘箱 8h	43.2	42450	460	50	0	0	8
5	烘箱 12h	34.0	29230	133	30	0	0	7
6	烘箱 24h	11.3	14190	136	10	0	0	6
7	烘箱 48h	6.3	5440	10	0	0	0	5

表 7 2 号主机汽轮机油颗粒度数据 (升温脱水)

实验条件		2 号主机汽轮机油 (非真空+烘箱) 烘箱温度: 55℃						
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数
1	烘箱 1h		4028653	58513	4183	60	0	12
2	烘箱 4h	168.1	48633	383	60	0	0	8
3	烘箱 8h	100.0	43653	403	40	0	10	8
4	烘箱 12h	47.7	40790	433	50	20	0	8
5	烘箱 24h	38.3	35323	286	70	10	10	8
6	烘箱 48h	9.2	17343	73	80	0	10	7

表 8 3A 小机汽轮机油颗粒度数据 (真空+升温脱水)

实验条件		3A 小机汽轮机油 (烘箱+真空脱水) 烘箱温度: 55℃						
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	NAS 1638 级数
1	烘箱 4h	16.5	11543	426	66	0	10	6
2	烘箱 8h	11.2	10016	300	126	20	10	6
3	烘箱 12h	7.7	9010	163	20	20	0	6
4	烘箱 24h	10.9	4806	143	30	0	0	5
5	烘箱 48h	7.4	5233	123	30	0	0	5

表 9 4A 小机汽轮机油颗粒度数据 (真空 + 升温脱水)

实验条件		4A 小机汽轮机油 (烘箱 + 真空脱水) 烘箱温度: 55℃						NAS 1638 级数
序号	时间	水分 mg/L	5~15 μm	15~25 μm	25~50 μm	50~100 μm	> 100 μm	
1	烘箱 4h	15.5	10623	460	110	0	0	6
2	烘箱 8h	10.7	7736	123	50	0	10	6
3	烘箱 12h	8.4	4143	30	50	0	0	5
4	烘箱 24h	7.7	1400	40	10	0	0	3
5	烘箱 48h	4.4	1973	40	20	0	0	3

表 6、表 7 数据说明油中含水较大 (> 150mg/L) 时, 真空脱水有效, 温度越高脱水效率越高; 表 8、表 9 数据说明油中含水较小 (< 50mg/L) 时, 真空脱水仍然有较高的效率, 虽然油中微水的绝对值变化较小, 但各尺寸范围的颗粒减小明显。考虑实际工作中的试验时间关系, 建议油液颗粒度前处理采用真空 + 升温法 8h 较好, 既解决了脱水问题也消除了气泡影响 (一般要脱水到 20mg/L 以下, 最佳脱水到 10mg/L 以下测量油液颗粒度才能反映运行油液的真实情况)。至于油中颗粒杂质随静置时间延长沉降的疑问, 表 8、表 9 的数据说明基本可以不用考虑杂质沉降。

## 5 结语

水分和气泡是干扰油品中颗粒度测定的两大因素, 两者互相作用或单一作用突出, 都使油品颗粒度测定的不确定性增加; 两大行业标准均推荐了超声波消泡手段, 但由于超声波仪器的质量问题, 会在某种程度上增加颗粒度的随机波动。

论文发现了两大行业标准中有关油中水分对颗粒度测

定影响的说明及解决办法实际操作性不强。通过科学系统的全方位实测实验, 找到了升温 + 真空的脱水脱气办法; 阐明了方向性结论: 微量水分是影响油液颗粒度测定的最大影响因素 (脱水 > 脱气); 指出了测油液颗粒度必先脱水的国内首创论点; 并通过科学实验, 提出了汽轮机油颗粒度测定水分最好 ≤ 10mg/L 的量化标准 (考虑试验时长, 可以放宽到 ≤ 20mg/L)。一方面全方位提高了油品颗粒度测定的真实性、准确性, 为行业标准的正确修订提供了有力的技术支撑; 另一方面也避免了过度过滤造成的滤芯浪费, 一旦在各行业推广, 将产生巨大的经济价值和环保效益。

## 参考文献

- [1] 龚小龙, 田洪祥, 孙云岭. 遮光法颗粒计数器测量结果的影响因素研究[J]. 润滑与密封, 2016, 41(8): 133-135+148.
- [2] 徐峥, 许坚毅, 刘晓峻. 超声波降解有机物溶液的气泡动力学研究[J]. 声学学报, 2009, 34(2): 180-186.
- [3] 衡世权. 华电电力科学研究院有限公司[J]. 发电技术, 2019(S1): 48-53.