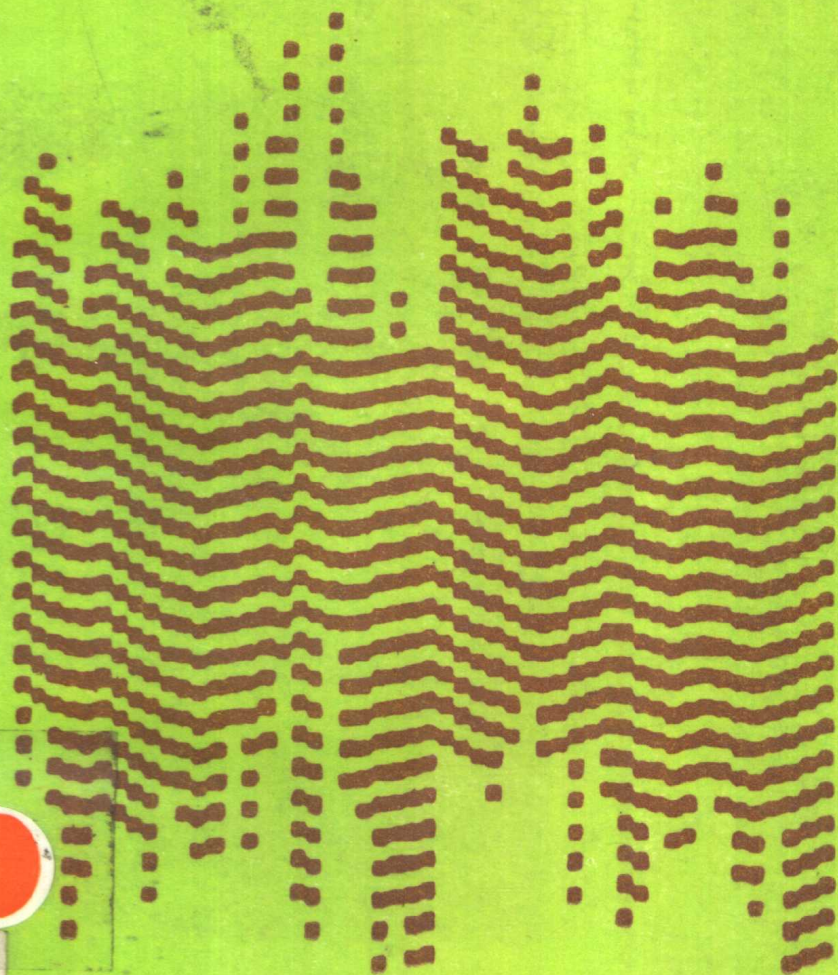


大型火电机组启动调试丛书

锅炉附属设备启动调试

西北电力建设调试施工研究所 杨佐林



水利电力出版社

118556

TM621
4018

大型火电机组启动调试丛书

锅炉附属设备启动调试

西北电力建设调试施工研究所 杨佐林

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要讲述大型火电机组锅炉附属设备启动调试，其内容包括燃料油系统、输煤系统、制粉设备(磨煤机、给煤机、煤粉分离器)、炉水循环泵、风机、管道与阀门、空气预热器、除尘设备除灰系统等的启动调试。本书简略地介绍了上述设备和系统的结构、特性和基础知识；重点地介绍了对这些设备和系统启动前的检查、试验和准备工作的要求，启动程序要领，调整试验项目、方法、程序、测试手段、安全注意事项，以及在启动调试和运行中可能发生的异常故障、原因及消除、改进办法等。

本书可供从事锅炉调试工作的技术人员阅读，也可供锅炉安装、运行技术人员、工人参考。

大型火电机组启动调试丛书

锅炉附属设备启动调试

西北电力建设调试施工研究所 杨佐林

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 8.625印张 226千字 1插页

1990年3月第一版 1990年3月北京第一次印刷

印数0001—5450册

ISBN 7-120-00850-1/TK·141

定价6.90元

前 言

为实现我国的社会主义四个现代化，在国民经济中，作为先行的电力工业必须得到高度发展，这势必要求越来越多地建设大型火力发电机组。而机组启动调试是电力建设施工的最后一道工序，其质量的优、劣是直接关系到机组的安全、顺利投产，充分发挥生产效益的一个关键。总结三十多年启动调试工作的经验，我们认为，搞好启动调试工作，极为重要的是认真做好启动调试前设备和系统的检查、试验以及准备工作，尽早发现设计、施工的不足和设备缺陷，提前消除和采取预防措施；调试时，精心操作，精心调整，才能顺利地进行启动调试工作。因此，调试人员的素质，技术业务水平，以及严谨细致的工作作风也是极重要的。

为满足当前大型火电机组建设的需要，在原水利电力部基建司和上海电力建设启动调整试验所的支持下，水利电力出版社组织了这套《大型火电机组启动调试丛书》。

本书系统地介绍了锅炉附属设备的启动调试工作，包括调试人员应当掌握的设备技术性能、基础知识，启动调试前的检查、试验和准备工作，调试项目、程序和方法，调试、运行中可能发生的异常故障及其原因、消除和预防的措施。

本书在编写过程中，曾得到原水利电力部基建司高级工程师严永泰、西北电力建设局调试所领导的支持以及锅炉室周广仁等同志的帮助；华北电力试验研究所副总工程师徐元载审稿，并提出了许多宝贵意见；杨健、张松、韩雪飞、芦正扬同志为本书制图。在此一并表示深切的谢意。

由于水平有限，错误难免，欢迎批评指正。

编 者

1988年10月

111 111

目 录

前 言

第一章 燃料油系统的启动调试	1
第一节 燃料油特性	1
一、燃料油特性；二、油质指标	
第二节 燃料油的贮存和运输	6
一、燃料油的贮存；二、燃料油的运输	
第三节 燃料油系统的启动	9
一、启动前的准备工作和启动应具备的条件；二、启动前油系统的吹扫和加热；三、油泵试转和供油	
第四节 燃料油系统的调整和试验	16
一、油泵联锁试验；二、油系统各调节阀、电磁阀、快速遮断阀试验；三、油罐、油加热器升温试验；四、供油运行方式调整；五、油喷嘴出力、雾化试验；六、油喷嘴选择、使用注意事项	
第五节 燃料油系统故障和预防	21
第二章 输煤系统、制粉设备的启动调试	24
第一节 输煤系统的启动	24
一、启动前各设备检查；二、输煤系统启动前各项试验	
第二节 制粉系统主要设备特性	28
一、煤粉特性；二、给煤机；三、磨煤机；四、煤粉分离器	
第三节 制粉系统设备的启动	44
一、制粉设备启动前的检查、试验、准备；二、制粉系统的启动要点	
第四节 制粉系统设备的调整试验	54
一、启动调试前的准备；二、调试项目；三、调试方法和测试手段；四、测试结果整理和分析；五、调试参数的选定和实例；六、给煤机调整	
第五节 制粉系统异常、故障的消除和预防	76
一、制粉设备出力不足原因和提高出力措施；二、钢球磨煤机烧瓦原因、消除及预防措施；三、磨损及防磨措施；四、给煤机、磨煤机、制粉系统异常、故障	
第六节 制粉系统的自燃与爆炸	87

第三章 炉水循环泵的启动调试	89
第一节 炉水循环泵结构	89
第二节 炉水循环泵调试项目和程序	92
一、调试项目；二、调试程序；三、冷、热态试验	
第三节 炉水循环泵的运行要求	95
第四节 密封、冷却水管的冲洗	98
第五节 冷却水温定值及保护试验	100
第四章 风机的启动调试	103
第一节 风机特性	103
一、比转速及无因次特性曲线；二、风机在管网中的工作特性和不安全工作区；三、风机联合工作特性；四、轴流式风机的性能曲线、旋转脱流和喘振	
第二节 风机启动和检查	114
一、风机启动前检查；二、热态检查	
第三节 风机的调试	116
一、风机出力的调节；二、风机试验	
第四节 防止和消除风机异常故障措施	121
一、轴承温度高、损坏的预防措施；二、风机轴承振动；三、大型锅炉风机、烟道、风道的振动和消除；四、风机磨损及防磨措施；五、风机叶轮飞车损坏原因及预防	
第五节 压缩空气系统调试	132
一、空压机的试运；二、压缩机的调整	
第五章 管道和阀门的检查与调整	137
第一节 给水、蒸汽等热力系统综述	137
第二节 安全阀的调整	141
一、概述；二、安全阀结构及其特点；三、安全阀调整前的检查和准备工作；四、安全阀调试方法、步骤；五、安全阀异常、故障原因及消除措施	
第三节 给水、减温水管道检查、冲洗和阀门调整	159
一、给水、减温水管道的检查、冲洗；二、调节阀的试验和改进	
第四节 电动阀门调整	167
一、阀门启闭转矩特性和计算；二、电动阀控制回路常见问题；三、电动装置调整方法与步骤	
第五节 阀门故障及消除	181
一、阀门泄漏；二、电动装置故障及消除	

第六章 空气预热器的调整	185
第一节 概述	185
第二节 回转式空气预热器的调试	187
第三节 空预器运行的几个问题	190
一、漏风大原因及改进措施；二、机械故障及改进；三、积灰和腐蚀及其预防措施	
第七章 除尘、除灰系统的调试	205
第一节 文丘里除尘器的调试	205
一、影响文丘里除尘器性能因素；二、文丘里除尘器使用前检查与试验；	
三、调试中常见问题及改进措施	
第二节 电气除尘器的调试	214
一、概述；二、影响电气除尘器性能的主要因素；三、电气除尘器的调整试验；四、电气除尘器投运遇到的问题及改进	
第三节 布袋除尘器的调试	230
一、概述；二、布袋除尘器的启动调试；三、影响布袋除尘器性能的因素；四、布袋除尘器的问题	
第四节 除灰系统的启动调试	241
一、概述；二、除灰系统启动调试的项目、程序；三、除灰系统启动调试前的检查；四、水力除灰系统的启动调试；五、气力除灰概述及堵灰的消除	
第五节 吹灰器的调试	258
一、概述；二、吹灰器的调试；三、吹灰器调试中常见缺陷、故障及处理	
附录 I 石油部颁燃料油油质指标	267
附录 II 燃油罐与建、构筑物的防火间距	268

第一章 燃料油系统的启动调试

第一节 燃料油特性

火力发电厂锅炉用燃料油，一般多为重油、渣油、柴油，偶而使用原油。

一、燃料油特性

燃料油特性是用粘度、闪点、凝点、水分、杂质，以及含硫量、密度、发热量等指标来表征的，其中尤以粘度、闪点、凝点、含硫量、水分对锅炉运行及设备选择影响较大。

(1) 粘度是液体受外力作用流动时在液体分子间所呈现的摩擦力，它表征油种输送及雾化的难易程度。它分动力粘度(单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$)和运动粘度(单位为 m^2/s)。

1) 为保证油的雾化、燃烧性能良好，及输送的可靠性，对油的粘度均有一定的要求。允许的最大运动粘度和推荐使用值，一般可参照表1-1和图1-1选用。

表 1-1 燃油设备允许最大运动粘度、推荐使用运动粘度

设备名称	允许最大运动粘度 ($\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	推荐使用运动粘度 ($\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)
螺杆泵、齿轮泵	<1461.8	<1461.8
活塞泵	<584.73	<438.5
离心泵	<219.09	<189.82
机械雾化喷嘴	<43.8	<28.4
蒸汽雾化喷嘴	<111	<43.8
空气雾化喷嘴	<74	<36.2

2) 粘度受油温、加热温升速度、压力等影响变化，粘度随油温升高而降低，可从图1-1、图1-2查得。油温亦可按油的种类及设备运行要求的粘度，从图1-1及图1-2查得。如某炉燃用 $100^{\#}$

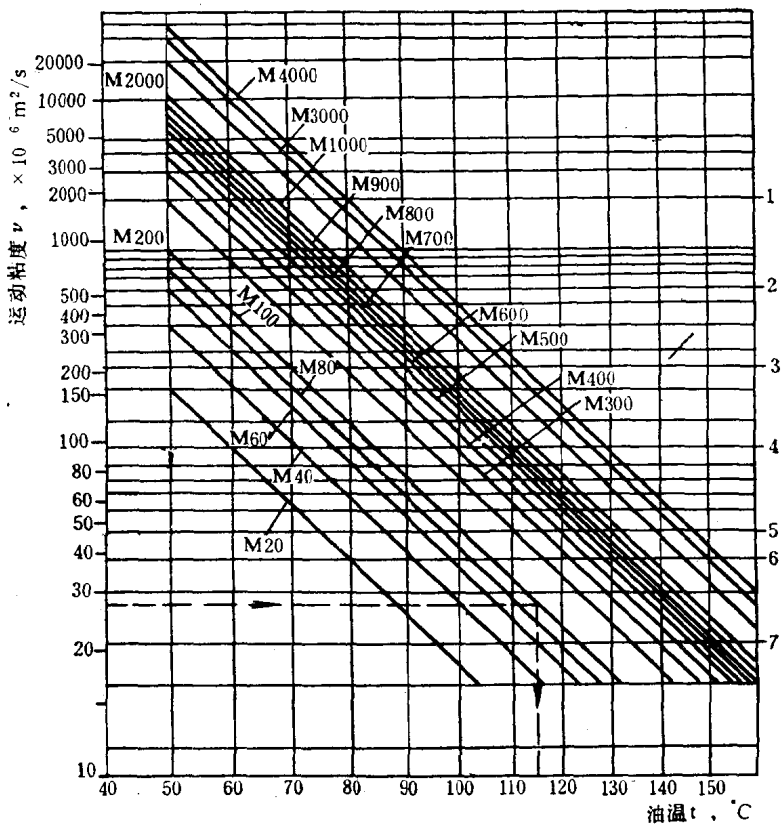


图 1-1 燃料油粘温特性及使用范围

- 1—螺杆泵、齿轮泵；2—活塞泵；3—中容量离心泵；4—旋转式喷嘴；
 5—蒸汽、空气和机械雾化喷嘴；6—高中压压缩空气和低压空气雾化喷嘴；
 7—离心喷嘴、旋转式带回油喷嘴；M—油种号

重油，使用机械雾化喷嘴，查图1-1及表1-1得知，只要保持油温114℃，即可保持燃油粘度达到机械雾化喷嘴推荐使用运动粘度 $28.4 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 的要求。

3) 混合油粘度可从图1-3查得。如50℃时粘度为 $292.24 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 的重油A，其体积百分数为80%，和50℃时粘度为 $36.2 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 的重油B其体积百分数为20%，两者相混合，其粘度约

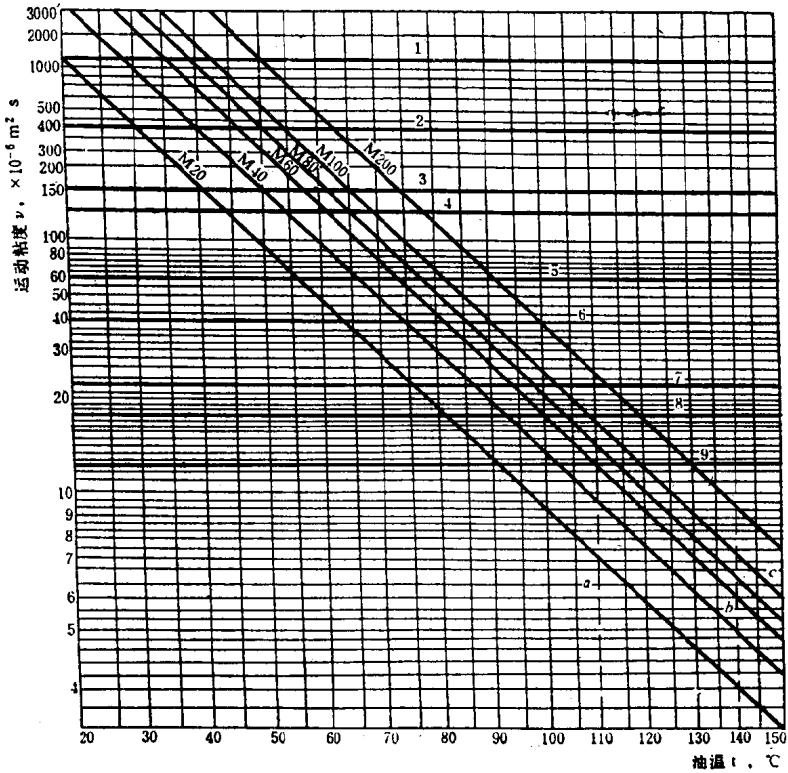


图 1-2 重油粘度与温度关系及推荐主要运行参数

1—齿轮泵、螺杆泵最大粘度；2—活塞泵、柱塞泵最大粘度；3—油泵供油、卸油平均粘度；4—出力为20~40t/h离心泵最大粘度；5—蒸汽雾化喷嘴最大粘度；6—高、低压空气雾化喷嘴最大粘度；7—机械雾化喷嘴最大粘度、蒸汽雾化喷嘴推荐最大粘度；8—高、低压空气雾化喷嘴推荐最大粘度；9—机械雾化喷嘴推荐最大粘度；a—加热器内重油最高温度；b—加热器内蒸汽最高温度；c—加热器内残渣油极限温度

为 $182.2 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。即在纵坐标上查得 A、B 重油粘度后连成直线，与混合体积百分数相交的点，其粘度为混合油粘度。

(2) 闪点是油蒸汽和空气混合物在标准条件下，接触火焰发生短促闪火现象时油的最低温度，它表明油着火的难易程度。闪点分开口闪点、闭口闪点。燃料油分类按油质分易燃油和可燃油二种，按闪点可分为四类，见表1-2。

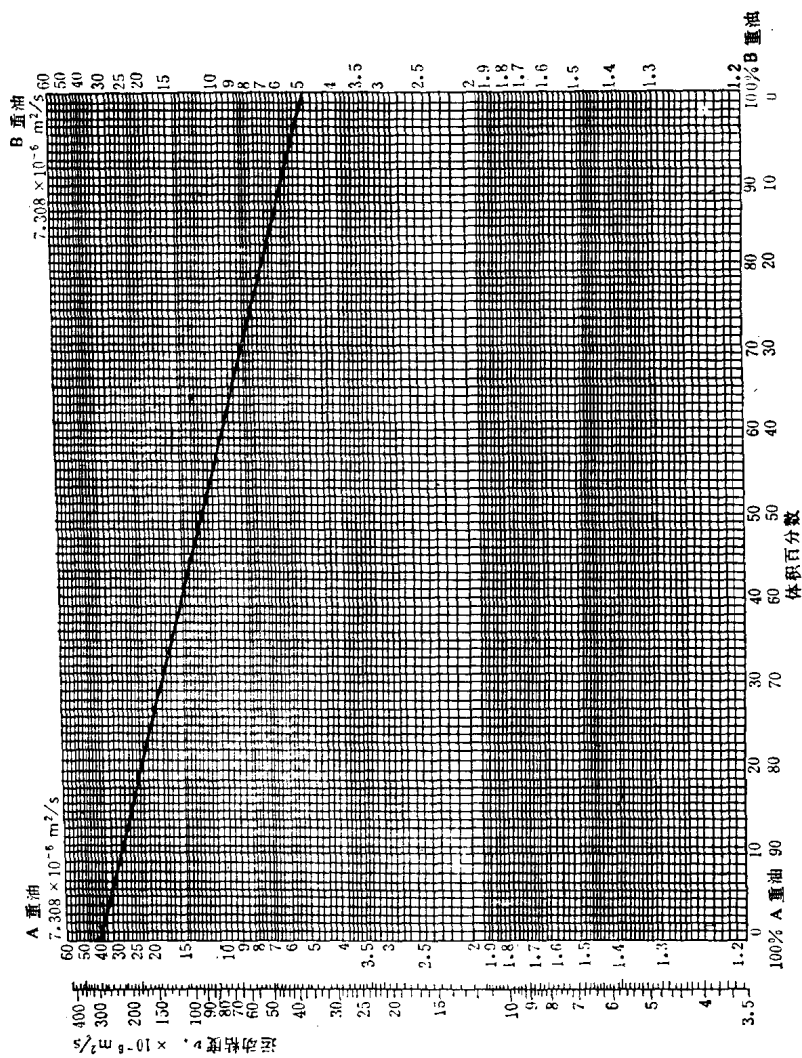


图 1-3 两种油品混合后的粘度

表 1-2

燃 料 油 分 类

类 别	闪 点	油 种
I	28℃以下	汽油、苯等
II	28~45℃	原油、煤油等
III	45~120℃	轻、重柴油, 重油
IV	120℃以上	重柴油、重油、润滑油

一般轻柴油闭口闪点在50~65℃, 重柴油约65℃, 重油开口闪点为80~140℃。

油燃点一般比闪点略高, 它是在大气压力下加热到某种温度, 油气混合物与大气接触, 立即燃烧不少于5s时的最低温度。一般为防止油库及管道运输时油温过高发生自燃着火, 规定油加热最高温度应比闪点低50℃。

(3) 凝点是指油丧失流动性时的温度, 油在试管倾斜45°, 经5~10s不流动时的温度。密度愈大, 凝点愈高, 汽油凝点-80℃, 燃料油可高达35℃。含蜡量愈高, 凝点愈高, 它对卸油、加热有很大影响, 并易堵塞管道、喷嘴。

(4) 水分过多, 尤其高密度、高粘度油, 罐内可能发生油、水分层, 会引起火焰波动和熄灭。一般控制水分<2%, 当水分>3%时燃烧不稳定, 5%时火焰易熄灭^①。为使水分控制在允许范围内, 油库应不定期放水。

(5) 机械杂质含量为0.1%~2%, 杂质多, 易堵塞喷嘴等。

(6) 含硫量按其含量分: $S < 0.5\%$ 低硫油, $S = 0.6\% \sim 1\%$ 含硫油, $S = 1.1\% \sim 3.5\%$ 高硫油。含硫多, 易形成 SO_3 , 产生腐蚀, 故含硫量大于1%时, 要特别注意低温受热面的腐蚀。

含钠、钒量多, 易产生高温腐蚀、积灰, 低硫油中含钒量少, 高硫油中含钒量较多。

^① 这里指一般常规燃油情况, 与油掺水燃烧技术不同。

(7) 密度, 一般为 $710\sim 866\text{kg/m}^3$, 重油为 $917\sim 1020\text{kg/m}^3$, 可按式(1-1)计算。

$$\rho_t = \rho_{20} - \alpha(t - 20) \quad (1-1)$$

式中 ρ_t ——油在 $t^\circ\text{C}$ 时的密度, kg/m^3 ;
 ρ_{20} ——油在 20°C 时的密度, kg/m^3 ;
 t ——油的温度, $^\circ\text{C}$;
 α ——温度修正系数, $1/^\circ\text{C}$ 。

当 ρ 在 $866\sim 1090\text{kg/m}^3$ 时, α 值为 $6.99 \times 10^{-4} \sim 4.24 \times 10^{-4}$
 $1/^\circ\text{C}$, 当 ρ 每升高 1.0099kg/m^3 时, α 值降低 $0.7 \times 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$ 。

(8) 发热量, 油的发热量一般在 $3.768\sim 4.186 \times 10^4 \text{kJ/kg}$ 。

(9) 应注意油的热膨胀性较大, 如在密闭容器内, 石蜡油由 20°C 升至 39°C 时, 其压力由大气压力可升至 24.5MPa (250kgf/cm^2), 所以油罐要装排气管或呼吸阀。

二、油质指标

油质指标, 按石油部颁油质指标, 参见附录I。

第二节 燃料油的贮存和运输

一、燃料油的贮存

天然石油的直馏重油、渣油, 一般可长期贮存。但裂化渣油、重油, 因含有不饱和链烃, 与空气接触, 会缓慢氧化或起化学作用, 生成胶质、树脂和沥青, 时间愈长反应愈剧烈, 长期加热或温度过高会加速反应, 导致油罐结渣, 故油库不宜长期存放裂化渣油、重油, 而应交替使用油罐。其次, 不同油种, 最好分别贮存, 以免产生严重结渣、沉淀, 万一需要混装时, 应先做混油试验。

过去曾因运输、油源供应等原因, 常造成来油无处存, 用油时又不足, 影响机组启动运行。应该加强计划性以外, 还应的油

罐数量、容量予以重视和技术经济比较。据油源远近、供应情况、交通运输方便、装卸、输送能力、可靠程度、海运可能停航时间，防火防爆要求，油质加热脱水存放经验，投资等因素综合考虑。

贮油罐与周围建筑物应按规定留有足够的防火距离，见附录 II。油库区周围应有围墙，油罐四周均应设有防火堤（墙），其外侧应有排水措施。当油罐与主厂房、居住区、铁路的距离较近，或油罐区地面高于主厂房、居住区、铁路标高而中间又无凸起障碍物时，则地上、地下油库四周除有防火堤外，还应设有事故放油坑，能将油放至安全处，或隔适当距离再设立牢固防火堤，以免油蔓延到该区。油罐间距要符合要求，油罐应设有排气管、安全阀、呼吸阀、测量油位、油温装置和加热、排水、消防设施。露天油库均应保温并具有防冻措施，油罐应严密不漏，不得使用玻璃管油位计，并经通水检查合格。库区内各电动机、照明等均应采用防爆型的。油泵房内应通风良好，光线充足，并具有足够的消防用具、严禁烟火等警告牌。污油要及时处理，保持设备及场地清洁。

二、燃料油的运输

燃油的输送，根据电厂燃油量、距油源距离，以及水、陆交通条件，分铁路、水路、汽车、管道四种输送方式及相应的卸油设施。

油槽车卸油有自流、强制卸油、虹吸、抽吸、压力上卸等卸油方式，一般多采用强制卸油方式。

卸油时间的长短取决于油的粘度、卸油管径和长度，以及油槽的结构、油表面上相对压力的大小，卸油设施的可靠程度等因素。要加速卸油，关键在对油的适当加热，以符合卸油设施所需油的粘度和卸油设施的可靠程度。有条件时可向油槽车中通入蒸汽或压缩空气，以增加油槽车内油表面压力，它主要用在自流卸油，也可用于强制卸油。当使用蒸汽加压时会增加油中水分，对压力卸油油槽车上的人孔要特别设有连接汽（气）管接头，压力

表、安全阀，人孔一定要认真检查，严密不漏，并有人监视，以免超压，压力一般不大于0.147MPa。在栈台一端设置2~3个上卸鹤嘴的，这仅在栈台不长、小于120m时才采用上、下卸都有的混卸设施。卸油时，油槽车底应卸净，虹吸卸油时，注意不要断虹。

按油加热热源不同，油槽车分蒸汽加热、电加热两种方式，有汽套的油槽车均用蒸汽加热，无汽套的则用蒸汽直吹加热，其它方法很少采用。油加热温度，敞开容器中油的最高温度小于开口闪点10℃为宜，压缩机油、柴油机燃油为30~60℃，直馏页岩燃料油为30~60℃，60#、100#燃料油为40~80℃，重柴油为20~40℃，原油为40~50℃，渣油不大于80℃，实际60~70℃即可；一般原油、重柴油夏季可不加热，其它油种一般油温高于凝点10℃即可顺利卸油。加热汽耗可根据油种加热至50~60℃左右计算。

汽车卸油比较简单，不叙述。船运卸油码头，囤船及油驳等均应按“海港危险品的有关规定”办。

管道输油是比较可靠的输油方式，一般电厂距炼油厂15km内，均可采用管道输油，油从炼油厂直接送电厂。它与铁路、公路、水路输油相比：省略卸油设施，不会因卸油而增加油中水分；油罐等贮油设备规模小，运行人员少，节省厂用电，提高运行安全性，投资少，仅为其它输油方式的1/2~1/5。

卸油、供油设备和系统，因锅炉容量、耗油量、油种、油源、交通条件、厂地等不同，而有各种不同的设备和系统，无论采用哪种设备和系统，均应着重注意以下几点。

1) 罐、泵、管、滤油器、加热器设备等均应有足够的容量和备用设备及管线，并设有泵的联锁自启动装置，以确保供油能连续可靠的运行。

2) 罐、泵、管、滤油器、加热器等应设有放油、吹扫、加热或拌热管线，不要有死角死区积油凝油结冻处。

3) 系统应力求简化，操作方便灵活，可靠性高，系统阻力小，管路阀门规格要符合使用油压的要求。

4) 测量监视仪表应齐全, 远控调节灵活, 快速切断保护装置要动作可靠。

5) 各处放油、积油要妥善处理, 污油处理应完善。

6) 安全、消防设施, 是否可靠完善, 符合要求等。

第三节 燃料油系统的启动

一、启动前的准备工作和启动应具备的条件

(1) 燃料油系统土建、安装工作已按图纸和试运需要全部施工、保温完毕, 仪表齐全, 基本上不再使用电火焊, 现场清理干净, 沟盖盖好, 孔洞堵严, 围墙施工完, 门窗玻璃齐全, 消防通道和消防设施完备, 砂箱、灭火器材备妥。

(2) 检查卸油装置及卸油系统: 钢筋混凝土卸油沟、槽、罐内的管子, 及其连接附件和卸油栈台上鹤嘴、管道等施工完毕, 内部清理干净、无杂物, 严密不漏, 穿过混凝土罐壁应按设计装有预埋套管, 设计无套管时, 应有相应的密封和补强措施。钢制卸油母管应按图纸规定具有坡度, 卸油装置内的加热器或加热管道应有足够的热胀补偿, 并经1.25倍工作压力的水压试验合格。卸油装置范围内的设备、部件及管道布置不得妨碍油车的通行。卸油鹤嘴装完, 起落、转动灵活, 密封良好, 材质符合规定。卸油用泵、过滤器等装好, 符合要求, 并试转合格。

(3) 油罐预制、组焊焊接质量合格, 并经渗油检查试验合格。混凝土油罐体无裂纹、孔洞、渗漏等缺陷, 并经灌水试验合格。

(4) 油罐及各附件符合要求: ①管排加热器应有热膨胀补偿, 方向正确、疏水坡度与母管疏水坡度应一致, 并经1.25倍工作压力的水压试验不漏; ②低位布置的回油管应引至罐体中心并上扬以免和供油短路; ③检查孔、量油孔的开闭灵活, 结合面上的橡胶垫应严密; ④测量油位装置的飘子经严密性试验不漏, 飘子导向轨应相互平行, 并在同一垂直面内, 连接用钢丝绳牢固,

飘子上下运动灵活无卡涩，油位标尺表面平整，标度准确，色泽鲜明，指针上下运动无卡涩；⑤防火器、呼吸阀、安全阀的流通部分畅通，呼吸阀面严密无粘住现象，材质、重量符合规定，安全阀在受油前应按图纸规定灌油试验合格；⑥吸油管上下转动灵活，能按需要调节；⑦集水坑内清洁，放水畅通；⑧如罐内有测温装置应装好。

(5) 供油设备及泵房管道应施工完毕，符合要求。滤油器应解体检查清扫干净，滤网符合规定、完整无破损杂物，滤油器盖的压杆不宜用铸铁件，密封垫材质使用正确。表面式加热器在安装前应进行水压试验，内插表面式加热器经解体检查，调整内插物（铝片）的端部，不得弯折堵塞管口，压紧钢网应平整与管板点焊牢固，边缘不得妨碍结合面。加热器的支座膨胀方向、间隙正确。泵房内吹扫管、排油管布置规划统一，走向简捷，空气门、排油门出口方向应朝下。

(6) 供油泵的安装工作应结束，地脚螺丝紧好，二次灌浆完，冷却水格兰、平衡管接完通畅，压力表齐全，电动机接地线接好，安全罩装好，联轴器连好并能盘动，内部空气可以放出。对Y型泵宜采用机械密封，填料函尺寸与机械密封相符，垫料孔与轴的不同心度小于0.2mm。动静面接触面积经过色印检查不小于50%，并应呈环状，弹簧预紧力调整好，并将顶丝紧固。径向密封圈装配严密，不得偏斜串位，平衡孔不偏斜，径向晃动不大于0.04mm。

(7) 检查管道系统有无装错，管道支吊架位置正确牢固，表面平整，回填土夯实，穿越公路的地下套管应固定牢靠，穿套管内应有支撑，保证自由膨胀，套管内无焊口。蒸汽拌热、吹扫管均应考虑热胀补偿和疏水坡度，并经水压试验合格和保温，露天布置的放空气管、排油管一次门前不要过长，以免凝油堵管，排油出口应严密接入全厂的排油系统，此处不得有设备和建筑物。

(8) 燃油快速遮断阀、调节阀、电磁阀进出口方向不应装反，一般是高进低出，密封良好，动作正确，阀杆转动灵活，开