

# 燃用固体燃料电厂环境负压吸尘系统的选择与设计

吕 太 (东北电力学院动力系)

郝春海 (辽阳石化化纤公司热电厂)

**〔摘要〕** 本文介绍了我国火力发电厂环境负压吸灰装置使用情况及存在的问题,并论述了在吸尘装置中使用离心风机为负压源的理论依据及实际使用效果,介绍了离心风机吸尘系统的设计规范。

**关键词** 负压吸灰系统 离心风机 罗茨风机 除尘器

**分类号:** TM62 7 TU834. 64

## 0 前言

为了解决燃用固体燃料电厂环境积灰问题,近年来很多科研、设计部门都在研究设计性能符合现场要求的真空吸尘装置。现有此类装置归纳起来可以分为两类:一类是移动式工业吸尘器(车),该设备类似放大的家用吸尘器,其负压源一般为罗茨风机(应用负压时也称为罗茨真空泵),将风机、布袋除尘器及贮灰罐等设备集中布置在一个汽车底盘上,可以随时移动,在需要清灰场所布置一些固定管路,使用时只要将吸尘器(车)的吸管连接到管路上就可以了,这种吸尘装置的优点是购置方便,设备机动性强,仅使用一台吸尘器(车)就可以轮流清扫电厂各需要清扫部分。缺点是难于锅炉本体和楼梯过道的吸尘,另外在清倒贮灰罐时既麻烦又容易造成二次污染,这种吸尘装置在新近建设的电厂有所使用。另一类是固定式吸尘系统,它由真空源、除尘器和一套完整的管路组成,一般除尘器排下的粉尘直接送入灰沟,乏气则排入锅炉尾部烟道。该系统的优点是适用范围广,可用于锅炉本体、制粉系统、输煤系统等各种易积灰场所。使用、操作比较方便,不存在二次污染问题。缺点是一次性安装管路的工作量较大。目前,固定式吸尘系统在燃用固体燃料的电厂中已经广泛采用,全国已有数百家电厂使用了该系统。由于移动式吸尘系统使用较少,而且其管路布置与固定式基本相同,所以,本文仅以固定式吸尘系统

为例介绍主要设备的选择与系统设计。

## 1 固定式吸尘系统主要设备存在的问题及选择

固定式吸尘系统主要设备可分为负压源和除尘装置两大部分,下面分别加以介绍:

### 1.1 目前负压源的使用情况和选择

已使用过的负压源有四种情况,一是借用锅炉尾部竖井抽吸钢珠的蒸汽引射装置,造成吸尘所需的负压。这种方案虽然投资省,但广泛应用还受现有设备条件限制;二是用水环真空泵造成负压,这种设备可造成较高负压(一级可达 60 kPa,二级可达 80 kPa),但是耗水量和能量消耗均较大,不宜广泛推广;三是用罗茨风机造成负压,其产生的负压略大于水环真空泵,缺点是电耗和噪音较大,对入口气体含尘浓度有严格要求,在使用时风机前必须安装高效除尘器;四是用离心风机产生负压,其优点是耗电少、噪音低,风机对入口气体含尘浓度无严格限制,即使风机叶片稍有磨损其压头和流量也不会急剧下降。缺点是能产生的负压较小,故设计管路时必须尽量减少阻力。

目前,国内电厂中采用罗茨风机为负压源系统比较广泛,这主要是因为吸尘管路较细,系统阻力大所致,这种系统普遍采用  $\Phi 50$  mm 软管作为吸头管,

收稿日期 1995- 02- 15 收修改稿 1995- 04- 20

本文联系人 吕太,男,36 副教授,8406281,吉林市长春路 169 号。

Φ83~108 mm钢管作为支管,Φ108~133 mm钢管作为主干管。为防止水平管内粉尘沉积,一般流速均不低于12 m/s,故最大水平管直径不超过130 mm。在几根吸管同时工作时,以风机额定风量计算管内流速可达70 m/s,系统总阻力在50 kPa~90 kPa之间,而普通离心风机则无法形成这么高的负压。虽然罗茨风机应用较多,但运行效果并不理想,其原因在于罗茨风机风叶(转子)之间及风叶与机壳之间的间隙极小,只有0.2~0.4 mm,因此耐磨性极差,风叶稍有磨损,风机流量和压头迅速降低。为防止风叶磨损,要求入口气体的含尘浓度应低于20 mg/m<sup>3</sup>。在电厂负压吸尘系统中,吸尘管入口气体含尘浓度极高(可达200 000 mg/m<sup>3</sup>以上),若满足罗茨风机对入口气体含尘浓度的要求,除尘器的效率应达到99.99%以上,这对于普通旋风除尘器来说是不可能达到的。布袋除尘器的投资和占地面积均较大,运行管理也十分麻烦,电厂一般不希望采用。据我们统计,能长期稳定运行的罗茨风机吸尘系统不足其总装机数25%。因此,我们认为该系统不宜进一步推广。

离心式风机是电厂及工业企业中应用最广泛的一种风机。同罗茨风机相比其压头和能耗较低,对入口气体含尘浓度无严格限制,尤其是该风机在叶轮有些磨损的情况下,压头和流量不会迅速下降。以离心风机为负压源还可以大大提高系统运行的可靠性。因此东北电力学院在进行了试验台研究的基础上,于1990年5月在内蒙通辽发电总厂670 t/h锅炉机组上试安装了第一套离心式风机负压吸尘系统,并取得了良好的运行效果。继通辽发电总厂试验装置成功之后,又相继在辽阳石化化纤公司热电厂、长山热电厂、哈尔滨热电厂、富拉尔基发电总厂、沈海热电厂、长春第二热电厂、辽宁发电厂、阜新发电厂、清河发电厂、新华发电厂等多家电厂使用均取得了比较满意的效果。到目前为止,该系统在东北地区各电厂中已基本普及,除东北地区外,山西省大同第二发电厂、神头发电厂、滦河发电厂;贵州省贵阳发电厂;河北省保定发电厂;上海市闸北发电厂等电厂也安装离心式风机负压吸尘系统,该系统总安装数现已超过40套,最长运行时间已达3.5年,电耗仅为罗茨风机的1/3~1/2,噪音也比罗茨风机低得多,且成本低、检修方便。从发展趋势上看,罗茨风机吸尘系统将很快被离心风机吸尘系统所代替。

使用离心风机为负压源理论根据是:在吸尘管

路流量一定的情况下,管径增加一倍,管的截面积就可以增加四倍(平方关系),流速可降至原流速的1/4,而流动阻力与流速为平方关系,所以流动阻力可降至原阻力的1/16。也就是说,在其它条件不变的情况下,只要将管径增大一倍,阻力就可以从80 kPa降至5 kPa,而单级离心风机完全可以达到5 kPa的压头,当然,操作人员拿在手上的吸管部分,如果也从Φ50 mm增为Φ100 mm,会使操作者感到很不方便,所以,实际应用于电厂的离心风机吸尘系统,风压仍高于15 kPa,而当需要压头在15~20 kPa之间时,单级或双级单体离心式风机(即双级风机串联安装在同一底座上,同轴共用一台电机)均可满足要求。现在东北电力学院已经完成双级一体离心风机的系列设计,可供各种电厂机组选用。

## 1.2 除尘装置的使用情况和选择

除尘系统的另一个重要设备是安装在风机前面的除尘器。现有系统中应用较多的旋风除尘器和布袋除尘器(双级布置时,第一级是旋风,第二级为布袋;也有双级均用旋风除尘器的)。在旋风除尘器使用中普遍存在的问题是锁气器不动作,这是由于除尘器内负压过高杂物重量不足以压开翻板所致,因而不能长时间连续运行。也有采用电动排料阀(也称电动锁气器)的,但该装置很容易被破布、纱线、细铁丝等堵塞,使电机发热烧坏。当除尘器排不出灰时,其下部粉尘堆积到一定程度,除尘器就不再起分离作用,罗茨风机会很快磨损。还有的单位采用程控的平衡阀和插板阀来轮流交替切换进行排灰,但这样既增大了设备投资,又增加了运行管理的工作量,所以不是最佳方案。对于布袋除尘器,虽然除尘效率较高但由于存在占地面积大、布袋需要定期更换,要进行频繁的反吹或振打等缺点,目前在电厂中不宜广泛推广。

我们在实践中发现,对于负压吸尘系统,双水膜湿式除尘器是最适用的设备(东北电力学院专利产品)。

它的除尘过程是通过外筒和内筒两级水膜及内筒出口的一级水浴来实现的。该除尘器的上部为气、水分离装置,其结构类似于工业锅炉汽包内的钢丝网分离器,具有较好的气、水分离效果。该除尘器在安装时需要高位布置(要求含灰水出口高度大于所配套使用的风机压头),因此可以利用水封代替机械式或电动锁气器,既简化了设备,又从根本上解决了在高负压下工作的除尘设备运行中排灰困难问题。该设

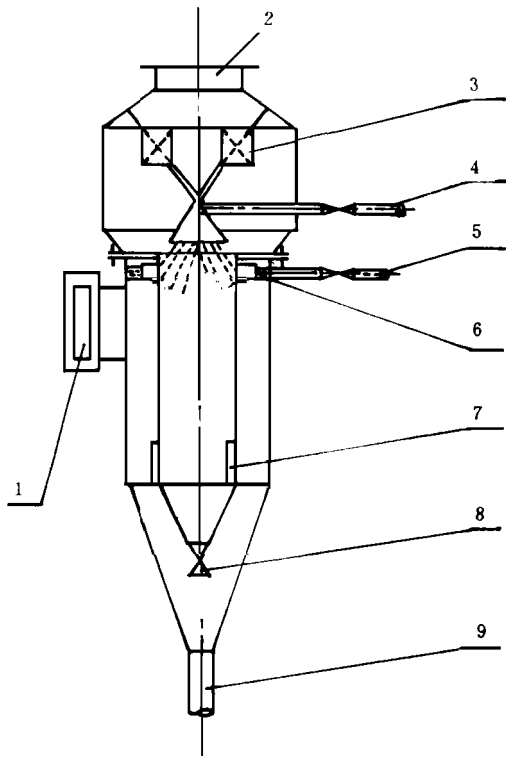


图 1 双水膜湿式除尘器示意图

1. 切向入口 2. 气体出口 3. 气、水分离器  
4. 内筒喷水管 5. 外筒进水管 6. 外筒溢水槽  
7. 内筒切向入口 8. 内筒锁气器 9. 含灰水出口

备的除尘效率高达 99.9%, 相当于布袋除尘器的效率, 阻力低于 1.5 kPa。有一些电厂由于原有吸灰管路较细, 改为离心风机负压吸尘系统有困难, 所以, 真空源仍需采用罗茨风机而除尘器则可以选择双水膜除尘器, 在选用此种除尘器时主要根据配套风机的流量选取。一般只要保证除尘器入口气流速度在 16~19 m/s 之间, 该设备均能达到设计效率。佳木斯发电厂选用该除尘器后, 罗茨风机已经安全运行 3.5 年, 牡丹江第二发电厂、哈尔滨发电厂等单位的罗茨风机配用该设备后, 运行效果也很理想, 双水膜湿式除尘器的价格比较便宜, 在处理气体量相同的情况下, 仅高于普通旋风除尘器 50% 左右; 相当于布袋式除尘器价格的三分之一。

## 2 系统的设计

### 2.1 设计的总原则

适当选择管道直径, 将系统阻力控制在 15~20 kPa 之间, 采用单级或双级一体离心风机为真空源, 配双水膜高效除尘器, 电机功率不应超过 55 kW, 系统总投资应在 15~20 万元之间。一般可二~三台机组合用一套风机和除尘器, 这样可以节省投资, 如黑龙江省大庆石油管理局自备电厂两台 200 MW 机组合用一套设备, 负压吸尘系统总预算为 16.24 万元 (1993 年价格, 包括设备、材料、设计、安装、调试等全部投资); 辽宁省大连化学工业公司热电厂三台 50 MW 的机组合用一套设备, 其系统总投资为 15.17 万元。现这些系统都已经投入正常运行效果很好。

### 2.2 系统的具体设计可参考以下数据

2.2.1 手提管 (与吸头联结管) 宜用  $\Phi 50$  mm 的铝合金薄壁管或厚镀锌铁板卷制管, 也可以用塑料软管代替, 但其耐热应大于  $80^{\circ}\text{C}$ , 抗压应大于 30 kPa, 长度在 1.3~1.6 m 之间。

2.2.2 联接软管 该管可用  $\Phi 50$  mm 螺纹塑料管或内带钢丝的橡胶软管, 塑料管比较轻但耐热性差, 而橡胶管重量较大但耐热性好, 在温度较高的炉顶等处使用时可用橡胶管, 在一般场所可用塑料管, 长度以不超过 10 m 为宜 (否则阻力太大)。

2.2.3 固定支管 可选用  $\Phi 133$  mm 的钢管, 该管通过斜焊在其上的管插头与联接软管相联, 管插头上装有自动堵板, 拔掉联接软管时, 堵板靠弹簧作用力和管内负压自动关闭, 以保证系统的严密性。固定支管的长度视炉型而定, 一般不超过 60 m。

2.2.4 固定干管 宜用  $\Phi 219$  mm 的钢管 (其中也可用一部分  $\Phi 159$  mm 的钢管), 在布置时可以在运转层以上 2~3 m 处架空, 围炉一圈作为环状水平干管, 炉子四角各立一根垂直干管直通炉顶, 并在各层走梯, 平台处分出支管; 也可以在炉顶、给煤层、运转层敷设三个环形干管, 由此分出支管 (分支管少的干管可用  $\Phi 159$  mm 的管子), 且用一支垂直干管将各环联接起来, 由最底层环形干管通往除尘器, 负压风机, 最后进入锅炉引风机前烟道。

2.2.5 选定系统的吸尘能力 (总吸风量) 它是管路阻力计算及除尘器、风机选择的依据, 为了照顾锅炉本体、制粉系统、输煤系统等通用性, 对于 200 MW 以下的机组总吸风量可选在 4000~5000  $\text{m}^3/\text{h}$  之间, 选定风量以后要初步拟定运行方式, 即同时工作的吸管数量及其位置; 单管运行的机率等, 以便分配风量。

2.2.6 阻力计算 应根据各段管径、管长和分配的风量,参照《锅炉空气动力计算标准》的方法,计算含尘气流的密度、沿程摩擦阻力、弯头、变径、分支等局部阻力,再加上吸头、除尘器等设备阻力(各阻力相加为总阻力),因系统处于常温下工作,自生吸力不必计算。

### 3 结论

燃用固体燃料的电厂其真空吸尘系统,采用离心式风机为真空源效果最好,与罗茨风机相比该风机具有电耗低、噪音小、运行可靠性高等优点。原无吸尘系统,准备新增设吸尘系统的电厂,应选用 55 kW 以下的离心风机并配高效除尘器;已经安装罗茨

风机的电厂,若管径允许可以更换离心风机,如管径较细可采用高效可靠的除尘器,以尽量延长风机叶片的寿命。

### 参 考 文 献

- 1 吕太.关于离心式风机应用于电厂环境除尘的研究与实践.东北电力学院学报,1994,(3)
- 2 吕太.双水膜式除尘器的应用研究.全国第二届环境污染治理技术经验交流会论文集,1992年10月武汉
- 3 徐学耘.华东地区燃煤电厂中真空吸尘装置的应用.华东电力,1993,(8)
- 4 王腾海.石横电厂飞灰处理系统存在问题的分析与对策.山东电力技术,1994,(4)

## 技术改造

## 消除主油泵跳动的措施

调节系统的许多缺陷是和系统的安装组合与调整不当有关,因此,严格工艺作风是调节系统检修人员必备的敬业素质。

C3-35/8型汽轮机感应机构是一个由汽轮机转子轴直接拖动的径向钻孔离心油泵,它的作用是感受汽轮机转速变化,发出一个调节脉冲信号并传递给放大机构。在该机组安装过程中,发现钻孔离心油泵跳动值达 0.5 mm 以上(技术指标 $\leq$ 0.05 mm),严重超标。如果不能很好地解决油泵跳动问题,一方面可能会使油封环磨损,间隙增大漏油增多,情况严重时使供油量(及供油压力)减少,调节系统动作滞后。另一方面会由于油泵超标跳动而导致振动、转速表接长轴折断以及油压波动、油泵发出虚假转速脉冲信号等,使调节系统工作失稳。

径向钻孔离心油泵可以简化地看作一根长度有限的台阶轴,以左螺纹与汽轮机转子相联接。为了排解油泵跳动原因,将油泵卸下,架在车床上,用百分表检查油泵并确认其本身不存在弯曲后,相继进行了以下两项作业,收到满意效果。

#### 1. 清除异物

卸下油泵,用钢丝刷蘸煤油清扫螺纹连接部位,必要时用刮刀修刮或剔除连接部位上的金属毛刺等异物,用干净的抹布擦净油泵基准平面,消除可能诱使油泵跳动的疑点,使油泵与汽轮机转子轴连接后“同心共面”,不受外来物影响。

#### 2. 消除凸点

a. 将油泵与汽轮机转子轴联接好,并将油泵分成若干等分(例如 8 等分),用百分表测量并记录油泵各等分部位上的跳动值及跳动方向。

b. 根据油泵跳动方向,确定油泵连接基准平面上凸点位置(或凸面范围及走势),用平面规的 40# 油石蘸饱透平油,轻轻着力打磨油泵基准平面上凸出部位,以消除(毛刺、肿块、卷边等)可能导致或影响油泵跳动的因素。应该强调说明的是,油石打磨基准平面的运动轨迹为“8”字形,以避免产生新的凹凸。

c. 用煤油将油泵清洗、擦拭干净,旋紧在汽轮机转子上,再次用百分表测量其跳动值和跳动方向,并对照前次记录,判明油泵跳动变化数值和走势,重新确定油泵连接基准平面的凸点部位、范围及走势,以及确定油石再次打磨的重点部位及磨削量。

油泵基准平面经过再次精心走“8”字形打磨之后,用煤油清洗干净,并与汽轮机转子轴旋紧,复测跳动值(正常情况,跳动值应逐渐缩小并保持原有跳动方向)及跳动方向。如此反复几次,油泵跳动值递减至满足技术要求。

我公司 C3-35/8 汽轮机径向钻孔离心油泵跳动问题,经上述处理,正常运行已三年多,未发现异常。经近期检查,其跳动值仍保持如前,一切正常。

(王金明 供稿)

Thermal Power Station. Acoust analysis is performed in comparison with a cyclone-furnace. **Key words** low-  
 ver stepped cycle, circulating fluidized bed, cost analysis

煤的太阳能干馏的可行性及干馏炉的设计探讨 = **The Feasibility of Destructive Distillation by the Use of So-  
 lar Energy and the Design Study of a Furnace of Destructive distillation** [刊, 中] / Wang Zhuliang ( Jiangsu Uni-  
 versity of Science & Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -19-  
 22

The author has proved that it is feasible to use solar energy as a high-temperature heat source for a destruct-  
 ive distillation furnace. Through a heat transfer analysis and comprehensive review the merits of a new type  
 of solar energy-based destructive distillation furnace are demonstrated with some issues to be solved during  
 practical applications also pinpointed. **Key words** solar energy, destruction distillation furnace, destructive  
 distillation

高温吸收式热泵的生态学准则优化 = **The Optimization of Ecological Criteria for High-temperature Absorp-  
 tion Heat pumps** [刊, 中] / Chen Tianze, Yan Zijun (Shamen University) // Journal of Engineering for Ther-  
 mal Energy & Power. -1997, 12(1). -23- 25

With an objective being the ecological criteria which enables the cycle heat supply rate and heat supply rate  
 dissipation attain an optimum compromise the paper presents the study results of the optimization of a high-  
 temperature absorption heat pump. Some new performance parameters of the heat pump are derived and sev-  
 eral interesting aspects of the issue discussed. The conclusions obtained can serve as a new theoretical guide  
 for the optimized design and the selection of optimum operating condition of the high-temperature triple heat  
 source heat pumps and heat engines. **Key words** finite time thermodynamics, high-temperature absorption  
 heat pump, ecological criteria, performance optimization

塔型飞灰浓缩器阻力特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Resistance Characteristics of a Tower-  
 type Fly ash Concentrator** [刊, 中] / Li Gongbo (Xi'an Thermotechnical Research Institute), Wen Long (Xi'  
 an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -26- 29

On the basis of the cold-state Model Test of a tower-type fly ash concentrator and an exploratory analysis of  
 the resistance variation relationship under various operating regimes and geometric parameter test conditions  
 as well as a multidimensional linear regression analytical calculation of a vast amount of test data, given in  
 this paper is a multidimensional regression formula for calculating the resistance of the tower-type fly ash  
 concentrator, thereby providing a technical basis for its design, evaluation and application in engineering  
 practice. **Key words** tower-type fly ash concentrator, resistance, characteristics, regression analysis

130 t/h 锅炉结渣及稳燃问题的研究 = **The Study and solution of a Slagging and Stable Combustion Problem  
 for a 130 t/h Boiler** [刊, 中] / Chen Gang, Qiu Jihua, Li Fojin, et al. (Central China University of Science &  
 Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -30- 32

The underlying causes leading to slagging and poor combustion stability of a 130 t/h boiler are analysed. Af-  
 ter a redesign and modification of its burners with the adoption of pulverized coal burners incorporating a  
 combustion stabilization cavity very good results have been attained. The combustion efficiency is enhanced  
 by 6% and the boiler can maintain a stable combustion when operating at 60% load without using oil. **Key  
 words** boiler, slagging, combustion stability, pulverized coal combustion, burner with a combustion stabi-  
 lization cavity

燃用固体燃料电厂环境负压吸尘系统的选择与设计 = **The Selection and Design of a Negative-Pressure Dust  
 Collecting System for a Solid Fuel-Fired Power Plant Environment** [刊, 中] / Liu tai, Hao Chunhai (Northeast

Electric Power Institute)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -33- 36

The use of negative-pressure dust collecting units in thermal power plants of China and existing problems related with its use are described. In addition, the authors dwell on the theoretical basis for employing centrifugal fans to provide a negative-pressure source for the dust collecting units and its effectiveness in practical use. Also described are the design specifications of the centrifugal fan-based dust collecting systems. **Key words** negative-pressure dust collecting system, centrifugal fan, Roots fan, dust collector

电站燃煤锅炉结渣特性的试验研究 = **An Experimental Study of the Slagging Characteristics of a Coal-fired Utility Boiler** [刊,中] / Zhao Liming ( Harbin Power Station Equipment Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -37- 40

Through the simulation of the actual boiler operating conditions by utilizing a pulverized coal combustion test stand to burn a coal sample on a trial basis conducted is a slagging test for the boiler of a power station 300 MW unit. A comprehensive slagging index  $R_2$  is proposed with the credibility of evaluation being enhanced, resulting in a more accurate prediction of the boiler actual slagging trend. **Key words** boiler, Slagging, prediction, test

船用燃机新型排气红外抑制系统的数值计算与实验研究 = **Numerical Calculation and Experimental Study of a Naval Gas Turbine Exhaust Infrared Signature Suppression Device** [刊,中] / Du Zhaohui, Zhong Fangyuan ( Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -41- 44

By taking the exhaust system infrared signature suppression device of a third generation naval gas turbine with multi-jet eduction and multi-layer film cooling as an example developed and completed is a numerical calculation method for simulating the air flow and temperature fields of the said suppression device. On the basis of analysing the measured data of the model the authors have proposed a method for correcting the effect of modelling scale, thus providing a theoretical basis for analysing the infrared signature suppression device of the exhaust system. **Key words** infrared signature suppression, modelling scale, exhaust system, gas turbine

UG-75/5.3-M型锅炉布风板阻力的试验研究 = **An Experimental Study of the Air Distribution Plate Resistance of a Model UG-75/5.3-M<sub>3</sub> Fluidized Bed Boiler** [刊,中] / Li Zhiwang ( Heilongjiang Provincial Electric Power Testing Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -45- 47

An analysis is performed of the mathematical model of air distribution plate resistance for a model UG-75/5.3-M<sub>3</sub> circulating fluidized bed boiler with the said plate resistance being tested. A regression was conducted by using the test results, and a calculation formula obtained for determining the variation of the air distribution plate resistance with air flow rate. The air distribution plate resistance factor obtained is designated as  $\alpha$ . Some reference data are provided for the operation of the boiler. **Key words** circulating fluidized bed, air distribution plate, resistance

湿蒸汽透平的汽水分离器的试验研究 = **An Experimental Study of the Steam-Water Separator of a Wet Steam Turbine** [刊,中] / Chen Qinglong et al. ( Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1997, 12(1). -48- 51

Presented in this paper are the experimental study results of an intermediary steam-water separator for a saturated-steam turbine. A type-selection test consists of a cold-state (air-water test) and a hot-state appraisal test, including a verification test first by simulation and then by a full-scale model. The optimum steam-water separator test model has been turned into a product. Its long-term safe and reliable operation has proved that the experimental study is a successful one. **Key words** test body, air-water test rig, steam-water test rig