

国外大容量锅炉风机

(译文集)

北京电力设计院主编

4-53

水利电力出版社

国外大容量锅炉风机

(译文集)

北京电力设计院主编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10 $\frac{1}{2}$ 印张 228千字

1979年11月第一版 1979年11月北京第一次印刷

印数 00001—4390册 每册 1.10元

书号 15143·3497

内 容 提 要

锅炉风机是火力发电厂的重要辅机。随着锅炉容量的增长,风机的容量也相应增加。提高风机的效率和安全可靠性,是加速电力工业发展的重要任务之一。本译文集着重介绍了目前国外大容量锅炉风机的技术发展动向、风机的选型及技术经济比较、风机的传动及调节方式、风机-风道的振动及其消除措施、风机的试验及提高安全可靠性措施、风机的噪声及其防治等有关文献资料,可供火力发电厂锅炉专业的设计、安装、运行等工程技术人员和大专院校师生参考。

编 者 的 话

本文集对目前国外火力发电厂大容量锅炉风机的技术发展动向、风机选型的技术经济比较、传动调节方式、噪声和烟风道振动的防治措施、风机的试验和鉴定等方面作了介绍，并从收集到的50余篇译文中选编了22篇（对某些译文作了适当的删节）。供从事火力发电厂锅炉专业设计、安装、运行的工程技术人员、工人及大专院校师生参阅。

参加本文集编写、翻译工作的单位有：南京工学院、重庆大学、水电部太原电力设计院、河南省电力设计院、北京电力设计院等。由北京电力设计院承担主编、校订工作。

由于我们水平有限，收集的资料也不够广泛，在编译、校订工作中必定有不少缺点和错误，希望批评指正。

编 者

1978年12月

目 录

编者的话

国外火力发电厂大容量锅炉风机的技术发展动向 …… (1)

一、前言 …… (1)

二、轴流风机和离心风机的技术经济比较 …… (4)

三、风机的传动和调节方式 …… (22)

四、风机的容量和台数的选择 …… (29)

五、风机-风道的振动和消除措施 …… (31)

六、风机的试验和提高可靠性的一些措施 …… (41)

七、风机噪声及防治措施 …… (45)

八、排粉风机和炉烟再循环风机 …… (49)

译文

1. 美国马丁溪电站 3 号、4 号 80 万千瓦机组采用
轴流式送、引风机的设计及运行经验 (摘译)

…………… C. C. 卡雷等 (51)

2. 节约能量的轴流风机 …… C. E. 华格纳等 (71)

3. 无不稳定运行区的新型轴流风机

…………… H. D. 亨斯勒 (81)

4. 离心风机的合理运行可节省电能消耗 (摘译)

…………… R. E. 培里 (97)

5. 轴流风机的设计和运行 …… P. 奥列森 (111)

6. 发电厂锅炉风机的选择 …… (120)

7. 可调转子叶片轴流风机的展望

…………… Y. 来斯克劳威特 (130)

8. 法国电力公司火力发电厂中的风机 (编译)
.....J. 高梯也等 (160)
 9. 新型可调转速传动装置离心风机系统
..... J. D. 柏克 特等 (177)
 10. 燃煤锅炉风机采用汽轮机驱动不断增长的趋势
.....L. H. 耐 获 斯 (188)
 11. 使用汽轮机驱动锅炉风机增加电厂出力
..... E. L. 威廉森等 (194)
 12. 离心风机及其风道的振动
..... C. H. 吉尔金 等 (218)
 13. 关于消除风机引起燃煤锅炉风道振动的经验
简介..... J. D. 罗杰斯等 (233)
 14. 轴流风机特性曲线的确定 (243)
 15. 可变节距轴流风机在美国发展的里程碑——
新的试验装置 (摘译) 沃基福 (250)
 16. 送风机噪声的防治对策 (摘译) 铃木昭次 (256)
 17. 送风机、鼓风机的噪声及其对策
..... 古山雪等 (274)
 18. 作为大型锅炉引风机的斜流式风机
..... A. H. 谢尔斯丘克 等 (293)
 19. 引风机叶片的耐磨合金堆焊
..... B. C. 波波 夫等 (300)
 20. 提高并列运行送风机的稳定性
..... B. A. 杜谢维 奇等 (305)
 21. 后弯叶片排粉风机的运行
..... B. A. 依林等 (310)
 22. 中速磨煤机排粉风机的改进
..... Г. B. 巴尔金等 (315)
-

国外火力发电厂大容量锅炉 风机的技术发展动向

一、前 言

当前，世界上电力工业的发展速度很快，一般来说，几个工业发达国家的电力工业的设备容量几乎每隔 8 ~ 10 年增加一倍以上。加速电力工业发展的主要措施之一是迅速增大主机组的单机容量和提高主、辅机的效率。

由于锅炉单机容量的迅速增长，锅炉的重要辅机——送、引风机的容量也相应地增加。大容量锅炉的送、引风机如果都采用电动机驱动，其所消耗的总电量约占机组发电量的 1.5 ~ 3%。随着燃料价格的上涨，许多国家的工程技术人员都在研究和试制高效率、低电耗的风机。在一些工业发达的国家，发电厂的机组带部分负荷的机会较多，尤其注意采取必要的措施来提高风机在低负荷运转时的效率。

锅炉的送、引风机及一次风机可分为轴流风机和离心风机两大类，轴流风机包括子午加速的混流风机。

离心风机具有悠久的制造和使用历史，目前不少国家仍普遍采用它作为锅炉用风机。这主要是因为它结构简单，运行可靠，效率较高，制造成本较低，噪声较小，抗磨蚀性较好。各国现代的离心风机普遍采用空心机翼形后弯叶片，效率可高达 85 ~ 92%（老式前弯叶片风机的效率只有 65 ~ 70%）。应该指出的是，空心机翼形叶片的离心式引风机，使用于燃烧煤粉的锅炉时，必须装设高效的电气除尘器。

一般，除尘效率要求高于99.0%，烟气中飞灰含量应小于0.137克/米³，机翼型叶片离心式引风机才能安全可靠地运行。如果除尘器效率不够高，烟气中含尘量较高，使用空心机翼型叶片风机时，叶片的前缘很快发生磨蚀损坏，这时，灰尘或水汽将通过磨穿的孔洞进入叶片内部，从而引起动不平衡，甚至会导致整个风机的损坏。并且，空心机翼型叶片损坏后的修理工作是相当困难的。因此，有些国家，如苏联的煤粉锅炉离心式引风机不推荐采用空心机翼型叶片风机，而采用较耐磨的钢板后弯叶片，估计可能是由于苏联的电气除尘器效率不够高的缘故；相反，欧美许多国家由于有效率很高的电气除尘器，在许多燃煤粉的大容量锅炉上仍采用高效率的机翼型叶片离心式引风机。

虽然，离心风机具有结构简单、噪声较小，较耐磨等优点，但是随着锅炉单机容量的急剧增长，离心风机的尺寸、重量都太大了，给制造、运输、安装、运行方面都带来了困难。实际上，目前离心风机的容量已经受到叶轮材料强度的限制（尽管有的国家已采用高强度合金钢代替一般的碳钢），不可能使风机的容量随锅炉容量大幅度地增加而相应地按比例增加，而只能靠增加风机的数量来适应锅炉容量的增长。例如美国的阿姆斯电厂的130万千瓦微正压锅炉就配置了3台离心式送风机；布尔伦电厂的95万千瓦和帕拉达斯电厂的65万千瓦的微正压锅炉配置4台离心式送风机；苏联的斯拉维扬斯克电厂的80万千瓦锅炉配置离心式送、引风机各6台。据美国资料介绍，大型离心风机的叶轮材料由于采用了合金钢，因为焊接问题引起叶片断裂或风机损坏的事故，常常发生。

目前，西德、法国、瑞典、丹麦等西欧国家在大容量锅

炉上，都广泛采用可变节距叶片的轴流风机（包括子午加速轴流风机）作为锅炉送、引风机。美国和日本在70年代初期也开始引进国外轴流风机的技术专利，发展本国的轴流风机系列，以适应大容量机组的需要。可变节距叶片轴流风机的设计制造技术的完善化，大大提高了其安全可靠性能。轴流风机具有结构紧凑、体积小、重量轻、低负荷时效率高、风机容量可以做得很大等优点。所以，世界各国的大容量锅炉采用轴流风机是目前发展的主要趋势。

大容量锅炉的风机驱动方式和调节方式，各国都倾向于用恒速异步电动机来驱动可变节距轴流风机，以改变动叶或静叶的开闭角度作为调节手段。美国认为在70万千瓦以上的大机组，采用汽轮机变速驱动风机更为经济。美国格林风机公司（Green Fan Co）和通用电气公司（GE）合作研制出一种绕线式同步电动机带有《克拉麦斯塔特》型可控硅调速装置来驱动机翼型离心风机。据该公司报导，这种组合装置的效率，不论是满负荷还是低负荷，都能胜过可变节距轴流风机。但是直到目前为止，尚未报导有具体的电厂采用这种组合装置。

大容量锅炉的送、引风机的噪声控制是各国越来越予以重视的问题。有的国家制订了噪声控制法律，如美国的《职业的安全与健康管理条例》（OSHA）规定了距离风机6英尺（1.83米）处测得的A声级噪声应低于85分贝。降低噪声的具体措施是在送风机吸入口处装设消声器和在风机外壳、烟风道上覆盖特制的隔声—绝热的覆盖层。

许多国家为保证风机制造的质量，投资建造大型风机的试验基地，对出厂的实际风机进行全转速、全负荷的试验鉴定及其它项目的试验，这是确保风机质量的一个极其有效的

措施。

二、轴流风机和离心风机的技术经济比较

在讨论这个问题之前，让我们简单地回顾一下锅炉用的轴流风机发展史，将有助于对轴流风机和离心风机的技术经济比较的认识。丹麦和西德两国早在30年代就开始试制锅炉送风用的轴流风机。可变节距叶片的轴流风机是40年代开始研制的新型锅炉用送风机。1948年，丹麦的诺狄斯克风机公司（Nordisk Ventilator Co）首先试制成功在运转中可以调节动叶片节距的伐列克斯（VARIAX）型轴流风机。50年代在欧洲广泛采用，至1976年该厂共生产了930台伐列克斯型轴流风机。随着锅炉容量的增长，该公司研制了轮毂直径为2240毫米的超大型伐列克斯型风机，供120~130万千瓦机组使用，丹麦诺狄斯克风机公司已成为世界上轴流风机先进技术输出公司。

西德从1949年起就在电厂锅炉上采用动叶可调或静叶可调的轴流风机作为送、引风机，到60年代几乎所有的大容量锅炉都采用轴流风机。

法国在60年代投产的20台25万千瓦机组中，有19台是采用动叶可变节距轴流风机。

日本的三菱和石川岛播磨公司从1965年以后也引进外国轴流风机先进技术，发展本国的轴流风机系列。目前，日本的60万千瓦以上机组均已采用动叶可变节距轴流风机。

美国和英国一直主张采用高效率机翼型叶片离心风机作为锅炉送、引风机。但到70年代初期，由于石油危机带来的燃料价格上涨、电厂机组带低负荷的机会增多、以及发展更大单机容量机组的需要，美国电力工业开始吸取西欧各国的

先进经验，转向采用动叶可变节距轴流风机。美国几家主要风机制造厂，如布法罗锻造公司（Buffalo Forge Co）、诺凡科风机有限公司（Novenco Fan Inc）、拔柏葛公司（Babcock-T&T）、西屋电气公司斯图特凡特分公司（Westinghouse Electric Corp's Sturtevant Div）等，先后引进国外轴流风机技术专利或自行研究设计制造轴流风机系列，并设立大型试验台，给予足够的投资，发展很快。诺凡科风机有限公司就是引进丹麦的诺狄斯克风机公司的伐列克斯型动叶可变节距轴流风机制造技术许可证，为美国首批80万千瓦锅炉机组配套送、引风机的。他们的首批轴流风机的转子仍由丹麦制造，并且做完试验后运到美国；静止部分在美国制造。据报导，从1974年到1975年，美国上述几家风机公司就接受了150多台轴流风机的订货，而且有继续增长的趋势。

苏联从60年代后期起，开始研制30~120万千瓦机组配套用的轴流风机系列。

可以这么说，世界上主要的工业发达国家已广泛地采用轴流风机作为锅炉的送、引风机，是目前占主流的发展趋势。然而，轴流风机的发展并不是一帆风顺的，在技术上也是经历由不完善到完善化的过程，尤其是动叶可变节距轴流风机，其结构比较复杂，转速较高，转动部件多，在使用初期曾发生过一系列故障，例如叶片裂纹与折断，叶片推力轴承损坏，调节机构卡涩失灵，主轴承寿命短等等。为了提高轴流风机的可靠性，许多国家对轴流风机的设计、结构和材料进行了全面的研究和改进，设立专门的试验台，对每个转动部件或其它重要部件逐个进行破坏性和非破坏性试验，加强风机出厂前的性能鉴定试验，从而大大提高了轴流风机的使用寿命和经济性。

国外大容量锅炉在风机选型上，曾从各种不同角度出发，对轴流风机和离心风机作过各种技术经济比较，最后都证明采用轴流风机是经济可靠的。归纳起来可以从下面七个方面进行比较：空气动力学特性方面；机械特性方面；可靠性和检修维护方面；运行费用、初投资方面；布置和体型尺寸方面；调节性能方面；噪声控制方面。

1.空气动力学特性方面的比较

两种类型风机的空气动力学特性的比较，主要反映在机组各种不同负荷情况下，风机的效率、轴功率以及所耗功率占机组发电量的百分数之间的对比。两种类型风机在设计负荷时的效率相差不大，轴流风机效率最高达90%，机翼型叶片离心风机效率可达92.8%。但是，当机组带低负荷时，两种类型风机的效率就相差很大，动叶可变节距轴流风机的效率要比具有入口导向装置的离心风机高许多。表1列出了日

表 1 日本22万和37.5万千瓦微正压锅炉送风机选型比较

性能对比		机 组 容 量		22 万 千 瓦		37.5 万 千 瓦①	
		风 机 类 型		轴 流 式	离 心 式	轴 流 式	离 心 式
风 量 (米 ³ /分)				7400	7400	11380	11380
风 压 (毫米水柱)				780	780	875	875
转 速 (转/分)				1750	1150	1750	1160
轴 功 率 (千瓦)				1060	1100	1815	1858
电动机功率 (千瓦)				—	—	2000	2100
风 机 效 率 (%)	机组负荷:100%			86	84	86	84
	81%			83.5	69	—	—
	54%			71	28	—	—
	50%			—	—	70	25

① 37.5万千瓦机组为日本知多火力发电厂1号机组。

本22万千瓦和37.5万千瓦机组，两种风机在各种负荷下风机效率的对比。由表 1 可见，当机组负荷为100%时,轴流风机和离心风机的效率分别为86%和84%，当机组负荷降到54~50%时，轴流风机的效率将比离心风机高2.53~2.81倍。

表 2 为美国制造轴流风机的布法罗锻造公司提出的对于一台典型的燃用煤粉的60万千瓦机组，采用送风机、引风机和一次风机各 2 台，负荷分别为100%、88%和44%时,两种风机选型的对比计算结果。由表2可以看出,当负荷为100%、

表 2 美国60万千瓦负压燃煤锅炉风机选型的比较

性能对比		风机类型	轴流风机①			离心风机②		
		机组负荷率						
			100%	88%	44%	100%	88%	44%
送风2台 (每炉)	风量(米 ³ /秒)		254	222	147	254	222	147
	风压(毫米水柱)		463	354	239	463	354	239
	轴功率(千瓦)		1318	927	517	1782	1427	1087
引风2台 (每炉)	风量(米 ³ /秒)		518	454	272	518	454	272
	风压(毫米水柱)		361	300	156	361	300	156
	轴功率(千瓦)		2418	1848	769	3108	2521	1234
一次风2台 (每炉)	风量(米 ³ /秒)		84	80	57	84	80	57
	风压(毫米水柱)		1483	1336	1224	1483	1336	1224
	轴功率(千瓦)		1389	1196	738	1608	1526	1106
6台风机功率的总和(千瓦)			10250	7942	4048	12996	10948	6854
风机总功率占机组发电量的比率			1.71	1.50	1.53	2.17	2.07	2.58
采用轴流风机所节约的总功率(千瓦)			2746	3006	2806	—	—	—

① 均为动叶可变节距的轴流风机。
② 送风机和一次风机为机翼型叶片离心风机 + 进口导向装置调节，引风机为机翼型叶片离心风机 + 液压联轴节。

88%和44%时， 6 台离心风机所耗总轴功率分别为 6 台轴流风机总轴功率的127%、 138%和169%。

表 3 为法国25万千瓦锅炉两种类型引风机运行统计数据的对比。由表 3 可以看出，两台同容量机组采用不同类型的引风机，在三年运行期间，轴流风机的耗电量约为离心风机的80%。

表 3 法国电力公司25万千瓦锅炉两种类型引风机
 三年运行期间耗电量的统计对比

性能对比 \ 风机型式	离心式	轴流式
风量(米 ³ /秒)	188	186
风压(毫米水柱)	418	415
三年内机组发电量(千度)	4041858	3388122
三年内引风机耗电量(千度)	24743	16648
耗电量/发电量(%)	0.61	0.49

从表 1～表 3 可以清楚地看出，轴流风机在主机组带部分负荷时的效率大大超过离心风机。当燃料价格较高，大容量机组又可能较长时间带低负荷的情况下，选用动叶可变节距的轴流风机的经济性是很明显的。

两种类型风机空气动力学特性比较的另一个重要方面，是风机对烟风道系统风量、压头变化的适应性。目前烟风道系统的阻力计算还不能做到很精确，尤其是锅炉烟道侧运行后的实际阻力与计算值误差较大；在实际运行中，由于燃料品种的变化也会引起所需要的风机风量和压头的变化；由于大气污染控制方面的要求，需要改装锅炉的除尘器或增设烟

气除硫装置时，烟道的阻力将发生较大的变化。这时，对于离心式风机来说，在设计时要选择合适的风机来适应上述各种变化是困难的。如果考虑了上述几种流量和压头变化的可能性，使离心风机的裕量选得过大，会造成在正常运行时风机效率要显著地下降；如果风机的裕量选得偏小，一旦情况变化后，可能会使机组达不到额定出力。当发生上述两种情况时，欲使风机经济合理地运行，要么旋小叶轮直径；要么接长叶片或更换风机叶轮来弥补，甚至还需要更换电动机。然而，不管采取那种弥补办法都会使风机效率显著降低，而且要花费许多人力、物力。而轴流风机与此成鲜明的对照，它对风量、风压的适应性却很大，尤其是采用动叶可变节距的轴流风机时，可以用关小或开大动叶的角度来适应变化的工况，而对风机的效率影响却很小。例如美国马丁溪电厂的80万千瓦负压燃烧的锅炉机组在设计过程中，由于控制大气污染的需要，预留了加装烟气除硫装置的可能，要求引风机也预留250毫米水柱的压头余量。如果采用离心风机方案，则在将来加装烟气除硫装置时，需要更换风机转子和电动机，或者另外再增加烟气增压风机等。如果选用动叶可变节距的轴流风机，既可以预先留有加装烟气除硫装置所需的压头余量，又可考虑机组带低负荷能较长时间经济运行。按这样原则选用的轴流风机在未装设烟气除硫装置前，只需在运行中限制动叶的开启角度（调正叶片节距），而在装设烟气除硫装置之后，只需打开动叶的开启角度，以适应变化了的工况。这种选择方案，前后效率相差不大，却可以省去许多麻烦的更换工作，而且在低负荷运行时经济性也很好。

2. 机械特性方面的比较

两种类型的风机在机械特性方面的比较，主要反映在风

机的总重量（包括电动机的重量），基础重量，风机的飞轮效应以及制造工艺要求上，并且最终体现在造价上。

表 4 为美国布法罗锻造公司提出的典型60万千瓦负压燃煤锅炉两种类型风机选型上，其风机总重量、基础重量及飞轮效应方面的比较。从表 4 可以看出，采用轴流风机方案不但能节约133.4吨的设备重量,而且可以使得风机和电动机的支撑结构较轻，而且还可节约基础重量约达400吨。

从表 4 中还可以明显地看到，轴流风机有低的飞轮效应 WK^2 值，这是由于轴流风机允许采用较高的转速和较高的流量系数，所以在相同的风量、风压参数下，轴流风机的转子重量较轻，即飞轮效应值较小，使得轴流风机的启动力矩

表 4 美国布法罗锻造公司60万千瓦负压燃煤锅炉风机总重量、基础重量和飞轮效应的比较

风 机 类 型		轴 流 风 机	离 心 风 机
比 较 项 目			
每台风机重量(吨)	送 风 机	17.8	47.9
	引 风 机	51.3	86.3
	一次风机	12.7	10.0
每台电动机重量(吨)	送 风 机	8.4	11.8
	引 风 机	13.6	14.5
	一次风机	6.0	6.0
飞轮效应 WK^2 (公斤-米 ²)	送 风 机	720	9000
	引 风 机	5200	24000
	一次风机	760	400
6 台风机(包括电动机)总重量(吨)		219.6	353
基础总重量 ^① (吨)		658.8	1059

① 假定基础重量为机械重量的 3 倍。

大大地小于离心风机的启动力矩。一般，轴流式送、引风机的启动力矩只有离心式送、引风机启动力矩的14.2~27.8%，因而显著地减少电动机功率裕量和对电动机启动特性的要求，降低电动机的造价。相反，离心风机由于受到材料强度的限制，叶轮的圆周速度也受到限制，转速低，使得离心风机的转子大而重，飞轮效应显著增大，会给风机的启动带来困难，电动机的功率要选得比正常条件下所需的功率大许多，正常运转时，电动机又经常欠负载运行，这就会增加电动机的造价，降低电动机的效率。

另外，从表4中还可以看出，对于一次风机来说，采用离心风机较为合适。

表5为日本知多火力发电厂37.5万千瓦机组两种类型送风机重量的比较。由表5可知，轴流风机的总重量（包括电动机）约为离心风机重量的64.5%。美国曾提出过两种类型风机总重量的相对关系，假定轴流式送风机总重量为1，则离心式送风机为1.37，轴流式引风机为1.85，离心式引风机为3。

轴流风机的转子重量轻是一个优点，但是在结构上比起

表 5 日本知多火力发电厂37.5万千瓦微正压锅炉
 两种类型送风机重量的比较

对 比 项 目 \ 风 机 类 型	轴 流 风 机	离 心 风 机
风机重量(吨)	8.5	16
电动机重量(吨)	7.0	8
合 计(吨)	15.5	24