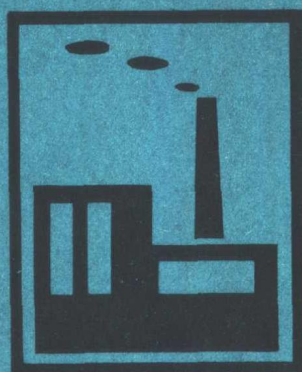


风扇磨煤机及其 易磨损件 论文选集

水利电力部科学技术司

水利电力部电力生产司

水利电力部机械修造局



7.1

《水利电力机械》编辑部

欢迎订阅

《水利电力机械》

本刊是经国家科委批准国内发行的综合性技术刊物。主要面向水利电力系统的企业、科研、设计、施工单位及大专院校，也兼顾外系统机械行业。本刊坚持政策性、学术性、信息性和实用性，为各单位总结经验、交流技术、传递信息、发展生产和促进科学技术进步服务。

本刊重点报导电力机械、水利机械和施工机械等的科研、设计、制造、使用和维修的技术和信息，也交流体制改革、经营管理和指导生产的经验。为此本刊开辟了“设计计算”、“试验研究”、“制造工艺”、“使用维修”、“计算机应用”、“现场经验”、“专题述评”、“技术讲座”、“问题解答”、“工作研究”、“科学管理”、“标准化”、“国内技术信息”、“国外科技动态”、“技术市场”、“专利咨询”等栏目，还在中国金属学会协助下辟有“磨损与防磨”专栏。欢迎科技人员、管理干部和工人师傅踊跃投稿。

本刊是从事电力机械、水利机械、施工机械等设计、科研、教学、制造、使用和维修的各单位科技人员、管理干部和生产工人学习技术的园地，取得信息的窗口，转让技术的桥梁，指导工作的益友。欢迎您订阅《水利电力机械》。

订阅办法：（1）本刊为双月刊，每期定价0.50元。全年3元。（2）本刊自办发行，订单函索即寄。（3）单位订阅请由银行汇款至《水利电力机械》编辑部。开户银行：郑州工商行五里堡办事处，帐号：088943。（4）个人订阅请由邮局汇款至郑州市陇海西路57号《水利电力机械》编辑部。（5）请务必将订单填写清楚。第三联订户留作报销凭证（不另开收据），第一、二联请和汇款同时寄回本刊编辑部。

《水利电力机械》编辑部

目 录

火电厂风扇磨冲击板对比试验总结交流会会议纪要	(1)
风扇磨煤机冲击板工业对比试验总结	水电部风扇磨冲击板试验协调小组 (3)
火电厂磨煤机及其易磨损件	张增荣 (13)
国外风扇磨煤机概况	梁 木 (21)
磨料磨损的基础与发展	邵荷生 (28)
磨煤机易磨件材料的选用	王兆昌 (40)
国内外粒子冲击磨损概况	安志义 曲敬信等 (45)
风扇磨煤机冲击板磨损表面的微观分析	邓海金 周长荣等 (51)
风扇磨煤机冲击板磨损特性分析	魏维桐 (57)
高铬铸铁风扇磨冲击板磨损面的微观分析	周庆德 王小同 (63)
风扇磨煤机冲击板防磨探索	宋琳生 (66)
高铬白口铸铁与低碳钢双金属复合冲击板的研制与应用	吴益余 曹凤惠等 (73)
双金属浇铸复合冲击板的试验研究	西安电力机械厂 西安交通大学等 (78)
风扇磨镶铸冲击板的研制	任建明 邓海金等 (83)
低合金高强度耐磨铸钢Z G 30C rMnS iT i的研究	杨瑞林 李力军 (88)
表面合金化复合材质冲击板的研究和试制	曲敬信 姚源彬等 (94)
高碳中锰奥氏体耐磨钢的试验研究	南京工学院 扬州电力修造厂 (102)
奥氏体锰钢制作风扇磨煤机打击板的试验研究	吉林工业大学 长春发电设备修造厂 (107)
铈在中锰奥氏体钢内提高耐磨性能的研究	张敬澈 (114)
影响风扇磨磨损因素的试验与分析	略阳发电厂 西安电力机械厂 (117)
Z G 2Mn10Ti组织结构的分析与研究	安志义 夏有强等 (124)
风扇磨煤机冲击板磨损方式分析	周长荣 邓海金 (132)
风扇磨煤机护勾、护甲磨损失效机理分析	程必国 (139)
S 36·50型风扇磨煤机制粉系统的维护及改造	栾德贵 (145)
西德E V T公司所设计的大型风扇磨的制造及在发电厂的维修	张增荣 (155)
煤的磨损特性及磨煤机选型	肖文泽 (158)

火电厂风扇磨冲击板

对比试验总结交流会会议纪要

水利电力部科学技术司、电力生产司和机械制造局于一九八五年十一月三日至五日在华东电管局安徽三二五电厂召开了“火电厂风扇磨冲击板对比试验总结交流会”。有网局、省局、发电厂、修造厂及科研单位和大专院校等四十一个单位六十四位代表参加了会议。

会议听取了山西侯马发电厂、三二五电厂和西安热工研究所的对比试验总结。交流了各地的研究、制造、运行的经验以及目前存在的问题，提出了今后的发展方向和攻关课题。

会议特邀冶金部北京钢铁研究总院和清华大学、大连工学院等单位的专家、教授到会做了学术报告。

会议开得生动活泼，会上会下广泛交流情况，提出许多攻关课题，达到了会议预期的目的。

一

根据水电部“印发《火电厂风扇磨冲击板和球磨机小磨球对比试验会议纪要》的通知”精神，在山西省电力工业局和华东电业管理局的组织领导下，由山西省侯马发电厂和三二五电厂承担风扇磨冲击板的对比试验工作。侯马发电厂风扇磨叶轮直径为一米六，冲击板长六百毫米。三二五电厂风扇磨叶轮直径为一米六，冲击板长五百毫米。从一九八三年十一月开始，历时近两年，在一九八五年八月完成了对比试验任务。侯马电厂采用灵石煤，三二五厂采用淮北煤，共试验七种冲击板，计一百四十件。对比试验内容主要有运行小时、磨每吨煤金属消耗量、磨每吨煤所需资金等。

上海电力修造厂所产高铬铸铁双金属复合浇铸冲击板在侯马发电厂运行小时为1520小时，以金属利用率46%计，所需资金为磨每吨煤0.125元。在三二五电厂运行2433小时，以金属利用率45%计，所需资金为磨每吨煤0.08元。

电厂测定了大量的数据，为了使这些数据准确，电厂的同志做了大量的工作。与会代表认为，所取得的数据是可信的，这次对比试验是有成效的。代表们参观了三二五电厂留存的磨损后的试验冲击板残体，对于磨损机理的进一步探讨，提供了很好的机会。

二

本着总结经验，相互学习，共同提高的精神，经过充分讨论，一致认为：

1. 双金属复合浇注和双金属复合镶铸冲击板是利用高耐磨的高铬白口铁为耐磨材质，以韧性较高的低碳钢或低合金钢为基材复合而成。在对比试验中较其它材质的冲击板表现出高的耐磨性和较好的经济效益。在材质的选择和工艺上均有一定的突破。可在叶轮直径为一米六的风扇磨煤机上推广应用。今后应在降低成本和提高工艺水平、稳定产品质量等方面进一步做工作。

建议双金属镶铸冲击板先在大型风扇磨煤机上扩大试验。

2. 高锰钢合金化冲击板使用寿命有一定的提高。这主要是在ZGMn13中加入钒、钛、钼等元素后，在奥氏体上分布了大量弥散的高硬质点所致。可在叶轮直径大于一米六的风扇磨煤机上推广应用。今后应在提高铸件质量和正确热处理上进行研究。

3. 中锰钢和低合金钢的冲击板应进一步深入研制试验，尤其是要借鉴国内外的新技术。这些材质是有前途的。

三

通过这次对比试验，与会代表对风扇磨煤机易磨损件的下一步工作，提出了下列建议：

1. 风扇磨煤机冲击板的磨损机理及失效方式还需深入进行研究和探讨。
2. 这次提供对比试验的材质，还不是尽善尽美的，仍需进一步研制新材质、新工艺，以适应电力工业的发展需要。
3. 目前还缺乏对风扇磨煤机防磨的综合研究。如冲击板同护勾、护甲的匹配问题；冲击板的安装角度问题；风扇磨外壳型线的改进等等。同时还要从电厂的运行、检修、管理上总结经验。
4. 随着大容量机组的投产，大型风扇磨煤机将逐年增加。因此开展对大型风扇磨煤机的易磨损件的研制工作急需从速开展，各网局、省局应引起高度的重视。
5. 为了总结前一段的工作，交流经验，请郑州机械设计研究所编辑出版《风扇磨煤机及其易磨损件论文选集》。

四

风扇磨煤机是火电厂燃用褐煤以及磨损指数小于3.5的烟煤的理想高速制粉设备。同其他磨型比较具有投资少、占地面积小、耗电低、费用省、操作灵活、维修方便等一系列优点。从节约能源、降低成本，提高经济效益考虑，在煤质条件允许时，应提倡选用风扇磨。

据一九八四年底不完全统计，全国有风扇磨煤机二百八十八台，每年磨煤量约为三千万吨，冲击板、护甲、护勾、叶轮年消耗量约为四千万吨。若使用寿命提高一倍，每年可节约五百万元，可节约钢铁材料两千万吨，经济效益是十分可观的。这一点应引起各网局、省局、发电厂、修造厂、科研单位的高度重视。

在制订一九八六年科研项目和新产品试制项目以及技术改造项目时，请各网局、省局、发电厂、修造厂、科研单位等把火电厂易磨损件做为攻关课题列入计划。望共同努力，扎扎实实地进行工作。为提高电站的安全经济运行，为电力工业的发展，为四化建设作出贡献。

风扇磨煤机冲击板工业对比试验总结

水电部风扇磨冲击板试验协调小组

风扇式磨煤机（简称风扇磨）是火力发电厂主要制粉设备之一，冲击板、护勾和护甲是这种设备的主要易损件。长期以来，由于其耐磨性差，使用寿命短，不仅造成金属材料的大量损耗，而且检修频繁，安全性差，至1984年底，全国有风扇磨288台，最大出力为75吨/时，而冲击板使用寿命有的则低到290小时。据不完全统计，每年消耗冲击板、护勾、护甲、叶轮约四千多吨。因此，提高冲击板等易损件的耐磨性，延长其使用寿命有着极大的技术经济意义，是风扇磨使用、制造以及设计、研究部门的一项重要任务。

运行实践表明，冲击板的使用寿命因煤质、运行工况、设备结构不同，因此给冲击板材料的评价和研究带来困难。1983年5月，水利电力部生产司和机械制造局，以（83）生技字第79号和（83）机技字第50号文，决定进行“火电厂风扇磨冲击板和球磨机小磨球对比试验”工作。在同一条件下对不同材料冲击板进行全面技术经济考核。试验分别在山西侯马电厂和安徽325电厂进行，从1983年11月开始，经过近二年时间，于1985年8月完成全部试验任务，共试验不同材质冲击板7种140块。试验中，测定了每种材质冲击板的总磨损量、磨损速率、磨煤金属单耗、平均磨煤电耗、磨煤材料费用单耗等技术经济指标，记载了试验过程中锅炉运行状况、负荷特性、煤质特性和煤粉细度，对磨损形貌进行了宏观分析，测定了磨损表面硬度及不同部位的磨损速率。通过这次试验，对电力部门多年来在风扇磨易磨损件上的研究工作是一次科学验证，总结了经验，指出了方向。同时，对于从理论上深入探讨撞击条件下的磨损机理和耐磨合金研究也有着重要参考价值。

一、试验基本概况

1、试验设备及研磨煤种的主要技术参数
山西侯马电厂现装机10万千瓦，四台130吨/时锅炉共配有 $\phi 1600 \times 600$ 型风扇磨12台，每台炉满负荷运行时，两台磨运行，一台备用。安徽325电厂锅炉容量130吨/时，四台风扇磨经常是三台运行，一台备用。两厂试验用风扇磨技术参数见表1。

表1 试验风扇磨技术参数

技术参数	侯马电厂	325电厂
型 号	$\phi 1600 \times 600$	K S G - 9
叶轮直径（毫米）	1600	1000
叶轮转速（转/分）	950	985
最大出力（吨/时）	16	9
平均出力（吨/时）	9	4.68 - 6.55

试验用煤，侯马电厂为山西灵石煤，325电厂为淮北煤。在每种冲击板试验期间，对煤粉细度、煤的成份都进行了分析，见表2。可磨度由于条件所限，各厂只抽样分析了一次，侯马电厂为 $K_{km} = 97$ ，325电厂为 $K_{km} = 87$ 。

2、试验冲击板的材质特性

7种试验冲击板材质的化学成份见表3，金相组织和机械性能见表4。

表中化学成份为冲击板工作面材质的元素分析。抗拉强度、硬度、韧性、金相组织同样为工作的材质技术参数。

3、试验方法和有关规定

为保证试验条件的稳定和结果的准确，对试验作了以下规定：

①同一种材质冲击板提供两套共22块，分别在侯马电厂和325电厂装机运行。

②试验期间以平煤仓方法进行三次磨煤机出力测定。

表 2

每种冲击板试验时煤质特性

试验材质及 提供单位	试验 电厂	煤 质 特 性						煤粉细度		
		W_{w2}^I	W_{d2}^I	W^I	A^I	V^I	C^I	Q_D	K_{70}	R_{30}
上海电力修造总厂	325 厂	7.5		1.30	28.9	22.9	54.0	5240		
双金属复合	侯马厂	6.13	5.57	0.58	25.53	15.96	57.93	5542	15.2	0.77
北京发电设备修造厂	325 厂	7.0		1.31	28.1	22.6	54.6	5326		
30SiMnCrMoV	侯马厂	6.47	6.00	0.5	22.3	15.7	61.5	5250	23	2
上海电力学院	325 厂	7.0		1.26	26.3	21.0	56.9	5505		
双金属复合	侯马厂	5.38	5.80	0.46	25.19	15.5	58.8	5579	25.1	3.4
安徽电力修造厂	325 厂	6.0		1.27	27.3	22.2	55.7	5424		
ZGMn13VTiMo	侯马厂	4.84	0.48	5.29	23.95	16	59.65	5779	15.9	0.9
长春发电设备修造厂	325 厂	5.7		1.28	27.3	22.7	55.3	5476		
ZGMn6Cr2	侯马厂	6.21	0.68	6.86	26.28	16.82	56.2	5388	18.21	1.24
江西电力修造厂	325 厂	6.1		1.24	26.3	21.3	56.9	5554		
ZGMn13	侯马厂	5.98	5.3	0.68	25.23	16.65	56.69	5337	13	0.15
山西电力局、清华大学	325 厂	7.2		1.18	25.9	21.8	57.2	5490		
复合镶铸	侯马厂	5.98	5.3	0.68	25.23	16.65	56.51	5737	15	0.2

表 3

试验冲击板主要化学成份

制 造 单 位	材 质 名 称	化 学 成 份 (%)											
		C	Mn	Si	Cr	S	R	Cu	Mo	V	Ti	Re	Pb
上海电力修造厂	双金属复合浇注	3.19	0.60	0.76	15.5	0.026	0.043	0.9	2.74	1.07		微	
上海电力学院		3.10			14.6				1.92		0.56		
山西局、清华大学	复合镶铸	3.4			14.7	0.008	0.008				0.105		
安徽电力修造厂	ZGMn13VTiMo	1.35	14	0.8		0.05	0.08			0.40	0.12		
江西电力修造厂	ZGMn13	1.27	11.5	0.69			0.065						
北京发电设备修造厂	精铸30SiMnCrMoV	0.28	1.4	1.15	1.34	0.04	0.008		0.52	0.19			
长春发电设备修造厂	ZGMn6Cr2	1.44	6.1	0.41	1.82	0.205	0.044				0.19		0.021

表 4

试验冲击板机械性能及金相组织

制 造 单 位	抗拉强度(MPa)	硬度(HRC)	冲击韧性(J/cm ²)	金相组织
上海电力修造总厂		63—65		马氏体+(FeCr) ₇ C ₃
上海电力学院		61—62	4.4 (无缺口)	马氏体+(FeCr) ₇ C ₃
山西电力局、清华大学		60—67	基材30CrMnSiTi-17	高铬铁 马氏体+(FeCr) ₇ C ₃ 30CrMnSiTi板条马氏体
安徽电力修造厂	740	HB 224	75 (有缺口)	奥氏体+粒状碳化物
江西电力修造厂	>650			奥氏体
北京发电设备修造厂	1660	48—50	21.3—25 (无缺口)	板条马氏体
长春发电设备修造厂	580	HB 215—225	25—43	奥氏体+分散碳化物

③每运行350小时打开磨煤机观察冲击板磨损情况,预防事故。750小时后更换护勾护甲,必要时进行叶轮补焊。

④每种冲击板试验前后称重,并拍照宏观磨损形貌。保存一块磨损残体以备安排分析项目。

二、试验结果

325电厂试验于1983年10月24日开始,85年7月8日结束。侯马电厂试验为1983年12月29日开始,1985年7月12日结束。两厂试验原始结果汇总见表5,运行后冲击板磨损形貌见附图。

汇总表中净装机量为一套(10块)冲击板试验前总重量,试验结束后再全部称重,求出净磨耗量。我们认为,试验运行小时不能真实

反映各冲击板实际寿命,根据两厂多年运行经验,以10块板总磨耗230公斤(约占冲击板原重46%左右,因为各冲击板原始重量有差别,未按各板金属利用率46%计算)与磨损速率之比,定为各板寿命,以“计算寿命”表示。

各种冲击板的磨煤金属单耗、磨损速率、使用寿命、磨煤经济效益比较后,有表5表6规律。

由表5表6可见:

①磨煤金属单耗:以上海电力修造总厂双金属复合冲击板最低,在325电厂为9.4克/吨煤,在侯马电厂为14.5克/吨煤。金属单耗最大的为ZGMn13,在325电厂为42.3克/吨煤,在侯马电厂为30.98克/吨煤,分别是ZGMn13的1.36倍和1.09倍。

表 5

磨煤金属单耗和磨损速率规律

制 造 单 位	磨煤金属单耗 (克/吨)				磨损速率 (克/时)			
	325电厂	与ZGMn13 相比较	侯马电厂	与ZGMn13 相比较	325电厂	与ZGMn13 相比较	侯马电厂	与ZGMn13 相比较
上海电力修造总厂	9.4	29 (%)	14.5	51 (%)	50	33 (%)	135.7	55 (%)
上海电力学院	14.1	44 "	16.85	59 "	75	55 "	160.89	65 "
山西省电力局、清华大学	23.4	73 "	18.1	64 "	107	71 "	166.8	67 "
安徽电力修造厂	22.7	70 "	24	85 "	149	99 "	225.0	91 "
江西电力修造厂	32	100 "	28.09	100 "	150	100 "	246.7	100 "
北京发电设备修造厂	33.3	104 "	29.4	104 "	160	106 "	273	110 "
长春发电设备修造厂	42.3	132 "	30.98	110 "	204	136 "	269	109 "

表 6

使用寿命和磨煤经济效益比较

制 造 单 位	使用寿命 (时)				磨煤经济效益 (元/吨煤)			
	325电厂	与ZGMn13 比较	侯马电厂	与ZGMn13 比较	325电厂	实际费用	侯马电厂	实际费用
上海电力修造总厂	4600	3 倍	1695	1.8 倍	0.038	0.08	0.058	0.125
上海电力学院	3066	2 "	1430	1.5 "	0.056	0.13	0.067	0.146
山西省电力局、清华大学	2149	1.4 "	1379	1.48 "	0.058	0.12	0.045	0.094
安徽电力修造厂	1543	1.01 "	1022	1.1 "	0.057	0.13	0.060	0.138
江西电力修造厂	1533	1 "	930	1 "	0.058	0.13	0.050	0.116
北京发电设备修造厂	1437	0.93 "	842	0.9 "	0.083	0.19	0.073	0.154
长春发电设备修造厂	1132	0.73 "	855	0.91 "	0.106	0.24	0.077	0.165

②金属磨损速率：上海电力修造总厂复合冲击板最小，在325电厂为50克/时，在侯马电厂为135.7克/时，与相同工况下的ZGMn13相比，磨损速率分别降低67%和45%。磨损速率最大的是ZGMn6Cr2（在325电厂）和精铸30SiMnCrMoV（在侯马电厂）。

③使用寿命：上海电力修造总厂复合冲击板在325电厂计算寿命为4600小时，在侯马电厂为1695小时，为ZGMn13的3倍和1.8倍。

④磨煤经济效益：在325电厂，磨煤经济效益最高的是上海修造厂复合冲击板，吨煤消耗材料费0.038元，与ZGMn13相比，磨一吨煤可节约材料费0.020元。在侯马电厂，效益最好的为山西电力局、清华大学的复合镶铸冲击板，磨一吨煤比ZGMn13节约材料费0.005元。

由对比试验结果可见，冲击板的金属利用率受到的影响较多，与设备结构，运行条件，磨损均匀性都有关，不好作为材质的技术评定指标。如上海修造总厂复合冲击板对比试验后，在325电厂利用率为27.1%，在侯马电厂为41.9%，同一材料相差14.8%。

磨煤电耗作为冲击板材质的技术指标也是比较复杂的问题。平均磨煤电耗是指磨一吨规定细度的煤粉所需的电能，所以它与煤的可磨性、细度指标、煤的统计量准确性等很多因素有关。这次试验，安徽电力修造厂ZGMn13VTiMo冲击板电耗最低，但如何解释，尚缺乏可靠的数据。

三、新工艺冲击板试验情况

对比试验表明，采用高铬白口铁作为抗磨材质，以ZG25和30CrMnSiTi作为基材，复合浇注和复合镶铸的冲击板，较其它材质的冲击板相比，表现出高的耐磨性和高的经济效益。其使用寿命分别达到1695~4600小时和1379~2149小时，是ZGMn13的1.5~3倍。磨制每吨煤，可节约材料费用0.005~0.02元/吨。

高铬白口铁是一种耐磨合金铸铁，它具有很高的抗磨粒磨损的性能，相当的韧性，较高的抗腐蚀性，而且经退火处理后能够被切削加工，因此在国外已得到越来越广泛的应用。

高铬白口铁所以具有优越的性能，高的含铬量起了主要作用。当含铬量大约超过10%时，形成的碳化物便成为 $(Cr, Fe)_7C_3$ 型。而 $(Cr, Fe)_7C_3$ 的显微硬度为HV1300~1800，一般工业生产过程所发生的磨料磨损中遇到的最硬、最普遍的磨料为石英，它的显微硬度大约为HV900~1280，因此高铬铁比一般低铬白铁有高的抗磨料磨损的性能。

高铬铸铁中，铬是主要合金元素，为了保证碳化物全部为 $(Cr, Fe)_7C_3$ 型，含铬量应在12%以上。此外铬量的多少还与铁素体的淬透性有关。钼是显著提高高铬铸铁淬透性的元素，而且铬碳比愈高，钼的效果就愈大。另外在含钼高铬铸铁中再加入适量的铜或镍，则可以显著的提高淬透性。高铬铸铁，经过合理的热处理工艺，可以满足抗磨料磨损的需要。但是，高铬铸铁，毕竟是脆性材质，直接制做冲击板，则不能满足要求。

1、采用双金属复合浇注工艺冲击板

由上海电力修造总厂和上海电力学院提供的，双金属复合浇注冲击板，是将具有高耐磨的高铬铸铁作为耐磨层，将具有高韧性的ZG25作为基材，将两种金属液体，先后浇注在一起，做成双金属复合冲击板。这种冲击板，既能够发挥高铬铸铁的高耐磨优点，又能够承受较大的冲击力，是一种较为理想的耐磨冲击板。在对比试验中，同其它冲击板比较，表现出高的耐磨性、使用寿命。但该种工艺的冲击板，制造工艺复杂，造价较高。需在今后的工作中，进一步研究探讨。

2、双金属镶铸冲击板

由山西电力局防磨小组和清华大学联合研制的双金属镶铸冲击板，是根据冲击板表面磨损不均匀和表面不耐磨的基础上，研制出来的。它是将高铬铸铁制做成梯形长条，预埋在砂箱中，然后将ZG30CrMnSiTi金属熔液浇注在一起结合而成。由于ZG30CrMnSiTi材质，有着较好的综合机械性能，能同高铬铸铁热处理匹配。因此在对比试验中，冲击板表面磨损均匀，使用寿命长。

由于所采用的高铬铸铁，仅考虑硬度指标而且截面小，可将昂贵的钼元素和其它合金元素去掉，仅保证铬碳化。制造工艺简单易行。因此造价低廉，每吨约2500元，在对比试验中表现出较高的经济效益。

四、新材质冲击板的试验情况

为了提高冲击板的耐磨性，几年来在冲击板新材质研究方面，做了大量的工作。这次对比试验的冲击板，除了如前所述的高铬白口铁以外，还有合金化高锰钢、中锰奥氏体钢、低合金耐磨钢四类，基本包括了耐磨材料研究的主要方面，是一次较全面的材质对比，对冲击板选材具有较重要的参考价值。

1、关于锰钢冲击板的试验。

对比试验中有江西电力修造厂提供的ZGMn13、安徽电力修造厂提供的合金化高锰钢ZGMn13VTiMo及长春电力修造厂提供的中锰奥氏体钢ZGMn6Cr2。ZGMn13VTiMo及ZGMn6Cr2制造的冲击板，目的就是要提高奥氏体锰钢本身的硬度，增大加工硬化能力。

ZGMn13加入Ti、V、Mo元素是高锰钢重要的合金化措施之一。Mo限制碳在奥氏体中的扩散，可明显抑制碳化物析出，提高铸态高温（980℃）下的强度及延性，降低铸件的热裂倾向，同时也改变碳化物的形态，使晶粒细化，在水韧处理时还可防止脆化，因此加入Mo可以

提高Mn13钢的屈服强度而不降低韧性。加入0.05~0.15%的Ti主要使晶粒细化，防止柱状晶及疏松产生。V加入后也可以细化晶粒。由表4可见，ZGMn13VTiMo经过时效热处理，抗拉强度、硬度，比普通Mn13有所提高，冲击韧性也较高。

对比试验证明，ZGMn13VTiMo冲击板磨煤金属单耗在325电厂为22.7克/吨煤，在侯马电厂为24.1克/吨煤，计算寿命在两厂比Mn13分别提高1%及10%。

ZGMn6Cr2冲击板耐磨性不太理想。磨煤金属单耗在325电厂比Mn13高32%，在侯马电厂高10%，磨损速率在两厂分别比ZGMn13高36%和9%。增加磨煤生产成本0.027元/吨煤和0.049元/吨煤。出现这种结果的原因尚需分析和讨论。对使用后的ZGMn6Cr2、ZGMn13VTiMo、ZGMn13三种锰钢冲击板表面进行了硬度测定，结果见表7。试验用手锤式布氏硬度计。

硬度测定表明，三种锰钢在风磨使用工况下，加工硬化现象不明显。即使加工硬化能力较强的中锰钢Mn6Cr2也没有表现出这方面的优势，所以，对冲击板来说用降低奥氏体稳定性来达到加工硬化而提高耐磨性的工作值得考虑。

2、精铸30SiMnCrMoV冲击板试验情况

表 7 磨损后的冲击板表面硬度

材 质 名 称	测 定 部 位 (HB)		
	冲击板固定边沿	入 口 侧	出 口 侧
ZGMn13VTiMo	264、227	328、328	239、217
	264、239	264	237、237
ZGMn13	197、216	294、264	217、217
	197、237	218、328	217、241
ZGMn6Cr2	294、272	243、268	241、241
	243	197、220	264、268

精铸 30S i Mn C r Mo V 为低合金高强度耐磨钢, 其机械性能, 金相组织见表 4。低合金耐磨钢在国外使用较多, 由于珠光体低合金钢的韧性及耐磨性差, 逐渐发展了马氏体低合金钢。含碳量也由过去的 0.18—1.1% 范围缩减到 0.3 % 左右。含碳量大于 0.4% 的钢中针状马氏体数量增加, 尽管它的硬度较高, 但韧性较差。当含碳量小于 0.3 % 时得到的组织基本为板条马氏体, 具有较好的强度和韧性。含碳量再低时, 马氏体的硬度损失就较多, 降低了耐磨性。

低合金耐磨钢虽有良好的综合性能, 但作为冲击板材料, 这次对比试验中未能发挥它的优势。使用寿命比 Z G Mn 13 低 7—10 %, 磨煤生产成本比 Z G Mn 13 高 0.027—0.049 元 / 吨煤, 经分析可能是因为 Z G 30S i Mn C r Mo V 的金相组织为板条马氏体, 没有高硬度碳化物, 这种组织状态对于冲击板的磨损不是最佳的。

五、结论与建议

由水电部直接组织的这次冲击板工业对比试验, 经过二年多的时间, 对 7 种冲击板同时在两个电厂实地装机考验, 试验材质涉及了耐磨合金的各主要研究方面。有三个单位采用了防磨加工新工艺。总结试验情况可得出以下结论:

1、高锰钢中加入既能溶于奥氏体又能形成碳化物的合金元素 Mo、V、Ti, 在时效强化热处理后对提高冲击板的耐磨性是有效的, 与 Z G Mn 13 相比, 耐磨性提高 10 % 以上。

2、中锰铸钢 Mn 6 C r 2 在对比试验中耐磨性不理想, 使用寿命比 Z G Mn 13 低 9—23 %。使用后表面硬度分析表明其加工硬化不很明显。

3、精铸 30S i Mn C r Mo V 低合金耐磨钢使用寿命比 Z G Mn 13 低 7—10 %, 磨煤成本未明显降低, 在冲击板上推广使用, 有待进一步研究提高。

4、高铬白口铁用于冲击板, 显示了较高的耐磨性。在两个试验厂使用寿命比 Z G Mn 13 提高 0.8—2 倍。材料费也低于 Z G Mn 13。

5、高铬铸铁与低碳钢双金属复合浇注及 30S i Mn C r T i 耐磨钢镶铸高铬铸铁条新工艺经过运行表明是可行的。今后应在稳定工艺, 提高质量, 降低成本上努力。

6、对比试验中发生了二次因冲击板制造质量而断板事故, 造成较大经济损失和设备故障, 其中一次竟是高韧性奥氏体钢, 可见, 技术上的可行性与产品质量是两个不同性质的问题。尽快研究制定冲击板部件的技术条件, 对于提高风扇磨的运行安全性和经济性是一项紧迫的任务。

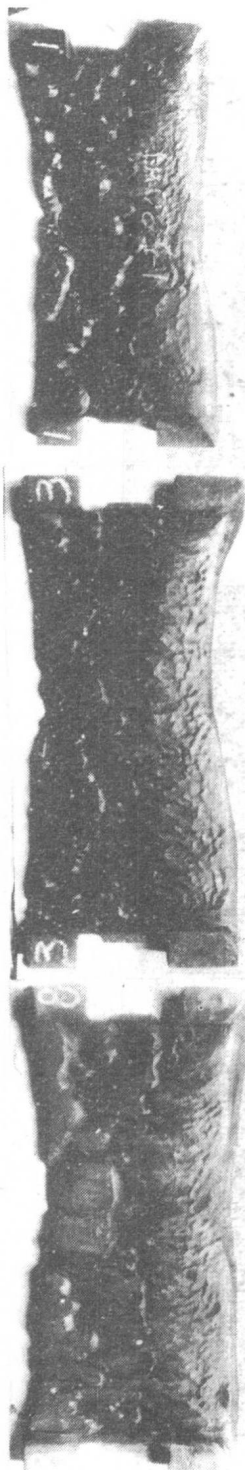
7、对 7 种冲击板的磨损残体检查表明, 不均匀磨损对使用寿命影响很大, 在两厂, 金属利用率最高和最低的相差三分之一左右。板的个别地方已磨穿, 有的地方基本为原始厚度。所以, 拟提高冲击板的使用寿命, 除材质研究外, 从设备结构、磨煤选择、运行工况、安装维护等各个方面进行综合研究、全面治理是今后的重要课题。在冲击板寿命提高的同时, 护勾、护甲的耐磨性要提高, 以达到配套使用。大型风扇磨由于结构、工况及磨损失效的主要方式都和中小型磨有较大差异, 今后应专题进行耐磨材料的试验研究。

表 8 冲击板对比试验结果汇总表

研 制 单 位	上海电力修造总厂		北京发电设备修造厂		上海电力学院		安徽电力修造厂
材 质 名 称	双金属复合浇注		精铸 30Si MnCrMoV		双金属复合浇注		Z G Mn3V T iMo
产品单价 (元/公斤)	4		2.5		4		2.5
试 验 电 厂	325电厂	侯马电厂	325电厂	侯马电厂	325电厂	侯马电厂	325电厂
试验日期及磨号	83.10.24	84.1.7 3#炉	84.6.8	85.2.14 3#炉	84.6.13	84.6.20 1#炉	84.7.23
	~	~	~	~	~	~	~
平均磨煤出力 (吨/时)	84.5.2	84.4.11 2#磨	84.8.13	85.3.21 2#磨	84.10.31	84.8.21 2#磨	84.10.20 2#磨
运行时间 (小时)	5.3	9.33	4.8	9.30	5.3	9.55	6.55
净装机容量 (公斤)	2433	1520	902	659	1796	1015	1120
磨损后剩余量 (公斤)	447.6	492.2	465.7	483.4	465.22	497.9	472.5
净磨损量 (公斤)	326.1	285.56	321.46	303.4	331.2	334.6	306.2
磨损速率 (克/小时)	121.5	206.24	144.25	180.07	134.02	163.3	166.3
金属磨损比 (%)	50	135.7	160	273	75	160.89	149
累计磨煤量 (吨)	27.1	41.9	31	37.2	29	32.7	35.2
磨煤金属单耗 (克/吨)	12895	14181.6	4330	6128.7	9519	9693	7336
总耗电量 (度)	9.4	14.5	33.3	29.4	14.1	16.85	22.7
平均磨煤电耗 (度/吨)	273374	243073	90930	112155	195092	166719	125446
磨煤材料费 (元/吨)	21.2	17.14	21.0	18.3	20.5	17.2	07.1
磨煤经济效益 (元/吨)	0.038	0.058	0.083	0.073	0.056	0.067	0.057
计算寿命 (小时)	0.08	0.125	0.19	0.154	0.130	0.146	0.138
	4600	1695	1437	842	3066	1430	1543
							1022

续表 8

研 制 单 位	长春发电设备修造厂		江西电力修造厂		山西电力局、清华大学	
材 质 名 称	Z G Mn6 Cr2		Z G Mn13		复合镶铸	
产品单价 (元/公斤)	2.5		1.8		2.5	
试 验 电 厂	323电厂	侯马电厂	323电厂	侯马电厂	323电厂	侯马电厂
试验日期及磨号	84.8.9	83.12.29 4 ^号 炉	84.8.25	83.5.11 4 ^号 炉	84.11.3	85.4.26 3 ^号 炉
	84.9.14	84.2.21 1 ^号 磨	84.10.26	85.7.12 1 ^号 磨	85.1.14	85.7.8 2 ^号 磨
平均磨煤出力 (吨/时)	4.81	8.68	4.68	8.81	4.55	9.23
运行时间 (小时)	852	901	842	742	1296	1017
净装机量 (公斤)	463.75	480.1	442.9	526.35	455.05	181.1
磨损后剩余量 (公斤)	290.05	237.77	316.65	343.3	316.85	311.75
净磨损量 (公斤)	173.7	242.33	126.25	183.05	138.2	169.65
磨损速率 (克/小时)	204	269	150	246.7	107	166.8
金属磨损比 (%)	37.5	50.47	28.5	34.8	30.4	35.2
累计磨煤量 (吨)	4098	7821	3941	6537.02	5897	9380.9
磨煤金属单耗 (克/吨)	12.3	30.98	32	28.09	23.4	18.1
总耗电量 (度)	10777	149381	74879	127079	135041	153663
平均磨煤电耗 (度/吨)	26.3	19.1	19.0	19.14	22.9	16.37
磨煤材料费 (元/吨)	0.4059	0.077	0.058	0.050	0.059	0.045
磨煤经济效益 (元/吨)	0.24	0.165	0.13	0.116	0.13	0.095
计算寿命 (小时)	1132	855	1533	930	2149	1379



附图：山西侯马电厂对比试验结果。图 1、上海电力修造总厂双金属复合浇注冲击板运行 1520 小时后工作面磨损形貌。

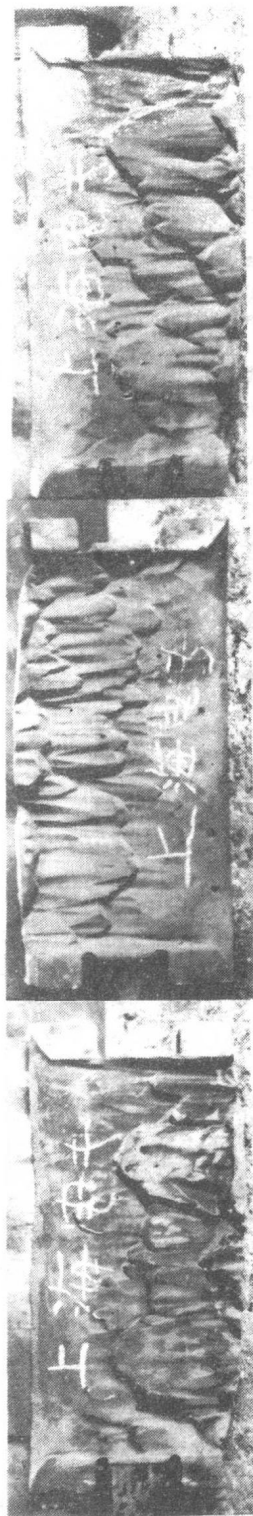


图 2、上海电力学院（原上海电专）双金属复合浇注冲击板运行 1015 小时后工作面磨损形貌。

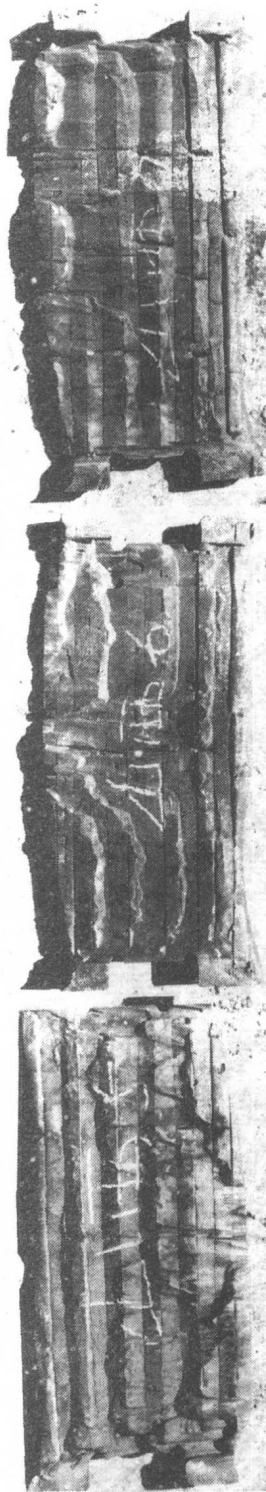


图 3、山西电力局与清华大学双金属镶嵌冲击板运行 1017 小时后工作面磨损形貌。

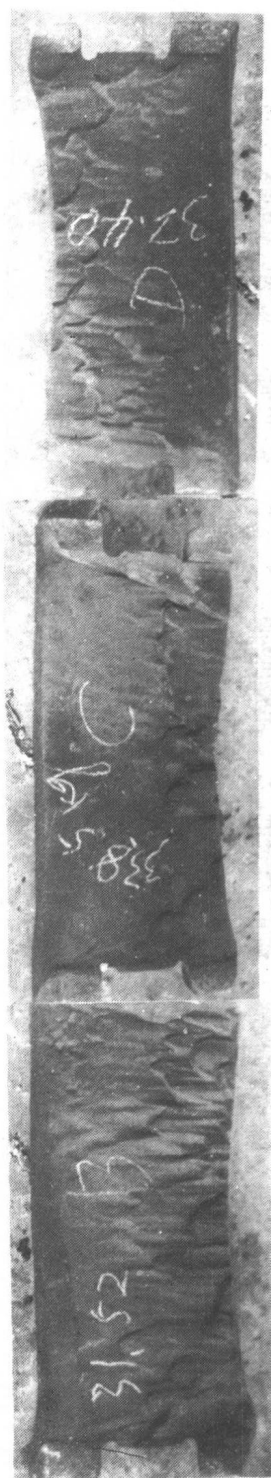


图 4、安徽电力修造厂 Z G Mn13 V T i Mo 冲击板运行 910 小时后工作面磨损形貌。

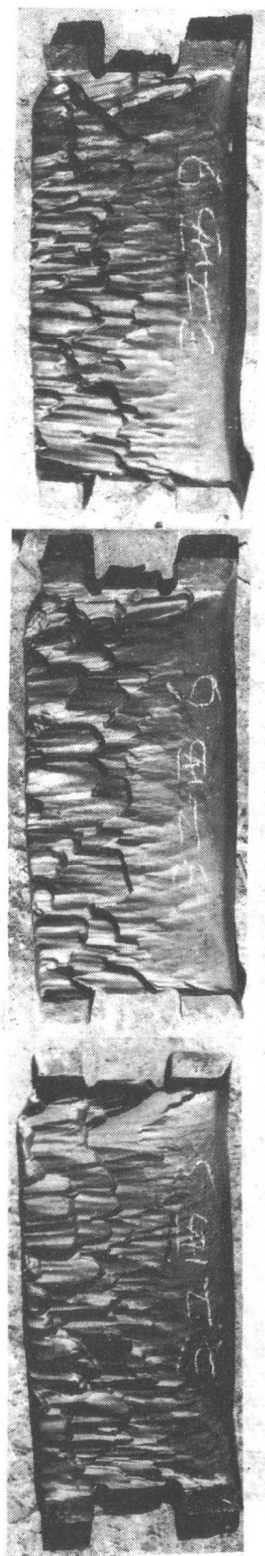


图 5、江西电力修造厂 Z G Mn13 冲击板运行 742 小时后工作面磨损形貌。

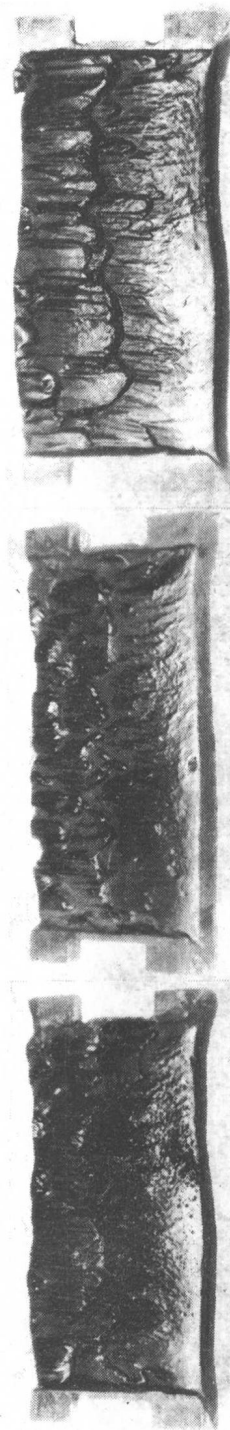


图 6、长春发电设备修造厂 Z G Mn6 C r 2 冲击板运行 901 小时后工作面磨损形貌。

火电厂磨煤机及其易磨损件 ——兼述电力工业备品配件

水利电力部 张增荣

一. 概况

1984年全国发电量是3,769.91亿度。年底发电设备容量为8,011.69万千瓦,其中水电2,559.97万千瓦,火电5,451.72万千瓦。火电中,煤电约为4,482.2万千瓦,油电927.82万千瓦,气电41.7万千瓦,燃煤消耗量15,748万吨^[1]。

随着国民经济发展的要求,电力工业总产值、发电量、设备容量在不断增加。燃煤的消耗量亦在不断增加,在1984年已超过了一亿五千万吨。当年原煤产量达到七亿八千九百多万吨^[2]。发电厂发电和供热用燃煤量是当年原煤产量的20%,发电厂80年代前5年的燃煤消耗量见表一。

表一 80年代前5年的燃煤消耗量^[3]

年 份	电力工业 总 产 值 (亿元)	发 电 量 (亿度)	年底发电 设备容量 (万千瓦)	燃 煤 消 耗 量 (万吨)	500 千瓦以上 电厂发电用燃 煤量 (万吨)	6000千瓦以上 电厂供热用燃 煤量 (万吨)
1980 年	188.4	3,006.27	6,586.91	12,522	11,515	1,007
1981 年	194.86	3,092.69	6,913.26	12,577	11,516	1,060
1982 年	207.07	3,276.78	7,235.98	13,266	12,183	1,083
1983 年	220.23	3,514.39	7,644.49	13,710**	12,558*	1,152
1984 年	235.58	3,769.91	8,011.69	15,748	14,457	1,291

* 12,558是6,000 千瓦及以上电厂发电消耗燃煤量。

** 13,710是6,000 千瓦及以上电厂发电和供热消耗燃煤量。

这一亿五千多万吨燃煤,不论发电也好,供热也好,在它们进入锅炉燃烧前,绝大部分需要经过磨煤机。随着电力工业的发展,到20世纪末,火电装机容量将达到16,000万千瓦^[4]。煤电在2,000年时,如果为13,500万千瓦,那时,年需燃煤估计为47,425万吨。

二. 磨煤机情况和磨煤机的选择

1984年底共有各型磨煤机1,631台,其中筒式球磨机为1,029 台,风扇磨288台,中速磨198台,竖井式磨煤机60台,锤击式磨煤机56台^[5]。

1984年燃煤消耗量一亿五千七百四十八万吨,大部分就是用这一千六百三十一台磨煤机磨成煤粉喷入锅炉的。磨煤量将逐年增加,如前所述,在2000年时,磨煤量约为四亿七千四百多万吨。磨这样多的煤,需采用各式磨煤机。每一个发电厂究竟应采用哪一种磨煤机呢?该电厂是用哪一个煤矿的煤呢?也是考虑因素之一。

判断煤种的优劣,大约有八项指标。有发热量、固定碳、挥发份、灰份、水份、含硫量、可磨性系数、磨损指数^[6、7]。磨损指数表征煤在破碎时对金属的磨损性大小,和煤中的石英、黄铁矿、菱铁矿的含量有一定关系。而可磨性系数则是用来表征煤被破碎的难易程度。可磨性系数是在研磨物料时所消耗的功(能量)与所产生的新的表面积比,即煤破碎到要求的细度时所消耗能量的

多少。容易破碎的煤不一定是弱磨损性，而不易破碎的煤也不一定磨损性强。

发电厂磨煤机除通常考虑的因素外，还应根据煤的磨损指数和煤的情况来选型。见表二。

表二 煤的磨损特性与磨煤机选型

磨损指数情况	$K_e < 3.5$		$K_e > 3.5$
煤的情况	褐煤及部分烟煤	烟 煤	煤中矿物含量* $\bar{W} > 12\%$
应选磨煤机类型	高 速 磨	中速磨	低 速 磨

* 矿物含量指石英、黄铁矿和菱铁矿含量百分数。

高速磨有风扇磨、锤击式磨煤机等，中速磨有球环磨、碗式磨和平盘辊式磨，低速磨有球磨机。火力发电厂对磨煤机选型及制粉系统布置除从煤的发热量、挥发份、灰份、水份等项指标上考虑外，还应考虑煤种的磨损特性。例如略阳电厂燃用铜川混煤，该煤的磨损指数 $K_e = 3.38$ ，石英、黄铁矿和菱铁矿含量为5.6%，据表二应采用中速磨。又如朝阳电厂燃用平庄褐煤，虽然是褐煤，但 $K_e = 7.0$ ， $\bar{W} = 11.7\%$ ，据表二应采用低速磨。略阳和朝阳两电厂都采用风扇磨，所以冲击板的寿命低，备品配件需要量大，而且叶轮也更换的快。又如开远电厂所用的煤是小龙潭褐煤，煤的磨损指数 $K_e = 0.75$ ， $\bar{W} = 2.1\%$ ，据表二应采用风扇磨。又如阳宗海电厂用的是凤鸣村的褐煤， $K_e = 0.37$ ， $\bar{W} = 1.4\%$ 也应采用风扇磨。而开远和阳宗海两电厂全是用的球磨机。

国内所产之煤大部分为烟煤，约占四分之三强。褐煤约占3.81%。我们的政策应该大力提倡用中速磨。能用风扇磨尽量用风扇磨。煤种实在太差时才用球磨机。从劳动保护的角度来考虑，亦应限制采用球磨机。

火力发电厂球磨机的噪声是锅炉车间最大的噪声源之一。据华北电业管理局环保室测定，石景山发电总厂高井电站球磨机筒体噪声为100~109分贝（A）。这是不符《工业企业噪声卫生标准》的。必须下降到90分贝（A）才行。见表三。

表三 工业企业允许噪音标准

每个工作日接触噪音时间 (h)	允许噪音声级 (dB)
8	90
4	93
2	96
1	99
最高不得超过115	

球磨机既然有较多的缺点，为什么现在它还很广泛的应用呢？主要是现在煤的质量太差。煤中夹杂有较多的铁块、石块、木块等。使中速磨、风扇磨的推广应用受了限制。而且一个电厂的煤种也不固定，干脆就采用“皮实”的球磨机算了。目前球磨机比重较大，这与我国煤的资源情况是不相称的。

据1983年1月部科技情报所选编国外火电大机组主要辅机概况，各类磨煤机的造价、重

量、占地和耗电量比较如表四所示。

根据表四，中速磨的各项指标最好且噪音少、易磨损件消耗少，应大力推广。

风扇磨有粉碎、干燥、输送煤粉统一于一个设备上的优点，且操作灵活，所以也应推广。尤其是内蒙、吉林、云南、广西、山东、辽宁等省区产褐煤较多，更应推广。

三、磨煤机易磨损件