

CFB协作网2011年度工作总结与2012年度工作计划

李建锋 全国电力行业CFB机组技术交流服 务协作网 2011.11



中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

2011年度主要工作总结

- 2011年1月,完成了碧水蓝天环境工程有限公司委托的全国 流化床锅炉脱硫现状调研工作
- 2011年3月,开展了CFB锅炉节能诊断工作
- 2011年5月,组织召开了标准编制会议
- 2011年6月,对华宇铝电135MWe供热机组进行了节能技改
- 2011年7月,完成了新的机组竞赛报送系统
- 2011年8月,开展了2010年度机组竞赛工作,并撰写了机组 竞赛分析报告
- 2011年1~11月,编辑出版了11期<电站信息>
- 2011年11月,组织召开了本届年会
- 完成的或参与完成的其他项目有中电联-国际能源署关于中国300MW老旧火力发电厂节能诊断项目(2011年7月)、国投公司5台600MW机组的节能诊断后评估项目(2011年8月)、超(超)临界会议、空冷会议等。



CFB锅炉机组节能诊断

						1000-4	Nath No. 344	1111-7		de le V																CFB慣炉電籠																_					_	
	_			i		1	护节能潜	力诊断需			表					- 1								_	la evalenci	潜力诊断需要 的数据定点表								£o Fo				άR			_	_					\perp	
电厂名称	保护容量 及制造厂	总数机	节能潜力	一枚风机电机 功率/调速方式	二次风机电 机功率/调速 方式	引风机电机功 率/调速方式	三大凡机总() 本	5 三大风机总6 辛与发电量8	二次月 机出口 月压	具室歴 カ	厂用电 で ギ	灰含碳 冷 量 。	卷点火 运 连油量 坎	行一 市 风量 市	: 风机 - 一枚 ・ 一枚 ・ 元/	rke :	□ 大风 二 夏 i	火风机电 1/电压	料层並压/ 炉騰並压	底族含 碳量	道道	炉配出 口食压	気壁	入炉膜 粒度	相知温度/ ロ出器止和 別監計配	电厂名称	总数机	度种度 耗	原規 床压 克厩 谷	是 是	炉内二枚 风口尺寸	二次外口总 面积	支管管	大风	风铝型式	具幅布 配区面 駅	每平米 布 布置风 平 相	风板 有风 板平 均液 均流 進	組除分析	組修 網際	州海服	(推造口	防衛措施		引风机电流 /电压	近科风机电流/ 电压	[/ 返料风 量/风压	
	t/h	MR	万元	XW/	RR/	RR	RN	- 4	Kpa	kPa	5	4	XX	in3/h X	pa A/	/xv i	in3/h	/k/XV	kPa/kPa	4	r r	Pa	š		מ /מ		MX	t/h	元/ 吨			n2				*	Я	/s. m³/h.						XMn3/h	k/k/XT	A/T	In3/h/ Ipa	
1 阜新金山	220	270	618						10	12.5				230 14	1.5		150									阜新金山	270																					
2 宁波大衛	220済	100	712.5	800/夜頻	560/喪頻	650/纯档板	2660	5. 3	5	8.5-9	18	510	0.8	115 9	. 5 30/	80/10	105 2	/24/10	7/0.6	1-2	130 921	-50	2**3		160	大樹	100	35							神草				500	500 300	250			55	/-10	65/380	900/35	100
3 大陸油田族 海热电厂	260£	120	768	1250/纯档板	800/稅档板	1000/被偶	4050	6. 7	14	8.5	11.4	4.7	12	135 1	.0 10	3-/6	318	68-/6		9. 5	60 861	-52	4.6		140	大陸油田滨路 热电厂	120	36.5			200		273	2250 5250	神草									85	88/87/6	133/380	4. 8/38	243
4 香蘇热电厂	220略	100	805	1120/纯档板	355/纯档板	800/安頼	3430	6.8	9. 5	12.6	18. 2	2.4	25	111 1	4 10	5/6	64	28	5/	2	90 871	-100	3		180/170	香海热电厂	100	55	財産	1	131				猪尾巴				液轴	200	300			47		172/380	10/75	280
5 宁波维业	220年	100	598	1670/变频	500/纯档板	1410/变频	5490	10.98	8. 5	8	16. 7	6	ī	65 1	.1 70	-/6	70	58-/6	4.5/	1.5	120 891	-127	3		140/120	宁波维业	100				159	275			定向风福								海口防衛 架	59		97/380	1000/5	180
6 仁化华粤	260年	120	456	1800/梵档板	630/纯档板	800/喪額	4030	6.71	6	7.1	8. 9.	4	10 1	105	9 11	3-/6	79	40-/6	4. 2/	2	76 906	-10	3		157/130	仁化华粤	120	63	有的	f 不大					神草									65	25/26/6	65/61/380	2400/3	220
7 海拉尔	220#	100	483.6	710/纯档板	355/纯档板	710/纯档板	2840	5.68	1.8	8	7.3	3.63	5. 2	82 9	.1 26/	6/10	54 7,	7. 2/10	7. 8/0. 5		93 95			- 0	191	海技尔	100																	48			3.6/17	
8 乌海君正	4T0#	300	1024	1250/变频	800/受損	1400/受損	6900	4.6	9, 45	8. 29	8.6	7.6	15	150 11	. 2 84/	82/6	210 6	9/69/6	5. 5/1. 3	1.5	80 891	-50	2.2	>10. 5%	156/156	乌海君正	300		无地 蹇	无偏 差	(S) :		ф 258#4		計草					00t/ h #	600t/h	h	防電架	75	85/85/6			257
9 华字铝电	460年1	405	2800	1400/纯档板	850/被偶	1600/被偶	7700	5.7	14	13	8. 85	20. 5	8 1	160 1	13 12	2/6	170 7	3, 79/6	10/1.5	6*8	30 931	-50	4	>10. 5%	150/140	华字信电	405		(51		項口射数 面:	50 0740	φ258 * 4 (6500 2401	小伸車130 只	0						侧端共: 个 \$ 21		80		75/380	0. 2	
10 摩技花攀籠	440东	270	1691	1400/纯档板	630/纯档板	1400/液偶	6860	5. 08	12.5	14	11.5	平均9.5		220 1	4 133.	121/6	120 7	1,69 /6	7.5/1.5	1.5	50 841	-300	7.9	併石破 群不好	145/140	學技花攀龍	270	行石 2500	260 18	产生 偽造	成日射数 (面: 	機団類数型 面0.9252 4日が集め	φ258 * 4 (6550 2440	小師軍276 只	52, 528	52.5 0.	583 2074	无 2	环策 8000W 无	₩ds 4001/h	h 例编其4		115		275	7.8/4	150
11 費州华电學	490东	300	1232	1400/被傷	1120/被偶	1400/被偶	7870	5. 22	11	10	8. 8	7	5.8	120 1	1	30	280	120	/1.4	2.6	135 901	-100	3.5	K	146/120	费州华电学节	300							4717 1106) 神草						357-32783		防電架	80	8	220/380	5. 9/3 8	<400
12 神华亿利	670£	600	1329	2240/纯档板	1400/旅售	3150/被偶	13580	6.79	6. 58	14. 2	9.6	1 4	28-30	300 14	180/	181/6	205	155/6	/1.2	<1	35 91	-50	2.8	较好	155/135	神华亿利	600	120			36/ 09300	2. 5434	300	5400 2800	特單式									115	225/227/6	16 /6000	6/32	240
13 神华上海	520东3	300	1142	1400/纯档板	1250/变频	1600/变频	8500	5. 66	10.7	12	T. 14	6. 366	9 1	134 12	2.5 105/	113/6	291 8	8/89/6	6.6	<2	88 81	-46	3. 2		140/130	神华上尚	300	89	90 諸雄	i				1000	神草									110	100/92/6	180/170/380	0 4.69/4	300
14 垃圾电力	440獻	270	949	1250/变频	560/被偶	1250/被偶	6120	4. 53	7. 2	-	7. 3			135 1	6 78/	18-/6		/46/-6	10/		50 91					均核电力	270															\perp	<u> </u>	85			1	
15 書御安平	480階	300	100000	1250/接偶	•	1400/旅售	7300	4.86	14	0200	•	00/(22)	2000		-		140 9	8/98/6	7/0.7	25			-			き閉支平	300	010000		. 測不			200	_						+		+	'	100	<u> </u>	130/130/380	•	
16 開泉龙川	480略	300	1425	1600/被偶	1600/被偶	1750/液偶	9900	6.6	10	11.5	11.5	7	20	235 1	4 1	20	150	130	9	1.1	50 961	50	3	_	130/127	陽泉定川	300	105	財産	Æ										_	_	+	<u></u> -	130	<u> </u>	130/380	6.4/34	11000
17 新会观水	480哈	300	893	1250/受練	800/受損	1000/变频	6150	4.1	16	13.7	7.5	3. 9	0.000	862 J A	8 117/	122/6	218 7	8/78/6	6.4/	1.5	102 893	400	3.5		153/151	新会观水	300	75	84	84	200		273		大神草								<u> </u>	80	Щ.	117/120/380) 6.6/42	120
18 中限钢铁	440哈	270	1743	1600/接偶	1250/被偶	2000/旅售	9700	7.18	12	13		18		170 1	2		480				170					中阳钢铁	270	好媒	\$	順不			-	4900 1185						_		\perp	<u></u> '		<u> </u>		\downarrow	
19 京能 (赤 峰)	480无锡	300	1204	1800/纯档板	1000/纯档板	1800/喪頻	9200	6.13	15	11	10.4 0	1. 2-0. 5			2.8 18	9/6	218 10	4/101/6	5. 2		30 931	- 10	2		01/2001/025	京能(赤峰)	300		1000	有傷器			300		神草							_	防電架		116/114/6	28/6000	6.4/34	356
20 百色银彩	480东	300	1247	1600/受練	1120/受賴	1400/变频	8240	5.49	12	11	8. 9	3	13 1	175 1	5 16	8/6	260	90/6-	4. 6/4.7	- 1	100 891	-130	3		140		300	65-120	有時 蹇	有傷器	É				神草					_	_	_		8. 7	Щ,	115/380	/40	700
21 神火电厂	440 	270	1004	1600/旅售	630/	1600/被偶	7660	5. 674	11.6	11.5			6.5	175 13	3.9 120,	89/6	74 5	7,74/6	6/0.6	1	90 921	-40	2.5		145	神火电厂	270																		120/122/6	104/104/380	0 2.4	
22 内蒙古京縣	Wer	600	2569	3200/旅傷	2900/液偶	3200/静叶	18600	6. 2	10.5	13.1		2.1	35/27	26 15	5.6 193/	190/6	59	253/6	3.7/1.7	1.5	47 894	-103	2.6		169	内设古京海	600	245	#1	存在 偽造	549椭圆		ф528 -	4883 933	小幹草	139			west	POS 777-	-000		防衛架	170		31/32/6000	6. 962/ 50	387
23 内蒙古京事	1089年 領自主	600	2077	2800/ 变频	2800/ 疫桐	3250/ 羌档 板	17700	5. 9	7.3	12.2	6.5	2	<30	335 14	1.8 162/	157/6	470 7	5/80/6	7/1.82	<1	100 871	-100	3.8		141/137	内蒙古京家	600	200	好	Я	428, 384 : 420-400		ф528 -	4950 1000	小針草	132. 89			10型 次分数	ESOS ZZS- I 型項: 山 上級	SPM-18 500t/h	825 h 居衛6	防電架	170		32/32/6k	19/49	220
24 国电开运	1025£	600	2276	2800/变频	2000/指板	3600/变频	16800	5.6	8.4	11.7	7.4	0.78	25	270 14	8. 8 155/	157/6	550 16	2/164/6	6. 9/	0.34	50 881	50	2.2		148/146	医电开线	600	福度							钟草								lie:	60	254/246/6	79/6000	/53	280
25 平規度行	1060£	600	2686	4100/接偶	1600/液偶	4800/被傷	21000	7	8.6	15-14	11	5-/6	26-30 351	0-400	300/	300/6	10-35 11	0/110/6	1/		80					平規度行	600				400		800											180		90-/6000	70/55	



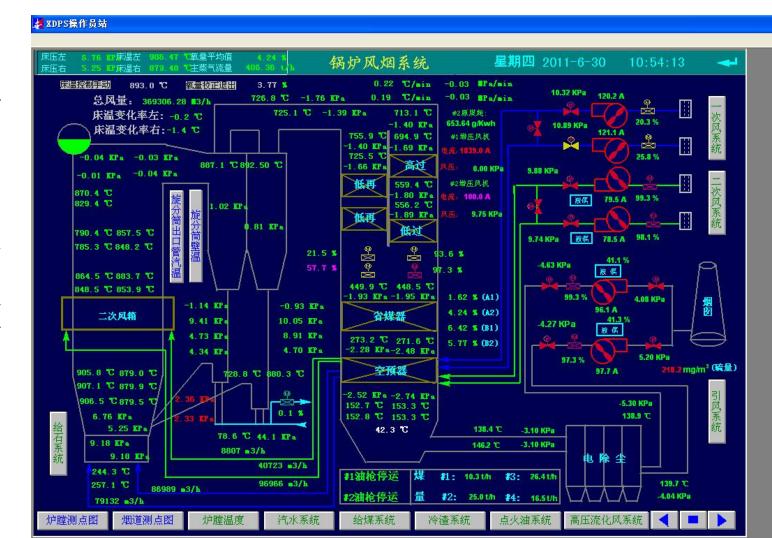
组织召开了标准编制会议

■ 个在见: 个在见: 个在见: 个在见: 个位: 不是的心态。 个位: 和一个经元。



对华宇铝电热电厂进行了技术赞置

■改造后 飞灰含 碳量与 幅度的 下降。



完成了新的机组竞赛报送系统

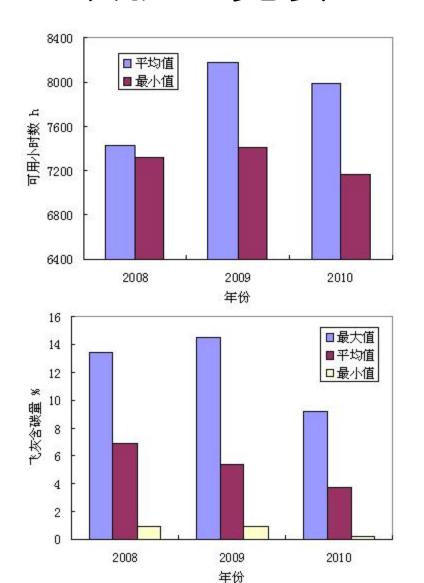


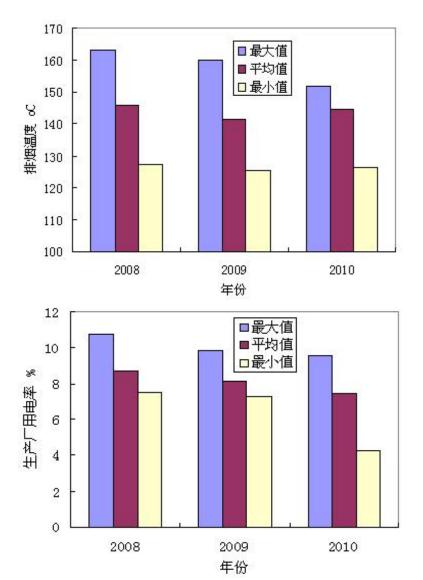
系统菜单	当前位置: 资源中心 > 管理员资源 > 报送数据	居维护		
🔟 2011年06月17日 星期五	名称	类型	描述	操作
○ 报送数据维护	电厂基本信息维护	带参数表单的行式填报表	电厂基本信息维护	
■ 电厂基本信息维护	机组基本信息维护	带参数表单的行式填报表	机组基本信息维护	
机组基本信息维护	主机信息维护	带参数表单的行式填报表	主机信息维护	
■ 主机信息维护	辅机信息维护	带参数表单的行式填报表	辅机信息维护	
■ 輔机信息维护	耐火耐磨信息维护	带参数表单的行式填报表	耐火耐磨信息维护	
耐火耐磨信息维护	设计调试单位信息维护	带参数表单的行式填报表	设计调试单位信息维护	
■ 设计调试单位信息维护	煤质资料及脱硫数据维护	带参数表单的行式填报表	煤质资料及脱硫数据维护	
■ 煤质资料及脱硫数据维护	机组参数信息维护	带参数表单的行式填报表	机组参数信息维护	
1 机组参数信息维护	环保及综合利用信息维护	带参数表单的行式填报表	环保及综合利用信息维护	
■ 环保及综合利用信息维护	可靠性信息维护	带参数表单的行式填报表	可靠性信息维护	
□ 可靠性信息维护 □ 经济性信息维护	经济性信息维护	带参数表单的行式填报表	经济性信息维护	
■ 经济性信息维护 ■ 环保性信息维护	环保性信息维护	带参数表单的行式填报表	环保性信息维护	
■ 於保田信息維护 ■ 检修时间信息维护	检修时间信息维护	带参数表单的行式填报表	检修时间信息维护	
直接	填报人信息维护	带参数表单的行式填报表	填报人信息维护	
教报查询				
当标统计分析				
○ 無粉(体)·∩				



中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

组织机组竞赛







全国发电机组技术协作会 全国电力技术市场协会 主办

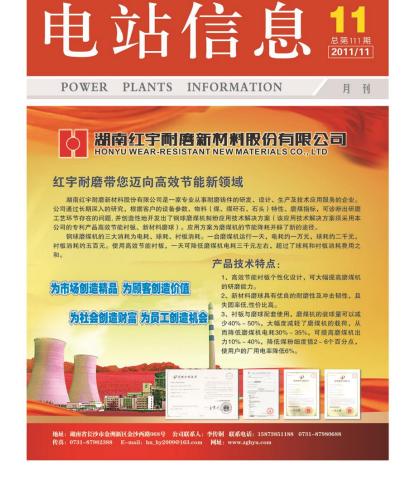
编辑出版了11期《电站信息》

全国发电机组技术协作会 全国电力技术市场协会 主办

电站信息。

POWER PLANTS INFORMATION 月刊









2012年度主要工作计划

- 继续做好网内的服务工作;
- 继续做好电厂的技术改造服务工作;
- 组织申报2-3项新行业标准;
- 完成标准的上报工作;
- 开展流化床锅炉机组的无油点火示范工作;
- 开展烟气酸露点测试;
- 开展流化床锅炉降低厂用电率立项示范工作;
- 召开第11届年会。



酸露点测试的必要性

公式名称	计算公式	备注				
前苏联 1973 年(锅炉 机组热力计标准方法) 经验公式	$t_{sld} = t_{ld} + \frac{\beta \sqrt[3]{S}}{1.05^{a_{h}A}}$	式中 t_a 为纯水蒸汽器点。 $^{\circ}$ C: S 为燃料折算硫份。 $^{\circ}$ 3: A 为燃料折算灰分。 $^{\circ}$ 4: A 为水粉。 $^{\circ}$ 5 为水粉。 $^{\circ}$ 6: A 为水粉。 $^{\circ}$ 8: A 为水粉。 $^{\circ}$ 9: A 为外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外外				
穆勒曲线拟合公式	$t_{sld} = 116.5515 + 16.063291g V_{SO_3} + 1.05377 (1g V_{SO_3})^2$	式中 V_{SOS} 为烟气中 SO_{S} 的体积百万分率				
Halstead 曲线拟合公式	$t_{sld} = 113.0219 + 15.0777 \lg V_{\mu,so_{\epsilon}} + 2.0975 (\lg V_{\mu,so_{\epsilon}})^2$	式中 V ₁₂₃₀₄ 为烟气中 H ₂ 8O ₄ 的体积百万分率				
A.G.Okkes 公式	$t_{sld} = 10.8809 + 27.6 \lg p_{H,0} + 10.83 \lg p_{SO_3} + 1.06 (\lg p_{SO_3} + 2.9943)^{2.19}$	式中 Pazo 为烟气中水蒸气的分压力,Pa: Paoa 为烟气中				
美国 Verhoff & Branchero 估算公式	$1000/(t_{xy} + 273.15) = 1.7842 + 0.0269 \lg p_{y,o} - 0.1029 \lg p_{s,o_{x}} + 0.0329 \lg p_{y,o} \lg p_{s,o_{x}}$	SO₃ 的分压力. Pa				
日本电力研究所估算 公式	$t_{\rm rid} = 20 {\rm lg} V_{{\rm SO}_3} + \alpha - 80$	式中 a 为与烟气的水分有关的常数, 当水分体积比为5%, 10%和15%时, 分别取184、194、201;				
含实验常数的估算公 式	$t_{sld} = t_{ld} + B(p_{u_{a}SO_{a}})^{n}$	式中 passo4 为烟气中 HaSO4 的分压力, Pa; B、n 为实验常数				
Haase & Borgmann 估算式	$t_{rld} = 255 + 27.61 \text{g } p_{SO_3} + 18.71 \text{g } p_{H_2O}$	式中分压力的单位为 atm				
Bapahoba 公式	$t_{rld} = 186 + 26 \lg \phi_{SO_3} + 20 \lg \phi_{H_2O}$	式中 Ø _{H,O} 、 Ø _{SO,} 为烟气中水蒸气和 SO _S 的体积百分含量.%				

流化床锅炉机组降低厂用电技术

- 2011年2月,提出技术方案,开展了初步的技术 论证;
- 2011年3月,向国家专利局提交了专利申请;
- 2011年8月,与内蒙古电力勘测设计院签署合作 协议,开展系统的概念设计工作;
- 2011年9月,召开了6个在京发电集团相关负责 人参与的技术研讨会;
- 2011年10月,与电厂达成合作意向,拟共同向 科技部申请2012年度的科技支撑项目;
- 预计2012年初开始实施。



親炉烟风-空气透平耦合 系统性能研究

李建锋 中国电力企业联合会科技开发服务中心 电源处 2011.11





- ■研究目的
- ■系统介绍
- ■系统性能分析
- ■系统可行性分析
- ■系统经济性分析
- ■结论





中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

研究目的

- 开发提高燃煤发电机组效率的新技术是科技中心今后的一个 重要发展方向;
- 目前较先进的洁净煤发电技术有整体煤气化燃气蒸汽联合动力循环技术(IGCC)、超(超)临界技术(USC)以及循环流化床技术(CFB);
- IGCC系统因为系统结构复杂、投资成本高、运行可靠性低, 推广有较大的困难,因此在我国目前还没有商业应用;
- 超(超)临界技术(USC)以及循环流化床技术(CFB) 在我国获得了很大的应用与发展。但是受到材料性能的限制, 进一步提USC机组效率有很大的困难,而CFB机组的厂用电 率和供电煤耗都较高。
- 因此,有必要在目前的USC技术以及CFB技术基础上提出更 高效率的发电技术。





提高电厂效率的方式

- 热力学原理告诉我们,提高循环工质的初参数即可提高系统循环效率,但是受材料性能的限制,进一步提高工质的循环参数已经很困难,代价很大。
- 提高电厂效率的另一个有效方式是降低电厂的厂用电率,因为降低厂用电率就相当于直接增加了电厂的上网电量,也就提高了电厂的供电效率。



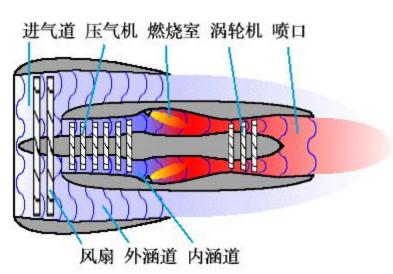


降低厂用电率的方式

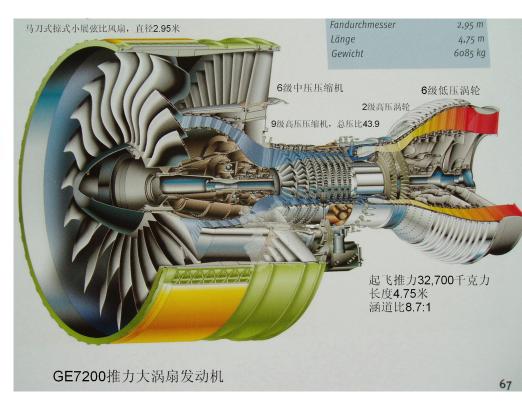
- 目前常用的降低厂用电率的方法是采用变频技术 或者利用小型汽轮机驱动给水泵或者风机来降低 厂用电率。
- 利用变频技术受机组的负荷影响较大,同时节能效果也受当时机组设备选型的影响。
- 利用小型汽轮机驱动给水泵或者风机不一定能明显提高机组的供电效率:一方面小型汽轮机的效率不高;另一方面驱动小型汽轮机蒸汽凝结时仍然有很大的冷源热损失。
- 如果能够在降低厂用电率的时候没有冷源热损失, 那么必会提高机组的整体供电效率。
- 借鉴其他领域的技术,能否实现上述目的?



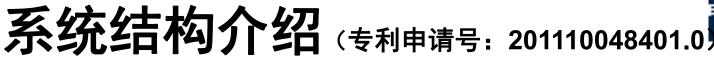




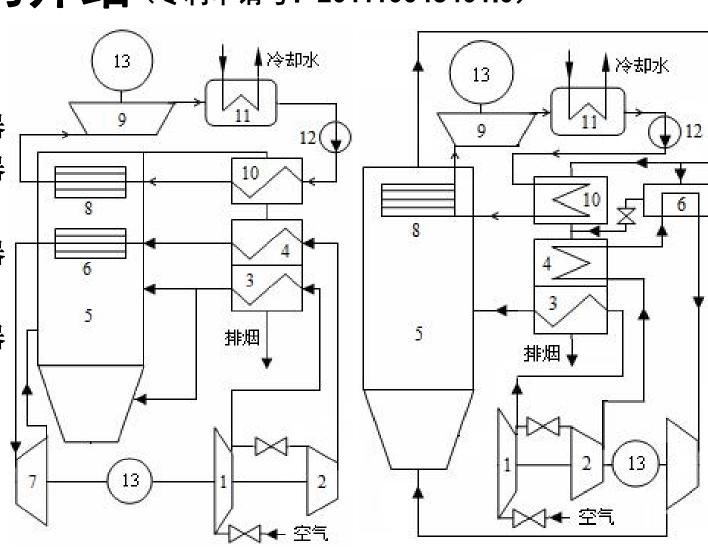
空气从风扇出来以后,大部分进入内涵道,小部分进入内涵道。 在内涵道,空气进一步受到压气 机的压缩后进入燃烧室,在燃烧 室内燃烧受热后进入涡轮膨胀做 室内燃烧受热后进入涡轮膨胀做 功,做功后的乏气与外涵道空气 混合,然后从尾喷管向后高速喷 出,获取巨大的反推力。



风扇、低压压气机以及高压压气机都由 涡轮驱动。如果将航空发动机技术与锅 炉机组结合起来,可能会较大幅度降低 发电厂用电率。



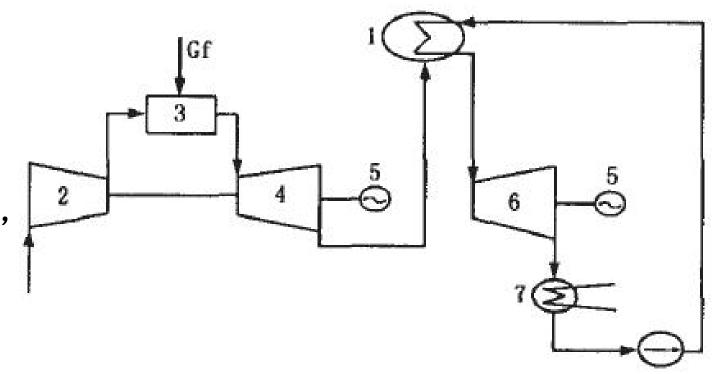
- 1、风扇
- 2、压气机
- 3、低温空预器
- 4、高温空预器
- 5、炉膛
- 6、高温换热器
- 7、涡轮
- 8、蒸汽过热器
- 9、汽轮机
- 10、省煤器
- 11、凝汽器
- 12、给水泵
- 13、发电机



中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

燃气-蒸汽联合动力循环

- 联环的目 55/0%需为然或可 65/0%需为数可 65/0%需为燃或能 55/0%需为燃度 65/0%需为燃度。
- 如果用煤的 气化气作燃 料,则成为 IGCC。

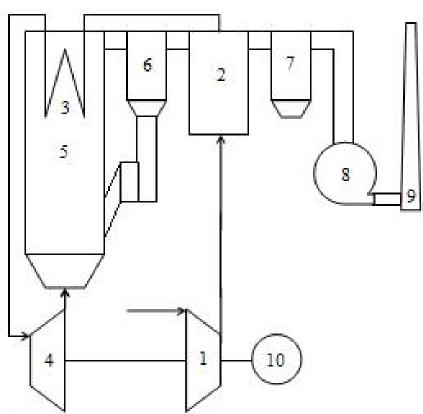


1-余热锅炉(HRSG);2-压气机;3-燃烧室;

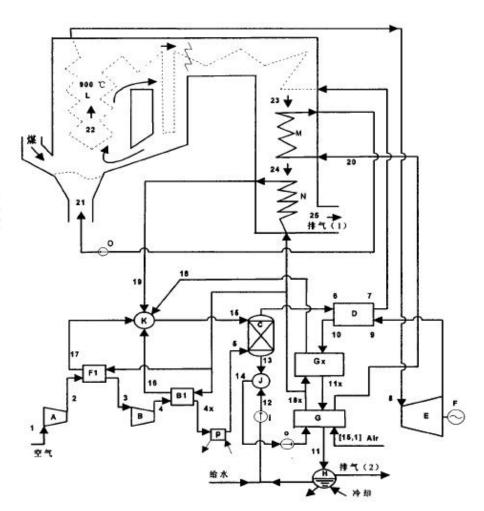
4 - 透平; 5 - 负荷; 6 - 汽轮机; 7 - 凝汽器; G_f - 加入的燃料





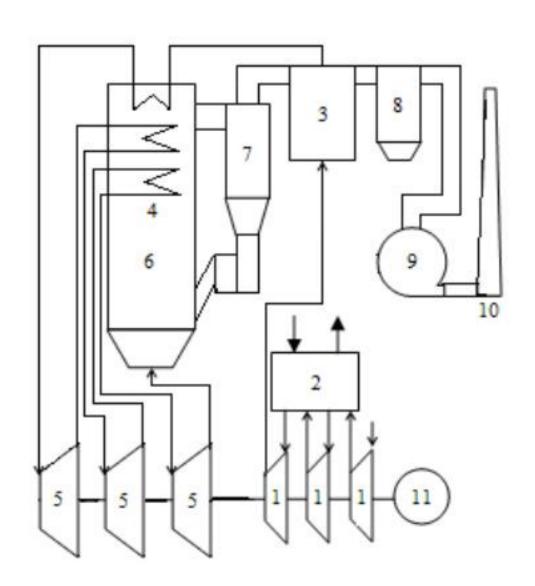


- 1、压气机 2、低温换热器 3、高温换热器 4、涡轮 5、炉膛 6、分离器 7、除尘器 8、引风机 9、烟囱 10、发电机



多级压缩以及多级膨胀发电系统器

- 1、多级压气机
- 2、冷却器
- 3、低温换热器
- 4、高温换热器
- 5、多级涡轮
- 6、炉膛
- 7、分离器
- 8、除尘器
- 9、引风机
- 10、烟囱
- 11、发电机

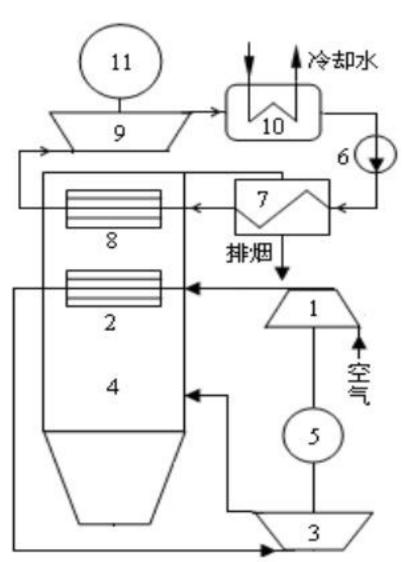




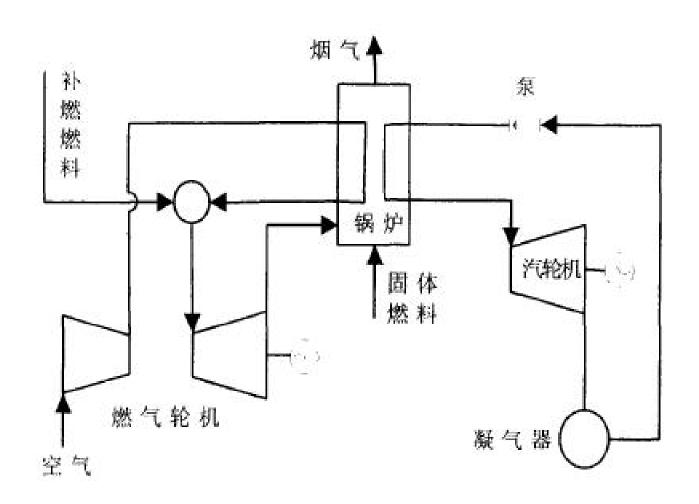
中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

常压流化床系统

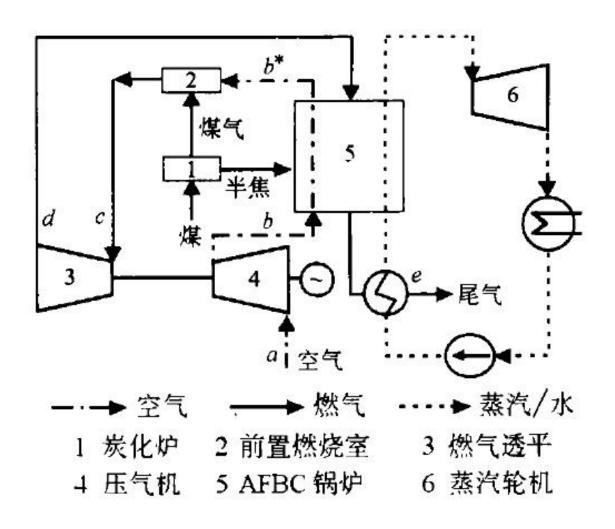
- 1、压气机
- 2、高温换热器
- 3、涡轮
- 4、炉膛
- 5、发电机
- 6、给水泵
- 7、省煤器
- 8、过热器与再热器
- 9、汽轮机
- 10、凝汽器
- 11、发电机



外燃补燃式燃气轮机锅炉发电系统

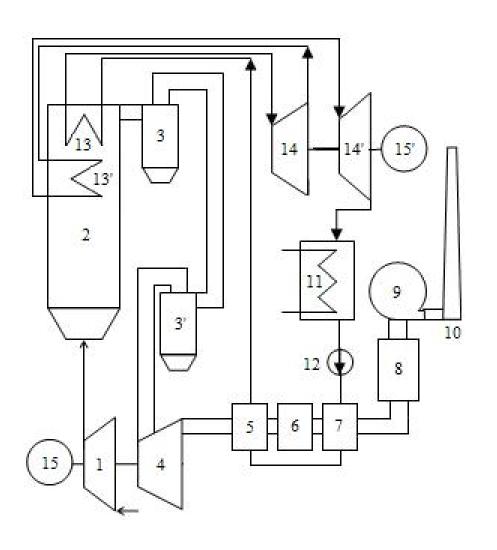


带煤气化的常压流化床发电系统



大崎发电厂增压流化床发电机缩器

1、压气机 2、炉膛 3,3'除尘器 4、涡轮 5、换热器6、脱硝 装置7、换热器8、 除尘器 9、引风机 10、烟囱 11、凝汽 器 12、给水泵 13、 过热器 13'、再热器 14,14'、汽轮机 15, 15'、发电机

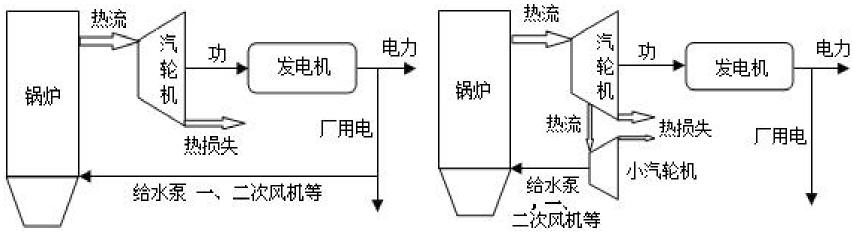


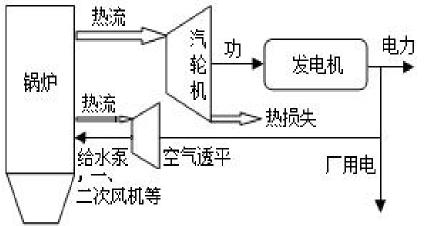
大崎发电厂增压流化床技术参数器

项目	参数	项目	参数
机组总功率 MW	250	主蒸汽温度 ℃	571
锅炉高度 m	22	主蒸汽压力 MPa	17.3
锅炉外径 m	13	再热蒸汽温度 ∘C	593
炉膛个数 个	2	再热蒸汽压力 MPa	2.66
炉床温度 ℃	865	燃煤消耗量 t/h	185
炉膛压力 MPa	1	石灰石消耗率 t/h	10
炉膛出口温度 ℃	855	空气过量系数	1.2
炉膛出口压力 MPa	0.92	年耗煤总量 万t	37
涡轮进口温度 ℃	840	系统实际发电效率 %	42.7
涡轮进口压力 MPa	0.85	燃料热值 kcal/kg	6200~6500



与已有的降低厂用电技术比较





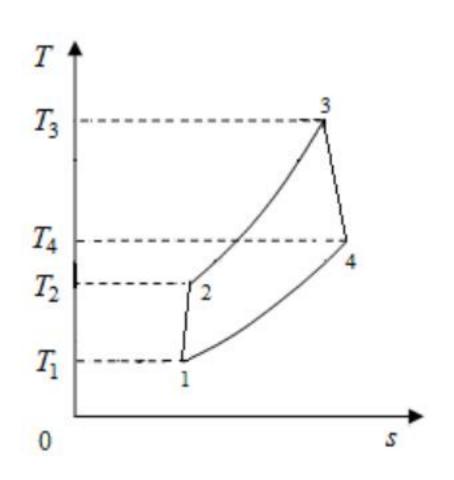
- 采用变频技术降低厂用电率会受到负 荷率的限制;
- 采用小汽轮机驱动给水泵或者风机降低厂用电率,有凝汽器的排热损失;
- 采用本系统驱动给水泵或者风机或者 发电机,该系统没有热损失,效率很 高。





空气轮机的热力循环

- 1-2为空气在压气机中被压缩的过程;
- 2-3为空气在换热器中 的受热过程;
- 3-4为高温高压空气在 涡轮中膨胀做功;
- 4-1为放热过程



•



空气轮机系统的输出功于吸热量

■ 系统的输出功等于吸热量:

$$w = c_p \left(\left(T_3 - T_4 \right) - \left(T_2 - T_1 \right) \right) = c_p \left(\left(T_3 - T_2 \right) - \left(T_4 - T_1 \right) \right) = q$$

■ 其中:

$$T_{2} = T_{1} \left[1 + \left(\pi_{c}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \middle/ \eta_{c} \right] \qquad \pi_{c} = \frac{p_{2}}{p_{1}}$$

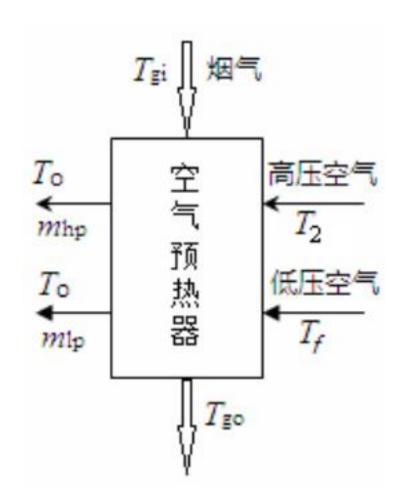
$$T_{4} = T_{3} \left[1 - \eta_{t} \left(1 - \pi_{t}^{\frac{1-k}{k}} \right) \right] \qquad \pi_{t} = \frac{p_{3}}{p_{1}}$$

$$\pi_{c} \approx \pi_{t}$$





空气预热器系统示意图







空预器的热平衡

$$m_{lp}(T_o - T_f) + m_{lp}(T_o - T_2) = m_g(T_{gi} - T_{go})$$
 $\beta = m_{lp}/m_{hp}$ (相当于涵道比)
 $W = m_{hp}(w - \beta w_f) = \frac{M(w - \beta w_f)}{1 + \beta}$
 $M = m_{hp}(1 + \beta)$

■ T_f 为风机出口空气温度, ${}^{\circ}$ C; T_{gi} 为空预器烟气进口温度, ${}^{\circ}$ C; T_{go} 为空预器出口空气温度, ${}^{\circ}$ C; m_{lp} 为低压空气质量流量,kg/s; m_{hp} 为高压空气质量流量,kg/s; m_g 为烟气总流量,kg/s。





350MW火电机组设计参数 I

项目	单位	参数	项目	单位	参数
锅炉保证热效率(低位)	%	92.5	炉膛出口烟气温度	oC	1005
锅炉送风机总流量	t/h	1046.16	空预器进口烟气量	t/h	1479.2
锅炉一次风机总流量	t/h	383.04	空预器进口烟气温度	oC	366.5
锅炉送风机总功率	kW	1594	换热器换热温差	oC	30
锅炉一次风机总功率	kW	3074	给水泵电动机效率	%	96.7
空预器进口平均风温	oC	25	环境压力 (平均)	kPa	89.59
锅炉排烟温度	oC	125	环境温度 (平均)	oC	7.9
燃煤消耗量	t/h	161.4	燃煤低位发热量	kJ/kg	20097.6



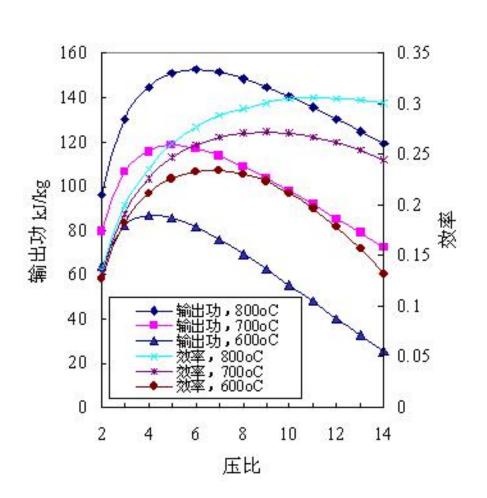
350MW火电机组设计参数 II

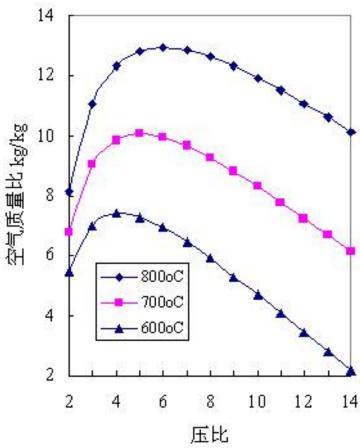
项目	单位	参数	项目	单位	参数
主蒸汽温度	°C	538	厂用电率	%	5.3
高排汽温度	oC	327.9	发电机效率	%	98.9
再热汽温度	oC	538	厂变效率	%	99.5
主蒸汽压力	MPa	16.67	小汽轮机进汽流量	t/h	42.01
高排汽压力	MPa	4.031	小汽轮机进汽温度	oC	337
再热汽压力	MPa	3.628	小汽轮机进汽压力	MPa	0.83
主汽轮机排汽温度	oC	32.5	小汽轮机排汽温度	oC	51.8
主汽轮机排汽压力	kPa	4.9	小汽轮机排汽压力	kPa	13.5
主汽轮机中压缸内效率	%	92	小汽轮机总功率	kW	7142
主汽轮机低压缸内效率	%	89	压气机效率	%	85
主汽轮机热耗	kJ/kWh	7798.3	透平效率	%	88





空气轮机的循环性能

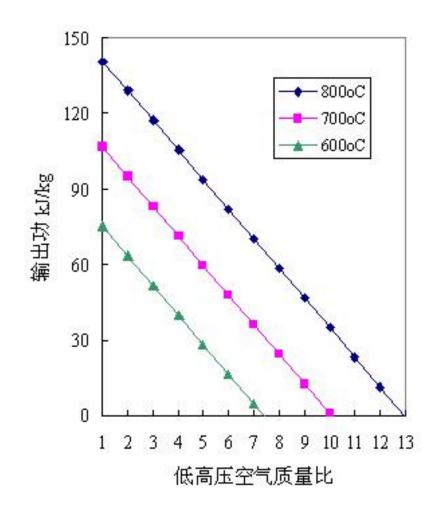




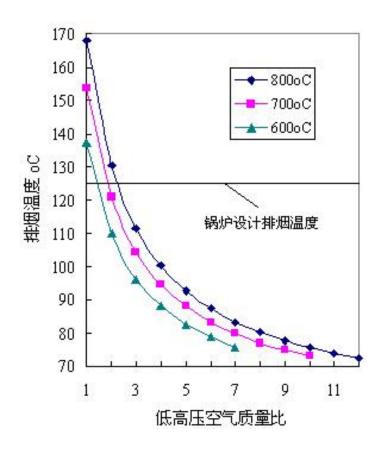




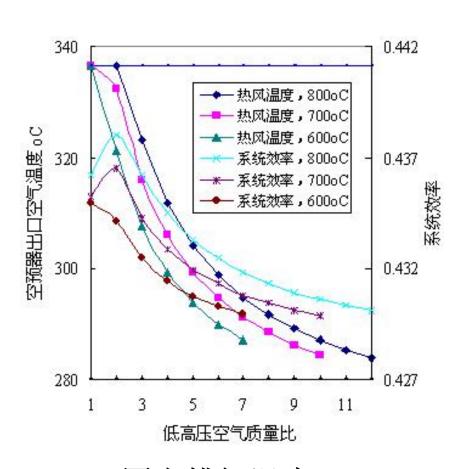








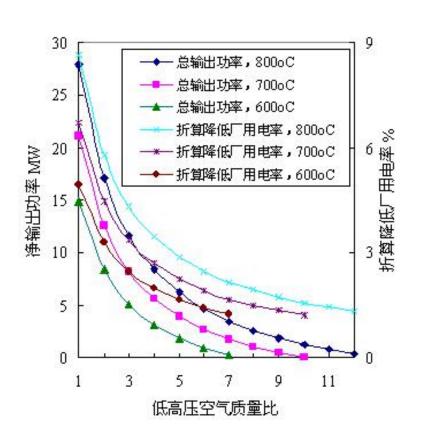
固定空气预热器出口温度

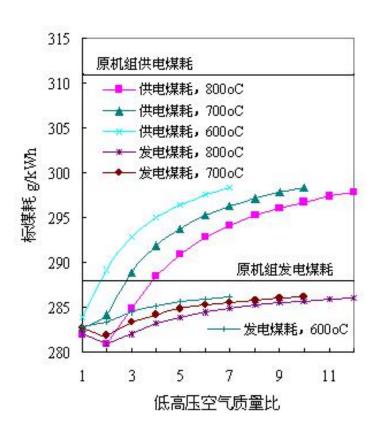


固定排烟温度



折算降低厂用电率与供电煤耗

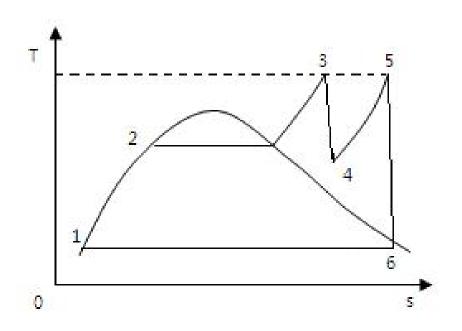




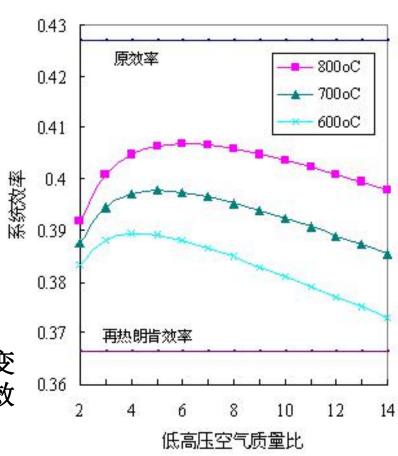




联合循环(常压流化床)效率分析



蒸汽动力循环由一次再热回热循环转变 成一次再热郎肯循环,将会引起系统效 率下降。



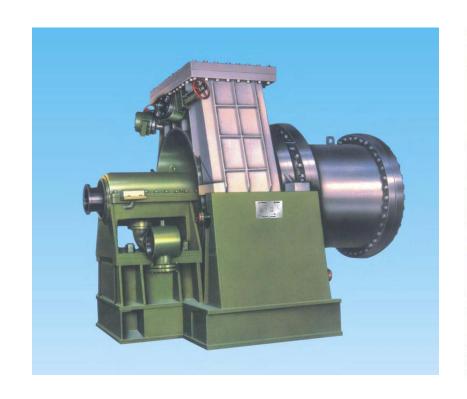
空气轮机系统运行参数与经济性器

项目	单位	参数	项目	单位	参数
循环功	kW/kg	118.34	空气质量比		5.58
输出总功	kW	7142	空预器出口空气温度	°C	317.13
空气流量	kg/s	60.35	压气机出口温度	°C	222.81
透平排气温度	°C	384.38	压气机增压比		5

技术类型	主机功率	厂用电率	上网功率	多消耗标煤
	MW	%	MW	t/h
方案1	350	7.33	324.35	0
方案2	350	5.3	331.45	4.86
方案3	350	5.1	332.16	0.95
主汽轮机替代小汽轮机	359.3	7.14	333.31	4.86
主汽轮机替代空气轮机	357.98	7.17	332.16	2.3



大型烟气透平



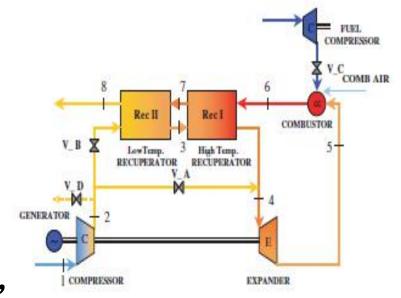


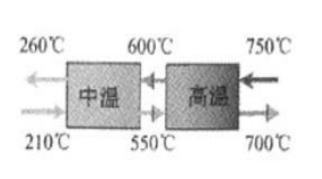


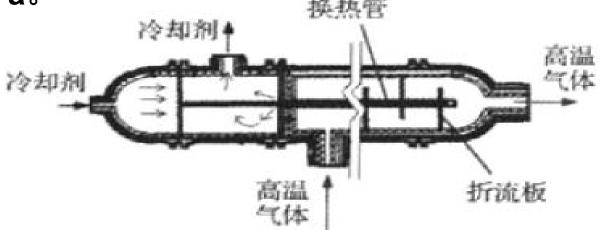
中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

高温换热器开发

- 意大利热那亚大学(Genova, Italy)和意大利Ansaldo公司联 合设计了带回热器的燃气轮机系 统,将单级回热器分为高温级和 低温级。系统输出功率80kW。
- Luzzatto等人采用陶瓷材料设计了一个适用于高温工况的管壳式换热器,设计最高温度为1500℃,最高压力为2.5 MPa,两路气体的压差最大为0.6 MPa。





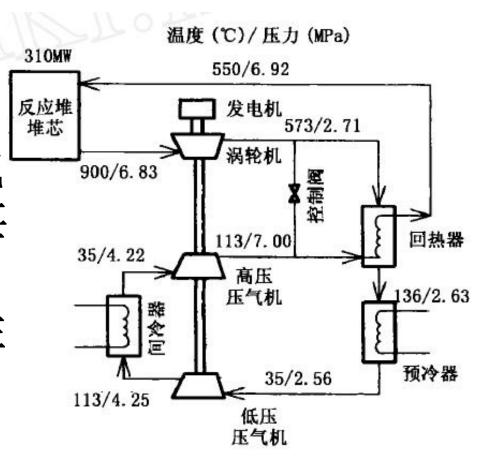






高温气冷反应堆技术

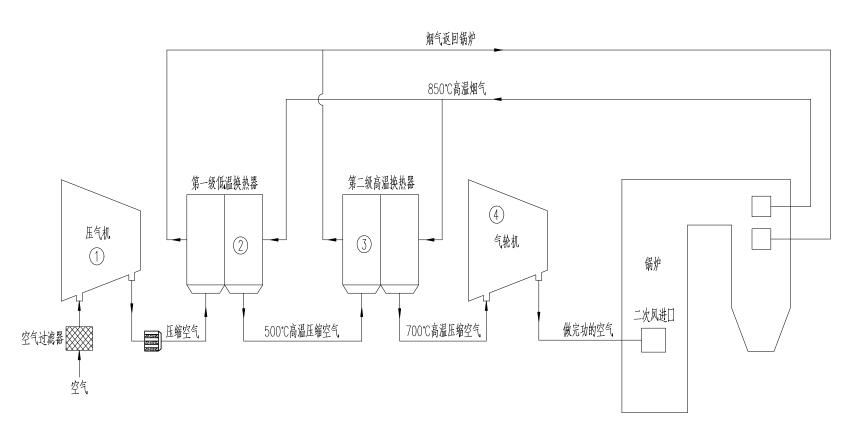
- ■由于堆芯为耐高温的全陶瓷型结构,堆芯出口氦气温度可达900°C甚至更高。
- ■陶瓷SiC层可以在 1600°C以下保持 其完整性。



流量:170kg/s; 压缩比: 2.74; 循环效率: 47.9%







1、轴流式压气机,2000Nm³/min,功耗7462kW;2、第一级换热器,空气进口温度182°C,出口温度500°C;3、第二级换热器(高温换热器),空气进口温度500°C,出口温度700°C;4、双级空气透平,输出功11200kW





系统输出功率

■ 根据以上参数可以计算出系统的总输出功 率为: 11200-7462=3738kW, 同时因为在 烟气轮机做完功后的热空气替代了一部分 二次风,这部分折算功率约为257kW,因 此系统总的输出功率为3995kW,相当于降 低350MW机组的厂用电率为1.14%,考虑 进锅炉效率因素后相当于增加了标煤消耗 为0.5t/h。

系统造价 初步 预算

序号	工程项目名称	设备购置费	安装工程费	合ig
(一)	热力系统	3516	786	4302
1	设备本体	3516	90	4分代報
1.1	轴流压缩机组	1315	23	133联合会
1.2	烟气轮机	1208	46	1254
1.3	烟气换热器	993	22	1015
2	烟风管道		550	550
2.1	冷风道		1	1
2.2	压缩空气管道		149	149
2.3	高温烟气管道		400	400
3	保温		145	145
(二)	电气系统	233	128	361
1	变压器系统	163	56	219
1.1	主变压器	157	2	160
1.2	封闭母线	5	54	59
2	高低压配电装置	71	3	74
3	全厂行车滑线		1	1
4	全厂电缆及接地		67	67
4.1	全厂电缆		65	65
4.2	电缆辅助设施		1	1
4.3	电缆防火		0	0
4.4	全厂接地		1	1
	小计	3750	962	4712

HINA LECTRICITY OUNCIL





两种驱动方式的经济性比较

项 目	小汽轮机 驱动方式	空气透平 驱动方式	备 注
输出功率(kW)	2×3571	2×3728	
总投资 (万元)	3201	9424	
单位投资 (元)	4482	12639	
输出总功率(kW)	7142	7142	
标煤耗量(t/h)	4.86	0.95	
年耗煤量 (吨)	35478	6935	按照7300小时计算
年增上网电量(万kWh)	5213.66	5725.96	透平系统加上风机节电量
年增运行成本 (万元)	2838.24	554.8	按照标煤800元/t算
年上网电量收益(万元)	2085.46	2290.38	按照0.4元/kWh算
年收益 (万元)	-752.78	1735.58	
投资回收期 (年)		5.4	



中国 CHINA 中国 ELECTRICITY 电力企业 COUNCIL 联合会

效益预测

- 2010年全国规模以上火电机组供电量为34145.24亿 kWh, 平均供电煤耗为335g/kWh。
- 因此,火电厂平均每降低1%的厂用电,相当于增加供电量1%,也就是多提供上网电量341.45亿kWh,折算节省标煤1143.87万吨。折合减排CO₂约2840万吨,减少SO₂排放约11万吨,减少NO_x排放9.8万吨,减少烟尘排放3.4万吨。
- 采用锅炉与燃机耦合的方式,厂用电率降低幅度约为2.5~3.5%。因此,经济与环境效益巨大,推广潜力极大。





实施方式设想

- ■与电厂合作,共同向科技部申请科研课题;
- 与设备制造商合作,共同做示范工程;
- 然后在发电企业中进行推广;
- 或者采用合同能源管理的方式进行大范围推 广应用。





结论

- 在锅炉机组耦合了空气轮机系统以后,可以较大幅度的提高火力发电机组的供电效率,可降低厂用电率约2.5~3.5%,大大提高了电厂效益。
- 在耦合的空气轮机系统中,压气机、涡轮以及高温换 热器均为成熟的设备或者技术,所以实施起来没有大 的技术障碍。
- 对耦合的空气轮机系统做初步的造价分析表明,整个系统的投资回收期为5.4年,如果以改造小汽轮机为比较基础,则投资回收期为3.78年。
- 因为耦合了空气透平以后,进入炉膛内的空气温度有了较大幅度的提高,有利于提高锅炉燃烧效率,对燃烧不易着火的燃料更为有利。



谢 谢!