



超超临界1000MW汽轮机组

主要零部件材料国产化试制情况介绍

——600MW/1000MW超超临界机组新型钢国产化研讨会

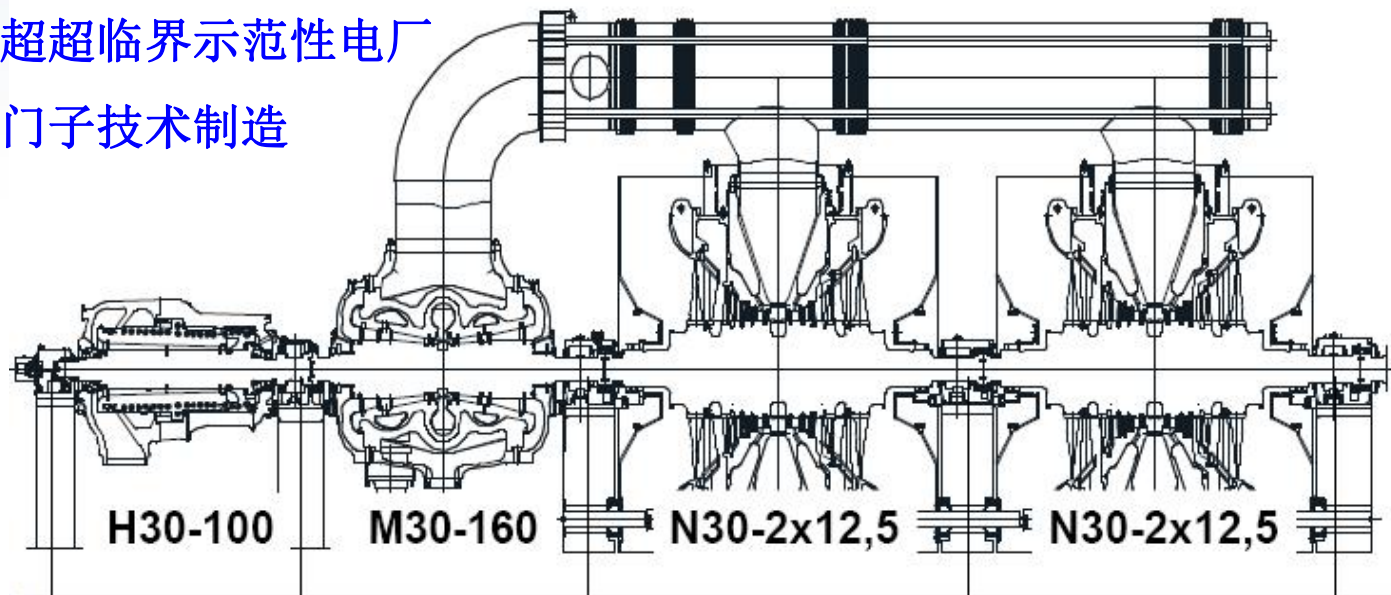
2009年4月1日 扬州



上海电气电站设备有限公司汽轮机厂
SHANGHAI ELECTRIC POWER GENERATION EQUIPMENT CO., LTD.

华能玉环4×1000MW超超临界汽轮发电机组

- 我国第一座超超临界示范性电厂
- 引进德国西门子技术制造



- 机组总体结构：一个高压缸、一个中压缸、两个低压缸、左右主汽门调门、左右再热主汽门调门
- 集中了国际上汽轮机在高温材料、特大型长叶片、结构优化设计等多方面可应用的最先进技术，机组的整体性能达到当今世界先进水平

主要零部件材料国产化工作

我厂引进消化吸收西门子技术，严格贯彻西门子的各项技术要求，在材料国产化、工艺试验及工艺评定方面重点开展工作，实现了新产品重要零部件材料的国产化制造。

我厂超超临界1000MW汽轮机组主要零部件材料国产化：

- 汽轮机转子锻件
- 汽轮机大型铸件
- 高温螺栓材料

—Alloy 783合金

- 高温叶片材料

—X12CrMoWVNbN10-1-1、NiCr20TiAl合金



汽轮机转子锻件

我厂超超临界1000MW汽轮机组包括一根高压转子、一根中压转子和两根低压转子：

	材料牌号	重量 (kg)	最大直径 (mm)	总长 (mm)
高压转子	X12CrMoWVNbN10-1-1	18000	1130	4900
中压转子	X12CrMoWVNbN10-1-1	38000	1210	6250
低压转子	26NiCrMoV14-5	98000	1920	8100

汽轮机转子锻件 高/中压转子X12CrMoWVNbN10-1-1

- 600℃时具有良好的持久强度，100,000h蠕变持久强度大约为90-100MPa
- 足够高的室温强度，屈服强度下限为700MPa
- 良好的蠕变塑性（持久断裂的延伸率>10%），并且无蠕变缺口敏感性
- 足够好的淬透性，直径1.2m的转子锻件能淬透
- 高温长期工作具有良好的组织稳定性
- 良好的抗氧化性和耐腐蚀性能
- 良好的断裂韧性，与传统的12%CrMoV和1%CrMoV钢相当

C	Mn	Cr	Mo	Ni	W	V	N	Nb
0.11-0.13	0.4-0.5	10.2-10.6	1.0-1.1	0.7-0.8	0.95-1.05	0.15-0.25	0.045-0.060	0.04-0.06

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AK _v (J)
700-800	≤1000	≥13	≥40	≥30

汽轮机转子锻件

高/中压转子X12CrMoWVNbN10-1-1

供方	卡号	C	Mn	Cr	Mo	Ni	W	V	N	Nb
进口	A19	0.13	0.42	10.42	1.06	0.78	0.97	0.18	0.052	0.048
进口	B32	0.13	0.42	10.46	1.07	0.79	0.96	0.17	0.057	0.053
进口	B41	0.12	0.42	10.54	1.06	0.78	0.97	0.18	0.052	0.051
进口	B80	0.13	0.43	10.50	1.05	0.80	0.99	0.17	0.053	0.049
国产	B128	0.13	0.42	10.46	1.01	0.76	1.04	0.19	0.060	0.050
国产	B195	0.11	0.45	10.21	1.02	0.71	0.97	0.19	0.045	0.060

供方	卡号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AKv (J)	FATT (°C)
进口	A19	789	911	15.4	59	51 50 64	44
进口	B32	761	883	16.4	58.8	74 125 111	13
进口	B41	755	879	16.2	61.3	72 62 91	37
进口	B80	728	854	17.2	61.9	34 53 34	9
国产	B128	740	859	18.2	61.4	48 71 56	25
国产	B195	790	898	18.0	62.8	44 47 60	36

汽轮机转子锻件 低压转子26NiCrMoV14-5

- 高强度、高韧性，具有良好的断裂韧性
- 良好的疲劳强度和抗疲劳裂纹扩展能力
- 良好的抗腐蚀性（局部腐蚀、应力腐蚀开裂、腐蚀疲劳、冲蚀）
- 正是由于3.5%NiCrMoV钢具有上述优良特性，为世界上各大汽轮机制造厂大型整锻低压转子用钢的首选

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
≤0.28	≤0.07	≤0.40	1.40-1.80	0.30-0.45	3.40-3.80	≤0.15

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AKv (J)	FATT (℃)
750-850	≤1030	≥15	≥45	≥100	≤-30

汽轮机转子锻件

低压转子26NiCrMoV14-5

供方	卡号	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
进口	E31	0.23	0.067	0.29	1.63	0.38	3.54	0.094
进口	G83	0.23	0.069	0.28	1.66	0.43	3.50	0.12
进口	E33	0.23	0.04	0.32	1.63	0.36	3.61	0.09
进口	F66	0.24	0.05	0.33	1.64	0.36	3.63	0.10
进口	J69	0.23	0.04	0.29	1.64	0.37	3.44	0.10
进口	J70	0.23	0.05	0.29	1.67	0.38	3.46	0.10

供方	卡号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AKv (J)	FATT (°C)
进口	E31	767.7	857.2	17.6	69.0	173 182 177	-36
进口	G83	804.7	904	20	71.9	171 184 171	-23
进口	E33	792	890	20.4	69.8	188 178 175	-36
进口	F66	787	895	20.4	74.0	169 184 188	-50
进口	J69	789	883	21	72	190 212 213	-67
进口	J70	799	884	20	73	192 192 201	-35

汽轮机转子锻件 国产化工作开展

- 2005年上重、上海发电设备成套设计研究院、上海市科委和我厂共同开展了X12CrMoWVNbN10-1-1钢转子锻件试制研究（上海市科委重大科研项目）
- 2007年11月和上重签订了1000MW超超临界汽轮机转子锻件战略合作协议，以及和一重、二重等企业合作，围绕超超临界汽轮机高/中压和低压转子锻件进行试制和工艺研究
- 2007年6月对进口中压转子锻件进行断裂力学和寿命评估方面的试验研究
- 2008年9月对进口和国产转子锻件进行试验研究，包括高温力学性能、物理性能、微观组织和组织稳定性、合金化原理等，从各个方面考核国产转子与进口转子之间的实物质量水平
- 后续将对转子材料的高温蠕变持久性能、高温长时下的微观组织稳定性等进行试验研究

汽轮机大型铸件

- 承受高温高压的高中压汽缸和阀壳采用12Cr铸钢件，低压部分较多采用球墨铸铁
- 前期铸件以进口为主，后国内铸件厂按照西门子的技术规范进行试制，通过工艺改进和生产经验积累，目前这些国产铸件的各项性能指标情况良好，实物质量与进口件不相上下

汽轮机大型铸件

高压外缸进汽端GX12CrMoWVNbN10-1-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	W	N
进口	S1-08	0.122	0.29	0.86	0.013	0.005	0.013	9.68	0.65	1.01	0.24	0.079	1.01	0.046
进口	S1-09	0.12	0.28	0.86	0.0094	0.007	0.011	9.41	0.64	1.00	0.22	0.065	1.01	0.045
进口	S1-81	0.122	0.29	0.86	0.013	0.005	0.013	9.68	0.65	1.01	0.24	0.079	1.01	0.046
进口	S1-13	0.120	0.27	0.88	0.010	0.007	0.016	9.55	0.65	1.00	0.22	0.073	1.01	0.045
进口	S1-67	0.118	0.26	0.86	0.011	0.007	0.019	9.40	0.65	0.97	0.21	0.072	0.98	0.045
进口	S1-58	0.116	0.26	0.80	0.011	0.007	0.012	9.58	0.62	1.00	0.19	0.069	0.96	0.048
进口	S1-59	0.112	0.24	0.83	0.012	0.008	0.014	9.49	0.63	1.03	0.19	0.070	0.96	0.047
国产	E1-41	0.130	0.31	0.95	0.012	0.004	0.007	9.69	0.64	0.93	0.21	0.066	0.97	0.044

供方	铸件号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv (J)
		≥ 520	680-850	≥ 15	≥ 40	≥ 35
进口	S1-08	535.0 529.7	708.5 703.4	19.1 20.5	52.4 51.3	35 35 39 35 37 39
进口	S1-09	524.0 523.2	691.2 688.2	20.3 20.9	49.5 56.0	39 49 45 51 47 44
进口	S1-81	535.0 529.7	708.5 703.4	19.1 20.5	52.4 51.3	35 35 39 35 37 39
进口	S1-13	581.0 570.9	732.0 724.3	23.9 21.4	55.6 57.5	39 62 50 50 59 68
进口	S1-67	558.9 562.4	725.4 728.1	24.05 22.0	57.1 53.2	66 70 72 61 70 64
进口	S1-58	529.0 555.3	689.3 712.7	19.9 18.3	52.7 56.6	33 43 51 38 44 39
进口	S1-59	552.3 549.7	707.2 702.9	17.6 19.4	56.0 54.3	42 43 37 46 56 76
国产	E1-41	525	700	23.5	61.5	78 77 76

汽轮机大型铸件

高压内缸GX12CrMoVNbN9-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	N ₂
国产	E2-40	0.14	0.33	0.59	0.010	0.002	0.007	8.79	0.30	0.97	0.22	0.056	0.040
国产	E2-39	0.12	0.30	0.76	0.016	0.003	0.006	9.40	0.29	0.98	0.25	0.058	0.040
国产	E2-59	0.14	0.33	0.57	0.013	0.002	0.005	8.66	0.30	0.96	0.21	0.054	0.05
国产	E2-38	0.12	0.30	0.53	0.014	0.002	0.006	8.95	0.34	0.97	0.22	0.068	0.043
国产	E2-91	0.12	0.31	0.57	0.009	0.002	0.007	9.01	0.33	0.95	0.22	0.059	0.051
国产	E2-04	0.12	0.31	0.61	0.013	0.002	0.005	8.37	0.32	0.99	0.21	0.067	0.051
国产	H2-71	0.14	0.31	0.67	0.008	0.006	0.005	9.21	0.32	0.95	0.21	0.062	0.059
进口	S2-58	0.12	0.41	0.49	0.011	0.002	0.015	9.02	0.29	0.97	0.21	0.07	0.047
进口	S2-09	0.12	0.42	0.52	0.009	0.002	0.015	9.23	0.32	0.98	0.22	0.06	0.047
进口	S2-99	0.12	0.41	0.49	0.011	0.002	0.015	9.01	0.29	0.97	0.22	0.07	0.046

供方	铸件号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv (J)
		≥500	630-750	≥16	≥40	≥35
国产	E2-40	510	690	22.5	68.5	65 58 56
国产	E2-39	570	710	21.5	65.5	30 50 63
国产	E2-59	504	705	22	64.5	70 48 60
国产	E2-38	570	720	22	67.5	34 46 36
国产	E2-91	500	665	25	68.5	70 78 64
国产	E2-04	580	705	21	68.5	73 52 66
国产	H2-71	515	695	21.8	62.1	66 68 70
进口	S2-58	518 521	684 693	21.9 21.3	63.1 62.4	59 91 88 73 84 82
进口	S2-09	544 554	705 714	19.7 23.1	62.3 62.3	52 55 40 47 52 64
进口	S2-99	503 511	659 661	21.8 21.0	65.0 64.5	83 118 113 97 103 117

汽轮机大型铸件

中压外缸EN-GJS-400-18U-RT/GGG40.3

供方	铸件编号	壁厚	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv (J)
		60-200mm 〉 200mm	≥ 240 ≥ 220	≥ 370 ≥ 350	≥ 12 ≥ 10	记录	≥ 12 ≥ 10
进口	B7-25	60-200mm 〉 200mm	249 251	382 383	22.5 21.5	-	17.5 20.5 21.5 16 16.5 17.5
进口	B7-95	60-200mm 〉 200mm	250 258	372 387	14.8 25.4	-	20.5 23 17 21 22 11
国产	N7-04	60-200mm 〉 200mm	265 250	395 375	27 26	26 15.5	12 12 13 15 15 16
国产	N7-69	60-200mm 〉 200mm	255 260	385 390	22 27	26 28.5	14 12 12 10 10 10
国产	N7-67	60-200mm 〉 200mm	255 240	385 370	25 27	26 34	15 17 16 14 15 13
国产	N7-63	60-200mm 〉 200mm	245 240	375 375	28 27.5	26 24.5	16 17 17 18 18 18
国产	N7-68	60-200mm 〉 200mm	250 230	390 380	28 24	25 27.5	13 13 14 12 12 12
国产	N7-65	60-200mm 〉 200mm	245 255	380 380	27 27	35 36.5	17 18 20 18 16 19
国产	N7-66	60-200mm 〉 200mm	290 240	380 370	18 22	26.5 17.5	17 18 17 14 17 17
国产	N7-70	60-200mm 〉 200mm	255 255	390 385	27 25.5	25 25.5	12 12 13 14 15 15
国产	N7-06	60-200mm 〉 200mm	260 255	390 385	23 22	27.5 31	14 12 12 10 10 10
国产	N7-03	60-200mm 〉 200mm	260 250	390 375	23 22	26.5 28.5	12 12 12 12 12 13
国产	N7-08	60-200mm 〉 200mm	260 260	390 385	18 24	16.5 26	13 11 12 13 10 14
国产	H7-06	60-200mm 〉 200mm	261 317	384 452	23.4 12	28.3 19.5	18 18 18 13 13 14
国产	H7-29	60-200mm 〉 200mm	248 255	383 373	27.6 25.4	28 23.3	18 18 18 16 16 17

汽轮机大型铸件

中压内缸GX12CrMoVNbN9-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	N ₂
进口	A3-80	0.13	0.24	0.47	0.011	0.005	0.006	9.00	0.36	1.00	0.23	0.069	0.04
进口	A3-82	0.13	0.25	0.46	0.009	0.006	0.005	8.80	0.34	0.99	0.18	0.061	0.047
进口	A3-84	0.12	0.26	0.47	0.008	0.004	0.011	8.95	0.33	1.03	0.18	0.07	0.050
进口	A3-85	0.14	0.27	0.49	0.01	0.004	0.009	8.93	0.34	1.03	0.20	0.069	0.046
进口	A3-32	0.11	0.26	0.51	0.011	0.007	0.014	8.80	0.33	0.97	0.22	0.071	0.041
国产	E3-38	0.12	0.26	0.51	0.008	0.003	0.006	8.92	0.30	0.96	0.22	0.063	0.052
国产	E3-37	0.13	0.30	0.55	0.007	0.002	0.007	8.89	0.30	0.93	0.20	0.059	0.051
国产	E3-05	0.12	0.27	0.54	0.019	0.003	0.006	8.89	0.31	0.98	0.22	0.062	0.052
国产	Z3-71	0.11	0.26	0.50	0.008	0.001	0.006	8.20	0.31	0.94	0.20	0.062	0.045

供方	铸件编号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv J
		≥500	630-750	≥16	≥40	≥35
进口	A3-80	565.3 508.1	707.7 668.1	21.8 22.7	60.0 58.3	68 59 42 99 103 63
进口	A3-82	560.6 546.4	712.2 699.3	17.2 22.8	54.6 56.9	55 59 59 79 58 78
进口	A3-84	508.2 518	638.8 674.3	22.1 16.2	59.4 57.9	87 62 55 47 59 57
进口	A3-85	527.2 514.2	691.4 682.7	16.3 24.5	56.2 55.7	113 90 74 70 91 74
进口	A3-32	516 522.4	672 684.7	23.6 23.2	59.5 60.2	47 68 84 48 73 108
国产	E3-38	575 560	720 715	22 23	68.5 68.5	60 58 60
国产	E3-37	585	735	20.5	70	60 49 56
国产	E3-05	605	755	19	61.5	49 44 47
国产	Z3-71	503	650	22.4	66.4	42 41 45

汽轮机大型铸件

主汽门GX12CrMoWVNbN10-1-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	W	N ₂
国产	H4-91	0.13	0.35	0.99	0.014	0.009	0.006	9.93	0.68	0.94	0.21	0.06	1.09	0.048
国产	H4-11	0.14	0.34	1.06	0.012	0.008	0.02	10.12	0.69	0.96	0.21	0.07	1.01	0.048
进口	S4-26	0.11	0.30	0.90	0.012	0.006	0.012	9.43	0.65	0.96	0.20	0.06	1.05	0.047
进口	S4-06	0.12	0.30	0.91	0.011	0.004	0.013	9.52	0.62	0.98	0.20	0.06	1.00	0.050
进口	S4-19	0.13	0.28	0.94	0.013	0.004	0.018	9.53	0.64	0.99	0.20	0.06	1.01	0.050
进口	S4-62	0.12	0.30	0.92	0.013	0.008	0.013	9.63	0.63	1.00	0.21	0.06	1.04	0.043
进口	S4-23	0.12	0.28	0.97	0.012	0.006	0.013	9.52	0.65	0.96	0.21	0.07	0.98	0.046
进口	S4-28	0.12	0.21	0.98	0.014	0.008	0.008	9.55	0.66	0.96	0.23	0.06	0.97	0.053

供方	铸件号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv J
		≥520	680-850	≥15	≥40	≥35
国产	H4-91	565	770	19.2	54.9	62 67 96
国产	H4-11	610	790	23.0	52.8	58 73 77
进口	S4-26	576	738	19.1	56.8	52 53 38
		539	706	18.6	55.9	58 54 44
进口	S4-06	596	754	20.3	54.0	49 38 45
		560	722	21.0	56.8	54 48 46
进口	S4-19	571	738	19.9	56.8	43 47 56
		633	779	18.7	57.7	47 48 31
进口	S4-62	558	746	22.0	56.8	35 54 59
		551	738	21.6	58.3	51 43 63
进口	S-23	576	734	18.9	58.7	61 47 52
		678	801	15.4	54.0	43 54 41
进口	S-28	560	724	17.3	54.9	50 54 52
		617	761	15.4	58.7	64 55 65

汽轮机大型铸件

再热主门GX12CrMoWVNbN10-1-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	W	N ₂
进口	A5-20	0.123	0.28	0.87	0.013	0.005	0.009	9.54	0.66	0.98	0.25	0.076	1.05	0.048
进口	A5-19	0.119	0.22	0.84	0.008	0.006	0.011	9.33	0.66	0.98	0.22	0.08	0.97	0.049
进口	A5-05	0.13	0.25	0.89	0.014	0.005	0.012	9.57	0.64	1.00	0.20	0.076	0.99	0.046
进口	A5-04	0.127	0.27	0.89	0.012	0.004	0.012	9.52	0.65	1.00	0.23	0.077	1.00	0.048
进口	A5-62	0.13	0.27	0.86	0.012	0.004	0.007	9.42	0.67	0.99	0.22	0.078	1.00	0.049
进口	A5-63	0.136	0.25	0.85	0.015	0.005	0.005	9.51	0.66	1.03	0.25	0.076	1.03	0.046
国产	H5-91	0.11	0.25	0.92	0.010	0.007	0.011	9.89	0.67	0.94	0.21	0.068	1.00	0.056
国产	H5-41	0.12	0.32	0.99	0.011	0.007	0.010	9.99	0.67	0.96	0.22	0.076	0.99	0.042
国产	E5-51	0.14	0.30	1.01	0.012	0.004	0.006	9.36	0.63	0.97	0.19	0.055	0.98	0.044
国产	E5-52	0.14	0.30	1.01	0.012	0.004	0.006	9.36	0.65	0.97	0.19	0.055	0.98	0.044

供方	铸件号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv J
		≥520	680-850	≥15	≥40	≥35
进口	A5-20	594.4 598.4	735.4 746.6	16.6 22.4	45.6 50.6	40 42 42 55 63 43
进口	A5-19	601.1	751.5	21.06	49.2	52 50 48 48 68 55
进口	A5-05	588.9 641.4	749.3 798.4	17.2 17.2	50.0 45.6	48 43 53 32 36 39
进口	A5-04	554.1 642.1	729.9 807	20.1 16.9	51.0 48.9	70 55 70 63 39 47
进口	A5-62	627.4 588.9	775.6 750.7	17.1 15.9	50.2 50.1	64 64 54 46 52 37
进口	A5-63	587 573.7	748.4 739.7	18.4 18.3	49.5 47.9	59 51 45 70 48 83
国产	H5-91	630	780	20.6	55.1	48 56 61
国产	H5-41	650	795	18.4	57.7	40 40 56
国产	E5-51	545	715	24.0	65.0	80 106 114
国产	E5-52	545	720	24.0	62.5	65 67 114

汽轮机大型铸件 再热调门GX12CrMoWVNbN10-1-1

供方	铸件号	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo	V	Nb	W	N ₂
进口	A6-21	0.12	0.28	0.87	0.014	0.005	0.008	9.34	0.68	0.99	0.23	0.079	1.00	0.050
进口	A6-65	0.11	0.22	0.91	0.013	0.007	0.008	9.50	0.63	1.01	0.228	0.067	1.04	0.042
进口	A6-06	0.13	0.25	0.89	0.015	0.006	0.009	9.42	0.67	0.99	0.23	0.070	0.97	0.047
进口	A6-07	0.13	0.24	0.90	0.013	0.005	0.009	9.44	0.65	0.98	0.22	0.068	0.98	0.045
进口	A6-66	0.11	0.22	0.84	0.013	0.005	0.013	9.53	0.62	1.02	0.20	0.060	0.96	0.045
进口	A6-68	0.12	0.24	0.88	0.014	0.005	0.005	9.33	0.66	1.03	0.23	0.074	0.99	0.047
国产	H6-21	0.12	0.30	0.92	0.009	0.006	0.019	9.98	0.65	0.92	0.20	0.066	0.99	0.059

供方	铸件号	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	Akv J
		≥520	680-850	≥15	≥40	≥35
进口	A6-21	584 576	733 730	20.7 19.7	54.6 52.4	47 47 49 47 54 43
进口	A6-65	551 549	714 711	19.3 18.8	55.0 56.0	51 43 44 47 33 48
进口	A6-06	568 580	722 728	20.0 17.3	54.3 51.5	69 71 55 44 58 46
进口	A6-07	580 571	734 728	20.5 19.8	50.5 48.0	63 49 42 71 78 69
进口	A6-66	607 616	748 757	17.0 17.4	53.7 49.9	41 49 39 47 33 39
进口	A6-68	563 573	719 722	17.5 20.3	56.4 56.4	35 51 52 40 45 32
国产	H6-21	605	760	18.0	55.9	77 79 88

高温螺栓材料 Alloy 783合金

- 超超临界汽轮机组高温螺栓，西门子公司采用新一代低膨胀高温合金Alloy 783，这是国内第一次汽轮机螺栓选用低膨胀高温合金
- Alloy 783合金是上世纪90年代初美国SMC公司开发的新一代低膨胀、抗氧化Fe-Ni-Co基高温合金，即Inconel 783，该合金国标称为GH6783。它具有强度高、线膨胀系数低、优良的抗氧化性等优点。目前主要应用于1000MW超超临界汽轮机主汽门和再热门螺栓

主要化学成分 (wt%)

Cr	Ni	Fe	Nb	Al	B	Ti	Co
2.5-3.5	26-30	24-27	2.5-3.5	5.0-6.0	0.003-0.012	0.1-0.4	其余

高温螺栓材料 Alloy 783合金

热处理工艺

固溶处理: 1105-1120℃, 空冷;

时效处理: 843℃/2~4h, 空冷至室温;

718℃/8h, 炉冷至621℃/8h, 空冷

室温力学性能要求

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_4 (%)	ψ (%)	HRC
≥ 724	≥ 1103	≥ 12	≥ 20	≥ 27

650℃拉伸性能要求

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_4 (%)	ψ (%)
≥ 621	≥ 896	≥ 15	≥ 25

我公司曾向美国SMC公司购买过该合金, 为实现该合金的国产化, 我公司和宝钢特殊钢集团有限公司进行技术合作, 试制产品各项指标符合西门子技术标准要求, 已经开始批量生产并应用于实际产品

高温叶片材料

X12CrMoWVNbN10-1-1

该材料属铁素体耐热不锈钢，等同于欧洲开发的COST E，其特点是成分控制比较严格，采用真空感应+电渣重熔的冶炼方式，用于高温环境工作的高压和中压动静叶片，工作温度范围约530~600℃

室温力学性能要求

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AK _v (J)	HB
750-830	870-970	≥14	≥55	≥50	270-310

国产化情况：宝钢特殊钢、东北特钢均能实现制造，另有其它钢厂也进行过试制。

国内钢厂通过前期的试制和随后的批量生产，总体质量比较稳定，未出现大的波动。

高温叶片材料 NiCr20TiAl合金

NiCr20TiAl合金实际上就是美国SMC公司开发的Nimonic 80A合金，中国牌号为GH80A，该合金主要靠Ti、Al和C强化，通常最高使用温度为815℃，目前主要用于制造高压1-3级动叶和中压1-2级动叶

主要化学成分

C	Cr	Ni	Co	Al	Ti	Al+Ti
0.04-0.10	18.00-21.00	余	≤1.00	1.00-1.80	1.80-2.70	≥3.50

热处理工艺

固溶处理： 1050～1080℃/8h，空冷；

稳定化处理： 845℃/24h，空冷；

沉淀硬化处理： 700℃/16h，空冷

高温叶片材料 NiCr20TiAl 合金

室温力学性能要求

$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	ψ (%)	AK _v (J)	HB
≥600	1000-1300	≥12	≥12	≥20	310-400

该合金在国内的研制和应用已有相当长一段时间了，从制造技术和总体质量情况上来说，是比较稳定和成熟的材料。但由于不同行业或不同公司对其应用特性有一些不同的要求，因此实际生产中锻轧工艺还需要根据实际情况逐步优化完善. 宝钢特殊钢已经提供过该材料，另有其它国内特殊钢厂开始试制

结论

超超临界1000MW汽轮机组的一些关键材料，通过国内相关材料制造单位的工艺试验和技术研究，国产化试制取得了比较好的成果，一些关键零部件已经基本能够实现国产化制造

www.shanghai-electric.com

谢谢

