

北仑发电厂二号机组 (600MW) 技 术 特 点

汽 机 篇

浙江省电力试验研究所

编写说明

北仑港发电厂 I 期工程($2 \times 600\text{MW}$)是我国第一个利用世界银行贷款、采用分岛国际招标方式全套引进国外设备的大型发电工程。#1、#2 机组分别于 1991 年 10 月 30 日和 1994 年 10 月 20 日完成试运行。一期工程总投资近 28 亿元,单位造价 2315.7 元/kw。

为了更好地消化吸收国外先进技术,在#1 机组竣工投产后,省局组织参与工程设计、安装、调试和运行的技术人员编写了《北仑发电厂一号机组技术特点》,出版发行后,受到了广泛的欢迎和好评。因为#1、#2 机组分别招标,主设备供货厂商不同,故又编写出版《北仑发电厂二号机组技术特点》,分别介绍汽轮机与锅炉主、辅设备的技术特点。

本书由始终参与工程建设的技术人员编写,并经多位专家集体审稿。全书内容翔实,不仅比较详细地介绍了法国 GEC ALSTHOM 公司 600MW 机组及加拿大 B. W 公司 2008t/h 锅炉的设备、系统及其技术特点,而且对安装、调试、运行中遇到的各种问题及处理方法进行了讨论。它是工程技术人员丰富经验和心血的结晶,具有很高的实用价值,既可作为电力系统广大专业技术人员在设备选型、安装、调试和运行等工作时的参考,也是有关单位进行技术培训的很好资料。

在本书的编写过程中得到了省电力局、省电力试验研究所、北仑发电厂工程建设公司、北仑发电厂的许多领导和同志们们的热情帮助和支持,在此谨向他们表示衷心的感谢!

由于我们水平有限,书中肯定有不当之处,敬请读者批评指正。

《北仑发电厂二号机组技术特点》编辑部

一九九六年八月

汽机篇

作者:严明华

(其中第3章第1节中旁路系统的控制部分由陆
钟洲编写,第5章中的第5节由龚皓编写)

审稿:朱吉灿、金学培、鲍善陵、卢敦谅、桑如波、章建叶、

杨新成、王永章、陶雷果、龚皓、王遵雯、祝耀坤

责任编辑:陆一春,朱美英

目 录

第 1 章	概述	1
1	工程概况	1
2	汽轮机概况	2
3	汽轮发电机组主要技术规范及保证条件	9
4	厂房设施及主要设备布置	10
5	机组主要技术特点	16
第 2 章	汽轮机本体结构	19
1	高压缸组件	19
2	中压缸组件	30
3	低压缸组件	39
4	滑销系统	48
5	轴承及轴承座	50
6	盘车装置	55
7	进汽阀门	62
第 3 章	蒸汽系统及其设备	69
1	主蒸汽、再热蒸汽及汽轮机旁路系统	69
2	辅助蒸汽系统	90
3	抽汽系统	95
4	轴封系统	106
第 4 章	水系统及其设备	111
1	凝结水系统及其设备	111
2	给水系统及其设备	122
3	循环水系统	143
4	循泵房滤网设备	157
5	开式循环冷却水系统	163
6	闭式循环冷却水系统	167
第 5 章	汽轮机润滑油、液压油及电液控制系统	175
1	润滑油和顶轴油系统	175
2	润滑油净化系统	184
3	液压油系统	187
4	调速及安全系统	192
5	数字式电液控制系统(DEH)	200
第 6 章	发电机冷却、密封油系统及其设备	216
1	发电机氢冷系统	216
2	发电机密封油系统	220
3	发电机定子冷却水系统	225

第7章	其它辅助系统及设备	230
1	真空系统	230
2	胶球清洗系统	239
3	压缩空气系统	241
4	消防系统	246
5	生活、服务水系统	255
第8章	给泵汽轮机	257
1	概述	257
2	本体结构	259
3	润滑油系统	269
4	液压油系统	272
5	液压调速及安全系统	275
6	模拟式电液控制系统	278
7	运行和启动	283
第9章	汽轮机的启动、运行和停机后防护	287
1	汽轮机的运行	287
2	汽轮机的启动	290
3	停机后的防护	300
附表		306
附图		313

第1章 概述

1 工程概况

北仑发电厂“2”机组分汽机、锅炉、除灰、仪控和电气(厂用电部分)5个岛分别招标,升压站和输煤系统为“1”、“2”机共用,在“1”机设备招标时已采购。上述5个岛的中标厂商分别为:汽机,法国 GEC ALSTHOM;锅炉,加拿大的 B&W 公司和日本丸红商社;除灰,美国的联合输送公司(UCC);厂用电,法国的 CEGELEC 公司;仪控,为了便于电厂机组的运行,仍采用“1”机组仪控制造厂的同类设备,由美国 U&IC(后改为 ABB-PAI, ABB-PPC)公司供货。各合同承包厂商各自进行工程设计、设备制造,由美国 EBASCO 公司负责各岛之间的接口设计和协调,华东电力设计院负责国内设计。由浙江省火电建设公司为主承担工程的设备安装;由浙江省电力试验研究所为主承担设备和系统的调试;北仑发电厂工程建设公司及北仑发电厂全面参与了工程建设。

“2”机组于1990年10月8日破土动工,至1994年3月5日机组首次冲转至3000 r/min,10月20日完成168h试运行。

“2”机组工程主要施工工期:

(1)主厂房打桩(“1”、“2”机组之间的隔离措施/正式打桩)	1990.3/1990.4.6
(2)主厂房挖土	1990.10.8
(3)烟囱滑模开始	1991.1.19
(4)主厂房基础浇第一方混凝土	1991.2.10
(5)汽机基座底板/基座浇完	1991.3.2/1991.11.17
(6)烟囱混凝土外筒滑模到顶(235m)	1991.6.25
(7)锅炉钢结构吊装开始	1991.7.20
(8)汽机房钢结构吊装开始	1991.9.20
(9)汽机房结顶	1992.1.10
(10)集控楼钢结构吊装完	1992.2.26
(11)锅炉大板梁 A、B、C、D 吊装就位	1992.4.12~14
(12)锅炉受压部件地面组装	1992.4.19~7.31
(13)主蒸汽管道焊接开始	1992.5.9
(14)锅炉汽包吊装就位	1992.6.19
(15)烟囱钢内筒顶升到位(240m)	1992.7.4
(16)锅炉受热面部件开始吊装	1992.8.21
(17)汽机台板就位	1992.8.25
(18)锅炉受热面管道第一只焊口开始施焊	1992.9.3
(19)发电机定子吊装就位	1992.9.10
(20)汽机低压外下缸就位	1992.10.24
(21)主变压器就位	1992.10.29
(22)锅炉大板梁 E 吊装就位	1992.10.31
(23)汽机高/中压缸整体就位	1992.12.30

(24) 锅炉受热面管道最后一只焊口施焊结束	1993. 4. 25
(25) 10. 75kV、3. 15kV 中压系统, 汽机/锅炉房 400V, PC、MCC 系统受电	1993. 4. 27
(26) 锅炉水压试验(一次系统 30. 4MPa, 二次系统 7. 5MPa)	1993. 5. 25~26
(27) 设备分步试转和各系统调试开始	1993. 8. 17
(28) 汽机低压缸扣缸及轴系找中	1993. 8. 31
(29) 主变压器局放试验	1993. 9. 25~26
(30) 循环水通水	1993. 10. 8~15
(31) 锅炉首次点火	1993. 10. 8
(32) 锅炉化学清洗(EDTA、乙二胺四酸)	1993. 10. 18~22
(33) 主变压器零升试验及厂用电合环试验	1993. 11. 8
(34) 主变压器冲击试验	1993. 12. 6
(35) 蒸汽管道冲管(分 3 个阶段, 共 232 次)	1993. 12. 13~1994. 1. 13
(36) 汽机首次冲转(至 2500r/min 时轴向位移误动作)	1994. 2. 6
(37) 汽机第 2 次冲转(至 3000r/min)	1994. 3. 4
(38) 锅炉安全阀整定(汽包、主蒸汽、再热蒸汽冷/热段共 19 只)	1994. 3. 5
(39) 发电机电气试验(三相短路、空载特性、励磁系统)	1994. 3. 19~4. 24
(40) 小汽机(B)首次单转并作超速试验	1994. 3. 20
(41) 汽轮发电机组首次并网、试带负荷	1994. 4. 2
(42) 厂用备用电源快速自动投入试验	1994. 8. 31
(43) 汽轮发电机组首次带满负荷(600MW)运行	1994. 9. 23
(44) 汽轮发电机组满负荷 168h 试运行结束	1994. 10. 20
(45) 2 机组正式移交电厂试生产	1994. 11. 18

2 汽轮机概况

北仑发电厂“2 机”由法国阿尔斯通公司(ALSTHOM)设计制造。该供货合同于 1989 年 3 月签订,但 1990 年初该公司与英国通用电气公司 GEC 合并,联合组成通用电气阿尔斯通公司(GEC ALSTHOM)。北仑发电厂“2 机”与我国江油发电厂、洛璜发电厂、姚孟发电厂、达拉特发电厂以及台州发电厂 300MW 容量等级的汽轮机组属同一机型。但与北仑发电厂“1 机组 600MW 汽轮机(日本东芝公司产品)有较大的差异。

由 ALSTHOM 公司设计制造的第一台 600MW 汽轮机于 1968 年在法国投产。在我国大陆已经投运或在建的、由法国 ALSTHOM(或 GEC ALSTHOM)公司设计制造的汽轮机有 15 台,如表 1-1。

北仑发电厂“2 汽轮机”的型号为 T2·A·650·30·4·46,它是亚临界、一次中间再热、单轴、四缸、四排汽、冲动、冷凝式汽轮机,通过刚性联轴器带动发电机。该型号的具体含义是:

- T 单轴 2: 再热机组
(Tandem);
A: 高、中压分缸形式 650: 出力为 650MW 等级
30: 转速为 3000r/min 4: 4 排汽
46: 低压排汽缸型式(制造厂内部编号)

表 1-1 GEC ALSTHOM 公司供中国汽轮机组一览

地 名	厂 名	容量(MW)	备 注
内 蒙	元宝山电厂	1×300	原 CEM 公司产品*
		1×600	原 CEM 公司产品*
	达拉特电厂	4×330	
河 南	姚孟电厂	2×318	
四 川	江油电厂	2×330	
	洛璜电厂	4×362	
浙 江	北仑电厂	1×620	
	台州电厂	2×330	与北京重型电机厂合作生产

* CEM: Compagnie Electro-Mechanique 法国电气机械公司, 该公司后并入 GEC ALSTHOM 公司。

汽轮机总长为 28.91m(汽轮一发电机组总长为 42.758m), 纵向布置在汽机房 13.7m 标高的运行层上, 汽轮一发电机转子中心线距运行层平台的高度为 1.0m。机组的外形如图 1-1 所示。

汽轮机的通流部分由高、中压缸、低压缸(A)、(B)组成, 共有 38 个压力级。其中:

高压缸部分: 1 个单列调节级+8 个压力级

中压缸部分: 1×9 个压力级(单流式)

低压缸部分(A): 2×5 个压力级(分流式)

低压缸部分(B): 2×5 个压力级(分流式)

机组在 620.67MW 负荷(即汽轮机的铭牌出力)工况下, 其通流部分的热力过程线见图 1-2。高、中压缸和低压缸(A)、(B)的功率分配及效率分别为:

	功率(占机组负荷)	效 率
高压缸(%):	28	89.39
中压缸(%):	39	94.34
低压缸(A)、(B)(%):	33	85.92、87.85

汽轮机共设有 8 段非调整抽汽, 分别位于高压缸第 7 级后、高压缸排汽、中压缸第 3、6 级后、中压缸排汽以及低压缸(A)/(B)第 2、3、4 级后, 其抽(排)出的蒸汽分别至相应的加热器, 用于加热凝结水和给水。2 汽轮机的原则性热力系统如图 1-3 所示。

汽轮机采用喷嘴调节方式, 主蒸汽通过 4 个高压主汽调节阀, 分别经 4 根 $\varnothing 333\text{mm} \times 46\text{mm}$ 的高压导汽管进入高压缸。高压缸的排汽经锅炉再热器再热后, 又经过 4 个中压主汽调节阀、4 根 $\varnothing 508\text{mm} \times 22\text{mm}$ 的中压导汽管进入中压缸。中压缸的排汽经其后端上部

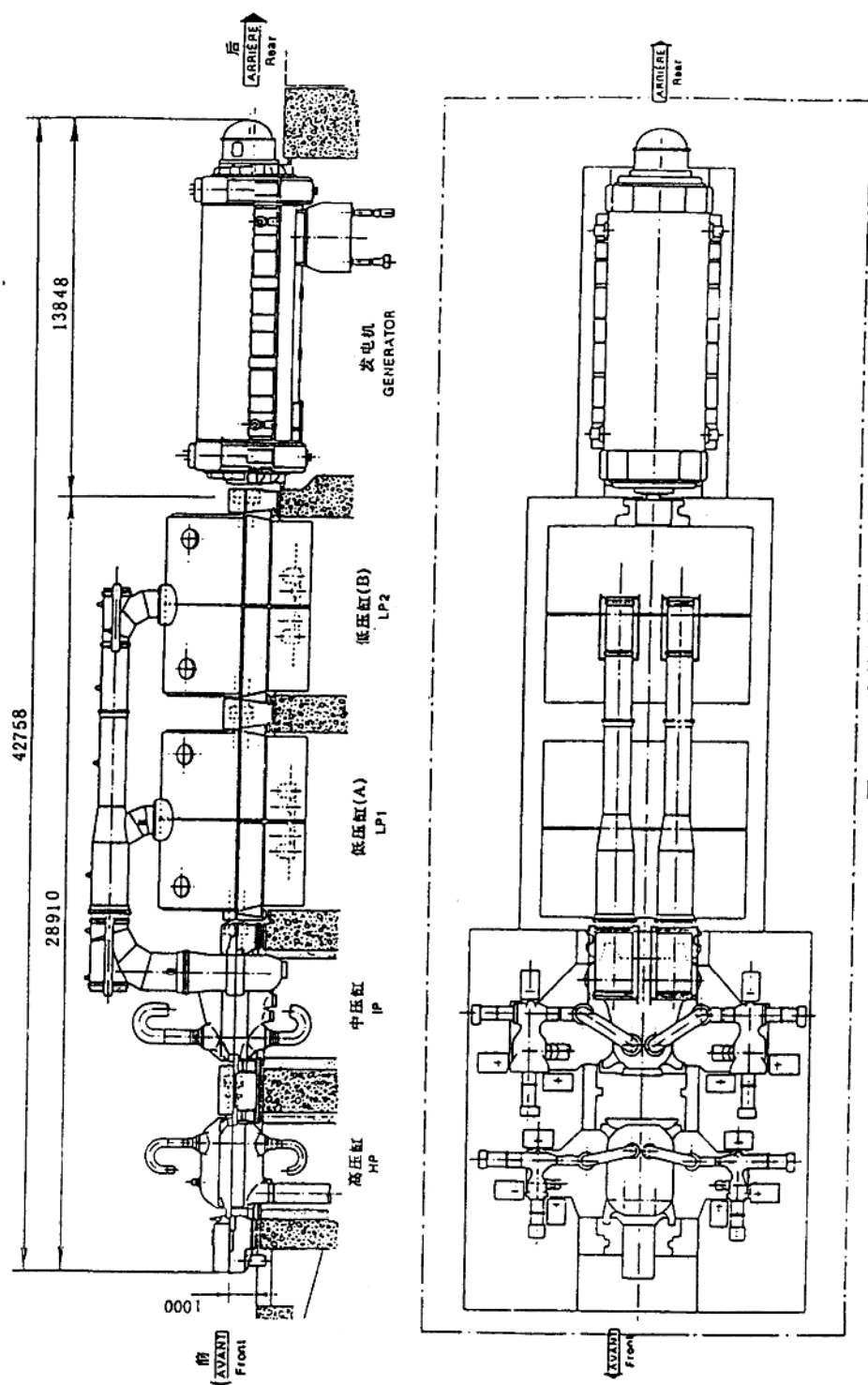


图 1-1 汽轮机外形图

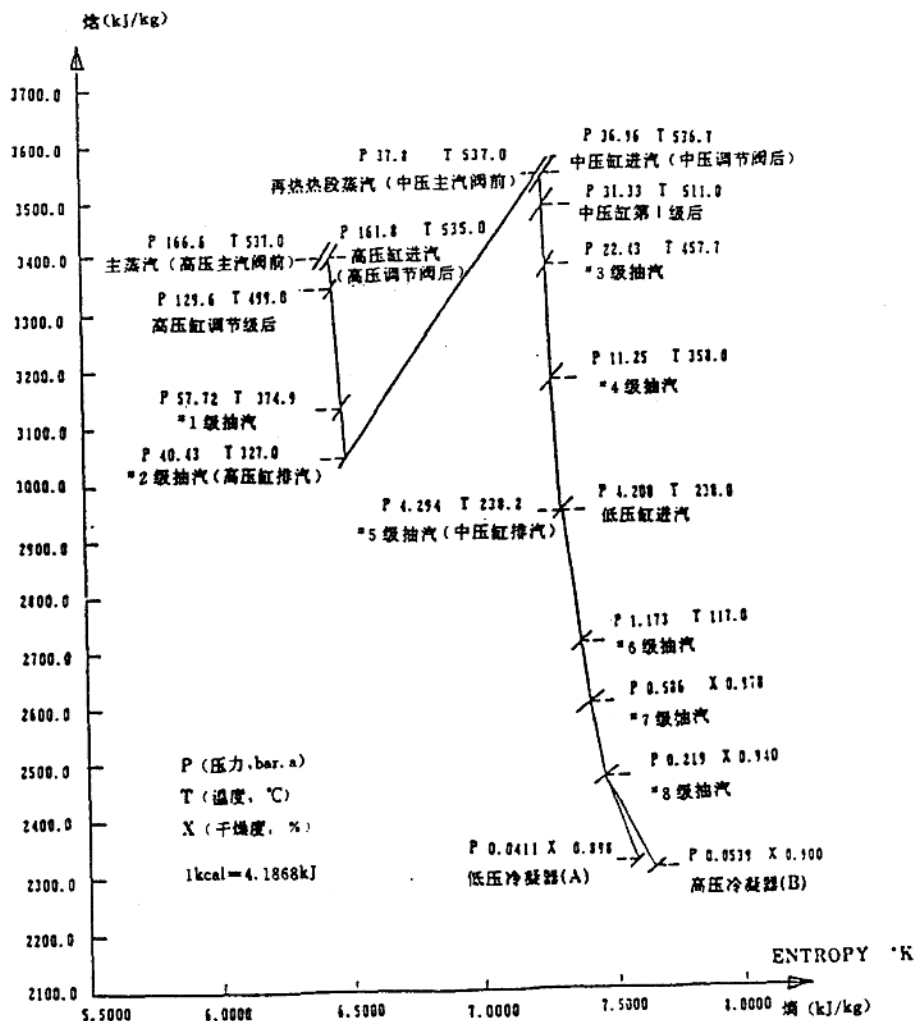


图 1-2 汽轮机通流部分热力过程线
(620.670MW, 1820.4t/h, 20°C)

的 2 个排汽口,通过 2 根 $\varnothing 1450\text{mm} \times 10\text{mm} / \varnothing 1000\text{mm} \times 10\text{mm}$ 变直径的中、低压连通管分别流入低压缸(A)、(B),然后排入低压冷凝器(A)和高压冷凝器(B)。

汽轮机的高、中压缸和低压缸(A)、(B)均为双层缸、水平中分面结构,高、中压缸分别由前、中和“3 轴承箱支撑,其外缸都采用上猫爪支承形式;2 个低压缸则直接座落在基础台板上,低压缸机脚与台板之间另设有 2mm 的不锈钢垫片。

汽轮机的盘车装置、主油泵及其减速装置都设在前轴承箱内。

汽轮机的高、中压和低压(A)、(B)共 4 根转子均为整锻转子,其叶轮、联轴器法兰与主轴锻制为一体。高、中、低压(A)、(B)转子、发电机转子之间都为刚性连接,每根转子各有两个径向轴承支撑,高/中压转子、中/低压转子的联轴器法兰之间均设有调整垫片,藉以调整汽轮机的通流间隙。图 1-4 为 600MW 汽轮机的纵剖面图。

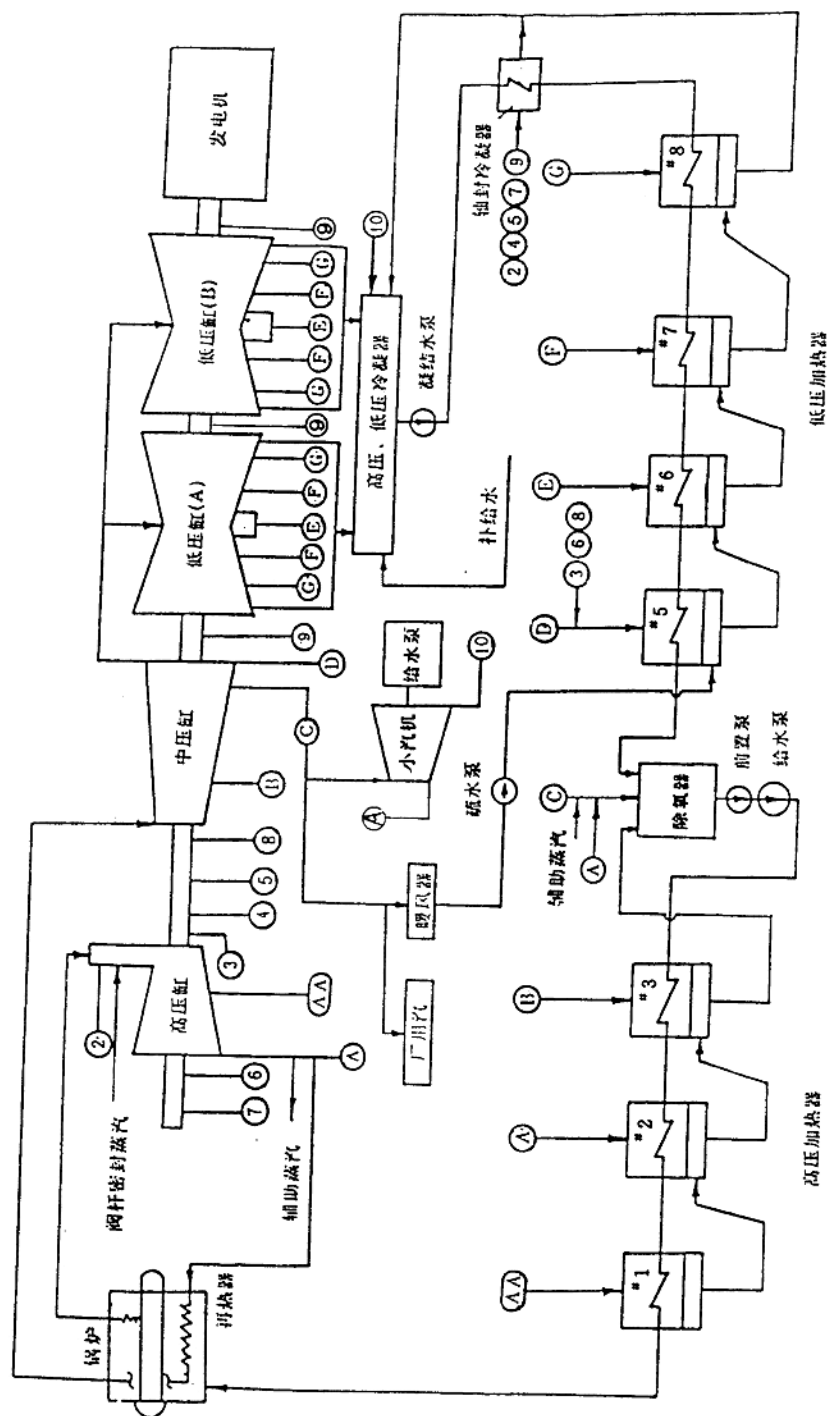


图 1-3 600MW 汽轮机原则热力系统图

原
书
缺
页

原
书
缺
页

3 汽轮发电机组主要技术规范及保证条件

3.1 主要技术规范

a. 汽轮机主要技术规范如表 1-2。在本书中,除特别注明外,出现的压力值均为绝对压力。

表 1-2 汽轮机主要技术规范

数 据 工 况 名 称	额定功率	铭牌出力	最大出力
功率(MW)	600	620.67	661.03
主蒸汽压力(MPa)	16.66		17.49
主蒸汽/再热蒸汽温度(℃)	537/537		
再热蒸汽压力(MPa)	3.618	3.76	4.033
主蒸汽流量(t/h)	1747.1	1820.4	1971.9
再热蒸汽流量(t/h)	1525.5	1586.1	1704.6
给水温度(℃)	269.1	271.7	276.6
背压(kPa)	4.04/5.25	4.11/5.39	4.24/5.63
净热耗(kJ/kW·h)	7790	7790	7818
转速(r/min)	3000		
转向(从机头看)	反时针		
冷却水温(设计/最大,℃)	20/33		
末级叶轮节径(mm)	Ø1664		
末级叶片长度(mm)	1072.5		
末级叶片防水蚀措施	高涉淬火		
冷凝器总冷却面积(m ²)	30040		
冷凝器钛管尺寸(mm)/数量	Ø24×0.5(0.6)/35892		
最大允许的周波摆动(Hz)	48~50.5		
噪音水平(db(A))	≤85(距设备外缘 1.53m 处测量)		

b. 发电机主要技术规范:

型号:

有效功率(MW): 621

视在功率(MW): 690

功率因素: 0.9

额定电压/电流(kV/kA):	20/19.919
转速(r/min):	3000
绝缘等级:	F
效率(621MW, 0.9 功率因素)(%):	98.94
冷却方式(定子绕组/转子铁芯/转子绕组):	水/氢/氢
氢压(MPa):	0.49(3.9 bar.g)
发电机运输重量(t):	271
励磁系统(直流侧)功率(kW):	2123
电压(V):	651
励磁方式:	同轴无刷励磁
c. 主变压器主要技术规范:	
型式:	三相、双绕组、户外式
连续出力; 温升 55℃时(MVA):	680
温升 65℃时(MVA):	750
额定电压(高压/低压侧)(kV):	525/20
额定电流(高压/低压侧): 680MVA 时(A):	748/19630
750MVA 时(A):	825/21651
频率(Hz):	50
冷却方式(FOA):	强迫油循环, 风冷
主变压器运输重量(t):	329

3.2 保证条件

(1) 当循环水温度为 33℃时, 汽轮发电机组保证其净出力为 600MW;

(2) 当循环水温度为 20℃时, 汽轮机保证在下列工况下的热耗值为:

100% 负荷(600MW) 7790kJ/kW·h(1860.6 kcal/kW·h)

85% 负荷(510MW) 7832kJ/kW·h(1870.7 kcal/kW·h)

70% 负荷(420MW) 7911kJ/kW·h(1889.5 kcal/kW·h)

50% 负荷(300MW) 8079kJ/kW·h(1929.7 kcal/kW·h)

汽轮机按全年 7500 运行小时(其中 100% 负荷每年运行 5000h, 80% 负荷 1000h, 70% 负荷 1000h, 50% 负荷 500h)考核计算, 其加权热耗值为 7829.3kJ/kW·h(1870 kcal/kW·h)。

汽轮机的热平衡数据汇总表及热耗修正曲线见本篇末的附表 2 及附图。

此外, 汽轮机在阀门全开(VWO)工况或在阀门全开再加 5% 超压(VWO+5%OP)工况下能连续、稳定地运行。此时的热耗值(该热耗值不作保证值)为:

VWO 工况 635.41MW, 热耗值 7793kJ/kW·h(1861.3 kcal/kW·h)

VWO+5%OP 工况 661.03MW, 热耗值 7822kJ/kW·h(1867.3 kcal/kW·h)

4 厂房设施及主要设备布置

汽机房及辅助厂房(循环水泵房等)均为封闭式、全钢结构厂房, 采用(百叶窗)自然进

风、(屋顶)机械排风的通风系统。综合控制楼内的主控制室、编程工程师室、交接班室和电子设备室配有空调系统。

"2 机组的汽机房及辅助厂房均由"1 机组厂房延伸、接长而成,其外形尺寸、立面及楼层布置都与"1 机组厂房相一致,各楼层及通道能互相连通。

4.1 厂房设施

"2 机组汽机房的长度为 90.6m(厂房钢结构柱头中心线之间的距离,下同),宽度为 30.6m,另加除氧间 9.0m(宽)以及综合控制楼 19.2×20.8×19.2m(L×W×H)。

汽机房共有 3 层,即 0m 层、6.1m 中间层和 13.7m 运行层,厂房的屋顶标高为 32.7 m。汽机房内行车轨道顶标高为 26.27m,2 台 80t/20t 行车由"1 机组厂商供货,该行车能在"1、"2 机组汽机房内行走、作业。"1、"2 机组之间的吊物孔也为 2 台机组共用。

除氧间共有 5 层,即 0m 层、6.1m 层、13.7m 层、19.8m("1 高压加热器)层和 26.0m (除氧器)层,除氧间的屋顶标高为 36.8m。

综合控制楼共有 3 层,即 0m 电缆间、6.1m 电子设备室和 13.7m 主控制室层(包括主控制室、会议/交接班室、巡检室、编程工程师室和男/女更衣室、厕所)。

汽机房的运行层(即 13.7m 层)为大平台式结构,能安放汽轮一发电机组大修时拆卸的全部零部件,其楼面的设计承载能力为 4t/m²,而在检修时需放置重型部件的区域,其楼面下方另增设有加强梁。运行层地坪贴有聚氯乙烯(PVC)地板,汽轮发电机组四周铺有缸砖(Quarry Tile)。

为满足在检修时的起吊要求,在有关设备上方设有单轨吊装置,见表 1—3。

表 1—3 单轨吊装置技术规范

设备名称	容量 (t)	导轨数量 (根)	跑车数量 (台)	葫芦数量
真空泵	1	3	3	3(手动)
电动给水泵前置泵	1	1	1	1(手动)
电动给水泵液力耦合器	2	1	1	1(手动)
闭式冷却水泵	3	1	1	1(手动)
冷凝器 A 进/出口水室	5	8	6	10(手动)
冷凝器 B 进/出口水室	5	8	6	
开式冷却水泵	5	1	1	
汽动给水泵前置泵	5	1	1	
电动给水泵电机	10	2	2	2(电动)
"1 高压加热器	30	2	2	2(电动)

汽机房内还设有 8 只检修电源箱,其分布为:0m 层 3 只;6.1m 中间层 2 只;13.7m 运行层 3 只。

在汽机房 0m 层、冷凝器前的阀门坑内还装有排污泵及污油泵,以排走汇集至该阀门坑内的各类设备的疏、漏、排水或油,具体如下:

(1)排污泵。2 台 50%容量的排污泵,将坑内的污水排入废水处理池。因原有的 2 台 M3456 B94 型离心泵在机组整套启动试运行期间已损坏,现改用扬州亚太特种水泵厂生产的 150QWHL-15 型潜水排污泵。

(2)污油泵。2 台 50%容量的污油泵,将坑内的污油排入废水处理房。污油泵由德国 Pompes Rutschi 公司设计制造。

(3)1 台移动式污油泵,其容量为 $5\text{m}^3/\text{h}$ 、压头为 5m,用于排去积聚在设备下方油池(混凝土)内的污油。

4.2 厂房的土建工程

北仑发电厂*2 汽轮发电机组厂房的土建工程大致可分成两大部分,零米及以下部分由电力部华东电力设计院设计,业主在国内采购材料;零米以上部分则由国外承包商设计、供货(混凝土仍由业主提供),其工程量如下:

a. 汽机房基础桩共计 512 根,即:

(1)柱基基础: $\varnothing 609\text{mm} \times 11\text{mm}$ 钢管桩 245 根(长度为 70~74m)

(2)辅助设备基础: $\varnothing 457\text{mm} \times 10\text{mm}$ 钢管桩 17 根(长度为 60m,16 根;长度为 55m,1 根)

(3)辅助设备基础: $\varnothing 550\text{mm} \times 100\text{mm}$ 砼管桩 31 根(长度为 45m)

(4)汽机基座: $\varnothing 609\text{mm} \times 11\text{mm}$ 钢管桩 127 根(长度为 70~74m)

(5)汽动给水泵组基座: $\varnothing 609\text{mm} \times 11\text{mm}$ 钢管桩 32 根(长度为 70~74m)

(6)凝结水储存水箱: $\varnothing 550\text{mm} \times 100\text{mm}$ 砼管桩 60 根(长度为 45m)

b. 主变压器: $\varnothing 609\text{mm} \times 11\text{mm}$ 钢管桩 8 根(长度为 70~74m)

c. 高压厂用变压器: $\varnothing 457\text{mm} \times 10\text{mm}$ 钢管桩 12 根(长度为 55mm)

d. 混凝土方量共 9707m^3 (不包括循环水泵房、加氯房),即:

汽机基座(m^3): 4319

小汽机基座(m^3): 596

汽机房辅助设备基础、地坪及沟道(m^3): 1887

主变/厂变构架、封闭母线及电缆排管(m^3): 1430

汽机房各楼层、平台(m^3): 1045

集控楼各楼层、平台(m^3): 430

汽轮发电机组基础底板的尺寸为 $45.33\text{m} \times 15\text{m} \times 3.5\text{m}(\text{L} \times \text{W} \times \text{H})$,埋深为 5m;汽动给水泵组基础底板的尺寸为 $19.8\text{m} \times 6.7\text{m} \times 2\text{m}(\text{L} \times \text{W} \times \text{H})$,埋深为 2.5m。

e. 钢结构总重量为 1931.9t,即:

汽机房主结构(t): 1636

集控楼主结构(t): 167.8

汽机房墙板(t): 104

集控楼墙板(t): 24.1

f. 各楼层格栅板共计 3423m^2 ,约 171t。