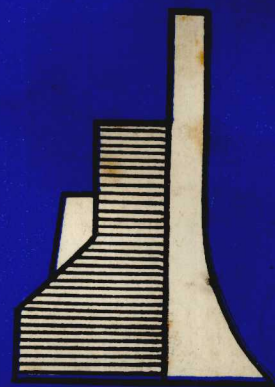




天然气锅炉



动力设备
专题资料(二)

科学技术文献出版社重庆分社

出 版 说 明

我国的天然气蕴藏量十分丰富，并且早已应用于工业生产；但是天然气作为锅炉用的燃料，尤其是用作电站锅炉的动力燃料，国内还不多。与其它燃料相比，天然气的燃烧和安全有一些特殊的问题。

为了配合天然气用于电站锅炉以及开展锅炉炉膛模化试验的研究，东方锅炉厂、西安热工研究所、华东电力设计院、武汉锅炉厂和中国科学技术情报研究所重庆分所遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”和“学习外国的东西，是为了研究和发展中国的东西”的教导，共同编写和编译了这份《天然气锅炉》专题资料，供从事动力工程的有关人员参考。

本专集选译的文章偏重于天然气的燃烧及有关的安全措施，较少涉及天然气锅炉的设计。在燃烧器容量上，偏重于中等容量以上；锅炉容量则偏重在5万瓩以上。

为了使天然气锅炉的资料较为完整，我们把以前已发表的关于天然气燃烧的文章亦一并收入。

由于我们学习马列主义、毛泽东思想不够，业务水平有限，在选题、翻译和编辑工作上肯定存在不少问题，恳请读者批评指正。在编译出版过程中，得到有关单位的大力支持，在此一并表示感谢。

目 录

国外天然气锅炉概况·····	(1)
西德燃用天然气的经验·····	(33)
荷兰大型电站锅炉燃用天然气的经验·····	(56)
海姆斯海尔三号电站的锅炉燃用天然气的运行经验·····	(62)
三菱公司设计液化天然气锅炉的经验·····	(70)
蒸汽锅炉天然气燃烧设备的发展状况·····	(82)
拔柏葛公司的氣體燃烧器·····	(90)
在大容量锅炉上燃用天然气的研究·····	(93)
某自备电厂改烧天然气·····	(99)
姉崎电站四号炉改烧液化天然气的自动控制·····	(102)
法国苏布勒河大桥电站锅炉改烧天然气·····	(105)
喷入粒子对天然气火焰辐射的影响·····	(116)
燃烧各种气体和液体燃料时排烟特性与火焰结构的研究·····	(122)
天然气锅炉氧化氮的控制·····	(135)
低NO _x 天然气炉膛的设计·····	(143)
多燃烧器天然气锅炉的炉膛防爆标准·····	(150)
锅炉炉膛模化理论与实践·····	(180)

国外天然气锅炉概况

东方锅炉厂

赵祖源

一、天然气资源情况

天然气系指由地下矿层采至地面在标准状态下呈气态的可燃气体。天然气主要成份是可燃的烃类。到目前为止,已知的蕴藏主要地区为北美、东欧及苏联、西亚等。在六十年代初,荷兰及北海地区也发现了极为丰富的天然气蕴藏。天然气的开采及利用,过去比较集中在美国、加拿大、墨西哥以及东欧和苏联。近年来西欧诸国也开始大力开采利用天然气。截止1971年1月1日统计,世界天然气主要蕴藏和开采国家的前十位按次序列于表1。天然气的成份因产地而异,各主

要产地的天然气成份列于表2。世界天然气的总蕴藏量到七十年代初估计增加到 44.96×10^{12} 立方米。

天然气为主要的动力燃料之一。荷兰及北海地区发现天然气后,荷兰、英国、法国等西欧各国也开始大量用天然气作动力燃料,使欧洲的能源经济结构发生了显著变化。同时在六十年代开始出现将液化天然气(LNG)在国际间运输,如阿尔及利亚的液化天然气通过海运送至欧洲及英国,这大大扩大了天然气的使用地区。象日本于1963年开始在电站锅炉上燃用液化天然气。许多国家都计划象其它液体燃料一样大量进口液化天然气。1970年和到1980年几个工业国家的计划输入量示于表3。

表1 世界天然气蕴藏量、开采量和蕴藏/开采比(单位: 10^9 立方米)

蕴 藏 量			1970年估计开采量		
		%		%	蕴藏/开采比
苏联	12,060	26.8	美国	623	56.5
美国	8,230	18.3	苏联	198	18.0
伊朗	6,060	13.5	加拿大	69	6.3
阿尔及利亚	3,990	8.9	荷兰	34.5	3.1
荷兰	2,350	5.2	罗马尼亚	23.7	2.2
加拿大	1,710	3.8	墨西哥	16.9	1.5
沙特阿拉伯	1,400	3.1	英国	13.3	1.2
科威特	1,070	2.4	意大利	13.0	1.2
英国	1,020	2.3	西德	12.7	1.1
利比亚	850	1.9	法国	7.3	0.7
其它	6,220	13.8	其它	91	8.2
世界总量	44,960	100	世界总量	1,102	100
					40.8

表2 世界各主要天然气产地的天然气成份(容积百分比)

国别	天然气田名称	甲烷 CH ₄	乙烷 C ₂ H ₆	丙烷 C ₃ H ₈	丁烷 C ₄ H ₁₀	戊烷 C ₅ H ₁₂	己烷 C ₆ H ₁₄	氮 N ₂	氧 O ₂	二氧化碳 CO ₂	硫化氢 H ₂ S	热值 大卡/ 标米 ³
美国	Ventura	92.7	4.7	2.2	0.1					0.3		9240
	Cunningham	62.3	21.2	—	—			16.0		0.2		8640
	Paradis	92.2	3.3	1.5	0.8			1.0		0.9		9080
	Hugoton	75.3	6.4	3.7	1.4			12.5				8720
	Keystone	86.2	11.9	1.7	0.2							9630
	Panhandle	81.5	6.2	3.7	1.2			7.5		0.2		9160
	Mc Kean	67.0	32.7	—	—			—		—		10820
	Big Creek	77.7	5.6	2.4	1.2			—		5.5		8380
	Kettleman	93.0	4.6	1.8	0.2			—		0.4		9760
	Gr. Counly	85.4	8.1	3.3	1.5			0.9		0.1		10650
	Terra Alta	98.8	1.1	0.1	0.2			—		—		8580
苏联	Baku	93.0	3.3	—				0.5		2.2		8480
	Beriosowo	94.5	2.0	0.1				0.7		1.8		8570
	Saratow	93.1	4.0	—				2.3		0.6		8680
阿尔及利亚	Hassi R'mel	79.6	7.4	2.7	1.4			5.1		0.2		10150
荷兰	De Lier	88.8	6.2	1.0	0.5			1.4		0.1		8970
	Slochteren	81.9	3.5	0.4	—			14.4		0.8		7640
	Tubbergen	85.1	1.8	0.8	0.6			8.6		3.0	0.03	7910
英国	North Sea	94.0	3.2	0.6	0.2	0.1	0.1	1.3		0.5		
墨西哥	Poza Rica	64.5	5.4	7.8	3.8			0.6		75.3		11680
法国	Lacq. Rohgas	69.6	3.1	1.0	0.3					10.0	15.1	7970
	Lacq. gereinigt	96.5	2.7	0.4	0.25							8840
委内瑞拉		80.7	5.5	2.4	0.8			0.6		10.3		10540
西德	Anzing	94.2	2.0	1.7	1.1			—		0.8		9040
	Bentheim	89.6	1.0	0.5	—			5.5		2.8		7950
	goldenstedt	89.6	1.7	—	—			8.2		0.5		7930
	Jsen	98.6	0.5	0.2	—			0.6		0.1		8540
	Rehden 5	74.0	0.6	—	—			7.5		17.8		8650
	Rehben 22	82.2	0.6	—	—			7.1		10.0		7050
意大利	Corregio	99.6	—	0.2	—			0.2		—		8540
	Corte—maggiore	91.7	5.0	1.3	0.9			0.5		—		9680
	Cornegliano	97.5	0.5	—	—			—		—		8430
	Ravenna	99.5	—	0.1	—			0.4		—		8500
奥地利	Marchfeld	97.0	0.8	0.3	—			1.3		0.6		8670
阿拉斯加	クナイ	99.34	0.11					0.52	0.01	0.02		
文莱		90.2	4.8	2.5	1.4	0.1				0.5		
日本	颈城	96.4	2.4	0.4	0.3	0.1				0.4		

天然气在液化前先经过除去固体杂质、脱硫、脱CO₂、脱水等予处理，在使用时再进行予热、气化等过程。因之液化天然气是经过加工的更为精制的燃料。液化天然气主要物理性能列于表4。液化天然气为无色透明的液体，液化以后的容积约为原先气体容积的1/580。每吨液化天然气的容积约为2.4立方米，再气化成标准状态的天然气约1,400立方米。液化天然气在贮槽内贮存时，每天气化约0.07%，这部份液化天然气蒸发的潜热使槽内其余液化天然气得以维持在-162℃的低温。液化天然气再经气化后所得的天然气，其性能与原天然气没有大的差别。

表3 单位：亿立方米

	1975年	1980年
法国	41.3	56.6
意大利	28.3	56.6
西班牙	11.3	22.7
日本	85.0	226.5
英国	10.2	10.2
美国	47.3	380.3

表4 液化天然气的物理性能

气体比重（以空气为1）	0.6~0.7
液化天然气的沸点	-161℃
液态比重（沸点）	415克/立升
蒸发潜热（沸点）	122大卡/公斤
高位热值	13,270大卡/公斤 9,520大卡/标米 ³
低位热值	8,550大卡/标米 ³

二、天然气作为动力燃料的概况

以天然气为动力燃料的传统地区有北

美，东欧/苏联、及拉丁美洲。这可由1964年各个地区在公用事业电站发电所用的动力燃料结构中(表5)清楚地看出，但是七十年代的情况有了变化，其总趋势是使用气体燃料的地区扩大了，比重也在增加，各国以天然气为动力燃料的情况大致如下：

表5

地区	总计	煤、褐煤和泥煤	燃料油	气体燃料
北美洲	100	64	8	28
西欧	100	78	20	2
东欧/苏联	100	72	3	25
亚洲	100	67	32	1
拉丁美洲	100	8	66	26
非洲	100	83	15	2
大洋洲	100	94	6	—
世界	100	69	13	18

1. 美国 美国以天然气为主要的动力燃料始于五十年代初，在开始将相当数量的燃煤炉改为燃用天然气的锅炉，其后大量设计制造了专烧与混烧天然气的电站锅炉。在动力燃料平衡中，天然气一直占有相当大的比重。1952—1958年的统计资料表明，在电力生产（包括水电）中，天然气比重一直在23~28%范围内。1969年美国的火电燃料平衡为：高硫烟煤~60%；天然气~31%；各种油类~9%；褐煤~0.5%。由于大量开采天然气，而新发现的蕴藏跟不上开采的增长，结果总蕴藏量自1968年开始下降。前景是天然气的长期供应不稳定，自1970年开始，燃油机组不断增加，部分天然气机组为燃油机组所替代，燃油比重开始迅速上升。1971年的燃料平衡统计中，煤~55%；天然气~29%；重油~14%，可见天然气在动力燃料中仍占相当的比重。

2. 苏联 苏联五十年代开始就用天然气作为动力燃料，以后的年代中，天然气在动力燃料平衡中的比重不断上升（见表6）。到1970年天然气已占动力燃料的1/5。由于苏联的天然气蕴藏/开采比大，因此以天然气

为主要动力燃料的方向 仍将继续。例如在120万瓩机组锅炉的设计中,燃料仍定为天然气-重油。

表 6

	1958	1960	1970	1980(预计)
煤 %	73.8	71	50	45
天然气 %	6.5	13.3	21	35
油 %	10.3	17	20	20

3. 西欧国家 自六十年代初荷兰及北海地区发现丰富的天然气蕴藏后,天然气开始进入西欧各国的动力燃料市场。同时阿尔及利亚等国家的液化天然气也输入了西欧。近年来英国、法国、西德、意大利等国的天然气锅炉得到了较快的发展。在动力燃料平衡中天然气开始占有一定的比重,如表 7,荷兰到1969年 1 月 1 日发电用动力燃料中天然气已占40%。由于还有许多大容量燃气锅炉在制造中,因之所占比重将继续上升。

表 7

	煤	天然气	油	褐煤	原子能	水力
西德 1970年	43.5	23.7	26.7	2.3		
1980年	19.4	21.6	22.1	32.4		
法国 1970年	26	6	59		1	8
1980年	8	12	70		6	4
意大利1970年	8.9	7.6	72.5			9.7

4. 日本 日本资源贫乏,动力燃料主要依靠进口。自从六十年代出现液化天然气后,日本就开始建造液化天然气的接受站、贮罐、转运设备等,象进口其它液体燃料一样进口液化天然气。日本是电站锅炉燃用液化天然气最早的国家。最早的液化天然气-重油锅炉为新泻电站*1机组(容量为12.5万瓩)的锅炉,于1963年 7 月投运。接着设计制造了更大容量的专烧液化天然气及油、气混烧的锅炉。到1973年12月为止,日本燃用天然气机组的总容量为460万瓩,到1975年天然气机组的总容量在620万瓩以上。1971年

日本燃用各种燃料的机组容量比为:燃煤机组~7%;燃气体燃料机组16%;燃重油机组19%;燃重油、原油机组占58%。

上述情况表明,近年来在国外燃烧天然气锅炉有着明显的进展,并已占相当比重。

三、燃烧天然气的锅炉

1. 锅炉的燃烧方式

燃烧天然气的电站锅炉主要有两种燃烧方式。一种是专烧方式,在这种锅炉上只配有燃烧天然气的燃烧系统,也就是锅炉只能烧天然气一种燃料。另一种是混烧方式,配有燃气-燃油或燃气-燃煤两套燃烧系统,锅炉可以单烧天然气或单烧另一种燃料或天然气与另一种燃料混烧,亦称为双燃料机组。当然其它还有以天然气作低负荷的助燃燃料,作燃烧高炉煤气、焦炉煤气锅炉的备用燃料等多种燃烧方式,但这些都不是主要的。在选用燃烧方式上各国的做法不尽相同。

采用专烧方式的锅炉,由于锅炉及其附属设备只考虑燃烧天然气,因此燃烧天然气时在设备投资、运行经济性等方面的优越性可以充分体现出来。美国在1968年以前天然气资源比较充裕时,生产了大量专烧天然气锅炉。据不完全统计,从1963~1973年美国生产的专烧天然气电站锅炉达到70余台,容量约2,510万瓩,此外还有双燃料机组。近年来新发展燃用天然气锅炉的国家中,日本也生产专烧天然气的锅炉。三菱重工是日本生产天然气锅炉的主要厂,到1973年12月为止,日本天然气锅炉的总容量为460万瓩,其中三菱公司生产347.5万瓩,占76%。三菱厂起初生产和改装的双燃料机组,以后开始生产专烧天然气机组。从1970年到1975年由南横浜电站的*1、*2、*3机组到袖开浦电站的*1、*2机组,专烧液化天然气锅炉的容量不断增大,由35、45、60万瓩至100万瓩。袖开浦*2机组是见到报导的最大容量的天然气超临界机组。在西欧各国中,荷兰认为他们的电站

靠近天然气田,并且国内的输气管道可靠,因此也生产专烧天然气锅炉,到1971年2月,荷兰电站中专烧天然气的锅炉有42台。西德和瑞士等也生产有专烧天然气的大容量锅炉。

有的国家采用双燃料机组方式。苏联生产天然气锅炉的主要工厂有塔干罗格锅炉厂(ТКЗ)、波多尔斯克机器制造厂(ЗИО)等,历来制造的大容量燃天然气锅炉均为双燃料机组。10万、20万、30万、80万、120万瓩机组的系列产品均为天然气-重油或无烟煤-天然气机组。东欧的捷克、匈牙利等国家基本上也是采用双燃料机组的方针。西欧的法国、瑞士、意大利、西德等国在国内使用的机组中由于考虑到动力燃料市场供求关系的变化及由于政策方面的因素而可能出现天然气供应不足的情况,因而设计制造的天然气锅炉除烧天然气外还考虑能烧另一种燃料或几种燃料,象西德就是优先采用双燃料的混烧炉膛。

在混烧方式中以天然气-重油机组为主。当采用天然气-煤双燃料机组时常会遇到下列一些问题:

(1) 当设计双燃料的混烧炉膛时,通常炉膛的容积及断面热负荷、沾污系数、炉膛出口温度等数据都是按最不利的数值选用,因而燃烧天然气的优越性显现不出来。

(2) 对某些煤种,当从烧煤粉向烧天然气过渡时,混合燃烧会造成受热面严重污染,其原因是天然气的燃烬速度较煤粉高得多,进入炉膛的天然气迅速地燃烧,消耗了部份氧气,使煤粉和燃烧室内气氛间的氧量梯度减小,延缓了燃烬过程,这样导致燃烧室结焦和尾部受热面污染。所以混烧炉膛运行时需用较大的过剩空气系数,并且要加强结渣检查及吹灰操作。

(3) 怎样混烧是混烧炉膛的主要问题。对同一炉膛同时燃烧两种燃料的混烧方式,具体有两种处理办法。一种是炉膛混烧而燃烧器不混烧,另一种是炉膛和燃烧器都混烧。一般较多用第一种方式,认为这样燃烧系统及控制系统比较简单,投资也节省,

同样可达到混烧目的。在第二种混烧方式时,常使一种燃料保持恒定的热功率,而将另一种燃料量随负荷变化进行调节。

鉴于天然气与油或煤粉混烧会带来一系列运行上的困难。因此有意见认为最合理的应是轮流地单独烧一种燃料,不要同时混烧。

2. 锅炉燃烧天然气的有利方面和带来的问题

国外介绍锅炉专烧天然气时有如下几方面的有利处:

(1) 在节约锅炉设备投资方面:

① 当燃用天然气时可选用较高的炉膛热负荷,因而可缩小炉膛体积。同时因不存在受热面结渣、污染、磨损等问题,可以选用较高的烟速,从而减小对流受热面尺寸。故天然气锅炉较其它燃料的同容量锅炉结构紧凑,尺寸小,重量也轻;

② 锅炉不要配置吹灰器、出渣设备、除尘器和蒸汽暖风器等附属设备;

③ 在燃烧系统方面,对燃用原天然气的电站,因天然气是连续供给的,无需燃料贮存设备。在供给燃烧器前也无需燃料制备设备,系统大为简化;

(2) 在运行、调节及降低发电成本方面:

① 由于附属设备少,又无燃料制备系统,因而厂用电率较燃煤等机组低;

② 不需要加热燃料及没有蒸汽暖风器,因而无这部份汽耗需要;

③ 燃天然气锅炉的负荷适应性强,在系统内调度灵活;

④ 经精制的天然气(包括液化天然气)及大多数产地的原天然气不含钠、钒和硫,故锅炉不会发生高、低温受热面的腐蚀,亦不存在结渣问题,锅炉的连续运行周期长;

⑤ 如实现排烟回收水后,为电站开辟一个丰富的淡水来源,解决了补给水问题,这对缺少淡水地区有特殊意义。

(3) 在减少设备维修、保养方面:

① 燃烧系统设备简单,因而需要维修

保养的项目少；

②由于不存在结渣及高低温受热面腐蚀，因而不需要由此而更换受热面管子及空气予热器元件。

这些运行及维修有利因素的综合反映是燃天然气的锅炉的可用率高。

锅炉燃烧天然气时会带来如下一些问题：

(1) 在设备投资方面：

①天然气漏入停运的炉膛或空气中会引起爆炸，因之天然气管路必须检漏。锅炉房要有天然气检测装置和通风设备，锅炉应有严格的启动顺序控制系统；

②当燃用未经脱硫的含高硫化氢天然气时，同样会造成严重的受热面腐蚀，在设备方面及运行上均应采取适当措施；

③天然气的减压装置及流量调节阀在运行时会产生噪音，需装设隔音装置。

(2) 在运行方面：

①天然气燃烧系统没有燃料贮存设备，这对减少设备投资是个优点，但如果无备用燃料，一旦发生天然气管道破裂，便会造成停炉事故；

②天然气的含氢率高，在燃烧产物中存在着大量水蒸汽，虽然专烧天然气的锅炉其排烟温度已降至100℃左右，但是排烟热损失还是较燃油炉为大。据统计，天然气锅炉效率比同等容量的重油和原油锅炉要低1.5%左右。

(3) 在设备维护方面：输气系统需专门维护。

3. 天然气锅炉炉型选择

大容量天然气电站锅炉炉型选择，对各个技术流派不象循环方式、管圈型式、过热及再热器布置方式等这样区别鲜明。常用的炉型有如下几种，见图1。第一种为开式炉膛Π型布置，是最基本的炉型。由10万千瓦以下的小机组到美国最大的Moss Landing电站的容量为75万千瓦的6、7号机组、日本最大的袖开浦电站的容量为100万千瓦的2号机

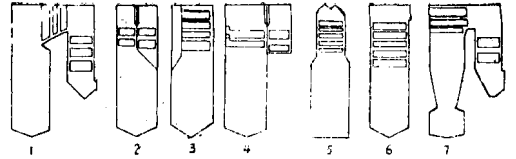


图1 常用的天然气锅炉炉型

组、苏联最大的TK3厂生产的120万千瓦机组均是这种型式。当然各项热力参数的选择是不同的。图2a、2b为美国福斯特-惠勒公司制造的Michoud电站3号机组。图3a、3b为英国拔柏葛公司制造的Velle de Mexico电站的30万千瓦机组。图4a、4b为西德Robert Frank电站的45.5万千瓦机组。为便于比较其热力参数，根据机组参数估计的热耗及容量裕量进行推算，随图列出了推算得的热力参数可作参考。由这些例子可以看到，对这个炉型燃烧器前墙布置、前后墙布置及炉底布置都有，采用四角布置的同样也有。

第二种为箱式炉型。由于箱式炉型具有结构紧凑等一系列优点，因之近年来在燃油、燃气锅炉上得到广泛的采用。这个炉型虽原为美国拔柏葛公司设计的，但现在燃烧工程公司集团的厂也同样采用。因而这个炉型也采用各种燃烧器的布置方式。图8a、8b为属这种炉型的日本三菱重工制造的南横滨电站1号机组。但这种炉型在机组容量增大时，后部对流受热面的烟气流速提高，因之通常用于容量不超过45万千瓦的机组。当机组容量在45万到60万千瓦时常采用第三、第四种炉型。

第五、第六种为全塔式炉型。这种炉型向高度发展，结构紧凑占地小。主要为西德及西欧几个国家采用。图6a、6b为西德奥格斯堡·纽伦堡机器制造厂(MAN)生产的51.5万千瓦机组，属第五种炉型。图5为瑞士苏尔寿公司生产的60万千瓦机组，属第六种炉型。

第七种炉型为半开式炉膛，实际上是煤粉炉的炉型。苏联采用这种炉型作天然气一无烟煤的双燃料炉膛。图7为苏联塔干罗格锅炉厂(TK3)生产的III—2500/255Ж型80万千瓦机组锅炉。

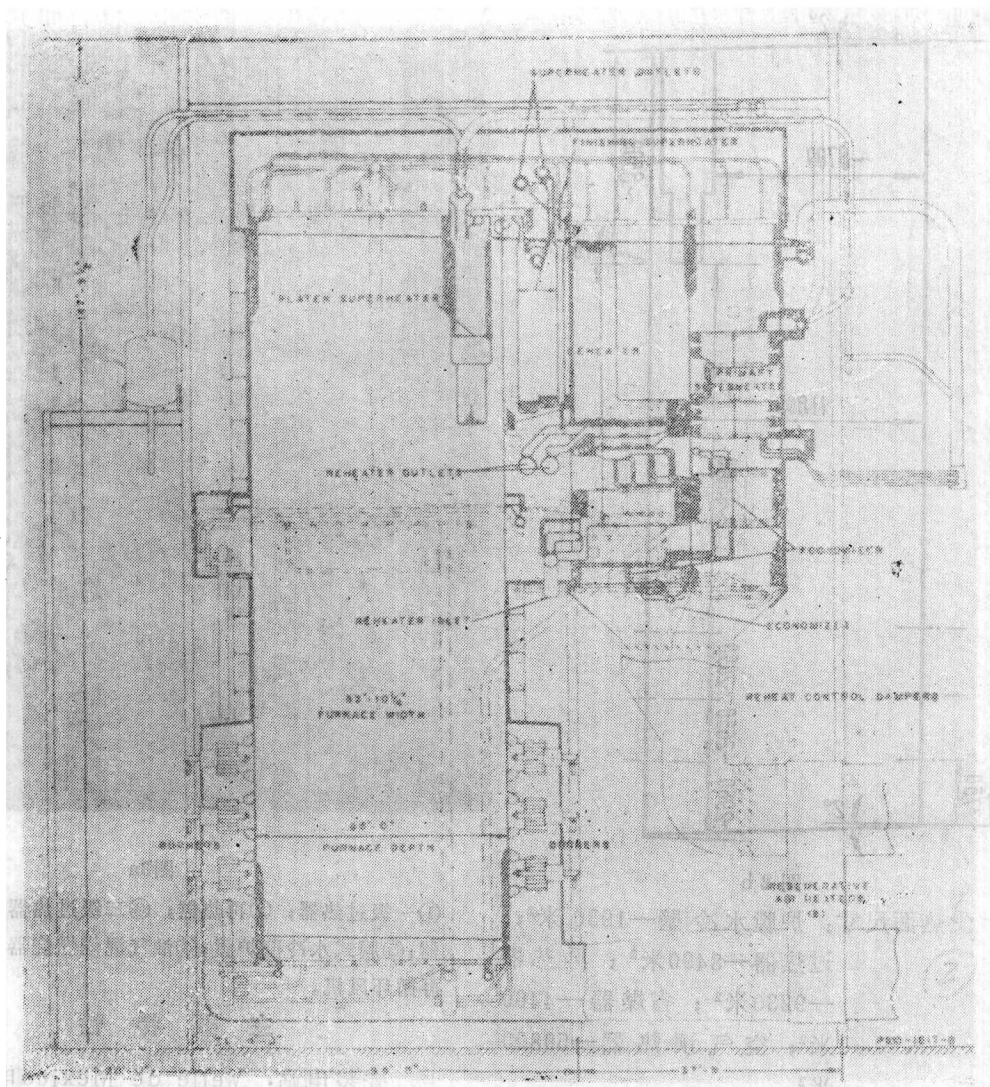


图 2a

主要特性

安装电站：美国 Michoud 电站3号机组。
制造公司：美国福斯特·惠勒公司 (FW)。

机组功率：56万瓩（最大58.8万瓩）。

投运日期：1967年8月。

燃料：天然气（热值~9210大卡/标米³）；事故燃料：重油（热值~10,200大卡/公斤）。

新汽参数：蒸汽量—1810吨/时；汽压—253公斤/厘米²·表压；过热

汽温—541℃。

再热汽参数：蒸汽量—1580吨/时；汽压—45公斤/厘米²·表压；再热汽温—541℃。

锅炉型式：直流本生型、微正压炉膛（炉膛压力795毫米水柱）、尾部为双烟道布置。

过热汽温调节方式：喷水调节。

再热汽温调节方式：比例挡板调节。

炉膛尺寸：宽—16.4米；深—11米；高—32米。

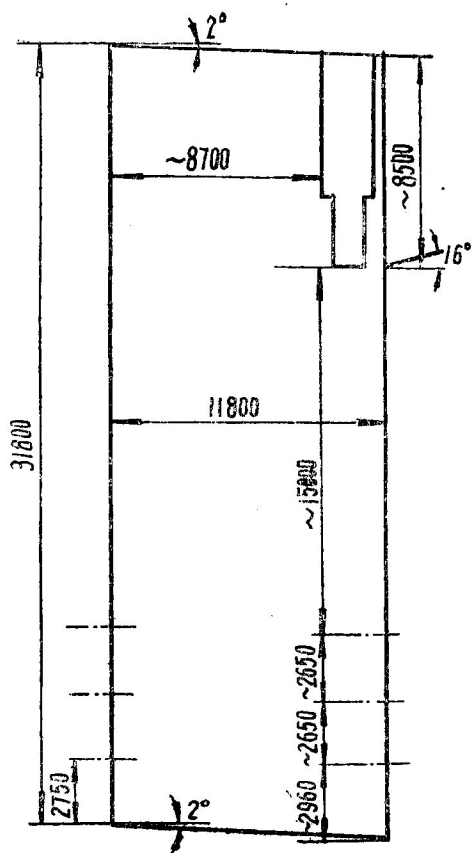


图 2 b

受热面尺寸：炉膛水冷壁—1930 米²；
 过热器—8490 米²；再热器
 —9230 米²；省煤器—4460
 米²；空气预热器—50800
 米²。

炉膛容积：~5400 米³。

炉膛横断面积：~180 米²。

燃烧器区域容积：~1910 米³。

炉膛容积热载：~239 × 10³ 大卡/米³·时

燃烧器区域容积热载：~690 × 10³ 大卡
 /米³·时。

炉膛断面热载：7.0 × 10⁶ 大卡/米²·时

燃烧器每层断面热载：~2.43 × 10⁶ 大
 卡/米²·时。

燃烧器布置方式：前后墙对冲布置，三
 层 × 四列。

燃烧器个数：24 个。

单个燃烧器容量：~6000 标米³/时。

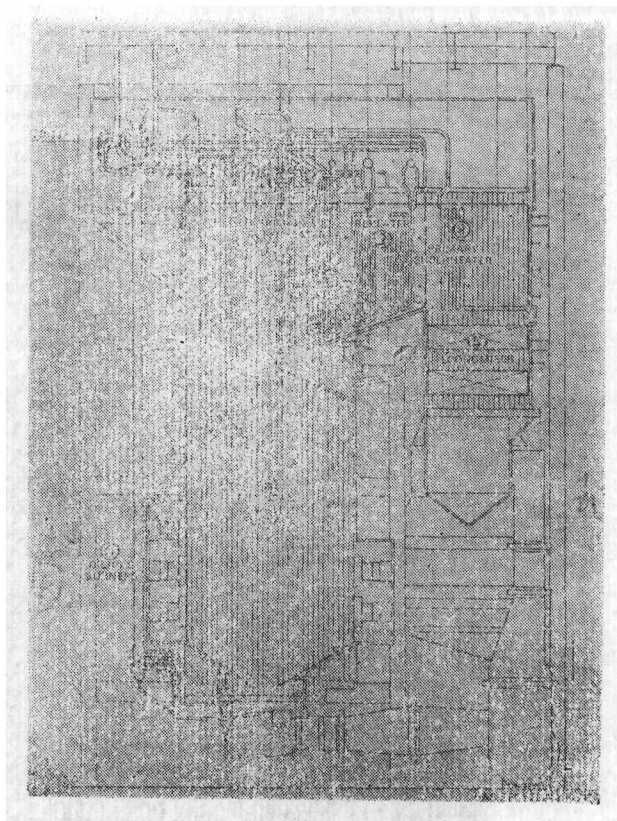


图 3a

①一级过热器；②再热器；③二级过热器；④省煤
 器；⑤膜式水冷壁炉膛；⑥油气混烧燃烧器；⑦烟气
 再循环风机。

主 要 特 性

安装电站：Velle de Mexico 电站。

制造公司：英国拔柏葛公司 (BW)。

机组功率：30 万千瓦。

燃 料：天然气或油或混烧。

蒸汽参数：蒸汽量—975 吨/时；压力—
 174 公斤/厘米²；过热汽温—
 541℃；再热汽温—541℃。

锅炉型式：自然循环、膜式壁结构微正
 压炉膛、露天布置锅炉。

炉膛尺寸：宽—11.3 米；深—10 米；
 高—29.2 米。

炉膛容积：~2595 米³。

燃烧器区域容积：~1022 米³。

炉膛横断面积：~113 米²。

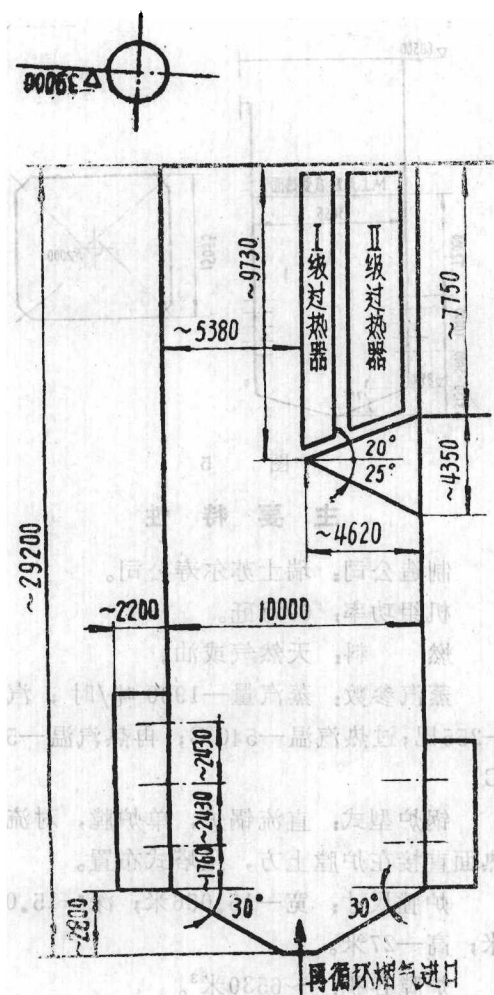


图3b

炉膛周界：~42.6米。

炉膛容积热载：~291.5 × 10³大卡/米³·时。

燃烧器区域容积热载：~741 × 10³大卡/米³·时。

炉膛周界热载：6.7 × 10⁶大卡/米·时。

炉膛断面热载：~6.7 × 10⁶大卡/米²·时。

燃烧器每层断面热载：~2.23 × 10⁶大卡/米²·时。

炉膛投影面热载：~0.57 × 10⁶大卡/米²·时。

燃烧器布置方式：前后墙对冲，前墙三层 × 三列，后墙二层 × 三列。

燃烧器个数：15个。

单个燃烧器容量：~5900标米³/时。

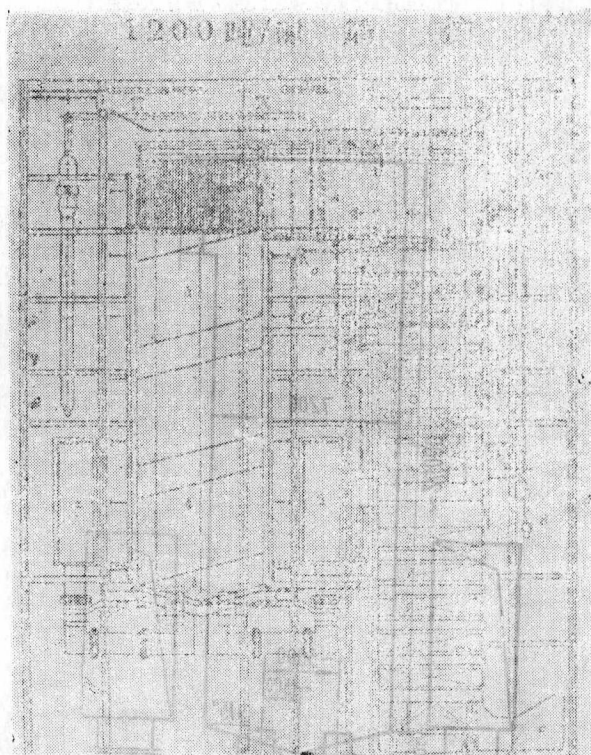


图4a

a—空气管道；b—燃烧器；c—烟道；d—中间过热器蒸汽入口；e—中间过热器喷水装置；f—中间过热器蒸汽出口；g—省煤器；h—蒸发受热面；j—分离器；k—一级蒸汽过热器管屏；L—二级靠墙过热器和吊管；m—三级蒸汽过热器；n—一次喷水；o—新汽出口。

主要特性

安装电站：西德Robert Frank电站。

制造公司：西德。

机组功率：45.5万瓩（机组为联合循环，总功率为57万瓩）。

投运日时：1973年8月。

燃料：天然气（重油）；天然气热值7800大卡/米³。

蒸汽参数：蒸汽量—1200吨/时；汽压—261公斤/厘米²；过热汽温—540℃；再热汽温—540℃。

给水温度：261℃。

排烟温度：140℃。

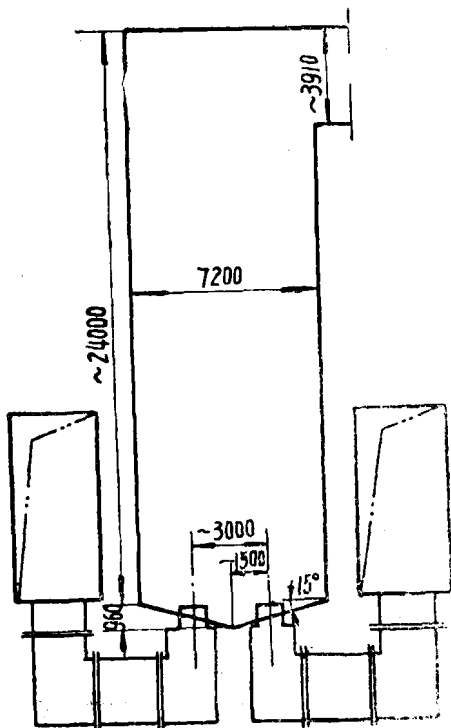


图4b

锅炉型式：循环方式为直流炉装有两台再循环泵，炉膛下部为螺旋管圈，膜式水冷壁微正压炉膛。锅炉用燃气轮机排烟运行。

炉膛尺寸：宽—19.2米；深—7.2米；高—~24.9米。

炉膛容积：~3380米³。

炉膛横断面积：~138.2米²。

炉膛容积热载：~314×10³大卡/米³·时。

炉膛断面热载：~7.77×10⁶大卡/米²·时。

燃烧器布置方式：炉底布置，二列燃烧器，每列七个燃烧器。

燃烧器个数：14个。

单个燃烧器容量：~9700米³/时。

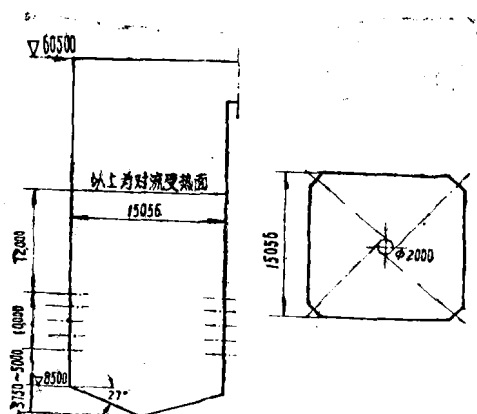


图 5

主要特性

制造公司：瑞士苏尔寿公司。

机组功率：60万瓩。

燃料：天然气或油。

蒸汽参数：蒸汽量—1960 吨/时；汽压—255巴；过热汽温—540℃；再热汽温—540℃。

锅炉型式：直流锅炉，单炉膛，对流受热面直接在炉膛上方，呈塔式布置。

炉膛尺寸：宽—15.056米；深—15.056米；高—27米。

炉膛容积：~6530米³。

燃烧器区域容积：~3390米³。

炉膛横断面积~226米²。

炉膛周界：~60.22米。

炉膛容积热载：~211×10³大卡/米³·时。

燃烧器区域容积热载：~406×10³大卡/米³·时。

炉膛断面热载：~6.1×10⁶大卡/米²·时。

燃烧器每层断面热载：~1.22×10⁶大卡/米²·时。

炉膛周界热载：~23×10⁶大卡/米·时。

燃烧器布置方式：四角布置，切向燃烧，燃烧器在正四角上。

燃烧器个数：20个。

单个燃烧器容量：天然气~8000标米³/时、油~6,600公斤/时。

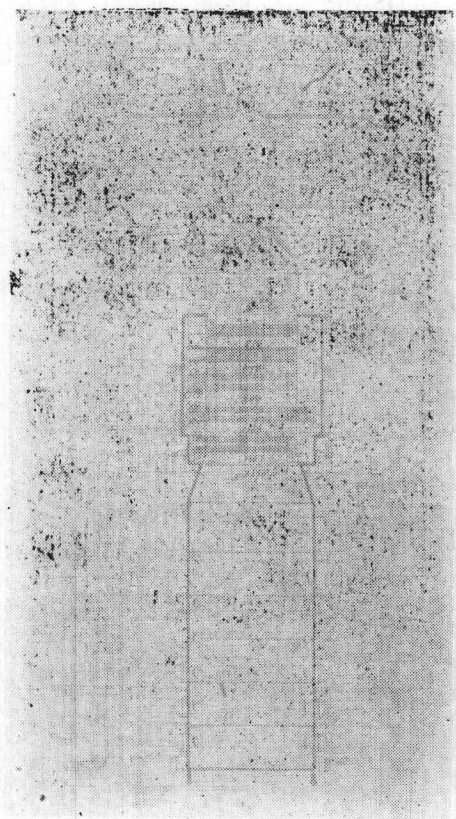


图 6a

主 要 特 性

安装电站: Hamburg-Moorburg 电站。

制造公司：西德奥格斯堡·纽伦堡。

机组功率：51.5万千瓦。

燃料:天然气(热值7475大卡/米³)。

新蒸汽参数：蒸汽量—1555吨/时；汽压—200巴；过热汽温—540℃。

再热蒸汽参数：蒸汽量—1435 吨/时，
汽压—46巴；再热汽温—540℃。

给水温度: 259℃。

排烟温度: 110℃。

热风温度: 363°C 。

锅炉型式:全塔式布置 (Single pass type), 炉膛横断面为正方形, 炉膛水冷壁为盘绕上升。对流烟道直接在锅炉后部。在85%负荷时采用蒸汽暖风器, 防止低温腐蚀。

过热、再热汽温调节方式：喷水。

炉膛尺寸：宽—12.8米；深—12.8米；

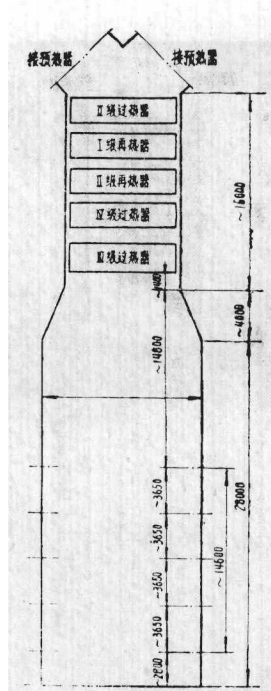


图 6b

高一32米。

炉膛容积: $\sim 5200 \text{米}^3$ 。

燃烧器区域容积: $\sim 3200 \text{米}^3$ 。

炉膛横断面积: $\sim 164 \text{米}^2$ 。

炉膛周界: 51.2米。

炉膛容积热载: $\sim 222 \times 10^3$ 大卡/米³·时

燃烧器区域容积热载： $\sim 360 \times 10^3$ 大卡/米³·时。

炉膛横断面热载： $\sim 7.03 \times 10^6$ 大卡/米²·时。

燃烧器每层断面热载： $\sim 1.4 \times 10^6$ 大卡/米²·时。

炉膛周界热载： $\sim 22.5 \times 10^8$ 大卡/米·时。

燃烧器布置方式：四角切向布置，五层，按面对面10个燃烧器为一组，按两组来配备自动控制设备。每个燃烧器的调节比为1:3，当锅炉负荷降低或升高时，由下排燃烧器投运或出列，改善过热汽温及再热汽温的调节特性。

燃烧器个数: 20个。

单个燃烧器容量: ~ 6500 标米³/时。

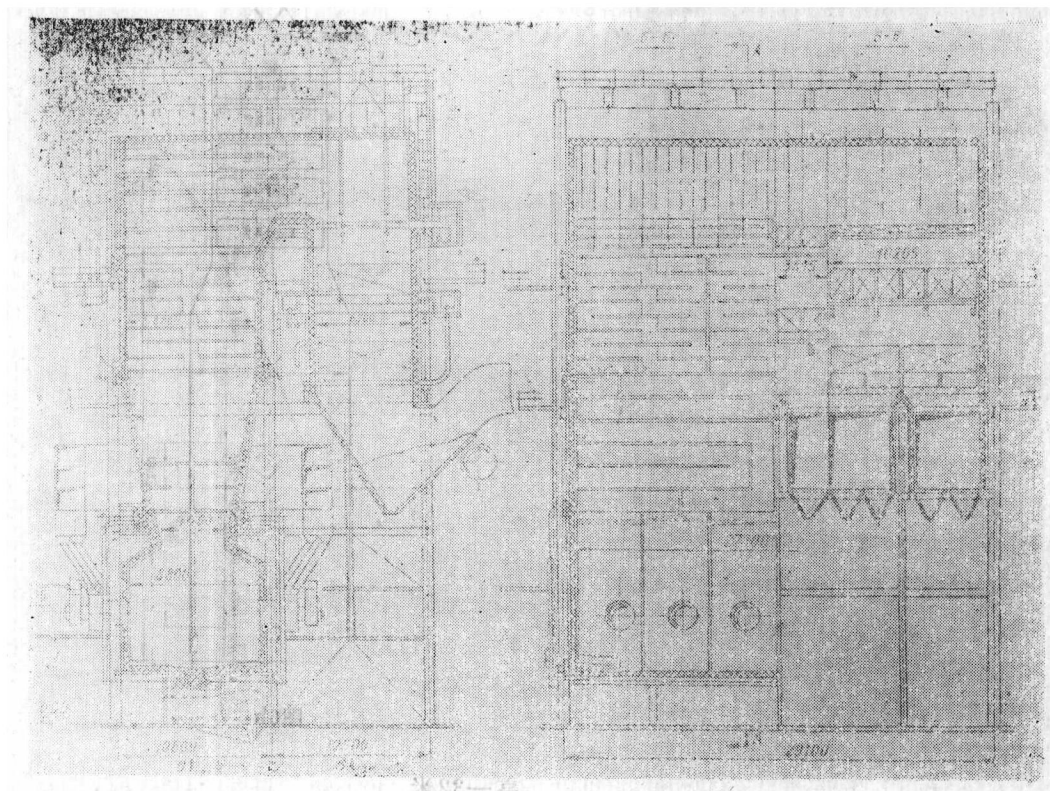


图 7

主要特性

安装电站：Славянская ГРЭС 2号机组。

制造公司：苏联塔干罗格锅炉厂 (ТКЗ)。

机组型号：ПП—2500/255ж型。

机组功率：80万瓩。

投运日期：1971年按装结束。

燃料：天然气 (热值8500大卡/标米³)；无烟煤 (热值6287大卡/公斤)。

新蒸汽参数：蒸汽量—2500吨/时；压力—255公斤/厘米²；过热汽温—565℃。

再热蒸汽参数：蒸汽量—2065吨/时；压力—36.1公斤/厘米²；再热汽温—545℃。

给水温度：271℃。

排烟温度：123℃。

热风温度：391℃。

锅炉型式：“П”型布置，半开式液态排渣炉膛，负压运行。单炉膛结构。

过热汽温调节方式：用煤水比调节，并用喷水控制温度波动。

再热汽温调节方式：用烟气旁通量调节，还可以用装在各管路入口处的转向阀通过流量的改变来微调节，此外还装有事故喷水。

炉膛尺寸：宽—27.3米；深—8.735米，高—32.5米。

炉膛容积热载：123×10³大卡/米³·时。

燃烧室容积热载：430×10³大卡/米³·时。

时。

炉膛断面热载：3.6×10³大卡/米²·时。

燃烧器布置方式：前后墙对冲布置，单层，旋流式燃烧器。

燃烧器个数：12个。

单个燃烧器容量：燃煤 11.4吨/时；

燃天然气 8100标米³/时；

燃油 2.6吨/时。

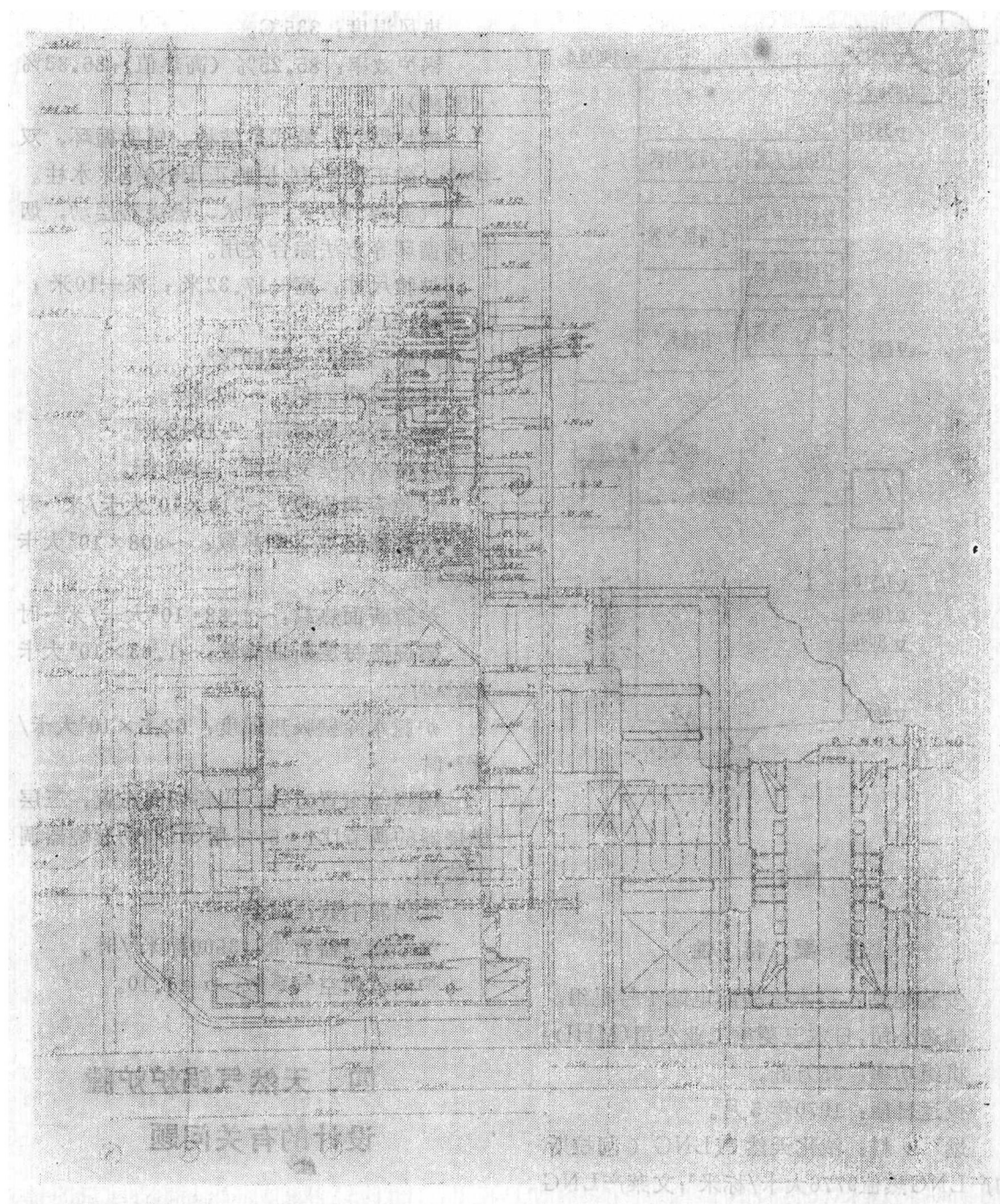


图 8a

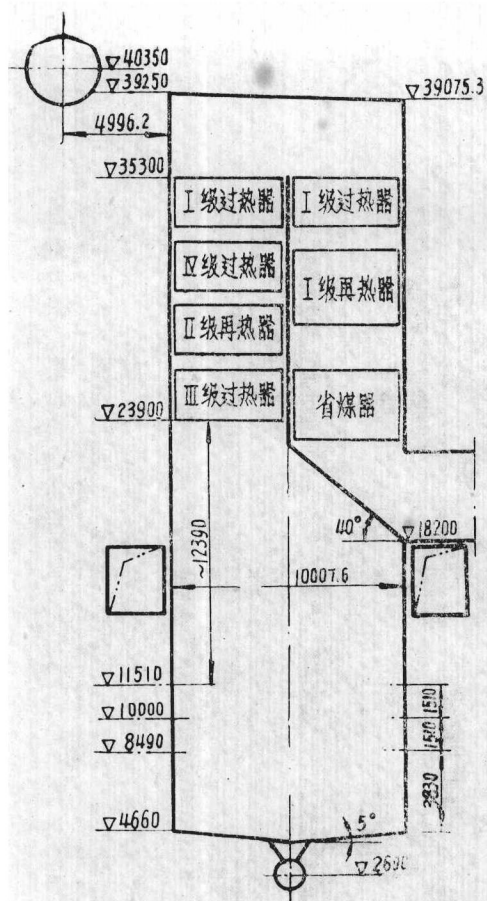


图8b

主要特性

安装电站：日本南横滨电站1号机组。

制造公司：日本三菱重工业公司(MHI)。

机组功率：35万千瓦。

投运日期：1970年5月。

燃料：液化天然气LNG（阿拉斯加产LNG热值9776大卡/标米³；文莱产LNG热值10817大卡/标米³）。

蒸汽参数：蒸汽量—1108吨/时；压力—175.4公斤/厘米²；过热汽温—570℃；再热汽温—570℃。

给水温度：271.5℃。

排烟温度：98℃。

热风温度：335℃。

锅炉效率：85.25%（高热值）；86.33%（实测）。

锅炉型式：箱式炉结构、辅助循环，双炉膛、微正压结构，炉膛正压610毫米水柱。

气温调节方式：喷水，燃烧器摆动，烟气再循环等方法综合使用。

炉膛尺寸：宽—17.32米；深—10米；高—19.24米。

炉膛容积：~3860米³。

炉膛横断面积：~173米²。

燃烧器区域容积：~1043米³。

炉膛水冷壁受热面：4460米²。

炉膛容积热载：~218×10³大卡/米³·时
燃烧器区域容积热载：~808×10³大卡/米³·时。

炉膛断面热载：~4.88×10⁶大卡/米²·时

燃烧器每层断面热载：~1.63×10⁶大卡/米²·时。

炉膛水冷壁吸热强度：62.5×10³大卡/米²·时。

燃烧器布置方式：四角切向布置，三层燃烧器的调节比1:5，采用CE自动燃烧器调节装置。

燃烧器个数：24个。

单个燃烧器容量：3500标米³/时。

炉内过剩空气系数： $\alpha = 1.10$ 。

四、天然气锅炉炉膛设计的有关问题

天然气的化学成份及燃烧特性要求天然气锅炉在设计炉膛时有些特殊考虑，其中讨论得最多的是天然气火焰的辐射性能。

1. 天然气火焰的辐射性能

对设计炉膛时需掌握的炉内热流分布及