

出国技术考察报告

日本、加拿大、瑞士、西德和意大利 五国锅炉制造

中国电力考察团
电力设备制造考察组

第一机械工业部情报所

前 言

一九七二年十一月至一九七三年二月，中国电力考察团赴日本、加拿大、瑞士、西德和意大利五个国家进行参观考察。部分成员侧重了解和考察火力发电设备和原子能发电设备的制造水平及其运行情况，先后参观访问了发电设备及辅机制造企业63家(其中锅炉厂13个、汽轮机厂16个、电机厂17个及一些水轮机、变压器、电器、电线、阀门等制造厂)，有关科研单位，并参观了水电站、火电站和原子能电站30个。

遵照毛主席“洋为中用”的教导，回国后，考察团成员将发电设备制造方面的国外考察情况写了三个专题报告。

这三个专题报告是：

- 一、日本、加拿大、瑞士、西德和意大利五国锅炉制造专业考察报告，*
- 二、日本、加拿大、瑞士、西德和意大利五国汽轮机制造专业考察报告；
- 三、日本、加拿大、瑞士、西德和意大利五国汽轮发电机制造专业考察报告。

现将这三个专题报告分别出版，供有关部门参考。

* 锅炉部分利用了一些英、法的文字资料。

目 录

一 五国锅炉制造业的基本情况	1
二 五国锅炉制造厂和世界上锅炉技术集团在技术上的从属关系	4
三 锅炉制造技术的一些基本问题	7
(一) 大容量、单元机组、可靠性	7
(二) 关于蒸汽参数问题	7
四 燃料对锅炉设计的影响	10
(一) 燃料构成的变化, 对五个国家锅炉技术发展的影响	10
(二) 燃料构成的变化, 在五国锅炉结构上的具体反映	11
(三) 高温烟气发生器和高温烟气锅炉	25
(四) 燃气蒸汽联合循环装置	26
五 运行要求对锅炉技术发展的影响	27
六 关于直流锅炉	29
(一) 本生锅炉	29
(二) 苏尔寿锅炉	29
(三) 拉姆辛直流锅炉	29
七 空气预热器	34
(一) 传热受热面	34
(二) 密封	35
(三) 传动	36
(四) 烟气温度限制	36
(五) 转子轴承	36
八 锅炉的构架	43
九 锅炉制造业的科学研究工作	47
十 关于若干具体问题	54
(一) 关于 UP 锅炉	54
(二) 锅炉的水质要求	56
(三) 过热器和再热器汽温调节	56
(四) 受热面的磨损问题	57
(五) 燃烧器	57
(六) 启动运行	58
(七) 循环泵问题	61
(八) 苏尔寿锅炉	63
十一 锅炉的制造工艺	65
(一) 汽包 (包括厚壁容器) 的制造	65
(二) 联箱和导管的制造	69
(三) 膜式水冷壁的制造	71
(四) 对流受热面的制造	73

十二 锅炉的技术检查	78
(一) 汽包及分配联箱的热处理	78
(二) 无损探伤要求	81
(三) 材料检验要求	82
(四) 水压试验补充要求	83
结束语	84
附件一 五国主要锅炉制造厂情况简介	86
(一) 日本拔柏葛·日立公司	86
(二) 日本三菱重工业公司	89
(三) 日本石川岛播磨重工业公司	95
(四) 日本川崎重工业公司	98
(五) 加拿大拔柏葛·维尔考克斯公司	100
(六) 瑞士苏尔寿公司	102
(七) 西德拔柏葛·维尔考克斯公司	105
(八) 西德塞尔锅炉厂	107
(九) 西德奥格斯堡·纽伦堡机器制造厂	108
(十) 西德史丹因缪勒锅炉厂	110
(十一) 意大利勃莱达热工机械与机车公司	111
(十二) 意大利安莎尔多机械与核能设备公司	114
(十三) 意大利弗兰柯·拓西公司	116
附件二 各厂制造的一些典型锅炉介绍	118
(一) 自然循环汽包锅炉	118
(1) 日本 IHI 的26.5万瓩, 840吨/时炉	118
(2) 日本 BHKK 的37.5万瓩, 1210吨/时炉	121
(二) 直流锅炉	123
(1) 超临界压力 UP 炉	123
日本 BHKK 的60万瓩, 1950吨/时炉	124
(2) 本生型的直流炉	124
(a) 西德 LCS 的30万瓩, 1080吨/时炉	124
(b) 瑞士 Sulzer 的15万瓩, 460吨/时炉	126
(c) 瑞士 Sulzer 的26.5万瓩, 890吨/时炉	128
(d) 西德 MAN 的60万瓩, 1870吨/时炉	130
(3) 超临界压力复合循环炉	133
日本 MHI 的60万瓩, 1950吨/时炉	133
(三) 多次强制循环炉	134
日本 MHI 的35万瓩, 1150吨/时炉	134

一、五国锅炉制造业的基本情况

这些国家，在资本主义世界中都属于工业先进国家的行列。除加拿大外，发电设备的制造，除供应国内市场外，都有相当大的比重供出口。锅炉制造的能力，一般都和汽轮机以及汽轮发电机的制造能力相适应。只有瑞士例外，它的汽轮机与汽轮发电机制造能力约为 300 万千瓦，但是锅炉制造的生产能力很低；然而，在锅炉研究工作上却化了很大力量，发展新技术，取得技术专利权，出售锅炉技术特许，以此与其它国家相竞争。

在日本、瑞士和意大利，参观了所有主要的锅炉制造厂。加拿大则还有加拿大燃烧工程公司和加拿大福斯特·惠勒公司，西德还有动力和化工机械公司 (Energie und Verfahrenstechnik A.G. 以下简称 EVT)，意大利还有意大利福斯特·惠勒公司，也都是主要的锅炉制造厂，因日程的限制，没有去参观了解。

西德的锅炉制造厂数量相当多，但是除了拔柏葛·维尔考克斯公司 (以下简称西德 B&W) 以外，规模都不大。同时，最近十年间，由于垄断和兼并，逐步走向组合的集团。例如西德 B&W 收购了窦尔 (Dürr) 锅炉公司 (生产上仍然独立)，鲍雪格 (Borsig) 锅炉制造厂和华尔克 (Walke) 公司 (设计、制造冷却塔)，成了西德 B&W 集团。而原来的洗煤公司 (Kohlenscheidungs Gesellschaft, 简称 KSG) 则和 Buckau Wolf 几家锅炉厂合并，并改称 EVT。这两家公司和史丹恩缪勒公司以及奥格斯堡·纽伦堡机器制造厂 (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, 以下简称 MAN, 是个综合性的重型机器厂，锅炉只是其中很小一部分业务)，是目前西德四家主要的电站锅炉制造厂。西德锅炉制造工业还有一个特点，即这几家锅炉制造厂，尽管技术上风格不同，经济业务上又是竞争者，但是它们往往合作供应同一台大容量的锅炉。

意大利勃莱达热工机械与机车公司 (以下简称 BTL) 和安沙尔多机械与核能设备公司 (简称 AMN) 在锅炉技术上，都制造自然循环锅炉、本生型和通用压力型直流锅炉属于同一流派。经常在一起设计大容量锅炉，并分工制造。而弗兰柯·拓西公司 (FT) 则制造辅助循环锅炉，苏尔寿型和复合循环型的直流锅炉。

这五国的主要锅炉制造厂的基本情况如表一

表1 五国主要锅炉

序号	国别	公司(简称)工厂名称	主 要 产 品	面 积 (米 ²)	
				占 地	建 筑
1	日本	拔柏葛·日立公司(BHKK) 吴工场	锅炉、原子能容器	165000	89000
2		三菱重工业公司(MHI) 神户制作所 长崎制作所	造船、汽包锅炉、原子能容器 直流锅炉、造船	663000 397000	316000 108500
3		石川岛播磨重工业公司(IHI) 相生工场 横滨三厂	锅炉 原子能容器、换热器	359831(二工厂) 164047	50600(一工厂) 17631(二工厂) 64210
4		川崎重工业公司(KHI) 川崎工场 神户工场 大阪工场	直流锅炉、换热器 船用及陆用锅炉、造船 车辆、锅炉、化工设备	48500 355848 201601	27000 201346 54680
5	加拿大	加拿大拔柏葛·维尔柯克斯公司 (CB&W)	锅炉、原子能设备、泵		46500
6		加拿大燃烧工程公司 (CCE)*	锅炉、原子能设备		
7		加拿大福斯特·惠勒公司 (CFW)*			
8	瑞士	苏尔寿公司(Sulzer)	柴油机、压缩机、锅炉、高温烟气 发生器、泵、机车、水轮机		
9	西德	西德拔柏葛·维尔柯克斯公司 (DB&W) 弗里德里希弗尔德工厂	锅炉、原子能容器、再生式空气预 热器、钢结构和风机	1000000	113000
10		赛尔工厂(Dürr)	电站锅炉、蒸汽燃气联合装置、核 反应堆用热交换器		
11		史丹恩缪勒公司(LCS)	锅炉、原子能设备、化工设备、 水处理设备		
12		奥格斯堡·纽伦堡机器制造厂 汉堡工厂(MAN)	锅 炉	120000	60000
13		动力与化工机械公司 (EVT)*			
14	意大利	勃莱达热工机械与机车公司 (BTL)	火电设备、原子能设备	260000	142000
15		安莎而多机械与原子能设备公司 (A. M. N)	锅炉、原子能设备		160000
16		弗兰可·拓西公司(FT)	火电设备、原子能设备、水轮机、 柴油机、燃气轮机	350000	175000(40000)

注: *—未去参观;
括号内数字为锅炉制造方面的人数与面积

制造厂的基本情况

职 工 人 数		估计电站锅炉的 生 产 能 力 (万瓩/年)	目前运行或安装中的最大锅炉 吨/时, 万瓩, 公斤/厘米 ² , °C/°C, 所在电厂	备 注
总 数	其中技术人员数			
1700		400	3180, 100, 255, 543/568, 鹿岛*	1972年11月在制造中
9700 15000	8000(2800)	} 600	3180, 100, 255, 543/568, 鹿岛*	
2800			1950, 60, 255, 541/568, 鹿岛	
970 9400 1600		100	1200, 35, 259, 543/540, 大井	
2000	400	100	1615, 50, 538/538, Nanticoke 电厂	
			1615, 50 538/538 Lambton 电厂	
		100	890, 26.5, 189, 540/540 瑞典 Västerås 电厂	
2000		400	2000, 60	
3000		150	600, 20, 285, 535/545/545 西德弗朗肯第二电站	
3000	1000	250	1080, 30, 216, 535/535 Scholven	
2000	400		1870, 60, 195, 530/530 西德尼得豪森电站	
		200	912, 30, 190, 535/535 Pleinting	
2400		} 300	1050, 32, 177, 540/540	66万瓩机组正在设计
4000(800)			1050, 32, 177, 540/540	66万瓩机组正在设计
5000	1000	100	1050, 32, 177, 540/540	66万瓩机组正在设计

二、五国锅炉制造厂和世界上锅炉技术集团在技术上的从属关系

五个国家的锅炉制造厂虽然大都自己开展科学研究，独立进行设计工作。但是，最初往往直接购买其它国家锅炉制造厂的专利。因此，他们在技术特征上，基本上分别从属于某一个流派。在一些主要技术问题上有明显区别。因此在汽包锅炉和直流锅炉方面，分别形成三、四个国际性的锅炉技术集团，非杨即墨，分野是很清楚的，现将它们的产品和技术上的从属关系，列表说明如下：

表II 五国锅炉制造厂的产品和技术上的从属关系

序 号	国 别	公司名称(简称)	汽 包 锅 炉		直 流 锅 炉				
			自然循环	辅助循环	本 生 型	UP 型	苏尔寿型	复合循环	FW 型
1	日 本	1.三菱重工业公司(MHI)	≤ 120 , ≤ 50 万瓩	140~175, (CE) ≥ 300 吨/时	×	×	≥ 100 (Sulzer)	≥ 155 (CE-Sulzer)☆	×
		2.拔柏葛·日立公司 (BHKK)	< 175 (BW)	×	> 175 (BW)	> 175 (BW)	×	×	
		3.石川岛播磨公司(IHI)	< 176 (FW)	×	×	×	< 197	×	$\cong 255$ (FW)
		4.川崎重工业公司(KHI)	< 170	×	> 120 (KWU, VKW)	×	×	×	×
2	加 拿 大	1.加拿大·拔柏葛·维尔 柯克斯公司(CBW)	< 175 (BW)	×	×	×	×	×	×
		2.加拿大·燃烧工程公司 (CCE)		< 175 (CE)	×	×	×	×	×
		3.加拿大·福斯特·惠勒 公司(CFW)	○(FW)						
3	瑞 士	苏尔寿公司(Sulzer)	○		×	×	> 80 (最高)352	○☆	×
4	西 德	1.德国拔柏葛·维尔柯克 斯公司(DBW)	○	×	> 175 (KWU)	×	×	×	×
		2.塞尔工厂(Dürr)			> 40 (KWU)	×	×	×	×
		3.史丹恩缪勒公司(LSC)	< 175	> 140	> 175 (KWU)	×	×	×	×
		4.奥格斯堡·纽伦堡·机 器公司(MAN)			○(KWU)	×	×	×	×
		5.动力与化学机械公司 (EVT)			×	×	○ (Sulzer)	○☆	×
5	意 大 利	1.勃莱达热工与机车公司 (BTL)	○	×	○(KWU)	○(BW)	×	×	×
		2.安莎而多机械与核能设 备公司(AMN)	○	×	○(KWU)	○(BW)	×	×	×
		3.弗兰可·拓西公司(FT)	≤ 145 , < 15 万瓩	≤ 175 15~30万瓩 (CE)	×	×	○	> 175 , 60万瓩	×

说 明：

- 1.表中没有单位的数字，表示压力界限值。○—代表制造这种型式的锅炉。×—代表迄今为止不制造这种锅炉。空格—表示尚无确实的资料。
- 2.()内的简称，代表购买那家的技术专利。
- 3.BW—拔柏葛·维尔考克斯公司(美英)。CE—美国燃烧工程公司。FW—美国福斯特·惠勒公司。VKW—西德锅炉联合制造公司。KWU—西德发电设备联合公司。Sulzer—瑞士苏尔寿公司。
- 4.☆原先美国 CE 公司，购买苏尔寿的直流锅炉专利，后来自己发展了复合循环直流锅炉，因此 CE 与 Sulzer 相互成为技术合作的关系，而不是单方面的专利购买者关系。但 Sulzer 是否利用 CE 的技术制造过复合循环锅炉，尚待查证。

从上表可以作以下的分析和补充说明：

1. 汽包锅炉

BW, CE 和 FW 三足鼎峙，而其渊源是美国。除西德，瑞士外，在英、法、日、意、加都有它们的专利购买者。最老的是 BW，但是 CE 发展得很快，有压过 BW 的趋势，相形之下，FW 实力较小，在各国都是如此，但正加紧渗入欧洲各国。

这三家汽包锅炉的主要技术特征是：

(1) BW 系统

汽水循环系统：一直到 180 公斤/厘米^2 表压的亚临界压力，都采用自然循环。汽包内部采用立式旋风分离器。

燃烧系统：采用 E 式平盘球磨机。前或后墙布置燃烧器，或者对冲布置；燃油时采用 Y 射流雾化器；液态排渣时采用卧式旋风炉。西德 BW 在采用卧式旋风炉时，采用轴向引入一次风和煤屑，而在其它国家的 BW，则采用切向引入一次风和煤屑。

(2) CE 系统：

汽水循环系统：汽压在 140 公斤/厘米^2 表压以下，采用自然循环。目前，由于蒸汽参数的不断提高，因此在电站锅炉上，已很少采用。

在 $140 \sim 175 \text{ 公斤/厘米}^2$ 表压压力范围中，采用辅助循环，即在下水管系和上水管系之间接入了 $3 \sim 4 \text{ 公斤/厘米}^2$ 压头的辅助循环水泵，增加循环压头。汽包内部采用均化汽包壁温的炉水隔层和下部有旋转子的立式旋风分离器。

燃烧系统：采用平盘锥滚的磨煤机。角式布置俯仰式燃烧器，切圆燃烧。

汽温调节：一次汽温主要靠喷水减温；二次汽温主要依靠燃烧器的俯仰和烟气再循环。

(3) FW 系统：

汽水循环系统：采用自然循环，汽包内部采用卧式旋风分离器。

燃烧系统：采用双向排粉式钢球磨煤机（可以不停机加球）。前或后墙布置或对冲布置燃烧器。

汽温调节：广泛采用辐射过热器，如墙式过热器，甚至利用炉膛中间隔墙作辐射过热器，和对流过热器相结合，在很宽负荷内可得到平稳的过热汽温曲线。此外，采用分烟道的烟气挡板分流的方法调节汽温。过去还有吸入雾化式调温器，据日本 IHI 称，现在已很少采用。

以上三个系统的锅炉技术集团，左右了西方国家汽包锅炉的技术发展。在蒸汽参数达到 170 公斤/厘米^2 表压的水平以前，这三个集团只制造和发展汽包锅炉。

2. 直流锅炉

西德是本生锅炉的渊源，而瑞士是苏尔寿锅炉直流锅炉技术的创始地。到目前，世界上有 19 个国家的 38 个公司购买了 KWU 本生锅炉的技术专利，截止 1972 年底，全世界已有 739 台本生直流锅炉（包括通用压力锅炉）运行，总蒸发量为 473,062 吨/时；有 9 个国家的 13 个公司购买了苏尔寿直流锅炉的技术专利，其中，美国的燃烧工程公司，后来和瑞士苏尔寿公司改变为相互对等的技术合作关系。截止 1971 年底，世界上共有 283 台苏尔寿锅炉（包括复合循环锅炉）运行。总蒸发量为 186,833.8 吨/时。

3. 当蒸汽参数提高到 170 公斤/厘米^2 表压以上和超临界压力的水平时，美国的 BW 向西德的西门子公司（现在由 KWU 经营这方面的业务）购买了本生锅炉的技术专利，并创造出了所谓通用压力（UP）直流锅炉。在管圈上它的特征是一次上升，或上升——上升的直立管

排。

美国的 FW 向西德西门子公司购买了本生直流锅炉的专利。它制造的直流锅炉的管圈，其特征是下部炉膛的多次上升和上部炉膛的一次上升的直立管排。

美国 CE 向瑞士苏尔寿公司购买了苏尔寿直流锅炉的技术专利，并创造出了所谓复合循环锅炉。它的特征是在一定负荷以下有辅助循环泵在工作，以增加管圈内的通流量，实现管壁的恰当冷却，炉膛就可以采用一次上升行程，和原来汽包锅炉的水冷壁一样。

这样，三家原来汽包锅炉的技术集团，又发展了各有特色的直流锅炉，并向除西德和瑞士以外的其它西方国家，输出了这些直流锅炉的技术专利。

4. 可以看出，凡是制造自然循环锅炉的公司，都购买本生锅炉的专利，而制造辅助循环锅炉的公司都购买苏尔寿直流锅炉的专利。只有 IHI 制造 FW 型自然循环锅炉，却购买苏尔寿直流锅炉的技术专利，但在超临界锅炉时，却又制造 FW 式的属于本生型的直流锅炉。除开这个例外以外，可以归纳出 BW + 本生和 CE + 苏尔寿的两大集团。前者以本生直流锅炉和“通用压力”锅炉为特征，后者则制造苏尔寿直流锅炉和复合循环锅炉。

5. 但是，英国的 BW，在 BW 技术集团内，也是个例外，它按欧洲本生直流锅炉的原则设计直流锅炉，而不采用通用压力锅炉。

6. 附带说明，美国第四家大的锅炉制造公司利莱炉排公司，在亚临界压力以下制造自然循环锅炉，创造出扰动式炉膛。在直流锅炉中，在 0~100% 负荷范围内，在炉膛蒸发段内，都有复合再循环。和苏尔寿公司以及西德的 EVT 是相同的处理方法。

三、锅炉制造技术的一些基本问题

(一) 大容量、单元机组、可靠性

从这些国家，特别是日本的锅炉制造的基本情况看来，锅炉的运行周期、可靠性已经可以和汽轮机、汽轮发电机完全配合，单元制已经确定，两炉一机，双炉体已经完全不必要了。这和锅炉技术的发展，特别是膜式壁和悬吊结构的完善，燃油与煤气锅炉的发展，塔型锅炉的出现，吹灰器、阀门、燃烧器和制粉设备的技术革新是分不开的。目前电厂中对锅炉是每两年大修一次，而且主要内容还是检修辅机。

不仅如此，锅炉的容量已经可以领先。在日本单轴60万瓩汽轮发电机组还没有过关(1972年三菱制造的一台60万瓩单轴汽轮发电机组发生重大事故)，但是日本自己制造的配60万瓩机组的2000吨/时级的超临界压力锅炉，已有五台在运行。

目前日本正在安装的100万瓩容量的机组。汽轮机与汽轮发电机是从美国引进的，而锅炉则已由日立和三菱在分别制造中。

(二) 关于蒸汽参数问题

这些国家普遍认为，当机组容量达到一定水平，应该向超临界参数过渡，在日本以35万瓩、意大利以60万瓩级作为超临界与亚临界参数的分界线。

但美国自1970年起，超临界参数锅炉的生产，骤然下降。1969年总产量为2,680万瓩，其中超临界压力锅炉占60%；而1970年总产量为3,070万瓩，但超临界压力锅炉仅占32%。据分析认为，由于美国发展超临界大容量锅炉较早，缺乏经验，经常变动设计，因此投产以后可靠性差。事故率一直高于亚临界机组的水平，超临界参数提高效率所得，远不能补偿事故造成的损失。因此美国普遍认为：对高度可靠性、高度利用率和快速启停等迫切的要求来说，超临界参数的锅炉在这些方面的特性都不好。

在日本对超临界参数是相当坚持的，对最近美国要不要退回到亚临界参数的议论没有影响。分析起来，可能有两个理由：一是国内没有燃料资源，燃料用油全部依靠进口，因此特别重视电厂效率。如：鹿岛火力发电所的机组（汽轮机入口处参数 $246 \text{ 公斤/厘米}^2 \cdot \text{表压}$ $538/566^\circ\text{C}$ ）在性能试验时，送电端效率是307克/度（即汽机效率40.7%）。而1972年上半年实际为320克/度（机组效率38.5%）。1970年全日本公用电厂中有77%的容量是十年中投产的新机组，容量绝大多数是15~60万瓩的机组，供电煤耗为317~334克/度。二是他们自诩制造工艺条件很好，质量要求似乎比其余四国更严格，因此即使是超临界压力机组，电站设备的运行可靠性仍然比较高。例如：鹿岛火电厂的四台机组，分别在1971年3月19日，9月23日，1972年2月4日和4月7日投入运行，直到1972年11月下旬，共发生事故五次（1972年上半年连续运行15,469小时中，事故停运262小时）其中锅炉事故两次。事故的内容是：（1）压力控制阀由于位置讯号器电源配线接地而不能正常工作；（2）火焰监视器的部分零件灵敏度不良，所控制的燃烧器自动熄灭，于是安全装置动作，使整个锅炉停火。因此，都不是锅炉本体的故障。可见，即使是超临界压力机组，运行可靠性也是高的，可以没有美国那种争议。

他们认为虽然超临界机组比同容量的亚临界机组的价格高10%左右,但超临界压力机组的热效率比亚临界机组要高。例如:北海道八户电站 $191\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$ 的机组热耗要较东京电力公司大井电站 $251\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$ 机组热耗高约40大卡/瓩·小时。就运行可靠性而言,两者几乎是相同的。因此,从日本燃料价格和机组价格全面权衡比较,一般认为大于35万瓩的机组宜于采用超临界压力参数,一般采用的超临界压力为 $259\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$ 。

加拿大则在50万瓩机组上采用 170公斤/厘米^2 的亚临界参数,自然循环和辅助循环锅炉都有。在兰姆敦(Lambton)200万瓩电站安装了加拿大燃烧工程公司制造的4台50万瓩辅助循环锅炉,运行以来很正常。据称,加拿大维持亚临界参数,没有争议。

瑞士因为没有石油和煤资源,加之公害问题和所谓保护自然景色,以保护旅游业资本家的利益,今后只发展原子能电站,不再建设火力发电厂。火电设备完全供应国外市场,参数全随用户要求。虽然苏尔寿公司的直流锅炉也可在超临界领域中运行(1954年也已经制造出第一台超临界压力锅炉),但1965年建成投产的瑞士最大的夏伏龙(Chevalon)火电站,2台15万瓩机组(也是瑞士最大的机组)蒸汽参数却是 $190\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$ (过热器出口) $540/540^\circ\text{C}$ 。

西德的本生直流锅炉,也是历史很长的。1954年宾尔锅炉厂就已制造超临界参数锅炉,但截至1972年底只有26台超临界参数机组在电站运行(见表Ⅲ)总容量约590万瓩(约占全部装机容量的12%)比例是不算高的。目前正在建设中的最大机组——容量为60万瓩的尼德森的机组,仍然采用亚临界参数($195\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$ $530/530^\circ\text{C}$),据了解西德发电设备联合公司(以下简称KWU)和西德勃朗鲍威利公司(这两家都制造汽轮机与发电机,不制造锅炉)主张在80万瓩级上向超临界参数过渡。而奥格斯堡·纽伦堡机器制造厂(以下简称M. A. N)则在一台85万瓩机组上仍然采用亚临界参数。分析起来,可能德国有较多的褐煤资源,同时却没有很多的奥氏体钢可供电站使用,而电厂往往承担周期性负荷,经常启停,为了减少启停损失,因此亚临界参数更为可取。

西德和瑞士这两个国家在锅炉技术上的水平是比较高的,但是他们并不追求超临界参数。值得注意的是表Ⅲ中序号3的汉诺威普鲁士电力公司的希陶定格电厂在1968年定货的三号机组,锅炉容量为970吨/时,而蒸汽参数却由超临界参数下降为 $210\text{公斤/厘米}^2\cdot\text{表压}$, $525/525^\circ\text{C}$ 了。

至于美国超临界压力锅炉的运行,暴露了相当多的问题,因此在美国最近很多电力公司倾向于选择亚临界压力。对于这一事实,西德KWU的锅炉事业人员分析,问题在于燃烧。他们认为美国炉膛容积热强度取得太高,据说有时可以高达德国习惯的两倍,因此如果用西德和美国的锅炉相比,美国锅炉就显得瘦小得出奇。而美国锅炉又烧煤比较多,结渣、煤灰腐蚀都容易发生。因此问题不在于汽水系统,不在于超临界压力。而意大利弗兰可·拓西公司锅炉的技术负责人认为美国超临界参数机组的单台容量上升得太快,超临界机组的总容量占的比重也大,相对地说,这些机组又都是新机组,难免有问题。这种新机组,大机组利用率偏低只是个暂时现象,而不是超临界参数本身的问题。

至于再热次数和再热的温度,意见比较趋于一致。加拿大、瑞士、西德采用的是一次汽 540°C ,再热 540°C ;意大利采用 $538/538^\circ\text{C}$,都是一次再热(从表Ⅲ也可以看出西德1960~1972年定货的26台超临界锅炉中,只有6台是两次再热的)。

蒸汽温度在日本用得比较多的是 $566/566^\circ\text{C}$ (汽轮机进口)或 $538/566^\circ\text{C}$ 。川崎重工公司从过热器和再热器的材料以及运行的可靠性出发不推荐采用较高的温度,主张过热器出口采用 543°C ,再热器出口采用 540°C 。这样虽使热效率有所降低,但川崎重工公司供应本生直流

锅炉，有条件适当提高一些蒸汽压力，而使这部分降低的效率得到补偿。这样可以避免在过热器和再热器中使用奥氏体钢。同时，运行可靠性有所改善（因为奥氏体热膨胀系数高，易造成过高的热应力）。温度普遍回降这一趋势也是和燃油锅炉的比重显著增大的趋势密切相关的。因为，为了避免燃油锅炉中往往出现的高温腐蚀，需要降低温度。

表III 西德超临界参数电站锅炉
(据 SIEMENS 供货表, 截至1972年底止)

序号	西门子 定编 号	电 厂	制造工厂	数量	出力 t / h	设计 压力 atü	一次汽 ℃	再热 ℃	燃 烧 及 出渣方式	热 值 kCal/kg	投运 日期
1	203	Großkraftwerk Franken AG 弗兰肯有限公司大电厂	Dü/ MAN	1	350	285	525	535/ 535	煤粉直吹 液态	7000	1960
2	212	VEW, KW Schmenhausen 施门豪森电厂	St	2	530	230	555	545	煤粉直吹 液态 (油)	4270	1961
3	249	Preußenelektra Hannover, KW Staudinger 希陶定格电厂	BW VKW	2 2	416 416	260 260	545 545	540 540	旋风炉 油 液态	6000/9600 6000/9600	1962 1962
4	263	HEW Hamburg, KW Wedel III 汉堡电厂	Dü	1	570	285	545	545/ 545	煤粉直吹 干态, 油	6800/9600	1962
5	280	GKW. Mannheim 曼海姆电厂	BW	1	650	275	530	540/ 530	旋风炉 液态	5000	1963
6	298	Großkraftwerk Franken AG, Nürnberg, KW Franken II 弗兰肯有限公司大电厂 II	Dü	2	600	285	535	545/ 545	煤粉直吹 液态	7000	1964
7	303	Saarbergwerke Saarbrücken, KW Fenne 萨尔布律克电厂	St	2	250	290	535	535	煤粉直吹 液态	4200	1964
8	364	NWK Hamburg, KW Farge 汉堡电厂	BW	1	930	276	545	545	煤粉直吹	7000	1966
9	369	VEW Westfalen KW Schme- hausen 威斯特发里亚电厂	St	1	980	260	555	555	煤粉直吹 干态	6000	1966
10	400	BBAG, KW Gustaf Knepper 哥斯塔弗克内佩电厂	St	1	1070	230	535	535	煤粉直吹 液态	5000	1967
11	409	Nordwestdeutsche Kraftwerke Hamburg, KW Kiel 西北德汉堡电厂	BW	1	930	276	545	545	煤粉直吹 干态	7000	1967
12	425	Kraftwerksbau GmbH KW Ensdorf 恩斯村电厂	St/Bo	1	934	300	530	530	煤粉直吹 液态	5310	1968
13	431	GKW Mannheim 曼海姆电厂	BW	1	650	280	530	540/ 530	旋风炉 液态	7200	1968
14	474	GKW Mannheim 曼海姆电厂	BW	1	1225	280	530	540/ 530	油、煤气	9500	1969
15	475	NWK Hamburg, KW Emdem 汉堡电厂	BW	1	1050	280	545	545	油、煤气	9600	1970
16	487	Preu Benelektra Hannover KW Robert Franken III 汉诺威电厂	BW	1	1200	286	540	540	油、煤气	9600/6600	1970
17	527	GKW Weser, KW Veltheim 维尔太姆电厂	Dü	1	900	235	540	540	煤 气	7800	1971
18	529	GKW Franken AG, KW Franken I/2 弗朗肯电厂	MAN	1	1150	225	540	540	油、煤气	9500/8850	1971
19	536	NVPLEM, Maasbracht 谬司布拉赫特电厂	BW-St /Dü	1	1960	290	540	540	油、煤气	7600/9600	1972
20	547	KW Mainz-Wies-baden AG 马因兹威斯巴登电厂	MAN	1	750	293	545	545	油、煤气	9600/7600	1972

四、燃料对锅炉设计的影响

这五个国家中，日本、瑞士和意大利都缺乏燃料，由国外进口石油作为动力燃料。

加拿大则自己有很多煤和石油资源。

西德目前的燃料构成如下表：

燃料品种	比 重 %	备 注
褐 煤	25	低热值 1000~2500 大卡/公斤，水份 50~60 %，比重还在上升
烟 煤	40	$Q_D = 3000 \sim 3500$ 大卡/公斤，水份 < 10%，灰份 $\approx 50\%$ ；比重在下降
石 油	25	比重还在急剧上升，政府用征税的手段加以限制
天 然 气	10	从苏联和荷兰管道输送，含氢高，热值大。在燃气蒸汽联合循环中用得很多。

此外，这些国家的原子能电站容量在增长。据告，日本1977年计划达到1,500万瓩，1983年计划达到6,000万瓩。西德计划1977年达到1,135万瓩，1983年达到 3,000 万瓩。这些原子能电站都承担基本负荷。

(一) 燃料构成的变化，对五个国家锅炉技术发展的影响

1. 在日本，燃油锅炉成为最主要的锅炉型式，统计 IHI 的全部定货，1968年以后基本上都是烧油，微正压，膜式水冷壁，且绝大部分为露天布置；

2. 意大利把很多现有的锅炉改成烧油炉。新设计的也全是燃油锅炉。但在新建电站时，总是把燃料来源和价格的变化考虑进去，往往按油设计，可以改烧煤。

3. 加拿大燃煤粉和油的锅炉都有发展。

4. 西德在1945年后广泛采用液态排渣，几乎所有烧褐煤的锅炉和部分烧烟煤的锅炉都采用液态排渣。当时主要的目的在于解决大灰的处理问题，在人口稠密的地区特别重要，因为粒状灰渣易于处理，同时也可以作为筑路的材料。西德曾发展了两级燃烧的液态排渣炉装置，甚至蒸发量大于1,000吨/时的锅炉也可采用。拔伯葛公司还在美国拔伯葛卧式旋风炉的基础上，发展了轴向进煤粉的卧式旋风炉。

史丹因缪勒锅炉厂在过去发展阶梯式布置燃烧器的液态排渣炉上有比较多的经验，阶梯式布置可以保证低负荷时的燃烧稳定，特别是适用于高灰分的煤。

但是近几年来，西德液态排渣炉几乎不再发展了，原因是：

(1) 高灰分的烟煤由于煤层过深，基本上停止了开采，因为它无法和进口油、天然气的价格竞争；

(2) 由于电力的发展，带基本负荷的原子能电站建设增多，今后即使60万瓩的机组，也要求在电网中担负中间负荷或调峰的任务，要求每天深夜停机和周末停机，液态排渣炉很难适应这方面的要求；

(3) 由于锅炉的容量不断增大，液态排渣炉结构过于复杂；维修不易，影响到运行的

可靠性；另外难于改烧油，而改烧油的趋势又在增大，采用固态排渣炉要优越得多；

(4) 液态排渣炉炉膛温度高，在燃烧过程中产生的氮氧化合物(NO_x)，大气污染严重；固态排渣炉，由于炉膛温度较低，氮氧化合物的生成少，有利环境保护；

(5) 液态排渣锅炉修理，停炉冷却时间长，因而影响到机组设备的利用率；

(6) 液态排渣炉烟气侧的腐蚀问题没有解决。

因此，西德最近的锅炉技术特别注意大容量褐煤和燃油锅炉，以及高增压锅炉。

(二) 燃料构成的变化，在五国锅炉结构上的具体反映

1. 燃油锅炉方面

(1) 新型的燃油或煤气锅炉（塔型箱式锅炉）

1956年美国 B & W 公司为美国埃尔帕索电力公司的 Rio Grande 电厂1[#] 机组供应了一台 5 万瓩的燃油锅炉。它的特点是：锅炉呈塔型，燃烧室四周采用膜式水冷壁，燃烧室上部的烟道用后墙水冷壁引来的水冷壁管分割成前部上行和后部下行的两个小烟道，而在两者的上部，将水冷壁管拉稀，形成防渣排管而成为烟气流通的窗口。在上下行的两个烟道中，布置全部水平的对流受热面。图 1 所示为菲律宾马尼刺电力公司 Gardner 电厂所装设的 483 吨/时（尖峰负荷时 510 吨/时）这种类型的锅炉。这种型式锅炉的优点是：

a. 所有对流受热面（过热器、再热器和省煤器）都直接放置在炉膛上方，全按水平方式布置，炉膛容积利用得最有效。炉膛和对流受热面布置紧凑，烟气速度可以取得较高，使整个锅炉体积缩小，占地少，同时所有对流受热面可以完全疏水，适宜于快速启动，也适宜于露天布置；

b. 整个锅炉采用悬吊结构，只有向下的垂直膨胀，因此悬吊结构简单可靠，热膨胀问题比双烟道的锅炉易于处理，管子穿墙都集中在前墙，密封可靠，最适宜于微正压燃烧；

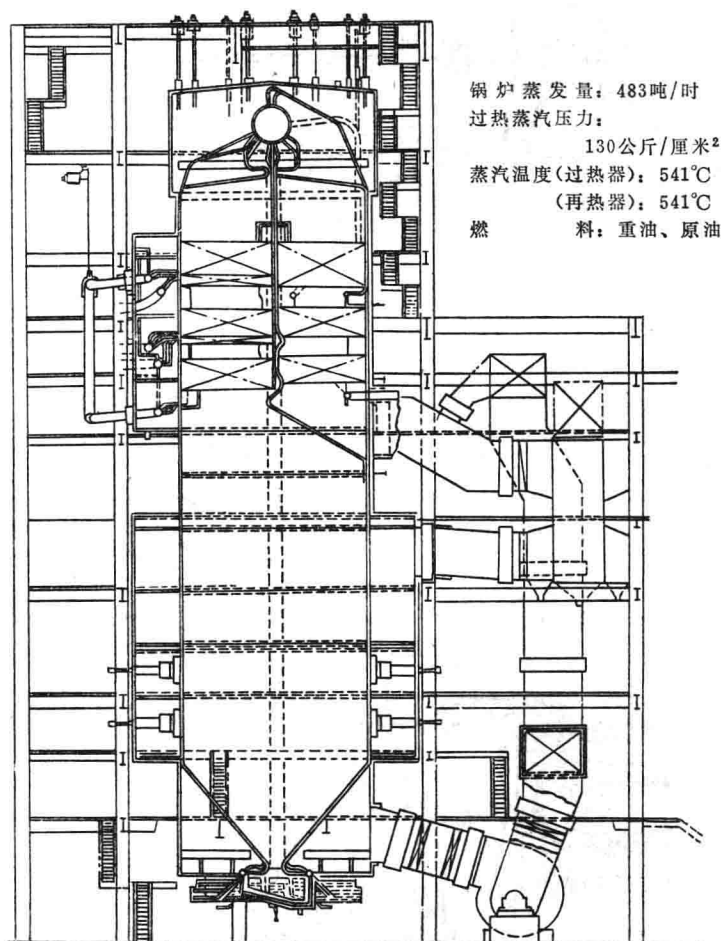


图 1 菲律宾马尼刺电力公司 Gardner[#]1 炉

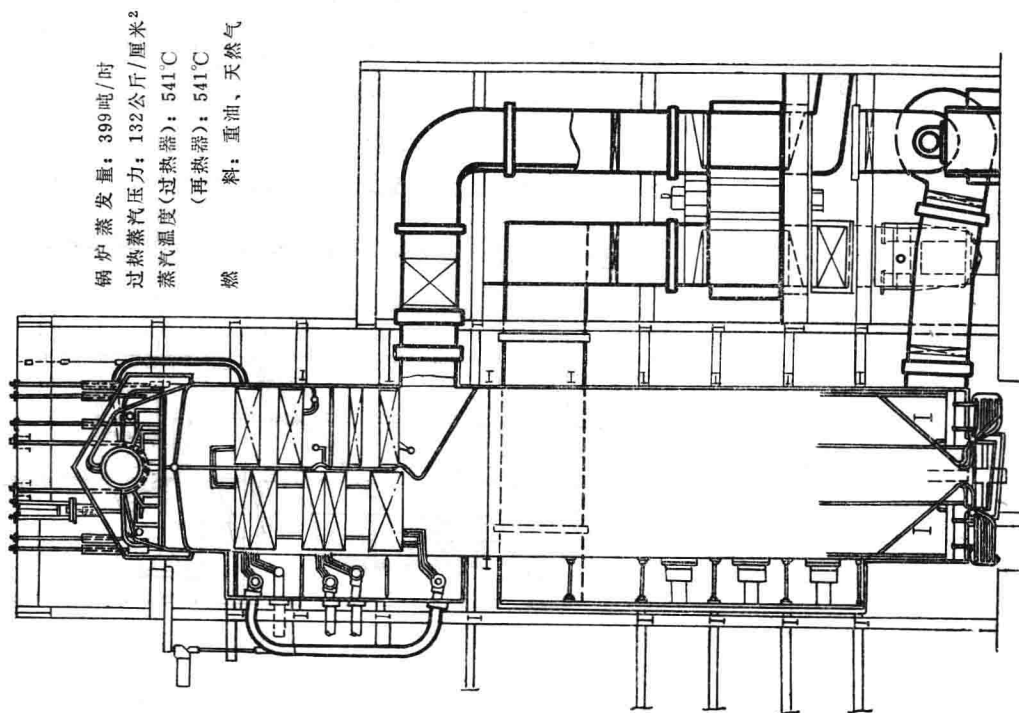


图2 巴基斯坦卡拉奇电力公司 Karachi 3# 机组

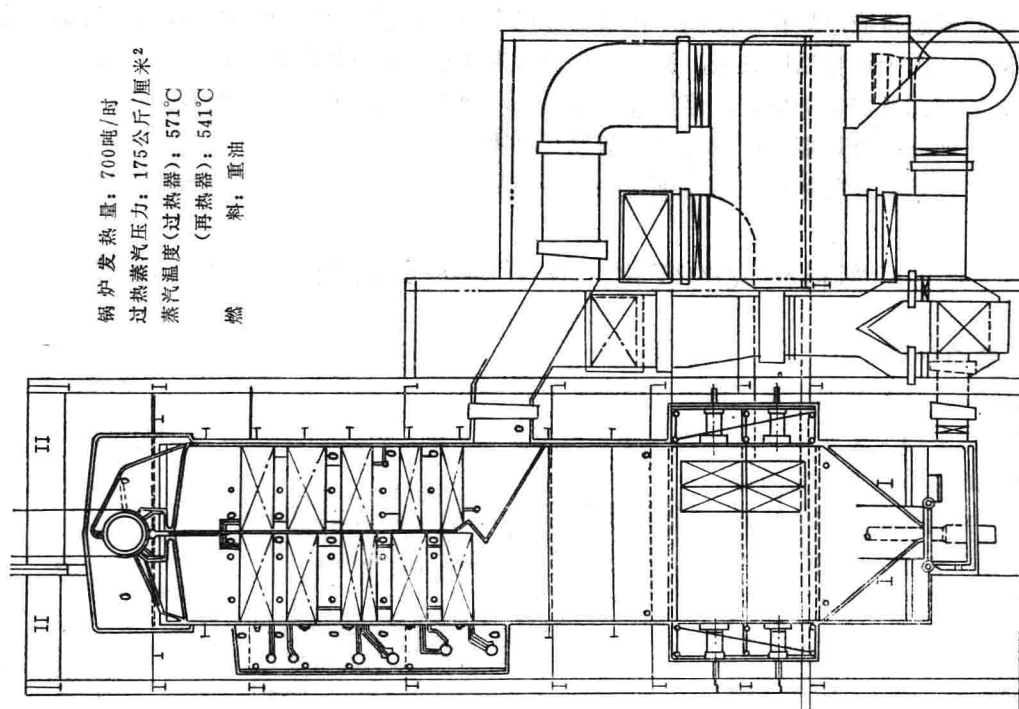
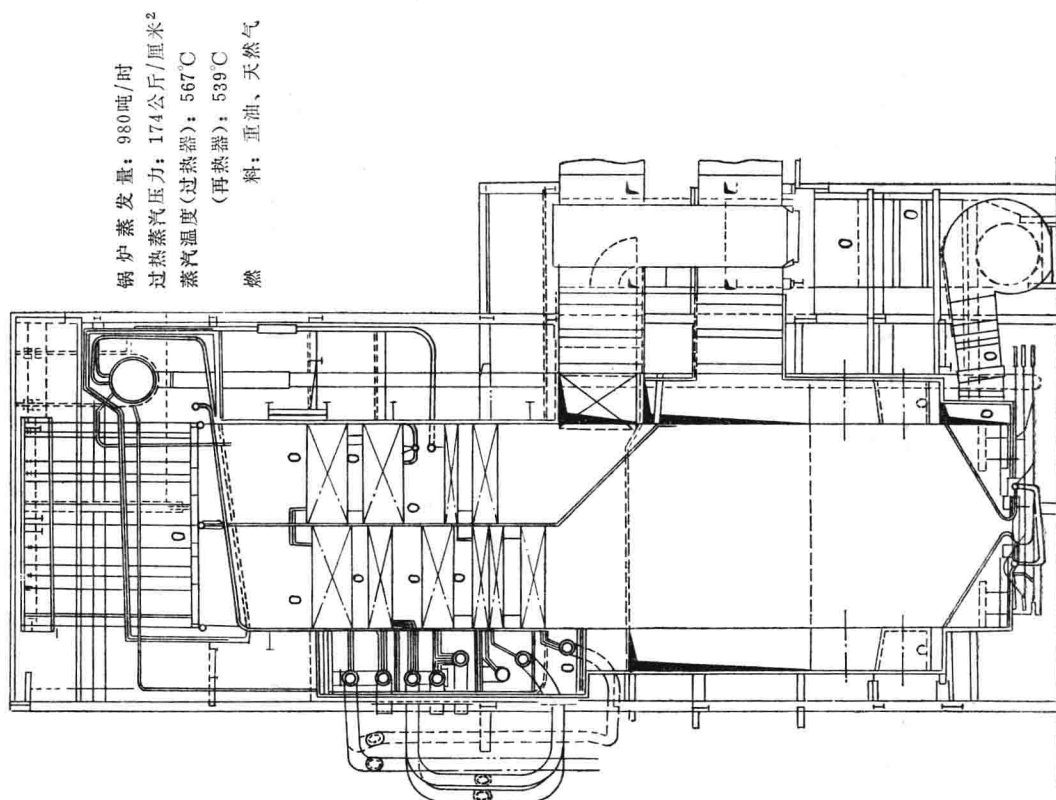
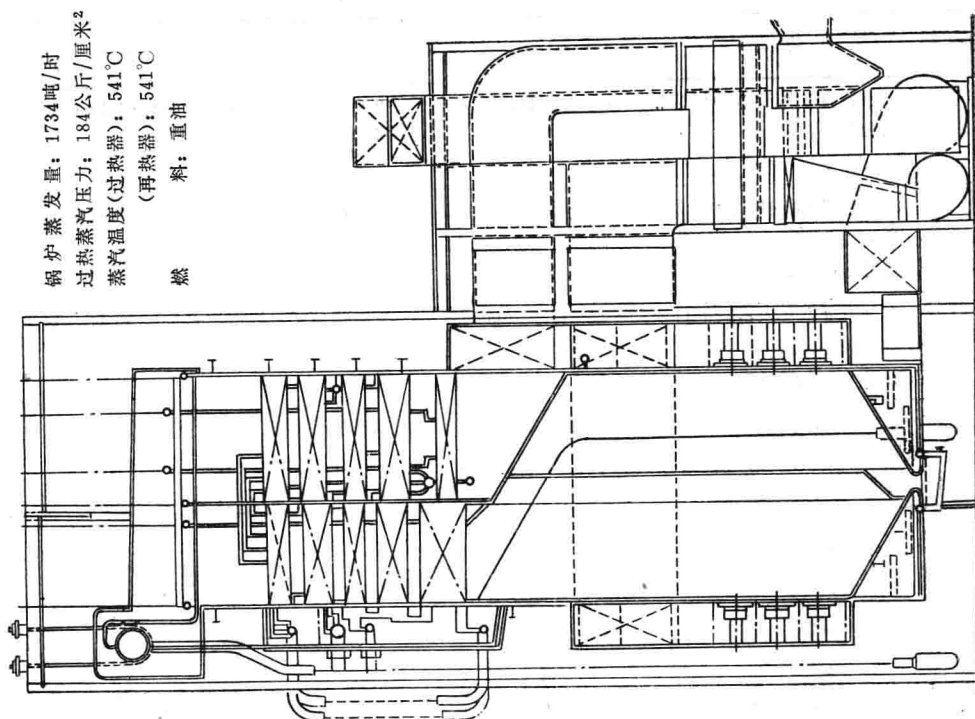


图3 日本中部电力公司西名古屋1#, 2# 机组



锅炉蒸发量: 980吨/时
 过热蒸汽压力: 174公斤/厘米²
 蒸汽温度(过热器): 567℃
 (再热器): 539℃
 燃料: 重油、天然气

图4 Morro Bay 3*, 4* 炉



锅炉蒸发量: 1734吨/时
 过热蒸汽压力: 184公斤/厘米²
 蒸汽温度(过热器): 541℃
 (再热器): 541℃
 燃料: 重油

图5 西班牙水电公司喀斯特隆1*, 2* 炉