

国外机械工业基本情况参考资料

电 站 锅 炉

电 站 锅 炉 基 本 情 况 编 写 小 组

第 一 机 械 工 业 部 情 报 所

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义社会的烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采取分析、批判的态度。

本册为电站锅炉国外基本情况部分，参加编写工作的单位有：上海锅炉厂研究所、哈尔滨锅炉厂、东方锅炉厂、一机部第二设计院。主编是上海锅炉厂研究所。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七四年

目 录

第一章 国外电站锅炉综述

- 一、电站锅炉制造与电力工业的发展 1
- 二、电站锅炉的产品水平 6
- 三、电站锅炉的主要技术问题 13
- 四、电站锅炉的制造工艺及材料 18
- 五、锅炉行业的科学技术研究 21

第二章 日本的电站锅炉

- 一、一般概况 28
- 二、设计与科学研究 29
- 三、制造工艺及设备能力 39
- 四、主要公司、厂商的生产概况 47

第三章 苏联的电站锅炉

- 一、一般概况 63
- 二、锅炉产品 65
- 三、锅炉制造生产概况 71
- 四、电站锅炉工厂 74
- 五、锅炉制造工艺与装备能力 81

第四章 西德的电站锅炉

- 一、一般概况 85
- 二、产品设计和结构 87
- 三、制造工艺 96
- 四、公司、厂家的生产规模 100

第一章 国外电站锅炉综述

一、电站锅炉制造与电力工业的发展

(一) 电力工业

1965~1970年,全世界发电量平均每年以7%左右的速度增长。1965年总装机容量约为7亿瓩,发电量约为35000亿度。至1971年总装机容量约11.3亿瓩,发电量52300亿度。预计到2000年世界总装机容量将达68亿瓩,其中火电约占24亿瓩以上。1971年一些国家的装机容量及发电量见表1-1。

表1-1 1971年一些国家的装机容量及发电量

国别	装机容量		发电量		装机容量增加一倍的时间(年)	发电量增加一倍的时间(年)
	万瓩	近10年平均增长率(%)	亿度	近10年平均增长率(%)		
美国	38880	6.9	17175	6.9	10.4	10.4
苏联	17760	9.1	8147	9.6	7.9	7.6
日本	7648	11.4	3859	11.3	6.4	6.5
英国	7201	6.3	2542	5.7	11.3	12.5
西德	5289	6.2	2537	7.4	11.6	9.8
加拿大	4713	6.9	2151	6.9	10.3	10.8
法国	4142	6.0	1488	6.9	11.9	10.4
意大利	3555	6.8	1223	7.3	10.6	9.9

近年来各主要工业国家在发展电力工业中火力发电仍处于领先地位,其比重不断上升。到1971年为止的10年中,火力发电设备装机容量的平均增长率各国大致为6—7%。增长速度较快的是日本和意大利:为15.7%(日本)和14.6%(意大利)。日本的发电能力,于1963、1966年先后赶上西德和英国,而居世界第三位。意大利近十年火电比重,由1960年的20%左右升到1972年的82.2%。欧美各国亦均以火电作为发展电力工业的主要方向,以满足日益增长的电力需要。但近年来,由于资本主义国家的经济危机,特别是由于能源危机,增长速度已开始衰退。

六十年代,另一个主要特点是原子能电站发展较为迅速。特别是六十年代后半期以来,其发展速度远超过前十年。如果说,一般电站功率的年增长率7~8%,而原子能电站则为26%左右。1965年全世界原子能电站的总装机容量仅为600万瓩,而到1970年已达2400万瓩。据估计到1985年原子能电站的比重可达50%。到1972年一些国家的原子能电站装机容量见表1-2。

表1-2 1972 年一些国家的原子能电站装机容量万瓩

国 家	美	英	法	日	意	西 德	苏
装 机 容 量	1483.0	613.3	292.9	183.6	67.0	230.8	260

发展原子能电站的原因是：资本主义国家能源危机和能源匮乏；矿物燃料的火电站造成严重的大气污染；核技术的发展，使原子能电站具有足够的安全可靠性，其年利用率接近于火电站；大容量原子能电站的发电成本，已接近甚至低于火电站。

六十年代以来世界能源结构变化的普遍趋势是：水电比例下降，火电比例上升，而火电燃料中又是重油和天然气的比例不断上升。对于国内资源比较缺乏的国家（如日本、法国、意大利等），重油燃料在电站锅炉中所占的比例日益增大。有关国家的燃料组成见表1-3。

表1-3 一些国家的火电比例及燃料组成

国 家	火 电 装 机 容 量 (1971年)		燃 料 组 成 (%)			
	万 瓩	占全部装机 容 量 (%)	年 份	煤	石 油	天然气及废气
美 国	32245	83.0	1971	55	16.3	28.7
苏 联	14200	80.0	1970	55.5	22.2	22.3
日 本	5496	71.9	1971	12.3	82.5	5.2
英 国	6435	89.2	1971	73.5	25.5	1.0
西 德	4682	89.0	1972	75.2	13.4	11.4
加 拿 大	1499	31.8	1969	62.1	19.8	18.1
法 国	2360	57.0	1972	32.1	54.0	13.9
意 大 利	1896	53.6	1972	6.8	82.2	11.0

资料来源：《国外火电厂技术动向》1973年7月《国外电力统计》1972

这些国家很大部分的石油依靠进口。由于这些国家的电力工业，不是建立在国内能源基础上，所以发展是畸形的，经不起政治和经济危机的冲击。

(二) 电站锅炉技术发展概况

国外电站锅炉技术发展的主要特点及其趋势可概括如下：五十年代普遍发展再热锅炉并对超临界参数进行试验研究。六十年代大力发展超临界机组，提高汽压和汽温（但提高汽温遇到困难后有所下降）锅炉容量普遍提高到60万瓩，六十年代末个别的达到100万瓩；单元机组（一机一炉）广泛采用；大容量锅炉中直流锅炉的比重迅速增加并出现多种型式的直流锅炉。采用膜式气密水冷壁和微正压燃烧，燃油锅炉的比例不断上升。七十年代单机容量向100万瓩或更大的方向发展，蒸汽参数趋于稳定，大容量锅炉有用作尖峰负荷的趋势，防止大气污染已成为主要的技术问题之一；锅炉的炉型有新的发展（如箱型锅炉，低循环倍率直流锅炉等），大容量锅炉采用变压运行以适应电网负荷变化的需要。

随着电站锅炉向大容量高参数发展，各国在锅炉技术的各个领域内逐步研究解决了一系列关键技术。在蒸汽参数方面，除汽水物理特性的基础研究外，着重掌握亚临界和超临界压力，在电站锅炉上的实际应用。在水动力方面，主要解决炉膛水冷壁的水动力稳定性、膜态沸腾、双相流体的均匀分配和不同温度流体的混合等，从而创造和发展了一些不同型式的管

屏和炉型。目前锅炉型式有汽包锅炉（包括自然循环和辅助循环汽包锅炉）和直流锅炉两大类。直流锅炉在立式管屏（本生），回带式管屏（苏尔寿）和水平围绕管带（拉姆辛）三种型式的基础上发展了通用压力直流锅炉（UP 型锅炉）、复合循环锅炉和下部多次上升上部一次上升直流锅炉（福斯特·惠勒直流锅炉）。近年来，国外又发展了一种带有分离器的低循环倍率直流锅炉。在燃烧设备方面单只燃烧器的容量，燃煤最大已达10吨/时，燃油达7吨/时，燃烧器的负荷调节范围，燃煤一般为50~100%，燃油一般为10~100%。燃烧器的型式基本上保持原来的型式：旋流式和直流式，但也有改进和发展。煤粉炉上直流燃烧器得到较大的应用；燃油炉上新发展了平流式燃烧器。此外超声波雾化器亦已开始进行试验，准备在大容量锅炉上试用。六十年代随着膜式水冷壁的发展，国外主要在燃油锅炉上采用微正压燃烧技术。实践证明微正压燃烧虽然炉膛密封较困难，但却是燃油锅炉采用低氧燃烧，以防止腐蚀和大气污染的有效措施。沸腾燃烧是近年来研究的一种新的燃烧技术，英、美进行了较多的研究。除小型试验装置外，英、美还建造了100、125吨/时的工业试验性锅炉。沸腾锅炉的优点是强化燃烧、强化传热、故能缩小体积，节约钢材，对于劣质煤尤其适用。

在锅炉的结构方面，悬吊结构、刚性梁、气密膜式水冷壁和回转式空气预热器，Ⅱ型布置仍然是大容量锅炉中的主要结构型式。膜式水冷壁在制造和运行方面已经成熟，只是整片膜式水冷壁热应力和热负荷的计算比较复杂，有的公司采用电子计算机设计，其中包括对整个炉膛水冷壁的温度计算。不仅可省时省人力，且因为在锅炉设计中，有些计算非常复杂，不用电子计算机很难求得精确的计算结果。回转式空气预热器基本上还是两种型式——受热面回转式、风罩回转式。美国最新一台138万瓩的机组上采用了一种新型的三扇形段回转式空气预热器，能将一二次风分别预热。目前回转式空气预热器的直径已达到10~20米。国外预热器除苏联外，漏风率一般控制在10%以下。锅炉的布置方面，各国大都采用Ⅱ型（包括Ⅱ型的变型无夹廊式）。塔式布置西德有所采用，适用褐煤燃烧，但高度较高。近年来随着大容量燃油炉的发展出现了结构紧凑的箱式锅炉。

水处理是发展现代锅炉的主要技术关键之一。随着蒸汽压力的提高，盐类溶介于蒸汽中能力增大很多，光靠锅内分离是不能完全解决蒸汽净化的问题。所以目前都重视炉外水处理，从提高给水品质上来解决蒸汽的溶盐问题。目前国外亚临界汽包锅炉的给水品质基本上已达到和亚临界直流锅炉相同的水平。五十年代发展了离子交换树脂的顺流再生固定床化学除盐，六十年代发展了移动床，固定床的树脂再生亦由顺流改为逆流以降低酸碱耗量，七十年代又试制了结构更为紧凑的双层床，并且对凝结水亦采用覆盖式过滤器除铁、除铜。

近十几年来，国外热工控制装置的发展情况为：普遍采用电动单元组合仪表，包括变送、调节、显示、报警与执行等单元，用统一信号，适用于集中控制。广泛采用局部程序自动控制，用于机组启停及成组控制。锅炉上的控制项目包括点火、燃烧系统、给水系统、送引风机系统、吹灰系统、除尘系统及水处理系统等。局部程序控制系统也是电厂自动化的一个发展方向。目前，采用计算机控制的电厂日益增多，计算机执行巡回检测、工况计算、自动调节、操作指导与局部程序控制等功能。此外，有些试验机组还采用计算机执行全自动化控制，包括全厂按最佳工况运行、机组按最佳方式自启停以及事故处理等。

（三）电站锅炉制造企业概况

在电力工业较发达的国家中，都有相当规模的电站锅炉制造企业。这些企业除生产电站锅炉外，一般还生产化工容器和原子能设备。日本的锅炉制造公司还与造船业相结合。有的

锅炉制造企业还自行轧制钢管，如美国燃烧工程公司设有分厂轧制奥氏体钢管，英国拔柏葛公司也自己制造无缝钢管。电站锅炉的辅机各国一般都由专业化工厂生产，有的国家的辅机专业化工厂还供应其他国家配套。如美国空气预热器公司生产的受热面回转式预热器，西德罗特缪勒公司生产的风罩回转式空气预热器供应很多国家。但大多数锅炉厂也生产某些辅机，如磨煤机、水处理设备、阀门等，甚至热工仪表。

目前，各国大容量电站锅炉的制造厂一般有2~4家（美、英、苏、日、法、意）。西德的制造厂较多，但近年来一些中小型企业已开始合并，以加强其制造和竞争能力。

各国锅炉制造企业的生产能力见表1-4。美国的四大锅炉制造企业（拔柏葛公司、燃烧工程公司、福斯特·惠勒公司、莱蕾·斯托盖公司），特别是前三家，挟持其制造大容量锅炉在设计和工艺上的优势，不断地向其他国家（日、意、法、英、西德）的锅炉制造业进行技术渗透。目前在资本主义国家的锅炉行业中，已形成了几个跨国公司和技术派系（见表1-5）。属于同一集团的制造厂之间都有其共同的设计结构特点；这些集团和各国制造厂间的联系，在相当程度上垄断着资本主义国家锅炉制造的技术，并决定着锅炉制造的主要趋向。但西德和瑞士在设计上还保有相对的独立性，并进行技术输出；苏联虽自有设计特点，但技术较落后，近年来有不少地方是抄袭其他国家的专利技术。

表1-4 一些国家的锅炉年产量

单位：吨/时

年 份 \ 国 别	美 国	苏 联	日 本	英 国	西 德	法 国	意 大 利
1 9 5 9	37870	29400*	(8290)7903	10738	9085	7620	2940
1 9 6 0	32704	34500	(7835)6909	6853	6985	3154	4952
1 9 6 1	45854	40400	(8048)7942	6006	12010	3800	3955
1 9 6 2	41034	47700	(16927)16589	10125	14635	3719	6194
1 9 6 3	53310	49000*	(11005)10865	22124	10281	3852	5988
1 9 6 4	49215	50700*	(10280)9826	10447	10295	10489	5795
1 9 6 5	59226	53200	(10237)9783	14368	12940	2418	2193
1 9 6 6	72011	63000*	(12214)11817	22267	14415	4402	3370
1 9 6 7	78808	62000*	(15462)15036	18009	9606	1685	7003
1 9 6 8	76473		(22000)21238	25217	9110	6309	4605
1 9 6 9	83692	56200	(36562)35873	30681	14048	4330	7555
1 9 7 0	96496	48200	(40576)40095	24976	12932	9751	12245
1 9 7 1	92286		37490** 45776	22598	19096	9827	10040
1 9 7 2			31169**				
1 9 7 3							

- 注：（1）美国一栏指 $P \geq 31.6$ 公斤/厘米² 45吨/时以上的锅炉；
 （2）苏联一栏指 > 10 吨/时的锅炉，有*者为按锅炉总产量中的比例而求得的数据；
 （3）日本一栏括号中数字为 > 13 公斤/厘米² 以上的锅炉，没有括号的数字是 $P > 31.6$ 公斤/厘米² 45吨/时以上的锅炉产量。有**注明的数字是 > 120 公斤/厘米² 的锅炉产量；
 （4）英、西德、法、意一栏均指 $P > 35.1$ 公斤/厘米² 45吨/时以上的锅炉产量。
 资料来源：
 （1）联合国年鉴。
 （2）Промышленность СССР 1960~1964。
 （3）Народное Хозяйство 1970。
 （4）发电和输变电设备国外概况，一机部电科院，1971年。

表1-5 资本主义国家电站锅炉制造厂的垄断关系

垄断集团	国 别	制 造 厂	锅 炉 产 品	主 要 特 点
拔柏葛公司集团	美 英 法 日 意 西德	拔柏葛 拔柏葛 拔柏葛 日立—拔柏葛 安沙尔多布莱达 拔柏葛	1.超高压（140大气压）及以下用自然循环汽包锅炉。亚临界（169—176大气压），美、日、意同时用自然循环汽包锅炉和通用压力直流锅炉，英、法用自然循环汽包锅炉，西德用水平围绕管带直流锅炉。超临界（255—270大气压）用通用压力直流锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙或前后墙布置，西德用直流式燃烧器四角布置。 3.汽包内部设备采用立式旋风分离器。 4.再热汽温调节主要采用烟气再循环。 5.对某些煤种采用旋风炉。	
燃烧工程公司集团	美 英 法 日 意	燃烧工程 国际燃烧工程 斯坦·鲁贝 三菱 弗朗哥·托西	1.超高压（140大气压）及以下用自然循环汽包锅炉。亚临界（169—176大气压）用辅助循环汽包锅炉。超临界（255大气压）用复合循环直流锅炉。 2.直流式燃烧器四角布置。 3.汽包内部设备采用立式旋风分离器。 4.再热汽温调节用喷水、摆动燃烧器、烟气再循环。	
福斯特·惠勒公司集团	美 英 法 日	福斯特·惠勒 福斯特·惠勒 约翰·勃朗 菲夫·邦纳 石川岛播磨	1.超高压（140大气压）及以下用自然循环汽包锅炉。亚临界（176大气压）同时用自然循环汽包锅炉和福斯特·惠勒型直流锅炉。超临界（255大气压）用福斯特·惠勒型直流锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙或前后墙布置。 3.汽包内部设备用卧式旋风分离器。 4.再热汽温调节主要用烟气挡板。 5.有些锅炉采用壁式过热器。	
其 他	美	莱蒂·斯托盖	1.亚临界（176大气压）及以下用自然循环汽包锅炉。超临界（255大气压）用复合循环直流锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙或前后墙布置。 3.再热汽温调节用喷水。	
	英	约翰·汤普逊	1.亚临界（176大气压）及以下用辅助循环汽包锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙或前后墙布置。 3.再热汽温调节用烟气挡板。	
	西	动力设备制造公司（EVT）	1.亚临界（180—190大气压）用低循环倍率直流锅炉。 2.直流式燃烧器四角布置。	
		奥格斯堡·纽伦堡（MAN）	1.亚临界（180—190大气压）用水平围绕管带直流锅炉。 2.直流式燃烧器四角布置。	
	德	斯坦缪勒	1.亚临界用水平围绕管带直流锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙或前后墙布置。	
日	川崎	1.超高压及以下用自然循环汽包锅炉。亚临界、超临界用直流锅炉。 2.旋流式燃烧器前墙布置。 3.再热汽温调节用喷水。		

注:1.西德的锅炉厂虽与美国几个集团有技术联系,但在设计上还保有相对的独立性,具有独特的风格。

2.西德的KSG公司最近与其他一些厂,合并成为动力化工机械公司(Energie-und Verfahrenstechnik GmbH (简称E、V、T)。

六十年代以来,有些国家的锅炉制造业,进行了较大规模的技术改造、工艺装备更新和重点进行基本建设。如日本三菱公司在长崎造船所内新建了11万平方米高度机械化、自动化的直流锅炉制造厂(香烧),据称其总人数为700人,年生产能力为400万瓩,即2~2.4万吨/

时（蒸发量）的电站锅炉。美国拔柏葛公司新建了维尔农分厂，装备了大型加工和起重运输设备，以生产化工和原子能发电设备的容器。另外，美国西屋公司也于1967年新建一分厂，每月能生产2套30万瓩原子能发电设备。意大利勃莱达公司等亦都增建了重型车间。有的公司则采取扩建或增建重型新跨度来提高产量。在新建和扩建以及整调原有生产线的过程中，各国都比较重视设备更新和采用新工艺（如各种新型的焊接方法，数控弯管、钻孔和气割已有较广泛的采用）。苏联原来的锅炉制造工艺落后于欧、美、日本，近年来在采用先进工艺，更换陈旧的设备组织流水线，质量控制方面亦做了一些工作。

二、电 站 锅 炉 的 产 品 水 平

（一）容量和参数（汽压、汽温）

各国电站锅炉的容量和参数在六十年代中增长速度较快，到七十年代，容量的增长速度已趋缓慢，参数则呈稳定状态。在1960年前后，美国由于电网容量增长速度较快，已有30—40万瓩的锅炉投运，其他国家最大的电站锅炉相继达到20万瓩。六十年代末期，最大的锅炉：美国为100万瓩，苏联为80万瓩，英、法、日、意则都在60万瓩左右。七十年代初期各国在建造中的最大容量锅炉：美国为138万瓩，苏联为120万瓩（计划于1975年投运），日本为100万瓩（计划于1974年投运），法国为70万瓩（计划于1975年投运），西德为60万瓩（计划于1974年投运）。今后单机容量的增长趋势，要看各个国电网容量和原子能电站的发展，以及单机容量增大后技术经济上的优缺点而定。美国预计在设计和制造上采用150—300万瓩的火电机组是可能的。近三十年来各国电站锅炉容量的增长见表1-6。

表1-6 一些国家的电站锅炉容量增长 万 瓩

国 家	五 十 年 代										六 十 年 代										七 十 年 代					
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
美		12.5					18.5	25	32	45	50		65	70		85 100	90		107					138		
英				10					12	20				55		35	50	60					66			
法		11				12.5						25							60							(70)
日							7.5		12.5	17.5 22	26.5				35 37.5			45 60							70 100	
西 德			10					15									30					37			(60)	
意												16	32						60							
苏	10			15						20				30				50 80								(120)

注：1.表中数字表示该容量锅炉第一台投运年份。
2.括弧表示该容量锅炉第一台计划投运年份。

在五十年代中，美国和西德电站锅炉的汽压，一般为140大气压左右，温度一般为540℃左右。为了提高效率，两国曾经企图发展300大气压、600℃以上的参数并采用两次再热，建立了几个试验性的锅炉。但后来发现采用这种参数，要耗用较多的价格昂贵、工艺性能差的奥氏体钢，经济上并未达到预期的效果；事故较多，可用率不高，因此这种参数并没有继续在工业上采用。目前，各国电站锅炉出口的汽压，大体上可概括为四级：高压（100—130大

气压), 超高压 (140—160大气压), 亚临界 (169—180大气压), 超临界 (255—270大气压); 锅炉出口的汽温, 可概括为两级: $\sim 540^{\circ}\text{C}$, $\sim 570^{\circ}\text{C}$, 相应的汽轮机进口汽温为 538°C 和 566°C 。在再热循环方面, 除美国、日本的超临界锅炉中, 有少数采用两次再热外, 其余均为一次再热。各国电站锅炉所采用的主要参数见表1-7。

表1-7 各国电站锅炉所用的主要参数

国 家	高 压		超 高 压		亚 临 界		超 临 界	
	汽 压	汽 温	汽 压	汽 温	汽 压	汽 温	汽 压	汽 温
美	127	541	140	541/541	176	568/541 541/541	255 270	541/541
英	113	541/541	—	—	176	568/568 541/541	—	—
法	—	—	132	542/542	169	567/566 542/541	—	—
日	131	541/541	—	—	176	571/541 541/541 541/571	255	541/541 541/571
西 德	—	—	—	—	180 190	525-540/525-540	250	540/540
意	—	—	—	—	176	540/540	260	540/540
苏	100	540	140	570 565/565	—	—	255	540/540 565/565

一些国家电站锅炉的容量和锅炉出口参数于下:

美国〔9〕、〔30〕、〔31〕。

在容量方面没有标准系列, 1970年美国20万瓩及以上的锅炉占火电站总装机容量的41%, 目前, 正在建造 138 万瓩的锅炉。在汽压方面, 10万到19万瓩的锅炉, 一般采用127和140大气压, 20万到29万瓩的锅炉, 一般采用亚临界 (176大气压), 30万到49万瓩的锅炉, 主要采用亚临界, 少数用超临界 (255大气压), 50万到99万瓩的锅炉中, 有60%采用超临界 (大多数用255大气压, 少数用270大气压), 有40%采用亚临界, 100万瓩及以上, 全部采用超临界 (255和270大气压)。在汽温方面, 已投运的10万瓩及以上的锅炉中, 采用 541°C 的约占70%, 采用 568°C 的约占23%, 据文献〔31〕对1968—1972年间订货的电站锅炉所进行的调查, 容量由10万到138万瓩的锅炉共213台, 全部采用 541°C 。美国电站锅炉从10万瓩及以上都采用再热, 六十年代中期, 有少数超临界锅炉采用两次再热, 但近年来基本上都是一次再热。

英国〔2〕、〔12〕、〔13〕、〔45〕。

在容量和参数方面, 订有国家的系列标准, 从10万瓩到目前最大的66万瓩锅炉之间, 主要有六个级别 (10、12、20、35、50、66万瓩)。今后几年主要生产50、66万瓩两级, 在个别因燃料供应困难或电网容量限制的电厂, 才采用20或35万瓩的锅炉。在汽压方面, 10万、12万瓩的锅炉采用112大气压, 20万瓩及以上的锅炉采用亚临界 (176大气压)。在汽温方面, 对燃煤的电站锅炉采用 568°C , 对燃油的则采用 541°C 。英国电站锅炉从10万瓩及以上都采用一次再热。

法国〔5〕、〔29〕、〔45〕。

在容量和参数方面, 订有国家的系列标准, 六十年代电站锅炉的容量, 有12.5、25、60万瓩三个级别, 1972年这三种容量的电站锅炉, 占火电站总装机容量的94%, 目前正在建造

70万瓩锅炉准备取代60万瓩锅炉。在汽压方面, 12.5万瓩的锅炉采用 132 大气压, 25、60、70万瓩的锅炉采用亚临界 (169大气压)。在汽温方面, 除了25万瓩锅炉和头三台60万瓩锅炉采用567°C外其余的均采用542°C。法国电站锅炉从12.5万瓩及以上都采用一次再热。

日本〔1〕、〔6〕。

在容量方面没有标准系列, 100万瓩的锅炉已经投运。在汽压方面, 12.5万瓩的锅炉大多用131大气压, 15.6万瓩到37.5万瓩的锅炉采用亚临界 (176大气压), 45万瓩及以上的锅炉采用超临界 (255大气压)。在汽温方面, 大致上是超临界锅炉采用541°C, 而亚临界锅炉则采用571°C。日本电站锅炉从7.5万瓩及以上都采用再热; 六十年代末期有几台超临界锅炉采用两次再热, 但大多数还是采用一次再热。

西德〔10〕、〔14〕、〔36〕。

在容量方面也没有标准系列, 近年来主要生产10~15、30~37万瓩的锅炉, 七十年代开始生产60万瓩的锅炉, 1970年, 20万瓩以上的占20%, 10~20万瓩占37%, 10万瓩以下的占43%。在汽压方面, 从10万瓩到60万瓩的锅炉基本上都采用亚临界 (180—190大气压), 个别用超临界。在汽温方面, 采用525—540°C, 没有统一的标准。虽然西德在五十年代就发展两次再热, 但从10万瓩及以上的锅炉大多数都是一次再热。

意大利〔8〕、〔46〕。

在容量方面, 订有国家的系列标准, 目前电站锅炉的容量有16、32、60万瓩三个级别, 66万瓩的锅炉正在建造中, 1970年32万瓩锅炉已投运41台, 约占火电站总装机容量的70%。在汽压方面, 16万瓩的锅炉采用140大气压, 32万瓩的锅炉采用亚临界 (176大气压), 66万瓩的锅炉采用超临界 (260大气压)。在汽温方面, 这三种容量都采用 541°C。意大利电站锅炉从16万瓩及以上都采用一次再热。

苏联〔48〕。

电站锅炉的容量和参数订有国家标准。在容量方面, 从10万瓩到目前最大的80万瓩锅炉之间有六个级别, 今后主要生产30、80万瓩锅炉, 1970年这六种容量的锅炉占火电站总装机容量的54%, 1973年初, 30万瓩的锅炉已投运101台, 占1973年初火电站总装机容量的24%, 目前正在建造 120 万瓩的锅炉。电站锅炉容量的一个特点是 10 万瓩以上的锅炉只用于冷凝式电站, 而10万瓩及以下的锅炉则要考虑热电站和冷凝式电站两用 (70年苏联热电站的装机容量占火电站总装机容量的38%); 因此10万瓩及以下锅炉的额定蒸发量, 都按热电站的要求来确定, 一般要比按冷凝式电站高20%左右。在汽压和汽温方面, 6000瓩及以下的锅炉采用中压 (40大气压、440°C), 1.2、3.2万瓩的锅炉采用高压 (100大气压、540°C), 6.3万瓩的锅炉同时采用高压和超高压 (140大气压、570°C), 10、16、20万瓩的锅炉采用超高压 (140大气压、570°C), 30万瓩及以上的锅炉采用超临界 (255大气压、565°C)。由于运行中发现过热器和再热器管内壁氧化, 以及汽轮机叶片侵蚀等问题, 苏联电站部于1971年决定将锅炉出口汽温降低至545°C (63), 1973年新设计的第三台80万瓩锅炉, 已开始采用新的参数 (255大气压、545°C)〔54〕。苏联电站锅炉, 从16万到120万瓩都采用一次再热。

(二) 锅炉的型式

目前电站锅炉的型式按水汽循环原理, 可分为汽包锅炉和直流锅炉两大类, 汽包锅炉中有自然循环汽包锅炉 (循环倍率约为6—8) 和辅助循环汽包锅炉 (循环倍率约为4) 两种, 直流锅炉 (循环倍率为1) 在早期按炉膛水冷壁管型式不同分为立式管屏 (本生式)、回

带式管屏（苏尔寿式）、水平围绕管带（拉姆辛式）三种，其后随着单机容量增加、超临界机组的发展（超临界机组只能采用直流锅炉）、膜式水冷壁的采用、起动方式的改进，直流锅炉的型式有了较大的改进和发展，目前常用的有：通用压力直流锅炉（常称为 UP 直流锅炉）；复合循环直流锅炉（包括近年来发展的循环倍率约1.25—1.5的低循环倍率直流锅炉）；福斯特·惠勒直流锅炉；水平围绕管带直流锅炉四种，因此目前电站锅炉的主要型式可概括为以上两类六种。

(1) 国外电站锅炉的型式

自然循环汽包锅炉

自然循环汽包锅炉的最高出口汽压已由十年前常用的169提高到176大气压，汽包最长达40米以上，内径一般为1.7—1.9米，目前的最大容量，已投运的为英国屈莱克斯电厂的66万瓩锅炉，在建造中的为美国罗格斯鲍罗电厂的72万瓩锅炉。国外典型的大容量自然循环汽包锅炉参看表1-8。对超高压（140大气压）及以下的锅炉，苏联大多采用自然循环汽包锅炉，美、英、法、日、意则全部采用自然循环汽包锅炉。对亚临界（176大气压）锅炉，美、英、法、日、意等国的有些集团的锅炉制造厂采用自然循环汽包锅炉。

表1-8 各国典型自然循环汽包锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压力 表大气压	汽 温 (°C)	燃 料	投运年份	安 装 电 厂	制 造 厂
美	13.75	422	140	568/541	煤	1 9 4 9	特文布兰奇	拔柏葛 福斯特·惠勒 拔柏葛 福斯特·惠勒
	20	582	127	568/541	煤	1 9 4 5	科尔伯特	
	30	886	148	541/541	天然气, 油	1 9 6 3	里维埃拉	
	38	1200	176	541/541	天然气	1 9 6 7	新波士顿	
	60	1970	184	541/541	天然气, 油	1 9 7 0	新马德里	
	72	2350	176	541/541	煤	1 9 7 3	罗格斯鲍罗	
英	12	391	113	541/541	煤	1 9 5 8	布莱思	拔柏葛
	20	615	172	568/541	煤	1 9 6 2	西索洛克	
	50	1550	176	568/568	煤	1 9 6 8	费里桥	
	66	2020	176	568/568		1 9 7 2	屈莱克斯	
法	12.5	360	132	542/542	重油, 天然气	1 9 5 9	波尔多	拔柏葛
	25	770	169	567/566	煤	1 9 6 4	香槟	
	60	1010	169	567/566	煤	1 9 6 8	波雪维尔	
日	12.5	435	132	541/541	重油, 天然气	1 9 6 3	新泻	日立 石川岛播磨 日立
	25	860	171	571/543	油	1 9 6 6	界港	
	35	1130	176	571/569	油	1 9 7 2	鹿岛共同	
	37.5	1210	176	571/541	油	1 9 7 2	西名古屋	

辅助循环汽包锅炉

辅助循环汽包锅炉的特点为在锅炉水循环系统中加装了循环泵以增强水流的循环，所以循环倍率较小，水冷壁管径较小（一般用φ44.5毫米），汽包尺寸也可以小些（如法国60万瓩机组，采用自然循环汽包锅炉，汽包内径为φ1670毫米，长40米，而采用辅助循环汽包锅炉，汽包内径为φ1534毫米，长27米），可减少钢材耗量，主要的关键问题是高温高压循环泵的可靠性要高，目前广泛采用潜水泵，其电耗约为机组容量的0.25%。目前的最大容量，已投运的为美国拉文斯伍德电厂的100万瓩锅炉。国外典型的大容量辅助循环汽包锅炉参看

表1-9。对亚临界锅炉，燃烧工程公司集团的锅炉制造厂全部采用辅助循环汽包锅炉。

表1-9 各国典型辅助循环汽包锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压 力表大气压	汽 温 (°C)	燃 料	投运年份	安 装 电 厂	制 造 厂
美	14.5	480	165	593/566	煤	1 9 5 3	基尔里	燃烧工程公司
	20	670	176	568/541	煤	1 9 6 0	登科克	
	35	1294	176	541/541	煤	1 9 6 8	彻罗基	
	51	1770	176	541/541	煤	1 9 6 3	威尔康特	
	62	1900	176	541/541	煤	1 9 7 2	鲍林点	
	100	2950	176	541/541	煤	1 9 6 5	拉文斯伍德	
英	20	164	172	568/541	煤	1 9 6 2	曼哈姆	国际燃烧工程公司
	50	1568	176	568/568	煤	1 9 6 7	西伯顿	
法	12.5	360	132	542/542	煤	1 9 6 2	蒙特罗	斯坦·鲁贝
	25	770	169	567/566	煤	1 9 6 2	凡尔	
	60	1810	169	567/566	煤	1 9 6 8	哈佛尔	
日	22	726	176	571/541	煤, 重油	1 9 6 2	新名古屋	三菱
	25	830	176	571/543	重油	1 9 6 3	姬路	
	35	1130	176	571/568	重油	1 9 7 1	大井	
	45	1400	176	569/596	液化天然气	1 9 7 3	南横浜	
意	32	1050	176	540/540	重油			弗朗哥·托西

通用压力直流锅炉 (UP 直流锅炉)

美国拔柏葛公司在立式管屏 (本生式) 直流锅炉的基础上发展了一种通用压力直流锅炉 (常称为 UP 直流锅炉), 可用于亚临界和超临界两种参数, 其特点为采用小口径 (一般用 $\phi 22-32$ 毫米) 的膜式水冷壁代替原来的密排光管, 汽水混合物在其中作一次或两次上升, 中间有几次混合。目前的最大容量, 已投运的为美国派拉第斯电厂的 115 万瓩锅炉, 和最近的阿莫斯电厂的 138 万瓩锅炉。美、日、意等国的拔柏葛公司集团的锅炉制造厂, 对超临界锅炉和 50 万瓩以上的亚临界锅炉, 都采用通用压力直流锅炉。

复合循环直流锅炉

美国燃烧工程公司在立式管屏 (本生式) 直流锅炉和辅助循环汽包锅炉的基础上, 发展了一种复合循环直流锅炉, 只用于超临界参数。其特点为炉膛中布置二或三级串联的一次上升膜式水冷壁, 管径约为 $\phi 32$ 毫米, 在水冷壁进口前加装循环泵, 能在起动和低负荷时使水冷壁系统工质进行再循环, 而到高负荷时自动切除成直流工况, 所以负荷适应范围广。目前的最大容量, 已投运的为美国布仑电厂的 90 万瓩锅炉。对超临界锅炉, 燃烧工程公司集团的锅炉制造厂, 全部采用复合循环直流锅炉, 苏联最近设计的超临界锅炉, 亦采用这种型式。

近年来, 西德和瑞士在复合循环直流锅炉的基础上, 发展了一种低循环倍率直流锅炉, 带循环泵和比一般汽包较小的立式分离器, 适用于亚临界, 其工作原理与复合循环直流锅炉相同, 不同点是: 在系统中加装了汽水分离器, 把蒸发受热面出口汽水混合物中的水分离出来, 用循环泵再送入蒸发受热面进口; 循环泵在高负荷时并不切除。

目前的最大容量, 已投运的为西德普莱金电厂的 30 万瓩锅炉。西德 E·V·T 公司对亚临界锅炉采用这种型式。瑞士的苏尔寿公司也生产这种型式的锅炉。

福斯特·惠勒直流锅炉

美国福斯特·惠勒公司在本生型直流锅炉的基础上发展了一种在炉膛下部采用多次上升、炉膛上部采用一次上升的垂直膜式水冷壁管屏，常称为福斯特·惠勒直流锅炉，其管径一般用 $\phi 38$ 毫米，可减少锅炉的水阻力。目前的最大容量，已投运的为日本鹿岛电厂的60万瓩锅炉。美、日两国福斯特·惠勒公司集团的锅炉制造厂对超临界锅炉和一些亚临界锅炉采用这种型式。

水平围绕管带直流锅炉

这种型式的直流锅炉过去在苏联和西德采用较多，最大容量为20万瓩，最高汽压为超高压（140大气压），近年来西德的奥格斯堡·纽伦堡机器厂，斯坦缪勒公司，拔柏葛公司的亚临界30、60万瓩锅炉结合变压（压力在100—200大气压范围内变化）变负荷（负荷在20~100%范围内变化）运行和褐煤燃烧时塔式布置的特点，又采用了这种型式。目前的最大容量，已投运的为西德费里门斯道夫电厂的30万瓩锅炉，在建造中的为西德尼特劳逊电厂的60万瓩锅炉。

直流锅炉除了以上四种型式外，还有回带式管屏的苏尔寿直流锅炉（瑞士、西德过去采用较多）和上升下降管屏的直流锅炉（苏联过去在30万瓩锅炉中采用过），这两种型式由于制造不便，运行性能也不好，所以目前已很少采用。国外典型的大容量直流锅炉参看表1-10~1-13。

表1-10 各国典型通用压力直流锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压力 表大气压	汽温 (°C)	燃料	投运年份	安装电厂	制造厂
美	21	745	176	568/541	重油，天然气	1960	亨廷顿	拔柏葛
	35	1136	176	541/541	煤	1965	科芬	
	65	2230	176	568/541	煤	1963	派拉第斯	
	138	4420	270	543/541	煤	1973	阿莫斯	
日	25	840	176	568/568	重油，天然气	1966	新泻	日立
	35	1152	176	568/541	重油	1970	秋田	
	60	1950	255	541/568	重油	1972	鹿岛	
	100	3180	255	543/568	重油	1974	鹿岛	
意	32	1050	176	540/540	重油	1962	斯贝西亚	安莎尔多
	66	2130	260	540/540	重油	1976		

表1-11 国外典型复合循环直流锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压力 表大气压	汽温 (°C)	燃料	投运年份	安装电厂	制造厂
美	65	1900	255	541/541	煤	1969	马歇尔	燃烧工程
	90	2900	255	541/541	煤	1965	布仑	
日	45	1510	255	541/568	重油	1973	坂出	三菱
	60	1940	255	541/568	重油	1973	新仙台	
	100	3180	255	543/568	重油	1974	鹿岛	
意	66	2130	260	540/540	重油			弗朗哥·托西
苏	30	950	255	565/570		1972	克里什克	塔干罗格
	120	3250	255	565/570			柯斯特朗姆斯克	

表1-12 各国典型福斯特惠勒直流锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸发量 (吨/时)	过热蒸汽压力 表大气压	汽 温 (°C)	燃 料	投运年份	安 装 电 厂	制 造 厂
美	50	1610	188	541/541	重油	1 9 6 7	摩根克里克	福斯特·惠勒
	80	2400	260	543/566	煤	1 9 6 9	大桑迪	
	90	2910	260	541/541	煤	1 9 7 4	曼斯菲尔德	
日	60	1818	255	541/568	重油	1 9 7 1	鹿岛	石川岛播磨

表1-13 各国典型拉姆辛直流锅炉

国家	锅炉容量 (万瓩)	蒸 发 量 (吨/时)	过热蒸汽压力 表大气压	汽 温 (°C)	燃 料	投运年份	安 装 电 厂	制 造 厂
西德	30	1000	180	530/530	褐煤	1 9 6 6	费里门斯道夫	拔柏葛
	60	1868	195	530/530	褐煤	1 9 7 4	尼得劳逊	奥格斯堡·纽伦堡
苏	20	640	140	570/570	烟煤	1 9 6 3		波多尔斯克

(2) 各国电站锅炉选用炉型的特点

不少国家电站锅炉的型式，除受技术垄断的影响外，还与各国的具体情况有关。美国、日本、意大利炉型较为接近，可列为一类，英、法两国是另一类，西德和苏联有各自的特点和发展道路，又是另一种不同的情况，概述如下。

美国、日本、意大利

美国发展超临界锅炉较早，大型锅炉采用直流锅炉的较多，美国于60—72年间投运的50万瓩及以上的超临界、亚临界锅炉共161台，其中直流锅炉109台，占68%，在直流锅炉的型式上，通用压力直流锅炉、复合循环直流锅炉、福斯特·惠勒型直流锅炉三者同时并存。对亚临界锅炉，美国采用汽包锅炉的比重较大，60—72年间投运的50万瓩及以上的锅炉共63台，其中自然循环汽包锅炉16台，占25%，辅助循环汽包锅炉36台，占57%，对50万瓩以下的锅炉，自然循环汽包锅炉较多。近年来，变负荷运行的锅炉多采用变压运行，但因采用垂直膜式水冷壁管屏的直流锅炉变压运行较为困难，因此，美国需要变负荷运行的锅炉多采用汽包锅炉。日本、意大利主要是从美国引进技术，锅炉型式受专利的影响，所以基本上和美国一样。

英国、法国

英国由于实行两班制，锅炉夜间要停炉，如采用直流锅炉，则经常起停热损失很大，水处理及自动控制设备费用也较贵，另外，近年来原子能锅炉增加，火电机组需变负荷运行，故主要采用亚临界参数的自然循环汽包锅炉和辅助循环汽包锅炉。法国与英国相似之处，六十年代中期，法国认为在亚临界压力（170大气压）下采用较高的汽温（568°C），其热耗与超临界压力（255大气压）下采用较低的汽温（540°C）相差不大，因而没有必要过渡到超临界压力而采用一种新的炉型——直流锅炉，所以法国也和英国一样，主要采用亚临界参数的自然循环汽包锅炉和辅助循环汽包锅炉。

西德

西德发展直流锅炉的时间较早，所以采用最为广泛，占全国电站锅炉的90%，目前大容量锅炉全部采用亚临界参数的直流锅炉。在直流锅炉的型式上，过去品种很多，近年来由于变负荷运行的需要，又多趋向于水平围绕管带直流锅炉并普遍采用分离器，有的还加装了

循环泵。

苏联

不发展辅助循环汽包锅炉，20万瓩以下的锅炉基本上采用中压（40大气压）、高压（100大气压）和超高压（140大气压）的自然循环汽包锅炉，20万瓩的锅炉，同时采用超高压自然循环汽包锅炉和水平围绕管带直流锅炉，30万瓩及以上的锅炉，全部采用超临界直流锅炉，其型式过去多采用上升下降管屏或回带式管屏直流锅炉，近年来的新设计也开始采用复合循环直流锅炉。

三、电站锅炉的主要技术问题

（一）燃烧设备和磨煤机

1. 燃烧设备

电站锅炉的燃烧设备主要包括燃烧器和炉膛，近十年来国外在发展电站锅炉燃烧设备方面的特点可概括如下：

提高燃烧器的单只容量；

扩大燃烧器的调节范围；

采用低氧燃烧以防止受热面腐蚀和大气污染；

对燃烧过程广泛采用自动化的控制和运行监测。

燃烧器

燃煤锅炉的燃烧器基本上有两种型式：旋流式和直流式。近年来由于直流式燃烧器对低挥发份煤和多灰多水劣质煤的着火较为有利，得到较大的发展。

燃油锅炉燃烧器油喷嘴主要有两种型式：蒸汽机械雾化和回油压力式。此外，超声波雾化燃烧器由于油压低，调节范围大，目前正在大容量油炉中试用。送风方式有两种：旋流式调风器和平流式调风器。近年来为了降低阻力，平流式调风器有了新的发展。

发展大容量锅炉，由于燃料耗量增加，一台60万瓩锅炉每小时耗煤量可达250吨以上，这就要求增加燃烧器的数量，或者提高燃烧器的单只容量，在有的情况下则同时采用这两种措施，目前国外燃烧器的最大单只容量，燃煤约10吨/时^[51]，燃油约7吨/时^[40]。为了满足锅炉自动控制的需要，燃烧器的负荷调节范围也较大，燃煤约50—100%^[53]，燃油可达10—100%^[56]。

降低燃烧器的过量空气系数不仅可节约厂用电，在燃用高硫燃料时还可以防止受热面腐蚀和大气污染，但这对燃烧器组织燃烧提出了更高的要求，目前国外燃烧器的过量空气系数，燃煤约1.05—1.10^[39]，燃油可达 ≤ 1.03 ^[39]、^[29]。

炉膛

不同类型的燃料由于化学反应能力的不同，所需要燃烧空间的形式和大小是不同的，国外燃用天然气、重油、烟煤、无烟煤、褐煤锅炉炉膛的体积之比大致为：1:1.3:1.7:2.0:2.8^[28]、^[34]、^[39]、^[44]。一般都根据燃料的特性设计不同类型的标准炉膛。

大容量锅炉的炉膛都采用膜式水冷壁，其优点为可防止漏风，便于组装、减轻炉墙重量。在六十年代随着膜式水冷壁的发展，美国开始在燃油锅炉上广泛采用微正压燃烧，炉膛内压力为500毫米水柱左右，随后又在燃煤锅炉上采用。实践证明，微正压虽然密封较为困

难，但却是燃油锅炉低氧燃烧以防止腐蚀和大气污染的有效措施。目前英、法、日、意、苏等国都采取煤粉炉负压、油炉正压的方针。六十年代末期出现的箱式燃油锅炉，结构较为紧凑，造价低，也为改进密封创造了条件，有利于微正压燃烧。

电站锅炉的排渣方式过去曾发展液态排渣方式，但目前大多采用固态排渣。

沸腾燃烧是近十年来新发展的一种燃烧的原理，即将燃料在炉床上以沸腾状态燃烧。优点为：燃烧强度高，特别适用于劣质煤；传热系数大，可以缩小锅炉体积；燃烧温度较低，可以脱硫去钒，减少有害气体。美、英等国对沸腾燃烧都进行了不少的试验研究，法国主要从事半沸腾锅炉的研究和制造。西德、苏联近年亦开始研究和设计沸腾锅炉，国外正在建造的沸腾锅炉，美国为125吨/时，英国为100吨/时。发展大容量沸腾锅炉，还有不少技术问题需要继续试验研究，主要为：飞灰损失较大、受热面磨损较快、大容量沸腾锅炉炉床的布置方式和结构等。

2. 磨煤机

在煤粉锅炉中，煤必须在磨煤机中进行干燥、破碎、碾磨成为含水不到百分之一、直径约百分之五毫米的煤粉，磨煤机的用电一般要占锅炉出力的1—2%。由于不同类型煤种的磨碎特性不同，因此磨煤机的型式很多，目前国外磨煤机的型式见表1-14，〔15〕、〔17〕。

表1-14 国外磨煤机的型式

磨煤机类型	主要性能						国外最大容量 吨煤/时
	品 种	转速/转分	适应煤种	制造工艺	零 部 件 磨 损 时 间	电 耗 比 较 %	
中速磨煤机	平 盘 式 碗 式 滚 珠 式	50—300	烟 煤	加工精度 要求较高	约15000小时	100	105 96
高速磨煤机	风 扇 式 锤 击 式	600—1500	褐煤及较软的烟煤 烟 煤	较为简单	约3000小时	140	140 70
钢球磨煤机	筒 式 和 双 锥 形	18—23	较广，但以无烟煤、洗渣等较为相宜	工作尺寸 较 大	定期加入 新 钢 球	240	70

(二) 蒸汽净化和水处理

电站锅炉和汽轮机对蒸汽品质的要求是很高的，例如100大气压的高压锅炉要求每公斤蒸汽中的总含盐量（主要为硫酸盐、硅酸盐）不大于十万分之五克（50微克），否则会使锅炉腐蚀和积垢，影响锅炉出力甚至爆管，并会使汽轮机叶片积盐，影响汽轮机出力和安全。

100大气压及以下的汽包锅炉，由于盐类溶解在蒸汽中的能力较小，蒸汽净化的主要方法，是在汽包内用机械分离方法除去蒸汽中所携带的水份。目前，国外一般用旋风分离器或栅格分离装置作粗分离元件，用波形板作细分离元件。140大气压超高压汽包锅炉和170大气压的亚临界汽包锅炉，由于蒸汽压力提高后盐类溶解在蒸汽中的能力增加很大（在超高压下约为高压的10倍），即使把水份全部除去，蒸汽中还会溶有很多盐类，虽可在汽包中装置分离效果较好的分离元件和清洗装置，但这将使汽包内部设备非常复杂，制造和检修都很不方便；因此，除苏联由于水处理较为落后外，其他国家大多用炉外水处理、提高给水品质，来