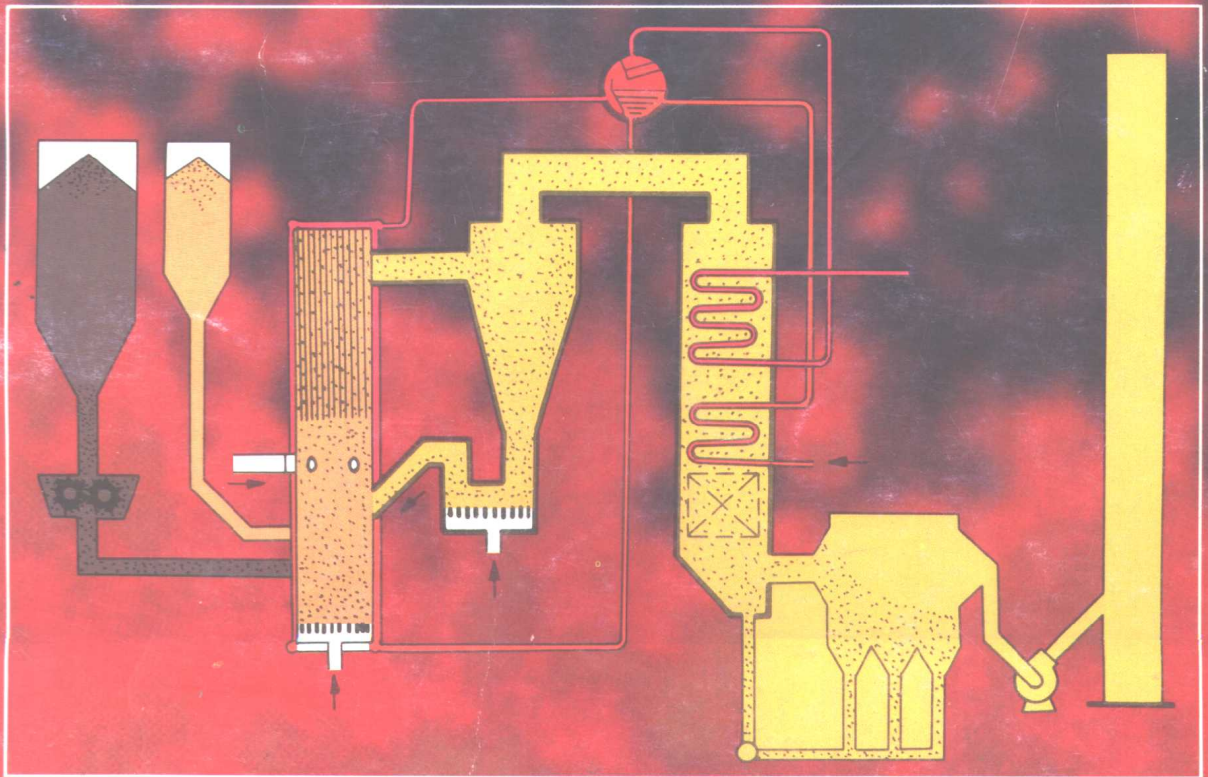


流化牀鍋爐圖冊

FLUIDIZED BED BOILER ATLAS

阮奕紹 編著



四川科學技術出版社

9300408

78.528

流化床锅炉图册

编	著	阮奕绍
策	划	宋安居
审	稿	查庚忠

四川科学技术出版社

1992年·成都

(川) 新登字004号

书名 / 流化床锅炉图册

编著 / 阮奕绍

策划 / 宋安居

审稿 / 查庚忠

责任编辑 · 宋 齐 宋晓容 喻瑞卿

特约编辑 · 王建英

装帧设计 · 宋安居 王建英

出版、发行 四川科学技术出版社

(610016) 成都盐道街3号

经 销 新华书店重庆发行所 (科目272期)

印 刷 (封面) 重庆长江印务有限公司

(内页) 自贡新华印刷厂

版 次 1992年10月成都第一版

1992年10月第一次印刷

规 格 787×1092毫米1/16

印 张 7.5 192千字

印 数 1~1000册

定 价 9.50 元

ISBN7-5364-2224-5 / TK · 2

序

现代社会离不开能源。能源技术的进步给社会带来前所未有的繁荣和发展,给人类带来日新月异的文明。火的使用,标志着人类利用能源的开始,也揭开了人类对生存环境的污染进程。曾几何时,社会从“炊烟袅袅”的农业时代迈到“烟囱林立、浓烟滚滚”的工业时代的时候,人类自觉不自觉地编织了一张自戕的罗网,自身生存的环境被迅速、持续污染和毒化。震惊世界的“八大公害事件”就是近40年在率先完成工业化的国家发生的。

大气污染的最主要原因,在于大量矿物燃料直接燃烧的产物排放。据统计,世界一次能源消耗量平均每15年翻一番。1987年全球一次能源消耗量为120亿吨标煤,到本世纪末,预计消耗量达240~300亿吨标煤,同期我国的能源消耗量约为9.1亿吨和17亿吨标煤。能源耗量的迅猛增加对环境的威胁日趋严重。我国是以煤炭为主要能源的国家,每年有约85%的煤炭直接用于燃烧。另一方面,我国煤炭资源在分布和供应上,存在两个突出的问题:一、南方诸省煤炭储量少,煤质差,用传统的燃烧技术还很难在低污染、高效率要求下加以利用;二、当前煤炭还做不到定点、定质供应,煤质变化大,降低了燃烧设备的效率,浪费了大量燃料。为了保持较高的国民经济发展速度,能源供应和环境保护已成为最大的制约因素。解决煤质大幅度变化和满足更严格的环境质量限制,大力节能和开发清洁的新能源以及崭新的矿物燃料燃烧技术已迫在眉睫。

自从本世纪20年代德国Winkler的第一个流化床燃烧专利问世以来,数十年间这种技术与燃煤结下不解之缘。从60年代末以来,燃煤的鼓泡流化床锅炉取得长足发展。70年代后,在鼓泡床基础上发展起来的循环流化床锅炉异军突起,它兼具泡床炉和煤粉炉的长处,又摒弃泡床炉燃烧效率和脱硫效率低、难于大型化等不足,也避免了煤粉炉所需的价格昂贵的烟气脱硫装置,以最经济的方式解决了能源供应和环境保护两大难题,是当前公认的燃煤技术的重大创新,受到世界各国普遍重视。有人甚至预言:下一世纪将是循环流化床燃烧技术的天下。我国是世界上少数几个以煤为主要能源的国家之一,发展高效、清洁的循环流化床锅炉,具有长远的战略意义。

把流化床燃烧技术用于燃煤锅炉,在我国已有20余年的历史。目前,全国有2~130t/h容量的泡床锅炉约2000余台,无论投运机组的数量、炉型差异、利用时间或是使用燃料品位低的下限,都居世界首位。我国循环床技术起步较晚,经过几年的努力,至今有数十台10、20、35、65t/h容量的产品在近年投入,标志着该类机组已开始迈入商业应用阶段。

作者是我国较早从事流化床燃烧锅炉设计研究的专家,在长期的科学实践和多次出国考察与参加国际学术会议中,积累了丰富的经验,掌握了翔实的资料。《流化床锅炉图册》的出版,对促进这一新型燃烧技术在我国的发展无疑大有裨益,希望它能为国内从事能源生产、环境保护、节能诸领域的科技工作者提供参考。

查庚忠

1992年3月

于东方锅炉厂

前 言

电站锅炉图册,在我国已先后汇编出版过三次:1967年6月上海锅炉厂和原一机部汽轮机锅炉研究所共同汇编了《国外大型锅炉图册》,收集8个国家270~2950t/h锅炉141台;1973年5月,哈尔滨锅炉厂汇编了《国外大容量锅炉图册》,收集9个国家645~4220t/h大容量锅炉44台;嗣后,武汉锅炉厂和北京锅炉厂于1976年9月又汇编了《国外10~30万千瓦锅炉图册》,包括11个国家26家公司的10~30万千瓦锅炉116台。上述图册所收集的都是常规的火室燃烧锅炉,煤粉炉居多,也有部分油、气炉。流化床锅炉的图册,至今尚未付梓。近年异军突起的流化床锅炉在世界各地发展神速,用户呼声鹊起,取得市场日益加深的认可。国内在过去20年间,也积累了丰富的泡床锅炉的设计、运行经验,对循环床锅炉技术正潜心探索,奋起直追。为促进流化床锅炉在我国的进一步发展,填补电站锅炉行业情报出版的不足,兹编纂《流化床锅炉图册》。

本书通过图片汇编,反映国外在流化床燃烧领域的新的技术成就,同时兼顾不同厂家的结构特色和技术风格,从多种流派中窥探国外的技术发展动态。考虑到读者对国内流化床技术状态深为谙熟,因而国内一些厂家代表产品,仅收录少量入册,而以更多篇幅反映国外的产品结构。研究这些图片,将有助于国内同行更多地了解流化床燃烧领域的现状,启迪我们的设计思想,拓宽专业知识,取人之长,探求发展适合我国能源环境的炉型,也为用流化床技术改造我国电站锅炉老产品以及有关零部件及系统布置方式提供有益的参考。

根据流化床燃烧特点,本书包括四部分内容:循环流化床(CFB,简称循环床)锅炉、鼓泡流化床(BFB,简称泡床)锅炉、新颖的流化床燃烧概念和循环流化床锅炉典型零部件结构及系统。此外,由于循环流化床锅炉是流化床锅炉发展的主要方向这一观念已为大多数人接受,书中还集中介绍国外一些循环床锅炉主要生产厂家的产品特色和生产实绩。被收录的机组图片,按其安装所在国排列,每台机组均列出生产厂家、安装地点、投运年月、主要参数(包括燃料特性)、简要说明、参考文献等条目。本书共收录国内外循环床锅炉图片51幅,鼓泡床锅炉33幅,典型循环床锅炉零部件及系统24幅,新颖流化床燃烧锅炉概念10幅。在汇编过程中,着意突出锅炉本体布置图形,说明文字力求简练,节省篇幅。读者若要了解机组详情,可按参考文献索骥。

本图册引用的资料,主要来源于国内外的一些公开出版物,部分为出国访问的赠阅资料,技术讲座或国际会议文件以及商务谈判的辅助材料。在汇编过程中,本着尽可能使资料翔实、新颖、简明和实用的原则,一些原始资料不全、过简或无多大特色者,未予收录。此外,所有收录的机组全为常压流化床燃烧产品,增压流化床产品不在汇收之列。

本书在编纂过程中得到了东方锅炉厂领导的关心和鼓励,以及厂内外许多单位和个人的支持和帮助,尤其是西安交通大学温龙教授的帮助,使本书增色不少。在此谨致诚挚的感谢。

由于编者水平不高,资料收集面有限,不足之处恳请读者及时批评指正。

编 者

1992年3月

目 录

一、国外 CFB 锅炉主要开发研制单位及生产厂家简介

1. 德国鲁奇(Lurgi)公司 (1)
2. 芬兰奥斯龙(Ahlström)公司 (2)
3. 美国巴特尔(Battelle)研究中心 (2)
4. 德国巴布科克(Deutsche Babcock Werke AG)公司 (3)
5. 瑞典斯图特斯维克(Studsvik)公司 (3)
6. 美国福斯特·惠勒(Foster Wheeler)公司 (4)
7. 德国斯坦缪勒(Steinmüller)公司 (4)
8. 其他公司 (4)

二、循环流化床(CFB)锅炉

1. 德国弗伦斯堡(Flensburg)电站 CFB 锅炉 (6)
2. 德国鲁梅布吕肯(Römerbrücke)电站 CFB 锅炉 (7)
3. 德国梅海姆(Merheim)热电站 CFB 锅炉 (8)
4. 德国梅肯尼赫(Merkenich)电站 CFB 锅炉 (9)
5. 德国奥芬巴赫(Offenbach)电站 CFB 锅炉 (10)
6. 德国奥格斯特(August)纸厂自备电站 CFB 锅炉 (11)
7. 德国多特蒙德(Dortmund)电站 CFB 锅炉 (12)
8. 德国瓦赫特贝格(Wachtberg)电站 CFB 锅炉(1) (13)
9. 德国瓦赫特贝格(Wachtberg)电站 CFB 锅炉(2) (14)
10. 德国艾尔贝菲尔德(Elberfeld)电站 CFB 锅炉 (15)
11. 德国杜易斯堡(Duisburg)热电站 CFB 锅炉 (16)
12. 德国沃尔斯堡(Wolsburg)热电站 CFB 锅炉 (17)
13. 德国柏林莫阿比特(Moabit)电站 CFB 锅炉 (18)
14. 德国普福尔茨海姆(Pforzheim)电站 CFB 锅炉 (19)
15. 德国盖斯堡(Geisburg)电站 CFB 锅炉 (20)
16. 德国贝伦拉特(Berrenrath)电站 CFB 锅炉 (21)
17. 德国戈登贝格(Goldenberg)电站 CFB 锅炉(1) (22)
18. 德国戈登贝格(Goldenberg)电站 CFB 锅炉(2) (23)
19. 美国谷物(Corn Products)公司 CFB 锅炉 (24)
20. 美国吉尔伯顿(Gilberton)电站 CFB 锅炉 (25)
21. 美国古德里奇(Goodrich)乙烯厂 CFB 锅炉 (26)
22. 美国波特兰(Portland)水泥厂 CFB 锅炉 (27)
23. 美国纽克拉(Nucla)电站 CFB 锅炉 (28)
24. 美国蒙特波索(Mt. Poso)公司 CFB 锅炉 (29)
25. 美国通用汽车(General Motors)公司 CFB 锅炉 (30)

26. 美国卡梅尔(Mt. Carmel)公司 CFB 锅炉	(31)
27. 美国霍华德(Ft. Howard)纸厂 CFB 锅炉	(31)
28. 美国阿切巴尔德(Archbald)动力联供厂 CFB 锅炉	(32)
29. 美国艾本斯堡(Ebensburg)动力公司 CFB 锅炉	(32)
30. 美国得-新(Texas-New Mexico)动力公司 CFB 锅炉	(33)
31. 美国国际锅炉(IBW)公司 D/MV 型床内循环锅炉	(33)
32. 美国国际锅炉(IBW)公司 D/SP 型床内循环锅炉	(34)
33. 美国 ADM 食品加工厂 CFB 锅炉	(34)
34. 芬兰考图阿(Kauttua)纸厂 CFB 锅炉	(35)
35. 芬兰凯米拉(Kemira)化学公司 CFB 锅炉	(36)
36. 芬兰阿尔科(ALKO)AB 公司 CFB 锅炉	(37)
37. 芬兰凯米拉(Kemira)电站 CFB 锅炉	(38)
38. 芬兰米莎-赛拉(Metsa-Serla)厂 CFB 锅炉	(39)
39. 芬兰赛那尤基(Seinajoki)电站 CFB 锅炉	(40)
40. 瑞典希尔特(Hylte)纸厂 CFB 锅炉	(41)
41. 瑞典卡尔斯柯加(Karlskoga)电站 CFB 锅炉	(42)
42. 瑞典斯图德斯维克(Studsvik)公司 CFB 锅炉样机	(42)
43. 英国泰勒(Tyler Ltd.)公司内循环 FBC 锅炉	(43)
44. 英国小型快装内循环 FBC 水管锅炉	(43)
45. 奥地利巴特利亚(Patria)纸厂 CFB 锅炉	(44)
46. 奥地利莱卡姆-米尔茨塔勒(Leykam-Mürztaler)公司 CFB 锅炉	(45)
47. 法国埃米尔(Emile Huchet)电站 CFB 锅炉	(46)
48. 南朝鲜东方化学公司(Oriental Chemical Industry Co. Ltd.)CFB 锅炉	(47)
49. 日本钢铁(Nippon Steel Corp.)公司 CFB 锅炉	(48)
50. 加拿大诺瓦·斯柯舍(Nova Scotia)电力公司 CFB 锅炉	(49)
51. 奥地利瓦格内-比罗(Waagner-Biro)公司 CFB 锅炉	(50)

三、鼓泡流化床(BFB)锅炉

1. 广东江门甘化厂改装 BFB 锅炉	(51)
2. 湖南益阳石煤试验电厂 BFB 锅炉	(51)
3. 四川永荣矿务局电厂 BFB 锅炉	(52)
4. 黑龙江黑河市电厂 BFB 锅炉	(52)
5. 巴基斯坦卡诺特(Khanot)电站 BFB 锅炉	(53)
6. 黑龙江鸡西滴道电厂 BFB 锅炉	(54)
7. 荷兰皇家壳牌(Royal Dutch Shell)公司 BFB 锅炉	(54)
8. 美国乔治敦(George Town)大学 BFB 锅炉	(55)
9. 美国黑狗(Black Dog)电站改装 BFB 锅炉	(56)
10. 美国列弗斯维尔(Rivesville)电站 BFB 锅炉	(57)
11. 美国肖尼(Shawnee)电站 160MWe BFB 锅炉	(58)
12. 美国基勒/多尔-奥列弗(Keeler/Dorr-Oliver)公司 MKFS 型 BFB 锅炉	(59)

13. 美国基勒/多尔-奥列弗(Keeler/Dorr-Oliver)公司 CPFS 型 BFB 锅炉	(59)
14. 美国基勒/多尔-奥列弗(Keeler/Dorr-Oliver)公司 CPFS Duplex 型 BFB 锅炉	(59)
15. 美国巴布科克(Babcock & Wilcox)公司 570MWe BFB 锅炉方案	(60)
16. 英国埃迪蒙顿(Edmouton)地区供暖 BFB 锅炉	(62)
17. 英国史蒂文森(Stevenson)干燥机厂 BFB 锅炉	(62)
18. 英国安南(Annan)工厂 BFB 锅炉	(63)
19. 英国约翰斯顿(Johnston)锅炉公司 Fluid-Fire 型 BFB 锅炉	(63)
20. 前苏联阿赫特米(АХТМЕ)热电站改装 BFB 锅炉	(64)
21. 斯洛伐克动力机械厂 BFB 锅炉	(64)
22. 罗马尼亚 ASF 型 BFB 锅炉	(65)
23. 瑞典查尔默斯(Chalmers)工程研究所 BFB 锅炉	(66)
24. 加拿大萨默赛德(Summerside)兵营 BFB 锅炉	(66)
25. 日本若松工场 BFB 锅炉	(67)
26. 日本木津工场 BFB 锅炉	(68)
27. 日本崎户制盐公司 BFB 锅炉	(68)
28. 日本北海道工业所 IHI-FW 型 BFB 锅炉	(69)
29. 日本川崎公司 240t/h 发电用 BFB 锅炉	(69)
30. 德国格奈森瑙(Gneisenau)电站 BFB 锅炉	(70)
31. 德国阿弗尔德(Afferde)电站 BFB 锅炉	(71)
32. 德国吕嫩堡(Lüneburg)电站 BFB 锅炉	(71)
33. 德国巴布科克(Dt. Babcock)公司处理垃圾燃料 BFB 锅炉	(72)

四、国外 CFB 锅炉典型零部件及系统

1. 芬兰 Ahlström 公司 CFB 锅炉点火燃烧器	(73)
2. 芬兰 Ahlström 公司 CFB 锅炉布风装置	(73)
3. 芬兰 Ahlström 公司 CFB 锅炉炉室到分离器的让管与开口结构	(74)
4. 芬兰 Ahlström 公司 CFB 锅炉回料装置	(75)
5. 芬兰 Ahlström 公司 CFB 锅炉给料系统	(76)
6. 德国 Dt. Babcock 公司 CFB 锅炉点火燃烧器	(77)
7. 德国 Dt. Babcock 公司 CFB 锅炉飞灰循环系统	(78)
8. 德国 Dt. Babcock 公司 CFB 锅炉外除灰系统	(78)
9. 德国 EVT 公司床灰冷却器及破碎循环系统	(79)
10. 德国 Lurgi 公司 CFB 锅炉石灰石送给系统	(79)
11. 德国 Steinmüller 公司槽型分离器	(80)
12. 德国 Lurgi 公司 CFB 锅炉给煤系统	(81)
13. 德国 Flensburg 电站 CFB 锅炉外置换热器	(82)
14. 德国 Dt. Babcock 公司流化床底渣冷却器	(83)
15. 日本川崎公司 FBC 锅炉点火燃烧器	(83)
16. 瑞典 Studsvik 公司“U 棒”迷宫式分离器	(84)
17. 美国 FW 公司 CFB 锅炉水冷旋风分离器	(84)

18. 加拿大新型同向流快速旋风分离器	(85)
19. 高水分褐煤给煤、出渣系统	(85)
20. 美国 B & W 公司 U 型槽粒子分离器	(86)
21. 美国 FW 公司 FBC 锅炉导向布风装置	(86)
22. 美国 FW 公司底渣排除-冷却器	(87)
23. 美国 FW 公司 FBC 层上吹扫燃料送给系统	(88)
24. CFB 锅炉物料分离器内衬耐火层结构	(88)

五、新颖的流化床燃烧概念及锅炉结构

1. 美国 FW 公司带 INTREX 的 CFB 锅炉	(89)
2. 美国 FW 公司 BFB 与 CFB 联合锅炉	(90)
3. 美国 Westing House 公司 CFB 锅炉概念	(91)
4. Ecofire 型 CFB 锅炉	(91)
5. 快速内循环床锅炉 (FICB)	(92)
6. 混合型流化床锅炉 (HAFBC)	(92)
7. 多提升管浅床流化床锅炉 (DSMR-AFBC)	(93)
8. 旋涡流化床锅炉 (VFBC)	(93)
9. 流化床与煤粉燃烧组合锅炉	(94)
10. 适用于劣质煤燃烧的快速流化床-移动床燃烧室	(94)

六、附 录

1. 芬兰 Ahlström 公司(集团)CFB 锅炉供货一览表	(95)
2. 日本流化床锅炉设置状况	(104)
3. 美国 FW 公司 CFB 锅炉供货一览表	(105)
4. 德国 Lurgi 公司(集团)CFB 锅炉供货一览表	(106)
5. 德国 Dt. Babcock 公司 BFB、CFB、PFB 锅炉供货一览表	(108)
6. 德国 Lentjes 公司 CFB 锅炉供货一览表	(109)
7. 德国 Steinmüller 公司 CFB 锅炉供货一览表	(110)
8. 德国 EVT 公司 CFB 锅炉供货一览表	(110)
参考文献	(111)

一、国外 CFB 锅炉主要开发研制单位及生产厂家简介

1. 德国鲁奇(Lurgi)公司

鲁奇公司是世界上发展 CFB 锅炉最早的公司之一。他们在长期大量生产和试验的基础上,逐步形成了较有特色的 CFB 技术,在 CFB 锅炉的研究和设计上处于领先地位。到 80 年代末,利用鲁奇技术生产的 CFB 锅炉近 40 台,较典型的有德国 Duisburg 热电厂 270t/h 和美国得州 T-NM 电力公司的 499t/hCFB 锅炉。

典型的 Lurgi 型 CFB 系统由主床燃烧室、高温旋风分离器、低速泡床换热器(EHE,即冷灰床)、回料器及对流烟道组成。燃料及石灰石(脱硫剂)从主床布风板上部给入,在床内燃烧和反应,燃烧温度控制在 850℃左右。在较高气流速度作用下,燃烧充满整个炉膛,并有大量固体颗粒被携带出燃烧室,经高温旋风分离器分离后,一部分热炉料被直接送回主床燃烧室;另一部分送至冷灰床(EHE),在冷灰床中与埋管受热面和空气进行热交换,被冷却至 400~600℃后,经回料器送回主床燃烧室或直接排出炉外。旋风分离器导出的高温烟气,经对流烟道受热面传热后,通过静电除尘器或布袋除尘器排入烟囱。

鲁奇型 CFB 的特点

(1)循环系统内设主床燃烧室和外置泡床换热器(EHE)。在主床上部稀相区仅布置少数屏式受热面;二次风口以下为耐火混凝土炉衬结构。再热器和过热器受热面布置在 EHE 和对流烟道中。运行时,通过调节燃料量和经过 EHE 的热灰流量,控制蒸汽温度和燃烧温度。

(2)根据锅炉燃料的差异,循环速度在 4.9~9.0m/s 之间变化。炉膛出口烟气中固体物料含量约 5~30kg/m³,相应的循环倍率约 30~40 以上。

(3)采用分段送风燃烧。一次风经布风板送入燃烧室,二次风在布风板上方一定高度送入,一、二次风比为 4:6,过剩空气系数 $\alpha=1.15\sim1.20$ 。因此,在燃烧室下部的密相区为低氧燃烧,形成还原性气氛;在二次风口上部为富氧燃烧,形成氧化性气氛。通过合理调节一、二次风比,可维持理想的燃烧效率和有效地控制 NO_x 生成量。

(4)炉膛出口布置高温旋风分离器。分离器入口烟温与炉室出口差不多,约 850℃。分离器采用钢壳结构,内衬耐火和防磨衬里。分离效率约 99%以上,分离器阻力约 1000Pa。

鲁奇型 CFB 锅炉的运行机动性、经济性、燃料适应性以及排放水平,都有上乘的佳绩。它的缺点是锅炉结构复杂、分离器尺寸大、厂用电高以及磨损问题等。

从结构来看,Lurgi 在 CFB 锅炉领域已开发了三代产品。第一代产品为燃烧室四周、高温分离器、回灰管道和冷灰床内均布置较厚的耐火衬里,使启动时间长,一般需 10 小时以上。典型代表为 Duisburg 热电厂的 270t/hCFB 锅炉。和第一代相比,第二代产品在燃烧室上部布置了膜式水冷壁,其它部分仍保留用耐火衬里。这种炉型较适合于经常温态启动的机组,典型代表为 Flensburg 热电厂的 3 台 150t/hCFB 机组。第三代产品的燃烧室和循环灰系统的高温分离器、冷灰床全布置了膜式水冷壁,但在炉室下部和循环系统仍采用不太厚的耐火衬里,从而可提高启停、变负荷速率。典型代表是装在 Berlin 热电厂的 326t/hCFB 锅炉。

目前 Lurgi 公司与多个公司合作生产和销售 CFB 锅炉产品。

2. 芬兰奥斯龙(Ahlström)公司

奥斯龙公司是目前生产 CFB 锅炉最多的一家跨国公司,到 1991 年,已运行的和用奥斯龙技术

正在生产的 CFB 锅炉(商业名称为 Pyroflow)达 102 台。奥斯龙公司于 1976 年建立第一台 CFB 试验装置,1980 年开始生产 Pyroflow 型 CFB 锅炉,较典型的产品有芬兰 Ahlström 公司属下一个纸厂 Kauttua 的 90t/h 和美国 Colorado-Ute 电力公司 Nucla 电厂的 420t/hCFB 锅炉。后者为当时世界上已投运的 CFB 锅炉中容量最大的机组,1987 年 10 月投运,锅炉出力等参数和排放要求都达到或超过设计指标,大大增进了 CFB 锅炉在电站规模推广应用的信心。

Pyroflow 型 CFB 锅炉主要由燃烧室、高温旋风分离器、回料器、对流通烟道等组成,有的还配置冷渣器。燃烧室分上下两部分,下部由水冷壁延伸部分、钢板外壳及耐火衬里组成;上部炉膛四周为膜式水冷壁,中间布置屏式受热面。炉膛出口烟气携带的固体颗粒绝大部分被高温旋风分离器分离后,经回料器送回炉膛。旋风分离器可布置在锅炉前面、两侧或炉膛与对流通烟道之间,布置自由灵活。一次风从炉底的布风装置送入,约占总风的 50%,二次风在风板上方两个或三个不同高度送入,少量(1~2%)高压空气经回料机构送入炉膛。和大部分 CFB 锅炉一样,它的炉膛下部是还原区。与 Lurgi 技术最大的不同在于 Pyroflow 不设外置换热器(EHE),同时,屏式过热器设计成大间距顺列布置,形如局部隔墙,缓解固体粒子磨损。

正常运行的 Pyroflow 锅炉,燃料不仅在炉膛下部燃烧,而且还随着气流上升,使整个炉膛都可用来燃烧,沿水冷壁高度的烟气温度较均匀。在低负荷时,物料循环量减少,燃烧集中在炉膛下部,逐步过渡到鼓泡床运行方式。

高温旋风分离器容许最高入口烟温为 950℃,一般可达 99% 的分离效率,阻力约 1000Pa。其切割分离直径约 70 μ m,<70 μ m 的飞灰进入对流通烟道,经静电除尘器或袋式除尘器收集排除,不再进行飞灰再循环。

燃烧用风分别由三个压头不同的风机供给,一、二次风机和回料器送风机压头分别为 15000、9000 和 40,000Pa。

Ahlström 公司称,Pyroflow 系统运行性能令人满意,出力、参数、锅炉效率、燃料适应性、操作控制、排放水平等都达到或超过设计要求,可用率高(1985 年对在芬兰、瑞典运行的 5 台 Pyroflow 机组进行统计,平均可用率在 98% 以上)。该公司认为 Pyroflow 系统的缺点是,对小容量机组,由于高温旋风分离器的成本高,从而使整个装置的成本提高。其次,运行电耗较鼓泡床高,对控制系统要求也较高。此外,小于分离器切割直径的飞灰粒子,很难采用一般的机械分离装置捕集,而需要静电除尘或袋式除尘装置。

3. 美国巴特勒(Battelle)研究中心

Battelle 研究中心开发和研制出多固体流化床燃烧 MSFBC 型(Multisolid Fluidized Bed Combustor)CFB 锅炉,采用很重的固体颗粒作床料(真实密度约 5200kg/m³)和较高的气流速度(9~12m/s)。可燃用粒径 30 毫米以下的各种固体燃料,最大颗粒可达 50 毫米,脱硫用的石灰石平均粒径在 100 微米左右。密相床中的重颗粒(如铁矿石、粗河砂等)可对大颗粒煤起研磨作用,使经过这里的新鲜燃料、灰粒、石灰石停留时间延长。二次风口位于密相区的上方,其上为稀相燃烧区。

由于 Battelle 的 MSFBC 型是在 Lurgi 型的基础上发展起来的,所以它和 Lurgi 系统大同小异。高温旋风分离器分离出的飞灰,一部分直接送回主床,称“热循环”;另一部分进入低速外置换热器,被埋管受热面吸热而降低温度后的较冷的灰再送入主床中,以调节床温,称“冷循环”。燃烧温度控制在 815~950℃ 之间。

Battelle 称 MSFBC 比其他 CFB 系统有下列优点:①运行风速高,一般为 7.6~12m/s,而其他系统约 4.6~8m/s,这样可以减少给料点数量,增加紊流度和强化混合,使设备尺寸减小,给料均

匀,负荷调节比更大;②和其他用调节空气量和控制炉内物料保有量来调节炉温的 CFB 系统相比,采用“冷”的循环物料调温影响更大,更迅速;③采用 EHE 装置,将燃烧与传热过程完全分开,低速的 EHE 传热系数高,磨损轻微,变负荷速度快;④采用密相床能燃用较粗的燃料,也可用更宽筛分的石灰石。

MSFBC 型 CFB 的运行风速高,动能消耗较大,其次,采用粗粒子高速流化的直接结果是很容易造成底部(密相区)的磨损。再者,MSFBC 的上部炉室粒子浓度较一般 CFB 稀(仅 $1\sim 2\text{kg/m}^3$,而一般 CFB 为 $1.5\sim 40\text{kg/m}^3$),而脱硫反应大部分在上部炉室的氧化区进行,石灰石的利用率较低,Ca/S 摩尔比为 $2.5\sim 3.0$ 。此外,上部的稀相区也使传热变差,因而它通常不设置受热面,而用耐火砖炉壁代替。这种完全不冷却的炉室在锅炉容量增大后是否合理,有待评估。

目前,Riley Stoker,Senior Greens,Mitsui(日)和 Foster Wheeler(英)等公司已向 Battelle 购买了生产许可证。有 8 台商业机组在运行,最大的 MSFBC 锅炉装在日本 Idemitsu 精炼厂,300t/h,1988 年投运,典型的 MSFBC 为装在美国底特律 General Motors 公司的 34t/h 锅炉。

4. 德国巴布科克(Deutsche Babcock Werke AG)公司

德国巴布科克公司(Dt. Babcock 公司)为发挥 CFB 锅炉燃烧效率和脱硫效率高、燃料适应范围广泛的优点,并避免用结构复杂、能耗大的高温旋风分离器,以及高速气流引起的部件磨损和能耗高等缺点,自行开发研制出商业名为 Circofluid 的 CFB 锅炉,并于 1985 年 7 月末投运了一台热功率 2MWt 的试验装置,声称已取得设计 Circofluid 锅炉的全部数据,并先后生产了三台较大型的锅炉。两台装在 Offenbach 电站(110.7t/h,11.5MPa,535℃,烟煤),另一台装在 Römerbrücke 电站(125t/h,11.4MPa,535℃,烟煤/褐煤)。三台机组都在 1988 年投运。

Circofluid 系统的主要特点是:①通常采用半塔式布置。二次风口以上布置蒸发受热面、屏式过热器、对流过热器、省煤器等,炉膛出口烟温降至 400℃左右;②采用中温(400℃左右)旋风分离器,简单紧凑,没有床料在分离器内发生燃烧的危险,且加速启动时间;③不用 EHE。旋风分离器分出的物料部分(或全部)返回主床,部分排入灰坑,由煤质及负荷决定。尾部袋式或静电除尘器捕到的细灰,也部分送回主床,以增加燃烧效率,降低石灰石用量;④采用较低的运行风速($2\sim 5\text{m/s}$),设备尺寸较大。低负荷时(30%左右)用再循环风机将部分烟气送回主床,维持正常的流化速度,并过渡到鼓泡床运行方式。

Circofluid 系统由于风速较低,固体颗粒浓度也较低;由于返回的物料温度较低,它们加热至着火需要的热量多,因而循环倍率不能太高,可能会限制循环流化床燃烧优点的发挥。目前有 8 台 Circofluid 锅炉在运行,最大容量为 290t/h,另有 11 台正在设计制造中。

5. 瑞典斯图特苏维克(Studsvik)公司

Studsvik 工程公司是瑞典政府资助下的一个开发研究机构。1978 年,一个热功率 2.5MWt 的 CFB 样机建成后,从大量的观测试验中,发展了与一般 CFB 差异较大的系统,并已向不少公司转让了许可证(包括美国的 Babcock Wilcox,日本的 Babcock Hitachi,意大利的 Ansaldo Comp. SA 公司等)。目前至少已有 7 台 100t/h 容量以下的机组投运。

Studsvik CFB 的最大特点是,采用一个迷宫式惯性分离器代替传统的高温旋风分离器,分离器下端为一集灰斗,起调节和密封作用。用“L”阀调节控制物料循环量和床层密度。紧挨着迷宫分离器出口布置一个一氧化碳燃烬室,改善可燃气体含量。该公司称,Studsvik CFB 系统具有下列优点:①由于不采用高温旋风分离器,总体设备紧凑,便于大型化;②由于没有很厚的耐火衬里,启动

时间大大缩短,机组运行机动性好;③全部受热面均布置在锅炉本体内,无外置换热器;④总体结构简单,基本保持传统锅炉的倒“U”型或“N”型布置,造价低,运行方便。

锅炉采用分段送风,一次风占 45%,燃烧室底部呈高膨胀度的紊流床,密度大于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$,二次风口以上为稀相区,密度变化大,从下部的 $300\sim 500\text{kg}/\text{m}^3$ 到炉膛出口的 $20\sim 80\text{kg}/\text{m}^3$ 。由于固体物料浓度大,炉内受热面的传热系数高达 $116.3\sim 230\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 。运行的燃煤粒度在 25mm 以下,燃烧效率可达 $97\sim 99\%$ 。

6. 美国福斯特·惠勒(Foster Wheeler)公司

Foster Wheeler 公司从 1970 年起就生产鼓泡流化床锅炉,至今有 40 余台设备在各地运行,积累了丰富的经验。该公司认为,他们开发的 FWCFB 型循环床锅炉是鼓泡床技术的自然延伸,即普通泡床扬析的物料(包括飞灰、未燃烬炭粒、石灰石颗粒等)在高风速作用下,经分离-调节-回送,就构成了循环床系统。

FWCFB 系统最主要的特色是采用水或汽冷旋风分离器结构,它作为锅炉本体的组成部分。一般的高温旋风分离器内衬较厚的耐火防磨层和绝热层,增加了分离器重量和延长启动时间。FWCFB 的分离器由水冷壁(或蒸汽管)构成外壳,内部衬以一层薄的防磨耐热层。整个分离器在结构上和热膨胀方面与锅炉浑成一体,构成外壳的水冷壁与锅炉水循环或过热器系统相连。水冷旋风分离器具有下列优点:

1. 薄而简单的耐热层使锅炉启动过程加快,增加传热,充分利用空间布置受热面;
2. 简化和减少了高温管道和热膨胀点,降低造价和设备维修费用;
3. 水冷壁外壳可采用标准的绝热和外护板,有效降低辐射热损失;
4. 减少设备重量,简化支吊系统;
5. 节省时间和安装成本。

FWCFB 的回料系统采用一个工作速度很低的流化床密闭罐,用溢流量来调节循环物料量。这种系统具有自平衡功能,并充当旋风分离器和主床之间的密封。

7. 德国斯坦缪勒(Steinmüller)公司

Steinmüller 公司于 1979 年建立 CFB 冷态试验台,1980 至 1982 年建成一台热功率 1MWt 的 CFB 示范装置。Steinmüller 早期利用 Lurgi 技术,后来,它针对飞灰的循环过程,改进了 CFB 系统。这种改进分两个阶段:(1)取消冷灰床(EHE);(2)设置炉内分离器。用炉内斜槽分离器代替尺寸庞大的旋风分离器是 Steinmüller 系统的一大特色,这种分离器的分离效率与颗粒浓度关系不大,主要取决于颗粒尺寸,一般能把 $50\mu\text{m}$ 以上的颗粒分离下来。

Steinmüller 改进的 CFB 仍保持较高的空塔速度,故炉室下部仍保留较厚的耐火内衬。有约 6 台在运和在制的 Steinmüller 型 CFB 锅炉。

8. 其他公司

除上述主要的公司单独或合作开发和生产 CFB 锅炉产品外,国外还有一些生产该类锅炉的厂家。

瑞典的 Götaverken AB 公司致力于发展多种燃料的 CFB 锅炉,但就总体而言,它与 Ahlström 的设计十分相似。目前已有 11 台热功率在 10MWt 或稍大点的机组在运行,全部装在斯堪的纳维亚半岛,最大容量为 $60\text{t}/\text{h}$ 。

德国 Lentjes 公司与 Lurgi 合作,目前已生产近 10 台 CFB 锅炉,最大容量为装在柏林 Moabit 电厂的 326t/h 再热锅炉,于 1990 年投运。

EVT 公司偏爱 Ahlström 技术,生产 Pyroflow 型 CFB 锅炉,并在粗灰冷却和循环上采用专门的筛选分离式冷渣器,很有特色。

Thyssen Engineering 公司也在开发 CFB 锅炉,它还购买了瑞典 Götaverken CFB 的技术专利。

美国燃烧工程公司(CE 公司,现合并为 ABB 公司)引进 Lurgi 专利生产 CFB 锅炉,已生产的最大 CFB 锅炉为 499t/h(13.7MPa,541/541℃),装在美国得克萨斯州的 T-NM 电力公司,燃用烟煤。

Stein Industrie 公司是 Alstom 公司在法国生产锅炉和环保设备的公司,有多年生产电站锅炉和工业锅炉的业绩。1984 年 Stein Industrie 取得 Lurgi 公司的 CFB 技术转让生产许可证,开始生产 Lurgi 型 CFB 锅炉,代表产品是法国 Emile Huchet 电站的 367t/h 再热锅炉(配 125MWe),燃用低热值煤泥浆,1990 年 4 月投运,这是目前欧洲最大的 CFB 锅炉之一。该公司目前在设计两台 150MWe、1 台 250MWeCFB 锅炉。

Dorr-Oliver 公司有长期、丰富的流化床工作经验,因此,当他们接收 Keeler 锅炉公司后,即跻身于 CFB 锅炉供应商的行列,生产 K/D-O 型 CFB 锅炉,已生产的 6 台每条约 200t/h 左右容量的锅炉,分别装在美国的伊利诺斯州和衣阿华州。K/D-O 锅炉系统也和 Ahlström 的设计相似。

此外,英美还有一些厂家考虑到目前快速 CFB 锅炉存在的问题和缺陷,正在开发中小容量的带内循环的流化床燃烧系统,如 John Weberst 公司的 SCB 型,International Boiler 公司 D/MV, DSP 等。还有一些厂家和学者提出一系列新型 CFB 锅炉的设计概念或试验样机,如 Ecofire、FICB、VFBC、CFMB 等等,使 CFB 技术向更深层次发展。

二、循环流化床(CFB)锅炉

1. 德国弗伦斯堡(Flensburg)电站 CFB 锅炉

制造厂家:Lurgi 公司

安装地点:Flensburg 电站

投运年月:1985 年 8 月

主要参数:蒸汽流量 41.67kg/s(150t/h)

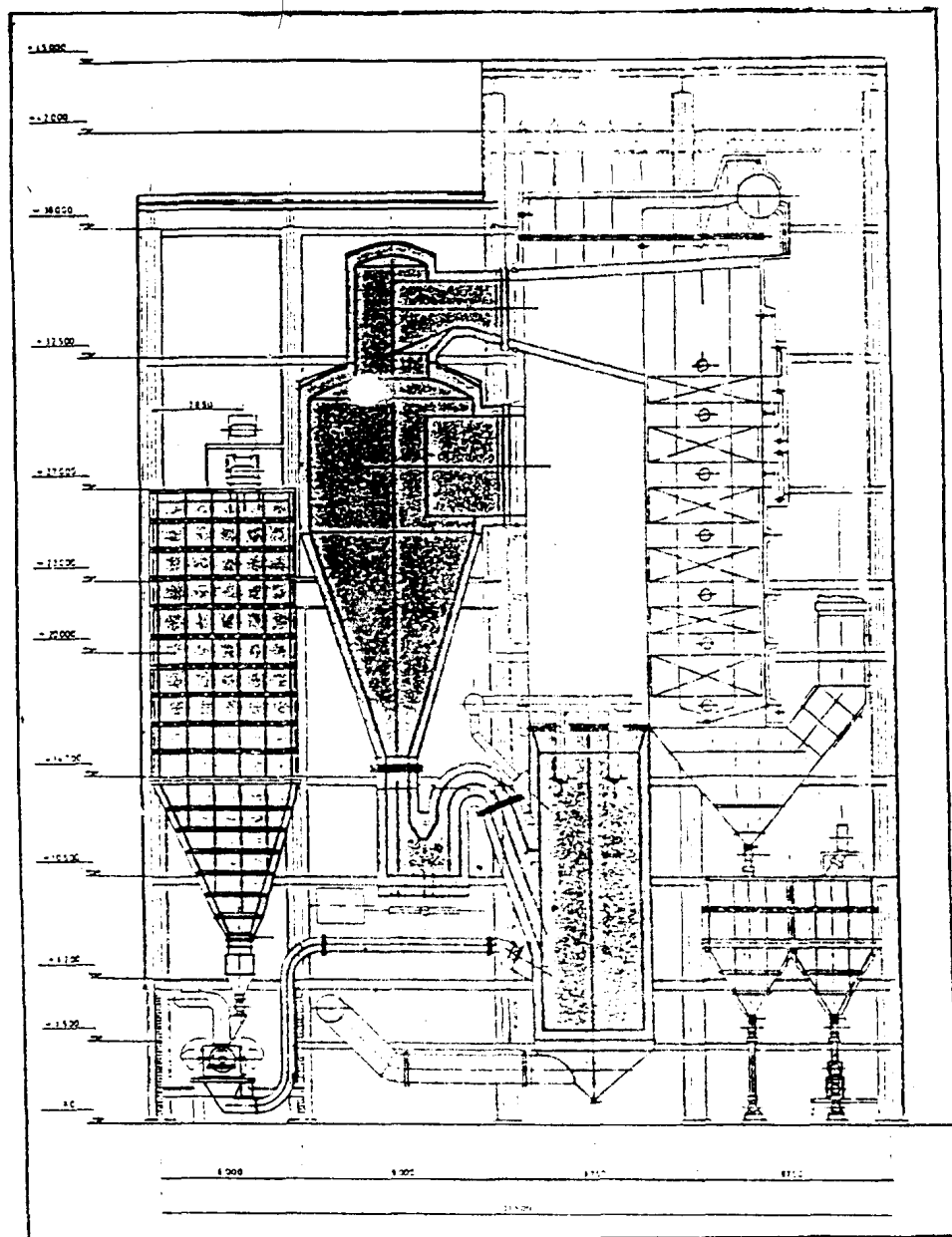
过热汽压 9.3MPa

过热汽温 535℃

燃 料:鲁尔煤,LHV25000kJ/kg

简要说明:采用双对流烟道。炉室总高 29 米,下圆上方,正常运行时底灰含碳 0.2~0.5%,飞灰含碳 5~15%。曾发生两次冷灰床热面磨损事故,已解决。排放符合法定值。

参考文献:1,2,3



2. 德国鲁梅布吕肯(Römerbrücke)电站 CFB 锅炉

制造厂家: Dt. Babcock-VKW 公司

安装地点: (Römerbrücke) 热电站

投运年月: 1988 年 3 月

主要参数: 蒸汽流量 34.72kg/s(125t/h)

过热汽压 11.4MPa

过热汽温 535℃

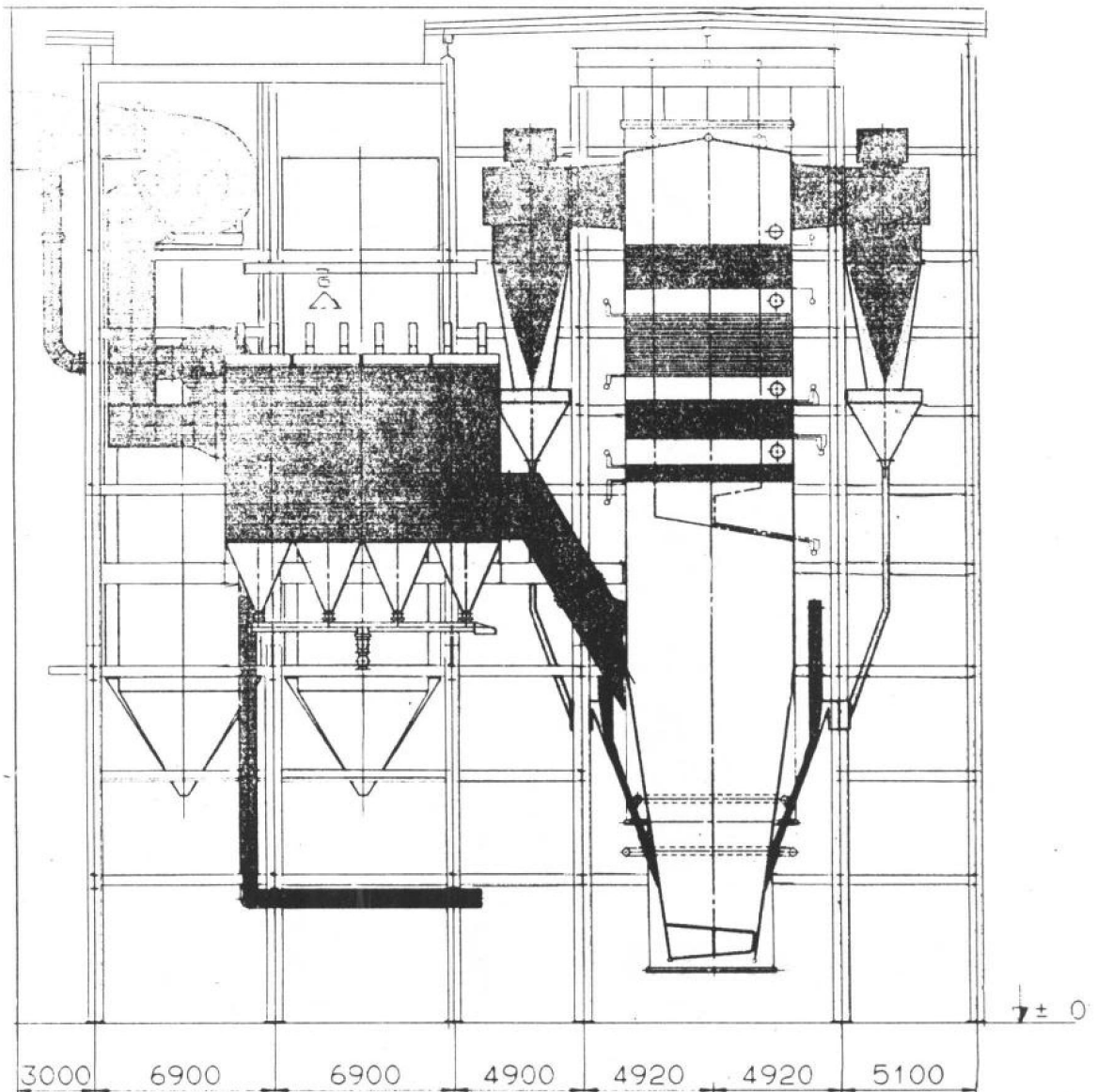
燃料: 高灰分(A_v~38%)烟煤, HHV17500

~22000kJ/kg

辅助燃料: 高炉煤气, HV3600kJ/m³

简要说明: 1988 年 9 月达完全正常运行。性能良好, 所有排放指标符合要求。运行经验表明, 在主设备状况良好的情况下, 煤及石灰石输送飞灰回送系统的问题最值得注意。

参考文献: 3, 4, 5



3. 德国梅海姆(Merheim)热电站 CFB 锅炉

制造厂家: Dt. Babcock 公司

安装地点: Merheim/Koln 热电站

投运年月: 1990 年

主要参数: 蒸汽流量 14.4kg/s(52t/h)

过热汽压 8.6MPa

过热汽温 525 C

燃料: 褐煤, HV9MJ/kg

简要说明: 德国首台燃用低热值褐煤的 Circo-fluid 锅炉, 它能分别燃用的两种燃料为褐煤和天然气。

参考文献: 3,4,6

