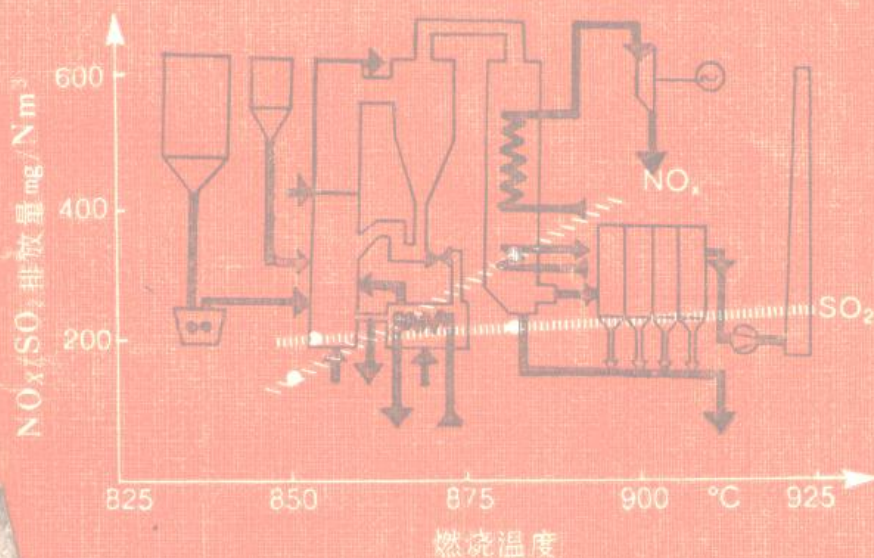


67
VGB专题会议文集

西德杜易斯堡第一热电厂

95.8 MW_E 循环流化床发电机组

设计及运行



中国电机工程学会火电专业委员会
水利电力部西安热工研究所

72.134
207

VGB专题会议文集

西德杜易斯堡第一热电厂
95.8MWe循环流化床发电机组
设计 及 运 行

翻 译：徐正泉 徐智勇 张万峰

印廷伟 郑德澍 聂建平

校 对：徐智勇

技术校核 王博文

中国电机工程学会火电专业委员会
水利电力部西安热工研究所

一九八七年十二月

前 言

这本译文集原是根据四川电管局赴西德电力考察团几位同志蒐集到的专题报告会议的内部资料翻译的，事后原文见载于 VGB 1987 № 5、6 期上，此次刊印，则据后者进行了订正。

如所周知，西德杜易斯堡公用事业公司第一热电厂 95.8 MWe (270吨/时)循环流化床锅炉是迄今世界上技术最成熟、容量最大、投入商业运行时间最长的一台常压循环床电站锅炉。该炉是典型的高循环倍率、附有冷灰床的鲁奇 (Lurgi) 技术型式的循环床炉。应予提及，Lurgi 循环床技术发展历史悠长，是迄今西德 Babcock 公司的 Circofluid，芬兰 Ahlström 公司的 Pyroflow 和美国的 Battelle 试验室等类型循环床技术流派的基础，尤其它们在设计上赖以为理论基础 Von L. Reh 的工作结果在今天仍有现实意义。本文集即全面总结了鲁奇循环床炉在设计、结构、运行改进和试验调整诸方面的工作经验，内容翔实，因而颇具借鉴价值。我们将其译出发表，俾便于国内从事常压循环床燃烧技术专业的同仁参阅。

鉴于时间急迫，译者水平有限，文中不当和错误之处，敬请指正。

文 集 编 译 组

1987年12月

目 录

建设杜易斯堡第一热电厂的起因和目的·····	(1)
常压循环流化床清洁燃烧技术的发展·····	(5)
采用常压循环流化床锅炉的第一热电厂工程 设计与热力参数·····	(23)
杜易斯堡常压循环流化床锅炉结构设计·····	(33)
杜易斯堡常压循环流化床锅炉设计计算、结构和 安全技术要求·····	(43)
汽轮机组和供热中心·····	(62)
电网连接和厂用电·····	(75)
控制设备的设计和实施·····	(88)
高温电气除尘器的设计和运行经验·····	(93)
建筑技术和安装·····	(103)
投运过程和运行性能·····	(108)
投运和初期运行经验·····	(113)
运行和调节性能及灰渣处理·····	(122)
流化床锅炉发展前景·····	(138)

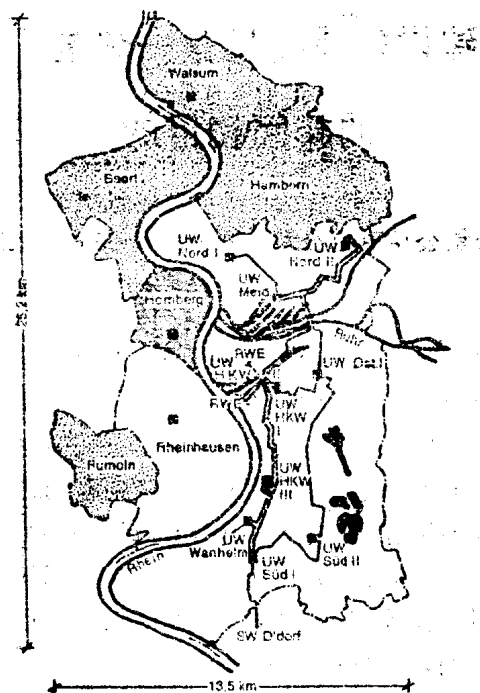
建设杜易斯堡第一热电厂 的起因和目的

杜易斯堡公用事业公司 Werner Wein 工程师

杜易斯堡公用事业公司(die Stadtwerke Duisburg AG)是一个地方性的企业。它在一个组织良好的横向联合企业中负责供电、供气、供水和供暖。公司完全属杜易斯堡市所有。向全市供气与供水的工作已分别有132年和112年的历史了,80多年前就在电站基地 Zirkel 街建立了自己的电站,最老的供热网已在50年前形成。目前公司年销售额总计7亿马克,年发电量18亿度,供热量7.3亿千瓦时,供汽量28亿千瓦时,供水量5500万 m^3 。

如图1所示,公司所属的第二热电厂和新建的第一热电厂位于杜易斯堡市中心,共有三台烟煤发电机组,总发电容量为306 MW,还有一台容量为174 MW 的天然气联合循环机组位于南市区。电网电压分别为110 kV、25 kV 和10 kV。除了市区Walsum、Hamborn、Baerl和Rumeln之外,其它市区都完全由本公司供电。不久的将来本公司也将承担这些市区的供电任务。公司所属的电厂都是热电厂,包括新建的第一热电厂在内,烟煤机组总供热负荷约350 MW。南市区的联合循环电站的第一期扩建工程拥有供热负荷40 MW。

102152 . 1 .



图例

- 市界
- 供电区边界线
- 110KV变电站
- 110KV输电线
- 由杜易斯堡公用事业公司
- 直接供电区
- 由杜易斯堡公用事业公司
- 间接供电区
- 由莱茵威斯特法伦电力公司供电区
- 由杜易斯堡公司同供供电
- 由莱茵威斯特法伦公司配电网

图1 杜易斯堡市的供电网

哈姆堡恩区从1928年开始供热，市中心的供热始于1952年。目前总的供热负荷约710MW。市中心、南市区、莱茵豪森和哈姆堡恩4个供热区计有热负荷558MW，它们由热电厂的抽汽或工业废热来供热；市区瓦尔松和洪贝克需供热负荷约152MW，由下莱茵供热公司利用工业废热供热。杜易斯堡市集中供热约占采暖需要的22%。

鉴于上述情况，杜易斯堡公用事业公司在70年代末决定对Zirkel街上的一部分原有常规电厂进行技术改造，使其满足环境保护的要求。需要改造的是一个母管制电厂，装有4台锅炉和4台汽轮机。改造过程中当然应该采取新的工艺技术，并专门规定必须以下述准则作为选用新的燃烧和产汽工艺的依据：

- 环境保护性能好，
- 占地面积少，
- 建筑物高度低，
- 热力性能好。

对于目前位于市内的电站，要满足上述要求显然只有采用常压循环流化床技术。

紧张的前期调研工作于1978年展开，在联邦德国研究和技术部的支持下，尤里希的核研究设施公司于1980年完成了一个内容广泛的可行性研究报告。1982年10月决定建造一座以常压循环流化床为基础的新的热电厂。工程建设投资主要由北莱茵威斯特法伦州资助，并同时根据第三电力法和投资补助法的规定获得了部分费用。图2即为这一机组。第一热电厂是一个采用一次中间再热的凝汽式热电厂，燃烧热功率为226MW_{th}，凝汽运行时发电功率为95.8MW_e，最大供热

功率为138.7MW。1982年12月向德国拔伯葛公司和鲁奇公司订购锅炉，土建工程于1984年4月开始。安装工作结束后，机组于1985年9月20日首次并网发电。



图2 装有循环流化床锅炉的第一热电厂

常压循环流化床清洁燃烧

技术的发展

Ludorf Plass 博士、工程师

鲁奇公司 Georg Daradimos 博士、工程师

Hans Beiβwerger 工程师

前 言

1976年,也就是说正好十年前, Lothar Reh 博士在《VGB》杂志上发表了一篇论文。文章论及流化床用于燃烧技术可行性的问题。其结尾写有下面一段概括性的话^[1]:

“80年代末出现个别的容量为100~200MW的常压流化床燃烧装置绝不是空想。”

四年后(1980年),在尤里希举行的电厂清洁燃烧技术研讨会上,杜易斯堡公用事业公司董事会成员 Werner Wein 工程师报告了关于公司建造一座以常压循环流化床作为燃烧装置的无公害电站的准备工作。报告中有下面一段话^[2]:

“根据循环流化床所具有的工艺与结构特征,这一技术也可用于煤的燃烧,因而为电厂技术所利用。”

六年后的今天,杜易斯堡电力公司的以循环流化床为燃烧装置的第一热电厂,经过成功的试验运行,已经移交给杜易斯堡公用事业公司,并且作为VGB专题会议的介绍对象。

专业界对于这座电站给予什么样的评价呢？今天的VGB专题会议是很能说明问题的，而且已有来自世界各地的1000多位访问者参观了这台机组，这一事实更能说明问题。

应当承认，杜易斯堡公用事业公司对这一技术是十分信赖的，并且具有企业家的勇气，因为他们大胆地采用了迄今世界上最大的循环流化床发电机组。

下面我们简单地回顾一下流化床工艺从化工技术领域发展到应用于电厂无公害燃烧技术领域的历程。

一、燃烧系统

图1示出几种燃烧系统。燃烧所需空气均自下而上通过燃烧室。从左图开始，这四种系统中气流通速通过燃烧室的速度逐个从 0.5m/s 增加到最右图的 20m/s ，燃料粒径从左图的 $50\sim 100\text{mm}$ 减少至最右图的 $90\mu\text{m}$ 。

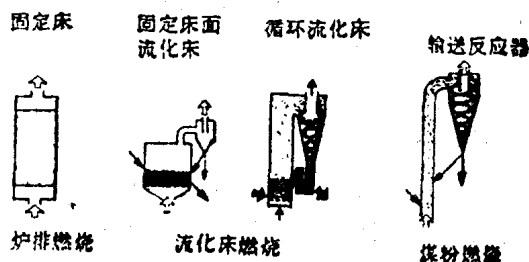


图1 层燃和流化床燃烧系统

从流体力学上讲，流化床燃烧位于炉排燃烧和煤粉燃烧之间。

固定流化床以其有一个明显的上表面和高浓度的床层为

特征，烟气流速和颗粒尺寸(毫米数量级内)的选择应保证只有很少量细小颗粒能逸出床面。

循环流化床内的颗粒尺寸较小(百微米数量级内)，而气流速度比较高。因此大量的颗粒随着烟气带出燃烧室。这些颗粒必须经由一个后置的分离器从烟气中分离下来，并重新送回床中以维持床内物料平衡。

二、固定流化床燃烧

鲁奇公司已建造了220多台固定流化床燃烧装置，其中大部分用于锅炉以产生蒸汽。固定流化床内布置埋管受热面，蒸汽参数可达100bar，500℃。典型的流程见图2。

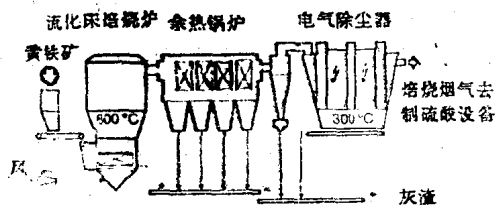


图2 流化床焙烧炉

有关大型流化床焙烧炉(最大直径12.5m)的建造、高浓度含粉烟气的冷却、高温电除尘器的运行以及流化床内及其上部空间受热面管束的传热特性，我们已有多年的工业实践经验。这些都为循环流化床工艺用于电厂燃烧技术打下了基础。

固定流化床在Winkler气化器上首次应用后，已经推广

用于燃煤了。与其相比，当时循环流化床的发展与能源技术还没有直接联系。

三、循环流化床工艺的发展

问题是这样提出的，在将氢氧化铝焙烧为氧化铝的工艺过程中，需用平均粒径为 $40\mu\text{m}$ 的细物料在约 1100°C 的温度下焙烧，使其脱水和改变结晶体形态。这是一个强烈的吸热过程。由于产品纯度有严格的要求，过程中只能以油或煤气作为燃料，而不能用固体燃料。

Al_2O_3 的生产迄今一直是在回转窑中进行的，其主要缺点是由于砖砌窑壁爆裂脱落使产品纯度受到影响，而且能量消耗很高。以流化床取代回转窑，主要是为了得到较好的产品纯度，因为固定的砖壁可望具有更长的使用寿命。

根据经验，首先试图在焙烧工艺中采用固定流化床，但人们很快发现了如下严重的缺陷：

1. 由于物料颗粒很细，为了维持固定流化床层，只能用低的流化速度，这样工业流化床直径显得太大。

2. 由于在床内停留时间短，燃料布散困难，油和煤气在固定流化床内的燃烧特别困难。

为了缩小设备直径，便只能提高气流速度，这必然使颗粒吹出床层，因此只有通过物料回排器，才可使整个系统保持平衡。由此便产生了循环流化床。

在一台氧化铝产量为1吨/小时、直径为6米的燃油示范装置(图3)上系统性地测量了燃烧效率，得出如下重要结果：

1. 温度分布均匀

随着床层的膨胀, 固定流化床中存在的燃烧滞后现象(表现为床层上方温度升高)消失了。

2. 采用分级燃烧原理

燃烧风分为一次风和二次风, 以保持一个较高浓度的床层, 从而达到更好地燃烧的目的。当时采用分级燃烧不是出于环境保护的要求, 而是从燃烧和工艺方面考虑的。

3. 可以控制固体物料浓度分布

分级送风时, 固体物料沿燃烧室高度的分布曲线见图4。可以看出, 通过相应分配送风量, 可以控制物料浓度和浓度分布。这为以后用于电厂燃烧的循环流化床的控制性能打下了基础。

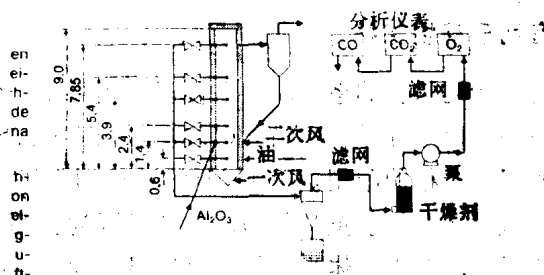


图3 吕能循环流化床试验炉

四、循环流化床迈向工业化

在此以后的数年内, 建造了约30台循环流化床装置, 它

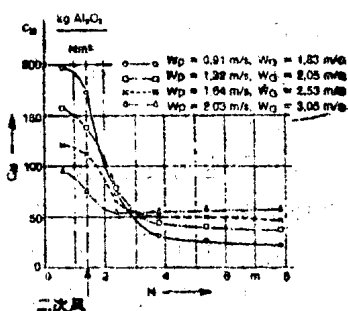
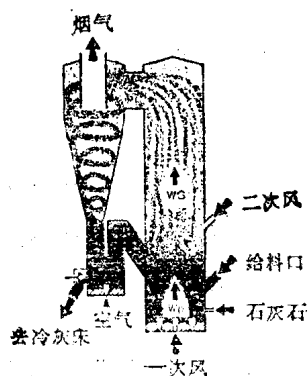


图4 固体物料浓度分布图

们分别用于氧化铝的焙烧或化学工业等部门。循环流化床从此开始在工业上得以应用。

有利于环境保护

对于环境保护的考虑,是在向日本提供了一台循环流化床焙烧装置时才开始的。当时(1974年),日本对 SO_2 和 NO_x 的排放已有严格的限制。日本 Mitsui 公司委托鲁奇公司制造一台氧化铝焙烧装置(图5),主要是因为德国的循环流化床装置上,在以气体为燃料、燃烧温度为 1100°C 的条件下,测得的 NO_x 排放量在 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下。

图中左边为该焙烧装置,右边的高大建筑物为电厂的烟气洗涤装置。

循环流化床燃烧技术专利

约在60年代中期,英国和美国差不多同时展开了将流化

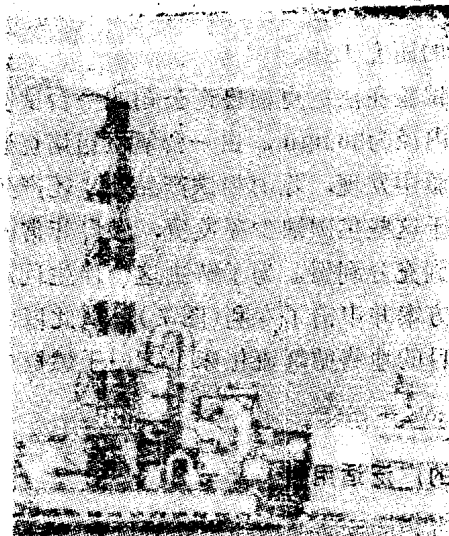


图5 日本Mitsui公司的燃烧装置

床燃烧技术应用于发电的试验研究和宣传工作。

美国主要是把流化床用于烧高灰份煤和高硫煤的工业锅炉上，以此取消尾部烟气脱硫装置。

在英国，不象美国那样强调脱硫问题。英国人发展流化床从一开始就把目标朝着600MWe发电容量等级，他们试图利用流化床锅炉燃烧热强度大的优势，大大缩小锅炉尺寸和降低发电成本。

当时在德国，试图通过发展流化床工艺来降低排放物的工作亦刚刚起步。在此期间，鲁奇公司则探求了循环流化床原理更进一步的应用的可能性。他们与瑞典ASES公司合

作，在循环流化床上开展了细颗粒铁矿砂与煤在 4bar 压力下直接还原的研究工作。

相应的试验在法兰克福鲁奇公司的一台试验装置上进行。该装置内径为 360mm，由一台氧化铝焙烧装置改装而成(图 6)。试验中发现，除海绵铁产品外，还产生了大量的残留焦碳，由于这些焦碳缺少挥发份，燃烬非常困难，使这部分能量得不到充分利用。为了解决这个伴生问题，便设计了循环流化床方案并申请了专利(图 7)。从此以后，这项专利便成为有目的地将循环流化床工艺用于燃烧技术的发展基础^[4]。

对燃料的广泛适用性

在法兰克福的试验装置上用多种燃料进行了燃烧试验(见表 1)，以研究它们的燃烧效率和排放性能。经过大量试验得出如下重要的结果：

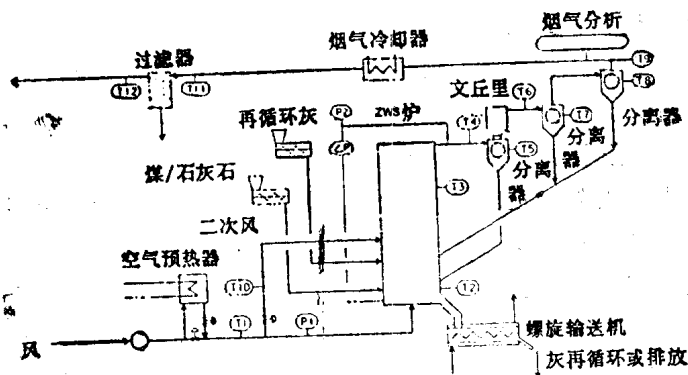


图 6 φ360 试验装置示意图

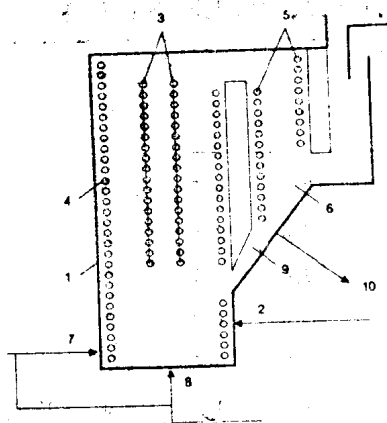


图7 循环流化床燃烧装置专利

1. 燃烧效率高

循环流化床的燃烬性能示于图8。可以看出，对于差别很大的燃料，燃烧效率都很高，超过99%。

2. 脱硫性能好

图9为循环流化床固硫特性曲线。试验结果表明，用较少的石灰石添加剂就可使 SO_2 的排放量控制在 200 mg/Nm^3 以下，这是因为循环流化床具有良好的还原条件。

3. 几乎没有 NO_x 生成

循环流化床 NO_x 的排放性能示于图10。可以看出，分级燃烧对 NO_x 的生成影响较大。该图也是一次风与二次风比例选取的依据，其范围一般为40:60~50:50。

根据试验结果和初步的工业应用研究，证明循环流化床工艺具有以下主要优点：