



国家“八五”科技攻关环境保护项目
技术集成系列丛书

中、小型燃煤锅炉烟气 除尘、脱硫 实用技术指南

国家环境保护局科技标准司 编

中国环境科学出版社

国家“八五”科技攻关
环境保护项目技术集成系列丛书国家

中、小型燃煤锅炉烟气除尘、脱硫 实用技术指南

国家环境保护局科技标准司 编

中国环境科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

中、小型燃煤锅炉烟气除尘、脱硫实用技术指南/国家环境保护局科技标准司编. - 北京:中国环境科学出版社,1997
(国家“八五”科技攻关环境保护项目技术集成系列丛书)
ISBN 7-80135-280-7

I. 中… II. 国… III. ①燃煤锅炉-消烟除尘-技术-指南
②燃煤锅炉-脱硫-指南 IV. TK229.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 07267 号

中国环境科学出版社出版
(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)
北京市通县永乐印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

1997 年 8 月第 一 版 开本 850×1168 1/32
1997 年 8 月第一次印刷 印张 3
印数 1 - 3000 字数 69 千字

ISBN 7-80135-280-7/X·1189

定价:4.60 元

序

为实现“九五”期间国家环境保护的总目标,即“到 2000 年,力争使环境污染和生态破坏加剧的趋势得到基本控制,部分城市和环境质量有所改善”,国家环境保护局将采取“污染物排放总量控制”和实施“跨世纪绿色工程”两大举措,重点治理“三河”、“三湖”的水污染和“两控区”的大气污染。为实现上述目标和贯彻可持续发展战略方针,不仅需要强化管理和适当增加投入,更重要的是必须坚定不移地依靠科学技术。

国家环境保护局在“六五”、“七五”、“八五”期间,受国家计委、国家科委、财政部的委托,与有关部门共同组织环境保护战线的近万名科技人员,经过 10 多年的科技攻关,取得了丰硕的攻关成果,在解决我国煤烟型大气污染、水污染、固体废弃物污染等方面取得了一批重要成果。这些成果中包括:高效除尘技术;工业型煤技术;循环流化床燃烧脱硫节能技术;中、小锅炉脱硫除尘技术;城市污水处理与资源化技术;城市污水自然净化技术(土地处理、稳定塘及深海处置技术);湖泊富营养化综合治理技术;造纸、印染、农药、焦化、染料等高浓度、难降解有机工业废水治理技术;铬渣治理与综合利用技术;电镀废水和废渣处理与利用技术;有害废物安全处置技术等。仅“八五”期间就开发新技术、新工艺、新产品 85 项,获专利 5 项,建成示范工程、中试生产线、试验基地 71 个,创直接经济效益 2.2 亿元。在已通过鉴定的 44 项专题成果中,有 6 项达国际领先水平,32 项达国际先进水平,6 项达国内领先水平。一批成果已经在环境建设和环境管理工作中得到应用并发挥了较好的环境、社会和经济效益。

为了配合国家环境保护局“九五”期间的工作重点,大力推广科技攻关成果,适应污染物排放总量控制和工业污染源达标排放

工作的需要,国家环境保护局科技标准司组织参加科技攻关的部分专家和工程技术人员,对 10 多年来在污染治理技术方面的攻关成果进行了认真的收集、调研、筛选、评价,以技术指南的形式编写成册,作为系列丛书出版以供环保系统及各行业负责环保工作的领导、管理人员、环保科技人员、环保技术开发人员、工程设计人员以及大专院校环保专业的师生使用。为突出国家科技攻关环境保护项目成果的实用性,所选编的技术以“八五”攻关为主。本套技术指南由下列 6 册组成;分别由专家主持编写:①湖泊污染控制技术指南(主编:中国环境科学研究院金相灿研究员);②城市污水土地处理利用技术指南(主编:中科院沈阳应用生态研究所孙铁珩研究员);③城市污水稳定塘处理技术指南(主编:北京建筑工程学院李献文教授);④小造纸厂污染防治技术指南(主编:北京轻工业学院张珂教授);⑤电镀污泥及铬渣资源化实用技术指南(主编:中科院化工冶金研究所张懿研究员);⑥中、小型燃煤锅炉烟气除尘、脱硫实用技术指南(主编:北京轻工业学院张溱芳教授)。

本套丛书的策划和选材工作由尹改、祝兴祥同志全面主持,周思毅、罗毅同志负责全过程的组织管理,周泽江、向锋、刘鲁君、杨景辉、钱谊等同志负责丛书的编辑工作。

国家环境保护局科技标准司

1997.4.7

前 言

本书是以“八五”科技攻关成果为主要题材编写而成。这些科技成果都已通过了国家环保局的鉴定和验收,不仅适合我国国情,并都有比较成功的示范工程,可为用户提供样板和借鉴。出版本书的目的是为了把控制大气污染和改善我国大气质量建立在坚实可靠的科学技术基础之上,使科技攻关成果尽快转化为经济、社会和环境方面的效益。本书介绍的技术有洁净型煤、循环床燃烧脱硫、干法除尘、湿法除尘脱硫、喷钙脱硫等。每项技术都包括技术描述、工艺流程、净化指标、技术特点、工业化实绩、技术经济指标、适应范围和技术开发单位等内容,力求使读者对之有全面的了解,并可直接和技术开发单位取得联系。本书即具有科学性,又具有实用性,可供环保系统及各行业的技术开发、应用单位和有关科技人员使用。

本书由国家环保局科技标准司组织“八五”科技攻关有关单位撰写。第一章:张溱芳;第二章:李军、刘青;第三章:程秀菊;第四章:刘汉忠、张鹏展、门亚东;第五章:侯栋岐、钱枫、杨仲明。

本书编写过程中,国家环保局科技标准司周思毅处长及原中国环境监测总站缪天成总工程师曾多次给予具体指导。北京轻工业学院烟气脱硫课题组钱枫、任连海、杨学富、顾红、徐佩萍、郑跃红、洪靖等同志为本书的编校做了大量工作,在此表示感谢。

由于时间仓促,本书错漏之处在所难免,请读者批评指正。

编者
一九九七年四月

目 录

第一章 概 论	(1)
第二章 燃烧中脱硫实用技术	(4)
一、洁净型煤成套技术	(4)
二、循环床燃烧脱硫技术完善化及工程配套应用技术	(17)
第三章 烟气干法除尘实用技术	(23)
一、旋风除尘技术	(23)
二、布袋除尘技术	(34)
三、实用卸尘装置	(38)
四、技术经济分析	(44)
第四章 湿法烟气除尘、脱硫实用技术	(45)
一、卧式网膜塔除尘脱硫装置	(46)
二、立式网膜塔除尘脱硫装置	(51)
三、SJ - 双击式除尘脱硫装置	(54)
四、SHG 型除尘脱硫装置	(59)
五、BL - ZH 型除尘脱硫装置	(62)
六、其它几种除尘脱硫装置简介	(64)
七、湿式除尘脱硫装置的主要配套设备	(66)
八、年运行成本计算方法	(72)
第五章 喷钙脱硫实用技术	(75)
参考文献	(82)

第一章 概论

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国。我国的资源特点和经济发展水平决定了以煤炭为主的能源结构在我国还将长期存在，而大量使用煤炭的结果使燃煤污染成为我国大气的主要污染源，其中二氧化硫的危害尤为严重。1995 年我国煤炭消耗量已达 12.8 亿 t，预计 2000 年将增至 14 亿 t；1995 年我国仅工业燃煤排放二氧化硫量已达 1396 万 t，全国二氧化硫排放总量已超过 1800 万 t。按目前能源结构和二氧化硫污染控制水平，2000 年我国二氧化硫排放量将达 2000 万 t。

二氧化硫排放量的不断增加，不仅使大气中二氧化硫的污染程度加重，同时已使部分地区出现了严重的酸雨污染。酸雨污染区的面积从 1983 年到 1993 年的 10 年间增加了 100 万 km^2 ，有的地区降水 pH 值低于 4.5，个别地区的最低值已达 2.8。酸雨污染造成的严重损失，据报导每年已达 200 亿元。有鉴于此，我国新修订的《大气污染防治法》中制定了“防治燃煤产生的大气污染”的条款，强调了防治燃煤污染，推行洁净煤技术的必要性和迫切性。

治理燃煤污染一般有三个途径：一是燃烧前控制，即洗选煤炭，脱去硫分、灰分；二是燃烧中控制，即通过提高燃烧器性能，使用高效、低污染的锅炉，以及煤气、蒸汽、电力三联供等措施，以减少污染物的排放；三是燃烧后控制，即通过安装消烟除尘、烟气脱硫等装置使烟气净化。

在以煤炭洗选为主要内容的燃烧前控制方面，我国还远远落后于发达国家。我国煤炭含灰平均为 20%~28%，含硫平均为 1%~1.3%，但有的煤炭含灰超过 50%，含硫高达 7%，而仍然直接入炉燃烧。美国规定发电用煤灰分为 10%~15%，含硫小于 1%，凡是达不到要求的或者封矿、或者配洗选设施。德国、法国、澳

大利亚、日本等国家原煤入洗率均在 90% 以上 而我国仅为 22%。

我国燃烧中控制的重点，工业上主要推广流化床燃烧，而大中城市则推广民用型煤（尤其是固硫型的型煤）和其他清洁燃料，禁止民用原煤散烧。据测试，使用民用型煤可节煤 10% 减少烟尘 60% 脱硫 40%。目前这项工作正在逐步推开。北京、济南、青岛等城市都已开始禁止居民用散煤。许多城市采取改用煤气、集中供热、变烧煤为用电等措施，均收到了明显减少大气污染的效果。至于工业上使用型煤，目前还刚刚起步。

关于燃烧后控制 修改后的‘大气污染防治法’中作了明确规定：“在酸雨控制区和二氧化硫控制区内排放二氧化硫的火电厂或其它大中型企业 属于新建项目不能用低硫煤的 必须建设配套脱硫、除尘装置或采取其它控制二氧化硫排放、除尘措施 属于已建企业不用低硫煤的应采取控制二氧化硫排放、除尘措施。国家鼓励企业采用先进的脱硫、除尘技术”。根据中央‘九五’规划中对环保的有关要求 国家环保局提出到 2000 年将全国二氧化硫排放量控制在 1995 年水平的目标。因此，开展燃煤烟气除尘脱硫工作更显得重要和迫切。

我国从 70 年代就开始了电厂烟气的除尘脱硫工作，首先对燃煤电站的粉尘进行治理，开发了适合电厂排放粉尘特性的技术。在火电厂设计规程中规定了采用高效除尘器，使粉尘排放量大大减少。以 1993 年和 1983 年相比，10 年中电厂装机容量增加了 1.84 倍，而粉尘排放量没有增加。烟气脱二氧化硫的工作也有几家电厂进行过几种不同工艺的试验，如湖南 300 厂和上海杨树浦电厂的亚钠循环法、湖北松木坪电厂的含碘活性炭法、上海南市发电厂的催化氧化法、上海市闸北电厂的石灰石 - 石膏法、西南电力设计院为四川白马电厂设计的喷雾干燥法和西安热工研究所开发的四川豆坝电厂磷铵复合肥法等，虽取得了一些成绩，但由于技术、管理、经济和环境意识等方面的原因 除白马电厂和豆坝电厂外都未能坚持下去。近 10 年来随着我国国民经济的迅速发展，对能源需求的不断增长，改革开放的进一步深入以及政府和人民环

境意识的提高 我国的烟气脱硫事业走向了蓬勃发展的道路 引进工作加大了力度, 适合我国国情的实用技术的研究开发也得到政府的进一步重视和支持。在“八五”期间 电力部门完成了三个火电厂引进国外先进脱硫技术的示范工程: 四川珞璜电厂 2 台 360MW 机组引进的日本三菱公司石灰石-石膏法烟气脱硫装置 已先后于 1992 年与 1993 年投入运行 利用日本政府“绿色援助计划”的资金和技术, 在太原第一热电厂一台 300MW 机组上采用简易湿法脱硫工艺; 在黄岛电厂一台 200MW 机组上采用旋转喷雾干燥法脱硫工艺 均已建成并进入调整试验阶段。另外 电力部在南京下关电站 2 台 123MW 机组上采用炉内喷钙尾部增湿活化脱硫的引进工作亦正在进行。化学工业部在山东潍坊化工厂、广西南宁化学工业集团公司和长寿化工厂等地的中、小型锅炉上利用日本“绿色援助计划”建设了简易烟道气排烟脱硫三套示范装置亦已投入试运行。还有一些国外引进的其它脱硫装置亦在建设中。这些引进技术对我们积累设备设计、运行和管理等方面的经验是有用的 但国外的技术及主要设备价格昂贵 又不是我国广大的燃煤用户所能轻易承受的。因此 结合我国实际情况及经济上的承受能力 开发和推广适合我国国情的技术与工艺实是当务之急。

国家环保局根据科学研究面向经济建设和社会发展主战场的方针 在国家科委、计委支持下 在“八五”科技攻关中组织领导了有关省、自治区、直辖市环保局、中国科学院有关研究所 有关高等院校及有关工厂的科技人员和管理干部对烟气除尘脱硫课题进行了攻关。其中重点支持了洁净型煤成套技术; 循环床燃烧脱硫技术; 湿式除尘脱硫技术及喷钙脱硫技术的完善化及工程化。经全体攻关人员的努力 全面完成了各工艺技术的示范工作 对我国的环境保护事业和我国经济的可持续发展作出了贡献。为加速科技成果转化成为生产力的过程 本书将“八五”期间完成攻关任务 建立示范工程, 并通过国家环保局组织鉴定的各项烟气除尘脱硫的实用技术介绍给广大从事环保工作的科技人员、管理人员和用户 供大家在治理燃煤污染时因地制宜地使用。

第二章 燃烧中脱硫实用技术

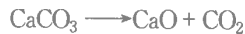
一、洁净型煤成套技术

1. 技术描述

(1) 洁净型煤固硫技术

型煤固硫机理和影响因素

型煤固硫燃烧技术是通过在粉煤成型过程中加入固硫剂，使煤在燃烧时所生成的 SO_2 被固硫剂吸收并生成硫酸盐固定在炉渣中，以减少 SO_2 向大气排放。通常所用的固硫剂为 CaCO_3 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaO 等。这一过程可用下式表示：



实验研究表明，固硫剂比表面是影响二氧化硫吸收的主要因素，吸附比表面越大，吸收反应速度就越快，二者呈线性关系。

在煤燃烧过程中固硫是在高温下进行的，因此 CaSO_4 极易分解，从而降低固硫率。添加合适的添加剂，采用表面多孔富集方法可以使 CaSO_4 分解率下降 提高 CaO 的利用率。

②“表面富集 多孔活化”高效固硫工艺

表面多孔富集方法是一种用物理加工使型煤在燃烧时形成局部氧化气氛，从而提高型煤固硫率的方法。

型煤炉内燃烧时 由于 C 和 CO 的存在 使 CaSO_4 从 800°C 就开始分解：



当温度上升到 1100℃ 时，发生下列反应：



因此在 800℃ 时虽然 CaSO_4 开始分解，但由于分解产物是耐高温的 CaS ，故而型煤仍有很高的固硫率。当型煤的燃烧温度达到 1100℃ 时，由于 CaSO_4 的分解产物为 SO_2 气体，因此在此高温下型煤的固硫率就大为降低。

根据以上分析，在型煤加工过程中，将固硫剂富集于型煤的表面，使型煤表面层的 Ca/S 增大，型煤的表面在燃烧时由于比表面大而具有较高的固硫效率。当型煤的内部燃烧时，从型煤内部向型煤外部逸出的 SO_2 经过型煤表面层时，由于 CaO 富集而很容易被捕获。另外，由于型煤表面层已即将燃烧完， C 和 CO 的含量相对较少，型煤的表面层就形成一个局部的氧化气氛，使生成的 CaSO_4 不易分解，这样型煤的固硫率就有了明显的提高。

高效固硫添加剂技术

在以钙系化合物为固硫剂的型煤中，添加一定比例的经特殊加工制成的铁硅化合物，在 1200℃ 高温燃烧条件下，可以得到 70% 以上的固硫率。

煤燃烧时煤中的硫元素是以二氧化硫形式逸出，还是以硫酸盐形式进入渣中，这主要取决于 SO_x 的扩散速度和 CaS 与 SO_x 的硫化反应速度及硫酸盐的分解速度。当加入含钙的固硫剂后，在燃烧温度不超过 800℃ 时，由于 CaO 和 SO_x 的硫化反应速度占主要地位，极易生成 CaSO_4 而进入渣中。当燃烧温度继续上升时，则硫酸盐分解速度大于硫化速度，固硫率下降。当加入 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 固硫添加剂时，既能起到催化剂作用又能在高温时形成稳定的物相，这一技术有利于高硫煤固硫率的提高。

低成本、高性能的型煤成套设备和超短工艺生产技术

利用动摩擦小于静摩擦的原理，采用高频振动消除料斗中物料的气堵和料堵，可减少为克服原料静摩擦所需的成型压力。结果表明型煤强度提高 10%~25%。“八五”期间所研制的年产 10 万 t 的五台主机，其成型率达到 98%，其价格比“七五”期间降低约

1/2(不考虑物价上涨因素)

型煤超短工艺生产技术是将粉碎与混合合一的工序,即将筛分的原料先根据配方进行配料,然后将配好的料一起送到粉碎机进行粉碎和混合。该项技术可使型煤吨煤投资从 45 元降到 25 元左右。

(2) 型煤调质改性成套技术

型煤调质技术包括调整灰熔点、改善结渣性技术、提高热稳定性技术、烟煤“破粘”改性技术。

利用型煤调质改性技术用于气化型煤可以达到:解决块煤来源不足、解决利用当地煤源、降低气化入炉煤成本、改善气化炉用煤性能和气化条件。

气化用型煤调质技术是依据气化工艺要求,根据原料煤挥发分的大小、析出温度范围等特性,通过成型工艺改变型煤的传导系数以控制挥发分的分解速度,并通过调整型煤的“开口孔隙率”及时将挥发分导出,从而提高型煤的热稳定性。针对强粘性烟煤在气化过程中软化阶段强度低,造成“棚料”并严重妨碍“布气”,使气化过程无法进行的问题,根据煤炭热分解析出胶质层的数量与型煤“孔隙率”之间的关系,利用型煤成型工艺技术控制其“孔隙率”的大小,可以将型煤热强度特性曲线由“软”变“硬”,从而提高烟煤型煤软化阶段强度。由于型煤的大小、形状相同,使气化炉具有布气均匀、反应活性好的特点,故可以根据气化炉的不同工艺特点,提出气化工艺参数的选择准则,满足气化炉的正常生产。

2. 工艺流程及型煤专用设备指标

(1) 型煤专用设备性能指标

混合机

型号:SH10-00 卧式双轴混合机

产量:24t/h

主轴转速:46r/min

机器有效长度:3.1m

功率 55kW

重量 :8235kg

立式调合机

型号 LT10 - 00 立式单轴调合机

产量 24t/h

筒体有效高度 :2.5m

调和时间 :5~6min

主轴载速 :19r/min

功率 55kW

重量 :9355kg

成型机

型号 :CX10 - 00 对辊成型机

产量 :(1)17t/h

(2)34t/h

压辊直径 : $\varnothing 0.708\text{m}$

压辊宽度 :0.65m

成型压力 (最大):120t

主功率 :(1)45kW 电机 ,8 级 , $n = 750\text{r/min}$)

(2)55kW 电机 ,4 级 , $n = 1480\text{r/min}$)

重量 :13.1t

固结机

型号 :XM - HGL - 3200 型隧道钢带式固结机

规格 :3 层网带

网宽 : $B = 3.2\text{m}$

网长 : $L = 60\text{m}$

产量 :18t/h

功率 :5.5kW $\times 3$

(2)工艺流程

固硫工业型煤超短工艺流程 (见图 2-1)

固硫工业型煤超短流程工艺流程说明 :

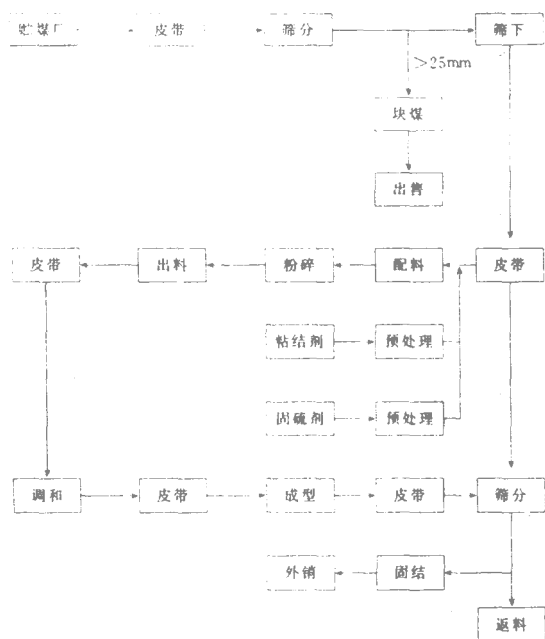


图 2-1 固硫工业型煤超短流程工艺流程

原料贮存：生产工业型煤用各种原料由汽车或火车运到厂内，然后按预先安排的位置，自然堆放。

筛分 根据粉碎机对粒度要求 筛孔为 25mm 大于 25mm 的块煤可以外销 小于 25mm 的原煤转入下一工序。

配料 根据工业型煤配方将煤和预处理后的固硫剂、粘结剂进行配料。

粉碎：配合好的混合料经皮带输送机送入粉碎机。

调和 粉碎后的混合料经皮带输送机送到调和机 调和的作用有两个 其一是将各种物料及粘结剂混合均匀 其二将物料调整至最佳的“成型特性”以利于提高成型率和强度。

成型 经调和后的成型料 通过皮带输送机送到成型机 根据持料的特性选择不面的成型压力，保证型煤的高强度和成型率。

固结：考虑到不同用户的需求，本工艺选择了两种固结方式，一种为先进的隧道式连续固结方式 热效率高 占地小 但投资较

高,另一种为固定床式固结方式,投资小,但占地较大。“湿型煤”固结后抗压强度可达每个 600N,可以满足运输和装卸的需要。烘干后的型煤可以包装或散装发送给用户。

气化用型煤生产工艺流程

气化用型煤主要用于水煤气两段炉、发生炉两段炉、发生炉等气化炉,其流程图如图 2-2 所示。

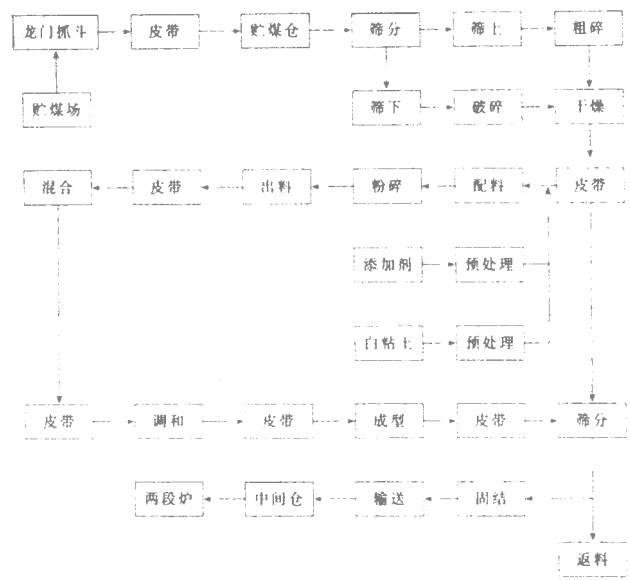


图 2-2 气化用型煤生产工艺流程

两段炉气化用型煤生产工艺流程说明：

备煤：原煤经火车运至贮煤厂，经龙门抓斗送至皮带输送机，由皮带机送到原煤贮仓。经过给煤机，皮带输送机将原煤送至振动筛。

筛分：原煤粒度上限大于 25mm，超过粉碎作业入料上限，为防止配料斗和粉碎机堵塞，保证生产正常进行，设置了筛分作业。原煤经振动筛后，将大于 25mm 的块煤筛出，直接送入破碎机。破碎后的原煤与筛下原煤一同经皮带输送机送至原煤干燥机。

原煤干燥：为了保证粘结剂加入量的准确度，设置了原煤干燥，干燥后的原煤经皮带输送机送至原煤配料仓。原煤干燥的热载体由燃烧炉供给 燃烧炉燃煤空气用鼓风机鼓入炉内 高温烟气用冷空气调至工艺要求的温度 直接进入滚筒干燥机 做为干燥热载体。原煤干燥后的热载体含尘高、颗粒细 为保证排出气体符合环保标准 采用两级除尘，一级为旋风除尘 二级为冲击式除尘。

配料 本工艺采用带式配料机 原料煤和粘结剂经配料机按规定‘配比’配合后 给入总配料带送至粉碎作业。

粉碎 配合好的原煤经皮带输送机送入粉碎机 粉碎后的煤料经皮带输送机送至‘混合调和作业’。

混合调和：煤料经皮带输送机给入双轴混合机并同时与粘结剂混合均匀 混合料排出经皮带输送机送入立式调和机 将混合料的‘成型特性’调整至质量高、成型率高的最佳状态。

成型 混合调和后的成型料 通过皮带输送机送到成型机 成型机设有料位计 可以通过手动和自动控制 根据物料成型特性调节成型机至最佳工艺，保证型煤成型率大于 98% 保证型煤具有高的冷强度。

热固结：‘湿型煤’由皮带输送机送入型煤热固结工段 先经固定筛均匀布料装置铺在 3.2m 宽的型煤热固结机上，热固结用的热载体由 4 台燃煤热风炉供给 经固结后的型煤其抗压强度由‘湿型煤’的每个 20~30N 提高到每个 610~850N 排出固结机的型煤经皮带输送机转载，钢网冷却带送入型煤贮仓。

3. 净化、气化性能指标和技术特点

(1) 固硫型煤净化指标和主要技术特点

净化指标

烟气黑度 <0.5 林格曼级

原始排尘减少率 70%

脱硫率 50%

NO_x 减少率 30%