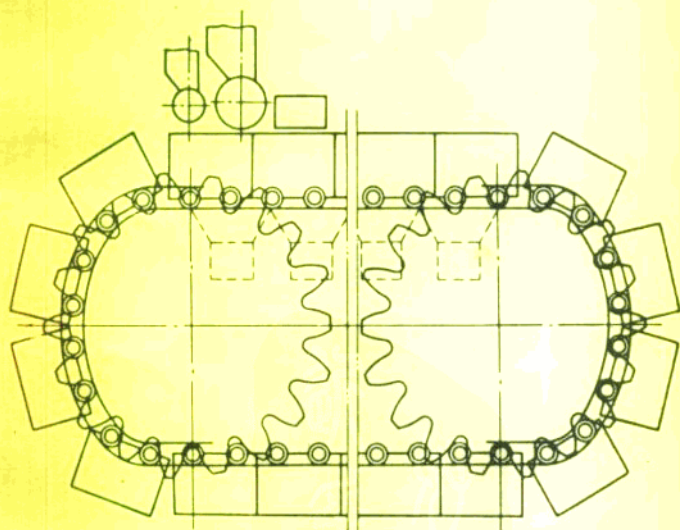


带式烧结机 新结构原理与设计计算

白明华 著



机械工业出版社

国家“七五”、“八五”重点攻关课题

机械部教育司基金支助课题

带式烧结机新结构原理 与设计计算

白明华 著

机械工业出版社

本书是一本关于冶炼设备领域中新型烧结设备方面的专著。本书论述了与目前使用的带式烧结机相对应的新型烧结机即无起拱带式烧结机的设计参数、新的传动及结构原理、试验及力学计算、应用实例计算。并论述了将现有烧结机改造成为无起拱烧结机的改造方案及计算实例。

全书内容自成体系,提供了全部有关参数及力学计算,可全面完成方案设计、技术设计。是作者多年教学、科研的总结。全书反映的新观点、新技术与相应的工程应用理论相互依赖,相互促进,相互发展,对工程应用具有指导意义。

本书可供冶炼设备及工艺专业的工程技术人员、科研人员、高等学校冶金设备专业的师生(含研究生)参考。

图书在版编目(CIP)数据

带式烧结机新结构原理与设计计算/白明华著. —北京:机械工业出版社, 1996

ISBN 7-111-05118-1

I. 带... II. 白... III. ①烧结机—结构—原理 ②烧结机—结构—设计 ③烧结机—结构—计算 IV. TF30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 033

出 版 人: 马 光 荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张一萍 版式设计: 张世琴 责任校对: 肖新民

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·7.875 印张·205 千字

0 001—1 000 册

定价: 14.00 元

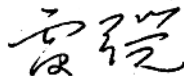
凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

序

本书内容是对一种新型冶金用烧结机构思的描述。通过将机器上“星轮”的齿数由奇数改为偶数，则可大大减小“台车”运动的加速度，使运动的轨迹更近于直线，以及减小运动中的冲击等。这些现象在书中称为“起拱”是烧结机中最有害的。特别值得注意的是，我们在机器的性能上得到了这样大的好处付出的代价却是零，很可能是微小的负值。这是因为我们获得的积极效果都是通过减少冲击和振动得来的，通过这些有害因素的消除，机器的寿命延长、能耗的减少都不是不可能的。

机械设计的佳作近年来出版很少。其原因则在于专业大企业对生产和设计过于垄断，弄得除了几家特大企业外，大家对设计都不敢问津。到今天除了俄利康、格利逊以外谁还敢谈曲线齿锥齿轮机床设计？但这种趋势对人类发展是不利的。经验当然在大企业身上，但广大设计专家则应该把专业设计的精力放在专业设计的工作原理上面。白明华教授走的路我感到是正确的。因为他对烧结机的原理吃透了以致能将齿数变一，便能使他设计的烧结机性能大为改变。这是不容易的。

中国科学院院士



1995年12月21日

前 言

本专著内容包括了作者多年的教学与科学研究总结,还包括作者负责完成的“七五”、“八五”三项国家重大技术装备科技攻关项目和三项发明专利的主要技术内容,以及一项机械工业部教育司预研基金项目。其中有的内容在《机械工程学报》、《钢铁》和《中国机械工程》等杂志上发表。这些阶段性成果的内容比较分散,不能形成一个完整的自成体系的内容系统,影响了科学技术转化为生产力的进展。为此,作者根据已发表和即将发表的论文、技术总结,加以整理、充实、提高、系统化,撰写成此书。

本书在东北重型机械学院副院长刘葆旗教授,机械工业部副总工程师汪建业研究员级高级工程师的推荐下出版,并由中科院院士、机械工业部总工程师雷天觉老先生作序。

在行文过程中,得到了作者的硕士研究生邱坤、刘洪彬、赵俊杰、岳晓丽等同志的热情帮助和支持,他们付出了很多辛苦的劳动。本书研究成果分几个阶段,其中作者挚友胡国清自始至终给予极大的帮助,在前期科研过程中白象忠、张起生、刘长荣、王志强等同志也做了很多工作。本书在构思过程中,对各章节的内容安排上,曾得到了西安重型机械研究所高级工程师余家龙、段升岗、张生宁、李淑贤等同志的热情指导、修改及帮助。特别是初稿的审阅修改,余家龙作了大量的工作。最后由北京科技大学施东成教授和作者专业的启蒙老师汪用澎教授级高级工程师审校定稿。

借本专著出版之际,一并致以由衷的谢意。

限于作者水平,书中疏漏及错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者 1995年8月

目 录

序	
前言	
第一章 绪论	1
第二章 新型、现型烧结机	4
第一节 概述	4
第二节 现型烧结机	5
第三节 新型烧结机	6
第四节 新型、现型烧结机的区别	8
第三章 新型烧结机基本参数公式的确定	10
第一节 基本参数公式的确定	10
第二节 风箱与机速的确定	14
第四章 烧结机台车列及弯道处台车力学分析计算	16
第一节 烧结机台车列受力分析及推力公式的确定	16
第二节 尾部星轮及弯道处台车受力分析及计算	42
第三节 头部星轮及弯道处台车受力分析及计算	58
第五章 烧结机台车起拱问题的研究	63
第一节 烧结机台车起拱原因分析	63
第二节 消除烧结机台车起拱的新途径	71
第六章 新型烧结机星轮及齿形	80
第一节 现型烧结机的星轮及齿形	80
第二节 新型星轮及齿廓曲线设计原理	81
第三节 新型星轮齿形基本参数的确定	92
第四节 计算实例	108
第五节 星轮齿强度计算	112
第七章 烧结机弯道设计	123

第一节	设计要求	123
第二节	计算模型的简化及弯道公式推导	124
第三节	计算实例	126
第八章	台车结构及强度计算	135
第一节	台车结构及运动啮合几何参数的确定	135
第二节	台车有限元计算	142
第三节	台车温度场的分析	166
第四节	计算过程	171
第五节	台车体强度的光弹性实验	172
第六节	结果分析	188
第九章	烧结机运动计算机模拟	210
第一节	齿形、弯道计算机绘图	210
第二节	台车在轨道上位置的确定	211
第三节	台车啮合运动模拟	227
第四节	整体烧结机运动模拟	229
第十章	烧结机传动及功率计算	233
第一节	烧结机运动阻力常规算法	233
第二节	烧结机运动原理试验及传动功率计算	234
第三节	新型传动装置简介	237
第十一章	中小烧结厂烧结机改造	240
第一节	中小型烧结厂烧结机改造目的	240
第二节	中小烧结机改造方案	240
结束语		243
参考文献		244

第一章 绪 论

一、烧结球团的任务及作用

烧结球团是整个钢铁工业生产中不可缺少的重要环节。烧结、球团生产的好坏、产量、质量的高低对钢铁业生产关系极大。随着钢铁工业的飞速发展，现有富矿石已远远满足不了冶金行业的需要。这样就必须采用含铁量较低的贫矿，而贫矿直接进入高炉冶炼是要消耗很多燃料，也是极不经济的，所以要对开采出来的贫矿进行破碎后经过选矿处理。选矿后的精矿，在品位上得到了提高，但其粒度是不符合高炉要求的（有时小于0.044mm的竟达90%以上），因此对于选矿后的精矿粉和开采出来的富矿粉以及对于铸铁屑、硫酸渣、轧钢铁皮和高炉灰，转炉尘都可以通过烧结后化害为利，作为高炉的原料——优质的人造富矿。

处理的手段是将它们造成适当的粒度和块度，处理的方法有烧结法、球团法、压块法及铁焦法。但是应用较多的是烧结法和球团法，所用的设备相应为烧结机和球团焙烧机。

二、烧结法、球团法定义

烧结法的定义：烧结法是将不能直接送入高炉的贫铁矿经过选矿得到的铁精矿粉，富铁矿在破碎、筛分过程中得到的粉矿和生产过程中回收的含铁粉料，以及熔剂和燃料等，按一定比例混合，借燃料燃烧产生的高温，使烧结料中的组分熔化并发生化学反应，冷却后粘结成块，再经破碎、筛分使之成为适于高炉冶炼的炉料的一种方法。这种方法叫烧结法，所应用的设备为烧结设备。其中的烧结机为烧结的主要设备。

球团法的定义：球团法是将粒度小于325目（0.044mm以下）细粒级按重量达60%以上或小于200目（0.074mm以下）的达90%以上的铁精矿粉中加入一定的粘结剂经过混合、造

球、干燥、预热等环节，最后焙烧成具有足够强度、还原性好的8~15mm的小球的方法，这种方法叫球团法，所用设备为球团焙烧设备，其中球团焙烧机为主要设备。球团焙烧机应用最多的是带式焙烧机，它与带式烧结机结构基本相同。

三、烧结球团设备的发展

烧结法和球团法所用的设备为烧结球团设备。烧结厂和球团厂的烧结机和球团焙烧机主要的机械设备是。它们从间歇式生产的烧结盘发展到今天连续式生产的带式烧结机，仅仅才经过了60~70年的时间。

世界上带式烧结机是在1906年开始设计的，至今已近90年的历史。1910年在英国诞生了世界首台带式烧结机（宽1.07m，长7.88m），面积仅为8.325m²，目前世界上最大的已投产的烧结机面积为600m²，现在已向自动化、大型化发展。烧结发展较快的国家有原苏联、日本、德国、法国等。原苏联发展得较快，但技术设备和工艺不够先进，日本、德国、法国等设备和工艺技术先进，自动化水平高，特别是日本，是当今世界上烧结技术发展最快的国家。

我国的烧结技术发展较晚。1953年由沈阳重型机器厂与东北有色金属设计院合作，根据原苏联的有关资料，为沈阳冶炼厂设计了我国第一台18m²烧结机，机型为尾部弯道式。1954年沈阳重机厂完成制造，同年投入生产。

新中国成立以后，烧结生产发展很快。1960年全国烧结机面积已达1529m²，当时最大的烧结机为75m²。70年代烧结工业发展迅速，全国已有50多个钢铁企业拥有烧结机，自行设计建造了130m²烧结机配套的烧结厂。80年代初从日本引进了450m²烧结机，现正在运行中。由我国西安重型机械研究所自行设计，富拉尔基第一重型机器厂制造的最大的烧结机及配套设备300m²带式烧结机，安装在马鞍山钢铁公司，1994年投入运行。

据不完全统计，截止1983年底，烧结机总台数中用于黑色

烧结的烧结机共有 152 台，至今的十余年间又投产了 134~450m² 的烧结机若干台。目前，估计总台数约为 200 台左右，总的年生产能力约在 150000kt 左右。

球团设备国内发展较慢，因为带式焙烧机台车承受的温度较烧结机台车承受的温度高，所需耐热合金钢较多，国内无一家正常生产。武钢 1970 年建成的两台 135m² 带式焙烧机，由于一直不能正常生产，现已拆除；1973 年包钢引进的 162m² 带式焙烧机生产一直未达到设计指标。1977 年遵义“八五”球团厂建成 80m² 带式焙烧机，至今亦未正常生产。

除有色烧结的几家工厂在正常生产之外，黑色带式焙烧机球团厂无一家生产正常，球团矿生产的主要来源均由竖炉和链篦机——回转窑生产。

第二章 新型、现型烧结机

第一节 概 述

烧结机是烧结厂的主要机械设备，它从间歇式生产的烧结盘发展到今天连续式生产的带式烧结机。

连续式烧结机有环式、带式之分。环式烧结机几乎没有得到发展，目前世界上只有极少数烧结厂采用，国内也曾有人设想进行研制，但没有正式进行。现今广泛采用的是带式烧结机。

带式烧结机从结构来区分，基本上有三种型式：即鲁奇式 (Lurgi)、麦基式 (McKee) 和考帕斯式 (Koppers)。

从结构型式来看，鲁奇式和麦基式基本相同，即头尾均设有相同直径的星轮，结构参数完全相同，其不同点是鲁奇式在尾部设有摆架（或平移架），尾部星轮设置在摆架（或平移架）上，并随其摆动（或移动），用来调整烧结机台车的热伸长所产生的烧结机星轮中心距变化的补偿。麦基式的调整装置设在烧结机的头部。而考帕斯式只在头部设有传动星轮，调整是在尾部采用热膨胀调节装置进行。

带式烧结机在国内外烧结生产中已普遍采用，并已成为主要的烧结设备，其结构较复杂，而且也十分的庞大。它由给料装置、点火装置、传动装置、轨道、台车、风箱、密封装置、机架等组成。它的工作过程是，在钢结构的机架上铺有台车行走的封闭轨道，其上排满了彼此靠近而又互相独立的台车。由传动装置带动的烧结机头部星轮将台车由下部轨道经头部弯道抬到上部水平轨道，星轮齿板推动台车卡轮，星轮不停的转动，连续转换到推动下一个被抬到上水平轨道的台车卡轮，这样就形成了后台车推动前台车，使整个台车列向烧结机机尾方向运动。在台车移动过程中，经过给料装置向台车铺底料、布料、点火抽风烧结。当

台车到达机尾后第二个风箱时烧结结束，并进入机尾，在尾部星轮齿板和尾部弯道的控制下卸下烧结矿。由于尾部星轮上一般挂有 4 辆台车，而且在台车上有一部分烧结矿的存在，使其对星轮中心产生一个较大的倾翻力矩，该力矩折算的推力又通过尾部星轮齿板推动刚过弯道摆平的台车卡轮，由于尾部星轮的不停转动，使得齿板又推动下一个刚摆平的台车卡轮，就这样，后台车推着前台车，使下轨道上的台车连续不断地向头部星轮运动。当运动到头部后，头部星轮齿板又推着刚进入头部弯道台车的卡轮，将其抬到上部水平轨道，如此反复进行。这就是烧结机机械方面的简单的运行状况。根据这种工作状况和要求设计烧结机的参数和结构。这也是本书由原始的经验设计、比照设计，走向解析设计和定性定量设计的出发点。

此外，本书为了叙述和分析的方便，作者暂且定义鲁奇式、麦基式和考帕斯式烧结机，也就是所有奇数齿的烧结机为现型烧结机，将本书所研究的烧结机，即偶数齿烧结机，也就是无起拱烧结机定义为新型烧结机。

第二节 现型烧结机

本章第一节概述中将鲁奇式、麦基式等烧结机定义为现型烧结机，该类烧结机在国内外烧结厂普遍采用。

该烧结机的特点是：星轮齿数为奇数，即 15、17、19、21 个齿等，并且烧结机在工作过程中，单辆台车的追赶运动和台车列的运动均由一个齿来完成。这样的星轮齿齿形是由几段圆弧或圆弧直线组成齿廓。当齿板与台车卡轮处于啮合运动状态时，台车列即产生了加速运动和减速运动。这就使得台车列在变速运动，因而台车列产生了惯性力。尽管加速度不大，但台车的质量很大，致使其惯性力也很大，同时随着星轮齿板压力角的变化使台车端部的压力也随之变化。这就是我们在烧结现场经常看到的台车列有缓冲运动的现象，特别是新投产的烧结机这种缓冲现象就更明显，如在 1994 年新安装在马鞍山钢铁公司的 300m^2 烧结

机, 这种现象十分明显。当齿形磨损以后, 这种现象稍有消减。这种现象就说明了惯性力的存在, 而且很大, 这是一种看不见的内力, 只有单辆台车拿出来进行分析时才能体现到此力。这是烧结机台车起拱的主动动力, 是台车正常运动的有害力, 是应该克服的力。该力不克服, 台车列缓冲式运动和台车起拱就无法消除。

烧结机星轮工作一段时间以后可自然磨合, 其原因是在设计基齿形和台车几何尺寸时, 都是圆整数字, 如台车长为 1、1.5m 等, 而在啮合过程中, 也就是星轮齿板与台车卡轮啮合时, 应满足一定的啮合原理, 否则台车列的运动将不连续, 这也是台车列有冲击运动现象的原因所在。

这类烧结机除齿形、台车不满足啮合运动之外, 其头尾弯道的设计也与台车在弯道处的运动配合设计不够理想, 其弯道多半是由圆弧直线相组合。然而由于设备较大, 每个星轮直径都在 3~5m 左右, 齿板长在 0.5m 左右。有些地方虽在设计上有误, 因齿板长, 所以也能控制住台车, 但由于在头尾弯道上运动的台车及齿板、弯道三者不相匹配, 在运动过程中经常产生有规律的撞击, 使之产生振动。

这类烧结机最突出的特点是: 尾部台车过尾部星轮中心刚摆平后, 在追赶过程中, 台车产生上抬起拱现象, 至使下台车列有数辆台车成锯齿状向头部星轮运动, 这使台车的底端角产生严重的磨损, 当返回上轨道装料烧结时产生有害漏风。这种起拱现象不可逆。其原因将在后续章节阐述。

第三节 新型烧结机

本章第一节将偶数齿烧结机称之为新型烧结机, 这种烧结机正是为了解决烧结台车起拱问题。而研制出的。见图 2-1。

该类烧结机的特点是: 星轮齿数为偶数, 即 14、16、18、20 个齿等, 并且烧结机在工作过程中, 单辆台车的追赶运动和台车列的运动分别由两个齿来完成。这样的星轮齿齿形是由单辆

台车追赶的加速齿形曲线方程给出，台车列的运动是由匀速齿形曲线方程给出，分别形成加速齿和匀速齿齿廓间隔排列的星轮齿形。当齿板与台车卡轮处于啮合运动过程中，只有过弯道刚摆平的单台车由加速齿推动实现单台车的加速运动，当它追赶上台车列以后，成为台车列最末一辆台车时，再由匀速齿推动实现台车列的匀速运动。由于台车列为匀速运动，且齿形压力角又为 0° ，则台车列无变速运动，即无惯性力，也无台车端部由于压力角的变化，而使其台车间的压力也产生变化的情况。台车的速度为恒速。台车间的作用力为恒推力。

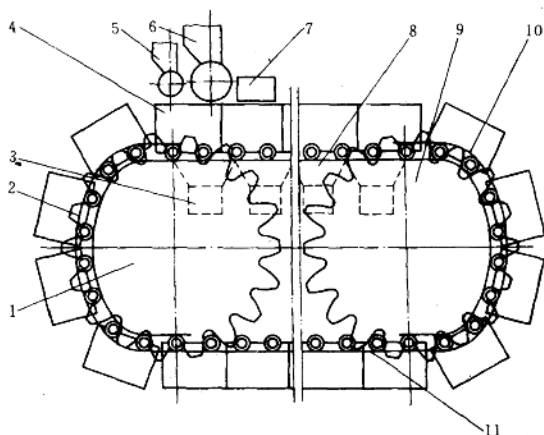


图 2-1 偶数齿烧结机示意图

- 1—头部星轮 2—头部弯道 3—风箱 4—上轨道最末台车
5、6—铺底料布料系统 7—点火器 8—上轨道 9—尾部星轮
10—尾部弯道 11—下轨道

偶数齿形烧结机的参数设计、结构设计都是与齿形方程有关，是考虑到正常的啮合运动而研究设计的，所有公式是解析式，而不是经验和作图所得到的。星轮齿板齿形、台车轮距及台

车长度是运动啮合的重要参数，在设计过程中可以调整，但设计确定后，不能随意改动，否则不能正常啮合。星轮中心距、头尾弯道也是由啮合相配合而设计的，均由解析方程给出，所以在应用本研究设计新型烧结机时，一定遵照公式计算进行，不能随意改变计算数据。如台车的长度可能是小数而不是整数，这样也不能圆整为整数，而在奇数齿烧结机设计中是经常取整的。

偶数齿形烧结机是以齿数为偶数而得名，但新型烧结机所指并不只是齿数为偶数，指的是无起拱烧结机。无起拱烧结机除了采用偶数齿啮合，实现台车列的匀速运动所必须的全部相匹配的设计依据，进而克服由于惯性力的存在使台车不起拱之外，还有一大特点——那就是在烧结机的尾部星轮轴上串联一套液压自动阻力矩装置。使该装置参与平衡尾部星轮的过剩力矩，消除由过剩力矩折算的推力施加给台车卡轮而使台车起拱这一事实。那么何为过剩力矩，何为液压阻力矩装置，如何消除由此而引起的台车起拱，这些内容正是本书的重点内容，均在后续章节阐述。

第四节 新型、现型烧结机的区别

本章第二、三节已论述了现型烧结机和新型烧结机的特点，它们本质的区别如下：

1) 现型烧结机头尾星轮齿数为奇数，而新型烧结机的头尾星轮齿数为偶数；现型烧结机星轮齿廓由多段圆弧或圆弧与直线组成，而新型烧结机的星轮齿廓是由加速与匀速齿廓曲线方程组成。

2) 现型烧结机单辆台车的追赶和上下台车列的运动都是变速运动，台车由变速运动产生的惯性力通过星轮齿施加给台车卡轮，由此而使台车产生起拱。而新型烧结机只能使单辆台车加速追赶，使台车列为匀速运动，无惯性力，台车由惯性力引起的起拱得以克服。

3) 现型烧结机尾部星轮力矩无法控制，折算的过剩推力很大，为此台车起拱不可逆，而新型烧结机尾部设有液压自动阻力

矩装置，自动调整推动下台车列所需推力，其中多余的过剩力矩由该装置所克服，并且需要说明的是，该装置对头部星轮的驱动电动机功率并无影响，所克服的（平衡的）是多余之力矩，可使台车由此而引起的起拱得到克服。

4) 现型烧结机台车起拱不可逆，只能采用压轨的方法在尾部星轮台车过弯道处设一压轨，压在台车车轮上，强迫其不起拱，但这样的长期运转、磨损，还会出现起拱，或出现锯齿状小拱。按本书设计的烧结机，起拱可以克服，能减少台车磨损，减少漏风率。

5) 现型烧结机发展较早，多数设计都是凭经验和对比进行。而新型烧结机全部设计系统较全面，而且是解析式，应用时（特别是经过运动试验、测试，且将所应用的设计公式归纳后）较实用、方便、易掌握，设计可在计算机上模拟进行。

第三章 新型烧结机基本 参数公式的确定

第一节 基本参数公式的确定

本节讨论的是烧结机总体设计时的基本参数，包括烧结机的有效面积（或称烧结面积）、台车数量、头尾星轮中心距。其它参数，如齿形参数、台车几何结构参数等均在相应章节中阐述。

一、烧结机的有效面积

在烧结机设计过程中，烧结机的有效面积是由生产工艺确定的，一般来讲，烧结机的有效面积与烧结机的生产能力相关。当烧结机的生产能力确定之后，其面积也就自然确定了。再根据有效面积选定一个适宜的台车宽度，然后算出烧结机的有效长度。一般来讲，设计小型烧结机时，台车较窄，采用的长宽比在过去取值较小，大约为 20 左右。随着生产技术的发展，4m 和 5m 宽的台车，长宽比分别达到 28 和 32。当烧结台车的宽度确定以后，烧结面积随烧结机长度的增加而增大，对台车的阻力、对星轮的刚度要求就越来越大。因此，一定宽度的烧结机台车只能适应于一定范围的烧结面积。另外台车宽度与单辊破碎机的长度是一致的，对一定宽度的台车，烧结机长度越长，单辊破碎机的转速越高，寿命越短。所以综合这两方面的原因确定烧结机最适宜的长宽比，也是应从小到大，也就是由原来的 $L/B=20$ ，现在已逐渐取到了大于 20 的值。表 3-1 为日立造船公司提出的烧结机长宽比的关系，表 3-2 为鲁奇公司和日立造船公司推荐的烧结机长宽比。

对于烧结机的有效面积计算，既要根据生产能力，又要遵循 L_s/B 之推荐值，其中 L_s 为烧结机有效长度， B 为台车宽度。 L