

Sinter Cooling Chamber_ A New Concept Under the Basic of Comparison Among Sinter Coolers

Baiqian Liu, Peilai Tan, Ligang Wang

Energy engineering department of University of Science and Technology Beijing, 100083, 30xueyuan Road, Haidian, Beijing, P.R.China

Abstract: The concept of sinter cooling chamber, a new sinter cooling equipment which might replace popular sinter cooling units, has been put forward. Design calculation shows that a 50t/h sinter cooling chamber can produce 550°C air nearly 40000Nm³/h, combine with sinter waste gas, 1500kW turbine could be drive, compared with popular equipment which could not generate electricity with recovered ~300°C higher or lower gas rationally. Electricity consumption level may at lowest level in all cooling equipment. Investment will be recovered within 4 years and 63 million net RMB benefit will get within 20 years operating life for a 24m² sinter.

Key word: sinter, waste heat, energy saving, sinter cooler

烧结矿冷却技术比较和冷矿炉概念的提出

刘柏谦 谭培来 王立刚

北京科技大学热能工程系 北京市海淀区学院路 30 号, 中国, 100083
E-mail: liubq@ustb.edu.cn

摘要: 提出一种可以替代环冷机和带冷机的烧结矿冷却流程。针对小型烧结机的设计表明, 冷矿炉可以实现高品位能量转化, 带动余热锅炉和发电机发电。与环冷机和带冷机相比, 冷矿炉的运行电耗处于最低水平, 计算投资回收期小于 4 年。初步估算, 冷矿炉工作寿命期间 1 台 24m² 烧结机烧结矿冷却可实现净利润 6300 万元。

关键词: 烧结机; 余热; 节能; 冷却机

1. 前言

2010 年 07 月 12 日中国工业和信息化部部长李毅中预计 2010 年全国钢产量将达到 6.2~6.3 亿吨, 创历史新高。图 1 给出了中国粗钢产量的直线上升发展历程。钢产量越高, 能源要求越高, 节能任务越重。

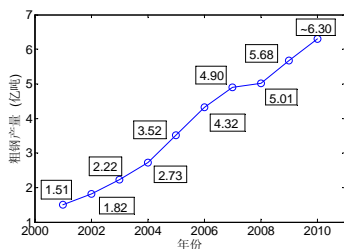


Figure 1. Crude Steel Production of China(2001~2010)
图 1. 中国粗钢产量变化

炼铁能耗占钢铁工业总能耗的~69.41%, 烧结能耗约占企业能耗的10%~20%, 仅次于高炉工序

[1]。中国先进烧结工艺与国外先进技术存在较大能耗差距(8kg标煤/t^产)^[2], 中国后进企业与先进企业之间的差距更大。

Table 1. Energy Consumption of Sinter Plant kgce/t^[3]
表 1 2008 年钢铁企业能耗对比数 kgce/t^[3]

	后进	先进	差值	倍数
烧结能耗	91.21	39.04	52.17	2.33

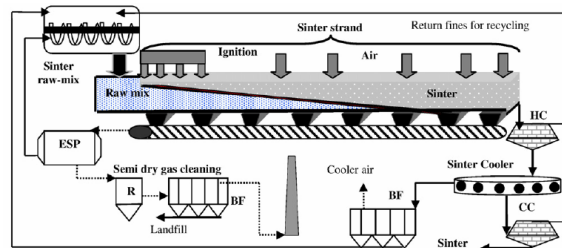
表 1 显示, 后进企业是中国烧结工艺能耗的木桶短板。烧结节能一方面需要研发新技术, 一方面需要提高后进企业用能水平。烧结是将炼铁原料加热到 1300~1500°C, 使粉料烧结成块状[4], 烧结矿离开时具有 700~750°C 高温, 目前采用的冷却装备主要是环冷机。

2. 常规烧结矿冷却装备和余热利用

烧结矿冷却主要是鼓风冷却、抽风冷却两种运

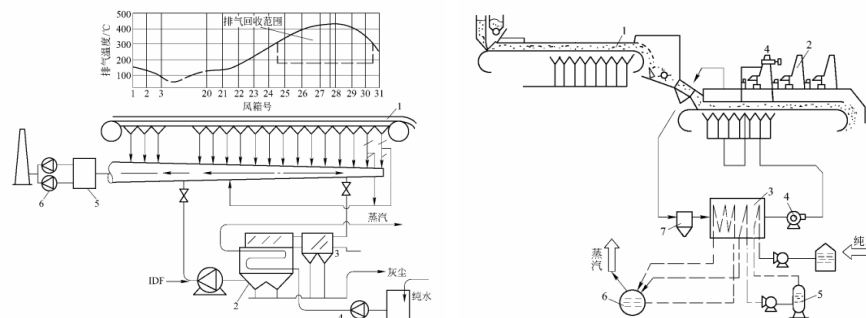
行方式，采用冷却设备或烧结机上冷却。文献[5-8]描述了高温固体与低温气体之间的对流换热。图 2 给出了烧结厂工序流程，显示了冷却机与烧结机的相对关系。

烧结机排出 300℃左右的废气^[9]，烧结矿温度介于 700~800℃之间。前者多用热管换热器回收；后者多用环冷机回收。



ESP-electrostatic precipitator; R-reactor; BF-baghouse filter; HC/CC-hot and cold crusher
Figure 2. Schematic view of the sinter plant^[10]

图 2. 烧结厂工序流程^[10]



(a) Sinter Machine and Waste Heat Boiler (b) Cooler and Waste Heat Boiler
Figure 3. Waste Energy Recovery System

图 3(a)烧结机余热回收过程(大分厂 2 号机) 图 3(b)冷却机遇热回收过程(和歌山 4 号机)
图 3. 典型的烧结机余热回收过程

图 3 摘自文献[14]。图 3(a)表示烧结机上值得回收利用的余热只有较少一部分；图 3(b)表示在冷却机上的余热回收过程。

却设备(图4)。由若干个扇形冷却台车组成一个圆环。烧结矿与台车之间没有相对运动。冷却台车下面，是固定在支架上的风箱，把水平的冷却面积分成几段。冷却风机数量根据冷却风量选择。环形冷却机设有烟罩，烟罩与冷却机之间实行密封。

1.1 环式冷却机^[9]

环冷机是现代烧结矿冷却应用最广的一种冷

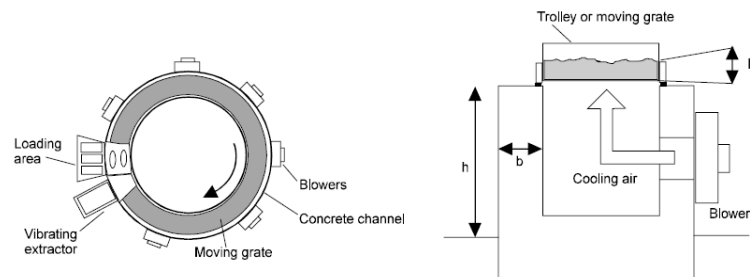


Figure 4. Scheme of a cooling bed.
图 4 环式冷却机平面图

1.2 带式冷却机^[12] 和机上冷却

带冷机是静料层抽风(或鼓风)冷却设备(图5)，实质上是一种向上倾斜、封闭的盘式运输机。在外

壳上装有烟罩，烟罩上部装有轴流式抽风机。冷却方式一般为抽风冷却。

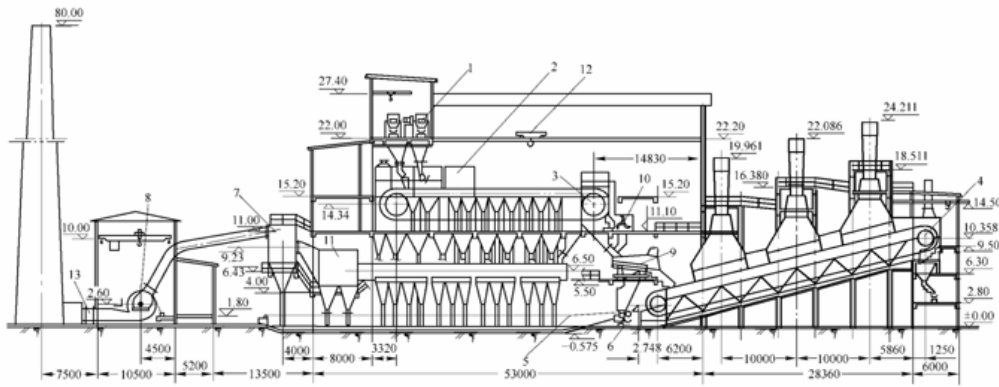


Figure 5. Schematic view of a 24m² sinter machine and sinter cooler

图5. 24m²烧结机与带冷机断面

1-Belt conveyer;2-Ignition furnace;3-Sinter;4-Sinter cooler;5-Chain conveyer;6-Material feeder;7-Multi-cyclone;8-Induced draft fan;9-Screen;10-Crusher;11-Dust collector;12-Crane

1-带式输送机; 2-点火保温炉; 3-烧结机; 4-抽风式带冷机; 5-水封拉链机; 6-返矿圆盘给料机; 7-除尘器; 8-抽风机; 9-热矿振动筛; 10-破碎机; 11-除尘器; 12-桥式起重机;

机上冷却本质上的延长机身长度，实现更长时间间的冷却，冷却过程见图 6。

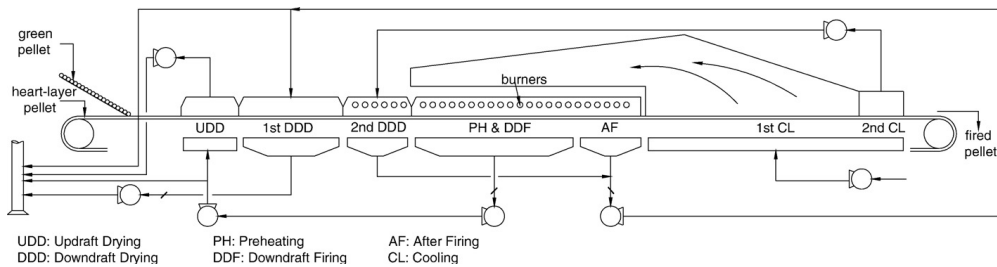


Figure 6. Sinter cooling on extend sinter machine

图 6. 机上冷却示意图

1.3 机械冷却技术

尽管技术已经“过关”，但现有烧结矿冷却设备仍存在比较明显的技术弱点。

- a. 占地面积大：不利于工厂的紧凑化生产。
- b. 机械故障点多：烧结矿的温度为700℃~800℃，现有条件下只能使用机械装置冷却。冷却装置在700~800℃和排矿温度间周期性变化，易出现机械故障，增加维护工作量。
- c. 投资成本高：由于大量使用耐高温金属构件和多个冷却风机，设备投资高。有些中小企业宁可自然冷却烧结矿也不上冷却机。
- d. 必须采用多个大容量风机；
- e. 冷却时间短，收集到的废热多属于中低品位能量，用于发电技术经济不合理。

2. 冷矿炉

2.1 冷矿炉的技术思想和系统构成

作者提出的一个概念装置。主要思想是构造不同的气体对流冷却过程。由于烧结矿形态和初始温

度、空气初始温度都已确定，提高烧结矿冷却效果主要依靠提高空气冲刷速度和延长气体与烧结矿之间的接触时间两项措施。前者受到风机压头的限制，后者受到装置体积的限制。

将常温空气加热到中高温带动汽轮机发电。与环冷机将大量气体加热到 300℃相比，加热到 550℃水平的中等数量的空气可供应中压过热蒸汽，带动小型汽轮机发电。图 7 是冷矿炉系统的构成和技术参数。

图 7 所示，50t/h 的 700℃烧结矿冷却到 120℃的热量可将 20℃空气加热到 550℃。热空气先将经过省煤器和两级蒸发器的蒸汽加热到可以带动汽轮机的蒸汽参数。然后将剩余热量传给加热汽水混合物的第一级蒸发器。空气离开第一级蒸发器时设计上保留 305℃温度水平，以便与其它烧结机余热^[5-13]汇合形成足够量的 300℃热源供应其下游的第二级蒸发器和省煤器。循环水泵供应的冷水首先经过省煤器将水加热到饱和水温度，第二级蒸发器负责将饱和水加热成一定含汽率的汽水混合物，进入

第一级蒸发器后将汽水混合物加热成饱和蒸汽。最后在过热器中达到设计参数。图 7 中的 231℃是考

虑工质管道压降为工质焓值预留出的温度值，对应 2.9MPa 压力的饱和温度。

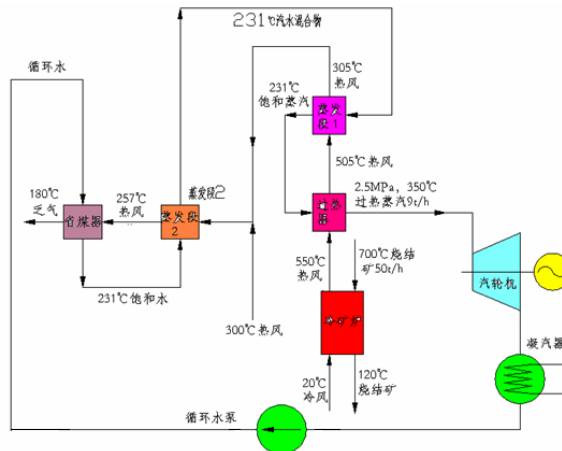


Figure 7. Sinter cooling chamber and its power generation system
图 7.冷矿炉及其发电系统示意图

2.2 冷矿炉与冷却机的性能比较

与环冷机和带冷机相比，冷矿炉在技术上显示两个明显优势。

一是可以明显节约运行电耗。以小型装备为例，50t/h 烧结矿冷却使用的环冷机至少使用 3~4 个电机(>400kW)，冷矿炉只用 2 台风机，实际设计选用的风机和水泵功率约为 130kW，带动 1500kW 发电机。表 1 给出三种冷却装置的技术性能比较。

二是具有更高的发电效率。环冷机获得的热风温度最高为~400℃(见图 3a)，即使采用双压余热锅炉，也最多生产次中压蒸汽，其发电效率比较低。而冷矿炉可以生产 600℃热风，可以生产中高压蒸汽。

图 8 给出蒸汽初参数和背压对理想朗肯循环效率的影响。蒸汽压力越高、背压越低、蒸汽过热度越高则循环效率越高。对中低压蒸汽，压力变化很小循环效率就会大变。

某 360 m² 烧结机 1[#]烟道 400℃ 烟气量 38×10⁴Nm³/h；2[#]烟道 300℃ 烟气量 38×10⁴Nm³/h。双压余热锅炉，1.96MPa/380℃ 蒸汽产量 49t/h，0.49MPa/235℃ 蒸汽产量 19t/h。如果改用冷矿炉回收热量，并假定烧结矿 700℃，烧结矿产量 3Mt/a。假定烧结机年工作 320 天，理论上可生产 3.9MPa/350℃ 过热蒸汽 88.35t/h。与环冷机余热回收相比，不仅回收的热量多，回收热的品位也高，预示着发电效率的提高。

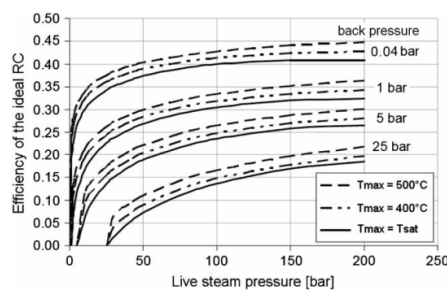


Figure 8. Influence of maximum pressure, maximum temperature and back pressure on the efficiency of an ideal RC.
图 8. 最高蒸汽压力、最高温度和背压对理想朗肯循环效率的影响^[15]

Table 1. Comparison of electricity among three cooling process^[11-12]
表 1. 烧结矿三种冷却方式电耗比较^[11-12]

	烧结机	冷却机	冷烧比	冷矿量	风机数	总功率
鼓风带冷机	24m ²	34m ²	1.42	55t/h	3	120×3=360kw
抽风带冷机	24m ²	38m ²	1.58	40t/h	3	150×3=450kw
抽风环冷机	24m ²	50m ²	2.08	50t/h	3	155×3=465kw

冷矿炉	50t/h	1 鼓风机	40kw
		1 引风机	40kw
		其他电耗	50kW

3. 冷矿炉的技术经济分析

烧结机是连续工作的高寿命装置。烧结机的工作时间按 320 天考虑^[3]。按工业电价 0.5 元/kWh 计算，发电可实现 576 万元/a。设备年电耗成本 130×7680×0.5≈50 万元。折旧和维护费按投资的 4%/a 计，60 万元/a；管理和操作人员按 30 人考虑，年均工资 2.5 万/人，75 万/a；年成本 186 万/a。装置设计寿命 20 年。

投资回收期：初步投资 1500 万。
1500/(576-186)=3.846 年。每台装置可实现利润 6300 万元。

4. 结束语

用冷矿炉回收烧结高温烧结矿余热，可以获得高品位烟，用来发电实现高质量的能量转化。针对一台 24m² 烧结机的设计显示，装置可以实现发电、供热等多种能量供应。

这种装备具有经济效益显著、投资少、系统简单、占地面积小、投资回收期短等显著优点。

References (参考文献)

[1] Xu Guoqun. Current Status and Development of Waste Heat Recovery at Sintering Plants [J], *Journal of World of Iron and Steel*, 2009No.5
徐国群, 烧结余热回收利用现状与发展, 世界钢铁, 2009 年第 5 期 pp27-31

[2] Cai Jiuju Wang Jianjun Chen Chunxia Lu Zhongwu. Recovery and Utilization of Waste heat of Iron and Steel Industry[J], *Journal of Iron and Steel*, Vol.42, No.6, 2007.6
蔡九菊, 王建军, 陈春霞等, 钢铁企业余热资源的回收与利用, 第 42 卷第 6 期 2007 年 6 月 钢铁

[3] http://www.chinasie.org.cn/newmore_tb.asp?id=16209

[4] Zhao Bin Lu Xiaowen Zhang Weiran. Research on Power Generation Technology of Integrated Sintering Waste Heat Recovery and Step Utilization[J], *Journal of Sintering and Pelletizing*, Vol.34, No.4, 2009.8

赵斌, 张蔚然, 路晓雯等. 烧结余热集成回收与梯级利用发电技术研究, 烧结球团第 34 卷第 4 期 2009 年 8 月

[5] P. M. Pelagagge, A. C. Caputo and G. Cardarelli, COMPARING HEAT RECOVERY SCHEMES IN SOLID BED COOLING, *Applied Thermal Engineering* Vol. 17, No. 11, pp. 1045-1054, 1997

[6] Antonio C Caputo, Pacifico Pelagagge, Economic design criteria for cooling solid beds, *Applied Thermal Engineering* 21(2001)1219~1230

[7] P. M. Pelagagge, A. C. Caputo and G. Cardarelli, OPTIMIZATION CRITERIA OF HEAT RECOVERY FROM SOLID BEDS, *Applied Thermal Engineering* Vol. 17, No. 1, pp. 51-64, 1997

[8] A. C. Caputo, G. Cardarelli and P. M. Pelagagge, ANALYSIS OF HEAT RECOVERY IN GAS-SOLID MOVING BEDS USING A SIMULATION APPROACH, *Applied Thermal Engineering* Vol. 16, No. 1, pp. 89-99, 1996

[9] Zhang Yuzhu Hu Changqing. Energy conservation and Process calculation for Iron making[M], Beijing: metallurgy industry Press, 2002.6
张玉柱 胡长庆编著《炼铁节能与工艺计算》冶金工业出版社, 2002.6

[10] Ana-Maria Iosif, Francois Hanrot, Denis Ablitzer, Process integrated modeling for steelmaking Life Cycle Inventory analysis, *Environmental Impact Assessment Review* 28(2008) 429-438

[11] Group Edited. Sinter Process[M], Beijing: metallurgy industry Press, 1981.1
本书编写组. 烧结矿生产[M]. 北京. 冶金工业出版社. 1981.

[12] Group Edited. Design Reference material for Sinter[M], Beijing: metallurgy industry Press, 1973
本书编写组. 烧结设计参考资料[M]. 北京. 冶金工业出版社. 1973.

[13] Wu Songcai Dai Baocai. Operation Achievement of Angang blast Straight sinter cooler[J], *Journal of Sintering and Pelletizing*, 1994, No.2
吴松才, 戴保才, 安钢 34m² 鼓风带冷机的生产效果, 烧结球团[J]1994-2, 58

[14] Ferrous metallurgy Institute edited. Design manual book for Sinter[M], Beijing: metallurgy industry Press, 1990
冶金部长沙黑色冶金矿山设计研究院编《烧结设计手册》冶金工业出版社, 1990.2

[15] M.Badami, M.Mura, Preliminary design and controlling strategies of a small-scale wood waste Rankine Cycle with a reciprocating steam engine, *Energy* 34(2009)1315-1324