

Diagnostic Heat Consumption Reduction in VSK Plants

水泥立窑

热耗诊断 的理论 **技术和实践**

张 洪 赵慰慈 范圣良 张英杰 编著

中国矿业大学出版社

责任编辑 王江涛 潘俊成

封面设计 陈文超

Diagnostic Heat Consumption Reduction in VSK Plants

ISBN 7-81107-226-2



9 787811 072266 >

ISBN 7-81107-226-2/TQ·1 定价: 200.00 元(含光盘)

Diagnostic Heat Consumption Reduction in VSK Plants

水泥立窑

热耗诊断 的理论 技术和实践

张 洪 赵慰慈 范圣良 张英杰 编著

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水泥立窑热耗诊断的理论技术和实践 / 张 洪, 赵慰慈,
范圣良, 张英杰编著. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2005. 11
ISBN 7 - 81107 - 226 - 2

I. 水… II. ①张…②赵…③范…④张… III. 水泥
—竖炉—煅烧系统—窑炉热效率—研究 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 129769 号

书 名 水泥立窑热耗诊断的理论技术和实践

编 著 者 张 洪 赵慰慈 范圣良 张英杰

责任编辑 王江涛 潘俊成

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail:** cumtpvip@cumtp.com

印 刷 淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×960 1/16 **印张** 15.5 **字数** 280 千字

版次印次 2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

定 价 200.00 元(含光盘)

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

序 一

水泥是经过 $1\,350\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1\,450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温煅烧制成的水硬性材料,因此水泥工业也可称为窑炉工业。就其传热方式,水泥立窑是最佳的窑炉设备。由于烧成用煤与生料一起粉磨,均匀地分布在每一个料球之中,主要靠边燃烧边传热、传导传热的方式完成烧成过程,比主要靠辐射、对流传热的回转窑优越很多。立窑的窑体表面热损失也大大低于回转窑。但目前的立窑生产水平,还没有真正展示出立窑应有的高热效率水平。

张洪教授在开发推广生料热量测定仪的基础上,经历了4年的时间,对全国100多家立窑水泥厂的熟料热耗进行了分析,发现生料配热先进与落后相差很大。最先进的企业充分发挥了立窑热效率高的优点,配热只有 $430\times 4.18\text{ kJ/kg}$ 生料,差的高达 $650\times 4.18\text{ kJ/kg}$ 生料,甚至更高,一般比较先进的企业也在 $550\times 4.18\text{ kJ/kg}$ 生料左右。张洪教授对造成热耗如此大的先进与落后的差异,进行了内因和外因的科学分析。内因主要是由生料易烧性的难易造成的,外因主要是煤粉化学不完全燃烧、熟料带走热损失、烟气带走热损失和操作方式等。并研制开发了简单易行、操作方便的测定仪器。

张洪教授的分析方法是科学的,抓住了内因(易烧性)、外因(化学不完全燃烧)和出窑熟料温度的主要矛盾,并结合每个厂的具体情况,有针对性地提出解决措施。实践证明,经过诊断的企业都收到了明显的效果,这对提高立窑水泥企业的科学管理和操作水平、降低能源消耗,都具有普遍意义。立窑水泥企业可用这种方法进行“自我诊断”、“自我治疗”,确保科学、合理地生产。无论是热耗高达 $1\,000\times 4.18\text{ kJ/kg}$ 熟料的一般水平,还是已经达到 $850\times 4.18\text{ kJ/kg}$ 熟料左右先进水平的立窑水泥企业,降低热耗的空

间都很大。只要把因化学不完全燃烧的 CO 含量,从 10% 左右降低到 3% 以下,则降低热耗 $(50 \sim 100) \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 熟料,把立窑熟料热耗的先进水平从目前的 $800 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 熟料左右降低到 $700 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 熟料左右是完全可能的。

我国水泥工业正处在产业结构调整时期,随着新型干法水泥的快速发展,立窑水泥退出数量上的主体地位,已成为我国水泥工业发展的必然。但根据我国现阶段的国情和国民经济发展水平,在今后相当长的历史时期里,我国水泥工业的企业结构,将是以大型企业为骨干、中小型企业为基础的大中小相结合的企业结构。新型干法水泥生产技术是大化技术,是大型水泥企业的适用支撑技术;现代立窑生产技术是中小水泥企业的适用支撑技术。因此立窑水泥企业还有生存发展空间,尤其是水泥市场容量较小的区域,有着新型干法不可取代的优势。推动立窑水泥生产的技术进步,加速立窑水泥企业的技术升级换代,不仅是提高立窑水泥企业竞争力的需要,也是优化水泥产业结构的需要。张洪教授等编著的《水泥立窑热耗诊断的理论技术和实践》一书对促进立窑水泥生产的技术进步和优化水泥产业结构都将产生积极意义。

中国水泥协会名誉会长
原国家建材局副局长

李俭之 教授

2005 年 11 月

序 二

水泥主要依赖于燃煤煅烧,每吨熟料煤耗约 150 千克。据资料显示,2004 年全国生产水泥 9.7 亿 t,消耗煤炭 1.5 亿 t,占全国煤炭总产量的 7.6%。因此,降低煤耗是水泥界十分关注的热点,各企业纷纷寻求降低煤炭消耗的方法与途径。由于多数企业苦于无从下手,不知从何做起,事倍功半,加之企业之间工艺设备等条件差异,抓不到主要矛盾,均收效甚微。

此书作者张洪教授等,考虑到立窑水泥工艺特点,从理论和实践上对水泥立窑煤耗进行了深入研究和剖析,总结了大量的数据和经验,具有独特的见解。本书是水泥企业管理和工程技术人员必读之作,起到“授人以渔”的效果。

北京市平谷区水泥二厂今年初派两名工程技术人员参加了作者举办的立窑热耗诊断学习班,回来之后按其诊断结论进行了工艺指标调整。结果水泥熟料耗煤大大降低,立竿见影,节煤达到 15% 以上,初步预算年节约实物煤约 11 250 t,企业受益匪浅。所以我带着对张教授感激之情,十分荣幸地为本书作序,同时也愿意为我的同行推荐本书,以期从中受益。

中国水泥协会立窑研究会副会长
北京平谷水泥二厂厂长

陈宗武 高工

2005 年 11 月

前 言

煤炭价格飙升,热耗已经成为制约立窑水泥厂竞争力的关键因素之一;资源不可再生,创建节约型社会,热耗也关系到国家能源安全问题。我们从1999年就注意到并开始研究全国各地立窑水泥厂热耗高低的产生原因,2001年提出诊断原因及相应措施。经过4年的研究及2年的实践,证明了这个理论的正确性。我们举办的多次水泥立窑热耗诊断培训班均反响强烈,大家普遍觉得真正掌握了立窑热耗影响原理,应用于实践取得了良好的降耗效果。本书就是这个思想的分析和阐述,也是试验和实践的总结报告。书中还结合水泥工艺理论对相关措施进行了深入剖析,目的是让读者真正理解原理,而不仅仅模仿做法,希望起到“授人以渔”的效果。

感谢1999~2003年四届本科生的辛苦劳动,其中特别值得提出的是张英杰、胡雨、王兰贵等同学的杰出工作。感谢分析测试中心王超高级工程师和研究生李梅、孙明、莫言学提供了X衍射和热重分析试验。

感谢水泥厂同仁毫无保留地提供技术资料和经验,其中包括福建龙岩水泥质检站邱东山主任、山东枣庄建材研究所尹旭所长、安徽蒙城万佛塔水泥有限公司刘杰副厂长、山东榴园水泥有限公司李明亮主任、辽宁本溪山城水泥厂张云波副厂长、安徽东关水泥厂程志源先生等。

本书第一、二、四、五、八章由张洪编写,第三章由张洪、张英杰共同编写,还邀请了在立窑窑体材料方面有着丰富生产和安装经验的浙江圣奥耐火材料公司范圣良总经理编写第六章,邀请了从事小水泥热工标定工作多年的国家建材局生产力促进中心赵慰慈高工编写第七章。不同作者从不同角度对同一问题的探讨有助于读者全面掌握相关知识。全书由张洪统稿。

本书承蒙中国水泥协会名誉会长李俭之教授和中国立窑研究会副会长、北京平谷水泥二厂陈宗武厂长赏识并撰写序言,这里深表感谢。

由于时间仓促、理论水平有限及实践经验缺乏,本书难免有疏漏之处,希望读者能根据自己的经验和理论提出修改意见,以便再版时修订。

电子信箱:h Zhang@cumt.edu.cn

电话:0516-83884082、83995018

传真:0516-83991167

张 洪

2005年10月25日

目 录

序一	李 俭 之
序二	陈宗武
前言	张 洪
第一章 立窑热耗诊断的思路及原理	1
第一节 降低立窑热耗——空间大、效益高	1
第二节 热耗现象——千奇百怪,令人困惑	2
第三节 经验分析法——迷失在热耗迷宫中	3
第四节 诊断分析法——降低热耗,走向科学	4
第五节 实例分析	6
第二章 生料发热量—熟料热耗的科学评价方法研究	12
第一节 测定生料发热量的意义	12
第二节 无机矿物对煤炭发热量的影响	14
第三节 生料发热量测定方法在水泥生产中的应用	22
第四节 发热量测定中的几个问题	29
第三章 影响热耗的内因——易烧性研究	35
第一节 易烧性的研究方法	35
第二节 研究易烧性的现代分析手段	41
第三节 影响易烧性的因素	43
第四节 改善易烧性的方法	53
第四章 影响热耗的外因之一——化学热损失研究	69
第一节 化学不完全燃烧热损失的计算	69
第二节 烟气取样方法及设备	70
第三节 烟气成分分析原理及技巧	73
第四节 降低化学不完全燃烧热损失的措施	77

第五章 影响热耗的外因之二——物理热损失研究	115
第一节 降低烟气带走热的方法	115
第二节 降低窑体表面散热的方法	119
第三节 降低熟料带走热的方法	119
第六章 立窑的砌筑材料和方法	125
第一节 优化窑衬材料的作用	125
第二节 评价耐火材料的主要技术指标	126
第三节 立窑用耐火材料的要求和选择	130
第四节 立窑窑衬施工方法	138
第七章 立窑热工标定和监控方法	142
第一节 机械化水泥立窑热工测量和计算	142
第二节 水泥立窑热工仪表的分类	157
第三节 水泥立窑热工仪表在生产中的应用	166
第四节 水泥立窑的热经济问题	182
第八章 热耗诊断实例分析	195
第一节 诊断改造案例	195
徐州京运水泥有限公司立窑热耗诊断及技改情况	195
徐州青大水泥厂立窑热耗诊断及技改情况	199
第二节 现场诊断案例	203
山东榴园水泥有限公司立窑热耗诊断分析	203
福建龙岩西陂水泥厂立窑热耗诊断分析	209
四川双流县水泥厂立窑热耗诊断分析	212
第三节 远程诊断案例	218
新疆喀什飞龙水泥有限公司立窑热耗远程诊断分析	218
北京平谷水泥二厂立窑热耗远程诊断分析	221
第四节 原燃料特性研究案例	225
湖北黄石第七水泥厂石灰石易烧性研究	225
参考文献	234

第一章 立窑热耗诊断的思路及原理

本书将从全新的角度来探讨降低热耗方法,目的在于帮助广大水泥工作者掌握热耗诊断技术,并提出有效、可行的降热措施,使热耗降至 $850 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 熟料以下。

第一节 降低立窑热耗——空间大、效益高

通常煤炭消耗约占水泥生产成本的 25%,但由于近年来煤矿重大安全事故频繁发生,国家对小煤窑采取彻底关闭政策,煤炭供应紧张,无烟煤全国平均价格已由 2003 年的 150~200 元/t 上涨到目前的 400~500 元/t;另外,由于新型干法水泥生产线相继投产,水泥总产量急剧提高,水泥产量总体供大于求,导致水泥价格低迷。二者综合,目前煤耗成本占到整个水泥生产成本的 40%,热耗已成为决定水泥厂竞争力的关键因素。

我国煤炭探明储量 1 886 亿 t,人均储量 145 t,仅能维持不到 100 年的消耗。立窑生产水泥煤耗平均水平高出新型干法 30% 左右,仅此一项不仅使立窑生产水泥成本增加 15 元/t,而且每生产 1 t 水泥要多消耗煤炭 38 kg。2004 年全国立窑生产水泥 9 亿 t,浪费煤炭 3 400 万 t,相当于 20 个大型煤矿的煤产量。因此,降低水泥生产能耗不仅能提高企业的竞争力,也是创建节约型社会的重要环节,关系到国家能源安全问题,具有重要意义。

立窑水泥生产普遍采用全黑生料生产工艺,生料的发热量是水泥生产煤耗的直接反映,生料发热量高低也直接决定了水泥煅烧的温度。为了解决立窑水泥煅烧不稳定难题,1996 年我们开始研究生料配热量的测定方法,创造性地解决了氧弹法测定生料发热量的三大难题,使得生料发热量测定重复性误差控制在 $15 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ (按水泥厂习惯为 15 大卡/公斤,下同)之内,对水泥生料中的碳酸盐、粘土等无机矿物分解热进行自动校正,研制的多用热量测定仪操作简单、方便,故障率低,适应水泥厂环境能力强,在全国广泛推广使用。

立窑生料发热量测定难题的解决,不仅从根本上解决了立窑稳定煅烧

难题,还使得全国各地水泥厂有了立窑热耗的统一比较基准。因为该方法测定出的生料煤炭放热量,除包括煤炭的发热量外,还包括如硫铁矿、煤渣等其他放热量,结果反映了立窑水泥生产的真正热耗。表 1-1 和表 1-2 分别是 1999 年和 2004 年部分立窑厂的生料发热量。

表 1-1 1999 年部分立窑厂的生料发热量 $\times 4.18 \text{ kJ/kg}$

厂 别	山东榴园	徐州二水	徐州京运	滕州官桥	福建路达	安徽蒙城	新疆喀什
$Q_{\text{net,ad}}$	720	724	628	601	445	832	850

表 1-2 2004 年部分立窑厂的生料发热量 $\times 4.18 \text{ kJ/kg}$

厂 别	山东榴园	安徽蒙城	徐州京运	本溪山城	福建天宇	四川眉山
$Q_{\text{net,ad}}$	530	540	520	510	438	540

1999 年我们就注意到全国各地立窑生料发热量差别极大,全国生料发热量大多在 $(600 \sim 650) \times 4.18 \text{ kJ/kg}$,而在福建龙岩和广东东莞地区,他们生料发热量仅为 $450 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 左右,贵州、湖北、新疆、陕西部分厂家的生料发热量则达到了 $850 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 。

以煤炭价格 330 元/t、水泥生产规模 20 万 t/年计算,立窑生料发热量只要降低 $10 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$,一年就可节约成本 12 万元,节约煤炭 360 t。如果一个 20 万 t 立窑水泥厂生料发热量由 $630 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$ 降低到全国生料发热量最先进水平 $450 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$,则每年可节约成本 216 万元,节约煤炭 6 500 t;达到先进水平 $500 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$,则每年节约成本 156 万元,节约煤炭 4 600 t;即使达到一般先进水平 $550 \times 4.18 \text{ kJ/kg}$,每年也可节约成本 96 万元,节约煤炭 3 000 t。

所以,立窑热耗降低空间大,经济效益和社会效益高。

第二节 热耗现象——千奇百怪,令人困惑

多用热量测定仪在全国各地的广泛推广使得我们有机会观察到全国各地热耗的惊人差别,并从中发现了以下用水泥工艺原理难以解释的现象。

- 管理良好的厂热耗常远远高于管理较差的厂;
- 生产规模大的厂热耗常高于规模小的厂;
- 立窑暗火操作的厂热耗常高于浅暗火操作的厂;

- 生料细度细的厂热耗高于细度粗的厂；
- 同样立窑改造，有的厂效果明显，而有的却没有效果。

管理良好的厂，各种化验分析项目齐全，结果准确，原燃料质量稳定，连晒场都整理得横平竖直、井井有条，入窑成分合格率高，但热耗却高于那些看起来管理混乱的小厂。研究水泥的人走近水泥厂远远地观察立窑烟气，如果浓烟滚滚，那么认定是暗火操作，烟气带走热低，以为热耗一定低，实际结果往往并非如此。固相反应原理告诉我们，固体颗粒越细，反应越快，热耗应该越低，而我们发现不少水泥厂生料细度粗，热耗却不高。更有不少水泥厂按照其他厂成功经验进行窑改，结果改造费没少花，就是达不到预期效果……

经过研究后我们认为，出现上述看似难以理解的现象实际上是正常的，因为热耗影响因素错综复杂，某一方面的现象相同，更多的其他方面因素不同，结果都会有天壤之别。水泥生产中影响热耗环节的因素现简单列举如下。

• 矿化剂、催化剂、微量元素 (K_2O 、 Na_2O 、 MgO 、 FeO 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 BaO 、 ZnO 、稀土元素等)。

- 原料反应活性，如石灰石晶体结构、粘土质原料中石英含量。
 - 配料方案 (KH 、 n 、 p)。
 - 生料细度 (0.2 mm、0.08 mm) 及颗粒级配。
 - 入窑成分合格率。
 - 燃料的挥发分、来源、粒度及级配。
 - 配煤工艺：半黑、全黑、差热。
 - 料球质量：大小、粒度、强度、气孔率、爆破率。
 - 立窑看火操作方式：暗火、浅暗火、明火；连续、间歇。
 - 窑体结构：喇叭口高度和角度、倒喇叭口的形状及位置、保温层材料和厚度。
 - 通风：风机类型、风量、腰风、调风方式、全风率、塔篦类型。
- 具体因素分析将在后面章节阐述。

第三节 经验分析法——迷失在热耗迷宫中

水泥厂降低热耗通常采用传统的经验分析法。经验分析法是指水泥工作者运用多年积累的经验判断原因并提出降低热耗的具体方法。

这是一种目前广为应用的方法。实际上,研究热耗的资料丰富,但几乎所有的研究者都就影响热耗的某一个或几个方面进行相当深入的研究,而很少有人把所有这些因素综合起来研究。热耗影响因素太多,结果相同,产生原因却各不相同。水泥生产一线的技术人员对影响热耗的各种因素虽有自己的认识,但由于经验、知识的局限,习惯性地会把所遇到的问题从自己熟悉的专业知识方面来找原因及解决办法,却分不清哪些因素是影响一个特定厂热耗水平的主要原因。比如,一个擅长配料的化验室主任总是试图从改进配方方面来降低热耗,而一个懂设备的副厂长更可能会从设备改造方面来着手。

显然,经验分析法的有效运用需要技术人员知识全面、经验丰富,否则难以脱离对某一个或几个因素的孤立研究,陷入盲人摸象的困境,从而可能导致盲目改造、劳民伤财的结果。

鉴于此,我们提出下述科学诊断方法。

第四节 诊断分析法——降低热耗,走向科学

一、普遍存在的 80/20 效率法则

1897 年意大利经济学家帕累托(Vilfredo Pareto, 1848~1923)在他从事经济学研究时偶然注意到 19 世纪英国人财富和收益模式:财富在人口中的分配是不平衡的,大约 20%的人口享有 80%的财富。80/20 就是这种关系的简称。

后人发现,在商业界和人们日常生活中到处呈现 80/20 法则(图 1-1)。

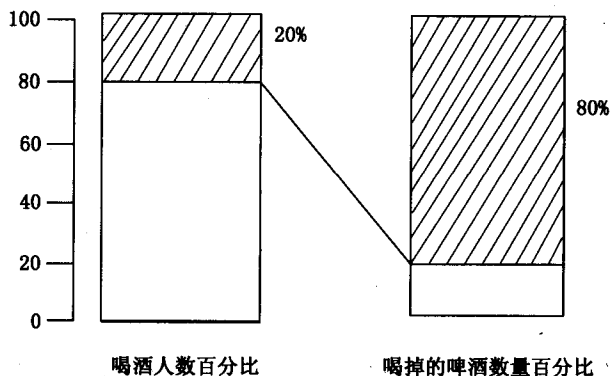


图 1-1 80/20 效率法则无处不在

- 20%的产品产生 80%的销售额;

- 20%的驾驶员制造了 80%的交通事故;
- 20%的人掌握了 80%的财富;
- 家中地毯 80%的磨损在 20%的区域;
- 一个单位 20%的人创造了 80%的价值。

80/20 效率法则告诉我们,在原因和结果、投入和产出以及努力和报酬之间,本来就是不平衡的,这个道理普遍适用。同样,对于立窑改造,不抓住问题关键,盲目改造必然劳民伤财,而抓住最重要的关键 20%,就能产生 80%的效果,收到事半功倍的效果。我们对水泥厂热耗诊断便是从这个思想出发的。

二、诊断分析法

我们在研究了全国各地立窑水泥厂实际数据、分析原因的基础上,于 2000 年提出了科学诊断法降低热耗的构想,其基本思想是:虽然热耗影响因素很多,但其中 20%因素决定了 80%的热耗水平,通过现代分析测试手段对立窑进行全面的分析研究,从复杂的多种因素中诊断出主要因素,进而有针对性地找到解决问题的对策。

具体地说,将影响热耗的因素分为内因和外因两大类,如图 1-2 所示。内因即易烧性,原料的反应活性、配方、矿化剂及微量元素、生料细度等的影响,最终都表现为易烧性的好坏;外因主要有烟气带走热、化学不完全燃烧热、窑体表面

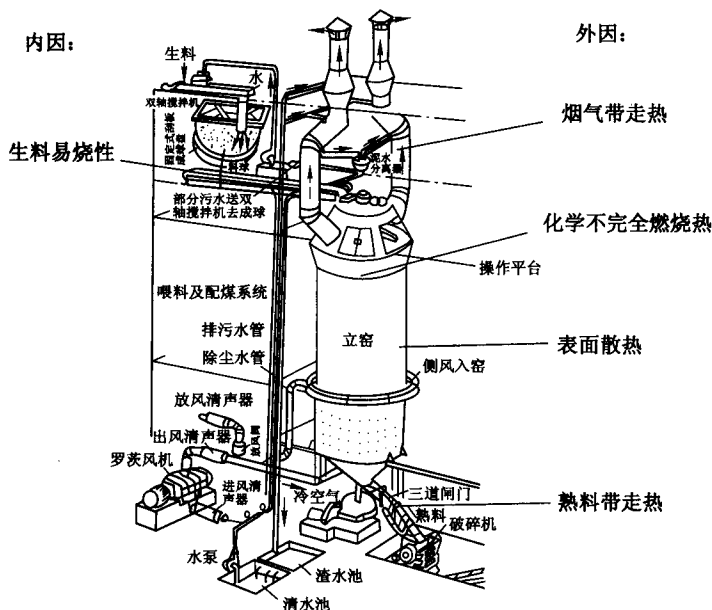


图 1-2 影响立窑热耗的因素

散热和熟料带走热等。通过分析测试得到特定厂的易烧性和各种热损失数据,将这些数据与全国各地立窑水泥厂同类数据进行比较,找到影响该厂热耗的主要原因,再对症下药,提出解决问题的具体措施。诊断过程如图 1-3 所示。

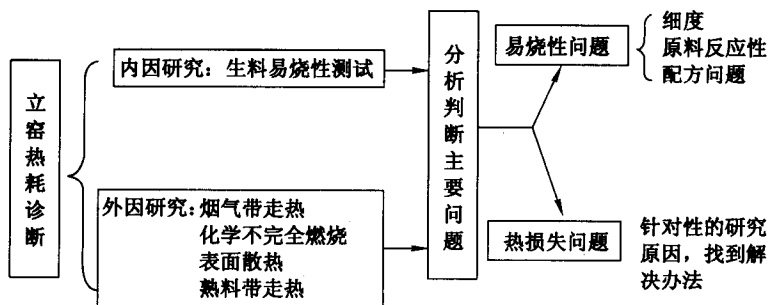


图 1-3 立窑热耗诊断原理图

比如,通过内外因测试、比较,发现某厂热耗高主要原因是生料易烧性差,再通过 X 衍射分析(XRD)、热重分析(TG—DTA)及细度分析,可以找到影响该厂易烧性的具体原因,最后有针对性地采取工艺措施就可解决问题。

值得指出的是,热耗诊断不同于立窑热工标定。热工标定着重于热工数据的绝对准确性,测量点多、测量项目细,所用仪器设备多,工作量庞大,技术难度高,需要专业单位才能完成。而热耗诊断虽然也需要热工数据,但并不关注数据的绝对准确性,而关注的是某项指标在同类厂家中水平的相对高低,从而使得热工测定工作量大大降低。另外,热耗诊断需要更全面的数据,如易烧性、原料反应性、煤炭燃烧特性等。

本书第七章将专门详细介绍立窑热工标定方面的知识,供读者对照学习。

第五节 实例分析

2000 年我们按照上述思路研究水泥立窑热耗,北上辽宁本溪、南下福建龙岩,实地考察、测试了全国近百家水泥厂,除为多家水泥厂提供了现场诊断服务外,还在 2005 年举办了三期培训班,合计 200 余家水泥厂参加,分布在全国各地,均取得了良好的降耗效果。下面以徐州 QD 水泥厂热耗诊断、改造为例,进一步说明诊断法降低热耗的原理和方法。

一、热耗水平评价

全国各地立窑热耗水平差异很大,本批试验选取山东 LY 水泥有限公司、福建 TY 水泥有限公司、徐州 JY 水泥有限公司、新疆 KS 水泥有限公司和徐州 QD 厂生料,利用中国矿业大学研制的 CT2100 型多用热量测定仪进行测试,结果见表 1-3。

表 1-3 不同立窑厂的热耗 kJ/kg

厂 名	LY	TY	JY	KS	QD
生料发热量	2 228	1 831	2 625	3 260	2 750
折算熟料热耗	3 713	3 052	4 375	5 433	4 583

由表 1-3 可知,全国各地立窑热耗差别很大,福建 TY 水泥有限公司熟料热耗仅为 3 052 kJ/kg,折合标准煤 104 kg,而新疆 KS 有限公司熟料热耗 5 433 kJ/kg,折合标准煤 186 kg。徐州 QD 厂当前热耗为 4 583 kJ/kg,属于中等偏高水平,而全国较先进水平为 3 830 kJ/kg,这说明 QD 厂仍有很大潜力。显然,如果找到了产生这些差距的原因,就可以进一步采取措施降低热耗。

二、测试分析

1. 易烧性评价

易烧性的评价方法虽然有标准可循(GB/T 9965—88),但操作过程复杂,测定条件与生产实际情况可比性差,所得结果难以直接应用于生产。我们研究摸索出一套适用于立窑生料的易烧性研究方法(详见第三章第一节),将生料球依次干燥、脱炭和煅烧,再磨细后测定 $f-CaO$ 来评价易烧性。山东 LY、福建 TY、徐州 JY、新疆 KS 和徐州 QD 的生料易烧性对比研究结果见表 1-4。

表 1-4 不同生料的易烧性($f-CaO$)对比研究 %

厂 名	LY	TY	JY	KS	QD
1 100 °C	29.47	26.3	25.2	31.1	27.22
1 300 °C	10.14	6.56	8.50	12.3	7.59

1 100 °C $f-CaO$ 反映了生料的低温反应能力,而 1 300 °C $f-CaO$ 反映了生料的高温反应能力。由表 1-4 可知,徐州 QD 生料 1 100 °C $f-CaO$ 为 27.22%,不如 TY 和 JY,但优于 LY 和 KS;1 300 °C $f-CaO$ 为 7.59%,与 TY、JY 相似,明显优于 LY 和 KS。综合而言,徐州 QD 生料易烧性较好,不是制约