

# 水泥窑外分解技术 译文集

中国建筑工业出版社

# 水泥窑外分解技术译文集

乔 龄 山 等

中国建筑工业出版社

本书选择了水泥窑外分解技术方面的译文15篇。其中第一篇为编译，概括地介绍了国际上水泥窑外分解技术的产生和发展，窑外分解窑的工艺特点，窑外分解炉的种类及其比较；其余各篇译文分别介绍各种窑外分解窑的生产经验、设计计算、试验研究、技术改造与扩建经验以及碳酸钙的分解动力学，可供水泥科研设计人员和生产技术人员参考，也可供院校师生参考。

本书第一、三、四、六、七、八、九、十、十三、十四、十五篇由乔龄山译，第二、十二篇由陈莲英译，第十一篇由钱清扬译，第五篇由王翠芳译。

## 水泥窑外分解技术译文集

乔 龄 山 等

中国建筑工程出版社出版(北京西郊百万庄)  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销  
河北省固安县印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：5 3/4 字数：128 千字

1980年10月第一版 1980年10月第一次印刷

印数：1—2,090册 定价：0.47元

统一书号：15040·3821

## 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 一、国外水泥窑窑外分解技术发展概况 .....       | 1   |
| 二、窑外分解技术的实际应用经验 .....         | 46  |
| 三、现代化窑外分解窑的生产情况 .....         | 60  |
| 四、大型悬浮预热器-分解炉窑的生产经验 .....     | 66  |
| 五、日本田川水泥厂史密斯型窑外分解窑的运转情况 ..... | 73  |
| 六、窑外分解窑的计算方法与几项试验结果 .....     | 78  |
| 七、关于窑外分解窑缩小窑体尺寸的问题 .....      | 84  |
| 八、一台多波尔窑在提高产量方面的技术改造 .....    | 94  |
| 九、用SF分解炉分期扩建水泥厂 .....         | 106 |
| 十、在立筒预热器上加设窑外分解装置 .....       | 117 |
| 十一、捷克斯洛伐克立筒预热器的窑外分解系统 .....   | 127 |
| 十二、预热器与SF窑旁路系统的理论与发展 .....    | 130 |
| 十三、在分解炉内和窑尾气流中进行的分解反应 .....   | 140 |
| 十四、碳酸钙分解动力学 .....             | 151 |
| 十五、关于碳酸钙分解动力学问题 .....         | 161 |

## 一、国外水泥窑窑外分解 技术发展概况

水泥窑窑外分解技术是七十年代初期出现的一项技术革新，它使水泥生产工艺有了突破性的发展。这一技术在日本一出现便受到世界各国的重视。近几年来在各种有关水泥生产技术的国际会议上都在谈论窑外分解问题。国外著名的水泥设备制造公司纷纷制造各种不同型式的窑外分解窑。许多水泥公司也利用窑外分解技术改造老窑，使这一新技术得到了迅速的发展和广泛的应用。到目前为止，已有20多个国家和地区装设了或正在装设各种窑外分解窑。据不完全统计，到1978年末全世界约有127台各种类型和不同规格的窑外分解窑，总生产能力约11050万吨/年，其中已投入生产的窑有71台，总生产能力为6550万吨/年，约占全世界水泥总产量的9%（表1-1）。

在日本，已投产的窑外分解窑有38台。1978年3月份，窑外分解窑的水泥产量为392万吨/月，占日本该月水泥总产量772万吨的50.8%（表1-2）；其次是悬浮预热器窑，水泥产量为246万吨/月，占31.8%；两者合计占82.6%（表1-3）。由于窑外分解窑的产量高，运转周期长，废气中的 $\text{NO}_x$ 含量低等原因，日本今后将大力发展这种窑型，逐步地用窑外分解技术改造或代替其他类型的窑。

窑外分解窑的单机日产量已经超过4000吨/天，达到了

国外窑外分解窑台数与生产能力的统计

表 1-1

| 窑 型       | 已 建 成 |              | 未 建 成 |              | 合 计             |              |
|-----------|-------|--------------|-------|--------------|-----------------|--------------|
|           | 台数    | 日生产能力<br>(吨) | 台数    | 日生产能力<br>(吨) | 台数              | 日生产能力<br>(吨) |
| SF        | 20    | 70250        | 12    | 36042        | 32              | 106292       |
| RSP       | 7     | 13200        | 8     | 28400        | 15              | 41600        |
| MFC       | 14    | 51000        | 6     | 7000         | 20              | 58000        |
| KSV       | 7     | 29200        | —     | —            | 7               | 29200        |
| F.L.Smith | 3     | 8400         | —     | —            | 3               | —            |
| Humboldt  | 5     | 约11600       | 2     | —            | 7               | —            |
| Polysius  | —     | —            | —     | —            | 33 <sup>①</sup> | —            |

① 其中新建23台，老窑改造10台。

日本1978年3月份各种窑的产量统计<sup>[1]</sup>

表 1-2

| 窑 型       | 生 产 窑 台 数 |       | 水 泥 产 量 |       |
|-----------|-----------|-------|---------|-------|
|           | 台 数       | %     | 吨/月     | %     |
| SF        | 15        | 39.5  | 1744225 | 44.6  |
| MFC       | 14        | 36.8  | 1218094 | 31.1  |
| RSP       | 4         | 10.5  | 254130  | 6.5   |
| KSV       | 4         | 10.5  | 571611  | 14.6  |
| F.L.Smith | 1         | 2.6   | 132000  | 3.3   |
| 合 计       | 38        | 100.0 | 3920090 | 100.0 |

8000~10000吨/天。熟料单位热耗与悬浮预热器窑差不多，一般都在800千卡/公斤熟料以下，多数为760千卡/公斤熟料左右，个别窑达到715千卡/公斤熟料。一般认为窑外分解窑还将进一步发展，将是今后一段时间内的主要窑型。

日本1978年3月份各种窑的产量及所占比例<sup>[1]</sup> 表 1-3

|     | 窑 型       | 水 泥 产 量 |       |
|-----|-----------|---------|-------|
|     |           | 吨/月     | %     |
| 干 法 | 窑外分解窑     | 3920990 | 50.8  |
|     | 悬浮预热器窑    | 2458161 | 31.8  |
|     | 立波尔窑      | 726721  | 9.4   |
|     | 带锅炉的窑     | 269922  | 3.5   |
|     | 石灰配料窑     | 162692  | 2.1   |
| 湿 法 | 湿法长窑      | 98682   | 1.3   |
|     | 带蒸发机及锅炉的窑 | 59775   | 0.8   |
|     | 湿法立波尔窑    | 22336   | 2.1   |
|     | 合 计       | 7718377 | 100.0 |

### 1. 窑外分解技术的产生和发展

自六十年代以来,随着整个工业技术的发展,水泥工业也同其他工业一样向着自动化和大型化方向迈进。年产100万吨的水泥厂早已不足为奇,更大型的水泥厂也越来越多。水泥窑的规格也不断增大,例如,1960年以前建的回转窑熟料日产量都在900吨以下。1962~1972年的十年间,水泥回转窑的单机产量就由1000吨上升到4000吨,窑体直径也由4米以下加大到6~7米。回转窑烧成带单位截面热负荷由2.3提高到6.1百万千卡/米<sup>2</sup>·时,烧成带单位截面积日产量也由60提高到150吨/米<sup>2</sup>·天。大型窑甚至高达190~200吨/米<sup>2</sup>·天。与此同时,水泥窑的熟料单位热耗都由1600千卡/公斤熟料(湿法和干法中空窑)降低到800千卡/公斤熟料(干法悬浮预热器窑和立波尔窑)。窑规格的扩大虽然有利于提高单机产量,并为扩大工厂规模创造了条件,但却给设备制造和运输带来新的问题。特别是窑的直径扩大以后,烧成带热负荷

提高，衬砖镶砌的稳固性也较差，严重影响烧成带的衬料使用寿命。据统计，窑的运转周期与窑体直径的平方成反比。O. Opitz曾报导过<sup>[2]</sup>，3米直径的窑运转周期为二年半，4米直径的为一年半，6米直径的只有半年。日本德山制碱公司水泥厂1968年和1971年投产的两台 $\phi 5.7 \times 110$ 米多波尔型悬浮预热器窑烧成带的火砖寿命只有140天左右<sup>[3]</sup>。大型窑的火砖消耗量迅速增大，运转率显著下降，成为一个突出的问题引起人们的注意。表1-4为西德水泥窑的火砖消耗量和窑的运转率的情况。

火砖的单位消耗量和窑的年运转率

表 1-4

| 窑 径 (米) | 火砖的单位消耗量(公斤/吨熟料) |         |           | 年运转率<br>(%) |
|---------|------------------|---------|-----------|-------------|
|         | 立 波 尔 窑          | 湿 法 窑   | 悬浮预热器窑    |             |
| 2.8~3.2 | 0.7~1.2          | 0.8~1.2 | —         | —           |
| 3.6~4.0 | 0.3~0.5          | 0.5     | 0.25~0.35 | 95          |
| 4.0~5.0 | —                | —       | 0.35~0.5  | 90          |
| 5.5     | —                | —       | 0.7       | 85          |
| 5.5~6.0 | —                | —       | 0.8~1.0   | 80          |

从表1-4可以看出，5.5~6.0米直径的窑与3.6~4.0米直径的窑相比，火砖消耗量约提高2倍，年运转率由95%下降到80%。窑的规格越大，停窑所造成的损失也越大。此外，到六十年代的中期湿法回转窑的熟料日产量达到3600吨左右，燃烧带直径大到7.6米，实际已达到了极限。运转率的降低和窑直径达到极限值，大型化的发展受到了限制。尤其在日本，这个矛盾更显得突出，因为日本的大型化发展速度最快，六十年代末期全国水泥厂的平均年生产能力就已达到150万吨，当时苏联为100~110万吨，美国为45万吨，西



德为36万吨。在此期间，日本所装设的大型干法预热窑日产量都在3000吨以上，而其他国家则采用日产1500吨以上的回转窑<sup>[4]</sup>。在这种情况下，日本就更加急于解决大型窑的发展问题，以保证水泥工业发展的需要。

大家都知道，在熟料煅烧过程中，碳酸盐分解反应是在1000°C以下（750~950°C）的低温区进行的，它所消耗的热量占熟料煅烧总热耗的60%以上。回转窑内是靠辐射和对流传热的，在1000°C以下的低温区辐射传热效率不高；而物料在窑筒体截面上填充率低，也不利于向物料进行对流传热。此外，碳酸盐分解时要产生大量二氧化碳气体，它使生料流态化，沿着倾斜的回转窑内壁向下流动，形成窜料，常常影响回转窑的正常操作。所以无论从传热或输送角度来看，回转窑对于碳酸盐分解过程都不是一个理想设备。因此，在窑外分解技术出现以前就曾有人提出过类似的设想。早在1924年和1930年 Andreas 就申请过专利，在回转窑后面的一个立筒里加一把火来强化这里的传热过程<sup>[5]</sup>。1932年一份德国专利<sup>[6]</sup>（564957）也曾提出，按照生产过程各个阶段的需要分别供给燃料，以减轻回转窑内燃烧热的热负荷，并可以提高产量。日本小野田公司在五十年代末采用了一种改良烧成法，又称石灰配料法来煅烧水泥熟料。它先将石灰石在石灰窑中烧成石灰，然后再与粘土混合送到回转窑内煅烧，使产量成倍地提高。六十年代以后国外不断出现对这一问题的研究报导。丹麦 F. L. 史密斯公司说他们很早就开始研究这项技术，1963年获得了一份关于装有分解炉、旋风预热器和二次风管的专利。1970年有了试验设备。西德洪堡公司1965年研制出一种用五级悬浮预热器烧沥青质油页岩并用它作为原料的煅烧工艺，油页岩喂入最下一级旋风筒中，它的可燃

部分在这里进行燃烧,从而提高了入窑生料的碳酸盐分解率。1966年建成了一条日产1200吨的生产线,装在西德 Dottermhausen 水泥厂。与此同时一份捷克专利<sup>[7]</sup>也建议熟料煅烧过程分为预热、分解和烧成三个阶段,分别在不同的设备内进行。他们在回转窑的后面加装一个燃烧装置,加入燃料进行燃烧,使经过预热的生料在这里进行分解反应。尽管在六十年代已经有了上述的设想和尝试,但比较成熟和首先在生产中实际应用的窑外分解窑还是出现在大型化发展最快的日本。由石川岛播磨重工业公司、三菱重工业公司、川崎重工业公司和小野田水泥公司等研制的SF型、MFC型、KSV型和RSP型等几种分解炉先后应用到水泥生产上。第一台SF型窑外分解窑是1971年11月在秩父一厂投产的,把一台 $\phi 3.9 \times 53.5$ 米的立波尔窑改建成 $\phi 3.9 \times 51.37$ 米的SF型窑,日产熟料2000吨。1971年12月第一台MFC型窑在东谷水泥厂投产,它是用 $\phi 4.3 \times 65.0$ 米悬浮预热器窑改建的,日产2200吨。小野田公司自称从1967年就开始研究窑外分解技术,1972年在田原水泥厂的 $\phi 1.8 \times 28$ 米工业性试验窑上安装了第一台RSP型分解炉,该窑日产240吨。大型RSP型窑于1974年安装在大船渡水泥厂,日产熟料3000吨。KSV型分解炉出现在1973年,安装在东北水泥厂和德山制碱公司的水泥厂,窑的日产量分别为1600和4700吨熟料。

窑外分解这一技术在日本出现以后,立刻受到世界各国的注意。F.L.史密斯、洪堡和伯力鸠斯等几家著名的水泥机械制造公司都于1973~1974年研制出了自己的窑外分解技术,并提出了各自的设计系列窑。美国的Fuller公司购买了石川岛公司的SF型分解炉的专利,Allischolmers公司也购买了RSP窑的生产技术。法国购买了RSP专利。捷克的

Prerov 水泥机械制造厂则提出了自己的窑外分解专利。苏联正在安装RSP型窑外分解炉。一些发展中国家，如伊朗、埃及、印尼、南朝鲜等等都在装设窑外分解窑。

窑外分解窑的规格迅速扩大，在窑的直径不超过6~7米的情况下，熟料日产量可达8000~10000吨，并将继续增大。熟料热耗为760千卡/公斤熟料，个别窑可降到710千卡/公斤熟料。

## 2. 窑外分解技术的工艺特点

所谓窑外分解，就是将碳酸盐分解过程移到窑外，放在一个特殊的更加适合的装置中进行。在这里加入适量的燃料燃烧，燃料量的多少视工艺系统特征和要求入窑生料碳酸盐分解率而定，一般占熟料煅烧总燃料量的30~60%。碳酸盐分解所要求的温度不高，但需要吸收大量热量，所以分解炉内的温度一般不超过950°C。在分解炉内燃料和生料都是处在悬浮或沸腾状态下，它们相互混合，同时燃料进行无焰燃烧。在这种情况下，交换和分解反应的效率都很高，在几秒钟内就能完成。总的说来，窑外分解窑有以下几个主要优点：

(1) 减轻了烧成带的热负荷，延长了衬料的使用寿命。

在窑外分解窑上，因为有一半左右的燃料是从窑尾加入的，所以即使窑的产量有了大幅度的提高，烧成带的热负荷仍有明显的降低，单位截面积热负荷甚至会降到3百万千卡/米<sup>2</sup>·时以下。特别是在有二次风管的窑上，分解炉中的燃料量可以达到60%，热负荷的降低就更加显著。例如日本德山制碱公司水泥厂有三台 $\phi 5.7 \times 110$ 米窑外分解窑，1、2号

窑分解炉中的燃料量占20%，烧成带和过渡带的火砖三年更换了3~5次；而3号窑分解炉中的燃料量占60%，烧成带和过渡带①的火砖3年只换了一次。据日本石川岛公司报导<sup>[8]</sup>，由于在窑外分解窑窑头加入的燃料量只占40%，所以在产量提高1倍的情况下，热负荷也仅为悬浮预热器窑的80%。同时，由于入窑生料的分解率稳定，窑内热工制度也很稳定。这种窑的碱性耐火砖的消耗量约比普通悬浮预热器窑减少1/3~1/5，从而提高了窑的运转率，每年的停窑时间可以缩短至10~20天。此外，点火后18个小时就可以达到额定产量，缩短点火时间约50%。仅由于缩短停窑和点火时间，就可使它的全年产量比相同生产能力的预热器窑提高5~8%。

## (2) 大幅度提高产量。

普通悬浮预热器窑改为窑外分解窑后，产量可以提高70~100%。悬浮预热器窑的单位容积日产量在1.7~2.2吨/米<sup>3</sup>·天之间，提高窑的转数可以达到2.4吨/米<sup>3</sup>·天，个别的窑，如西班牙的一台多波尔窑曾经达到2.9吨/米<sup>3</sup>·天。而窑外分解窑的单位容积产量则可达到3.5~4.0吨/米<sup>3</sup>·天，高的可达4.2吨/米<sup>3</sup>·天。回转窑烧成带的单位截面积日产量，普通悬浮预热器窑为150~170吨/米<sup>2</sup>·天，大型窑高的可达190吨/米<sup>2</sup>·天，而窑外分解窑则在320吨/米<sup>2</sup>·天以上。由此可知，在同样的产量下窑外分解窑的直径可以缩小20~30%。例如日产2000吨的悬浮预热器窑的直径为4.6~5.0米，而窑外分解窑则为3.8米；日产4000吨的悬浮预热器窑直径为6.0~6.2米，窑外分解窑的直径在4.6米左右。反之，

① 过渡带即放热反应带，因以火砖性能划分，而取名过渡带。

在直径不变的情况下窑的产量却可以大幅度提高，如6米直径的窑外分解窑熟料日产量可以达到8000吨。更大型的窑外分解窑在设计中，正在向日产10000吨的目标迈进，为水泥厂规模进一步大型化提供了更有利的条件。

另外，窑的生产能力愈大，节约设备费用也愈多。石川岛公司曾对SF窑与SP窑作过比较，3000吨/天的窑其设备费用低10%，8000吨/日的窑低20%<sup>[8]</sup>。

### (3) 烧成制度稳定。

碳酸盐分解率在达到85%左右时产生的 $\text{CO}_2$ 气体最多，产生的粉尘量也最大，这时的生料流动性最好，最易造成窜料，从而影响烧成制度的稳定。将这一过程移入窑外分解炉后，入窑生料的碳酸盐分解率已达到85~95%，又很稳定，这样就消除了窜料现象。此外，窑外分解窑窑内的反应过程主要是烧结过程，烧成带的长度约占窑长的40%，窑内需要保持高温，而传热量很少，所以窑外分解窑的烧成制度很稳定，快转率高，控制也比较容易。日本的小野田公司、川崎公司等提出，窑外分解窑用不着采用昂贵的电子计算机控制。烧成制度稳定，对产、质量和延长烧成带衬料的使用寿命都有好处。

### (4) 便于烧劣质燃料。

分解炉内要求的温度不高，一般在850~950°C之间，燃料与生料粉同时悬浮于气体中呈无焰燃烧。热交换效率和混合效率都很高，在这里采用劣质燃料不仅能够燃烧，而且由于煤灰与生料粉能够充分混合，不致影响熟料质量。燃料的热值虽然不高，但热能却能得到充分利用。另一方面如果从窑头喷入劣质燃料，就不能保证烧成带所要求的高温，而从窑尾生料喂料点混入劣质燃料时，燃料的挥发分迅速挥发，

将会有近 50% 的热能损失掉而得不到利用，使废气温度升高。此外，从窑头喷烧劣质燃料还容易造成结圈和影响熟料质量。例如，西德为南朝鲜提供的  $\phi 5.2 \times 70$  米日产 4200 吨的 Prepol 型窑外分解窑，在分解炉内使用了含灰分 68.6%、发热值为 2220 千卡/公斤的劣质煤。在其他的分解炉窑上也分别使用过含灰分 69%、挥发分 10%、热值为 925 千卡/公斤的油页岩和灰分 59.7%、挥发分 6.4%、热值为 2500 千卡/公斤的尾煤，以及无烟煤，沥青煤等。

日本因为是以烧油为主，所以在劣质燃料的利用方面做的工作不多。到目前为止，只是用热值在 4000 千卡/公斤以上的煤和部分油页岩作了试验。只有三菱公司提出可以在 MFC 分解炉中烧热值为 3000 千卡/公斤的劣质煤<sup>[1]</sup>。

西德的洪堡和伯力鸠斯公司还作过烧大颗粒煤的试验，效果也很好。煤的细粉部分在分解炉内燃烧，粗颗粒则回到窑内继续燃烧，仍然可以用于碳酸盐分解，煤灰的混合也较好。

(5) 对含碱、氯和硫高的原燃料适应能力强、放风效率高。

窑外分解窑有 50% 以上的二次风是由窑外的一根管道送到窑尾分解炉的，通过窑内的废气量不足 50%。而从烧成带挥发出来的碱、氯和硫的含量却与普通窑相同，这样就提高了窑尾废气中的碱浓度，也提高了旁路放风的效果。放风量少，热损失也相对地降低了。据西德 H. Romesohl<sup>[9]</sup> 报导，生料粉中氯的含量在 0.02% 以下时是无害的。氯含量在 0.02~0.2% 时，在普通悬浮预热器窑上可以采取旁路放风加以解决，放风量在 25% 时还是经济的。Cl 含量超过 0.2% 因而放风量过多时就不经济了。但在窑外分解窑上，氯含量

到0.35~0.4%时，采用部分放风的方法仍然可以解决；如超过0.4%就需要100%的放风。随着窑型的增大对生料中氯含量的要求也愈严，例如在日产熟料1000吨以下的窑上，氯含量在0.02%以下时还可以用，但对日产4000吨以上的大型窑则要求生料中的氯含量在0.01%以下，否则就要加旁路放风。还要特别注意燃料中的氯含量，它对烧成制度的稳定也同样是有利的，也需要放风除氯。

### (6) $\text{NO}_x$ 含量比较低。

燃料燃烧时会产生  $\text{NO}_x$  (各种氧化氮) 气体，这种气体对人体有害。采用窑外分解后，因为在分解炉内燃烧温度较低，又有不少生料粉混在其中，氧气浓度不高，容易造成还原性气氛，将  $\text{NO}_x$  还原成  $\text{N}_2$  (氮气)，另外，生料中如有硫酸铁和硫化铁，则在有大量  $\text{CO}$  气体和  $800^\circ\text{C}$  左右的温度下，它们能起催化剂的作用，将  $\text{NO}$  还原为  $\text{N}_2$  气， $\text{CO}$  氧化成  $\text{CO}_2$ 。石川岛公司认为 SF 型窑废气中的  $\text{NO}_x$  含量要比普通悬浮预热器窑废气中  $\text{NO}_x$  含量低  $1/3 \sim 1/5$ 。窑外分解窑废气中的  $\text{NO}_x$  含量一般都在  $150 \sim 200\text{ppm}$  以下，符合日本的国家标准 (低于  $250\text{ppm}$ )，这也是窑外分解窑在日本得到发展的原因之一。

综上所述，窑外分解技术不仅克服了水泥回转窑在大型化方面的问题，而且还带来了其它显著的优点。当前分解炉和窑外分解系统型式很多，反映了这种水泥煅烧新技术仍处于发展之中，它的发展前景是未可限量的。

## 3. 窑外分解系统的分类

当前窑外分解系统的型式很多，根据 L. Kwech<sup>[6]</sup> 的意见，按气流流动方式可归纳为下列三种基本类型：

第一种类型即图 1-1 中的系统 A，它是将窑头和分解炉

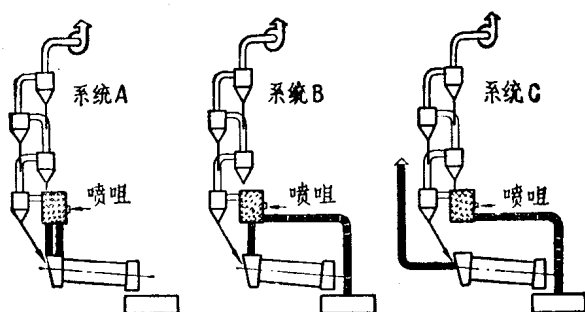


图 1-1 窑外分解系统的三种基本类型

中燃料燃烧所需的二次空气全部通过室内，不另设二次风管。窑尾一般也不设专门的分解炉，而是将燃烧喷嘴装在窑与第四级旋风筒之间的废气上升管道上，对管道加以适当改建或加长形成分解室。采用这种系统的有西德伯力鸠斯公司的Prepol型和洪堡公司的Pyroclon型窑外分解窑。这种窑省掉了二次风管，系统简单，投资较省，在使用单筒式或多筒式冷却机的窑上，不便于从冷却机抽二次风送到分解炉时，可以采用这种系统。在小型窑上，尤其是在现有的悬浮预热器窑窑尾通过加装燃烧喷嘴来提高产量时，也可以采用这种系统。但是，由于全部气体都由窑内通过，窑内的风速受到一定限制，产量的提高也就有一定限度；或者说，在产量一定的条件下，窑的直径就要大一些。例如，日本德山制碱公司水泥厂1971年投产的日产4000吨熟料的普通悬浮预热器窑为 $\phi 5.7 \times 110$ 米，西德伯力鸠斯公司日产4000吨的Prepol型窑外分解窑为 $\phi 5.2 \times 70/102$ 米，而日本川崎公司的日产4000吨RSP窑仅为 $\phi 4.6 \times 90$ 米。从这三台窑的直径对比来看，如以 $\phi 5.7$ 米的SP窑为基准，则二次空气全部由



窑内通过的Prepol窑直径约缩小10%。这与B. Gerstner从理论上推导出的结论正好相符。而通过一根单独的风管把二次风送到分解炉的RSP窑，其直径约缩小20%。这种系统在分解炉内燃烧的燃料量比较少，仅占整个烧成用燃料总量的20~35%，所以产量提高的幅度不大，不超过40%。但最近也有将分解炉中的燃料量增加到了50%的报导。这里必须指出，在冷却机的热风全部由窑内通过时，分解炉的燃料量占总燃料量的百分比可以稍低。因为直接抽用冷却机的热风时，温度只有750°C左右，必须把它加热到分解炉所要求的900°C以上，因而要消耗一部分燃料。但是，当全部空气都由窑内通过时，窑尾的气体温度已经达到1000°C左右，不再需要用燃料提高它的温度，这部分燃料已在窑头消耗掉，所以分解炉中的燃料量占总燃料量的百分比相对说来可以低一些。入窑生料的碳酸盐分解率仍可以达到90%以上。

第二种系统，即图1-1中的系统B。它是将由冷却机抽出的热风通过单独的风管送到窑尾，在进入分解炉之前或者在分解炉内与回转窑里排出来的废气混合作为分解炉的二次空气。日本石川岛播磨重工业公司研制的SF窑就采用这种系统。西德的洪堡公司和伯力鸠斯公司现在也提出了有二次风管的窑外分解窑。罗马尼亚中央水泥研究设计所在Wedag型窑上加装的窑外分解系统也属这一类。这是目前用得最多的一种系统。这种系统较前一种设备较多，系统较复杂，但是它可以使分解炉中的燃料量增加到60%以上，从而降低了烧成带的热负荷，窑的增产幅度也比较大。直径4.6~4.8米的窑的产量就可以达到4000吨/天。

第三种系统，即图1-1中的系统C。它与系统B相同，也有一道单独的二次风管，但二次风不与窑尾废气混合，分