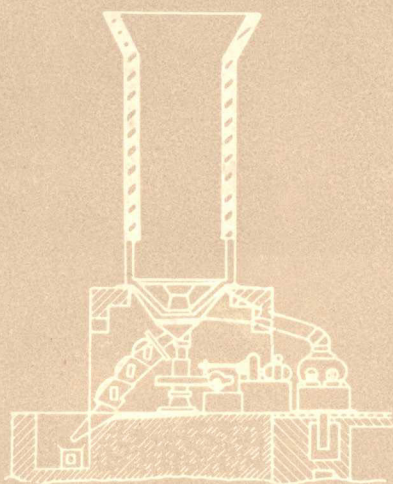


立窑

維·安謝耳姆 著



建築工业出版社

立 窑

刘东莱 王家治 合译

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容提要 此書原由德國經濟學家維·安謝耳姆編著，曾專載于“水泥—石灰—石膏”（發表在1952年第1期和1953年第3期上）雜誌上，經蘇聯國立全蘇水泥工業設計院翻譯成俄文本。此中文譯本是从俄文版轉譯過來的。

書中除了詳細地敘述立窯的結構外，作者還根據自己的經驗和試驗研究，對影響立窯生產的各種因素作了系統的論述，並提出了新的見解。

此書可供使用立窯生產的工程技術人員閱讀，也可供矽酸鹽專業中的教師和學生參考。

原本說明

書 名 ШАХТНАЯ ПЕЧЬ

著 者 В. АНСЕЛЬМ

出版者 Промстройиздат

出版地點及年份 Москва—1956

立 窯

劉東萊 王家治 合譯

1959年12月第1版

1959年12月第1次印刷

2.545冊

850×1168 $1/32$ · 120千字 · 印張 $4^{3/4}$ · 插頁3 · 定價(10) 0.88元

建築工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店發行 · 書號: 1734

建築工程出版社出版(北京市西郊百萬莊)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052號)

目 录

第 一 部 分

第一章 立窑发展史	(7)
一、窑的结构	(8)
1. 窑的工作容积	(8)
2. 直径的缩小	(12)
3. 原料和燃料的混合	(13)
4. 成球	(15)
5. 喂料装置	(18)
6. 卸料装置	(19)
7. 气动闸门	(19)
8. 鼓风	(19)
9. 通风和除尘	(29)
10. 襯料	(31)
11. 测定仪器	(32)
二、燃料	(32)
三、原料和熟料的质量	(37)
四、热耗	(39)
五、动力消耗量	(39)
六、窑的维护费用	(41)
七、物料平衡和热平衡	(41)
八、基建投资	(43)
九、氧气的利用	(44)
十、立窑生产的强化	(44)

第二章 新的研究	(45)
一、概述	(45)
二、立窑中生料球的大小，料层的收缩和孔隙率	(46)
三、温度	(49)
四、燃烧带的热力强度	(51)
五、压力损失	(52)
六、空气和气体的流速	(58)
七、煅烧速度和物料在窑中停留的时间	(65)
八、反应带	(67)
九、料层中的压力损失	(77)
十、热耗	(79)
十一、传热系数	(85)
十二、燃点和 $C + CO_2 = 2CO$ 反应	(88)
結語	(90)
參考資料	(93)

第 二 部 分

前言	(97)
第一章 影响煅烧过程的各种因素	(97)
一、与燃料有关的因素	(97)
二、与立窑有关的因素	(98)
三、与原料性质有关的因素	(98)
第二章 原料和燃料颗粒间的比例	(99)
第三章 气体流速	(105)
第四章 “含热量—温度”图	(110)
第五章 温度—气体流速	(111)
第六章 立窑的直径	(114)
第七章 物料在立窑中的停留时间	(120)
第八章 立窑的高度	(123)

第九章	計算举例	(129)
第十章	立窯的模型試驗及其規格的确定	(131)
第十一章	物料的收縮与窯徑的縮小	(134)
第十二章	通风、压力和鼓风机	(136)
第十三章	产量	(143)
第十四章	布杜阿尔反应	(145)
第十五章	立窯煅燒过程中的主要規律	(148)
結語		(150)
参考資料		(151)

第 一 部 分

撰此献給德国裘謝多尔費波特兰水泥工厂和矿渣波特兰水泥工厂作为合厂75周年紀念（1952.1.23）。对该厂25年来在水泥工业上給予我的經常帮助表示敬意和謝意。

維耳凱耳姆 安謝耳姆

格耶傑尔傑尔格 1952.1.23

第一章 立窑发展史

25年前立窑的产量为80—100吨/天。

现代立窑的产量可达200吨/天，并且产品的质量也优良。

本书试图论述：在立窑中煅烧各种不同的物料时，影响其产量、燃料消耗量、动力消耗量和产品质量等的一些最重要因素。

书中所列出的一些数据，可以适用于新建的窑或改建的旧窑。

应当指出，由于每座立窑的操作条件是各不相同的，因此，我们必须详细的研究各种不同操作条件下的立窑情况。至于，书中的一些结论，虽是总结了许多的实验资料，但也只能看成是试验性的结论。对于这一点，我不能不加以说明。

这些结论，首先是指出节省燃料、动力以及提高产品质量的途径。

在立窑中，影响煅烧过程、产量、燃料和动力消耗的主要因素有下列几种：

- 1) 窑的结构与规格；
- 2) 燃料和物料的颗粒大小；
- 3) 流体力学的条件：空气压力、空气量和气流速度（该速度能决定煅烧速度）；
- 4) 燃料和原料粉的反应能力。

虽然对于煅烧过程与这些因素之间的关系研究得还不够十分详尽，但是已有的生产经验给我们提供了值得总结的有价值的资料。七年前，我在研究其他项目的同时，对此也作了详细研究，并确定了上述因素对立窑煅烧过程有着极大的影响。

如图1所示，立窑中的煅烧温度一般约为 1500°C ，在这种温度下化学反应的阻力是很小的，因此，我们的任务是在于以机械的作用来减少其物理阻力。

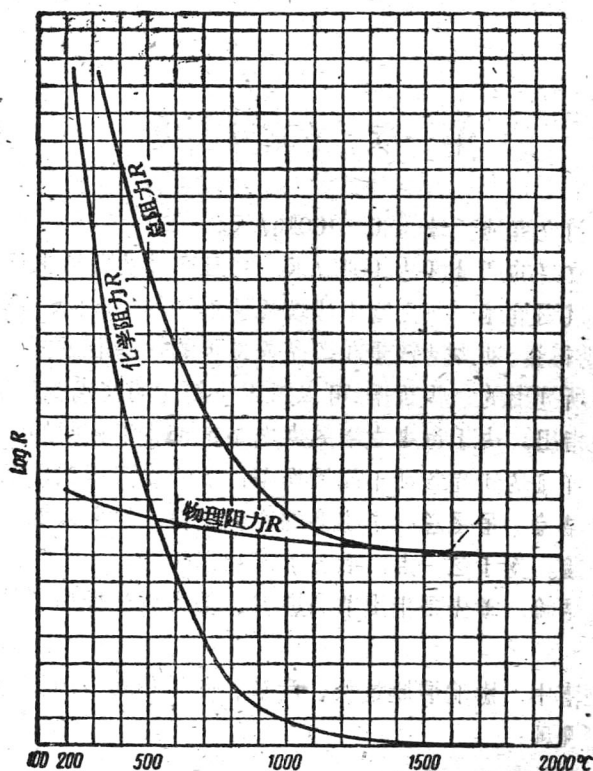


图 1 物理、化学和总的反应阻力 (W·哥木斯
气体发生爐和煉鉄爐, 紐約, 1950, 277)

一、 窑 的 結 构

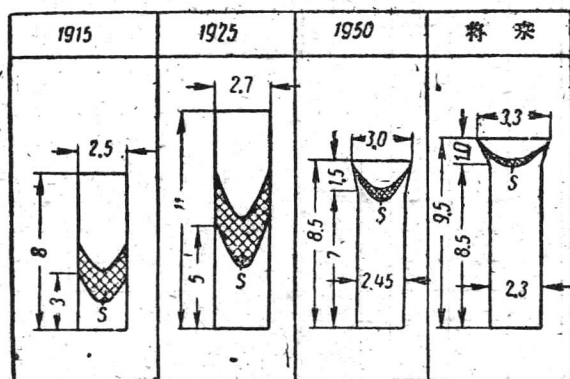
1. 窑 的 工 作 容 积

大約40年前的立窑規格就大致和現在的相似, 然而現在的产量却增加了两倍多, 并且热耗也大大降低了(表 1 和图 2)。

从前, 窑的規格是合理的。不过在当时, 甚至后来对于用风压向窑內吹送大量空气的問題並沒有得到解决。

表 1

年代	产品质量	窑的高度 (米)	窑的内径 (米)	窑的平均产量 (吨/天)	平均热耗 (仟卡/公斤熟料)	鼓 风
1880	不好	8—9	2—2.2	20	1200—1100—1000	(自然通风)
1910	中等	8—9	2.5—2.6	35—55	1600—1500—1400	透平鼓风机
1925	中等	10—14	2.7—2.9	80—100	1400—1300—1200	透平鼓风机
1935	好	9—12	2.6—2.8	100—150	1300—1200—1100	带迴轉活塞的鼓风机
1950	最好	8—9	2.4—2.5	150—180	1100—1050—1000	带迴轉活塞的鼓风机
1952	最好	9—10	<2.3	180—220	1000—900	带迴轉活塞的鼓风机



年 代	产 量 (吨/天)	热 耗 (仟卡/公 斤熟料)	空气消耗 (立方米/ 分钟)	压 力 (毫米水柱)	废气温度 (°C)	熟料温度 (°C)
1915	35—55	1600—1400	50—65	100—300	500	450
1925	70—90	1300—1200	80—100	500—700	400	400
1950	165—190	1100—1000	140—150	1400—1500	300	275
将来	220	900	165	1600	275	250

图 2 立窑结构的改进, S——烧成带

大約在1925年, 曾有过用增加窑的高度和内径的办法来提高立窑产量的尝试, 但是并未得到良好的效果。

由于对影响煅烧的条件，特别是气体流速、压力和鼓风量等进行了较为仔细的研究，又使得立窑恢复了现在的规格。

研究窑内断面鼓风的分布情况证明：窑的直径大小不应超出一定范围。图3表明了以焦炭和无烟煤为燃料的近代立窑内径大小的范围，同时也列举了选择能保证热耗低的窑的高度和内径的大致的关系。

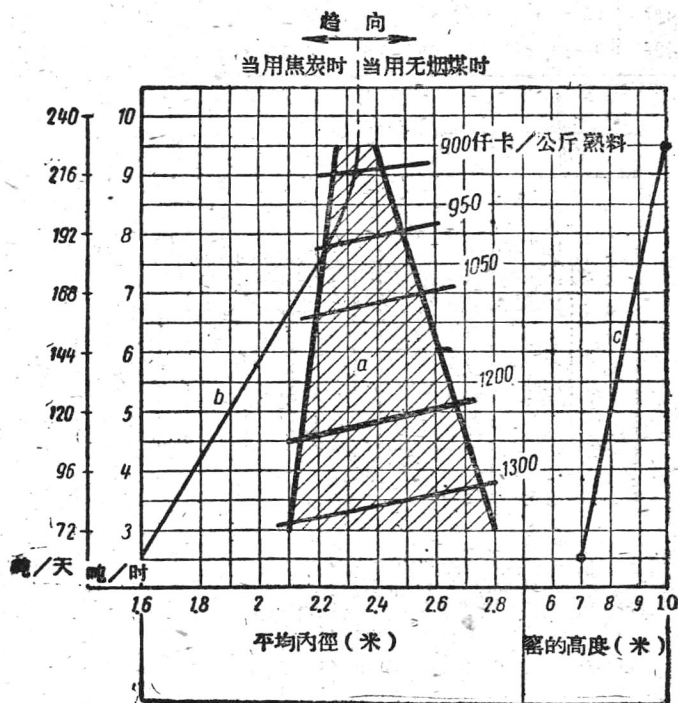


图3 产量、热耗与窑的内径的关系

- a——内径（现代的窑）
 - b——内径（将来的结构）
 - c——高度（将来的结构）
- 当热耗为1000千卡/公斤熟料时。

在直径大的立窑中，特别当其产量低时，一氧化碳和辐射热损失很大。此外，由于空气沿窑断面分布不均匀，产品质量亦就不

均匀。现在，在单位耗热量低(空气量低)的现代高产立窑中，已减小了冷却带的内径，否则，空气的流速和熟料的冷却程度必将不足。减小窑的直径可以加快冷却带的空气流速，从而提高了熟料的冷却程度。

立窑冷却带的内径与整个窑的高度间最适当的比例为 1:4 到 1:4.2；煅烧石灰的立窑为 1:5。

以前曾经认为，为了提高窑的产量，在增加窑的高度的同时必须增加停留于窑内的物料量，并且还需要很好的制备原料和冷却熟料。但是，也应注意，在窑的高度不变的情况下，随着鼓入窑内的空气量和风压的增大，烧成带将会向上移动，因而冷却带也会随之扩大。这在图 2 中是显而易见的。

目前，窑内的干燥、碳酸钙分解和烧结过程一般多在距窑顶 1—1.5 米的地方完成，以后便开始冷却。在这一过程中，生料球的大小是一个决定性的因素。

当将熟料冷却到 250°C 或更低的温度时，为了保证产量高、耗热量和空气消耗量低，立窑的高度应采用 9—10 米。若再继续增加窑的高度，以期更好的冷却熟料是没有意义的，因为这只能引起鼓风压力和耗电量的增加（例如，窑的高度由 10 米改为 11 米时，鼓风压力便增加 100 毫米水柱，而电耗则增加 5 瓩）。

下面列举了历年来立窑的有效单位容积产量（吨/立方米·天）的变化：

1880	0.5
1910	1.0
1925	1.4（数字较小的是由于窑的高度过大所致）
1935	2.5
1950	5.0

由图 4 可见，提高水泥立窑的单位容积产量（吨/立方米·天）是与减小生料球的尺寸有关的。

在图 4 中也列举了石灰立窑的相应数据。

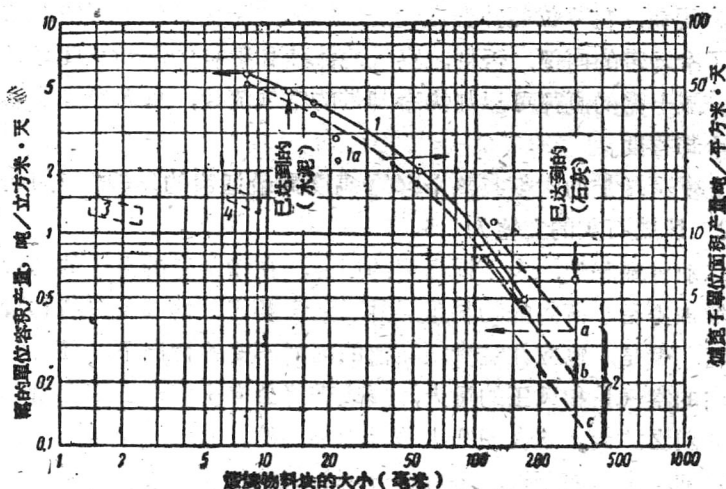


图 4 立窑煅烧熟料（煅烧石灰）的单位产量
与煅烧物料块大小的关系

1—一般烧熟料：物料块平均大小(毫米)，吨/立方米·天；1a—一般烧熟料：物料块平均大小(毫米)，吨/平方米·天；2—一般烧石灰：物料块最大尺寸(毫米)，吨/立方米·天；a—强力通风；b—一般通风；c—自然通风；3—在烧结炉篦上煅烧水泥的产量，吨/平方米·天；4—在立波尔窑上煅烧水泥的产量，吨/平方米·天

2. 直径的缩小

煅烧石灰和水泥的立窑，在发展过程中其断面形状曾有过重大的改变。如同大家所知道的，有的直径是向上和向下缩小；有的是烧成带的直径缩小。

由于生料中水分的蒸发， CO_2 的逸出，燃料的燃烧和烧结引起物料的收缩，故曾经设法缩小烧成带的直径（即距窑顶1—2米处）。(Decluy, la sucrerie belge, 1896, s.55 und Aalborg Ofen, 1912)。耶·什靡在15年前曾按此原理设计了高产量的立窑，现在这种类型的窑已得到了广泛的发展。早在1912年，在加乌因什里德的立窑专利权的执照中规定要扩大立窑的上部。看来立窑直径的缩小或扩大，应决定于能否正确的选择鼓风条件。

不言而喻，扩大部分的尺寸应根据实验确定。这些尺寸决定于原料的成分和燒結性，生料球的水分大小、形状和可塑性，鼓风压力和空气量，也决定于煅燒速度，当然，首先是决定于燃料的种类和发热能力。

在最适宜的条件下，縮小部分的尺寸通常为：高度在1米之内，內徑由3.3米縮小到2.3米。在一般的条件下，高度在1.5米之内內徑由3.0米縮小到2.4米。

为了在原料和燃料的質量发生变化时，能够改变縮小部分的尺寸，故将高度为1.8米的金屬胴体制成上下外徑分别为3.8和2.8米的錐形体，这样可借用砌襯的方法得到具有任何选定的傾斜角度和高度的錐形体的縮小部分。在新建的石灰立窖中还縮小了碳酸鈣分解带。

图2表明当窖的高度相同时，其产量决定于鼓风压力，并且随着鼓风压力的提高，燒成带向上移动，而冷却带相应延長。干燥带和碳酸鈣分解带的縮小对于窖的作业并无不良的影响，因为气体的温度和含热量足以使生料球在很短的窖带里进行干燥和碳酸鈣的分解。同时，由于气体的流速增大，热交換也进行得剧烈，以致使廢气温度不超过 250°C ，而以前为 $400-500^{\circ}\text{C}$ 。

图5所示为最新結構的高产量立窖。

3. 原料和燃料的混合

为了获得产量高，热耗低，煅燒均匀和質量良好的熟料，必須准确的配合原料和燃料。因此沒有精密的計量給料器是不可設想的，同时对这些計量器还应定期的校正。为此可采用連續操作的定量称料器、皮帶計量器或刮板喂料机，最好不要采用盘式喂料机。每台窖应装有計量器，每隔2—4小时需要檢查一次燃料的水分，并根据檢查結果調整計量器。应当指出，在用焦炭时，計量器的磨損較用无烟煤时严重。混合与成型設備操作人員的操作，对于获得良好的煅燒結果来講，通常是比看火工的操作更为重要。

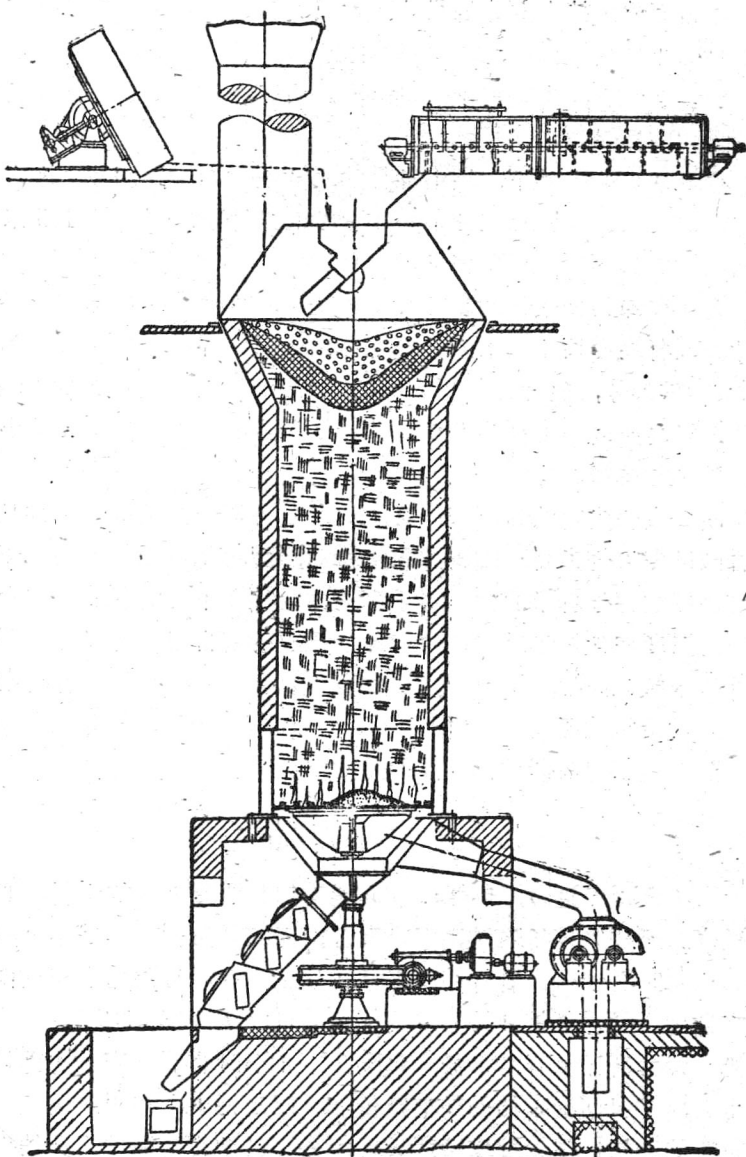


图 5 1951年的高产量立窑

4. 成 球

生料球的質量和大小是影响煅燒过程最重要的因素，它仅次于窑的規格。

生料在螺旋混合机中先經湿潤，再用压力机压成标准磚形。而后用龙口型挤泥机挤成直徑为60—90毫米的无端長条，或用輪碾机及滾压机制成直徑25—40毫米的圓柱形料块，或者最后用槽型压力机压成直徑为15—20毫米、長度为50毫米的圓柱形料块。这些設備的主要缺点是压力太大，使料块压的过紧，且表面光滑，減低了傳热能力。这样就引起热耗、耗电量的增高，以及产品質量的下降。此外，采用这些压力机时，无法考虑使圓柱形料块的長度应与其直徑相等，以保証最紧密地堆积和防止形成烈焰。在这方面，槽形压力机除外，因为它压的不太紧。然而当压力机一旦有磨損时，料球就形成互相联接的“指状体*”堆积到窑中就形成了过大的空隙。

原料的粘結性能对于采用上述成型方法的質量影响很小。采用这些成型方法时可以降低鼓风压力，但由于物料在窑中堆积得过于疏松，而使煅燒速度減慢。因此，在1925年阿尔諾，安得列阿斯曾采用了其它的成型方法，最初压制成的料块不是磚形而成块状，因此料块更为多孔，使物料在窑內更紧密的堆积。用这种方法成型得到的熟料具有多孔的結構，因而在最初粉磨阶段很易破碎。按照阿尔諾、安得列阿斯的成型方法，是将含有12—15%水分的生料，放在直徑0.8米、長5米、每一分鐘40轉的普通螺旋混合机中成型。这种成型方法所消耗的电能是很小的。应该注意，制造螺旋攪拌机的桨叶时，应象保証所要求的轉数一样，加以特別的注意。同时，还应保証水的不断供应。采用这种成型方法时，由于使窑內物料的堆积过紧因而限制了产量的提高。

認為必須把生料球的水分降至最低（如降至7%），以此来

* 相互联結的圓柱形料块，犹如相互联的手指头一般。——譯者注

节约热耗的想法是錯誤的。事实上，必然有一定温度的定量气体从碳酸鈣分解带进入干燥带的。因此，当加入物料的水分减少时，只会升高废气温度，也就是說，热耗仍旧不变。

成型的进一步改进是采用了带有斜度不大的成球筒，将生料制成直径为5到25毫米的圆球。这些生料球按其结构是介于压紧和疏松的生料块之間。

不是任何的原料都能很好的成球。可塑性差的原料制成的生料球容易磨成細粉。这些細粉应该从窑的废气中收回，其后再到成球筒中成球。

1950年出现了新型结构的盘式成球机(或成球盘)，其安装斜度为 $35-55^{\circ}$ (平均 45°)，生料球在其中上升后滑下。盘的直径及盘边缘的高度会影响成球情况。如果盘内給料过多，会形成直径为1—8毫米的細小球粒，而当給料不足时，则会出现过大的球粒。根据立窑的产量，建议采用下面成球盘的规格：

窑的生产能力 (吨熟料/天)	盘的直径 (米)	盘边高度 (米)
100	2.2	0.55
150	2.5	0.65
200	2.8	0.75

成球盘中給水设备的位置应根据原料的性质而定。为了避免物料粘結在盘上，应当在盘上鑲砌銘鋼板或紫銅板。为卸出成球盘中的生料球，而又設置了刮板。

塑性物料可直接入成球机中，但最好先在螺旋混合机中加少量的水进行混合攪拌。

若然，塑性好的生料球只占原料的20%，这样料球还没有压制的生料块那样結实，并限制了鼓风压力的提高。但是，它具有粗糙的表面，故比光滑的表面能吸收更多的热量。

可塑性差的原料所制成生料球的强度小，因而废气中的粉尘