

国外水泥工业的 窑外分解技术

国家建委建筑材料科学研究院
技术情报研究所

1976年12月

毛主席语录

抓革命，促生产，促工作，促战备。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

洋为中用。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

1.0
0.1
0.7
0.1
0.1
6.1
0.1
3.7
6.7
10.1
研
成
验
寸
密
3

目 录

- 1、国外窑外分解技术发展概况……………(1)
- 2、日本四种分解炉的简介……………(32)
- 3、SF型分解炉 窑数据 汇集与分析……………(46)
- 4、SF法熟料煅烧装置……………(79)
- 5、2200吨/日SF法烧成车间设备……………(81)
- 6、日本千代田公司青海水泥厂4000吨/日C—2SF
型工艺线投产……………(91)
- 7、在窑外分解设备上用高碱原料烧低碱熟料的
方法……………(94)
- 8、丹麦史密斯公司的悬浮分解炉……………(100)
- 9、窑外分解——原理与问题……………(104)
- 10、窑外分解——工业性试验……………(114)
- 11、水泥窑分解炉的发展和应用……………(123)
- 12、带KSV型分解炉的悬浮 预热器……………(127)
- 13、伯力鸠斯型分解炉……………(143)
- 14、伯力鸠斯的窑外分解法……………(145)
- 15、伯力鸠斯公司的分解炉……………(159)
- 16、用石灰石和油页岩煅烧熟料的五级悬浮预热器式
回转窑……………(161)
- 17、烧油页岩的窑外分解预热器……………(168)
- 18、细粒物料热处理方法与设备……………(177)
- 19、生料粉热处理设备……………(181)

20、RSP法的研究.....	(185)
21、RSP法.....	(214)
22、关于RSP法的答疑.....	(216)
23、按MFC流态化床法煅烧熟料.....	(219)
24、MFC法.....	(231)
25、流态化床预热器提高热交换效率.....	(234)
26、槽形窑.....	(245)
27、悬浮分解炉.....	(247)
28、细粒物料热处理用的方法和设备.....	(250)
29、粉状物料热加工方法.....	(250)
30、水泥生料在悬浮气体系统中的预热和分解.....	(252)
31、日本窑业访华代表团介绍水泥新烧成方法.....	(274)

国外窑外分解技术发展概况

窑外分解技术是1971年以来发展起来的一种水泥熟料煅烧新技术。由于它具有一系列优点，所以在短短的三、四年中得到了迅速的发展。据不完全统计，全世界已投产或已售出的带分解炉的回转窑已达45台，年产能力达5120万吨熟料（见表1），相当于1974年全世界水泥总产量6.98亿吨的7.7%。国外主要的水泥生产设备制造厂家都在研究和制造这种设备。

窑外分解设备地理分布情况〔4〕

表1

	设备台数	年产量 (万吨熟料)	按台数计的 %	按产量计的 %
日 本	31	3770	68.9	73.7
远东(不包括日本)	6	680	13.4	13.3
欧 洲	4	370	8.9	7.2
近 东	2	170	4.4	3.3
南、北美洲	2	130	4.4	2.5
总 计	45	5120	100.0	100.0

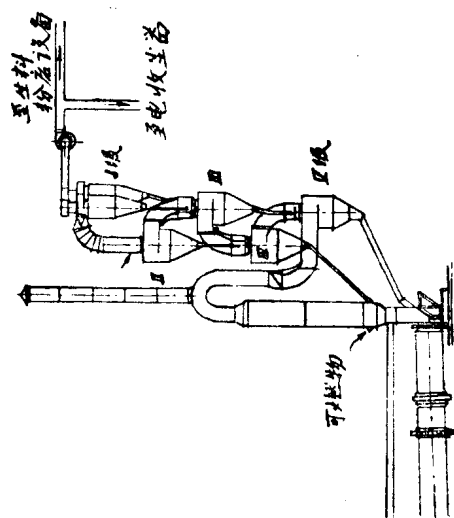
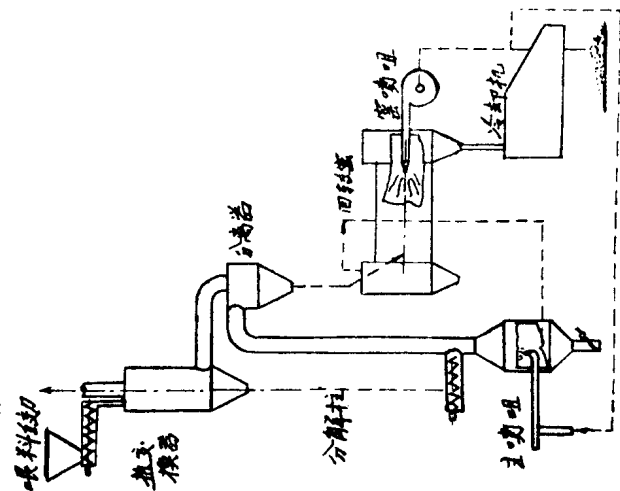
窑外分解煅烧技术就是在悬浮预热器与回转窑之间增设一个分解炉，在其中加入约60%的燃料，与生料紧密混合，使燃料的燃烧过程和生料的吸热分解过程同时在悬浮状态下极其迅速地进行，使生料在入回转窑时已基本上完全(90~95%)分解。

关于在回转窑后面的悬浮预热器上加一把火，提高生料分解率的设想早在1960年以后就已出现在外国刊物和专利上。例如1965年一篇文章^[1]提出，这里不需要高温，故可利用劣质燃料。以后不久一份捷克专利又建议把熟料煅烧过程分成三个阶段：预热、分解和烧成，分别在不同的设备内进行。在回转窑后面增设一个专门的装置，加入燃料进行燃烧，使经过预热器预热的生料分解，再入回转窑烧成熟料（见图1）。但这些设想都未付诸实现。

1970年前后，在西德多蒂豪森水泥厂一台 $\phi 4 \times 56$ 米带五级旋风筒的回转窑投入了生产（现在产量为1500吨/日），设计该窑的主要目的是利用当地的油页岩资源，既作为粘土组份，又代替部分燃料。磨细的油页岩从回转窑和第五级旋风筒之间的立筒底部加入。在其中气化燃烧，使经过前几级旋风筒预热的石灰石粉进一步分解。油页岩与石灰石粉在立筒和最后一级旋风筒中混合，再入回转窑烧成熟料（见图2）。

1971年11月和12月日本石川岛播磨重工业公司和三菱重工业公司带SF型分解炉和带MFC型分解炉的回转窑分别投入了生产。随后，日本川崎重工业公司和小野田水泥公司分别研制了带KSV型和RSP型分解炉的回转窑，并将其投入工业生产。

近两三年西德的伯力鸠斯公司、丹麦的史密斯公司和西德的洪堡公司也相继研制了自己的分解炉型式。美国富勒公司购买了日本石川岛公司SF法专利，法国克累索公司和美国艾立斯恰尔墨斯公司购买了日本小野田和川崎公司的RSP法专利^[23]，也开始制造带分解炉的窑。表2是四个制造厂家分解炉窑的指标。



如果把早期提出的设想与最近实现的各种分解炉加以对比,便会发现,最近实现的各种分解炉都有一个共同的特点,就是燃料与生料粉紧密混合,燃料的燃烧过程和生料的吸热分解过程是在悬浮状态下,在同一个空间内迅速地同时进行的;而早期提出的想法一般都专设一个燃烧炉,燃料在其中燃烧,然后用燃烧废气将热量带入预热器,传给生料,使生料分解。

新建窑外分解设备的一些指标〔4〕

表2

制造厂家	新建设备 台数	平均熟料 产量 (吨/日)	窑 的 单 位 产 量		最大单机 日产量 (吨熟料)
			(公斤/米 ³ ·小时) 吨/米 ³ ·日	吨/米 ³ ·日	
日本石川岛	8	4556	(158) 3.70	294	8000
日本三菱	3	5900	(125.8) 3.02	299	7200
日本川崎	2	5500	—	—	8500
西德伯力鸠斯	7	2886	(136.3) 3.27	207*	4500

注: *其中5台装有多筒冷却机。

窑外分解的优点是:

(1) 窑的单位容积产量高,为悬浮预热器窑的2~2.5倍,亦即在窑规格相同的情况下,产量比悬浮预热器窑高1~1.5倍。表3列出了日本1971年各种窑型平均单位容积产量。悬浮预热器窑为63.4公斤/米³·小时。而从表2、5、6、7、8和11可以看出,分解炉窑凡由悬浮预热器窑改建的,因受原有悬浮预热器能力限制,增产幅度均较低(50~70%),故单位容积产量比新建窑或由其它窑型改建的低。另外部分

MFC窑生料只是部分通过分解炉,因而单位容积产量提高的幅度也较低。除此之外,几种带分解炉的窑,单位容积产量为125.8~206公斤/米³·小时(只有一台新建窑为108公斤/米³·小时)。为了进一步进行对比,我们收集了50台较大型的悬浮预热器窑的数据,算出它们的单位容积产量(见表4),为51.8~93.3公斤/米³·小时,可见分解炉窑的单位容积产量为悬浮预热器窑的两倍以上。

日本各种窑型的单位容积产量〔21〕

表3

窑 别	单位容积产量 (公斤/米 ³ ·小时)	比 率 (%)
悬浮预热器窑	63.4	100
立 波 尔 窑	62.7	99
干法窑(带余热锅炉)	39.0	62
湿 法 窑	22.8	36
改良烧成法(石灰配料)	163.8	266
立 窑	126.0	199

(2) 由于窑的单位容积产量高,因而窑的体积小,占地面积减少,较易制造和安装,故基建投资也较低。据石川岛公司资料,3000~4000吨/日的窑,投资可降低10%左右;8000~10000吨/日的窑则能降低20%〔5〕。据三菱公司资料,建4000吨/日窑基建投资可降低11%〔24〕。

(3) 有可能制造出单机产量达8000~10000吨/日的大型窑机组,石川岛公司制造的 $\phi 5.5 \times 100$ 米7200吨/日的窑已在熊谷水泥厂投入生产,实际产量达7728吨/日〔5〕。川崎和三菱都在兴建8500吨/日和7200吨/日的窑。

四级悬浮预热器窑的规格和指标〔12〕

表4

序号	所在国别和地区公司 及厂名	窑规格 (米)	设计产量 (吨/日)	单位容积产量		制 造 家	投产日期
				吨/米 ³ ·日	公斤/米 ³ ·小时		
1	日本宇部 伊佐	φ6.2×125	5100	1.58	65.8	宇部/川崎	1972
2	日本秩父 熊谷	φ6.0×100	4300	1.82	75.7	史密斯/川崎	1972
3	西德阿尔门迪根	φ6.0×96	4000	1.76	23.3	史密斯	1971
4	加拿大巴恩	φ5.8×200 (一级)	2885	0.63	26.2	"	1971
5	日本小野田 藤原	φ5.8×110	3900	1.55	64.5	川崎	1970
6	日本小野田 大船渡	φ5.8×102	3700	1.58	66.1	石川岛	1968
7	伊朗阿贝耶克	φ6.0/5.8×95	3500	1.55	64.7	伯力玛斯	1969
8	意大利马德罗恩	φ5.75×92	3000	1.45	60.5	史密斯	1970
9	日本德山 晋达 德山	φ6.0/5.7×110	4000	1.59	66.3	三菱	1968
10	"	φ6.2/5.7×110	3900	1.50	62.4	"	1971
11	法国圣维哥尔	φ5.6×90	3000	1.57	65.4	伯力玛斯	1967
12	西德卡尔斯塔德	φ5.5×90	3000	1.57	65.4	"	1968
13	法国拉格拉维德佩尔	φ5.6×90	3300	1.73	72.1	"	1969
14	意大利吉多尼亚	φ5.6×84	3500	1.96	81.8	川崎	1969
15	阿尔及利亚施夫达	φ5.6×84	3000	1.67	69.7	菲勿利依盖依	1971
16	西德诺伊贝库姆	φ5.5×89	3000	1.65	68.6	史密斯/伯力玛斯	1972

续表

序号	所在国别和地区公司 及厂名	窑规格 (米)	设计产量 (吨/日)	单位容积产量		制 造 家 厂	投 产 日 期
				吨/米 ³ ·日	公斤/米 ³ ·小时		
17	日本菊田 菊田	φ5.5×89	3300	1.82	75.8	史密 斯	1972
18	日本大阪 伊吹	φ5.6/5.4×100	2900	1.42	59.2	日立造船/三菱	1969
19	日本东洋曹达 南阳	φ5.8/5.4×100	3300	1.55	64.7	三 菱	1972
20	南 朝 鲜	φ5.6/5.4×95	2550	1.32	54.8	伯力姆斯	1966
21	“	φ5.6/5.4×95	2550	1.32	54.8	“	1966
22	日本日本 佐伯	φ5.6/5.4×95	3600	1.86	77.3	三 菱	1969
23	日本东洋曹达 南阳	φ5.8/5.4×95	3400	1.68	70.2	“	1970
24	日本日本 上矶	φ5.4×95	3300	1.77	73.8	石川 岛	1970
25	日本日本 土佐	φ5.8/5.4×95	3200	1.59	66.2	三 菱	1971
26	日本明星 系鱼川	φ5.4×88	3000	1.74	72.4	石川 岛	1971
27	日本住友 彦根(2台)	φ5.4×85	2600	1.56	65.0	三 菱	1965
28	日本千代田 青海	φ5.4×85	3000	1.80	75.1	石川 岛	1970
29	葡萄牙阿尔汗德拉	φ5.4×84	3000	1.83	76.0	洪 堡	1970
30	西德阿累马尼亚	φ5.4×80	3000	1.92	80.0	“	1971
31	西德贝库姆	φ5.3×80	3000	1.99	82.9	“	1971
32	巴西利奥波尔多	φ5.25×83	2600	1.70	70.8	史密 斯	1972

续表

序 号	所在国别和地区	厂名	窑规格 (米)	设计产量 (吨/日)	单位容积产量		制 造 家	投 产 日 期
					吨/米 ³ ·日	公斤/米 ³ ·小时		
33	日本三菱	黑崎	φ4.9/5.2×95	3100	1.92	80.0	三菱	1966
34	日本丰国	荻田	φ5.5/4.9/ 5.2×94.5	2800	1.64	68.3	精户制铁/三菱	1969
35	秘鲁	利马	φ5.6/5.2×88	3100	1.80	74.8	三菱	1972
36	日本丰国	荻田	φ5.2×85	2700	1.76	73.3	伯力姆斯	1967
37	委内瑞拉	佩尔地加累特	φ5.5/5.2×85	2900	1.77	74.0	三菱	1968
38	西德	些尔克令根	φ5.2×85	2700	1.76	73.2	伯力姆斯	1969
39	加拿大	克拉克逊	φ5.2×85	3000	1.95	81.3	洪堡	1971
40	日本三菱	田川	φ5.2×84	2300	1.51	63.0	石川岛	1965
41	西德	阿苗涅堡	φ5.2×84	2300	1.975	82.3	伯力姆斯	1970
42	西德	麦格斯达登	φ5.2×80	2000	1.38	57.7	洪堡	1968
43	西德	阿苗涅堡	φ5.2×80	1800	1.24	51.8	洪堡	1965
44	西德	连格福尔特	φ5.2×78	2000	1.38	57.7	洪堡	1969
45	东德	卡尔斯多夫	φ4.6×70 (11)	2800	1.99	82.8	Z A B	1969
46	巴西	巴罗索	φ5.0×80 (10)	1700	1.72	71.7	史密斯	1972
47	西德	魏森瑙	φ5.0×78 (9)	2150	1.59	66.2	史密斯	1972
48	奥地利	罗道恩	φ5.0×78 (8)	2280	1.74	72.0	洪堡	1969
49			φ4.6×68 (8)	2200	2.24	93.3	洪堡	1973

注* 单位容积产量按下列窑衬厚度计算：窑直径 $D \leq 4$ 米时，窑衬厚 $\delta = 150$ 毫米； $D \leq 5$ 米时，窑衬厚 $\delta = 180$ 毫米； $5 \text{米} < D \leq 6$ 米时， $\delta = 200$ 毫米； $D > 6$ 米时， $\delta = 230$ 毫米。49台悬浮预热器窑（第4台一级悬浮预热器窑不包括在内）总平均单位容积产量为1.67吨/米³·日。

(4) 可用来改造旧窑。但石川岛公司认为700吨/日以下的湿法窑改造成带分解炉的窑在经济上并不合算,改造原有悬浮预热器窑时,原生产能力最好超过2000吨/日[5]。

(5) 热耗可比悬浮预热器窑降低10~20千卡/公斤熟料。

(6) 由于窑的传动电耗较低,但预热器排风机电耗较高,两者大体相抵,故总的单位电耗与悬浮预热器窑大体相等。MFC型窑因有流态化用风机,电耗较悬浮预热器窑高0.7度/吨熟料[22]。

(7) 由于烧成带热负荷减轻,故窑衬寿命较长。秩父水泥厂2000吨/日的SF窑窑衬寿命曾达20000小时[5]。单位耐火砖消耗量约为普通窑型的1/2~1/3[5]。

(8) 减轻大气污染。由于大部分燃料是在较低的温度(850~950℃)下燃烧的,故产生的有害气体少,污染大气的NO_x降为原来的1/4,即浓度降至百万分之140~160。

从表1和表5可以看出窑外分解技术在日本发展特别迅速。在全世界45台中日本占了31台;第一台分解炉窑投产之后仅三年,即1974年3月,日本已有20台分解炉窑,其生产能力已占日本全国总生产能力的18.1%。原因是:

(1) 日本地价奇贵,水泥公司力求在少占地的情况下进行扩建,故力图采用单机产量高的大型机组。

(2) 近年来日本对水泥的需求量迅速增加,促使水泥公司迅速扩大生产能力。

(3) 日本大量采用大型回转窑,这种窑窑衬寿命较短,运转率较低,而窑外分解技术有助于解决这个问题。

(4) 日本燃料资源奇缺,因而力图降低燃料消耗。

在日本,窑外分解技术首先用于改造旧窑。在31台窑

日本25年间窑型、窑台数及生产能力的变化情况〔25〕

表5

窑型	1950.3		1955.3		1960.3		1964.3		1968.3		1971.3		1974.3	
	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%	窑台数	占生产能力%
干法, 带余热锅炉	61	75.2	75	63.7	70	42.1	71	25.9	51	11.7	48	12.7	45	9.7
干法, 石灰配料					8	6.0	10	12.0	11	10.4	10	7.6	10	6.2
干法, 悬浮预热器窑							6	4.2	17	11.8	37	33.3	41	29.4
干法, 窑外分解法													20	18.1
半湿法, 立波尔窑	3	1.8	5	3.4	21	13.7	36	18.4	51	25.5	52	20.7	51	17.4
湿法, 带拌浆过滤器	16	23.0	28	27.9	24	15.9	21	9.1	21	6.6	18	3.8	18	3.1
湿法长窑			2	5.9	25	20.2	44	27.1	49	27.8	48	20.2	42	14.7
其它(立窑, 湿法立波尔窑)					10	2.1	29	4.2	19	3.2	13	1.7	13	1.4
以1950为1时生产能力增长 倍数	基准1		2倍		4倍		8倍		11倍		11倍		18倍	

中，改建旧窑的占了22台，其中包括6台湿法窑。新建窑只有9台。

下面分别对几种型式的分解炉作一简介。

SF型

SF型分解炉是日本石川岛播磨重工业公司研制的，流程和分解炉如图3a、3b所示。关于SF法已有不少资料介绍，这里不再赘述，仅将有关数据列于表6。截至1974年底，SF型分解炉窑已售出19套，投产12套〔31〕。分解炉以油为燃料，正在研究烧煤问题。

MFC型

MFC型分解炉是日本三菱重工业公司研制的，流程和分解炉的结构示于图4a和4b。由冷却机来的二次空气用鼓风机鼓入分解炉，使分解炉内的细颗粒熟料形成沸腾层。在悬浮预热器中预热过的部分或全部（新建窑）生料进入分解炉的沸腾层内。分解炉内加入燃料燃烧，使生料分解，生料被气流带入窑尾烟室及第四级旋风筒，与气体分离后入回转窑烧成熟料。分解炉既可以烧油，也可以烧煤。表7列出了MFC型窑的规格和指标。

RSP型

RSP型分解炉是日本小野田水泥公司研制的，由川崎重工业公司制造，它的结构和流程示于图5。在分解炉上部设有辅助燃烧室，用以点火和稳定燃烧过程。由冷却机来的二次空气分成两股，一股沿切线进入辅助燃烧室，另一股沿切线进入分解室。以油为燃料，由喷嘴喷入辅助燃烧室和分解室。生料随二次空气沿切线进入分解室。部分分解后，沿气体管道向下进入混合室，在这里与出窑热烟气混合进一步分解。然后入第四级旋风筒，与气体分离后入窑烧成熟料。

图5标出了田原水泥厂带RSP型分解炉的窑的各部温度及压力。该窑胴体内径1.8米(窑衬内径1.5米),长28米。冷却机为炉篦子冷却机,宽13.7米,长10.94米。分解炉的热负荷为 $2 \sim 3 \times 10^6$ 千卡/米³·小时,分解炉出口的过剩空气系数为1.05。分解炉燃烧的燃料量占55%,窑占45%,而在分解炉燃烧的燃料中,辅助燃烧室占5~10%,分解室占90~95%,出分解炉时生料分解率为45~50%。在混合室进一步分解,入窑时分解率为85%。该窑1973年4月的平均月产量为235吨/日,单位容积产量为206公斤/米³·小时。

大船渡水泥厂一台带RSP型分解炉的窑于1974年8月11日投入生产(图6)。窑的规格为 $\phi 3.85/3.53 \times 76$ 米,产量为2850吨/日,热耗740千卡/公斤熟料。重油由8~10个喷嘴喷入分解炉,喷油压力为30~35公斤/厘米²,油温110℃。窑产量的进一步提高受到冷却机限制,准备按3000~3500吨/日的产量加大冷却机的鼓风机。分解炉的二次风温为650~700℃,由冷却机抽来。由于二次风温高,分解炉的热负荷达 1.6×10^6 千卡/米³·小时[13]。该窑的主要设备规格及运转情况列于表8。

RSP型分解炉以油为燃料,但小野田公司最近在田原水泥厂完成了烧煤试验[28]。

表9列出了已建和正在兴建的RSP窑的规格和指标。表10列出RSP窑的设计系列。

KSV型

KSV型是日本川崎重工业公司研制的。这种分解炉由喷腾层和涡流室两部分组成。如图7所示,由冷却机来的二次空气用鼓风机由分解炉底部垂直向上喷入,使炉内生料形成喷腾层(即类似喷泉的运动状态)。生料和燃料(油)也

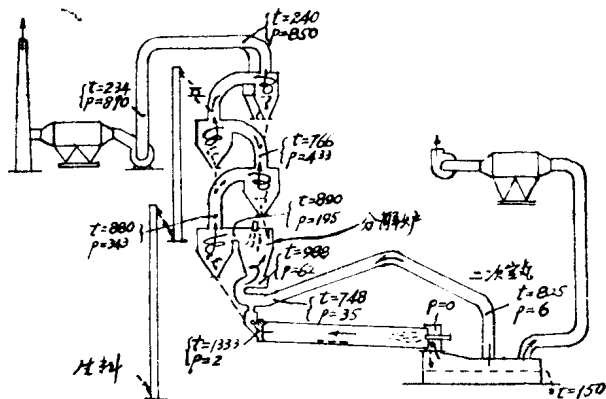


图3a 陕父水泥厂的SF窑

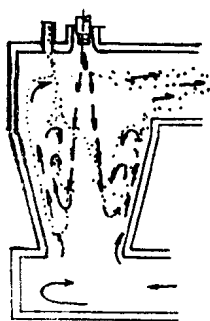


图3b 石川岛公司的SF型分解炉

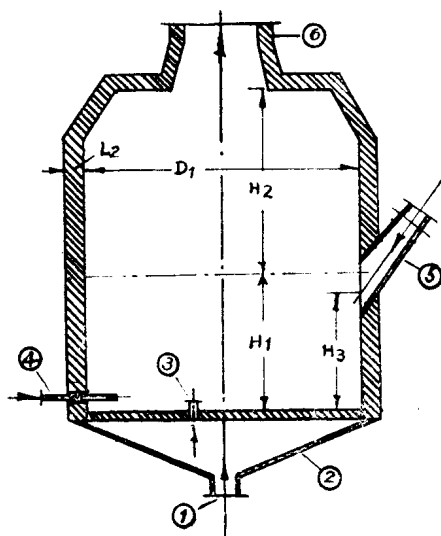


图4a MFC型分解炉

1—流动床空气入口, 2—空气室, 3—风帽,
4—喷嘴, 5—生料入口, 6—废气出口