

水泥生料成球

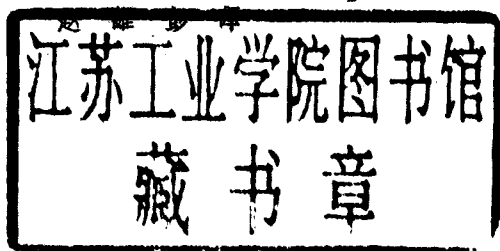
Л·А·伯倫施坦 М·Б·弗林切尔著

赵维彭译

中国工业出版社

水泥生料成球

П·А·伯倫施坦 М·Б·弗林切爾著



中国工业出版社

本书对干法水泥厂用筒式成球机和盘式成球机成球的理论及技術作了較深入的研究；同时还介绍了湿法水泥厂預先用过滤机过滤料浆，再破碎筛分成球的方法。

全书共有三篇，前两篇中一方面从理論上闡述了干法和湿法的成球机理，而且对料球性能作了分析；另一方面，結合历年来的生产实践和試驗研究，介绍了成球机和过滤机的技术性能、操作参数，以及操作中应注意的事项。后一篇中，簡略地介绍了成球工序的生产控制。

本书除了可供立波尔窑与立窑水泥厂中的技术人員参考外，亦可供湿法水泥厂中的技术人員参考。

П. А. Бернштейн М. Б. Френкель

ГРАНУЛЯЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СУХОМ И МОКРОМ СПОСОБАХ ПОДГОТОВКИ

ГОССТРОЙИЗДАТ

Москва—1959

* * *

水泥生料成球

赵維彭 譯

*

中国工业出版社建筑图书編輯室編輯（北京德勝門外大街10号）

中国工业出版社出版（北京德勝門外大街10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092¹/₃₂·印張4·字數770,000

1963年1月北京第一版·1963年1月北京第一次印刷

印数001—800·定价（10-7）0.57元

*

統一书号：15165·2044（建工-273）

序

将湿润的粉状物料变成球体（料球）的过程，叫做成球。

黑色冶金工业中矿石的烧结以及有色冶金工业和其它工业部门中所用原料的制备和选矿，均须进行成球。水泥工业中不论用任何结构的窑，在干法煅烧熟料时，其生料最好也经过成球。

当在立窑、附设有输送式煅烧机的窑和在炉篦式煅烧机上层状煅烧熟料时，水泥原料的成球具有更重大的意义。在这种情况下，料球之间的接触面积最小，从而可保证物料和气体之间有最大的单位接触面积，并能将气流分成很细的流股，而使它和每个球粒相接触。在高速气流下煅烧生料球的这个特点，加强了热气体对物料的传热作用。

窑的产量、耗热量、耗电量、飞灰量和熟料的质量都决定于成球的质量以及料球的尺寸和强度。因此，创造出最合理的成球条件，以保证得到坚实的、尺寸相当的料球就具有头等重要的意义。

当在附设有输送式煅烧机的窑内煅烧熟料时，石灰石-粘土生料、石灰石-矿渣生料或者是泥灰岩原料，均须经过成球。

在立窑内煅烧熟料时，生料最好也经过成球。苏联在实验室内和工业中所进行的试验以及国外水泥工业实际应用的結果都证明：在立窑中采用料球进行煅烧比用料块更加有效。因料球层在立窑中比较密实，从而可改善热交换作用并增加窑的产量。

当用石灰石-粘土和石灰石-矿渣生料煅烧熟料以及在制造矾土水泥时，采用炉篦式煅烧机煅烧熟料有很大优点。用这种烧成方法，生料内要掺入燃料（焦炭粉）及生产过程中所得到的生烧回料。成球时原料中要加入约60%的这种固体粒状回料，虽则会影响成球过程，然而却有助于得到疏松而多孔的料层。

用迴轉窑煅烧熟料时，原料粉通常是在螺旋式润湿机中湿润。但这样制成的料块并不很结实，以至于在干燥带的开始就会由于高温废气的作用而破裂。因此，在迴轉窑中进行煅烧时，只有在温度不超过 300°C 的干燥条件下，生料成球才是有益的。此干燥工序可在窑后装设的任何一种干燥设备（干燥筒或炉篦式煅烧机）内完成，料球将由已被冷空气冷却到 300°C 的废气先行干燥。生料进入迴轉窑前经过成球，就会改善热交换作用、降低燃料的消耗量并提高机组的产量。

用湿法制备生料并在附设有输送带煅烧机的迴轉窑内煅烧成熟料，这是水泥生产中效率最高的方法。这种生产方法成功地运用了湿法生产中的所有优点：料浆得到了完善的配制和严格的控制（这样则能够制造出高质量的熟料），车间内清洁，飞灰量较低（这是有输送带煅烧机的主要优点），并且耗热量也比较低。

用这种生产方法时，湿法制备成的料浆要在真空过滤机中脱水。这时集结在滤布表面上的物料层（滤饼），随原料的物理化学性质的不同，其水分将保持在18~24%之间。在个别情况下（指高塑性的泥灰岩），滤饼的水分还可能达到30%。

由真空过滤机上脱落下来这样大水分的滤饼，还要经过破碎过程，破碎成5~15毫米大小的小块，然后再送到成球

机中成球，与此同时自废气中回收的粉料也送入成球机内。滤饼和窑灰在成球机内滚动的结果，将制成很结实而尺寸不太大（5~15毫米）的料球。

阿根廷有一个水泥工厂就是采用这种生产方法。

在立窑中、在炉篦式煅烧机以及在各种沸腾煅烧的窑内煅烧熟料时，为了提高产品的质量，生料最好采用湿法加工的方法。在所有这些情况下，料浆都必须经过脱水，而后滤饼经过成球。但对各种不同结构的窑来讲，这一过程均有其自己的工艺特点。例如，必须考虑到立窑所烧的生料中将含有燃料，而这有碍于过滤和成球操作。当确定立窑中料球的尺寸时，必须要考虑到它的料层比较高和固体燃料在料层中燃烧的特点，而后者则与热气体向料球中的扩散作用有关系。

对于炉篦式煅烧机来讲，其特点是在于料球中含有大量的回料，而回料与滤饼的混合性能，又改变着物料的成球条件。

对于沸腾煅烧的窑来讲，风动制度是很重要的，因此就必须采用比其它煅烧方法用的更细小的料球。

水泥工厂中最好将过滤机上收回的粉料也进行成球。

所以说，水泥生料的成球在水泥工业中将得到全面的应用。

有关物料成球的理论问题，已在土壤学和地层学中联系到土壤的聚集作用而进行过研究。

A. Φ. 列宾捷夫在这方面的工作是众所周知的，他研究了水与物料的结合方式和土壤聚集作用最适宜的条件。A. M. 瓦西列娃制订出测定土壤物理性质的方法和技术。П. A. 列宾捷尔院士同样研究过水与物料的结合方式，并提出

了分类的方法。

Б. В. 杰良金的著作論述了能够使水和固体物料紧密結合的水薄膜的性质。

А. М. 巴尔芬諾夫、Н. А. 聶契波連科、С. М. 明洛夫和С. Т. 洛斯托夫切夫等研究者研究了适用于冶金工业（燒結）的成球問題。

Е. И. 霍德洛夫、Б. А. 別托洛夫和В. А. 聶尼托夫曾研究过水泥生料的成球理論和实际生产問題。作者在編写这本书的时候，是以这些学者的著作以及作者在南方水泥設計院对水泥生料的成球技术进行研究的結果为基体的。

在这本书中叙述了干法和湿法制备水泥生料的成球理論和实践經驗，引証了實驗室的研究結果、丰富了水泥工业中进行成球、干燥、粉碎和在各种型式的窑內煅燒料球的經驗，闡述了各种結構的成球机及其輔助設備。該书第一篇（干法生产的成球）是由М. Б. 弗林切尔写的，第二篇（湿法生产的成球）是由Л. А. 伯倫施坦写的。

目 录

序.....	5
第一篇 干法生产中水泥生料的成球.....	1
第一章 成球原理.....	1
第二章 干法生产中的成球.....	2)
第三章 料球在各种结构窑内的煅烧特点.....	34
第二篇 湿法生产中水泥生料的成球.....	53
第四章 过滤过程原理.....	55
第五章 强化过滤过程的物理化学原理.....	62
第六章 湿法生产中水泥料浆的过滤以及滤饼的 破碎和成球.....	74
第三篇 生产控制	113
参考文献	118

第一篇 干法生产中水泥 生料的成球

第一章 成球原理

凡固体物质表面层上的分子均具有过剩的能量。这是因为它们仅同里面一层的分子以分子力相结合，而外面同空气和水等其他毗邻介质的关系则是自由的。因此，固体的表面则能够吸引并附着其他物质分子。

假若液体与固体分子之间的吸引力大于液体分子本身之间的吸引力，则固体称之为亲液（可浸润）性固体。凡亲液物体的表面均有吸引和附着液体的本领。而在其表面上能够吸引和附着水的物体，又称为亲水体。

物体的亲水性乃是成球的基本条件。粉状物料愈容易被水所浸润，即亲水性愈高，则其表面就愈能较快地吸引和附着水分，而利于成球。

球粒的形成机理如图 1 所示。在表面张力的作用下，两个单独的水滴接触后即结合成一较大的水珠，并力求成为圆球状（图 1 a）。假设这些水珠浸润在亲水物料颗粒的表面上，则形成一层水膜（图 1 b）。同样，在此表面张力的作用下，水膜将连接起来，而使固体颗粒更加靠近。从而形成了一个球体的核心，即是一个被水膜所包围着的固体颗粒。

没能和固体颗粒结合的自由水即将集中在球粒的表面

上，并去吸取新的物料颗粒。这样就形成了一种层状结构（图1 a）。在图2中的球粒断面图上可以明显地看到球粒的这种结构。

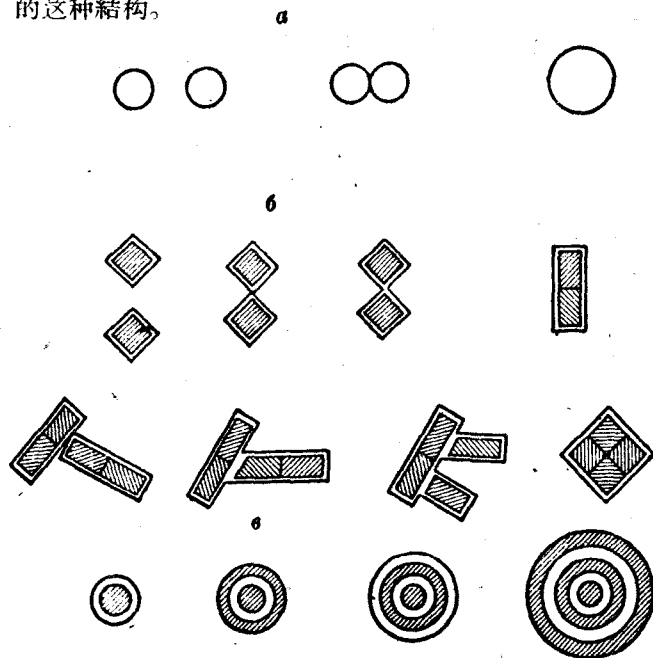


图 1 成球机理

这种球粒在成球机内滚动的过程中，体积逐渐变大，并形成一规则的球体，同时强度显著增加。

由于物料颗粒与水的紧密结合而使球粒达到很高的机械强度，这是因为有一定力作用的缘故。按П. А. 列宾捷尔的分类意见认为：在成球过程中，水分和物料的結合可能有化学的及物理化学两种形式。化合水或结构水是参加到物质成分内部的，并且未经破坏之前是分不出来的。

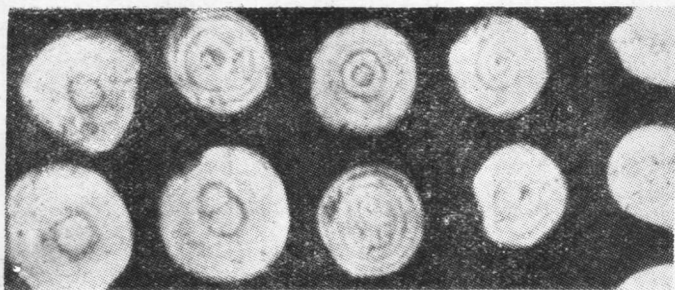


图 2 在筒式成球机中制成的球粒的断面图

П. А. 列宾捷尔认为，物理化学的结合形式是属于吸附性的结合，此乃是由于分子力场的作用而吸附了水分的结果。在固相分子力的作用下，水的分子附着到最初的物料颗粒的周围而形成一层水膜，这就有利于物料的塑化作用。

在土壤学中，通常采用另外一种方法表示水和物料的结合形式。

在这里，物料颗粒和水的结合主要解释为分子吸附力和毛细管力作用的结果。由于物料颗粒和水分之间的分子力而引起的使固体物料能够附着水分的本领，在土壤学中就叫做分子水容量*，而相当于最大润湿度的物料水分就叫做最大分子水容量。

因此，可用最大分子水容量作为物料亲水性能的标度。

物体能够保持水分的分子力乃正比于固体颗粒与水接触的面积，并且与物料的可塑性、结构以及吸附水的性质有关。假若水分超出了分子水容量的极限值，则包围在物料颗

* Влагoемкoсть是参照Теплoемкoсть（热容）一詞而譯成“水容量”。

——譯者注

粒上的水膜就会加厚并产生流动，而将固体颗粒之间的空隙填充起来。此即为向物料的毛细管水容量的过渡阶段。当所有的毛细管都被水充满后，这时的水分就叫做最大毛细管水容量。

毛细管水分能将物料颗粒拉紧。这是因为毛细管中成负压的缘故。毛细管中的水柱是由表面张力支持着，并悬吊成为一个“弯月面”，而且是拉紧的。由于是负压，就会吸引物料颗粒。所以在有毛细管力存在的情况下，成球作用以及物料的粘结性即将取决于颗粒间毛细管力的大小。

若物料中的水分继续增加，则会将所有的空隙填满，而水就会受到重力的作用，即在垂直的方向上产生移动，而具有流动性。

兹根据南方水泥设计院实验室试验的结果，将有关最大分子水容量、最大毛细管水容量和最适宜的成球水分列入表 1 内。

表 1

生 料 的 名 称	最大分子水 容 量 %	最大毛细管 水 容 量 %	最适宜成球 水 分 %
克里沃罗格的石灰石-矿渣	15.5	32	15
叶佩基辅的石灰石-矿渣	13.5	36	14
石灰石-粘土	17.0	46	18
泥 灰 岩	17.4	48	17

最大分子水容量是根据 A. Ф. 列别捷夫和 A. Я. 华西列夫所提出的方法测定的。这个方法的原理就是用 70 公斤/厘米² 的负压将试饼抽真空，并以这时所保持的吸附水分作

为最大分子水容量。这个数值是个假定值，并且只能近似地代表吸附结合水的数量。但这个方法仍还是得到广泛的承认，且在土壤学和地层学中被广泛地应用着。

最大毛细管水容量是根据干料粉在玻璃管中所吸收的水量确定的：玻璃管的高度为100毫米，直径为5毫米，底上装有金属网，网上铺有一层滤纸。将试验样品放在滤纸上，并将玻璃管大约浸到水中3毫米左右，直到水在其中停止上升为止。

最适宜的成球水分是根据在实验室的筒式成球机中能够得到颗粒组成最均匀的料球（尺寸为5~10毫米）所需要的水分确定出来的。试验结果均列入表1内。

上述数据指出：最大分子水容量就差不多相当于物料最适宜的成球水分；在此水分下将得到级比最均匀且强度也比较高的料球。

而最大毛细管水容量比最大分子水容量要大很多。从而说明，由水的表面张力所决定的毛细管压力，对物料颗粒与水的紧密结合不可能起很大的作用，而且湿球的强度仅决定于分子的吸附力。必须指出：水膜的性质对于制成结实的料球来讲也有着很大的作用。B. B. 杰良金在研究了厚度为0.1~0.2微米的水膜的弹性后确定：由于水分子本身具有空间结构，故水膜即具有近似固体的性质——有抗剪力 and 较高的粘度。当固体颗粒分散相被这种薄膜隔离开之后，则整个体系的强度就会增加。

可见，适量的水分对于成球有着很大的作用。如水分过多，则水滴在球粒的表面上就很容易将新的物料颗粒粘附上来，使球粒尺寸增大，而这对工艺过程来讲是不适宜的。因为当颗粒表面上水膜的厚度增加后，就会产生滑动，而削弱

水膜的彈性。結果，料球的水分過高及尺寸過大，而強度則比較低，且在濕的或乾的情況下都很容易破裂。

假若生料沒有被潤濕透，則一部分物料就成不了球。除此以外，還將造成大量細小的顆粒，從而降低料層的气体透過性能。

必須說明，最適宜的成球水分同時也決定于物料的粉碎細度。假若物料的細度較高，則固体顆粒與水接觸的機會增加，顆粒表面上的水膜較薄，從而也會增加物料的分子水容量和最最適宜的成球水分。

表2中的數據指出了最大分子水容量及最適宜的成球水分與物料粉碎細度間的關係。這裡的生料是由60%的黃石石灰石和40%的高爐水淬礦渣所配成的混合料。

表 2

石灰石-礦渣生料的 粉碎細度（在0085號 篩上的篩余），%	最大分子水容量 %	制成5~10毫米球料 的最適宜成球水分 %
3	18.7	19
5	17.4	17
10	15.5	15
15	14.8	14

最適宜的成球水分不是一個一成不變的，僅僅決定于上述因素（物料的性质和粉碎細度）的固定值。這個水分也可能隨濕料在成球機內的成球方法和成球時間不同而變化。成球機旋轉時所產生的動壓力愈大，物料在成球機內停留的時間愈長，則最適宜的成球水分也就愈低。因此，規定一個在實驗室中測定最適宜成球水分的試驗方法是具有很大的實用意義。

的。这个方法必須最大限度的接近于工业中实际成球作业的工艺过程，同时实验室的成球机本身就应该工厂中所用成球机的几何相似模型。假若不符合这些要求，那么在实验室中所确定下来的最适宜成球水分，就会同工厂中的数据产生很大的偏差。

在干法水泥生产中所使用的原料有石灰石、粘土、泥灰岩和水淬高炉矿渣等。这些原料都必须磨细到水泥工业所规定的细度（在0085号筛上的筛余大约不超过7~12%），然后加水单独的或者混合起来进行成球。

但这些原料的成球性能并不相同，由不同原料制成之料球的强度以及在各种窑内煅烧的过程中，抵抗热力作用的能力都是不同的。

国家水泥设计院和南方水泥设计院等单位，对各种不同原料及其混合物料进行多次成球试验的结果证明：原料的塑性愈高，则其成球的本领和球体的强度也就愈高。

因此，对有关原料性质的各项资料就必须仔细的加以研究。

原料的可塑性及料球的强度

所谓可塑性，就是指某一种粉状物料，在用水调合后能在外力作用下塑成一定形状的物体，并且当其中水分被排出后仍能保持原状而不致破裂的性能。物料的可塑性决定于物料颗粒的大小、形状、互相间位置的排列以及表面积等其它因素。我们知道，很多人工配成的水泥生料（白垩加粘土，石灰石加粘土），或者是天然水泥原料（如泥灰岩）中所包含的粘土成分，均为最典型的可塑性原料。

由于粘土顆粒的分散度很高，所以它的結晶格子（特別是晶稜和晶角上）好象破坏了似的。在这些地方的顆粒就不象結晶格子内部那样具有正負电荷的平衡状态，而产生有电位差。因此，粘土顆粒就具备了与介质中其它自由离子結合的本領，也就是和水的离子結合的本領。这种和粘土結合的离子就叫做吸附复合体。吸附复合体的尺寸愈大，則粘土的可塑性愈高。在水介质中，带有这种吸附复合体的顆粒即将离解；其中一价的碱金屬阳离子（特別是 Na^+ ）比两价离子（ Ca^{++} ， Mg^{++} ）具有更高的离解能力。离解的結果，产生同性电荷，从而就要互相排斥，也就是說，原来的顆粒就会分散得更加細小，即产生胶溶的作用。

水分排出后，互相靠近的粘土顆粒将具有很大的比表面积，并且有很强的結合能力。所以，粘土經過干燥之后才含有很高的强度。如粘土成分中含有胶体物质，也会增加它的可塑性。例如一系列的可塑剂就具有这种效能（如硅胶、丹宁酸、硫酸酒精廢液——C.C.B.等等）。粘土或其它物料中，假若矿物或有机胶体物质的含量愈高，就会增加它的吸附能力，而可塑性也就愈高。用机械方法增加物料的分散度（例如将水泥生料磨細），則顆粒的外表面积增加。因此，能够吸附阳离子的晶格缺陷的数量和表面积也会增加，这样就会提高其可塑性质。

粘土顆粒的片状结构，也有很好的作用，因为这时加水后，顆粒之間就会更緊湊的結合并相互滑动。

物料的可塑性决定于一系列的因素：顆粒的尺寸和形状、杂质的数量及性质、顆粒表面的性状、固体物料和水的化学成分，以及与水的作用時間等等。因此也就很难对物料的可塑性規定出一个統一适用的計算方法。

在研究水泥生料的可塑性时，可以采用“球形”法，因为这最符合于成球的条件。这个方法就是要测定球体的机械负荷。因为用水湿润到一定程度而制成的球体在机械负荷的作用下就会产生裂缝并改变其直径。在这种条件下，可塑性常数 E 可按下式计算：

$$E = \frac{d_0 - d_1}{d_0} P$$

式中 d_0 —— 試驗前球体的直径；

d_1 —— 球体受压并出现裂缝时短轴的直径；

P —— 当球体上出现裂缝时的负荷。

根据南方水泥设计院的资料，兹将一系列水泥原料和生料的可塑性数据载于表 3 中。

表 3

名 称	可塑性常数	名 称	可塑性常数
原 料		耶納基耶沃矿渣	20
塑性粘土（查索夫雅 尔斯克）	245	生 料	
克拉瑪托尔斯克粘土	192	泥 灰 岩	162
白色城白堊	141	粘土质白堊	138
黄石石灰石	125	石灰石质粘土	130
耶納基耶沃石灰石	58	克里沃洛格斯克石灰 石矿渣	111
克里沃洛格矿渣	25	耶納基耶沃石灰石矿 渣	47

要特别注意：黄石石灰石和耶納基耶沃石灰石的可塑性有很大的差异，故用这种原料配制成的石灰石-矿渣料球，其成球能力和性质也是不同的（见表 4）。

根据岩相分析的資料认为，黄石石灰石是属于有机系类，并具有很明显的微晶结构的特征，碳酸鈣晶体的尺寸小