

出版说明

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，我们组织翻译了苏联冶金出版社 1971 年出版的 A.C. 伏列金别格等著的《热工设备的喷补》一书。

喷涂修理冶金炉已在冶金工业的生产实践中得到了广泛的应用。它对于延长冶金炉炉龄、降低耐火材料消耗、改善炉子热修劳动条件和缩短停炉检修时间，以及提高炉子修建机械化程度都有一定的积极作用。这本书介绍了美、苏、日、英、法等国家对平炉、电炉、转炉、高炉、焦炉、加热炉、化铁炉等冶金炉的喷补情况，各种喷涂方法，喷涂料的配方和喷补机的结构。

本书是由鞍山焦化耐火材料设计研究院翻译的。由于原书烦琐累赘，译者花了不少功夫，可能仍有不足之处，须排泄其糟粕，吸取其精华，并欢迎广大读者批评指正。

目 录

第一章 用喷涂法制造和修补耐火炉衬工艺的一般问题	1
一、对喷涂层的要求	1
二、喷涂过程	2
三、对喷涂料的工艺要求	7
四、料流增热的喷涂	16
五、喷补装置	21
第二章 高炉的喷涂	46
一、高炉用喷涂设备	47
二、炉胸	48
三、炉喉	52
四、炉顶	54
五、热风炉	58
六、热风管道	60
七、铁水罐	61
八、喷涂料	64
九、高炉内衬喷涂修复后的干燥、烘炉和开炉	71
十、喷涂的经济效果	73
第三章 化铁炉的喷涂	75
第四章 炼焦炉的喷涂	80
第五章 平炉的喷涂	84
一、主炉顶	84
二、炉墙及堤坡	98
三、出钢口及出钢槽	111
四、盛钢桶	111

五、混铁炉	118
六、平炉下部结构	120
七、平炉车间喷涂作业的组织	122
八、喷涂的某些特殊问题	125
九、喷涂料	126
十、喷涂的经济效果	151
第六章 电炉的喷涂	154
一、喷涂工艺及喷涂作业的组织	154
二、喷涂料	156
三、喷涂的经济效果	159
第七章 加热炉及均热炉的喷涂	162
第八章 转炉的喷涂	170
参考文献	178

第一章 用喷涂法制造和修补耐火炉衬工艺的一般问题

一、对喷涂层的要求

各种工业炉的喷涂效果，主要取决于所用耐火材料的质量。炉子操作条件不同，对耐火喷涂层的要求也不同，耐火材料应能满足这些要求。

在熟悉炉子的操作条件、炉内达到的最高温度、温度波动范围、炉渣成分和炉衬的变化及其它因素的前提下，才能确定喷涂料基本组分、结合剂的化学成分和颗粒组成、喷补方法和喷涂层厚度，以取得最大的效果。

作为喷涂层来说，经常采用的是难熔的、耐热的及耐火的材料。

耐热保护层，其中包括喷涂层，尽管具体用途各有不同，但应具有下列共同特性〔4〕：

- （1）在该表面上能够形成均匀的具有一定塑性的薄层；
- （2）在长期操作的条件下，特别是在受到机械冲击和热震的情况下与该表面能牢固附着；
- （3）在侵蚀性介质与高温的长时间作用下，其性能应保持不变；
- （4）不被侵蚀介质完全渗透。

制造和检修炉衬时，耐火喷涂料应能迅速凝固，以避免从炉衬上滑落下来。

最常见的喷涂层的缺陷是它易从炉衬上滑落。

耐火喷涂层在使用温度下应具有足够的机械强度〔4〕。

在检修炉衬时，耐火喷涂层应起保护层作用，它首先承受介质各种因素的侵蚀作用，并保护耐火砌体不受侵蚀介质的作用。

在使用过程中，喷涂料的干燥和灼烧收缩应达到最低限度不应超过2~3%。只有在这种情况下，才能保证喷涂层和耐火砌体之间粘结良好〔5〕。

喷涂料往往向在使用过程中经受变化的砖面上喷涂，该砖与介质处于动态平衡中。因此，在选择喷涂料时，不仅要考虑收缩小，而且还要注意到喷涂料的线性膨胀系数应与受喷炉衬的线性膨胀系数相适应。

文献〔4〕指出，喷涂层和炉衬之间可能发生机械结合和化学结合。机械结合不够牢固，因为它只是由于表面粗糙不平而形成的。为形成化学结合，应具备下列条件：

（1）喷涂层材质和炉衬材质之间应存在化学亲合性；

（2）发生接触的原子和分子应具有足以产生化学结合的能量。

文献〔6〕指出，希望喷涂料的线性膨胀系数及化学成分与炉衬相适应，但并不是非这样不可。

文献〔7〕也持有这样的观点。认为，喷涂混合物的成分和热膨胀系数不一定要与受喷砌体的材质近似，因为喷涂料是向已加热的砌体表面喷涂，而且在使用过程中经受不大的热线性变化。

用磷酸盐结合的粘土质喷涂料喷涂硅质砌体的焦炉的事实，肯定了上述观点。

二、喷 涂 过 程

不了解喷涂层喷涂过程本身的物理和化学特性时，无法研制高寿命喷涂层。研究这一过程是相当复杂的，而且目前研究的还不够，因此还无法推荐喷涂料附着参数。

文献〔8〕指出，喷涂料颗粒系借助于表面粘着力附着于炉衬上。但是，只靠粘着力还不够，这只能在受喷涂表面附着薄薄

一层料。此外，只靠表面附着力而附着的料层在喷涂后几层料时会被吹掉。为使喷涂层成为随后几层料的基础，在喷涂层和受喷涂砌体之间应形成陶瓷结合。在这种情况下，液相能促进喷涂料和炉衬砌体之间的粘结。

文献〔8〕提出的平炉硅砖砌体和喷涂料之间形成陶瓷结合的机理如下：喷涂料中约含10%耐火粘土，主要组分为氧化硅。在喷涂过程中，由于在石英颗粒之间生成少量的易熔的最低共熔杂质（或与此类似的成分），该主要组分的性能发生显著变化；由于石英颗粒之间的这些少量杂质熔融，使石英颗粒粘结。

随着高温向喷涂料的纵深扩展，液态最低共熔物吸收越来越多的石英颗粒，致使液相区的成分与最低共熔物有所不同。

鉴于在这种成分不同时液相的凝固点增高，喷涂料凝固和烧结。

从喷涂层和受喷涂砌体之间形成陶瓷结合的液态过程的重要意义来看，上述观点不仅适用于酸性喷涂料，而且也适用于铬镁质、镁质和铬质喷涂粉料。必须注意到，铬镁质喷涂料中含有若干量氧化硅，后者于1300°C以上形成一系列易溶化合物，促进喷涂料粘着于砌体上，并得到烧结。

向平炉炉膛修补部位喷涂时，料的颗粒受到剧烈热震，因为它的温度在短时间内从20°C升高到1750°C。此时颗粒崩裂，使熔体易于向其中渗透，而颗粒的开裂使其接触面积增大，提高了固体物料与液相之间的反应程度。在液相与固相的反应过程中，喷涂料的物理状态和化学成分均发生变化。

在开始时刻，湿料和受喷炉衬暂冷薄层之间发生物理机械性粘着。

喷涂层受到高温作用后，喷涂层的形成及其与受喷涂炉衬的反应，乃是在料本身及在料与炉衬的接触区发生的物理化学过程的结果。

据日本资料推测〔9〕，由于炉衬熔流物的作用使其工作表

面层发生改变，因之耐火度降低，促进了喷涂颗粒的粘结。这样，受喷涂炉衬与喷涂料颗粒之间首先发生物理性粘结，而后在喷涂料和砖之间进行烧结过程。

苏联东部地区耐火材料研究所、马格尼托戈尔斯克钢铁公司及查波罗什钢铁厂的研究结果认为在喷涂时发生如下过程。

用压缩空气喷涂颗粒状物料的效果，首先决定于所制造或修补的炉衬在炉膛中的位置——炉顶、不同倾角的倾斜部分、炉底。

这样，对喷涂料向炉衬上附着过程影响最大的因素是重力的方向。

向炉底上喷涂粉料时，该因素起促进作用，向炉顶喷涂粉料时，则该因素起有害作用。

向炉衬倾斜部位喷涂粉料时，这一因素的影响即取决于炉衬的倾角，也取决于是否存在局部损毁，在局部损毁的范围内这一因素起促进作用（倾斜炉衬的局部损毁可按炉底对待）。

向炉顶喷涂颗粒状料的条件最复杂。

喷补实践表明，向炉顶喷涂物料的效果决定于在各工艺阶段发生的过程：

干喷涂料的制备（粉料颗粒组成的选择等等）；

喷射料流的形成（喷补机的结构）；

由喷枪至炉衬间的粉料空气输送情况；

喷涂料与炉衬接触瞬间发生的过程；

喷涂料后在喷涂层及其与炉衬分界处发生的过程。

干喷涂料的制备工艺、喷补机结构及向炉衬输送喷涂料的组织，均在后面的相应章节论述。

研究结果表明，在喷涂喷涂层后，当其温度升至 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 时，喷涂料开裂和变得疏松。熔尘氧化物进入喷涂层的表面及其内里，与物料发生反应，耐火度急剧降低。结果发生烧结，被加热到较高温度的料层工作面的烧结尤为显著。随着工作表面易熔

化合物的积聚，喷涂料熔融。与此同时，喷涂后喷涂层可能很快脱落，因为在 $800\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 实际上尚未达到要求强度。当喷涂层被熔尘化合物饱和后也可能脱落，裂纹的存在便说明了这一点。

在炉衬表面生成易熔化合物和最低共熔混合物时，烧结过程随后转化为众所周知的化学过程，促进烧结和形成牢固的喷涂层。

文献〔4〕中探讨了在粉料喷涂瞬间发生的过程；该过程可认定是附着过程。

在喷涂层和基本砌体的临界处，在一个物相附加于另一物相的瞬间，由于互相接触的物相之间发生反应，便产生附着现象。但是，颗粒和砌体之间的此种或彼种形式的相互反应，只有在它们之间紧密靠近时才是可能的。文献〔4〕认为，各物相之间的紧密靠近是产生附着的首要前提，但不是唯一的前提；附着还取决于一系列其它因素。例如，喷涂层的附着取决于颗粒喷射速度及其对被喷涂表面的撞击力。

当喷涂料和基本砌体靠近后，下列条件可促进其附着〔4〕：

（1）创造有利于喷涂层和基本砌体之间形成化学结合的良好力能条件；

（2）选择基本砌体和喷涂层成分时应保证在“固—液”临界处形成最牢固的化学结合；

（3）扩大“固—液”分界处的有效表面积。

不是所有紧密靠近的原子都参与化学反应。只有使那些具有比在该温度下平均内能值更高的余量内能的原子彼此靠近，才更加有效；要求的余能量是使过程活化所必需的能量。

鉴于提高温度是所有化学过程活化的最主要方法，为改进附着效果，喷涂任何一种喷涂层时，应尽可能在炉衬表面温度较高的条件下进行〔4〕。改进附着效果的第二种方法是加入附着及粘结活化剂，用以在较低活化能的条件下发生的反应来代替另一些反应，或者保证在该温度下反应进行得更为完全〔4〕。

目前，在实践中采用磷酸盐、硫酸盐及有机化合物等作附着和粘结活化剂。

但是必须指出，总的说来，在如何结合各种冶金炉用喷涂料研制附着和粘结活化剂及选择活化剂成分方面，还缺乏详细的研究。

甚至在较低温度条件下，附着和粘结活化剂也能形成强度较大的化学结合。

到目前为止，对喷涂料与受喷涂表面之间的附着机理研究的还很不够。文献〔10〕探讨了预先润湿至水分为30~40%的泥浆状物料的附着情况。

肉眼观察结果表明，当进行薄层喷涂及采用粒度小于0.088毫米的高级耐火材料时，粘结效果较为显著。

靠物料局部熔融使其初步附着于加热砌体表面，看来这是不可能的，因为在炉膛内泥浆的迅速喷射过程中固体颗粒只发生脱水，而未熔融。看来，泥浆从喷嘴喷出及剧烈分散后迅速脱水，而后，由于有液相存在，泥浆中的固体颗粒与受喷涂砌体表面接触后便粘结在上面了。粘结效果取决于液相（熔体）量及其对粉料颗粒的润湿程度。

文献〔11〕详细论述了喷涂料附着机理。喷涂料的成分应能保证实现下列三种形式的结合：

- （1）在喷涂气流作用下的机械结合；
- （2）靠物料结合剂产生的化学结合；
- （3）在高温下物料同耐火材料之间形成的陶瓷结合。

在物料中采用有触变性的物质（胶溶体、凝胶体）来代替水，在物料受到机械作用时可促进彼此相互吸收。

在喷涂料中采用这些物质时，有荷重时其流动性降低。去掉荷重（气流压力）后，形成凝胶体，使物料附着于炉衬上。粘土能满足对有触变性物质的要求，但它易熔。

在这方面，溶于水的合成树脂的效果最显著，树脂使物料附

着于炉衬上（第一种形式的结合），然后树脂被烧掉；这种树脂只需要用少量水便可溶解。

第二种形式的结合在较低温度下（260°C以下）形成。能保证达到此种形式结合的最常用的物料是碱度低的硅酸盐。但是，以硅酸盐为基础的结合只在800~850°C才是有效的。聚磷酸盐特别是正磷酸在1250°C前就可保证形成牢固的结合，此时喷涂料与耐火材料已开始形成第三类结合。

三、对喷涂料的工艺要求

1. 水分

如上所述，喷涂过程在很多方面决定于喷射粉料向炉衬的输送状况。

喷涂系使用含有大量细粉（<0.1毫米）的物料进行。

如何在喷射料流中保持细粉，既取决于压缩空气流的动能，也取决于料流中所含总水量。

研究表明，在距喷补机喷管端部2~3米范围内压缩空气对物料颗粒有直接影响；超出这一距离后，物料颗粒在惯性作用下自由飞行。

这样，在距喷管2~4米处阻止物料颗粒分散的主要因素是喷出料流的水分。

用喷涂法制造新炉衬时习惯用冷喷，喷涂料的润湿程度多系决定于干混合物中的水泥量，但这并不是唯一的因素。

文献〔12〕指出，喷涂泥浆状喷涂料时形成较致密的喷涂层，因为所制造的炉衬吸收水分时产生渗透压力和喷涂料的冲击力作用，使颗粒堆积密度增高。

通常在炉子操作过程中于高温下修补炉衬时，喷出料流的水分决定着能否将物料送到预定位置；水量不足时将导致喷涂料被大量旁落。但是，水量过多时会引起受喷涂炉衬过度冷却，这对碱性耐火材料尤为有害，因为这样可能造成砖掉块。

此外，水量过多时，由于在接触区域急剧生成蒸气和喷涂层的显著收缩，会引起喷涂层滑落或坍塌。

苏联东部地区耐火材料研究所、马格尼托戈尔斯克钢铁公司及查波罗什钢铁厂的研究结果表明，采用未经预先润湿的喷涂料时，向干的喷射料流中加入的水量取决于物料将要通过的炉膛的尺寸。例如，喷涂 500 吨平炉后墙时物料喷出距离达 8 米，料的原始水分分为 12~14%，喷涂 900 吨平炉时物料喷出距离达 10 米，料的原始水分分为 20~30%，物料喷出时在喷嘴处润湿。

在喷涂同一座炉子的过程中，为保证喷涂达到最大效果所需水量，也将根据个别部位损毁程度及炉衬剖面形状(这是主要的)来改变，即视距受喷涂表面距离而定。

喷涂料的预先润湿决定了混合物中保持一定量的水分，这样，在喷涂操作的具体条件下喷涂工人便无法正确选择物料的润湿程度。此外，物料的预先润湿会导致其显著分层，使整个喷涂过程发生困难〔8〕。

不论喷涂料采用哪一种润湿方法，其研究目的均在于探索水量的适宜值，以保证物料能可靠地附着于被加热至高温的炉衬上。

因此，便产生了喷涂热炉衬时精确计算干料润湿程度的必要性。文献〔13〕提出了此类计算。计算的基本条件如下：在飞经热炉膛的物料中的水分应被加热至沸点而不蒸发。计算适宜水量见图 1。

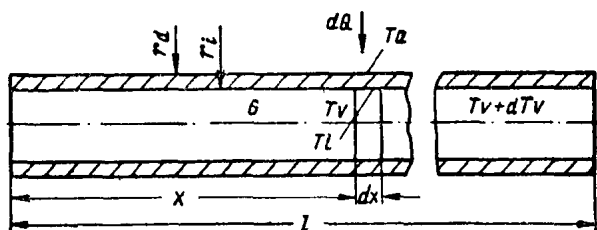


图 1 喷涂料适宜水量计算示意图

炉内引向喷涂料喷嘴的热量 dQ 按下式计算：

$$dQ = c_{1,2} dS_a \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] + \alpha_a dS_a [T_1 - T_a] \quad (1)$$

式中： $c_{1,2}$ ——灰体辐射系数，千卡/米²·时·度；

dS_a ——管子的外表面积，米²；

α_a ——炉内气氛向喷嘴的传热系数，千卡/米²·时·度；

T_1 ——炉衬表面温度，°K；

T_a ——管子外表面温度，°K。

在同一时间内该热量应穿过管壁：

$$dQ = 2\pi \frac{\lambda}{\ln \frac{r_a}{r_i}} dx (T_a - T_1) \quad (2)$$

式中： λ ——管壁导热系数，千卡/米²·时·度；

r_a ——管子外部半径，米；

r_i ——管子内部半径，米；

dx ——管子长度单元，米。

穿过管壁的热量应被流经管子的喷涂料所吸收：

$$dQ = \alpha_i dS_i (T_i - T_v) \quad (3)$$

式中： α_i ——由管子内壁向液体的给热系数，千卡/米²·时·度；

dS_i ——管子内表面积，米²；

T_i ——管子内表面温度，°K；

T_v ——管内水温，°C。

喷涂料中的水应能吸收进入管内的加热用热量。此时，在 dx 长度内将被加热至温度 dT_v 。

如果被耐火材料带走的热量忽略不计，则

$$dQ = G c_v dT_v \quad (4)$$

式中： G ——水量，米³/时；

c_v ——水的比热，千卡/米³·时·度。

方程式（1）～（4）叙述了由周围空间向喷涂料传热的情况。这些方程式求解后，便可确定喷涂料的适宜水量。

但是，这些方程式相当复杂；在不影响计算准确性的情况下，可简化如下：方程式（1）中去掉第一项，方程式（2），（3），（4）中去掉 T_i ，和 T_a 。

在这种情况下，我们得到如下关系式：

$$\frac{dT_v}{dx} = F(x)$$

代入下列各项后

$$dS_i = 2\pi r_a dx$$

$$\frac{1}{2\pi r_i \alpha_i} + \frac{1}{2\pi r_a \alpha_a} + \frac{1}{2\pi \lambda} \ln \frac{r_a}{r_i} = \frac{l}{K} \quad (5)$$

$$\frac{c_{1,2}}{\alpha_a} \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 + T = Q \quad (6)$$

得下式

$$\frac{dT_v}{dx} = -\frac{K}{Gc_v} (T_v - Q) \quad (7)$$

式（7）经过积分运算后，当 $x=0$ ； $T_v=T_{v,p}$ 时，得关系式 $T_v=f(x)$ 及

$$T_v = Q + (T_{v,p} - Q) l - \frac{K_v}{G_{cv}} \quad (8)$$

式中： l ——管子伸入炉内的长度，米；

$T_{v,p}$ ——进入喷嘴时水的温度，°K；

K 和 Q ——决定于式（5）和（6）所代入的已知值。

按式（8）可计算出当管长 $x=1$ 时排出管内热量所需的水量。

从这一观点来看，根据喷涂料水量的上述计算可确保喷补机喷管操作稳定。同时，这还可保证料流组织良好及保证将料送到

受喷涂炉衬上。但是应当指出，还缺乏关于已喷到炉衬上的料的润湿程度对附着过程的影响方面的数据，虽然可以推测，当料流组织良好时能为附着过程的进行创造良好的条件。

颗粒状物料的润湿效果决定于物料中水分分布的均匀性，而这又取决于混合室的结构及物料颗粒被拌合剂润湿的情况。众所周知，使用工业中广泛采用的表面活性物质可以显著提高物料颗粒的润湿程度。

2. 颗粒组成

对任何一种耐火炉衬的喷涂质量来说，喷涂料的颗粒组成具有重要意义。

在大多数情况下，足够的细磨程度是保证喷涂料能很好附着于受喷涂炉衬上的因素之一。细磨可促进料体良好烧结和具有足够的密度。

例如，喷涂焦炉硅砖砌体时，采用硅石和废硅砖制的喷涂料，其颗粒组成如下〔5〕：

0.5~0.2毫米	20~23%
0.2~0.06毫米	30~35%
<0.06毫米	45~40%

但是在某些情况下，则使用颗粒较大的喷涂料（见表1）。

铬矿和试验喷涂料的颗粒组成

表 1

材 料	下 列 颗 粒（毫米）含 量，%					
	>3	1~3	0.5~1.0	0.2~0.5	0.088~0.2	<0.088
铬 矿	3.1	22.8	12.7	14.3	17.8	29.8
铬质喷涂料	2.9	21.7	12.1	13.6	16.9	32.8
铬镁质喷涂料	0.7	18.5	10.2	17.3	17.7	35.6

文献〔7〕指出，大颗粒具有较大的动能，因而在炉内气流作用下它向一旁偏离的倾向小。喷涂料的适宜颗粒组成取决于所喷涂炉子的操作条件及喷补机结构。此外，物料的颗粒组成还取决于喷涂层的厚度。例如，当喷涂层厚度为10~15毫米时，使用

细分散性物料较为适宜，因为它容易烧结，而且对于这样厚的喷涂层来说，物料收缩值无特殊意义。当喷涂层厚度为20~40毫米（ <300 毫米）时，细分散性料收缩的影响极大，因此必须将物料的粒度增大到1~2毫米以上，以保证喷涂层达到最大的堆积密度。

查波罗什钢铁厂在制订平炉后墙喷涂制度时，研究了如何选定喷涂料的适宜颗粒组成。

曾指出，对于热喷涂来说，颗粒组成具有重要意义。喷涂层的热稳定性、抗渣性、收缩及机械强度均取决于喷涂料的颗粒组成。在向砌体上喷涂的瞬间，喷涂料的性状极为重要。在对250吨平炉后墙进行喷涂试验时，研究了喷涂料的适宜粉碎细度。采用铬质料，用水玻璃润湿。

根据上述试验结果确定，采用含有大量 <0.074 毫米颗粒的细粉料在喷嘴内润湿进行喷涂是不适宜的，因为它将被废气大量带走。

为使物料能很好地附着于炉衬上，并与之烧结起来，粉料中 <0.074 毫米的颗粒含量应在20~25%之间，而大颗粒的粒度不应大于1毫米；当物料颗粒过粗时会出现沙流现象。

匈牙利喷涂平炉时喷涂料中最大颗粒为0.5毫米，其中 <0.09 毫米的颗粒含量达60%。

据文献〔15〕的资料介绍，比利时喷涂盛钢桶用的物料中不含有 >0.59 毫米的颗粒， <0.074 毫米的颗粒含量达42%。但与此同时，喷涂盛钢桶用硅质涂料混合物中粒度达5毫米的颗粒占5~15%。日本各工厂也采用具有类似颗粒组成的喷涂料来喷涂盛钢桶。

文献〔14〕中列举了关于喷涂料颗粒组成的综合性资料，并且指出，颗粒的最大粒度取决于喷补机类型。例如，采用预先将物料润湿的湿法喷补机时，喷涂料中的最大颗粒为0.7毫米；采用在喷嘴处润湿物料的干法喷补机时，最大颗粒为13毫米。同时强调指出，从喷涂层密度来看，必须保证适宜的颗粒组成。

确定喷涂料适宜颗粒组成时，从喷涂表面跳回的回弹量起着较大作用。

防止回弹始于防止粉料起灰，在用喷涂法制造炉衬时尤其如此。为减少起灰，粉料预先润湿至水分 3~4% 或者将 <0.1 毫米颗粒做成泥浆状加入。为减少起灰，还可向干料中加入 0.1~2% 中性矿物油*。

实际上几乎无法避免物料的回弹。这在许多方面是由于喷涂特性所致。通常，在喷涂料流中按重量计每 20 份料中有 1 份空气。按体积而言，空气占 99%，它是动能的主要载体。在混合物撞击喷涂表面的瞬间，混合物中的大颗粒产生回弹，仅仅水泥、骨料中的细粉及塑性组分（如粘上等）附着于炉衬表面上。因此，先喷涂的厚 5~10 毫米的喷涂层主要由水泥膏体或塑性结合剂组成。随着该层厚度的增大，骨料中的大颗粒开始附着，此后回弹率趋于稳定。

由于回弹的缘故，在最初喷涂的厚度为 5~10 毫米喷涂层内水泥含量比基本喷涂层多 25~35%，而基本喷涂层内的水泥量又比原混合物中的多。

随着原始混合物中水泥含量的减少，回弹量绝对值增大，而且骨料粒度愈大，回弹绝对值愈大（见表 2）。

反之，当混合物中水泥量和细颗粒愈多，因回弹造成的损失愈少。为此目的，喷涂混合物中细粉加入量应多于调制普通混凝土时的用量。

实际观察表明，回弹料中的水泥量不大。

回弹料中水泥量平均为喷涂料水泥总量的 10~15%。

图 2 表示出不同粒度的颗粒从竖壁回弹的或然率的研究结果〔16〕。回弹或然率可用下式表示：

$$P = 17.5 - 0.11(12.3 - d)^2$$

* 法国专利 1959 年 №1301451。

式中： d ——颗粒的直径。

混合物的颗粒组成及水泥量对回弹量的影响

表 2

干混合物中的水泥量 公斤/厘米 ³	混 合 物 组 成 (水泥：沙子+碎石)	混合物中沙子与 碎石之比	回 弹 量，%
200	1：7	1：0.25	15
		1：0.55	17
		1：1	23
300	1：4.2	1：0.25	19
		1：0.55	13
		1：1	17
400	1：2.8	1：0.25	8
		1：0.55	12
		1：1	14

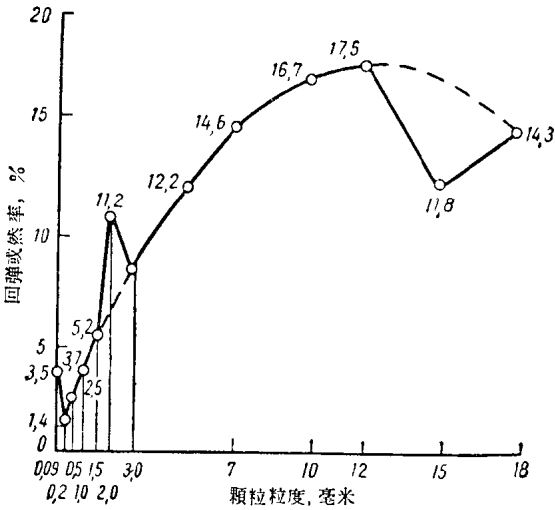


图 2 颗粒的粒度与回弹或然率的关系

图 2 中用虚线表示的系为按上述公式计算的曲线，而用实线表示的为实际回弹量。