

第 1 章 热沥青混合料的生产 及其质量控制

对热沥青混合料的生产及其质量控制的研究是整个沥青混凝土路面施工技术 with 质量控制研究的重要方面，这不仅仅表现在路面施工过程中对工作度的影响，而更重要的是对在承受大交通量和各种各样的温度和气候条件施加的载荷和作用后，路面的长期使用性能的影响，如：路面寿命、高温抗车辙和低温抗裂缝的能力以及行车的舒适性和安全性等。因此，对热拌沥青混合料的生产及成品料的质量控制进行深入研究具有十分重要的意义。

1 热沥青混合料的生产及影响成品料质量的因素

在影响路面施工质量的各种因素中，混和料的质量是至关重要的，往往由于混合料质量方面的原因造成以下路面病害：

(1) 由于集料圆滑，破碎表面很少，使路面稳定性不足而造成车辙和拥包等缺陷；

(2) 由于亲水性集料过多或级配方面的原因，导致水和空气容易进入路面，引起氧化和分离，沥青膜从集料上剥落，造成易磨损、松散等问题，从而降低路面耐久性；

(3) 由于沥青含量的均匀性差或材料严重离析，造成局部孔隙率过高；

(4) 沥青含量偏低引起疲劳裂缝，降低路面抗疲劳性能及松散、坑洞等病害。

以上这些问题严重影响了路面的使用性能。我们必须从原材料的管理、搅拌设备的正确使用、混合料的装卸运输和成品料的质量检验等诸多方面对沥青混合料生产的各个环节进行科学的管理和严格控制。

1.1 原材料对混合料质量的影响

1.1.1 粗集料

粗集料是指具有足够强度和耐磨性的碎石、轧制砾石。其表面应清洁、无风化、无杂质。在选择粗集料时，首先应有足够的强度，在路面结构中，粗集料起骨架支承作用，应保证其在汽车载荷作用下具有足够的承载能力，在试验室用压碎值进行评价。其次，应保证粗集料与沥青之间有良好的粘附性，由于碱性材料与沥青的粘性较好，因此使用较普通，但其强度和耐磨性普遍较差，因此强度高的酸性材料在公路施工中用得越来越多，但必须用外加剂来改善石料与沥青的粘结性能。第三，要限制针片

状石料的比例，在碾压过程中针片状石料较易压碎，导致混合料矿料级配发生变化，影响路面构造深度、附着性能等，对于上面层混合料要求有较好的耐磨耗性能。

在粗集料的生产中，宜采用锤式破碎机或反击式破碎机进行石料加工，以形成有棱角的块状立方体石料，减小针片状石料含量，增加料间的挤嵌力。

1.1.2 细集料

细集料是指天然砂、人工机制砂和石屑等。由于石屑多为石料破碎过程中的副产品，主要为石料表面剥落层和撞击下的棱角，扁平料较多，强度很低，其用量应受限制，最好不用，比例太大会影响混合料质量。混合料中的细集料应首先选人工破碎的人工机制砂和优质天然砂，在天然砂与石屑混用的情况下，天然砂所占的比例应高于石屑的比例。

1.1.3 矿粉

矿粉一般指颗粒小于 0.075mm 的碱性材料，要求干燥，不含泥土。矿粉在混凝土中起着十分重要的作用，由于其颗粒很细，因此具有很大比表面积。若加入混合料中的矿粉偏高，将使颗粒表面油膜变薄，使混合料出现干燥、低温开裂现象；反之若混合料中矿粉偏低会出现含油过多现象，造成泛油和起油包等病害，因此对混合料中的矿粉数量和类型必须进行仔细的控制。

1.1.4 沥青

沥青是一种粘稠胶结材料，具有耐久性、粘聚性、感温性和抗老化性。由于这些性能与沥青的来源和提炼方法有关，因此高速公路使用的沥青必须进行性能指标测定，特别是严格控制含蜡量指标。除此之外，还应注重沥青的管理，例如若沥青中混入 0.1% 的柴油会使闪点降低 27% 而针入度提高 10 度。

1.1.5 材料离析

离析现象是造成路面潜在损坏的重要根源，混合料一旦发生离析，使铺出的路面不同区域的级配发生变化，严重影响了路面压实度、平整度和使用寿命，是路面早期破坏的主要原因。研究表明：离析严重部位由于级配的变化局部孔隙率增大当孔隙率由 6% 增加到 7% 增加 1% 时透水性将增大 1~2 倍。材料离析现象伴随着整个混合料的拌和运输和摊铺过程，因此，必须从各个环节加以控制。首先是原材料的管理，由于材料堆放和管理等方面的原因造成离析，直接影响了搅拌站的稳定运行，使热料仓中的料位均衡被打破，造成某些仓时而溢料时而缺料。由于材料离析造成进入热料仓的材料粒径分布发生变化，从而影响了级配组成，尽管矿料与沥青的重量比没有变化，但由于矿料表面积发生了变化，因此，裹覆于矿料表面的油膜厚度发生了变化，导致混合料品质下

降。

1.1.6 含水率

由于目前我国工程施工中材料的来源很复杂，多家料场同时供料现象十分普遍，而材料又多为露天堆放，因此材料含水率的波动范围很大，例如砂的含水率可变化到 10% 以上，这就会带来很多问题。首先是造成搅拌设备温度控制失灵，成品料温度大幅波动。成品料温度是其质量控制的重要指标，若成品料出料温度过高会加速沥青老化，反之出料温度过低又严重影响摊铺和碾压作业，一般希望温度控制在设定值 $\pm 8\%$ 范围以内，最好能达到 $\pm 5\%$ ；其次是冷料含水率过高会造成加热集料残余含水率增加，影响混合料中矿料与沥青的粘结力；第三是冷料含水率增加会大幅增加燃油消耗率。研究表明：在标准状态下，集料平均含水率每增加 1% 油耗将增加 10% 左右。

1.2 搅拌设备生产能力的合理确定

搅拌设备的生产能力是指在单位时间内，在规定的条件下，设备连续稳定生产符合质量要求的沥青混合料的量。

由于搅拌设备是由几个相对独立又相互联系的子系统组成，因此各系统间应有合理的配置关系，从而最大限度的发挥整台设备的生产能力。研究表明搅拌器和干燥

筒是整台设备的主要决定因素。

1.2.1 影响干燥筒生产能力的因素

1) 滚筒设计因素的影响

在滚筒的设计因素中主要有：干燥筒的截面积（直径）长度、燃气的速度、叶片的结构和布置、干燥筒的回转速度、倾角。其中，回转速度和倾角决定了集料在干燥筒内的停留时间（在一定的滚筒长度下），它应该根据保证集料中水分能充分蒸发并使集料加热至给定温度所必需的最短时间来确定。叶片的结构和布置影响到能否形成连续、均匀分布的料帘，以使集料有更多的机会有效地接受燃气的热量，加快热交换的进程。干燥筒的直径决定了料帘截面积的大小，它直接影响燃气与集料之间进行热交换的能力。干燥筒的长度，一方面影响集料在干燥筒内的停留时间，另一方面则影响筒内集料的提升次数（形成料帘次数）。研究表明滚筒直径的变化对干燥筒生产能力的影响远比长度的影响为大。

从图 1-1 可以看到干燥筒的生产能力大体与滚筒的截面积成正比，即与直径的二次方成正比。

在滚筒结构一定的情况下，生产能力主要受材料因素和工况因素的影响。

2) 材料因素

材料本身对干燥筒生产能力的影响主要表现在粗细集料的比例和集料的吸水性上。

粗细集料的比例也反映在进入烘干筒的冷集料的松装密度上。细集料较多时，一方面集料的表面积增大，另一方面料帘的厚度增加，干燥筒内热交换的过程减慢，集料在筒内的停留时间需要加长，热集料的生产率也相应减小。图 1-2 表示在不同含水率下粗细集料比例对干燥筒生产能力的影响。从图 1-2 中可见，随着集料粗细比例的增大。干燥筒生产能力将明显上升，但当这一比例达 60:40 后，这种上升趋势就大大缓解了。

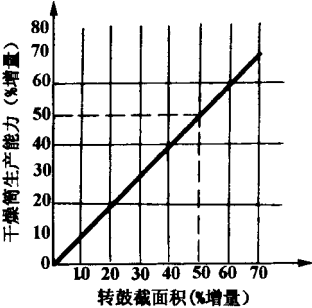


图 1-1 干燥筒生产能力随滚筒截面面积变化情况

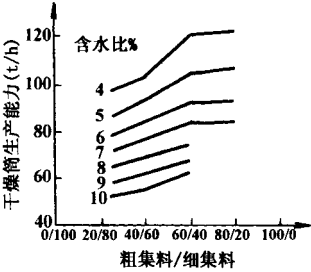


图 1-2 粗细集料比例对干燥筒生产能力的影响

集料的吸水性之所以对干燥筒的生产能力有影响，主要是因为像花岗岩、玄武岩一类的硬集料，其所含水分主要沾在集料的表面上而很少吸入内部，因而就较易蒸发。而吸水率大的石灰岩、细砂之类的矿料，由于水分在集料内部，烘干就比较困难，因而需要在筒内停留更长的时间，烘干筒生产能力也将相应下降。

3) 工况因素

工况因素主要包括供给集料的温度（或大气温度），供给集料的平均含水率，加热集料的温度，热集料的残余含水率以及干燥筒出口的废气温度。

在上述因素中，冷集料含水率对干燥筒生产能力的影响最大，这是因为蒸发集料中水分所需的热量通常占全部热量消耗的很大比例。实际上干燥筒加热含水冷集料所消耗的热量是由两部分组成的：一部分是将集料中水分升温、蒸发以及使水蒸气加温至废气温度所消耗的热量，它与集料中所含的水分成正比；另一部分是将集料加热至要求的温度所消耗的热量，它与热集料的生产量成正比。由于热集料的生产率 Q_A 与单位时间内从集料中除去的水分 Q_w 之间存在着以下关系（假定集料中的水分已全部除去）：

$$Q_w = Q_A \frac{W}{100 - W}$$

式中： W ——冷集料的平均含水率，%。

在燃料消耗一定、干燥筒热过程不变的条件下，热集料的生产率与含水率之间的关系可表述如下：

$$Q_A = \frac{100 - W}{AW + B}$$

式中： A 、 B ——与干燥筒热过程有关的常数。

图 1-3 是在燃料消耗为 1 700L/h，干燥筒直径为 2.5m 的条件下，干燥筒的生产能力与冷集料含水率的关系。从图中可见，冷集料的含水率对干燥筒生产率的影

响是十分大的，一般每增加 1% 的含水率，干燥筒生产能力将相应下降 10% ~ 12%。

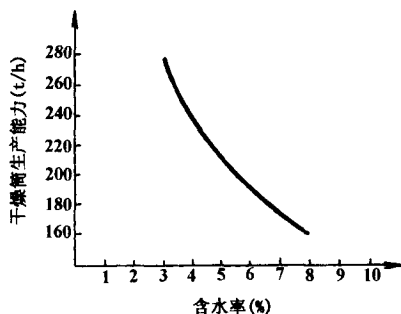


图 1-3 干燥筒生产能力随集料含水率而变化的情况

热集料的温度也是一个对干燥筒生产能力起重要影响的因素。加热集料要求的温度愈高，集料升温消耗的热量也愈大，干燥筒的生产能力也将相应降低。一般热集料出料温度降低 10% 则生产率可增加 5% 左右。热集料的出料温度通常控制在 $160 \pm 15^{\circ}\text{C}$ 的范围内。过低的集料温度将影响最终的成品温度，过高的热集料温度则会引起沥青过热老化，同样会影响成品料的质量。

供给集料的温度取决于大气温度。这一温度愈低，同样升至规定的热集料温度所消耗的热量也愈多，也会导致干燥筒生产率的降低。此外，大气温度作为一个低温热源还会影响干燥筒筒壁向大气扩散损耗的热量，从而也或多或少地影响到干燥筒的生产率。

集料中残余含水率允许值的增大可减少蒸发水分所消耗的热量，从而提高干燥筒的生产能力。虽然残余含

水率对恶化沥青与集料粘结质量的影响尚无定论，但一般倾向于严格控制残余含水率，通常控制在 0.1% 左右，最大不得超过 0.3%。

废气温度的降低有利于提高干燥筒的热效率和更加充分地利用燃料的发热量。虽然使废气温度降低至 80℃ 左右是可能的，但过低的废气温度对搅拌设备的工作并不有利。因为当废气温度低于水的露点温度时，废气中的水蒸气会凝聚成微小的水滴，并与烟道中的粉尘相结合而成泥滴，从而导致除尘设备，特别是袋式除尘器布袋的堵塞。因此对废气温度一般要求控制在 130℃ 左右 最高不得超过 200℃ 最低不得低于 115℃。

4) 干燥筒生产率

干燥筒的生产率是对标准工况而言的，即环境温度 15℃ 冷集料含水率 5% 出料温度 160℃。若实际条件与标准工况不相符时，应进行修正，修正公式见式(1-1)。

$$Q_0 = \eta \cdot Q \quad (1-1)$$

$$\eta = \frac{W(A - t_1) + 20(t_4 - t_1)}{W_0(A - t_{1w}) + 20(t_{4w} - t_{1w})}$$

式中： Q_0 ——标准状态下单位时间集料供给量，t/h；

Q ——实际状态下单位时间集料供给量，t/h；

A ——与干燥筒热过程有关的常数， $A = 590 + 0.486t_3$ ；

t_1 ——供给集料温度，℃；

t_3 ——排出废气温度，℃；

- t_4 ——加热集料温度， ；
 t_{1w} ——标准状态下供给集料温度， ；
 t_{4w} ——标准状态下加热集料温度， ；
 W_0 ——标准状态下集料平均含水率， ；
 w ——实际状态下集料平均含水率， 。

1.2.2 影响搅拌器生产能力的因素

1) 结构设计因素

结构设计因素主要包括：搅拌锅的容积、尺寸和形状 叶片的形状、数量、尺寸、安装角度和排列方式 (它们决定了混合料在锅内的运动方式)以及集料、粉料、沥青加入搅拌锅的方式。

经过长时间的试验、研究，双轴搅拌器的结构已经基本定型，各厂商的产品也大同小异，通过改变基本结构来提高搅拌器生产能力的潜力已经不多。对于一台已经制造出来的搅拌设备，这些因素实际上是不可改变的。

2) 材料因素

对不同混合料组成，存在着一个是否容易搅拌均匀的问题，这里起作用的主要因素是：细集料和矿粉所占的比例，沥青的含量、温度和粘度。一般认为细集料、矿粉较多的混合料，由于沥青吸收和粘附其上而较难拌匀；而沥青含量较多、温度较高、粘度较低的混合料，则由于沥青流动性较好而容易在集料中分布均匀和裹覆得较好。但是搅拌什么样的混合料是由工程设计要求确定的，搅

拌设备的任务就是要保证在任何级配组成下都能生产出符合质量要求的成品料。因此，搅拌器必须有一个可以调整的运行参数（通常选择拌和时间作为调整环节），以便满足搅拌不同级配混合料的要求。合适的拌和时间通常需要通过多次试拌方能确定。

3) 运行因素

运行因素主要包括：搅拌速度、搅拌锅充盈程度（充盈率）和搅拌时间。对于双轴桨叶式搅拌器来说，材料在搅拌时存在着垂直平面和水平平面内两种类型的运动。搅拌器在垂直平面内的搅拌作用，实际上是按两种不同方式进行的：一种是桨叶在混合料内的翻拌作用，它由于两轴叶片运动范围的重叠而加强了两轴区域间拌料的横向交流作用；另一种是存在于搅拌锅上方沸腾层中由“沸腾效应”而形成的混合作用。在水平平面内的运动是这样的：由于桨叶与搅拌轴所形成的倾斜角，桨叶将推动拌料沿着轴向方向（水平方向）移动。桨叶通常布置成这样：在一根轴上所有的桨叶都将拌料向一个方向移动，而在另一轴上的桨叶则都将拌料向相反的方向移动。因此搅拌器在水平平面内的搅拌作用也是按两种方式在进行：一种是在两轴之间的桨叶重叠区域内，由于两轴桨叶推动拌料相对移动而造成某种不规则的运动，从而发生水平平面内的翻拌作用；另一种是在两轴的外侧区域内，拌料将在两轴桨叶的推动下沿着搅拌锅周边形成某种循环运动，这种运动本身对拌料没有多少翻拌作用，但是可

大大加强两轴间材料的纵向交流作用。

根据上述对双轴搅拌机理的分析，显然可以看到提高搅拌速度对强化搅拌作用的影响。搅拌速度的提高不仅可以增强材料在垂直平面内的翻拌作用和两搅拌轴区域内拌料的横向和纵向的交流作用，而且可形成强化材料在搅拌锅上方空间的“沸腾效应”。这些都将有助于加强材料的搅拌和混合，促使在较短的时间内获得混合均匀的成品料，从而提高搅拌器的生产能力。但是速度的增加并不是无限制的，首先它将受到功率消耗的限制，因为增大搅拌速度不仅直接增加搅拌功率，而且还因搅拌阻力将随速度的增大而增大，间接地导致搅拌功率的增加，从而使搅拌器在高速搅拌时，功率消耗会急剧上升。此外，过高的搅拌速度将增加集料在搅拌过程中被二次破碎的概率，加剧搅拌器的磨损，这些都是限制搅拌速度进一步提高的因素。搅拌速度一般控制在 $2.1 \sim 3.5\text{m/s}$ 范围内。

充盈程度对搅拌器生产能力有着直接的影响。提高搅拌锅的充盈率意味着直接增加每批拌和料的数量，从而成正比地提高搅拌器的生产能力。但充盈率的提高必然会受到搅拌质量变坏的限制，这是因为随着充盈程度的增大，搅拌锅上方空间随之减小。其中的“沸腾效应”也随着减弱，同时桨叶在搅拌锅下部的翻拌作用也将由于材料参与翻拌的机会减少而受到削弱，这些都将导致搅拌效果恶化。此外，随着充盈率的增大，搅拌器功率消

耗也会增大，当充盈率增至 60% 以上时，所需搅拌功率将急剧增加，这也是限制充盈率增大的一个因素。充盈率通常选择在 40% ~ 60% 之间。

搅拌时间是干拌时间和湿拌时间的总和，它直接决定了材料在搅拌锅内经受各种搅拌作用的持续时间，是影响搅拌质量和生产率的决定性因素。缩短拌和时间意味着增加搅拌器的生产率，而增加拌和时间显然会改善材料拌和的均匀度。当然，过长的拌和时间也会对混合料的质量产生负面的影响，它会增加集料在搅拌锅内被两次破碎的概率，尤其是导致沥青的老化、降低沥青薄膜的针入度，而使之变硬。

从以上分析中可以看到，搅拌速度、充盈率和搅拌时间三者之间存在着某种制约关系，共同决定着混合料的搅拌质量和生产率。这样，在设计搅拌设备时，就有一合理确定这三项参数值的问题；而在使用一台已制造好的搅拌设备时则有一如何调整和设定拌和时间以适应不同的混合料组成，以及对成品料提出的不同搅拌质量要求的问题。

1.2.3 搅拌设备生产能力的确定

由于沥青混凝土搅拌设备的生产能力可以随多种因素的影响而变化，为了客观地评价一台搅拌设备的生产能力，就必须给出一个具有可比性的生产能力指标，这一指标通常称为额定生产率（能力）。确定生产率的关键是

正确、严格地规定标定条件，额定生产率正是在这样的条件下通过标定得出的，所以亦称标定生产率。对于一台已有的搅拌设备来说，它的结构、设计条件是不可改变或已经确定了的。因此，标定条件实际上包括材料、工况、混合料的质量等三方面的约束条件。规定标定条件的原则，一是要具有典型性，二是要能生产出合格的成品料。虽然各国试验标准和各厂商给出的标定条件会有某些差别，但大体上都是以能保证成品料基本质量的中等水平的工况和材料条件来规定的，它们可以归纳如下：

1) 工况条件

- (1) 大气温度或供给集料温度 15°C 或 20°C ；
- (2) 供给集料平均含水率 5% ；
- (3) 热集料出料温度 160°C 。

2) 材料条件

- (1) 最大集料粒径不超过 20mm ；
 - (2) 粉料含量 $4\% \sim 8\%$ ；
 - (3) 沥青含量 $5\% \sim 7\%$ ；
- 粒径下 2.36mm 以下细粉含量 $\leq 40\% \sim 45\%$
- 3) 混合料质量条件（由调整拌和时间来控制）

- (1) 沥青含量偏差 $\leq \pm 0.3\%$
- (2) 混合料温度 150°C 。
- (3) 矿料级配偏差
 - $0.075\text{mm} \leq \pm 2\%$
 - $2.36\text{mm} \leq \pm 6\%$
 - $4.75\text{mm} \leq \pm 7\%$

1.3 热沥青混合料拌制过程 对成品料质量的影响

沥青混合料采用搅拌设备集中拌制。搅拌设备是一组集供料、加热、计量和拌和于一体，能生产满足要求混合料的机械电子设备，它大致可分为两种类型，即间歇式和连续式。由于目前我国集料来源不稳定，级配变化大，因此推荐使用间歇式搅拌设备。在进行设备调整和进行混合料拌制过程中应注意避免成品料的品质下降。

1.3.1 搅拌器拌和时间对成品料品质的影响

搅拌器拌和时间的物理概念为：热集料从计量斗中开始卸料为干拌开始，沥青开始喷射为干拌结束、湿拌开始，搅拌器开门为湿拌结束，干拌时间与湿拌时间之和称拌和时间。拌和时间的确定依据机型的不同和材料的情况而定。间歇式搅拌设备材料体积在搅拌器内占活动区的百分比不同，应具有不同的拌和时间。活动区是指搅拌器的搅拌区域减去搅拌轴、桨叶后的体积，如图 1-4 所示。如果材料堆积过满，最上面的材料得不到充分拌和；如果材料太少，搅拌器效率太低。搅拌器中材料的多少用充盈率表示。搅拌器充盈率按式 (1-2) 计算。

$$\eta = \frac{m}{\rho V} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中： η ——充盈率，%；

- m ——热集料质量 t ;
- ρ ——材料平均密度, 一般 $1.6t/m^3$;
- V ——活动区净体积 m^3 。

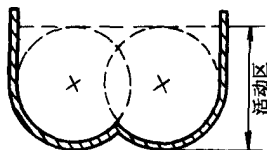


图 1.4 搅拌器活动区示意图

在考察搅拌设备时, 可以看到两种设计原则的搅拌器: 一种是搅拌器的充盈率在 $45\% \sim 55\%$ 之间, 拌和时间通常 $25 \sim 35s$, 即采用少装快拌的原则; 另一种是搅拌器的充盈率 $55\% \sim 65\%$ 而拌和时间则为 $35 \sim 50s$, 即多装慢拌的原则。由此可见, 搅拌器的拌和时间与充盈率之间有内在的联系, 不可随意确定。另外针对不同规格的混合料, 拌和难易程度易不同 (主要是粗细集料的比例、沥青用量的多少以及温度等因素)。一般细集料多, 则拌和时间长; 沥青含量和温度高, 拌和时间短。不同的充盈率对搅拌效果的影响见图 1-5 不同的拌和时间对搅拌均匀性的影响见图 1-6。由图 1-5 可见充盈率 45% 时拌和时间 $25s$ 与充盈率 62% 时的拌和时间 $41s$ 的拌和效果相当。由图 1-6 可知, 拌和时间越长, 拌和均匀性越好, 但不可过长, 时间过长会对混合料质量产生负面影响。因为混合料在搅拌器中的拌和过程, 就是在高温下沥青薄膜与氧气充分接触的过程, 即老化过程。拌和时