



废旧沥青混合料厂拌热再生技术与设备的研究进展

RAP = GREEN



长安大学 冯忠绪

主要内容

1

厂拌热再生得到普遍应用

2

再生设备的一些关键技术

3

设备改进的建议

4

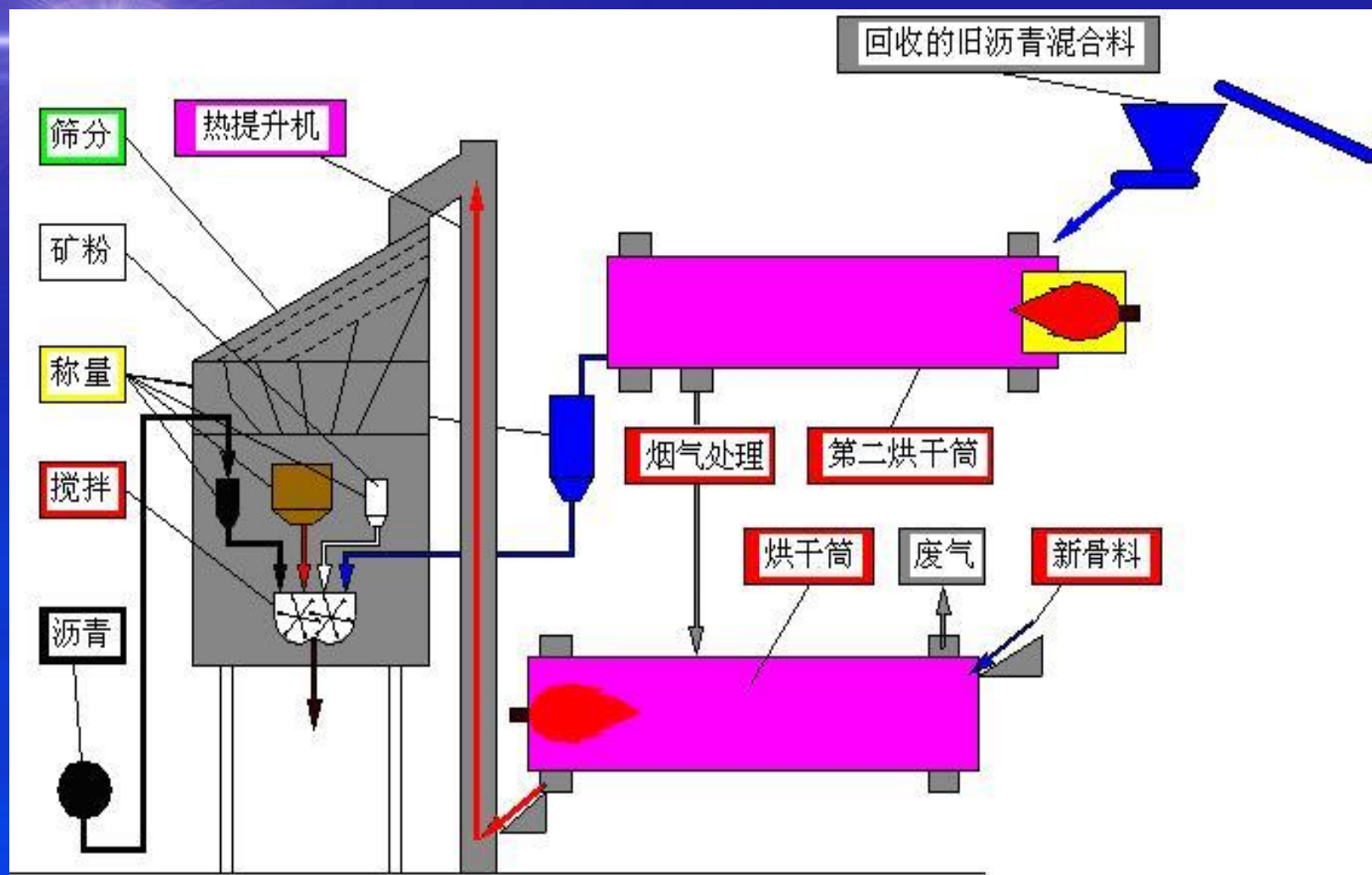
2个问题的讨论



一、厂拌热再生得到普遍应用

- 厂拌热再生技术与设备在我国高等级公路成功使用，是2003年广佛高速公路大修时，用的是ASTEC双滚筒设备。2003年国内组团考察了欧洲道路再生状况。
- 厂拌热再生主要有第二烘干筒与双滚筒两种设备型式，废旧沥青混合料（RAP）的添加比例一般在15%以上。添加率较低时（一般低于20%），也可直接加入搅拌机。这里主要讨论我国目前普遍使用的带第二烘干筒的间歇式沥青混合料再生与搅拌设备（简称厂拌热再生设备）。

带第二烘干筒的再生与搅拌设备





10余年来，众多厂家都已能生产热再生设备，再生的混合料性能也能满足工程使用的要求。

主要是掌握了5项核心技术：

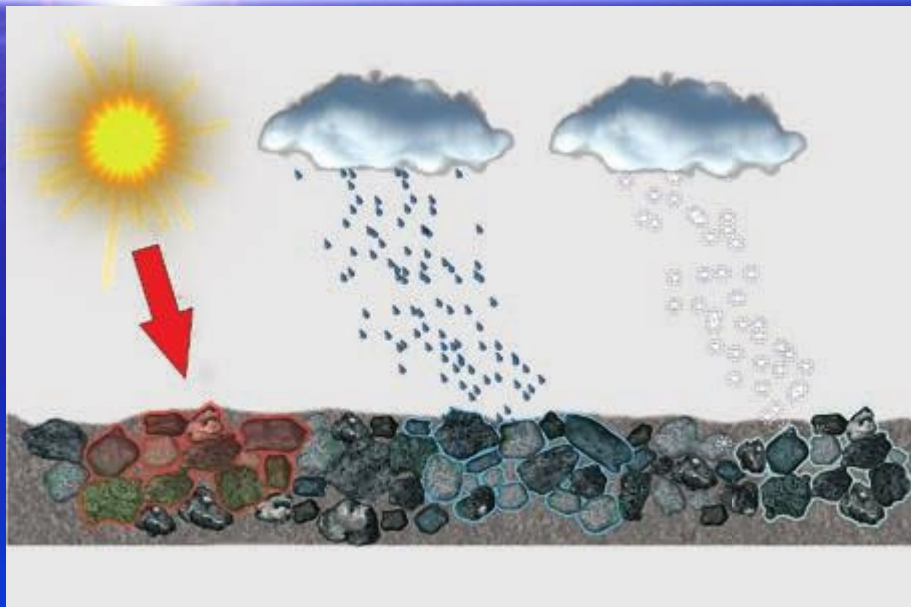
1. 废旧料的回收与储存技术；
2. 回收料的性状评估技术；
3. 再生沥青混合料配合比的设计；
4. 再生混合料设备与生产技术；
5. 再生混合料性能检测、施工质量控制与检测。

1. 废旧料的回收与储存技术



刨松与铣刨；厂拌热再生设备的应用与冷铣刨机的使用相得益彰，可以做到分层、分段、分车道的分类回收与储存。

2.回收料的性状评估技术



采用何种再生方法，掺加多少回收料，添加什么再生剂等问题解决，都有赖于对旧沥青路面混合料的性状分析和评价。沥青路面随着使用年限的增加，在自然因素及其行车载荷作用下，其中的沥青结合料发生老化，产生不可逆的化学变化，矿料级配也会变化。因此，对回收料性能的评价主要是沥青性能和矿料级配的检测与评价。



主要研究结论:

(1) 性能评价的主要指标为沥青的含量及其针入度、延度和软化点，混合料的级配及粗集料的破碎值等。

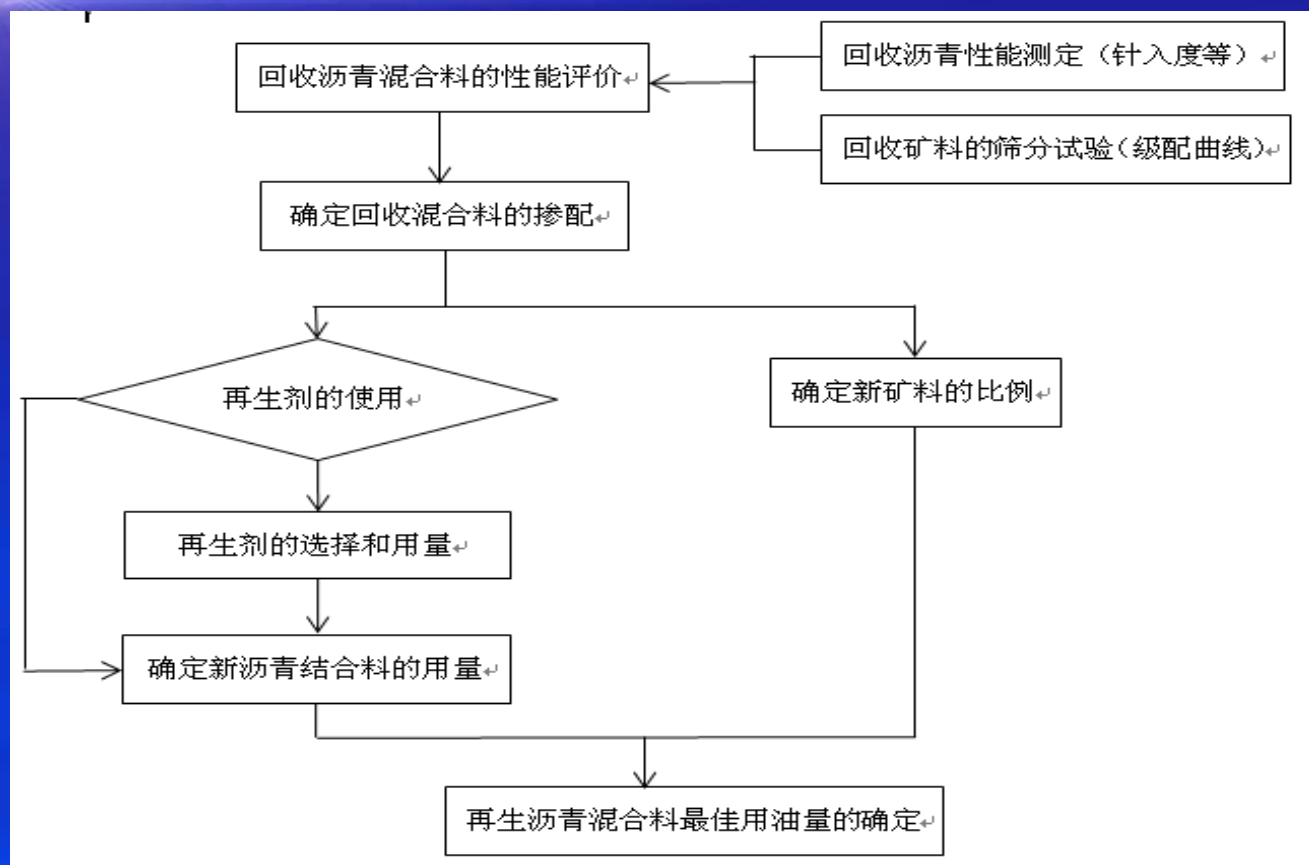
(2) 路面使用年限越长，回收沥青的针入度越小，软化点上升，延度降低；沥青在使用初期前3-5年老化速率较大，以后随年代增加老化速率趋缓。因此，**建议回收料按使用年限和类型分开回收和储存。**

(3) 随着路面深度不同，沥青老化程度有明显差别，一般在表层1~2cm深度处老化现象较严重，而随着深度的增加老化程度趋缓，而在路边由于未经行车压密，孔隙率较大，受空气、水、光的作用显著，其老化程度要快得多，也深得多。因此，**建议回收料按上、中、下层和不同车道回收和储存。**

(4) 在使用和铣刨回收过程中，存在细化现象，其主要特征为较大粒径细化为中等粒径。因此，再生料级配设计时，**必须考虑添加新集料来改善回收料的级配。**



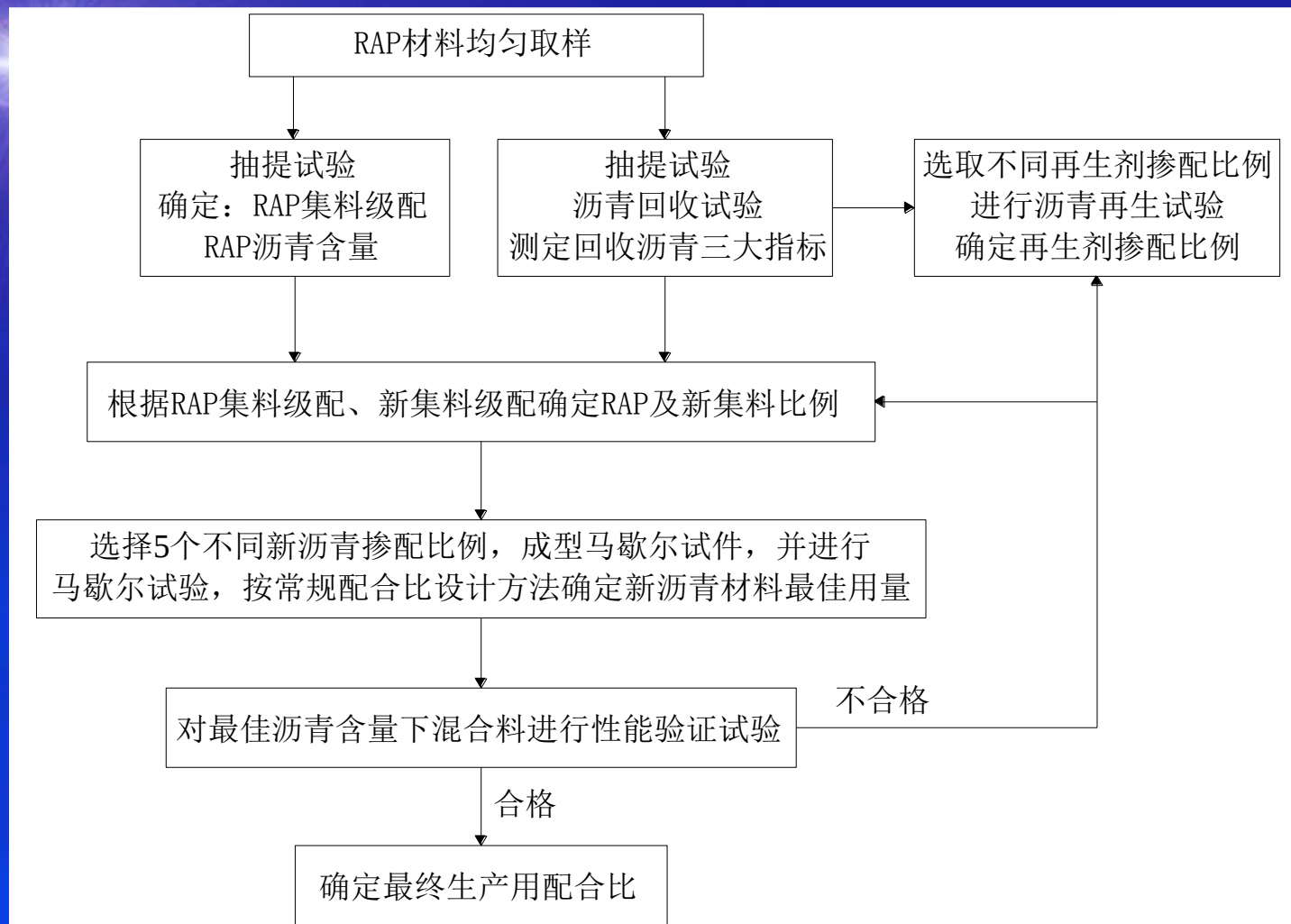
3.再生沥青混合料配合比的设计



再生沥青混合料最佳用油量确定流程图

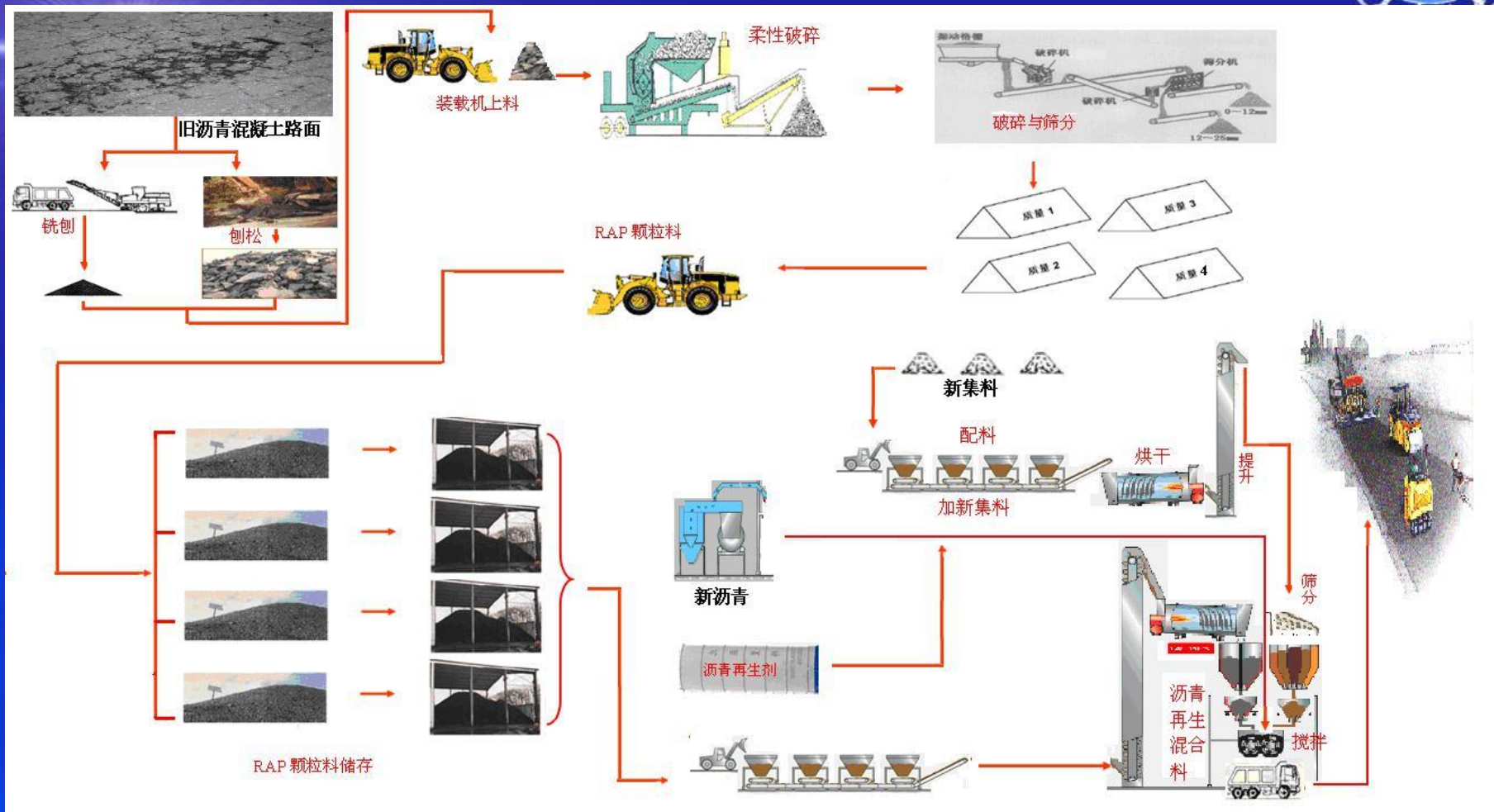


再生混合料配合比设计流程



采用马歇尔试验方法进行混合料的配合比设计，各档旧料按一定比例合成，合成的旧料按一定的掺配率与新集料进行级配合成

4.再生混合料设备与生产技术



破碎、筛分与分档——性状评估——按一定的掺配率的级配设计、称量与输送
 ——烘干加热——与再生剂预拌——与级配和温度达标的新料混合——成品料



5.成品料性能检测、施工质量控制与检测

厂拌热再生设备的主要工作性能主要用RAP烘干加热后沥青的老化程度及其沥青含量损失、出料温度稳定度来表征。

控制指标	RAP加热温度	新集料加热温度	新沥青加热温度	拌和温度	出料温度
单位 (°C)	120~130	190~195	150~155	160	150~155

Running RAP is like...

**Cold
Water**



RAP

(Ambient
Temperature)

**Hot
Water**



**Virgin
Aggregate**

(Superheated
Temperature)

**Warm
Water**



Mix

(Mix Temperature)

任何形式的设备使用回收料，就犹如将冷水和热水混合而获得温水的道理是一样的。能否直接得到一杯合适温度的温水呢？



再生沥青混合料采用马歇尔试验方法确定油石比，并进行车辙、浸水马歇尔、冻融劈裂等试验，以及最佳油石比条件下混合料性能试验，应满足相关规范要求。

试验类别		新拌料	再生料	规范值
动稳定度DS（次/mm）		1047	1209	≥1000
浸水马歇尔 试验	马歇尔稳定度（kN）	9.26	10.15	≥8
	浸水稳定度（kN）	8.45	9.42	/
	残留稳定度 %	91.3	92.8	≥75
低温弯曲试 验	最大弯拉应变（ $\mu\epsilon$ ）	2315	2147	≥2000
	弯曲劲度模量（MPa）	5308	5620	/

	摩擦系数（BPN）		构造深度（mm）	
	测量值	规范值	检测指标	规范值
再生料	81	≥45	0.68	≥0.55
新拌料	79		0.70	



- 目前，该领域拥有上百项厂拌热再生设备与技术方面的专利，发表了上千篇论文，并形成了3个行业标准与1个地方标准：
- （1）中华人民共和国建设部行业标准，CJJ 43-91，热拌再生沥青混合料路面施工与验收规程，上海市市政工程研究所，1992.2.1起实施；本规程主要技术内容有：总则；对基层的要求；原材料；沥青旧路翻挖；再生沥青混合料配比设计；再生沥青混合料的制备；路面施工；质量标准和检查验收。



- (2) 中华人民共和国交通运输部，公路沥青路面再生技术规范，JTGF41-2008，交通部公路科学研究院，2008.7.1起实施，2013.9.24更新。更新内容：

- (a) **放宽旧料掺加比例的限制。**

原条文：B.4.1,回收沥青路面材料（RAP）掺配比一般为15-30%。

- (b) 明确推荐将**厂拌热再生用于中下面层和柔性基层**
原条文：可用于各个等级公路的沥青面层及柔性基层。

NCHRP9-12及我国研究成果表明：在RAP掺量不超过40%的范围内，再生混合料的高温性能优于非再生混合料，RAP比例越大，高温性能改善越多；在RAP掺量不超过40%的范围内，再生混合料的疲劳性能略低于非再生混合料；再生混合料的低温性能低于非再生混合料，RAP掺量越大，低温性能损失越多。



(c) 严格RAP管理，严控RAP变异性。

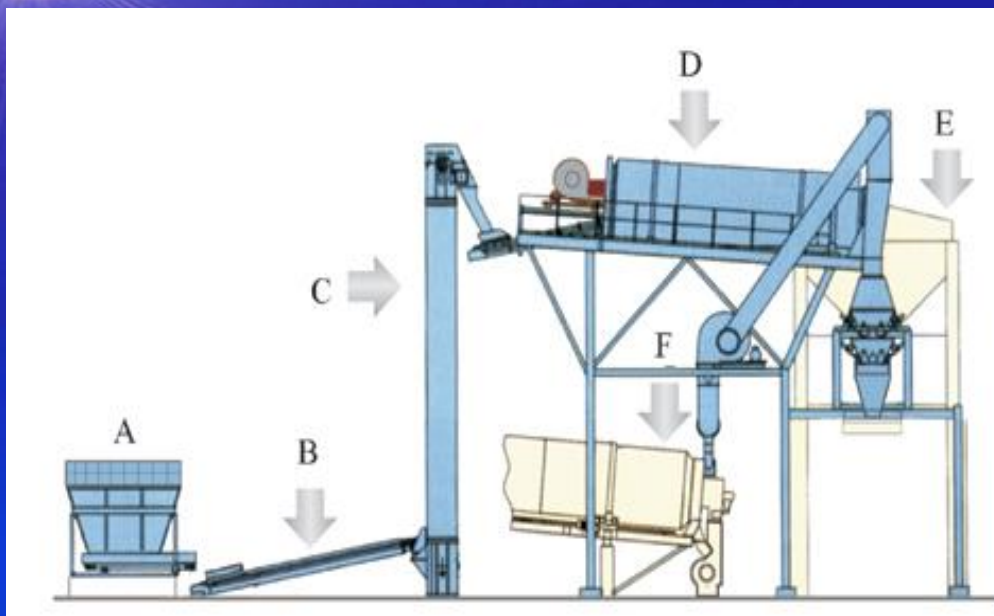
考虑限制4.75mm以下部分的使用；RAP筛分，分档、分类堆放和使用；严控RAP含水量（在原始材料每增加1%的水=每一吨混合料增加1升的油）。水的比热容为4182焦耳/(千克·°C)，沥青、玄武岩、砂分别为1675、854、796焦耳/(千克·°C)；水的汽化热。

(d) 细化厂拌热再生设备要求。其中包括：配料系统；计量系统；加热系统；能耗与环保；连续式拌合设备的冷料筛分掺配系统。

(3) 云南省地方标准，厂拌热再生沥青混合料生产技术规范，DB53/T507-2013，云南省公路开发投资有限公司。

(4) 中国工程机械工业协会，沥青混合料厂拌热再生设备，GXB/LY0045-2016，2016.4.1起实施，确定了厂拌热再生设备的术语定义、设备组成、技术要求、试验方法、检验规则等

二、再生设备的一些关键技术



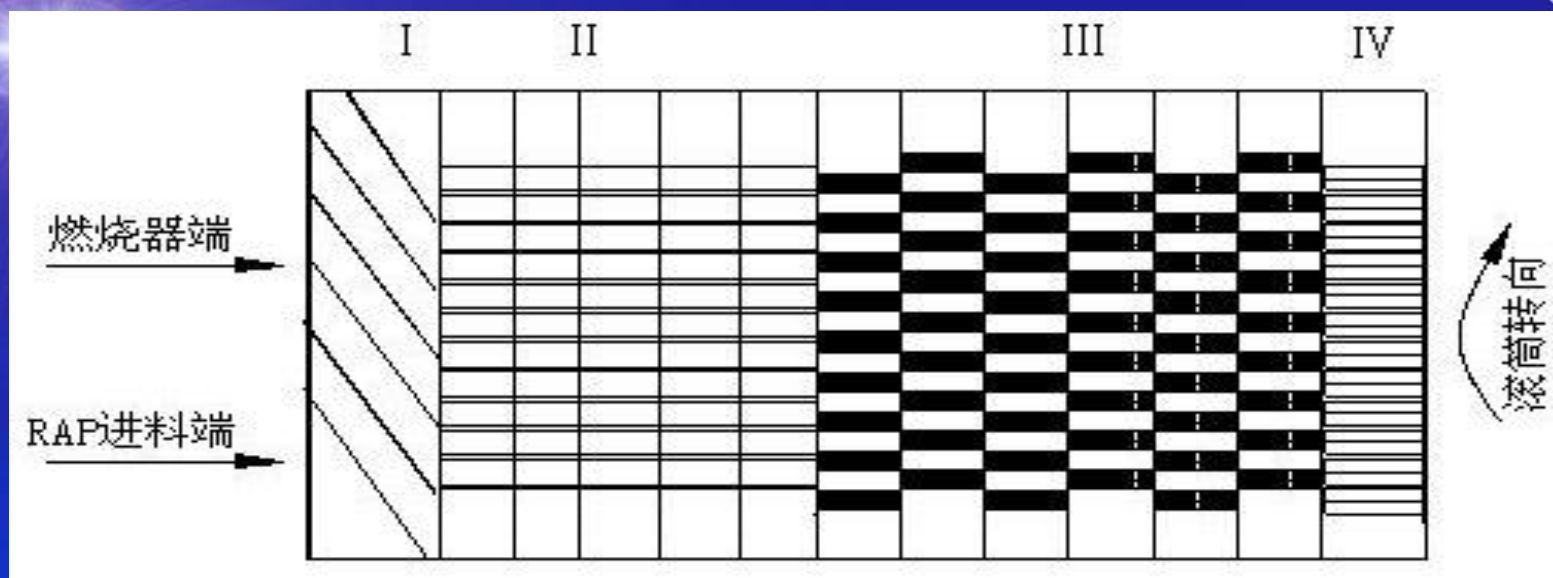
高位式第二烘干筒厂拌热再生设备

A: RAP冷料仓 B: 输送系统 C: 提升系统 D: 第二烘干筒 E: 热料储存及计量系统 F: 烟气二次燃烧系统

第二烘干筒是主体，主要是：

- 1、叶片结构；
- 2、加热系统；（火焰加热系统、热风加热系统）
- 3、回收料加热与输送中的防粘附技术；
- 4、废气的利用与处理技术。

1、叶片结构



采用四段式设计，第**I**区段为再生料进入和预热区段，第**II**区段为再生料和水分的烘干区段，第**III**区段为再生料的加热区段，第**IV**区段为卸料段。每一个区段的叶片采用不同的结构，不同于普通烘干筒的叶片结构。

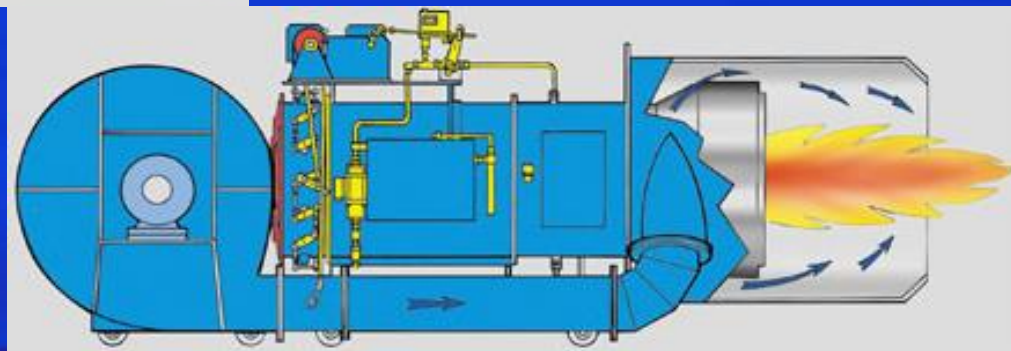
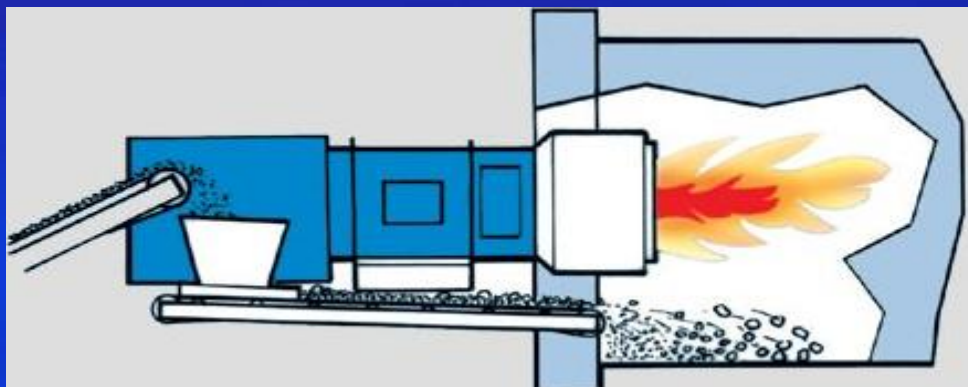
第III区段一般采用勺形叶片，可以使回收料多次提升和自由洒落，并达到均匀分散，使燃气充分与回收料进行热交换。若用圆钢组成的耙式叶片，不但可以把大部分要加热的料提升，而且可以将大部分融化的沥青与细料过滤而沿着筒体周围流动，而不直接与高温烟气接触，从而避免了沥青的老化，这种结构的叶片也不易粘料。。



2、加热系统

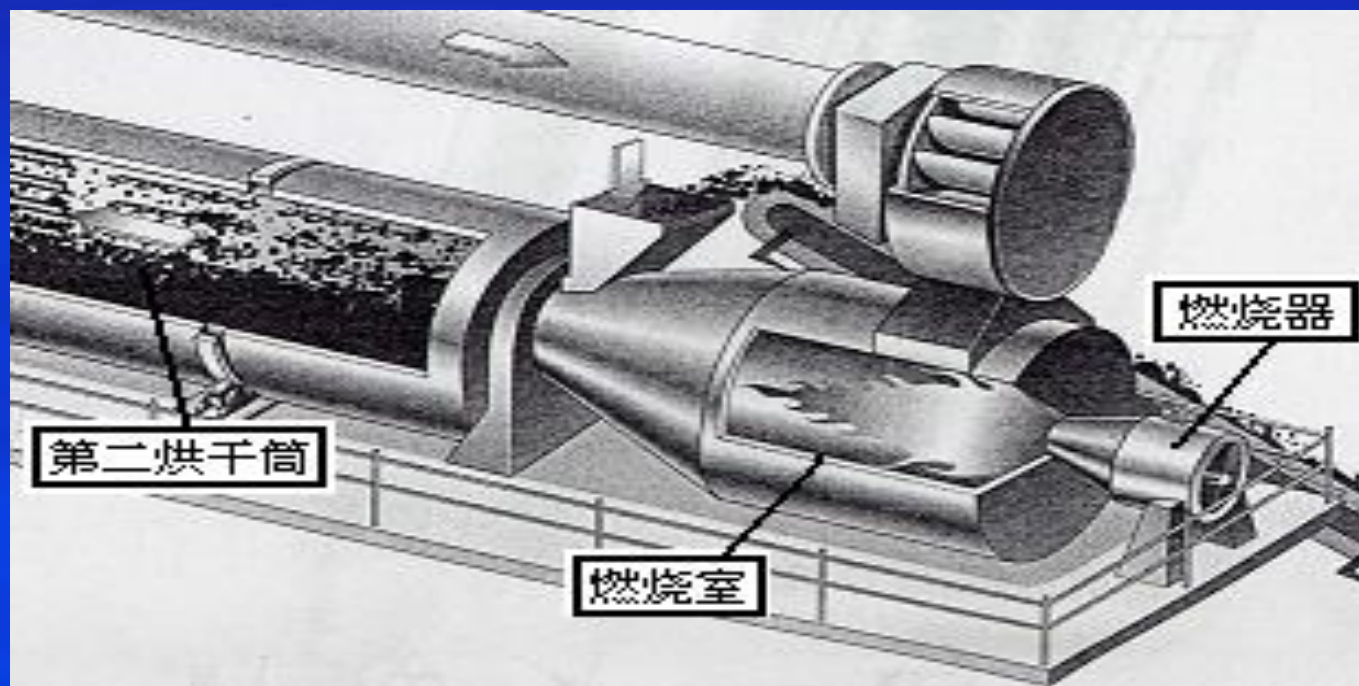
(a) 火焰加热系统

采用火焰直接加热回收料的加热系统应有防止火焰与回收料直接接触的装置，防止由于高温回收料中的沥青产生蓝烟和老化。**BENNINGHOVEN**的热能发生装置，从滚筒切向方向进风，防止火焰烧蚀沥青。



(b) 热风加热系统

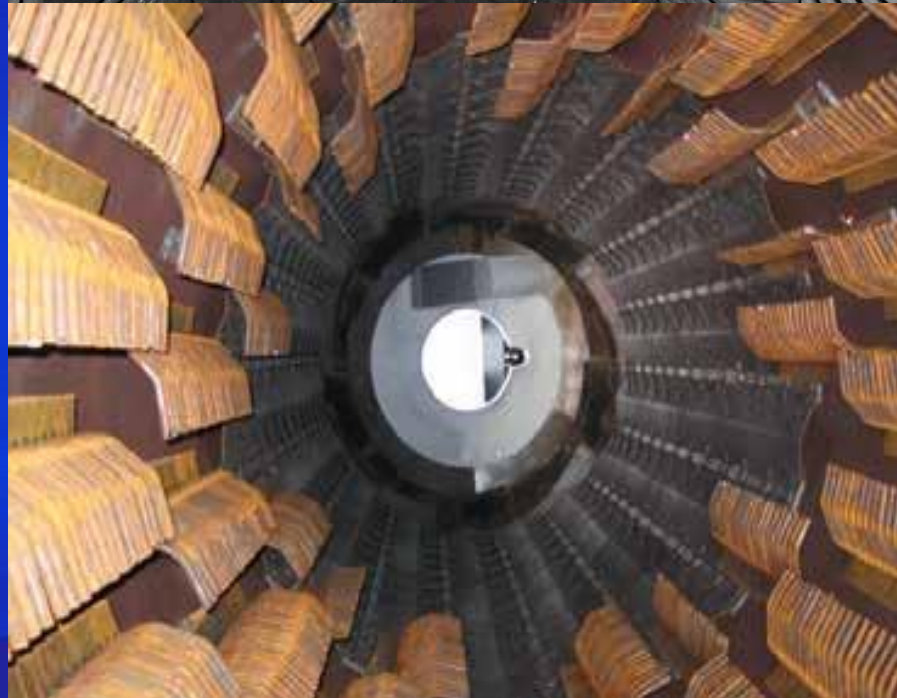
一般是在第二烘干筒前添加一个燃烧室，使燃油在燃烧室里面燃烧，进入第二烘干筒加热回收料的是燃油燃烧后产生的热风。下图所示为典型的热风加热系统，燃油在一个专用得燃烧炉内燃烧，燃烧后产生的高温热风经燃烧炉末端的锥形口进入第二烘干筒，热风进入烘干筒后体积急剧膨胀，温度急剧下降

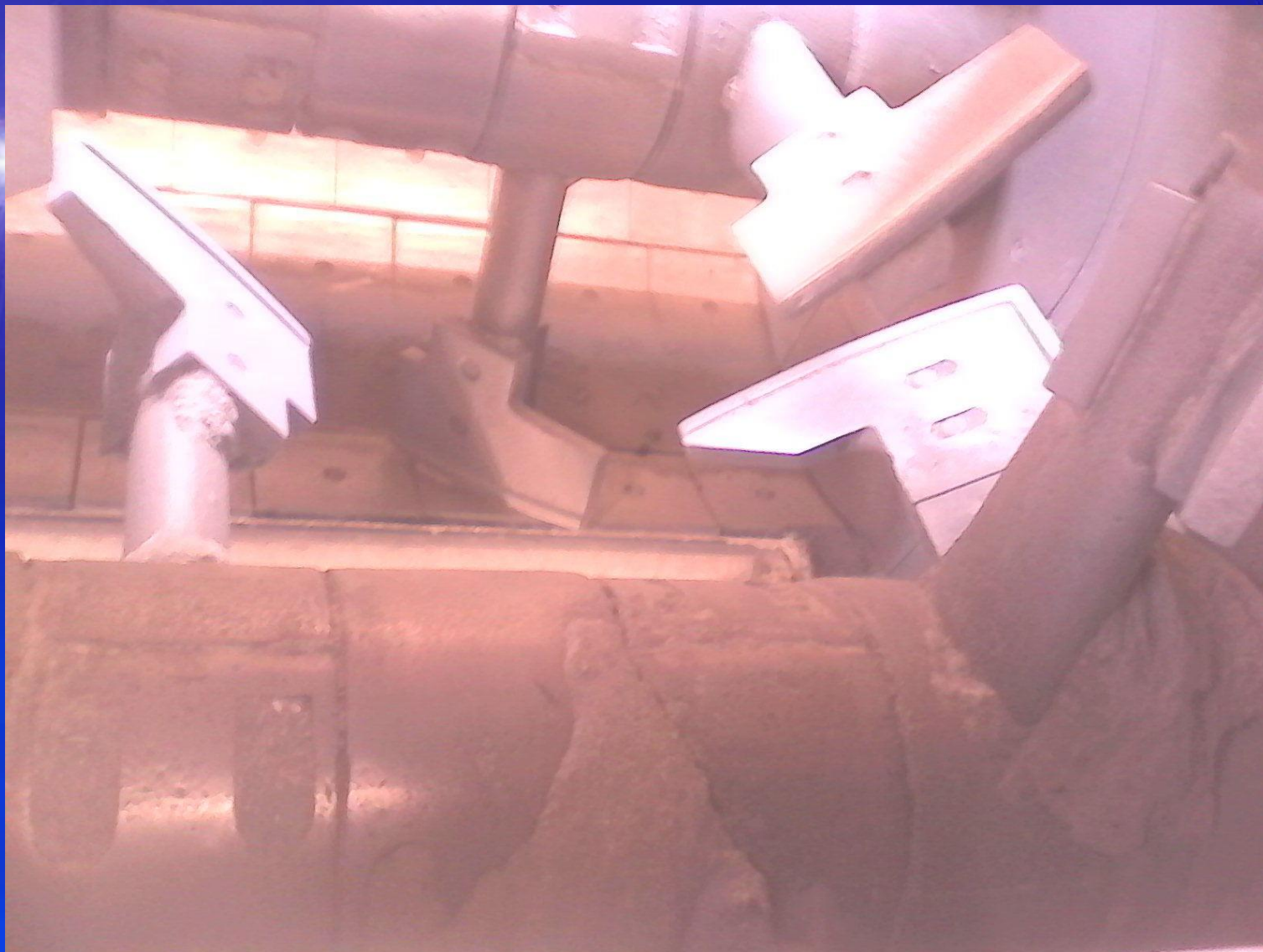


3、回收料加热与输送中的防粘附技术



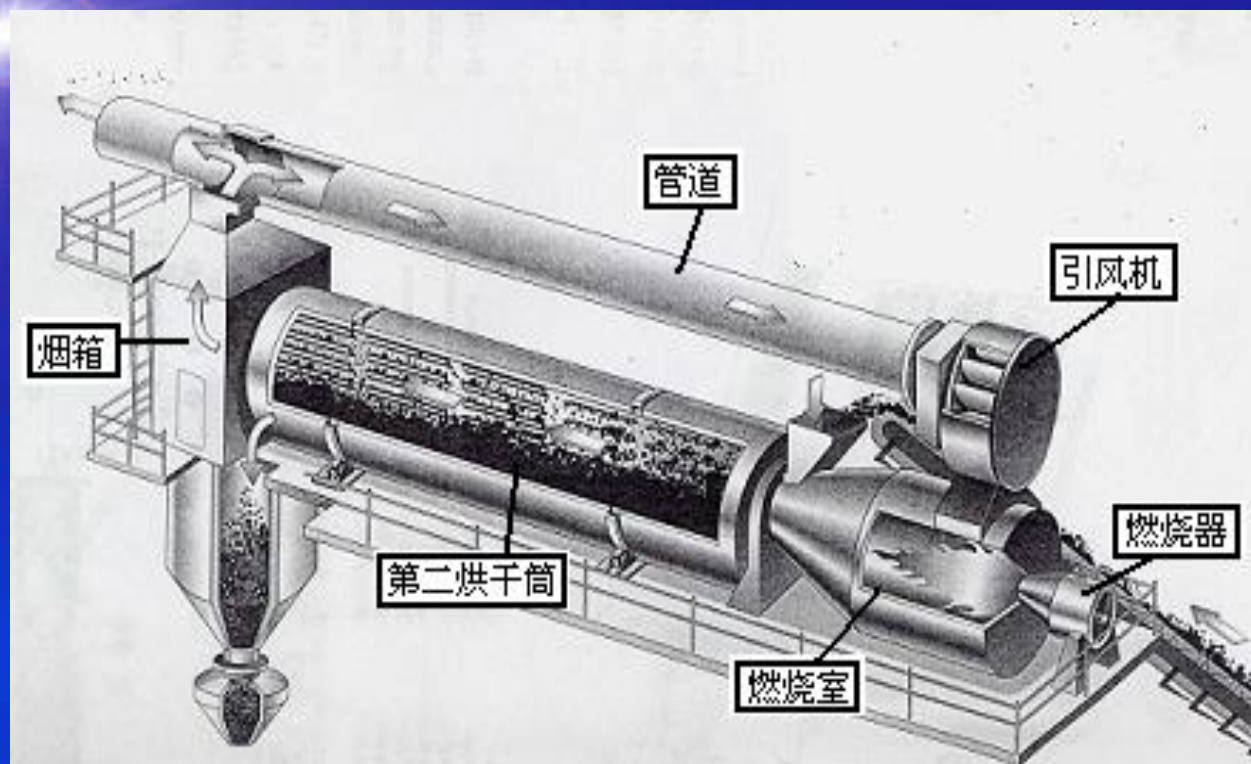
- 耙式提料板；
- 柔性仿生技术与柔性提料链，存在磨损问题；
- 输送过程的保温与直通；
- 再生环分级加料，
4.75mm以下料的处理；
- 3mm以下料直投搅拌缸；
- 振动





振动搅拌机的轴与叶片振动，具有自清洁功能，不抱轴，解决了普通搅拌机水泥浆抱轴的世界难题。 25

4、废气的利用与处理技术



烟气一部分进新料烘干筒燃烧，另一部分引入第二烘干筒燃烧室二次燃烧，引入第二烘干筒燃烧室的烟气量要满足冷却燃气温度的要求。

三、设备改进的建议

不管是就地热再生，还是厂拌热再生，其目标是：石料再用，沥青再生。为了达到这一目标，提出几点设备改进的建议。

- 1.回收料的柔性分离与高频筛分技术；
- 2.回收料的柔和烘干与分级加热技术；
- 3.整机的结构优化与参数匹配技术；
- 4.回收料的温拌技术。

1.回收料的柔性分离与高频筛分技术



柔性分离：只是将骨料分开，而不是破碎

重庆交通大学的柔性破碎实验

柔性破碎原理：在相反方向，不在同一直线上的一对剪切力的作用下，通过破碎沥青胶泥来分散沥青混合料。只是将混合料之间的沥青胶泥破损，而不破碎原有的集料。操作：把旧料放到105度烘箱里烘1.5—2小时，取出基本软化的旧料防在手心，双手前后来回地搓动，使混合料充分破碎且不会破坏集料。



BENNINGHOVEN的两级分离机

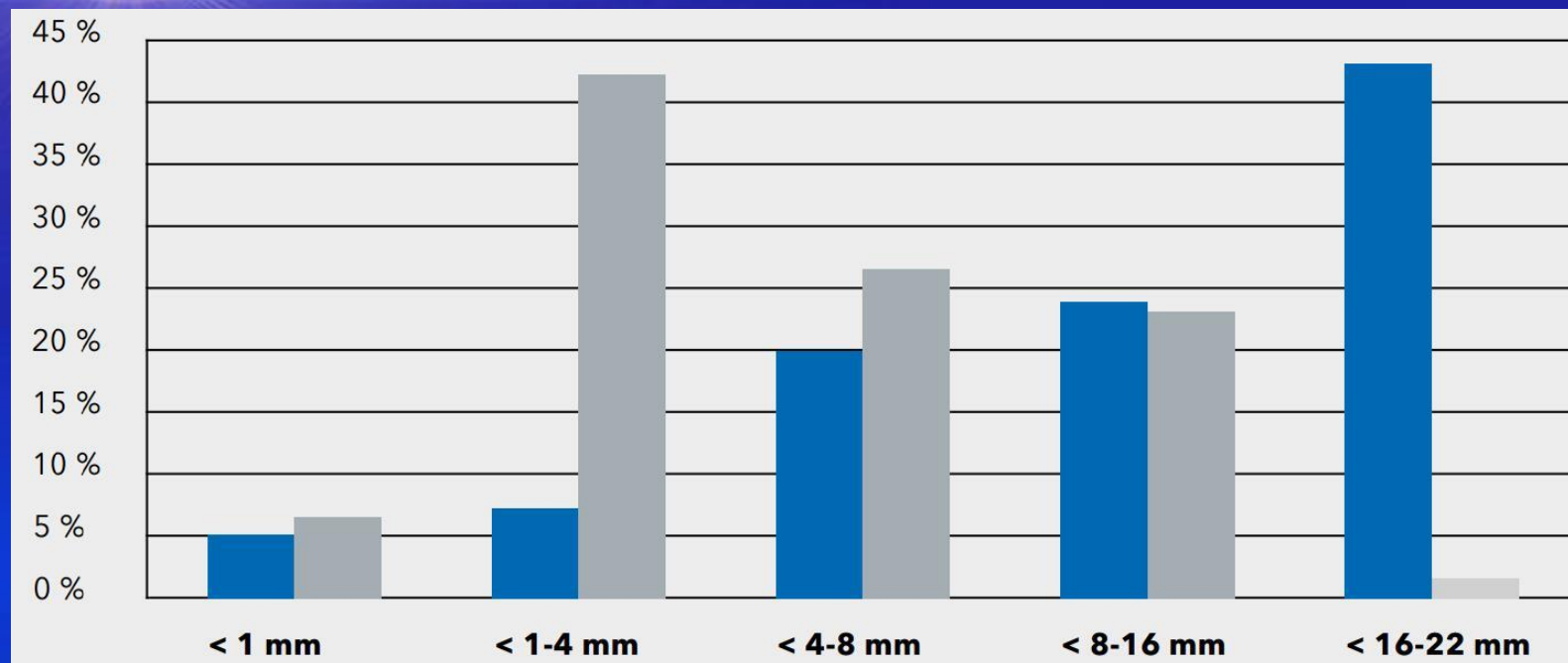


建议分3档以上：**0-4.75，4.75-13.2，13.2以上3档；**
0-4.75，4.75-13.2，13.2-16,16以上4档；
0-4.75，4.75-13.2，13.2-16,16-19,19-26.5，5档。



分离机和破碎机的比较

■ 分离机 ■ 破碎机



颗粒尺寸

如图所示为不同方法破碎回收料后，不同粒径的颗粒所占的比重。其中16-22mm的料可能会含有混合料。



Horizontal Shaft Impactor for High RAP Capacities

ASTECC反击式破碎机，将结块的旧料分开而不降低骨料的粒径。



ASTEC经验, 旧料筛分后分别堆放, 可克服以下的潜在问题:

铣刨回的材料中, 70%是12.5mm或以下的材料, 沥青含量在5.5% 至 6%.

4 x 0的材料表面积很大, 沥青含量在6.5%至7%.

3/8"x 4的材料表面积相对较小, 沥青含量在4%左右.

1/2"x 3/8"的材料中的沥青含量在3%左右

如果将旧料按这些等级分类, 便可以知道如何精确使用它们.

RAP
Black Rock
1/2" x 0



Black Rock
1/2" - 3/8"

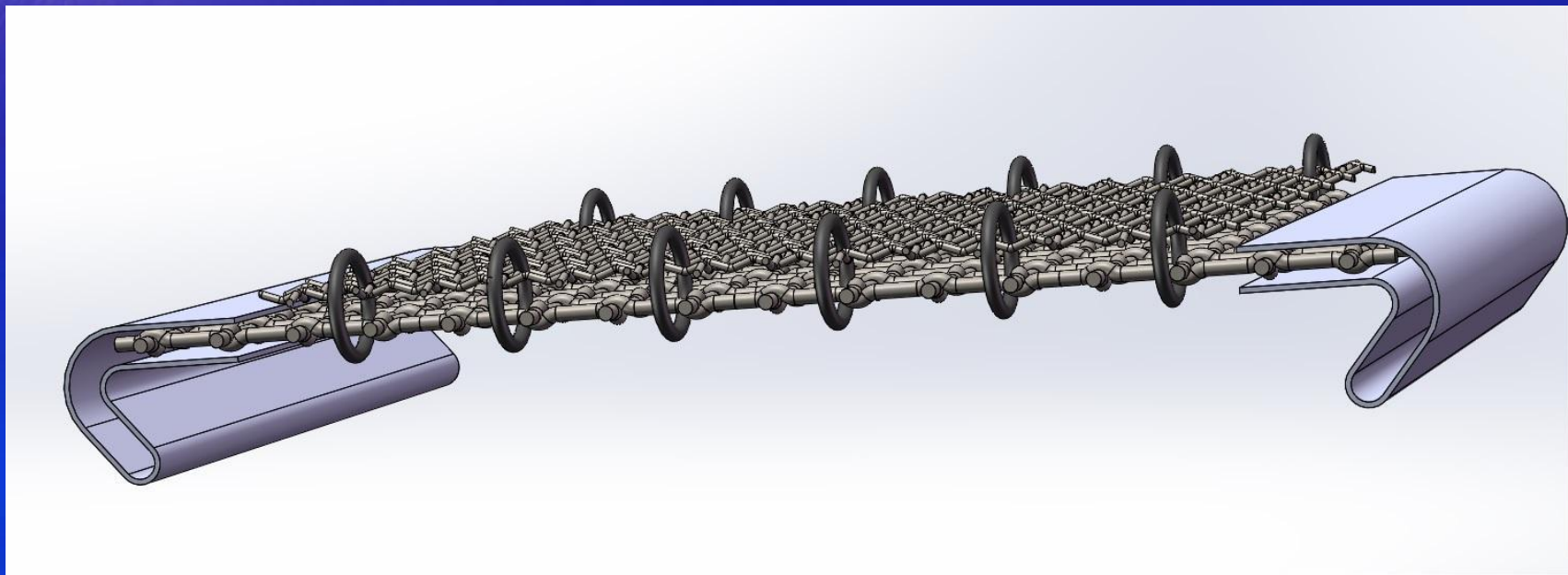


Black Rock
4 - 0



Black Rock
3/8" - 4

4.75mm以下细料的高频筛分

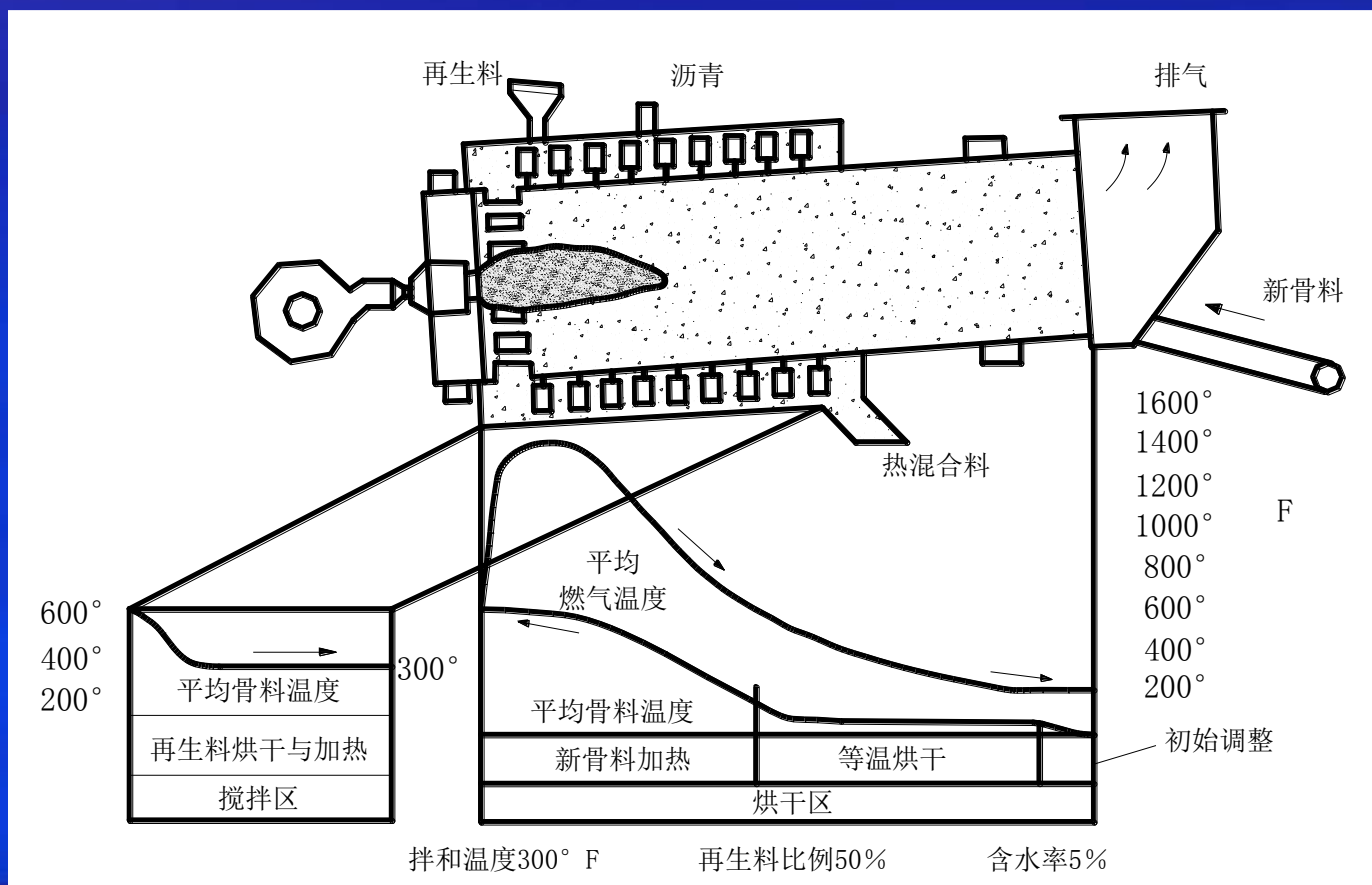


上海盾牌矿筛有限公司的高频振动筛筛网

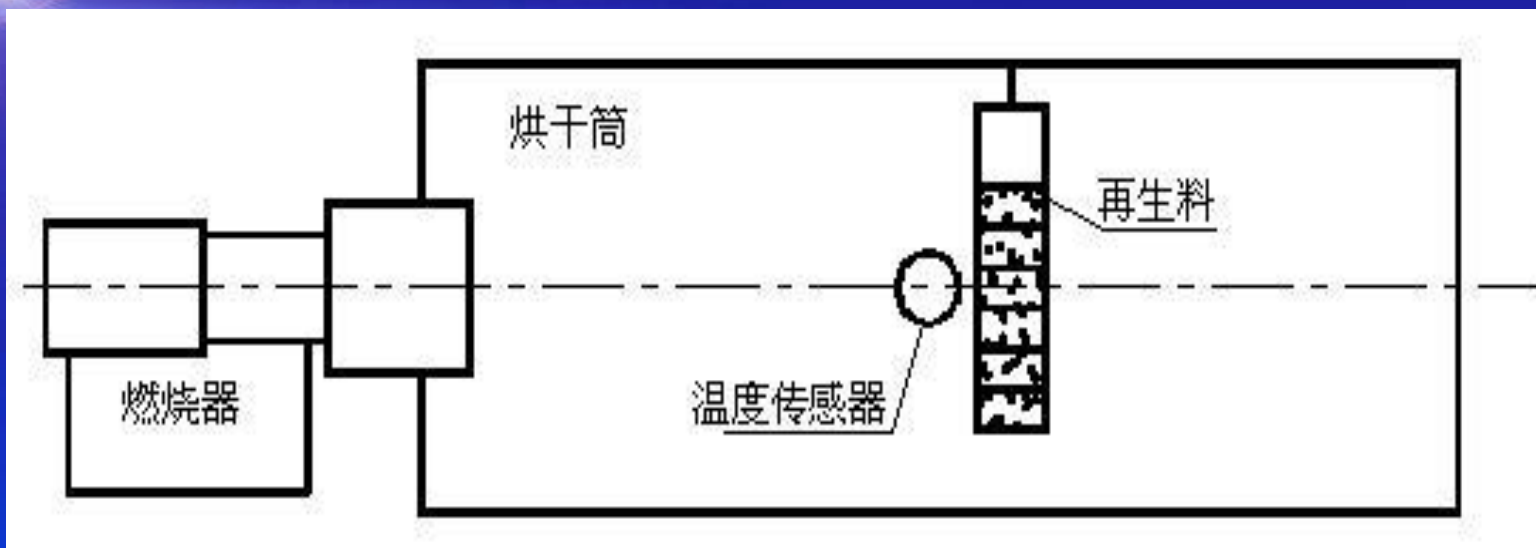


2.回收料的柔和烘干与分级加热技术

有共识的：热气，微波、导热油等加热方式；顺流；专用燃烧室热气加热，废气的循环与冷却；回收料的分级加热。
有争议的：热气温度？800-650度、420度、430度，480度等。ASTEC双滚筒推荐的温度是300度。



实验装置与实验结果



调节燃烧器油门使温度传感器显示温度为设定温度，温度稳定后，将回收旧料放入试验用烘干筒，6min后取出，进行回收沥青的试验；重复此过程，直至不同热气温度下试验完毕。



回收沥青 三大物理指标	针入度 25℃(0.1mm)		软化点（环球法） (℃)		延度15℃（cm）	
	检测值	变化率 %	检测值	变化率 %	检测值	变化率 %
回收沥青加热前	39.2	0	56.1	0	8.2	0
300℃加热后	37.5	4.3	58.3	-3.9	7.6	7.3
450℃加热后	34.7	11.5	60.9	-8.6	6.9	15.9
600℃加热后	31.6	19.4	64.8	-15.5	5.4	34.1

3种温度加热后都是延度指标变化率较大，另外两个指标相对较小，说明沥青老化后延度下降较为明显；从表中数据看，300℃加热后可以认为没有进一步老化，450℃加热后，延度变化15.9%，针入度11.5%，有一定的老化；600℃加热后，延度变化达到了34.1%，而针入度也已接近20%，老化进一步加剧。证明ASTEC推荐热气温度为300℃是有道理的。因此，建议4.75mm以下直投搅拌缸，或增加再生环，分级加热，；不分级时450℃以下的热气温度是比较合适的，最好采取耙式叶片等其他措施。



辽筑再生料加热搅拌器

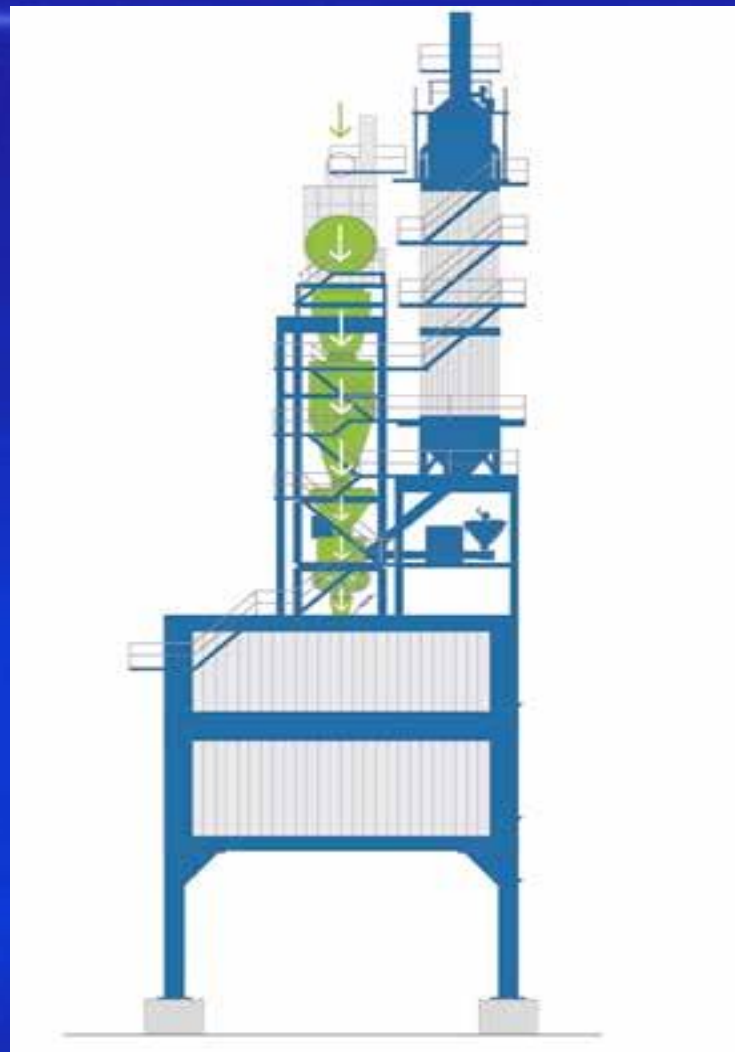
热风炉式加热，明火温度极不好控制，稍有不慎将会点燃沥青造成事故。如果燃烧温度低时，物料大的粒径很难热透，火焰温度过高时，又把物料部分沥青烧焦、老化。在添加再生剂时无法完成长时间的搅拌和孕育，旧沥青不能够得到充分的还原，再生料质量达不到理想效果。同时也会产生很大的沥青烟，它的烟气排放是通过布袋排出。燃油燃烧器和沥青烟水蒸气的混合物很容易堵塞布袋，而影响主拌合楼的生产而造成损失。再者，如果主拌楼配置了这种热再生设备就必须加大原有风量功率和增加布袋的过滤面积，这又涉及到对原有主拌楼的改造。由于对物料粒径有严格的要求，要有一套破碎筛分的设备。

双卧式搅拌缸式加热装置，外有导热油为加温介质并有保温层，物料在搅拌缸内螺旋式运行，翻腾拌合，加热均匀、温度稳定，可自由设定，粒径在**100mm**的凝结块可直接进入拌缸搅拌，搅拌、破碎一次同时完成，拌缸内设再生剂喷管，边搅拌边喷洒，混合均匀、孕育时间长、反应充分。此种拌缸无沥青烟气形成，蒸发出的混合气体（主要是水蒸气），通过导管通向主拌合楼的干燥筒后排出。



3.整机的结构优化与参数匹配技术

- 废气进两个烘干筒的影响；
- 新料数量减少的影响；
- 搅拌工艺流程、搅拌时间与搅拌缸容量；
- 第二烘干筒与原结构一字型或并列的二字型，搅拌缸靠近中间位置；



4.回收料的温拌技术

回收料的温拌已成功使用，应该进一步使用，并与新料的温拌结合起来。



四、2个问题的讨论

- 1.厂拌热再生与就地热再生孰优孰劣；
- 2.掺配率的多少。





1.厂拌热再生与就地热再生孰优孰劣

- 就地热再生，就地对沥青路面进行加热、刨松，并掺入一定数量的新沥青、新沥青混合料、再生剂等，经热态拌和、摊铺、碾压等工序，一次性实现对表面一定深度范围内的旧沥青混凝土路面再生的技术。它可以分复拌再生、加铺再生两种模式。该技术用于路面的预防性养护。
- 将回收的沥青路面材料（RAP）运至沥青拌和站，经过破碎、筛分，以一定比例与再生剂(必要时)、新集料、新沥青等拌制成满足要求的热拌再生混合料。再生混合料经摊铺、碾压等工序，形成满足要求的沥青路面。它可以分为间隙式、连续式两种模式。该技术用于再生混合料的生产或路面的纠正性养护。



- 事实证明，不论就地热再生，还是厂拌热再生，只要按照严格的工艺流程操作，关键是采用柔和的加热技术，都能得到合格的路面再生料。
- 陕西高速集团机械化施工公司，应用这两种方式都取得了成功。就地热再生的旧料添加率80%，4cm厚单车道的维修费用也不高。



2.旧料的掺配率

课题组曾对北京、上海、广州、武汉、西安等地的厂拌热再生设备的性能，特别是再生混合料质量进行了跟踪测试。下面是部分结果。

矿料筛分通过百分率变动范围

筛孔尺寸 (mm)		0.075	2.36	4.75	9.5	19
不添加回收料	标准差 σ	0.95	0.99	1.56	0.86	/
	偏差	1.86	1.94	3.06	1.69	/
添加20%回收料	标准差 σ	0.95	2.11	2.25	2.94	2.92
	偏差	1.86	4.1	4.4	5.8	5.7
添加30%回收料	标准差 σ	0.33	1.60	2.29	2.03	1.69
	偏差	0.65	3.14	4.49	3.98	3.31

表注：偏差为95%置信度下的计算值



掺加40%回收料拌制中粒式沥青混合料

检测项目	混合料沥青含量设定值 (%)	混合料沥青含量平均值 (%)	混合料沥青含量1.96倍标准值 (%)	混合料沥青含量偏差
检测值	2.80	2.75	±0.35	-0.40
标准规定值	/	/	±0.30	±0.50
结果	/	/	超差	合格

不掺加回收料与掺加50%回收料时成品料性能

检测项目	马歇尔试验稳定度 (kN)	马歇尔试验流值 (0.1mm)	马歇尔试验沥青饱和度 (%)	回收料沥青针入度 (0.1mm)
不加回收料	9.3	29.0	72.2	81
掺加50%回收料	8.4	29.3	79.1	40
标准规定值	≥7.5	20~40	70~82	≥40



由已取得的检测值来分析，回收料掺加量不超过**30%**时，再生混合料的性能指标满足国家相关标准规定，在**40%**和**50%**时**主要由于旧料性状的变异性比较大**等原因，有个别指标稍有超标，或处于掺加量临界值。

目前，以**40%**旧料掺加量、出料温度**120**度做为第二烘干筒的额定工况还是比较贴合实际的。

目前看到的国内最大掺加量是**60%**,采用**SMC**温拌再生技术。



SMC大掺量常温再生沥青混合料生产配合比技术参数

一、配合比

掺配比例	新添加矿料	RAP (回收废料)	新加SMC改性沥青 (油石比)
再生SMC-20	50%	50%	1.8%
再生SMC-13	40%	60%	1.8%

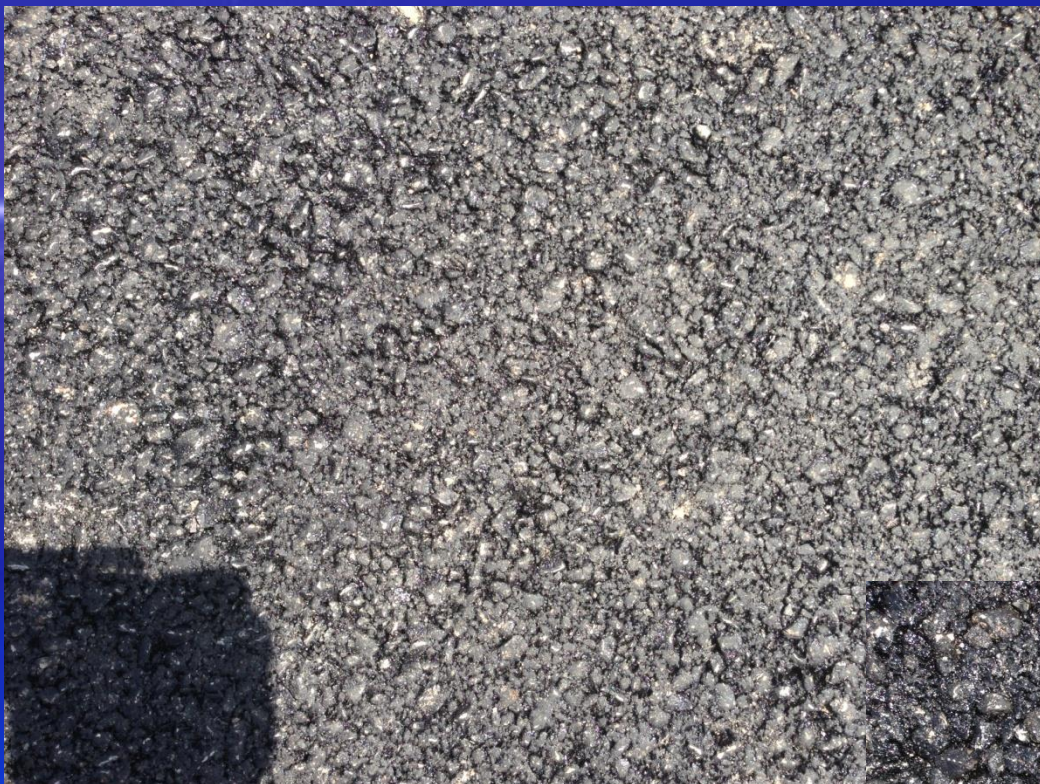
二、生产拌合

集料加热温度	RAP (回收废料) 加热温度	沥青加热温度	出料温度	拌合时间
100-120℃	90-120℃	90-110℃	100-120℃	40-50s

三、技术性能

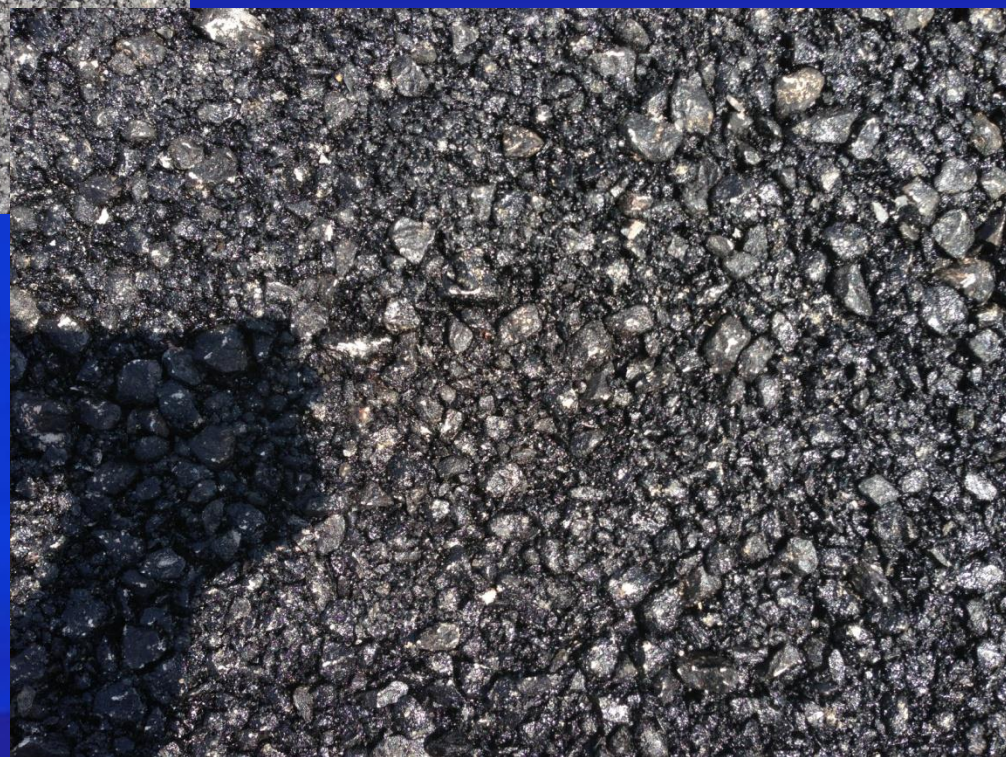
矿料级配	筛孔尺寸(mm)	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
再生 SMC-20	合成通过百分率(%)	100	96.7	80.9	67.4	51.1	31.8	24.5	16.5	12.3	8.6	7.0	5.6
	规定级配范围(%)	100	90-100	78-92	62-80	50-72	26-56	16-44	12-33	8-24	5-17	4-13	3-7
再生 SMC-13	合成通过百分率(%)	/	/	100	95.0	72.8	44.0	31.0	20.2	15.0	10.4	8.4	6.7
	规定级配范围(%)	/	/	100	90-100	68-85	38-68	24-50	15-38	10-28	7-20	5-15	4-8
检测参数	马歇尔检测		水稳定性检测				渗水系数检测		高温稳定性检测				
	稳定度(kN)	流值(mm)	浸水马歇尔试验 残留稳定度(%)		冻融劈裂试验 残留强度比(%)		渗水试验(ML/min)		动稳定度(次/mm)				
再生SMC-20 检测结果	9.3	2.7	103.4		92		85		3902				
再生SMC-13 检测结果	8.8	2.8	103.1		77		72		3789				
技术要求	≥8	2-4	≥75		≥70		≤120		≥800				

备注：所有技术要求均能满足现行技术规范JTG F40-2004的要求



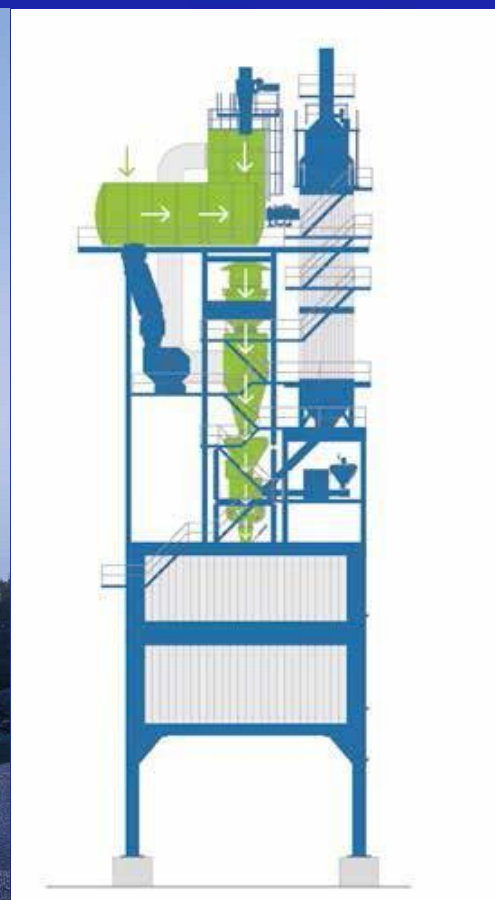
再生SMC-20

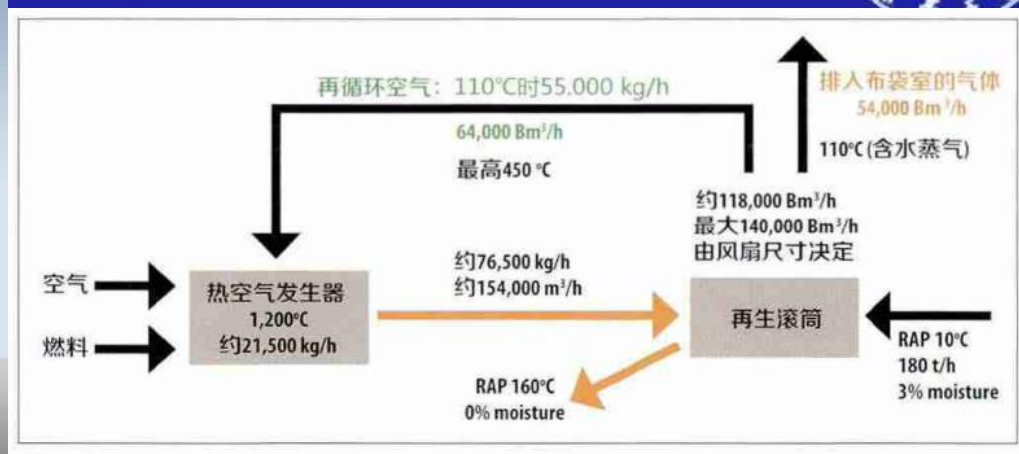
再生SMC-13



就地热再生的旧料掺配率在**80%**以上，厂拌热再生掺配率高于**80%**应该是可以实现的，关键是旧料在严格分级与管理的基础上，采用柔和的有足够时间的加热技术。

BENNINGHOVEN 的BA 3000/4000/5000，逆流加热，再生料温度**160度**。最大掺加量可达**80-90%**。





燃烧器、高温气体发生器、干燥滚筒、分离罩和循环空气系统组合在一起。燃烧器提供了必要热量。燃烧在高温气体发生器中发生，火焰与循环空气充分混合，通过高温空气加热再生材料，排放值低。在滚筒中，再生材料在逆流中在整个滚筒长度上被柔和加热，气体则在对流中得以冷却。出料温度达到 160°C ，废气温度则略高于露点 100°C 。材料加热至最终温度后将直接进入两个存储筒仓之一，通过称重装置将适当的量输送至搅拌机。废气罩的横截面尽可能大，确保废气流动非常缓慢，从而只能带走尽可能少的微粒。分离出的颗粒落入收集槽，并从那里被送入滚筒出口，从而保留进料的颗粒成分，确保严格的排放值。



双滚筒高效的逆流式干燥滚筒；高效的加热区，旧料在加热区与火焰完全隔离；加热区惰性的环境（借助于添加旧料时产生的蒸汽），抑制了搅拌过程中的氧化；废气罩的横截面尽可能大，确保废气流动非常缓慢，从而只能带走尽可能少的微粒。B A 型是否从双滚筒中也吸收了相关技术呢？！实质是，厂拌热再生的核心技术是相同的。



谢谢!

冯忠绪, 13991920102
fengzhxu@chd.edu.cn