

Г.К.休尼 等著
殷永山 译

再生式路用 沥青混凝土

人民交通出版社

Zaishengshi Luyong Liqing Hunningtu

再生式路用沥青混凝土

Г.К.休尼 等著

殷永山 译

人民交通出版社

РЕГЕНЕРИРОВАННЫЙ ДОРОЖНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН

Г.К.СЮНЬИ, К.Х.УСМАНОВ, Э.С.ФАЙНБЕРГ

ТРАНСПОРТ 1984

再生式路用沥青混凝土

Г.К.休尼 等著

殷永山 译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 4.125 字数: 85千

1988年3月 第1版

1988年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—940 册 定价: 1.10 元

目 录

前 言	1
第一章 再生沥青混凝土是一种道路建筑材料	1
第一节 沥青混凝土加工处理和再生的理论基础 及其原则	1
第二节 对再生沥青混凝土的要求和质量控制	9
第三节 再生沥青混凝土的配合比设计	12
第二章 沥青混凝土路面的就地再生和重复利用	14
第一节 沥青混凝土的重复利用方法	14
第二节 沥青混凝土路面修理现代化工艺的基本 方向	16
第三节 路面再生沥青混凝土的加热	23
第四节 用就地再生法修理沥青混凝土路面的机 械设备	30
第五节 沥青加热机及其操作工艺	33
第六节 破除沥青混凝土路面的机械及破除工艺	52
第七节 沥青混凝土的就地再生法	63
第八节 在路上直接修理和再生沥青混凝土路面 时的劳动保护	81
第九节 再生沥青混凝土路面的质量检查	83
第三章 沥青混凝土在工厂和专用设备中的再生	87
第一节 苏联沥青混凝土工厂再生工艺的发展	87
第二节 莫斯科市内的沥青混凝土工业化再生法	92

第三节	沥青混凝土再生和重复利用的新方向·····	103
第四节	国外再生沥青混凝土的经验·····	106
第五节	工厂再生沥青混凝土的劳动保护·····	117
第六节	工厂再生沥青混凝土的质量检查·····	119
第七节	重复利用旧沥青混凝土的技术经济效益·····	120

第一章 再生沥青混凝土是 一种道路建筑材料

第一节 沥青混凝土加工处理和 再生的理论基础及其原则

应该说，对沥青混凝土的再生问题还研究得很不够。技术科学副博士 Л. В. 比拉依的研究指出了沥青混凝土的再生途径和再生规律。众所周知，公路路面在使用过程中，沥青会发生老化现象，这是由于在各种因素作用下，路面材料将发生复杂的结构变化和化学变化的缘故。空气中的氧，空气温度，水，矿料的表面状态等都会对薄沥青膜层产生影响。在这种情况下，沥青混凝土的老化速度是与它的剩余孔隙率有关的。

根据 В. В. 米哈依洛夫和 А. С. 科尔巴诺夫斯卡雅的研究资料，下列过程将使沥青的组分和性质发生变化：

1. 薄层沥青表面油分的挥发，这一过程与沥青中易挥发组分的含量，粘度和温度有关。

2. 在阳光和紫外线的直接照射下，主要发生在沥青外表面上的氧化聚合反应和部分聚合反应。

3. 在氧化作用下，沥青发生的缩聚反应。空气中的氧将破坏沥青的结构，并使其分子量增大，沥青的吸附力随之增强，即沥青与石料表面的粘结强度将随着沥青混凝土的老化

程度而增大。沥青与空气接触将被氧化，在阳光照射下这一氧化过程会由于路面被加热并发生光化学反应而加速进行。

沥青的聚合作用与其粘度和沥青混凝土强度的增高有密切关系。但沥青粘度增高会使路面变脆，其结果是增加路面磨损，降低其形变能力，最终导致沥青混凝土路面出现裂缝。

正如 И. М. 鲁金斯卡雅教授所指出的，沥青的老化是由于沥青的胶质结构胶凝收缩造成的，即沥青凝胶体分解为两相——液相和更加浓缩的凝胶相。胶凝收缩作用通常在高温下才会发生，这时在沥青混凝土表面呈现出薄膜状的油点，使沥青混凝土变脆，进而遭到破坏。

经常起作用的大气因素使沥青混凝土的性质及其状态逐渐发生变化，这些变化过程大多是不可逆转的。沥青是决定沥青混凝土老化的主要组分，而氧则是改变沥青性质的主要因素。当沥青发生氧化聚合作用时，矿料起着催化的作用，从而增加了高分子化合物的数量。

沥青对矿料颗粒表面的吸附力是其老化过程中的重要因素。当使用多孔矿质材料时，沥青不仅能对颗粒的外表面还能对其内表面产生吸附作用。

Л. Б. 比拉依在自己的论著中指出，沥青的老化和其它过程一样，将引起其结构的改变，而结构的改变则是以其化学性质的变化为基础的。由于沥青混凝土是一种固体颗粒被液相所分割的凝结构，所以在荷载长期作用下，颗粒之间产生的相互位移和摩擦，使沥青混凝土的矿质部分发生分解（碎裂）。这就是沥青混凝土的第二种老化现象。Б. К. 涅克拉索夫，Б. И. 拉迪金，В. А. 罗马达诺夫等人对旧沥青混凝土中矿质颗粒的分解及其对内摩擦力和剪切稳定性的影响

等问题进行了研究。石料组分在汽车荷载作用下发生的碎裂将导致路面的弯沉变形。每发生一次弯沉变形，路面结构层中就产生一次粒状材料的相互位移，使颗粒产生相互磨损，颗粒尺寸变小则发生松散和崩裂。由于石料的分解而使路面强度降低即被认为材料出现了疲劳现象。

沥青混凝土路面的破坏过程表现为其内部的磨损，这是路面结构中石料骨架逐渐碎裂的结果。在路面交付使用后的最初2~3年内，石料骨架的碎裂并不会降低沥青混凝土的强度特性，这是因为，在此期间内，内部磨损形成的石屑将同路面结构中某些多余的结合料互相结合的缘故。

剪应力也和压应力一样，会使石料骨架逐渐碎裂。因为，当其颗粒相互移动时，在颗粒接触的各点将产生剪应力。

如果沥青混凝土内部存在着多余的孔隙，矿料部分就会发生碎裂现象，因为水可以透入沥青混凝土的内部，造成它的破坏。在沥青混凝土骨架发生碎裂时，机械荷载起了主要作用。当有车辆通过时，沥青混凝土的矿质颗粒将承受动力荷载，此时接触应力可能大大超过这种材料的强度极限，造成路面的破坏。

在车辆荷载作用下，矿质颗粒将产生位移，在矿质颗粒的接触部位产生摩擦力，造成颗粒表面的破坏，形成细粒组分。

在沥青混凝土矿料的碎裂过程中，材料的内摩擦角随之减小，抗剪强度下降。

基辅公路学院道路建筑材料试验室，对沥青混凝土路面在自然条件下的物理力学性质和矿料的级配进行了长达15年的研究工作，结果指出，矿质混合料级配组分的分解导致矿

料的骨架性发生变化，骨架性首先影响到沥青混凝土的剪切稳定性，因为剪力主要是由骨架来承受的。调整砂的粒级可以改变混合料的级配组成。

沥青混凝土矿料组分的分解程度与沥青混凝土的结构和矿料组分的强度特性有关。在 $1.0 \sim 0.6$ ， $0.6 \sim 0.25$ ， $0.15 \sim 0.071$ 粒级范围内，矿料的分解程度最严重。在车辆荷载作用下，在上述粒级范围内产生的接触应力将超过材料的强度极限，最后导致其破坏。

除野外观测外，还在圆形试验道上对矿料的分解过程进行了研究，方法是把沥青混凝土面层的模型铺在试验道上，用相当于运输车辆作用的滚动荷载进行多次重复试验。观测结果指出，对于旧沥青混凝土，首先是它的形变能力下降，特别是当温度在零度以下时尤为显著。而剪切稳定性，沥青的粘度，沥青混凝土的强度等性质则提高了。这是因为随着时间的推移，沥青混凝土在大气和运输因素的影响下发生变化，结果使 20°C 和 50°C 时的强度指标增加，饱水性降低，弹性减小，脆性提高。

基辅公路学院，К.Д.巴姆菲洛夫城市公用事业学院，莫斯科沥青工程公司等单位所作的研究指出，沥青混凝土强度的提高是由于沥青粘度逐步增加和沥青与矿料颗粒表面的粘结力逐步增大而造成的，而沥青与矿料表面粘结力的增大则是沥青吸附能力增大的结果。

饱水性降低是由于沥青混凝土路面在交付使用的最初几年内密实度逐渐提高所致。这种现象与矿料颗粒和磨损产物在车辆荷载作用下的重分布有关。水稳性系数则基本保持不变。

В.В.米哈依洛夫作出了关于沥青混凝土的性质在大气

因素作用下变化规律的结论。他指出，沥青混凝土性质的变化分三个阶段。在使用初期，即第一阶段，沥青混凝土的强度和水稳性逐步提高，以后其水稳性和抗冻性则下降；在第二阶段，沥青混凝土的强度指标保持不变，或略有提高；在第三阶段，沥青混凝土的抗冻性和弹性下降。沥青混凝土的性质在使用初期的这种变化，是沥青粘度和内聚力增加、沥青混凝土在汽车荷载和气候因素作用下逐步成型的结果。

Б. И. 拉迪金提出，旧沥青混凝土路面的塑性是逐步下降的。当沥青混凝土失去必要的塑性后会发生显著变化，在其内部产生较大的拉应力，形成裂缝。这样，沥青混凝土的老化主要是降低了它的形变能力。他在分析了所得研究结果后，指出了沥青混凝土的性质随时间而变化的原因：

1. 沥青混凝土组分中的沥青性质，将在气候因素作用下的热氧化分解过程中逐渐发生变化。在沥青同石料的接触部位，这一过程进行得更加迅速。

2. 在车辆荷载作用下，除沥青性质发生变化外，沥青混凝土的矿料组分也将发生分解，其分解程度与矿料的级配组成有关。矿料的分解程度具有随时间而衰减的性质，这是因为矿料颗粒之间的接触面逐渐增加，接触应力日趋减小的缘故。

3. 因为沥青混凝土的结构变化主要与沥青的性质变化有关，所以可以确定，沥青混凝土的老化过程也和沥青一样，可分为三个阶段：

沥青混凝土所有强度指标提高过程，这是沥青混凝土中凝胶结构逐渐形成的阶段；

上述过程继续到沥青中形成刚性空间结构——最高强度结构阶段；

沥青中油分含量减少，沥青混凝土含量增加阶段。

随着沥青的老化，沥青的内聚力、粘附性和塑性下降，沥青混凝土的形变能力也下降。这样，当沥青混凝土老化时，其物理力学性质主要与沥青的结构有关，而沥青的结构则取决于它的化学组分、气候和交通因素的作用强度。

使沥青混凝土塑化是其再生的途径之一。用作沥青塑化剂的有：棉酚树脂，马达油^①，石油油分精馏萃取物，葱油，重油。上述塑化剂与高分子化合物组合，可赋予沥青以确定的物理性质（塑性和弹性），也可减小沥青的粘度和脆性。旧沥青混凝土再生用的塑化剂应很好地与沥青相溶合，并具有较小的挥发性和足够的时间稳定性。此外，用塑化剂再生沥青混凝土的工艺过程应简单易行，而塑化剂本身则应该价格低廉，货源充足。塑化剂在使用过程中还应对人体无害。上述塑化剂的外观是深棕色的粘稠液体，它具有如表1所列的性质。

表 1

指 标	精馏萃取物	残留萃取物
萃取物的化学组分：		
石蜡-环烷烃，%	7~10	12~17
芳香烃，%	85~90	75~85
树脂，%	5~7	5~8
标准粘度 C_{100}^S	5	13
闪点，℃	>190	>200
在160℃时加热5h后的重量损失，%	0.13	0.44

① 马达油，一般指机油，润滑油类——译注。

上述沥青塑化剂的主要组分是芳香烃，它具有良好的塑化性能。

对再生沥青混凝土的结构-力学性质，以及形变能力的研究结果指出，可以选定一个最佳数量的塑化剂，以保证其再生能力。这个最佳剂量的选择与塑化剂的本性有关，一般占沥青重量的7~12%。若用石油精馏残留萃取物再生沥青混凝土，其最佳用量为11%，而用精馏萃取物作塑化剂时，其最佳用量为9%。加入上述塑化剂，可以有计划地调节再生沥青混凝土的物理力学指标。

表2对原沥青混凝土、旧沥青混凝土和再生沥青混凝土的各项指标进行了比较。沥青混凝土抵抗剪切的能力用50℃时的剪切稳定性指标加以评定，此时极限允许剪应力具有最

表 2

指 标	沥青混凝土				国家标准 要 求
	原 来 的	旧 的	再 生 的		
			用残留 萃取物 再生剂	用精馏 萃取物 再生剂	
体积饱水率，%	2.50	1.90	1.32	1.36	1.5~3.5
体积膨胀率，%	0.65	0.17	0	0	不大于0.50
在下列温度(°C)时的抗压强度 极限，kgf/cm ² ①					
20	66	72	40	38	不小于24
50	22	22	11	11	不小于10
0	78	87	75	69	不大于120
水稳性系数	1.10	1.05	0.96	0.90	不小于0.90
长期饱水状态 下的水稳性系数	0.90	0.89	0.84	0.88	不小于0.50

① 1kgf/cm² = 9.8 × 10⁴Pa。

小值。

旧沥青混凝土的剪切稳定性指标高于原来混凝土的标准。加入塑化剂可使这些性质略有下降，但此时剪应力的绝对值则与原始材料的类似指标相差无几（表 3）。

表 3

沥青混凝土	下列垂直荷载(kgf/cm ²)下的抗剪强度, kgf/cm ²		
	0	2	5
原来的	1.35	3.35	6.05
旧的	1.65	3.40	6.20
残留萃取物再生的	1.30	3.05	5.75
精馏萃取物再生的	1.35	3.00	5.50

塑化剂不仅可以恢复沥青混凝土的形变能力，与原来的指标相比，还可以大大改善这一指标。塑化剂所以能改善旧沥青混凝土的形变能力，是因为它改变了沥青的胶体结构。在芳香烃特性组分作用下，沥青混凝土，沥青组分中的固体沥青质和树脂均被表面塑化。芳香烃组分包含在原油油分精馏萃取物中，它是沥青质的良好溶剂。对旧沥青混凝土进行热处理过程中，沥青逐渐被软化并从石料表面流开，其表面上的沥青膜越来越薄，从而形成了一定数量的自由体沥青。为了保持沥青混凝土的性质，必须在加热的沥青混凝土混合料中添加一定数量的矿质材料：砂，碎石，以及少量的矿粉。

为了解决旧沥青混凝土的再生利用问题，需要对它的物理力学性质随时间变化的特性进行前期研究工作。根据П.Б.比拉依的研究资料，沥青混凝土的抗压强度极限值，抗剪强

度极限值和相对伸长值的变化情况见表 4。

表 4

老化 期, 小 时 (老 化仪工 作 时 间)	容 重 g/ cm ³	体 积 饱 水 率 %	体 积 膨 胀 率 %	在下列温度 (℃)时的抗 压强度极限, kgf/cm ²			水 稳 性 系 数	在下列垂直荷 载 (kgf/cm ²) 下的抗剪强度 kgf/cm ²			在下列温度(℃)下弯 曲时的相对伸长		
				20	50	20 (饱水状态)		0	2	5	0	-10	-20
原沥青 混凝土	2.34	2.50	0.65	66	22	71	1.1	1.35	3.35	6.05	0.0332	0.0250	0.0222
150	2.33	2.80	0.70	51	16	63	1.2	1.30	3.30	5.95	0.0398	0.0291	0.0270
300	2.34	2.40	0.60	62	19	68	1.1	1.75	4.00	6.10	0.0349	0.0245	0.0228
450	2.34	2.10	0.03	72	20	72	1.0	1.85	4.05	6.20	0.0305	0.0233	0.0210
600	2.35	1.90	0.17	72	22	76	1.0	1.68	3.40	6.20	0.0293	0.0226	0.0204

第二节 对再生沥青混凝土的 要求和质量控制

再生沥青混凝土应满足国家标准对路用沥青混凝土混合料的要求。对各种沥青混凝土提出的要求, 不应低于额定指标。额定指标首先应根据采用该指标道路结构的用途和特点以及汽车的行驶条件来确定。因为使用再生的沥青混凝土应符合国家标准对于II-IV号沥青混凝土的要求, 所以它的物理力学性质应满足表 5 之要求。表中没有标列 I 号沥青混凝土的原因是, 再生沥青混凝土的质量较低。表 6 列出了适用于再生沥青混凝土混合料的技术条件, 它是由莫斯科国家建筑

表 5

指 标	对不同标号沥青混凝土路面上层规定的标准		
	II	III	IV
体积剩余孔隙率, %	2.5~4.5	2.5~4.5	2.5~4.5
对下列类型沥青混凝土的体积饱水率, %:			
A	2.0~4.5	—	—
B和Г	1.5~3.5	1.5~3.5	1.5~3.5
B和Д	1.5~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
体积膨胀率, % 不大于在下列温度(°C)下的抗压强度极限, kgf/cm ² 不小于:	1.0	1.0	1.5
20°C (对所有类型的沥青混凝土)	22	20	16
50°C (对以下类型的沥青混凝土):			
A	8	—	—
B和B	9	9	8
Г	12	10	8
Д	12	10	8
0°C (对所有类型沥青混凝土), 不大于	120	120	120
水稳性系数, 不小于	0.85	0.80	0.70
长期饱水状态下的水稳性系数, 不小于	0.75	0.70	0.60

注: 1. 在过于潮湿地区, 饱水率和剩余孔隙率采用表列低限值。

2. 在IV和V道路气候区, 50°C时的强度指标应增加20%。

3. 在I和II道路气候区, 0°C时的强度指标不应超过90kgf/cm²。

工程局科研所、莫斯科市劳动者代表苏维埃执行委员会所属莫斯科市工程结构建筑总局制定的。

根据K. Д. 巴姆菲洛夫城市公用事业学院的建议, 修建路面基层和底基层的再生沥青混凝土, 应符合下列标准: 剩

指 标	对不同类型混合料规定的标准	
	I	II
在0°C时弯拉强度极限 (kgf/cm ²)不小于	45	35
在0°C时的弹性模量 (kgf/cm ²)不大于	185000	14000
体积饱水率, %	1.0~4.5	1.5~6.0
体积膨胀率, %, 不大于	1.5	1.5
在150°C时混合料的加和易 性, kgf	2.5—3.5	2.0—3.0

注: 混合料类型按其中所含碎石剂量分 (按TV400-24-115-78),
I类是低碎石沥青混凝土, 碎石含量在30%以下 (重量比), II类——
碎石含量可达到65%。

余孔隙率不大于10%; 饱水率不大于8%; 膨胀率不大于1.5% (体积比)。

在沥青混凝土再生以前, 应清除杂物 (卵石, 花岗岩碎块等)。拌和机出料温度应在150~170°C (夏季) 和160~180°C (秋冬两季) 之间。

再生沥青混凝土的外观应该均匀一致, 没有未被沥青包裹的白色颗粒和粘块。用作矿质添加剂的有火成岩、变质岩和沉积岩碎石, 以及砂料。

作为塑化剂用的有从重质原油提炼的软沥青, 棉酚树脂, 马达油, 原油精馏萃取物, 其平均用量视混合料和塑化剂的种类可占结合料量重的10%。

为了制备再生混合料应选用不含其它杂质矿料的块状旧沥青混凝土。砂和亚砂土混合物的允许含量不大于8%, 而

粘土含量则不能超过0.5%（重量比）。因为在旧沥青混凝土中所含的沥青性质由于老化而逐渐变差，应合理地掺入一定数量的新沥青，作为旧沥青的稀释剂（一般用БНД200/300，БНД130/200或МГ130/200号沥青作添料）。

为了提高混合料的均匀性和便于检查其质量，建议把不同类型的旧沥青混凝土按细粒、中粒、粗粒或砂沥青混凝土分开储存，分别加工。

确定再生沥青混凝土混合料的质量，决定于对旧沥青混凝土的加工工艺过程的控制，其中包括对温度状态和拌和时间的控制。拌和的均匀性用取样试验的方法加以控制。在一个工班内，每一台拌和机和每一种配合比都要取样一次进行试验。每工班开始工作前，都要对旧沥青混凝土至少作一次试验分析。

在对被加工的混合料进行试验时，必须确定下列各项指标：50°，20°和0℃时的抗压强度极限，20℃时的饱水抗压强度极限；水稳性系数，剩余孔隙率，饱水率，长期饱水率，容重，长期水稳性系数。此外，还要从成品沥青混凝土路面中取样试验（在压实成型后十昼夜，每7000~8000m²取样1~2次）。工厂生产的沥青混凝土混合料需附发货单，上面注明产品名称，生产企业的地址，混合料的发送日期，时间，种类，用途和温度，还要注明送往使用工程项目的地址。

第三节 再生沥青混凝土的 配合比设计

在对旧沥青混凝土进行加工处理之前，不论是把旧沥青