

第一章 绪论

第一节 沥青路面发展概况

回顾我国公路沥青路面的发展史，可以看出：沥青路面的发展和变革，实际上是路面材料和施工机械变革的历史。新中国自成立以来，我国的公路建设大致可以划分为三个阶段：

第一阶段，在五六十年代，以恢复原有的公路和加快建设一些干线公路 解决通车为特征。在这一阶段，公路交通量小、车辆轴载小、路线和路面等级低，除少部分路面为泥结碎石和级配砾石路面外，其它大部分为砂石路面。

第二阶段 在六七十年代 从改善路面行车质量、增加车速、减轻养护为特征。在这个阶段，公路交通量明显增长，随着大庆原油的开发，推广应用渣油表面处治路面。在本阶段，渣油表处加石灰土基层成了最主要的路面结构型式。与此同时，由于胜利等油田的开发，开始生产符合一定规格的沥青，沥青碎石结构、贯入式路面得到了发展，成了干线公路的主要路面结构型式。

第三阶段 在 80 年代中期，以提高路线和路面质量、改建和新建高等级公路，同时开始建设高速公路为特征，以适应迅速增长的交通量的需要。在这一阶段，以京津塘高速公路建设为契机，我国开始进入了高等级公路建设的新时期。开始采用沥青铺筑较厚的贯入式面层、沥青碎石面层和沥青混凝土路面层，在高等级公路上，沥青混凝土路面成为崭新的结构型式，发挥了重要作用。

近十多年来，由于交通量的不断增长和轴载的明显增大，给沥青路面带来明显的早期损坏，也对沥青路面上行车的安全和降低噪声提出了更高的要求。为适应这些新的形势和要求，传统的连续级配沥青面层受到了挑战，一些新的表面层结构或新的沥青混合料已在我国有所应用。

1985年，从修建一级公路开始，1988年10月沪嘉高速公路建成通车，1990年，沈大高速公路通车，从此，我国的高等级公路的发展呈直线增长。

“八五”期间建成了京津塘、济青、成渝高速公路等 1619km,“九五”期间建成石太、沪宁、泉厦、长吉等一大批高速公路,到 2000 年随着京沪高速公路全线通车,我国大陆高速公路总里程达 1.6 万公里。这些公路绝大部分为沥青路面。

第二节 沥青路面使用性能

概括地讲,沥青路面的使用性能是指:高温稳定性、低温抗裂性、耐久性、抗滑性、防渗性和平整性。

1. 高温稳定性

沥青路面的强度与刚度,随温度升高而显著下降,在高温季节和行车荷载的反复作用下,为了保证沥青路面不致产生诸如波浪、推移、车辙、泛油、粘轮等病害,沥青路面应具有良好的高温稳定性,即在高温时具有足够的强度与刚度。

为了提高沥青路面的高温稳定性,可采用在混合料中增加粗集料含量;或控制剩余空隙率,使粗集料形成空间骨架结构,以提高沥青混合料的内摩阻力;适当地提高沥青材料的稠度,控制沥青与矿粉的比例,严格控制沥青用量,采用活性较高的矿粉,以改善沥青与矿料之间的相互作用,从而提高沥青混合料的粘聚力。此外,在沥青中掺入聚合物改善沥青性能,亦可取得较为满意的结果。

2. 低温抗裂性

裂缝是沥青路面的一种主要破坏形式,且裂缝的出现往往是路面损坏急剧增加的开始。

沥青路面的裂缝可归为两种类型:一种是在交通荷载反复作用下的疲劳开裂;另一种是由于降温而产生的温度收缩裂缝,或由于半刚性基层开裂而引起的反射裂缝。

由于沥青路面在高温时变形能力较强,而低温时较差,故不论哪种裂缝,以在低温时发生的居多。从低温抗裂性的要求出发,沥青路面在低温时应具有较低的劲度和较大的抗变形能力,且在行车荷载和其他因素的反复作用下不致产生疲劳开裂。

使用稠度较低及温度敏感性低的沥青,可提高沥青路面的低温抗裂性能。沥青材料的老化会使其低温抗裂性能恶化,故为了提高沥青路面的低温抗裂性能,应选用抗老化能力较强的沥青。在沥青中掺加橡胶类高分子聚合物,对提高沥青路面的低温抗裂性能具有较为明显的效果。在沥青路面结构层中铺设沥青橡胶、土工布或塑料格栅等应力吸收薄膜,对防止沥青

路面的低温开裂具有显著的作用。

3. 耐久性

沥青路面应具有抵抗温度、阳光、空气、水等各种大气因素作用的能力，即在这些因素的作用下，沥青路面的性质不致很快恶化，失去粘性、性质变脆，以致在行车荷载和其他因素的作用下发生脆裂，乃致沥青与矿料脱离，使路面松散破坏。

研究表明，沥青路面的使用寿命与沥青混合料中的沥青含量有很大关系。当沥青用量不足时，则沥青膜变薄，沥青路面的延伸能力降低，脆性增加，且沥青路面的空隙率增大，使沥青膜暴露增多，从而促进了老化作用。此外，空隙率增大也会使混合料的渗水率增加，从而加剧了水对沥青膜的剥落作用。

4. 抗滑能力

现代交通车速不断提高，对路面的抗滑能力也提出更高的要求。沥青路面应具有足够的抗滑能力以保证在最不利的情况下（当路面潮湿时）车辆能够高速安全行驶，而且在外界因素作用下其抗滑能力不致很快降低。

沥青路面的粗糙度与矿质集料的微表面性质、混合料的级配组成、以及沥青用量等因素有关。为保证沥青路面的粗糙度不致很快降低，应选择硬质有棱角的石料。研究表明，沥青用量对抗滑性的影响相当敏感，当沥青用量超过最佳用量 0.5% 时就会导致抗滑系数的明显降低。

5. 防渗能力

当沥青路面防渗能力较差时，不仅影响路面本身的稳定性，而且还会影响到基层的稳定性。因此，沥青路面必须具有较好的防渗能力。在潮湿多雨地区尤为重要。

沥青路面的防渗能力主要取决于沥青路面的空隙率。空隙率越大，其防渗能力越差。

6. 平整性

主要是指沥青路面的平整度，它直接影响着车辆在路面上的行驶质量和高速公路基本功能的充分发挥。路面的平整度是一项综合性指标，涉及到施工过程各个环节的许多因素，它是路基、路面施工全过程各个环节质量的最终体现。

以上性能中，除平整性与沥青混合料本身关系较小外，其他性能都是由沥青混合料自身决定的。表 1-1 汇总了沥青、矿料、沥青混合料、沥青路面各种性能的有机联系。

沥青路面的技术要求见表 1-2。

沥青材料与沥青路面性能的关系

表 1-1

沥青路面性能		沥青结合料	矿料	沥青混合料	备注
高温稳定性		比较重要	重要	重要	
低温抗裂性		重要	有影响	重要	
耐久性	水稳定性	有影响	比较重要	重要	
	抗老化性能	重要	几乎无关	重要	与空隙率关系大
抗滑性能		有影响	重要	重要	
路面渗透性		比较重要	重要	重要	与空隙率关系大
平整性		几乎无关	有影响	有影响	取决于施工水平和结构

沥青路面技术要求与指标体系

表 1-2

技术要求	病害类型	技术指标
高温稳定性	车辙、拥包	马歇尔稳定度、动稳定度
低温抗裂性	横向开裂	低温蠕变速率、应变能、冻断温度
水稳定性	松散、剥落、坑槽	马歇尔残留稳定度、冻融劈裂强度
疲劳特性	纵裂、网裂	疲劳强度
气候稳定性	龟裂、松散	老化试验后强度与稳定性
刚度	不均匀沉降、平整度下降	回弹模量、整体弯沉
抗滑性能	表面光滑	路面摩擦系数、石料磨光值、构造深度

第三节 沥青路面工作条件与工作特性

当前，世界各国的高等级公路大多采用沥青路面，其原因是它具有下列诸多固有的良好性能：

(1) 足够的力学强度，因而沥青路面能很好地承受车辆荷载施加到路面上的各种作用力；

(2) 一定的弹性和塑性变形能力，因而能承受荷载而不破坏；

- (3)与汽车轮胎的附着力较好，可保证行车安全；
- (4)有高度的减振性，可使汽车快速行驶，平稳而无噪声；
- (5)不扬尘，容易清扫和冲洗；
- (6)维修简便，且沥青路面可再生利用。

沥青路面的使用经验表明，由于选料或施工养护不当，常常过早地发生各种变形和损坏，导致其使用期限缩短或维修费用增加；为了提高沥青路面的使用品质和耐久性，必须认清沥青路面的工作条件和特性。

沥青路面通常用来作为路面的面层，因而它承受着各种车辆荷载和自然因素的直接作用。

作用于路面上的行车荷载是比较复杂的，从荷载的方向来看，有垂直荷载和水平荷载；就荷载的动力性质而言，有静荷载与动荷载；而荷载作用的时间和频率，不仅有较长时间的作用，而且有瞬时的多次反复作用等。

行车荷载对路面施加的作用力，大致可分为以下几种：

- (1)通过车轮传给路面的垂直压力；
- (2)由于制动、加速、转向以及克服前进中的各种阻力对路面施加的水平力；
- (3)由于路面高低不平、汽车颠簸和汽车机件振动而施加于路面的冲击力和振动力；
- (4)由于车轮后方与路面之间形成暂时的真空而产生的真空吸力。

沥青路面在车轮荷载的反复作用下，塑性变形逐步积累，导致产生永久变形或车辙，从而使路面平整度降低，这种塑性变形主要发生在高温季节沥青路面的软化时期。

沥青路面在车轮垂直荷载作用下，当基层强度较低时，将产生较大的弯拉应力和弯拉应变。在低温季节，沥青路面变脆，抵抗变形能力极差。在车轮荷载的反复作用下，当应力或应变超过沥青路面的极限荷载或极限应变时，则产生裂缝，这是导致路面破坏的主要原因之一。

行车荷载的水平力作用对沥青面层的力学特性有着重要意义。在垂直力与水平力的综合作用下，沥青面层中将产生较大的剪切应力，在高温季节，路面强度降低，当所产生的剪切应力超过其本身的抗剪强度时，常发生沥青路面的推移、拥包等。这种现象多发生在急弯、陡坡以及车站、十字路口等水平力作用较大之处。

沥青路面由于刚度较低，对来自荷载的冲击、振动有一定的缓冲与消振能力。铺筑在路表的沥青面层还承受着车轮的磨耗作用，由于沥青膜包裹了矿料表面，使得沥青路面的耐磨性有所提高，由于沥青路面中的细料被沥青牢固地粘结在一起，故在真空吸力作用下不会导致扬尘。

各种自然因素对沥青路面的物理、力学性质有直接的影响，尤其是温度和这两个因素对沥青路面具有极其重要的影响。

在低温、短时间荷载作用下 沥青路面接近于弹性体 随着温度升高 特别是荷载时间的增长，或荷载重复次数的增多，逐渐接近塑性体。沥青路面的变形则由其粘滞性质决定。当荷载时间较短时，沥青路面的变形基本上是弹性的，但又不像弹性体那样变形瞬时就能恢复，而是受粘滞度的影响而逐渐恢复。

水对沥青路面的影响主要表现在：①沥青路面在水的作用下会使沥青与矿料分离，还会将沥青中某些可溶性化合物溶解并冲走，尤其是当水中有易溶盐时会发生乳化作用，从而加剧了溶蚀作用；②沥青路面长时间浸水后，会因含水量增加而发生体积膨胀，强度降低。沥青路面受水影响的程度 取决于当地的气候、水文情况、路表的排水能力、路面的渗透性以及沥青路面本身的水稳定性。

此外 在使用过程中 由于阳光、温度、空气等大气因素的作用 沥青中的轻质组份逐渐挥发，并不断发生氧化聚合反应，使沥青中的油份、树脂逐渐减少，沥青质相对增多，且因为沥青质部分转化为沥青炭，致使沥青路面粘塑性降低 路面相继出现干涩、开裂、松散 即发生沥青路面的老化。随着老化现象的发展，沥青变脆，沥青路面的抗变形能力降低，在行车荷载和冰冻的作用下，极易产生裂缝，最终形成龟裂而导致路面的破坏。沥青路面的老化速度取决于当地气候、沥青路面的层位、以及沥青和沥青混合料的性能。在气温较高及日照时间较长的地区，受大气因素作用较为剧烈的表层，老化速度最快；沥青中不饱和烃及芳香烃较多时，也易发生老化，沥青混合料的空隙率大时会加速老化。

我国幅员辽阔，气候变化大，各个地区对沥青路面的使用性能的要求应有差别。在“八五”期间，交通部公路科学研究所与中国气象科学研究院合作 使用了全国 600 多个气象台站 30 年的气象数据进行统计分析，提出了我国“沥青及沥青混合料气候分区指标”及相应的“分区图”。

沥青路面的使用性能，除主要受温度影响外，还与水分有关，因此公路科学有关研究部门对影响沥青路面使用性能的三个主要因素进行了研究，按照概率大体相等的原则，提出了温度和水分影响分区指标界限，绘制出了气候分区图 见表 1-3、1-4、图 1-1、1-2。

1. 高温分区指标

公路科学研究部门整理了年最高气温、七月平均最高气温、10℃、20℃、25℃、30℃ 以上气温资料，以七月平均最高气温作为沥青路面高温分区指标，取得共识，因此，建议将全国最高气温划分为 $> 30^{\circ}\text{C}$ 、 $30^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 、

<20 三个区。30 线基本上是沿燕山、太行山、四川盆地及云贵高原边缘走向，与自然的地形、地貌走向一致，符合我国沥青路面使用的实际分界状况。

沥青气候分区指标表 1-3

气候型	型名	温度(°C)	
		七月平均最高气温	年极端最低气温
1-1	夏炎热,冬严寒	>30	<-37
1-2	夏炎热,冬寒	>30	-37~-21.5
1-3	夏炎热,冬冷	>30	-21.5~-9
1-4	夏炎热,冬温	>30	>-9
2-1	夏热,冬严寒	20~30	<-37
2-2	夏热,冬寒	20~30	-37~-21.5
2-3	夏热,冬冷	20~30	-21.5~-9
2-4	夏热,冬温	20~30	>-9
3-2	夏凉,冬寒	<20	-37~-21.5

沥青混合料气候分区指标

表 1-4

气候型	型名	温度(°C)		雨量(mm)
		七月平均最高气温	年极端最低气温	年降水总量
1-1-4	夏炎热冬严寒干旱	>30	<-37	<250
1-2-2	夏炎热冬寒湿润	>30	-37~-21.5	500~1000
1-2-3	夏炎热冬寒半干	>30	-37~-21.5	250~500
1-2-4	夏炎热冬寒干旱	>30	-37~-21.5	>250
1-3-1	夏炎热冬冷潮湿	>30	-21.5~-9	>1000
1-3-2	夏炎热冬冷湿润	>30	-21.5~-9	500~1000
1-3-3	夏炎热冬冷半干	>30	-21.5~-9	250~500
1-3-4	夏炎热冬冷干旱	>30	-21.5~-9	<250
1-4-1	夏炎热冬温潮湿	>30	>-9	>1000
1-4-2	夏炎热冬温湿润	>30	>-9	500~1000
2-1-2	夏炎冬严寒湿润	20~30	<-37	500~1000
2-1-3	夏热冬严寒半干	20~30	<-37	250~500
2-1-4	夏热冬严寒干旱	20~30	<-37	<250
2-2-1	夏热冬寒潮湿	20~30	-37~-21.5	>1000
2-2-2	夏热冬寒湿润	20~30	-37~-21.5	500~1000
2-2-3	夏热冬寒半干	20~30	-37~-21.5	250~500
2-2-4	夏热冬寒干旱	20~30	-37~-21.5	<250

续上表

气候型	型名	温度(°C)		雨量(mm)
		七月平均最高气温	年极端最低气温	年降水总量
2-3-1	夏热冬冷潮湿	20~30	-21.5~-9	>1000
2-3-2	夏热冬冷湿润	20~30	-21.5~-9	500~1000
2-3-3	夏热冬冷半干	20~30	-21.5~-9	250~500
2-3-4	夏热冬冷干旱	20~30	-21.5~-9	<250
2-4-1	夏热冬湿潮湿	20~30	>-9	>1000
2-4-2	夏热冬湿湿润	20~30	>-9	500~1000
2-4-3	夏热冬湿半干	20~30	>-9	250~500
3-2-1	夏凉冬寒潮湿	<20	-37~-21.5	>100
3-2-2	夏凉冬寒湿润	<20	-37~-21.5	500~1000

2. 低温分区指标

按照上述同样的方法，整理了年极端最低气温、一月平均气温、负积温（冻结指数）等指标。选用年极端最低气温（30年一遇预期最低气温）作为使用指标，将全国最低气温分为 $> -9^{\circ}\text{C}$ 、 $-9^{\circ}\text{C} \sim -21.5^{\circ}\text{C}$ 、 $-21.5^{\circ}\text{C} \sim -37^{\circ}\text{C}$ 、 < -37 四个区。

3. 雨量分区指标

在整理年降雨量及降雨日数等指标基础上，选用年降雨量作为分区指标。将全国分为 $> 1000\text{mm}$ 、 $500\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ 、 $250\text{mm} \sim 500\text{mm}$ 、 $< 250\text{mm}$ 四个区。 1000mm 分界线基本上位于淮河秦岭地域。

4. 沥青使用性能气候分区

沥青气候分区为二级区划，以七月平均最高气温和年极端最低气温为区划界限，把全国气候分为三大区、九种气候型。每个气候型用 2 个数字来表示：第一个数字代表 7 月平均最高气温的分级（1— $> 30^{\circ}\text{C}$ 、2— $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、3— 20°C ）；第二个数字代表年极端最低气温的分级（1— $< -37^{\circ}\text{C}$ 、2— $-21.5^{\circ}\text{C} \sim -37^{\circ}\text{C}$ 、3— $-9^{\circ}\text{C} \sim -21.5^{\circ}\text{C}$ 、4— $> -9^{\circ}\text{C}$ ）。沥青混合料气候分区，则是在沥青分区的基础上再增加一级降雨量分级，即每个气候型用 3 个数字。第三个数字代表年降水量分级（1— $> 1000\text{mm}$ 、2— $500\text{mm} \sim 1000\text{mm}$ 、3— $250\text{mm} \sim 500\text{mm}$ 、4— $< 250\text{mm}$ ），三个数字综合定量地反映了某地的气候特征，每个因素的数字减小，表示气候因素影响越严重。

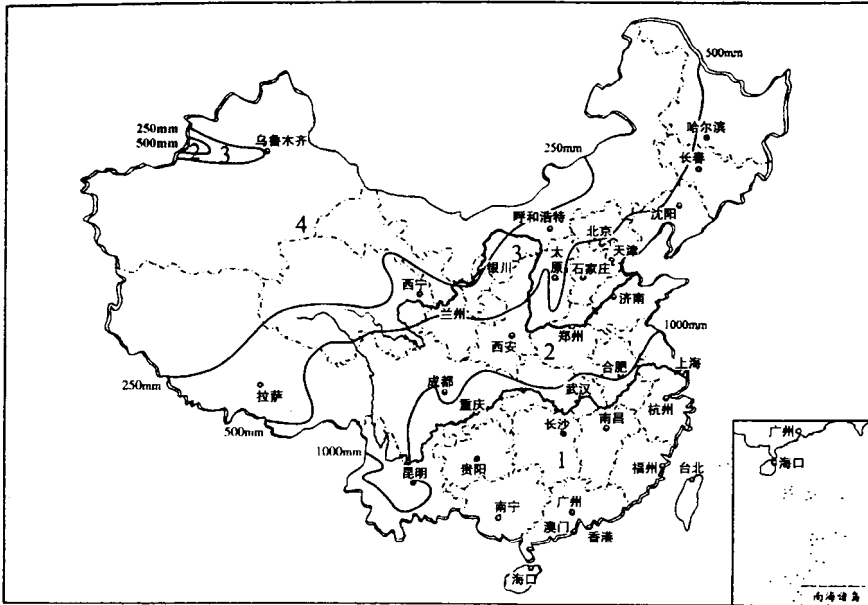


图 1-1 道路沥青使用性能气候分区图（温度）

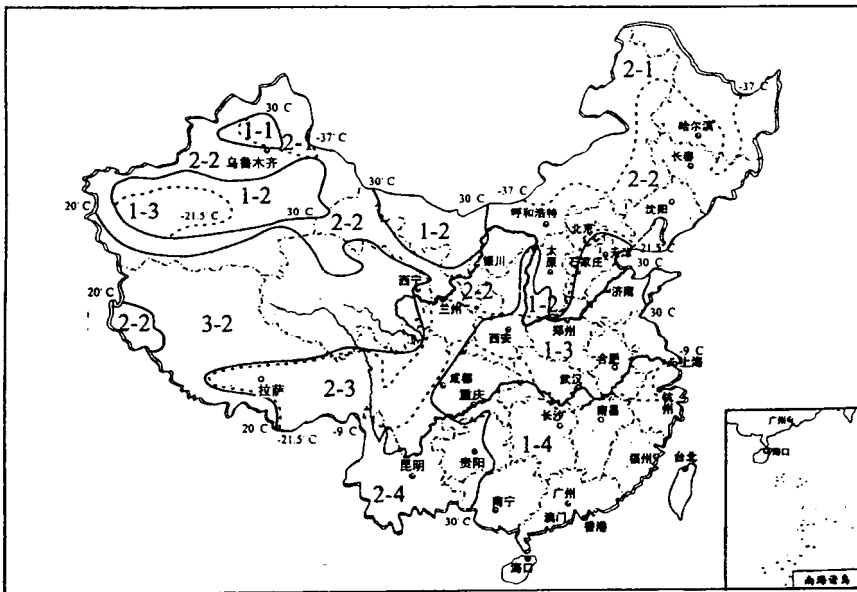


图 1-2 道路沥青使用性能气候分区图（雨量）

第二章 沥青路面组成材料试验及其技术标准

随着我国公路等级的提高，沥青路面已成为高等级公路的主要路面结构，为了修筑优质的沥青路面，提高其质量水平，在施工过程中及时地对沥青结合料、矿料和沥青混合料的性能准确地进行检验，是确保路面质量不可缺少的工序。

本章在介绍沥青、石料和沥青混合料的分类及其技术要求的基础上，重点介绍沥青材料、矿料的试验检测方法，沥青混合料马歇尔试验、车辙试验以及水稳性检测方法。

第一节 沥青结合料

一、沥青结合料分类

沥青材料是一些极其复杂的高分子碳氢化合物与其非金属（氧、硫、氮）衍生物所组成的混合物，其中碳占 80% ~ 87%，氢占 10% ~ 15%，氧、硫、氮小于 0.3%，此外还有少量微量金属元素。石油沥青化学组分按四组分法可分为饱和分、芳香分、胶质和沥青质。

对于沥青材料的命名和分类，目前世界各国尚未取得统一认识，现就我国通用的命名和分类简述如下：

沥青按其我在自然界中获得的方式，可分为地沥青和焦油沥青两大类。

地沥青是由天然产状或石油精制加工得到的沥青材料，按其产源又可分为天然沥青和石油沥青。天然沥青是石油在自然条件下，长时间经受地球物理因素作用而形成的产物；石油沥青是石油经精制加工成油品后，最后加工而得到的产品，现用于公路路面。

焦油沥青是各种有机物（煤、泥炭、木材等）干馏加工得到的焦油经再加工而得到的未成品，我国常用的焦油沥青是煤沥青。

目前我国在炼油厂中生产沥青的主要工艺方法有蒸馏法、氧化法、半氧

化法溶剂脱沥青法和调配法等 由于制造方法不同 沥青性质有很大差异。

二、沥青结合料试验

1. 沥青密度

沥青密度或相对密度与沥青道路性能无直接关系，它基本上是原油先天决定的指标，炼油工艺基本上无法改变沥青的密度。测定沥青密度的目的有两个，一是沥青贮存期间体积与质量换算用，另一个是计算沥青混合料最大理论密度供配合比设计所用。由于密度是有用的指标，但不是沥青性能指标，因此在规范中无限定值。

沥青的密度是试样在 15 温度下单位体积所具有的质量，以 g/cm^3 表示；沥青的相对密度是指在 25 温度下，沥青质量与同体积水质量之比。本法适用于利用比重瓶测定各种沥青材料的密度和相对密度。

沥青密度试验方法可按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000 中 T 0603—1993 进行。

2. 沥青针入度试验

针入度试验是用以测定粘稠石油沥青的稠度，试验时将一根已知质量为 100g 的规定尺寸的标准针，在固定温度 25 及贯入时间 5s 的情况下垂直地插入试样，试针插入的深度以 dmm 或 $1/10\text{mm}$ 为单位，即称之为针入度。因此沥青越软试针贯入越深，针入度小于 2 和大于 500 时无法准确地测量。即使针入度在范围内也必须严格按照规定的步骤才能测得可靠的结果，我国现行标准是以针入度为等级来划分沥青的标号。

试验时必须严格遵循试验方法，条件稍有变化就会导致很大的误差，最易出现的错误是：取样和备样不佳，仪器和试针保养不好，以及试验温度和贯入时间不准确。试验中温度控制至关重要，误差必须控制在 0.1°C 内，定期检查试针是否笔直、光洁，为了测试准确要用自动控时装置并作定期检查。每次测试要以三次针入度值为准，取其平均值以其整数为记录。如果三次针入度测定值之间的差距没有超过规定的限值，才可作为样品的试验结果。JTJ 052—2000 中 T 0624—2000 列出针入度试验重复性和再现性要求如下：

(1) 重复性

若针入度小于 50(0.1mm) 时，2(0.1mm)

若针入度大于 50(0.1mm) 时 两项试验结果平均值的 4%

(2) 再现性

若针入度小于 50(0.1mm) 时，4(0.1mm)

若针入度大于 50(0.1mm) 时 两次试验结果平均值的 8%
沥青针入度试验的注意事项：

针入度试验属于条件性试验，因此试验时要注意其条件，针入度的条件有三项 分别为温度、时间和针质量 这三项要求不一样 会影响结果的正确性，试验时要定期检验标准针，尤其不能使用针尖破损的标准针，在每次试验时，均应用三氯乙烯擦试标准针，同时要严格控制温度，使其满足精度要求。

影响沥青针入度测定值的一个非常重要的步骤，就是标准针与试样表面的接触情况。在试验时，一定要让标准针刚接触试样表面，试验时可将针入度仪置于光线照射处，从试样表面观察标准针的倒影，而后调节标准针下降，使标准针与其倒影刚好接触即可。

将沥青试样注入试皿时，不应留有气泡。若有气泡，可用明火将其消掉，以免影响结果的正确性。

针入度指数 PI 用以描述沥青的温度敏感性 宜在 15℃、25℃、30℃ 三个温度条件下测定 若 30 的针入度值过大，可采用 5℃ 代替。当量软化点 T_{800} 是相当于沥青针入度为 800 时的温度，用以评价沥青的高温稳定性；当量脆点 $T_{1.2}$ 是相当于沥青针入度为 1.2 时的温度，用以评价沥青的低温抗裂性。

根据不同温度下测得的针入度值，经计算可求得针入度指数、当量软化点及当量脆点。

对不同的温度条件下测试的针入度值取对数，令 $y = \lg P$ ， $x = T$ 按式 (2-1) 的针入度对数与温度的直线关系，进行 $y = a + bx$ 一元一次方程的直线回归，求取针入度温度指数 A_{lgpen} 。

$$\lg P = k + A_{lgpen} \cdot T \quad (2-1)$$

式中： T ——不同试验温度，相应温度下的针入度为 P ；

K ——回归方程的常数项 a ；

A_{lgpen} ——回归方程系数 b 。

按式 (2-1) 回归时，必须进行相关性检验，当温度条件为 3 个时，回归系数 R 不得小于 0.997 否则 试验无效。

按式 (2-2) 确定沥青的针入度指数 PI 并记为 PI_{lgpen} ：

$$PI_{lgpen} = \frac{20 - 500A_{lgpen}}{1 + 50A_{lgpen}} \quad (2-2)$$

按式 (2-3) 确定沥青的当量软化点 T_{800} ：

$$T_{800} = \frac{\lg 800 - k}{A_{lgpen}} = \frac{2.9031 - k}{A_{lgpen}} \quad (2-3)$$

按式 (2-4) 确定沥青的当量脆点 $T_{1.2}$:

$$T_{1.2} = \frac{\lg_{1.2} - k}{A_{\lgpen}} = \frac{0.0792 - k}{A_{\lgpen}} \quad (2-4)$$

3. 沥青软化点试验

沥青材料是一种非晶质高分子材料, 它由液态凝结为固态, 或由固态溶化为液态, 没有敏锐的固化点或液化点, 通常采用条件的硬化点和滴落点来表示。沥青材料在硬化点至滴落点之间的温度阶段时, 是一种粘滞流动状态, 在工程实践中为保证沥青不致由温度升高而产生流动的状态, 因此取液化点与固化点之间温度间隔的 87.2% 作为软化点。软化点的数值随采用仪器不同而异, 我国现行规范试验法是采用环与球软化点法。试验时将沥青试样放在黄铜环内, 上面置放重 3.5g 的钢球, 然后置于水或甘油中, 试样软化点不超过 80 可使用水 高于 80 时则用甘油。以每分钟 5 的速度加热, 试样受热软化逐渐变形和钢球一起通过铜环往下沉, 当沥青和钢球接触到距离环以下 25.4mm 的底板时, 记录水的温度值。本试验要重复做两次取其平均值作为记录, 如果两次测定的差值超过 1℃ 必须重做。所记录的温度称为沥青的软化点, 它代表一个等粘滞化温度。软化点试验必须严格按照试验步骤才能获得准确的结果。试样的准备、加热速度以及温度测试要准确等均很重要。例如将加热速度从 4.5 改变为 5.5℃, 测定的软化点要相差 1.6℃, 用自动软化点仪测试温度可受到严格控制。

规范规定软化点试验可以接受的重复性和再现性范围如下:

(1) 重复性

若软化点小于 80 时 ,1℃

若软化点大于 80 时 ,2℃

(2) 再现性

若软化点小于 80℃ 时 ,4℃

若软化点大于 80 时 ,8℃

4. 沥青延度试验

沥青的延性是当其受到外力拉伸作用时, 所能承受塑性变形的总能力, 通常用延度作为条件延性指标来表征。沥青的延度采用延度仪测定, 其方法是将沥青试样制成 8 字型标准试件, 最少断面 1cm² 在规定拉伸速度和规定温度下拉断时的长度以 cm 计, 称为延度。我国现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—93) 中道路用石油沥青技术要求中规定 对中轻交通量道路石油沥青, 试验温度为 25℃ 拉伸速率为 5 ± 0.5cm/min; 对重交通道路石油沥青, 试验温度为 15℃ 拉伸速率为 5 ± 0.5cm/min。

重复性精度为平均值的 20% 再现性精度为平均值的 30%。

在进行延度试验时，应注意以下问题：

(1)在浇铸试样时 隔离剂配置要适当 以免试样取不下来 对于粘结在玻璃上的试样 应放弃 在试模底部涂隔离剂时 不易太多 以免隔离剂占用试样部分体积，冷却后造成试样断面不合格，影响试验结果；

(2)在浇模时应使试样高出试模，以免试样冷却欠模；

(3)对于延度较大的沥青试样，为了便于观察延度值，延度仪底部尽量采用白色衬砌；

(4)在制模时，应将沥青与试模制为平齐，尤其是试模中部，不应有低凹现象。

5. 沥青溶解度

世界各国的沥青标准中几乎都有沥青溶解度指标，且均规定为不少于99%，其主要目的是测试沥青产品的纯净程度，即含杂质情况，它对产品成本有直接影响。沥青的溶解度是沥青试样在规定溶剂三氯乙烯中可溶物的含量，以质量百分率表示。在进行溶解度试验时一定要严格按照规程要求的步骤进行，最易出现的错误是，称量精度不够以及过滤不彻底。

规范规定溶解度试验可以接受的精密度检验如下：当试验结果平均值大于99.0%时，重复性试验精度的允许差为0.1%，再现性试验精度的允许差为0.5%。

6. 沥青闪点试验

沥青材料在使用时必须加热，当加热至一定温度时，沥青材料中挥发的油量蒸气与周围空气组成混合气体，此混合气体遇火易发生闪火。若继续加热，油分蒸气的饱和度增加，此种蒸气与空气组成的混合气体遇火极易燃烧，而引起溶油车间发生火灾或使沥青烧坏产生损失；因此，为了保证生产施工安全，必须测定沥青闪点。闪点是保证沥青加热质量和施工安全的一项重要指标。我国现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)规定对粘稠石油沥青采用克利夫兰开口杯法即COC法测定闪点。

闪点是沥青试样在规定的克利夫兰开口杯盛样器内，按规定的升温速率(5.5 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，受热时所蒸发的气体，以规定的方法与试样接触，初次发生一瞬即灭火焰时的试样温度，以 $t_{\text{闪}}$ 表示。闪点试验时必须按规定严格进行，其中升温速率、第一次出现蓝色火焰的判别都是引起实验误差的原因。规范规定的闪点重复性试验精度为8 $^{\circ}\text{C}$ 再现性试验精度为16 $^{\circ}\text{C}$ 。

7. 沥青含蜡量试验

国外测定沥青含蜡量方法很多，如各种蒸馏法、硫酸法、组分分析法等，而用于析出蜡的溶剂也不同 如乙醚—乙醇、苯—甲乙酮、甲醇—丙酮、丙烷

一丁烷等。所以根据使用不同的测定方法及不同的冷冻溶剂，沥青的蜡含量也不相同。蜡含量是一个非常重要的指标，对我国采用石蜡基原油炼制的沥青尤为重要，直接影响到沥青产品的质量。

沥青含蜡量是在规定的条件下，将沥青试样于 $550 \pm 10^\circ\text{C}$ 裂解蒸馏得到馏出油，用乙醚—乙醇混合溶剂溶解，于 -20°C 下冷冻结晶，将析出的蜡过滤，滤得的蜡用石油醚溶解。蒸去石油醚，干燥称量蜡量，计算其占原质量百分率表示。蜡含量测定时重复性和再现性精度要求如下：

蜡含量为 0.0~1.0% 时 重复性为 0.1%

再现性为 0.3%

蜡含量为 1~3% 时，重复性为 0.3%

再现性为 1.0%

蜡含量大于 3% 时，重复性为 0.5%

再现性为 1.5%

在进行蜡含量试验时，要严格控制蒸馏的速度、温度和时间，冷冻一定要在 -20°C 下进行，吸滤溶解要彻底，称量要准确。

沥青含蜡量测定时需注意的问题：

(1) 裂解蒸馏

裂解蒸馏是一个关键步骤，直接影响到最终结果。一般裂解蒸馏采用燃气炉明火加热，让火源包围住裂解瓶四周，保证初馏时间为 5~8min 保证 25min 内裂解蒸馏结束。由于直火加热的热惯性小，易于控制，能确保馏出油的流速及蒸馏时间。电炉则由于热滞后，初馏时间难达到，又由于热惯性大 蒸馏时间难保证 即使电炉电关了 电炉的余热仍会使馏出油流去，一般电炉裂解的馏出油回收率比直火馏出油回收率高，导致最终结果偏高 0.2% 以上。

(2) 取样量

在沥青含蜡量分析中，规定所取样的蜡质量在 50~100mg 之间，超出这一范围就会导致结果偏大或偏小。报告结果指的是 75mg 蜡对应的百分数，所以，取样时可以先估计一个该沥青的蜡含量，用估计值来计算 75mg 蜡应取样多少，计算出一个取样质量后，另两个取样质量就可确定下来。三个取样质量间隔 0.2~0.5g 之间，蜡含量可以这样来估计：从馏出油的稀稠、透明度和馏出油收率三个方面来判断；若从冰水中取出馏出油稀且透明，收率又低（在 50%~55% 之间），则该油蜡含量约在 1%~2.0% 之间 这时取样要大于 2.5g 质量间隔要约 0.5g；若从水中取出馏出油稠且结块，收率高（在 55%~65% 之间），则该油的蜡含量大于 2.0% 取样要小于 2.5g 取样间隔要小约 0.3 克 若馏出油稠且结块 收率又大于 65%，则该油的蜡含量

在 3%以上 取样要小于 2.0g 取样间隔也要小于 0.3 克。75mg 蜡应取样质量 可按公式 2-5 计算：

$$d = D p / S x \quad (2-5)$$

式中： d ——取样重 (g)；

D ——馏出油重 (g)；

P ——蜡重 0.075(g)；

x ——估计的蜡含量百分数；

s ——沥青试样采取量。

根据公式计算出一个取样质量后，另两个取样质量便可确定下来。

(3)冷却温度及时间

试验规定在 -20 下冷却 1h；高于 -20 时不能充分析出蜡 导致结果偏小 低于 -20 时，析出的蜡增多，导致结果偏大，冷却时间短，未能充分析出蜡 导致结果偏小 冷却 1h，是保证在该温度下，使蜡充分析出。

(4)抽滤

抽滤可以用水流泵或真空泵抽滤。抽滤时，要控制好流速，每秒钟 1~2 滴为宜，抽力太大或真空度太高，滤液反而不能流下来，这时可用吸耳球轻轻吹一下蜡层，再调小抽力或真空度即可抽滤；抽滤时一定要抽干，直到无液滴下再抽 5min 若不抽滤干 就会导致结果偏大。

(5)沥青蜡量的计算

沥青蜡量的分析结果取值，是将三点所得的蜡质量 (g) 作为横轴 蜡质量百分数作为纵轴，求出关系直线，取 0.075g 蜡所对应的百分数作为蜡含量结果，关系直线的方向系数只取正值，有两条直线时，取内插值的平均值，一般有三种情况：

三点一直线上，这种结果准确性最好；

三点不在一直线上，即存在两直线，这时结果只能取两直线的内插值；

三点在直线上 但斜率为负 出现这种情况较少 这种结果准确性最差。

8. 沥青材料热致老化试验方法

沥青路面在施工时，需要在空气介质中进行加热，热能加速沥青分子的运动，除了引起沥青的蒸发外，还能促使沥青化学反应的加速，从而导致沥青技术性能降低。尤其在施工加热时，由于有空气中的氧参与共同作用，可使沥青性质产生严重劣化，路面建成后，沥青长期裸露在现代工业环境中，仍经受日照、降水、气温变化作用，使沥青路面进一步恶化。目前采用现代技术修筑的高等级沥青路面要求具有很大的耐用周期，因此对沥青材料的耐久性，提出了更高的要求。

由于路面施工加热导致沥青性能变化的评价，我国现行《公路工程沥青

及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—M0611—2000 规定 对中、轻交通量道路石油沥青,应进行蒸发损失试验,对重交道路石油沥青应进行薄膜加热试验。

沥青的蒸发损失试验,取沥青试样 50g 置于直径为 55mm、深为 35mm 的器皿中 在 163 的烘箱中加热 5h,然后测定其质量损失、以及残留物的针入度与原试样针入度的百分率。这种方法由于沥青试样与空气接触面积太小,试样太厚,所以试验效果较差。

沥青薄膜加热试验是将 50g 沥青试样,置于内径 139.7mm、深为 9.5mm 的铝皿中,使沥青成为厚约 3mm 的薄膜,沥青薄膜在 $163^{\circ}\text{C} \pm 1$ 的标准烘箱中加热 5h,以加热前后的质量损失、针入度比和 25 及 15℃ 的延度值作为评价指标。

薄膜加热试验后的性质与沥青在拌和机中加热拌合后的性质有很好的相关性 沥青在薄膜加热后的性质 相当于在 150℃ 拌和机中拌和 1~1.5min 后的性质,现又发展了旋转薄膜烘箱试验,这种试验方法的特点是:试样在垂直方向旋转 沥青膜较薄 能连续鼓入热空气 以加速老化 使试验时间缩短为 75min 并且试验结果精度较高。

三、沥青结合料技术标准

1. 粘稠石油沥青技术标准

粘稠石油沥青按使用的道路交通量,分为中、轻交通量和重交通量道路用沥青两个标准。

(1)中、轻交通量道路石油沥青技术标准

用于中、轻交通量道路的石油沥青标准(表 2-1),是按针入度值划分为 A—60、A—100、A—140、A—180 和 A—200 五个标号 其中 A—60 和 A—100 按延度指标划分为甲、乙两个副标号。此外,该标准对软化点、溶解度、蒸发损失、蒸发后针入度比以及闪点等的要求,亦都作了相应的规定。

中、轻交通道路石油沥青技术要求

表 2-1

标 号 试验项目	标 号						
	A—200	A—180	A—140	A—100 甲	A—100 乙	A—60 甲	A—60 乙
针入度(25℃,100g,5s) (0.1mm)	200~300	160~200	120~160	80~120	80~120	50~80	40~80
延度(25℃,5cm/min) 不小于(cm)	-	100	100	90	60	70	40