

土木工程实验与检测技术(下)

TUMU GONGCHENG SHIYAN YU JIANCE JISHU (XIA)

◎ 张志恒 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

土木工程实验与检测技术

(下)

主 编 张志恒
参 编 杨晓峰 宋百姓 王小波
熊 恩 晏冲为 吴 旦 秦至谦



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

土木工程实验与检测技术(下)/张志恒主编.
—长沙:中南大学出版社,2016.8
ISBN 978-7-5487-2345-5

I. 土... II. 张... III. 土木工程-工程结构-检测-高等学校-教材 IV. TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 198651 号

土木工程实验与检测技术(下)

TUMU GONGCHENG SHIYAN YU JIANCE JISHU (XIA)

主编 张志恒

-
- 责任编辑 胡小锋
 责任印制 易红卫
 出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
 印 装 长沙理工大印刷厂

-
- 开 本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 265 千字
 版 次 2016年8月第1版 印次 2016年8月第1次印刷
 书 号 ISBN 978-7-5487-2345-5
 定 价 25.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

本书以高等学校土木类各专业用土木工程教学大纲以及土木类相关专业国家和行业标准等为依据而编写的，分上、下两册。主要内容包括土木工程材料实验与检测、土力学室内实验与现场原位测试实验、岩石力学实验、测量实验与检测、建筑结构实验与检测、道路与桥梁工程材料实验与检测、路基路面工程现场实验与检测等；主要从基本概念、仪器设备及使用、实验步骤、实验记录与计算、检测相关规定等方面进行阐述。

本书由南华大学张志恒高级实验师担任主编，参加本书编写的有：张志恒(土木工程材料实验与检测、建筑结构实验与检测)；杨晓峰、宋百姓(土木工程材料实验与检测)；王小波(土力学室内实验与现场原位测试实验、岩石力学实验)；熊恩、晏冲为(测量实验与检测)；吴旦、秦至谦(道路与桥梁工程材料实验、路基路面工程现场实验)。

本书编写注重理论联系实际，编写人员均来自于南华大学土木工程实验教学中心和南华大学工程技术检测中心，具有多年的实验教学和工程检测实践经验。本书可作为土木工程类各专业的实验教学用书，亦可作为土木工程专业工程检测人员和试验人员参考用书。

本书在编写过程中得到了南华大学土木工程学院柯国军教授的大力指导和支持，在此深表感谢！

由于编写时间仓促，本书内容还不够全面，例如：建筑节能实验与检测、钢结构实验与检测、建筑幕墙实验与检测等内容还未在本书中加入，争取在修订时进行补充。

由于新材料、新工艺、先进仪器设备等不断发展和提高，国家和行业标准的不断更新，加之编者水平有限，本书缺点和错误在所难免，敬请同行专家和读者批评指正。

编 者
2016年5月

目 录

第一篇 沥青实验

实验 1.1	沥青取样和试样准备	(3)
实验 1.2	石油沥青的针入度试验	(7)
实验 1.3	沥青软化点试验	(11)
实验 1.4	沥青延度试验	(14)
实验 1.5	沥青密度与相对密度试验	(18)
实验 1.6	沥青薄膜加热试验、旋转薄膜加热试验	(22)
实验 1.7	沥青闪点、燃点、脆点试验	(27)
实验 1.8	沥青蜡含量试验	(30)
实验 1.9	沥青与粗集料黏附试验	(34)
实验 1.10	沥青动态剪切流变性质试验(DSR)	(37)

第二篇 沥青混合料实验

实验 2.1	沥青混合料取样法及试件制作试验	(43)
实验 2.2	马歇尔试件密度试验	(49)
实验 2.3	沥青混合料马歇尔稳定度试验	(54)
实验 2.4	路面芯样马歇尔试验	(58)
实验 2.5	沥青混合料理论最大相对密度试验	(62)
实验 2.6	沥青混合料单轴压缩试验(圆柱体法)	(65)
实验 2.7	沥青混合料弯曲试验	(68)
实验 2.8	沥青混合料劈裂试验、冻融劈裂试验	(71)
实验 2.9	沥青混合料车辙试验	(76)
实验 2.10	沥青混合料表面构造深度试验	(79)
实验 2.11	沥青混合料肯塔堡飞散试验	(81)

第三篇 路基路面工程现场实验

实验 3.1	取样方法	(85)
实验 3.2	路基路面几何尺寸测试试验	(87)
实验 3.3	路面厚度测试	(89)

实验 3.4	路基路面压实度测试	(93)
实验 3.5	路面平整度试验	(101)
实验 3.6	土基现场 CBR 值测试试验	(104)
实验 3.7	贝克曼梁路基路面回弹模量试验方法	(107)
实验 3.8	贝克曼梁路基路面回弹弯沉试验方法	(110)
实验 3.9	落锤弯沉仪测弯沉方法	(114)
实验 3.10	路面构造深度——手工铺砂法试验	(116)
实验 3.11	摆式摩擦仪路面摩擦系数测试	(118)
实验 3.12	沥青路面渗水系数测试试验	(120)
实验 3.13	透层油渗透深度测试	(123)

第四篇 测量实验与检测

实验 4.1	水准仪的使用	(127)
实验 4.2	普通水准测量	(135)
实验 4.3	电子数字水准仪的使用练习	(140)
实验 4.4	沉降观测练习	(144)
实验 4.5	全站仪的认识和使用	(148)
实验 4.6	全站仪草图法数字测图	(154)
实验 4.7	全站仪放样点的坐标	(157)
实验 4.8	GPS 的认识与使用	(160)
实验 4.9	GPS - RTK 碎部测量与放样	(162)
主要参考文献	(165)

第一篇
沥青实验

实验 1.1 沥青取样和试样准备

1.1.1 概述

沥青取样是通过利用专业设备,从不同的储存地点采集样品以检查沥青产品质量。对于黏稠沥青或者固体沥青取样数量不少于 4.0 kg;液体沥青不少于 1 L;沥青乳液不少于 4 L。

注: 沥青性质非常规检验及沥青混合料性质试验所需的沥青数量,据实际需要确定。

试样准备适用于黏稠道路石油沥青、煤沥青、聚合物改性沥青、乳化沥青等试样各项性能的测试试验中。

1.1.2 试验仪器

- 沥青取样: 沥青取样器、盛样器。
- 试样准备: 烘箱(200℃)、加热炉具、石棉垫(不小于炉具面积)、滤筛(孔径 0.6 mm)、沥青盛样器皿、烧杯(1000 mL)、温度计(量程 0~100℃及 0~200℃,分度值 0.1℃)、天平(称量 2000 g,感量不大于 1 g;称量 1000 g,感量不大于 0.1 g)以及玻璃棒、溶剂、棉纱等。

1.1.3 试验方法

1. 沥青取样试验方法

1) 从储油罐中取样

(1) 无搅拌设备的储罐。

① 液体沥青或经加热已经变成流体的黏稠沥青取样时,先关闭进油阀和出油阀,然后取样。

② 用取样器按液面上、中、下位置(液面高各为 1/3 等分处,但距罐底不得低于总液面高度的 1/6)各取 1~4 L 样品。每层取样后,取样器应尽可能倒净。当储罐过深时,亦可在流出口按不同流出深度分 3 次取样。对静态存储的沥青,不得仅从灌顶用小桶取样,也不得仅从罐底阀门流出少量沥青取样。

③ 将取出的 3 个样品充分混合后取 4 kg 样品作为试样,样品也可分别进行检验。

(2) 有搅拌设备的储罐。

将液体沥青或经加热已经变成流体的黏稠沥青充分搅拌后,用取样器从沥青层的中部取

规定数量的试样。

2) 从槽车、罐车、沥青洒布车中取样

① 设有取样阀时,可旋开取样阀,待流出不少于 4 kg 或 4 L 后再取样。取样阀如图 1-1 所示。

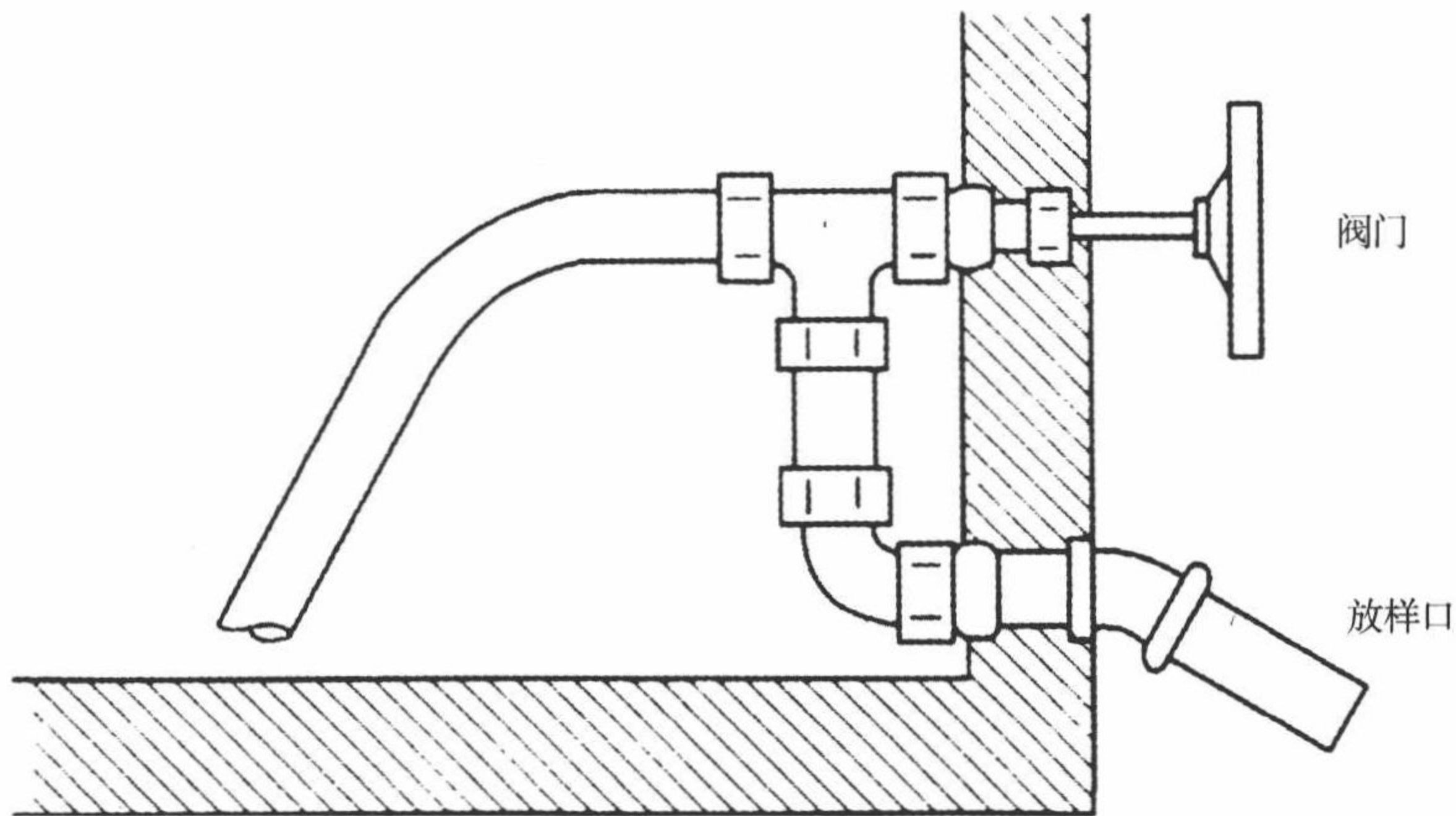


图 1-1-1 沥青取样阀

② 仅有放料阀时,待放出全部沥青的 1/2 时取样。

③ 从顶盖处取样时,可用取样器从中部取样。

3) 在装料或卸料过程中取样

在装料或卸料过程中取样时,要按时间间隔均匀地取至少 3 个规定数量的样品,然后将这些样品充分混合后取规定数量的样品作为试样,样品也可分别进行检验。

4) 从沥青储存池中取样

沥青储存池中的沥青应待加热熔化后,经管道或沥青泵流至沥青加热锅之后取样。分间隔每锅至少取 3 个样品,然后将这些样品充分混匀后再取 4.0 kg 作为试样,样品也分别进行检验。

5) 从沥青运输船中取样

沥青运输船到港后,应分别从每个沥青舱取样,每个舱从不同的部位取 3 个 4 kg 的样品,混合在一起,将这些样品充分混合后再从中取出 4 kg,作为这个舱的沥青样品供检验用。在卸油过程中取样时,应根据卸油量,大体均匀地分 3 次从卸油口或管道途中的取样口取样,然后混合作为一个样品供检验用。

6) 从沥青桶中取样

① 当能确认是同一批生产的产品时,可随机取样。当不能确认是同一批生产的产品时,应根据桶数按照表 1-1-1 规定或按总桶数的立方根数随机取样沥青桶数。

表 1-1-1 选取沥青样品桶数

沥青桶总数	选取桶数	沥青桶总数	选取桶数
2 ~ 8	2	217 ~ 343	7
9 ~ 27	3	344 ~ 512	8
28 ~ 64	4	513 ~ 729	9
65 ~ 125	5	730 ~ 1000	10
126 ~ 216	6	1001 ~ 1331	11

② 将沥青桶加热使桶中沥青全部熔化成流体后,按罐车取样方法取样。每个样品的数量,以充分混合后能满足供检验用样品的规定数量(不少于 4.0 kg)要求为限。

③ 当沥青桶不便加热熔化沥青时,可在桶高的中部将桶凿开取样,但样品应在距桶壁 5 cm 以上的内部凿取,并采取措施防止样品散落地面沾有尘土。

7) 固体沥青取样

从桶、袋、箱装或散装整块中取样时,应在表面以下及容器侧面以内至少 5 cm 处采取。如沥青能够打碎,可用一个干净的工具将沥青打碎后在中间部分取样;若沥青是软塑的,则用一个干净的热工具切割取样。

当能确认是同一批生产的样品时,应随机取出一件按规定取 4 kg 供检验用。

8) 在验收地点取样

当沥青到达验收地点卸货时,应尽快取样。所取样品为两份:一份样品用于验收试验;另一份样品留存备查。

2. 试样准备试验方法

(1) 将装有试样的盛样器带盖放入恒温烘箱中,当石油沥青试样中含有水分时,烘箱温度 80℃ 左右,加热至沥青全部熔化后供脱水用。当石油沥青中无水分时,烘箱温度宜为软化点温度以上 90℃,通常为 135℃ 左右。对取来的沥青试样不得直接采用电炉或燃气炉明火加热。

(2) 当石油沥青试样中含有水分时,将盛样器皿放在可控温的砂浴、油浴、电热套上加热脱水,不得已采用电炉、燃气炉加热脱水时必须加放石棉垫。加热时间不超过 30 min,并用玻璃棒轻轻搅拌,防止局部过热。在沥青温度不超过 100℃ 的条件下,仔细脱水至无泡沫为止,最后的加热温度不宜超过软化点以上 100℃ (石油沥青)或 50℃ (煤沥青)。

(3) 将盛样器中的沥青通过 0.6 mm 的滤筛过滤,不等冷却立即依次灌入各项试验的模具中。当温度下降太多时,宜适当加热再灌模。根据需要也可将试样分装入擦拭干净并干燥的一个或数个沥青盛样器皿中,数量应满足一批试验项目所需的沥青样品。

(4) 在沥青灌模过程中,如温度下降可放入烘箱中适当加热,试样冷却后反复加热的次数不得超过两次,以防沥青老化影响试验结果。为避免混进气泡,在沥青灌模时不得反复搅动沥青。

(5) 灌模剩余的沥青应立即清洗干净,不得重复使用。

3. 乳化沥青试样制备

(1) 将取有乳化沥青的盛样器适当晃动,使试样上下均匀。试样数量较少时,宜将盛样

器上下倒置数次,使上下均匀。

(2)将试样倒出要求数量,装入盛样器皿或烧杯中,供试验使用。

(3)当乳化沥青在实验室自行配制时,可按下列步骤进行:

①按上述方法准备热沥青试样。

②根据所需制备的沥青乳液质量及沥青、乳化剂、水的比例计算各种材料的数量。

a. 沥青用量按下式计算。

$$m_b = m_E \times p_b$$

式中: m_b ——所需的沥青质量(g);

m_E ——乳液总质量(g);

p_b ——乳液中沥青含量(%)。

b. 乳化剂用量按下式计算。

$$m_e = m_E \times p_E / p_e$$

式中: m_e ——乳化剂用量(g);

p_E ——乳液中乳化剂的含量(%) ;

p_e ——乳化剂浓度(乳化剂中有效成分含量,%)。

c. 水的用量按下式计算。

$$m_w = m_E - m_E \times p_b$$

式中: m_w ——配制乳液所需水的质量(g)。

③取所需质量的乳化剂放入 1000 mL 烧杯中。

④向盛有乳化剂的烧杯中加入所需的水(扣除乳化剂中所含水的质量)。

⑤将烧杯放到电炉上加热并不断搅拌,直到乳化剂完全溶解,当需调节 pH 时可加入适量的外加剂,将溶液加热到 40 ~ 60℃。

⑥在容器中称取准备好的沥青并加热到 120 ~ 150℃。

⑦开动乳化机,用热水先把乳化机预热几分钟,然后把热水排净。

⑧将预热的乳化剂倒入乳化机中,随机将预热的沥青徐徐倒入,待全部沥青乳液在机中循环 1 min 后放出,进行各项试验或密封保存。

注:在倒入乳化沥青过程中,需随时观察乳化情况。如出现异常,应立即停止倒入乳化沥青,并把乳化机中的沥青乳化剂混合液放出。

1.1.4 试验作业

(1)了解沥青的类型和来源,掌握沥青试样的制备和存放方式。

(2)掌握沥青取样的方法以及沥青试样准备的计算。

实验 1.2 石油沥青的针入度试验

1.2.1 概述

沥青的针入度是在规定的温度和时间内,在规定的荷载下,标准针垂直穿入试样的深度,以 $1/10\text{ mm}$ 为单位。非经注明,试验温度为 25°C ,荷载(包括标准针、针的连杆与附加砝码的质量)为 $100 \pm 0.01\text{ g}$,时间为 5 s 。

在特定试验时,可采用试验温度为 0°C 、 4°C 、 46.1°C ,对应时间为 60 s 、 60 s 、 5 s ,对应荷载为 200 g 、 200 g 、 50 g 的条件进行。

沥青针入度试验适用于测定道路石油沥青、液体石油沥青蒸馏或乳化沥青蒸发后残留物的针入度。

1.2.2 试验仪器

- 电脑沥青针入度仪。
- 恒温水浴:容量不小于 10 L ,能保持温度在试验温度的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 范围内,水中应备有一个带孔的支架,位于水面下不小于 100 mm ,距浴底不小于 50 mm 处。
- 金属皿或瓷柄皿:融化试样用。
- 溶剂:三氯乙烯等。
- 加热设备:电炉或砂浴、石棉网、金属锅等(延度、软化点试验同此)。

1.2.3 试验方法

(1)将预先除去水分的沥青试样放在砂浴或密闭电炉上小心加热,不断搅拌以防止局部过热,加热温度不得超过预估的软化点 100°C ,加热时间不得超过 30 min ,用孔径为 0.6 mm 的筛过滤除去杂质,加热搅拌过程中应避免试样中混入空气泡。

(2)将试样倒入预先选好的盛样皿中,试样深度应大于预计穿入深度 10 mm ,并遮盖试样皿,以防落入灰尘,使其在 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ 空气中冷却 $1.0\sim 1.5\text{ h}$ (小试样皿)或 $1.5\sim 2\text{ h}$ (大试样皿);然后将试样皿移入维持在规定试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴中,小试样皿恒温 $1\sim 1.5\text{ h}$,大试样皿恒温 $1.5\sim 2\text{ h}$,特殊盛样皿恒温 $2\sim 2.5\text{ h}$ 。

(3)调整针入度仪使之水平。检查针连杆与导轨,应无明显摩擦,用三氯乙烯清洗标准针并擦干。

(4)取出恒温后的试件,将试件移入平底玻璃皿中的三脚架上,平底玻璃皿中水温应保持在 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 范围内,试样表面以上的水层深度不小于10 mm。

(5)将平底玻璃皿置于针入度仪平台上,将标准针插入针连杆后用螺丝固紧,向顺时针方向转动调节拨杆,试样盘上升,使试样与标准针轻微接触。

(6)按“检测”键,针与连杆自动释放,液晶显示器显示“三三05”,同时开始倒计时,计时时间一到,则显示此时针入沥青深度值。

(7)若测量有效,按“确认”键给予确认,按键按下(不松开)显示有效的确认次数;也可以按“存储”键将数据保存,按键按下时(不松开)显示存储的记录次数。用手把砝码往上推到位后,便可进行新一轮试验。

(8)同一试样重复试验至少3次,各测定点之间及测定点与盛样皿边缘之间的距离不应小于10 mm。每次测定前应将平底玻璃皿放入恒温水浴中,换一根干净标准针或将标准针取下,用蘸有三氯乙烯溶剂的棉花或布揩净,再用干棉花或布擦干。测定针入度大于 200°C 的沥青试样时,至少用3支标准针,每次试验后将针留在试样中,直到3次平行试验完成后,才能将标准针取出。

(9)试验结束,先关电源,再将针与连杆往上推复位,不能先复位再关电源。

(10)同一试样做3次平行试验,结果的最大值和最小值之差应在允许的偏差范围内,计算3次试验结果的平均值,取至整数作为针入度试验结果,以0.1 mm为单位。

1.2.4 注意事项

(1)在试验中,针连杆下落后,需重新提起,只需将测杆轻轻上推到位,便可自动锁住。

(2)将平底保温皿或试样放置到仪器工作平台上时,需轻轻平放,应不与台面相互碰撞,更应避免其他金属等硬物与工作平台碰撞。

1.2.5 试验作业

(1)掌握沥青针入度的概念。

(2)掌握沥青针入度的试验方法。

(3)掌握沥青针入度一些参数的计算。

1.2.6 检测相关

针入度是指在规定温度和时间内,附加一定质量的标准针垂直贯入沥青试样的深度,以0.01 mm计。试样试验参考JTG E20-2011 T0604的方法:试验温度一般以 25°C 为准,同一试样至少做3次平行试验,在3个及3个以上不同温度条件下分别进行试验,同一试样3次平行试验结果的最大值与最小值之差在表1-2-1允许误差范围内时,计算3次试验结果的平均值,取整数作为针入度试验结果。

表 1-2-1 沥青针入度实验允许误差范围

针入度/0.1 mm	允许误差/0.1 mm
0 ~ 49	2
50 ~ 149	4
150 ~ 249	12
250 ~ 500	20

注：当试验值不符合此要求时，应重新进行试验

当试验结果小于 50(0.1 mm)时，再现性试验的允许误差为 4(0.1 mm)；当该试验结果大于 50(0.1 mm)时，再现性试验的允许误差为平均值的 8%。

基于国内外评定指标的不一致以及沥青种类的不同，对于沥青针入度的技术要求见表 1-2-2。

表 1-2-2 各种类型沥青针入度的技术要求

试验方法	T0604-2011	单位	0.1 mm	试验指标	针入度(25℃, 5 s, 100 g)					
沥青类型				道路石油沥青						
	等级	沥青标号								
		160 号	130 号	110 号	90 号	70 号	50 号	30 号		
		140 ~ 200	120 ~ 140	100 ~ 120	80 ~ 100	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40		
针入度 指数 PI	A	-1.5 ~ +1.0								
	B	-1.8 ~ +1.0								
沥青类型				道路乳化沥青						
品种及代号										
阳离子				阴离子				非离子		
喷洒用			拌和用	喷洒用			拌和用	喷洒用	拌和用	
PC-1	PC-2	PC-3	BC-1	PA-1	PA-2	PA-3	BA-1	PN-2	BN-1	
50 ~ 200	50 ~ 300	45 ~ 150		50 ~ 200	50 ~ 300	45 ~ 150		50 ~ 300	60 ~ 300	
沥青类型				道路用液体石油沥青						
快凝			中凝							
AL(R)-1	AL(R)-2	AL(M)-1	AL(M)-2	AL(M)-3	AL(M)-4	AL(M)-5	AL(M)-6			
60 ~ 200	60 ~ 200	100 ~ 300	100 ~ 300	100 ~ 300	100 ~ 300	100 ~ 300	100 ~ 300			
沥青类型				聚合物改性沥青						
SBS 类(Ⅰ类)				SBR 类(Ⅱ类)			EVA、PE 类(Ⅲ类)			
I-A	I-B	I-C	I-D	II-A	II-B	II-C	III-A	III-B	III-C	III-D
>100	80 ~ 100	60 ~ 80	30 ~ 60	>100	80 ~ 100	60 ~ 80	>80	60 ~ 80	40 ~ 60	30 ~ 40

续表 1-2-2

沥青类型					改性乳化沥青				
品种及代号									
PCR					BCR				
40 ~ 120					40 ~ 100				
沥青类型					欧洲(瑞典除外)CEN 沥青				
试验方法	针入度等级								
EN1426	20 ~ 30	30 ~ 40	35 ~ 50	40 ~ 60	50 ~ 70	70 ~ 100	100 ~ 150	160/220	250/300
沥青类型					特立尼达湖改性沥青				
针入度等级									
TMA - 30		TMA - 50			TMA - 70		TMA - 90		
20 ~ 40		40 ~ 60			60 ~ 80		80 ~ 100		

实验 1.3 沥青软化点试验

1.3.1 概述

目前测定沥青软化点的方法有“环与球法”和“水银法”两种，我国现行的方法为“环与球法”。

“环与球法”软化点是沥青试样在规定尺寸的铜环内，其上放置一规定尺寸和质量的钢球，试样在水(或甘油)中以 $5 \pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的加热速度加热，当试样受热后逐渐软化使钢球下沉达规定距离(25.4 mm)时的温度，以 $^\circ\text{C}$ 表示。

本方法适用于测定道路石油沥青、煤沥青、液体石油沥青或乳化沥青蒸发后残留物等材料的软化点。

1.3.2 试验仪器

- 电脑沥青软化点测定仪。
- 平直刮刀：切除多余沥青用。
- 装有温度调节器的电炉或其他加热炉具。
- 新煮沸过的蒸馏水。
- 甘油滑石粉隔离剂。
- 恒温水槽。

1.3.3 试验方法

(1)将试样环置于涂有隔离剂的金属板上，用与针入度试验相同的方法准备好沥青试样，将试样注入试样环内至略高出环面为止。(如预估软化点在 120°C 以上时，应将黄铜与金属板预热至 $80 \sim 100^\circ\text{C}$)。

(2)试样在 $15 \sim 30^\circ\text{C}$ 的空气中冷却 30 min 后，用热刀刮去高出环面上的试样，使与环面齐平。

(3)将盛有试样的试样环连同底板置于装有 $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 蒸馏水或 $32 \pm 1^\circ\text{C}$ 甘油的保温槽内。同时将金属支架、钢球、钢球定位环等置于相同水槽中，保温 15 min。

(4)烧杯内注入 $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的蒸馏水或 $32 \pm 1^\circ\text{C}$ 的甘油，水面或甘油面略低于连杆上的深度标记，并放入磁力搅拌转子。