

道路建筑材料

实验讲义

大连理工大学土木水利实验教学中心

道路工程实验室

2012年4月

目 录

实验教学大纲

1.学时、学分	2 页
2.实验教学目的	2 页
3.主要仪器设备	3 页
4. 实验课程内容与学时分配	4 页
5.考核方式	4 页
6. 使用教材、主要参考书	4 页
附 1 实验评分标准表	5 页
附 2 实验报告格式内容模板	6 页

实验指导书

(一) 沥青材料实验	
实验 1-1 沥青针入度试验	7 页
实验 1-2 沥青延度试验	10 页
实验 1-3 沥青软化点试验（环球法）	13 页
(二) 沥青混合料实验	
实验 2-1 粗、细集料的筛析试验	16 页
2.1.1 粗集料的筛析试验	16 页
2.1.2 细集料的筛析试验	19 页
2.1.3. 矿粉的筛分试验	22 页
实验 2-2 沥青混合料组成设计	23 页
2.2.1 沥青混合料试件的制备	24 页
2.2.2 沥青混合料物理指标测定	27 页
2.2.3 沥青混合料马歇尔稳定度试验	30 页
2.2.4 沥青混合料车辙试验	33 页

《道路建筑材料》课程实验教学大纲

课程名称：道路建筑材料

英文名称：Paving Building Materials

是否独立设课： 否

实验类别：专业基础类

实验课程性质： 必修

实验项目数： 4

必做实验项目数： 3

选做实验项目数： 1

开放实验项目数： 4

综合性、设计性实验数： 1

一、学时、学分

课程总学时： 32

实验学时： 12

课程总学分： 2.0

实验学分： 0.5

二、实验教学目的与基本要求

（一）水泥试验

1.通过水泥净浆标准稠度用水量、凝结时间、安定性、水泥胶砂试件强度试验，熟悉其实验和单项评定方法。

2.掌握水泥合格评定方法。

3.熟悉水泥的主要技术性质。

（二）混凝土综合性试验

1.通过学生自行设计和调整混凝土配合比、拌和物试验、强度实验，掌握混凝土配合比设计基本方法和混凝土基本性质、性能评价方法；

2.通过该综合设计型实验，提高学生综合分析问题的能力和判断能力。

（三）沥青三大指标实验

1. 通过沥青三大指标实验，熟知沥青的条件温度、条件粘度及沥青材料的感温性。

2. 掌握沥青三大指标的测定方法和沥青标号的划分。

3. 熟悉沥青材料的主要技术性质和技术标准。

(四) 沥青混合料马歇尔实验 (综合设计型)

1. 学生通过沥青混合料马歇尔实验, 掌握沥青混合料的试件制备方法; 掌握沥青混合料的物理常数、马歇尔稳定度、流值和残留稳定度的测定方法。

2. 通过该综合设计型实验, 掌握沥青混合料的组成设计 (包括矿质混合料级配设计和沥青混合料最佳油石比设计); 掌握道路建筑材料的技术性质及技术要求, 了解材料路用性能的评价指标和试验方法。

三、主要仪器设备

序号	实验设备名称	对应实验项目	数量	备注
1	沥青针入度试验仪	沥青三大指标试验	1	
2	调温调速沥青延度测定仪	沥青三大指标试验	1	
3	沥青软化点试验仪	沥青三大指标试验	1	
4	净浆搅拌机			
5	胶砂搅拌机			
6	水泥稠度测定仪			
7	压力实验机			
8	混凝土电通量测定仪			
9	氯离子扩散系数测定仪			
10	20 升全自动混合料拌和机	沥青混合料马歇尔试验	1	
11	马歇尔电动击实仪	沥青混合料马歇尔试验	1	
12	大功率电动脱膜机	沥青混合料马歇尔试验	1	
13	路面材料强度试验仪主机	沥青混合料马歇尔试验	1	

四、实验课程内容与学时分配

序号	实验项目名称	内容提要	学时分配	实验要求	实验类型	每组人数	面向专业编号	备注
1	水泥试验	标准稠度用水量、凝结时间、安定性、水泥胶砂试件强度	3	必做	验证型	4	1	
2	沥青三大指标试验	石油沥青的针入度、延度和软化点试验	6	必做	验证型	4	1	
3	混凝土综合试验	混凝土配合比设计、拌合物试验、强度实验	3	必做	设计型综合型	4	1	
4	沥青混合料马歇尔试验	筛析试验；沥青混合料的试件制备、物理指标试验、马歇尔稳定度试验	4	选做	设计型综合型	4	1	
5	车辙实验	测定沥青混合料试件的动稳定度	2	选做	设计型综合型	4	1	
6	混凝土抗氯离子渗透性试验方法及因素分析	高性能混凝土试件的电通量、氯离子渗透系数	2	选做	设计型综合型	4	1	

注：适用专业、年级：1、交通工程、二年级。

五、考核方式

1、实验报告：按照规定格式文本撰写。

2、考核方式：

(1) 实验课的考核方式：出勤情况、过程管理、撰写实验报告。

(2) 实验课考核成绩确定，实验课成绩占课程总成绩的比例等。按照出勤情况、过程管理、实验报告综合评定。实验课成绩占课程总成绩的比例为 20%-30%。

六、使用教材、主要参考书

1、使用教材：

(1) 王宝民 潘宝峰 钟阳. 道路建筑材料. 北京：中国建材工业出版社, 2009 年。

2、主要参考书：

(1) 李立寒 张南鹭. 道路建筑材料. 北京：人民交通出版社, 2004 年。

实验教学大纲制订者：王宝民 王抒红

审定者：陈静云 王立久

建设工程学部 土木水利实验教学中心 建材 实验室

道路 实验室

二零一二年四月

附 1 实验评分标准表

项目	分值	要求
实验预习	15	
1.1 预习报告撰写	10	对实验预习题目进行充分准备
1.2 问题的理解掌握	5	思考准备实验项目，积极回答实验过程中的问题
实验操作	35	
2.1 实验态度	5	认真，勤劳，不迟到早退
2.2 团队贡献度	10	积极参与、能进行良好的分工，协作，组织实施
2.3 实验操作	10	良好的实验动手和操作能力
2.4 创造性	10	能对实验结果或实验中出现的的问题进行分析，并有相应处理办法
实验报告	50	
3.1 报告撰写规范	5	实验报告格式规范，符合技术用语要求，符号统一，编号齐全，书写工整。说明书条理清楚，论述充分，文字通顺。
3.2 实验描述	10	各部分内容完整无缺。包括实验题目、目的、分析、方案方法、测量计算、步骤过程、及实验时间、组织分工等，撰写的每一部分注明主要完成人。
3.3 实验数据	10	实验原始数据汇总详实准确、分析处理过程清晰、实验结果描述完整准确，对实验结果有检验、或误差分析，对实验结果进行检验。
3.4 实验结论及分析	15	对实验结果进行深入的探讨和评价分析、提出结论性和改进性意见。归纳的结论科学严密；完成所有实验题目规定的内容
3.5 实验过程中遇到的问题及分析、对策	5	对实验过程中遇到的其他问题进行，分析总结
3.6 实验收获	5	包括针对实验过程中遇到的问题有分析、对策；汇报过程中对问题的解答，心得体会

附 2 实验报告格式内容模板

(报告正文)

实验题目名称(标题黑体三号加粗)

组长: XXXX (宋体小四)

组员: XXX ; XXX

(小标题黑体小四号加粗; 正文宋体小四, 行间距1.25倍; 图表标题宋体五号)

实验目的

该实验研究的任务目标

背景意义

阐述本实验项目研究的背景, 及其价值意义。

实验任务分解

针对实验题目进行详细分析, 通过任务分解, 将实验项目拆分成几个小的实验内容单元。

实验原理

说明本实验的实验研究方法, 技术路线等, 主要涵盖的内容包括:

- 1) 实验介绍及其工作原理、运行过程;
- 2) 分析该实验涉及的参量及其之间关系;
- 3) 需要的实验条件及实验工况设计, 即实验需要控制的参数;
- 4) 实验需要测量的参数;

实验步骤

详细的实验操作步骤

原始数据记录(数据整理及误差分析)

对实验原始数据进行汇总整理, 数据计算, 及测量误差分析

实验数据分析

通过实验数据结果, 对所进行的实验研究问题进行分析。

实验结论及展望

对实验研究结论进行归纳总结

收获与体会

含干扰因素讨论

实验 1-1 沥青针入度试验

一 实验目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、改性沥青针入度以及液体石油沥青蒸馏或乳化沥青蒸发后残留物的针入度。其标准试验条件为温度 25℃，荷重 100g，贯入时间 5s，以 0.1mm 计。用本方法评定聚合物改性沥青的改性效果时，仅适用于融混均匀的样品。

针入度指数 PI 用以描述沥青的温度敏感性，宜在 15℃、25℃、30℃等 3 个或 3 个以上温度条件下测定针入度后按规定的方法计算得到，若 30℃时的针入度值过大，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能。

二 实验设备(仪器)与材料

2.1 针入度仪:凡能保证针和针连杆在无明显摩擦下垂直运动，并能指示针贯入深度准确至 0.1mm 的仪器均可使用。针和针连杆组合件总质量为 $50\text{g} \pm 0.05\text{g}$ ，另附 $50\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 砝码一只，试验时总质量为 $100\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 。当采用其它试验条件时，应在试验结果中注明。仪器设有放置平底玻璃保温皿的平台，并有调节水平的装置，针连杆应与平台相垂直。仪器设有针连杆制动按钮，使针连杆可自由下落。针连杆易于装拆，以便检查其质量。仪器还设有可自由转动与调节距离的悬臂，其端部有一面小镜或聚光灯泡，借以观察针尖与试样表面接触情况。当为自动针入度仪时，各项要求与此项相同，温度采用温度传感器测定，针入度值采用位移计测定，并能自动显示或记录，且应对自动装置的准确性经常校验。为提高测试精密密度，不同温度的针入度试验宜采用自动针入度仪进行。

2.2 标准针由硬化回火的不锈钢制成，洛氏硬度 HRC54~60，表面粗糙度 $Ra0.2\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$ ，针及针杆总质量 $2.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$ ，针杆上应打印有号码标志，针应设有固定用装置盒(筒)，以免碰撞针尖，每根针必须附有计量部门的检验单，并定期进行检验。

2.3 盛样皿：金属制，圆柱形平底。小盛样皿的内径 55mm，深 35mm（适用于针入度小于 200）；大盛样皿内径 70mm，深 45mm(适用于针入度 200~350)；对针入度大于 350 的试样需使用特殊盛样皿，其深度不小于 60mm，试样体积不少于 125mL。

2.4 恒温水槽：容量不少于 1L，控温的准确度为 0.1℃。水槽中应设有一带孔的搁架，位于水面下不得少于 100mm，距水槽底不得少于 50mm 处。

2.5 平底玻璃皿：容量不少于 1L，深度不少于 80mm。内设有一不锈钢三脚支架，能使盛样皿稳定。

2.6 温度计：0℃~50℃，分度为 0.1℃。

2.7 秒表：分度 0.1s。

2.8 盛样皿盖：平板玻璃，直径不小于盛样皿开口尺寸。

2.9 溶剂：三氯乙烯等。

2.10 其它：电炉或砂浴、石棉网、金属锅或瓷把坩锅等。

三 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按规定的方法准备试样。

3.1.2 按试验要求将恒温水槽调节到要求的试验温度 25℃，或 15℃，30℃（5℃）…等，保持稳定。

3.1.3 将试样注入盛样皿中，试样高度应超过预计针入度值 10mm，并盖上盛样皿，以防落入灰尘。盛有试样的盛样皿在 15℃~30℃室温中冷却 1h~5h(小盛样皿)、1.5h~2h(大盛样皿)或 2h~2.5h(特殊盛样皿)后移入保持规定试验温度±0.1℃的恒温水槽 1h~1.5h(小盛样皿)、1.5h~2h(大试样皿)或 2h~2.5h(特殊盛样皿)。

3.1.4 调整针入度仪使之水平。检查针连杆和导轨，以确认无水和其它外来物，无明显摩擦。用三氯乙烯或其它溶剂清洗标准针，并拭干。将标准针插入针连杆，用螺丝固紧。按试验条件，加上附加祛码。

3.2 试验步骤

3.2.1 取出达到恒温的盛样皿，并移入水温控制在试验温度±0.1℃(可用恒温水槽中的水)的平底玻璃皿中的三角支架上，试样表面以上的水层深度不少于 10mm。

3.2.2 将盛有试样的平底玻璃皿置于针入度仪的平台上。慢慢放下针连杆，用适当位置的反光镜或灯光反射观察，使针尖恰好与试样表面接触。拉下刻度盘的拉杆，使与针连杆顶端轻轻接触，调节刻度盘或深度指示器的指针指示为零。

3.2.3 开动秒表，在指针正指 5s 的瞬间，用手紧压按钮，使标准针自动下落贯入试样，经规定时间，停压按钮使针停止移动。

注:当采用自动针入度仪时，计时与标准针落下贯入试样同时开始，至 5s 时自动停止。

3.2.4 拉下刻度盘拉杆与针连杆顶端接触，读取刻度盘指针或位移指示器的读数，准确至 0.5 (0.1mm)。

3.2.5 同一试样平行试验至少 3 次，各测试点之间及与盛样皿边缘的距离不应少于 10mm。每次试验后应将盛有盛样皿的平底玻璃皿放入恒温水槽，使平底玻璃皿中水温保持试验温度。每次试验应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。

3.2.6 测定针入度大于 200 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，直至 3 次平行试验完成后，才能将标准针取出。

3.2.7 测定针入度指数 PI 时，按同样的方法在 15℃、25℃、30℃(或 5℃)3 个或 3 个以上(必要时增加 10℃, 20℃等)温度条件下分别测定沥青的针入度。

四 结果整理

同一试样 3 次平行试验结果的最大值和最小值之差在下列允许偏差范围内时，计算 3 次试验结果的平均值，取整数作为针入度试验结果，以 0.1mm 为单位。

针入度	允许差值
0~49	2
50~149	4
150~249	12
250~500	20

当试验值不符合此要求时，应重新进行。

1. 当试验结果小于 50 (0.1mm) 时，重复性试验的允许差为 2 (0.1mm)，复现性试验的

允许差为 4 (0.1mm)。

2. 当试验结果等于或大于 50 (0.1mm) 时, 重复性试验的允许差为平均值的 4%, 复现性试验的允许差为平均值的 8%。

五 试验记录

沥青针入度试验记录表

试样编号				试样名称			
试验次数	试验温度 (°C)	试验时间 (s)	试验荷载 (N)	指针读数			平均针入度 P _{en} (0.1mm)
				标准针穿 入前	标准针穿 入后	针入度	
1							
2							
3							
准确度 校核							

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理, 数据计算, 及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果, 对所进行的实验研究问题进行分析。

七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

实验 1-2 沥青延度试验

一 实验目的与适用范围

1. 本方法适用于测定道路石油沥青、液体沥青蒸馏残留物和乳化沥青蒸发残留物等材料的延度。

2. 沥青延度的试验温度与拉伸速率可根据要求采用，通常采用的试验温度 25℃、15℃、10℃或 5℃，拉伸速度为 5cm/min±0.25cm/min。当低温采用 1cm/min±0.05cm/min 拉伸速度时，应在报告中注明。

二 实验设备(仪器)与材料

1. 延度仪:将试件浸没于水中,能保持规定的试验温度及按照规定拉伸速度拉伸试件且试验时无明显振动的延度仪均可使用,其形状及组成如图 1。

2. 试模:黄铜制,由两个端模和两个侧模组成,其形状及尺寸如图 2。试模内侧表面粗糙度 Ra0.2μm,当装配完好后可浇铸成表 1 尺寸的试样。

3. 试模底板:玻璃板或磨光的铜板、不锈钢板(表面粗糙度 Ra0.2μm)。

4. 恒温水槽:容量不少于 10L.,控制温度的准确度为 0.1℃,水槽中应设有带孔搁架,搁架距水槽底不得少于 50mm。试件浸入水中深度不小于 100mm。

5. 温度计:0℃~50℃,分度为 0.1℃。

6. 砂浴或其它加热炉具。

7. 甘油滑石粉隔离剂(甘油与滑石粉的质量比 2:1)。

8. 其它:平刮刀、石棉网、酒精、食盐等。

三 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1. 将隔离剂拌和均匀,涂于清洁干燥的试模底板和两个侧模的内侧表面,并将试模在试模底板上装妥。

3.1.2. 按规定的试验方法准备试样,然后将试样仔细自试模的一端至另一端往返数次缓缓注入模中,最后略高出试模,灌模时应注意勿使气泡混入。

3.1.3. 试件在室温中冷却 30~40min,然后置于规定试验温度±0.1℃的恒温水槽中,保持 30 min 后取出,用热刮刀刮除高出试模的沥青,使沥青面与试模面齐平。沥青的刮法应自试模的中间刮向两端,且表面应刮得平滑。将试模连同底板再浸入规定试验温度的水槽中 1~1.5h。

3.1.4. 检查延度仪延伸速度是否符合规定要求,然后移动滑板使其指针正对标尺的零点。将延度仪注水。并保温达试验温度±0.5℃。

3.2 试验步骤

3.2.1. 将保温后的试件连同底板移入延度仪的水槽中,然后将盛有试样的试模自玻璃板或不锈钢板上取下,将试模两端的孔分别套在滑板及槽端固定板的金属柱上,并取下侧模。水面距试件表面应不小于 25mm。

3.2.2. 开动延度仪,并注意观察试样的延伸情况。此时应注意,在试验过程中,水温应始终保持在试验温度规定范围内,且仪器不得有振动,水面不得有晃动,当水槽采用循环水

时，应暂时中断循环，停止水流。

在试验中，如发现沥青细丝浮于水面或沉入槽底时，则应在水中加入酒精或食盐，调整水的密度至与试样相近后，重新试验。

3.3.3. 试件拉断时、读取指针所指标尺上的读数，以厘米表示，在正常情况下，试件延伸时应成锥尖状，拉断时实际断面接近于零。如不能得到这种结果，则应在报告中注明。

四 结果整理

同一试样，每次平行试验不少于 3 个，如 3 个测定结果均大于 100cm，试验结果记作“>100cm”；特殊需要也可分别记录实测值。如 3 个测定结果中，有一个以上的测定值小于 100cm 时，若最大值或最小值与平均值之差满足重复性试验精密度要求，则取 3 个测定结果的平均值的整数作为延度试验结果，若平均值大于 100cm，记作“>100cm”；若最大值或最小值与平均值之差不符合重复性试验精密度要求时，试验应重新进行。

当试验结果小于 100cm 时，重复性试验的允许差为平均值的 20%，复现性试验的允许差为平均值的 30%。

五 试验记录

沥青延度试验记录表

试样编号			试样名称		
试验温度 T ₀ (°C)	延伸速度 v (m/min)	延度 D (cm)			
		试件 1	试件 2	试件 3	平均值
准确度校核					

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

实验 1-3 沥青软化点试验（环球法）

一 实验目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、煤沥青的软化点，也适用于测定液体石油沥青经蒸馏或乳化沥青破乳蒸发后残留物的软化点。

二 实验设备(仪器)与材料

1. 软化点试验仪:如图 1, 由下列部件组成:

(1) 钢球: 直径 9.53mm, 质量 $3.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 。

(2) 试样环: 黄铜或不锈钢等制成, 形状尺寸如图 20

(3) 钢球定位环: 黄铜或不锈钢制成, 形状尺寸如图 30

(4) 金属支架:由两个主杆和三层平行的金属板组成。上层为一圆盘, 直径略大于烧杯直径, 中间有一圆孔, 用以插放温度计。中层板形状尺寸如图 4, 板上有两个孔, 各放置金属环, 中间有一小孔可支持温度计的测温端部。一侧立杆即环上面 51mm 处刻有水高标记。环下面距下层底板为 25.4mm, 而下底板距烧杯底不少于 12.7mm 也不得大于 19 mm。三层金属板和两个主杆由两螺母固定在一起。

(5) 耐热玻璃烧杯: 容量 800mL~1000mL, 直径不小于 86mm, 高不小于 120mm。

(6) 温度计: $0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$, 分度为 0.5°C 。

2. 环夹:由薄钢条制成, 用以夹持金属环, 以便刮平表面, 形状、尺寸如图 5

3. 装有温度调节器的电炉或其它加热炉一具(液化石油气、天然气等)。应采用带有振荡搅拌器的加热电炉, 振荡子置于烧杯底部。

4. 试样底板: 金属板(表面粗糙度应达 $Ra0.2\mu\text{m}$)或玻璃板。

5. 恒温水槽:控温的准确度为 0.5°C 。

6. 平直刮刀。

7. 甘油滑石粉隔离剂(甘油与滑石粉的比例为质量比 2:1)。

8. 新煮沸过的蒸馏水。

9. 其它:石棉网。

三 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1. 将试样环置于涂有甘油滑石粉隔离剂的试样底板上。按规定方法将准备好的沥青试样徐徐注入试样环内至略高出环面为止。

如估计试样软化点高于 120°C , 则试样环和试样底板(不用玻璃板)均应预热至 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2. 试样在室温冷却 30min 后, 用环夹夹着试样杯, 并用热刮刀刮除环面上的试样, 务使与环面齐平。

3.2 试验步骤

3.2.1. 试样软化点在 80°C 以下者:

(1) 将装有试样的试样环连同试样底板置于 $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 水的恒温水槽中至少 15min；同时将金属支架、钢球、钢球定位环等亦置于相同水槽中。

(2) 烧杯内注入新煮沸并冷却至 5°C 的蒸馏水，水面略低于立杆上的深度标记。

(3) 从恒温水槽中取出盛有试样的试样环放置在支架中层板的圆孔中，套上定位环；然后将整个环架放入烧杯中，调整水面至深度标记，并保持水温为 $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。环架上任何部分不得附有气泡。将 $0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 的温度计由上层板中心孔垂直插入，使端部测温头底部与试样环下面齐平。

(4) 将盛有水和环架的烧杯移至放有石棉网的加热炉具上，然后将钢球放在定位环中间的试样中央，立即开动振荡搅拌器，使水微微振荡，并开始加热，使杯中水温在 3min 内调节至维持每分钟上升 $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。在加热过程中，应记录每分钟上升的温度值，如温度上升速度超出此范围时，则试验应重作。

(5) 试样受热软化逐渐下坠，至与下层底板表面接触时，立即读取温度，准确至 5°C 。

3.2.2. 试样软化点在 80°C 以上者：

(1) 将装有试样的试样环连同试样底板置于装有 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 甘油的恒温槽中至少 15min；同时将金属支架、钢球、钢球定位环等亦置于甘油中。

(2) 在烧杯内注入预先加热至 32°C 的甘油，其液面略低于立杆上的深度标记。

(3) 从恒温槽中取出装有试样的试样环，按上述方法进行测定，准确至 1°C 。

四 结果整理

同一试样平行试验两次，当两次测定值的差值符合重复性试验精密度要求时，取其平均值作为软化点试验结果，准确至 0.5°C 。

1. 当试样软化点小于 80°C 时，重复性试验的允许差为 1°C ，复现性试验的允许差为 4°C 。

2. 当试样软化点等于或大于 80°C 时，重复性试验的允许差为 2°C ，复现性试验的允许差为 8°C 。

五 试验记录

起始温度 ($^{\circ}\text{C}$)	加热介质	升温速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	软化点 ($^{\circ}\text{C}$)

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

试验记录 (另一方法)

沥青软化点试验记录表

试样编号		试样名称																			
试验次数	室内温度 ℃	烧杯内液体种类	开始加热时间 s	开始加热液体温度 ℃	烧杯中液体在下列各分钟末温度上升记录 (℃)											试样下垂与下底层板接触时的温度 ℃	软化点 ℃				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12	13	14	15
					1																
2																					
准确度校核																					

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理, 数据计算, 及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果, 对所进行的实验研究问题进行分析

七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

实验 2-1 粗、细集料的筛析试验

2.1.1 粗集料的筛析试验

(一) 实验目的

测定碎石或卵石的颗粒级配粗细程度,并为沥青混合料组成设计提供必要的原始数据具

(二) 实验设备(仪器)

- (1) 试验筛: 根据需要选用规定的标准筛。
- (2) 天平或台秤: 感量不大于试样质量的 0.1%。
- (3) 其它: 盘子、铲子、毛刷等。

(三) 试验方法

将来料用四分法缩分至表 3-5 要求的试样所需量,风干后备用。每种试样准备两份,分别供水洗法和干筛法筛分使用。对于水泥混凝土用粗集料,如果没有要求,也可不进行水洗,只进行干筛筛分。根据需要可按要求的最大粒径的筛孔尺寸过筛,除去超粒径部分颗粒后,再进行筛分。

1.用水洗法测定集料中小于 0.075mm 的细粉部分质量。

- (1) 取一份试样,将试样置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 (m_1),准确至 0.1%。
- (2) 将试样置一洁净容器中,加入足够数量的洁净水,将集料全部盖没。

粗集料筛分析试验所需试样的最少质量

公称最大粒径 (mm)	方孔筛	75	63	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75
	圆孔筛	80	63	40	31.5	25	20	16	10	5
试样质量不少于 (kg)		10	8	5	4	2.5	2	1	1	0.5

- (3) 用搅棒充分搅动集料,使集料表面洗涤干净,使细粉悬浮于水中,但不得破碎集料或有集料从水中溅出。
- (4) 根据集料粒径大小选择组成一组套筛,其底部为 0.075mm 标准套筛,上部为 2.36mm 或 4.75mm 筛。仔细将容器中混有细粉的悬浮液倒出,经过套筛流入另一容器中,尽量不致将粗集料倒出,损坏标准筛筛面。
- (5) 重复以上步骤,直至倒出的水洁净为止。
- (6) 将套筛的每个筛子上的集料和容器中的集料全部回收在一个搪瓷盘中,容器上不得有沾附的集料颗粒,将搪瓷盘连同集料一起置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 (m_2),准确至 0.1%。

2.用干筛法测定粗集料各个粒级质量百分率。

- (1) 取另一份试样置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 (m_0),准确至 0.1%。
- (2) 用搪瓷盘作筛分容器,按筛孔大小排列顺序逐个将集料过筛,人工筛分时,需使集料

在筛面上同时有水平方向及上下方向的不停顿运动,使小于筛孔的集料通过筛孔,直至 1min 内通过筛孔的质量小于筛上残余量的 1% 为止。采用摇筛机筛分后,应该逐个由人工补筛。将筛出通过的颗粒并入下一号筛,和下一号筛中的试样一起过筛,顺序进行,直至各号筛全部筛完为止。以确认 1min 内通过筛孔的质量确实小于筛上残余量的 1% 为止。

(3) 如果某个筛上的集料过多,影响筛分作业时,可以分两次筛分。当筛余颗粒的粒径大于 20mm 时,筛分过程中允许用手指轻轻拨动颗粒,但不得逐颗塞过筛孔。

(4) 称取每个筛上的筛余量,准确至总质量的 0.1%。各筛分计筛余质量及筛底存量的总和与筛分前试样的总质量相比,其相差不超过 0.5%。

(四) 结果整理

(1) 集料中通过 0.075mm 的含量按式 4-1 计算,准确至 0.1%。

$$P_{0.075} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (4-1)$$

式中: $P_{0.075}$ ——集料中小于 0.075mm 的含量(通过率), %;

m_1 ——用于水洗的干燥集料的总质量, g;

m_2 ——集料水洗后的干燥质量, g。

(2) 分计筛余百分率

各号筛上的分计筛余百分率按式 4-2 计算,但 0.075mm 筛不计算分计筛余,准确至 0.1%。

$$P_i = \frac{m_i}{m_0} \times \frac{100 - P_{0.075}}{100} \quad (4-2)$$

式中: P_i ——各号筛上的分计筛余百分率, %;

m_0 ——用于干筛的干燥集料总质量, g;

m_i ——各号筛上的分计筛余, g;

i ——依次为 0.15mm、0.3mm、0.6mm……至集料最大粒径。

(3) 累计筛余百分率

各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的各号筛的分计筛余百分率之和,但 0.075mm 筛不计算累计筛余,准确至 0.1%。

(4) 各号筛的质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛累计筛余百分率,但 0.075mm 筛的质量通过百分率即为,准确至 0.1%。

(5) 根据需要,绘制集料筛分曲线。

(五) 试验记录

粗集料筛分试验记录表

筛孔尺寸 (mm)	各筛筛余质 量 (g)	分级筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过质量 (%)	规程	备注

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

(六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

(七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

2.1.2 细集料的筛析试验

(一) 实验目的

测定细集料（天然砂，人工砂，石屑）的颗粒级配及粗细程度，并为沥青混合料组成设计提供必要的的数据。

(二) 实验设备(仪器)

- 1.标准筛：对水泥混凝土用砂孔径为 10mm、5mm、2.5mm 的圆孔筛和孔径 1.25mm、0.63mm、0.315mm、0.16mm 的方孔筛；对沥青路面用砂孔径为 4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 的方孔筛。
- 2.天平：称量 1000g，感量不大于 0.5g。
- 3.摇筛机。
- 4.烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.其它：浅盘和硬、软毛刷等。

(三) 试验方法

将来样通过 10mm（圆孔筛）和 9.5mm（方孔筛）筛，并算出其筛余百分率。然后在潮湿状态下充分拌匀，用四分法缩分至每份不少于 550g 的试样两份，在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，冷却至室温后备用。

1.水泥混凝土用砂，按下列步骤筛分。

(1) 准确称取烘干试样约 550g (m_1)，准确至 0.5g。置于套筛的最上一只筛，即 5mm 筛上，将套筛装入摇筛机，摇筛约 10min，然后取出套筛，在按筛孔大小顺序，从最大的筛号开始，在清洁的浅盘上逐个进行手筛，直到每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 1% 为止，将筛出通过的颗粒并入下一号筛，和下一号筛中的试样一起过筛，这样顺序进行，直到各号筛全部筛完为止。

(2) 称量各筛筛余试样的质量，精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总量与筛分前的试样总量相比，其相差不超过 1%。

2.沥青路面用细集料，按下列步骤筛分。

(1) 准确称取烘干试样约 500g (m_1)，准确至 0.5g。

(2) 将试样置一洁净容器中，加入足够数量的洁净水，将集料全部盖没。

(3) 用搅棒充分搅动集料，使集料表面洗涤干净，使细粉悬浮于水中，但不得有集料从水中溅出。

(4) 用 1.18mm 筛和 0.075mm 筛组成套筛。仔细将容器中混有细粉的悬浮液徐徐倒出，经过套筛流入另一容器中，但不得将集料倒出。

(5) 重复以上步骤，直至倒出的水洁净为止。

(6) 将容器中的集料倒入搪瓷盘中，用少量水冲洗，使容器上粘附的集料颗粒全部进入搪瓷盘中。将筛子反扣过来，用少量水将筛上的集料冲洗入搪瓷盘中。操作过程中不得有集料散失。

(7) 将搪瓷盘连同集料一起置于 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重，称取干燥试样的总质量

(m_2), 准确至 0.1%。与 之差即为通过 0.075mm 部分。

(8) 将全部要求筛孔组成套筛 (但不需 0.075mm 筛), 将已经洗去小于 0.075mm 部分的干燥集料置于套筛上 (一般为 4.75mm 筛), 将套筛装入摇筛机, 摇筛约十分钟, 然后去出套筛, 再按筛孔大小顺序, 从最大的筛号开始, 在清洁的浅盘上逐个进行手筛, 直到每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 1% 为止, 将筛出通过的颗粒并入下一号筛, 和下一号筛中的试样一起过筛, 这样顺序进行, 直到各号筛全部筛完为止。

(9) 称量各筛筛余试样的质量, 精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总质量与筛分前的试样总量 相比, 其相差不得超过 1%。

(四) 结果整理

(1) 分计筛余百分率

各号筛的分计筛余百分率为各号筛上的筛余量除以试样总量 (m_1) 的百分率, 准确至 0.1%。对沥青路面细集料而言, 0.15mm 筛下部分即为 0.075mm 分计筛余, 由 (7) 所测得的 与 之差即为小于 0.075mm 的筛底部分。

(2) 累计筛余百分率

各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的各号筛的分计筛余百分率之和, 准确至 0.1%。

(3) 质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛累计筛余百分率, 准确至 0.1%。

(4) 根据各筛的累计筛余百分率或通过百分率, 绘制级配曲线。

(5) 对水泥混凝土用砂, 按式 (4-3) 计算细度模数, 准确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.16}) - 5A_5}{100 - 5A_5} \quad (4-3)$$

式中: M_x ——砂的细度模数;

$A_{0.16}, A_{0.315}, \dots, 5A_5$ ——分别为 0.16mm、0.315mm、……、5mm 各筛上的累计筛余百分率。(%)

(6) 对沥青路面及各种路面的基层、底基层用砂, 按式 (4-4) 计算细度模数, 准确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} \quad (4-4)$$

式中: M_x ——砂的细度模数;

$A_{0.15}, A_{0.3}, \dots, A_{4.75}$ ——分别为 0.15mm、0.3mm、……、4.75mm 各筛上的累计筛余百分率。(%)

(7) 筛分试验应进行两次平行试验, 以其试验结果的算术平均值作为测定值。如两次试验所得的细度模数之差大于 0.20 时, 应重新进行试验。

(五) 试验记录

细集料筛分试验记录表

试样质量 (g)	筛孔尺寸 (mm)	各筛筛余质量 (g)			分级筛余 a_i (%)	累计筛余 A_i (%)	通过质量百 分率 P_i (%)
		(3)	(4)	(5) 平均	(6)=(5)/(1)	(7)	(8)

细度模数 $M_x =$ _____

试验者 _____ 计算者 _____ 校核者 _____ 试验日期 _____

(六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

(七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

2.1.3. 矿粉的筛分试验

(一) 实验目的

测定矿粉的颗粒级配，并为沥青混合料组成设计提供必要的数据库。

(二) 实验设备(仪器)

1. 标准筛：孔径为 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm。
2. 天平：感量不大于 0.1g。
3. 搪瓷盘。
4. 烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
5. 橡皮头研杵。

(三) 试验方法

1. 将矿分试样放入 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，冷却，称取 100g，准确至 0.1g。如有矿粉团粒存在，可用橡皮头研杵轻轻研磨粉碎。

2. 将 0.075mm 筛装在筛底上，仔细倒入矿粉，盖上筛盖。手工轻轻筛分，至大体上筛不下去为止。存留在筛底上的小于 0.075mm 的部分可弃去。

3. 除去筛盖和筛底，按筛孔大小顺序套成套筛。将存留在 0.075mm 筛上的矿粉倒回 0.6mm 筛上，在自来水龙头下方接一胶管，打开自来水，用胶管的水轻轻冲洗矿粉过筛，0.075mm 筛下部分任其流失，直至流出的水色清澈为止。水洗过程中，可以适当用手扰动试样，加速矿粉过筛，待上层冲洗干净后，取去 0.6mm 筛，接着从 0.3mm 筛或 0.15mm 筛上冲洗，但不得直接冲洗 0.075mm 筛。

4. 分别将各筛上的筛余反过来用小水流仔细冲洗入各个搪瓷盘中，待筛余沉淀后，稍稍倾斜，仔细除去清水，放入 105°C 烘箱中烘干至恒重。称取各号筛上的筛余量，准确至 0.1%。

(四) 结果整理

各号筛上的筛余量除以试样总量的百分率，即为各号筛的分计筛余百分率，准确至 0.1%。用 100 减去 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 各筛的分计筛余百分率，即为通过 0.075mm 筛的通过百分率，加上 0.075mm 的分计筛余百分率即为 0.15mm 筛的通过百分率，以次类推，计算出各号筛的通过百分率，准确至 0.1%。

以两次平行试验结果的平均值作为试验结果。各号筛的通过百分率相差不得大于 2%。

实验 2-2 沥青混合料组成设计

[题目] 试设计一级公路沥青路面面层用细粒式沥青混凝土混合料配合组成。

[原始资料]

1. 道路等级：一级公路。
2. 路面类型：沥青混凝土。
3. 结构层位：两层式沥青混凝土的上面层。
4. 气候条件：最低月平均气温为 -12°C 。
5. 材料性能：
 - (1) 沥青材料：可供应重交通沥青，AH-90、AH-110 经检验三大指标分别为针入度（实测），延度（实测），软化点（实测）。其它指标符合技术要求。
 - (2) 粗集料：石灰石轧制碎石，饱水抗压强度（实测），洛杉矶磨耗率（实测），粘附性视密度 $2.70\text{g} / \text{m}^3$ 。
 - (3) 细集料：洁净河砂，粗度属中砂，含泥量小于 1%，视密度 $2.65\text{g} / \text{m}^3$ 。
 - (4) 矿粉：石灰石粉，粒度范围符合要求，无团粒结块，视密度 $2.58\text{g} / \text{m}^3$ 。

[设计要求]

1. 根据道路等级，路面类型和结构层次确定沥青混凝土的类型和矿质混合料的级配范围。根据现有各种矿质材料的筛析结果，用图解法确定各种矿质材料的配合比。
2. 根据规范推荐的相应沥青混凝土类型的沥青用量范围，通过马歇尔试验的物理力学指标，确定沥青最佳用量。
3. 马歇尔试验结果
4. 根据一级公路路面用沥青混合料要求，对矿质混合料的级配进行调整，并对沥青最佳用量按水稳性检验和抗车辙能力校核。

2.2.1 沥青混合料试件的制备

(一) 实验目的

本方法规定了用标准击实法或大型击实法制作沥青混合料试样的方法,以供试验室进行沥青混合料物理力学性质试验使用。根据沥青混合料的力学指标(稳定性和流值)以及物理指标和饱和度,可以确定沥青混合料的配合组成(即沥青最佳用量)。

(二) 实验设备(仪器)

1. 击实仪:由击实锤、 $\phi 98.5\text{mm}$ 平圆形压实头及带手柄的导向棒组成。用人工或机械将压实锤举起从 $453.2\text{mm}\pm 1.5\text{mm}$ 高度沿导向棒自由落下击实,标准击实锤重量 $4536\text{g}\pm 9\text{g}$ 。

大型击实仪:由击实锤、 $\phi 149.5\text{mm}$ 平圆形压实头及带手柄的导向棒(直径 15.9mm)组成。用机械将压实锤举起从 $453.2\text{mm}\pm 2.5\text{mm}$ 高度沿导向棒自由落下击实,大型击实锤重量 $10210\text{g}\pm 10\text{g}$ 。

2. 标准击实台:用以固定试模,在 $200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 457\text{mm}$ 的硬木墩上面有一块 $305\text{mm}\times 305\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的钢板,木墩用 4 根型钢固定在下面的水泥混凝土板上。木墩采用青冈杆、松或其它干密度为 $0.67\sim 0.77\text{g}/\text{cm}^3$ 的硬木制成。人工击实或机械击实必须有此标准击实台。

自动击实仪是将标准击实锤及标准击实台安装一体,并用电力驱动使击实锤连续击实试件且可自动记数的设备,击实速度为 $60\text{次}/\text{min}\pm 5\text{次}/\text{min}$ 。大型击实法电动击实的功率不小于 250W 。

3. 试验室用沥青混合料拌和机:能保证拌和温度并充分拌和均匀,可控制拌和时间,容量不少于 10L ,搅拌叶自转速度 $70\text{r}/\text{min}\sim 80\text{r}/\text{min}$,公转速度 $40\text{r}/\text{min}\sim 50\text{r}/\text{min}$ 。

4. 脱模器:电动或手动,可无破损地推出圆柱体试件,备有标准圆柱体试件及大型圆柱体试件尺寸的推出环。

5. 试模:由高碳钢或工具钢制成,每组包括内径 $101.6\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$,高约 87mm 的圆柱形金属筒、底座(直径约 120.6mm)和套筒(内径 101.6mm ,高约 70mm)各 1 个。大型圆柱体试件的试模与套筒。套筒外径 165.1mm ,内径 $155.6\text{mm}\pm 0.3\text{mm}$,总高 83mm 。试模内径 $152.4\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$,总高 115mm ,底座板厚 12.7mm ,直径 172mm 。

6. 烘箱:大、中型各一台,装有温度调节器。

7. 天平或电子秤:用于称量矿料的感量不大于 0.5g ;用于称量沥青的感量不大于 0.1g 。

8. 沥青运动粘度测定设备:毛细管粘度计或赛波特重油粘度计。

9. 插刀或大螺丝刀。

10. 温度计:分度为 1°C ,量程 $0\sim 300^\circ\text{C}$ 。

11. 其它:电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、试验筛、滤纸(或普通纸)、胶布、卡尺、秒表、粉笔、棉纱等。

(三) 试验方法

1. 准备工作

(1) 确定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。

1) 用毛细管粘度计测定沥青的粘度,绘制粘温曲线,当使用石油沥青时,以运动粘度为 $170\pm 20\text{mm}^2/\text{s}$ 时的温度为拌和温度;以 $280\pm 30\text{mm}^2/\text{s}$ 时的温度为压实温度。亦可用赛氏粘度计测定赛波特粘度,以 $85\text{s}\pm 10\text{s}$ 时的温度为拌和温度;以 $140\text{s}\pm 15\text{s}$ 时的温度为压实温度。

2) 当缺乏运动粘度测定条件时, 试件的拌和与压实温度可按表 6-1 选用, 并根据沥青品种和标号作适当调整。针入度小, 稠度大的沥青取高限; 针入度大, 稠度小的沥青取低限, 一般取中值。

试件的拌和与压实温度

沥青种类	拌合温度 (°C)	压实温度 (°C)	沥青种类	拌合温度 (°C)	压实温度 (°C)
石油沥青	130~160	110~130	煤沥青	90~120	80~110

3) 常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

(2) 将各种规格的矿料置 105°C±5°C 的烘箱中烘干至恒重 (一般不少于 4~6h)。根据需要, 粗集料可先用水冲洗干净后烘干。也可将粗细集料过筛后, 用水冲洗再烘干备用。

(3) 按规定试验方法分别测定不同粒径粗、细集料规格及填料 (矿粉) 的各种密度, 并测定沥青的密度。

(4) 将烘干分级的粗细集料, 按每个试件设计级配要求称其质量, 在一金属盘中混合均匀, 矿粉单独加热, 置烘箱中预热至沥青拌和温度以上约 15°C (石油沥青通常为 163°C) 备用。一般按一组试件 (每组 4~6 个) 备料, 但进行配合比设计时宜对每个试件分别备料。当采用替代法时, 对粗集料中粒径大于 26.5mm 的部分, 以 13.2mm~26.5mm 粗集料等量代替。常温沥青混料的矿料不应加热。

(5) 将沥青试样, 用电热套或恒温烘箱熔化加热至规定的沥青混合料拌和温度备用, 但不得超过 175°C。当不得已采用燃气炉或电炉直接加热进行脱水时, 必须使用石棉垫隔开。

(6) 用沾有少许黄油的棉纱擦净试模、套筒及击实座等置 100°C 左右烘箱中加热 1h 备用。常温沥青混合料的试模不加热。

2. 混合料拌制

(1) 将沥青混合料拌和机预热至拌和温度以上 10°C 备用。

(2) 将每个试件预热的粗细集料置于拌和机中, 用小铲适当混合, 然后再加入需要数量的已加热至拌和温度的沥青, 开动拌和机一边搅拌, 一边将拌和叶片插入混合料中拌和 1min~1.5min, 然后暂停拌和, 加入单独加热的矿粉, 继续拌和至均匀为止, 并使沥青混合料保持在要求的拌和温度范围内, 标准的总拌和时间 3min。

3. 试件成型

(1) 将拌好的沥青混和料, 均匀称取一个试件所需的用量 (标准试件约 1200g, 大型试件约 4050g)。当一次拌和几个试件时, 宜将其倒入经预热的金属盘中, 用小铲拌和均匀分成几份, 分别取用。试件制作过程中, 为防止混合料温度下降, 应连盘放入烘箱中保温。

(2) 从烘箱中取出预热的试模及套筒, 用沾有少许黄油的棉纱擦试套筒、底座及击实锤底面, 将试模装在底座上 (也可垫一张圆形的吸油性小的纸), 按四分法从四个方向用小铲将混合料铲入试模中, 用插刀沿周边插捣 15 次, 中间 10 次。插捣后将沥青混合料表面整平成凸圆弧面。对大型马歇尔试件, 混合料分两次加入, 每次插捣次数同上。

(3) 插入温度计, 至混合料中心附近, 检查混合料温度。

(4) 待混合料温度符合要求的压实温度后, 将试模连同底座一起放在击实台上固定 (也可在装好的混合料上垫一张吸油性小的圆纸), 再将装有击实锤及导向棒的压实头插入试模中, 然后开启电动机 (或人工) 将击实锤从 457mm 的高度自由落下击实规定的次数 (75 次、50 次或 35 次)。对大型马歇尔试件, 击实次数为 75 次 (相应于标准击实 50 次的情况) 或 112 次 (相应于标准击实 75 次的情况)。

(5) 试件击实一面后, 取下套筒, 将试模掉头, 装上套筒, 然后以同样的方式和次数击实另一面。

(6) 试件击实结束后，如上下面垫有圆纸，应立即用镊子取掉；用卡尺量取试件离试模上口的高度并由此计算试件高度，如高度不符合要求时，试件应作废，并按式 3-5 调整试件的混合料数量，使高度符合 $63.5\text{mm}\pm 1.3\text{mm}$ （标准试件）或 $95.3\text{mm}\pm 2.5\text{mm}$ （大型试件）的要求。

$$\text{调整后沥青混合料质量} = \frac{\text{要求试件高度} \times \text{原用混合料质量}}{\text{所得试件的高度}}$$

(7) 卸去套筒的底座，将装有试件的试模横向放置冷却至室温后（不少于 12h），置脱模机上脱出试件。将试件仔细置于干燥洁净的平面上，供试验用。

（四）试件制备的心得和体会

对所进行的实验研究问题进行分析，试件制备受什么因素影响。

2.2.2 沥青混合料物理指标测定

(一) 实验目的

测定沥青混合料的表观密度，并按组成材料原始数据计算其空隙率，沥青体积百分率，矿料间隙率和沥青饱和度等物理指标，结合稳定度、流值，根据沥青混合料技术标准确定沥青最使用量。

(二) 实验仪器

1. 浸水天平或电子秤，当最大称量在 3kg 以下时，感量不大于 0.1g；最大称量 3kg 以上时，感量不大于 0.5g；最大称量 10kg 以上时，感量不大于 5g，应有测量水中重的挂钩。
2. 网篮。
3. 溢流水箱：使用洁净水，有水位溢流装置，保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。试验时的水温应在 15~25℃ 范围内，并与测定集料密度时的水温相同。
4. 试件悬吊装置：天平下方悬吊网篮及试件的装置，吊线应采用不吸水的细尼龙线绳，并有足够的长度，对轮碾成型机成型的板块状试件可用铁丝悬挂。
5. 秒表、电扇或烘箱。

(三) 试验方法

1. 选择适宜的浸水天平（或电子秤），最大称量应不小于试件质量的 1.25 倍，且不大于试件质量的 5 倍。
2. 除去试件表面的浮粒，称取干燥试件在空气中的质量 (m_a) 根据选择的天平的感量读数，准确至 0.1g、0.5g 或 5g。
3. 挂上网篮浸入溢流水箱的水中，调节水位，将天平调平或复零，把试件置于网篮中（注意不要使水晃动），待天平稳定后立即读数，称取水中质量 (m_w)。
4. 从水中取出试件，用洁净柔软的拧干湿毛巾轻轻擦去试件的表面水(不得吸走空隙内的水)，称取试件的表干质量(m_f)。
5. 对从路上钻取的非干燥试件，可先称取水中质量 (m_w)，然后用电风扇将试件吹干至恒重（一般不少于 12h，当不需进行其它试验时，也可用 60℃±5℃ 的烘箱烘干至恒重），再称取在空气中的质量 (m_a)。

(四) 结果整理

计算物理常数

1. 表观密度

密实的沥青混合料试件的表观密度，按式 2.2.2-1 计算，取 3 位小数。

$$\rho_s = \frac{m_a}{m_a - m_w} \times \rho_w \quad (2.2.2-1)$$

式中： ρ_s ——试件的表观密度，g/cm³；
 m_a ——干燥试件的空中质量，g；
 m_w ——试件的水中质量，g；
 ρ_w ——常温水的密度，取 1g / cm³。

2. 理论密度

(1) 当试件沥青按油石比计时, 试件的理论密度按式 2.2.2-2 计算, 取 3 位小数。

$$\rho_t = \frac{100 + P_a}{\frac{P_1}{r_1} + \frac{P_2}{r_2} + \dots + \frac{P_n}{r_n} + \frac{P_a}{r_a}} \times \rho_w \quad (2.2.2-2)$$

(2) 当沥青按沥青含量计时, 试件的理论密度按式 2.2.2-2' 计算:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{P'_1}{r_1} + \frac{P'_2}{r_2} + \dots + \frac{P'_n}{r_n} + \frac{P'_b}{r_a}} \times \rho_w \quad (2.2.2-2')$$

式中: ρ_t ——理论密度, g/cm^3 ;

$P_1 \cdots P_n$ ——各种矿料占矿料总质量的百分率, %;

$P'_1 \cdots P'_n$ ——各种矿料占矿料总质量的百分率, %;

$r_1 \cdots r_n$ ——各种矿料对水的相对密度

P_a ——油石比 (沥青与矿料的质量比), %;

P_b ——沥青含量, %;

r_a ——沥青的相对密度 (25/25°C)。

3. 空隙率

试件的空隙率按式 2.2.2-3 计算, 取 1 位小数。

$$VV = \left(1 - \frac{r_f}{r_t}\right) \times 100 \quad (2.2.2-3)$$

式中: VV ——试件的空隙率, %;

r_t ——按式 3-7) 或式 3-7') 计算的理论密度, g/cm^3 ;

r_f ——实测的沥青混合料最大密度, g/cm^3 。

4. 沥青体积百分率

试件中沥青的体积百分率按式 2.2.2-4 或式 7-4' 计算, 取 1 位小数。

$$VA = \frac{P_b \times r_t}{r_a} \quad (2.2.2-4)$$

或

$$VA = \frac{100 \times P_a \times r_t}{(100 + P_a) \times r_a} \quad (2.2.2-4')$$

式中: VA ——沥青混合料试件的体积百分率, %。

5. 矿料间隙率

试件的矿料间隙率按式 2.2.2-5 计算, 取 1 位小数。

$$VMA = VA + VV \quad (2.2.2-5)$$

式中: VMA ——沥青混合料试件的矿料间隙率, %。

6. 沥青饱和度

沥青饱和度试件饱和度按式 2.2.2-6 计算，取 1 位小数。

$$VFA = \frac{VA}{VA + VV} \times 100 \quad (2.2.2-6)$$

式中：VFA——沥青混合料试件的沥青饱和度，%。

(五) 试验记录

应在试验报告中注明沥青混合料的类型及采用的测定密度的方法。

(六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

(七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

2.2.3 沥青混合料马歇尔稳定度试验

(一) 实验目的与适用范围

1. 本方法适用于马歇尔稳定度试验和浸水马歇尔稳定度试验,以进行沥青混合料的配合比设计或沥青路面施工质量检验。浸水马歇尔稳定度试验(根据需要,也可进行真空饱水马歇尔试验)供检验沥青混合料受水损害时抵抗剥落的能力时使用,通过测试其水稳定性检验配合比设计的可行性。

2. 本方法适用于标准马歇尔试件圆柱体和大型马歇尔试件圆柱体。

(二) 实验设备(仪器)

1. 沥青混合料马歇尔试验仪:符合国家标准《沥青混合料马歇尔试验仪》(GB/T11823)技术要求的产品,对用于高速公路和一级公路的沥青混合料宜采用自动马歇尔试验仪,用计算机或X-Y记录仪记录荷载~位移曲线,并具有自动测定荷载与试件垂直变形的传感器、位移计,能自动显示或打印试验结果。对 $\Phi 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件,试验仪最大荷载不小于25kN,读数准确度100N,加载速率应能保持 $54\text{mm}/\text{min} \pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。钢球直径16mm,上下压头曲率半径为50.8mm。当采用 $\Phi 152.4\text{mm}$ 大型马歇尔试件时,试验仪最大荷载不得小于50kN,读数准确度为100N。上下压头的曲率内径为 $152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,上下压头间距 $19.05\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

大型马歇尔试件的压头尺寸如图1所示。

2. 恒温水槽:控温准确度为 1°C ,深度不小于150mm。
3. 真空饱水容器:包括真空泵及真空干燥器。
4. 烘箱。
5. 天平:感量不大于0.1g。
6. 温度计:分度为 1°C 。
7. 卡尺。
8. 其他:棉纱,黄油。

(三) 方法与步骤

试验准备

1. 按标准击实法成型马歇尔试件,标准马歇尔尺寸应符合直径 $101.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、高 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的要求。对大型马歇尔试件,尺寸应符合直径 $152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,高 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 的要求。一组试件的数量最少不得少于4个,并符合规定。

2. 量测试件的直径及高度:用卡尺测量试件中部的直径,用马歇尔试件高度测定器或用卡尺在十字对称的4个方向量测离试件边缘10mm处的高度,准确至0.1mm,并以其平均值作为试件的高度。如试件高度不符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 要求或两侧高度差大于2mm时,此试件应作废。

3. 按规定的方法测定试件的密度、空隙率、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等物理指标。

4. 将恒温水槽调节至要求的试验温度,对粘稠石油沥青或烘箱养生过的乳化沥青混合料为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,对煤沥青混合料为 $33.8^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,对空气养生的乳化沥青或液体沥青混合料

为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

试验步骤

1. 将试件置于已达规定温度的恒温水槽中保温，保温时间对标准马歇尔试件需 30min~40min，对大型马歇尔试件需 45min~60min。试件之间应有间隔，底下应垫起，离容器底部不小于 5cm。

2. 将马歇尔试验仪的上下压头放入水槽或烘箱中达到同样温度。将上下压头从水槽或烘箱中取出擦拭干净内面。为使上下压头滑动自如，可在下压头的导棒上涂少量黄油。再将试件取出置于下压头上，盖上下压头，然后装在加载设备上。

3. 在上压头的球座上放妥钢球，并对准荷载测定装置的压头。

4. 当采用自动马歇尔试验仪时，将自动马歇尔试验仪的压力传感器、位移传感器与计算机或 X-Y 记录仪正确连接，调整好适宜的放大比例。调整好计算机程序或将 X-Y 记录仪的记录笔对准原点。

5. 当采用压力环和流值计时，将流值计安装在导棒上，使导向套管轻轻地压住上压头，同时将流值计读数调零。调整压力环中百分表，对零。

6. 启动加载设备，使试件承受荷载，加载速度为 $50 \pm 5\text{mm}/\text{min}$ 计算机或 X-Y 记录仪自动记录传感器压力和试件变形曲线并将数据自动存入计算机。

7. 当试验荷载达到最大值的瞬间，取下流值计，同时读取压力环中百分表读数及流值计的流值读数。

8. 从恒温水槽中取出试件至测出最大荷载值的时间，不得超过 30s。

(四) 结果整理

1. 计算

1) 试件的稳定度及流值

(1) 当采用自动马歇尔试验仪时，将计算机采集的数据绘制成压力和试件变形曲线。

(2) 采用压力环和流值计测定时，根据压力环标定曲线，将压力环中百分表的读数换算为荷载值，或者由荷载测定装置读取的最大值即为试样的稳定度 (MS)，以 kN 计，准确至 0.01kN。由流值计及位移传感器测定装置读取的试件垂直变形，即为试件的流值 (FL)，以 mm 计，准确至 0.1mm。

2) 试件的马歇尔模数按式 (2.2.3-1) 计算。

$$T = \frac{MS}{FL} \quad (2.2.3-1)$$

式中：T—试件的马歇尔模数，(kN/mm)；

MS—试件的稳定度，kN；

FL—试件的流值，(mm)。

3) 试件的浸水残留稳定度按式 (2.2.3-2) 计算。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (2.2.3-2)$$

式中：MS₀—试件的浸水残留稳定度，(%)；

MS₁—试件浸水 48h 后的稳定度，(kN)。

4) 试件的真空饱水残留稳定度按式(2.2.3-3)计算。

$$MS'_0 = \frac{MS_2}{MS} \times 100 \quad (2.2.3-3)$$

式中:MS'₀—试件的真空饱水残留稳定度, (%) ;

MS₂—试件真空饱水后浸水 48h 后的稳定度, (kN)。

2. 报告

(1) 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该测定值应予舍弃, 并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时, k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

(2) 采用自动马歇尔试验时, 试验结果应附上荷载~变形曲线原件或自动打印结果, 并报告马歇尔稳定度、流值、马歇尔模数, 以及试件尺寸、试件的密度、空隙率、沥青用量、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等各项物理指标。

(五) 试验记录

沥青混合料稳定度试验记录表

试样编号	稳定度 (N)				流值 FL (kN/mm)	马歇尔模数 T (kN/mm)	备注
试件编号	百分表读数 (1/100mm)	折算稳定 度	修正系数 k (kN/100mm)	稳定度 MS (kN)			

试验者_____ 计算者_____ 校核者_____ 试验日期_____

(六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理, 数据计算, 及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果, 对所进行的实验研究问题进行分析

(七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

2.2.4 沥青混合料车辙试验

(一) 实验目的与适用范围

1. 本方法适用于测定沥青混合料的高温抗车辙能力,供沥青混合料配合比设计的高温稳定性检验使用。

2. 车辙试验的试验温度与轮压可根据有关规定和需要选用。非经注明,试验温度为 60°C ,轮压为 0.7MPa 。根据需要,如在寒冷地区也可采用 45°C ,在高温条件下采用 70°C 等,但应在报告中注明。计算动稳定度的时间原则上为试验开始后 $45\text{min}\sim 60\text{min}$ 之间。

3. 本方法适用于用轮碾成型机碾压成型的长 300mm 、宽 300mm 、厚 50mm 的板块状试件,也适用于现场切割制作长 300mm 、宽 150mm 、厚 50mm 板块状试件。根据需要,试件的厚度也可采用 40mm 。

(二) 实验设备(仪器)

1. 车辙试验机:

(1) 试件台:可牢固地安装两种宽度(300mm 及 150mm)的规定尺寸试件的试模。

(2) 试验轮:橡胶制的实心轮胎,外径 $\Phi 200\text{mm}$,轮宽 50mm ,橡胶层厚 15mm 。橡胶硬度(国际标准硬度) 20°C 时为 84 ± 4 , 60°C 时为 78 ± 2 ,试验轮行走距离为 $230\text{mm}\pm 10\text{mm}$,往返碾压速度为 $42\text{次}/\text{min}\pm 1\text{次}/\text{min}$ ($21\text{次往返}/\text{min}$)。允许采用曲柄连杆驱动试验台运动(试验轮不移动)或链驱动试验轮运动(试验台不动)的任一种方式。

注:轮胎橡胶硬度应注意检验,不符合要求者应及时更换。

(3) 加载装置:使试验轮与试件的接触压强在 60°C 时为 $0.7\text{MPa}\pm 0.05\text{MPa}$,施加的总荷重为 75kg 左右,根据需要可以调整。

(4) 试模:钢板制成,由底板及侧板组成,试模内侧尺寸长为 300mm ,宽为 300mm ,厚为 50mm (试验室制作),亦可固定 150mm 宽的现场切割试件。

(5) 变形测量装置:自动检测车辙变形并记录曲线的装置,通常用LVDT、电测百分表或非接触位移计。

(6) 温度检测装置:自动检测并记录试件表面及恒温室温度的温度传感器、温度计,精密度 0.5°C 。

2. 恒温室:车辙试验机必须整机安放在恒温室内,装有加热器、气流循环装置及装有自动温度控制设备,能保持恒温室温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (试件内部温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$),根据需要亦可为其它需要的温度。用于保温试件并进行试验。温度应能自动连续记录。

3. 台秤:称量 15kg ,感量不大于 5g 。

(三) 方法与步骤

试验准备

1. 试验轮接地压强测定:测定在 60°C 时进行,在试验台上放置一块 50mm 厚的钢板,其上铺一张毫米方格纸,上铺一张新的复写纸,以规定的 700N 荷载后试验轮静压复写纸,即可在方格纸上得出轮压面积,并由此求得接地压强。当压强不符合 $0.7\text{MPa}\pm 0.05\text{MPa}$,荷载应予适当调整。

2. 用轮碾成型法制作车辙试验试块。在试验室或工地制备成型的车辙试件，其标准尺寸为 300mm×300mm×50mm。也可从路面切割得到 300mm×150mm×50mm 的试件。

当直接在拌和厂取拌和好的沥青混合料样品制作试件检验生产配合比设计或混合料生产质量时，必须将混合料装入保温桶中，在温度下降至成型温度之前迅速送达试验室制作试件，如果温度稍有不足，可放在烘箱中稍事加热(时间不超过 30min)后使用。也可直接在现场用手动碾或压路机碾压成型试件，但不得将混合料放冷却后二次加热重塑制作试件。重塑制件的试验结果仅供参考，不得用于评定配合比设计检验是否合格使用。

3. 如需要，将试件脱模按本规程规定的方法测定密度及空隙率等各项物理指标。如经水浸，应用电扇将其吹干，然后再装回原试模中。

4. 试件成型后，连同试模一起在常温条件下放置的时间不得少于 12h。对聚合物改性沥青混合料，放置的时间以 48h 为宜，使聚合物改性沥青充分固化后方可进行车辙试验，但室温放置时间也不得长于一周。

注:为使试件与试模紧密接触应记住四边的方向位置不变。

试验步骤

1. 将试件连同试模一起，置于已达到试验温度 60℃±1℃的恒温室中，保温不少于 5h，也不得多于 24h。在试件的试验轮不行走的部位上，粘贴一个热电偶温度计(也可在试件制作时预先将热电偶导线埋入试件一角)，控制试件温度稳定在 60℃±0.5℃。

2. 将试件连同试模移置于轮辙试验机的试验台上，试验轮在试件的中央部位，其行走方向须与试件碾压或行车方向一致。开动车辙变形自动记录仪，然后启动试验机，使试验轮往返行走，时间约 1h，或最大变形达到 25mm 时为止。试验时，记录仪自动记录变形曲线(如图 2)及试件温度。

注:对 300mm 宽且试验时变形较小的试件，也可对一块试件在两侧 1/3 位置上进行两次试验取平均值。

(四) 结果整理

1. 计算

(1) 从图 2 上读取 45min(t_1)及 60min (t_2)时的车辙变形 d_1 ，及 d_2 ，准确至 0.01mm。

当变形过大，在未至 60min 变形已达 25mm 时，则以达到 25mm (d_2)时的时间为 t_2 ，将其前 15min 为 t_1 ，此时的变形量为 d_1 。

(2) 沥青混合料试件的动稳定度按式(2.2.4-1)计算。

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \quad (2.2.4-1)$$

式中:DS——沥青混合料的动稳定度，次/mm；

d_1 ——对应于时间 t_1 的变形量，mm；

d_2 ——对应于时间 t_2 的变形量，mm；

C_1 ——试验机类型修正系数，曲柄连杆驱动试件的变速行走方式为 1.0，链驱动试验轮的等速方式为 1.5；

C_2 ——试件系数，试验室制备的宽 300mm 的试件为 1.0，从路面切割的宽 150mm 的试件为 0.8；

N——试验轮往返碾压速度，通常为 42 次/min。

2. 报告

(1) 同一沥青混合料或同一路段的路面，至少平行试验 3 个试件，当 3 个试件动稳定度变异系数小于 20%时，取其平均值作为试验结果。变异系数大于 20%时应分析原因，并追加试验。如计算动稳定度值大于 6000 次/mm 时，记作:>6000 次/mm。

(2) 试验报告应注明试验温度、试验轮接地压强、试件密度、空隙率及试件制作方法等。重复性试验动稳定度变异系数的允许差为 20%。

(五) 试验记录

沥青混合料车辙试验记录表

试验温度		轮压		试件密度	
试件尺寸		制作方法		空隙率	
级配类型					
时间 t1(min)		时间 t1 时的 变形量(mm)		试验机类型 修正系数	
时间 t2(min)		时间 t2 时的 变形量(mm)		试件系数	
试件编号	1	2	3	动稳定度 平均值 (次/mm)	
动稳定度 (次/mm)					

(六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

(七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结