

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2021

聚氨酯混合料设计规范

Design specifications for polyurethane mixture

（征求意见稿）

2024.07

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 材料 1

 4.1 聚氨酯胶粘剂 1

 4.2 集料 2

 4.3 填料 3

5 混合料配合比设计 3

 5.1 一般规定 3

 5.2 技术要求 4

 5.3 矿料级配设计 5

 5.4 最佳胶石比确定 5

 5.5 目标配合比设计检验与报告 7

 5.6 生产配合比设计 7

 5.7 生产配合比验证 7

附 录 A （规范性） 表干时间与实干时间试验方法 9

 A.1 器具与材料 9

 A.2 试验步骤 9

 A.3 数据处理 9

附 录 B （规范性） 拉伸强度与断裂伸长率试验方法 10

 B.1 器具与材料 10

 B.2 试验步骤 10

 B.3 结果计算 11

 B.4 数据处理 11

附 录 C （规范性） 马歇尔试件膨胀性测试方法 12

 C.1 器具与材料 12

 C.2 试验步骤 12

 C.3 结果计算 12

 C.4 数据处理 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：交通运输部公路科学研究所、万华化学集团股份有限公司、北京城建集团有限责任公司、山西晋北高速公路养护有限公司、北京城建华晟交通建设有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司、烟台业达建工有限公司、中航路通实业有限公司、万华晟达（山东）交通科技有限公司、阿美远东（北京）商业服务有限公司。

本文件主要起草人：徐剑、王杰、华卫琦、常金波、段劲松、张文生、王鹏、李剑、宁金星、李鹏飞、张汉之、李娟、缪宝吉、李志华、秦子轩、孙伟良、汪鸿翔、王苏娣、宁华龙、李文瑞、李笑男、马庆、高瑞军、耿爽、黄克湖、王福祥、刘春华、宋鹏、李哲、梁建波、朱四营、曾蔚、徐婕、郑义、柯特、周鑫宇、黄伟、冯国利。

聚氨酯混合料设计规范

1 范围

本文件规定了聚氨酯混合料的材料、混合料配合比设计。

本文件适用于公路和城镇道路新建、改扩建及养护工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1034 塑料 吸水性的测定

GB/T 2035 塑料术语及其定义

GB/T 4472 化工产品密度、相对密度的测定

JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

聚氨酯胶粘剂 polyurethane binder (PU)

由多异氰酸酯与多元醇化学反应后，分子链含有重复氨基甲酸酯特征结构的高分子聚合物材料。

[来源：GB/T 2035—2008]

3.2

聚氨酯混合料 polyurethane mixture (PUM)

在级配矿料中加入聚氨酯胶粘剂拌和而成的混合物。

3.3

胶石比 ratio of polyurethane to aggregate

聚氨酯混合料中聚氨酯胶粘剂与矿料质量比。

4 材料

4.1 聚氨酯胶粘剂

4.1.1 聚氨酯胶粘剂技术要求应符合表 1 的规定。

表 1 聚氨酯胶粘剂技术要求

项 目	技术要求	试验方法
密度 (23℃)	实测值	GB/T 4472
黏度 (23℃)	600 mPa·s~1800 mPa·s	JTG E20 T0625
表干时间 (23℃, 70% RH)	2 h~4 h	附录 A
实干时间 (23℃, 70% RH)	12 h~48 h	附录 A
吸水率	≤0.3%	GB/T 1034
拉伸强度 (23℃)	≥18 MPa	附录 B
断裂伸长率 (23℃)	≥100%	附录 B

4.1.2 聚氨酯胶粘剂本色呈浅黄色，具体颜色可根据工程应用场景调制。

4.1.3 聚氨酯胶粘剂应在密闭干燥容器中储存，储存温度不得超过 60℃。

4.2 集料

4.2.1 粗集料应坚硬、洁净、干燥、无风化，其技术要求应符合表 2 的规定。

表 2 粗集料技术要求

项 目	技术要求		试验方法
	表面层	其他层位	
石料压碎值	≤26%	≤28%	JTG E42 T 0316
洛杉矶磨耗损失	≤28%	≤30%	JTG E42 T 0317
表观相对密度	≥2.60	≥2.50	JTG E42 T 0304
吸水率	≤12.0%	≤13.0%	JTG E42 T 0304
坚固性	≤112%	≤112%	JTG E42 T 0314
针片状颗粒含量 (混合料) 其中粒径大于 9.5mm 其中粒径小于 9.5mm	≤15% ≤12% ≤18%	≤18% ≤15% ≤20%	JTG E42 T 0312
水洗法<0.075mm 颗粒含量	≤1%	≤1%	JTG E42 T 0310
软石含量	≤3%	≤5%	JTG E42 T 0320
磨光值 (PSV)	≥42	—	JTG E42 T 0321

4.2.2 细集料应洁净、干燥、无杂质和其他有害物质，其技术要求应符合表 3 的规定。

表 3 细集料技术要求

项 目	技术要求	试验方法
表观相对密度	≥2.50	JTG E42 T 0328
坚固性 (>0.3mm 部分)	≥12%	JTG E42 T 0340

含泥量（小于 0.075mm 的含量）	$\leq 3\%$	JTG E42 T 0333
砂当量	$\geq 60\%$	JTG E42 T 0334
亚甲蓝值	$\leq 2.5 \text{ g/kg}$	JTG E42 T 0349

4.3 填料

4.3.1 填料宜采用憎水性石料磨细的矿粉，且应干燥、洁净、无杂质。

4.3.2 矿粉技术要求应符合表4的规定。

表 4 矿粉技术要求

项 目	技术要求	试验方法
表观密度	≥ 2.50	JTG E42 T 0352
含水量	$\leq 0.5\%$	JTG E42 T 0103 烘干法
粒度范围 $<0.6\text{mm}$ $<0.15\text{mm}$ $<0.075\text{mm}$	100% 90%~100% 75%~100%	JTG E42 T 0351
外观	无团粒结块	—
亲水系数	≤ 1	JTG E42 T 0353
塑性指数	$\leq 4\%$	JTG E42 T 0354
加热安定性	实测记录	JTG E42 T 0355

5 混合料配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 应根据公路等级、气候条件、交通特点等因素，充分借鉴当地成功经验进行聚氨酯混合料配合比设计。

5.1.2 聚氨酯混合料配合比设计宜采用马歇尔试验方法。

5.1.3 聚氨酯混合料配合比设计应分为目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证三个阶段。

5.1.4 聚氨酯混合料目标配合比设计宜按图 1 的步骤进行。

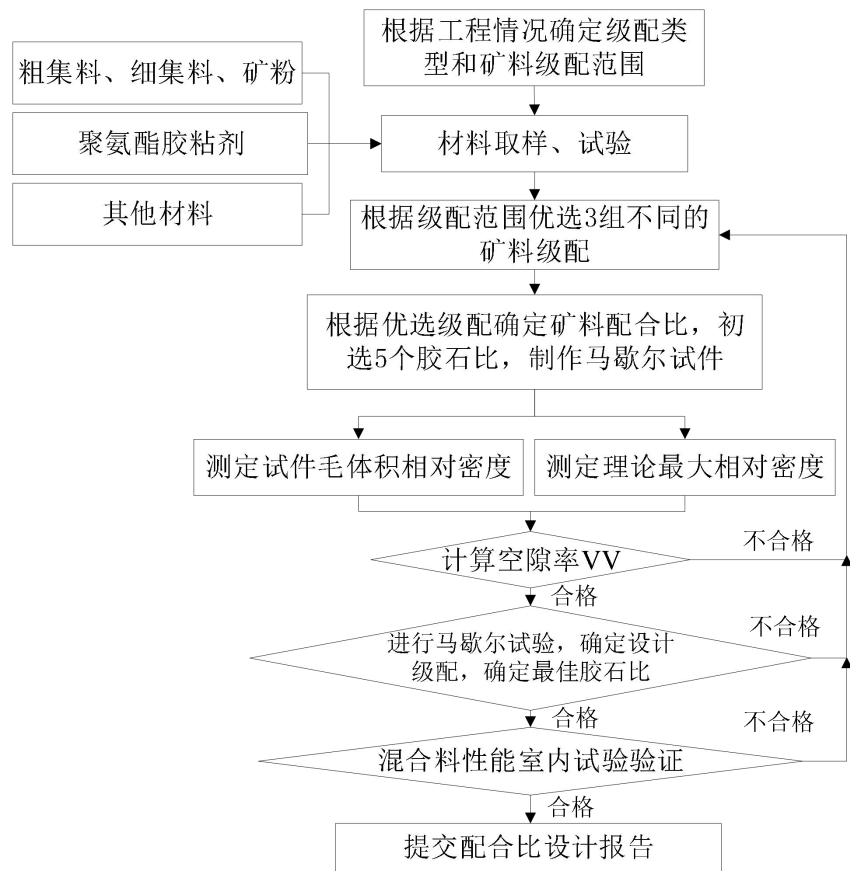


图 1 聚氨酯混合料目标配合比设计流程

5.2 技术要求

5.2.1 聚氨酯混合料马歇尔试验技术要求应满足表 5 的规定

表 5 。聚氨酯混合料马歇尔试验技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	φ101.6×63.5	JTG E20 T 0702
马歇尔试件击实次数	—	双面击实 75 次	JTG E20 T 0702
空隙率 VV	—	3.0%~5.0%	JTG E20 T 0705
马歇尔稳定度	kN	≥80	JTG E20 T 0709
马歇尔试件膨胀性	mm	≤0.7	附录 C

5.2.2 聚氨酯混合料路用性能技术要求应满足表 6 的规定。

表 6 聚氨酯混合料路用性能技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
动稳定度（60℃）	次/mm	≥30000	JTG E20 T 0719

残留冻融劈裂强度	MPa	≥ 1.2	JTG E20 T 0729
低温弯曲破坏应变	$\mu\epsilon$	≥ 5000	JTG E20 T 0715
渗水系数	mL/min	≤ 80	JTG E20 T 0730

5.3 矿料级配设计

5.3.1 矿料级配按照最大公称粒径，可分为 PC-16、PC-13、PC-10 三种类型。

5.3.2 矿料级配范围应符合表 7 的规定。

表 7 矿料级配范围

类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分比 (%)										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
PC-16	100	90~100	76~92	60~80	34~62	20~48	13~36	9~26	7~18	5~14	4~8
PC-13	—	100	90~100	68~85	38~68	24~50	15~38	10~28	7~20	5~15	4~8
PC-10	—	—	100	90~100	45~75	30~58	20~44	13~32	9~23	6~16	4~8

5.3.3 聚氨酯混合料矿料级配应按下列步骤确定：

- 宜按表 7 的矿料级配范围，优选 3 组粗细不同的配合比；
- 绘制级配曲线，级配曲线应平滑，不宜出现锯齿形交错；
- 级配曲线宜在级配范围的上方、中值及下方，且在 0.3~0.6mm 范围内不出现“驼峰”。

5.4 最佳胶石比确定

5.4.1 根据 5.3.3 确定的矿料级配，以经验估计的胶石比 (P) 为中值，用 P-0.6、P-0.3、P、P+0.3、P+0.6 五个胶石比分别进行马歇尔试验，其试件制备应按下列步骤进行：

- 将粗集料和细集料置于 105℃烘箱中，烘干不少于 3h 并冷却备用。冷却后粗集料和细集料的残余含水率不宜高于 0.1%。
- 按照设计配合比称取冷却后的粗集料和细集料，并与聚氨酯胶粘剂在拌和锅中拌和 90s，然后加入矿粉再拌和 90s。
- 拌制完成的聚氨酯混合料，采用马歇尔击实法进行试样成型。
- 将成型的试件连同试模一起侧放在温度 25℃±2℃、相对湿度 70%RH±5%RH 恒温恒湿箱中养生 24h±1h 后，在温度 70℃±2℃、相对湿度 80%RH±5%RH 再养生 72h±1h。
- 将试件连同试模取出，侧放于地面上，并在室温下冷却 12h 后脱模。
- 可根据聚氨酯胶粘剂黏度大小适当提升成型温度，以改善聚氨酯混合料的成型效果。

5.4.2 根据马歇尔试验结果，以胶石比为横坐标，以马歇尔试验的各项指标为纵坐标，绘制胶石比曲线，如图2所示。

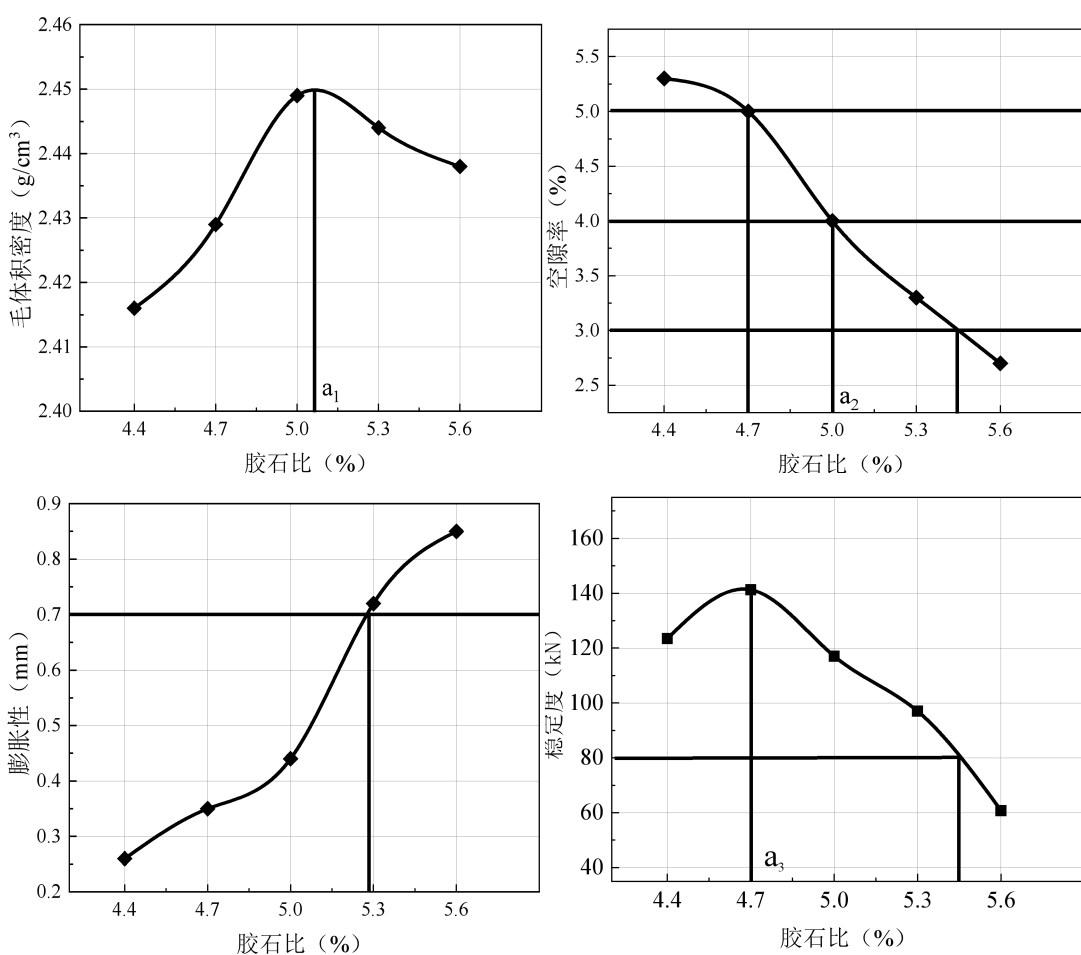


图2 马歇尔试验结果

5.4.3 胶石比的选择宜涵盖设计空隙率全部范围，否则扩大聚氨酯用量范围重新试验。

5.4.4 根据图2 试验曲线，最佳胶石比 OPC 按下列方法确定：

- 以图2中毛体积密度峰值的胶石比 (a_1)、目标空隙率（或中值）的胶石比 (a_2)、稳定度最大值的胶石比 (a_3) 的平均值作为 OPC_1 。
- 当密度或稳定度没有出现峰值时，可直接以目标空隙率对应的 a_2 作为 OPC_1 。
- 以稳定度、空隙率、膨胀性符合要求的聚氨酯用量范围绘制图3，并确定聚氨酯胶粘剂用量范围 $\text{OPC}_{\min} \sim \text{OPC}_{\max}$ ，取其中值为 OPC_2 。
- 取 OPC_1 和 OPC_2 的中值作为 OPC。

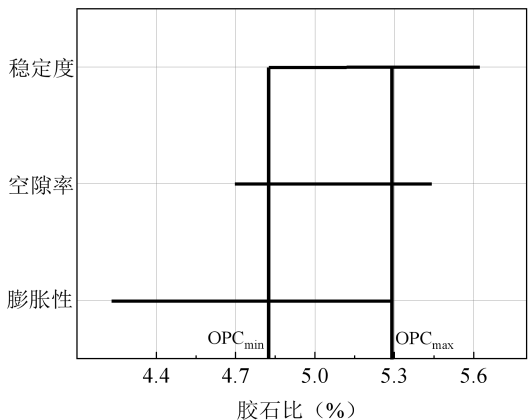


图 3 聚氨酯用量范围

5.4.5 确定以 OPC 为胶石比的聚氨酯混合料各项指标是否符合表 5 的要求。

5.5 目标配合比设计检验与报告

5.5.1 采用确定的矿料级配和最佳胶石比制作试件，进行高温抗车辙试验、冻融劈裂试验、低温弯曲试验、渗水系数试验，试验结果应符合表 6 的要求。当试验结果不符合要求时，应重新进行配合比设计。

5.5.2 聚氨酯混合料目标配合比设计报告宜包括：工程设计级配范围选择说明、材料品种选择与材料试验结果、矿料级配及矿料配合比、最佳胶石比，以及各项马歇尔设计指标、配合比设计检验结果等。

5.6 生产配合比设计

5.6.1 应按目标配合比确定的各冷料仓供料比例上料，对二次筛分后的各热料仓取样进行筛分。根据热料仓筛分结果合成级配曲线，以冷料、热料供料大体均衡以及合成级配尽量接近目标配合比级配为原则，确定各热料仓的配比。

5.6.2 应取目标配合比设计的最佳胶石比、最佳胶石比 $\pm 0.3\%$ 等三个聚氨酯胶粘剂用量进行混合料室内拌制和拌和机试拌，并进行室内试验，其各项指标应符合表 5 和表 6 的要求。

5.6.3 应根据试验结果取较小的胶石比作为生产胶石比，且与目标配合比设计的差值不宜大于 $\pm 0.2\%$ 。

5.7 生产配合比验证

5.7.1 铺筑试验段，其长度不宜小于 200m。

5.7.2 应取现场拌和及摊铺的混合料进行试验，混合料指标应符合表 5 和表 6 的要求。根据燃烧、筛分试验结果分析生产配合比控制的符合性。

5.7.3 应根据试验段铺筑和试验情况，确定最终生产配合比。

5.7.4 试铺结束后，并应提交试验段总结报告。

附 录 A
(规范性)
表干时间与实干时间试验方法

A.1 器具与材料

A.1.1 恒温恒湿箱：温度控制范围不小于10℃~80℃，精度±1℃，相对湿度控制范围不小于30%~95% RH，精度±3%RH。

A.1.2 烘箱：有自动温度控制器，控温的准确度为±1℃。

A.1.3 其他器具与材料

涂膜器：精度±0.002mm、玻璃板：钢化玻璃尺寸不小于350mm×350mm，厚度不小于3mm、秒表等。

A.2 试验步骤

A.2.1 表干时间

试验步骤如下：

- a) 使用无水乙醇擦拭玻璃板和涂膜器，然后将玻璃板和涂膜器及密封保存的胶粘剂放置于试验温度烘箱保温 1.0h~2.0h。
- b) 将玻璃板放置于水平试验台，然后将适量聚氨酯胶粘剂（30g~80g）缓慢倒在玻璃板上，并使用涂膜器将聚氨酯胶粘剂涂布均匀，湿膜涂布厚度为 0.5mm±0.1mm。
- c) 将涂布均匀的聚氨酯胶粘剂试样放置于恒温恒湿箱中养生（温度 23℃、相对湿度 70%RH），试样在恒温恒湿箱应保持水平。
- d) 试验开始后每次观察开启恒温恒湿箱时间不超过 10s。观察前用无水乙醇擦拭手指，在距试件边缘不小于 10mm 范围内用手指轻触涂膜表面，若无聚氨酯胶粘剂粘附在手指上即为表干。记录试件养生开始到结束的时间即为表干时间。

A.2.2 实干时间

试验步骤如下：

- a) 按照表干时间试验步骤制备试件，并将试件置于恒温恒湿箱中养生。
- b) 观察试件实干情况采用刀片在距试件边缘不小于 10mm 范围内切割涂膜，且每次切割涂膜位置间距不小于 10mm，若底层及涂膜内均无粘附手指现象，则为实干。记录时间养生开始到结束的时间即为实干时间（如已知表干时间可在表干时间后开始观察试件）。

A.3 数据处理

平行试验两次，两次试验结果偏差应不超过时间的15%，以两次结果的平均值作为最终结果。表干时间和实干时间数值精确至min。

附 录 B
(规范性)
拉伸强度与断裂伸长率试验方法

B.1 器具与材料

B.1.1 拉伸试验机：配有温控试验箱，温度控制范围 $10^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，测量值在量程15%~85%之间，示值精度不低于1%，伸长范围大于500mm。

B.1.2 恒温恒湿箱：温度控制范围不小于 $10^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度控制范围不小于30%~95%RH，精度 $\pm 3\%\text{RH}$ 。

B.1.3 烘箱：有自动温度控制器，控温的准确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

B.1.4 厚度计：接触面直径6mm，单位面积压力0.02MPa，分度值0.01mm。

B.1.5 其他器具与材料：

玻璃板：钢化玻璃板尺寸不小于 $350\text{mm}\times 350\text{mm}$ ，厚度不小于3mm、涂膜器：精度 $\pm 0.002\text{mm}$ 、裁刀：符合国标GB/T 528规定的哑铃状I型裁刀。

B.2 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 使用无水乙醇擦拭玻璃板、涂膜器，然后将玻璃板和涂膜器及密封保存的聚氨酯胶粘剂放置于 50°C 的烘箱保温1.0h~2.0h。
- b) 将玻璃板放置于水平试验台，然后将聚氨酯胶粘剂缓慢倒在玻璃板上，并使用涂膜器将聚氨酯胶粘剂涂布均匀。
- c) 将玻璃板连同聚氨酯胶粘剂转移至恒温恒湿箱（温度 30°C 、相对湿度40%RH）中水平放置并养生24h，然后将恒温恒湿箱温度调至 70°C ，湿度调至相对湿度80%RH并养生24h。
- d) 将固化成型的聚氨酯胶粘剂涂膜从玻璃板上缓慢剥离，成型聚氨酯胶粘剂干膜厚度 $0.5\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$ 。
- e) 采用哑铃状I型裁刀裁切聚氨酯胶粘剂涂膜，聚氨酯胶粘剂拉伸试件个数不少于5个。
- f) 采用直尺在试件上划好两条间距25mm的平行标线，并用厚度计测出试件标线中间和两端三点的厚度，取其算术平均值作为试样厚度，然后将试件置于烘箱（试验温度）中保温不少于1h。
- g) 将拉伸试验机温控箱调至试验温度并稳定不少于0.5h，随后从烘箱取出试样装在拉伸试验机夹具之间，夹具间标距为70mm，然后在温控箱保温10min后，以500mm/min拉伸速度拉伸试件至断裂，记录试件断裂时的最大荷载，并量取此时试件标线间距离(L)，精确至0.1mm，测试5个试件，若有试件断裂在标线外，其结果无效。

B.3 结果计算

B.3.1 拉伸强度

按式(B.1)计算试件的拉伸强度。

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

P ——拉伸强度，单位为兆帕（MPa）；

F ——试件最大荷载，单位为牛（N）；

A ——试件断面面积，单位为平方毫米（mm²）。

$$A = b \times d \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

b ——试件工作部分宽度，单位为毫米（mm）；

d ——试件实测厚度，单位为毫米（mm）。

B.3.2 断裂伸长率

按式（B.3）计算试件的断裂伸长率。

$$L = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

L ——试件断裂时的伸长率；

L_1 ——试件断裂时标线间的距离，单位为毫米（mm）；

L_0 ——拉伸前标线间的距离 25，单位为毫米（mm）。

B.4 数据处理

拉伸强度和断裂伸长率取5个试件的算术平均值作为试验结果，若试验数据与平均值的偏差超过15%，则剔除该数据，以剩余的至少3个试件的平均值作为试验结果，拉伸强度结果精确至0.01MPa，断裂伸长率试验结果精确至1%。

附 录 C
(规范性)
马歇尔试件膨胀性测试方法

C.1 器具与材料

C.1.1 游标卡尺：测量范围为0~200mm，分辨率0.02mm，误差 $\leq \pm 0.03\text{mm}$ 。

C.2 试验步骤

按照以下步骤测试聚氨酯混合料马歇尔试件膨胀高度：

- a) 按照5.4.2方法成型马歇尔试件。
- b) 完成成型养生前的马歇尔试件按照图C.1 (a) 测试马歇尔试件高度 H 。
- c) 将试样连同试模一起侧放在温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $70\%\text{RH} \pm 5\%\text{RH}$ 恒温恒湿箱中养生 $24\text{h} \pm 1\text{h}$ ，然后再将恒温恒湿箱调至温度 $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $80\%\text{RH} \pm 5\%\text{RH}$ 再养生 $72\text{h} \pm 1\text{h}$ 。
- d) 取出试件冷却至室温，然后按照图C.1 (b) 测试养生后的马歇尔试件高度 H^* 。

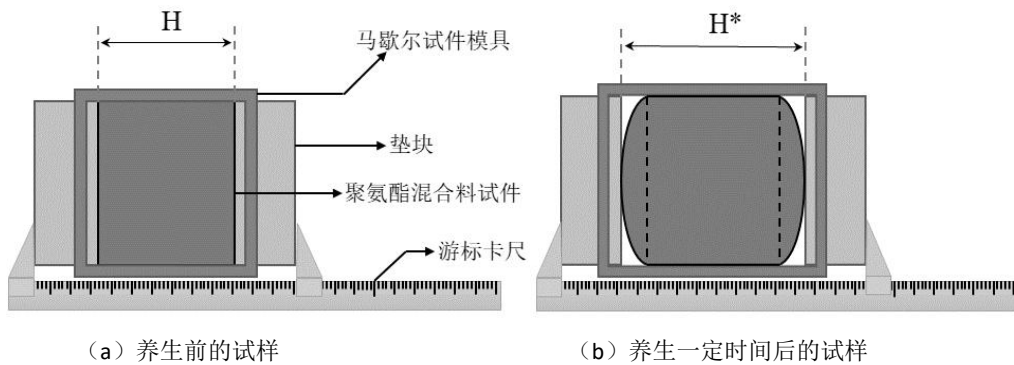


图 C.1 聚氨酯混合料试样高度的测试方法示意

C.3 结果计算

按照公式 (C.1) 计算试件的膨胀高度 ΔH 。

$$\Delta H = H^* - H \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

ΔH ——马歇尔试件膨胀高度，单位为毫米（mm）；

H^* ——马歇尔试件养生后试件高度，单位为毫米（mm）；

H ——马歇尔试件养生前试件高度，单位为毫米（mm）。

C.4 数据处理

平行试验两次，两次试验结果与平均值之差不超过的0.3mm，以两次结果的平均值作为最终结果（结果精确值小数点后两位）。
