



T/CECS 891-2021

中国工程建设标准化协会标准

聚氨酯碎石混合料透水路面 技术规程

Technical specification for polyurethane macadam mixture
permeable pavement



中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

聚氨酯碎石混合料透水路面
技术规程

Technical specification for polyurethane macadam mixture
permeable pavement

T/CECS 891 - 2021

主编单位：苏交科集团股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2021年12月1日

中国建筑工业出版社

2021 北 京

中国工程建设标准化协会公告

第 899 号

关于发布《聚氨酯碎石混合料透水路面 技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2018 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2018〕015 号）的要求，由苏交科集团股份有限公司等单位编制的《聚氨酯碎石混合料透水路面技术规程》，经本协会海绵城市工作委员会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS 891－2021，自 2021 年 12 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会

2021 年 7 月 8 日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2018 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2018〕015 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分为 6 章和 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、材料、设计、施工、质量验收与维护等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会海绵城市工作委员会归口管理，由苏交科集团股份有限公司（地址：江苏省南京市江宁区诚信大道 2200 号，邮编：211112）负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请寄送解释单位。

主 编 单 位：苏交科集团股份有限公司

参 编 单 位：万华节能科技股份有限公司

厦门市市政工程设计院有限公司

美邦（北京）新材料科技有限公司

北京太合生态科技有限公司

厦门市市政工程有限公司

招商局重庆交通科研设计院有限公司

江苏恒信交通工程试验检测有限公司

主要起草人：曹荣吉 朱浩然 王 磊 洪朝晖 甘立成
翁志军 陈有雄 王火明 于明明 修福晓
傅重龙 张香云 雷旭华 徐连财 徐周聪
张 杨 刘 鑫 蒲国柱 师 军 任 鹏

黄晓彬 李开正 王文峰 郭雨佶 袁 勇
主要审查人：和坤玲 李 辉 王晓华 孙宏亮 杜 骋
蔡 明 李明亮

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	材料	(3)
3.1	原材料	(3)
3.2	混合料技术指标	(5)
3.3	混合料配合比	(7)
4	设计	(8)
4.1	一般规定	(8)
4.2	结构组合设计	(8)
4.3	面层	(10)
4.4	基层	(10)
4.5	垫层	(12)
4.6	土基	(12)
4.7	排水设计	(12)
5	施工	(14)
5.1	一般规定	(14)
5.2	施工准备	(14)
5.3	试拌、试铺	(15)
5.4	搅拌、运输	(15)
5.5	摊铺、压实	(16)
5.6	养生、管理	(16)
5.7	季节性施工	(17)
6	质量验收与维护	(18)
6.1	一般规定	(18)
6.2	质量验收	(19)
6.3	维护	(22)

附录 A 紫外老化试验 (23)

附录 B 胶粘剂自然裹覆测试方法 (26)

本规程用词说明 (28)

引用标准名录..... (29)

附：条文说明 (31)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Materials	(3)
3.1	Raw materials	(3)
3.2	Mixture performance index	(5)
3.3	Mixture proportioning	(7)
4	Design	(8)
4.1	General requirements	(8)
4.2	Structural combination design	(8)
4.3	Surface	(10)
4.4	Base course	(10)
4.5	Bed course	(12)
4.6	Soil foundation	(12)
4.7	Drainage design	(12)
5	Construction	(14)
5.1	General requirements	(14)
5.2	Construction preparation	(14)
5.3	Trial mixing and trial paving	(15)
5.4	Mixing and transportation	(15)
5.5	Paving and compaction	(16)
5.6	Curing and management	(16)
5.7	Seasonal construction	(17)
6	Quality acceptance and maintenance	(18)
6.1	General requirements	(18)
6.2	Quality acceptance	(19)
6.3	Maintenance	(22)

Appendix A	Ultraviolet aging test	(23)
Appendix B	Test method for natural coating of adhesive	(26)
	Explanation of wording in this specification	(28)
	List of quoted standards	(29)
	Addition; Explanation of provisions	(31)

1 总 则

1.0.1 为响应国家“海绵城市”和“生态园林城市”建设的号召，改善城市生态环境，指导聚氨酯碎石混合料透水路面的设计、施工、质量验收与维护，保证工程质量和耐久性，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建的城市人行道、非机动车道、人行广场、公园绿道等慢行系统以及小客车停车场的聚氨酯碎石混合料透水路面的设计、施工、质量验收与维护。

1.0.3 聚氨酯碎石混合料透水路面的设计、施工、质量验收与维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 聚氨酯胶粘剂 polyurethane adhesive

分子链中含有氨基甲酸酯基团（ —NHCOO— ）或异氰酸酯基（ —NCO ）的胶粘剂。

2.0.2 聚氨酯碎石混合料 polyurethane macadam mixture

以聚氨酯胶粘剂作为胶结材料，按一定比例和集料搅拌而成的空隙率在 20%~30% 的混合料。

2.0.3 聚氨酯碎石混合料透水路面 polyurethane macadam mixture permeable pavement

采用聚氨酯碎石混合料作为面层，经特定的制备工艺和施工工序铺筑而成，整体结构具有连通性空隙且路表水可以渗入其内部横向排出或渗入路基内部的路面。

2.0.4 全透水结构 fully permeable structure

路表水能够直接通过透水面层、基层、垫层，向下渗透至路基土中的道路结构。

2.0.5 半透水结构 semi-permeable structure

路表水渗透至面层或基层，不渗透至路基土的道路结构。

2.0.6 连通空隙率 connected air voids ratio

混合料内部连通空隙的体积占总体积的百分率。

2.0.7 透水系数 permeation coefficient

在常水头压力下，单位时间内透过规定面积的水流的速度，以 cm/s 计。

2.0.8 渗水系数 permeability coefficient

在规定的初始水头压力下，单位时间内渗水路面规定面积的水的体积，以 mL/min 计。

3 材 料

3.1 原 材 料

3.1.1 聚氨酯胶粘剂由 A 组分和 B 组分按一定质量比配制形成，配制比例应根据试验结果确定。

3.1.2 聚氨酯胶粘剂的性能指标应符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 聚氨酯胶粘剂的性能指标

项目		技术要求	试验方法
固化时间 (min)		40±20	现行国家标准《建筑密封材料试验方法第 5 部分：表干时间的测定》GB/T 13477.5
拉伸强度 (25℃) (MPa)		≥20	现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528
断裂延伸率 (25℃) (%)		≥50	
紫外 老化	拉伸强度 (25℃) (MPa)	≥15	本规程附录 A
	断裂延伸率 (25℃) (%)	≥20	
黏度 (23℃)	A 组分 (Pa·s)	0.15~1.5	现行国家标准《胶黏剂黏度的测定 单圆筒旋转黏度计法》GB/T 2794
	B 组分 (Pa·s)	0.1~0.6	

3.1.3 聚氨酯胶粘剂的环保性能应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 聚氨酯胶粘剂的环保性能指标

项目	技术要求	试验方法
3 种邻苯二甲酸酯类化合物 (DBP、BBP、DEHP) 总和 (g/kg)	≤1.0	现行国家标准《中小学合成材料面层运动场地》GB/T 36246

续表 3.1.3

项目		技术要求	试验方法
短链氯化石蜡 (C10-C13) (g/kg)		≤ 1.5	现行行业标准《橡胶和塑料制品中短链氯化石蜡的测定 气相色谱-串联质谱法》SN/T 3814
游离甲苯二异氰酸酯 (TDI) 和 游离六亚甲基二异氰酸酯 (HDI) 总和 (g/kg)		≤ 0.2	现行行业标准《进出口建筑用胶中苯、甲苯、二甲苯、游离甲苯二异氰酸酯及邻苯二甲酸酯类增塑剂的测定》SN/T 2553
挥发性有机化合物 (g/L)		≤ 50	现行国家标准《室内地坪涂料中有害物质限量》GB 38468
游离甲醛 (g/kg)		≤ 0.50	现行国家标准《树脂整理剂 总甲醛含量、游离甲醛含量和羟甲基甲醛含量的测定》GB/T 5543
苯 (g/kg)		≤ 0.05	现行国家标准《树脂整理剂 总甲醛含量、游离甲醛含量和羟甲基甲醛含量的测定》GB/T 5543
甲苯、二甲苯和乙苯总和 (g/kg)		≤ 1.0	现行国家标准《树脂整理剂 总甲醛含量、游离甲醛含量和羟甲基甲醛含量的测定》GB/T 5543
可溶性重金属含量 (g/kg)	铅	≤ 50	现行国家标准《胶粘剂中可溶性重金属 铅、铬、镉、钡、汞、砷、硒、锑的测定》GB/T 32448
	铬	≤ 10	
	镉	≤ 10	
	汞	≤ 2	

3.1.4 聚氨酯碎石混合料用集料可使用花岗岩、黄岗岩或大理石等，集料表面应光滑、质地坚硬、洁净、无杂质。粒径选择应根据使用场合及摊铺厚度确定，宜采用 3mm~5mm、4mm~6mm、5mm~10mm 等单粒径集料，其性能指标应符合表 3.1.4

的规定。

表 3.1.4 集料的性能指标

项目	技术要求	试验方法
表观相对密度 (g/cm^3)	≥ 2.45	现行行业标准《公路工程集料试验规程》 JTG E42
含水率 (%)	≤ 2.0	
吸水率 (%)	≤ 3.0	
压碎值 ^① (%)	≤ 30	
洛杉矶磨耗损失 (%)	≤ 35	
针片状含量 (%)	≤ 10	
含泥量 ($<0.075\text{mm}$ 颗粒含量) (%)	≤ 1.0	

注：① 压碎值试验， $3\text{mm} \sim 5\text{mm}$ 集料取 $2.36\text{mm} \sim 4.75\text{mm}$ 粒径，试验后过 1.18mm 筛； $4\text{mm} \sim 6\text{mm}$ 和 $5\text{mm} \sim 10\text{mm}$ 集料取 $4.75\text{mm} \sim 9.5\text{mm}$ 粒径，试验后过 1.18mm 和 2.36mm 筛。

3.1.5 聚氨酯碎石混合料应利用集料的天然色泽，严禁添加其他化学材料。

3.2 混合料技术指标

3.2.1 聚氨酯碎石混合料的技术指标应符合表 3.2.1 的规定。

表 3.2.1 聚氨酯碎石混合料的技术指标

项目	技术要求	试验方法
空隙率 (%)	20~30	现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20
连通空隙率 (%)	15~25	现行行业标准《透水沥青路面技术规程》CJJ/T 190
肯塔堡飞散试验的混合料损失 (%)	≤ 20	现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20

续表 3.2.1

项目		技术要求		试验方法
抗压强度（25℃）（MPa）		7d	≥7.0	现行国家标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
抗折强度（25℃）（MPa）		7d	≥3.0	
抗冻性	25 次冻融循环后抗压强度损失率（%）		≤20	现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
	25 次冻融循环后质量损失率（%）		≤5	
透水系数（cm/s）			≥0.2	现行行业标准《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135
渗水系数（mL/min）			≥5000	现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450
摩擦系数（BPN）			≥45	现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450

注：抗冻性性能检验视环境条件及设计要求进行。

3.2.2 聚氨酯碎石混合料胶粘剂用量范围应符合表 3.2.2 的规定。

表 3.2.2 聚氨酯碎石混合料胶粘剂推荐用量范围

项目	技术要求		
集料粒径 (mm)	3~5	4~6	5~10
胶粘剂用量 (%)	2.5~3.5	3.0~4.0	3.5~4.5

注：胶粘剂的用量为胶粘剂质量与集料质量的比值。

3.3 混合料配合比

3.3.1 聚氨酯胶粘剂最佳用量试验应符合下列规定：

1 应初选 5 个不同的胶粘剂用量，进行肯塔堡飞散试验和胶粘剂自然裹覆测试。

2 以肯塔堡飞散试验确定胶粘剂用量的下限，以胶粘剂自然裹覆试验确定胶粘剂用量的上限，胶粘剂自然裹覆测试方法应符合本规程附录 B 的规定。

3 应根据试验过程中胶粘剂损失量对最小胶粘剂用量和最大胶粘剂用量进行修正。

4 在修正后的最小胶粘剂用量和最大胶粘剂用量范围内，选取至少 5 个连续的胶粘剂用量，测定其抗压强度和抗折强度，并绘制抗压强度和抗折强度随胶粘剂用量变化的曲线，以曲线中的“转折点”所对应的胶粘剂用量作为最佳胶粘剂用量。

3.3.2 以确定的集料和最佳胶粘剂用量拌和聚氨酯碎石混合料，进行聚氨酯碎石混合料技术指标性能验证，各项指标应该符合本规程表 3.2.1 的规定。

3.3.3 当原材料发生变动后，聚氨酯碎石混合料配合比应重新设计。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 聚氨酯碎石混合料透水路面的结构设计, 应结合荷载等级、地基承载力、路基土性能等因素综合考虑, 并应满足结构强度、透水、储水等要求。

4.1.2 聚氨酯碎石混合料透水路面面层厚度设计, 应按水泥混凝土路面设计方法, 以 7d 龄期的聚氨酯碎石混合料抗折强度为设计参数进行路面结构验算。

4.1.3 结构层的厚度应按下式要求进行透水、储水能力验算。

$$H_a = (i - k)t/\bar{n} \quad (4.1.3)$$

式中: H_a ——透水路面结构层厚度 (不包括垫层的厚度) (mm);

i ——地区设计降雨强度 (mm/s);

t ——降雨持续时间 (s);

$\bar{n}$ ——透水路面结构层的平均连通空隙率 (%);

k ——透水路面结构层的透水系数 (mm/s)。

4.2 结构组合设计

4.2.1 聚氨酯碎石混合料透水路面的结构类型可采用下列形式:

1 全透水结构 (图 4.2.1-1), 路表水经面层、基层、垫层后下渗入路基。

2 半透水结构 (图 4.2.1-2), 路表水由面层进入基层 (或垫层) 后排入邻近排水设施。

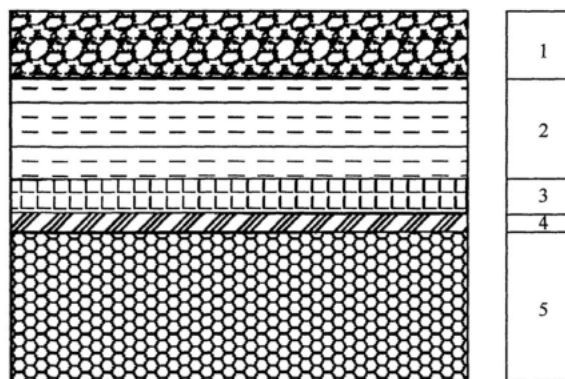


图 4.2.1-1 全透水结构

1—聚氨酯透水面层；2—透水基层；3—透水垫层；
4—反滤隔离层；5—路基

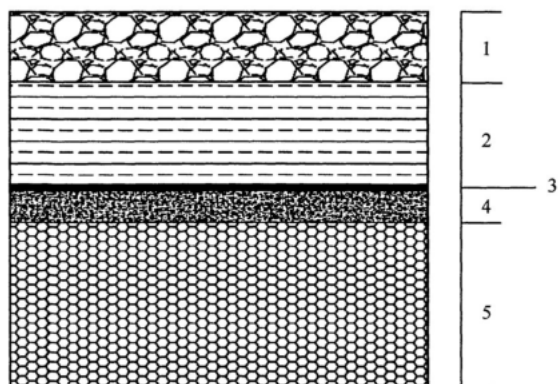


图 4.2.1-2 半透水结构

1—聚氨酯透水面层；2—透水基层；3—防水隔离层；
4—垫层；5—路基

4.2.2 全透水结构的路基应具有一定的渗透性，其透水系数不应小于 $7 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ ，且路基顶面距离地下水位应大于 1.0m。对常年冻土、软土、液化土、膨胀土、湿陷性黄土、盐渍土等地

质条件特殊的路段，不应直接铺筑全透水聚氨酯碎石混合料透水路面。

4.2.3 全透水结构路基顶面应设置反滤隔离层，可选用粒料类材料、无砂混凝土或土工织物，并应符合现行行业标准《公路排水设计规范》JTG D33 的有关规定。

4.2.4 半透水结构应在透水层下设置防水隔离层，防水材料的渗透系数不应大于 10^{-11} cm/s，且应与上下结构层黏结良好。防水隔离层应符合现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610 的有关规定。

4.3 面 层

4.3.1 聚氨酯碎石混合料透水路面面层应满足轻载慢行道路的使用功能，并应满足透水、抗滑要求。

4.3.2 聚氨酯碎石混合料透水路面面层厚度不宜小于 20mm，聚氨酯碎石混合料透水路面面层厚度与集料粒径的关系应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 聚氨酯碎石混合料透水路面面层厚度与集料粒径的关系

项 目	技术要求		
集料粒径 (mm)	3~5	4~6	5~10
厚度 (mm)	20~30	30~40	40~50

4.3.3 聚氨酯碎石混合料透水路面应做到色彩均匀，图案设计应符合设计要求。

4.4 基 层

4.4.1 透水基层应具有足够的强度、刚度和耐久性，并应满足透水功能的要求。基层横坡度宜为 1%~2%，面层横坡度应与基层横坡度相同。

4.4.2 透水基层可选用排水式沥青稳定碎石、大粒径透水性沥

青混合料、多孔隙水泥稳定碎石或透水水泥混凝土。

4.4.3 排水式沥青稳定碎石的配合比设计和混合料技术指标应符合现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的有关规定。

4.4.4 大粒径透水性沥青混合料（LSPM）的公称最大粒径不宜小于 26.5mm，级配范围和混合料技术要求应符合现行行业标准《透水沥青路面技术规程》CJJ/T 190 的有关规定。

4.4.5 多孔隙水泥稳定碎石可采用强度等级为 32.5 级或 42.5 级的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥，水泥用量宜为 8%~12%，水灰比宜为 0.39~0.43。配合比设计应符合现行行业标准《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20 的有关规定，技术指标应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 多孔隙水泥稳定碎石基层材料的技术指标要求

试验项目	技术要求
空隙率（%）	15~23
7d 抗压强度（MPa）	3~5

4.4.6 透水水泥混凝土强度等级不应小于 C20，其配比应通过试验确定，连通空隙率不应小于 10%，性能应符合现行行业标准《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135 的有关规定。

4.4.7 各类透水基层最小厚度应符合表 4.4.7 的规定。

表 4.4.7 各类透水基层最小厚度

基层类型		最小厚度（mm）
刚性基层	透水水泥混凝土	200
半刚性基层	多孔隙水泥稳定碎石	150
柔性基层	排水式沥青稳定碎石	120
	大粒径透水性沥青混合料	80

4.4.8 半刚性基层和柔性基层顶面压实度应采用重型击实标准

控制，压实度不应小于 95%。

4.5 垫 层

4.5.1 垫层为稳定层，宜采用级配砂砾或级配砾石等透水性好的粒料类材料，且应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169 的有关规定。

4.5.2 垫层厚度不应小于 150mm，重冰冻地区潮湿、过湿路段可适当增厚。

4.6 土 基

4.6.1 土基应稳定、密实、均质，具有足够的强度、稳定性、抗变形能力和耐久性，并应为路面结构提供均匀的支承。

4.6.2 路床顶面土基设计回弹模量不应小于 20MPa。土基压实度应采用重型击实标准控制，压实度不应低于表 4.6.2 的要求。

表 4.6.2 土基压实度指标

填挖类型	深度范围 (m)	压实度 (%)
填方	0~0.8	≥92
	0.8~1.5	≥91
	>1.5	≥90
挖方	0~0.3	≥92

4.7 排 水 设 计

4.7.1 聚氨酯碎石混合料透水路面的排水设计，宜符合现行行业标准《城市道路工程设计规范》CJJ 37 的有关规定。

4.7.2 当土基渗透系数及地下水位不满足要求或降雨强度超过渗透量及单位存储量时，应采用专用排水管或排水盲沟（图 4.7.2），与市政排水系统相连。

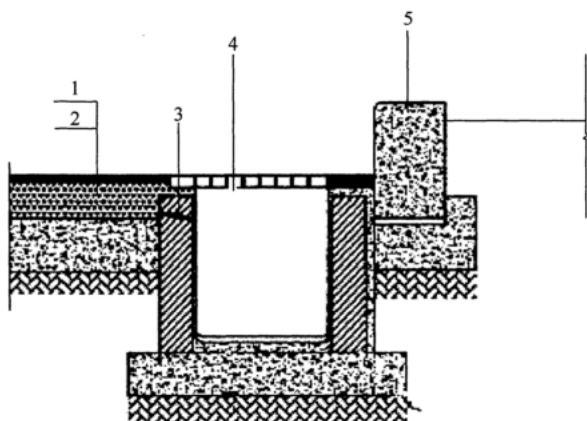


图 4.7.2 排水盲沟示意

1—聚氨酯透水面层；2—透水基层；3—排水管；
4—排水沟（雨水口）；5—立缘石

4.7.3 排水设计时可利用市政排水沟或雨水口，与市政排水系统相连。面积较大的广场、停车场路面下宜设置排水管道。当排水系统结合海绵城市设施综合考虑时，应服从海绵城市排水系统的总体方案。

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.1 施工前应依据设计文件和施工文件，勘察施工现场，复核地下隐蔽设施的位置和标高，确定施工方案，编制施工组织设计。

5.1.2 施工前设计单位项目技术负责人应向作业人员进行详细的安全技术交底，并形成文件。施工单位技术负责人应定期对作业人员进行相关的安全技术教育与培训。

5.1.3 （透水）垫层、透水基层施工应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

5.1.4 面层施工前应对基层、排水系统进行检查验收，并对基层表面做清洁处理，处理后的基层表面应整洁、无粉尘、干燥。经检查验收合格后，方可进行面层铺筑。

5.1.5 施工现场日平均气温连续 5d 低于 5℃或日气温低于 0℃以及日气温高于 40℃时不宜施工，严禁雨天施工。

5.2 施 工 准 备

5.2.1 施工单位应控制原材料质量，进场材料应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 和本规程第 3 章的规定。聚氨酯胶粘剂进场时，应附有生产厂家的产品合格证、质量保证书、检验报告和产品使用说明书等。不同厂家、品牌的聚氨酯胶粘剂不得混合使用。

5.2.2 聚氨酯胶粘剂两组分应在阴凉、干燥条件下存储，固化剂组分应做密封处理，避免发生氧化反应。

5.2.3 施工单位必须配备齐全施工机械和辅助工具，做好开工

前的保养、调试和试机，并应保证在施工期间不发生有碍施工进度和质量的故障。

5.2.4 施工现场应配备防雨、防潮的材料堆放场地，材料应按标识堆放。

5.2.5 施工前应根据当地气象预报，确保施工周期前后 24h 内施工现场无降雨或降雪。

5.3 试拌、试铺

5.3.1 聚氨酯碎石混合料透水路面工程开工前，应进行混合料的试拌、试铺。

5.3.2 施工单位应通过试拌，确定聚氨酯碎石混合料胶粘剂的最佳用量，并应验证混合料的性能。

5.3.3 施工单位应通过试铺，确定聚氨酯碎石混合料摊铺以及压实的工序和时间。

5.3.4 试验段应选择合适的代表性路段，试验段长度不宜小于 10m，或面积不宜小于 30m²。

5.4 搅拌、运输

5.4.1 现场应有专人负责物料配比称量，聚氨酯胶粘剂质量允许的误差值应为 $\pm 0.2\%$ ，集料质量允许的误差值应为 $\pm 2\%$ 。

5.4.2 可采用人工或机械搅拌，机械搅拌应采用强制式圆盘搅拌机。

5.4.3 搅拌地点应靠近作业地点，搅拌机的选择应根据工程量大小、施工进度、施工工序和运输工具等因素选择。

5.4.4 聚氨酯胶粘剂的配料量应根据施工现场情况确定，一次性配料不宜过多，A 组分和 B 组分混合搅拌宜在 1min 内完成。

5.4.5 应将人工称量好的集料倒入搅拌机内，开动电机，再将混合好的聚氨酯胶粘剂缓缓倒入装有集料的搅拌机内，集料、胶粘剂应搅拌混合 2min~5min，保证胶粘剂均匀裹覆在集料的

表面。

5.4.6 运输设备应根据施工进度、运量、运距及路况选取，混合料运输过程中应防止漏料污染路面，注意减少车辆颠簸，避免聚氨酯碎石混合料产生离析。

5.4.7 聚氨酯碎石混合料从搅拌机出料至浇筑压实完毕的允许施工时间应符合表 5.4.7 的规定。

表 5.4.7 不同温度下允许施工时间

施工气温 (°C)	允许最长时间 (min)
5~15	30
15~30	25
30~40	20

5.5 摊铺、压实

5.5.1 聚氨酯碎石混合料可采用人工或机械进行均匀摊铺，找准平整度与路面纵、横坡度，施工时应确保边角处无缺料现象。

5.5.2 聚氨酯碎石混合料宜采用磨光机进行压实、抹光，同时应辅以人工补料及找平。人工找平时，施工人员应穿减压鞋进行操作，并应随时检查模板，如有下沉、变形或松动，应及时纠正。

5.5.3 聚氨酯碎石混合料铺筑应连续作业，当不可避免地出现接缝时，宜用木条等固定收边，将接缝处理成垂直平顺的直线缝。接缝时，应保证新铺筑路面与已固结路面高程相同，保证聚氨酯碎石混合料透水路面的整体美观。

5.5.4 聚氨酯碎石混合料铺筑后，宜采用表面喷涂防滑材料，或撒铺石英砂的方式进行防滑处理。防滑材料的用量宜采用 $150\text{g}/\text{m}^2 \sim 200\text{g}/\text{m}^2$ ，石英砂的用量宜采用 $100\text{g}/\text{m}^2 \sim 150\text{g}/\text{m}^2$ 。

5.6 养生、管理

5.6.1 聚氨酯碎石混合料透水路面摊铺、压实并检查合格后，

常温养生 24h 后方可开放交通。

5.6.2 养生期间严禁洒水，并应封闭交通，禁止人员、车辆进入，防止泥土、油类污染路面以及透水路面未达到设计强度而破损。

5.7 季节性施工

5.7.1 施工中应根据工程所在地的气候环境，确定冬季低温、夏季高温和雨季雨期的起止时间。

5.7.2 雨期施工中应加强与气象部门联系，及时掌握气象条件变化，并做好防范准备。

5.7.3 雨期施工应利用地形与现有排水系统，做好防雨和排水工作。

5.7.4 夏季高温施工时，应合理安排施工时间以避免高温时段，并应缩短摊铺、压实等工序的施工时间。

5.7.5 当在雨期施工或集料放置在现场需过夜时，应将集料用雨布盖住或置于遮雨棚中，现场仅保留所需的集料用量。

6 质量验收与维护

6.1 一般规定

6.1.1 聚氨酯碎石混合料透水路面施工质量验收时应提供下列资料：

- 1 设计文件。
- 2 工程应用的聚氨酯胶粘剂、集料和聚氨酯碎石混合料的检测报告。
- 3 施工和检查记录。
- 4 工程项目的验收记录。
- 5 其他资料。

6.1.2 聚氨酯碎石混合料透水路面施工质量应按下列规定进行验收：

1 工程施工质量应符合本规程规定，参加工程施工质量验收的各方人员应具备相应资格。

2 工程质量验收均应在施工单位自行检查评定的基础上进行。

3 隐蔽工程在隐蔽前，应由施工单位通知监理单位和相关单位进行隐蔽工程验收，确认合格后，应形成隐蔽工程验收文件。

4 每道工序完成后，均应进行检查验收。经检验合格后，方可进入下一工序，凡经检验不合格的路段，必须进行补救，使其达到规定要求。

5 工程的外观质量应由验收人员通过现场检查共同确认。

6.1.3 参加各方在施工过程中对聚氨酯碎石混合料透水路面的质量存在怀疑或争议时，应在建设单位或监理单位的见证下，由

施工单位组织实施实体检验。实体检验应委托具有相应资质的检测机构进行。

6.1.4 当聚氨酯碎石混合料透水路面施工质量不符合要求时，应按下列规定进行处理：

- 1 经返工重做的路段，应重新进行验收。
- 2 经有资质的检测单位检测能够达到设计要求时，应予以验收。
- 3 经有资质的检测单位检测达不到设计要求，但经原设计单位核算认可，能够满足结构安全和使用功能的，可予以验收。
- 4 通过返修或加固处理仍不能满足要求的，严禁验收。

6.2 质量验收

I 主控项目

6.2.1 聚氨酯碎石混合料透水路面施工前，原材料质量应符合下列规定：

1 聚氨酯胶粘剂应具有出厂合格证，性能指标和环保参数等应符合本规程表 3.1.2 和表 3.1.3 中的规定。

检查数量：按同一生产厂家、同一品种、同一批次的聚氨酯胶粘剂为一批，每批抽样一次。

检验方法：检查产品合格证、出厂检验报告和进场复验报告。

2 聚氨酯碎石混合料透水路面面层用集料应符合本规程表 3.1.4 中的规定。

检查数量：同产地、同品种、同规格且连续进场的集料，每 200m³为一批，不足 200m³时按一批计，每批抽检一次。

检验方法：检查试验报告。

3 聚氨酯碎石混合料的性能应符合本规程表 3.2.1 的规定。

检查数量：每 100m³同配比聚氨酯碎石混合料取样一次，不

足 100m^3 时按一次计。

检验方法：检查试验报告。

6.2.2 聚氨酯碎石混合料透水路面面层质量除应符合设计要求外，尚应符合下列规定：

1 聚氨酯碎石混合料透水路面面层抗滑性能参数 *BPN* 不应小于 45。

检查数量：每 500m^2 同一类型透水路面检验一次，不足 500m^2 时按一次计。

检验方法：检查试验报告。

2 聚氨酯透水路面面层渗水系数应达到设计要求，不应小于 $5000\text{mL}/\text{min}$ 。

检查数量：每 500m^2 同一类型透水路面检验一次，不足 500m^2 时按一次计。

检验方法：检查试验报告。

II 一般项目

6.2.3 在透水基层施工前，应对土基进行检查验收，检查频率和要求应符合表 6.2.3 的规定，验收合格后方可进行透水基层施工。

表 6.2.3 土基检测项目、频率与质量标准

项目	质量标准	检查频率	检验方法
压实度 (%)	设计要求	每 20m 测 1 处	钻芯取样
平整度 (mm)	≤ 20	每 20m 测 1 处	3m 直尺
回弹模量 (MPa)	≥ 20	每 20m 测 1 处	现场取样成型试件
渗透系数 ^① (cm/s)	$\geq 7 \times 10^{-5}$	每 20m 测 1 处	《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135

注：①全透水结构需满足渗透系数要求。

6.2.4 在聚氨酯碎石混合料透水路面面层施工前，应对透水基

层进行检查验收，检查频率和要求应符合表 6.2.4 的规定，验收合格后方可进行面层施工。

表 6.2.4 透水基层检测项目、频率与质量标准

项目	质量标准	检查频率	检验方法
压实度 (%)	± 2	每 20m 测 1 点	钻芯取样
纵断高程 (mm)	± 15	每 20m 测 1 点	用水准仪
宽度 (mm)	不小于设计值	每 20m 测 1 处	用钢尺
横坡度 (%)	± 0.3 ，且不反坡	每 30m 测 1 处	用水准仪
平整度 (mm)	≤ 5	每 20m 测 1 处	3m 直尺

6.2.5 聚氨酯碎石混合料透水路面面层施工过程中的质量应符合下列规定：

1 每天总量检查聚氨酯胶粘剂和石料的用量，并应符合设计要求，聚氨酯胶粘剂的允许偏差应为 $\pm 0.2\%$ ，石料的允许偏差应为 $\pm 2\%$ 。

2 聚氨酯碎石混合料生产过程中，搅拌应均匀，拌和时间应控制，混合料运输过程中应防止漏料和避免颠簸，混合料无离析现象。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、量测。

3 透水路面表面应平整、坚实，接缝紧密、平顺，禁止出现断层；不应有明显的污染、推移、石子脱落、烂边、掉渣等现象。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

4 透水路面颜色应均匀，图案设计、尺寸、比例应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

6.2.6 聚氨酯碎石混合料透水路面面层交工验收检查项目、检查方法、检查频率和质量要求应符合表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 聚氨酯碎石混合料透水路面面层交工检查方法

项目	质量标准	检查频率	检验方法
纵断高程 (mm)	±10	每 20m 测 1 点	水准仪
宽度 (mm)	不小于设计值	每 20m 测 1 处	钢尺
横坡度 (%)	±0.3, 且不反坡	每 30m 测 1 处	水准仪
厚度 (mm)	-2~5	同一图案类型透水路面检验一次	直尺
空隙率 (%)	设计值±3	每 20m 测 1 处	体积法
平整度 (mm)	≤5	每 20m 测 1 处	3m 直尺和塞尺连续量测两次, 取较大值

6.3 维 护

6.3.1 聚氨酯碎石混合料透水路面投入使用后, 应做到预防与治理相结合, 并应安排专门人员定期清理污染物, 保证其良好的路用性能。

6.3.2 对于严寒地区, 应采取及时清雪等措施防止路面结冰, 不宜采用机械、撒砂或灰渣等方式除冰。

6.3.3 当聚氨酯碎石混合料透水路面出现裂缝或碎石脱落等路面破损时, 应及时维修。

附录 A 紫外老化试验

A.1.1 聚氨酯胶粘剂紫外老化试验采用的仪器与材料应符合下列规定：

1 试验采用的紫外老化箱功率应为 4kW，温度范围应控制在 20℃~120℃，紫外波长应为 300nm~400nm。

2 哑铃状试样的成型模具的长度应为 $115\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，厚度应为 $2\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。

3 聚氨酯胶粘剂的 A、B 组分应按照一定质量比现做现配，混合搅拌均匀。

4 裁刀和裁片机：试验用的所有裁刀和裁片机应符合《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》GB/T 2941 的要求，裁刀的狭窄平行部分任一点宽度的偏差不应大于 0.05mm。

5 测厚计：测量哑铃状试样的厚度所用的测厚计应符合《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》GB/T 2941 的有关规定。

6 拉力试验机：测量范围应控制在 0~50kN；测量精度应为 0.001N；试验速度应控制在 0.01mm/min~500mm/min；变形测量精度应小于示值的 $\pm 0.5\%$ ；测试台位移测量精度应小于示值的 $\pm 0.5\%$ 。

7 玻璃棒、烧杯等。

A.1.2 试验应按下列步骤进行：

1 同一厂家生产的聚氨酯胶粘剂 A、B 组分应按照一定质量比称量，精确至 0.01g，用玻璃棒将二者搅拌均匀，搅拌时间应为 30s，将混合均匀的聚氨酯胶粘剂注入哑铃状模具，哑铃状试样应按《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》GB/T

2941 规定的方法制备,哑铃状试样应平行于材料的压延方向裁切,每组 6 个试件,分别进行紫外老化试验和空白对照试验。

2 将成型好的聚氨酯胶粘剂试件,其中 3 个试件置于紫外老化箱中进行紫外老化试验,环境温度应控制在 $(55 \pm 3)^{\circ}\text{C}$,环境湿度应控制在 $(65 \pm 5)\%$,光照强度应为 $500\text{W}/\text{m}^2$,紫外老化持续时间应为 50.2h,试件上表面的辐照波长范围应控制在 $300\text{nm} \sim 400\text{nm}$;另外 3 个试件置于自然环境中养护,环境温度应为 25°C ,湿度应为 65% 。

3 将紫外老化后的试件和空白对照的试件,按现行国家标准《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528 的规定进行试验,拉伸速率应为 $(5 \pm 1)\text{mm}/\text{min}$ 。

4 根据拉力试验机的试验结果,计算试件的断裂延伸率和断裂强度,试验结果取这组试件测试结果的算术平均值,与自然养护条件下试件的试验结果进行比较,计算聚氨酯胶粘剂的耐紫外老化率。

A.1.3 聚氨酯胶粘剂的拉伸强度 TS 和紫外老化拉伸强度损失率 ΔTS 应按下列公式计算:

$$TS = \frac{F_m}{Wt} \quad (\text{A. 1. 3-1})$$

$$\Delta TS = \frac{TS_0 - TS_1}{TS_0} \times 100\% \quad (\text{A. 1. 3-2})$$

式中: F_m ——记录的最大力 (N);

W ——裁刀狭窄部分的宽度 (mm);

t ——试验长度部分厚度 (mm);

TS_0 ——对比用的一组标准试件的拉伸强度测定值 (MPa);

TS_1 ——紫外老化后的一组试件的拉伸强度测定值 (MPa)。

A.1.4 聚氨酯胶粘剂的断裂延伸率 E_b 和紫外老化断裂延伸率损

失率 ΔE_b 应按下列公式计算：

$$E_b = \frac{(L_b - L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (\text{A. 1. 4-1})$$

$$\Delta E_b = \frac{E_{b0} - E_{b1}}{E_{b0}} \times 100\% \quad (\text{A. 1. 4-2})$$

式中： L_0 ——初始试验长度 (mm)；

L_b ——断裂时的试验长度 (mm)；

E_{b0} ——对比用的一组标准试件的断裂延伸率测定值 (%)；

E_{b1} ——紫外老化后的一组试件的断裂延伸率测定值 (%)。

试验结果应以 3 个试件试验结果的平均值作为测定值。

附录 B 胶粘剂自然裹覆测试方法

B.1.1 聚氨酯胶粘剂自然裹覆试验应采用电子天平、试验筛等仪器和工具，并应符合下列规定：

1 电子天平应符合现行国家标准《电子天平》GB/T 26497 的有关规定；

2 试验筛应符合现行国家标准《试验筛 金属丝编织网、穿孔板和电成型薄板 筛孔的基本尺寸》GB/T 6005 的有关规定，筛孔直径应为 1.18mm；

3 试验用盛样容器、铲刀、烘箱、玻璃板和湿布等应满足试验需求。

B.1.2 试验应按下列步骤进行：

1 电子天平称取 200g (m_1) 烘干后的集料和 100g 聚氨酯胶粘剂。

2 将称取好的集料倒在玻璃板上，将混合均匀的聚氨酯胶粘剂倒在集料上，用铲刀贴着玻璃表面快速拌和。

3 将拌和好的聚氨酯碎石混合料倒在 1.18mm 试验筛上，用铲刀将混合料分开并均摊在试验筛上。

4 静置至试验筛下不再有聚氨酯胶粘剂滴落时，称取混合料的质量 (m)。

5 胶粘剂与集料混合至称取混合料质量应在 5min 内完成。

B.1.3 自然裹覆胶粘剂用量应按下列公式计算：

$$P = \frac{(m - m_1)}{m} \times 100\% \quad (\text{B.1.3-1})$$

式中： P ——自然裹覆胶粘剂用量 (%)；

m ——试验后混合料质量 (g)；

m_1 ——试验前集料质量 (g)。

B. 1. 4 聚氨酯碎石混合料初始最大胶粘剂用量应按下列公式计算：

$$Q = P \times 0.85 \quad (\text{B. 1. 4})$$

式中： Q ——初始最大胶粘剂用量 (%)；

P ——自然裹覆胶粘剂用量 (%)。

试验结果应以 3 次试验结果的平均值作为测定值。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081
- 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 《建筑密封材料试验方法第 5 部分：表干时间的测定》GB/T 13477.5
- 《电子天平》GB/T 26497
- 《胶黏剂黏度的测定 单圆筒旋转黏度计法》GB/T 2794
- 《橡胶物理试验方法试样制备和调节通用程序》GB/T 2941
- 《胶粘剂中可溶性重金属铅、铬、镉、钡、汞、砷、硒、锑的测定》GB/T 32448
- 《中小学合成材料面层运动场地》GB/T 36246
- 《室内地坪涂料中有害物质限量》GB 38468
- 《硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》GB/T 528
- 《树脂整理剂 总甲醛含量、游离甲醛含量和羟甲基甲醛含量的测定》GB/T 5543
- 《试验筛 金属丝编织网、穿孔板和电成型薄板 筛孔的基本尺寸》GB/T 6005
- 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135
- 《城镇道路路面设计规范》CJJ 169
- 《透水沥青路面技术规程》CJJ/T 190
- 《城市道路工程设计规范》CJJ 37
- 《进出口建筑用胶中苯、甲苯、二甲苯、游离甲苯二异氰酸酯及邻苯二甲酸酯类增塑剂的测定》SN/T 2553
- 《橡胶和塑料制品中短链氯化石蜡的测定 气相色谱-串联质

谱法》SN/T 3814

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20

《公路路面基层施工技术细则》JTG/T F20

《公路排水设计规范》JTG D33

《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450

《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610

《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40

《公路工程集料试验规程》JTG E42

中国工程建设标准化协会标准

聚氨酯碎石混合料透水路面
技术规程

T/CECS 891 - 2021

条 文 说 明

目 次

1	总则	(34)
2	术语	(36)
3	材料	(37)
3.1	原材料	(37)
3.2	混合料技术指标	(38)
3.3	混合料配合比	(39)
4	设计	(44)
4.1	一般规定	(44)
4.2	结构组合设计	(45)
4.3	面层	(46)
4.4	基层	(46)
4.5	垫层	(47)
4.6	土基	(47)
4.7	排水设计	(47)
5	施工	(49)
5.1	一般规定	(49)
5.2	施工准备	(49)
5.3	试拌、试铺	(50)
5.4	搅拌、运输	(50)
5.5	摊铺、压实	(51)
5.6	养生、管理	(51)
5.7	季节性施工	(52)
6	质量验收与维护	(53)
6.1	一般规定	(53)
6.2	质量验收	(53)
6.3	维护	(54)

1 总 则

1.0.1 改革开放以来,中国城镇化发展迅速,2017 年中国城镇化率达到 58.52%。粗放的城镇化发展模式,导致“城市病”日益突出,如今城镇地表越来越多地被沥青和水泥混凝土等“硬化”材料所覆盖。虽然沥青和水泥混凝土硬化路面给人们的生活和出行带来了诸多便利,但其带来的一系列问题也困扰着人们,如城市内涝、噪声污染、“热岛效应”、湿滑结冰等。

为解决城镇地表被传统“硬化”材料覆盖带来的问题,2013 年 12 月以来,国内学者在总结国外雨水管理体系的基础上,创新性提出“海绵城市”建设战略方针,透水铺装材料作为“海绵城市”建设的载体应运而生,传统的透水路面主要有透水砖路面、透水水泥混凝土路面、透水沥青路面,但这些都是基于水泥或沥青作为胶凝材料,对于大孔隙透水混合料而言,沥青材料的温度敏感性和粘附性决定其高温抗变形能力和水稳性,集料易剥落,水损害严重,水泥材料装饰性不足,抗压抗折强度低,易断裂,孔隙堵塞。因此,开发一种强度高、透水性好、耐久性好和温度敏感性小的新型环保路面铺装材料很有必要。聚氨酯碎石混合料作为一种新型的透水铺装材料在国内已进行了大量的铺筑使用,相比较透水沥青及透水水泥混凝土路面,聚氨酯碎石混合料透水路面除了具有透水性能外,还有其自身的优点:

- (1) 颜色丰富、路面装饰性好,增加整体环境的美观性;
- (2) 高透水透气性,有效改善周围环境的温度与湿度;
- (3) 耐水性、抗冻性、抗腐蚀性能及抗永久变形强;
- (4) 高效施工、快速开放、便捷养生、维修方便快捷;
- (5) 对光线具有很好的反射作用,缓解城市“热岛效应”。

目前，国内仅对透水水泥混凝土路面、透水沥青路面编制了行业标准，在透水路面多元化、装饰化的发展方面尚无新的标准规范，为响应国家“海绵城市”建设号召，使聚氨酯碎石混合料透水路面在设计、施工、检验中统一管理，做到技术先进、经济合理、安全适用，确保路面施工质量，制定了本规程。

1.0.2 聚氨酯碎石混合料透水路面在国内还处于发展阶段，目前一般应用于新建和改扩建的城市人行道、非机动车道、人行广场、公园绿道等慢行系统以及小型轿车停车场等。随着聚氨酯材料研发的进一步深入，它的应用前景会更加宽广。

2 术 语

在编制本章术语时，参考了《沥青混合料专业名词术语》GB/T 37383 - 2019、《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135 - 2009 等国家标准和行业标准的相关术语。

本规程的术语是从本规程的角度赋予其涵义的，但涵义不一定是术语的定义。同时，还分别给出了相应的推荐性英文。

3 材 料

3.1 原 材 料

3.1.1 聚氨酯胶粘剂按使用方式可分为单组分和双组分两种。双组分聚氨酯胶粘剂是聚氨酯胶粘剂中最重要的一个大类，通常由 A 组分（主剂）和 B 组分（固化剂）组成，分开包装。通用型双组分聚氨酯胶粘剂的 A 组分为淡黄色透明液体，B 组分为深褐色透明液体，两个组分的比例可在一定范围内调节，根据试验结果确定，一般情况下大于或等于 1。B 组分含量越多，温度越高，固化越快。

3.1.2 聚氨酯胶粘剂因其优异的粘结强度、柔韧性、耐高温和耐水性能，在诸多领域得到广泛应用。但是聚氨酯胶粘剂在我国的发展较欧美国家滞后，早期聚氨酯胶粘剂多用于轻工业方面，在建筑方面的应用较少，国内企业生产的聚氨酯胶粘剂质量参差不齐。聚氨酯胶粘剂作为聚氨酯碎石混合料的胶结料，其质量好坏直接影响聚氨酯碎石混合料的路用性能。聚氨酯碎石混合料透水路面使用过程中，受行车荷载、紫外老化、水分侵蚀和冻融破坏等多种因素耦合作用的影响，为保证工程质量，应选用具有较好的强度、延展性、抗紫外老化性和阻燃特性的产品。

3.1.3 参照现行国家标准《中小学合成材料面层运动场地》GB 36246 中铺装时使用的非固体原料中有害物质限量要求，对聚氨酯胶粘剂中可能产生的 18 种有害物质的限定作出了规定，确保透水铺装健康环保。

3.1.4 参照现行《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 中其他等级公路粗集料质量技术要求，聚氨酯碎石混合料用集料应符合表 3.1.4 的规定。聚氨酯碎石混合料用集料不同于沥青路面常

用的石灰岩和玄武岩集料，采用有颜色的水洗石，碎石一定要打磨，表面必须光滑、平整，因为聚氨酯碎石混合料对碎石表面的纹理和棱角性很敏感，碎石表面如果不平整，胶结料会留到碎石的凹陷处，实际起粘结作用的胶结料较少，直接影响混合料路用性能。

集料压碎值是用于衡量集料在荷载作用下抵抗破坏的能力，是衡量集料力学性能的指标。聚氨酯碎石混合料由聚氨酯胶粘剂与集料混合拌制而成，其结构的破坏形式主要包括：聚氨酯胶粘剂与集料的界面破坏和集料破坏致使的贯穿裂缝破坏。故集料的压碎值指标对混合料的强度大小影响不言而喻。但是由于聚氨酯碎石混合料用集料粒径较小，达不到《公路工程集料试验规程》JTG E42 压碎值试验的标准要求，试验过程中根据集料特点做了相应改动，对 3mm~5mm 粒径的集料，选取 2.36mm~4.75mm 粒径的集料进行非标准压碎值试验；对 4mm~6mm、5mm~10mm 的集料则选取 4.75mm~9.5mm 粒径的集料进行压碎值试验，试验后分别过 1.18mm 和 2.36mm 方孔筛，然后计算其压碎值大小。

3.1.5 聚氨酯胶粘剂本身是无色的，聚氨酯碎石混合料透水路面的颜色来源于聚氨酯碎石混合料中所用集料的天然色泽，为了保持集料的特有色泽，严禁对集料进行添加颜料调色。不同产地来源的集料具有不同的颜色，为节约工程成本和具有地域特色，宜就地取材。

3.2 混合料技术指标

3.2.1 本条明确了聚氨酯碎石混合料的技术指标。聚氨酯碎石混合料的技术要求是通过大量的试验得出的。渗水系数是用来衡量材料透水性能的重要指标，鉴于大孔隙材料渗水系数测试时，水的渗透速度较快，很难准确测得水位下降所用时间，结果偏差较大，故增加透水系数来表征聚氨酯碎石混合料透水性能。

3.2.2 聚氨酯碎石混合料跟一般的沥青混合料不同。随着集料公称最大粒径的增加,要保证足够的结构强度,胶粘剂裹覆需要的成膜厚度增加,故聚氨酯碎石混合料随着集料粒径的增大,胶粘剂用量是增加的。

3.3 混合料配合比

3.3.1 聚氨酯碎石混合料配合比设计参照招商局重庆交科院王火明专著《聚氨酯碎石混合料路用性能与工程应用》相关研究成果。聚氨酯胶粘剂的最小用量采用肯塔堡飞散试验确定。肯塔堡飞散试验的目的是评价混合料由于胶粘剂用量或黏结性不足,在交通荷载的反复作用下,混合料表面集料脱落而散失的程度,实验室以马歇尔试件在洛杉矶试验机中旋转撞击规定的次数,混合料试件散落材料的质量的百分率表示。标准肯塔堡飞散试验主要用于研究道路沥青面层材料的最小沥青用量,而聚氨酯碎石混合料不适用该评价方法。其原因为:标准肯塔堡飞散试验是评价沥青面层在行车荷载作用下不产生集料剥落的最少沥青用量的方法,而聚氨酯碎石混合料用于小轿车停车场、园林道路、人行道等轻型慢行道路,显然采用沥青路面的标准进行肯塔堡飞散试验对聚氨酯碎石混合料过于严格。故本规程对肯塔堡飞散试验进行调整,主要调整其旋转次数和飞散损失量的指标要求。

在室内试验的基础上,结合实验结果分析可将肯塔堡飞散试验中旋转 125 转、飞散损失量不超过 20% 的用量定为聚氨酯碎石混合料胶粘剂的最小用量。不同粒径的聚氨酯碎石混合料飞散损失试验结果见图 1 和图 2。

由图 1 可知,当集料为 3mm~5mm 的聚氨酯碎石混合料胶粘剂用量为 1% 时,聚氨酯碎石混合料飞散损失量大,这主要是因为胶粘剂用量不足,致使集料与集料的黏结力不强,在肯塔堡试验机内钢球的撞击作用下集料易脱落;当聚氨酯胶粘剂掺量增大后,聚氨酯碎石混合料飞散损失量减小,当胶粘剂掺量增加到

3.5%和4%时,聚氨酯碎石混合料的飞散损失近乎相同,说明飞散损失量是由于试件受到撞击时表面集料被击碎,与胶粘剂用量掺量大小关系不大;当胶粘剂用量增大到3%左右时混合料飞散损失到达设计要求。所以,集料为3mm~5mm的聚氨酯碎石混合料的最小胶粘剂用量为3%,同时可以得出,集料为5mm~10mm的聚氨酯碎石混合料的最小胶粘剂用量为3.5%。

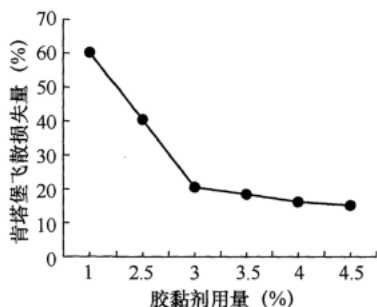


图1 3mm~5mm 聚氨酯碎石混合料飞散损失量示意

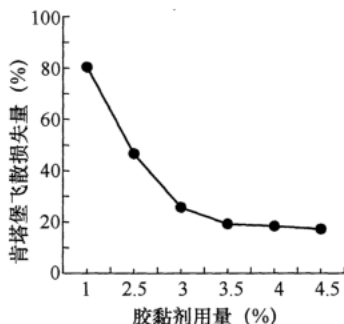


图2 5mm~10mm 聚氨酯碎石混合料飞散损失量示意

当确定了聚氨酯胶粘剂最小用量后,其胶粘剂的最大用量也须确定,由于聚氨酯胶粘剂具有流动性,集料表面形成的黏结层较薄,当胶粘剂用量增加到一定程度后,多余的胶粘剂会下渗到混合料底部,影响混合料的透水性能。在此,引入了“自然裹覆胶粘剂用量”的概念,是指在胶粘剂用量足够大的情况下集料表面自然吸附的胶粘剂总量,用于表征集料表面吸附胶粘剂的能力;高于此用量,混合料内部会产生大量的自由胶粘剂,这部分胶粘剂根本起不到粘结集料的作用,而是向下流淌,填充于混合料孔隙中,故选取“自然裹覆胶粘剂用量”作为聚氨酯胶粘剂用量的理论上限值。

选取各档集料通过胶粘剂自然裹覆测试方法确定初始最大胶粘剂用量,试验结果见表1。

表 1 胶粘剂自然裹覆测试结果

集料规格	3mm~5mm	4mm~6mm	5mm~10mm
试验前石子质量 (g)	200.3	200.0	200.3
试验后石子+胶粘剂质量 (g)	217.2	213.1	217.3
自然裹覆胶粘剂用量 (%)	8.4	6.6	8.5

聚氨酯胶粘剂具有很强的粘附性，在试验中损失现象较为严重；而且与实际施工进行大批量生产不同，室内研究所需混合料较少，胶粘剂的损失对研究结果将产生较大影响。所以，配合比设计过程中需要对初始胶粘剂用量范围加以修正，扣除试验中的损失量，得出最终的胶粘剂用量范围。

测定步骤如下：试验前对接触胶粘剂的容器进行称重→试验后将容器剩余混合料清除干净再称重→两者质量差除以胶粘剂总重即为胶粘剂损失量。

对每次试验后的损失量进行归纳总结，得出各档集料在不同胶粘剂用量下的胶粘剂损失量，试验结果见表 2。

表 2 不同胶粘剂用量下胶粘剂损失量

集料规格	胶粘剂用量 (%)	损失量 (%)
3mm~5mm	2.8	0.25
	7.0	0.37
4mm~6mm	3.0	0.21
	5.5	0.31
5mm~10mm	4.0	0.42
	7.0	0.70

将初始最小胶粘剂用量和初始最大胶粘剂用量减去相应的损

失量即可得到实际的胶粘剂用量范围，试验结果见表 3。

表 3 聚氨酯碎石混合料胶粘剂用量范围

项目	技术要求		
集料粒径 (mm)	3~5	4~6	5~10
胶粘剂用量 (mm)	2.6~6.6	2.8~5.2	3.6~6.3

采用以下步骤确定聚氨酯碎石混合料的最佳胶粘剂用量：

- (1) 确定聚氨酯碎石混合料胶粘剂用量范围；
- (2) 在该胶粘剂用量范围内选取不同胶粘剂用量测定其抗压和抗折强度；
- (3) 绘制抗压和抗折强度随胶粘剂用量变化的曲线；
- (4) 通过强度变化曲线中的“转折点”所对应的横坐标作为最佳胶粘剂用量。

3mm~5mm、5mm~10mm 聚氨酯碎石混合料强度随胶粘剂用量变化曲线见图 3 和图 4。

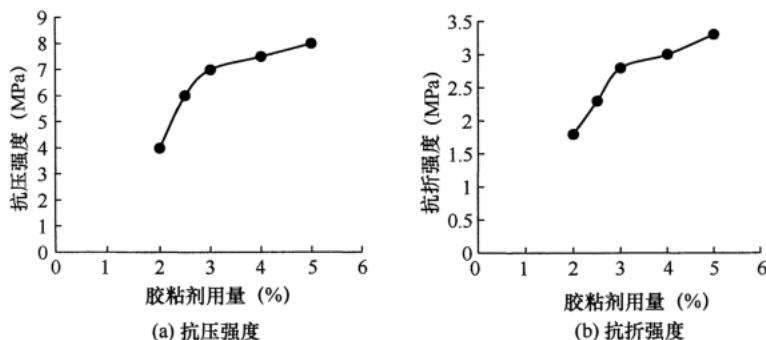


图 3 3mm~5mm 聚氨酯碎石混合料强度随胶粘剂用量变化曲线

根据得到的相关数据，得到聚氨酯胶粘剂的最佳胶粘剂用量，试验结果见表 4。

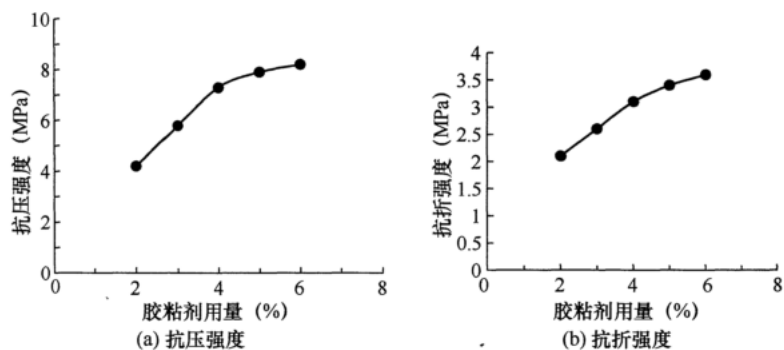


图 4 5mm~10mm 聚氨酯碎石混合料强度随胶粘剂用量变化曲线

表 4 最佳胶粘剂用量计算结果

项目	技术要求		
集料粒径 (mm)	3~5	4~6	5~10
胶粘剂用量 (%)	2.5~3.5	3.0~4.0	3.5~4.5

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.2 聚氨酯碎石混合料模量介于沥青混合料和水泥混凝土之间，既有沥青混合料的柔韧性，又有水泥混凝土的刚度，但整体偏于刚性。鉴于聚氨酯碎石混合料的这种强度特性，聚氨酯碎石混合料透水路面的面层厚度推荐参照水泥混凝土路面结构设计方法（以抗折强度为设计指标）进行设计，通过验算路表弯沉及各层层底拉应力，确定聚氨酯碎石混合料透水路面的合理铺装层厚度。

路面结构验算时，各层材料推荐模量取值范围：基层模量为 1000MPa~2500MPa，土基模量为 20MPa~80MPa。由于各种基层材料模量差别较大，为了能够较好的模拟不同的半刚性基层模量对路面结构的影响，使整个路面设计处于安全，应满足如下要求：

- (1) 使各结构层模量组合处于最不利状态；
- (2) 路面结构层之间均质且连续。

聚氨酯碎石混合料透水路面铺装层厚度的设计流程如下所示：假定铺装层厚度→将各参数指标（表 5）输入路面力学设计软件进行模拟计算→检验该假设厚度下各指标（层底拉应力及设计弯沉）是否满足要求→若不满足要求，重新假设铺装层厚度进行验算。聚氨酯碎石混合料透水路面铺装层厚度推荐值见表 6。

表 5 路面设计各参数指标要求

设计等级	公路等级	设计年限 (年)	标准轴载 (kN)	累计轴载作用次数 (次)
指标要求	四级	15	BZZ-100	3.73E+07

表 6 铺装层厚度推荐值

集料粒径 (mm)	胶粘剂用量 (%)	推荐厚度 (cm)	基层厚度 (cm)
3~5	3	2~3	40~50
4~6	3.5	3~4	
5~10	4	4~5	

4.1.3 与普通路面不同,透水路面除考虑强度要求和施工可行性外,理想的透水路面还应具有足够的厚度,以便使设计降水量能够在路面结构内储存,并向土基不断下渗。因此在具有合适的结构强度的同时,还应对储水、透水能力进行验算。透水路面结构层厚度计算公式(4.1.3)表明,透水路面透水性能设计需要考虑以下条件:①地区降雨强度*i*;②路面结构的透水能力及储水能力;③土基的渗透能力*f(t)*。

透水路面结构层的透水系数*k*,要根据雨水经由面层、基层到达路基顶面的速率 $\omega(t)$ 和路基入渗能力*f(t)*来确定。

$$k = \min\{\omega(t), f(t)\} \quad (1)$$

一般情况下,透水基层的渗透系数要大于透水面层的渗透系数,路基的实际渗透能力要比铺装材料小许多,则 $k = f(t)$ 。路基渗透能力*f(t)*的大小,根据路基压实程度、含水状态、地下温度、地下水位状况等有较大影响,可以按照《公路土工试验规程》JTG 3430-2020中土的渗透试验方法(T0129-1993/T0130-2007)对路基的渗透速度进行测量。

4.2 结构组合设计

4.2.1、4.2.2 土基的渗透系数是影响透水铺装结构透水效果的决定性因素,本两条对土基的渗透系数给出了具体要求。土基渗透系数大于或等于 7×10^{-5} cm/s的城市人行道、非机动车道、人行广场、公园绿道等慢行系统及停车场,可选用全透水结构。软土、湿陷性土、膨胀土等特殊土质不适合直接铺筑全透水

结构。

4.2.3、4.2.4 聚氨酯碎石混合料透水路面从结构上主要分为面层、透水基层、垫层和路基，面层采用聚氨酯碎石混合料；透水基层在面层下，一方面作为路面结构的承重层，具有一定的力学强度，另一方面可作为暂时的储水层；垫层可根据土基的渗透性确定，在路基渗透性良好的路面结构如砂性土路基中可以不设置该层，可通过在垫层与土基之间设置土工织物等反滤隔离层，起到隔离土基细粒料堵塞透水层的过滤作用；当路基土渗透性一般，如黏性土，为了改善土基的水稳状况，提高路面结构的水稳定性和抗冻胀能力，应设置砂垫层。

4.3 面 层

4.3.2 根据工程经验，聚氨酯碎石混合料透水路面面层厚度不宜小于集料最大公称粒径的 5 倍，因此推荐聚氨酯碎石混合料面层厚度如本规程表 4.3.2 所示。并考虑经济性和安全性，选择适宜的聚氨酯碎石混合料面层厚度。

4.3.3 聚氨酯碎石混合料透水路面面层的铺筑设计可根据使用场合、周围环境，设计不同的图案，形状。

4.4 基 层

4.4.1 由于聚氨酯碎石混合料路透水路面的透水性，透水基层在作为路面结构承重层的同时，有些情况下需要作为暂时的储水层，故基层要具有足够的强度、透水性能和良好的水稳定性。如设计有横坡度，基层与面层坡度必须一致，且不得反坡。

4.4.2 按照结合料类型，透水基层包括无结合料的碎石类材料（如级配碎石）、无机结合料的半刚性材料（如水泥稳定碎石）和采用沥青结合料的沥青稳定碎石等，其中级配碎石强度低，模量小，永久变形大，很少采用。

4.4.5 多孔隙水泥稳定碎石透水基层利用了级配碎石的渗透性

与水泥稳定性，具有非常优秀的渗透能力，以及较好的强度，并且方便建设，在工程建设中得到了一定的应用。集料公称最大粒径宜为 26.5mm 或 31.5mm，小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 2%；小于 2.36mm 的颗粒含量不宜大于 5%；小于 4.75mm 的颗粒含量不宜大于 10%。

4.5 垫 层

4.5.1 透水垫层介于透水基层与土基之间。垫层可有效改善土基的湿度和温度状况，保证面层和基层的强度稳定性和抗冻胀能力，扩散由基层传来的荷载，以减小土基所产生的变形，扩大渗透面积，提高透水能力，还可以作为反滤隔离层，防止土基材料进入透水基层。目前，透水垫层可采用粗砂、砂砾、碎石等透水性好的粒料类材料，0.075mm 筛通过率不宜大于 5%。当土基受冻胀影响较小、渗透性较好的砂性土或者底基层为级配碎石时可不设垫层。

4.6 土 基

4.6.1、4.6.2 在设计施工中，通常对于不满足路基用土规定的土类予以置换，置换用土一般采用黏性土或砂性土。

4.7 排 水 设 计

4.7.1、4.7.2 当土壤、土基渗透系数不足，地下水位不满足要求或降雨强度超过渗透量及单位存储量时，雨水会聚集，过量雨水会影响基层稳定性，所以基层结构设计时，应考虑路面下的排水，防止雨季过量的雨水渗入基层。路面下的排水可设排水盲沟。设计的排水盲沟应与道路设计中的市政排水系统相连。

全透型聚氨酯碎石混合料透水路面基层设计与市政重要交通道路相接处，为防止影响交通道路基层，应在相应部位设一定的防护隔离措施。

4.7.3 设计排水系统时可利用市政排水沟或雨水口，聚氨酯碎石混合料直接铺设至排水沟或雨水口。雨水通过聚氨酯透水面层直接排入雨水口中，应把排水沟或雨水口与聚氨酯透水面层接触部分设置成透水结构。

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.1、5.1.2 施工前施工单位应根据合同文件、勘察设计单位提供的施工区域内地下管线等建（构）筑物资料，工程水文地质资料等踏勘施工现场，依据工程特点制定专项施工方案，编制施工组织设计，并报相关单位审批。施工组织设计一般包括施工场地布置、工程进度计划、材料运输与机械、施工方案与技术方案、质量检查与安全措施等。

5.1.4 基层在透水路面工程中非常重要，但很多人对此重视不够。面层施工前应对基层、排水系统等隐蔽部位进行检查验收，验收合格后方可进行聚氨酯碎石混合料面层铺筑。由于水及灰尘对聚氨酯胶粘剂的黏结性能影响较大，在铺设透水面层前必须对基层做清洁、干燥处理，确保干燥、无尘。

5.1.5 聚氨酯碎石混合料透水路面铺筑前，应根据工程所在地的气候环境，确定冬季、雨季和夏季高温时段的作业起止时间，禁止在雨天进行施工。聚氨酯碎石混合料强度形成受温度影响，且温度越高，混合料凝结硬化越快，夏季高温条件不利于聚氨酯碎石混合料透水路面的施工。夏季高温季节进行聚氨酯碎石混合料路面铺筑时，在混合料拌和、运输及摊铺压实时应采取特殊措施，如合理避开高温时段，尽量缩短施工时间等。当夏季日大气温度为 40℃ 及以上时，不宜施工。

5.2 施 工 准 备

5.2.1、5.2.2、5.2.4 聚氨酯碎石混合料透水路面面层铺筑前，应严格控制原材料进场的质量，进场的原材料须三证齐全（产品

质量合格证、化验单质量保证书、检验报告), 必要时应附加产品的使用说明书。聚氨酯胶粘剂进场后应放置在阴凉的储藏室, 避免外部潮湿、光照、外力等因素对胶粘剂的影响, 不同厂家、品牌、生产日期的聚氨酯胶粘剂应分开放置, 混合料制备过程中, 不宜混合使用。施工现场应干燥、平整, 配备防雨、防潮等措施, 保证原材料质量的稳定, 不同原材料堆放时, 应做好相对应的标识, 严格保证原材料的质量。

5.3 试拌、试铺

5.3.1~5.3.4 铺筑试验段是聚氨酯碎石混合料透水路面大面积铺筑前验证配合比设计及完善施工工艺的重要措施。通过试拌、试铺, 可以确定以下内容:

- (1) 检验聚氨酯碎石混合料配合比的可行性, 确定集料粒径选择、聚氨酯胶粘剂最佳用量、混合料物理力学性能和路用性能等, 保证施工配合比;
- (2) 确定面层铺筑厚度;
- (3) 确定聚氨酯碎石混合料从拌和到压实成型所需要的时间, 编制最佳的施工机械组合;
- (4) 确定成型方法、压实工艺、养生时间等关键技术参数。

5.4 搅拌、运输

5.4.1 聚氨酯胶粘剂的称量必须准确, 胶粘剂用量过小或过大均会严重影响工程质量。首次搅拌聚氨酯碎石混合料时, 搅拌设备会附着一定量的胶粘剂, 应适当增加胶粘剂用量, 再次搅拌时无需增加。

5.4.3、5.4.4 聚氨酯碎石混合料透水路面铺筑面积大, 混合料用量多时, 必须采用机械搅拌。由于混合料凝结时间较快, 拌和后不宜长时间留置, 故搅拌机配制容量应根据工程大小、施工进度、施工顺序和运输工具等条件选择。选取的搅拌场地应靠近作

业现场,要确保运输、摊铺、压实总时间控制在混合料凝结硬化时间内。

5.4.7 由于聚氨酯碎石混合料凝结时间快,从搅拌机出料、运至施工地点摊铺、压实直至表面防滑处理完毕必须要在一定时间以内完成,因此控制施工时间尤为重要。招商局交科院王火明团队在专著《聚氨酯碎石混合料路用性能与工程应用》及相关文献中进行了说明,本规程参照相关成果,提出不同温度下聚氨酯碎石混合料允许施工时间。

5.5 摊铺、压实

5.5.2 铺筑聚氨酯碎石混合料透水路面试验段时,一般根据聚氨酯碎石混合料的体积和铺筑面积控制,也可根据试验段具体测得的数据进行确定。

5.5.4 为增强表面耐磨程度,待聚氨酯碎石混合料透水面层固化前,在面层按照 $100\text{g}/\text{m}^2 \sim 150\text{g}/\text{m}^2$ 铺 100 目石英砂粉,或者在聚氨酯透水面层喷涂或者滚涂 $150\text{g}/\text{m}^2 \sim 200\text{g}/\text{m}^2$ 防滑材料,以增强路面的防滑效果(视施工现场需要,可以适当增加或减少石英砂的用量,达到全亚光或半亚光效果)。

5.6 养生、管理

5.6.1、5.6.2 聚氨酯碎石混合料透水路面摊铺、压实并检查合格后,须自然养生一定时间。聚氨酯碎石混合料透水路面固化时间短,施工后须封闭交通,防止表面污染和破坏,养生时间应根据施工环境而定。聚氨酯碎石混合料透水路面铺筑完成后,应暂时封闭道路,封闭道路主要有以下两个目的:

(1) 保持混合料空隙内清洁,防止泥土、油类物质等污染路面;

(2) 避免聚氨酯碎石混合料透水路面未达到设计强度而受到外力冲击损坏。

道路封闭时间可根据温度和湿度进行适当调整，一般养生至24h（养生温度28℃）方可开放交通，养生时间可根据养生温度进行适当调整，当养生温度较高时可提前开放交通。

5.7 季节性施工

5.7.2~5.7.5 本条提出聚氨酯碎石混合料透水路面雨期施工和高温施工的有关规定，施工期间应密切关注天气情况，做好防范措施。

6 质量验收与维护

6.1 一般规定

6.1.1~6.1.4 聚氨酯碎石混合料透水路面施工应根据全面质量管理的要求,建立健全有效的质量保证体系,对施工各工序的质量进行检查评定,使其达到规定的质量标准,确保施工质量的稳定性。聚氨酯碎石混合料透水路面应加强施工过程质量控制,实行动态质量管理。

6.2 质量验收

I 主控项目

6.2.1 本条对聚氨酯碎石混合料透水路面所用的原材料,包括聚氨酯胶粘剂、集料、聚氨酯碎石混合料的质量检验作出了规定,其检验标准应符合本规程第3章的规定。

II 一般项目

6.2.3、6.2.4 聚氨酯碎石混合料透水路面质量的好坏与土基、基层有着密切联系。本条对聚氨酯碎石混合料透水路面施工前土基和基层的检查验收作出了规定,土基检查验收合格后方可进行透水基层的铺筑,基层检查验收合格后方可进行聚氨酯碎石混合料面层铺筑。

6.2.6 本条对聚氨酯碎石混合料透水路面面层质量检查和交工验收作出了规定,抗滑性能试验方法和渗水系数测试方法应符合现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450 中 T 0964和 T 0971 的规定。

6.3 维 护

6.3.1 聚氨酯碎石混合料透水路面投入使用后，随着使用时间的增长透水铺装层的空隙易被泥土、灰尘等污染物堵塞，降低其透、排水功能。因此，要做到预防与治理相结合，应安排专门维护人员定期清理污染物。具体的除污方式有：高压水枪（3MPa～5MPa）冲洗、压缩空气冲刷空隙去除堵塞物、真空泵吸出堵塞物等。当采用高压水枪冲刷时，根据具体工程选择适宜的冲洗压力，避免对原路面造成破坏。

6.3.3 若损坏面积较小，清除损坏部位脱落、疏松的集料与杂质后，即可填补新拌的聚氨酯碎石混合料进行修补；若损害面积较大，应先将路面疏松碎石及周边部分铲除，挖成规则的坑槽，然后清洗去除空隙内的灰尘及杂物，待坑槽洁净干燥后，填补新拌聚氨酯碎石混合料，用整平机整平，常温至规定时间即可开放交通。