

公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程  
(征求意见稿)  
编制说明

标准起草组

2025 年 10 月

# 目 录

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人 .....                     | 3  |
| 二、制定标准的必要性及意义 .....                              | 3  |
| 三、主要工作过程 .....                                   | 4  |
| (一) 主要编制工作概述 .....                               | 4  |
| (二) 标准阶段审查情况 .....                               | 5  |
| 四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系 .....                | 6  |
| (一) 制定标准的原则 .....                                | 6  |
| (二) 制定标准的依据 .....                                | 7  |
| (三) 与现行法律、法规、标准的关系 .....                         | 7  |
| 五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述 .....                | 7  |
| (一) 主要条款说明 .....                                 | 7  |
| (二) 主要技术指标、参数、实验验证的论述 .....                      | 12 |
| 六、重大意见分歧的处理依据和结果 .....                           | 19 |
| 七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内、外同类标准水平的对比情况 ..... | 19 |
| 八、贯彻标准的措施建议 .....                                | 19 |
| 九、其他应说明的事项 .....                                 | 19 |

## 一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据中国交通运输协会于 2023 年 2 月 7 日发布的《关于 2023 年度第一批拟立项团体标准项目的公示》公告文件要求,《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规范》团体标准正式获得立项,由广东盛瑞科技股份有限公司联合东南大学、新疆北新路桥集团股份有限公司、佛山市建盈发展有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司等多家单位作为起草单位,负责本标准的编制工作。

主要起草人:成浩、杨声检、王佳、刘尧明、邓永锋、刘洪利、宋许根、王川耀、吴乐宾、王亚南、胡孝梁、占少虎。

## 二、制定标准的必要性及意义

泡沫聚合土技术是以原有泡沫轻质土技术为基础,创新性地注入工业固废协同激发、工程渣土资源化利用技术发展而成,通过多固废协调激发处理技术制备低成本高性能胶凝材料以全部或部分替代水泥,并与工程渣土制备而成的泥浆、泡沫混合制备成轻质填料,以满足公路工程领域的需求。泡沫聚合土既解决了常规泡沫轻质土水泥用量过高的问题,降低了工程造价,又利用了常规泡沫轻质土换填产生的弃方,减少了工业固废和工程渣土排放,节约资源,保护环境。用于聚合轻质土的工业固废种类主要是:赤泥、碱渣、磷石膏、陶瓷抛光渣、粉煤灰等;工程渣土种类主要是粘土、粉质粘土、粉土、淤泥及淤泥质土、膨胀土、湿陷性黄土、高液限粘土等,亦可来源于盾构弃渣、洗砂弃渣、钻孔桩泥浆等。

现浇泡沫聚合土是在传统泡沫轻质土技术基础上,研发的一种新型绿色筑路和填充材料。现浇泡沫聚合土延续了传统泡沫轻质土具有的轻质性、自立性、施工便捷性及良好的路用性能等优势,同时通过增加废弃土及工业固废对原材料组分进行优化,实现提升废弃土资源化利用率及助力工业固废消耗的目的,同时也可实现增大容重提升抗浮性能的目的,避免了传统泡沫轻质土工程应用所面临的弃方处置、抗浮及成本较高等问题,与传统泡沫轻质土相比更具经济性、环保性,可广泛用于软基路堤、软基桥台背填筑、桥梁减跨、道路改扩建、山区陡坡路段填筑等公路工程领域,亦可用于地下结构减载、采空区充填、建筑基坑回填、城市综合管廊回填。目前在沈海高速改扩建工程(南村至日照段)、湖北省武天高速公路工程等多个项目应用中取得了良好的效果。

目前,国内现行行业标准、团体标准和地方标准中,交通运输部行业标准《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)及《公路路基施工规范》(JTG/T 3610-2019)、

住建部行业标准《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》(CJJ/T177-2012)等,规定了泡沫轻质土路基的主要性能指标标准,以及轻质土路基设计与施工的一般技术要求。中国公路建设行业协会标准《公路工程泡沫轻质土设计与施工技术规范》、中国工程建设标准化协会标准《现浇泡沫轻质土技术规范》(ECS249-2008),以及正在编制的公路学会团体标准《公路泡沫轻质土应用技术指南》、中国工程建设标准化协会公路分会标准《公路工程泡沫轻质土应用技术规程》等,在行业标准的基础上,对泡沫轻质土应用技术要求进行了细化和补充。上述标准均以水泥基泡沫轻质土为对象,并没有涉及聚合轻质土技术应用、聚合轻质土路基设计与施工技术要求等内容,对聚合轻质土的推广应用指导性不强。

综上所述,现浇聚合轻质土新技术既改善了泡沫轻质土的路用性能,提升了路基使用品质,降低了工程造价,又减少了城市工程渣土排放,利用了工业固废,对节约资源、保护环境,建设绿色交通具有重要意义。为适应新时期绿色交通建设发展的需要,提高现浇聚合轻质土路基设计与施工技术水平,保证路基工程质量,在现行国家和行业标准规范的基础上,编制出针对性的《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》团体标准十分必要。

### 三、主要工作过程

#### (一) 主要编制工作概述

广东盛瑞科技股份有限公司作为牵头单位,成立了标准起草工作小组,经过技术调研、咨询,收集、消化有关资料,并结合设计、材料、施工工艺和应用技术发展趋势,在充分总结国内外技术研究与应用基础上,于2023年1月编写完成了团体标准《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》的立项申请材料。

2023年1月31日由中国交通运输协会标准化技术委员会组织召开了2023年度第一批第七次团体标准立项会议,广东盛瑞科技股份有限公司代表标准编制组进行了标准立项答辩,并于2023年2月7日正式获得立项。

根据标准编制要求,广东盛瑞科技股份有限公司作为标准编制牵头单位,着手成立了标准编制工作组,组织标准编制的相关工作。标准编制工作组积极收集有关本标准的各类信息,并组织相关的调研和试验验证工作,联络协作单位,最终明确了标准起草工作计划、编制大纲,明确各成员单位任务分工及各阶段进度时间,结合标准制定工作程序的各个环节,进行了探讨和研究。

编制工作大纲草案稿通过微信、邮件等方式提交给参编单位和行业专家分别

审核，综合了多方意见，确定了标准起草编制的总体计划内容，形成了正式的标准工作大纲文件。

标准起草工作组按照立项审查会议内容，结合编制工作大纲进行认真分析、理解和总结，迅速开展标准的征求意见稿的编制以及试验项目的实施工作，于2023年11月底完成了国内外调研和试验验证工作，2024年7月中旬编写完成了团体标准《公路工程现浇泡沫聚合土技术规程》标准草稿，并于2025年3月完成标准的大纲评审。根据大纲评审专家意见，标准编制组对部分章节名称和内容进行了调整，并明确了标准名称，于2025年9月份向协会提交了《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》（征求意见稿）并通过协会组织的专家评审会。

## （二）标准阶段审查情况

### （1）标准大纲审查

2025年3月19日，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《公路工程现浇泡沫聚合土技术规程》团体标准的大纲审查会议，审查专家组同意标准大纲通过审查。根据审查专家组提出的相关建议，标准起草组对标准内容和研究工作进行了相应的补充完善，主要包括：

一是进一步扩大原材料及应用场景的调研范围，在原材料调研方面，除本标准中提到的常见工业固废如矿渣、粉煤灰、钢渣等，还调研了建筑垃圾磨细粉、石粉、碱渣、电石渣、钛石膏、赤泥、锰渣等国内不同地区的典型工业固废应用潜力；在应用场景调研方面，主要围绕目前泡沫轻质土在公路工程中的应用场景展开，调研泡沫聚合土在不同应用场景下对泡沫轻质土的可替代性及优势。

二是进一步调整优化了标准章节名称及内容，修改了第8章的章节名称，并对标准内容的格式按照指导性文件进行了全面修改和完善，以保证标准的规范性和。

三是进一步明确了标准内容，根据调整后的标准内容，初步确定标准名称为《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》。

### （2）征求意见稿草案审查

2025年9月5日，中国交通运输协会标准化技术委员会在北京组织召开了《公路工程现浇泡沫聚合土技术规程》团体标准的征求意见稿审查会议，审查专家组同意通过审查。根据专家组提出的相关意见和建议，起草组对标准草案和编制说明进行了相应补充完善，主要包括：

一是将标准名称修改为《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》；

二是调整了章节结构，将“5 配合比”改为“5 配合比设计”、“6 设计”改为“6 结构设计”；

三是删除了标准草案中的“前言”及部分附录内容；

四是对第 5 章节、第 7 章节中的流程图进行了修改完善，并根据完善后的流程对对应标准内容进行了修改；

五是对标准中的条文说明进行了确认，并按要求将条文说明补充至编制说明中，进一步规范了标准内容。

六是对第 3 章节“术语和定义”内容进行了进一步简化，与其它现行标准中相同的术语或定义直接引用，不再重复编写。

## 四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

### （一）制定标准的原则

《公路工程现浇泡沫聚合土应用技术规程》编制遵循我国标准体系，借鉴国内其他省份相关标准、规范，在吸收国内外先进的研究成果和工作经验的基础上编制本标准，具有科学性和适用性。标准各个方面均遵循国家有关标准和行业标准，达到可应用、规范化的目的。规范按照《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T1.1-2020）的规定起草，并遵循以下原则开展。

（1）适应性：标准中的材料和性能、设计、配合比、施工和质量检验等内容与当前相关技术如泡沫轻质土技术发展水平相适应，各项要求易于实施。同时本标准定位为公路工程领域技术规范，适用于湖北省新建或改扩建公路项目泡沫聚合土路基，编制技术内容将结合工程实际充分考虑实施的可行性和可操作性。

（2）先进合理性：标准编制将积极吸纳近年来国内外公路工程及其他建设工程领域轻质材料技术应用的最新研究成果，以及相关领域成熟的技术和好经验、好做法，掌握国际先进标准的动态，积极采用经验证符合我国国情的国际标准和国外先进标准，在预期可达到的条件下，积极地把先进技术纳入标准。同时编制标准时要以满足实际需要出发，杜绝一味地追求高性能、高指标，避免造成经济浪费，做到合理可行。

（3）协调一致性：标准编制将遵循现有法律法规的规定，并保证标准间的协调，编制时将注意避免与相关法律法规和标准出现重复、交叉和矛盾等情况，给标准造成困难，如标准中制定的技术指标将不低于现有国家及行业标准的要求。标准编制时将尽可能与交通运输行业现有标准规范做到统一，在表述同一概念或

相同内容时，采用的术语及标准结构做到一致，便于使用人员的理解和标准间的衔接。

（4）规范性：标准编制将按照《中华人民共和国标准化法》、《公路工程行业标准制修订管理导则》（JTG1002-2022）等文件要求开展，以确保标准文本的编写形式、标准内容的制定原则、标准制定的工作流程等均规范科学。

（二）制定标准的依据

在编制标准过程中，结合我国公路行业和其他行业有关泡沫轻质材料应用实践情况，重点参考了公路工程轻质路基材料、结构设计、施工、质量验收等相关法律法规、政策文件、技术指导、标准规范、书籍文献等。

根据标准引用情况，分别以规范性引用文件和参考文献形式列出。

（三）与现行法律、法规、标准的关系

本标准符合现行法律法规、政策文件的要求，与现行法律、法规、标准相协调、相衔接、无冲突，对在本标准中所用到的标准采用全文或部分引用的方式。

目前尚无与本标准相关联的强制性国家标准

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

本标准主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、原材料、配合比设计、结构设计、施工和质量控制。

（一）主要条款说明

1 范围

本章概述了标准的主要技术内容（原材料、配合比设计、结构设计、施工和质量控制）和明确了适用范围，即适用于新建、改扩建公路工程现浇泡沫聚合土路基工程。

2 规范性引用文件

本章列出了引用的国家标准、行业标准共计 12 个，均为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

表 1 规范性引用文件清单

| 章条          | 规范性引用文件                  |
|-------------|--------------------------|
| 4.1.2       | GB 175 通用硅酸盐水泥           |
| 4.2.3       | GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰  |
| 5.2.5、5.2.6 | GB/T 11969 蒸压加气混凝土性能试验方法 |

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| 4.2.2 | GB/T 18046 用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉 |
| 4.5.1 | JGJ 63 混凝土用水标准               |
| 6.1   | JTG C20 公路工程地质勘探规范           |
| 6.2   | JTG D30 公路路基设计规范             |
| 8.1.1 | JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准       |
| 6.4.5 | JTJ/T 019 公路土工合成材料应用技术规范     |
| 4.4   | JC/T 2199 泡沫混凝土用泡沫剂          |
| 7     | JTG/T 3610 公路路基施工技术规范        |
| 4.5.2 | CJJ/T 177 气泡混合轻质土填筑技术规程      |

### 3 术语和定义

本章列出了需要定义的术语，包括地聚物、泡沫聚合土、发泡剂、灰土比、水固比共 5 个。

### 4 原材料

本章列出了泡沫聚合土的原材料具体标准。

4.1 本条提出所用水泥的推荐强度等级和种类，并应复合标准规定。

4.2 本条提出了可用于泡沫聚合土的地聚物的种类，并提出矿渣粉、粉煤灰、钢渣粉、磷石膏和各类惰性材料的理化性能指标。

4.3 本条提出所用原料土应满足的性能指标。

4.4 本条提出发泡剂应满足的性能指标。

4.5 本条提出拌合用水和外加剂应满足的性能指标。

### 5 配合比设计

#### 5.1 一般规定

本条为配合比设计的一般规定，泡沫聚合土的技术要求应根据实际情况与设计需要确定，且应根据胶凝材料的种类和原料土的物理力学性质，进行配合比试验和设计

#### 5.2 技术要求

5.2.1 本条提出泡沫聚合土强度等级的划分标准。

5.2.2 本条提出泡沫聚合土湿密度等级的划分标准。

5.2.3 本条提出各等级公路路基的泡沫聚合土技术指标要求。

5.2.4 本条提出不同湿密度等级时，泡沫聚合土浆料应满足的流值范围。

5.2.5 本条提出泡沫聚合土的体积稳定性要求，包括消泡率、标准沉降距和干燥收缩值。

5.2.6 本条提出泡沫聚合土的耐久性要求，包括干湿循环强度系数和软化系数。

### **5.3 配合比试配**

5.3.1 本条提出配合比试配所应满足的要求。

5.3.2 本条提出配合比试配步骤，依次分别为：计算称量原材料，并制备浆料；将泡沫与浆料混合；测试流值、湿密度消泡率和沉降率；测试特定龄期的试块抗压强度。

### **5.4 配合比计算**

本条提出泡沫聚合土试配抗压强度与设计抗压强度应满足的关系、拌合料制备应符合的要求以及配比计算公式。

## **6 结构设计**

### **6.1 一般规定**

本条提出泡沫聚合土工程设计前应开展的准备工作以及明确了设计应包含的内容。

### **6.2 设计计算**

本条提出泡沫聚合土路基应进行稳定性、地基沉降计算，抗浮计算，并满足JTG D30 要求

### **6.3 路基断面设计**

6.3.1 本条提出泡沫聚合土应用于软基路段路基填筑时的设计要求。

6.3.2 本条提出泡沫聚合土路基的包边土设计要求。

6.3.3 本条提出泡沫聚合土应用于一般路段桥台背填筑时的设计要求。

6.3.4 本条提出泡沫聚合土应用于软基路段的桥台背填筑时的设计要求。

6.3.5 本条提出泡沫聚合土应用于加宽路基填筑时的设计要求。

6.3.6 本条提出适用于筑路材料匮乏的地区的组合填料路基填筑设计要求。

6.3.7 本条提出泡沫聚合土可用于溶洞、采空区充填。

### **6.4 附属工程设计**

6.4.1 本条提出泡沫聚合土顶面、与常规路基土体缓坡衔接面和侧面临空面

应设置保护结构。

6.4.2 本条提出保护壁应符合的规定，包括壁材的种类、耐久性、强度、外观质量、修筑方式和保护壁基础的材料规格。

6.4.3 本条提出防排水设计要求，包括排水和防水措施、渗水盲沟种类和防渗土工膜材质。

6.4.4 本条提出抗滑设计要求，包括需设置抗滑措施的高度、抗滑锚固件规格和抗滑锚固件设置方式。

6.4.5 本条提出内部构造设计要求，包括抑制裂缝的土工格栅设计和调整差异变形的变形缝设计。

6.5.6 本条提出土工格栅设置的要求。

## **7 施工**

### **7.1 一般规定**

本条提出了泡沫聚合土路基施工前应开展的准备工作以及明确了泡沫聚合土路基施工应包含的工作内容。

### **7.2 施工准备**

本条规定施工前应了解图纸，编制施工组织计划、做好基底准备并在合适气候条件下施工。

### **7.3 现场准备**

7.3.1 本条规定现场拌合制备设备，及其计量标定。

7.3.2 本条规定浇筑设备的选型和功能。

7.3.3 本条规定发泡装置应满足的要求。

7.3.4 本条规定设备应具有原材料自动化计量功能，可调节浆体和泡沫流量。

7.3.5 本条规定生产过程中材料计量精度。

7.3.6 本条规定泡沫聚合土浆料在储料装置中的停滞时间。

### **7.4 浇筑与输送**

本条规定泡沫聚合土浇筑输送方式、单个浇筑区规模、单层浇筑厚度、变形缝设置、出料口高度、浇筑方向、浇筑收尾方式、施工时间、连续浇筑标准和极端天气保护措施。

### **7.5 养生**

7.5.1 本条规定浇筑层保湿养护条件。

7.5.2 本条规定养生材料和持续时间。

7.5.3 本条规定用于路基顶部路面结构层施工时，维护处理方式。

## **8 质量控制**

### **8.1 一般规定**

本条规定泡沫聚合土路基质量检验与评定应符合的标准、验收方式等，并明确质量保证资料的范围。

### **8.2 原材料检验**

本条规定主要原材料检验项目及检验方法，以及辅助工程材料检验方法。

### **8.3 施工质量检验**

8.3.1 本条规定施工质量检验项目、检验方法及检验频率。

8.3.2 本条规定耐久性能检验指标。

## **附录 A 拌合物取样及试样制备**

### **A 1 浆料拌合**

本条规定试验用浆料拌合方式、环境条件、材料选择、发泡方式和试验用量。

### **A 2 泡沫聚合土制备**

本条规定试验用材料计量方式、混合步骤、机器参数和施工现场取样方式。

## **附录 B 湿密度及流值试验**

### **B 1 试验仪器**

本条规定试验所用仪器类型和仪器参数。

### **B 2 湿密度测试**

本条规定湿密度测试步骤和结果计算方式。

### **B 3 流值测试**

本条规定流值测试步骤和结果计算方式。

## **附录 C 体积稳定性试验**

### **C 1 消泡试验**

本条规定消泡试验用料、试验仪器种类和参数、测定步骤以及结果计算方式。

### **C 2 标准沉降距测试**

本条归档标准沉降距试验用料、试验仪器种类和参数、测定步骤、结果计算

方式和不良检测方式。

## **附录 D 浸水软化性能试验**

### **D 1 适用范围**

本条适用于测定泡沫聚合土吸水软化性能。

### **D 2 仪器设备**

本条规定浸水软化性能试验使用的仪器、设备应满足的要求。

### **D 3 试件制作**

本条规定试件制作及试样取样方法。

### **D 3 计算方法**

本条规定浸水软化系数计算方法和数据处理方式。

## **（二）主要技术指标、参数、实验验证的论述**

### **1、室内试验**

针对现浇泡沫聚合土的物理力学性能开展了大量的室内试验研究，主要试验内容包括：湿密度及流值试验、体积稳定性试验、力学性能试验、耐久性试验、微观测试试验。



图 1 流值测试



图 2 准干密度测试

湿密度及流值试验验证材料施工可行性，湿密度等级范围 D800~D1600，流值范围 180mm~220mm；体积稳定性试验衡量浇筑质量，消泡率不大于 5%，沉陷率不大于 3%；力学性能验证公路使用性能，满足不同路基部位的抗压强度要求；耐久性试验验证长期使用的可靠性；微观测试试验，分析泡沫聚合土的反应机理和生成产物。

选取了不同类型的原料土分别制备了泡沫聚合土，由表 2 可见湿密度和流值都能满足施工的要求，28d 抗压强度也能满足《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）中对泡沫轻质土的强度要求。选取掺粘土和赤泥的泡沫聚合土分别进行了耐久性试验，其结果如表 3 所示，从表中可知，随着湿密度增加，各项耐久性参数基本呈增长的趋势，说明湿密度越高，耐久性越好。

表 2 泡沫聚合土试验数据

| 原料土 | 设计湿密度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 灰土比  | 水固比  | 实测湿密度<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 流值<br>(mm) | 抗压强度 (MPa) |      |      |
|-----|-------------------------------|------|------|-------------------------------|------------|------------|------|------|
|     |                               |      |      |                               |            | 7d         | 14d  | 28d  |
| 粘土  | 800                           | 1.04 | 0.94 | 810                           | 185        | 0.85       | 1.15 | 1.27 |
|     | 1000                          | 0.69 | 0.99 | 1020                          | 185        | 0.91       | 1.39 | 1.51 |
| 淤泥土 | 800                           | 1    | 0.8  | 805                           | 205        | 0.4        | 0.49 | 0.67 |
|     | 1000                          | 1    | 0.8  | 1010                          | 215        | 0.77       | 1.08 | 1.34 |
| 赤泥  | 800                           | 1    | 1.1  | 794                           | 234        | 0.7        | 0.78 | 0.86 |
|     | 1000                          | 1    | 1.1  | 991                           | 268        | 1.26       | 1.32 | 1.45 |
| 粉土  | 800                           | 1    | 0.5  | 805                           | 176        | 0.41       | 0.48 | 0.69 |
|     | 1000                          | 1    | 0.5  | 1003                          | 199        | 0.94       | 0.81 | 1.18 |

表 3 泡沫聚合土耐久性试验数据

| 原料土 | 试验项目   |        | 湿密度(kg/m <sup>3</sup> ) | 检测结果 |
|-----|--------|--------|-------------------------|------|
| 粘土  | 干湿循环试验 | 干湿循环系数 | 800                     | 0.73 |
|     |        |        | 900                     | 0.83 |
|     |        |        | 1000                    | 0.96 |
|     | 软化系数试验 | 软化系数   | 800                     | 1.06 |
|     |        |        | 900                     | 1.20 |
|     |        |        | 1000                    | 1.10 |
|     | 耐碱腐蚀试验 | 耐碱腐蚀系数 | 800                     | 1.08 |
|     |        |        | 900                     | 1.21 |
|     |        |        | 1000                    | 0.95 |
| 赤泥  | 干湿循环试验 | 干湿循环系数 | 800                     | 0.75 |
|     |        |        | 900                     | 0.97 |
|     |        |        | 1000                    | 1.00 |
|     | 软化系数试验 | 软化系数   | 800                     | 0.92 |
|     |        |        | 900                     | 0.93 |
|     |        |        | 1000                    | 1.00 |
|     | 耐碱腐蚀试验 | 耐碱腐蚀系数 | 800                     | 0.94 |
|     |        |        | 900                     | 1.03 |
|     |        |        | 1000                    | 1.42 |

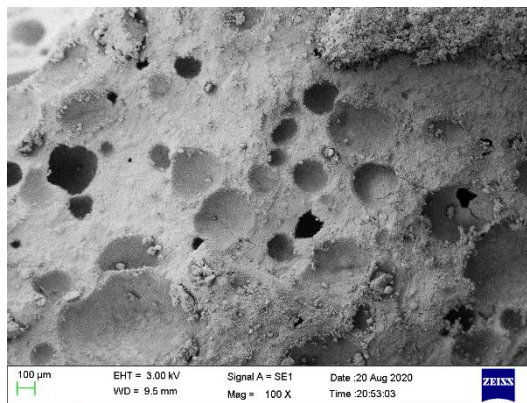


图 3 湿密度 1000kg/m<sup>3</sup> 泡沫聚合土扫描电镜图（100 倍）

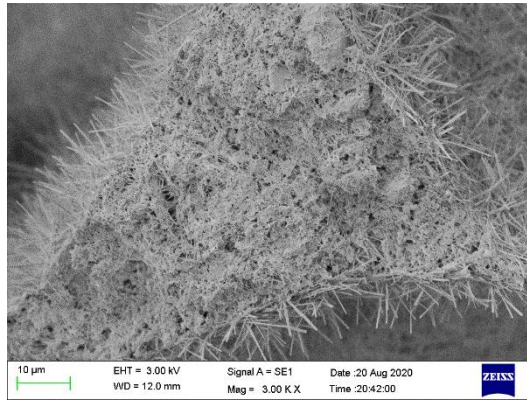


图 4 湿密度  $1000\text{kg/m}^3$  泡沫聚合土扫描电镜图（3000 倍）

SEM 微观测试结果表明：聚合土内部气泡分布均匀，以独立封闭泡孔存在。图 4 中可见生成了大量针棒状钙矾石，有利于泡沫聚合土结构更密实，强度和耐久性更佳。

## 2、现场测试

目前针对泡沫聚合土成品质量监测均参照《气泡混合轻质土填筑工程技术规程》（CJJ/T177）以及其它的地方标准或团体标准对传统泡沫轻质土浇筑体的强度检验方法，通过在浇筑管的管口取料，试模制作试块标养后测试无侧限抗压强度，难以直接对泡沫聚合土路基实际施工质量进行评价。

为了增加对浇筑后的填筑体质量进行检验，增加可靠的技术指标对实体结构的质量检验，加强对泡沫聚合土施工质量的监控，客观、公正的评价泡沫聚合土实体工程质量。依托佛山市新均揽路泡沫聚合土试验段、沈海高速改扩建工程（南村至日照段）泡沫聚合土工程，编制组借鉴钻芯样法和轻型圆锥动力触探法，对不同湿容重的泡沫聚合土浇注体开展了现场试验，验证两种方法对浇筑体的质量检验的可行性和可靠性。

### （1）轻型动力触探（N10）

根据现场的养护条件，利用落锤式轻型动力触探设备，在路基顶面养护至 7~14d、14~28d 和 >28d 分别进行测试，现场的检测如图 5 所示。





图 5 泡沫聚合土现场动力触探测试 (N10)

区别于传统路基的土料的差异和分层压实的不同,现浇轻质聚合土的分层浇筑和养护过程趋近一致。因此在现场进行测试时,不必类似于传统碎散性材料填筑路基层层测试,只需要选取代表性位置和深度即可。根据测试位置轻质土的浇筑厚度,取 3~4 层浇筑厚度,得到每个测试点位 6 组测试值即 180cm 深度即可。得到现场的检测数据如表 4~6 所示。

表 4 轻型动力触探 (N10) 测试数据(龄期 7~14d)

| 入土深度 (cm) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|
| 点位 1 锤击次数 | 29 | 28 | 20 | 38  | 39  | 29  |
| 点位 2 锤击次数 | 28 | 27 | 24 | 34  | 32  | 32  |
| 点位 3 锤击次数 | 32 | 27 | 25 | 33  | 36  | 32  |

表 5 轻型动力触探 (N10) 测试数据(龄期 14~28d)

| 入土深度 (cm) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|
| 点位 1 锤击次数 | 34 | 35 | 40 | 35  | 37  | 41  |
| 点位 2 锤击次数 | 39 | 34 | 31 | 30  | 33  | 34  |
| 点位 3 锤击次数 | 38 | 40 | 35 | 35  | 38  | 30  |

表 6 轻型动力触探 (N10) 测试数据(龄期 >28d)

| 入土深度 (cm) | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|
| 点位 1 锤击次数 | 42 | 42 | 35 | 41  | 36  | 34  |
| 点位 2 锤击次数 | 47 | 33 | 31 | 37  | 31  | 34  |
| 点位 3 锤击次数 | 40 | 39 | 31 | 37  | 42  | 34  |

根据现浇泡沫聚合土的成型条件及性状研究,可以将泡沫聚合土作为轻质岩和粉土进行处理。将数据代入公式 (1) 和 (2) 得:

$$N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i \quad (1)$$

$$R = (0.8 \times N - 2) \times 9.8 \quad (2)$$

其中  $R$  为地基容许承载力 (KPa),  $i$  为点位数,  $N$  为平均锤击数。

得承载力如表 12 所示, 不同龄期承载力趋势如图 6 所示。

表 7 路基承载力 (N10) 计算结果

| 龄期 (d) | 承载力 $R$ (KPa) |        |        |
|--------|---------------|--------|--------|
| 7~14   | 215.6         | 192.08 | 160.72 |
|        | 254.8         | 262.64 | 223.44 |
| 14~28  | 270.48        | 262.64 | 254.8  |
|        | 239.12        | 262.64 | 254.8  |
| >28    | 317.52        | 278.32 | 233.89 |
|        | 280.93        | 265.25 | 246.96 |

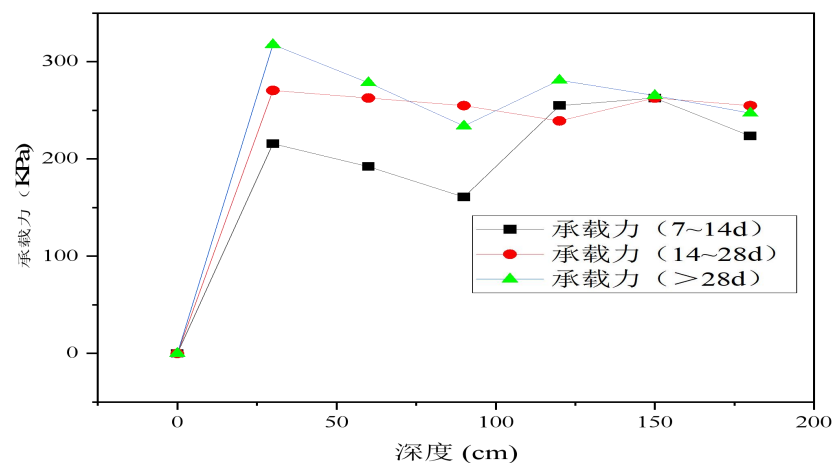


图 6 不同龄期路基承载力 (N10) 趋势图

由表 7 和图 6 可知, 泡沫聚合土路基的轻型动力触探 (N10) 的路基承载力测试结果。龄期养护 7~14d 承载力最大值为 262.64KPa, 最小值为 160.72KPa; 龄期养护 14~28d 承载力最大值为 270.48KPa, 最小值为 239.12KPa; 龄期养护 >28d 承载力最大值为 317.52KPa, 最小值为 233.89KPa。可以看出, 随着龄期增长的养护下路基的承载力水平进一步提高。在不同龄期同一深度之下, 出现的异常的承载力大小差异, 结合现场条件的分析来看, 应该是属于养护条件在分层浇筑时, 考虑工期和雨季的因素在内的连续浇筑和间歇浇筑所带来。考虑到不同龄期下的路基地基承载力均大于 120KPa, 均满足一般路基的承载力水平, 在大的

发展规律及结果符合规范要求的前提下,这种局部异常可以考虑为测量和养护条件的差异,予以忽略。

(2) 现场取芯试验

为掌握浇筑完成后现浇泡沫聚合土路基路床强度分布规律及浇筑均匀性,现场检测单位对浇筑成型后的路基路床表面进行了取芯。取芯周期为路基顶面浇筑完成后的 7~14d 内、14~28d 内和 >28d (50d)。取芯位置为 K1+248、K1+263、K1+293 和 K1+310 所在断面。依照取芯深度和不同点位的浇筑进度,分两个浇筑层取得距路基顶面 $\geq 0.6\text{m}$  深度的芯样。在室内将试块切割成以 $\leq 0.2\text{m}$ 、 $\leq 0.4\text{m}$ 、 $\leq 0.6\text{m}$  为三层深度,直径 $\times$ 高度为  $150\text{mm}\times 150\text{mm}$  的抗压强度小试块。取得试块后即分组进行室内无侧限抗压试验,现场取芯及样品如图 7~8 所示。



图 7 现场取芯芯样示意图

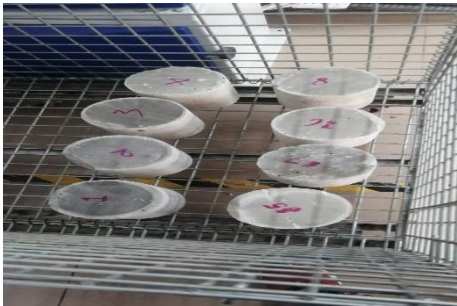


图 8 抗压试验试块

无侧限抗压强度数据如表 8 所示。

表 8 无侧限抗压强度数据

| 养护龄期 (d) | 试块编号 | 深度 (m) | 抗压强度 (MPa) |
|----------|------|--------|------------|
| 7~14     | 1    | 0.2    | 0.683      |
|          | 2    | 0.4    | 0.771      |
|          | 3    | 0.6    | 0.723      |
| 14~28    | 4    | 0.2    | 1.393      |
|          | 5    | 0.4    | 1.507      |
|          | 6    | 0.6    | 1.696      |
| >50      | 7    | 0.2    | 2.773      |
|          | 8    | 0.4    | 3.748      |
|          | 9    | 0.6    | 4.824      |

由表 8 可知,现浇泡沫聚合土 7~14d 无侧限抗压强度由上至下分别为

0.683MPa、0.771MPa 和 0.723MPa，14~28d 无侧限抗压强度由上至下分别为 1.393MPa、1.507MPa 和 1.696MPa，>50d 无侧限抗压强度由上至下分别为 2.773MPa、3.748MPa 和 4.824MPa。随着龄期的增长，在合理的养护条件下，聚合土路基的抗压强度得到进一步增长。且 14d 抗压强度大于 0.6MPa，28d 抗压强度大于 1.2MPa，均满足大于设计抗压强度值的要求。

## 六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准制定过程未发生过重大意见分歧。

本标准后续制定过程中若出现重大意见分歧，主编单位将组织各参编单位对意见分歧点、意见分歧产生的原因、分歧对后续标准执行可能产生的社会影响进行详细分析，必要时组织专家进行专题讨论，将分歧处理的经过、依据和结论上报标委会分会。若标准审查会上出现重大意见分歧，由标委会分会组织专题讨论确定。若重大意见分歧不能协调统一，将根据需求组织团队对分歧内容进行立项研究，进一步对分歧问题开展调研、研究，待研究成果成熟后再按程序推进标准编制工作，如时间紧张将按程序申请适当延期，必须确保分歧意见能妥善处理达成行业共识。

## 七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内、外同类标准水平的对比情况

未采用国际标准和国外先进标准

## 八、贯彻标准和措施建议

建议本标准在批准发布 3 个月后实施。本标准发布后，应向应用泡沫聚合土的技术管理、设计、施工等相关单位进行宣传、贯彻，向相关单位和个人推荐执行本标准。

## 九、其他应说明的事项

为方便规程的理解及使用，对相关章节的内容进行了解释说明，具体如下：

3.2 泡沫聚合土是以地聚物、水、原料土和泡沫为原材料组分，经过物理化学作用硬化形成的以多组分协同固化土作为连续相，均匀泡孔作为分散相的稳定团聚体，它不同于天然土和传统泡沫轻质土，所以定义为泡沫聚合土，既体现了采用地聚物为胶凝材料形成团聚体的概念，又体现了其以土为主要原材料特点。

4.2.6 地聚物作为一种新型的绿色胶凝材料，具有较高的抗压强度和较好的耐久性，其制备原材料有矿渣粉、粉煤灰、钢渣、赤泥、碱渣等非晶态的硅铝质材料或高钙材料。本文件中明确了不同地聚物原材料应满足的标准规范要求。

4.3 作为原材料使用的土可来源于工程弃土、红线范围内挖方取土或钻渣等，如粘土、粉质粘土、粉土、淤泥及淤泥质土、膨胀土、湿陷性黄土、高液限粘土等细粒土，其中细粒组含量宜大于 50%。

5.2.2 本条规定了泡沫聚合土的最小密度等级，由于泡沫聚合土是使用原料土作为原材料，泡沫聚合土研发的意义在于提升废弃土资源化利用率及助力工业固废消耗。此外，适当提高泡沫聚合土的密度等级，可有效减少其内部孔隙率，提升泡沫聚合土的力学性能和耐久性能，鉴于此泡沫聚合土的最小密度等级为  $700 \text{ kg/m}^3$  是合理的。另外，在添加泡沫前，泡沫聚合土料浆密度为  $1500 \text{ kg/m}^3$  左右，且少量添加泡沫，聚合土的密度难以稳定，故超过该密度基本可被认定为流态土范畴，而非泡沫聚合土。因此泡沫聚合土的最高密度等级规定为  $1400 \text{ kg/m}^3$ 。

5.2.3 水泥与地聚物用量较大时，泡沫聚合土抗压强度会随湿密度的提高而提高，湿密度等级为 D700 时，强度应不低于 0.8；湿密度等级为 D800 时，强度应不低于 1.0；湿密度等级为 D900 及以上时，强度应不低于 1.2。当路基部位需特殊考虑抗浮需求时，湿密度等级应大于等于 D1000。

5.2.4 泡沫聚合土的流值与水灰比、湿密度有关，流值越大越便于现场浇筑施工，但同时泡沫聚合土料浆在输送过程中发生泌水、离析、沉陷的风险也越大，因此综合考虑施工便捷性和浇筑质量，泡沫聚合土的流值宜根据表 9 确定，并满足 5.2.5 的要求。

5.2.6 此处明确泡沫聚合土的耐久性指标为干湿循环强度系数、软化系数，耐久性是衡量泡沫聚合土材料在长期不利环境下的安全性能的一项综合指标，明确该指标是为了在一定条件下保证泡沫聚合土路用性能及使用寿命，当使用环境良好设计无要求时，耐久性指标可不作要求。

5.4.1 与混凝土相比，泡沫聚合土抗压强度偏低；在确定试配强度与设计强度的大小关系时，试配强度高于设计强度的幅度不宜太大，故其系数取 1.05。

6.1.3 泡沫聚合土如直接暴露使用，在风雨雪温差等自然因素的影响下，会出现严重的风化损毁，其强度下降幅度可达 60%~70%，且表面会出现剥落现象，故设计时严禁直接暴露。

6.4.2 泡沫聚合土浇筑施工时处于流动状态，在未硬化前对保护壁存在侧压力，侧压力可参照静水压力理论公式进行计算。硬化后的泡沫聚合土对于保护壁的侧压力可忽略不计。

7.2.1 对发泡装置的要求，是基于泡沫聚合土所采用的泡沫必须是稳定的，且能生成标注泡沫密度的泡沫。某些发泡装置，例如，采用高速搅拌发泡，就很难获得稳定的泡沫，故不应在生产中采用。

7.2.2 设备的自动化计量，是确保施工配合比满足设计要求的基本前提；只有自动化计量体系，才能确保施工过程中湿密度、流值的稳定性，才能保证施工质量；要求水泥浆、泡沫流量可调，是为了适应不同的湿密度设计要求。

7.3.5 本条要求是为了避免泡沫聚合土在流动状态下出现物理消泡现象。对于空洞充填类泡沫聚合土，不做此类要求，是因为在很多情况下，空洞充填的施工条件无法满足。

7.3.9 浇筑层强度的控制是为了避免泡沫聚合土在未形成强度前，因作业人员施工或工程物资堆载造成泡沫聚合土结构破坏，进而影响后期强度发展。现场浇筑的泡沫聚合土强度增长受配合比、原材料、气温等因素影响，一般在浇筑施工完成后 12~36 小时内可达到 0.2 MPa，具备下一层浇筑施工条件。

7.4.3 在强度未达到设计强度前，如直接进入使用状态，可能会对泡沫聚合土的质量造成不利影响或引起其它工程质量或安全事故。