

盐城市地方标准
《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石施工技术规范》
编制说明

《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石施工技术规范》
地方标准起草小组

2024 年 9 月

地方标准编制说明

一、背景、目的及意义

2021年3月18日，国家发改委、科技部、工信部等联合发布《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》，该意见明确“以提高资源利用效率为目标，以推动资源综合利用产业绿色发展为核心，促进大宗固废实现绿色、高效、高质、规模化利用，提高大宗固废综合利用水平，为经济社会高质量发展提供有力支撑”，提出目标为“到2025年，煤矸石、粉煤灰、尾矿(共伴生矿)、冶炼渣、工业副产石膏、建筑垃圾、农作物秸秆等大宗固废的综合利用能力显著提升，利用规模不断扩大，新增大宗固废综合利用率达到60%，存量大宗固废有序减少”。

盐城市的海港、码头、等港口工程和海洋工程的建设过程中，大量疏浚海泥难以处置，无论是就地固化还是无害化处理，成本巨大，难以承受。随着盐城各个港口的快速建设，每年疏浚海泥体量急剧增长，仅黄海新区目前10万吨的航道每年疏浚量就超过800万立方米，海抛成本高且受到政策限制，堆放占地面积大，种种原因严重制约了盐城各个海港区域的可持续发展。目前，国内外对于海洋沉积物和海工淤泥等海洋废弃物的处置没有研究，普遍采用的手段是堆放，另一个方法是硬化。前者需要大量土地，且不安全，而后者成本巨大，硬化后的场地仍属于软基土，工程建造需要进行特殊处理，以保证长期结构安全。海洋废弃物的处置已经成为国内外一个公认的技术难题和建设痛点。因此利用疏浚淤泥，制备地聚合物胶凝材料，并协同处置地方固废，包括化工废碱、粉煤灰、钢铁渣、尾矿渣、镍铁渣、飞灰等，对于沿海港口的发展具有重要意义。开发海泥基地聚合物混凝土系列产品，不仅可以用于港口园区内外的公路建设（稳定土层、稳定碎石），还适合海洋工程建设的低碳胶凝材料、海洋护坡构件材料、海洋牧场生态鱼礁、海上风电混凝土基座等。

该标准的制定和发布可促进新产品、固废资源综合利用和低碳混凝土等关键技术的应用、升级和创新，推动了工业固废及其与海泥复合衍生材料在公路路面基层中的应用，继而在建筑、交通、水利、海洋工程建设中，全替代传统的硅酸

盐水泥，不仅实现最大体量的应用，还可以为国家减少天然资源的开采，并消纳百万吨级别的废渣及海泥固体废弃物。工业固废和海泥均为废弃物，成本均低于传统改性材料，如水泥和石灰等；路面基层工程体量大，大幅消耗工业固废和海泥的同时也意味着产生巨大的经济和环保效益，其经济合理性是可预见的。

由中国矿业大学（北京）混凝土与环境材料研究院研发出的工业固废地质聚合物水泥有着可靠的理论基础和试验数据支持，材料制备、测试方法和质量控制均严格参照现有水泥混凝土行业标准实施；在全固废稳定路面基层材料的理论和应用研究方面，依托国家、行业公路工程现行标准规范（成熟的路面基层施工技术和规范条例），联合盐城市当地企业和交通设计规划部门，该规范的实施是完全可行的。工业固废和海泥均为废弃物，成本均低于传统改性材料，如水泥和石灰等；路面基层工程体量大，大幅消耗工业固废和海泥的同时也意味着产生巨大的经济和环保效益，其经济合理性是可预见的。工业固废及其与海泥复合衍生材料应用于公路基层性能优异，具有优异的力学强度和粘结性，提高路基承载力，抗裂性、耐久性高，防止基层裂缝的产生，预防公路早期病害，增强服役性能。目前尚未有工业废渣及海泥复合再生材料稳定基层施工技术相关标准，亟需制定相应标准用以规范指导施工。

二、任务来源

本项目《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石施工技术规范》来源于盐城市市场监督管理局，于 2024 年 9 月 11 日正式立项，见盐城市市场监督管理局 2024 年度第四批盐城市地方标准正式立项（盐市监标函〔2024〕32 号）。

三、标准范围和编制原则

3.1 范围

本文件规定了公路工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石基层、底基层施工技术的术语和代号、材料、混合料设计、生产与施工、施工质量管理与检查验收。

3.2 原则

（1）规范性：标准的主要文本格式、条款主要是按照《标准化工作导则》（GB/T 1.1-2020）进行编制。

(2) 先进性:目前,地聚合物在国外尚未形成完善的标准体系。现有相关国内标准、行标及中国公路学会标准中尚无工业废渣及海泥地聚合物及其道路应用的相关标准,本标准将填补相关应用的空白。

(3) 科学性:《规范》征集相关产业背景的企事业单位和具有地聚合物胶凝材料道路应用相关产业研发与产业化实力的高校与科研机构专家起草以上标准。

四、编制过程

4.1 前期调研

根据盐城市市场监督管理局 2024 年度第五批盐城市地方标准立项通知(盐市监标函〔2024〕32 号)要求,由江苏悦达集团有限公司负责组织《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石施工技术规范》盐城市地方标准的起草和启动工作。拟定了标准制定主要内容,制定了标准制定工作计划,邀请参编单位成立了标准起草工作小组并落实制定分工;起草了标准讨论稿,组织召开了标准制定工作会议。

经主编单位人员进行调研分析,可知盐城滨海黄海新区的海港、码头、工厂等海工建设过程中,大量海工淤泥难以处置,无论是就地固化还是无害化处理,成本巨大,难以承受,随着黄海新区的快步建设,海工淤泥体量急剧增长,严重阻碍了新区的可持续发展,因此利用氢能活化后的疏浚淤泥,制备地聚合物胶凝材料,并协同处置地方固废,对于沿海港口的发展具有重要意义。同时江苏悦达集团董事长张乃文及其团队,参访并实地考察焦作百奥恒生产基地及中试基地所在工厂,为进一步推进双方合作落地。百奥恒团队国内外相关标准文件进行了广泛调研分析,双方一致提出了规范的编制大纲。



图 1 盐城陆抛海泥后的某滩涂

4.2 成立起草小组

2023 年 3 月，由悦达集团主办，上海百奥恒、同济大学协办的地聚合物材料专题报告会暨盐城市地方标准编制第一次启动会在盐顺利召开。会议第二阶段邀请了盐城市市场监管局标准处处长魏然致辞，魏处长对此次三个地方标准的编制工作表示高度认可，并希望这地方标准的制订可以推动盐城市绿色低碳发展，争取以后发展成国家标准甚至国际标准，并在盐城建立一个标准化技术机构。会议还推荐了参编单位和参编人员，并推荐了同济大学张祖华教授为编委会负责人，张祖华教授对标准编制工作任务和进度进行了分配。

《规范》主编单位主要由上海百奥恒新材料有限公司、同济大学、中国矿业大学（北京）江苏悦达绿氢科技有限公司担任，主要负责：地方标准编制工作的总体组织领导、统筹协调，编制的任务监督及与各单位沟通联系，本标准的编撰提供必要的技术指导及及技术攻关等。为使《规范》更具权威性、科学性、适用性和可操作性，还邀请了国内相关经验丰富的单位参与《规范》的编制。各单位主要负责本标准编制过程中材料实际在道路水稳层应用上提供建议与指导，对于编撰过程中出现的指标或参数提供建议，本标准在设计领域的可行性及推广性的评估工作，本标准技术指标的试验论证等。



图 2 第一次启动会

4.3 标准起草

(1) 起草讨论稿

2024 年 5 月 26 日上午，《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石基层施工技术规范》盐城市地方标准制定第二次线上工作会议正式召开，共有来自全国的高校、科研、检验机构、生产、应用等 22 名代表参加会议。

会议由同济大学材料科学与工程学院张祖华教授主持，首先表达了对于各参会代表的感谢，同时阐述了从 2023 年 3 月至今对于盐城市三个地方标准的工作推进情况。嘉兴大学刘红飞教授、宁夏嘉恒绿色低碳新材料科技有限公司总经理贾小龙、上海百奥恒新材料有限公司技术总监朱颖灿针对标准内容及实际应用情况分别给与了相关建议。江苏悦达绿氢科技有限公司董事长杨坤最后对参会代表表达感谢，同时也后续标准工作进行详细梳理，对标准工作的开展给予了极高的评价和充分的肯定。上海百奥恒新材料有限公司研发工程师王东升进行本次会议纪要记录。

随后，与会代表对《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石基层施工技术规范》盐城市地方标准（讨论稿）逐条进行了详细、认真的讨论，对地方标准（讨论稿）提出了宝贵的意见和建议。本着保证《公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石基层施工技术规范》产品质量、促进行业健康发展的精神，使标准更具有合理性和可操作性，代表们对部分条款提出了如下修改建议意见：

- 1、关于标准英文名称翻译需再商议；
- 2、工业废渣及海泥复合再生材料定义需再商定；
- 3、修改 3.4 中公称最大粒径定义；
- 4、4.2.3 表 1 中增加 S03 含量规定指标；
- 5、4.4.1 中增加工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石混合料中的集料种类；
- 6、修改 5.2.2 表中关于工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石材料的压实度及 10d 无侧限抗压强度（需结合试验）；
- 7、修改 5.3.2(b) 内容为考虑路面基层服役功能，宜推荐 C-B-3 级配用于基层和底基层；
- 8、7.1.1 中需提及养护时间延长、侧模的周转时间的规定；
- 9、7.2.1 中增加内容：宜采用三级连铺工艺，提高施工效率；
- 10、删除内容：工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石材料基层与沥青面层之间的处理；
- 11、修改 8.3.2 内容为长度不小于 200m；
- 12、增加附录中 EDTA 钙离子滴定控制方法规定。

会议决定由标准负责起草单位同济大学在会后对代表们提出的意见和建议，进行汇总归纳，尽快调整和完善并形成征求意见稿，提交相关单位广泛征求意见。会议要求标准负责起草单位加快编制进度，参加起草的有关单位要积极配合标准制定工作，对本次会议要求的技术参数和试验方法开展进一步的试验验证。

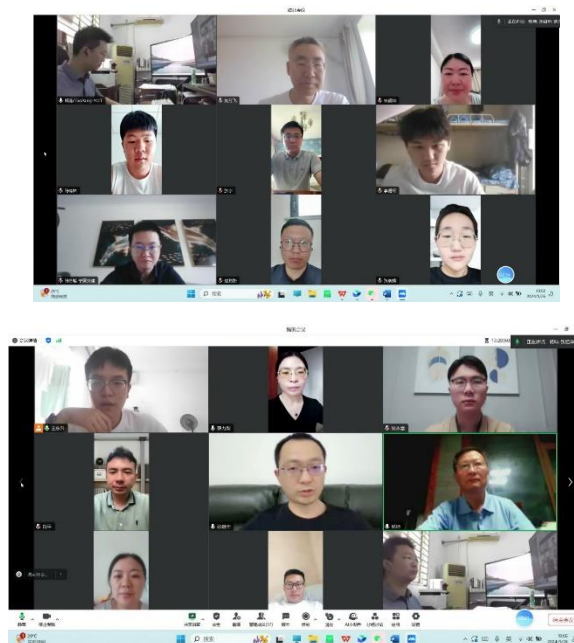


图 3 第二次启动会

（2）试验验证

本标准根据盐城市道路基层稳定碎石实际应用情况，制定了公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石施工技术规范：针对工业废渣及海泥复合再生材料的原材料指标，以及稳定碎石基层、底基层施工技术的术语和代号、材料、混合料设计、生产与施工、施工质量管理与检查验收进行规定。

本标准在制定期间，采用现场调研、室内试验、试验段调整、实体工程应用等手段，对工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石的各项技术指标进行多次修正、分析，对配合比设计流程及施工设备、工艺等进行严格控制、调整、确保各项技术标准在准确度、可靠性、稳定性方面均有定量评价。经验证，本标准技术要求下的工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石基层的力学性能和路用性能良好，经济效益和社会效益尤为显著，具有低碳优势、资源优势、性能优势等，适用于各等级公路基层建设，产业化前景广阔。

（3）提出征求意见稿

经过前期的准备工作,现征求意见稿已经完成,为充分了解行业意见和建议,确保标准编制质量,经盐城市市场监督管理局标准管理处同意由悦达集团组织发布征求意见稿。编制组在公路路面基层施工技术细则(JTG/T F20-2015)的基础上,结合各单位在地质聚合物在道路水稳层应用的实践经验,经讨论、修改与完善,于2024年8月编制完成《规范》(征求意见稿)。

五、主要技术内容和确立依据

本标准编制过程中,编制组进行了广泛而深入的调查研究,总结了工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石的基础研究和应用经验,同时参考了国内外技术法规、技术标准,并经过试验研究,取得了编制本标准所必要的重要技术参数。现将标准有关条文说明如下:

1、范围

针对废渣及海泥复合地质聚合物水泥目前主要的用途和今后有望更多应用的场合提出了本文件适用于高速公路和一级公路新建、改扩建工程及养护工程的复合再生材料稳定碎石基层、底基层设计与施工,其它等级公路可参照执行。

2、规范性引用文件

根据 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的有关规定编写固定导语。在固定导语之后按照先国家标准后行业标准的顺序列出与本标准引用的标准,去掉无关的标准名称。本文件共计引用了6个标准。

3. 术语和定义

有必要列出的术语和定义

工业废渣及海泥复合再生材料 Industrial waste slags and sea mud mixed recycled materials

特别强调是以铝硅酸盐前驱体为主体组分,掺用部分海泥,添加激发材料,经加工混合制成的复合材料。

4. 材料

通过试验验证和质量控制, SO_3 含量在 $\geq 5\%$ 时样品强度出现明显提高, $SO_3 \geq 12\%$ 时,部分工业废渣及海泥复合再生材料样品出现安定性不良的现象,上限应小于12%。故设置 SO_3 含量控制范围在5-12%。

工业废渣及海泥复合再生材料应采用强度等级为 32.5 和 42.5 标号作为胶结料,按 ISO 标准规定的强度检验方法进行试验,试块经 24h 可脱模,后续按标准方式养生即可。

根据试验结果,比表面积与材料活性成正比,当比表面积达到 $550\text{m}^2/\text{kg}$ 时性能最优,考虑到实际应用中的经济性问题,将比表面积下限设置在 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 是较为合理的值,相对应的,45um 筛余也应控制在 30%以下。

参照中国技术市场协会团标《石膏矿渣基胶结料》所提初凝时间指标,结合现场施工经验,初凝时间 $\geq 180\text{min}$ 被认为是较为合理的值,终凝时间范围参照《公路工程路面基层稳定用水泥》(JT/T 994-2015)的相关要求。

粗集料相关技术要求参考了《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)中 3.6.1 条及表 3.6.1 的规定。工业废渣及海泥复合再生材料稳定碎石混合料 0.075mm 以下颗粒含量超标将影响混合料的收缩性能,是造成微小裂缝形成的最为主要的因素之一,根据《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)中 4.4.4 条的规定,底基层 0.075mm 以下粉尘含量应控制在 5%以下。另外,对粗集料采用的人工破碎原岩材料、破碎工艺也应符合现行《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20)中的规定。

5. 混合料组成设计

普通硅酸盐水泥稳定级配碎石层一般采用 7d 龄期无侧限抗压强度作为施工质量控制的主要指标。与普通硅酸盐水泥稳定级配碎石层相比,表中数值在《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)基础上,通过大量试验进行了修正。工业废渣及海泥复合再生材料层在标准养护条件下的 10d 龄期无侧限抗压强度可达到 28 天强度的 50%-65%,28d 龄期无侧限抗压强度可达到稳定强度值的 90%-100%。为避免验证周期过长对施工周期造成影响,采用室内试验 10d 龄期无侧限抗压强度作为连续施工控制指标,而 28d 龄期无侧限抗压强度作为强度验证指标。

选取多种不同胶凝材料剂量的稳定材料进行试验,有助于掌握胶凝材料剂量对混合料性能的影响。通过试验,有助于选择实际工程中工业废渣及海泥复合再生材料剂量的合理范围,为下一步生产性试验提供参考依据。

6. 混合料生产、摊铺及碾压

工业废渣及海泥复合再生材料在 0℃ 情况下，强度仅有 20℃ 的 25%，故低温使用，必须采取保温措施。根据《公路路基施工技术规范》(JTG F20)，高速公路、一级公路的土质路堤和地质不良地区二级及二级以下公路路堤不宜进行冬季施工。

工业废渣及海泥复合再生材料本质是一种碱激发材料，孔溶液碱度对水化产物形态及水泥强度生长均有重要的影响，由于早期较慢的水化速度，过量的水会降低碱度，无法产生足量的钙矾石从而形成强度，所以可以延缓常规养生时间至第 3 天。

根据《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)，普通硅酸盐水泥养护期不少于 7d，而工业废渣及海泥复合再生材料早期强度生长缓慢，3d 后强度开始快速发展，故养生期应不少于 10d。

工业废渣及海泥复合再生材料稳定基层由于早期强度生长缓慢及侧边养护均匀性不足等问题，会导致骨料黏结性不足而出现掉边现象，通过采用普通硅酸盐水泥浆体进行固化，不仅解决了掉边问题，还可以提升整体外观。

7. 养生、交通管制、层间处理及其他

根据《水泥稳定碎石基层施工技术规范》(DB37/T 3577) 规定，限定载重车辆的轴载应不大于 13t。

8. 施工质量标准与控制

为了进一步验证工业废渣及海泥复合再生材料道路化应用的可靠性，对于纵断高程、宽度、厚度及横坡等检测项目均应适当提高检测频率，以保证工程质量。

工业废渣及海泥复合再生材料的特殊性能试验应源于材料可能存在的缺点，试验方法依据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51-2009)，同时应设置普通硅酸盐水泥进行对比。

工业废渣及海泥复合再生材料早期强度的形成是由于大量钙矾石的生成，而在高温养护时(根据《钙矾石的物理化学性能与混凝土的耐久性》，认为高于 70℃)钙矾石会发生分解，生成单硫型水化硫铝酸钙 (AFm)，转化的 AFm 含量会随温度增加而逐渐增多。结合夏季我国部分地区地表温度超 70℃ 的环境情况，应对材料的热稳定性做试验验证。

试件成型后的养生方法、养生龄期对工业废渣及海泥复合再生材料半刚性基层材料抗冲刷性能影响较大，养生时间过短，试件强度不足表明容易被冲散。基

于工业废渣及海泥复合再生材料的强度生长特点，该现象相较于硅酸盐水泥更易出现。

疲劳试验可以有效预测水稳基层寿命，通过对其长期应力应变特征的观测研究，有效验证工业废渣及海泥复合再生材料道路化应用技术的可靠度，为本标准的可靠性提供充分的实践经验。

工业废渣及海泥复合再生材料的抗碳化性能较差，其主要原因在于浆液中的 Ca^{2+} 会和 CO_2 反应，破坏了钙矾石的平衡浓度，同时水化生成的 C-S-H 也会减少，无法形成对钙矾石的有效掩蔽，故需要进行碳化试验。

六、与相关法律法规和国家标准的关系

本标准主要在《中华人民共和国标准化法》和《国家标准管理办法》框架指导下开展并制定的，在已经发布的国家标准和地方标准中尚无标准编制说明编写规范或编写指南类似标准；所以，本标准与现行法律法规和强制性标准不矛盾、不重复，是相互补充、相互支撑的协调关系。

七、贯彻标准的建议和措施

建议标准发布后，由起草单位组织相关单位参加标准培训和宣贯，切实推动本标准的贯彻实施。应：

（一）利用各类新闻媒体或采用其他方式，广泛宣传《标准编制说明编写规范》。

（二）各级标准化主管部门委托标准化技术机构、标准化行业协会或类似社会组织开展宣贯培训班，学习《标准编制说明编写规范》，推动实施标准和使用。

建议标准发布 3 月后实施。