

非洲贝壳土的工程性质及应用建议

周兴业¹, 唐皓², 刘海岩², 肖倩¹, 单伶燕¹

(1. 交通运输部公路科学研究院 基础研究创新中心, 北京市 100088; 2. 中国路桥工程有限责任公司, 北京市 100011)

摘要:为了探明非洲贝壳土的工程性质、提出其在公路建设中的合理使用方案,依托塞内加尔某规划中的高速公路项目,对沿线贝壳土开展了试验研究,分析颗粒组成、物理性质、化学性质、工程性质、力学性质和盐渍性,根据法国标准中的方法进行土质分类,给出用于路基填筑的应用建议方案。结果表明:研究的贝壳土由粒径为1~40 mm的粗粒组分、粒径为0.5~1 mm的贝壳与砂混合物、粒径小于0.5 mm的砂土3部分组成,质量百分比分别为14%、5%、81%,具有一定的工程级配,可归类为粒料类材料;贝壳土中的粗粒组分、贝壳与砂混合物,材质坚硬,力学强度高, R_{CBR} (加州承载比)远高于砂土;贝壳土中砂土的塑性指数仅为4,塑性较低,主要化学组分为石英,含有少量石盐,具有一定的盐碱性;贝壳土的全盐量为0.73%,可判定为氯盐渍土,盐渍化程度为中盐渍土;根据法标土质分类方法,可将塞内加尔产贝壳土划分为A1ts类,采取相应措施后可作为规划中高速公路的路基填筑材料。

关键词:道路工程; 非洲贝壳土; 工程性质; 应用建议

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

非洲公路工程建设中路基填料多使用天然粒料^[1-3]和砂土^[4-5]等地方性材料,以达到节约工程投资的目的。除了使用红土粒料^[6-7]、砂性土或黏性土^[8-10]等典型地材以外,部分公路也会使用一种特殊的贝壳土来填筑路基各层,例如塞内加尔一些国道的部分路段即使用了贝壳土作为路基填料。从表观上看,贝壳土在黏土或砂土中夹杂着大量的白色硬质贝壳,经地壳运动和自然风化后,土中的贝壳材质十分坚硬。虽然在非洲某些国家使用了这种特殊材料修筑路基,但国内外对它的研究不多,未见系统评价贝壳土工程特性的相关报道。从材料性质上看,这种贝壳土具有路用填料所需的一些优良性质,如能通过全面分析,掌握其路用性能,对于指导该土类在非洲地区的应用具有一定的参考价值。

为此,该文依托塞内加尔某规划中高速公路沿线的贝壳土开展相关试验,研究其颗粒组成、物理性质、化学性质、工程性质和力学性质,考虑到贝壳土的特殊性,同时开展其盐碱性分析,根据法国标准的相关规定开展其土质分类,并给出具体的使用建议。由于塞内加尔没有本国标准,公路建设中主要使用法国规范,因此该文采用的试验方法、研究手段和参考标准均使用法标中的相关规定。

1 贝壳土的基本性质

1.1 基本性状

该文选取某规划中高速公路沿线贝壳土,呈土黄色,用肉眼能够明显看出土中夹杂着大量的白色硬质贝壳,贝壳材质十分坚硬,贝壳土取土坑如图1所示。



图1 塞内加尔产贝壳土基本性状

1.2 颗粒组成

这种贝壳土主要由贝壳和砂两种材料组成。根据法标规定的筛孔尺寸对其进行级配筛分试验。由筛分试验结果将贝壳土划分成3部分:①粒径为1~40 mm的粗粒组分,主要由大块贝壳组成,质量百分比占14%左右;②粒径为0.5~1 mm的贝壳与砂混合物,

收稿日期:2022-06-09(修改稿)

基金项目:中国路桥工程有限责任公司科技研发项目(编号:2017110043001118)

作者简介:周兴业,男,博士,研究员.E-mail:zhouxingye1982@163.com

主要由小粒径贝壳、大粒径贝壳破碎后残片以及砂土组成,质量百分比占5%左右;③粒径小于0.5 mm的砂土,主要成分为天然砂土,质量百分比占81%左右。从粒径组成来看,贝壳土并不是严格意义上的土,更接近于粒料类材料,由较粗的贝壳作为粒料材料中的粗粒部分,砂土作为粒料材料的细粒部分,形成由粗到细、逐级填充的颗粒组成结构,具有一定的工程级配。

1.3 物理性质

为了评价塞内加尔产贝壳土的物理性质,根据法标试验方法对粒径小于0.5 mm的砂土开展界限含水率和亚甲蓝试验,结果见表1。

表1 塞内加尔产贝壳土(粒径小于0.5 mm的砂土)的物理性质试验结果

液限/ %	塑限/ %	塑性指数	亚甲蓝值/ (g·kg ⁻¹)
21.2	17.2	4	0.1

由表1可知:贝壳土中粒径小于0.5 mm以下的砂土塑性指数较小,仅为4,塑性较低。

1.4 化学性质

为了确定贝壳土的化学组成,采用X射线衍射物相分析方法对其进行试验,得到各自的X射线衍射图谱,利用JADE软件对图谱进行半定量分析,通过计算得到贝壳土中石英含量99.6%,含极少量的石盐(0.4%),具有一定的盐碱性。

1.5 工程性质

开展不同含水率下贝壳土的土工击实试验,结果见表2。

表2 塞内加尔产贝壳土的土工击实试验结果

贝壳土组成	最佳含水率/%	最大干密度/ (g·cm ⁻³)
0.5~1 mm 贝壳与砂混合物	9.2	1.908
<0.5 mm 砂土	12.2	1.773

由表2可知:粒径为0.5~1 mm的贝壳与砂混合物以及粒径小于0.5 mm的砂土,二者击实结果差异较大,细粒部分比粗粒部分的最佳含水率高3.0%。

1.6 力学性质

采用不同压实度下的CBR试验评价贝壳土的力学性质,共开展90%、95%、100%3种压实度条件下的CBR试验,结果见表3。

表3 塞内加尔产贝壳土的CBR试验结果

贝壳土组成	不同压实度下贝壳土R _{CBR} /%		
	90%	95%	100%
0.5~1 mm 贝壳与砂混合物	15.2	35.4	64.3
<0.5 mm 砂土	6.4	10.9	40.1

由表3可知:贝壳与砂混合物的R_{CBR}均大于砂土部分,这主要是由于贝壳与砂混合物中贝壳较为坚硬,能够提供足够的力学强度。

2 贝壳土的盐碱性分析

由于塞内加尔和法国标准中均没有规定盐渍土盐碱性分析的方法,故该文根据JTG 3430—2020《公路土工试验规程》和XJTJ 01—2001《新疆盐渍土地地区公路路基路面设计与施工规范》的规定开展贝壳土的盐碱性分析,盐渍土的分类标准见表4、5。

表4 盐渍土按盐性质分类

盐渍土名称	离子含量比值	
	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻	(CO ₃ ²⁻ +HCO ₃ ⁻)/(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻)
氯盐渍土	>2.0	—
亚氯盐渍土	1.0~2.0	—
亚硫酸盐渍土	0.3~<1.0	—
硫酸盐渍土	<0.3	—
碳酸盐渍土	—	>0.3

注:离子含量以1 kg土中离子的毫摩尔数计(mmol/kg)。

表5 细粒土按盐渍化程度分类

盐渍土类型	细粒土的平均含盐量(以质量百分数计)	
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土
弱盐渍土	0.3~<1.0	0.3~<0.5
中盐渍土	1.0~<5.0	0.5~<2.0
强盐渍土	5.0~8.0	2.0~5.0
过盐渍土	>8.0	>5.0

注:离子含量以100 g干土内的含盐总计。

盐渍土试验的目的是判断土壤是否含盐并将土壤进行以上分类以便于工程使用。

该文在判断贝壳土的盐碱性时,按照JTG 3430—2020《公路土工试验规程》的规定,分别开展易溶盐总量的测定试验、易溶盐碳酸根和碳酸氢根的测定试验、

易溶盐氯根的测定试验和易溶盐硫酸根的测定试验。

通过对贝壳土易溶盐总量的试验发现,贝壳土的全盐量(质量百分比)为 0.73%。按照表 4、5 中的指标要求,继续开展贝壳土水溶性盐阴离子含量试验,结果见表 6。

表 6 贝壳土的水溶性盐阴离子含量

水溶性盐阴离子含量/%				$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$
Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	
0.307	0.089	0.002	0.008	3.4

由表 6 可知:从易溶盐性质来看,贝壳土的 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值大于 2,为氯盐渍土。同时,由于其值为 1.0~5.0,判定贝壳土为中盐渍土。

3 贝壳土的工程分类

3.1 法国标准土的工程分类方法

按照法国标准要求,只要确定了路基填料的工程分类,便可根据 GTR 2000《填方和垫层施工技术指南》提出其在土基下部和 CDF 层中的应用方案^[9],根据《法国路面结构设计指南》提出其在 PST 层中的应用方案。可见,在法国标准中,路基填料的工程分类十分重要。

法国采用 NF P 11-300《公路垫层和填方施工可采用的材料类型》对路基土进行工程分类,按照有关规定,可将其划分为 A、B、C、D 4 大类,分类依据为:性质参数、机械性参数和状态参数。其中,性质参数起决定性作用,一旦获得了路基土的颗粒组成(<50 mm、<2 mm、<0.08 mm 的质量百分率)、亚甲蓝值和塑性指数,便可直接确定其分类。法国标准中路基土的分类依据与中国标准的相似之处在于都使用土的颗粒组成和界限含水率作为关键参数,差别之处在于中国使用液限的高低命名,而法国标准使用塑性指数的高低命名。法国路基土的工程分类方法、指标和数值可简化为如图 2 所示。

3.2 塞内加尔贝壳土的工程分类

根据前文对贝壳土基本性质的研究,已经获得了用于工程分类所必需的性质参数,将其汇总于表 7。通过查图法,将表 7 中的试验数据标注于图 2(a)中,可以得到该文塞内加尔产贝壳土的工程分类结果为 A₁。由于规划中公路项目沿线地处干旱地区、降雨量小,贝壳土的天然含水率小于最佳含水率的 0.7 倍,可进一步归为 A_{1ts} 类。

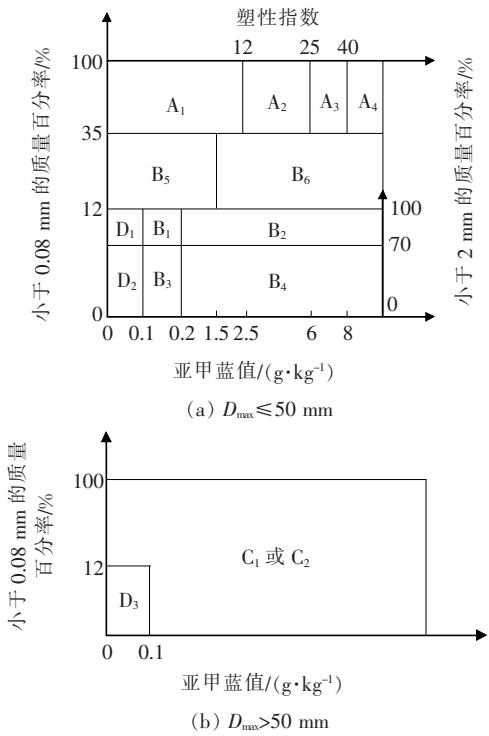


图 2 法标中土的工程分类方法简图

表 7 用于贝壳土工程分类的性质参数

2 mm 筛孔 通过率/%	0.08 mm 筛孔 通过率/%	塑性指数	亚甲蓝值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
100	11.4	4.0	0.1

4 贝壳土的工程应用

由前文可知,该文选取的贝壳土为 A_{1ts} 类,可结合法国 GTR 2000《填方和垫层施工技术指南》以及《法国路面结构设计指南》,给出适用于塞内加尔某规划中高速公路的路基下部、路基上部 PST 层以及路基改善层 CDF 层的应用建议方案。

4.1 在填方路基中的应用建议方案

根据法国 GTR 2000《填方和垫层施工技术指南》中“附录 2. 填方材料利用条件表”的规定:对于属于 A_{1ts} 类的贝壳土,由于 A_{1ts} 类土为干燥状态,塞内加尔又属于强蒸发地区,在路基填筑施工时,宜优先选择洒水加湿至中等含水或潮湿状态、并采用强力的压实方式进行使用,洒水量一般为击实试验确定的最佳含水率与天然含水率的差值,填方高度不宜超过 10 m。

4.2 在路基上部 PST 层中的应用建议方案

根据《法国路面结构设计指南》中的图 IV. 3. 1 可知:属于 A_{1ts} 类的贝壳土,可作为级别为 n°1~n°4 的

PST层填筑材料,当用作 $n^{\circ}1\sim n^{\circ}3$ 的3个PST等级时,PST层顶面的AR等级至少为AR1;当用作 $n^{\circ}4$ 的PST等级时,PST层顶面的AR等级至少为AR2。此外,由于贝壳土为中盐渍土,在确定路基填筑方案时,需要结合路面结构设计提出相应的处理措施,防止由此导致的路面结构承载能力不足及失稳。一般来说,可在PST层上修筑一层一定厚度的隔水层,防止地下毛细水的上升。

4.3 在路基改善层CDF层中的应用建议方案

根据法国GTR 2000《填方和垫层施工技术指南》中“附录3.垫层材料的使用条件表”的规定:由于塞内加尔属于降雨量小地区,推荐采用水硬性结合料(水泥等)对其处治后使用,且CDF层厚度至少为35 cm,当PST层顶面的AR等级要求为AR1时,垫层顶面PF等级至少为PF2。当PST层顶面的AR等级要求为AR2时,垫层顶面PF等级至少为PF3。此外,根据水溶性盐阴离子含量判定该文研究的贝壳土为氯盐渍土,对水泥稳定类材料的腐蚀性较大,当采用水泥稳定类材料作为CDF层或路面基层时,应在该层以下设置防水隔断层,施工用水也需要净化处理。

5 结论

为了全面掌握非洲贝壳土的工程性质及其应用方案,该文依托塞内加尔某规划中的高速公路项目,对公路沿线的贝壳土开展系统性的试验研究,分析其颗粒组成、物理化学性质、工程力学性质、盐渍性,并根据法标土质分类方法对其进行分类,最后结合法国规范给出其用于路基下部、路基上部PST层以及路基改善层CDF层的建议方案。得到以下结论:

(1) 选取的塞内加尔产贝壳土,土样颜色呈土黄色,用肉眼能够明显看出土中夹杂着大量的白色硬质贝壳,贝壳材质十分坚硬。

(2) 通过颗粒组成分析发现,贝壳土由3部分组成。从粒径组成来看,贝壳土并不是严格意义上的土,更接近于粒料类材料,由较粗的贝壳作为粒料材

料中的粗粒部分,砂土作为粒料材料的细粒部分,形成由粗到细、逐级填充的颗粒组成结构,具有一定的工程级配。

(3) 贝壳土中粒径小于0.5 mm以下的砂土塑性指数较小,塑性较低;其主要化学组分为石英,含量高达99.6%。受颗粒组成和物理性质影响,贝壳土中,粒径为0.5~1 mm的贝壳与砂混合物以及粒径小于0.5 mm的砂土之间具有完全不同的工程性质和力学性质。

(4) 通过易溶盐总量的试验发现,塞内加尔产贝壳土的全盐量(质量百分比)为0.73%,主要类别为氯盐渍土,盐渍化程度达到了中盐渍土等级。

(5) 根据法标土质分类方法,可将塞内加尔产贝壳土划分为A1ts类,按照法标的相关规定,可采取一定的处治措施之后用于填方路基、路基上部PST层以及路基改善层CDF层修筑之中。

参考文献:

- [1] 周大全,甄玉凤.非洲热带地区红土砾料在公路工程中的应用[J].中外公路,2015,35(S1):124-127.
- [2] 张瑞菊,王国康,白墨.非洲天然红土粒料的路用性能及使用标准[J].交通科技,2017(1):23-26.
- [3] 曹长伟,罗志刚,钱劲松.西非马里地区级配红土粒料的室内试验研究[J].中外公路,2015,35(5):54-57.
- [4] 李涛,刘楠,毛剑影.法国规范体系下的填砂路基设计与施工探讨[J].山东交通科技,2017(5):76-77,93.
- [5] 石崇喜,黄英,杨玉婷,等.掺砂红土的力学特性及掺砂机理研究[J].工程勘察,2011,39(4):1-8.
- [6] 吴海城.PST技术在阿尔及利亚东西高速公路中的应用[J].山西建筑,2012,38(30):165-167.
- [7] 李立,张晟斌,李小平,等.刚果(布)国家1号公路设计简介[J].中外公路,2010,30(2):13-17.
- [8] 齐元新.中国与法国规范下土方填料分类及使用条件对比[J].铁道建筑技术,2013(3):39-43.
- [9] 李刚,赵永国,张留俊.法国沥青路面设计体系的特点[J].中外公路,2009,29(3):316-320.
- [10] 单伶燕,鞠志成,周兴业,等.塞内加尔天然砂土的工程性质及应用研究[J].路基工程,2021(6):30-34.