

# 预制基质客土的强度及渗透性试验研究

马显东<sup>1</sup>, 刘强<sup>1\*</sup>, 褚保镇<sup>1</sup>, 高霄娇<sup>1</sup>, 孙冲<sup>2</sup>

(1.山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2.中国海洋大学 环境科学与工程学院)

**摘要:** 高陡岩质边坡的绿化问题一直是工程人员关注的问题,为解决传统客土喷播技术不易挂网或挂网后大面积脱落等问题,并减少后期灌溉养护成本,该文提出一种新型预制基质客土模块的制备方法。采用无侧限抗压试验、三轴压缩试验、渗透试验探究不同配比条件对预制基质客土块强度和渗透性的影响。试验结果表明,随着秸秆含量的增加和黄土含量的减少,当试样中未添加泥炭时,试样的无侧限抗压强度、内摩擦角、黏聚力均存在最小值;而当掺入10%泥炭时,试样的无侧限抗压强度、内摩擦角、黏聚力持续下降,未出现峰值。并且其饱和渗透系数的数量级均为 $1 \times 10^{-3}$  cm/s,并没有出现较大差异。

**关键词:** 生态边坡; 高岩质边坡绿化; 基质客土; 垂直绿化; 改良土; 水理性质

## 1 引言

挖方边坡工程破坏了天然边坡的力学平衡和生态平衡。生态边坡工程的主旨之一是在挖方边坡上构建新的生态平衡,如客土喷播技术。其中客土应具备较好的水理性质和力学稳定性,研制兼有高强度、高渗透性和高持水性的客土是解决岩质生态边坡工程中生态修复的关键问题。

所谓客土是指利用自然土、有机质、纤维、黏结剂、肥料、保水剂、缓释剂、植物种子、其他外加剂等形式形成的人工混合土壤。关见留发现添加木屑后的客土有机养分随降雨的流失量明显减少;黄栋学通过对土壤、保水剂、速效肥以及鸡粪等材料进行全正交试验,研究不同配比的客土对植物生长的影响;叶茂发现掺入砂土改良后,可以有效提高四川凉山地区土壤的肥料释放速率,缩短烟株生长周期,其中加入50%砂土效果最优;黄学文研究发现秸秆草毯覆盖于边坡表土,能够减少雨水对坡面的侵蚀量,同时增大土壤团聚体的迁移阻力,提高了坡面表土对滑移的抵抗力;Agassi通过在陡坡上进行现场试验,研究用磷石膏(PG)、多糖(PS)以及聚丙烯酰胺(PAM)来控制径流及侵蚀,结果表明多糖和磷石膏或聚丙烯酰胺和磷石膏在抑制边坡侵蚀

方面非常有效。

目前,关于客土的局部稳定性防护措施或客土的稳定方法主要包括:①平面网稳定客土工艺;②三维网稳定客土工艺;③土工格室与平面网或三维网并用稳定客土工艺;④利用混凝土肋梁稳定客土工艺;⑤在边坡上固定植生袋工艺等。工程中广泛使用的客土喷播技术,均是在施工现场配置客土,并利用喷浆机将客土以流塑状态喷播到边坡坡面。因此这些客土处在流一塑态,其初期强度较低,在坡度较陡的岩质边坡,常出现不易挂网或挂网后大面积脱落等问题。生态边坡工程初期客土的稳定性主要取决于其抗滑动性。一般情况下,客土长度与厚度相比往往并非足够大。针对有限长客土的抗滑动性问题,刘强利用模型试验及极限分析上限解进行讨论;刘威通过直剪试验发现土壤的黏聚力与内摩擦角随纤维的添加量增加而增加,且不同纤维的加筋效果不一样;罗阳明通过室内试验研究了水泥固化剂对土体抗剪强度的影响,证明了掺入适量水泥固化剂可以提高土体抗剪强度,而掺入一定的高分子聚合物,能有效增强土体的水土保持能力;燕平研究发现在客土中添加聚合物固化剂能够在坡面形成一层有效的防护膜,起到很好的黏结整合作用;李映通过直剪试验,发现添加木质素的客土抗剪强度明显增大,并随着木质素掺入量增加,呈先减小后增大的

收稿日期:2019-03-19(修改稿)

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(编号:ZR2017QD017);2017年山东省高等学校科技计划项目(J17KA195)

作者简介:马显东,男,大学本科,E-mail:627538159@qq.com

\*通信作者:刘强,男,博士,讲师,E-mail:sunnyseasea@163.com

趋势。

另一方面,喷播的客土较为松散,保水性较差,需要定期灌溉、维护,养护成本较高。关于客土的水理性质研究方面,张俊云认为客土有机质质量掺入比应控制在 20% 以下,超过 20% 时,客土层的渗透系数会明显增大,当掺入比超过 30% 时,不利于植物生长;万黎明发现客土内部含水率随深度先增加后减小,添加有机质及保水剂后,增加了客土的吸水速率和吸水性并有效减少客土蒸发速率。石鑫研究了不同用量下的秸秆纤维作为覆盖层对土壤蒸发抑制作用,当在土壤含水量较高的阶段,抑制作用更加明显。

针对上述客土在强度和水理方面存在的问题,该文提出一种新型预制客土块的制备技术。将研制的客土块体采用无侧限抗压强度试验、三轴压缩试验、渗透试验研究不同配比条件下客土块体的强度和渗透性。

2 试验材料和试验方案

2.1 试验材料

试验用料:黄土,干燥状态下最大击实密度为 1.66 g/cm<sup>3</sup>,液限 41.46%,塑限 18.32%;硅藻土,干燥状态下最大击实密度为 0.53 g/cm<sup>3</sup>;有机高分子纤维 A 和 B 长度均为 2~5 mm;玉米秸秆长度小于 1 mm,天然堆积密度 0.13 g/cm<sup>3</sup>,击实密度 0.30 g/cm<sup>3</sup>;泥炭天然密度 0.42 g/cm<sup>3</sup>,击实密度 0.62 g/cm<sup>3</sup>。所用黄土及硅藻土的粒径累积级配曲线如图 1 所示。

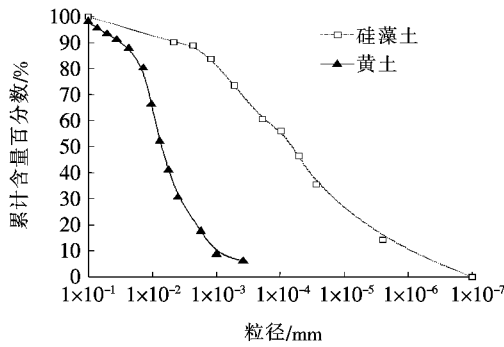


图 1 试验材料的粒径累积级配曲线

2.2 试验方案

为了探究不同原料配比条件下基质客土块的强度规律,首先设计两组试验,第 1 组变量设计如表 1 所示。第 2 组试验样品中除玉米秸秆掺量外其余成分掺量与第 1 组完全相同。除此以外,添加了 10% 泥炭(通过前期预试验发现,过多的泥炭掺入比不仅会降低客土块强度,还会产生明显的掉渣现象。在能够起到

改善客土土壤环境效果的前提下,选用 10% 的泥炭作为试验变量对比),具体变量设计如表 2 所示。

表 1 第 1 组变量设计表

编号	秸秆/ %	黄土/ %	硅藻 土/%	纤维 A/%	纤维 B/%	胶/ %
1	35	25				
2	40	20				
3	45	15	30	6	4	0.4
4	50	10				
5	55	5				

表 2 第 2 组变量设计表

编号	秸秆/%	黄土/%	泥炭/%	硅藻土等/%
1	25	25		
2	30	20		
3	35	15	10	同表 1
4	40	10		
5	45	5		
6	50	0		

客土块的制作方法和步骤如下:① 依据表 1、2 的配比设计,将客土原料及水按质量比为 1:1 在搅拌器中混合均匀;② 将混合料分别装入不同模具,每个模具内分 4 层击实并称重。无侧限抗压强度试验,使用边长为 7.07 cm 的立方体标准模具制样,三轴压缩试验,使用高 8.00 cm、直径 3.91 cm 的三瓣膜制样,渗透试验,使用模具为高 4 cm、直径 6.18 cm 的环刀制样;③ 放入鼓风干燥箱烘干 18 h,取出试样冷却后脱模,称量干重,计算干密度并确保平行试样干密度(图 2)的均一性。

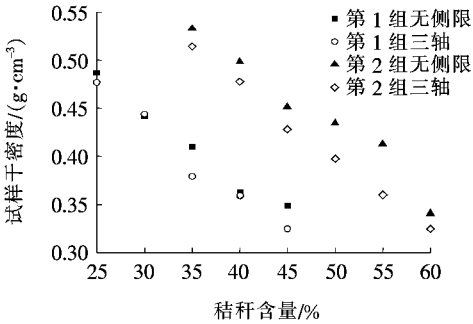


图 2 试样干密度统计图

2.3 试验方法

对基质客土块进行无侧限抗压强度试验、三轴压缩试验、渗透试验来确定此种客土块的抗压、抗剪强度

及渗透性。所有试样均根据 GB/T 50123—1999《土工试验方法标准》进行试验。

无侧限抗压强度试验使用自制的应力应变试验仪,采用应变控制,加荷速率 1 mm/min,每隔 2 s 记录试验压力及试样应变,应变达到 20% 时结束试验,取 15% 应变时的应力作为峰值强度。每种配比制作 3 个平行样。

三轴试验采用静三轴剪切试验仪。同一基质配比条件下,对 4 个试样分别施加围压 50、100、200 和 500 kPa 进行不固结不排水试验(UU 试验),试验时,土样分干燥和饱和两种情况,加载速率 0.08 mm/min,应变达到 20% 时结束试验,取应变为 15% 时的应力,绘制摩尔圆,计算得到基质客土的内摩擦角及黏聚力。

变水头渗透试验采用渗透仪。试验前将试样在真空饱和和器中饱和 1 d,每种不同的客土配比制作两个平行样,饱和渗透系数取两组的平均值。

### 3 试验结果与讨论

由无侧限抗压强度试验和 UU 试验可知,预制基质客土块的破坏形式以鼓胀为主,没有明显的剪切破坏面。

图 3 为立方体客土块进行无侧限压缩试验过程中的典型应力—应变曲线。

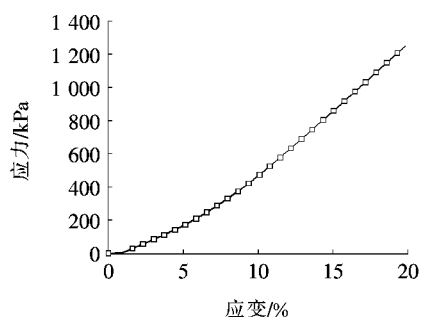


图 3 典型无侧限压缩应力—应变曲线

由图 3 可知:在 20% 应变范围内,强度未出现峰值,试样并未发生明显破坏,只是产生轻微的压缩变形,因为立方体试样表面存在结皮,结皮的存在对试样的强度有一定的增强作用。

图 4 为一组基材配比分别在干燥、饱和条件下的三轴压缩试验中的典型应力—应变曲线。

由图 4 可知:在饱和条件下,试样的强度显著降低,约为干燥状态下强度的 1/6,但无论饱和还是干燥试样,在 20% 应变内,均未达到峰值强度。

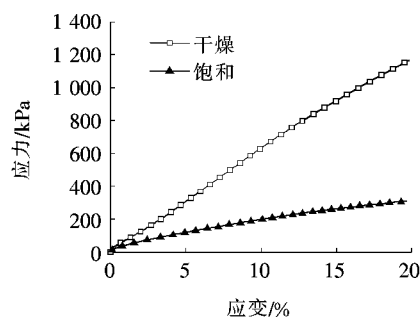


图 4 典型三轴压缩应力—应变曲线

图 5 为秸秆与黄土含量对无侧限抗压强度的影响。

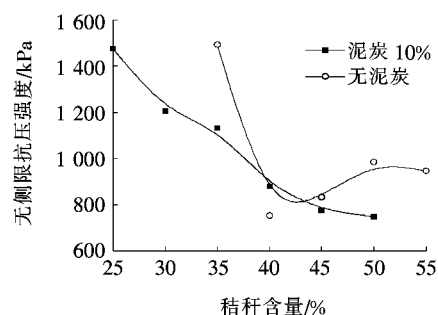


图 5 秸秆与泥炭含量对无侧限抗压强度的影响

由图 5 可知:当试样中没有加入泥炭时,试样的无侧限抗压强度随秸秆掺量的增加呈现出先降低后增大的趋势。当秸秆含量为 40% 时,强度出现最低值,含量为 40%~55% 时,随着秸秆含量的增加,试样的抗压强度逐渐增加并恢复,但其极大值为 1 MPa 仍然远小于秸秆含量为 35% 时的 1.5 MPa。当试样中加入 10% 泥炭时,试样的无侧限抗压强度随着秸秆百分含量的增加、黄土百分含量的减少,呈下降趋势,整个测试区间内未出现曲线拐点。当秸秆含量由 25% 增长到 50% 时(2 倍),试样的峰值强度由 1 476 kPa 减小为 748 kPa(50%)。

此外,无论是否添加泥炭,试样的无侧限抗压强度均与秸秆的添加量呈负相关。对比 1 组和 2 组中秸秆百分含量相同的点,不难看出随着泥炭加入,整体上抗压强度降低。因此,泥炭的掺入对试样的无侧限抗压强度影响显著。

图 6、7 分别为三轴试验的黏聚力、内摩擦角随秸秆不同掺量的变化图。

由图 6 可知:无论是否添加有机质,当秸秆的含量为 30%~50% 时,黏聚力值与秸秆的含量呈现负相关。在没有添加泥炭的情况下,当试样中秸秆含量达到 55% 时(此时黄土含量为 0%),试样的黏聚力并没

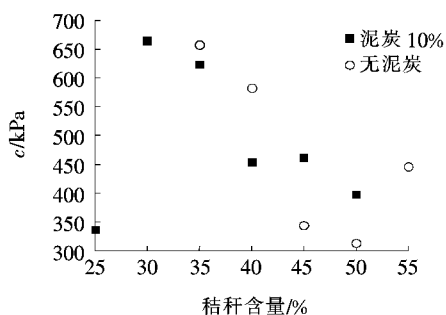


图 6 秸秆与黄土含量对黏聚力的影响

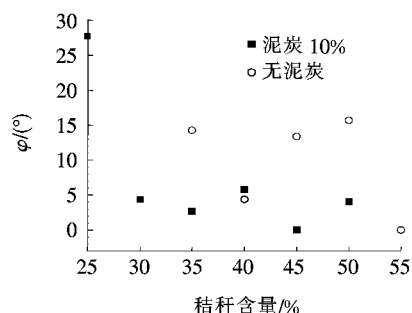


图 7 秸秆与黄土含量对内摩擦角的影响

有如预期那样较低,反而高于邻近的低秸秆含量值,证明秸秆含量应与黄土含量达到一个适合配比才能将试样的黏聚力提高。当试样中添加泥炭后,黏聚力的最小值出现在秸秆含量为 25% 时,同样证明了试样中并不是黄土含量越高,黏聚力就越大。

由图 7 可知:在没有添加泥炭的情况下,当试样中秸秆含量达到 40% 时,试样的内摩擦角出现了极小值,其内摩擦角小于邻近的低秸秆含量值,结合图 6 黏聚力的变化规律和无侧限抗压试验结果(图 5),可以确定秸秆含量达到 40% 时,试样整体强度较低。当试样中秸秆掺量达到 55% 时(此时黄土含量为 0%),试样如预期,内摩擦角接近 0。当试样中添加泥炭后,试样的内摩擦角较未加泥炭明显减小,内摩擦角的变化范围为 0~10°,其值与秸秆含量的关系没有明显的规律性。

图 8 为秸秆含量对渗透系数的影响。

由图 8 可知:两组试样的饱和渗透系数都为  $0.5 \times 10^{-3} \sim 4.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ,差别不大,秸秆百分含量的增加对渗透性没有实质性的影响。

## 4 结论

基于不同配比条件下预制客土块的无侧限抗压强度试验、三轴试验和渗透试验结果,得到如下结论:

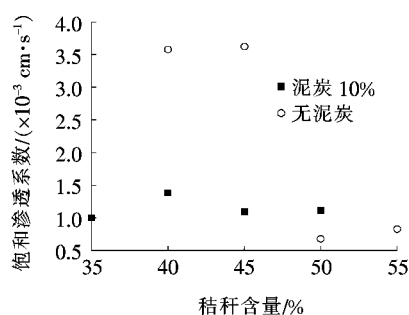


图 8 秸秆与黄土含量对渗透系数的影响

(1) 研制的基质客土最优掺入比为黄土 15%, 秸秆 35%, 泥炭 10%, 硅藻土 30%, 纤维 10%。

(2) 在无泥炭掺入时,客土无侧限抗压强度存在最低值(秸秆含量为 40%~45%);有泥炭掺入时,试样强度随着秸秆含量的增加而近似线性减小。相同秸秆含量时,掺入泥炭后客土的无侧限抗压强度比未掺入泥炭时降低。在秸秆含量为 35%~50% 时,无论是否掺入泥炭,客土的黏聚力都呈下降趋势,但泥炭的掺入减缓了黏聚力下降的程度;内摩擦角在此区间内呈波动状态,加入泥炭后,内摩擦角降低 10° 左右。

(3) 渗透系数数量级为  $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ,秸秆含量对渗透性没有影响;黄土含量降低有利于降低试样密度、减轻掉渣现象,同时增加秸秆可形成骨架,有助于增强韧性;因此可以通过添加适量的植物秸秆与纤维避开抗压强度的最小值区间,在减少黄土百分含量的同时,也能获得较高强度。

## 参考文献:

- [1] 关见留,高桂娟,李志丹,等.应用木屑和复合肥改良生态恢复基质特性[J].热带作物学报,2009(7).
- [2] 黄栋学,张华,赵廷宁,等.客土喷播基质材料配比试验研究[C].中国水土保持学会会议论文集,2008.
- [3] 叶茂,周初跃,郭东锋,等.客土改良对土壤质地及烟株生长发育的影响[J].安徽农业科学,2013(8).
- [4] 黄学文,许泽宁,杨阳.秸秆草毯在高速公路边坡防护中的应用[J].中外公路,2016(4).
- [5] M Agassi, M Ben-Hur. Soil Technology[J]. 安徽农业科学,1992(5).
- [6] 杨俊杰,王亮,郑建国,等.生态边坡客土稳定性研究[J].岩石力学与工程学报,2006(2).
- [7] 王亮,杨俊杰,刘强,等.表面渗流对生态边坡中客土稳定性影响研究[J].岩土力学,2008(6).
- [8] 刘强,杨俊杰,刘红军,等.有限长生态边坡客土稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2009(S1).
- [9] 刘威,孙海龙,李绍才,等.加筋纤维类型及用量对薄层土壤抗剪强度的影响[J].中国水土保持 SWCC,2011(10).

## 薄表层沥青混合料路用性能研究

刘向杰<sup>1</sup>, 李文凯<sup>2</sup>

(1.河南交通职业技术学院, 河南 郑州 450000; 2.河南交院工程技术有限公司)

**摘要:** 随着交通事业快速发展,对高等级公路的服务质量要求越来越高,沥青混凝土路面病害由传统的高温车辙、低温开裂、水损害等病害类型向耐久破坏形式转换。该文在确保薄表层沥青混合料使用耐久性能前提下,改善沥青路面的高温抗车辙、低温抗开裂、水损害等技术指标。通过级配类型和外加剂掺量的不同对 AC-10C、AC-13C、UTL-10、UTL-13 共 4 种细粒式薄表层沥青混合料性能展开研究,结果表明:相比 AC 型沥青混合料,UTL 型沥青混合料具有较好的高温稳定性,但其抗低温开裂性能较 AC 型沥青混合料差;公称粒径较小的混合料,水稳定性更好;当外加剂掺量为 0.4% 时,UTL-13 沥青混合料的水稳定性最佳。

**关键词:** 薄表层沥青混合料; 配合比设计; 外加剂; 路用性能

沥青混凝土路面上面层作为路面结构层的顶层,长期裸露在外面,会受到雨水、空气和光照的作用,同时也是传递和承受车辆荷载的结构层,因此,沥青混凝土常见的裂缝、车辙、麻面、水损害等病害会首先出现在路面上面层。薄表层沥青混凝土路面的摊铺厚度往往会比正常施工时的上面层薄 1~2 cm,上面层厚度的减小,会导致后期施工时碾压不密实,结构层内部空隙较大,在雨水和车辆荷载的共同作用下,路面水损害病害严重;由于上面层结构层厚度减小,薄表层沥青混凝土温度敏感性变大,在昼夜温差较大时会在上面层内部产生较大拉应力,加剧路面裂缝的形成;此外,薄表层沥青混凝土路面更容易发生剪切变形,所以对薄表层沥青混凝土路面的施工更需严格技术要求。该文

通过不同级配类型、不同外加剂掺量的研究来评价 AC-10C、AC-13C、UTL-10、UTL-13 共 4 种沥青混合料的路用性能。

### 1 沥青混合料级配设计

#### 1.1 集料性能

粗集料选择玄武岩碎石,粒径大小为 10~15、5~10、3~5 mm;细集料为 0~3 mm 石灰岩碎石;填料为石灰岩磨细矿粉,原材料各项指标满足相关规范的要求。采用的高分散裂解橡胶沥青由 90# 基质沥青和橡胶粉为原料,胶粉内掺量 20%,同时添加 0.4% 的裂解剂制作而成,其主要技术指标见表 1。

表 1 高分子裂解橡胶沥青主要技术指标试验结果

25 °C 针入度/ (0.1 mm)	软化点/ °C	5 °C 延度/ cm	旋转黏度/(Pa·s)		弹性恢复/ %
			135 °C	180 °C	
64	62.8	10.2	3.35	1.18	73.1

\*\*\*\*\*

- [10] 罗阳明,张俊云,周德培.水泥掺量对植被护坡土强度及肥效影响的研究[J].路基工程,2009(2).
- [11] 燕平,汪展翅,易卫锋,等.新型生态防护技术处理软岩边坡适用性研究[J].中外公路,2018(6).
- [12] 李映,陈金宏,左双英,等.木质素含量对客土喷播层抗剪强度影响的试验研究[J].土工基础,2014(2).

- [13] 张俊云,周德培,武小菲.厚层基材喷射植被护坡的水分常数分析[J].水土保持通报,2005(2).
- [14] 万黎明,余宏明,孔莹,等.复绿基质客土的水分蒸发试验研究[J].工程地质学报,2017(4).
- [15] 石鑫,孙海龙,李绍才.秸秆纤维网覆盖下纤维用量对土壤蒸发的影响[J].中国水土保持 SWCC,2012(2).

收稿日期:2018-09-10

作者简介:刘向杰,男,博士,副教授.E-mail:38088190@qq.com