

文章编号: 1007-2993(2024)03-0374-05

改性粉土的物理力学指标试验研究

姚妙娴

(民航机场规划设计研究总院有限公司, 北京 100029)

【摘要】 为了有效解决粉土在机场道基填筑中存在的工程问题, 对粉土分别采用石灰、二灰(强度等级 42.5 水泥与石灰)和水泥(强度等级 42.5、52.5)四种掺料对其进行改性, 掺量质量比分别为 4%、6%、8%、10%、12%, 对不同改性材料进行无侧限抗压强度试验、压缩试验、击实试验和反应模量试验。结果表明: 各试样的无侧限抗压强度和压缩模量变化规律明显, 均随养护时间和掺量比例的提高而提高; 改性粉土能有效改善原状粉土的压实度和道基反应模量性能指标; 改性粉土最优掺量质量比为粉土掺 8% 水泥(强度等级 52.5); 改性后的粉土可以作为填料直接用于机场道基填筑。

【关键词】 改性粉土; 无侧限抗压强度; 压缩模量; 压实度; 道基反应模量

【中图分类号】 TU41

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2024.03.017

Experimental Study on Physical and Mechanical Indexes of Modified Silt

Yao Miaoxian

(China Airport Planning & Design Institute Co., Ltd., Beijing 100029, China)

【Abstract】 To solve the engineering problems existing in the filling of silt in the airport pavement subgrade effectively, the silt was modified with lime, mixed lime (strength grade 42.5 cement and lime), and cement (strength grade 42.5 and 52.5), the dosage to mass ratio of which was 4%, 6%, 8%, 10% and 12% respectively. Unconfined compressive strength tests, compression tests, compaction tests, and reaction modulus tests on different modified materials were conducted. The results show that the unconfined compressive strength and compression modulus of each sample increase with the increase of curing time and dosage ratio. The modified silt can effectively improve the compaction degree and subgrade reaction modulus of the original silt. The optimal content to mass ratio of silt was silt combined with 8% cement (strength grade 52.5). The modified silt can be used as a filler in the airfield subgrade directly.

【Key words】 modified silt; unconfined compression strength; compression modulus; compaction degree; subgrade reaction modulus

0 引言

机场建设快速发展, 在我国西北、华北及东北等地区, 粉土被广泛用于机场道基的填筑。由于粉土具有强度低、压缩性大、不易压实等特殊的物理力学特性^[1-2], 粉土若直接用于道基填筑, 机场跑道在建设运营期间将会出现许多问题^[3], 如过大的沉降和不均匀沉降、边坡冲刷等。某机场场区内含有大量的粉土, 工程力学指标以及道基反应模量不满足设计要求, 不能直接用于填筑道基^[4]。若不就地取材将会大量增加外借土方, 而且也会明显提高工程造价, 延长工程周期。因此, 对该场区内的粉土进行改性是十分必要的。

目前, 已有学者对粉土的机械加固进行了研究^[5-6],

分析粉土改性机理^[7-8], 并用石灰和水泥对粉土进行改性试验^[9-10], 改性粉土已应用于高速公路、公路路基和基层^[11-14]。粉土经过水泥改良后, 土体的小应变剪切模量和无侧限抗压强度增加^[15-16]。上述研究针对粉土改性的机理以及在公路路基和基层中的应用, 但是改性粉土在机场工程中的应用研究鲜有报道。

本文依托某机场飞行区土石方填筑工程开展室内试验和现场试验, 研究不同掺料和不同掺量的改性粉土对无侧限抗压强度、压缩模量、压实度和道基反应模量等工程力学性能的影响, 为其在机场工程中推广应用提供可靠依据。

1 工程地质条件

根据勘察资料, 该机场飞行区原地面以下 2 m

范围内以新近沉积的粉土为主,粉土的物理力学性质指标见表1、表2。由表2中可以看出,粉土的天然

压实度为0.87~0.93,不满足道基压实度不小于0.96的设计要求。

表1 粉土物理力学性质指标统计表

统计指标	天然含水量 $w/\%$	天然密度 $\rho_0/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	天然孔隙比 e_0	饱和度 $S_r/\%$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	压缩模量 E_s/MPa
最大值	27.8	2	0.868	99	10	0.88	12
最小值	13	1.59	0.58	34	7.1	0.04	3.4
平均值	22.7	1.87	0.756	77.9	8.6	0.36	7.1

表2 粉土重型击实试验成果表

统计指标	最大干密度 $\rho_{dmax}/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	最佳含水量 $w/\%$	天然压实度
最大值	1.81	14.4	0.93
最小值	1.78	14.0	0.87
平均值	1.80	14.2	0.90

勘察期间对浅层新近沉积土进行了6组道基反应模量试验,各试验点浅层土的道基反应模量值在28~37 MN/m³,不满足道基反应模量不小于40 MN/m³的设计要求。

由于粉土道基不易压实,道基反应模量也较低,与机场道面对道基的要求尚有差距。为此,就改性粉

土开展了系统的室内试验和现场试验。

2 室内试验

2.1 试验材料

(1) 粉土

土样选自场内土料。依据《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020)的试验方法,进行室内基本物理力学性质指标测试,试验结果见表1、表2。

(2) 水泥

水泥采用强度等级42.5和52.5的普通硅酸盐水泥,依据《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023)进行相关技术指标的室内试验,试验结果见表3、表4。

表3 42.5 水泥样品试验结果表

密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	比表面积 $(\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1})$	标准稠度 $\%$	初凝时间/min	终凝时间/min	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
					3 d	28 d	3 d	28 d
3.11	360	27.2	174	265	5.7	8.5	33.3	52.8

表4 52.5 水泥样品试验结果表

密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	比表面积 $(\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1})$	标准稠度 $\%$	初凝时间/min	终凝时间/min	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
					3 d	28 d	3 d	28 d
3.18	365	28.1	194	275	6.9	9.3	35.3	57.9

(3) 熟石灰

石灰采用钙质熟石灰,依据民航规范^[7]进行相关技术指标的室内试验,试验结果见表5。

无侧限抗压强度试验设备主要有应变控制式无侧限抗压强度仪、切土盘、重塑筒。压缩模量试验设备有固结仪、变形量测设备等。

表5 熟石灰样品试验结果表

统计指标	有效氧化钙加氧化镁含量 $\%$	含水量 $\%$	0.60mm方孔筛的筛余 $\%$	0.15mm方孔筛的筛余 $\%$	钙镁石灰的分类界线,氧化镁含量 $\%$
数值	70	3	0.5	18	3

2.2 试验方案

为了选择适宜的改性材料,分别采用石灰、二灰(强度等级42.5水泥与掺灰质量比为12%的石灰)和水泥(强度等级42.5、52.5)作为改性材料,掺量(质量比)分别为4%、6%、8%、10%、12%。对不同改性材料进行无侧限抗压强度试验和压缩试验,通过室内

试验检测不同龄期无侧限抗压强度(龄期3 d、7 d、28 d)和压缩模量 E_s (龄期7 d、28 d),从中挑选出无侧限抗压强度和压缩模量 E_s 最高的改性材料,以便用于下一步的现场试验。

室内试验方案见表6和表7。无侧限抗压强度室内试验每组试样4个平行试验;压缩模量室内试

验每组试样 2 个平行试验。

表 6 无侧限抗压强度室内试验方案

试验编号	养护时间d	掺料类型	质量比/%	数量/个
PH3-1 ~ PH3-5	3	石灰		20
PH7-1 ~ PH7-5	7			20
PH28-1 ~ PH28-5	28			20
PHN3-1 ~ PHN3-5	3	二灰(42.5水泥+石灰)		20
PHN7-1 ~ PHN7-5	7			20
PHN28-1 ~ PHN28-5	28			4, 6, 8, 10, 12
PNS3-1 ~ PNS3-5	3	42.5水泥		20
PNS7-1 ~ PNS7-5	7			20
PNS28-1 ~ PNS28-5	28			20
PNW3-1 ~ PNW3-5	3	52.5水泥		20
PNW7-1 ~ PNW7-5	7			20
PNW28-1 ~ PNW28-5	28			20

表 7 压缩模量室内试验方案

试验编号	养护时间d	掺料类型	质量比/%	数量/个
MH7-1 ~ MH7-5	7	石灰		10
MH28-1 ~ MH28-5	28			10
MHN7-1 ~ MHN7-5	7	二灰(42.5水泥+石灰)		10
MHN28-1 ~ MHN28-5	28			4, 6, 8, 10, 12
MNS7-1 ~ MNS7-5	7	42.5水泥		10
MNS28-1 ~ MNS28-5	28			10
MNW7-1 ~ MNW7-5	7	52.5水泥		10
MNW28-1 ~ MNW28-5	28			10

2.3 试验结果

(1) 无侧限抗压强度

不同龄期、不同掺料、不同掺量条件下各试样的无侧限抗压强度见图 1。

从图 1(a)、(b)、(c)可以看出,四种掺料的无侧限抗压强度均随掺量比例的增加而提高,变化趋势基本一致。不同龄期试样 52.5 水泥改性土无侧限抗压强度最高。

(2) 压缩模量

100 ~ 200 kPa 压力下龄期 7 d 及 28 d 各试样压缩模量检测结果汇总见图 2。

可以看出,四种掺料的压缩模量均随掺量比例的增加而提高,变化趋势基本一致。相同龄期试样 52.5 水泥压缩模量最高。

室内试验结果表明,四种改性材料无侧限抗压强度和压缩模量都有不同程度的提高,但以掺 52.5 水泥的改性土无侧限抗压强度和压缩模量最高。

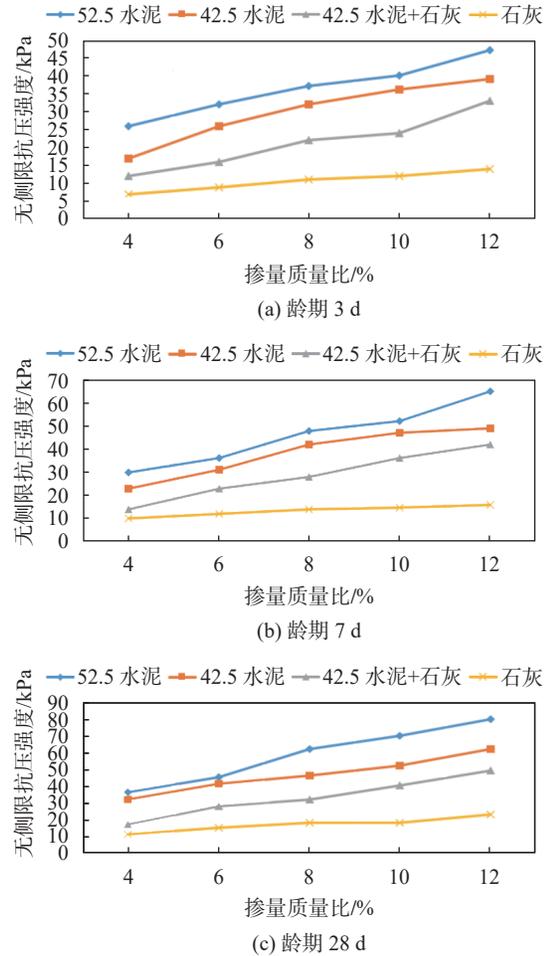


图 1 试样无侧限抗压强度

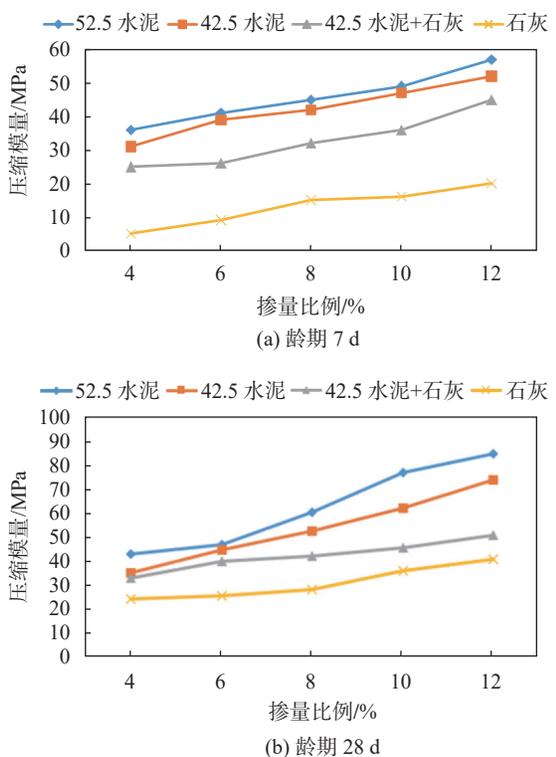


图 2 试样压缩模量

由于该工程工期较紧,当地石灰数量难以满足施工需要,水泥数量充裕。为减少现场试验的工作量,加快试验进度,缩短试验周期,在保证工程质量的前提下,在下一步的现场试验中,仅选择 52.5 水泥作为改性材料,进一步研究不同掺量对压实度和道基反应模量的影响。同时,由于料源的局限性,没有对改性材料进行经济分析。

3 现场试验

3.1 试验材料

粉土取至场内,不得含有淤泥、有机质土或树根、草皮等。水泥采用 52.5 普通硅酸盐水泥,特性指标见表 4。

3.2 试验方案

根据室内试验研究成果,现场采用 52.5 水泥作为改性材料,分别采用掺量质量比 4%, 6%, 8%, 10%, 12% 五种掺量,进一步研究不同掺量对压实度和道基反应模量的影响。

现场试验区位于机场飞行区滑行道。每块试验场地 60 m×5 m,采用振动碾压,现场施工见图 3。



(a) 填筑前整平场地 (b) 碾压施工

图 3 水泥改性土现场施工照片

主要试验检测方案见表 8。

表 8 现场试验检测方案

试验编号	试验项目	水泥掺量质量比/%	数量组
Y1	压实度	4	10
Y2		6	10
Y3		8	10
Y4		10	10
Y5		12	10
K1	道基反应模量	4	3
K2		6	3
K3		8	3
K4		10	3
K5		12	3

水泥改性土现场施工工艺如下:

① 材料选择:应符合 3.1 节要求。

② 拌和:水泥改性土采用改装的钩机齿耙翻拌,要求拌和均匀,含水量按最佳含水量+2% 控制。

③ 摊铺:主要摊铺机械采用平地机、推土机等,必要时采用人工与装载机配合。要求分层填筑,每层虚铺土厚度不大于 0.3 m。

④ 碾压:压实机械选用 18~25 t 的振动压路机,压路机行走速率应不大于 4 km/h,轮迹重叠 1/3,来回两趟算 1 遍。第 1 遍静压,强振碾压 6 遍,弱振碾压 2 遍,最后静压至无明显轮迹。

压实完成后检测压实度,28 d 后检测道基反应模量。

3.3 试验结果

(1) 压实度

不同掺量的 52.5 水泥改性土,压实度结果见图 4。

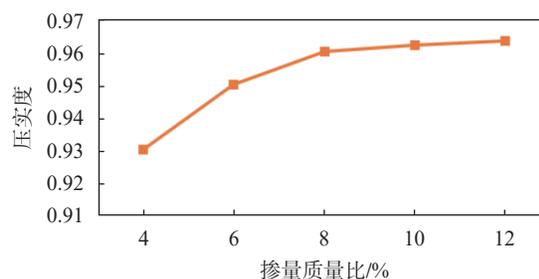


图 4 不同 52.5 水泥掺量改性土压实度

由图 4 可以看出,水泥改性土压实度随水泥掺入量增加而增加。当水泥掺量到 8% 后,压实度达到 0.96,满足道基压实度不小于 0.96 的设计要求。随水泥掺量继续增加,改性土压实度增加不明显。

(2) 道基反应模量

不同掺量的 52.5 水泥改性土道基反应模量试验结果见图 5。

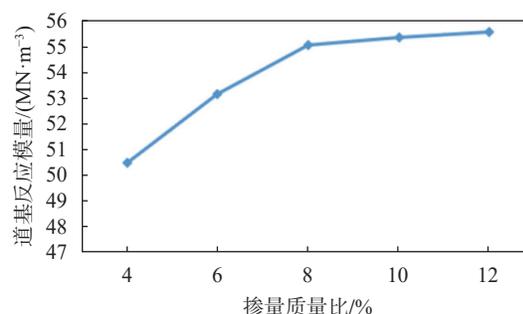


图 5 不同 52.5 水泥掺量改性土道基反应模量

由图 5 可以看出,道基反应模量值均大于 50 MN/m³,满足道基反应模量不小于 40 MN/m³ 的设计要求。水泥掺量小于 8% 时,随水泥掺量的增加,道基反应模量明显增加;水泥掺量大于 8% 时,随水泥掺量的增加,道基反应模量增加不明显。

现场试验结果表明,粉土经水泥改性后压实度和道基反应模量均得到提升,可用于道基填筑,满足

设计要求,应采用分层填筑、分层压实的方式。

4 结论

(1)改性粉土的无侧限抗压强度、压缩模量均随掺量比例的增加而提高,变化趋势基本一致。

(2)改性粉土的无侧限抗压强度、压缩模量均随养护时间的延长而提高,且随着时间延长,改性土力学性能会继续增强。

(3)水泥改性粉土能有效提高原状粉土的压实度和道基反应模量,可用于道基填筑。

(4)改性粉土的适宜材料为 52.5 普通硅酸盐水泥,掺量(质量比)为 8%。

(5)结合本项目的实际情况,水泥改性土在质量和工期上优势明显,可在类似工程中推广应用。

参 考 文 献

- [1] MH/T 5025—2011 民用机场勘测规范[S].
- [2] MH/T 5027—2013 民用机场岩土工程设计规范[S].
- [3] MH/T 5004—2010 民用机场水泥混凝土道面设计规范[S].
- [4] MH 5001—2021 民用机场飞行区技术标准[S].
- [5] 厉超,李进,陈晓光.粉土地基强夯动孔压增长及地面变形规律研究[J].北方交通,2015(8):39-42.
- [6] 徐超,陈忠清,叶观宝,等.冲击碾压法处理粉土地基试验研究[J].岩土力学,2011,32(S2):389-392,400.
- [7] 刘本立,张朋,魏明,等.黄河冲积区过湿粉土改良机理及压实特性[J].交通世界,2023(34):44-47.
- [8] 崔伟,吕高航,刘春阳.低液限粉土的力学性能改善及试验分析[J].科学技术与工程,2018,18(8):302-306.
- [9] 张艳美,刘笑,程菲菲,等.木质素-石灰改良黄河冲积粉土的力学特性[J].中国科技论文,2021,16(6):610-615.
- [10] 施海建,张福海,袁赛峰,等.水泥改良西藏林芝地区粉土路用性能试验研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2018,35(1):66-70.
- [11] 黄伟,刘春阳,巩泽辉,等.高速公路低液限粉土路面基层改性加固技术研究[J].交通科技,2023(2):28-32.
- [12] 赵俊明.里下河地区粉土和石灰改良粉土路基吸水性试验研究[J].现代交通技术,2017,14(4):22-25.
- [13] 刘松玉,张涛,蔡国军.工业废弃木质素固化改良粉土路基技术与应用研究[J].中国公路学报,2018,31(3):1-11.
- [14] 孙兆云,王林,张磊,等.基于DCP的不同固化粉土基层路用性能分析[J].岩土工程技术,2023,37(1):19-23.
- [15] 马泽,马宏旺,李建,等.改性粉土力学性能试验研究[J].工程抗震与加固改造,2015,37(5):113-118.
- [16] 张涛,刘松玉,蔡国军.固化粉土小应变剪切模量与强度增长相关性研究[J].岩土工程,2015,37(11):1955-1964.
- [17] MH/T 5014—2022 民用机场飞行区土石方与道面基层(垫)层施工技术规范[S].

收稿日期:2023-11-23