

土壤固化剂在天津空客 A320 工程道路中的应用研究

王晓华¹, 王新岐¹, 李长升²

(1.天津市市政设计研究院,天津 300051;2.天津大学建筑工程学院,天津 300072)

摘要:该文介绍了土壤固化剂在道路工程予以应用的一例试验研究。通过室内无侧限抗压强度、CBR 承载比、回弹模量试验,为天津空客 A320 配套工程公路建设使用土壤固化剂处理路基确定了施工方案和保证施工质量的控制指标。其结果是:现场土添加 4% 石灰和土壤固化剂的无机稳定土做路床处理时,当压实度大于 90.0%,其抗压强度可大于 0.80 MPa。现场土添加 2% 水泥、3% 石灰和土壤固化剂做底基层无机稳定土时,压实度达到 95.5% 以上,则无侧限抗压强度可满足 1.5 MPa 的要求。现场土添加 3% 水泥、3% 石灰和土壤固化剂做公路基层无机稳定土时,无侧限抗压强度若要达到 2.5 MPa,压实度必须控制在 97.6% 以上。试验总结出的无侧限抗压强度与压实度的关系曲线,为道路建设质量控制提供了参考值。

关键词:土壤固化剂;路基处理;道路基层;室内试验

中图分类号:U416.03 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2009)10-0065-04

1 概述

空中客车公司 A320 总装线落户天津将大大提升天津滨海新区开发开放的步伐,搞好配套工程建设具有重要的意义。通过对 A320 总装线项目相关资料的分析、现场察勘,以及参照工业区岩土工程勘察报告,空客 A320 总装线配套工程建设场地属于华北平原东部滨海平原地貌,属海相与陆相交互沉积地层。厂区处土坑较多,地基土含水量较高、孔隙比偏大、呈中压缩性。由于软土地基强度低、沉降大、沉降历时长,特别考虑 A320 总装线运输车辆均为运输大件的车辆,对道路等设施建设的更高要求,软土地基处理^[1]的好坏,将直接影响道路、排水、桥梁的使用质量与使用寿命。因此软土地基处理成为空客 A320 总装线厂区道路、排水、桥梁建设一个首要的关键技术问题。在道路建设中常规软土地基处理方法^[2]是将现场土换成符合要求的掺有水泥、石灰、粉煤灰或矿渣等无机辅料稳定土。土壤固化剂是 20 世纪 90 年代由美国和日本传入我国,其特点是可以充分利用当地土壤,适量添加无机辅料和土壤固化剂,使土壤由亲水性改变成疏水性,从而提高土壤的耐水性和抗压强度^[3],最终达到方便施工和降低成本的目的。目前已陆续在其他省市的一些公路和城市道路上使用。天津地区由于地下水位高、土壤特性复杂,单方造价相对较高,至今在市政工程上较少使用土壤固化剂。本着技术创新、服务社会的思想,依托空客 A320 总装线配套工程建设,天津市市政设计院滨海分院与天津大学建筑工程学

院联合,进行土壤固化剂应用于路基处理的试验研究,通过室内试验和试验路段的验证,率先将土壤固化剂应用于空客 A320 总装线配套工程建设,以提高软土地基承载力的问题,为空客配套工程建设提供了技术支持。

2 室内试验及主要研究过程

目前国内土壤固化剂种类繁多,经过筛选,只选择几种适于天津滨海地区的土壤固化剂用于室内试验。由于篇幅所限,以下介绍研究内容仅以某土壤固化剂为例。这种土壤固化剂是一种内浸性材料的液体固化剂,它能将土壤中的矿物质和土壤分子分解,使其重新结晶,产生新的化学键,从而形成土壤固化层使土壤由亲水性改变成疏水性^[3]。辅料为 325# 普通硅酸盐水泥和消石灰。试验过程中使用一般自来水对液体固化剂进行稀释,土壤为滨海新区空客总装场地土,土壤特性如表 1 所示。

表 1 空客现场土壤物理特性表

土壤名称	土壤描述	原状土密度	原状土含水量	塑限
滨海新区	黑褐色软土,松			
空客总装	散状,含有植物	1 870 kg/m ³	26.73%	18.40%
地现场土	根系等有机质			

首先测定原状土自然密度、自然含水量及土壤塑限和液限,确定现场土壤物理特性。依据《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)^[4]、《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)^[5]等进行以下试验。

2.1 击实试验

对现场土配制不同含水量并击实,分别称重、测定含水量、计算土壤干密度,通过曲线拟合的方

收稿日期:2009-06-04

作者简介:王晓华(1959-),女,天津人,教授级高级工程师,从事道路工程设计工作。

法得出土壤干密度与含水量的关系曲线(见图1),确定该土壤的最大干密度为 1.81 g/cm³,最佳含水量为 16.52%。用同样的方法得出(现场土 95%+水泥 2%+石灰 3%+固化剂)无机辅料稳定土的干密度与含水量的关系曲线(见图1),其最大干密度为 1.87 g/cm³,最佳含水量为 15.64%。为添加土壤固化剂制作不同配比无机辅料稳定土的试件提供参考。

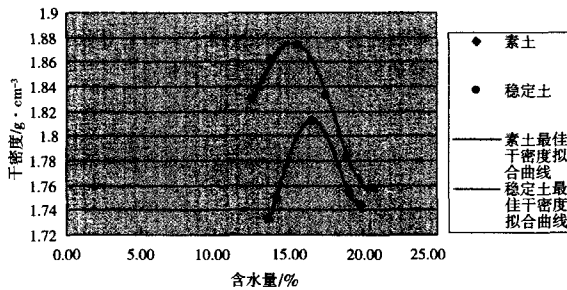


图1 土壤含水量~干密度关系曲线图

2.2 无侧限抗压强度

添加固化剂,按照试验规程要求制作不同辅料配比、不同压实度、不同含水量的 φ 50 × 50 mm 试件。试件制作过程中土壤混合料的含水量均比最佳含水量大 1%~2%。养护 6 d 后浸水 24 h,进行无侧限抗压强度试验。表 2 为不同辅料配比添加固化剂后试件的无侧限抗压强度试验结果。由于试件的抗压强度与压实度有关,将不同辅料配比试件的无侧限抗压强度试验结果除以各自的压实度再作比较。试件压实度的计算方法:

$$\varphi = \frac{W \times \frac{50}{h}}{\rho d_{\max} \times v \times (1 + \omega)}$$

式中:φ——压实度;

W——试件重量(g);

h——试件高度(mm);

ρd_{max}——最大干密度(g/cm³);

v——试件体积(cm³);

ω——最佳含水量。

无侧限抗压强度是随压实度的提高而增大。为了探讨两者之间的关系,分别对三组不同配比无机辅料稳定土试件在不同压实度情况下的无侧限抗压强度进行了试验。为了研究无侧限抗压强度~压实度的关系,分别制作不同压实度的试件各三个,然后取平均值,表 3 是试验结果。图 2 是根据表 3 试验结果绘制的无侧限抗压强度与压实度关系曲线。通过三条曲线可以看出,无侧限抗压强度与压实度呈线性关系,无侧限抗压强度随压实度的提高而增大。空客现场土添加 4% 石灰和

表 2 不同辅料配比添加固化剂后试件的无侧限抗压强度试验结果表

描述	编号	等效重量 /g	压实度 /%	抗压强度 /MPa	平均值 /MPa
2%水泥 +3%石灰 + 固化剂	1-1	208.6	97.70	1.86	2.08
	1-2	208.5		1.86	
	1-3	209.3		1.89	
	1-4	208.5		2.00	
	1-5	208.8		2.51	
	1-6	208.9		2.36	
4%石灰 + 固化剂	2-1	200.3	96.32	1.26	1.46
	2-2	201.6		1.32	
	2-3	205.7		1.56	
	2-4	207.3		1.47	
	2-5	208.1		1.68	
	2-6	211.4		1.45	
3%水泥 +3%石灰 + 固化剂	3-1	207.0	97.20	2.48	2.44
	3-2	205.2		2.34	
	3-3	207.1		2.53	
	3-4	209.8		2.42	
	3-5	208.9		2.59	
	3-6	207.3		2.25	

路邦固化剂做路床无机稳定土时,若压实度 > 90%,其抗压强度可大于 0.82 MPa,满足高速公路或一级公路底基层 7d 抗压强度大于 0.8 MPa 的要求。空客现场土添加 2% 水泥、3% 石灰和路邦固化剂做底基层无机稳定土时无侧限抗压强度若要达到 1.5 MPa,压实度需要达到 95.5%。空客现场土添加 3% 水泥、3% 石灰和路邦固化剂做基层无机稳定土时无侧限抗压强度若要达到 2.5 MPa,压实度至少需要达到 97.6%。试验结果表明,压实度对工程质量具有重要的意义。该次试验总结出的无侧限抗压强度与压实度关系曲线可以为道路施工中的压实度控制提供参考。

表 3 三组不同配比试件在不同压实度情况下的无侧限抗压强度表

2%水泥+3%石灰			4%石灰			3%水泥+3%石灰		
等效质量/g	压实度/%	抗压强度/MPa	等效质量/g	压实度/%	抗压强度/MPa	等效质量/g	压实度/%	抗压强度/MPa
199.80	92.93	1.1	200.30	93.77	1.26	197.27	92.35	1.6
203.35	94.58	1.4	201.60	94.38	1.32	199.42	93.36	1.77
206.16	95.89	1.57	205.70	96.30	1.56	206.17	96.52	2.4
208.09	96.79	1.91	207.30	97.05	1.62	209.6	98.13	2.59
210.62	97.96	2.13	208.10	97.43	1.68	211.3	98.92	2.7
213.19	99.16	2.47	—	—	—	211.9	99.20	2.72

注:等效质量=试件质量×50mm/试件高度(mm)

从表 2 的结果可以看出,95%现场土+2%水泥+3%石灰+固化剂试件的平均无侧限抗压强

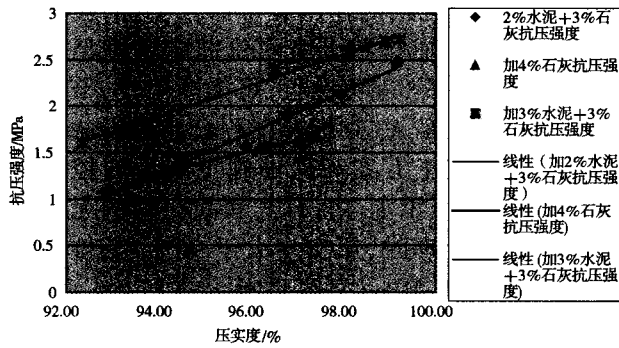


图2 三组不同配比试件的无侧限抗压强度与压实度关系曲线图

度为 2.08 MPa, 通过曲线拟合计算得出, 当压实度达到 95.5% 时, 可以满足公路底基层无侧限抗压强度大于 1.50 MPa 的要求; 94% 现场土 + 3% 水泥 + 3% 石灰 + 固化剂室内试验试件的平均无侧限抗压强度为 2.71 MPa, 通过曲线拟合计算得出, 当压实度达到 97.6% 时, 可以满足公路基层无侧限抗压强度大于 2.50 MPa 的要求。表 4 是相同配比分别养护 14 d、28 d 后浸水作 24 h 做无侧限抗压强度试验的结果, 试验结果表明抗压强度随龄期的增长而提高。

表 4 不同龄期试件的无侧限抗压强度试验结果表

配比	龄期 / d	制作质量 / g	等效质量 / g	压实度 / %	抗压强度 / MPa
4%石灰	7	220.1	208.7	97.70	1.46
	14	220.20	208.8	97.74	1.81
	28	219.77	208.4	97.55	2.33
2%水泥 +3%石灰	7	220.9	205.7	96.32	2.08
	14	217.45	202.5	94.82	1.89
	28	219.01	204.0	95.50	2.54
3%水泥 +3%石灰	7	220.9	207.6	97.20	2.44
	14	218.3	205.2	96.06	2.65
	28	219.3	206.1	96.50	2.98

为了验证土壤固化剂在空客区域土壤的使用效果, 分别作了两组相同配比不加固剂与添加固化剂的对比无侧限抗压强度试验 (均为 $\phi 50 \times 50$ mm 试件), 对比试验结果见表 5。

试验结果表明 4% 水泥 + 6% 石灰 + 90% 空客土配比添加土壤固化剂试件比不添加土壤固化剂试件的 7 d 无侧限抗压强度提高 15% 左右; 3% 水泥 + 3% 石灰 + 94% 空客土配比添加路邦土壤固化剂试件比不添加土壤固化剂试件的 7 d 无侧限抗压强度提高 11% 左右。而固化剂的作用主要体现在后期, 因此, 随着龄期的增长, 添加土壤固化剂可以有效提高土壤的承载力。

2.3 CBR 承载比试验和回弹模量试验

按照《公路土工试验规程》选择合适的配比,

表 5 养生 7 d 通过水稳后固化剂效果的对比抗压强度试验结果表

配比	试件	抗压强度	抗压强度均值	配比	试件	抗压强度	抗压强度均值
4%水泥 6%石灰 90%土 含水量 17%加 固化剂	A-1	1.91	2.21 MPa	3%水泥 3%石灰 94%土 含水量 17%加 固化剂	C-1	2.48	2.71 MPa
	A-2	2.03			C-2	2.34	
	A-3	2.59			C-3	3.04	
	A-4	2.49			C-4	2.42	
	A-5	1.94			C-5	2.59	
	A-6	2.31			C-6	3.38	
4%水泥 6%石灰 90%土 含水量 17%	B-1	1.72	1.93 MPa	3%水泥 3%石灰 94%土 含水量 17%	D-1	2.53	2.45 MPa
	B-2	2.14			D-2	2.36	
	B-3	—			D-3	—	
	B-4	—			D-4	—	
	B-5	—			D-5	—	
	B-6	—			D-6	—	

加入土壤固化剂用击实法制作 $\phi 150 \times 150$ mm 试件, 分别养护 6 d, 浸水 24 h 后进行 CBR 承载比试验和回弹模量试验, 测定这些稳定土配比试件的力学特性。表 6 是 2% 水泥 + 3% 石灰 + 固化剂 + 95% 空客土配比和 4% 石灰 + 固化剂 + 96% 空客土配比无机稳定土试件承载比试验结果, 表 7 是这两种配比试件的回弹模量试验结果。试验结果表明, 上述配比满足高速公路或一级公路底基层 7 d 抗压强度大于 0.8 MPa 的要求以及公路路基对 CBR 承载比和回弹模量的要求。

表 6 承载比试验结果表

配比	量力环校正系数 / N · (0.01 mm) ⁻¹	贯入杆面积 / cm ²	单位压力 / kPa	贯入量 / mm	CBR / %	备注
2% 水泥 +3% 石 灰 + 固 化剂 + 空客土	112.6	19.635	1016.46	2.5	14.52	养生 6 d, 浸水 24 h 进行 CBR 试验
	112.6	19.635	1289.04	5.0	12.28	
	112.6	19.635	1033.55	2.5	14.77	
	112.6	19.635	1289.91	5.0	12.28	
4% 石灰 + 固化剂 + 空客土	112.6	19.635	848.46	2.5	12.12	
	112.6	19.635	1069.79	5.0	10.19	
	112.6	19.635	747.91	2.5	10.68	
	112.6	19.635	958.43	5.0	9.13	

表 7 回弹模量试验结果表

单位压力 / kPa	回弹模量 / kPa			
	2% 水泥 + 3% 石灰 + 固化剂 + 空客土 1	2% 水泥 + 3% 石灰 + 固化剂 + 空客土 2	4% 石灰 + 固化剂 + 空客土 1	4% 石灰 + 固化剂 + 空客土 2
49.9	104 236.4	191 100.0	214 987.5	181 042.1
99.8	109 200.0	91 728.0	118 613.8	152 880.0
149.7	143 325.0	97 352.8	108 625.3	108 625.3
194.6	105 576.4	97 160.9	109 009.8	109 009.8
249.6	144 529.4	102 988.0	117 000.0	117 000.0
299.5	149 556.5	106 936.8	124 330.1	124 330.1

3 试验路段检测结果

试验路段位于空客 A320 厂区内,长 200 m,路基宽 21.5 m,对现状土基进行开挖,然后回填碎石,在碎石层上施作三层土壤固化剂固化石灰土和土壤固化剂固化水泥石灰土。整个试验段划分为三段,第一段长 50 m;第二段长 60 m;第三段长 90 m。

施工过程中严格按照确定的含水量、配比、压实度和工艺进行施工。从试验路段检测结果看(施工路段检测结果 7 d 强度见表 8),经土壤固化剂处理后路基回弹模量最小值为 89.7 MPa,平均值在 100~150 MPa 之间,已远大于路基顶层回弹模量的要求(顶层回弹模量要求大于 40 MPa)。CBR 值一般在 22%~25%之间,远大于道路路基对 CBR 的要求。表明应用土壤固化剂处理的路基满足工程要求,最终可以达到方便施工和降低成本的目的,并为天津滨海地区使用土壤固化剂处理软土地基摸索了经验,同时也为天津地区广泛使用土壤固化剂奠定了良好的基础。

表 8 试验路段回弹模量、CBR 检测结果表

段落	指标	1	2	3	4	平均值
第一段	回弹模量 /MPa	89.7	174.5	147.7		137.3
	CBR/%	25	22	23		23.3
第二段	回弹模量 /MPa	117.8	102.7	126.6	100.8	111.9
	CBR/%	29	19	20	17	21.3
第三段	回弹模量 /MPa	153	112.4	153.4	156.0	149.5
	CBR/%	18	16	21	31	22.2

4 总结

借助空客总装线配套建设工程,通过大量的

试验对土壤固化剂的作用有了深入了解,使用现场土添加适当辅料和土壤固化剂能够满足处理路基的各项要求,避免换土,可提高工效,节省筑路成本。为空客 A320 配套工程公路建设的路基处理确定了施工方案和保证施工质量的控制指标:空客现场土添加 4%石灰和固化剂的无机稳定土做路床处理时,压实度大于 90%,其抗压强度可大于 0.80 MPa;空客现场土添加 2%水泥、3%石灰和固化剂做底基层无机稳定土时,压实度需控制达到 95.5%以上则无侧限抗压强度可满足 1.5 MPa 的要求;空客现场土添加 3%水泥、3%石灰和固化剂做公路基层无机稳定土时,无侧限抗压强度若要达到 2.5 MPa,压实度必须控制在 97.6%以上。压实度对工程质量具有重要的意义,试验总结出的无侧限抗压强度与压实度关系曲线可以为道路施工中的质量控制提供参考。

施工路段检测结果表明按照上述试验研究确定的配比和工艺,应用土壤固化剂处理的路基满足工程要求,最终达到了方便施工和降低成本的目的。目前道路使用状况较好。

参考文献

- [1]Tr Vses Dorozhn Nauch-issled Inst, Design and construction of roadbeds on weak ground (In Russian), International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Volume 15, Issue 5, October 1978, Page A115.
- [2]段晔新,乔影.高等级公路中的软土地基处理方法[J].黑龙江水利科技,2005,(6).
- [3]柯劲松.EN-1 土壤路基固化剂及应用[J].新型建筑材料,1995,(4).
- [4]JTJ 051-93,公路土工试验规程[S].
- [5]JTJ057-94,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].

南浦大桥东侧引桥顶升已完全到位

南浦大桥东侧引桥顶升 5.91 m 已完全到位,建设者通过裁断原先的桥墩再抬升 5.91 m 的方法,使其与高度落差将近两层楼高的浦东内环线的龙阳路高架连接。今年年底,南浦大桥东侧引桥顶升工程将全部完成。2010 年春节前,新建高架引桥结束结构施工。

正在建设中的龙阳路高架已铺设到南浦大桥下,等待和南浦大桥相对接。龙阳路高架有 20 多米高,比南浦大桥的引桥高出一截,为了弥补这个落差,建设者采取顶升、抬高桥面的方式,使南浦大桥引桥与龙阳路高架对接。