

浦东机场跑道冲击碾压地基处理试验研究

苏尔好

(上海华东民航机场建设监理有限公司,上海 200335)

摘要:针对浦东机场跑道系统的地质条件,提出了“井点降水+垫层+冲击碾压”地基处理试验方案,在试验过程中进行了监测和检测,对试验数据进行了分析,为大面积地基处理设计、施工和检测标准的制定提供了直接依据。

关键词:浦东机场;机场跑道;冲击碾压;地基处理

中图分类号:TU472;V351.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2006)12-0009-05

Experimental Investigation on Subgrade Treatment of Runway with Impaction and Grind Method in Pudong Airport/SU Er-hao (Shanghai East China Civil Airport Supervision of Construction Co. Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: According to the geological conditions of runway system in Pudong Airport, testing proposal of “well point dewatering + Cushion + impaction and grind” was put forward and was monitored and detected during the testing procedure. Test data was analyzed to provide direct basis for design, construction and working out the detecting standard for large scale subgrade treatment.

Key words: Pudong Airport; runway in airport; impaction and grind; subgrade treatment

1 工程概况

浦东机场跑道系统所在场区为百年前新淤积而成的海滨平原,地势平坦,河网纵横密布。勘察查明,在所揭露深度 65 m 范围内的地基土分别主要由饱和粘性土、粉性土和砂土组成,呈水平层理分布,根据地基土的特征、成因年代及物理力学性质的差异划分为 6 个主要层次;而且工程地质条件也显示,场区的中部土层以饱和粘性土为主,特别是中、下层土质软弱,具有厚度大、含水量高、孔隙比大、压缩性高、渗透性低、固结时间长、有机质含量高等特点,具有中等~高压缩性。

从其工程地质条件可知,在场区浅部土层厚度不大的范围内,自上而下先后呈层状分布有填土、粉质粘土、淤泥质粉质粘土、砂质粉土,局部河流、明浜、鱼塘区域分布有浜土。这些土层物理力学性能差异较大,相同荷载作用下,会产生不均匀变形;其次,对于同一土层的不同位置,其物理力学性能也有较大的差异;另外,整个表层土的地基反应模量和强度均较低,在飞机荷载作用下容易产生累积塑性变形。

为此,浅层地基处理的目的是通过选取合适的处理方案对浅层土进行加固,提高其强度和承载力,改善其不均匀性,并和土性较好的砂质粉土共同形成硬壳层地基,最终给机场道面结构提供均匀稳

定坚实的基槽。

2 冲击碾压试验方案

2.1 冲击碾压技术

冲击碾压技术最早由南非开发,关键核心是其研制的一种新型压实设备,它的基本工作原理是用拖车牵引非圆形的碾压轮来输送能量,不仅像一般振动压路机一样产生压实能,还能产生巨大的冲击能量,达到压实土基及填料的目的。冲击碾压突破了传统的碾压方式,当其非圆形重轮立于地面向前碾压时,会产生巨大的冲击波,由于轮边顺序连续冲击地面,可使土基碾压均匀密实。如果碾压机以 9~12 km/h 的行驶速度进行碾压作业,即冲击碾以 2 次/s 的频率冲击地面,相当于低频大振幅冲击压实土基,并周期性地冲击地面,从而产生强烈的冲击波向地下深层传播,且具有地震的传播特性,其压实深度可随碾压遍数递增。

与传统的振动压路机相比,冲击碾压将高频率、低振幅振动改为低频率、高振幅振动,压实冲击能量可增加 10 倍(以 25 kJ 三角形冲击压实机为例,冲击力可达 2500 kN 以上),压实影响深度可达 5 m,在 3~4 m 深度内压实效果明显,对相对深层土基强度的提高有明显作用;冲击碾压速度提高 1~2 倍。

2.2 冲击碾压试验方案

收稿日期:2006-11-30

作者简介:苏尔好(1965-),男(汉族),浙江平阳人,上海华东民航机场建设监理有限公司工程师,建设监理与管理工程专业,从事工程监理工作,上海市虹桥路 2550 号 250 坊虹桥机场内,13916088868, suerhao888@126.com。

根据浅层处理的目的,结合现有工程可行的实际施工工艺,提出“井点降水+垫层+冲击碾压”试验方案。其试验方案的主要工艺为:通过井点降水,使浅部土层含水量下降并接近最佳含水量,然后在地基土表层摊铺山皮石垫层并进行冲击碾压,这样,既可以通过冲击碾压增加浅部土层的密实度和强度,同时可以消除浅部土层塑性变形和不均匀性。

此方案能够比较好的解决浅部土层的主要工程地质问题,同时具有施工便捷、工程造价低的特点。

冲击碾压沉降量相对较小,由此产生的回填土方量少,所引起的附加工后工程荷载也相对较小,这对控制工后沉降有一定好处。对本场区地基土层而言,第③层砂质粉土是力学性质较好的相对硬土层,土层厚度6m左右,层顶埋深约3m,冲击碾压工艺不破坏该土层,保持其原状土的完整性,并在碾压后共同形成浅部土层中的“硬壳”。试验方案的工艺简图如图1所示。

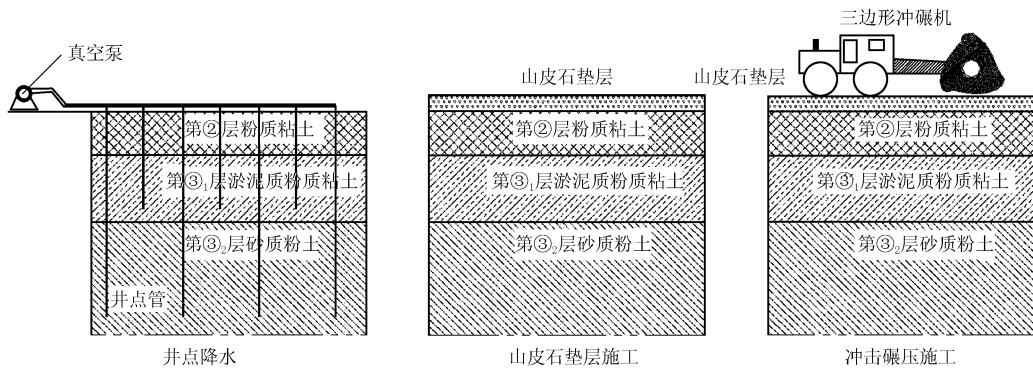


图1 冲击碾压施工工艺简图

冲击碾压机发挥最佳效果的工作速度为12~15 km/h,试验区场地适合采用长方形。经综合考虑,冲击碾压试验区定在该跑道北侧的规划滑行道区域,且在滑行道全宽度范围进行,试验区尺寸为64 m × 128 m,面积8192 m²。根据垫层厚度和降水工艺不同,划分为C1~C4四个试验分区,并在试验区北侧单独安排一个不降水冲击碾压试验分区C5区,面积2048 m²,以便和降水区进行比较。冲击碾压试验区的几个设计参数见表1,试验区布置见图2。

表1 冲击碾压试验区的设计参数

试验区号	面积/m ²	山皮石垫层厚度/cm	井点降水工艺
C1区	2048	35	井点降水
C2区	2048	35	高真空降水
C3区	2048	50	井点降水
C4区	2048	50	高真空降水
C5区	2048	50	

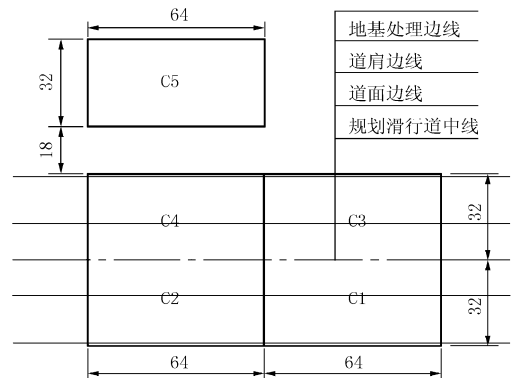


图2 冲击碾压试验区的布置图

层摊铺;

6月3~5日,C1~C4区一起采用蓝派三角形和五边形冲击式碾压机完成冲击碾压,同时完成振动监测,冲碾过程中没有发生弹簧现象,冲碾效果显著;

6月21~22日,完成C1~C5区的地基反应模量的检测;

6月24~26日,完成C1~C5区的静探、标贯检测。

3 冲击碾压试验区施工

2005年5月10日,冲碾区场地平整完成;

5月19日,冲碾区C1~C4区开始井点降水;

5月22~25日,C5区采用蓝派三角形和五边形冲击式碾压机完成冲击碾压,冲碾效果明显;

5月30日,C1~C4区内部井点降水第11天,土层含水量检测达到设计要求,于29日下午拔管;

5月31日~6月2日,C1~C4区完成山皮石垫

4 冲击碾压试验区检测结果

冲击碾压试验区的主要监测和检测内容有:场地高程、水位和孔隙水压力、土层含水量、山皮石垫

层干容重、地基反应模量、静探、标贯、振动、面波。

4.1 场地高程

各分区的平均冲碾沉降量见表 2。可以看出:(1)第一轮和第二轮的冲碾沉降量较大,第三轮和第四轮的冲碾沉降量较小;(2)各轮的冲碾沉降呈收敛之势,且收敛很快,第四轮的冲碾沉降量为 1 cm 以内;(3)C1 ~ C4 区的冲碾沉降量比较均匀,基本与降水工艺和垫层厚度无关,而 C5 区由于没有降水,冲碾沉降量略大。

表 2 各分区的平均冲碾沉降量 /cm

试验分区	C1	C2	C3	C4	C5
第一轮	5.5	5.1	5.3	4.1	7.4
第二轮	2.6	2.2	2.0	3.2	3.1
第三轮	0.6	0.8	1.3	1.9	2.4
第四轮	0.7	0.5	0.2	0.9	0.5
累计	9.4	8.6	8.8	10.1	13.5

将冲击碾压沉降量划分为 2 部分,即山皮石垫层本身压缩沉降量和山皮石垫层以下土层沉降量,见表 3。可以看出:(1)垫层本身压缩沉降量和垫层下土层沉降量基本相当;(2)相对 C1、C2 区而言,

表 3 各分区不同层位的沉降量 /cm

冲击碾压沉降量的组成	C1	C2	C3	C4	C5
山皮石垫层压缩沉降量	4.3	3.9	4.9	5.3	5.8
山皮石垫层以下土层沉降量	5.1	4.7	3.9	4.8	7.7
合计	9.4	8.6	8.8	10.1	13.5

表 4 不同深度范围内的含水量变化情况 /%

土层深度 /cm	C1		C2		C3		C4	
	降水前	降水后	降水前	降水后	降水前	降水后	降水前	降水后
50	25.5	21.0	19.6	20.1	28.2	22.9	28.4	22.3
100	31.6	23.5	24.2	22.8	30.2	24.1	29.7	22.0
150	35.8	24.3	26.3	24.0	33.7	23.7	35.7	22.0
200	31.5	23.8	26.2	23.5	28.3	23.1	29.1	22.0
250	24.2	22.0	26.0	20.1	33.9	22.1	34.5	20.4
300	22.1	20.1	31.2	16.3	23.1	21.3	23.3	18.8
350	21.7	20.0	28.7	19.0	23.7	20.9	24.5	15.7
400	21.3	21.6	23.8	20.4	28.5	21.1	27.9	20.8

4.4 山皮石垫层干容重

各试验分区的垫层干容重均能达到 1.9 g/cm³ 以上。

4.5 地基反应模量

冲击碾压完成之后,挖掘机配合人工进行了找平,再采用 16 t 振动压路机反复碾压了 20 遍后。经检测得到各区的地基反应模量如表 5 所示,并得出以下结论:(1)通过冲击碾压并配合找平碾压,山皮石垫层的地基反应模量得到较大提高,其中 C3 和 C4 区的反应模量均为 60 MN/m³ 以上,达到了预期

C3、C4 区由于垫层摊铺厚度多 15 cm,垫层压缩沉降比垫层下土层沉降略大。

4.2 地下水位

井点降水期间各区的水位历时变化如图 3 所示。可以认为:(1)通过降水使试验区内水位下降了 1.5 ~ 2.0 m,为冲击碾压施工创造了有利条件;(2)井点降水和高真空降水效果在降低水位上区别不明显。

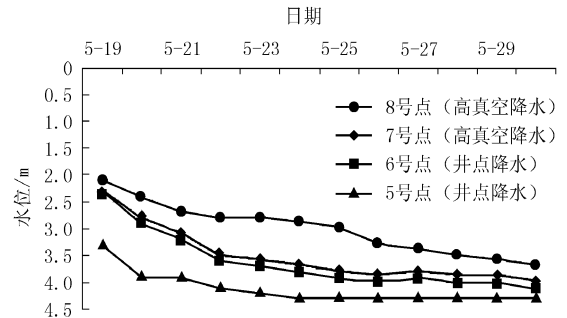


图 3 降水过程中的水位变化情况

4.3 土层含水量

降水前后土层不同深度范围内的含水量变化情况见表 4。可以看出,经过 10 天的井点降水,试验区内 4 m 深度内的土体含水量均下降到 25% 以内;两种不同降水工艺(即井点降水和高真空降水)的降水效果基本相当,高真空降水工艺对 2 m 以下土层的含水量降低效果略明显。

效果;相应的“降水 + 50 cm 山皮石垫层 + 冲击碾压”工艺可以推荐为大面积浅层地基处理方案;(2) C1、C2 区的反应模量较低,认为 35 cm 厚垫层厚度偏小;(3) C5 区垫层厚度虽然为 50 cm,由于没有采取降水措施,反应模量没有达到预期效果。

4.6 静力触探

冲碾前后的静力触探当量值见表 6,冲碾前后的静力触探对比曲线见图 4。可以看出:(1)经过冲碾之后,试验各区的土体静力触探值有了大幅度提高,增长幅度 40% ~ 50%,有效改善了浅部土层的

表5 各区的地基反应模量

试验区号及工艺	试验点号	反应模量/(MN·m ⁻³)	
		各点	平均
C1区 山皮石垫层35cm,井点降水	M16	38.8	31.6
	M17	45.1	
	M18	27.4	
	M19	14.9	
C2区 山皮石垫层35cm,高真空降水	M21	32.3	38.5
	M23	56.3	
	M24	42.3	
	M25	23.0	
C3区 山皮石垫层50cm,井点降水	M6	92.9	77.9
	M7	83.3	
	M8	68.0	
	M9	116.7(不计入平均)	
	M10	67.3	
C4区 山皮石垫层50cm,高真空降水	M11	64.2	63.2
	M12	62.0	
	M13	61.0	
	M14	68.6	
	M15	60.2	
C5区 山皮石垫层50cm,不降水	M1	51.5	40.9
	M2	26.1	
	M3	58.2	
	M4	34.2	
	M5	34.3	

表6 冲碾前后的静力触探当量值

试验分区编号	统计计算方式	冲碾前静力触探当量平均值/MPa	冲碾后静力触探当量平均值/MPa	增量/%
C1	按6m范围进行计算	3.89	5.42	39
	按4m范围进行计算	2.89	4.30	49
C2	按6m范围进行计算	4.03	5.64	40
	按4m范围进行计算	4.06	5.54	37
C3	按6m范围进行计算	3.37	4.75	41
	按4m范围进行计算	2.77	4.57	65
C4	按6m范围进行计算	4.41	5.93	34
	按4m范围进行计算	4.76	6.79	43
C5	按6m范围进行计算	3.88	4.53	17
	按4m范围进行计算	2.95	3.94	34

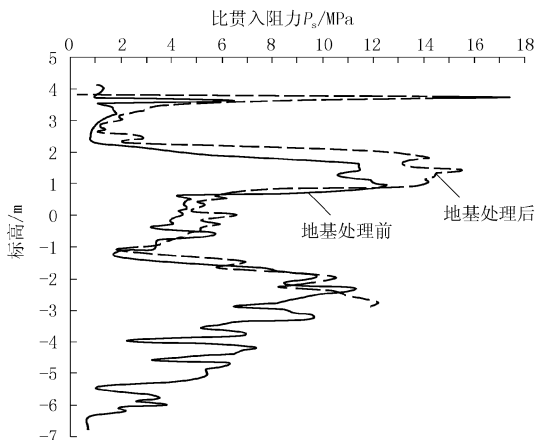


图4 冲碾前后的静力触探对比曲线图

强度和承载力特性;(2)无论是6m静力触探当量值还是4m静力触探当量值,其增长幅度都比较明显,这说明冲击碾压工艺的影响深度可以达到6m;(3)4m静力触探当量值比6m静力触探当量值的同比增长幅度要大,浅层土体加固效果更明显;(4)C5区未经过降水处理,其静力触探当量值的提高幅度相对偏低,说明降水工艺有利于土体强度的提高。

4.7 标贯试验

冲碾前后的标贯当量值比较见表7,冲碾前后的标贯对比曲线见图5。可以认为:(1)经过冲碾之后,试验区的土体标贯值有了一定幅度的提高,增长幅度约20%,改善了浅部土层的强度和承载力特性;(2)无论是6m标贯当量值还是4m标贯当量值,其增长幅度比较接近,说明冲击碾压工艺的影响深度可以达到6m;(3)C5区未经过降水处理,其标贯当量值的提高幅度相对偏低,反过来说明降水工艺有利于土体强度的提高。

表7 冲碾前后的标贯当量值

试验分区编号	计算方式	冲碾前标贯当量平均值/击	冲碾后标贯当量平均值/击	增量/%
C1	按6m范围进行计算	10.9	13.4	23
	按4m范围进行计算	8.8	10.4	18
C2	按6m范围进行计算	9.8	11.5	17
	按4m范围进行计算	8.9	11.5	23
C3	按6m范围进行计算	11.2	13.2	18
	按4m范围进行计算	8.5	9.5	12
C4	按6m范围进行计算	10.1	11.9	18
	按4m范围进行计算	8.9	11.5	30
C5	按6m范围进行计算	11.0	11.3	3
	按4m范围进行计算	8.3	9.2	11

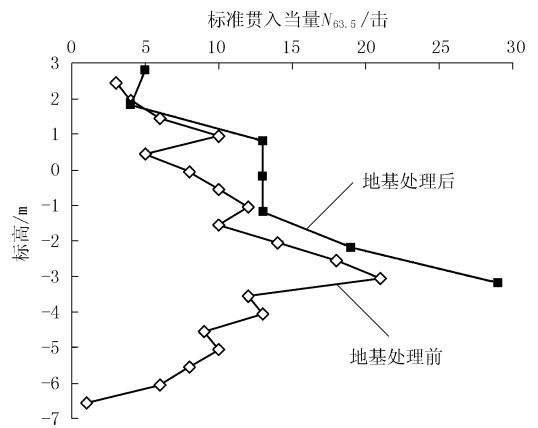


图5 冲碾前后的标贯当量对比图

4.8 振动测试

振动测试的目的是为了了解冲击碾压的振动影响范围和传播衰减特性。从垂直向振动衰减曲线上

(图 6)可以看出,在距振源 20 m 范围内振幅随距离增加迅速衰减,20 m 后衰减速率明显趋缓,30 m 时峰值加速度已至 10 cm/s^2 左右,可以认为冲击碾压的振动影响范围为 30 m 左右。

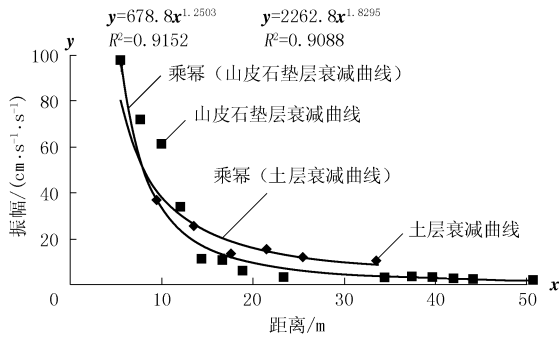


图 6 垂直方向振动加速度衰减曲线图(三角形冲碾)

4.9 面波检测

面波检测的目的在于了解冲击碾压地基处理工艺的处理深度。将天然土层测试得到的频散曲线与经过冲击碾压地基处理后测试得到的频散曲线画在一起,得到加固前后频散曲线对比如图 7 所示。从对比曲线上可以看出:(1)冲击碾压的处理深度可达 6.2 m 左右;(2)在 6.2 m 的处理深度中,1.0 m 以浅及 1.8~4.0 m 范围内处理效果十分明显,4.0~6.2 m 范围内次之,1.0~1.8 m 范围内处理效果不太明显,这可能是由于 1.8~6.2 m 范围内主要是粉性土,而 1.0~1.8 m 范围内主要为粘性土的缘故。

5 结论与建议

5.1 结论

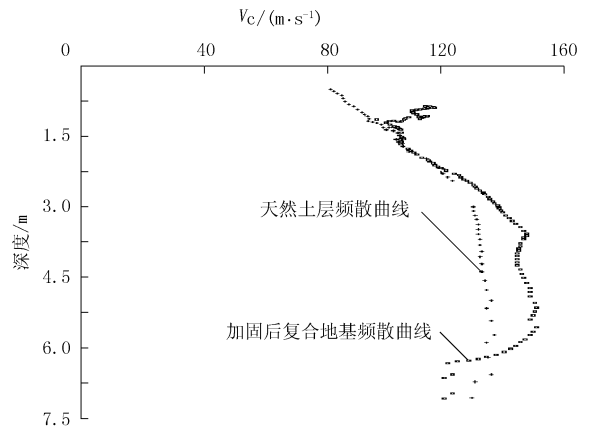


图 7 加固前后频散曲线对比

浦东机场跑道系统的冲击碾压地基处理试验表明:

(1) 经过冲击碾压并结合找平碾压,山皮石垫层的地基反应模量有很大提高,C3 和 C4 区可以达到 60 MN/m^3 以上,给机场道面结构提供了均匀稳定坚实的基槽,达到了预期效果。

(2) 经过冲击碾压,土体的静力触探当量值平均提高 45%,标贯当量值平均提高 20%,有效改善了浅部土层的强度和承载力特性。

(3) 冲击碾压影响深度可以达到 6 m。

(4) 冲击碾压的振动影响范围为 30 m 左右,30 m 处的峰值加速度仅为 10 cm/s^2 ,相当于 $0.01g$ 。

5.2 建议

结合 C1~C5 区的试验情况,建议跑道系统的大面积浅层地基处理采用 C3、C4 区的施工工艺,即“降水+50 cm 山皮石垫层+冲击碾压”工艺。