

冲击压实技术在上海浦东机场跑道 浅层地基处理中的试验应用

张志良¹, 黄沅平²

(1. 上海机场建设指挥部, 上海 201202; 2. 中交一航局四公司, 天津 300456)

摘要:总结了上海浦东机场二期飞行区3种不同组合的冲击碾压试验——冲击碾压联合高真空排水、冲击碾压联合塑料排水板、冲击碾压, 试验结果表明, 冲击碾压联合高真空排水方法压实效果最为显著, 并在二期飞行区浅层地基处理实践中得到应用。

关键词:浦东机场跑道; 压实技术; 冲击压实机; 浅层地基处理

中图分类号: TU472.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)12-0028-04

Application of Impact Compaction Techniques in Pudong Airport Runway/ZHANG Zhi-liang¹, HUANG Yuan-ping²
(1. Shanghai Airport Construction Headquarters, Shanghai 201202, China; 2. No. 4 Engineering Company Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: Three different combinations of impact rolling test in flying area of Pudong Airport were compared, it was proved by tests that impact rolling combined with vacuum drainage was most effective in compaction, which was applied in treatment on shallow ground for project phase II in Pudong Airport runway.

Key words: Pudong Airport runway; compaction techniques; impact compactor; treatment on shallow ground

冲击碾压技术是继静碾压、振动碾压之后的又一次重大技术革新, 它是采用拖车牵引三角形或五边形双轮来产生集中的冲击能量达到压实土石料的目的。它与振动压路机相比, 具有极高的冲击力(前者冲击力为轮自重的33倍, 后者激振力是轮自重的2~3倍)、对压实有利的大振幅低频率的振动(振幅前者为后者的110倍, 频率仅为后者的1/14)、更深的有效压实深度(前者大于1.5 m, 后者为0.4~0.7 m)、行驶速度快(前者为12~15 km/h, 后者为3~4 km/h)、效率高、工程造价低、应用范围广等优点。因此在提高地基强度、稳定性和均匀性、减少工后沉降、防止不均匀沉陷等方面都远远优于振动压路机。

我们在上海浦东机场二期飞行区地基处理中, 进行了冲击碾压试验应用。

1 工程概况

上海浦东机场位于长江三角洲冲积平原前缘, 属长江河口—滨海沙嘴相地貌类型, 为数百年新淤积而成的新海滨平原。二期飞行区地基处理表层为吹填砂2.5 m左右, 其下浅层为粘质粉土或粉质粘

土约6~8 m, 其中部一般区段至地下约20~30 m深为淤泥质粘土或粘土, 古河道至地下可达85 m深, 下层为砂层或风化岩层。

为了优选经济有效的浅层地基处理方案, 二期跑道、滑行道设计前特进行了7块浅层处理试验区, 3块为不同冲击碾压试验区, 另4块为强夯试验区。本文是对3块不同组合的冲击碾压试验区的试验情况及结果进行总结。

拟建场区位于机场东部, 濒临东海, 其东北部原来主要为围涂筑塘而形成的滩地, 有较多的芦苇, 地势较为平坦, 地面标高一般为3.03~4.01 m, 西南部有较为发育的河浜、沟塘和少量耕地, 除河坝地势较为平坦, 地面标高一般为3.35~4.19 m。2000年完成堆载预压工作, 现堆载地面标高平均为6.7 m左右, 地基土主要由粘性土、粉土和粉细砂组成, 属晚新世纪Q₃时期以来的河口—滨海砂嘴相沉积层。

2 浅层地基处理冲击碾压试验

二期飞行区浅层地基处理大面积正式施工前, 我们进行了高真空排水、塑料排水板和冲击碾压相结合形成3个试验区。

收稿日期: 2007-08-21; 改回日期: 2007-11-27

作者简介: 张志良(1963-), 男(汉族), 浙江人, 上海机场建设指挥部处长、工程师, 公路与城市道路专业, 上海浦东国际机场启航路300号, zhangzhi-liang@spia.cc; 黄沅平(1977-), 男(汉族), 湖南人, 中交一航局四公司项目经理、工程师, 建筑工程专业, 天津市塘沽区新港2号路。

冲击碾压联合高真空排水试验区:按照间距 6 m 进行布管,冲孔深度 8~9 m,排水时间 10 天。然后进行第一轮冲碾(五边和三边各冲碾 5 遍)。第一轮冲碾完毕后再进行第二次排水,布管与第一次布管成梅花状,排水 3 天。然后再进行第 2 轮和第

3 轮冲碾。

冲击碾压联合塑料排水板试验区:采用塑料排水板对冲碾区进行降水,然后再进行冲击碾压施工。

冲击碾压试验区:不进行降水,直接进行冲碾。冲碾后试验区施工情况见表 1。

表 1 3 个试验区施工情况一览表

试验区	第一遍排水	第二遍冲碾	第二遍排水	第二遍冲碾	第三遍冲碾	备注
冲击碾压联合高真空排水区(30 m × 100 m)	排水管间距 6 m,孔深 8~9 m,排水 10 天	铺 0.4 m 厚山皮石垫层,五边形和三边形各 5 遍, $v = 10$ km/h, 沉降 7.3 cm	与第一遍呈梅花形布置,排水 3 天	五边形 5 遍, $v = 12$ km/h, 三边形 15 遍, $v = 15$ km/h, 沉降 8.6 cm	五、三边形各 5 遍, v 同前, 沉降 0.9 cm	总计 40 遍, 共沉降 16.8 cm
冲击碾压联合塑料排水板区(30 m × 65 m)	排水板 8 m 深, 间距 1.8 m	铺 0.4 m 厚山皮石垫层,五边形 5 遍, $v = 10$ km/h, 三边形 10 遍, $v = 12$ km/h, 沉降 19.63 cm		五边形 5 遍, $v = 12$ km/h, 三边形 10 遍, $v = 15$ km/h, 沉降 3.72 cm	五、三边形各 5 遍, v 同前, 沉降 1.23 cm	总计 40 遍, 共沉降 24.58 cm
冲击碾压区(30 m × 65 m)		铺 0.4 m 厚山皮石垫层,五边形 5 遍, 三边形 10 遍, $v = 10$ km/h, 沉降 15.25 cm		五边形 10 遍, $v = 12$ km/h, 三边形 10 遍, $v = 15$ km/h, 沉降 7.08 cm	五、三边形各 5 遍, v 同前, 沉降 1.24 cm	总计 40 遍, 共沉降 23.57 cm

含水量是冲击碾压的重要影响因素,根据试验得到本区最佳含水量为 11.2%。现场含水量为 18%~22%,因现场条件的限制无法达到最佳含水量的要求,否则,碾压效果会更好些。

3 施工控制

3.1 冲碾施工质量控制

3.1.1 作业遍数和间歇时间的控制

主要以含水量和孔隙水压力变化来控制作业遍数和间歇时间,冲击碾压联合高真空排水试验区,每次真空排水后,当含水量未超过最佳含水量 11.2% ± 2% 时,可进行冲击碾压作业;据现场实测,观察孔隙水压力变化,趋于平稳,压实机行驶速度可提高,每单元作业遍数也可逐步增加。冲碾 4 天后,即可停止间歇恢复冲碾作业。

3.1.2 作业收敛遍数的确定

当满足下列条件之一时即可收敛作业:

(1) 当最后一个作业单元(10 遍)沉降量仅为 1 cm 左右时,即可确认此时收敛作业;

(2) 通过动态圆锥贯入仪(DCP)的跟踪检测(见表 2),击数值无明显增加即可确认此时收敛。

表 2 DCP 检测结果

试验区	击数/击				提高比例 /%
	0~9 遍	10~20 遍	20~30 遍	30~40 遍	
冲击碾压联合高真空排水区	51	94	135	150	198
冲击碾压联合塑料排水板区	49	98	142	135	189
冲击碾压区	50	101	148	158	201

冲击压实后,用推土机推平,振动压路机碾压,确保平整性;对于均匀性,只要冲击碾压机在每次冲

碾时都有 10~20 cm 叠压,即可得到改善。

3.2 高真空降水技术质量控制措施

(1) 井点管入土深度须根据详探的结果以及降水深度、储水层所在位置等决定,井孔应保持垂直,孔深比井点滤管深 0.5~0.6 m。

(2) 插管前根据勘探资料进行分析和研究,若有异常情况,必须予以加密勘探,摸清不良土质的范围和深度;深度应控制在设计井点管底以下 1.5 m 处,全孔取样,并对各层原状土进行初始含水量测定;勘探范围以每圈扩大 2 m 的螺旋式往外扩展,一直到摸清不良土质外边线为止。

(3) 降排水过程中,定时进行对死管、漏气、水位观测、土层含水量、设备运行状况的观测并作详细记录,确保达到设计要求。

(4) 井点管理设后,在填筑中粗砂时,井管内的水位上升,流出管外,即认为合格。

(5) 安装好的井管在与集水管连接前,应将管口用木塞堵好,以防杂物掉入管内,造成阻塞。

(6) 井点管是否淤塞,可通过听管内水流声、手扶管壁感到振动等简便方法进行检查。如井点管淤塞太多,影响降水效果时,须拔出后重新埋设。

(7) 安装的抽水设备,一般位于集水总管的中部,集水管应铺设在坚实的地面上。

(8) 降水期间须安排专人维修检查降水设备,并对水位降低区域进行变形观测。

(9) 标段分界、分区作业必须设置 10 m 的搭接区段,外围封管布置应延伸到相邻区域 10 m。在连续施工的下一作业面降水时可充分利用前一作业面的外围封管作为内层管,为避免对已冲碾完工的作

业面出现扰动破坏(弹簧土),两作业面搭接位置采取重叠 10 m 外围封管的处理措施。

3.3 塑料排水板技术质量控制措施

3.3.1 打设深度的控制

打设深度是塑料排水板施工的重要指标,必须按设计要求严格控制。施工中应控制套管长度,在设计相应深度处做好标记,以便控制打设深度,并且应不定时抽查套管标记处长度,以防因机械作业振动引起标记出错。

3.3.2 跟带现象的控制

跟带现象是指当塑料排水板打设到设计深度,上拔导管时,塑料排水板随管上跟的现象。目前,施工中都普遍存在不同程度的跟带现象,应尽可能杜绝,在实践中采用以下方法取得了较好的效果:(1)改变管靴形式,原管靴为棒状,与桩尖配合不当,打设时淤泥较易进入导管,增大对塑料带的阻力,易造成跟带,改变后的管靴下焊接一块能与桩尖密封的铁块,使淤泥不易进入导管,实践证明十分有效;(2)在导管上方开口处倒水,以冲刷导管中淤泥,由于开口较高而操作不易时,在打设深度上方导管上开口,以便倒水冲管;(3)打设到设计深度时,拉紧塑料板,减少塑料板与导管及导管中淤泥的摩擦,减少跟带。

3.3.3 垂直度的控制

塑料排水板规范对垂直度有明确规定,其偏差 $\geq \pm 1.5\%$,以保证加固地基方向上的均匀性,施工中应注意加以控制,故移动轨道时应用吊线和钢尺或其它仪器进行检测。

3.3.4 孔洞的清理

塑料排水板打设后,常在垫层形成孔洞,并且混有导管上拔时带上的淤泥,若不及时将淤泥(粘性土)清除,将垫层砂砾逐渐回填至满,则会隔断排水板与砂砾层的联系,影响塑料排水板的排水效果。

3.3.5 其它指标的控制

(1)滤膜和芯板的强度、排水能力应符合设计要求;(2)按设计图规定位置、深度、板厚和间距进行施工;(3)采用的安装方法不得扭曲滤膜和芯板。

4 冲击碾压地基处理效果检验及评价

为判断冲击碾压处理效果,每个试验区试验前后除进行干密度和含水量检测外,主要进行如下 3 项检验以评价处理效果。

4.1 桥式静力触探进行静探检验(结果如图 1~3)

4.2 $N_{63.5}$ 标准锤标准贯入检验(结果如图 4~6)

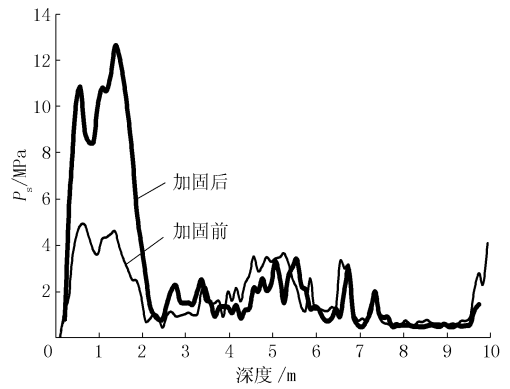


图 1 冲击碾压区静力触探曲线对比图

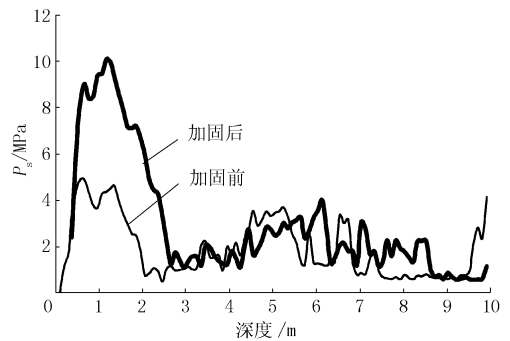


图 2 排水板 + 冲击碾压区静力触探曲线对比图

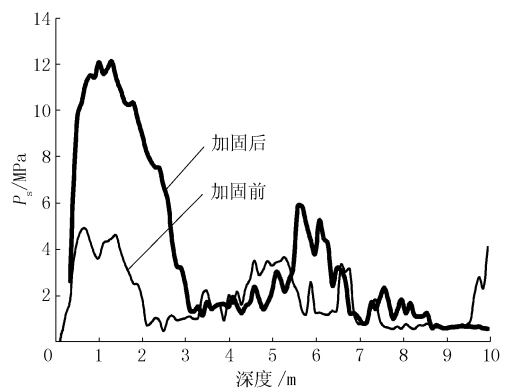


图 3 高真空排水 + 冲击碾压区静力触探曲线对比图

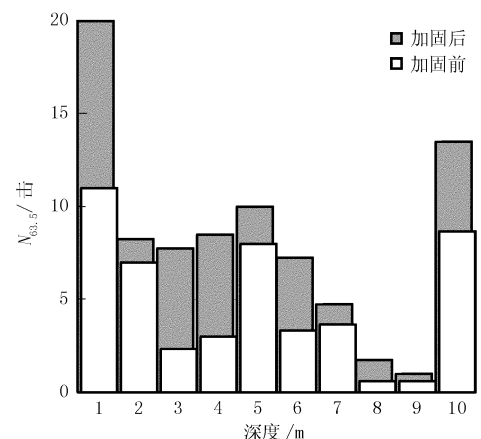


图 4 冲击碾压区标准贯入试验对比图

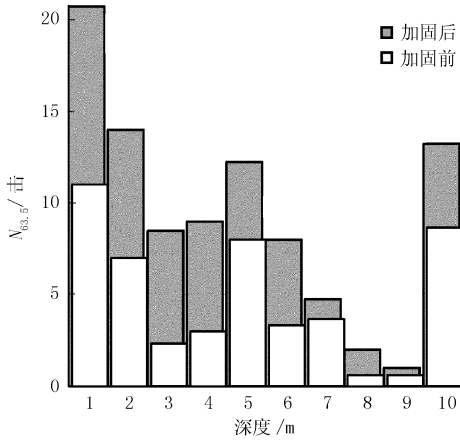


图5 排水板+冲击碾压区标准贯入试验对比图

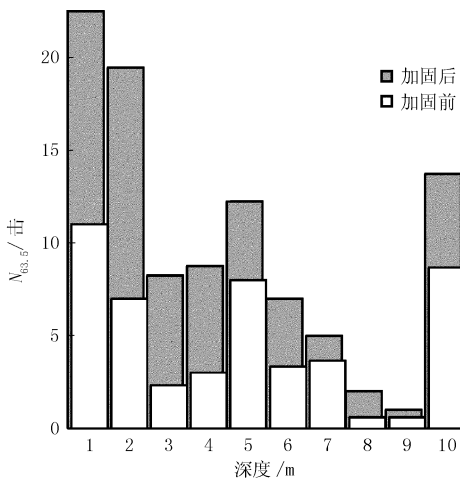


图6 高真空排水+冲击碾压区标准贯入试验对比图

4.3 $\varnothing 0.75$ m 圆形载荷板测定地基反应模量检验
检验结果如图 7~9 所示。

4.4 处理效果评价

从表 3 可以评价处理效果。

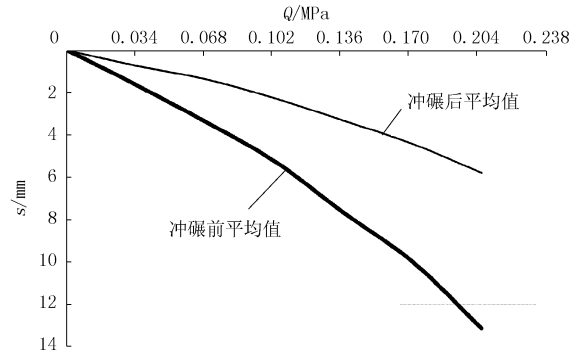


图7 冲击碾压区 Q-s 曲线对比图

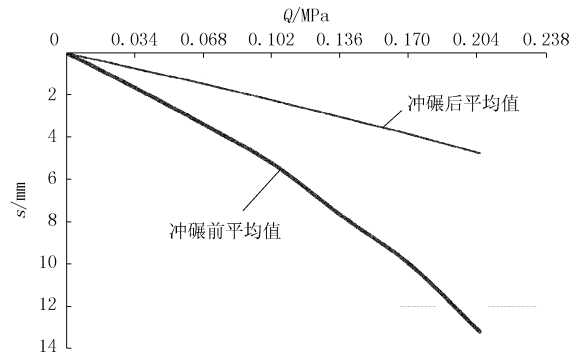


图8 排水板+冲击碾压区 Q-s 曲线对比图

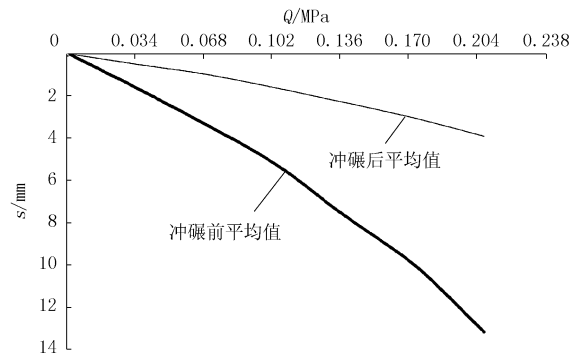


图9 高真空排水+冲击碾压区 Q-s 曲线对比图

表 3 碾压处理效果检验结果

检验项目	静力触探比贯入阻力 P_s /MPa			标准贯入标贯击数/击			反应模量 K_0 /($MN \cdot m^{-3}$)			
	冲击碾+高真空区	冲击碾+排水板区	冲击碾压区	冲击碾+高真空区	冲击碾+排水板区	冲击碾压区	冲击碾+高真空区	冲击碾+排水板区	冲击碾压区	
试验前	统计深度/m	0~2.4	0~2.4	0~2.4	0~2.5	0~2.5	0~2.5	浅层	浅层	浅层
	检测值	3.2	3.2	3.2	9	9	9	20.8	20.8	20.8
试验后	统计深度/m	0~2.7	0~2.2	0~2.4	0~2.5	0~2.5	0~2.5			
	测点 1	8.72	7.78	7.35	22	17	18.5			
	测点 2	9.04	8.28	7.69	15	8	4.5	69.05	45.5	47.2
	测点 3	9.76	5.64	9.29	-	-	-			
	测点 4	9.12	6.53	9.34	-	-	-			
平均值	9.13	7.06	8.27	18.5	12.5	11.5				
试验前后增量	5.93	3.86	5.07	9.5	3.5	2.5	39.25	24.7	26.4	
增量百分比/%	185	120	158	106	39	28	160	119	127	

3 个冲击碾压试验区表层平均约 2.5 m 厚为吹砂层,其下为粘质粉土与粉质粘土层。可以看出,在

平均 2.5 m 厚的表层,3 种冲击碾压地基处理效果 (下转第 35 页)

(2) 根据《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72-2004)中附录 A 进行天然地基极限承载力估算(取 $c_k = 23.0 \text{ kPa}$, $\Phi_k = 15.7^\circ$):

$$f_u = (1/2)N_r \zeta_r b \gamma + N_q \zeta_r \gamma_0 d + N_c \zeta_r c_k$$

则式中 $N_r = 2.65$, $N_q = 3.94$, $N_c = 10.98$, $\gamma = 7.5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_m = 16.23 \text{ kN/m}^3$ 。

计算得: $f_u = 472.0 \text{ kPa}$ 。

取安全系数 $K = 3$, $f_r = f_u/3 = 157.3 \text{ kPa} < 225 \text{ kPa}$ 。

据此可知,拟建建筑天然地基不能满足强度要求,需要采取地基处理措施。

5.3 地基基础方案

根据上述勘察成果的分析,结合廊坊地区桩基施工单位的具体情况及其他类似工程的施工经验,可采用长螺旋成孔 CFG 桩对地基进行加固处理。该方法具有成本低、成桩速度快、噪声小、施工质量容易控制等特点,能有效地提高地基承载力,降低沉降量。

桩端持力层可选择⑤层以深土层,根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94-94)提供桩基参数见表 4。

6 结语

各项建筑工程施工前必须按基本建设程序进行

表 4 桩的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值

层号	土层名称	极限侧阻力标准值	极限端阻力标准值
		q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa
②	粉土夹粉质粘土	30	
③	粉质粘土夹粉土	45	
④	粉质粘土	45	
⑤ ₁	粉土	50	
⑤	粉细砂	60	1500
⑥	粉质粘土	48	740
⑦	粉质粘土夹粉土	50	950
⑧	粉砂夹粉土	60	1700

详细的岩土工程勘察工作,同时对勘察取得的成果进行认真分析,可以了解建筑场区地基土的工程地质条件,为选择适宜的地基处理方案提供可靠的依据。在勘察施工中要注意理论与实践的联系,同时注意与设计部门的沟通,以便使勘察成果更直接、更准确地满足设计的需要。

参考文献:

[1] 周相国, 聂洪玮. 岩土工程勘察有关问题探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(7).
 [2] GB 50021-2001, 岩土工程勘察规范[S].
 [3] JGJ 72-2004, 高层建筑岩土工程勘察规程[S].
 [4] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
 [5] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
 [6] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].

(上接第 31 页)

都是比较显著的。静力触探和地基反应模量试验后比试验前都增加了 119% 以上, 标贯增加量略少些, 分别为 106%、39%、28%。以冲击碾压联合高真空排水方案增量最为明显, 3 种检测方法分别增加了 185%、106% 和 160%。

5 结论

通过浦东机场二期飞行区 3 种不同组合的冲击碾压地基处理试验结果, 可以得出以下结论。

(1) 从冲击压路机的性能来看, 冲击碾压冲击力大、大振幅、低频率、压实效果好、有效压实深度深、行驶速度快、造价低。它是路基压实技术的又一次划时代革新, 今后在我国道路、机场等建设中有着广泛的推广应用前景。

(2) 试验结果表明: 3 种冲击碾压试验区地面以下 2.5 m 厚范围内压实效果非常明显, 而以冲击碾压联合高真空排水方法的压实效果最为显著。冲击碾压后比冲击碾压前静力触探贯入阻力增加了

185%、标贯击数增加了 106%、反应模量增加了 160%。

(3) 通过试验, 浦东机场二期跑道与滑行道设计采用了高真空排水、冲击碾压和强夯联合的浅层地基处理方法。此处强夯加固 6~8 m 深, 但强夯后表层 2 m 左右较松软些。而冲击碾压正好弥补强夯在这方面的不足, 冲击碾压可形成 2 m 厚的硬壳层。真空排水又对提高强夯与冲击碾压效果明显。所以采用高真空排水、冲击碾压和强夯联合处理是一种理想的浅层地基处理方法。

参考文献:

[1] 齐诚, 周虎鑫. 冲击压实技术在中国的应用与前景[A]. 第四届国际道路和机场路面技术大会论文集[C], 2002.
 [2] 史保华, 等. 冲击压实技术在机场工程软基处理中的应用研究[J]. 中国公路学报, 2001, (3).
 [3] 张树山, 姜英杰. 蓝派冲击压实技术在大齐公路中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2002, (11).
 [4] 中港一航局. 浦东机场浅层地基加固处理试验施工总结报告[Z]. 2003.
 [5] 上海地勘所. 浦东机场浅层地基处理试验报告[Z]. 2002.