第6卷 第2期 工 程 地 质 学 报 Vol 6 No. 2
1998年 6月 Journal of Engineering Geology Jun., 1998

深圳机场软基处理的研究*

黄汉盛 邱 林 袁广州
(深圳市勘察测绘院基础公司 深圳 518028) (福田质量监督站 福田 518000)

摘 要 目前软基处理方法多种多样, 各有自己的优缺点及适应条件, 运用得当, 既安全、快速又经济, 运用不当, 损失不可估量; 机场软基处理根据各主体工程的工程特点、场地条件、建筑材料资源条件, 采用各自相适应的不同软基处理方法, 取得了很好的经济效益。本文基于机场一期工程软基处理的研究, 对二期工程软基处理方法作些展望。

关键词 软基处理 深圳机场 工程地质条件

1 场地工程地质概况

深圳机场位于珠江口东岸, 原始地形地貌为海积平原和滩地, 其土层分布情况, 根据勘察资料揭露, 从上而下, 主要地层为: 填土、淤泥硬壳层, 淤泥, 杂色亚粘土, 残积粉质粘土等。各层的物理力学性质指标列于表1。

表1 土的物理力学性质(平均值)表

Table 1 Physico-mechanical properties of soil

土层编号	土层名称	一般厚度/m	天然含水量 W/(%)	天然重度 γ/kN·m^{-3}	天然孔隙比 e	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	内聚力 C/kPa	内摩擦角 φ/(°)	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	固结系数 C_V/10^{-4}cm^2·s^{-1}	渗透系数 K/10^{-7}cm·s^{-1}	静力触探锥头阻力 q_c/kPa	容许承载力 R/kPa
Ⅰ	淤泥硬壳层	0.5~1.5	45.4	17.5	1.26	22.6	0.62	17	12.5	0.66	4.34	0.62	374	80
$Ⅰ_2$	淤泥	1.0~7.4	81.9	15.5	2.25	23.5	2.04	5.5	2.1	1.96	3.84	1.61	156	40
Ⅱ	杂色粉质粘土	0.5~5.0	19.7	20.2	0.59	15.5	<0	28	27.2	0.25	69.0	4.72	4018	200
Ⅲ	残积粉质粘土	5.0~13.0	23.2	19.0	0.78	14.1	<0	19	32.3	0.35	226.0	87.4	5915	250

2 已完成主体工程软基处理回顾

由于受沉积环境的影响, 机场场地普遍存在一层约5m 厚的滨海淤泥土, 其含水量

* 收稿日期: 1997-01-31
第一作者简介: 黄汉盛, 男, 1965年出生, 大学, 工程师, 从事工程地质及岩土工程工作。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大, 压缩性高, 强度低, 在工程荷载作用下会产生很大的沉降及差异沉降, 甚至失稳, 故所有工程都存在治理淤泥这一软土的岩土工程问题。

机场现有工程根据其各自的荷载变形特征及场地条件, 建筑材料等因素, 分别采用了换填、砂井堆载预压、块石抛填挤淤、强夯块石墩及块石垫层复合地基、桩基、水泥搅拌等多种软基处理方法, 现将机场各主体工程软基处理方法分述于下。

2 1　跑道、滑行道软基处理

机场跑道全长3400m, 宽60m, 滑行道长与跑道相同, 宽44m (图1)。

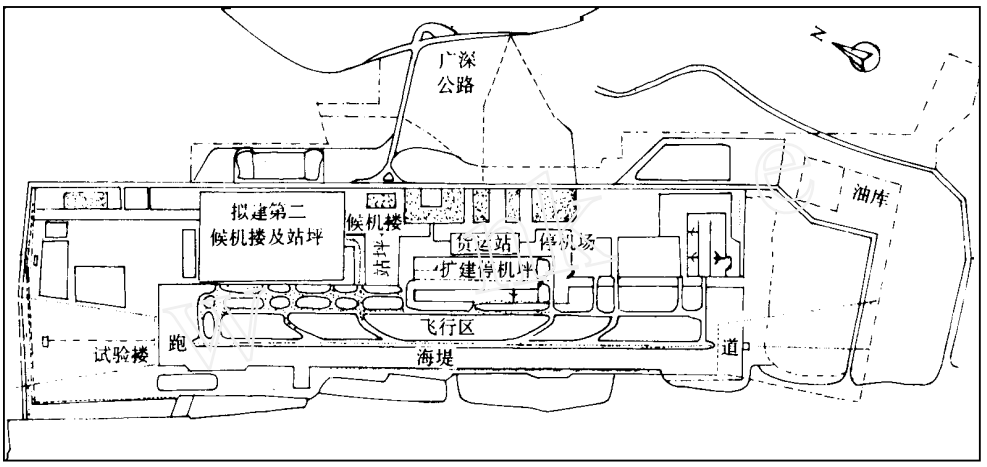


图1　深圳机场平面示意图

Fig. 1　Sketch plane of henzhen airport

飞行区淤泥厚4. 0～7. 4m, 平均厚度5. 5m, 其物理力学性质略差于表1中数据, 属工程特性极差的特软土, 而跑道是机场的关键部位, 其设计要求为承载力140 kPa, 剩余沉降< 5 cm, 每100m 差异沉降< 5 cm, 一般的固结排水法是难于满足设计要求的, 经有关人员多方比较, 最终确定采用开挖置换法, 其做法是先在跑道两侧抛石挤淤强夯成拦淤堤, 然后用挖土机将拦淤堤之间的淤泥挖掉, 再以土石混合料回填, 具体设计及施工如下:

拦淤堤　由于场地均分布着高灵敏度的淤泥, 必须设置拦淤堤方能开挖, 根据场地附近有丰富的石料来源这一特点, 采用抛填块石挤淤成堤方案较理想。首先清理掉上部填土及淤泥硬壳层, 并在淤泥上面抛填块石, 在其两侧用高压水流振冲让块石在自重作用下下沉, 然后用重锤强夯使块石完全沉底, 拦淤堤设计施工断面见图2。

挖淤　本工程采用苏联进口长臂挖土机进行施工。其挖斗容量4m^3, 臂长75m, 可将淤泥抛至拦淤堤75m 以外, 挖土机沿着拦淤堤渐进开挖, 两台挖土机施工近一年开挖完毕。

回填　本工程采用场地附近料场的土石混合料进行回填, 采取分层碾压及重锤夯击法夯实, 并分层检测, 密实度控制97% 以上。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

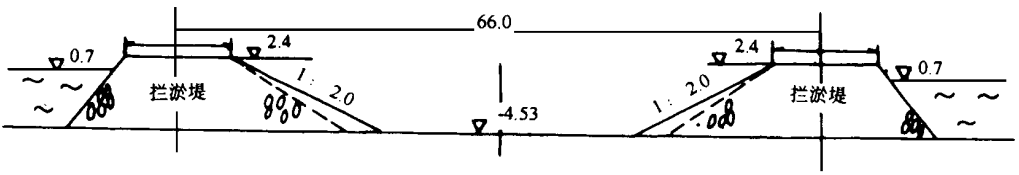


图2 拦淤堤断面示意图

Fig. 2 Cross-section of silt-retaining embankment

跑道、滑行道软基处理于1988年底开始至1990年底完成, 历时近两年, 现已投入运转近5年, 经监测其剩余沉降及差异沉降远小于设计容许值。

2.2 停机坪、站坪软土处理

停机坪、站坪地表下分布着2.0～6.0 m 厚的淤泥, 为满足其设计要求(设计要求同跑道)需进行加固处理, 针对其处理面积大的特点可采用的地基处理方法主要有: 砂垫层预压、水泥搅拌、砂井堆预压等方法。

砂垫层堆载预压虽经济上较合理, 但由于淤泥较厚, 固结沉降过程十分缓慢, 难以满足工期要求。

水泥搅拌法, 对于大面积加固费用较高, 且技术性强, 难以保证搅拌均匀, 差异沉降将会较大, 故未采用。

表2 堆载高度及首级荷载计算结果表

Table 2 Calculations of pile-up height and first loading

淤泥内聚力 C /kPa	6
淤泥重度 γ/kN·m^{-3}	15.3
极限堆载高度 H_c	2.16
安全系数 F	1.5
容许堆载高度 H	1.5
预压土重度 γ_1/kN·m^{-3}	21.0
首级预压荷载 P /kPa	32.0

砂井堆载预压, 利用砂井做排水通道, 缩短了排水距离, 大大加快了土的固结作用, 工期有保证, 且场地附近有足够的土源作堆载材料, 经济上较合理, 故本工程采用了该方案。

本工程采用直径为70 mm 的袋装砂井作垂向排水通道, 其入土深度视淤泥底部而定, 一般4～7 m, 间距1 m, 以正三角形排列, 采用袋装砂井打设机连续振动成孔, 人工投入砂袋, 在砂井顶部铺设1 m 厚砂垫层, 并与排水盲沟和集水井相通。依据设计要求需加预压140 kPa。为使堆载预压时不致失稳, 应分级加荷, 按公式: $H_c = 5.52\frac{Cu}{\gamma}$ 及 $H = \frac{H_c}{F}$ 计算堆载高度并确定首级荷载, 计算结果列入表2。

从表2中可看出首次加荷为32kPa, 其余分级分期堆载(注意每级堆载应在上级荷载完成85%以上固结度后进行), 直到荷载为140 kPa 为止. 本工程软基加固工作1990年底结束(固结度达92%)固结后经检测, 淤泥性质有大幅度提高(表3)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表3　淤泥预压前后主要指标对比表(平均值)

Table 3　Comparison between main indexes befor and after silte pre-load (average)

次序	天然含水量 W /(%)	天然重度 γ/ kN·m^{-3}	天然孔隙比 e	液性指数	压缩系数 a_{1-2}	前期固结压力 P_c/kPa	三轴不固结不排水剪		现场十字板抗剪强度		
							内聚力 /kPa	内摩擦角 φ/(°)	Cu /kPa	Cu'/kPa	灵敏度 S_t
预压前	81.5	15.3	2.21	2.01	2.03	25	3.5	0	6.8	1.9	3.61
预压后	58.3	16.5	1.48	0.98	0.94	96	14.7	4.3	22.0	12.6	1.85

现停机坪、站坪投入使用已有几年, 一切正常, 未见过大变形。

2.3　道路软基处理

机场绝大多数道路均分布有淤泥, 依据机场附近有较丰富石料, 且场地淤泥一般较浅(一般小于4.0 m)的特点, 机场所有道路均采用抛石挤淤法, 其处理方法与跑道拦淤堤同。

2.4　候机楼地基处理

深圳机场所有楼房地基普遍存在厚薄不等的淤泥, 较理想的地基处理方法是采用桩基础。下面以候机楼为例, 浅析其桩基设计施工情况。

深圳候机楼共三层, 框架结构, 属Ⅰ类安全等级建筑物。其场地范围内海积、冲洪积层厚度4.5～10.5 m(淤泥2.5～6.0 m), 其中下部的杂色粉质粘土层(Ⅱ)性质较好, 但厚度不大(0～4 m), 分布也不均, 故不宜作桩端持力层, 复盖层下的残积粉质粘土, 是由粗粒花岗岩风化而成的, 其厚度大, 工程特性好, 是桩基较好持力层。

本工程采用沉管灌注桩施工, 以残积土下部作桩端持力层。

2.5　扩建停机坪工程地基处理

为了适应国内、国际航空运输发展的需要, 机场进行了停机坪扩建工程, 扩建面积约29万m^2, 其场地下面存在厚约4 m、含水量达65%～85%的淤泥层必须处理。

扩建停机坪的西、北、南三面为滑行道、站坪和停机坪(见图1), 经一期工程影响, 场地地层表面结构发生很大变化, 其中软土受到挤压、流动, 而且上部堆填了大量建筑物垃圾, 使场地变得复杂不均一, 这给软基处理带来了很大困难, 如采用排水固结, 插板或打砂井将会频频碰到块石而无法进行, 何况机场附近也已没有足够的土料可作堆载之用了。而采用水泥搅拌法在含杂物如此多的场地施工难度很大, 也不经济。鉴于机场附近石料较丰富及场地自身条件, 本工程采用了强夯块石墩及块石垫层复合地基加固法。

强夯块石墩及块石垫层复合地基为国内首次提出的加固大面积淤泥类软粘土地基的新方法, 这种复合地基分上下两层, 上层为夯击压实的块石垫层, 下层为强夯块石墩及墩间淤泥组成的复合地基, 它继承了振冲块石桩及强夯压实法复合地基的优点, 不受填土中块石及硬壳层限制, 就地取材, 经济合理, 正好适应于扩建停机坪目前的状况, 具体方法如

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

下:

(1) 软基加固设计

强夯块石墩　　强夯块石墩按正方形布置, 间距3. 1m, 块石墩径1. 35m, 墩长6m, 复合地基承载力140 kPa。

块石垫层　　其作用是将承受的荷载均匀地扩散到下部地基, 通过块石墩体传递到杂色亚粘土层中, 从而可以大大减小淤泥层的压缩变形, 块石垫层的厚度为0. 5m, 其上铺0. 6m 的风化石渣过渡层, 垫层总厚度1. 1m。

(2) 强夯块石墩及块石垫层施工

采用50 t 履带式起重机, 起吊15 t 重锤, 最大起吊高度20m 进行夯击, 将满铺于地表的分级块石按点夯方式夯入土中, 当夯击深度大于2. 0m 时, 继续填入块石, 重复夯击和填石, 直至块石墩穿过软土层抵达下部较好的土层, 形成块石墩体(图3)。

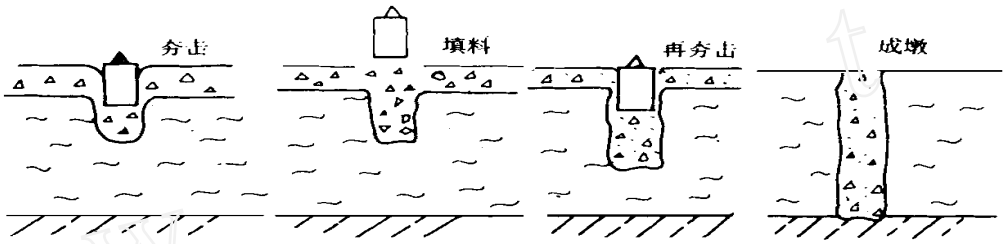


图3　强夯块石墩成墩示意图

Fig. 3　Rammed stone blocks to form pier base

(3) 效果检测

本工程采用地质雷达及轻便手钻相结合的方式, 对块石墩的质量进行监测, 收到良好的效果。

扩建停机坪已使用一年多, 除局部沉降较大(尚未超越许可范围) 外, 运行正常, 说明采用该法加固软土地基是可行的。

3　机场二期工程软基处理展望

机场二期较主要的建筑物是第二候机楼及站坪, 下面便以第二站坪为例, 对其软基处理作些浅析。

机场一期软基处理取得了很大成功, 为二期工程软基处理提供宝贵的经验, 但由于一、二期工程条件不同, 不能照搬一期的处理方法, 经一期工程施工后, 现场地附近已没有足够的土石料, 采用载荷排水固结已不甚经济, 而强夯块石墩及块石垫层复合地基沉降变形相对较大, 故应考虑新的处理方法, 下面推荐两种较先进的软基处理方法。

3. 1　插板-真空预压法

在场地内按1. 0m 间距, 以正三角形方式布置进行插块, 插至淤泥底部, 并在其上铺

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

设0.5～1.0m 厚的中粗砂垫层, 在砂垫层中铺设抽气管网, 用密封材料——塑料膜将砂垫层密封起来, 并把薄膜的周边埋入场地四周的沟槽内, 用粘性土垫实。把抽气管网的主管与场外的真空装置相连接后进行抽气, 一般可达90 kPa 左右的预压荷载。由于站坪设计荷载为140 kPa, 故应待真空预压基本稳定后再堆载50 kPa 左右的附加荷载。因站坪面积较大, 若施工有困难, 可分区施工。

目前长科院正在机场第二站坪区做这试验工作。在深圳河治理工程中, 河堤淤泥加固工程便采用了真空预压法, 取得良好的效果。

3.2　砂井动力固结排水法

砂井动力固结排水, 原理与砂井堆载预压固结排水相似, 不同的是堆载预压固结是利用静压使土中孔隙水慢慢排出, 孔隙比减小, 同时随着超静水压力逐渐消散, 地基土的强度也就逐步增高。而动力固结水法则是利用重锤强夯, 在极短时间内对地基土体施加一个巨大的冲击能量, 使土体强制压缩或振密, 土体孔隙水瞬时汇集, 土体结构也产生破坏, 孔隙水在超高压力作用下排出, 土体固结压密, 土颗粒处于新的而且最终稳定的状态, 土体强度也就相应提高。

我院岩土公司在深圳皇岗口岸商业服务区软基处理和珠海观湖小区软基处理便是采用该方法, 并取得成功。

砂井动力排水固结, 快速、经济, 不需大量堆载土料, 且承载力可在短时间内成倍提高, 在缺土料及加固面积较大的情况下, 该方法是较理想的, 但该法是一种新方法, 目前还没有一套成熟的理论和设计计算方法, 用前应作试验。

4　结　语

深圳机场位于滨海潮间带, 场地普遍存在厚约3.0～7.5m 的海积淤泥, 其工程特性极差, 各类建筑物均面临着软基处理问题。

机场各主体工程按其各自的特点及工程条件, 采用了不同的软基处理方法。通过对机场现有建筑物的各种软基处理工程实践的对比研究, 滨海地区软基处理方法的选择不但要考虑到软土地基的工程地质条件(主要为软土层的厚度、性质、埋深、分布特征及工程特性), 同时也要考虑建筑物自身的条件(建筑物重要程度及对变形、承载力的要求等)。

机场区内淤泥土的性质无太大变化, 选择软基处理方案时, 主要是从淤泥厚度、埋深等考虑的。在深圳机场区内对于淤泥厚度大于4m 的区域软基处理方法主要采用: 换填、砂井堆载预压、强夯块石墩、桩基、水泥搅拌等处理方法; 对于淤泥厚度小于4m 的区域, 主要采用抛石挤淤的软基处理方法。

建筑物自身条件的不同, 其软基处理方法又会各异, 深圳机场淤泥厚度大于4m 的区域内, 机场跑道、滑行道是机场的关键建筑, 沉降变形要求很高, 为做到万无一失, 确保地基刚度, 采用换填法是比较理想的。

停机坪、站坪相对飞行区而言, 对地基刚度要求较低, 是一种面形荷载, 因而采用砂井载荷预压排水固结法, 从加固改良淤泥土出发使其满足了停机坪、站坪建筑的要求。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

机场跑道及停机坪连接处(联络道)位于刚性(飞行跑道)和柔性(站坪)的连接处,机场的单层小建筑(灯光站、航向台等)由于其承载力要求不大,故在这些建筑区采用水泥搅拌桩法。水泥搅拌桩复合地基更好地将刚柔建筑地基连接起来,同时也成功地支持了单层建筑物。

候机楼及其它多层建筑物由于对地基的变形要求高,建筑物重要性大,因而采用桩基础,满足了地基承载力及变形要求,保证了建筑物正常运行。

扩建停机坪与站坪是同类型建筑物,拟建区的淤泥厚度、性质等又差不多,但扩建停机坪区淤泥土上的填土层性质复杂,大量的块石、建筑物垃圾的混入,使其它加固方法难以实现,因而采用了强夯块石碾复合地基加固方法较好地解决了这一问题。可见,深圳机场软基处理较全面地体现了我国目前软基处理技术的各种方法,并较充分地体现了各种软基处理方法的优缺点及其适应条件,故对深圳机场软基处理进行总结研究,对我国的软基处理技术发展有一定的意义。

参 考 文 献

[1] 《地基处理手册》编写委员会. 1994. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社.

RESEARCH OF SOFT SOIL FOUNDATION PROCESSING AT SHENZHEN AIRPORT

Huang Hansheng Qiu Lin
(*Campang for Foundation Construction of Shenzhen Institute for Prospecting and Surveying, Shenzhun* 518022)
Yuan Guangzhou
(*Shenzhun Futian Engineering Quality Test Office, Futian* 518000)

Abstract

Now there are various methods for soft soil soundation srocessing, each of them has its advantages and disadvantages. If one method is used properly, it is safe, fast, and economic; otherwise, it may cause inestimable lose. Soft soil foundation processing for the airport projects is usually based on the engineering characteristics, construction site conditions, and building material resource for each main part of project. The purpose of this paper is to research the soft soil foundation processing of the Shenzhen Airport Project Phase 1 and to look ahead the soft soil foundation processing in the Shenzhen Airport Project Phase 2.

Key words Soft soil foundation processing, Shenzhen Airport, Engineering geological conditions.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net