

# 广东科学中心岩土工程问题及治理对策

张建林<sup>1</sup>, 张季超<sup>2</sup>, 刘晨<sup>2</sup>, 朱超<sup>2</sup>

(1 广东科学中心, 广州 510006; 2 广州大学土木工程学院, 广州 510006)

[摘要] 广东科学中心位于广州市东南, 整体地势偏低, 属河漫滩地貌。场地软土层厚度较大, 淤泥含水量高, 抗震性能差, 渗透性较好。结合广东科学中心建筑工程, 根据已有资料和工程实践, 在场地处理总体构思方案中分析了存在的岩土工程问题, 选择了最优的软土地基处理方案, 提出了分区处理的方式, 即在堆载预压区运用创新性的处理方法“吹砂填淤、填土挤淤”, 在动力排水固结区运用“少击多遍, 逐级加能”的方法, 通过现场试验证明该方法成功地解决了工程建设中存在的岩土工程问题, 为主体工程施工提供了保证。

[关键词] 岩土工程; 分区; 堆载预压; 动力排水固结法; 软土地基; 处理

## Geotechnical engineering problems and the countermeasures in Guangdong Science Center project

Zhang Jianlin<sup>1</sup>, Zhang Jichao<sup>2</sup>, Liu Chen<sup>2</sup>, Zhu Chao<sup>2</sup>

(1 Guangdong Science Center, Guangzhou 510006, China; 2 School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** The overall topography of Guangdong Science Center is low, and belongs to the flood landforms. The soft soil field is thick, the moisture content of silt is high. The seismic performance is bad, and the permeability is good. Based on the construction projects of GSC and the strength of the domestically available data in geotechnical engineering, the analysis had been done about the main environmental geological engineering problems in foundation treatment scheme. The most excellent soft ground treatment program had been chosen. The method of partitioned treatment was developed and applied in the civil engineering, which the creative method is called “filling sand with dynamic compaction, filling soil with squeezing silt” in preloading area, and the other method is called “less hit but many times, step by step add energy level” in dynamic drainage consolidation area. It successfully solves the silt problems existing in the construction of GSC though field tests, and offers protection to main construction.

**Keywords:** environmental geotechnical problem; partitioned treatment; preloading; dynamic drainage consolidation; soft ground

## 1 工程概况

广东科学中心位于广州大学城小谷围岛西部弯嘴头围, 三面环水。总用地面积453 900m<sup>2</sup>, 广东科学中心地块内多为鱼塘与河涌, 属河漫滩地貌, 地面绝对标高约为5.10~5.70m左右, 场地普遍分布有第四纪海陆相沉积的由淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土及砂土组成的软土, 尤其是场地地表覆盖有较厚的淤泥, 平均厚度为5~6m, 局部地区可达8m, 存在高压缩性、承载力较低及深部砂层液化等问题, 需进行软土地基预处理<sup>[1]</sup>。

根据钻探资料, 按地质成因类型、岩性、状态, 规划区地层由上至下划分为4层<sup>[2]</sup>: 人工填土层(Q<sup>ml</sup>), 主要为冲填土, 由中、细砂冲填而成, 结构松散, 层厚1.00~2.00m; 第四系冲积土层(Q<sup>al</sup>), 主要由淤泥、粉质粘土、及砂组成, 地层多呈交错、互层状分布, 层厚10.00~15.00m, 根据其岩土特征分为8个亚层; 残积土层(Q<sup>nl</sup>), 主要为泥质粉砂岩风化残积而成的粉质粘土, 可塑~硬塑, 局部坚硬, 局部含砂较多, 夹粉土, 层面埋深8.30~15.90m, 层厚0~9.00m, 分布广泛; 白垩系沉积岩层(K), 主要为泥质粉砂岩, 根据其风化程度可分为4层: 全风化层(14.00~20.90m)、强风化层(13.80~24.90m)、中等

风化层(13.40~36.00m)及微风化层(24.90~45.00m)。

根据上述工程地质条件的综合分析, 该工程场地具有以下特点和问题: (1) 软土层厚度较大; (2) 淤泥含水量高, 孔隙比大, 压缩性高, 土体强度及承载力均较低; (3) 抗震性能差, 存在震陷和砂土液化; (4) 地下水对混凝土结构具有中等腐蚀性; (5) 渗透性较好。

## 2 场地存在的环境岩土工程问题

(1) 软土的固结变形 在3~4m填土作用下, 再考虑停车场、广场及室外展区的荷载, 预计作用在软土地场地的外加荷载将超过100kPa, 将引起较大的地面长期沉降, 预估厚达10~15m软土固结沉降达0.5~1.0m。

(2) 主体场馆的地基加固 广东科学中心下部桩基承受较大水平荷载。由于桩承台和相当长的一部分桩处在软土和松砂之中, 侧向约束小, 结构设计认为类似高承台桩。为了提高桩基抵抗水平荷载的能力, 有必要对主体建筑区的软土地基进行加固, 提高松砂的

\* 广东省科技计划项目(2004B10101048), (2005A11601014), (2006B37301009); 建设部科技计划项目(2005-K1-48), (2006-K3-01), (2007-K3-09)。

作者简介: 张建林(1961-), 学士, 高级工程师, Email: jsb8472230@163.com。

密实度和软土的强度,增大对桩基的侧向约束。

(3)消除地基液化 场地属中等-严重液化等级,应采用有效措施消除或减轻地基液化,提高场地的抗震性能,减少上部结构投资,保证场地地震时稳定。

(4)基坑开挖支护 经处理后的场地,应能满足主体场馆在基坑开挖时的土工参数要求,较大幅度提高淤泥质土的抗剪强度,避免目前场地中存在的淤泥质土流变性和触变性大的缺陷。

(5)地表淤泥处理及利用 场地表层覆盖有较厚的淤泥,其含水量高,天然孔隙比大于1.5,抗剪强度低,压缩系数高,并具有流动性的浆液,属于不良的地基土,其地基承载力不能满足上部建筑物施工阶段及正常使用阶段的要求,地基沉降变形大,容易产生较大的不均匀沉降,必须对其进行处理。

### 3 地基预处理方案选择

工程有多种地基处理方法可供选择。从工期、估算投资、达到预期效果等方面优化后,结果如表1所示。根据上部结构的施工进度和上述方案的特点,确定采用分区处理方案,即对工期短的地块运用动力排水固结法处理,对工期长的地块采用堆载预压固结法处理,分区详见图1<sup>[5]</sup>。

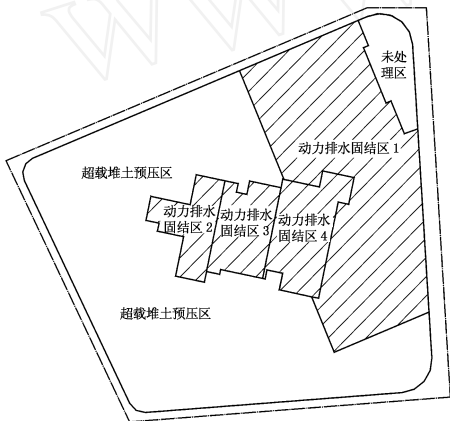


图1 分区处理平面图

### 4 堆载预压区淤泥处理方案

#### 4.1 淤泥处理的必要性

由于淤泥含有很多细颗粒及大量有机腐殖质,臭味重,具有触变性及流变性大的特点,若处理措施不当,不仅会增加淤泥处理的费用,而且会对周边环境造成污染。若采用外运,不但需要高额的运输费,污染环境,而且要调配淤泥所挖走的土方量。因此必须找出合适的方案对流塑状淤泥进行处理,使淤泥变废为宝,以达到减少工程造价,降低环境污染的目的。

#### 4.2 前期淤泥处理方法设计

综合考虑经济、环境、技术等方面因素,同时结合原场地地势较低,需进行填土、提高地面标高的情况,

地基处理方案对比

表1

地基处理方法	技术参数	施工期+达到90%固结度的固结期	估算造价/元/m <sup>2</sup>
动力排水固结法	塑料排水板长约12m,间距1.2m,呈梅花形布置,工作垫层厚1.5m,点夯3~4遍,夯击能800~1500kN·m,满夯1遍,夯击能800kN·m	6个月	80~100
真空预压固结法	塑料排水板长约12m,间距1.2m,梅花形布置。真空度60kPa	6个月	150~180
干振碎石桩	干振碎石桩直径40cm,长约10m,间距1.2m×1.2m,梅花形布置	6个月	200~230
堆载预压固结法	塑料排水板长约12m,间距1.2m,梅花形布置	12个月	30~50

提出了“吹砂填淤、填土挤淤”的前期处理技术。即在原场地大部分为鱼塘的条件下,利用珠江河流进行吹填砂施工,以达到挤开淤泥、在地表形成硬壳层、改善场地条件的作用。利用正在建设中的广州大学城(即小谷围岛)工地45万m<sup>3</sup>余土(建筑垃圾)以及外环路基堆载所卸的20万m<sup>3</sup>余土无偿调配给广东科学中心工地,按“从近至远、分层堆载、分层碾压”的方式进行堆土,既消化处理了广州大学城建设工地的大量建设废弃物(主要是开挖土),又产生了填土堆载的效果,同时可节约工程造价。吹砂挤淤是强迫换土的一种地基处理形式<sup>[3]</sup>,通过在软土、淤泥中垫入、挤入承载力较好的砂土,强行挤出软粘土及淤泥并占据其位置,以此来提高地基承载力、减小沉降量,提高土体的稳定性。

工程结合实际情况,在39万m<sup>2</sup>的场地上,利用围堰将场地划分为几个区域;进行吹填砂施工(见图2),砂子将淤泥挤出、嵌入淤泥下部,然后利用正在建设中的广州大学城余土进行堆土,把淤泥挤出,形成淤泥带,再进行局部处理。

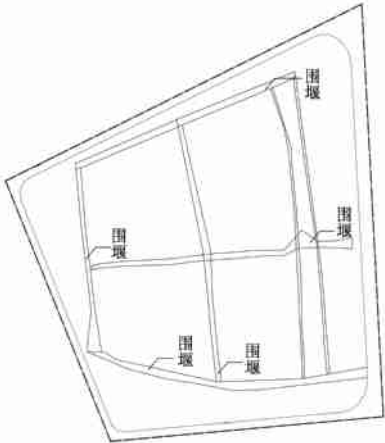


图2 围堰平面图

### 4.3 填土效果分析

在堆载(堆土)预压法施工过程中有专人负责现场施工监测工作,并以监测资料控制加载速率,以科学指导施工,保证施工质量。监测内容包括:孔隙水压力监测、测斜监测、分层沉降监测、边桩水平位移监测、地表沉降监测<sup>[4]</sup>等。

(1) 孔隙水压力监测结果 由监测结果可知:1) 各测点的稳定孔隙水压力变化幅值较大,上部测点为 0.002 ~ 0.087MPa,平均为 0.032MPa,中部测点为 0.009 ~ 0.109MPa,平均为 0.053MPa,下部测点为 0.027 ~ 0.130MPa,平均为 0.095MPa;2) 各测点堆载预压引起的超孔隙水压力变化较大,为 0.002 ~ 0.130MPa,这与场地的地质条件和排水条件有关。

(2) 测斜监测结果 由监测结果可知:1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 两个测斜孔在 4 个半月的监测时间里总侧向水平位移为 15.5 ~ 15.8mm,在最后三个观测周期中,两测斜孔的位移速度在 0.08 ~ 0.13mm/d;3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup> 三个测斜孔在半年的监测时间里总侧向水平位移为 17.90 ~ 22.50mm,在最后三个观测周期中,三个测斜孔的位移速度在 0.04 ~ 0.08mm/d;测试结果表明目前各测斜孔的侧向水平位移已基本趋于稳定。此外,由测斜曲线可见,堆载期间,土体的侧向位移增幅稳定,表明土体未发生整体剪切滑移。

(3) 分层沉降监测结果 由监测结果可知:1) 各测点的沉降量变化比较缓慢,淤泥上部测点沉降量平均为 364.8mm;淤泥中部测点沉降量平均为 288.5mm;淤泥底部测点沉降量平均为 226.9mm;2) 各测点堆载预压引起的上部沉降量较大,与地表沉降板的测量结果较为一致;3) 分层沉降测量结果表明,在上覆堆载的作用下软土地基沉降已趋于稳定。

(4) 边桩水平位移监测结果 由监测结果可知:1) 各测点累计位移量为 75.2 ~ 99.8mm;2) 各测点堆载预压所引起的边桩水平位移增量稳步发展,主要是场地加载过程中土体蠕动挤压所产生的水平位移;3) 由图 3 中的曲线可见,位移增量未见突变,表明土体未发生整体剪切滑移。

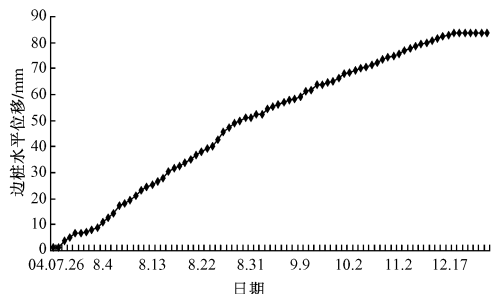


图3 边桩(14<sup>#</sup>桩)桩顶水平位移监测曲线图

(5) 地表沉降监测结果 图 4 为地表沉降监测曲线图,由监测结果可知:1) 各测点堆载预压所引起的软

土沉降量变化较大,在 246 ~ 767mm 之间,平均为 574.93mm;2) 各测点的沉降量变化规律性较明显,先期沉降速率较快,但中后期逐渐平缓,表明在成桩时上部土层摩阻力可取正值。

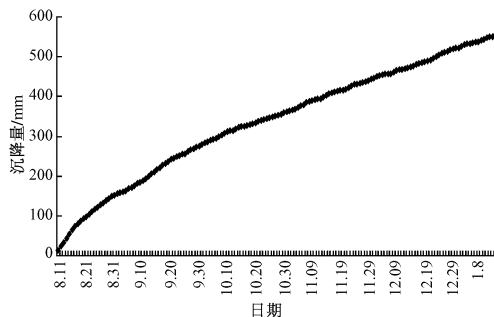


图4 吹砂层地表沉降监测曲线图

### 5 动力排水固结法(强夯法)处理方案

广东科学中心地基处理工程首次采用“少击多遍、逐级加能”的动力排水固结法新技术施工。为了确保施工达到预期的效果,结合施工现场条件和设计要求,经过多个试验段的试验与检验,在施工程序、排水措施、施工参数等几个关键施工环节取得突破,使得软土地基预处理新技术的应用能够实现。

#### 5.1 动力排水固结法的施工程序

考虑到施工场地原地面软弱且多为水塘、洼地等,为了保证强夯施工的顺利进行,经试验确定动力排水固结法的施工程序为:吹砂 竖向排水带施工 施工分区排水沟施工 三~四遍逐级加能强夯施工 一~二遍低能满夯。实践证明,上述施工程序适合于软土地基的动力排水固结法施工,可以避免软土强夯施工中的许多不利因素,加速孔隙水压的消散,保证预期的加固效果。

#### 5.2 动力排水固结法的排水措施

在一个动力排水固结区内,分区(约 20 ~ 30m 划分一个分区)设置排水沟和集水井抽水,可加速强夯后的孔隙水压消散。广东科学中心场地地下水位较高,吹砂后在砂垫层地表下即为地下水位,如何迅速排水是地基处理的关键,采用分区设置排水沟和集水井,用潜水泵抽水,可以加快降低砂垫层中的水位(降至软土面),使动力排水固结法产生的孔隙水压得以迅速消散。这种简单的排水措施既保证了加固效果,与其它排、降水措施相比,又节约了工程造价。

#### 5.3 确定适合软土地基强夯的施工参数

强夯施工参数是影响软土地基加固效果的重要因素,通过反复试验研究,确定的基本施工参数为:锤底采用圆形,直径  $D = 2.1\text{m}$ ,底面积  $A = 3.14\text{m}^2$ ,锤重分别为 13t 和 15t;夯点按  $5.0\text{m} \times 5.0\text{m}$  方形布置,隔点夯击,点夯三~四遍,单点夯击击数 6 ~ 8 击,夯击能依次加大,夯击能分别为 800, 1 050, 1 300kN·m,每遍夯击的

收锤标准以 6(8) 击总沉降量不大于 1 300mm(1 600mm) 为准;最后满夯一遍,低能量,夯击能为 800kN·m,挨点梅花形夯打,锤印搭接 1/3。

广东科学中心场地软弱土层厚度较大,且表层吹填砂层较薄,采用上述“逐级加能”的方式进行夯击,可避免出现“掉锤”的事故,防止软土结构破坏,且能保证预期的加固效果,这一点也得到了实践证明。

#### 5.4 工程试验及检测

动力排水固结法施工完成后需进行工程质量检测,以保证施工质量符合设计要求。动静结合排水固结法施工完成后,主要进行了钻孔取样、室内常规土工试验、标准贯入试验、静力触探试验、静载荷试验以及瑞雷波法检测等试验。通过对强夯区瑞雷波、静力触探、静载荷以及标贯和土工参数检测的数据分析可得出如下结论:0~4m 土层的土工参数大幅提高,地基承载力特征值约在 130kPa 以上;4~8m 土层的土工参数有一定幅度的提高,地基承载力特征值约在 100kPa 以上;8~14m 土层的土工参数有所加强,大部分钻孔砂土液化已消失,个别钻孔中显示砂土液化由中等严重改变为不液化-轻微。经动力排水固结法处理后,填土层的自重固结已完成,上部软弱土层的附加固结基本完成,桩上部土层摩阻力可取正值。

#### 6 结语

广东科学中心场地变更设计标高,考虑后期主体

工程施工的需要,从节约的角度考虑,确定了吹填砂施工设计标高为 +6.0~7.0m 以及堆土 2~3m;提出“就近处理、因地制宜”的区域环境岩土工程处理思想,同时考虑到场地内平均厚 0.5m 的淤泥,提出“吹砂填淤、填土挤淤”的堆载预压处理淤泥技术,并通过施工实践验证了该技术的可行性。在淤泥的处理方面上积累了宝贵经验<sup>[7]</sup>。在动静分区处理基础上提出以“少击多遍、逐级加能”为原则的动力排水固结法,加速超孔隙水压力的消散。最终形成了以提高软土地基承载力,降低施工后沉降为目的的动静结合的排水固结技术。

#### 参 考 文 献

- [1] 易和,张季超. 广东科学中心建设与管理研究——建筑篇[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 张季超. 地基处理[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [3] 广州市地质勘察基础工程公司. 广东科学中心地质详细勘察报告[R]. 勘察号:190022-KI. 2004.
- [4] GB79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [5] GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [6] 刘健,阎士民,贾兴安. 徐州市环境岩土工程问题及防治对策[J]. 地质灾害与环境保护,2008,(12).
- [7] 曾华健,张季超. 强夯法处理广东科学中心软弱地基的试验研究[J]. 广州大学学报,2005,(3).
- [8] 张季超,曾华健. 广东科学中心饱和淤泥质砂土地基预处理技术的研究与应用[J]. 广州大学学报,2007,(6).

(上接第 48 页)

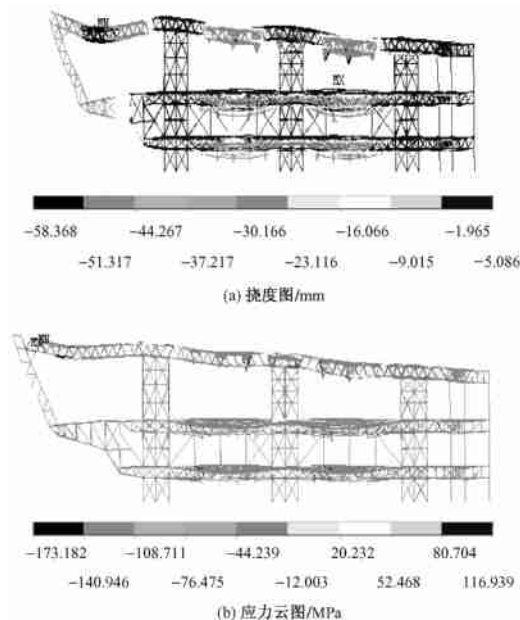


图 7 E 区工况 10 挠度及应力云图

分析方法,采用动态分析法,按照结构施工阶段前后次

序,能够跟踪仿真计算出各施工阶段的控制参数,以指导施工的正常进行,达到设计的成型状态;2) 通过不同施工阶段实时监测结果与施工模拟仿真分析计算结果的对比、验证和分析,也为评价结构或构件在安装过程中产生的位移对后续构件加工尺寸的影响提供了基础数据,并对空间三维实体模型、深化设计图进行再改进和再完善<sup>[4]</sup>;3) 建立的仿真分析方法具有计算工作量小,计算精度高的特点,不仅适用于大跨度复杂空间建筑结构,也可应用于其他复杂空间构筑物的施工监控。

#### 参 考 文 献

- [1] 易和,张季超. 广东科学中心建设与管理研究——建筑篇[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 张其林,罗晓群,高振锋,等. 大跨钢结构施工过程的数值跟踪和图形模拟[J]. 同济大学学报:自然科学版,2004,32(10):1295-1299.
- [3] 马宏睿,赵鹏飞,汤荣伟,等. 武汉火车站雨棚结构施工模拟计算分析[J]. 建筑结构,2009,39(1):31-33.
- [4] 崔晓强,郭彦林,叶可明. 大跨度钢结构施工过程的结构分析方法研究[J]. 工程力学,2006,23(5):83-87.