



基于 Civil 3D 平台的钦州港大榄坪港区 地基处理精细化设计

乔 梁, 廖晨彦, 高 宁, 万浩然

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对软土层空间分布不均、厚度差异大的大面积地基处理场地, 利用 Civil 3D 软件建立场地三维地质模型, 并绘制场地软土厚度等值线图, 直观地反映了软土层在空间上的分布规律。结合不同软土厚度的典型钻孔沉降计算结果, 软土层分别采用不插板不堆载、插板不堆载、插板堆载 3 种地基处理方案, 兼顾了处理效果和工程造价。此外, 利用 Civil 3D 软件建立堆载实体模型, 用于计算堆载、卸载工程量, 计算结果更加精细、准确, 解决了传统断面法在交叉部位精度差、计算过程复杂等工程量计算问题。该实例可为后续自动化集装箱码头陆域开展地基处理精细化设计提供参考。

关键词: Civil 3D; 地基处理精细化设计; 钦州大榄坪港区; 自动化集装箱堆场

中图分类号: U 652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0208-05

Fine design of foundation treatment for Qinzhou Dalanping port area based on Civil 3D platform

QIAO Liang, LIAO Chen-yan, GAO Ning, WAN Hao-ran
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: For large-area foundation treatment sites with uneven spatial distribution of soft soil layers and large thickness differences, 3D geological model has been built and contour map of the soft soil thickness has been drawn by Civil 3D, which is a more intuitive way to display the distributions of the soft soils. According to the settlement calculation results of typical borehole with different soft soil thickness, and giving consideration to both treatment effect and construction cost, three different foundation treatment schemes have been adopted for the soft soils of different thickness: no plug-in board and no piling, plug-in board without piling, plug-in board and piling. In addition, the software Civil 3D is used to calculate the quantities of surcharge preloading material and realize the refinement of the ground treatment process through 3D modeling, which can effectively overcome the shortcomings of large computation and insufficient calculation accuracy of the method of section. It is a reference for the fine design of foundation treatment for the land-forming project of the automated container stack yard.

Keywords: Civil 3D; fine design of foundation treatment; Qinzhou Dalanping port area; automated container stack yard

Civil 3D 是 AUTODESK 公司研发的一款用于 3D 建模的软件^[1], 是面向土木工程设计的建筑信息模型(BIM)解决方案。目前广泛应用于勘测、场地平整设计、道路建模、土石方计算等土木工程领域, 具有实时性强、关联性好、准确性高的特点。

李家华等^[2]利用 Civil 3D 建立了某大型填海工程的三维地质模型, 可以快速创建地质剖面图, 并实现模型的任意剖切, 用于辅助设计。廖晨彦等^[3]采用 Civil 3D 的曲面和放坡等工具, 通过主要钻孔的沉降计算, 实现模拟堆载和卸载的过程,

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 乔梁(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程地基处理设计工作。

并根据建立的曲面和实体等数据得到较为准确的各区堆载和卸载工程量。

对于软土厚薄不一、分布不均的软土地基, 精细化方案设计和工程量计算一直是一个难点, 采用保守型的地基处理方案势必造成投资的浪费, Civil 3D 软件在三维地质和实体建模等方面具有建模快速、计算精确等优势, 是一种地基处理精细化设计的有效工具。本文以钦州港大榄坪港区自动化码头工程为例, 利用 Civil 3D 软件 and 不同软土厚度的典型钻孔沉降计算结果, 细化地基处理分区, 并计算堆载和卸载工程量, 计算结果更加精细、准确。

1 项目背景

钦州港大榄坪港区自动化码头工程 9[#]、10[#]泊位位于钦州保税港区内的南端, 建设 10 万吨级集装箱泊位 2 个, 岸线总长 783 m, 后方陆域纵深 807.5 m, 陆域总面积约 63.2 万 m²。陆域按照使用功能划分为码头前沿作业地带、自动化集装箱堆场及港区道路、预留堆场发展区和生产辅助区。

根据地形测量资料, 场地可分为已回填区(陆域)和未回填区(水域)2 个部分, 已回填区面积约 38.0 万 m², 未回填区面积约 25.2 万 m²。根据钻孔资料揭示, 陆域软土层时空分布不均匀。从时间上看, 已回填和未回填区由于回填时间相差数年, 导致软土层前期固结压力不一致, 软土性状不同; 从空间上看, 场地软土层厚度 0~12.1 m 不等, 且分布极为不均。因此, 在进行场地大面积陆域形成和地基处理设计过程中, 选择合理、经济的地基处理方案是兼顾场地工后沉降和工程造价的关键。

根据本项目地质勘察资料, 场地岩土层自上而下依次为①填土(主要为中砂)、②₁淤泥、②₂淤泥质土、②₃砂混淤泥(或细砂)、③黏性土、④中粗砂、④₁细砂, 侏罗系基岩层。

结合规范要求^[4], 确定后方陆域地基处理标准如下:

- 1) 地基处理后交工面处地基承载力特征值不小于 150 kPa。
- 2) 地基顶面回弹模量不小于 60 MPa。
- 3) 工后沉降不大于 25 cm, 堆场和道路差异沉

降小于 0.2%。

2 三维地质建模及分析

三维地质建模是直观化、信息化研究场地地质信息的基础。基于 Civil 3D 平台建立各地层 XML 曲面及 CSV 数据库, 在 Civil 3D 软件的地质模块中搭建出本工程的三维地质模型, 见图 1。该模型包含了钻孔编号、地层名称、高程等信息, 能最大限度地还原场地地质情况, 并且可以通过快速剖切生成任一想要的断面, 通过辅助设计提高设计精度; 模型中的曲面和实体还可用于地基处理方案的精确建模和算量。后续还可以通过添加新的地层曲面数据, 实现地质模型的动态更新, 尤其是分阶段勘察模式下, 随着录入更多地钻孔地层数据, 不断提高模型的精度。

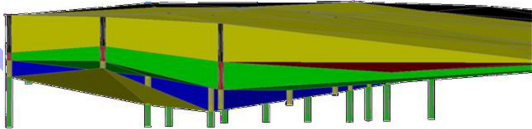


图 1 三维地质模型

统计各钻孔软土厚度并导入 Civil 3D 软件中, 创建软土厚度曲面, 添加等值线和厚度等信息, 生成场地软土厚度等值线图, 见图 2。

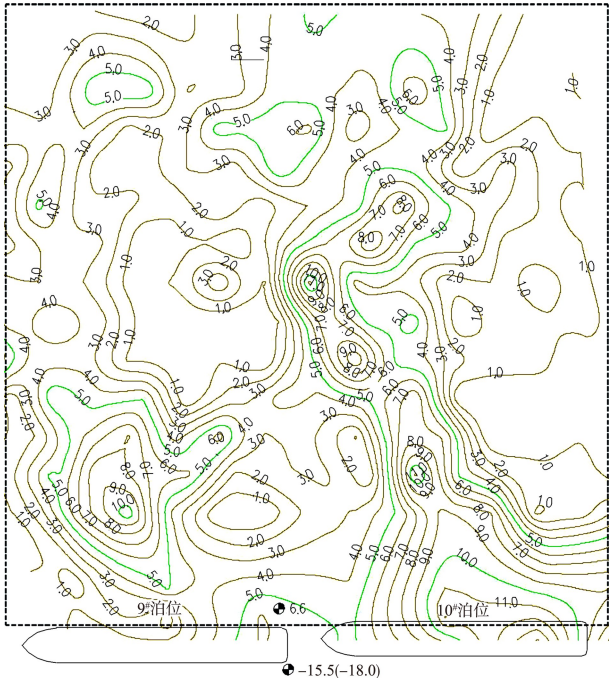


图 2 场地软土厚度等值线 (单位: m)

地基处理精细化设计以直观化的三维地质模型和软土厚度等值线图为基础，通过对软土空间分布、平面分布情况的分析，结合典型钻孔沉降计算结果，制定地基处理方案，细化平面分区。另外，基于三维地质模型还可以较为精确地确定插打排水板打设深度、建立开挖模型等^[5]。

3 地基处理平面分区划分

本工程地基处理的主要对象是原状软土层和人工回填砂层。软土层主要是淤泥和淤泥质土，厚 0~11.6 m，平均厚度 3.5 m，其中软土厚度小

于 3.5 m 的钻孔数量约占 50%；人工回填砂层厚度较大，约 7.0~12.0 m，主要为中粗砂，含泥量小于 10%。

对于软土层，排水固结法是最常用的地基处理方式，考虑到场地回填砂层厚度较大，考虑采用以堆载预压方案为主的地基处理方法，但鉴于软土层分布的不均匀性，首先选取不同软土厚度的典型钻孔进行沉降计算和分析，然后针对不同厚度的软土层采取不同的地基处理方案，以期设计方案既达到处理效果要求，又不过度处理。典型钻孔沉降计算结果见表 1。

表 1 典型钻孔沉降计算结果

地基处理方式	钻孔编号	软土层厚度/m	使用荷载下最终沉降量/cm	施工回填荷载下最终沉降量/cm	施工期 (730 d) 固结度/%	施工期 (730 d) 沉降量/cm	使用期主固结残余沉降量/cm
不插板不堆载	SGK41	2.5	28.1	18.7	18.2	3.4	24.7
	SGK77	3.1	29.5	18.5	16.2	3.0	26.5
	SGK65	4.0	48.9	31.9	23.4	7.5	41.4
	SGK72	5.3	61.3	41.4	20.2	8.4	52.9
	SGK76	6.1	70.8	49.4	24.9	12.3	58.5
	SGK73	7.0	79.6	54.9	14.3	7.8	71.8
	CGK34	8.5	94.2	67.4	11.5	7.7	86.5
	CGK40	9.4	115.0	69.8	21.0	14.6	100.3
插板不堆载	SGK41	2.5	28.1	18.7	94.4	17.1	11.0
	SGK77	3.1	29.5	18.5	94.4	17.3	12.2
	SGK65	4.0	48.9	31.9	94.1	30.1	18.8
	SGK72	5.3	61.3	41.4	94.1	39.0	22.3
	SGK76	6.1	70.8	49.4	94.1	46.5	24.3
	SGK73	7.0	79.6	54.9	94.0	51.6	28.1
	CGK34	8.5	94.2	67.4	94.0	63.4	30.9
	CGK40	9.4	115.0	69.8	94.0	65.6	49.3

根据表 1 数据分析，软土厚度超过 2.5 m 时，后续使用期主固结残余沉降约为 24.7 cm，已接近最大允许工后沉降 25.0 cm，考虑到使用期间的次固结沉降及砂层蠕变等，预计会超过 25.0 cm，因此按保守考虑，将对软土层不进行地基处理的上限厚度定为 2.0 m；同理，软土厚度超过 4.0 m 时，后续使用期主固结残余沉降约为 18.8 cm，接近最大允许工后沉降 25.0 cm，同样按保守考虑，将对软土层进行插板堆载预压的下限厚度定为 3.5 m，即软土厚度超过 3.5 m 需进行插打塑料排

水板和堆载预压处理。当软土层厚度介于 2.0~3.5 m 之间时，仅考虑插打塑料排水板，利用回填砂层自重进行预压，不再增加堆载预压，后续对砂层进行强夯密实也可加速软土层排水效果。

对于上部回填砂层，主要采取强夯法进行密实，但在与已建构筑物交界、靠近码头和护岸等对振动作用比较敏感的部位，考虑采用振冲密实方案。

根据上述分析，确定地基处理平面分区原则如下：1)软土厚度 2.0 m 以下，强夯或振冲密实

处理; 2) 软土厚度 2.0~3.5 m 范围, 采用插板+强夯/振冲密实方案; 3) 软土厚度 3.5 m 以上, 采用堆载预压+强夯/振冲方案。

利用 Civil 3D 绘制淤泥厚度等值线图, 在平面图上可以非常直观地细化出各地基处理平面分区, 见图 3。

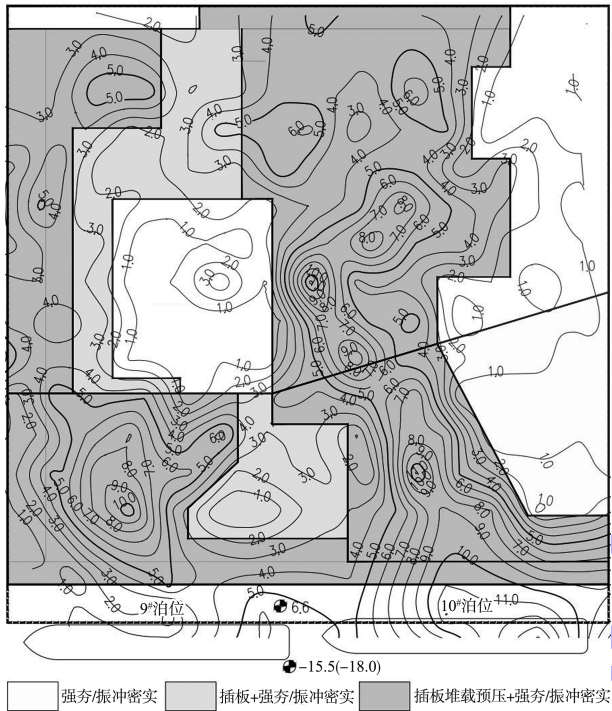


图 3 地基处理平面分区 (单位: m)

4 堆载模型及工程量计算

本项目场地软土厚度变化大、分布极不均匀, 造成各个堆载分区边界转角较多, 采用传统断面法计算堆载工程量时, 堆载放坡段势必存在重合、交叉的情况, 造成堆载工程量多算的情况, 且计算过程较为繁琐。在计算卸载工程量时, 大面积

堆载区域中沉降是不均匀的, 沉降后的堆载顶面不再是一个平面, 采用传统断面法计算时, 往往根据计算区域内堆载顶面减去各钻孔的平均沉降量作为沉降后的堆载顶面, 但如果计算区域内钻孔布置不均匀的情况, 势必造成平均沉降量计算存在较大的偏差, 导致卸载工程量计算误差, 且同样面临计算过程复杂、交叉部位计算精度差的问题。

采用 Civil 3D 的曲面和放坡等工具, 通过考虑场地内所有钻孔的计算沉降情况, 实际模拟堆载和卸载的过程, 并根据过程中建立的曲面(堆载曲面、沉降曲面等)、三维实体等数据可得到较为准确的各区堆载和卸载工程量。其中局部堆载模型见图 4。



图 4 局部堆载模型

堆载模型计算得到的堆载、卸载工程量与传统断面法所得结果对比见表 2。对比 2 种方法计算结果得出: 模型计算结果比传统断面法略偏小, 计算偏差率在 2.5%~4.7%, 这也符合前述传统断面法在转角部位存在重复导致计算量偏大的情况。在实际设计过程中, 可以通过 2 种方式相互对比验证工程量计算的准确性, 在确保建模无误的前提下, 采用堆载模型计算工程量的结果较为可靠。

表 2 堆载、卸载工程量计算结果对比

地基处理分区	类型	工程量/万 m ³		差值/万 m ³	计算偏差/%
		模型计算	断面法		
堆载 1 区	堆载量	10.90	11.17	-0.27	-2.5
	卸载量	10.90	11.17	-0.27	-2.5
堆载 2 区	堆载量	127.37	133.30	-5.93	-4.7
	卸载量	85.20	81.53	-3.67	-4.3
堆载 3 区	堆载量	93.75	96.58	-2.83	-3.0
	卸载量	57.35	59.82	-2.47	-4.3

5 结语

1) Civil 3D 软件在三维地质建模、等值线图构件、快速剖切断面、土方工程量计算等方面具有明显的优势，是一种高效的地基处理精细化辅助设计工具。

2) 在 Civil 3D 平台中建立的三维地质模型可以通过快速剖切生成任一断面，通过辅助设计提高设计精度。

3) 通过 Civil 3D 创建堆载实体模型和沉降曲面，并用于堆载和工程量计算，比传统断面法具有更高的精度，两者偏差在 5% 以内，验证了堆载模型计算工程量结果的可靠性，解决了传统断面法存在的计算过程复杂、交界部位计算精度差的问题。

4) 后期各钻孔的沉降计算结果亦可以利用 Civil 3D 的曲面创建形成沉降云图，云图中可显示钻孔位置及对应的工后沉降，比数字的呈现方式更加直观。

5) 地基处理往往涉及到土石方平衡和调配，对工程总投资有很大的影响，尤其是堆载预压工程，在目前土石方价格持续处于高位的阶段，堆

载料费用往往在地基处理造价中占到较大的比重，甚至关系到方案的可行与否，精细化堆载分区旨在保证满足处理效果的同时，尽可能较少项目投资，节约造价。

6) Civil 3D 软件能够实现数据信息的模型化和可视化，但目前与岩土计算的结合还不够紧密，因此未来将模型与计算、监测数据相结合，提高模型数据的流通和利用效率将是必然趋势。

参考文献：

[1] 兰立伟, 严杰. AutoCAD Civil 3D 在水利工程设计中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2009, 9(12): 120-121.

[2] 李家华, 陈良志, 杨彪, 等. 三维地质模型在水运工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(10): 16-20.

[3] 廖晨彦, 乔梁, 陈良志. 基于 BIM 技术的地基处理方案建模与分析[J]. 水运工程, 2019(9): 191-195.

[4] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 自动化集装箱码头设计规范: JTS/T 174—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.

[5] 刘堃, 李家华, 杨彪. BIM 技术在深圳机场三跑道填海工程设计中的应用[J]. 水运工程, 2018(10): 183-188.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 189 页)

5 结语

1) IGV 是一种伴随无人驾驶技术发展衍生而来的新型智能化集装箱水平运输设备，该设备依靠“卫惯导航+多传感器融合”定位技术实现自动导航和定位，与传统采用磁钉导航定位技术的 AGV 相比，具有智能化程度高、自重轻、单机成本低、码头配套基础设施投资低等优点，对采用不同堆场布置形式的集装箱自动化装卸工艺系统均具有较强适应性；

2) 采用 IGV 的自动化集装箱码头应针对其定位导航、能源补充、维护保养等方面提出一套完善的配套基础设施设计和建设方案。

参考文献：

[1] 程泽坤, 何继红, 刘广红. 自动化集装箱码头设计与实践[M]. 上海: 上海浦江教育出版社, 2019.

[2] 罗勋杰. 全自动化集装箱码头水平运输方式对比[J]. 水运工程, 2016(9): 76-82.

[3] 韩时捷, 周亚平, 马哲超. FRP 筋在自动化集装箱港区 AGV 重载道路中的应用[J]. 水运工程, 2016(9): 155-158.

[4] 刘洋, 麦宇雄, 覃杰. 适用于江海联运海港自动化集装箱码头的总体布置方案[J]. 水运工程, 2019(9): 119-124.

[5] 毕艳飞, 单磊, 黄旭东, 等. 自动化集装箱码头水平运输定位技术[J]. 集装箱化, 2018, 29(5): 18-22.

(本文编辑 王传瑜)