

# Civil 3D 在港区工程量计算中的应用

闫晓敏

(中交第三航务工程勘察设计有限公司, 上海 200032)

**摘要:**港区陆域形成的填挖土方对工程经济性影响非常大,寻找精确地计算港区陆域工程量使纵向设计最优化的方法是港区工程全寿命周期各个环节的关键。基于传统方法的计算原理与应用现状分析了现有方法在港区土方计算中存在的问题,借鉴建筑信息模型 BIM(Building Information Modeling)思想,对 Civil 3D 的土方计算原理与操作流程进行研究,最后以某港区石化仓储库区场平方案为例,参考传统计算软件 HTCAD 的计算结果,验证了 Civil 3D 在港区工程量计算中的便捷性与可靠性。结果显示: Civil 3D 的计算精度比 HTCAD 高 7%~20%,计算速度是 HTCAD 的数十倍,在修改过程中计算速度达数百倍。研究成果为采用 Civil 3D 进行港区陆域土方计算提供理论和技术依据。

**关键词:**港区陆域; Civil 3D; 土方量计算; 曲面法; 精度; 速度

**中图分类号:** U65

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-3682(2019)02-0115-09

**doi:** 10.3969/j.issn.1002-3682.2019.02.004

**引用格式:** YAN X M. Application of Civil 3D in engineering quantity calculation of the port area[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(2): 115-123. 闫晓敏. Civil 3D 在港区工程量计算中的应用[J]. 海岸工程, 2019, 38(2): 115-123.

目前,港区陆域形成工程中存在大量不合理围填海造地,导致资源低效利用、围填海闲置,不仅浪费了宝贵的近岸海域空间资源,还加剧了人地(海)矛盾<sup>[1]</sup>。因此,综合考虑规划区内最高内涝水位、区域场地排水条件等因素同时,合理确定陆域形成标高,实现土石方平衡是提高海域资源优化配置和节约集约利用水平的关键,也是我国发展沿海地区重要任务之一。

在实际工程中,由于港区陆域设计标高的确定需要大量重复试算土方,调整标高以得到资源利用最优的方案<sup>[2]</sup>。这是一个繁琐枯燥的重复信息修改与数字计算的过程,同时也大大地影响工程设计规划效率。目前已有的 HTCAD 和 CASS<sup>[3]</sup>等计算软件多集中在二维模型,自动修改功能与计算精度均存在一定的弊端。

Civil 3D 作为 BIM 的设计软件之一,是建立在 AutoCAD 制图上,面向对象,适用于多领域、一体化的三维设计软件,具有实时性、优化性与协调性的特点<sup>[4]</sup>。其中放坡和要素线的引入让我们能快速地构建三维场地模型,精确地计算港区陆域土方工程量,使优化纵向设计成为可能。目前, Civil 3D 多应用于测绘、房建、交通等领域<sup>[4-5]</sup>,港区的土方还较多地依赖于 HTCAD 和 CASS 等二维的计算软件,针对 Civil 3D 的研究多为简要地概述 Civil 3D 在计算土方过程中的操作流程,具体的实例应用也较简单,并未对 Civil 3D 的原理进行阐述,土方计算方法也缺乏一定的归纳总结,同时 Civil 3D 应用研究处于起步阶段,再加上曲面法计算非常复杂,无法使用手工按计算器的方式进行复核,本文针对 Civil 3D 软件重点剖析了其在土方量计算方法的原理与优势,并以实际项目为依托,与传统算法作对比进行验证,为港区陆域形成标高确定与土方计算提供理论依据。

## 1 传统土方计算原理与方法

传统的港区陆域土方计算方法是通过对 GPS、全站仪、野外测量取得测量数据,再根据不同地形特点基于

收稿日期: 2019-01-21

作者简介: 闫晓敏(1993-),女,助理工程师,硕士,主要从事港口、航道、码头工程设计与 BIM 技术应用等方面研究。

E-mail: yanxiaomin1217@theidi.com

(陈 靖 编辑)

微分思想对其进行二维转化近似,常用的计算方法主要有体积法、断面法、方格网法与等高线法<sup>[5-6]</sup>。这些方法的计算原理与适用地形见表 1。

表 1 传统土方量计算方法

Table 1 Traditional methods for calculating the earthwork quantity

计算方法	计算原理	适用地形
体积法	相近的几何体(锥体、棱台)体积公式	近似规则几何体的地形单体
断面法	将土体分成段,分别计算这些段的体积,再叠加	地形复杂,起伏变化较大
方格网法	对土体平面投影进行正方形格网划分,计算每个格网面积与纵向对应的高度,最后对每个四棱柱体积进行叠加	地形起伏较小,坡度变化平缓
等高线法	计算 2 条闭合等高线的面积,乘以等高线高差算出台体体积	参与计算的地形等高线必须是闭合的

通过上述分析,传统的港区陆域土方计算方法主要弊端:1)传统土方量计算的适用性较差,受地形限制严重;2)均用到了微分思想,故计算过程繁琐,计算效率低;3)计算精度与计算效率此消彼长,为了提高计算效率只能增加计算误差;4)这些算法已在 HTCD 等软件中实现,但计算量大,所以一旦调整局部,整个计算过程需要重新操作。

## 2 基于 Civil 3D 的土方计算方法

### 2.1 计算原理

随着计算机技术的发展,学者逐步采用“三角网”来构建原始地形曲面和港区陆域设计曲面,直接用地形曲面和设计曲面进行土方计算不会漏掉有效信息,结果更精确。

Civil 3D 通过曲面表达、管理三维数字地形模型,其中曲面分为 2 类:一种是真正意义上的曲面,另一种是主要用于计算土方的体积曲面。根据部分形式的不同,他们又被分为“三角网”和“栅格”。Civil 3D 中最常用的是三角网曲面。

#### 2.1.1 曲面形成机理

##### 1) 三角网曲面

三角网曲面是通过任意一组点进行 Delaunay 三角剖分而形成,Civil 3D 通过连接彼此最接近的曲面点创建组成三角形的三角网,曲面任意一点的高程都是通过对该点所在三角形的顶点高程进行内插进行定义<sup>[7]</sup>。通过添加点文件、多段线、AutoCAD 对象等多种数据进行曲面的创建。

该曲面适用于基于不规则分布采样数据来映射复杂多变的曲面和分析局部区域。简而言之,地形起伏变化越大,越适合于三角网曲面。

##### 2) 栅格曲面

栅格曲面有位于规则栅格上的点组成,通过创建栅格曲面或从数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)文件通过导入对象的方式进行栅格曲面的创建。

主要用于基于均匀分布的采样数据来映射均匀的曲面,分析大型研究区域。与三角网曲面相比,栅格曲面加载时间更少,需要的磁盘空间更少。

#### 2.1.2 土方工程量计算原理

##### 1) 基于三角网体积曲面

三角网体积曲面是从对照曲面和基准曲面中的点的组合创造的组合曲面,也成为差值曲面。

基于三角网体积曲面进行土方工程计算主要通过该曲面中提供的基准曲面和对照曲面之间的精确差异来实现。首先基于两个曲面合并三角网,在三角网相交处添加新三角网以创建组合曲面,其次在两个曲面间构建棱(柱)体,三角网体积曲面中任一棱(柱)体的高度即为对照曲面与基准曲面在该点处的高程差值,最后计算汇总棱(柱)体从而求出土方量。其计算原理见图 1。形成的体积曲面的填挖方计算结果可以通过“曲面特性”进行查看。

2) 基于栅格体积曲面

栅格体积曲面是基于对照曲面和基准曲面之差、栅格间距以及栅格方向的栅格曲面。该曲面的形成是利用 2 个曲面高程差作为点高程来生成栅格,因此仅仅在栅格处给出了精确的差值。基于栅格体积曲面进行土方工程计算主要通过计算汇总 2 个曲面栅格之间形成的柱体的体积和来实现,原理见图 2。

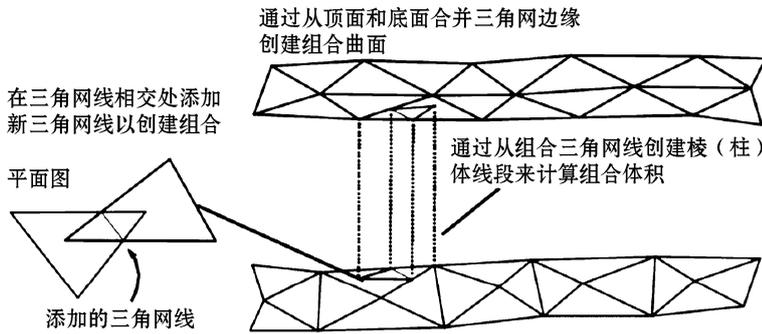


图 1 基于三角网体积曲面的土方计算原理  
Fig.1 Principle of earthwork calculation based on triangular mesh volume surface

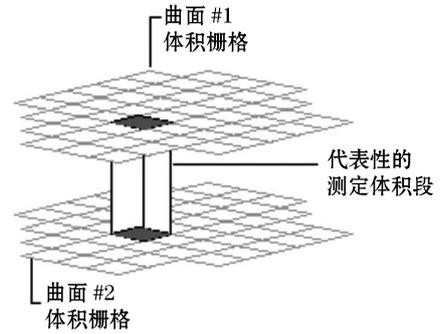


图 2 基于栅格体积曲面的土方计算原理  
Fig.2 Principle of earthwork calculation based on grid volume surface

2.2 计算方法

基于上述计算原理的分析,土方体积计算的方法主要有 2 种:曲面体积计算、放坡体积计算。本文针对 Civil 3D 2018,介绍 2 种计算方法。

2.2.1 曲面体积计算

曲面体积计算就是求设计面在原地面基础上的填挖方量,若另一个曲面的边界不是正好相交,曲面体积计算出来的是垂直投影重合部分的体积(图 3)。

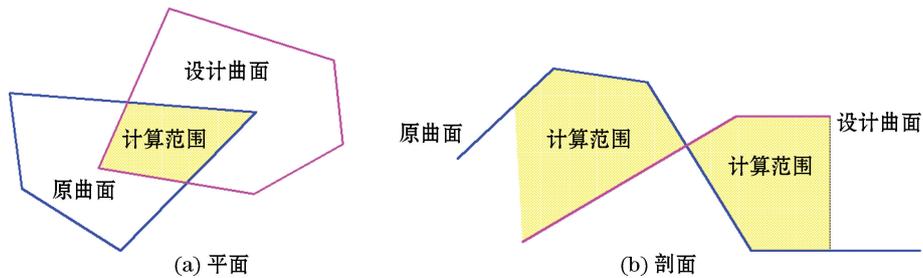


图 3 体积计算范围示意图  
Fig.3 The range of volume calculation

使用 Civil 3D 2018 计算曲面体积流程:

1) 调出体积面板。点击功能区分析—体积和材质—体积面板,调出体积面板以完成有关体积计算的操作(图 4)。2) 创建体积曲面。点击体积面板中的  按钮,会弹出创建体积曲面对话框(图 5)。类型选择三

角网体积曲面,制定曲面图层与名称、样式、松散系数等特性,指定原地面为基准曲面,设计面与对照曲面,点击确定。3)体积计算与查询。完成上述步骤后,工具空间的浏览选项卡的曲面下将增加一个新体积曲面“surface”(图 6),同时,体积面板还会显示出填挖方。当更改设计面后,体积曲面会提示更新(图 7),更新后填挖方体积随之更新。

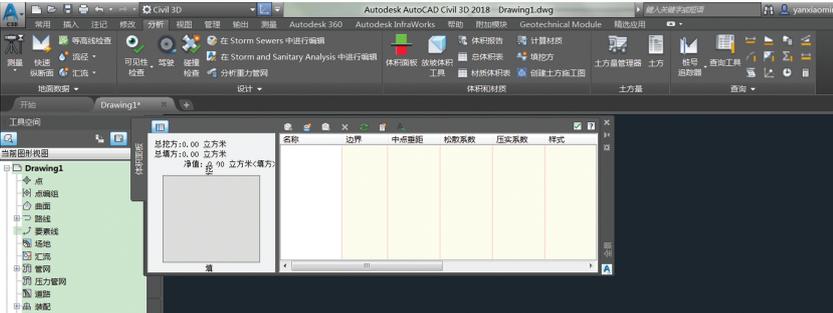


图 4 体积面板的位置与全景窗口

Fig.4 The position of volume panel and the panoramic window



图 5 创建体积曲面对话框

Fig.5 Dialog box for creating volume surface

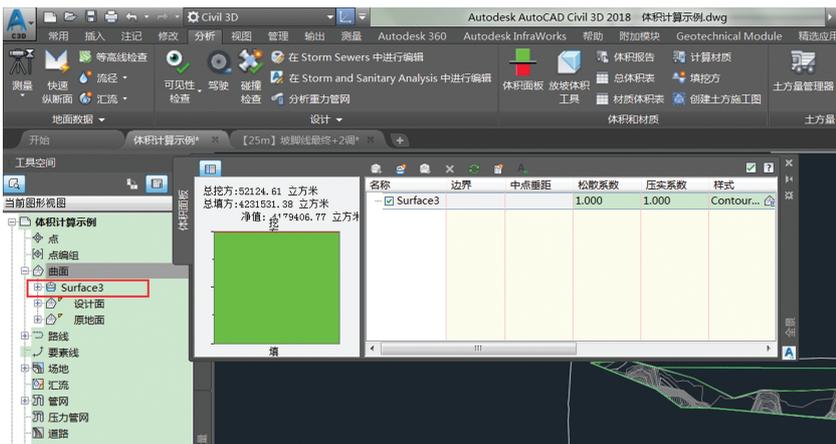


图 6 计算生成的体积曲面与体积计算结果

Fig.6 The volume surface generated by calculation and the results of the volume calculations

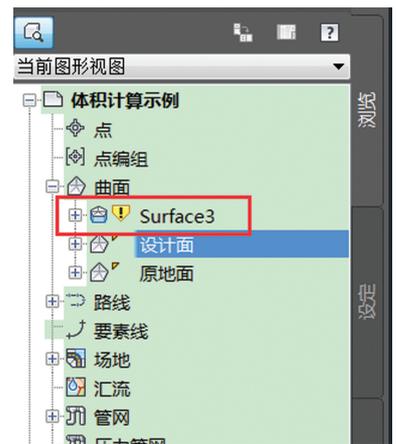


图 7 体积曲面更新提醒

Fig.7 Update reminder for volume surface

### 2.2.2 放坡体积计算

放坡体积计算按以下步骤进行:

1)创建放坡。放坡体积计算针对存在放坡的情况,首先调出放坡创建工具面板,即常用—创建设计—放坡—放坡创建工具,将原地面作为目标曲面对设计场地进行放坡,使设计面与原地面相交(图 8)。

2)根据放坡组自动创建曲面。创建的放坡在工具空间—浏览—场地—放坡组中可以找到。点击放坡组特性,以原地面为基准曲面创建体积曲面(图 9)。

3)调出放坡体积面板。调出方法有 2 种:(1)同曲面体积计算的位置,即分析—体积和材质—放坡体积工具;(2)放坡创建工具面板中的放坡体积工具(图 10),该工具还有提高放坡组高程和自动平衡填挖方的功能。

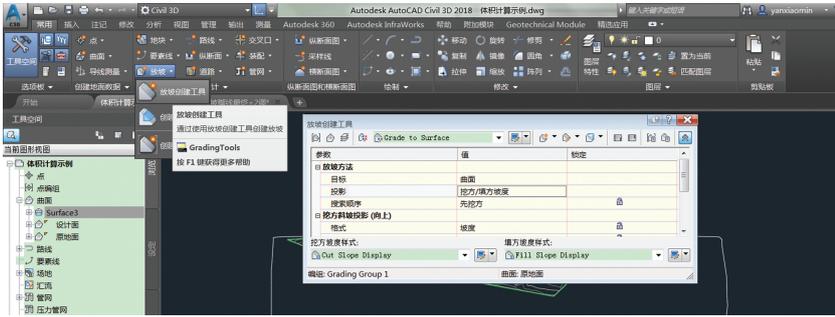


图 8 放坡创建工具面板

Fig.8 Tool panel for slope creation

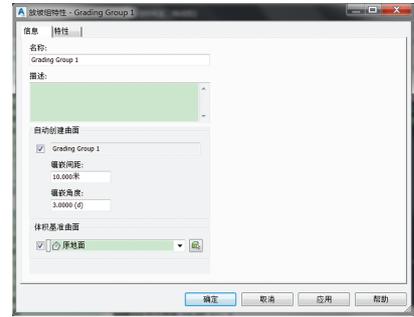


图 9 自动创建曲面

Fig.9 Surface creating automatically

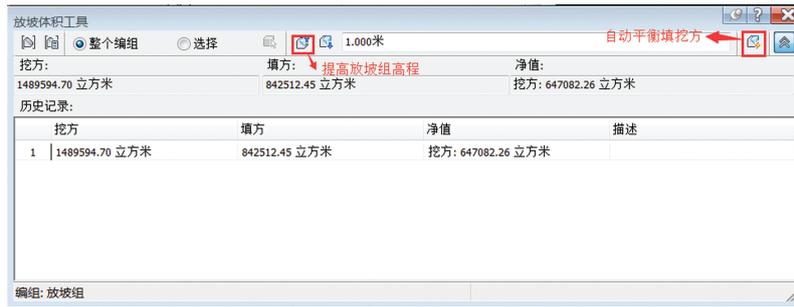


图 10 放坡体积面板

Fig.10 Slope volume panel

### 2.3 方法应用分析

曲面体积与放坡体积工具均可进行土方的计算,但 2 种方法又有各自的侧重点,在实际应用中要结合预期效果选用:

曲面体积计算可以通过松散系数和压实系数修正计算结果。

放坡体积工具更便于进行土方平衡调整,在放坡体积工具中含有“升高放坡组”与“降低放坡组”的按钮,通过该工具调整放坡组的标高,一边观察填挖方体积是否达到目标值,如果目的是填挖平衡,可以通过“自动升高/降低以平衡体积”按钮来完成。此方法多用于确定设计面标高。

## 3 工程验证

某港区拟建设 20 万吨级原油泊位一个,形成陆域面积约 15 万 m<sup>2</sup>,港区陆域设计标高为 25 m。该石化仓储项目库区场平方案通过开山和回填形成场地,其地形与港区陆域边界见图 11。项目在山体侧形成开山边坡,在海侧形成填方边坡。使用 Civil 3D 进行方量计算,并进行填挖平衡计算以实现方案优化。为了验证 Civil 3D 在港区工程量计算中的便捷性与可靠性,同时采用 HTCAD 进行方量计算与方案优化并以此结果为参照,对 Civil 3D 在港区工程量的计算精度与速度进行分析。

### 3.1 验证思路与方法

曲面法的计算非常复杂,从微积分的角度分析,如果将断面法中 2 个断面的间距无限缩小,或者将格网法的方格大小无限缩小,其计算结果和曲面法的精度相近,因此提出 3 个比较思路:

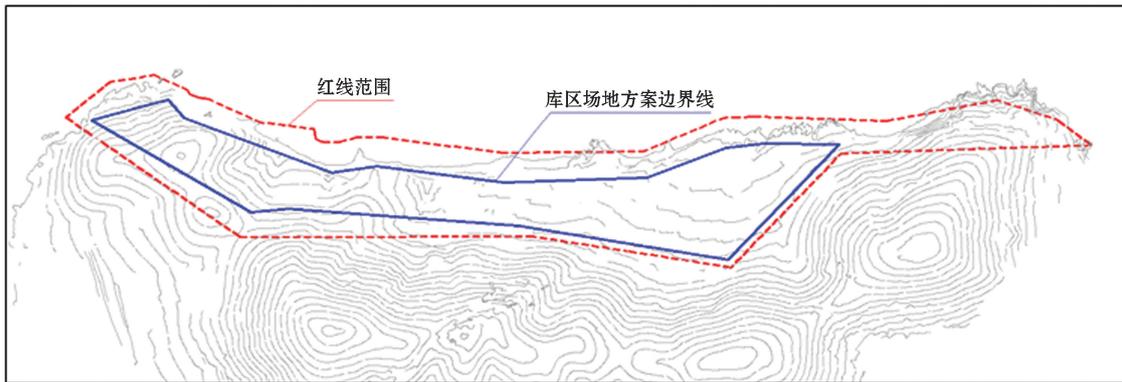


图 11 某港区的库区地形与方案边界

Fig.11 Topography and planned boundary in the reservoir area of a port

### 1) 计算精度与计算时间比较

首先,采用 Civil 3D 的放坡体积计算,计算汇总构建地形曲面、设计曲面、土方计算整个流程的运行时间与填挖方量。其次,采用 HTCAD 传统的格网法逐步缩小网格进行土方与时间计算,主要采用三角网 50, 20, 5 三种间距的计算结果与 Civil 3D 结果进行对比分析。

### 2) 调整方案时计算结果与时间比较

将场区设计标高提高到 30 m,分别采用 HTCAD 与 Civil 3D 进行计算,统计土方量与计算时间。

### 3) 根据填挖平衡优化库区方案

以填挖平衡为目标分别采用 HTCAD 与 Civil 3D 优化库区方案,计算设计标高、坡脚线与运行时间。

为了避免因人使用软件的熟练程度造成的误差,该验证过程均由对软件完全陌生的人员完成,操作人员学习后保证可以流畅操作时,对其操作软件的运行时间进行统计,为了避免操作人员的偶然误差,每个比较方案由操作人员操作 5 次,对 5 次的计算结果与运行时间求平均值,若差值与平均值的比值  $> 10\%$ ,则重新测试。

## 3.2 HTCAD 与 Civil 3D 的计算操作流程

### 1) Civil 3D 土方计算流程

通过添加 AutoCAD 对象创建地形曲面(图 12),再将库区方案边界转为多段线创建放坡,以原地面为基准曲面对放坡组创建体积曲面(图 13),最后在放坡体积工具中获取土方量,并进行放坡组提高修改与自动平衡土方量的操作。

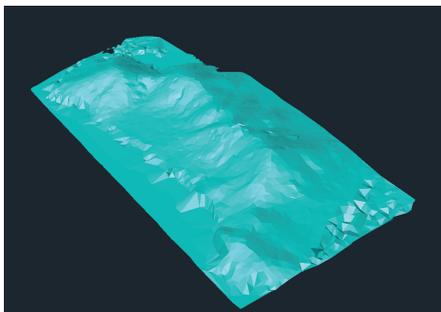


图 12 某港区的地形曲面

Fig.12 Topographic surface of a port area

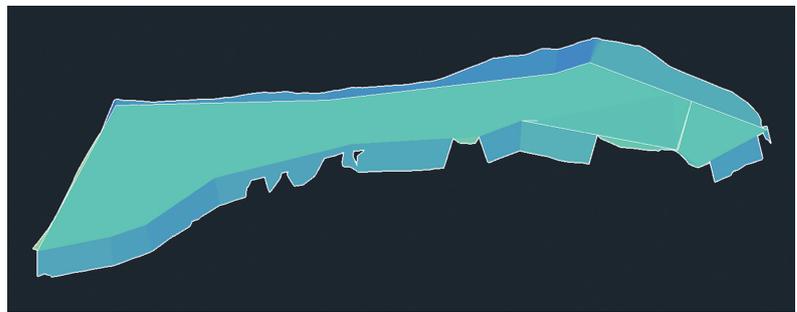


图 13 某港区的放坡体积曲面(含边坡)

Fig.13 Slope volume surface (including the side slope) in a port area

## 2) HTCAD 土方计算流程

首先通过采集离散点标高生成原始地形;其次将库区方案边界划分为场区 A,布置三角网,计算自然标高,输入设计标高,计算港区陆域土方;最后进行放坡,计算并汇总边坡土方,计算结果见图 14。修改设计标高时需重复上述过程,调节土方平衡采用软件中相关工具按钮完成。

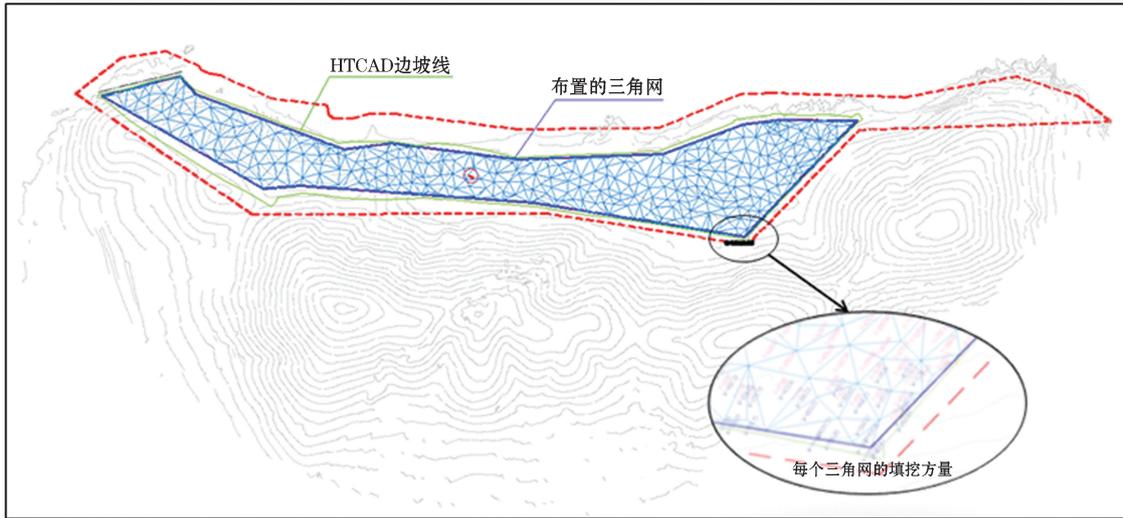


图 14 HTCAD 土方计算最终成果

Fig.14 The final results of earthwork calculation by using HTCAD

## 3.3 计算结果对比分析

根据工程验证思路与操作流程,3 种计算方案的对比结果见表 2。

表 2 三种计算方案的计算精度与计算时间比较

Table 2 Comparison of calculation accuracy and calculation time between Civil 3D and HTCAD

项 目	初次计算结果			修改场区高程计算结果			优化库区计算结果	
	填方体积 /万 m <sup>3</sup>	挖方体积 /万 m <sup>3</sup>	计算时间 /s	填方体积 /万 m <sup>3</sup>	挖方体积 /万 m <sup>3</sup>	计算时间 /s	最优设计 标高/m	计算时间(含调 整边坡)/s
Civil 3D	78.4	105.2	89	85.6	100.3	18	36.75	30
间距 5	69.7	93.1	1451	76.5	89	1932	36.15	400
HTCAD 间距 20	65.9	92.8	1022	72.9	88.1	1211	36.15	153
间距 50	61	87.6	650	67	85.4	590	36.1	102

根据上述分析结果可以得出结论:

1) 在进行首次计算时,随着三角网精度的增加,HTCAD 的计算结果逐步逼近 Civil 3D 的结果,但二者的相对误差仍在 5%~10%。HTCAD 的运算时间是 Civil 3D 运算时间的 7~20 倍不等。

2) 设计标高调整为 30 m 时,同 25 m 的填挖放量相比,HTCAD 和 Civil 3D 的计算结果变化趋势一致。HTCAD 精度要求较高时运算时间甚至超过了初次运算时间,且多次报错,而 Civil 3D 在高精度情况下运算效率远远高于 HTCAD。

3) 根据填挖平衡优化库区方案两款软件均较快,一旦受红线限制需要调整场区边界时,HTCAD 的传统算法表现出一定的局限性,而 Civil 3D 的实时动态修改尤为便捷。

将 HTCAD 3 种三角网间距生成的变坡线复制到 Civil 3D 中(图 15),图中 4 条坡脚线变化整体一致。

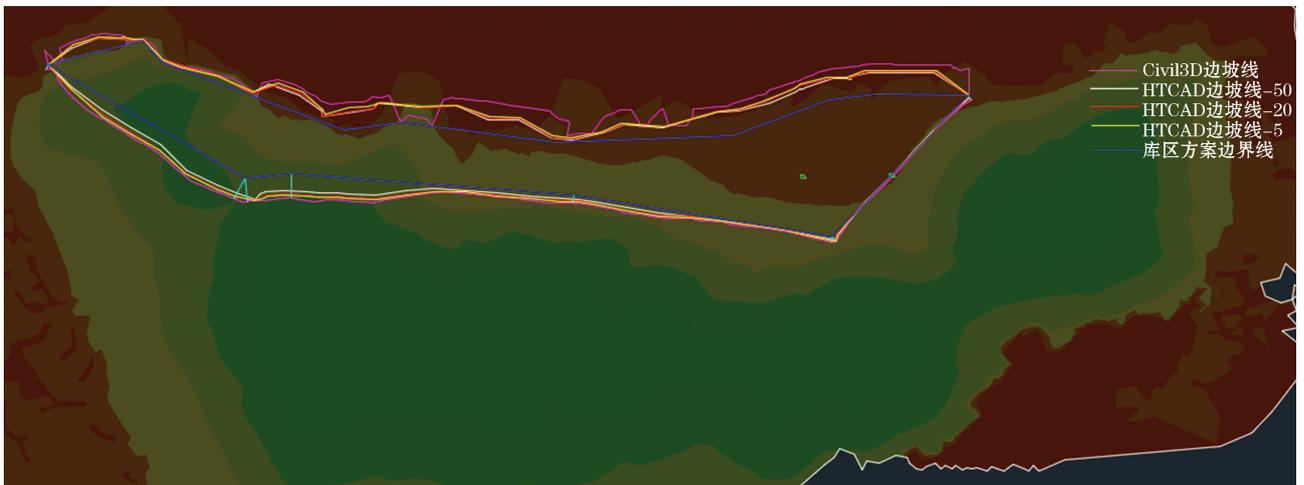


图 15 HTCAD 与 Civil 3D 坡脚线对比图

Fig.15 Comparison of slope foot lines between HTCAD and Civil 3D

采用 Civil 3D 计算港区陆域土方量,缩短了计算时间,保证了计算结果的精度,实现了设计过程中土方量随标高的实时更新,使得设计人员可以投入更多的精力考虑港区中陆域位置、面积、功能、资源优化配置等内容,大大提高了设计人员的设计效率。

## 4 结 论

从港区陆域工程量传统计算方法的不足入手,基于 BIM 思想,研究了 Civil 3D 曲面法的计算原理与方法,最后以实际港区工程项目为依托,应用 Civil 3D 进行方量计算,并进行填挖平衡计算以实现方案优化,同时以传统方法 HTCAD 的计算结果为对照,验证了 Civil 3D 在港区工程量计算中精度与速度。主要结论如下:

1) Civil 3D 具有强大地形曲面生成、编辑与可视化等功能。Civil 3D 可以对生成的地形曲面进行三维查看与分析,更直观、快速、精准地发现生成曲面存在的问题,提高了设计的准确性,同时 Civil 3D 也可以直接对曲面的差异点进行剔除,提高了工作效率。

2) 与传统方法 HTCAD 的计算结果相比,Civil 3D 在港区工程量应用中的计算精度与速度也表现出明显的优势,Civil 3D 的计算精度比传统方法的精度高出 5%~10%;计算速度都远远高于 HTCAD 等传统软件,且报错率几乎为 0。

### 参考文献(References):

- [1] LIU D H, LI Y P, ZHANG B, et al. Study on connotation and optimal utilization method of the reclamation stock resources[J]. Coastal Engineering, 2018, 37(3): 64-71. 刘大海, 李彦平, 张铂, 等. 围填海存量资源内涵探讨及优化利用方法研究[J]. 海岸工程, 2018, 37(3): 64-71.
- [2] ZHOU J H, PU W Q, MA J. Analysis of elements for land elevation design of Shuangyu Artificial Island[J]. Port & Waterway Engineering, 2018(6): 59-64. 周俊辉, 浦伟庆, 马俊. 双鱼岛陆域高程确定的要素分析[J]. 水运工程, 2018(6): 59-64.
- [3] FAN Y P. Application of LASS in earthwork calculation[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2011, 34(4): 249-250, 254. 范玉平. 南方 CASS 在土方计算中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(4): 249-250, 254.
- [4] ZHANG X Y. The research on some problems of highway BIM based on Civil 3D[J]. Xi'an: Chang'an University, 2017. 张兴宇. 基于

Civil 3D 平台的公路 BIM 若干问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.

- [5] JI C L, LI Z J, MA X M. Research on several calculation methods of earthwork[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2010, 33(3): 219-222, 226. 季朝亮, 李宗聚, 马学民. 关于几种土方量计算方法的研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2010, 33(3): 219-222, 226.
- [6] ZHANG T T, WANG T L. Study on the method of earthwork calculation[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2006, 34(22): 6047-6050. 张婷婷, 王铁良. 土方量计算方法研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(22): 6047-6050.
- [7] LIU L, LI G J, QIAO W G. 3D geological modeling method and application based on Civil 3D[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2018(8): 140-144. 刘莉, 李国杰, 乔伟刚. 基于 Civil 3D 的三维地质建模方法及应用[J]. *水运工程*, 2018(8): 140-144.

## Application of Civil 3D in Engineering Quantity Calculation of the Port Area

YAN Xiao-min

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The earthwork quantity in the land of a port area has a great influence on the economy of the project. In each link of the whole life cycle of the port area project, therefore, the urgent task is to find out an accurate method for calculating the site earthwork quantity in port area and optimizing the longitudinal design. Based on the calculation principles and application status of traditional methods, the problems in earthwork calculation in the port area by using the existing methods are analyzed. The principle and operation processes of Civil 3D in the earthwork calculation are studied by drawing lessons from the Building Information Modeling (BIM). By relying on the scheme for leveling site in the petrochemical warehouse area in a port area and taking the calculation results of the traditional computing software HTCAD as a reference, the convenience and reliability of Civil 3D in the calculation of engineering quantity in the port area are tested and verified. The results show that the computational accuracy of Civil 3D is 7%~20% higher than that of HTCAD; the computational speed of Civil 3D is tens of times as much as that of HTCAD; and the modification process is even 100 times faster. This study provides theoretical and technical base for using Civil 3D to calculate the earthwork quantity in the land of the port area.

**Key words:** land of the port area; Civil 3D; earthwork calculation; surface method; accuracy; speed

**Received:** January 21, 2019