

单叶双曲面建筑的几何建构及参数化设计

王中毅¹ 徐羿¹ 张笛² 王松涛¹

(1. 浙江省建筑设计研究院, 杭州 310006; 2. 杭州市钱江新城建设开发有限公司, 杭州 310016)

【摘要】单叶双曲面作为一类直纹面,有着优秀的几何性质,也可以用自由曲面方便地表达,而建筑设计中采用单叶双曲面作为主要造型的项目不多。杭州未来停车场·蜻蜓公园项目是一个主要以单叶双曲面作为建筑造型的特色项目。本文介绍了在该项目中对于建筑造型的关键操作及心得体会,总结了一整套包含抽象几何模型的选择、造型逻辑优化、幕墙表皮参数化设计的应用方案。

【关键词】建筑造型; 单叶双曲面; NURBS; Rhino; Grasshopper; 参数化设计

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1674-7461(2022)02-0071-06

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2022.02.10

引言

近年来,伴随着建造技术和计算机数字设计技术的发展创新,涌现出了大量具有复杂形态的非线性建筑,如北京大兴机场、丽泽 SOHO、海口云洞图书馆等,这些拥有炫目外形的建筑是各位工程师运用一系列数字工具使得其建造落地。为了最大程度地保持建筑的原有形态,实现建筑师的设计意图,通常会通过 Rhino + Grasshopper 的 3D 平台,运用遗传算法等迭代算法对异形曲面进行找形及优化,从而找到合适的建筑和结构形态,提高施工的可行性^[1-2]。

本文介绍了在未来停车场·蜻蜓公园项目中对于建筑造型的关键操作及心得体会,总结了一整套针对抽象几何模型的选择、造型逻辑优化、幕墙表皮参数化设计的应用方案。

杭州市钱江新城投资集团投资建设的未来停车场·蜻蜓公园项目位于秋涛路与庆春路交叉口东北侧,临近西子国际大厦、邵逸夫医院,是目前国内规模最大的潜入式 AGV 机器人停车项目。如图 1 所示。项目总建筑面积约 2.4 万 m²,共设社会停车位 500 个。其中,地下 420 个车位采用无人值守的智能化 AGV 机器人停车方式。



图 1 未来停车场·蜻蜓公园项目效果图

1 原始模型的建构

在建筑造型上,本项目选取了几何学中单叶双曲面的形式。在几何学中,单叶双曲面可以通过围绕其主轴旋转双曲线生成,也可以通过空间直线围绕其主轴旋转生成,所以单叶双曲面也是一种直纹面。而空间中直线移动的过程,也充满着流动的韵律感。

单叶双曲面的数学表达式^[3]为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 (a, b, c > 0)$$

其中当 $y=0$ 时 (XoZ 平面),退化为双曲线,即

【第一作者】 王中毅(1995-),男,助理工程师,主要研究方向:建筑参数化设计及其应用。

【通讯作者】 徐羿(1987-),男,工程师,主要研究方向:结构参数化设计。

建筑造型的旋转母线:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 (a, c > 0)$$

典型的采用单叶双曲面的建筑实例为广州电视塔和工业冷却塔。如图 2~3 所示。



图 2 广州电视塔



图 3 工业冷却塔

本项目的原始模型选择在 Rhinoceros 平台上进行建立。Rhinoceros (以下简称 Rhino) 是由美国 Robert McNeel 公司于 1998 年推出的一款基于 NURBS 为主的三维建模软件。Rhino 可以对 NURBS 曲线、曲面、实体、细分几何图形、点云和多边形网格进行创建、编辑、分析、记录、渲染、动画制作与转换。只要硬件条件允许,不受复杂度、阶数与尺寸大小的限制。并且在 Rhino 平台下 (Rhino 6 及以后版本),自带了一款可视化编程语言 Grasshopper (简称 GH),可以通过输入指令、编写算法程序,对机械性的重复操作及大量具有逻辑的演化过

程用计算机的循环运算取代,可以有效地提升设计工作效率。

单叶双曲面的旋转双曲线(旋转母线)可由三阶 NURBS 曲线表示。NURBS 曲线的数学表达式^[4]为:

$$c(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) w_i}, a \leq u \leq b$$

其中, P_i 是控制点, w_i 是权重因子, $N_{i,p}(u)$ 是 p 次 B 样条基函数。

通过公式可以看到,只要确定比较少的几个控制点,我们就能精确得到整条顺滑的 NURBS 曲线^[5]。

本项目由地上 10 个不同的塔楼有机结合组成。首先需确定各塔楼的形体逻辑(旋转母线),在确定了母线后,通过围绕各自中心线的旋转,生成各塔的曲面。如图 4~5 所示。

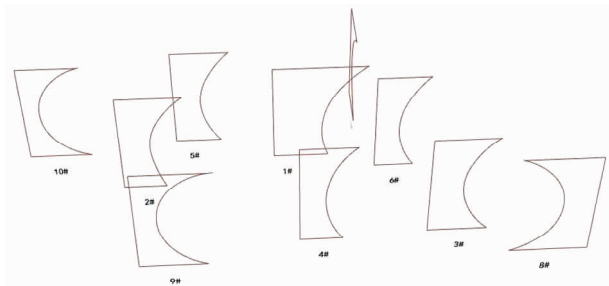


图 4 各塔母线示意图

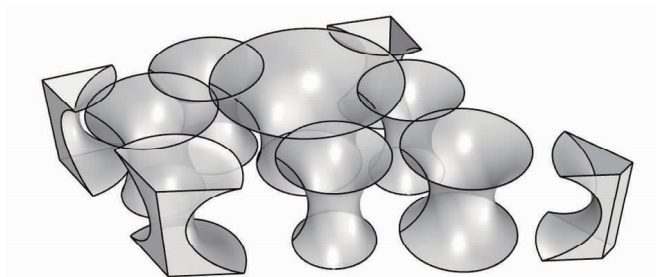


图 5 各塔原始曲面图

2 分析与调整

以本项目的建筑特点来说,这 10 个塔筒,在几何学中是单叶双曲面。由于双曲面立面体系形状多变不规律,在比选多种方案后选择按照线一面一面的思路,完成整体三维模型的建立^[6]。

(1) 由于目前钢结构深化软件 TEKLA 还不支持 NURBS 曲线^[7],并且也为了在后续的钢结构数

控加工及幕墙挂件的制作中更精确方便,我们首先需要把建筑方案中双曲面上绕其主轴旋转的双曲线(NURBS 母线)进行简化,原塔筒的幕墙外轮廓线为三阶 NURBS 曲线,将三阶 NURBS 曲线重建为二阶 NURBS 曲线,二阶 NURBS 曲线即可以通过组合多段圆弧构成。如图 6 所示,从左至右分别为三阶 NURBS 曲线、二阶 NURBS 曲线和多段圆弧组合曲线,降阶优化之后的曲线与原曲线最大偏差值为 0.102m。不同母线误差对比图如图 7 所示,误差在可接受范围内,不影响最终建筑造型。

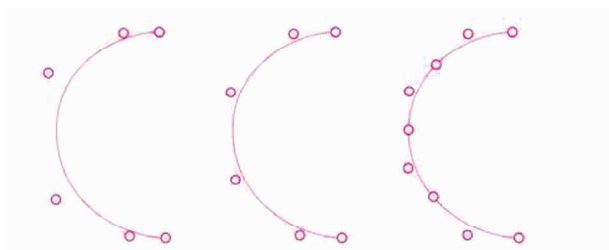


图 6 NURBS 母线演变图

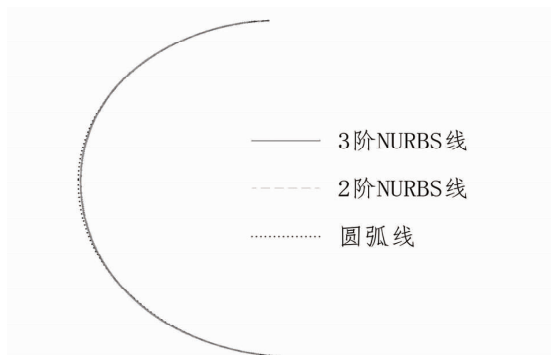


图 7 不同母线误差对比图

(2) 确定了幕墙外轮廓面之后,接下来需要确定内部结构面轮廓边界的范围。根据幕墙杆件宽度,结构定位线由幕墙外轮廓线向其主旋转轴后退得到^[8]。选择沿主旋转轴方向平移后退(move)还是沿主旋转轴方向法向偏移后退(offset)是准确定位内部结构面的关键。图 8 为沿主旋转轴方向平移后退形成的幕墙面与结构面形成的纵剖面,图 9 为沿主旋转轴方向法向方向偏移后退形成的幕墙面与结构面形成的纵剖面,可以看到在不同水平高度下沿法向方向偏移形成的幕墙面与结构面之间的距离始终保持一致,而沿主旋转轴方向平移后退形成的幕墙面与结构面在曲线曲率较大的部位会过于接近,曲率较大部位的局部放大对比图如图 10 所示。

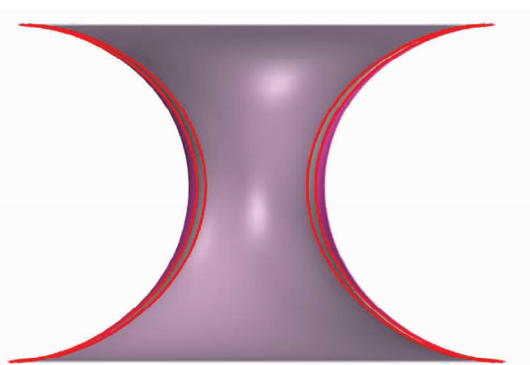


图 8 平移后退(move)后的剖切图

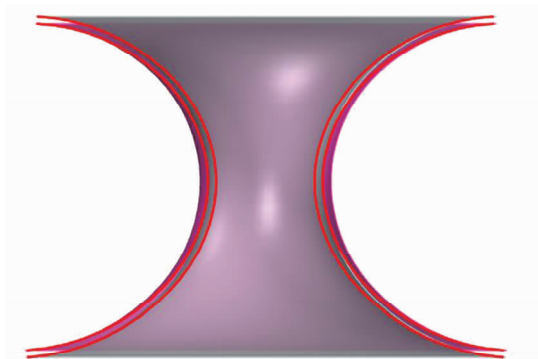


图 9 偏移后退(offset)后的剖切图

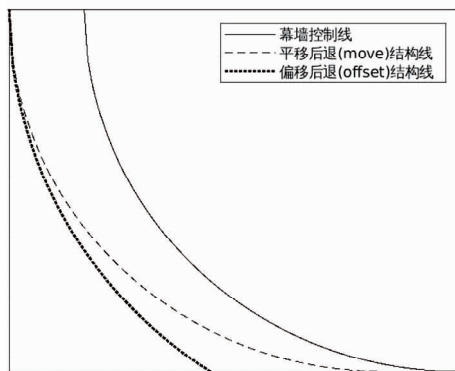


图 10 局部放大对比图

如图 11 所示,为沿主旋转轴方向平移后退(move)的结构线提资结构专业后,结构专业深化的钢结构与幕墙结合的模型,红色的部分为钢结构,蓝色的部分为幕墙表皮,可以看到由于平移后退(move)后法向距离随着角度的增大而减小,钢结构在上部和下部角度较大的部位会突出幕墙表面。最终我们选择沿主旋转轴方向法向方向偏移后退(offset)的曲线形成的双曲面为结构面。

(3) 根据结构专业提供的横向及竖向剖切面提

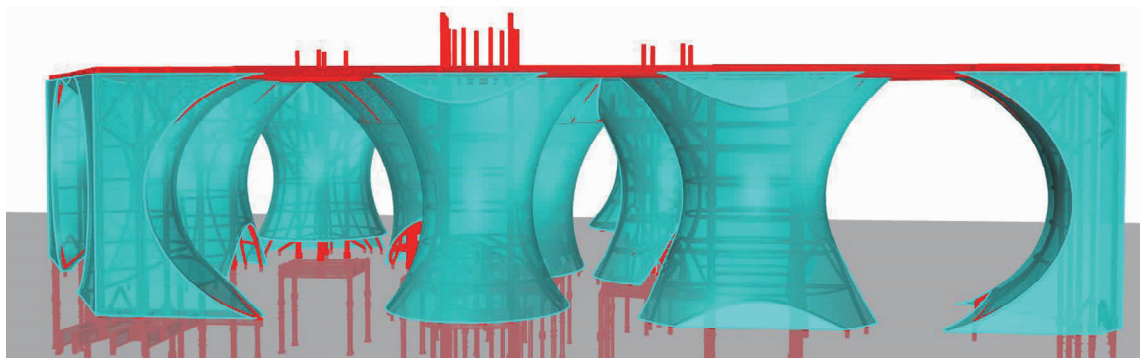


图 11 钢结构与幕墙合模图

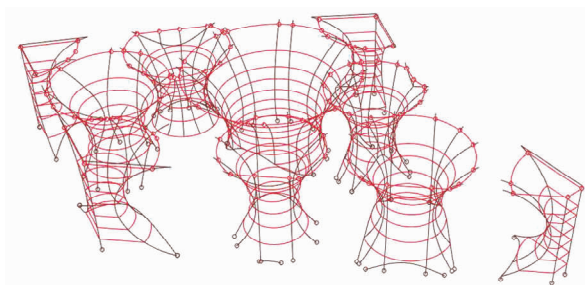


图 12 钢结构杆件曲线图

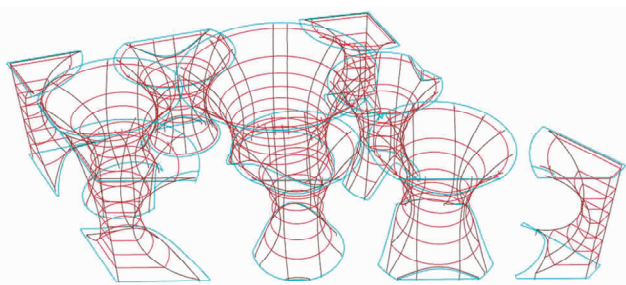


图 13 幕墙切割曲线图

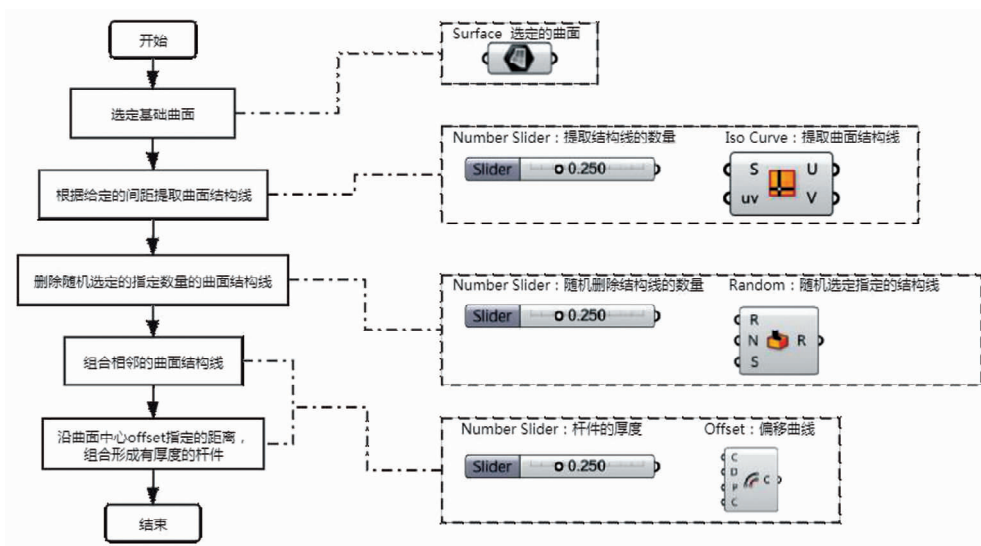


图 14 参数化建模流程图

资,得到模型内部的钢结构杆件曲线,如图 12~13 所示,将这些钢结构杆件曲线沿法向方向偏移至幕墙面同时沿曲面向下偏移一定距离,即可得到幕墙面的切割曲线,蓝色曲线即为幕墙切割曲线。

3 表皮实例的建构

为了使得幕墙杆件能达到标准化,减少不同幕墙杆件高度的数量从而降低建设成本,但又使得建

筑立面能有变化的效果,我们使用了 Grasshopper 编译电池组,实现幕墙杆件的参数化建模。参数化建模流程图^[9-10]如图 14 所示。参数化建模的逻辑是选定指定的塔筒曲面,根据给定的间距提取塔筒曲面的水平方向结构线,随机删除一定数量的结构线,组合相邻的曲面结构线并沿曲面法向方向偏移指定的距离即可得到杆件间距和杆件厚度模数化的立面表皮,以此逻辑,即可编译出对应电池组,很

- 社,1996.
- [4] Piegl L A, Tiller W. The NURBS book [M]. Springer Berlin Heidelberg, 1997.
- [5] 施法中. 计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条. 第 2 版[M]. 高等教育出版社,2013.
- [6] 李娜. 空间网格结构几何形态研究与实现[D]. 浙江大学,2009.
- [7] 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术[M]. 科学出版社,2000.
- [8] 曾旭东,王大川,陈辉. 参数化建模[M]. 华中科技大学出版社,2011.
- [9] 洪宇东,肖毅强. 适用于建筑表皮参数化设计的几何生形算法研究[A]. 全国高等学校建筑学专业教育指导分委员会建筑数字技术教学工作委员会. 共享·协同——2019 全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集[C]. 全国高等学校建筑学专业教育指导分委员会建筑数字技术教学工作委员会;全国高校建筑学学科专业指导委员会建筑数字技术教学工作委员会,2019,14.
- [10] 谢敏奇. 文化公共建筑外表皮系统数字化整合设计研究[D]. 华南理工大学,2020.

Geometric Modeling and Parametric Design of One-sheet Hyperboloid Architecture

Wang Zhongyi¹, Xu Yi¹, Zhang Di², Wang Songtao¹

(1. Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou 310006, China;
2. Hangzhou CBD Construction and Development Co., Ltd., Hangzhou 310016, China)

Abstract: As a type of ruled surface, the one-sheet hyperboloid has excellent geometric properties and can also be easily structured by freeform surfaces. As there are not many projects that use one-sheet hyperboloids as the main logic modeling in architectural design, the Hangzhou Future Park (Qingting Park) project is an eye-catching project that mainly uses one-sheet hyperboloid as the architectural shape. This article introduces the key processes and experience of architectural modeling in this project, and summarizes a set of practical solutions including the selection of geometric prototypes, the optimization of modeling logic, and the parametric design of facades.

Key Words: Architectural Shape; One-sheet Hyperboloid; NURBS; Rhino; Grasshopper; Parametric Design