

## 连续空间四面体混凝土结构施工方法研究

林 敏, 林秋平, 黄志河, 杨维彪, 王培忠

中建海峡建设发展有限公司 福建福州

**【摘要】**近年来,对于复杂不规则的混凝土结构,按传统的施工方法,很难实现精确的测量控制和模板支撑体系的施工,导致现场施工质量差,工期长等弊端<sup>[1]</sup>。本文通过对大量复杂不规则结构的“抽丝剥茧”、层层分析,利用有限元分析的思路,突破了任意不规则结构在测量控制和模板支撑体系施工上的瓶颈。对其多角度混凝土坡屋面、边界不规则弧形结构、双曲造型挑檐和大坡度起底平台等的施工,具有明显的行业价值,同时降低了材料、人工和工期成本,成果显著。

**【关键词】**混凝土结构;复杂不规则;施工

### Study on Construction Method of Continuous Space Tetrahedral Concrete Structure

Min Lin, Qiuping Lin, Zhihe Huang, Weibiao Yang, Peizhong Wang

Cseec Strait Construction And Development CO,LTD FuZhou,China

**【Abstract】**In recent years, for complex and irregular concrete structures, it is difficult to achieve accurate measurement control and formwork support system construction according to traditional construction methods, resulting in poor construction quality and long construction period<sup>[1]</sup>. In this paper, through the analysis of a large number of complex irregular structures, the bottleneck of any irregular structure in measurement control and formwork support system construction is broken through by using the idea of finite element analysis. It has obvious industrial value for the construction of multi-angle concrete slope roof, irregular curved boundary structure, hyperbolic eaves and large slope bottom platform, and reduces the cost of materials, labor and construction period.

**【Keywords】**Concrete structure ; complex irregularity ; construction

#### 前言

对于复杂不规则的混凝土结构,一般无法在平面图上完整的体现出来,在与北京市建筑设计研究院复杂结构研究所共同开展的“复杂不规则结构施工技术攻关”课题研究中,利用有限元分析的思路,发现任意空间混凝土结构可以近似为有限个空间四面体的集合,而单个空间四面体,既能有效满足测量精度要求,也能模板支撑体系施工要求。

通过近似平滑曲线,利用近似平滑曲线将连续空间四面体联系起来的方法将空间四面体联系起来,也就达到了将单点测量控制和模板支撑搭设连续起来的,并将这一领先成果运用于施工过程中。

#### 1 施工方法原理

##### 1.1 理论基础

采用有限元分析的思想,取任意空间结构单元(即任意四点不在同一个平面上),如图 1 所示为近似模型(微元结构上,任意曲面近似为平面)。

为了简化计算和利于现场施工,针对任意空间结构,结合混凝土连续性的特点,人为设定条件:点 A1、A3、C2、C3 在同一个平面上,则图 1 可简化为图 2。

针对图 2 所示简化的空间多面体单元,可以微分为 3 个空间四面体,如图 3 所示。任意的空间四面体,其四个点既是四面体的顶点,又是空间结构单元的顶点。这样我们就可以通过对空间四面体顶点的精确放样,达到精准控制任意空间结构单元的目的。这是适用于任何不规则结构的方法。

##### 1.2 结合实际

若按照 1.0.1 所述进行现场放样,将十分繁琐,

第一作者简介:林敏(1988-)男,汉,福建莆田,本科,高级工程师,从事建筑施工技术方面的研究。

考虑单向混凝土结构的特点: 混凝土在单向连续、无边界, 只在上下表面或者立面存在构造。则图 4 所示的三个空间四面体在边界上是连续的, 这样 1.0.1 中所述限定条件: 点 A1、A3、C2、C3 在同一个平面上, 也可归类为边界连续。

因此, 通过三个空间四面体在限定边界条件下组拼, 可以将任意空间多面体简化为如图 4 所示模型。此空间单元适用于任意单向混凝土结构。

### 1.3 近似平滑曲线连接

将无限个微元空间四面体, 用平滑曲线进行连接, 即可得到整体结构。在现场混凝土施工质量误差允许范围内, 可满足规范和标准要求。

## 2 工艺流程及操作要点

### 2.1 不规则混凝土结构施工工艺流程

结构分析→BIM 三维放样→施工准备→测量放线→支撑及模板搭设→钢筋绑扎→混凝土浇筑→养护→拆模。(注: 由于不规则结构施工的难点主要在于测量放线和模板支撑体系建立, 本工法对后续钢筋绑扎、混凝土标高控制等常规工序不做阐述。)

### 2.2 操作要点

本工法以晋江市第二体育中心训练馆工程, 不规则坡屋面成功应用的案例为例。

### 2.3 结构分析

(1) 确定不规则方向。根据设计图纸, 确定待分析结构的不规则方向, 可分为梁、板、柱、墙和特殊造型等; 图 5 所示不规则坡屋面可近似为上下水平面不规则, 竖向无边界, 然后根据现场实际情况进行最外边界封模处理。

(2) 确定内部边界。边界条件的确定是关键。混凝土坡屋面内部边界一般为结构梁, 如图 6 所示, 取一封闭边界空间单元, 如图 7 所示。

上表面四个点和下表面四个点标高均不同。在梁框架内对空间混凝土板进行一分为二划分, 即可得到符合上图 4 所示结构模型。如图 8 所示。

拆分完成后, 只需给出确定边界条件, 即点标高, 即可完成结构分析这一步骤。

### 2.4 BIM 三维放样

不规则造型一般无法在平面图上直接显示, 设计院会提供设计模型。本工程原始模型为犀牛模型。

为了精准放样, 将建筑提供的犀牛模型导入 Revit 软件, 利用 Revit 软件标注出 A1、A2、A3、C1、C2、C3, 也即四根柱(梁)顶标高、边界梁底标高及平面位置。

利用此法, 在平面图上标注出所有需要提前控制的点, 为现场精确放样和模板支撑搭设做好准备。

### 2.5 施工准备

施工准备阶段, 除需满足常规结构工程的准备工作, 还需重点完成如下准备工作:

#### (1) 提前做好模板支撑方案策划并交底

因板底标高各不相同, 支撑立杆高度各异, 设计立杆时, 最大程度考虑顶托调节。为方便现场施工, 需提前给出排架图。

#### (2) 封边模设计并交底

因结构不规则, 结构边构造特殊, 需提前考虑封边模的设计, 并进行交底。本工程混凝土坡屋面结构边模板封边构造如图 7 和图 8 所示。

### 2.6 测量放线

本工程测量放线的难点, 主要在不规则水平曲面、弧形构件和双曲面构件的测量放线。

上述三种情况, 均可采用本工法的原理, 用近似平滑曲线将无限个微元空间四面体进行连接, 即可得到整体结构。也就是用规则的曲线将不规则的点联系起来, 从而确定结构的轮廓线, 如图 11 所示, 利用 Rivit 软件工具, 描摹出近似结构轮廓的控制线。有了 BIM 模型中设置的现场控制点坐标和建筑物结构点坐标分量, 就可以采用 BIM 放样机器人进行精准放样<sup>[2]</sup>。

### 2.7 支撑及模板搭设

关键步骤如下:

(1) 利用模型, 分辨出无法用近似平滑曲线进行连接的两结构交接面, 两面交于一线, 此线即为模板折角拼缝的位置, 按常见折梁结构处理;

(2) 同时, 亦可分辨出可用近似平滑曲线描摹的部分, 按照斜板处理;

(3) 利用板底标高, 反算立杆设计长度;

(4) 按照立杆排布图, 搭设模板支撑;

(5) 模板铺设, 控制线近似平滑曲线曲率大的位置, 模板下挠或起拱。

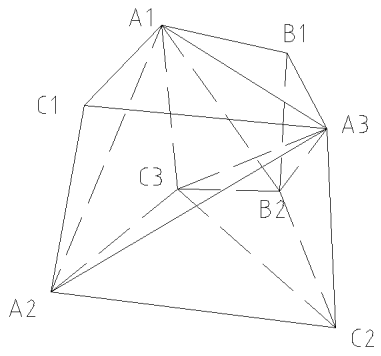


图 1 任意空间结构单元

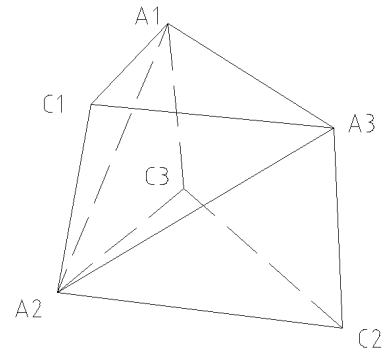


图 2 一次简化后的空间结构单元

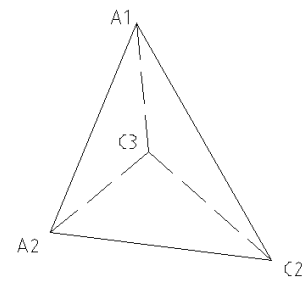
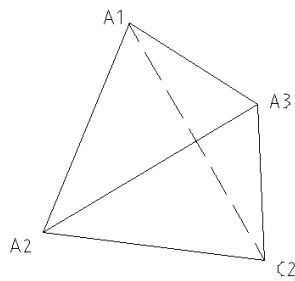
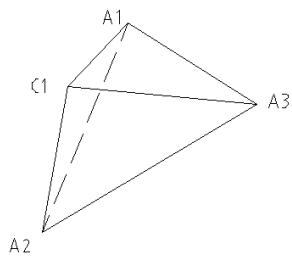


图 3 空间四面体微元

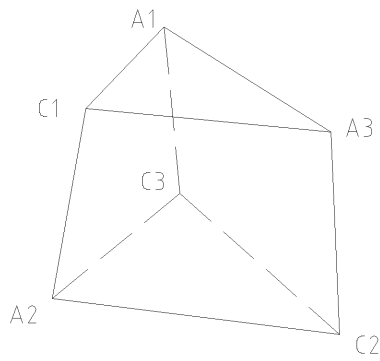


图 4 二次简化后空间单元

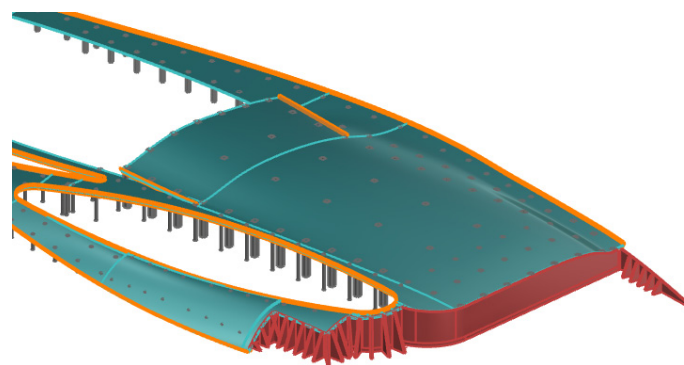


图 5 训练馆混凝土坡屋面效果图

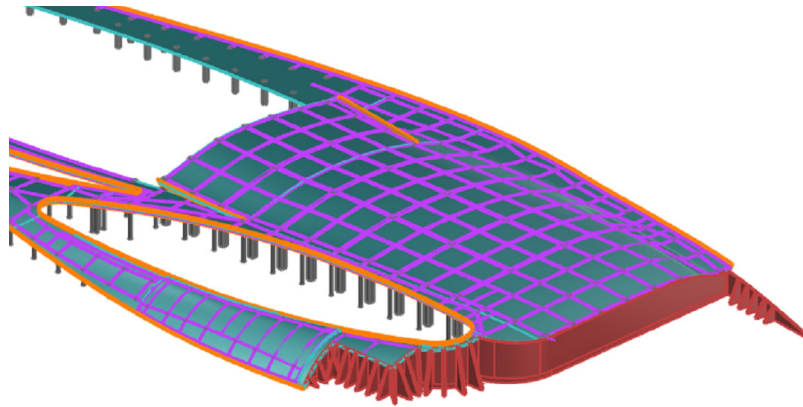


图 6 坡屋面边界梁模型图

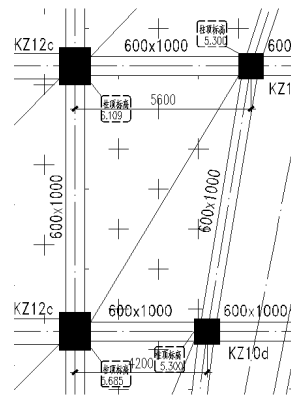
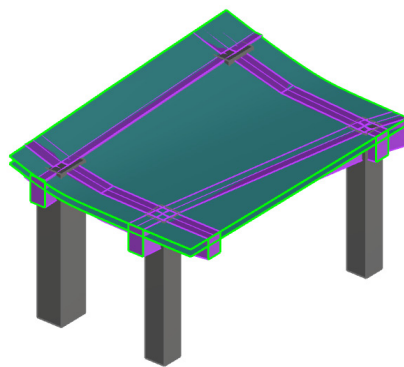


图 7 封闭边界空间单元示意图

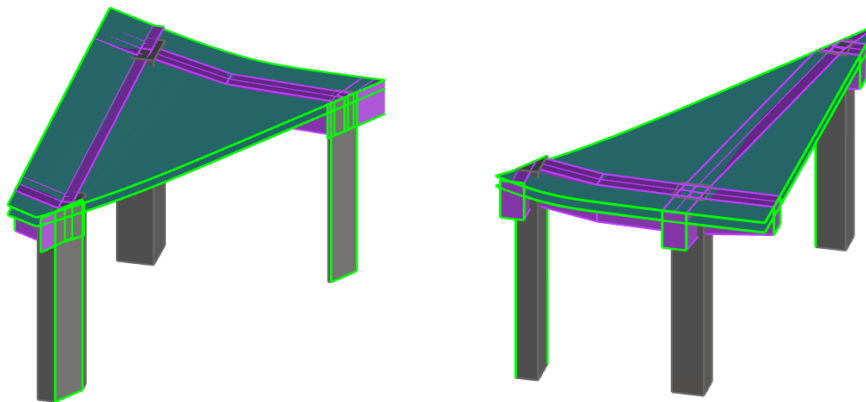


图 8 符合理论要求的结构模型拆分示意图



图 9 不规则曲线结构模板封边构造示意图

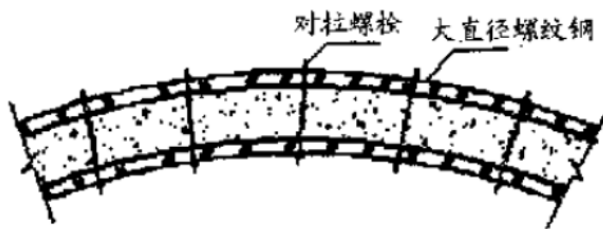


图 10 典型上挑檐板模板示意图

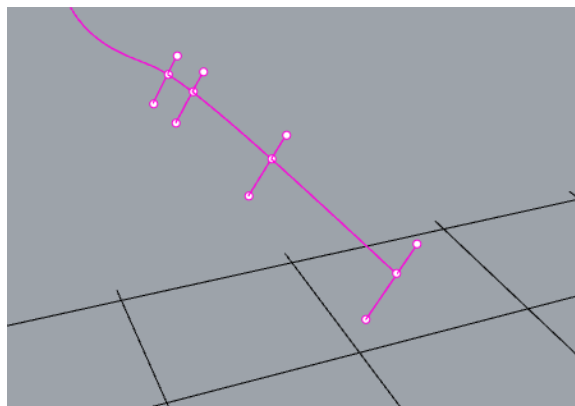


图 11 近似不规则平滑曲线描摹结构轮廓示意图

### 结束语

现代建筑的不规格造型层出不穷，本文采用有限元分析的思路，对空间四面体的精确控制，从而解决精确放样和模板支撑体系的搭设，运用建筑模型软件，从前期开始进行策划，减少返工和材料的损耗，降低了不规则结构不确定性施工造成的工期冗长。相比于传统施工工艺，其具有高效快速、避免人工测量误差、节约资源、绿化文明等优点，对于保证混凝土构件质量、提高施工效率、降低施工成本具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 张燕军.异型混凝土建筑的施工测量放样方法[J].智能城市,2016,2(12):184-185.2016.12.156.
- [2] 郭朋岗,陈晓东,郭敬,阮国锋.复杂异型清水混凝土模板施

工技术应用[J].建筑结构,2020,50(S1):782-784..2020.s1.15  
1.

收稿日期: 2022 年 9 月 10 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 林敏, 林秋平, 黄志河, 杨维彪, 王培忠, 连续空间四面体混凝土结构施工方法研究[J]. 工程学研究, 2022, 1(4): 163-167  
DOI: 10.12208/j.jer.20220142

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS