

# 变截面巨型异形混凝土结构施工技术研究

冯 伟 王召来 李鹏鹏  
中建三局集团有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要：**随着建筑施工技术的不断发展，现代工程中的结构越来越趋于复杂。新材料、新工艺的不断涌现，高效、高精度与高可靠性的施工技术需求日益凸显。不断优化材料、施工工艺，可以提高施工效率，降低成本，保障工程安全。本文以衢州西站“W”形柱工程为依托，研究了变截面巨型异形混凝土结构施工技术。

**关键词：**W柱、异形、混凝土结构、变截面巨型；

**引言：**铁路客运站房建筑是整座城市的标注，是一座城市的门户之一，也是城市生活中最为活跃的中心之一。其作用不仅仅体现在它是城市交通的节点，更体现在其建筑艺术对城市文化的诠释，本工程与常规的混凝土结构相比，外立面为大跨度巨型W型支撑承接上部屋盖，结构施工难度较高。其中上部支撑与地下基础之间仅设置有两个竖向承重柱。支撑弧形构件截面形式为六边形变截面实心混凝土，六边形截面最大边长超1.3m，最大横截面尺寸超过3m。构件的跨度大、混凝土浇筑量大，在国内外工程领域中较为少见。施工前，通过犀牛、Madis等软件系统，对混凝土W柱结构进行精准三维建模，定位三维坐标，通过预制的形式，实现模板的精准预制拼装，能有效保证混凝土结构造型，提高混凝土施工质量。因此，研究变截面巨型异形混凝土结构施工技术具有重要意义。

## 1 工程概况

### 1.1 项目概况

W柱采用混凝土结构，支撑构件的结构高度超过20m，中间跨跨度约为69m，左右悬挑跨度各24m左右，上部支撑与地下基础之间仅设置有两个竖向承重柱。支撑弧形构件截面形式为六边形变截面实心混凝土，局部设置内嵌钢筋。W柱的基础位于9.570m高的结构板上，该结构板厚度为200mm，采用的混凝土强度等级为C40。W柱的支撑架体设置在结构板的上部。

## 2 软件模拟研究与应用

### 2.1 软件模拟技术

施工前，通过犀牛、Madis等软件系统，对混凝土W柱结构进行精准三维建模，定位三维坐标，通过预制的形式，实现模板的精准预制拼装，能有效保证混凝土结构造型，提高混凝土施工质量。

采用Madis等软件系统，对W柱进行精准建模，确定模板的三维坐标，采用定型的钢模板制整体异型大模板，在厂内进行预制拼装，采用禅缝字母对接口，能有效解决模板接缝严密性和轴线间误差调节的问题。

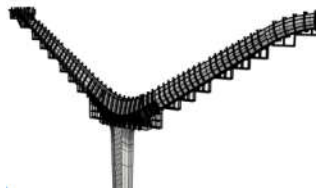
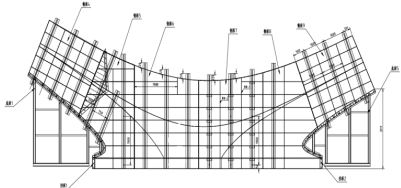

通过BIM+技术，对W柱支撑体系进行数字化建模，并通过RD、犀牛软件对施工转换过程的应力变化进行计算，寻找易失稳点，在模板体系上进行相应的增强，增强模板体系稳定性，提高混凝土质量。

W柱支撑体系支撑同时作为结构施工及屋面钢结构施工的支撑内容，需对支撑体系进行细部分析：模板弧形曲面控制与连接、内嵌钢柱节点在模板中的定位；支撑体系中不同高度、不同截面、不同连接节点的控制。

### 2.2 模板深化技术应用

W柱主体结构，造型复杂，要求工作紧张，采用传统的支模方式无法满足外观效果以及工期任务。经方案比选，采用BIM模型对深化设计模板进行划分编码，将每跨内模板进行分割，划分为柱边异行段及中间变截面段，保证模板合理胶圈、模板拆除方便，减少模板总投入<sup>[1]</sup>。

### 2.3 模板施工工艺流程

		
软件建模	成果输出	模板预拼

### 3 三维仿真模拟施工技术

#### 3.1 三维分析研究与应用

运用三维数值分析软件FEA NX建立足尺三维模型,设置对应的各施工阶段,计算架体搭设及混凝土施工过程中钢模板、托架、支撑次梁的抗弯、抗剪应力,可调托座受力和架体立杆应力。FEA NX 是基于尖端的计算机图形处理和分析技术研发而成的一款土木领域专用的仿真分析软件,经过严格测试并具有品质保证的分析功能。

##### (1) 单元类型

模型分析中,W柱及下方平台结构板、梁、柱采用实体单元,梁底模板采用板单元,梁底横梁和纵梁、托架、架体立杆和横杆采用梁单元,斜杆采用桁架单元,柱顶屋架弦杆采用梁单元,腹杆采用桁架单元。

##### (2) 约束与接触

W柱为对称结构,取半分析,在中心平面设置对称约束,约束对称平面X方向的平动自由度、绕Y轴和Z轴的转动自由度,下方柱底刚接,钢模底部约束X、Y、Z方向的平动自由度。钢模与w柱梁底设置滑动接触约束法向位移,支撑次梁与托架接触点采用刚性连接保持接触的两点在Y、Z方向上的位移一致,释放支撑次梁与立杆连接点绕X轴转动的约束。使用刚体类型的弹性连接在屋架

下弦节点与柱顶耦合节点之间建立刚臂,约束屋架下弦节点与柱顶耦合节点在单元坐标系上的x、y、z方向的自由度,模拟柱顶屋架与柱顶的铰接<sup>[2]</sup>。

##### (3) 荷载条件

考虑W柱、支撑架体等的自重,由软件根据容重自动计算。

##### (4) 钢模板弯曲应力计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,钢模板最大弯曲应力为 $48.77\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$ ,满足要求。

##### (5) 钢模板剪切应力计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,钢模板最大剪切应力为 $16.74\text{N/mm}^2 < 125\text{N/mm}^2$ ,满足要求。

##### (6) 托架弯曲应力计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,托架横杆最大弯曲应力 $68.25\text{N/mm}^2 < 215\text{N/mm}^2$ ,满足要求。

##### (7) 托架横杆弯曲应力计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,托架横杆最大剪切应力 $60.15\text{N/mm}^2 < 125\text{N/mm}^2$ ,满足要求。

##### (8) 立杆应力计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,立杆最大应力为 $78.05\text{N/mm}^2 < 300\text{N/mm}^2$ ,满足要求。

不同施工阶段计算汇总

施工阶段	支架搭设	浇筑4d	浇筑8d	浇筑12d	浇筑16d	浇筑20d	浇筑24d	浇筑28d
最大MISES应力(N/mm <sup>2</sup> )	5.77	71.97	74.39	75.46	76.31	76.99	77.56	78.05

##### (9) 架体下部楼板挠度计算

从支模到浇筑养护28d的施工过程中,楼板最大挠度

为 $1.33\text{mm} < 10/300 = 59\text{mm}$ ,满足要求。

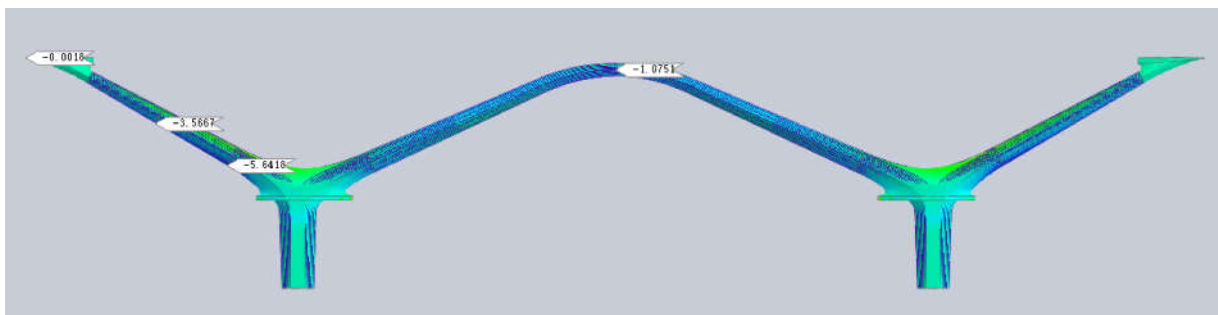
不同施工阶段计算汇总

施工阶段	支架搭设	浇筑4d	浇筑8d	浇筑12d	浇筑16d	浇筑20d	浇筑24d	浇筑28d
最大挠度(mm)	0.33	1.20	1.25	1.27	1.29	1.31	1.32	1.33

#### 3.2 应力分析

在自重荷载作用下,W形柱在四个关键点处的应力分别为 $0.0018\text{MPa}$ 、 $3.5667\text{MPa}$ 、 $5.6418\text{MPa}$ 、 $1.0781\text{MPa}$ ,均

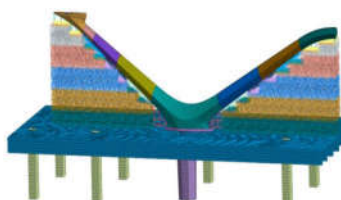
表现为压应力。W柱采用C50混凝土浇筑,抗压强度标准值为 $32.4\text{MPa}$ ,远大于这几处的压应力。



### 3.3 盘扣支撑体系搭设应用

盘扣式支撑系统立杆采用 $\Phi 48.3 \times 3.2$ mm盘扣架立杆,水平杆采用 $\Phi 48.3 \times 2.5$ mm水平杆,斜杆采用 $33.7 \times 2.3$ mm配套斜杆,钢模板面板采用5+1mm复合板。加厚板采用8mm,加强槽钢采用10#槽钢。定型肋采用10mm板厚。架体连接形式均采用圆盘形扣与卡钳型销紧锁固定,安装速度快,精度高,外维护架使用立杆、横杆、斜拉杆组成的支撑体系,稳定性好,轻质高强。架体的承载能力高。

衢州西站W柱采用盘扣时式脚手架支撑体系,在W柱下横向布置 $600 \times 600$ mm,步距为1500mm,底部采用台阶式托架,底板背肋采用10#槽钢,横肋采用20#槽钢连接。 $50 \times 100 \times 3$ mm方钢管作为支撑次梁。



## 4 钢筋采用 ORD 三维钢筋放样

### 4.1 数字化建模放样

采用数字化建模,多次演示现场绑扎过程,对成品的各个截面进行剖析,针对变截面的问题对钢筋半成品绑扎顺序、通过三维立体图型的演示,形成可视化模拟演练,选出最优方案进行施工<sup>[3]</sup>。

### 4.2 钢筋绑扎应用

通过对钢筋的原材质量把控、钢筋切割技术的更新、钢筋半成品加工的数字化应用,确保半成品质量效果优秀。进而进入钢筋绑扎阶段,通过数字化建模的形式实现过程可视化,对钢筋的绑扎顺序进行多次推演,选出最优方案进行实施。由于钢筋骨架结构为上重下轻,易发生坍塌事故,因此架体需要支撑加固。本工程采用底模代替支撑的办法进行加固,先搭设架体进行底模拼装,为保证保护层厚度,采取垫块支撑的方法,及时复测钢筋骨架的形变、偏移。标高、尺寸等相关数据,待钢筋绑扎完成后进行混凝土浇筑。

## 5 拆模方案比选与拟定

### 5.1 拆模技术研究

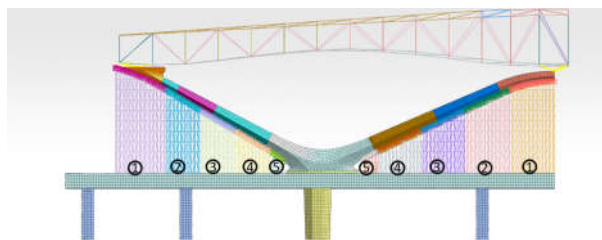
本文利用MIDAS FEA NX软件探究不同拆模方案对“W”柱和支撑架体结构的影响。MIDAS FEA NX是基于尖端的计算机图形处理和分析技术研发而成的一款土木领域专用的仿真分析软件,经过严格测试并具有品质保证的分析功能<sup>[4]</sup>。

鉴于几何结构及荷载的对称性,模型取半结构分析,在中心平面设置对称约束,约束对称平面X方向的平

动自由度、绕Y轴和Z轴的转动自由度,下方柱底刚接,钢模底部约束X、Y、Z方向的平动自由度。

钢模与“W”柱梁底设置滑动接触约束法向位移,支撑次梁与托架接触点采用刚性连接,确保接触的两点在Y、Z方向上的位移保持一致,并释放支撑次梁与立杆连接点绕X轴转动的约束。此外,荷载条件方面,模型仅考虑W柱、支撑架体等的自重,并由软件根据容重自动计算。

本文通过设立不同的施工阶段来模拟不同的拆模方案,分析不同拆模方案下“W”柱关键截面的内力和支撑架体结构的位移,从而选择最优的拆模方案。确定施工阶段前,先根据拆模位置定义若干个网格组,不同组间以颜色区分,如下图所示。拆模分五步完成,按拆模位置将钢模板分为:模板1、模板2、……、模板5,将底板背肋分为:背肋1、背肋2、……、背肋5,托架、支撑架体、支撑次梁与托架的连接、梁底模板与异形柱的连接同理设置分组。



通过对比各方案下端部位移和关键截面内力,即应采用从右向左顺序拆模方案,按从右1到右5,再从左5到左1的顺序拆模。

## 结语

本文依托工程实际对大型混凝土异形柱施工过程进行了软件三维模拟、数值分析,研究大跨度巨型异形混凝土结构施工工艺顺序,对结构柱内力和位移、支撑架体位移的影响,定义了不同的施工顺序、施工工艺等不同方案下结构柱、支撑架体的计算结果。最终总结出的巨型异形混凝土结构施工研究。未来,随着建筑艺术的创新,我们有望看到更加高效、精确、先进的施工技术的出现,为建筑业的持续发展注入新的活力。

## 参考文献

- [1] 颜恺,王帆,罗志锋,等.悬挑结构临时支撑拆除顺序优化研究[J].建筑结构,2023,53(S2):1873-1877.
- [2] 林锋.深基坑混凝土支撑拆除施工控制要点分析[J].江西建材,2022(09):313-314+317.
- [3] 马烽城,季源渊.先简支后连续梁桥施工顺序对结构的内力影响[J].黑龙江交通科技,2020,43(08):111-112.
- [4] 陈强,黄志义,徐兴.先简支后连续结构体系临时支座的合理拆除顺序研究[J].桥梁建设,2005(01):69-72