

扩大基础重力式锚碇 BIM 参数化建模研究

沈锐利, 唐可佳

(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 为了研究用几何尺寸快速创建参数化桥梁构件并输出对象信息进行数据管理的方法,以悬索桥扩大基础重力式锚碇为例,借鉴 Autodesk 平台核心建模软件 Revit 的族思想,结合可视化编程工具 Dynamo,建立了锚碇参数化模型,得到了可用于快速建模和数据管理的尺寸驱动三维模型。基于以上锚碇参数化建模的技术路线,以万州驸马大桥北岸锚碇为应用实例,说明了参数化锚碇模型如何关联数据并输出设计信息。结果表明:基于 Autodesk 平台进行悬索桥构件参数化设计具有可行性,且参数化能力强,有利于信息传递与管理,为桥梁 BIM 正向参数化设计提供参考。

关键词: 桥梁 BIM; Revit 软件; 重力式锚碇; 参数化; Dynamo

1 引言

BIM 技术的发展使信息不再是基于传统二维平面图纸,而是基于四维模型。中国 BIM 技术的研究和应用从建筑工程拓展到道路、桥梁等工程领域,体现了 BIM 研究成果的应用效果和价值。参照建筑模型信息化的实现方法和应用路径,桥梁 BIM 技术同样依托于三维可视化模型,在由设计、施工、运营阶段组成的桥梁全生命周期管理中进行信息的整合与传递。参数化是 BIM 模型的一个重要特征,组成模型的 BIM 参数化构件通过尺寸驱动将数据与模型相互关联,并输出工程信息实现模型与信息的联动关系。锚碇作为悬索桥的重要受力构造,既要平衡主缆拉力,又要与地基形成合理的体系。锚碇的设计受悬索桥上部结构受力和桥址处地质、水文等设计条件影响,同时锚碇及锚固系统的工程量对悬索桥建造经济性产生影响,锚碇的构造形式以及锚固系统的选取和布置可能需要反复修改,为了提高设计效率、快速得到三维可视化的锚碇设计方案,创建参数化的锚碇三维模型有一定的应用价值。通过修改参数变更构造设计,快速进行方案比选;信息化锚碇三维模型的碰撞检查、施工进度模拟还可对施工方案设计进行指导。

为了实现锚碇三维模型参数化,可选择目前在桥梁构件信息化探索中应用广泛的软件平台,如 Au-

todesk、Dassault 和 Bentley 等公司均为实现信息化三维模型在建筑全生命周期的创建和管理上提供了解决方案以及强大的后台支持。Revit 作为在建筑模型信息化应用中相对成熟的 BIM 核心建模软件,族的概念不仅实现了建筑构件的参数化,而且在探索桥梁 BIM 参数化模型方面得到应用,如乐清湾大桥项目中基于 Revit 建立了波形钢腹板的参数化模型。Dynamo 作为 Revit 参数化设计和数据管理的补充及拓展,通过可视化编程创建参数化三维模型,为基于 Autodesk 平台的三维设计提供了异形结构建模、参数驱动模型、设计方案快速修改等方面的软件支持。Dynamo 提供内置节点函数、自定义函数及功能拓展安装包,输入参数并连接预定义节点,实现尺寸驱动建模,同时可视化的编程界面可帮助工程技术人员快速进行建模的程序设计。在 Dynamo for Revit 功能分区下可以通过内置节点调用 Revit 的各层级图元,在程序中定义参数约束关系,生成参数化模型,并在 Revit 体量环境下转换为赋予了工程信息的实体模型。

该文基于 Revit 创建可进行尺寸驱动的扩大基础重力式锚碇参数化构件族,对锚碇的构造尺寸进行分析,找到组成扩大基础重力式锚碇各部分构造尺寸之间的约束关系,以实现尺寸驱动自动生成和修改三维模型的程序。该文所采用的模型参数化方法,对悬索桥缆索系统、加劲梁、桥塔、索鞍等构造均具有一定的借鉴意义。

收稿日期:2018-10-01

作者简介:沈锐利,男,教授,博士生导师.E-mail:rlshen@163.com

图 2 锚碇构造参数化族(单位:cm)

族的立面轮廓参数标注示意图。

(2) 锚固系统

锚固系统构件族通过放置自适应点控制各构件作为嵌套族载入扩大基础重力式锚碇模型时的几何形状。对预应力锚固系统建立了单/双索股锚固单元参数化构件族,包括索股连接构造和预应力锚固构造。沿索股发散方向布置的预应力锚固系统,单个锚固单元由 5 个自适应点控制,分别位于索股锚固基准面、前后锚面以及预应力锚固槽口底面,自适应点的位置改变锚固单元三维模型沿索股发散方向的长度尺寸和预应力槽口定位尺寸等参数。预应力锚固系统的参数化构件族和参数面板如图 3 所示,单索股连接构造由 2 根拉杆及单索股连接器构成,双索股连接构造由 4 根拉杆及双索股连接器构成。

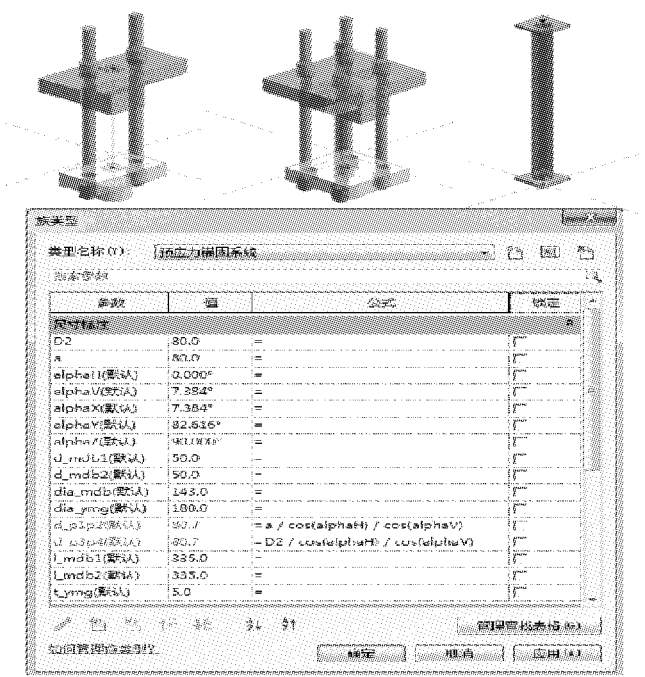


图 3 预应力锚固系统参数化族

3 锚碇参数化模型的组建及应用

3.1 尺寸约束关系的实现和锚碇模型的组建

在已创建 Revit 锚碇参数化构件族的基础上,利用计算式设计语言 DesignScript 在 Code Block 中调用节点的方法,进一步实现参数约束和构造组装。程序实现思路为:选取构件族类型(Family Type),获取各个构件族的所有族参数,通过参数名获取参数值;将锚碇各部分构造的尺寸约束关系写入 Code Block,通过赋值操作将计算出的几何尺寸值赋予用参数名称识

别的参数,驱动参数化构件族的形状改变,以组建满足约束关系的参数化锚碇三维模型。

Dynamo 自定义节点实现了从表格指定位置读取锚碇构件族参数名和对应参数值的功能,其优势体现在减少了调用节点的数量,自定义输入及输出端口名称提高了程序可读性。参数化的三维模型与表格文件连接,通过在表格中修改参数值实现尺寸驱动。表 1~4 为自动生成锚碇三维模型所需输入的全部参数,分为选择型参数和数值型几何参数,选择型参数包括散索鞍支墩空腔个数和基础台阶数,根据选择型参数值对所输入的数值型几何参数进行读取。

表 1 选择型参数表

说明	参数名	参数值
单个支墩内空腔个数 (取值范围:0、1、2)	<i>n</i>	2
锚块前趾台阶数 1 (取值范围:0~4)	<i>n1</i>	4
锚块前趾台阶数 2 (取值范围:0~4)	<i>n2</i>	4

表 2 锚块及基础构造参数表

说明	参数名	参数值/m
锚块原点纵向距离(锚块前趾点距离支墩前趾点)	LK0	5,000
锚块纵向总长度	lk1	88,000
下锚块后趾距离上锚块后趾纵向长度	lk10	4,000
上锚块纵向长度 1	lk11	28,000
上锚块纵向长度 2	lk13	2,500
下锚块纵向长度 1	lk14	60,000
散索鞍支墩基础纵向长度 1	lk15	18,000
锚块后趾纵向长度 1	lk20	5,000
锚块后趾纵向长度 2	lk21	33,000
锚块前趾纵向长度 1	lk26	10,000
锚块台阶纵向长度	lk_cst1	4,000
下锚块顶与散索鞍支墩基础竖向高差	hk1	7,000
上锚块竖向高度 1	hk12	5,000
上锚块竖向高度 2	hk13	3,000
锚块后趾竖向高度 1	hk2	26,000
锚块后趾竖向高度 2	hk14	11,000
锚块前趾竖向高度 1	hk21	0,100
锚块前趾竖向高度 2	hk31	2,000
锚块台阶竖向高度 1	hk_cst1	1,500
锚块台阶竖向高度 2	hk_cst2	2,000
下锚块横向宽度的 1/2	wk2	40,000

表 3 锚室构造参数表

说明	参数名	参数值/m
锚室顶距离支墩底	HS0	30.000
锚室前墙竖向高度	hs1	5.000
锚室腹板竖向高度	hs3	25.464
锚室与支墩连接过渡段 倒角距锚室顶高度	hs7	7.000
锚室与支墩连接过渡段 倒角距锚室前端长度	ls7	5.000
锚室顶纵向长度	ls1	12.236
锚室腹板纵向长度	ls4	7.400
锚室与锚块连接处倒角尺寸	ls30	3.000
锚室侧墙厚度	ts1_w	1.200
锚室顶板厚度	ts2	1.000
锚室顶板厚度 2	ts3	1.000
锚室前墙厚度	ts4	1.000
锚室腹板厚度	ts5	0.500
锚室底板厚度	ts6	0.800
锚室与支墩连接过渡段厚度	ts7	0.001
横向锚室顶宽度的 1/2	ws1	4.500
锚室若与基础直接相连, 连接处倒角竖向高度	hs6	0.100

表 4 散索鞍支墩构造参数表

说明	参数名	参数值
支墩原点竖向坐标	HZ0	0
支墩原点纵向坐标	LZ0	0
横向两支墩对称轴距的 1/2	WZ0	14.000
支墩顶倾角	angle_ssa	25.000
支墩顺桥向倾角	angle_z	65.000
支墩顺桥向总厚度	lz4	6.000
支墩底部倾角竖向高度	hz2	2.000
支墩纵向壁厚	tz1	1.000
支墩内空腔距离支墩原点距离	tz2	6.000
支墩内空腔长度	tz3	16.000
支墩横向壁厚	tz4_w	1.000
支墩内两空腔横向间距的 1/2	tz5_w	0.500
支墩空腔倒角长度	dz1	1.000
横向支墩底部宽度的 1/2	wz1	11.500

注:除支墩顶倾角、支墩顺桥向倾角单位为“°”外,其余参数单位均为:m。

3.2 关键尺寸的提取和锚碇整体验算

尺寸驱动的扩大基础重力式锚碇参数化模型需要

由锚碇设计条件检验锚碇构造是否满足规范要求,从模型中获取锚碇重心、基底截面特性、锚碇混凝土方量等几何信息,输入锚碇设计条件如单根主缆力、主缆入射角、基底摩擦系数、填土总重以及材料特性,将模型自动提取的几何信息和输入的设计条件信息代入程序内部锚碇整体验算式,按规范要求进行锚碇整体抗滑移、抗倾覆稳定性验算以及基底承载力验算,将锚碇整体验算结果输出至表格。

3.3 预应力锚固系统设计

基于参数化锚固系统构件族的预应力锚固系统设计思路如图 4 所示。建立以 IP 点为原点、前锚面法向量为 x 轴、横桥向为 z 轴的锚固系统设计局部坐标系,输入前锚面处锚固单元竖向及横向布置间距以生成锚固拉索中心线与前锚面的理论交点 $P1$;输入散索鞍鞍槽内单根索股宽度、高度、隔板厚度以及索股在锚块内的锚固长度,计算出索股锚固单元在后锚面上的布置间距并生成锚固拉索与后锚面的理论交点 $P4$;输入前锚面至索股锚固基准面的距离,生成索股锚固单元与锚固基准面的理论交点 $P0$,获取锚固单元与主缆中心线的夹角 α_x 、 α_y 和 α_z ;输入锚固槽口底面中点至锚面的距离,在锚固系统设计局部坐标系下生成前、后锚面处槽口底面中点 $P2$ 和 $P3$ 点;平移局部坐标系至每根索股的 $P2$ 点,旋转坐标系至 x 轴与索股发散方向平行,输入锚固槽口边长以及槽口侧壁与锚面的夹角等参数生成预应力锚固槽口,计算槽口底面各角点至锚面的垂直距离以及槽口底面中点在锚面的投影与 $P1$ 点或 $P4$ 点的距离等槽口定位尺寸,最终将预应力锚固系统设计信息输出至表格。

3.4 工程实例应用

万州驸马长江大桥为主跨 1 050 m 的双塔单跨钢箱加劲梁悬索桥,矢跨比为 1/10。北岸锚碇为重力式锚碇,锚碇平面尺寸为 79 m×48 m,高度为 52 m,锚体采用三角框架空腹式结构形式,支墩为空心双室薄壁墩结构。基础形式为扩大基础,以中风化灰岩为持力层,基础底面设一级平台,锚碇后趾设两级台阶。主缆锚固系统采用平行钢丝拉索形式的预应力锚固系统,单根主缆在北岸锚碇有 20 个单索股锚固单元和 46 个双索股锚固单元。对应单/双索股锚固单元,分别采用 PES(C)5—139 规格和 PES(C)5—283 规格的平行钢丝拉索,拉索布置方向沿索股发散方向。

基于参数化的锚碇三维模型和设计图纸,快速创建驸马长江大桥北岸锚碇构造。输入锚碇设计条件如最不利荷载组合下北岸锚碇两根主缆最大缆力为

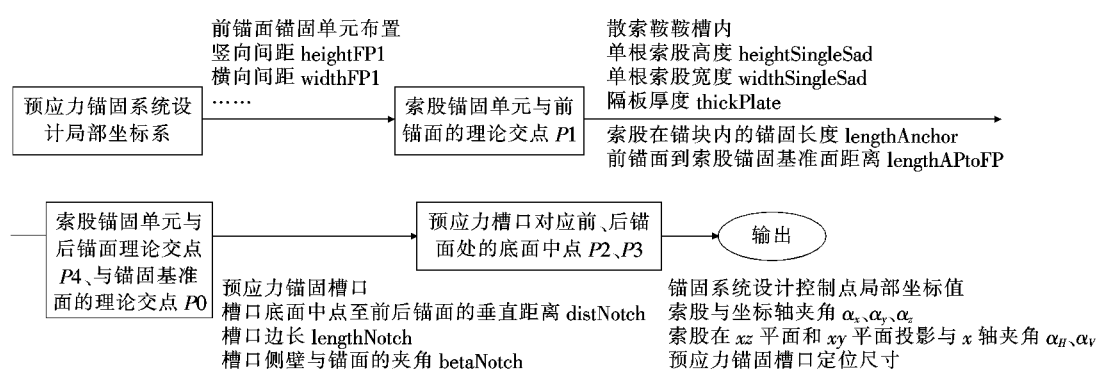


图 4 预应力锚固系统设计技术路线图

416 786 kN,混凝土重度为 25 kN/m³,单根主缆力为 (416 786/2) kN,主缆入射度为 24.325°,填土总重力为 0 kN,基础底面与地基之间的摩擦系数为 0.5。计算得到结构安全度指标如下:锚碇整体抗滑动稳定安全系数与抗倾覆稳定安全系数均大于 2.0,运营阶段基底最大地基应力小于地基容许承载力。通过锚碇整体验算,输出锚碇各部分构造以及锚碇总体的混凝土方量统计表,如表 5 所示。

表 5 锚碇混凝土用量统计及验算结果自动输出

项目		单位	数值
混凝土用量	散索鞍支墩	m ³	4 135
	锚室	m ³	2 791
	锚块和基础	m ³	63 246
	合计	m ³	70 172
锚碇整体验算结果	抗倾覆稳定性系数		324.5
	抗滑动稳定性系数		2.1
	基底最大应力	MPa	0.471
锚碇受力与验算截面特性	竖向力 P_i 对验算截面重心的力矩和	kN · m	-18 056 553
	水平力 H_i 对验算截面的力矩和	kN · m	18 229 692
	竖向力 P_i 合力	kN	-1 582 559
	所有外力合力在验算截面的作用点对基底中心轴的偏心距	m	-0.109
	在截面重心至合力作用点的延长线上自截面重心至验算倾覆轴的距离	m	35.500
	基础前墙岩体或土体抗力(通常在良好嵌固条件下考虑)	kN	0
	滑动水平力总和	kN	379 785
	基底偏心方向面积抵抗矩	m ³	27 264

由预应力锚固系统设计技术路线,输入前锚面预应力锚固单元布置间距、散索长度等参数,在扩大基础重力式锚碇模型中批量生成预应力锚固系统构造三维模型,调用自适应构件族。由预应力锚固槽口至前后锚面垂直距离、侧壁倾角等参数,计算锚固系统参考点坐标、拉索与主缆中心线夹角以及锚固槽口定位尺寸等信息,根据需要输出的参数个数进行列表转置等操作并连接到内置节点 Excel.WriteToFile,自动输出至表格。由批量生成的预应力锚固系统构件输出中心列索股的锚固系统要素,如表 6、7 所示,包括预应力锚固拉索要素和锚固槽口要素。与原图纸信息比较,锚碇及锚固系统模型提供了三维可视化展示功能,尺寸信息可以直接在模型中获取,也可以自动输出至表格,三维模型与设计信息的结合直观体现了模型的应用价值;参数化的三维模型由尺寸驱动,扩大基础重力式锚碇模型的参数个数及类型满足快速创建驸马长江大桥北岸重力式锚碇的需要,模型与输入的尺寸参数值一一对应,在锚碇设计过程中可调整参数得到不同锚碇模型,通过输出锚碇整体验算结果和比较锚碇混凝土用量对锚碇方案设计进行调整。

4 结语

基于 Autodesk 平台的核心建模软件 Revit 建立了扩大基础重力式锚碇构件族,借助可视化编程工具 Dynamo 能有效完成锚碇构造和预应力锚固系统的参数化,以悬索桥重要结构锚碇为例,总结了参数化建模经验,探讨了尺寸驱动模型自动生成的实现和应用方法。以万州驸马长江大桥北岸锚碇为例说明了参数化锚碇模型的创建和应用,可为基于 Revit 的悬索桥构件族建立提供一定的参考,同时为桥梁 BIM 正向参数化设计提供思路。

表 6 万州驸马大桥北岸锚碇预应力锚固拉索要素表

锚固 单元 编号	索股锚固件与 索股锚固基准 面交点 $P0/m$	锚固拉索与前 锚面交点 $P1/$ m	前锚面处预应力 锚固凹槽底面 中点 $P2/m$	后锚面处预应 力锚固凹槽底 面中点 $P3/m$	锚固拉索与后 锚面交点 $P4/$ m	索股与 x 轴夹 角 $\alpha_x/$ $(^\circ)$	索股与 y 轴夹 角 $\alpha_y/$ $(^\circ)$	索股与 z 轴夹 角 $\alpha_z/$ $(^\circ)$
F1	Point($x=31.200,$ $y=3.993,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=4.208,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=4.217,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=6.805,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=6.814,z=0.000$)	6.796	83.204	90.000
E1	Point($x=31.200,$ $y=3.267,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=3.443,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=3.450,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=5.568,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=5.576,z=0.000$)	5.569	84.431	90.000
D1	Point($x=31.200,$ $y=2.541,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=2.678,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=2.684,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=4.330,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=4.337,z=0.000$)	4.337	85.663	90.000
C1	Point($x=31.200,$ $y=1.815,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=1.913,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=1.917,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=3.093,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=3.098,z=0.000$)	3.100	86.900	90.000
B1	Point($x=31.200,$ $y=1.089,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=1.148,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=1.150,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=1.856,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=1.859,z=0.000$)	1.861	88.139	90.000
A1	Point($x=31.200,$ $y=0.363,z=0.000$)	Point($x=33.000,$ $y=0.382,z=0.000$)	Point($x=33.080,$ $y=0.383,z=0.000$)	Point($x=54.920,$ $y=0.619,z=0.000$)	Point($x=55.000,$ $y=0.620,z=0.000$)	0.621	89.379	90.000

表 7 万州驸马大桥北岸锚碇预应力锚固拉索前锚面槽口要素

锚固 单元	锚固拉索分别在 xz,xy 平面的 投影与 x 轴 夹角/ $(^\circ)$		槽口边长在 锚面的投 影长度/ m		槽口侧壁与锚面相交角点同锚面 上槽口底面角点的投影在 z 轴方向上的间距/ m				槽口侧壁与锚面相交角点同 锚面上槽口底面角点的投影 在 y 轴方向上的间距/ m				槽口底面四个角点 到锚面的垂直距离/ m				预埋管道中心线在锚面 交点与槽口底面交点 在 yz 轴上的间距/ m	
	αH	αV	a	b	$a1$	$a2$	$a3$	$a4$	$b1$	$b2$	$b3$	$b4$	$d1$	$d2$	$d3$	$d4$	d_y	d_z
F1	0.000	6.758	0.600	0.596	0.071	0.024	0.024	0.071	0.071	0.024	0.024	0.071	0.115	0.045	0.045	0.115	0.009	0.000
E1	0.000	5.538	0.600	0.597	0.066	0.028	0.028	0.066	0.066	0.028	0.028	0.066	0.109	0.051	0.051	0.109	0.008	0.000
D1	0.000	4.312	0.600	0.598	0.062	0.032	0.032	0.062	0.062	0.032	0.032	0.062	0.103	0.057	0.057	0.103	0.006	0.000
C1	0.000	3.083	0.600	0.599	0.057	0.036	0.036	0.057	0.057	0.036	0.036	0.057	0.096	0.064	0.064	0.096	0.004	0.000
B1	0.000	1.851	0.600	0.600	0.053	0.040	0.040	0.053	0.053	0.040	0.040	0.053	0.090	0.070	0.070	0.090	0.003	0.000
A1	0.000	0.617	0.600	0.600	0.048	0.044	0.044	0.048	0.048	0.044	0.044	0.048	0.083	0.077	0.077	0.083	0.001	0.000

参考文献：

[1] 高岩.基于设计实践的参数化与 BIM[J].南方建筑,2014(4).
[2] 秦涛,龚晓晖,于洪武,等.基于 BIM 的道路信息模型参数化构建技术研究[J].中外公路,2017(1).
[3] 彭德运.大跨悬索桥锚碇基础的设计与施工[J].铁道标准设计,2003(1).
[4] 刘尚蔚,白硕,魏群.基于 BIM 的某拉索桥族库构建方法

与应用[J].中国水运(下半月),2016(10).

[5] 刘继,刘占省,赵雪锋.波形钢腹板箱梁桥 revit 建模技术研究[C].全国现代结构工程学术研讨会,2016.
[6] 刘智敏,王英,孙静,等.BIM 技术在桥梁工程设计阶段的应用研究[J].北京交通大学学报,2015(6).
[7] 王松.可视化编程语言下的计算式设计插件——Dynamo 初探[J].福建建筑,2015(11).
[8] 许慕,白雪海,巴婧.基于 BIM 的建筑模型构件化研究[J].城市建筑,2017(4).