

三维钢筋建模统计及自动出样方法研究

郑 岗, 戴 玮, 谢玉萌

(安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司 公路交通节能与环保技术及
装备交通运输行业研发中心, 安徽 合肥 230088)

摘要:应用 BIM 技术对预应力混凝土桥梁结构配筋进行精细化设计能有效提高设计质量。针对目前交通行业尚未有成熟的桥梁三维配筋系统可供使用, 作为 BIM 技术的载体的三维钢筋模型需设计人员手工绘制, 存在效率低且人工干预过多的问题, 从快速建立钢筋三维模型、数量统计及自动出钢筋大样三个方面研究和提出了相关解决方法, 并基于三维 CAD 系统 Microstation 进行二次开发编制工具应用于工程实践, 减少了人机交互操作, 提高了设计人员建模和出图效率, 也为 BIM 技术在桥梁工程中的进一步应用提供了基础模型。

关键词:BIM; 三维钢筋; 建模; 统计; 大样

中图分类号:U442.5; TP311 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2015)04-0034-05

0 引言

随着现代桥梁结构理论和结构形式的不断发展与创新, 预应力钢筋混凝土结构配筋愈加错综复杂, 传统的二维钢筋绘制出图方式已不能满足精细化设计的要求, 无法直观准确呈现钢筋与钢筋、其它桥梁组成构件(预应力钢束、钢骨架等)之间的几何位置关系, 极易造成碰撞, 降低设计质量; 另外二维钢筋图中钢筋数量的统计通常采用人工计量的方式, 极易疏漏出错且费时间^[1]。伴随着计算机辅助设计系统智能化程度的提高, 建筑信息模型(Building Information Modeling, 简称“BIM”)技术在国内外工程项目设计阶段的应用愈加广泛, 与传统设计手段相比具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性 5 大特点, 使得桥梁设计人员对桥梁结构配筋进行三维设计成为可能^[2]。绘制三维钢筋模型的优点在于以实际尺寸建立钢筋模型, 按照实际空间位置布置, 利用三维 CAD 系统提供的碰撞检查功能检测钢筋与钢筋、其它桥梁构件是否碰撞, 从而调整设计, 提高设计质量; 而且一比一尺寸的钢筋模型能保证统计钢筋数量的准确性, 且极易编码实现自动统计功能^[3-4]。

作为 BIM 技术模型载体的三维钢筋模型比二维钢筋图表现形式更加直观真实, 但建立精确的三维钢筋模型存在以下问题尚未解决: 人机交互建立三维钢筋模型比较繁琐, 且需要过多人工干预操作^[5-7]; 三维 CAD 系统未提供自动统计算量的功能, 尚需定制开发; 钢筋构造图可由设计人员使用三维 CAD 系统提供的剖切功能对桥梁结构三维实体进行剖切得到平面、立面及侧面图^[3], 但是钢筋详细大样的绘制和标注功能缺乏。针对上述问题, 研究和整理出一套快速构建三维钢筋模型, 统计以及自动绘制和标注钢筋大样的方法, 基于 BIM 基础平台三维 CAD 系统 Microstation 研发编制并发布一套工具集^[8], 应用于实际工程中, 有效地提高设计质量与效率, 为 BIM 技术在桥梁工程结构设计阶段的应用提供参考和借鉴。

1 快速构建三维钢筋模型方法

利用三维 CAD 系统 Microstation 提供的拉伸功能可实现一个面(或者轮廓)沿中心线拉伸成线状实体^[2], 常规三维钢筋模型的建立通常采用此方法。由于钢筋中心线是任意空间曲线, 需要保证钢筋外径圆面(轮廓)与钢筋中心线起点位置处的切向量垂直才能保证拉伸形成的钢筋实体是正确的, 因此需要人

收稿日期: 2015-03-26 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxxbzrb.2015.04.07

作者简介: 郑 岗(1985-), 男, 工程师, 主要从事三维数字化设计与 BIM 技术在桥梁工程中的研究与应用。E-mail: 376925009@qq.com

郑 岗, 戴 玮, 谢玉萌. 三维钢筋建模统计及自动出样方法研究[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2015, 28(4): 34-38.

工调整钢筋外径圆面(轮廓)法向量与钢筋中心线起点处切向量平行,钢筋形状复杂且数量庞大,导致人机交互操作繁琐不方便。当对三维钢筋模型做调整修改时也会遇到问题:①修改钢筋直径,需要手动编辑钢筋实体外轮廓,无法利用参数化技术实现自动更新;②调整钢筋实体局部长度及形状不便捷,需要使用 MicroStation 平台提供的围栅功能进行修改或者删除原有钢筋实体,重新修改钢筋中心线长度或者形状,然后拉伸形成新的钢筋实体^[2]。为解决上述问题,提出一种批量生成和调整钢筋实体的方法,具体步骤如下:

(1)首先绘制所有不同种类钢筋中心线(空间几何曲线),同一类钢筋中心线编入同一图层,且图层命名遵循“钢筋编号-公称直径”的格式要求。例如某一图层名为“1-12”,代表该类钢筋编号为1,公称直径为12 mm。

(2)筛选需要生成三维钢筋实体的图层,解析各图层名得到钢筋编号 N_i 和钢筋直径 $D0_i$,根据 $D0_i$ 查询钢筋外径表得到钢筋外径 $D1_i$,然后通过 Microstation 平台提供的扫描算法 API(二次开发接口)^[9]得到各图层包含的钢筋中心线集合 $\{S_{ij}\}$,根据几何运算得到钢筋中心线集合 $\{S_{ij}\}$ 中各钢筋中心线的起点 P_{ij} 以及起点处的切向量 T_{ij} ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ 。 m 为图层总数, n 为第 i 层包含的钢筋中心线根数)。

(3)以钢筋中心线 S_{ij} 的起点 P_{ij} 和切向量 T_{ij} ,通过向量叉乘构建以切向量 T_{ij} 为 Z 轴的局部坐标系(右手坐标系),详见公式(1),在该局部坐标系下,绘制直径为 D_i 的圆 C_{ij} ,如图1所示。

$$\begin{aligned} z &= (0 \quad 0 \quad 1) \\ X_{local} &= T_{ij} \times z \\ Y_{local} &= T_{ij} \times X_{local} \\ Z_{local} &= T_{ij} \end{aligned} \quad (1)$$

(4)将钢筋中心线 S_{ij} 、外径圆 C_{ij} 通过几何转换到实体坐标系中,通过 Microstation 平台提供的拉伸函数使外径圆 C_{ij} 沿钢筋中心线 S_{ij} 扫掠成体 V_{ij} ,然后将实体 V_{ij} 转换到设计坐标系中即得到钢筋三维实体(注:利用 Microstation 平台提供的 API 生成和修改实体均需转换到实体坐标系中,再将得到的结果转换到设计坐标系中^[9]),如图2所示。

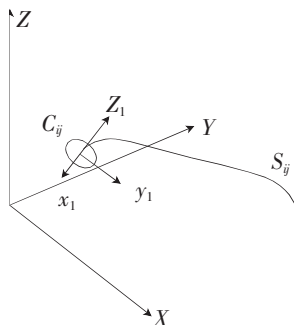


图1 设计坐标系和钢筋局部坐标系

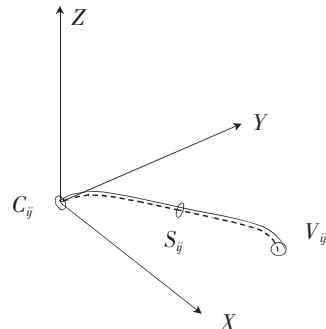


图2 实体坐标系拉伸实体示意图

使用基于上述方法编制的工具,设计人员只需绘制钢筋中心线,规范命名图层,即可快速生成三维钢筋模型,修改和调整钢筋也十分方便;如果通过碰撞检测到钢筋实体之间或者与其他构件发生碰撞,只需调整钢筋中心线位置,重新生成钢筋实体;调整某一类钢筋直径,则只需修改该类钢筋所在图层名称中钢筋直径数值,然后重新生成钢筋实体,具体流程如图3所示。

2 钢筋数量统计方法

钢筋中心线是根据实际设计尺寸绘制的空间几何曲线,通过扫描所有图层,统计每层钢筋中心线根数、计算钢筋中心线长度总和,乘以该层钢筋对应的每米质量即可得到该层所有钢筋总质量,具体实现步骤如下:

(1)筛选需要统计钢筋数量的图层,解析各图层名称获取该层钢筋编号 N_i 和钢筋直径 $D0_i$,根据 $D0_i$

查询该层钢筋每米重 $W_i (i=1, 2, \dots, m)$ 。 m 为图层总数)。

(2) 通过扫描算法获得各图层包含的钢筋中心线集合 $\{S_{ij}\}$, 统计各图层钢筋中心线根数 Num_i 以及钢筋中心线总长度 $L_i = \sum_{j=1}^{Num_i} (j=1, 2, \dots, Num_i)$ 。

(3) 根据每个图层钢筋编号 N_i , 钢筋根数 Num_i 及钢筋总长度 L_i 、每米重 W_i 汇总列表得出钢筋用量统计报表。

3 钢筋大样图自动绘制和标注方法

前述所知三维钢筋模型是严格按照一比一尺寸建立的, 将钢筋中心线(空间几何曲线)等长等形状旋转到二维平面内, 然后分析钢筋中心线各组成分段几何形状, 其次按照出图格式标注对应分段长度即可形成钢筋大样图。因此首先必须解决三维空间曲线等长等形状旋转到二维平面内的问题。

归纳和总结钢筋中心线的形状主要由两种基本图元组成, 与三维 CAD 系统 MicroStation 相对应的元素为: Line(直线)、Arc(弧)\Ellipse(椭圆, 包括圆)。由这两种基本图元进一步组成 Line String(线串, 由多条直线组成)和 Complex String(复杂链, 由多条直线\线串和圆弧组合而成)等复杂形状^[2], 如图 4 所示。

钢筋中心三维空间曲线旋转到二维平面的问题可简化为分别将任意空间直线 Line、圆弧 Arc \ Ellipse、线串 Line String、复杂链 Complex String 几何变换到二维平面的问题, 具体实现步骤如下:

(1) 筛选需要出钢筋大样图的图层, 解析各图层名称得到对应钢筋编号 N_i , 通过扫描 API 获取各层包含的钢筋中心线集合 $\{S_{ij}\}$, 并记各层钢筋根数为 Num_i 。

(2) 遍历各层钢筋中心线集合 $\{S_{ij}\}$, 逐一复制钢筋中心线并分析判断其形状类型 T , 不同形状 T 执行不同几何变换操作: ① T 为直线。提取直线起点 P_0 及起点处切向量 T_0 , 计算

切向量 T_0 与全局坐标系 Z 轴单位向量的夹角 A_0 , 再由起点 P_0 和切向量 T_0 根据公式(1)构建该直线局部坐标系 M_0 , 最后将直线绕局部坐标系 M_0 的 X 轴旋转 $(90-A_0)^\circ$ 即可转换到全局坐标系 XY 平面内。② T 为线串或者复杂链。因为线串或者复杂链节点个数 ≥ 3 ^[2,9], 取线串或者复杂链前三个节点确定一个平面 Plane, 由计算几何求得该平面 Plane 的法向量 F_1 , 求得法向量 F_1 与全局坐标系 Z 轴单位向量的夹角 A_1 , 由线串起点和法向量 F_1 确定平面 Plane 局部坐标系 M_1 , 最后将线串或者复杂链绕局部坐标系 M_1 的 X 轴旋转 $(180-A_1)^\circ$ 即可转换到全局坐标系 XY 平面内。③ T 为弧或者椭圆。只需提取圆心, a 和 b 轴半径, 起始角度和掠角这五个关键参数^[2,9], 然后在全局坐标系 XY 平面上重新绘制弧或者椭圆即可。

(3) 以钢筋编号 N_i 为名称创建新设计文件, 复制所有步骤 2 中生成的平面钢筋中心线到新设计文件生成钢筋大样。

对上述步骤生成的钢筋大样进行自动化标注完成钢筋大样图的绘制, 即分别对平面内不同钢筋中心

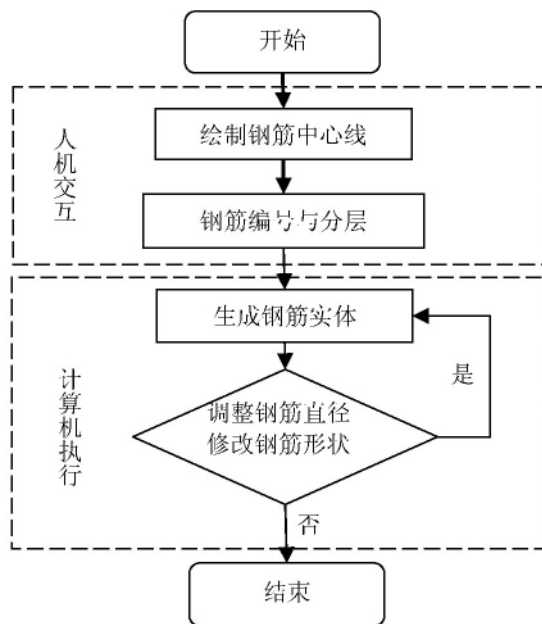


图 3 钢筋实体生成流程示意图

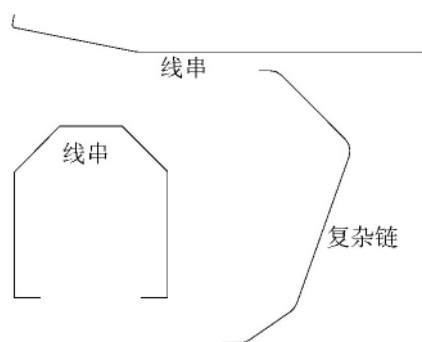


图 4 钢筋中心线形状

线形状分段进行长度标注,标注文本应与钢筋中心线分段走向平行放置。其实现步骤如下:

(1)扫描所有以钢筋编号命名的设计文件,抽取每个设计文件中包含的平面钢筋中心线形成钢筋集合 $\{PS_i\}(i=1,2,\dots,m)$ 。 m 为以钢筋编号命名的设计文件总数)。

(2)遍历钢筋集合 $\{PS_i\}$,判别每根钢筋平面中心线形状类型 T ,不同类型 T 采用不同的标注:① T 为直线时,提取直线两个端点 P_0 、 P_1 和中点 P_m ,计算直线长度 L 和向量 $\overrightarrow{P_0P_1}$,由中点 P_m 和向量 $\overrightarrow{P_0P_1}$ 确定该直线局部坐标系 M_0 ,在该局部坐标系下放置标注长度的文本与直线对齐^[9];② T 为圆弧或者椭圆(包括圆)时,通过 Microstation 平台提供的几何函数计算圆弧或者椭圆 1/2 长度处节点 P_m 及该节点处切向量 T_m ^[9],由节点 P_m 和切向量 T_m 确定该节点处局部坐标系 M_1 ,在该局部坐标系下放置标注文本与圆弧或者椭圆对齐;③ T 为线串或者复杂链时,由前述分析知线串有多条直线组成,而复杂链则由多条直线\线串、圆弧组成。因此标注时只需分解线串或复杂链各组成部分,按照 a 和 b 分别对应标注。

(3)在每根钢筋中心线 3/4 长度处为起点水平放置钢筋信息块(包含钢筋大样其它信息:根数、直径、钢筋类别,总长,钢筋编号)^[10-11]。

4 应用实例

芜湖长江公路二桥引桥上部结构为大悬臂全体外预应力节段拼装箱梁,全部采用工厂化预制,现场拼装工艺,其细节构造十分复杂,尤其端横梁内部的钢筋系统、体外预应力系统以及固定系统三者相互交叉、错综复杂,极易造成碰撞。如图 5、图 6 所示为某一预制节段三维钢筋局部模型和工程数量统计报表,通过本文提出的方法,快速建立钢筋三维模型进行精细化设计有效解决了钢筋与体外预应力钢束和劲性骨架碰撞问题,优化配筋方式,提高了设计质量。

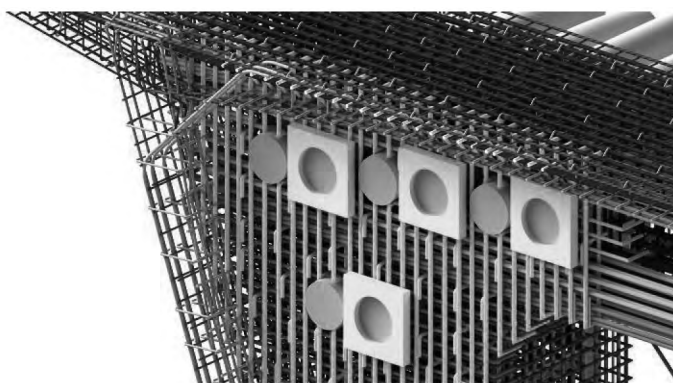


图 5 三维钢筋实体模型

批量生成钢筋实体和统计材料用量工具

层名	编号	直径(mm)	数量(根)	长度(m)	重量(Kg)
4a-25	16	16	4	19.68	31.10
5-12	17	12	4	14.83	13.17
6-20	18	12	4	8.99	7.98
8-16	19	12	4	4.65	4.13
9a-16	1a	25	14	229.47	883.46
9a-16	2	16	18	137.24	216.84
9-16	20	12	8	25.67	22.79
10-12	21	12	58	74.69	66.32
11-12	3	25	18	117.81	453.57
11a-12	3a	25	18	56.88	218.99
16-16	4	25	18	107.90	415.43
17-12	4a	25	18	56.88	218.99
18-12	5	12	36	183.46	162.91
19-12	50	16	16	17.12	27.05
20-12	51	28	97	143.42	692.70
21-12	52	22	30	61.68	183.80
50-16	53	28	40	64.65	312.28
51-28	54	16	23	77.17	121.93
52-22	55	25	14	34.47	132.70
53-28	6	20	8	28.50	70.40
54-16	8	16	8	54.11	85.49
55-25	8a	16	28	154.54	244.17
56-16	8a	16	28	76.35	120.63
57-16	9	16	46	84.64	133.73
58-25	—	—	—	总计	5602.59
59-16	—	—	—		

批量生成钢筋实体 刷新层 导出结果

图 6 自动统计钢筋数量

5 结束语

研究了 BIM 技术应用于桥梁工程结构配筋精细化设计中,三维钢筋模型如何快速建模、自动统计钢

筋数量以及绘制和标注钢筋大样的方法,详细介绍了基于 BIM 基础平台 Microstation 的实现算法。结合实际工程应用,效果良好,减少人机交互操作,提高了三维钢筋建模和出图效率,初显了 BIM 技术在工程结构中的应用前景。

参 考 文 献

- [1]耿杰. 铁路箱梁三维钢筋图绘制系统的研制[J]. 中国水运,2010,10(12):226-227.
- [2]Bentley Systems, Incorporated. MicroStation V8i (SELECTseries 3) help [M]. Stockton Drive:Bentley Systems, Incorporated,2014.
- [3]蒋海峰,王金锋,郑建华. ReStation 系统的钢筋抽图技术介绍[J]. 水力发电,2014,40(8):72-74.
- [4] 郑建华,陈健,陈佑,等. ReStation 混凝土三维配筋设计系统研究与应用[J]. 水力发电,2014,40(8):5-9.
- [5]姜太平,谢圣学,张学锋. 三维建筑模型中的钢筋动态模型生成与渲染[J]. 计算机工程与设计,2014,35(7):2482-2485.
- [6]SACKS R, BARAK R. Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice [J]. Automation in Construction,2008,17(4):439-449.
- [7]SACKS R,EASTMAN C M,LEE G. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete [J]. Automation in Construction,2004,13(1):291-312.
- [8]赵正旭,刘甜,张登辉. 基于动态链接库自动查找的软件发布方案[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,27(3):64-68.
- [9]Bentley Systems, Incorporated. MicroStation V8 MDL function reference [M]. Stockton Drive:Bentley Systems, Incorporated,2014.
- [10]钱玉森,陈立平,李站军,等. 基于三维配筋的水工结构钢筋图自动标注研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(1):28-33.
- [11]杨新军,朱爱林. 基于三维设计的钢筋图自动标注[J]. 水利水电科技进展,2005,25(6):82-84.

Research on the Method of Three-dimensional Rebar Modeling & Statistics and Automatic Detail Drawing

Zheng Gang, Dai Wei, Xie Yumeng

(Anhui Transport Consulting & Design Institute Co., Ltd & Road Transport Industry Research and Development Centre on Energy-saving and Environment Protection Technology & Equipment, Hefei 230088, China)

Abstract: The quality of design is improved by the fine design of the Three-dimensional rebar model of bridge project based on the Building Information Modeling (BIM) technology. As mature three-dimensional bridge reinforcement CAD system is not yet available for transportation industry, the designers should build three-dimensional rebar model, which is the carrier of building information model, by hand. Therefore, there exists the question of efficiency, and there is a lot of manual intervention required to make accurate models. The related solutions are proposed aiming at the problems in three major areas: efficient and fast building of models, statistical quantity and automatic detail drawing. Computing program is given out based on three-dimensional cad system Microstation in order to improve the efficiency of modeling and drawing and reduce human-machine interaction, and also provide a basic model for further application of BIM technology.

Key words: BIM; three-dimensional rebar; modeling; statics; detail rebar drawing