

# 基于 BIM 技术的钢筋智能化加工技术研究

胡 勇 邸克孟 冯 锐

(中铁七局集团西安铁路工程有限公司,西安 710032)

**【摘要】**钢筋作为建筑工程不可或缺的材料,一直都是建筑施工企业推行精细化管理、实现降本增效的重点,本研究通过将 BIM 技术、二维码等前沿信息化技术与钢筋数控加工设备相结合,研发基于 BIM 技术的钢筋智能化加工管理系统,实现从钢筋 BIM 建模到下料优化,再到自动化裁剪加工,既提高生产效率,还最大限度节约钢筋成本。

**【关键词】**BIM 技术;二维码;钢筋;智能化加工

**【中图分类号】**TU17 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

## 引言

钢筋是建筑工程行业必不可少、十分重要的材料,占到结构工程的 35% 到 40% 左右。由于其价格高昂,使用量大,是项目控制成本的重点之一<sup>[1]</sup>。目前钢筋加工主要有两种方式,一种是分散加工,即每个单体工程建一个小型加工棚,这种方式钢筋加工设备简单、效率低下、质量参差不齐,尤其是浪费较为严重,据不完全统计,分散加工的钢筋损耗率一般在 10% 以上。另一种是钢筋集中加工,项目建立统一的钢筋加工厂,这种方式采用数控钢筋加工设备,标准化程度较高,提高了钢筋加工质量和效率,但是钢筋翻样仍采用人工翻样,下料顺序仅在单构件中组合,工人在下料时仅是手动操控依次下料,同样产生大量的钢筋余料,并且各数控设备相互独立,未实现钢筋智能自动化加工。

近几年,随着建筑业转型升级,钢筋工程的管理方式逐渐由粗放式管理转变为精细化、信息化管理<sup>[2]</sup>,如何利用 BIM、二维码等信息技术实现钢筋智能化加工,最大限度利用余料,降低钢筋成本是我们研究的重点,而从钢筋 BIM 建模,导出钢筋下料

单,到自动优化钢筋下料方案实现综合套裁,再到与数控钢筋加工设备之间无缝衔接是实现钢筋智能化加工的关键。

## 1 项目背景介绍

新建京张铁路北京动车所包含房屋 25 座,建筑面积 59 712m<sup>2</sup>(其中六线检查库建筑面积 29 292m<sup>2</sup>),图示钢筋用量 5 764t。项目建设一座钢筋智能化加工集中加工厂,利用 BIM 技术,结合钢筋数控加工设备,进行钢筋智能化加工技术研究。

系统流程:首先利用 BIM 钢筋翻样软件进行钢筋翻样建模,复核钢筋数量,然后将生成的配料单导入系统进行自动下料优化、综合套裁,系统在保证最大限度利用余料的情况下,自动计算各型号钢筋剪切数据,并将最终下料单生成二维码,最后数控加工设备通过识别二维码,自动进行剪切、弯曲加工。

## 2 钢筋翻样软件选择及接口设计

随着信息技术的发展,钢筋电子翻样代替手工翻样已成必然趋势<sup>[3]</sup>,它以其速度快、精度高、操作

**【基金项目】**2018-2020 年度中铁七局集团西安铁路工程有限公司科研项目“钢筋加工装备智能化技术应用研究”(编号:2018-01)

**【作者简介】**胡勇(1978-),男,网络信息技术中心主任,公司工程技术专家,主要研究方向:BIM 技术应用研究、信息化管理技术应用研究;共同第一作者:邸克孟(1987-),男,京张项目部总工程师,副主任工程师,主要研究方向:建设项目信息化管理、BIM 技术应用研究。

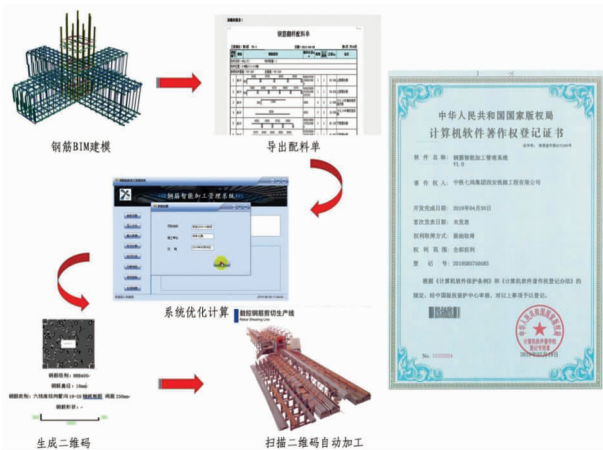


图1 钢筋智能化加工管理系统流程图

便捷等诸多优势已在建筑行业大规模推广。通过表格导入、构件法、BIM 建模法等多种方式实现各种构件的翻样计算,并输出想要的钢筋下料单,由于 BIM 技术具有三维可视化的优势,既可直观核算钢筋数量,还可对钢筋进行精细布置和优化,所以本文主要采用 BIM 建模法。

目前,国内可实现钢筋翻样的 BIM 建模软件众多,包括广联达、鲁班、Revit 等。考虑到 Revit 钢筋建模较为复杂,并且在导出的钢筋明显表中无法包含钢筋大样图。鲁班和广联达均能实现钢筋快速建模,但鲁班更侧重于精度和算量,广联达更侧重于方便易用性,市场占有率更高,应用更为广泛,因此本课题选择以广联达导出的钢筋明细表作为标准数据进行研究。

由于广联达导出的钢筋明细表为 Excel 格式,故针对 Excel 文件格式进行导入接口设计。

此外,因广联达 BIM 钢筋翻样软件<sup>[4]</sup>是通过对照平法图集规范来创建模型,主要适合于房建工

程。为了应用的广泛性,我们针对无现成钢筋明细表的桥隧、涵洞等工程,设计了手动输入的数据接口。在系统中预先设计了桥涵钢筋工程常用信息的钢筋明细表,建立了桥涵的钢筋大样图库,用户通过手动输入钢筋信息并绑定大样图,可起到广联达模型导出钢筋明细表同样的作用。

本研究现阶段以上述两种接口为主,并留有备用二次开发接口,待其他 BIM 软件、算量插件成熟后,软件及时进行接口对接,也可适用于其他同等功能的 BIM 软件及其钢筋明细表。

### 3 基于 BIM 的钢筋综合套裁方法

综合套裁方法的优劣会直接影响钢筋损耗率及钢筋工程的造价成本。基于前期的 BIM 模型和两种接口导入的钢筋工程数据,建立一个完善的钢筋综合套裁方法是核心技术之一。

#### 3.1 影响钢筋综合套裁工况分析

##### (1) 钢筋弯曲调整值

钢筋在弯曲过程中,内皮缩短,外皮伸长,中心线不变,弯曲处变成圆弧,而钢筋下料尺寸是每根钢筋切断时的直线长度为中心线尺寸,并非图示尺寸。为确保钢筋套裁的准确度,钢筋下料长度需充分考虑钢筋强度等级、钢筋直径、弯曲形式等诸多因素进行钢筋单长修正。

广联达软件已具备自动进行弯曲调整值修订功能,可直接使用导出数据,本次研究根据《铁路混凝土工程施工质量验收标准》(TB10424-2010)和《钢筋混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2015)规定加入弯曲调整功能以便手动输入数据或后续 BIM 软件接口设计。

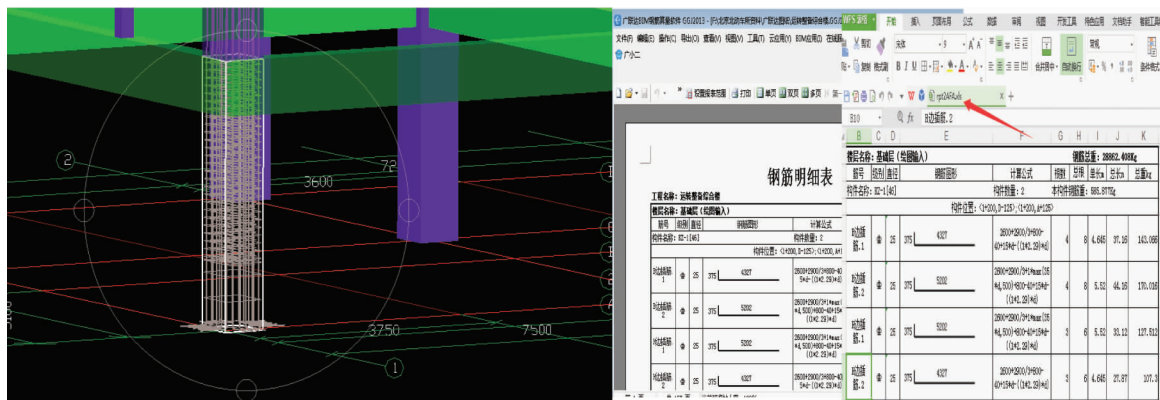


图2 广联达钢筋翻样建模并导出明细表

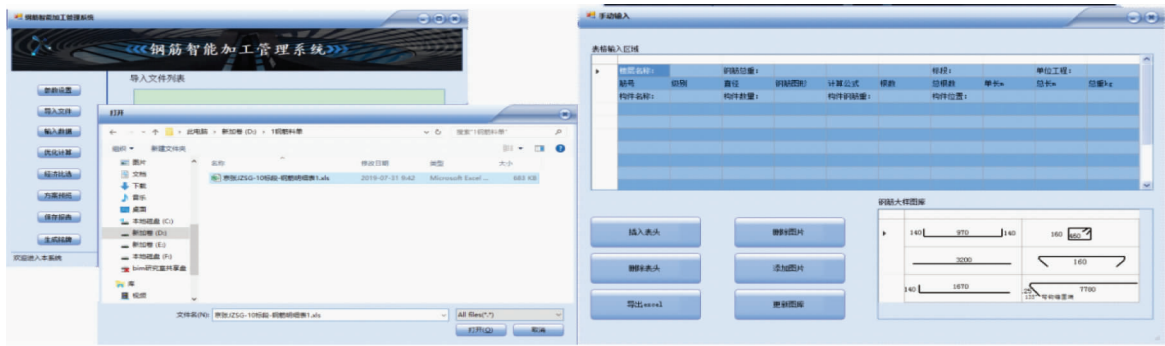


图3 Excel导入和人工录入接口设计



图4 弯曲调整值设定

表1 弯曲调整值默认设置

弯曲形式	HRB335(B)		HRB400(C)	HRB500(E)	
	D = 2.5d	D = 4d	D = 5d	d < 25 D = 6d	d > 25 D = 7d
HPB235(A)	1.75	2.08	2.29	2.50	2.72
HPB300(A)	0.38	0.11	-0.07	-0.25	-0.42
	0.29	0.3	0.3	0.31	0.32
	0.49	0.52	0.55	0.56	0.59
	0.77	0.85	0.9	0.96	1.01
	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37
	0.56	0.63	0.67	0.72	0.76
	0.96	1.12	1.23	1.33	1.44

(2) 定尺选择

钢筋定长度直接影响钢筋下料损耗率,以全排列算法角度分析,一般定尺越长,组合方案越多,优化的约束条件也随之增加,同时优化效果也会更好,目前市场上钢筋定尺长度通常为 9m 或 12m,因此需要设计为可选择定尺长度。

(3) 规范要求

原则上首先对导入或手动输入的钢筋明细表

中,按照强度等级、直径进行分类,优先对同规格的钢筋进行套裁组合、优化处理。针对部分规范许可的情况,允许钢筋以大代小,进一步提高钢筋原材料的利用率。

3.2 优化算法

要进行钢筋综合套裁,确定下料顺序,实现长短搭接的最优化,最核心的技术就是优化算法的选择。在国内外学者关于钢筋下料优化的相关论文中,采用启发式算法的学者占较大的一部分<sup>[5-8]</sup>。启发式算法比较容易实现并行化。但是,也存在一定缺陷:如参数难以设置调整,算法模型随机性较大、容易早熟导致结果不佳等。

为在更高的精度范围内求解出最优的钢筋下料方案,研究中未采用遗传算法、模拟退火算法等启发式算法,而采取改进整数规划算法来进行求解,整数规划求解的效果及精度远高于启发式算法。传统整数规划算法在钢筋下料中应用较少,其主要原因在于钢筋下料优化属于大规模优化问题,传统整数规划在建立数学模型时,容易陷入 NP 完全问题而无法建立出完善的数学模型,导致后续求解无法进行。我们对传统整数规划算法进行了优化改进,首先通过设定方案阈值,保障钢筋下料优

化数学模型建立精度,并针对在有限时间内无法建立数学模型的钢筋批次,提出了拆分方法,综合考虑了时间自由度与空间自由度,使得在有限的时间内建立出质量精度较高的数学模型,再分别通过单纯形法和割平面法进行求解。

### 3.3 钢筋综合套裁方法验证

为了验证算法的实用性,将通过参考文献中的算例进行试算对比。文中所计算的例子均在主频为 3.50GHz,内存为 4GB 的计算机上完成。

案例:原材料长度  $L = 1000$ ,原材料数量足够,所需要切割的钢筋成品长度和数量如下表所示,求最优下料方案(不考虑切口损失)<sup>[8]</sup>。

表 2 案例数据

序号	1	2	3	4	5
长度 $l_i$	512	321	128	247	290
数量 $d_i$	5	12	8	22	6

表 3 本文算法计算结果

序号	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	余料	利用率(%)
1	0	0	0	4	0	12	98.8
2	0	0	0	4	0	12	98.8
3	0	0	0	4	0	12	98.8
4	0	0	0	4	0	12	98.8
5	0	0	0	4	0	12	98.8
6	0	0	1	0	3	2	99.8
7	0	1	1	1	1	14	98.6
8	0	1	1	1	1	14	98.6
9	0	3	0	0	0	37	96.3
10	0	3	0	0	0	37	96.3
11	1	0	1	0	1	70	93.0
12	1	1	1	0	0	39	96.1
13	1	1	1	0	0	39	96.1
14	1	1	1	0	0	39	96.1
15	1	1	1	0	0	39	96.1

由计算结果可以看出,本文所用算法总共使用钢筋原材料 15 根,对原材料的综合利用率为 97.4%,使用 AB 分类法<sup>[9]</sup>进行计算,使用了 17 根原材料,对原材料的利用率为 85.9%;此外,用启发式算法<sup>[10]</sup>和模拟退火算法<sup>[11]</sup>均使用原材料共 16 根,对原材料的利用率为 91.3%。整体而言,本文所提出的钢筋下料方法效果最佳。

### 3.4 钢筋综合套裁方案经济比选

目前,市场上钢筋主流定尺长度一般有 12m 或 9m,不同定尺长度钢筋单价不同,如每吨 9m 定尺的钢筋材料价格比每吨 12m 定尺的价格高 50 ~ 100 元不等,因此考虑钢筋损耗的同时,还需综合考虑

降低损耗的经济效益,必须对 9m 和 12m 定尺的套裁方案结合用户输入的钢筋单价,进行经济比选、方案推荐,最大限度使钢筋成本降到最低。



图 5 经济比选结果

## 4 数控钢筋加工设备数据接口设计

钢筋综合套裁后确定的钢筋下料顺序最优方案以 Excel 格式输出保存,数据包包含切割所得的每根钢筋具体的使用标段、单位工程、楼层、构件名称、直径、钢筋大样图、单长、根数、总长和总重等有效信息,以便于技术人员和钢筋工随时查阅。



图 6 钢筋大样图

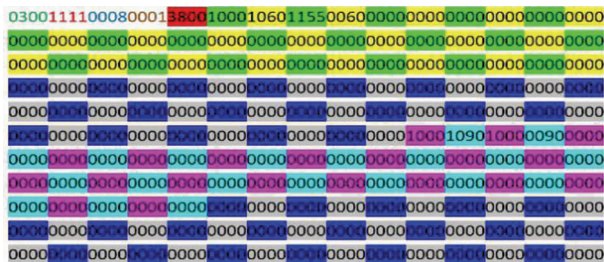


图 7 加工信息编码标准

要实现智能自动化加工,还需要将钢筋下料方案与数控钢筋加工设备无缝对接。目前市场上已有部份钢筋加工设备厂家设计研发了智能数控加工设备,但是不同厂家、不同设备接收的数据格式和数据传输方式各不相同,通过研究多个厂家所生产数控钢筋加工设备,分析底层数据运作机制,结合下料方案中钢筋加工信息的数据特点,我们采用了基于二维码技术的钢筋加工信息编码标准。

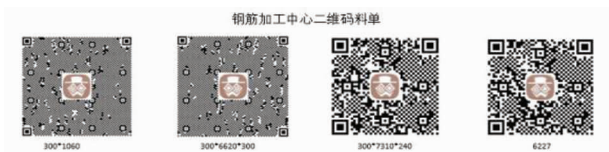
数据接口标准合计 660 个 0-9 纯数字字符,其中,首端 4 位绿色为图形标号,最大 300, 4 位红色数字字符代表加工数量, 4 位蓝色字符代表钢筋直



径, 4 位褐色代表加工类型, 4 位红色区域代表底边长度, 绿色区域代表左边钢筋段长度, 黄色区域代表左边角度, 紧邻蓝色为左边长度补偿, 灰色为左边角度补偿; 粉色区域为右边钢筋段长度, 蓝色区域为右角度, 紧邻蓝色为右边长度补偿, 灰色为右边角度补偿。



图 9 钢筋加工铭牌



工区综合楼

序号	型号	规格	直径	钢筋形状	计算公式	总根数	单根m	总长m	重量kg
G1	8位楼新1	Φ20	300		1470*(1330-60)*394	2	1.3	2.6	6.422
G2	1楼 上楼梯板	Φ20	300		300*40*(1340+1200-300-60)*394	2	7.22	14.44	55.667
G3	1楼 上楼梯板	Φ20	300		300*(20+18+1700+240)*20	2	7.88	15.7	77.559
G4	1楼 上楼梯板	Φ20	300		400*3075*(40200+400-512)*2	2	6.227	12.454	50.761



图 8 输出钢筋下料二维码并扫码加工

基于上述钢筋加工信息编码标准, 结合钢筋大样图, 通过计算机视觉技术, 提取钢筋大样图中的信息, 并按照顺序储存在编码中。结合预先设定的图形标号、加工数量、钢筋直径、加工类型等参数, 便可生成 660 位钢筋加工信息编码, 后将编码储存为二维码, 生成二维码料单, 钢筋数控加工设备通过扫描二维码实现钢筋自动加工, 也可将钢筋数据存储到云端数据库, 通过物联网技术与数控钢筋加工设备无缝对接, 供数控钢筋加工设备下载扫码加工。

## 5 钢筋加工铭牌设计

最后, 为便于钢筋成品的分类存放及统一配送管理, 实现钢筋加工配送精细化管理, 结合工程需求, 为系统开发了钢筋加工铭牌自动生成功能, 系统通过提取导入钢筋明细表中的钢筋型号、使用部位、编号、根数、大样图等信息, 以预定的格式批量导出钢筋加工铭牌。

## 6 应用效果分析

我们以北京北动车所施工进度相同的信号楼、运转整备综合楼及垃圾楼三座房屋为例, 通过对 HRP400Φ22 钢筋加工单构件组合和综合套裁后的钢筋损耗情况进行对比分析, 结果如表 4:

表 4 单构件钢筋套裁数据统计分析表

序号	1	2	3
建名	垃圾楼	信号楼	运转整备综合楼
钢筋设计用量(kg)	1 741	3 466	2 946
定尺长度 9m 钢筋损耗率(%)	9.822	8.971	7.7
定尺长度 9m 平均损耗率	8.831		
定尺长度 12m 钢筋损耗率(%)	6.353	3.054	0.749
定尺长度 12m 平均损耗率	3.385		
定尺长度 9m 钢筋成本(元)	8 110	15 995	13 405
定尺长度 12m 钢筋成本(元)	7 642	14 661	12 169
钢筋套裁最优成本合计(元)	34 454		

通过表 4 可知, 单构件套裁优化后钢筋平均最低损耗 3.385%, 优化效果比较明显; 在分析统计过程中, 我们综合考虑了钢筋采购单价及降低损耗率两项指标。

通过表 5 可知, 多构件钢筋综合套裁后, 钢筋损耗为 0.89%, 远小于单构件钢筋套裁损耗 3.385%, 说明构件钢筋综合套裁有效地降低了钢筋损耗率, 节省成本。

表 5 钢筋套裁数据统计分析对比表

序号	1	2	3
建名	垃圾楼	信号楼	运转整备综合楼
钢筋设计用量(kg)	1 741	3 466	2 946
单构件钢筋最优套裁损耗(%)		3.385	
多构件钢筋综合套裁损耗(%)		0.89	
单构件钢筋最优套裁成本(元)		34 454	
多构件钢筋综合套裁成本(元)		33 729	
与单构件套裁对比节省指标(元/t)		89	
与定额 4% 损耗对比节省指标(元/t)		111	

## 7 结论与展望

通过利用 BIM、二维码等前沿信息化技术,结合智能加工设备,彻底解决了现阶段钢筋工程中钢筋损耗严重和智能化水平低的问题,既提高了工作效率,又减少了钢筋浪费,使钢筋损耗率控制在 1% 以内,极大地节约了钢筋成本。

本研究现阶段主要以市场上最成熟的广联达钢筋软件为切入点,设计对应接口,后期随着 Revit、鲁班等软件针对钢筋翻样功能成熟后,会开放对应的 API,实现多软件、多表格、多格式的无缝对接;在优化综合套裁方面,引入机器学习技术,实现更加智能、更加优化的钢筋综合套裁;在智能加工方面,将完善数控设备扫码、无线网互联、云平台操控等功能,进一步实现满足工程要求的钢筋智能加工。

随着钢筋集中加工及配送技术不断发展,钢筋集中加工综合套裁在降低钢筋损耗,节省成本方面将有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [ 1 ] 滕淑润. 钢筋工程计量、下料与隐蔽验收一体化研究与应用[D]. 兰州交通大学,2014.
- [ 2 ] 王永合, 谢厚礼, 王金伟, 等. 建筑钢筋加工配送信息

化管理系统构建研究[J]. 绿色环保建材, 2017 (1):127.

- [ 3 ] 王辉, 明磊, 付俊, 等. 房建项目钢筋 BIM 智能翻样技术创新与实践[J]. 施工技术, 2019, 48(4):70-72.
- [ 4 ] 广联达. <https://www.glodon.com/index.html>
- [ 5 ] Bret J. Wagne. A genetic algorithm solution for one - dimensional bundled stock cutting[J]. EuropeanJournal of Operational Research, 1999, 117(2):368-381.
- [ 6 ] Chien-Tung Yang, Wei-Chu Weng. An improved tabu search approach with mixed objective function for one-dimensional cutting stock problems[J]. Advances in Engineering Software, 2006, 37:502-513.
- [ 7 ] Cui Yaodong. A CAN system for one-dimensional stock cutting[J]. Advances in Engineering Software, 2012, 47:7-16.
- [ 8 ] 魏凉良, 叶家玮. 一维下料问题的改进自适应遗传算法[J]华南理工大学学报(自然科学版), 2003, 31(6):26-30.
- [ 9 ] 林建良. 一维下料问题的 AB 分类法[J]. 计算机应用, 2009, 29(5):1461-1466.
- [ 10 ] 祝胜兰. 一维下料问题的优化算法研究[D]. 华中科技大学, 2013.
- [ 11 ] 张梦, 陈仕军, 李嘉宾, 等. 基于模拟退火算法的一维下料研究[J]. 计算机时代, 2017(12):1-4.

## Research on Intelligent Processing Technology of Reinforcement Based on BIM Technology

Hu Yong, Di Kemeng, Feng Rui

(Xi'an Railway Engineering Co., Ltd., China Railway Seventh Group, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** As an indispensable material for construction engineering, the reinforcement has always been the key point for construction enterprises to carry out refined management and realize cost reduction and efficiency increase. The study in this paper integrates the BIM technology, QR code and other cutting-edge information technologies with the digital control processing equipment of reinforcement, to develop an intelligent processing management system of reinforcement based on the BIM technology, realizing the BIM modeling, cutting optimization, and automatic cutting processing of reinforcement. The system not only improves the production efficiency, but also saves the cost of steel bars to the greatest extent.

**Key Words:** BIM Technology; QR Code; Reinforcement; Intelligent Processing