

文章编号: 1674—8247(2018)02—0001—04

## 组合桩结构设计软件的开发与应用

邱永平 张东卿 刘菀茹

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**组合桩结构兼有支挡、阻滑及承重的功能,近年来广泛应用于高填方、深路堑以及大型滑坡等不良地质的整治工程中。目前设计通常采用有限元软件进行结构分析、人工绘制施工图的方式,工作量大、效率较低、容易出错。针对这一现状,文章以 Visual Studio 为开发工具,借助 ANSYS 有限元软件,开发出了组合桩结构设计软件,实现了从建模、内力及配筋计算到钢筋图绘制及工程数量计算的一体化设计。软件应用于多个项目中,大幅提高设计效率的同时,还确保了设计的准确性,有效提升了组合桩结构的设计水平。

**关键词:**组合桩; 结构设计; 软件开发; Visual Studio; ANSYS

**中图分类号:**TP311.52      **文献标志码:**A

## Development and Application of Software for Structural Design of Composite Pile

QIU Yongping ZHANG Dongqing LIU Wanru

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The composite pile has the functions of support, slip-resistance and load – bearing. In recent years, it has been used in highfill, deep cutting and the treatment of unfavorable geological condition such as large-scale landslides. During the design, the FEA software is usually used for structural analysis, and the drawings are manually finished. This design mode has the problems of low efficiency and the mistakes are often made. To solve this problem, a structural design software for composite pile was developed with the help of Visual Studio and ANSYS, the whole design process including modeling, calculation of steel bars, drawing of reinforcing steel bar, and calculation of quantity could be achieved together. The software has been used in many projects, which greatly improves the design efficiency while ensuring the accuracy, and effectively improves the design level of composite pile structure.

**Key words:** composite pile; design of structures; develop of software; Visual Studio; ANSYS

在山区特别是西南山区铁路、公路、市政、水利等领域的基础设施建设中,由于地形艰险、地质条件复杂、高陡边坡众多,出现了很多高填方、深路堑、大型滑坡等工点,这类工点往往悬臂高、推力大、滑体深厚、不易加固处理,给工程设计和施工提出了较大挑战。经过多年探索,形成了一种由两根抗滑桩和一根横梁组成的组合桩结构如图 1 所示。该结构兼有承重、阻滑

及支挡功能,解决了陡坡高填路基存在的填筑体量大,导致差异沉降较大、高悬臂支挡结构大、抗力及水平变形控制困难等技术难题,并逐渐在工程中得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。

组合桩结构较为复杂,无法像单根抗滑桩一样直接采用理论公式进行内力求解,设计通常需要采用有限元软件<sup>[2]</sup>。常用的软件有 ANSYS、Midas、SAP2000

收稿日期:2017-12-06

作者简介:邱永平(1971-),男,高级工程师。

引文格式:邱永平,张东卿,刘菀茹. 组合桩结构设计软件的开发与应用[J]. 高速铁路技术,2018,9(2):1-4.

QIU Yongping, ZHANG Dongqing, LIU Wanru. Development and Application of Software for Structural Design of Composite Pile [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 1-4.

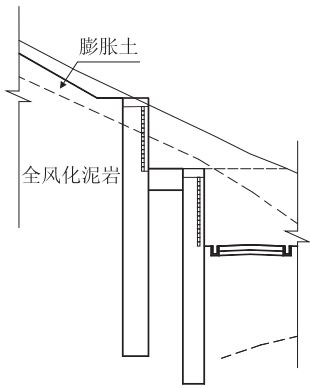


图 1 某深路堑组合桩

等,上述软件均为通用有限元软件,功能强大,但缺乏针对性,难以短时间掌握,对设计人员水平要求较高。除内力计算外,组合桩配筋及绘图工作均由手工完成,工作繁琐且工作量大,导致组合桩结构设计周期较长。为此,笔者借助 C# 语言<sup>[3-4]</sup>开发了组合桩结构设计软件(以下简称组合桩软件),实现了组合桩从建模、计算到配筋、绘图、计算工程量的一体化设计。

1 软件总体设计

1.1 软件开发思路

组合桩结构内力计算关系到设计成果的准确性,是本软件最重要的部分。该部分的开发可采用自己编写有限元模块或者调用商业有限元软件。考虑到商业有限元软件的成熟性,本文选用了调用商业有限元软件的方法。

前文提到组合桩结构分析可采用 ANSYS、Midas、SAP2000 等软件,其中 ANSYS 软件功能强大,单元类型丰富,可采用命令流的方式进行计算,还为用户提供了二次开发工具<sup>[5]</sup>,特别适合组合桩结构设计软件的开发,因此选定 ANSYS 软件作为有限元计算载体。ANSYS 软件在具备上述优点的同时也存在着不可忽视的缺点,主要是全英文界面、前后处理操作复杂等。因此组合桩软件将开发独立的前处理功能,用以完成结构建模并生成命令流文件。软件可在后台调用 ANSYS 并读取已生成的命令流文件,完成计算,将计算结果返回给组合桩软件。软件在获取计算结果后即可进行配筋计算,如配筋满足要求则可进行施工图设计。

1.2 功能模块

通过对组合桩结构现状的调研,笔者明确了软件需要结构建模、结构分析、配筋计算及施工图设计等功能。据此将软件划分为四大模块,软件的功能模块组织如图 2 所示。

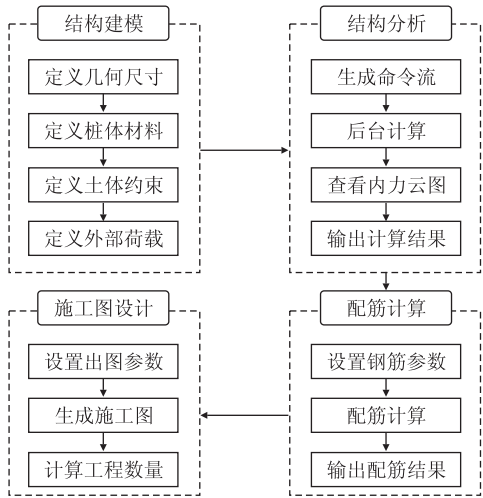


图 2 软件功能模块组织

2 软件功能

2.1 结构建模

结构建模具体定义几何尺寸、材料、约束及荷载。为便于用户使用,结构建模部分实现了数据联动,即数据的修改能立即反映在图形窗口内。

组合桩有 H 型、h 型和门型,软件可以通过调整主桩、副桩、横梁的相互关系,分别模拟上述两种结构。组合桩结构需要定义的几何尺寸包括:主桩的长、宽、高度,副桩的长、宽、高度,横梁的长、宽、高度,以及横梁所在高度如图 3 所示。

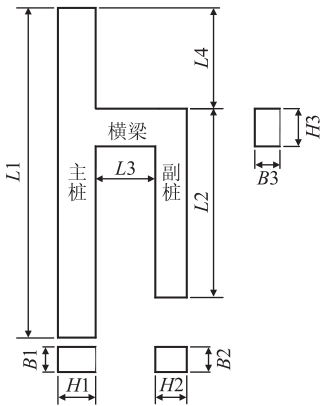


图 3 组合桩几何尺寸示意图

组合桩均采用混凝土浇筑而成,因此定义材料主要是选择混凝土的强度等级。软件根据用户选定的混凝土等级自动确定混凝土强度、模量等参数。

锚固段的地基抗力采用弹簧模拟。形状换算系数取 1,受力换算系数取  $(1 + 1/b)$ ,综合后计算宽度  $B = b + 1$ <sup>[6]</sup>。地基系数采用两种方法,m 法和 K 法;当岩层较完整或为硬黏土时,采用 K 法,呈矩形分布;当锚固地层为硬塑~半干硬的砂黏土或碎石类土及风化

破碎的岩块时,采用  $m$  法,地基系数呈三角型分布或梯形分布。桩底采用竖向铰接如图 4 所示。

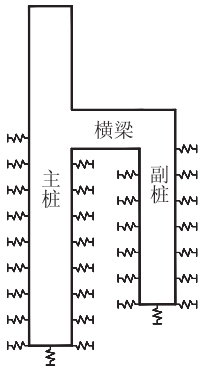


图 4 组合桩土体约束示意图

根据滑体性质,桩上推力分布可采用三角形、矩形或梯形。滑体为砾石类土或块石类土,采用三角形分布;滑体为粘性土,采用矩形分布,如图 5 所示;介于二者之间,采用梯形分布<sup>[7]</sup>。特殊情况,设计者可自定义荷载分布形式。

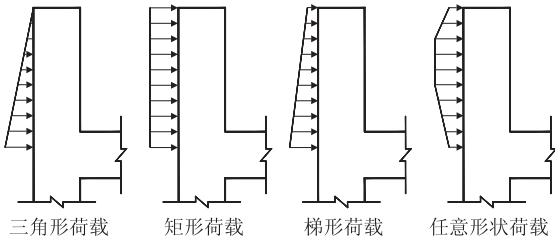


图 5 组合桩上荷载分布形式示意图

组合桩的应用场合不同,荷载作用位置也不同;软件将荷载作用位置区分为:主桩外侧、主桩内侧、副桩外侧

外侧和横梁顶面四种情况,如图 6 所示。通过上述四种位置的组合可以模拟实际工程遇到的各种工况,如巨型滑坡可单独使用主桩外侧加荷方式模拟,平坦地区软土路堤可采用主桩内侧加荷方式模拟,陡坡路堤可采用主桩内侧与横梁顶面同时加荷方式模拟。

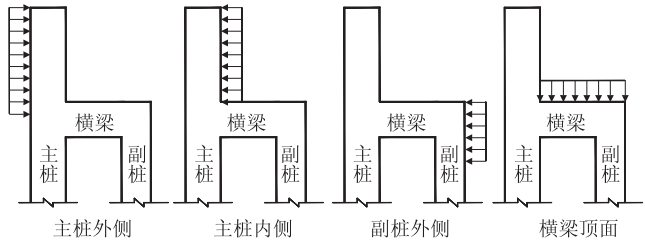


图 6 组合桩上荷载作用位置示意图

2.2 结构分析及结果查看

组合桩软件根据用户已输入的几何尺寸、材料、荷载及约束等信息,根据 ANSYS 软件的格式要求,自动生成命令流文件,用户可查看或修改已生成的命令流文件。为模拟组合桩的受力特性采用 BEAM3 梁单元模拟桩和横梁,采用 COMBIN14 单元模拟土弹簧作用。

在用户发出结构分析指令后,组合桩软件采用批处理的方式在后台自动调用 ANSYS 软件进行结构分析计算,计算完成后将内力位移等数据自动保存到指定位置,并向用户发出计算完成的提示。

在调用 ANSYS 进行结构分析时,实际上已经完成了后处理过程,获取了各单元的内力、变形以及相应的内力云图,并保存到指定位置。用户可直接在软件界面上查看内力云图及变形等结果,如图 7 所示,也可以

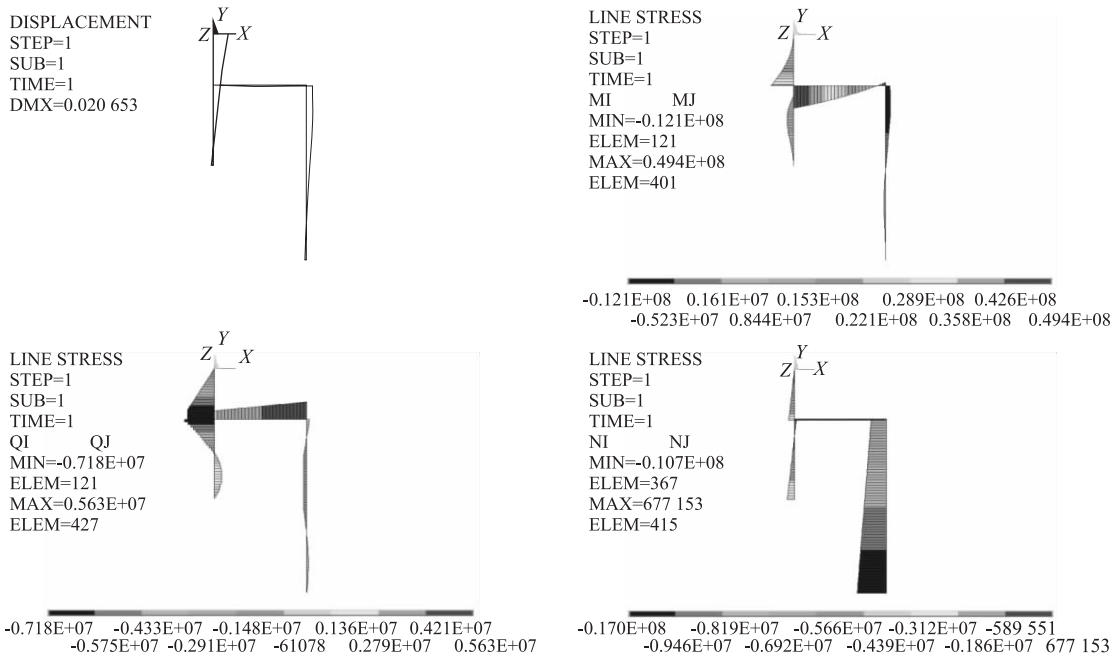


图 7 组合桩结构计算结果显示窗口

列表的形式显示内力及变形数值。除此之外,软件还按照规范要求,提供了侧壁容许应力验算功能。

2.3 配筋计算及施工图设计

在进行配筋计算和绘制施工图之前,要先指定相应的计算参数和绘图参数。计算参数包括:荷载分项系数、混凝土强度、钢筋强度、直径、保护层厚度、钢筋间距等,绘图参数包括图幅、绘图比例等。

有限元模块计算完成后,软件可自动调取内力文件,从中读取弯矩、剪力及轴力,并分别针对主桩、副桩和横梁按照规范<sup>[8]</sup>进行抗弯、抗剪计算,如图8所示。

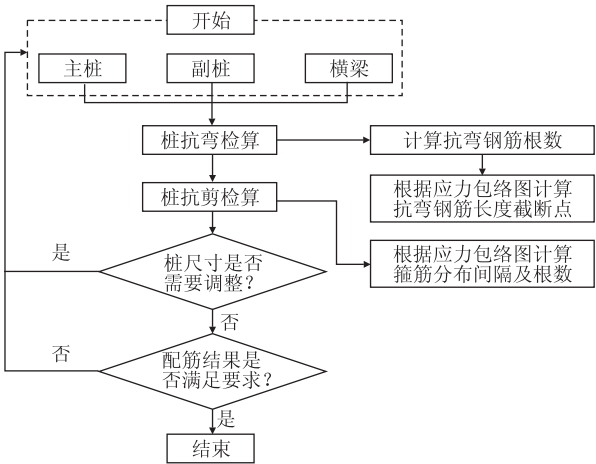


图8 组合桩结构配筋计算流程图

如手工绘制组合桩结构配筋图,过程繁琐且容易出错。本文所介绍的软件包含绘图模块,能够根据配筋计算结果自动绘制结构图,并完成工程数量计算。软件生成的结构图包括主桩、副桩、横梁三部分,每部分图纸均包括桩或梁的正面图、侧面图、横截面图、主筋布置图、钢筋详图及工程数量表等,所涉及的钢筋保护层厚度、间距、锚固长度等均满足现行规范要求,相关标注均达到施工图精度。结构图生成流程如图9所示。

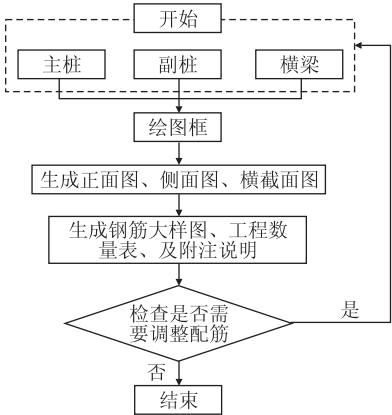


图9 组合桩结构图生成流程

2.4 其他功能

由于在进行配筋计算时,主桩、副桩及横梁时单独进行的,因此在组合桩节点处难免存在钢筋碰撞的问题,而且由于节点处截面有限,钢筋繁多,实际施工时难以调整。为此软件采用三维技术实现了组合桩结构内部钢筋位置碰撞检查功能,提高了设计质量,为施工提供了便捷条件,如图10所示。

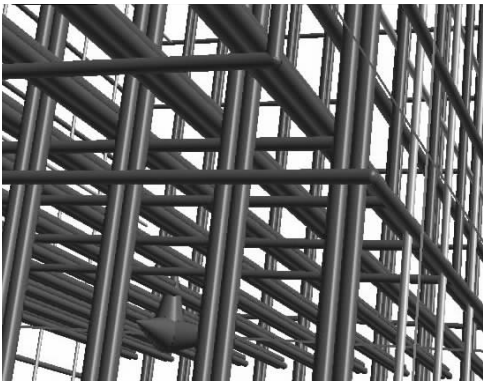


图10 组合桩钢筋碰撞检查

此外,软件还尝试了组合桩BIM设计,并制定了专用接口,为下一步深入开展复杂工点支挡结构的BIM设计奠定了基础。

3 软件效率分析

以某深路堑组合桩结构为例,分别采用传统方法和本文介绍的软件进行设计,所需时间如1表所示。由表1可知,采用本文介绍的软件,可节省了90%以上的时间,工作效率大幅提高。在实际生产中,一旦出现方案变化,只需简单修改相应参数,再次运行软件即可,使用该软件的优势将更加明显。

表1 软件方法与传统方法效率对比

计算方法	结构建模	结构分析	配筋计算	绘图	合计
传统方法	2 d	1 d	2 d	3 d	10 d
软件方法	10 min	5 min	10 min	5 min	30 min

4 结束语

伴随着我国铁路、公路、市政、水利等基础设施的快速发展,组合桩越来越多得应用于边坡加固,滑坡、岩堆等不良地质的整治工程中。传统的设计方法工作量大、耗时长,且对设计者要求较高、容易出错,因此笔者对组合桩结构的自动化设计进行了研究,开发出了组合桩结构设计软件,可完成H型、h型、门型等多种组合桩结构从建模、内力及配筋计算到钢筋图绘制及工程数量计算一体化设计,设计效率大幅提高。目前

(下转第18页)

## 5 结论

(1)通过对焦柳线车载 GPR 数据处理表明,本文提出的数据处理方法能够显著提升数据的可视性,并能快速获取全线铁路路基的道砟厚度、各种路基病害包括下沉、翻浆冒泥和道床含水等信息。

(2)在去背景中选取背景时应避免将桥梁、设备等影响较大路段纳入,否则会在一定程度上掩盖目标信息。

(3)文中提出的二维水平低通滤波 HFL 对于消除轨枕的影响,效果理想,图像明显趋于平缓,可视性增强。

(4)既有线路基病害检测的车载 GPR 数据处理方法,对高速铁路有砟轨道路基病害检测有借鉴意义。

(5)车载 GPR 获取的大量数据对于今后铁路路基“大数据”工程的建设有着重要意义<sup>[6]</sup>。

## 参考文献:

- [1] Sussmann T. Application of Ground-penetrating Radar to Railway

Track Substructure Maintenance Management[M]. 1999.

- [2] Silvest M, Nurmikolu A, Wiljanen B, et al. An Inspection of Railway Ballast Quality Using Ground Penetrating Radar in Finland [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail & Rapid Transit, 2010, 1(5):1-7.
- [3] Khakiev Z, Shapovalov V, Kruglikov A, et al. Investigation of Long Term Moisture Changes in Trackbed Using GPR [J]. Journal of Applied Geophysics, 2014, 110(1):1-4.
- [4] 咎月稳,张安学,小田义野. 铁路路基状态检查车的研制及应用 [J]. 路基工程,2007,25(5):30-31.
- ZAN Yuewen, ZHANG Anxue, XIAOTIAN Yiye. Development and Application of Railway Subgrade Inspection Vehicle [J]. Subgrade Engineering, 2007,25(5):30-31.
- [5] TB 10082-2017 铁路轨道设计规范 [S].
- TB 10082-2017 Design Specifications for Railway Track [S].
- [6] 邱永平,张东卿,刘菀茹. “大数据”在铁路路基工程设计中的应用探讨 [J]. 高速铁路技术,2017,8(3):16-19.
- Qiu Yongping, Zhang Dongqing, Liu Wanru. Discussion on the Application of Big Data in Railway Subgrade Engineering Design [J]. High Speed Railway Technology, 2017,8(3):16-19.

(编辑:车晓娟 白雪)

(上接第4页)

软件已经应用于成兰线、厦深线等多个项目,在节约人力资源、提升效率的同时,还有效确保了设计质量,具有明显的经济及社会效益。

## 参考文献:

- [1] 欧明喜. h 型抗滑桩力学机理及其工程应用研究 [D]. 重庆:重庆大学,2012.
- OU Mingxi. The Study on Mechanical Mechanism of H-type Anti-slide Piles and Its Engineering Applications [D]. Chongqing: Chongqing University,2012.
- [2] 柳治国. ANSYS 在 h 形抗滑桩设计中的应用 [J]. 公路工程, 2013,38(3):144-154.
- LIU Zhiguo. Application of ANSYS on the Design of H Form Anti-slide Pile [J]. Highway Engineering,2013,38(3):144-154.
- [3] Christian Nagel(美),Bill Evjen(美). C#高级编程 [M]. 北京:清华大学出版社,2010.
- Christian Nagel, Bill Evjen. C# Advanced Programming [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.

- [4] 李冠亿. 深入浅出 AutoCAD. NET 二次开发 [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- LI Guanyi. Secondary Development of AutoCAD. NET [M]. Beijing: China Building Industry Press,2012.
- [5] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析 [M]. 北京:人民交通出版社, 2007.
- WANG Xinmin. ANSYS numerical analysis of structures [M]. Beijing:China Communications Press,2007.
- [6] 李海光. 新型支挡结构设计工程实例 [M]. 北京:人民交通出版社,2010.
- LI Haiguang. Design and Exemple of New Retaining Structure. [M]. Beijing:China Communications Press,2010.
- [7] TB 10025-2006 铁路路基支挡结构设计规范 [S].
- TB 10025-2006 Code for Design of Retaining Structure of Railway Subgrade [S].
- [8] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范 [S].
- GB 50010-2010 Code for Design of Concrete Structure [S].

(编辑:赵立红 苏玲梅)