

面向对象的铁路路基加固设计系统集成与实现

付成华¹, 周洪波²

(1. 西华大学能源与环境学院, 四川 成都 610039; 2. 二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051)

摘要 基于面向对象技术、可视化技术和数据库管理技术集成开发了铁路路基加固设计系统, 系统由数据库管理、常规设计计算、有限元计算和反馈分析 4 个模块组成, 对计算过程中的大量数据信息进行分类管理; 有限元法计算与分层总和法互补, 能实现天然地基和复合地基的模拟计算, 解决一些常规设计计算方法难以解决的问题, 提高计算精度; 基于神经网络和有限元的反馈分析既可实现路基土层力学参数的反演, 提高铁路路基加固设计计算的精确性, 亦可实现对路基固结沉降的预报。应用结果表明, 铁路路基加固设计系统改进了路基加固设计的常规计算模式, 整个计算过程通过用户和界面交互完成, 可保证路基加固设计的效率和质量, 具有较强的实用性。

关键词 铁路路基; 加固设计; 面向对象; 可视化; 数据库管理

中图分类号 :U416 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)04-0070-04

Development and implementation of object-oriented railway subgrade strengthening design system //FU Cheng-hua¹, ZHOU Hong-bo² (1. School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu 610039, China; 2. Ertan Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract : In this study, a railway subgrade strengthening design system was developed based on object-oriented, visualization, and database management technology. The system consists of four modules (the database management module, the conventional design calculation module, the finite element calculation module, and the feedback analysis module) and can be used to effectively classify and manage the mass data during the calculation process. The finite element method complemented the layer-wise summation method in this study. These two methods can realize simulations of the natural foundation and composite foundation, solve problems that cannot be settled by conventional methods, and improve calculation accuracy. The feedback analysis based on the neural network method and the finite element method can not only achieve the inversion of the subgrade soil mechanic parameters and improve the calculation accuracy of the railway subgrade reinforcement design, but also predict the consolidation settlement of the subgrade. The application results show that the railway subgrade design system improves the conventional calculation model. The whole calculation process is completed by the user-computer interface which can guarantee the efficiency and quality of the subgrade reinforcement design. The results also indicate that the system has great practicality.

Key words : railway subgrade; reinforcement design; object-oriented; visualization; database management

近年来,我国交通运输事业发展迅速,运营速度的提高对路基沉降变形控制的要求也越来越高。传统的路基沉降计算模式不仅速度较慢、容易出错,而且传统的路基沉降计算方法在计算精度上也存在一定的局限性^[1]。国内针对建筑地基沉降计算的软件很多,但专门用于铁路或公路路基的沉降计算软件比较少,路基处理中的有些问题和工程措施只能在计算中粗略地考虑或用经验加以弥补。随着客运专线和高速公路的快速发展,现有的路基沉降变形计算程序越来越难以满足实际生产中对计算精度和效

率的要求,因此,改变计算模式,改进计算方法,集成开发一套具有高效和高技术起点的系统,为设计生产提供有力的技术支撑势在必行。

笔者基于面向对象技术、可视化技术和数据库管理技术集成开发了铁路路基加固设计系统。整个系统采用模块化设计,包括数据库管理模块、常规设计计算模块、有限元计算模块和反馈分析模块,既有利于软件的开发和维护,又可极大地方便用户,减少出错的可能性^[2-4]。系统改进了铁路路基加固设计的常规计算模式,丰富了计算方法,对计算过程中大

基金项目: 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金(2011B087); 西华大学流体及动力机械省部共建教育部重点实验室学术成果培育项目(SBZDPY-11-9)

作者简介: 付成华(1978—),女,湖北襄阳人,副教授,博士,主要从事岩土工程稳定及结构可靠性分析研究。E-mail: fuchenghua@sina.com

· 70 · 水利水电科技进展 2012 33(4) Tel: 025-83786335 E-mail: jz@hhu.edu.cn http://hkb.hhu.edu.cn

量数据信息进行有效分类管理,整个计算过程通过用户和界面交互完成,方便快捷、实用。

1 系统结构及功能

系统采用 VB 语言编制,其中计算功能通过集成调用程序实现。每个模块相对独立,具有特定功能。模块又由一个或多个子模块组成,模块间存在一定联系,由上一层模块或主控模块调用,形成一个有机整体,模块功能结构如图 1 所示。

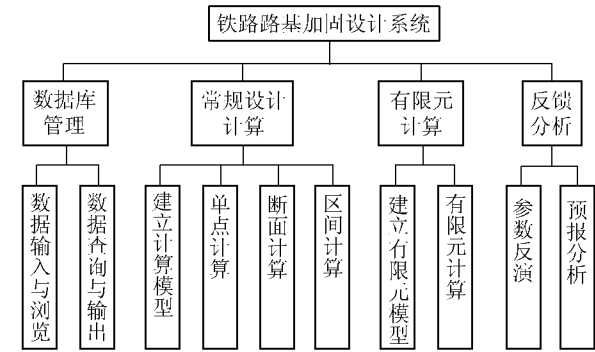


图 1 系统功能模块

a. 数据库管理模块:对工程信息(线路、地质、材料参数、实测沉降等)计算数据进行管理,可实现数据输入与浏览、图形浏览与处理、信息查询、表格输出、文件转换等功能。

b. 常规设计计算模块:分解、提取设计资料,自动建立计算模型,根据计算模型和实际需要,选择计算模式进行路基加固的常规设计计算,并输出计算结果。

c. 有限元计算模块:对计算域进行有限元网格的自动剖分,施加约束条件和荷载,有限元计算可得路基计算域的应力和位移,并可给出不同时段各地层的固结度和关键部位的沉降等信息,与常规设计计算形成互补。

d. 反馈分析模块:根据实测沉降值反演路基土层主要力学参数,再由反演所得参数进行正分析,提高路基加固设计计算的精度,对后期路基沉降变形进行预报。

2 系统的实现

2.1 常规设计计算

2.1.1 计算方法

铁路路基加固常规计算采用分层总和法,将地基沉降计算深度内的土层按土质、应力变化情况和基础大小划分为若干分层,分别计算各分层的压缩量,然后求其总和得出地基沉降量^[5]。分层总和法简单易行,对参数的要求不高,积累了丰富的实践经验。本系统常规设计计算中能考虑一些常用的工程

措施,可进行天然地基和复合地基的沉降计算,能实现整个断面从左至右、从上至下的沉降计算,也能自动从路基的左侧坡脚开始对某个间隔宽度的点进行沉降计算,在每个点的计算中,亦能从上至下按桩长每次递增一定深度进行沉降计算,给出横向不同点、竖向不同桩长的计算结果,此外,能考虑堆载预压措施,可根据需要进行地基承载力的宽深修正,根据土工试验资料提供的 $e-p$ 曲线修正各土层的压缩模量,提高计算精度。

2.1.2 计算模式

铁路路基沉降计算的步骤为“选取典型断面→确定计算点→量取几何参数→输入地质参数→确定工程措施→输入计算参数→计算分析→输出计算结果”,计算模式单一,针对实际路基工程需要进行大量重复性工作,且数据量大,计算过程容易出错。

系统可自动生成线路整个区间的计算模型,无需用户重复输入地质参数和几何参数,保证表格与图形的准确性和质量,极大地提高了工作效率。常规设计计算模块中考虑不同的条件设置了单点计算、断面计算和区间计算 3 种计算模式,将路基沉降计算的步骤简化为“选择计算类型→从数据库中提取计算模型→设置计算参数→计算分析→结果显示”,用户可根据实际需要选择计算模式,计算过程中的大量数据通过数据库管理,减少了重复性工作和出错的可能性,解决了单一断面计算模式与紧迫工期间的矛盾,提高了计算效率。将铁路路基加固设计系统应用于成绵乐铁路的沉降计算,其中 DK432+100 断面基本信息如图 2 所示,天然路基沉降计算结果如图 3 所示,承载力复核结果如图 4 所示。



图 2 断面基本信息显示

2.2 有限元法计算

常规设计计算采用的分层总和法有其优势亦有一定的缺陷,如附加应力的计算基于 Boussinesq 理论(假定路基是均质的弹性体),与实际情况存在一定的误差,计算无法给出各个地层在不同时段的沉降完成百分比(目前生产设计中仍然采用经验法确

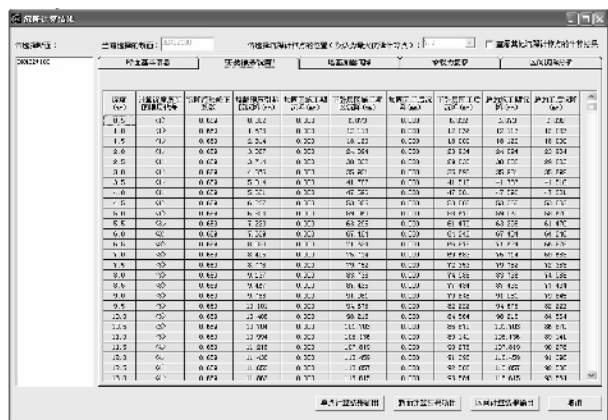


图3 天然路基沉降计算结果显示



图4 承载力复核结果显示

定),无法预测合适的加载时间等^[6]。常规设计计算方法对于一般的简单路基工程很适用,但随着客运专线和高速公路的发展,对路基沉降变形控制的要求越来越高^[7-8],如铁路无砟轨道线路的工后沉降控制标准为毫米级,这样,当前常规设计计算的精度与实际工程建设中的沉降控制标准之间的矛盾也将越来越突出,因此系统引入有限元计算模块,实现与常规设计计算的互补。

有限元计算模块通过集成网格自动剖分程序、以土体 Bingham 黏塑性应变模型和弹黏塑性 Biot 固结理论为基础的有限元程序^[9]实现。考虑土体固结过程中孔隙水压力消散和土骨架变形之间的耦合作用,可以模拟天然路基和复合路基,计算路基应力场和位移场,与常规设计计算的结果进行对比分析,可以计算各土层在不同时段的固结度以及工后沉降^[7]等,解决一些常规设计计算方法难以解决的问题,便于在生产设计中直接与规范标准进行比较,与常规设计计算实现互补。另外,有限单元法易于与智能反馈分析方法结合进行岩土体力学参数的反演和路基沉降的预报,提高设计计算的精度。

系统中有限元法计算的具体步骤如下：

a. 建立有限元模型。从数据库中提取需进行有限元计算的断面冠号和里程,以及相关的参数信

息,选取合理的计算范围生成计算断面模型,自动剖分有限元网格并输出计算所需的单元节点信息。亦可以借助其他商业软件(如 ANSYS)建模,直接提取有限元网格数据。

b. 有限元计算。在有限元模型上施加约束条件和荷载,进行有限元计算。

c. 计算结果显示。通过有限元计算除了得出计算域的应力场、位移场外,还可给出各个地层铺轨时的固结度以及路基面上各点的工后沉降。

对成绵乐铁路 DK432 + 100 断面按照上述步骤进行有限元计算,其中路基各层的固结度及路基面各结点的工后沉降如图 5 所示。



图 5 有限元计算结果

2.3 反馈分析

根据实测沉降反演确定的路基土层主要力学参数,能反映岩土体的力学性质及各种因素的综合作用。利用这些反演确定的力学参数进行计算,既可以提高设计计算的精度^[10-11],又可对路基工程的后
期固结沉降进行预报,进一步指导设计和施工。

系统的反馈分析包括参数反演和沉降预报两部分。具体实现步骤如下：

a. 根据经验和实际断面资料分析,确定来自一个或多个土层的待反演参数的范围和水平数,采用正交设计或均匀设计组合待反演参数。

b. 针对不同的参数组合分别进行有限元计算, 将计算所得测点沉降作为神经网络的输入, 这些参数组合作为神经网络的输出, 组建神经网络的训练样本, 输入神经网络训练直至满足精度要求。

c. 将实测沉降输入训练好的神经网络,神经网络的输出即为待反演力学参数的反演结果。

d. 根据反演确定的力学参数再对天然路基或复合路基进行有限元计算,得到不同时间段的沉降,实现路基后期固结沉降的预报。

根据上述步骤反演成绵乐铁路 DK432+100 断

面土层 1 的弹性模量 结果为 3.49 MPa(图 6),与建
议值 3.5 MPa 间误差很小 ,效果较好。进一步预报
沉降如图 7 所示。



图 6 反演计算结果

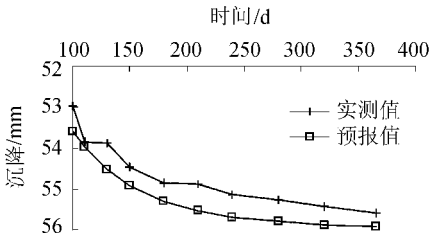


图 7 测点沉降预报值与实测值对比

3 系统特点

铁路路基加固设计系统的流程为“ 数据输入→
模型建立→设计计算→成果显示 ”。该系统具有以
下特点：

a. 计算模式先进 ,计算效率高。将传统路基加
固设计计算模式改进为面向对象交互设计计算模
式 ,设计计算流程通过界面来完成 ,将常规设计传统
单一断面计算模式改进为多方式多途径的计算模
式 ,简化了设计流程 ,可方便快捷地提供计算结果 ,
有利于设计者做出合理、正确、经济的工程方案 ,提
高设计效率和设计质量。

b. 技术起点高 ,计算方法多样。系统集成采用
了面向对象技术和数据库管理技术 ,同时实现了与
Fortran ,Excel ,AutoCAD ,ANSYS 等常用软件的连接 ;
设计计算采用了常规计算方法 ,亦采用了广泛应用的
有限元法 ,采用神经网络方法反演确定路基土层
主要力学参数。

c. 简单、灵活、实用。整个设计计算通过界面
完成 ,与常用软件无缝连接 ,易于掌握和操作。有限
元模型的建立可通过自编程序自动离散 ,也可以借
助其他商业软件(如 ANSYS)建模后直接导入。系统
采用模块化设计 ,各模块具有独立完整的流程 ,既可
独立又可与其他模块关联 ,易于维护与扩充。

4 结 语

铁路路基加固设计系统采用面向对象技术和数

据库管理技术实现铁路路基工程的常规设计计算、
有限元法和反馈分析功能 ,计算模式、方法多样 ,
计算效率高 ,且简单、灵活 ,可保证路基加固设计
工作的效率与质量 ,为路基加固设计提供新的计算
理论、方法和工具 ,又可为相关的研究提供支撑 ,具
有广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 陈善雄 ,王小刚 ,姜领发 ,等 . 铁路客运专线路基面沉降
特征与工程意义[J]. 岩土力学 , 2010 ,31(3) :702-706 .
[2] 付成华 ,秦卫星 ,陈胜宏 ,等 . 地下洞室岩体力学参数反
演软件系统开发与应用[J]. 岩土力学 , 2007 ,28(3) :577-
581 .
[3] 秦小华 ,付成华 ,魏斌 ,等 . 地下洞室施工监测预报信息
系统研究[J]. 武汉大学学报 :工学版 ,2006 ,39(1) :30-
34 .
[4] 陈善民 ,黄博 . 面向对象方法在 biot 固结有限元程序中的
应用[J]. 岩土力学 , 2002 ,23(4) :465-469 .
[5] 钱家欢 ,殷宗泽 . 土工原理与计算[M]. 2 版 . 北京 :中国
水利水电出版社 ,1996 :199-220 .
[6] 徐金明 ,汤永净 . 分层总和法计算沉降的几点改进[J].
岩土力学 , 2003 ,24(4) :518-521 .
[7] 王志红 . 无碴轨道铁路路基工后沉降控制浅析[J]. 长沙
铁道学院学报 :社会科学版 ,2008 ,9(1) :213-214 .
[8] 刘俊飞 ,赵国堂 . 铁路路基沉降评估中预测模型的选择
[J]. 中国铁道科学 ,2010(11) :64-68 .
[9] 周刚 ,傅少君 ,侯建国 . 软粘土路基弹粘塑性比奥固结
理论的有限元分析[J]. 长江科学院院报 ,2004 ,21(1) :
18-21 .
[10] 龚晓南 . 土工计算机分析[M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,
2000 :64-68 .
[11] 李运江 . 高速公路路基综合变形模量的有限元反演分
析[J]. 路基工程 ,2007(1) :10-11 .

(收稿日期 2011-10-30 编辑 熊水斌)

