

文章编号: 1000-7598-(2006)04-0633-04

基于 GIS 的重大工程地基基础模块设计的关键问题研究

陈 恒¹, 周翠英^{1,2}, 何 兴³, 黄显艺², 董立国¹

(1. 中山大学 应用力学与工程系地下工程与信息技术研究中心, 广州 510275;

2. 中山大学规划设计研究院 岩土工程研究所, 广州 510275; 3. 中山大学 地球科学系, 广州 510275)

摘 要: 基于 GIS (geographical information system) 平台开发地基基础设计计算模块是重大工程信息化管理系统的重要研究内容之一, 它可以有效利用数据库的动态数据, 提高设计计算的效率, 从而为工程的设计施工提供技术支撑。研究以岩土力学知识及相关行业设计规范为基础, 以 MAPGIS 地理信息系统为开发平台, 采用数据库技术、C++ 编程技术等信息技术, 探讨了桩基设计、复合地基设计、洞室围岩支护设计以及边坡加固设计计算的若干关键问题与可视化实现。该模块可自动调用动态数据库的数据对桩基、复合地基、洞室支护等进行设计计算, 对边坡稳定性问题进行分析; 并可供数据存储及查询。结合广东省内的重大工程——东深供水改造工程的 GIS 系统开发, 提出了地基基础模块的功能设计与实现方法, 阐述了模块设计中的几个关键问题, 将研究结果应用于该工程中, 取得了较好的效果。

关 键 词: 重大工程; GIS; 地基基础设计; 模块; 关键问题; 应用

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

Research on some key problems of foundation design module based on GIS

CHEN Heng¹, ZHOU Cui-ying^{1,2}, HE Xing³, HUANG Xian-yi², DONG Li-guo¹

(1. Research Centre of Underground Engineering and Information Technology, Department of Applied Mechanics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Department of Earth Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Development of the design and calculation module of foundations based on GIS platform is one of the important contents of information management system of major projects. It can use the time-depended renewed dynamic data from the database efficiently to improve the efficiency of design and calculation and can provide a technical support for the design and construction of projects. On the basis of rock and soil mechanics and the designing standard of related specialty, by taking the MAPGIS as a developed platform, the main point is focused on some key problems and their visualization technologies such as designs of piles, composite foundations of soft clay, supporting of surrounding rocks of tunnels as well as slope reinforcement by combining with database technology and C++ program technology etc.. The module which is built up by these technologies can automatically transfer the data from the database to calculate and design for piles, composite foundation and supporting of tunnels, and also to give an analysis of slope stability; furthermore, to provide a function of memory and inquiring of data. By associating with the development of underground environmental information system in a major project, Water Supply Reconstruction Project from Dongguan to Shenzhen of Guangdong Province in China, this paper is focused on the details of function design and realization methods as well as their application to the major project. The research results show that developed module in the GIS is proved to be effective.

Key words: major project; GIS; foundation design; module; key problems; application

1 引 言

地基基础设计计算是岩土工程的重要研究方面

之一, 需要解决的问题包括桩基、复合地基、洞室的设计计算以及边坡设计及稳定性的分析等, 一般都需要依据一定的行业规范进行大量繁琐的计

收稿日期: 2003-12-10 修改稿收到日期: 2004-03-31

基金项目: 广东省科技计划项目 (No. 2004B10101002); 广东省重大科技攻关十五专项 (No. 03188); 广东省计委项目: 东深供水改造工程建设总指挥部委托 (No. DSGZ-KJ-042, No. DSGZ-KJ-043) 资助。

作者简介: 陈恒, 男, 1979 年生, 工程力学专业研究生博士生, 主要从事岩土力学方面研究。通讯联系人: 周翠英, E-mail: eeszczy@zsu.edu.cn

算。随着计算机及信息技术的普及,出现了一些专业的计算机地基基础设计软件,如理正、曙光等,为工程设计提供了便捷。但多数软件专业性较强,与工程的数据关联性不强,对即时调用数据库的数据进行设计计算带来困难,利用效率有待提高,因此开发更加功能更为完备、效率更高,且易操作的地基基础辅助设计系统具有重要实际意义。

地基基础设计计算模块是一个依据重大工程,以岩土工程专业理论和工程经验为基础,依照行业规范,结合大型 GIS 平台、数据库技术、面向对象开发技术,研发的地基基础设计计算工具,主要包括了重大工程中常见的桩基、复合桩基、洞室及边坡等工程的设计计算、方案存储、可视化分析等功能。本文讨论了基于 GIS 平台,开发地基基础设计模块的主要内容、功能特点与设计实现中的关键技术问题。此模块作为地下环境信息系统的重要组成部分应用于广东省重大工程——东深供水改造工程中,取得了良好效果。

2 地基基础计算模块设计内容

2.1 桩基设计计算

针对桩基设计主要内容,首先对多种基本设计信息和方案进行存储,并依据《建筑地基处理设计规范》^[1]及《建筑地基处理技术规范》^[2]对桩基设计的主要问题计算,包括单桩竖向承载力及沉降计算、群桩效应影响下基桩竖向承载力计算、单桩水平承载力计算、单桩综合载荷作用下截面弯矩剪力及水平变形计算等。

2.2 复合地基设计计算

针对碎石桩软土复合地基设计中的沉降及变形控制等主要问题,提供基本设计数据的存储,并依据《建筑地基处理技术规范》^[2]及《建筑地基基础设计规范》^[3]等计算碎石桩复合地基沉降量及承载力,绘制 $Q-S$ 曲线,实现复合地基工程设计计算。

2.3 洞室设计计算

依据实际工程资料,对隧洞围岩进行分类,存储相关参数信息,并对不同围岩情况和衬砌形式下的设计方案进行 GIS 存储,供用户调用查询;根据《水工隧洞设计规范》^[4],进行围岩压力计算、外水压力计算和衬砌形式选择。

2.4 边坡稳定性分析

结合 GIS 技术及计算机图形技术,自主构造边坡,图形显示边坡地形特征及土层分布、水位分布等;依据边坡土层力学参数、荷载信息及计算参数,计算边坡安全系数,并模拟边坡最危险滑动面。

3 地基基础计算模块设计实现

(1) 图形库建设 将实际工程中桩基和碎石桩复合地基平面布置图、隧洞衬砌图、配筋图等重要设计图件入库保存,建立图件索引。

(2) 空间属性数据存储 建立空间属性数据库,对工程场地土层物理力学指标、桩基设计基本参数、复合地基设计数据、洞室设计参数以及它们的分析计算结果进行规范化后,保存入空间属性数据库,并提供数据修改、添加、删除、更新数据的工具。

(3) 数据管理及操作连接 根据工程名称定位图形索引,调用相关图形文件;以标准 SQL 语言为基础,用 C++ Build 设计操作界面,建立模块数据库连接,提供数据库管理工具。

(4) 规范化设计计算 根据用户输入的基本勘探信息或经验参数,依据岩土工程界国标规范,进行桩基、复合地基、洞室围岩的设计计算,并与工程实际进行比较。

(5) 图形分析 依据静载试验资料、桩基设计计算结果及边坡稳定性计算结果绘制 $Q-S$ 曲线、单桩挠曲曲线及边坡最危险滑动面曲线等分析曲线,直观地反映计算成果。

4 地基基础计算模块设计的关键问题

4.1 空间属性数据库搜索

对已有的大量的地基基础设计资料进行保存和调用,同时对新的设计数据进行保存、编辑,建立空间属性数据库,并根据用户需求,对数据进行编辑调用是本模块开发设计的关键问题之一。本模块使用 SQL Server 2000 建立空间属性数据库,并采用数据库双重优化搜索技术,首先搜寻主关键字段,根据主关键字段定位的数据记录属性值确定子关键字段,再根据子关键字段搜寻相关数据表获得所需数据,建立起数据库与计算参数一一对应的关系。

4.2 m 法计算单桩水平位移及截面弯矩剪力

桩在综合载荷作用下,桩身截面的力学指标的确定一直是工程界难以解决的问题之一,本模块根据文克勒假设,建立桩身弹性曲线微分方程^[5]:

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} = -m_y x b_0 \quad (1)$$

式中 EI 为桩身抗弯刚度; x 为桩身截面水平位移; y 为桩身埋深; m 为地基土水平抗力系数的比例常数; b_0 为桩截面计算宽度。

以幂级数^[6]求解式(1),并结合结构力学及材料

力学相关理论,求得桩顶转角及桩顶位移,最后得到桩截面弯矩、剪力、位移随桩身埋深变化规律,如式(2),再根据结果绘制桩身截面弯矩图、剪力图及挠曲线。

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 A_1 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_1 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_1 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_1; \\ \frac{M}{\alpha^2 EI} &= x_0 A_3 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_3 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_3 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_3; \\ \frac{Q}{\alpha^3 EI} &= x_0 A_4 + \frac{\varphi_0}{\alpha} B_4 + \frac{M_0}{\alpha^2 EI} C_4 + \frac{Q_0}{\alpha^3 EI} D_4 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 M 为截面弯矩; Q 为截面剪力; x_0 为桩顶位移, φ_0 为桩顶转角; M_0 为桩基弯矩; Q_0 为桩顶水平载荷, $A_1, B_1, \dots, A_4, B_4$ 为与桩身换算深度相关的参数。

4.3 随机优化滑动面搜索与边坡稳定性问题

在边坡稳定性分析中,求“边坡最危险滑动面位置”及进行边坡稳定性系数计算是最主要的研究内容^[7]。本模块首先根据用户需求绘制边坡边界线、水位线、土层分界线,再依据随机优化稳定性分析方法求解“最危险滑动面位置”^[8,9](图1),并绘制最危险滑动线,同时以条分法计算边坡的稳定性系数,评估边坡设计的安全性能^[10]。

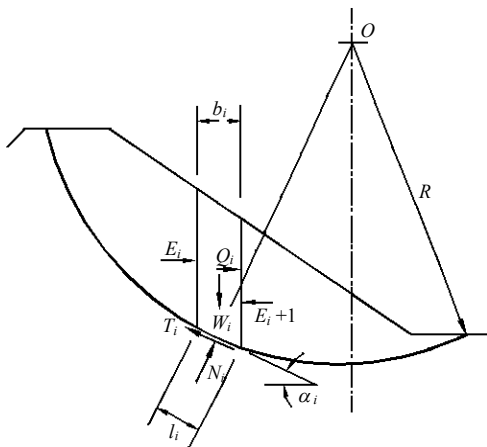


图1 条分法计算边坡的稳定系数

Fig.1 Slope stability coefficient calculated by slicing method

5 地基基础计算模块的工程应用

条分法计算圆弧形滑动面安全系数 F_s 为^[10]

$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_{ai}} [c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i]}{\sum W_i \sin \alpha_i + \sum Q_i \frac{e_i}{R}} \quad (3)$$

其中

$$m_{ai} = \cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \alpha_i}{F_s} \quad (4)$$

式中 W_i 为土条自重; Q_i 为水平作用力; c_i 为土的有效黏聚力; φ_i 为土的有效内摩擦角; b_i 为土条宽度; α_i 为土条底边倾角; u_i 为作用于土条底边上的孔隙水压力; e_i 为土条中心至滑动圆心的垂直距离; R 为滑动圆弧半径。

(1) 桩基设计计算

根据工程标段名称自动调用相关图件,进行设计计算。如图2所示。计算东改工程樟洋渡槽段(B-II₂标段)24#的试验桩竖向承载力标准值,以静载试验确定最终沉降量。进行桩基挠曲分析时,计算单桩截面位移、弯矩、剪力,绘制单桩挠曲线、弯矩图、剪力图。图3为东改工程樟洋渡槽段(B-II₂标段)24#的试验桩在虚拟载荷作用下挠曲分析成果。

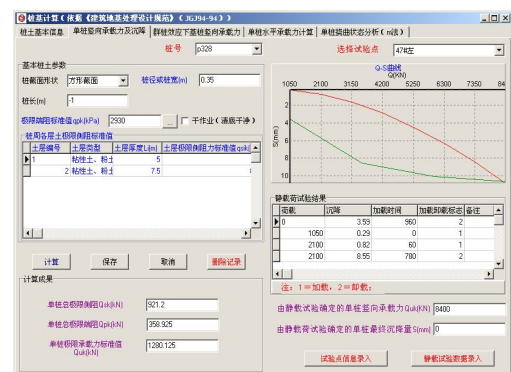


图2 桩基设计计算

Fig.2 Design and calculation of pile foundation

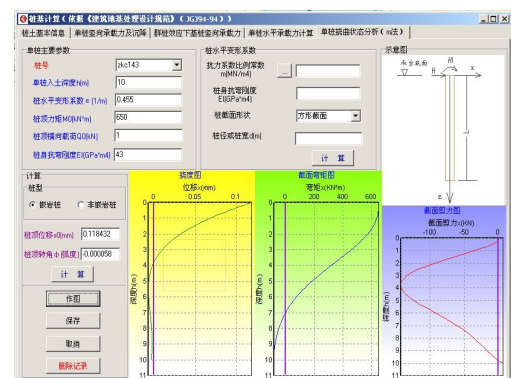


图3 桩基挠曲分析

Fig.3 Bending analysis of pile foundation

(2) 复合地基设计计算

根据文[2,3]计算复合地基最大沉降量及复合承载力特征值和静载荷数据绘制 $Q-S$ 曲线,确定最终沉降量。图4为东改工程莲湖泵站复合地基计算成果。

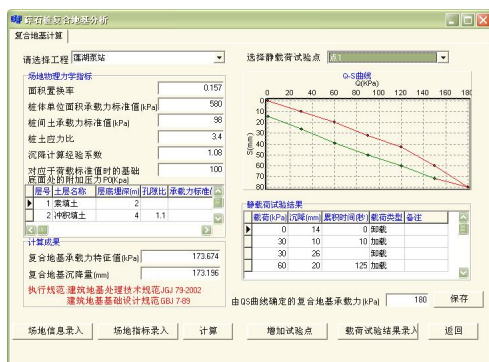


图 4 复合地基设计计算

Fig.4 Design and calculation of composite foundation

(3) 洞室设计计算

调用工程洞室设计图件,并根据文[4]计算洞室围岩压力、外水压力等问题,图 5 为凤岗隧洞分析成果。

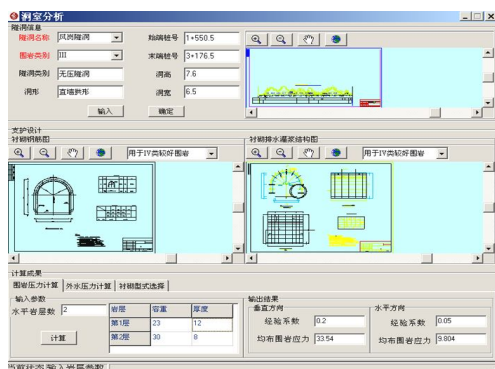


图 5 洞室设计计算

Fig.5 Design and calculation of tunnels

(4) 边坡稳定性分析

由用户输入边坡坡面线,水位线,土层界线等概要信息,系统可以自动进行边坡区域填充。再根据用户输入的土层参数、载荷信息等参数,计算边坡安全系数,绘制边坡滑动面。图 6 为东改工程 B-III₂ 边坡稳定性及最危险滑动面计算成果。

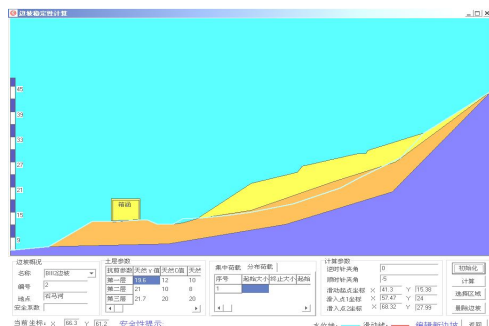


图 6 边坡稳定性分析

Fig.6 Slope stability analysis

6 结 语

本文介绍的计算设计模块,针对性强,操作方便,贴近工程实际,实现了重大工程地基基础海量设计数据的存储与管理,并为工程辅助设计提供了准确、高效的实用工具。

该模块与大型数据库技术, GIS 技术及图形处理技术结合,并综合岩土工程理论与实际工程经验,为岩土工程信息化研究提供了思路;该模块依据国标规范对工程中常见的桩基设计、复合地基设计、洞室设计等地基基础问题进行计算,规范可靠,通用性好,可在岩土工程设计、施工、管理等领域推广应用。

参 考 文 献

- [1] JGJ94—94, 建筑桩基技术规范[S].
- [2] JGJ79—2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] GBG7—89, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] SL279—2002, 水工隧洞设计规范[S].
- [5] 铁木辛柯. 材料力学[M]. 胡人礼译. 北京: 科学出版社, 1978. 215—217.
- [6] 左名麒, 胡人礼, 毛洪渊. 桩基础工程设计施工检测. [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996. 2—9.
- [7] 周翠英, 刘祚秋, 董立国, 等. 边坡变形破坏过程的大变形有限元分析[J]. 岩土力学, 2003, 8(4): 644—647.
- [8] ZHOU Cui-ying, LIU Zuo-qiu, DONG Li-guo, et al. Large deformation finite element analysis of slopes failure[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2003, 8(4): 644—647.
- [9] Griffiths D V, Lane P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. *Geotechnique*, 1999, 49(3): 387—403.
- [10] 周翠英. 东深供水改造工程 BIII2 标段滑坡稳定性分析与加固综合研究报告[R]. 广州: 中山大学, 2002.
- [11] Hitbitt H D, Marcal P V and Rice J R. A finite element formulation for problems of large strain and large displacement[J]. *International Journal of Solids and Structures*, 1970, (6): 1 069—1 086.