

M 融会贯通 · 工程软件
Master Engineering Software

PLAXIS

岩土工程软件使用指南

北京金土木软件技术有限公司 编著



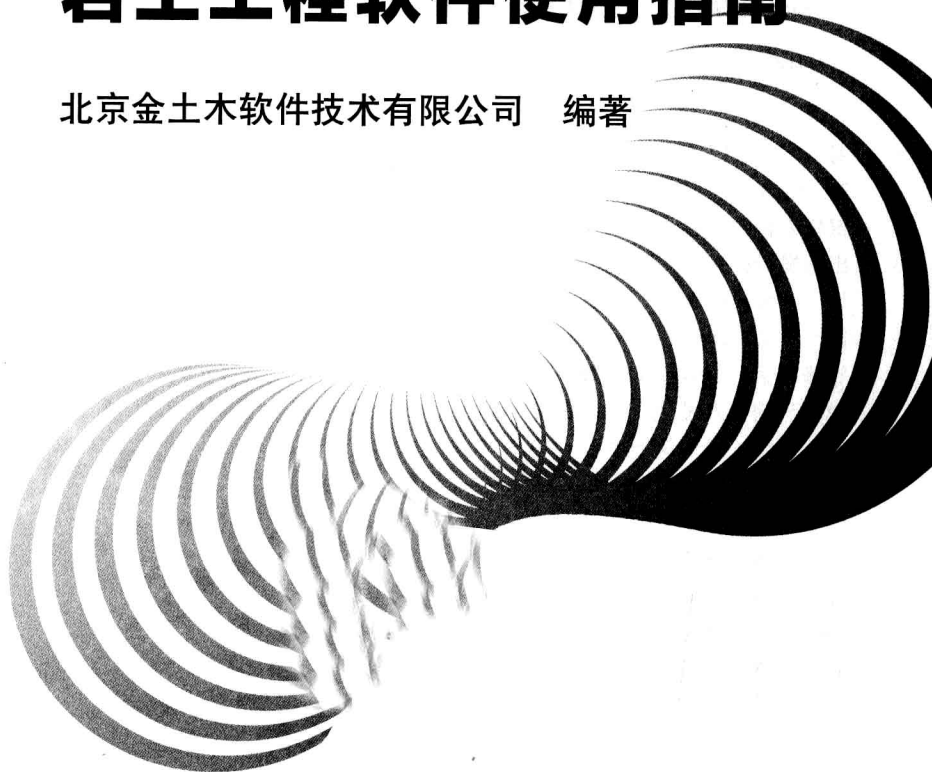
人民交通出版社
China Communications Press

M融会贯通·工程软件
Master Engineering Software

PLAXIS

岩土工程软件使用指南

北京金土木软件技术有限公司 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

PLAXIS 岩土工程有限元分析软件是用于解决岩土工程的变形、稳定性及地下水渗流等问题的通用有限元系列软件。它计算功能强大、运算稳定、界面友好,是解决当前与未来复杂岩土工程问题的专业计算分析工具。PLAXIS 的主要应用领域包括:基础工程、地质工程、地下工程、隧道工程、水利工程、近海工程、采矿工程等。本书从 PLAXIS 的理论基础、使用教程、工程实际案例等方面来讲解软件的原理、操作及工程应用方法,力争做到理论原理、实践操作和工程应用相结合、融会贯通,为岩土工程实践服务。

本书可供从事岩土工程设计、咨询的工程师和科研人员、高等院校的学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

PLAXIS 岩土工程软件使用指南 / 北京金土木软件技术有限公司编. —北京:人民交通出版社, 2010.8

ISBN 978-7-114-08616-8

I. ①P… II. ①北… III. ①岩土工程—应用软件, Plaxis—指南 IV. ①TU4-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 164415 号

书 名: PLAXIS 岩土工程软件使用指南

著 者: 北京金土木软件技术有限公司

责任编辑: 刘彩云

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16.25

字 数: 374千

版 次: 2010年8月第1版

印 次: 2010年8月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08616-8

定 价: 40.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

PLAXIS 目前已成为世界范围内知名的岩土工程有限元分析软件。2009 年 10 月于埃及亚历山大市举行的“第 17 届国际土力学及岩土工程大会”上,无论是大会报告,还是分组报告,都时常提到这一软件,由此可见该软件在国际岩土力学与工程界的影响。

PLAXIS 软件最初由荷兰德尔夫特工业大学岩土工程研究所在荷兰水利与公共事业部的支持下开发,1989 年正式推向国际市场,数年后便在西欧受到岩土工程界的普遍赞誉。1993 年底在该软件开发项目组的基础上成立 PLAXIS 公司,使该软件的研制开发稳步发展。目前,该软件在世界范围内已有上万家用户,包括设计、施工公司及高校和科研院所,在我国也已拥有不少用户。

该软件是由熟悉岩土力学与工程的专家联合计算机软件工程师共同研制,其功能很适合岩土及地下工程问题的计算分析,而且使用方便。目前该软件针对二维问题可以进行岩土工程中所需的几乎所有类型的计算,如稳定和变形分析、渗流、固结、施工过程模拟、动力分析等,其针对三维问题的分析模块也在加紧开发,并已取得显著进展。

近年来,我国持续进行大规模的工程建设,在此过程中遇到大量的复杂岩土工程问题。对于这些问题,仅依靠有关规范、规程所建议的简化设计分析方法往往是不够的,需要采用有限元方法进行更精细的分析,这也是目前很多规范、规程的建议。然而,要能够对复杂工程问题采用更先进的手段进行分析,自然需要我们对所采用的分析软件和工程问题本身均有深入的了解。

北京金土木软件技术有限公司目前作为 PLAXIS 软件在我国合作伙伴,积极推进该软件在我国的应用。为帮助广大岩土工程技术人员了解该软件的理论基础和使用方法,他们参照该软件的英文用户手册,编写了这本《PLAXIS 岩土工程软件使用指南》。

全书分理论、教程及工程实例三篇共 8 章,内容系统完整,涵盖了应用 PLAXIS 软件的各个方面。本人相信该书对我国岩土工程技术及科研人员应用 PLAXIS 及其他同类有限元软件会很有帮助。

本人在荷兰德尔夫特工业大学攻读博士学位之后,曾在 PLAXIS 项目组工作逾三年时间,负责其核心计算模块的研制开发,深知此软件对岩土问题有其独特的适用性,因此也很乐意看到金土木公司在向国内推介这一软件的成功,故很高兴接受金土木公司总裁李楚舒博士的邀请写了上面这些话,是以为序。

宋二祥

2010 年 5 月 6 日于清华园

前言

QIANYAN

PLAXIS 岩土工程有限元分析软件是用于解决岩土工程的变形、稳定性及地下水渗流等问题的通用有限元系列软件。它计算功能强大、运算稳定、界面友好,是解决当前与未来复杂岩土工程问题的专业计算分析工具。PLAXIS 诞生于 1987 年荷兰的德尔夫特工业大学,最初的目的是为了在荷兰特有的低地软土上建造河堤,开发一个易于使用的二维有限元分析程序。经过 20 多年的发展,PLAXIS 已经成为能够高效解决大多数岩土工程问题的通用有限元系列软件。在全球范围内有超过 1 万个正式许可的广泛使用,在我国也有近百家的大型勘察设计单位、施工企业、高校和科研机构采用。PLAXIS 主要的应用领域包括:基础工程、地质工程、地下工程、隧道工程、水利工程、近海工程、采矿工程等。

与一般的结构分析有限元程序不同的是,岩土软件要具备先进的本构模型来模拟土体的非线性和时间相关行为,而且土体是一种多相材料,需要特别的方法来处理土体中的静态和非静态孔隙水压力;除了模拟土体之外,大量的岩土工程还涉及需要模拟结构物,以及模拟结构与土体的相互作用,PLAXIS 软件具备专门的工具来处理大量这种复杂岩土工程的结构问题。PLAXIS 软件向来以其稳定性和高质量著称,为了保持这种高水准,PLAXIS 有一整套的质量保证体系:在任何新模型或新方法引入到软件之前,需要做完整的测试和校验,测试和校验不仅要通过 PLAXIS 的开发人员,而且要通过学术界成员和选定的终端用户来运行 Beta 测试。将先进的岩土专业知识与易于用户使用的界面设计结合在一起,是 PLAXIS 软件成功的关键,PLAXIS 开发团队是由具有岩土工程相关专业背景的高级研发人员构成。

为了让我国岩土工程领域的广大工程师和科研人员能够快速地了解和使用 PLAXIS 软件,掌握其核心分析功能,将岩土工程问题转化为计算机软件求解问题,并能够很好地研判分析结果,真

正解决岩土工程相关问题,为此,我们编写了这本软件使用指南以飨读者。

本书共分3个部分,由8章组成。第1部分是理论篇,共3章:第1章介绍 PLAXIS 程序的基本原理、数值实现方法,包括:连续体变形理论、地下水渗流理论、固结理论、参数敏感性分析及动力分析理论;第2章介绍 PLAXIS 程序的材料模型本构关系,讲解模型的基本理论、参数设置及校验;第3章讲解 PLAXIS 中常用的结构单元的理论、参数和应用。第2部分为教程篇,共4章,分别介绍二维主模块、动力模块、渗流模块、三维模块(基础与隧道)的详细使用方法。第3部分为工程实例篇,在1章的篇幅里分别列举了6种典型的岩土工程实际问题,通过 PLAXIS 进行了细致的分析模拟,分析结果得到了工程师的认可并用于实际工程处理。

参加本书的编写人员及具体分工为:卢萍珍编写第1、6章及附录;刘志祥编写第4、5、7章;张亮编写第3章;第2章由卢萍珍和刘志祥编写;第8章由刘志祥、卢萍珍、张亮编写。刘志祥和卢萍珍负责全书的校对工作,李立、李楚舒负责全书的组织编排与统稿工作。

清华大学土木工程系宋二祥教授当年留学荷兰参与了 PLAXIS 分析内核的开发工作,为 PLAXIS 的发展作出了很大贡献,我们特别邀请宋教授为本书作序,宋教授欣然应允。宋教授还在繁忙的教学与科研工作中专门审定了本书的篇章结构,并提出了很好的修改建议。在本书的策划过程中,得到了 PLAXIS 公司的 Erwin 先生和 Eddy 先生的大力帮助,提供了相关的技术素材。在本书的编写过程中,得到了人民交通出版社陈志敏主任、刘彩云编辑的大力支持。在此一并表示诚挚的谢意。

由于时间和编者水平的局限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正,也欢迎业内人士来信来函、登录网站进行讨论。我们的通讯地址是:北京市海淀区首体南路9号主语国际2号楼北京金土木软件技术有限公司,邮编:100048,电话:010-88383866,传真:010-88381056,网址:www.bjcks.com,Email:info@bjcks.com。

北京金土木软件技术有限公司

2010年5月

第1部分 理论篇

第1章 基本理论	3
1.1 连续体变形理论	3
1.1.1 连续介质变形的基本方程	3
1.1.2 有限单元法	4
1.1.3 塑性模型的隐式积分	5
1.1.4 全局迭代过程	6
1.1.5 连续体变形理论与经典理论解的对比	6
1.2 地下水渗流理论	8
1.2.1 稳态流的基本方程	8
1.2.2 有限元离散	9
1.2.3 界面单元中的渗流	10
1.2.4 非饱和渗流材料模型	10
1.2.5 边界条件	13
1.2.6 渗流模块的校验	14
1.3 固结理论	17
1.3.1 固结的基本方程	17
1.3.2 有限单元离散	17
1.3.3 弹塑性固结	19
1.3.4 固结理论与经典理论解的对比	19
1.4 参数敏感性分析理论	21
1.4.1 敏感性分析	21
1.4.2 参数变化理论	22
1.5 动力分析理论	23
1.5.1 动力特性的基本方程	23
1.5.2 时间积分	24
1.5.3 模型边界	25

1.5.4	初始应力和应力增量	26
1.5.5	动力模块的校验	26
第2章	材料模型	37
2.1	概述	37
2.1.1	不同模型的选用	37
2.1.2	不同模型的分析	38
2.1.3	不同模型的局限性	39
2.2	摩尔—库仑模型(理想塑性)	40
2.2.1	理想弹塑性行为	41
2.2.2	摩尔—库仑模型的表示	42
2.2.3	摩尔—库仑模型参数及其确定方法	43
2.2.4	PLAXIS 中破坏准则的校验	45
2.3	土体硬化模型(各向同性)	48
2.3.1	标准排水三轴试验的双曲线关系	49
2.3.2	土体硬化模型的双曲近似	49
2.3.3	三轴应力状态下的塑性体积应变	51
2.3.4	土体硬化模型参数及确定方法	52
2.4	软土蠕变模型	53
2.4.1	概述	53
2.4.2	一维蠕变基本知识	54
2.4.3	变量 τ_c 和 ε_c	55
2.4.4	一维蠕变的微分法则	56
2.4.5	三维模型	57
2.4.6	计算弹性三维应变	59
2.4.7	软土蠕变模型参数及确定方法	60
2.5	节理岩体模型(各向异性)	61
2.5.1	各向异性弹性材料的刚度矩阵	62
2.5.2	三个方向上的塑性行为	63
2.6	小应变土体硬化模型	65
2.6.1	用双曲线准则描述小应变刚度	65
2.6.2	HS 模型中使用 Hardin-Drnevich 关系	66
2.6.3	初始加载与卸载/再加载	67
2.6.4	小应变土体硬化模型参数及确定方法	68
第3章	结构单元	71
3.1	板单元	71
3.1.1	概述	71

3.1.2	参数	71
3.1.3	输出	73
3.1.4	板单元的校验	73
3.2	转动弹簧	76
3.3	土工格栅	77
3.3.1	概述	77
3.3.2	参数	77
3.3.3	输出	78
3.4	界面	78
3.4.1	概述	78
3.4.2	参数	79
3.4.3	输出	80
3.4.4	界面单元的校验	80
3.5	点对点锚杆与锚定杆	81
3.5.1	概述	81
3.5.2	参数	82
3.5.3	输出	83
3.6	隧道	83
3.7	三维基础模块中的特色结构单元	84
3.7.1	Embedded 桩	84
3.7.2	锚杆	87

第2部分 教程篇

第4章	二维主模块教程	93
4.1	基础知识	93
4.1.1	安装	93
4.1.2	一般模拟知识	94
4.1.3	输入过程	95
4.1.4	启动程序	97
4.2	砂土层上圆形基础的沉降	99
4.2.1	项目概况	100
4.2.2	刚性基础	100
4.2.3	柔性基础	111
4.3	不排水条件下河堤的建造	115
4.3.1	工程概况	115
	

4.3.2	计算	117
4.3.3	输出	119
4.4	拉锚地连墙支护下的降水开挖	120
4.4.1	输入	120
4.4.2	计算	123
4.4.3	输出	126
4.4.4	使用土体硬化模型	126
4.4.5	土体硬化模型输出	127
4.4.6	与摩尔—库仑模型比较	128
4.5	路堤建造	128
4.5.1	输入	128
4.5.2	计算	130
4.5.3	输出	131
4.5.4	安全性分析	132
4.5.5	更新网格分析	134
4.6	隧道施工及其对桩基的影响	136
4.6.1	模型概况	136
4.6.2	计算	140
4.6.3	输出	141
4.6.4	使用土体硬化模型	142
4.6.5	土体硬化模型案例输出结果	143
4.6.6	与摩尔—库仑模型案例比较	143
第5章	动力模块教程	145
5.1	打桩对周围土体影响分析	145
5.1.1	几何模型建立	145
5.1.2	初始条件	147
5.1.3	计算	147
5.1.4	输出	148
5.2	地震对建筑物的影响	149
5.2.1	几何模型建立	149
5.2.2	初始条件	151
5.2.3	计算	151
5.2.4	输出	152
第6章	渗流模块教程	154
6.1	堤防渗流分析	154
6.1.1	建模	154

6.1.2	生成有限元网格	156
6.1.3	初始条件设置	156
6.1.4	计算步设置及运行计算	157
6.1.5	输出结果查看	159
6.2	降雨过程中渗流分析	159
6.2.1	建模	160
6.2.2	有限元网格生成	161
6.2.3	初始条件设置	161
6.2.4	计算步设置及运行计算	163
6.2.5	输出结果查看	164
第7章	三维模块教程	165
7.1	基坑开挖三维分析	165
7.1.1	输入	165
7.1.2	计算	169
7.1.3	查看输出结果	169
7.2	路基的安全性分析	169
7.2.1	输入	170
7.2.2	计算	172
7.2.3	查看输出结果	173
7.3	新奥法隧道分步开挖施工模拟	174
7.3.1	输入	174
7.3.2	计算	178
7.3.3	查看输出结果	182
7.4	盾构法施工隧道模拟	184
7.4.1	输入	185
7.4.2	计算	189
7.4.3	输出结果	189

第3部分 工程实例篇

第8章	典型工程案例分析	193
8.1	路堤填筑及边坡稳定性分析(2D)	193
8.1.1	工程概况	193
8.1.2	计算模型及材料参数	194
8.1.3	计算阶段设置	195
8.1.4	输出结果查看	196
8.2	某厚黏土地层大型基坑开挖与支护(3DF&2D) ...	198

8.2.1	工程概况	198
8.2.2	输入几何模型	198
8.2.3	计算阶段	200
8.2.4	结果与分析	200
8.2.5	内支撑受力分析	202
8.2.6	结论与建议	203
8.2.7	PLAXIS 2D 断面分析结果	203
8.3	岩质高边坡支护(2D)	208
8.3.1	工程概况	208
8.3.2	模型输入	209
8.3.3	计算工况	211
8.3.4	结果查看	212
8.4	地铁车站基坑开挖(3DF)	214
8.4.1	工程概况	214
8.4.2	模型简介	214
8.4.3	计算阶段设置	216
8.4.4	结果查看	216
8.5	桩筏基础沉降分析(3DF)	217
8.5.1	工程简介	217
8.5.2	有限元模型建立	218
8.5.3	计算阶段设置	218
8.5.4	输出结果查看	218
8.6	盾构穿越隧道开挖模拟(3DT)	220
8.6.1	工程概况	220
8.6.2	模型参数选取	221
8.6.3	模型建立	222
8.6.4	输出结果	226
附录 A PLAXIS 程序安装指南		228
A.1	硬件要求	228
A.2	程序的安装	229
A.2.1	软件的安装	229
A.2.2	加密锁驱动的安装	231
A.2.3	单机版设置	231
A.2.4	网络版设置	232
A.3	查看加密锁的许可信息	234
A.4	如何申请 licence	235

A.4.1	确认驱动版本	235
A.4.2	生成 RAC 许可文件	236
A.5	激活或更新加密锁	239
A.6	常见问题及对策	241
A.6.1	如何更改用户名	241
A.6.2	如何切换语言	243
A.6.3	安装最新驱动后仍提示驱动过期	243
A.6.4	三维基础模块输出程序中无法选择 结构单元或节点	244
A.6.5	三维隧道模块安装后无法运行程序	244
	参考文献	245

第 1 部分

理 论 篇

PLAXIS 软件是一套计算功能强大、运算稳定、界面友好的岩土有限元软件。它为现在与未来的高科技建筑进行复杂的岩土工程分析提供了专业的工具。土是一种多相介质,需要特别的计算方法来处理土体中静态和非静态的孔隙水压力。除此之外,许多岩土工程项目也涉及结构物的模拟,以及土与结构的相互作用分析。鉴于岩土工程的复杂性,岩土分析需要经典的理论基础、先进的本构模型、正确的结构单元来模拟土或(和)岩石的非线性、时间相关和各向异性及其与结构的共同作用等特性。

本书的第 1 部分首先将主要阐述 PLAXIS 软件涉及的基本理论、本构模型和结构单元。第 1 章的内容包括:连续体变形理论、地下水渗流理论、固结理论、参数敏感性分析及动力分析理论。第 2 章的内容包括:摩尔—库仑模型、土体硬化模型(各向同性)、软土蠕变模型、节理岩体模型和小应变土体硬化模型。第 3 章的内容包括:二维模块中的板单元、转动弹簧、土工格栅、界面单元、点对点锚杆与锚定杆单元、隧道;三维基础模块中的 Embedded 桩和锚杆单元。

尽管 PLAXIS 软件的操作十分友好易学,但是要精通 PLAXIS 程序,并准确地使用它来解决岩土工程问题,就必须深入了解它的理论背景。所以,建议读者务必在学习操作之前,浏览一遍本书的第 1 部分;在应用过程中要不断复习消化本书第 1 部分的内容。

第1章

基本理论

本章将介绍 PLAXIS 程序的基本原理、数值实现方法及其与经典理论解的对比较验。包括以下内容:连续体变形理论、地下水渗流理论、固结理论、参数敏感性分析及动力分析理论。

1.1 连续体变形理论

本节将介绍基于连续介质力学框架范畴内的土体静态变形基本方程,并且加入小变形的假设,确保方程能参照未变形的初始几何条件建立,依照有限单元法离散处理连续介质。

1.1.1 连续介质变形的基本方程

连续介质的静力平衡方程:

$$\mathbf{L}^T \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{p} = \mathbf{0} \quad (1.1.1)$$

该方程描述了6个应力分量的空间导数,矢量 $\boldsymbol{\sigma}$ 和矢量 \mathbf{p} 组成体积力, \mathbf{L}^T 是转置微分算子,定义为:

$$\mathbf{L}^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial z} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (1.1.2)$$

除了平衡方程之外,运动学关系可以用以下方程表示:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{L} \mathbf{u} \quad (1.1.3)$$

方程中的矢量 $\boldsymbol{\varepsilon}$ 包含6个应变分量,矢量 \mathbf{u} 包含位移分量的空间导数, \mathbf{L} 为微分算子。方程(1.1.1)和方程(1.1.3)描述了材料行为。更详细的本构关系,即应力应变的关系,将会在材料手册中讨论。下面是应力应变方程:

$$\dot{\boldsymbol{\sigma}} = \mathbf{M} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} \quad (1.1.4)$$