

岩体地基 极限承载力

THE ULTIMATE BEARING CAPACITY OF ROCK FOUNDATIONS

宋建波 等著



地质出版社

岩体地基极限承载力

宋建波 彭雄武 陈 龙 著
于远忠 张倬元

地 质 出 版 社

• 北 京 •

内 容 提 要

岩体地基极限承载力是地质工程和岩土工程等专业领域的重要研究内容,受地基岩体的非均质、不连续、各向异性等固有特性和非线性破坏特征所控制,其计算理论至今远不如土体地基极限承载力计算理论完善。本专著结合地基岩体的特点,在合理划分岩体地基类型的基础上,分四篇、共19章,系统阐述了各类岩体地基极限承载力的计算理论与方法。第一篇介绍地基岩体强度理论、地基岩体参数确定方法、岩体地基极限承载力的研究思路与基本方法;第二篇介绍各向同性岩体地基极限承载力的极限平衡解、极限分析上下限解和滑移线解,以及近水平双层岩体地基极限承载力的计算方法;第三篇介绍含一、二、三组结构面的各向异性岩体地基极限承载力的计算方法;第四篇介绍下伏地下洞室或岩溶洞穴时的岩体地基极限承载力的计算方法。

本书是世界上第一部专门介绍岩体地基极限承载力计算方法的学术专著。全书内容丰富,图文并茂,文字流畅,思路清晰,四大专题既独立成篇,又组成了完整的理论体系。可以作为工程地质、岩土工程、交通土建、水利水电等专业的大学生和研究生的教学参考书,也可供相关行业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩体地基极限承载力 / 宋建波等著. —北京:地质出版社, 2009. 12

ISBN 978-7-116-06500-0

I. ①岩… II. ①宋… III. ①岩土工程-地基承载力-研究 IV. ①TU431

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 034782 号

责任编辑:李惠娣

责任校对:杜悦

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324514(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82324340

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:37.25 图版:3面

字 数:900千字

版 次:2009年12月北京第1版·第1次印刷

定 价:98.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06500-0

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)



宋建波博士简介

宋建波，男，1972年1月生，河北迁西人，中共党员，工学博士，教授，地质工程专业。现任贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室、贵州省喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室副主任（主持工作）。

1994年7月毕业于西南科技大学地质矿产勘查专业，获工学学士学位。1997年3月毕业于昆明理工大学矿产普查与勘探专业，获工学硕士学位，导师为孙家骢教授，研究方向为“矿田地质力学”。2000年7月毕业于昆明理工大学矿产普查与勘探专业，获工学博士学位，导师为于远忠教授，研究方向为“岩基工程”。2000年9月~2002年7月在成都理工大学地质工程专业作博士后科研人员，导师为张倬元教授，研究方向为“区域稳定及岩体稳定”。2002年7月作为高层次人才引进到原贵州工业大学任教，同年12月破格晋升教授。目前主要从事地质工程和岩土工程专业的教学和科研工作。已主持以“大射电望远镜贵州选址项目”为代表的30余项科研课题，以第一作者出版专著3部，主编论文集2部，发表学术论文60余篇，获贵州省科技进步三等奖1项（排名第一），培养项目博士后科研人员3名、硕士研究生20余名。

2004年评选为第七届贵州十大杰出青年，获第三届中国岩石力学与工程学会青年优秀科技奖银奖。2005年遴选为第五批贵州省优秀青年科技人才，获第八届贵州省青年科技奖。2006年遴选为教育部新世纪优秀人才和第四批贵州省省管专家。2007年获第十八届中国十大杰出青年提名奖。2008年评选为第三届贵州省优秀科技工作者，获第十二届中国青年五四奖章。2009年评选为贵州省岩溶地质工程科技创新人才团队领衔人。主要学术职务和社会兼职为：第十届中国青年联合会常委，第八届贵州省青年联合会常委，第四届中国青年科技工作者协会常务理事，第三届贵州省青年科技工作者协会会长，第八届中国地质学会工程地质专业委员会委员，国际工程地质与环境协会中国小组成员，第六届中国岩石力学与工程学会理事，第四届贵州省岩石力学与工程学会副理事长。

通讯地址：贵州大学蔡家关校区喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室（邮编：550003）

电 话：0851-4735955

传 真：0851-4735885

电子邮件：songjianbo7217@126.com

网 址：www.gzkarstlab.com

序

岩体地基强度高、变形小但又随机变异情况多，是各类土建工程经常遇到和采用的天然地基。岩体地基的破坏模式及其极限承载力大小除受到岩石强度、所处的地质环境条件、场地地形、基础设计参数等因素的影响外，还明显受控于岩体结构特征，尤其是优势结构面的强度、密度、规模、展布方位等的制约，具有岩体结构类型复杂和岩体地基破坏模式多样等特点，使岩体地基承载力的合理取值常感到非常困难。岩体地基极限承载力已成为岩土工程、地质工程、地基基础工程等专业中的薄弱研究领域，尚未形成完整的计算理论与方法体系。因此，宋建波博士等历时 12 年完成的《岩体地基极限承载力》一书，无疑将对各相关学科及其研究的发展具有重要价值。

本书以“岩体结构控制论”和“工程地质过程机制分析法”的学术思想为指导，以地基岩体工程特性分类和岩体地基破坏模式的研究为核心，在合理划分岩体地基类型及其可能破坏模式的基础上，以极限平衡理论、极限分析上下限理论和滑移线理论为主要工具，系统研究各类岩体地基极限承载力的计算方法，其思路与方法都很有创意特色。

本书具有三个方面的特点。其一是正视地基岩体的结构特点，考虑岩体地基极限承载力的诸多影响因素，整体遵循“划分岩体地基类型→判别各种类型岩体地基的可能破坏模式→建立相应破坏模式下的岩体地基极限承载力计算模型”的技术路线，系统研究了各种类型岩体地基的极限承载力计算理论与方法；其二是广泛吸收了工程地质学、岩溶地质学、土力学、岩土塑性力学、岩体力学、岩体结构力学、结构力学、材料力学、地基基础工程学、土体地基极限承载力、岩体地基极限承载力、岩质边坡稳定性分析、地下洞室稳定性评价、采矿工程学、非线性科学等相关和相近学科领域已有的研究成果，既体现了多学科的融合与交叉，又把握了岩体地基以及相关学科领域的研究现状、发展前沿和最新动态；其三是给出了各种类型岩体地基极限承载力建立模型的原则和推演过程，并以算例说明了岩体地基极限承载力的详细计算步骤。

本书是目前国内外首部系统介绍岩体地基极限承载力计算方法的学术专著。全书内容丰富，图文并茂，文字流畅，思路清晰，是目前岩体地基极限

承载力研究方面十分难得的一部优秀学术著作。书中所取得的丰硕成果必将对地基极限承载力计算理论的改进和完善产生巨大影响，对本门学科的发展也将产生积极的推动作用，对解决工程难题、指导工程实践也有重要的理论意义和现实的应用价值。

本专著虽然已经取得了相当的研究成果，但对岩体地基这一博大精深的研究课题而言，目前尚处于起步不久阶段，希望有关部门继续一如既往地支持这一领域的研究，并祝愿宋建波博士等在今后的研究、积累和创新中不断取得更大的成就。

孙 钧

2009 年仲秋于沪滨同济园

孙钧先生，中国科学院院士，同济大学资深荣誉教授，中国岩石力学与工程学会名誉理事长，前国际岩石力学与工程学会副主席暨中国国家小组主席，前中国岩石力学与工程学会理事长。

序

凝聚宋建波博士 12 年心血、由老中青三代人集体完成的约 90 万字的新书《岩体地基极限承载力》，我初读之后感到很兴奋。纵览全书，这部专著具有三个方面的特点。

一是选题新颖。地基承载力是一个古老而经典的课题，其研究重点主要集中在土体地基极限承载力计算理论的研究上，并已经形成了较完善的土体地基极限承载力计算理论。但受到岩体强度较高、岩体地基一般不会失稳破坏的传统认识所制约，以及受到地基岩体的非均质、不连续、各向异性等固有特性所控制，岩体地基极限承载力计算方法一直是岩土工程、地质工程、地基基础工程专业的薄弱研究领域，至今远不如土体地基极限承载力计算理论完善，且尚未形成完整的计算理论与方法体系，在国内外也未出版过与此相关的学术专著。因此，这部专著以岩体地基极限承载力计算方法作为研究内容，不仅瞄准了岩土工程界、地质工程界迫切需要解决的科学难题，而且紧密结合了地基基础工程发展的前沿，选题新颖。

二是研究思路和方法正确。与可视为各向同性均质材料的土体地基及其所产生的剪切破坏模式相比，岩体地基的破坏模式和极限承载力大小除受到岩石强度、所处的地质环境条件、场地地形、基础设计参数等因素影响外，还明显受控于岩体结构特征，尤其是优势结构面的强度、密度、规模、展布方位等，具有“岩体结构类型复杂、岩体地基破坏模式多样”等特点。因此，本专著以“岩体结构控制论”和“工程地质过程机制分析法”的学术思想为指导，以“地基岩体工程特性分类”和“岩体地基破坏模式”的研究为核心，在合理划分岩体地基类型及其可能破坏模式的基础上，以极限平衡理论、极限分析上下限理论和滑移线理论为主要理论工具，系统研究各类岩体地基极限承载力计算理论的思路和方法是正确的。

三是理论体系完整。本专著在将岩体地基划分为“各向同性岩体地基”和“各向异性岩体地基”两大类之后，以极限平衡理论、极限分析上下限理论和滑移线理论为理论基础，广泛吸收了工程地质学、岩溶地质学、土力学、岩土塑性力学、岩体力学、岩体结构力学、结构力学、材料力学、地基基础工程学、土体地基极限承载力、岩体地基极限承载力、岩质边坡稳定性分析、

地下洞室稳定性评价、采矿工程学、非线性科学等专业领域的研究成果，遵循了“划分岩体地基类型→判别各种类型岩体地基的可能破坏模式→建立相应破坏模式下的岩体地基极限承载力计算模型”的技术路线。本专著分四篇、共19章系统阐述了“各向同性岩体地基”、“近水平双层岩体地基”、“层状岩体地基”、“含二、三组结构面各向异性岩体地基”、“下伏地下洞室或岩溶洞穴岩体地基”等工程中经常遇见的各类岩体地基的极限承载力计算方法，理论体系非常完整。

目前，世界上专门介绍岩体地基极限承载力计算方法的学术专著并不多见，特别是岩溶地区。本专著既是作者12年研究成果的系统总结，又广泛吸收了工程地质、岩土工程、地基基础工程等多个学科的研究成果，不仅反映了作者扎实的专业基础、深厚的力学功底和宽广的知识面，而且体现了作者勇于开拓、知难而进、严谨求实、敢攀高峰的科学精神。全书内容丰富，图文并茂，文字流畅，思路清晰，研究成果可信度高，突破和创新点多，是一部具有权威性、系统性、完整性的优秀学术著作。相信本专著的出版，不仅可以进一步丰富和完善地质工程、岩土工程、地基基础工程等学科体系，而且对解决工程难题、指导工程实践有着重要的理论意义、现实意义和广阔的应用前景。

三年前，宋建波博士出版了《大射电望远镜贵州选址理论与方法》一书，我感到这个年轻人很有科学钻研精神，也有创新的思维，尤其他在国内外都没有选择岩溶洼地作为大射电望远镜台址的情况下，能够刻苦钻研、奋力创新，合理选出大射电望远镜台址，这是了不起的贡献，因而为之作序。今日这部新著，我也乐意再为之作序，希望这沉重的科研成果，能在今后的工程建设中得到更好的应用。

卢耀如

2009年10月12日

卢耀如先生，中国工程院院士，中国地质科学院研究员，工程地质与环境地质学家。

序

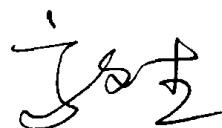
牛年岁尾，青年学者宋建波博士寄来《岩体地基极限承载力》一书书稿，邀我作序。因年龄相近，又有孙钧、卢耀如两位院士前辈作序在前，笔者自感学识浅薄，为这样一本凝聚作者 12 年心血、由老中青三代人集体完成的约 90 万字的专著作序，恐失偏颇；然盛情难却，只好尽力为之。浏览全书，深感作者选题之准、研究之深、成果之多，实属近年来本学科青年学者中所鲜见。

盖因建筑地基多为土体之故，岩体地基一直是地基基础研究领域的薄弱环节，现行《建筑地基基础设计规范》等相关规范对土体地基的设计原则和计算方法多有详细规定，而对岩体地基的设计则多作为个案，以现场试验为主。纵观国内外学术期刊，对土体地基特性研究的文章较多，成果颇丰；而对岩体地基的研究则较少、较零散。土生于岩，而不同于岩，土力学与岩体力学有着截然不同的研究方法和应用范畴。土体地基的设计原则和计算理论多来源于土力学的基本原理与方法，而以地基的概念来研究岩体的理论与方法则显匮乏，岩体地基极限承载力的研究则更为少见。

宋建波博士先后从事地质勘查、地质力学、岩土工程、地质工程等多个专业方向的学习和研究，具有扎实的地质基础、深厚的力学功底和宽广的知识面。本书在总结前人研究成果的基础上，以地基为主线，以地基岩体为切入点，以岩体地基为研究对象，融岩体力学、土力学、基础工程学、工程地质学、岩土塑性力学、岩体结构力学、岩溶地质学、结构力学、材料力学等学科相关理论与方法为一体，思路清晰，逻辑严谨，体系完整。该书首次系统阐述了不同形式岩体地基极限承载力的研究路线、分析方法和设计理论；详细论述了各向同性、各向异性岩体地基的承载特性及其极限承载力的确定方法；提出了将下伏岩溶洞穴、地下洞室的地基岩体作为整体岩体地基研究的新概念。纵观全书，有理论，有方法，有实践，既有很高的理论水平，又有很大的工程应用价值。笔者深信该书是从事地基基础工程专业的技术人员不可多得的一本学术、技术参考专著。

笔者与宋建波博士虽已相熟，但读罢作者的后记，仍感触良多。当此社会快速发展和变化之际，商品观念与市场经济大潮汹涌，作者在身兼许多学术组织和社团职务的情况下，能忙中取静，不浮不躁，潜心专业研究十余载，最终成就本学术专著的问世，难能可贵。笔者作序之余，深为感佩。

借此拙笔之序，真心祝愿宋建波博士将来能取得更大的学术成就。



己丑年冬月于北京

高文生先生，中国建筑科学研究院地基基础研究所所长、研究员，国家一级注册结构工程师，国家注册土木工程师（岩土）。

前 言

地基承载力是地质工程、岩土工程专业的一个古老而经典的课题，也一直是研究的热点和难点，是由土体地基极限承载力的研究开始的。经过 Rankine, Prandtl, Reissner, Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic 等众多学者 100 多年的研究，目前已经形成了综合考虑土的重量、基础形状、场地地形、旁侧超载、荷载倾斜、基底倾斜等因素的较完善的土体地基极限承载力计算理论。但鉴于岩体强度较高、岩体地基一般不会失稳破坏的传统认识，人们对岩体地基承载力的研究甚晚。19 世纪以前，主要根据岩石的软硬程度近似判断岩体地基的极限承载力，由于当时建筑物的规模不大，基本上能够满足工程建设的需求。随着工程建设对岩体地基极限承载力精确取值的需要，以及岩体力学学科体系的形成和土体地基极限承载力计算理论的逐步完善，岩体地基极限承载力确定方法才作为崭新的课题被提到研究日程中来。尽管如此，受岩体结构类型和岩体特性的复杂性、岩体破坏机理和岩体地基破坏模式的多样性所控制，岩体地基极限承载力计算方法远不如土体地基极限承载力计算理论完善，因而是目前岩土工程界和地质工程界迫切需要解决的一个科学难题。

人们最早对岩体地基破坏的认识是基于土体地基的破坏型式（整体剪切破坏、局部剪切破坏和冲剪破坏）而提出的，认为岩体地基是遵循 Mohr - Coulomb 强度准则的 $c - \varphi$ 型材料，在荷载作用下将产生剪切破坏，其塑性破坏区由 Rankine 主动破坏区、Rankine 被动破坏区和 Prandtl 过渡区组成，并建议采用土体地基极限承载力计算公式，来计算岩体地基的极限承载力。事实上，地基岩体是由岩块和结构面组成的有机复合体，具有非均质、不连续、各向异性等固有特性和非线性破坏特征，并严格受到岩块强度、结构面强度和岩体结构类型的控制，同时受到地应力场、温度场、渗流场等多种地质环境条件的影响。同样，岩体地基极限承载力不仅取决于地基岩体的性质及其所处的地质环境条件，而且取决于荷载类型、场地地形、基础型式、基础尺寸、基础刚度、施工扰动等因素。这些因素通过影响岩体地基的破坏形态，而决定着其极限承载力的大小。可见，以翔实的地质勘察资料为基础，综合考虑岩石强度、结构面强度、岩体结构类型、所处的地质环境条件、基础设计参数、场地地形条件等诸多影响因素，准确判别岩体地基的可能破坏模式或可能破坏形态，才是建立岩体地基极限承载力计算理论与方法体系的前提和关键，这也正是岩体地基与可视为各向同性均质材料的土体地基的最大区别。

本专著是世界上第一部专门介绍岩体地基极限承载力计算方法的学术专著，共四篇、19 章，总计约 90 万字。它以“岩体结构控制论”和“工程地质过程机制分析法”的学术思想为指导，以“地基岩体工程特性分类”和“岩体地基破坏模式”的研究为核心，在广泛吸收工程地质学、岩溶地质学、土力学、岩土塑性力学、岩体力学、岩体结构力学、结构力学、材料力学、基础工程学、土体地基极限承载力、岩体地基极限承载力、岩质边坡稳定性分析、地下洞室稳定性评价、采矿工程学、非线性科学等专业领域的已有研

究成果,并合理划分岩体地基类型及其可能破坏模式的基础上,以极限平衡理论、极限分析上下限理论和滑移线理论为主要的理论工具,系统研究了各类岩体地基的极限承载力计算方法。第1章为绪论,主要介绍岩体地基稳定性的研究意义、地基岩体的特点、岩体地基上的基础型式、岩体地基承载力的影响因素和国内外研究现状等。第一篇为“岩体地基极限承载力研究基础”(第2章~第5章),主要介绍地基岩体强度理论、地基岩体基本力学参数、地基岩体分类及其宏观力学参数、岩体地基极限承载力研究方法(极限平衡法、极限分析上下限理论、滑移线理论、数值算法);第二篇为“各向同性岩体地基极限承载力”(第6章~第9章),主要介绍各向同性岩体地基的应力状态与破坏模式,岩体地基极限承载力的极限平衡解、极限分析上限解、极限分析下限解、滑移线解,以及近水平双层岩体地基极限承载力计算方法;第三篇为“各向异性岩体地基极限承载力”(第10章~第14章),主要介绍以边坡的坡顶面为特定承载面、含一组优势结构面的层状岩体地基的破坏模式、判别依据、坡顶极限承载力计算方法和坡面最小支护力计算方法,以及含二、三组结构面的岩体地基的极限承载力计算方法。第四篇为“岩体洞室地基的极限承载力”(第15章~第18章),主要介绍下伏防空洞、浅埋地下铁道、采矿巷道、岩溶洞穴等地下洞室的岩体地基的破坏模式及失稳判据,以及各向同性岩体洞室地基、层状岩体洞室地基和含岩溶洞穴岩体地基的极限承载力计算方法。第19章为结语,主要总结各类岩体地基极限承载力计算方法的理论基础、计算模型、求解原理和适用条件,以及计算岩体地基极限承载力的步骤。整体而言,本专著的四大专题既独立成篇,又组成了完整的理论与方法体系。

早在1997年,本人在昆明理工大学攻读博士学位期间,就在西南科技大学于远忠教授的指导下从事岩体地基极限承载力计算方法的研究,并于1999年4月提交了题目为《剪切破坏模式下岩石地基极限承载力的确定方法》的博士学位论文。在成都理工大学做博士后期间,在张倬元教授的指导下,以博士学位论文为基础,于2002年7月提交了题目为《岩体经验强度准则及其在地质工程中的应用》的博士后研究工作报告,并于同年12月出版了同名专著。到贵州大学工作后,又指导2005级岩土工程专业硕士研究生陈龙和彭雄武分别完成了题目为《以斜坡坡肩为承载面的层状岩基极限承载力计算理论研究》和《层状岩体开洞地基极限承载力计算理论研究》的硕士学位论文。本专著就是以这3篇学位论文和1部学术专著为主体,在全面总结前人研究成果的基础上完成的,持续研究工作长达12年,其中的许多计算公式都是首次提出的,部分研究成果尚未发表,汇总成稿时间也将近2年,最后由本人统一修改定稿。可以说,本专著研究和编写的工作量之大、难度之高、工作之艰辛,是常人难以理解、很难想象的。同时,为了保证本专著的权威性、系统性、完整性和可读性,我们在写作过程中还遵循了以下三个基本原则:一是尽可能地全面收集并广泛吸收了国内外与岩体地基、岩体地基极限承载力等有关的学术论著,以准确把握该领域的研究现状、发展前沿和最新动态;二是尽可能地给出了各类岩体地基极限承载力计算方法等的模型建立原则和详细推导过程,以在增加专著的可读性的同时,使同行专家学者能够逐步验证各种计算方法的正确性;三是尽可能地提供了算例,以说明岩体地基极限承载力的详细计算步骤,并为理论研究成果的推广和应用创造条件。基于上述原则,我们在本专著的写作过程中大量参阅或引用了多位专家学者的研究成果,在此表示感谢。

本专著的研究先后得到了以下项目的资助：①贵州省科技厅，贵州省科技创新人才团队建设项目——“岩溶地质工程”。项目负责人：宋建波；合同编号：黔科合人才团队[2009] 4004号。②贵州省科技厅，贵州省科技攻关项目——“喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室能力建设”。项目负责人：宋建波；合同编号：黔科合计Z[2009] 4008。③贵州省人民政府，贵州省优秀科技人才省长专项基金项目——“贵州岩溶区层状岩坡失稳机理及其防护设计可视化系统研究”。项目负责人：宋建波。合同编号：黔科教办(2003) 04号文件。④贵州省科技厅，贵州省科技攻关项目——“贵州岩溶区层状岩坡失稳机理及其稳定性计算理论研究”。项目负责人：宋建波。合同编号：黔科合2003JN09。⑤中共贵州省委组织部，贵州省高层次人才特助经费项目——“贵州岩溶区特殊地质环境条件形成机理及其工程环境效应研究”。项目负责人：宋建波。合同编号：贵州省知工办2003年12月22日文件。此外，本专著的出版得到了贵州大学学术著作出版基金、喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室出版基金联合资助。在此，向中共贵州省委组织部、贵州省科技厅、贵州大学、喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室等部门的关心和支持表示衷心的感谢！

诚挚感谢中国科学院孙钧院士、中国工程院卢耀如院士、中国建筑科学研究院地基基础研究所所长高文生研究员，在百忙之中欣然作序，并给予高度评价。诚挚感谢中共贵州省委常委、贵州大学党委书记龙超云，贵州大学校长陈叔平教授、常务副书记赵明仁教授、常务副校长封孝伦教授、副校长宋宝安教授等校领导对本专著撰写工作的关心。诚挚感谢贵州省国土资源厅厅长朱立军教授，贵州省科技厅厅长于杰教授、陈训副厅长、秦水介副厅长、苟渝新副厅长、孟武建副厅长、苏庆副厅长、金正强书记，中共贵州省委组织部人才工作处申勇处长、王贵河调研员、万宪调研员，贵州省教育厅高教处蔡志坚处长对本人及本专著研编工作的支持！此外，还要真诚感谢贵州团省委、贵州省青年联合会的领导和朋友对本人的鼓励和支持，他们是贵州团省委陈昌旭书记、滕红副书记、胡吉宏副书记、马雷副书记、统战部蒋云丽部长、原统战部张阳部长、戴杰常委、郑波副秘书长、邓云坤副秘书长、陈婷婷委员等。在本人艰苦写作的两年内，没有青联组织点燃我的青春激情和奋斗热情，没有这些青年朋友的关心、鼓励、理解和支持，我真的很难坚持下来。还要感谢贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室的同事们，是他们为我积极创造工作条件，并鼓励我完成了本专著的写作。最后，感谢我的妻子詹玉枝、女儿宋艾娣，没有她们的理解和支持，本专著是很难完成的。

最后必须指出，正是由于地基岩体的复杂性和岩体地基破坏模式的多样性，才使岩体地基极限承载力计算方法成为一个非常复杂的研究课题，目前它仍然处于起步不久阶段，许多问题目前还很难达成统一的认识。因此，本专著所阐述的内容和表述的观点只是作者12年来从事岩体地基极限承载力计算方法研究的体会和认识，希望能对该领域的深入研究有一定的推动作用。因本专著涉及范围广，系统总结并撰写成书的时间略显仓促，且限于作者的研究水平，书中难免有错漏和不完善之处，恳请同行专家学者批评指正！

宋建波

2009年9月于贵州大学

主要符号说明

在本专著中符号较多。各种符号都在出现时加以定义，各种符号的单位在定义后都有标注。以下列出本专著中常用的符号及其含义。

符 号	代 表 意 义	符 号	代 表 意 义
S	截面面积	E	岩体的弹性模量
P	轴向荷载或集中荷载	E_m	岩体的变形模量
p	基底压力	ν	岩块的泊松比
q_{ult}	极限承载力	ν_m	岩体的泊松比
γ	容重	m, s	岩体经验参数
c	岩石的黏聚力	RQD	岩石质量指标
c_j	结构面的黏聚力	I_s	点荷载指标
c_m	岩体的黏聚力	PLS	点荷载强度
φ	岩石的内摩擦角	K_0	侧压力系数
φ_b	岩石的基本内摩擦角	g	重力加速度
φ_j	结构面的内摩擦角	max	最大数
φ_r	结构面的基本内摩擦角	min	最小数
φ_m	岩体的内摩擦角	int	取整
ρ	瞬时空内摩擦角	$\sum$	总和
σ	正应力	$\prod$	连乘
σ_1	最大主应力	sin	正弦
σ_2	中间主应力	sec	正割
σ_3	最小主应力	cos	余弦
σ_θ	切向应力	csc	余割
σ_r	径向应力	tan	正切
σ_c	岩块的单轴抗压强度	arctan	反正切
σ_{cmass}	岩体的单轴抗压强度	cot	余切
σ_t	岩块的单轴抗拉强度	arccot	反余切
σ_{tmass}	岩体的单轴抗拉强度	sinh	双曲正弦
τ	剪应力	cosh	双曲余弦
E_i	岩块的弹性模量	e	自然数, 2.71828...
E_t	岩块的切线模量	exp x	e 的 x 次方
E_s	岩块的割线模量	ln	以 e 为底的对数
E_0	岩块的变形模量	$\log_a b$	以 a 为底 b 的对数
G	岩块的剪切模量	arg(z)	复数 z 幅角的主值
K_v	岩块的体积模量	st	约束条件
λ	岩块的拉梅常数	Re	取一个复数的实部

目 录

序

前 言

主要符号说明

1 绪 论	(1)
1.1 岩体地基稳定性	(1)
1.1.1 地基与基础的概念	(1)
1.1.2 地基稳定性研究的意义	(2)
1.1.3 岩体地基稳定性的变形判据	(4)
1.2 地基岩体的特点	(6)
1.2.1 岩石与岩体的定义	(6)
1.2.2 岩体与岩石的区别	(7)
1.3 岩体地基的基础型式	(8)
1.3.1 扩展基础	(9)
1.3.2 嵌岩桩	(10)
1.3.3 张性基础	(12)
1.4 岩体地基承载力的影响因素	(14)
1.4.1 岩体性质的影响	(14)
1.4.2 岩体结构的影响	(15)
1.4.3 地质环境条件的影响	(16)
1.4.4 基础设计参数的影响	(18)
1.4.5 场地地形条件的影响	(20)
1.4.6 施工扰动的影响	(21)
1.5 我国现行规范确定岩体地基承载力的方法评述	(22)
1.5.1 根据岩体风化程度和软硬程度经验确定	(22)
1.5.2 根据岩石单轴抗压试验统计确定	(26)
1.5.3 根据原位荷载试验现场确定	(27)
1.6 岩体地基极限承载力研究现状	(28)
1.6.1 国外研究现状	(29)

1.6.2	国内研究现状	(31)
1.7	研究思路与方法	(34)
1.7.1	研究思路与技术路线	(34)
1.7.2	主要研究内容	(36)

第一篇 岩体地基极限承载力研究基础

2	地基岩体强度理论	(41)
2.1	概 述	(41)
2.2	岩体破坏与岩体强度	(42)
2.2.1	岩体破坏现象	(42)
2.2.2	岩体破坏机制	(43)
2.2.3	岩体强度指标	(44)
2.3	Mohr – Coulomb 强度准则	(44)
2.3.1	Mohr 强度理论	(45)
2.3.2	Mohr – Coulomb 强度准则的内容	(45)
2.3.3	用 $\sigma_1 - \sigma_3$ 表示的 Mohr – Coulomb 强度准则	(46)
2.3.4	在主应力空间上表示的 Mohr – Coulomb 强度准则	(47)
2.3.5	Mohr – Coulomb 强度准则的应用特点	(48)
2.4	Griffith 强度准则	(49)
2.4.1	裂纹扩展的能量准则	(49)
2.4.2	裂纹尖端附近的应力	(50)
2.4.3	裂纹扩展的应力强度准则	(51)
2.4.4	Griffith 强度准则的应用特点	(54)
2.5	Hoek – Brown 强度准则	(54)
2.5.1	岩体非线性破坏特征	(54)
2.5.2	Hoek – Brown 强度准则的内容	(55)
2.5.3	Hoek – Brown 强度准则对岩体破坏的表述	(56)
2.5.4	岩体 Hoek – Brown 抗剪强度包络线	(57)
2.5.5	Hoek – Brown 强度准则的适用条件	(58)
2.5.6	Hoek – Brown 强度准则的四种重要表示形式	(60)
2.5.7	Hoek – Brown 强度准则的应用特点	(66)
2.6	结构面抗剪强度理论	(67)
2.6.1	平直无充填物的结构面	(67)

2.6.2	粗糙起伏无充填物的结构面	(67)
2.6.3	非贯通结构面	(70)
2.6.4	有充填物的软弱结构面	(71)
2.7	本章小结	(72)
3	地基岩体基本力学参数	(73)
3.1	概 述	(73)
3.2	岩块(石)单轴抗压强度	(74)
3.2.1	单轴压力试验	(74)
3.2.2	点荷载试验	(75)
3.3	岩块(石)单轴抗拉强度	(78)
3.3.1	直接拉伸试验	(78)
3.3.2	间接拉伸试验	(80)
3.3.3	点荷载试验	(81)
3.4	岩块(石)抗剪切强度	(82)
3.4.1	非限制性剪切强度试验	(82)
3.4.2	限制性剪切强度试验	(83)
3.5	岩块(石)变形参数	(85)
3.5.1	单轴压缩条件下岩石的变形特征	(85)
3.5.2	岩石变形指标及其确定方法	(87)
3.6	岩体经验参数 m, s	(89)
3.6.1	查表估计	(90)
3.6.2	由室内岩块三轴压缩试验统计确定	(92)
3.6.3	由现场直剪试验或大剪试验统计确定	(92)
3.6.4	由岩体分类指标 RMR 和 Q 现场估算	(94)
3.6.5	由岩体分类指标 RMI 现场估算	(96)
3.6.6	用超声波测试技术现场估算	(99)
3.7	本章小结	(101)
4	地基岩体分类及其宏观力学参数	(102)
4.1	概 述	(102)
4.2	地基岩体类型划分与质量评定	(103)
4.2.1	地基岩体的结构类型	(103)
4.2.2	地基岩体分类与质量评定	(104)
4.2.3	岩体地基类型划分	(108)
4.3	地基岩体宏观力学参数现场测试	(109)