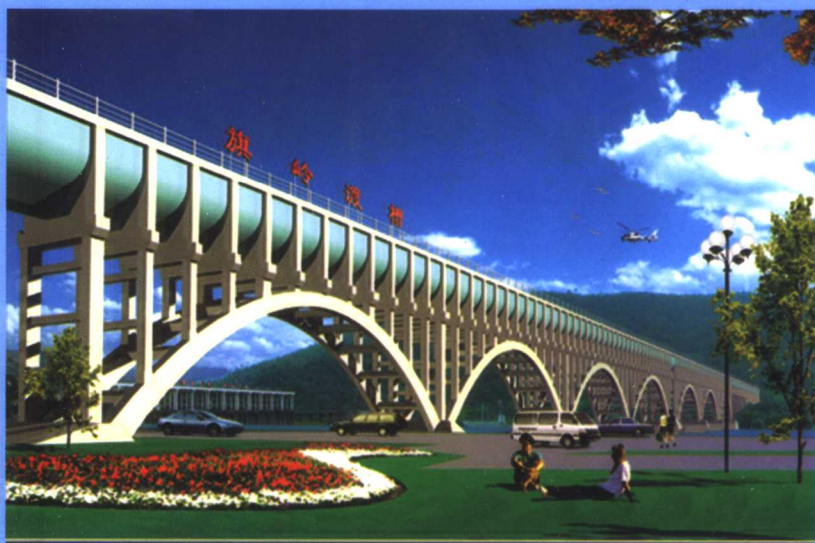


岩土工程的研究与实践

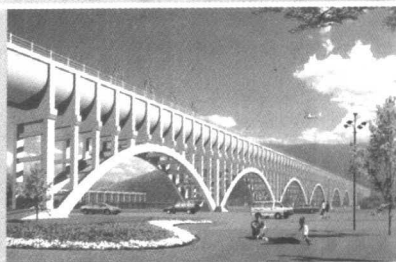
林鲁生 编著



Y A N T U
G O N G C H E N G D E
Y A N J I U Y U
S H I J I A N

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

岩土工程的研究与实践



Y A N T U
G O N G C H E N G D E
Y A N J I U Y U
S H I J I A N

林鲁生 编著

湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程的研究与实践/林鲁生编著. —武汉:
湖北科学技术出版社, 2005. 12
ISBN 7—5352—3504—2

I. 岩… II. 林… III. 引水—水利工程: 岩土工
程—研究 IV. TV672

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 149076 号

岩土工程的研究与实践

© 林鲁生 编著

责任编辑: 李荷君

封面设计: 王 梅

出版发行: 湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

电话: 87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号
湖北出版文化城 B 座 12-13 层

邮编: 430070

印 刷: 武汉中科兴业印务有限公司

邮编: 430071

850 毫米×1168 毫米 32 开 10.75 印张
2005 年 12 月第 1 版

255 千字
2005 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5352-3504-2/TV·57

定价: 22.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换



作者简介

林鲁生，男，1961年生，1999年日本鹿儿岛大学高级访问学者，2000年毕业于武汉大学，获工学博士学位，2002年中国科学院博士后出站。2000年6月担任国家重点工程东深供水改造工程建设总指挥部副总工程师，在此期间，紧密结合了该工程的施工实践，获取大量信息，揭示、解决了岩土工程学科在东深供水改造工程中存在的一系列热点和难点问题。首次提出了用变形控制输水建(构)筑物的设计思想与思路，获得了具有理论意义和实用价值的研究成果，为今后类似工程提供了宝贵的参考和借鉴经验。

内容提要

本书详细分析了国内外研究现状,从超大型输水工程中的若干岩土工程问题实际需要出发,紧紧抓住变形控制的这一主要矛盾,重点开展了应力路径分析法的应用研究,不仅给工程建设中急需解决的关键技术难题提供了解决的理论依据,而且确保了工程建成完工后能满足供水的安全,获得了具有理论意义和实用价值的研究成果。给国内同类型工程的建设提供了一个可供借鉴的经验,也为即将动土的南水北调工程提供了一个很有价值的先例。

前 言

广东省东江-深圳供水改造工程(简称东深供水改造工程)是向香港、深圳以及工程沿线提供饮用原水及农田灌溉用水的跨流域大型调水工程。东深供水改造工程全长 51.7km(含砂湾隧洞工程),工程建设概算 49 亿元,于 2000 年 8 月 28 日动工兴建,计划在 2003 年 8 月竣工,其中东江至塘厦段 33.5km 已于 2003 年 1 月 18 日建成提前向香港供水。

东深供水改造工程的一个最突出特点就是线路长(全长 51.7km),是一个长条形、全封闭的供水系统。供水建筑物跨越各种复杂地段,采用了多种形式的输水结构物,施工难度高、技术复杂。各种基础经处理后,首先需满足承载力或应力的要求,确保在外荷作用下不会失去稳定,其次要满足建筑物的正常使用对变形的要求,对于这种允许变形很小的工程而言,在满足足够承载力或应力的前提下,如何能经济合理地满足变形要求,成为本工程的关键技术难题,即箱涵、明槽基础沉降控制、渡槽桩基沉降控制、隧洞变形的控制。然而,这些变形如何计算呢?本书根据工程的实际情况,紧紧抓住变形控制的这一主要矛盾,应用应力路径分析法,重点开展了若干岩土工程的研究与实践。

岩土工程中应力路径分析方法的研究已有 40 年的历史,但真正解决工程实际问题,为发展和改进现有的岩土工程设计理论作出成绩的还比较少。本研究针对东深供水改造工程中一个突出的技术问题,即如何控制输水建(构)筑物的变形问题,应用应力路径分析法,分别阐明了应力路径问题是确定建筑物破坏模式、变形发展规律的重要因素之一。并指出常规岩土实验所提供的参数,由于未考虑应力路径方面可能产生误差的实质性原因。重点推演并论述了本工程各地段由不同的代表性输水结构类型(如天然地基上箱涵、复合地基上明槽、带桩基渡槽以及隧洞等)受力及变形特

2 岩土工程的研究与实践

点,提出了应力路径分析的原理及计算方法,对一系列工程对象进行了验算,获得良好成果。

本研究的开展不仅给工程建设中急需解决的关键技术难题提供了解决的理论依据,而且确保了工程建成完工后能满足供水的安全,通过研究,建立了多个考虑应力路径影响的变形计算模型,发展和推动了应力路径在岩土工程中的应用,提出了解决问题的一套切实可行的计算方法;给国内同类型工程的建设提供了一个可供借鉴的建设经验,也为即将动土的南水北调工程提供了一个很有价值的先例,所以本研究的开展具有深远的实际意义。

此外,对桩基监控检测提出了一套完整的质量保证技术措施,避免了挂一漏万之虞,这对生命线工程——重大输水工程来说是十分必要的,其效果也早已在工程验收阶段中充分得到了证明。

然而,对于要求研究成果既要有较强的实用性又要有较高的理论水平,就必须是理论研究、试验分析、数值模拟三者并驱才能取得丰硕成果。本研究由于受研究时间、研究条件和研究水平等客、主观因素的限制,其研究远未达到完善的境界,在很多方面尚需进一步开展工作,更深入地研究和不断的探索。

在本书完成之际,向博士导师刘祖德教授、博士后导师白世伟研究员表示衷心地感谢。在博士和博士后研究工作期间,我多方面得到了两位导师的指导和关怀,导师科学的思维方法,渊博的学识,忘我的工作精神,平易近人的作风令人敬佩,给我留下深刻的印象,令作者受益匪浅,导师以自己的言行为我树立了做人和做学问的榜样,终生难忘。

本书编写过程中,参考或引用了所列参考文献中的某些内容,谨向这些文献的作者致以谢意。

限于时间和笔者水平,书中难免存在缺点和不足,敬请读者批评斧正。

林鲁生

2005年9月8日

序

东深供水改造工程是向香港、深圳以及工程沿线东莞城镇提供环保饮用水及农田灌溉用水的一项跨流域特大型调水工程。它虽已始建于40余年前,历经多次扩建,曾为珠三角的经济发展和香港的繁荣稳定作出过重大贡献,但为彻底解决水质问题。经国家有关部门批准,决定对该工程进行根本性改造——建设封闭型输水系统,实现清浊分流,它对粤港两地人民的福祉关系密切,具有重大的政治和经济意义。

林鲁生先生受命参加了这一宏伟工程的建设,并肩负起技术总负责人之一的重任后,在三年多的时间里,夙夜匪懈,废寝忘食,为本工程的每一步进展和胜利完成,呕心沥血,精益求精地把好各个阶段的技术关。一开始,就参与主持和组织了全国有关高校、科研、设计和施工单位的专家和技术人员进行专题科学研究,不断优化设计,精心优选施工组织设计方案。后来,在施工的全过程中,更是一丝不苟地把好工程质量关,始终坚持信息化施工原则,全面加强对工程的质量、进度和管理的实时跟踪检验监控,使工程得以“优质、提前并投资不突破”地顺利竣工投产。最后,还善始善终地为做好这一伟大的历史性工程的全面技术总结作出了自己新的贡献。

本书就是林鲁生先生投入本工程建设中大量心血的结晶的一部分。他多年来主要从事岩土工程和水利工程事业,曾积累了丰富的理论功底和专业知識底蕴,并一贯坚持紧密结合工程实践,锐意创新,将许多科研成果迅速地转化为生产力。本工程建设的几年里,他把自己的才智和精力全部融入建设热潮的洪流中,不但在任何时刻能运筹帷幄、指挥若定地成功闯关攻城,而且更重视通过实践总结提高,将经验不断丰富理论宝库,并期望将本工程实践中

4 岩土工程的研究与实践

积累的点滴经验向国内同仁们交流,也祈求各家的批评指正。这就是作者编写此书的重要目的。

应力路径分析法在岩土力学领域内已有 40 年的发展历史。它为岩土力学理论的研究提供了一个重要的思路和方法,但在岩土工程实际中应用的经验尚不多。林鲁生先生大胆地将它引入大型输水工程设计和科研中,并获得了大型明槽沉降量计算和渡槽嵌岩桩基极限承载力确定等方面的丰硕成果,是值得嘉许和推崇的。本书中他还对输水隧洞围岩变形、有限厚度残积土高边坡稳定分析以及输水结构适应性变形计算等一系列重点难点技术问题都进行了深入思考和研究,提出了很多具有创新价值的概念、观点和方法,敬飧读者,并望赐教。感谢林先生给我先读为快的机会,获益匪浅。特为之序。

武汉大学土木建筑工程学院

刘祖德

2005 年 11 月 8 日

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 应力路径研究的发展概况	1
§ 1.2 近年来应力路径研究土的变形特性概述	3
1.2.1 粘性土应力路径试验研究	3
1.2.2 砂性土应力路径试验研究	9
1.2.3 考虑应力路径影响的其他研究成果	13
§ 1.3 本文研究的基本思路	15
第二章 研究课题的工程背景及其研究内容	19
§ 2.1 东深供水工程概况	19
§ 2.2 东深供水改造工程概况	20
§ 2.3 工程各类主要建筑物地质条件概况	23
2.3.1 明槽段地质条件	23
2.3.2 输水隧洞地质条件	23
2.3.3 渡槽地质条件	23
2.3.4 供水泵站地质条件	23
2.3.5 过河倒虹吸地质条件	24
§ 2.4 东深供水改造工程的特点	24
2.4.1 东深供水改造工程的政治意义	24
2.4.2 工程特点	24
§ 2.5 本文研究的内容及其意义	25
第三章 试验研究	27
§ 3.1 引言	27
§ 3.2 试验设备及试验方法	27
3.2.1 常规固结压缩试验	27

2 岩土工程的研究与实践

3.2.2 常规三轴剪切试验	28
3.2.3 应力路径试验	29
3.2.4 试验内容	30
§ 3.3 试验成果	31
3.3.1 常规压缩试验成果	31
3.3.2 常规三轴试验成果	33
3.3.3 应力路径试验成果	34
§ 3.4 本章小结	34
第四章 原状土地基最终沉降计算研究	35
§ 4.1 地基最终沉降计算方法的发展概况	35
4.1.1 单向压缩分层总和法	35
4.1.2 单向压缩等值层法	36
4.1.3 三向压缩分层总和法	36
4.1.4 瞬时弹性沉降加单向压缩法	37
4.1.5 应力路径分析法	39
4.1.6 地基最终沉降量计算的简单讨论	40
4.1.7 本章研究的内容	42
§ 4.2 隔水~塘厦(B-Ⅲ ₃)明槽段地质概况及各土层 物理力学土工试验指标	44
4.2.1 地层岩性及岩土分层	44
4.2.2 工程地质评价	45
4.2.3 隔水~塘厦明槽段各岩土层物理力学土工 试验指标	46
§ 4.3 单向压缩分层总和法计算	46
4.3.1 土的变形模量 E_0 计算地基最终沉降	46
4.3.2 单向压缩试验指标 E_s 计算地基最终沉降	49
§ 4.4 应力路径分析法最终沉降计算	53
4.4.1 各计算方案应力路径	53
4.4.2 应力路径试验及其沉降计算成果	55

§ 4.5 邓肯模型有限元计算	57
4.5.1 地基沉降非线性有限元	57
4.5.2 邓肯模型参数	59
4.5.3 单元的划分及其计算成果	59
§ 4.6 计算与观测成果综合分析	60
4.6.1 观测成果	60
4.6.2 计算与观测成果分析	61
§ 4.7 考虑应力路径影响的地基最终沉降有限元算法	62
4.7.1 建筑物建筑期间应力路径特征	62
4.7.2 不同应力路径非线性弹性模型参数 E_t 、 μ_t 的基本计算公式	64
4.7.3 建筑物建筑期间切线弹性模量 E_t 和切线泊松 比 μ_t 的计算	65
§ 4.8 本章小结	66
第五章 复合地基最终沉降的计算研究	68
§ 5.1 引言	68
§ 5.2 沉降计算方法及本章研究内容	68
5.2.1 控制沉降的复合地基设计思想概述	68
5.2.2 沉降计算方法的讨论	69
5.2.3 本章研究的内容	72
§ 5.3 隔水~塘厦明槽复合地基地段地质概况	73
5.3.1 地层岩性及岩土分层	73
5.3.2 工程地质评价 ^[76]	73
5.3.3 隔水~塘厦明槽段各岩土层物理力学土工 试验指标 ^[76]	74
§ 5.4 复合模量法碎石桩复合地基沉降计算	74
5.4.1 碎石桩复合模量计算	75
5.4.2 复合模量法沉降计算	78
5.4.3 计算成果及其对比分析	78

4 岩土工程的研究与实践

§ 5.5 考虑应力路径影响的复合地基最终沉降计算法	79
5.5.1 应力路径特征以及模型的选择	79
5.5.2 非线性弹性模型参数 E_i 、 μ_i 计算公式	80
5.5.3 考虑应力路径影响的复合地基沉降计算有限元	81
§ 5.6 本章小结	81
第六章 隧洞围岩变形三维非线性数值仿真分析	85
§ 6.1 引言	85
6.1.1 研究现状	85
6.1.2 研究趋势	86
6.1.3 问题的提出	87
§ 6.2 岩石力学特性测试	88
6.2.1 MTS 试验简介	88
6.2.2 实验测定参数	89
§ 6.3 凤岗隧洞四号观测断面(Ⅳ类围岩)二维弹塑性 岩体力学参数反分析	90
6.3.1 反演目标函数选取	91
6.3.2 计算模型及计算参数	92
6.3.3 计算结果与分析	94
§ 6.4 隧洞围岩(二维)在开挖过程中的应力路径	97
§ 6.5 六号观测断面(Ⅴ类围岩)变形三维非线性数值 仿真分析	99
6.5.1 计算范围及计算程序	99
6.5.2 计算模型及计算参数	100
6.5.3 数值仿真模拟成果	103
6.5.4 数值仿真模拟成果分析	105
§ 6.6 本章小结	109
第七章 考虑应力路径影响的嵌岩端承桩承载力计算研究	111
§ 7.1 引言	111
7.1.1 桩基础的发展	111

7.1.2	桩基础的应用	111
7.1.3	钻孔灌注桩的优势以及前景	112
7.1.4	大直径砼灌注桩在本工程的应用及其急需 解决的问题	113
§ 7.2	嵌岩端承桩的工作机理及其应力路径	114
7.2.1	嵌岩端承桩的特点	114
7.2.2	通过实测资料分析嵌岩桩的荷载传递机理	114
7.2.3	嵌岩桩嵌岩段的应力路径及其工作机理	119
§ 7.3	嵌岩端承桩嵌岩段极限承载力的研究	120
7.3.1	弹性阶段的研究	120
7.3.2	塑性开展阶段的研究	121
7.3.3	嵌岩端承桩嵌岩段极限承载力计算公式	124
§ 7.4	工程桩实例计算与试验成果分析	125
7.4.1	计算地段地质概况	125
7.4.2	实例计算	127
7.4.3	桩基承载力试验成果	130
7.4.4	计算与试验成果对比分析	139
§ 7.5	本章小结	140
第八章	桩基多手段综合检测分析、研究	143
§ 8.1	引言	143
§ 8.2	反射波法及其超声波透射法的检测原理及其 存在问题	144
8.2.1	反射波法的原理及其存在问题	144
8.2.2	超声波透射法检测原理及其存在问题	145
§ 8.3	综合检测方案的选定	146
§ 8.4	大直径混凝土灌注桩多手段综合检测实例分析	147
8.4.1	检测设备及其评判标准	148
8.4.2	金湖渡槽基桩综合检测成果	150
8.4.3	综合检测实例分析	151

6 岩土工程的研究与实践

§ 8.5 本章小结	164
第九章 有限厚度残积土高边坡稳定分析	167
§ 9.1 边坡稳定分析理论概述	167
9.1.1 定性分析方法	167
9.1.2 刚体极限平衡分析法	169
9.1.3 边坡稳定数值分析法	170
9.1.4 非确定性分析方法	179
9.1.5 智能分析方法	181
9.1.6 边坡的变形监测和反演分析方法	185
9.1.7 基于 3S 工程的边坡实时分析系统	188
§ 9.2 本章研究内容	190
§ 9.3 深圳水库取水口高边坡工程地质	191
9.3.1 深圳水库取水口高边坡滑坡概况	191
9.3.2 深圳水库取水口高边坡地质概况	195
9.3.3 边坡残积土试验研究	199
§ 9.4 土体抗剪强度参数取值的统计分析	215
9.4.1 考虑风化及应变软化作用的参数取值	215
9.4.2 土体强度参数 C 、 φ 值的数理统计分析	216
9.4.3 C 、 φ 值的反分析	219
9.4.4 本节小结	221
§ 9.5 边坡的稳定分析计算	222
9.5.1 局部稳定分析计算	222
9.5.2 边坡整体稳定分析计算	229
9.5.3 有限元计算分析	232
9.5.4 本节小结	239
§ 9.6 一种基于圆弧滑动分析的潜在最危险滑动面 搜索新方法	240
9.6.1 滑动面形状的分析	241
9.6.2 工程实例计算与分析	242

9.6.3 本节小结	246
§ 9.7 人工神经网络在边坡分析计算中的应用	246
9.7.1 前言	246
9.7.2 人工神经网络模型选定	250
9.7.3 人工神经网络分析计算	254
9.7.4 本节小结	276
§ 9.8 滑坡治理的发展概况以及加固方案的选择	277
9.8.1 前言	277
9.8.2 滑坡治理的发展概况	277
9.8.3 治理方案的选择	280
9.8.4 本节小结	284
§ 9.9 本章小结	285
第十章 输水结构适应性变形计算	288
§ 10.1 计算理论	288
§ 10.2 计算参数及计算成果	292
10.2.1 明槽结构标准段计算成果	292
10.2.2 明槽与渡槽接合段计算成果	294
10.2.3 双孔箱涵结构计算成果	297
§ 10.3 本章小结	300
第十一章 结论与展望	302
§ 11.1 结论	302
§ 11.2 展望	307
主要参考文献	309

第一章 绪 论

§ 1.1 应力路径研究的发展概况

各种固体材料的应力-应变性能和强度破坏特征或多或少都具有应力路径依附性的普遍性,但是对于土这种介质来说这问题更为复杂,因为:

第一,无粘性土,这种松散颗粒集合体具有非连续性和剪胀剪缩性;

第二,不排水条件下土受荷时总应力路径与有效应力路径完全不同。

与其他工程材料相比,土是一种松散的集合体,颗粒之间的联结是很弱的,即使在应力水平较低时,其应力应变关系已具有明显的非线性。非线性弹性模型因参数少,易确定,比线弹性有效,在工程中得到较为广泛的应用,各种非线性弹性模型都较好地模拟了土体的主要性质——非线性。试验研究表明应力路径对变形的影响是不容忽视的。不同的应力路径使土的变形特征发生显著变化,按土体原位应力路径测得的不排水变形模量要比用常规不排水三轴试验测得的结果大 2 倍以上,因此在沉降分析决定变形模量时有必要考虑适当的应力路径^[1]。

应力路径(stress path 以下简称 S. P)所要解决的问题就是:从岩土工程的现状出发,一方面追溯土的应力历史,确定现存的初始应力与初始状态的关系;另一方面预测在将来工程建筑的各种