

高填方路基滑坡 处治技术

陈渊召 李振霞 高书堂 贾绍强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高填方路基滑坡 处治技术

陈渊召 李振霞 高书堂 贾绍强 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在充分分析国内外高填方路基滑坡病害处治技术研究成果的基础上,结合实体工程对高填方路基滑坡病害处治技术进行了系统研究。本书详细阐述了高填方路基滑移的形成机理,对比分析了高填方路基滑坡处治技术,进行了高填方路基滑坡防治技术理论分析,对高填方路基滑坡支挡结构联合作用空间进行了有限元分析;提出了盐渍土路基病害病害特征;阐述了盐渍土路基的工程性质;进行了盐渍土路基改良措施机理分析;推荐了盐渍土路基处治技术;分析了细粒土的全压实机理;得到了压实黏性土的强度特性;系统分析了黏性土的承载比性能;进行了现场测试与分析;提出了高填方路基滑坡处治施工技术。

本书适合公路工程技术人员、相关专业院校师生及科研人员参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

高填方路基滑坡处治技术 / 陈渊召等著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5170-3946-4

I. ①高… II. ①陈… III. ①公路路基—滑坡—防治
IV. ①U418.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第303321号

书 名	高填方路基滑坡处治技术
作 者	陈渊召 李振霞 高书堂 贾绍强 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.5印张 412千字
版 次	2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷
定 价	56.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

在山区修建公路不可避免会遇到滑坡等地质灾害，公路边坡综合防护技术一直是公路修筑中的热点问题。20世纪90年代以前，我国主要以低等级公路建设为主，深挖高填较少，公路建设投资不大，因而公路边坡稳定问题较少，边坡支挡工程不作为道路建设的主体工程，对公路工程建设中边坡的防护重视不够。进入21世纪，随着山区公路和高等级公路的修建，遇到大量的高填深挖路基，边坡稳定问题日渐突出。但是，边坡防护与加固仍主要沿用低等级公路的边坡工程技术或借鉴铁道部门的经验来实施局部处理，由于在边坡处治时缺乏综合考虑，为工程埋下不少隐患。路基滑坡造成公路坍塌，严重影响了公路的正常使用。

本书在对滑坡成因分析的基础上，评价该滑坡的稳定性，进而提出可靠的处治技术，对该技术通过理论分析和现场监控分析，形成一套完整的大型填方路基滑坡处治技术成果。该成果提供了陵川滑坡病害处治技术，确保该工程的处治效果和工程质量，延长了道路的使用寿命，并且大大降低了维修成本。同时可供相关山区公路滑坡处治参考，研究成果具有重要的理论意义和工程实用价值。

本书共分14章，第1章分析了滑坡处治技术的国内外研究现状；第2章研究了高填方路基滑移的形成机理；第3章对高填方路基滑坡处治技术进行了对比分析；第4章对高填方路基滑坡防治技术进行了理论分析；第5章对高填方路基滑坡支挡结构联合作用空间进行了有限元分析；第6章研究了盐渍土路基病害病害特征；第7章研究了盐渍土路基的工程性质；第8章进行了盐渍土路基改良措施机理研究；第9章研究了盐渍土路基处治技术；第10章研究了细粒土的全压实机理；第11章研究了压实黏性土的强度特性；第12章研究了黏性土的承载比；第13章进行了现场测试与分析；第14章研究了高填方路基滑坡处治施工技术。

全书由华北水利水电大学陈渊召、华北水利水电大学李振霞、邯郸市交通运输局公路工程质量监理中心高书堂、邯郸市交通运输局公路工程一处贾绍强写作完成。其中，陈渊召负责第3章、第5章和第6章；李振霞负责第2

章、第 4 章和第 8 章；高书堂负责第 1 章、第 7 章、第 10 章和第 12 章；贾绍强负责第 9 章、第 11 章、第 13 章和第 14 章。全书可供公路设计、施工、研究人员及相关院校师生参考使用。

由于作者水平有限，如有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2015 年 11 月

目录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 课题研究背景	1
1.2 国内外研究综述	1
1.3 分析评价	21
1.4 本书的主要研究内容	22
第 2 章 高填方路基滑坡机理研究	25
2.1 工程概况	25
2.2 现场病害概况	27
2.3 滑坡特点与稳定性评价	27
2.4 滑坡类型与成因	32
2.5 滑坡机理分析	35
2.6 小结	36
第 3 章 高填方路基滑坡处治技术对比分析	37
3.1 概述	37
3.2 现有滑坡处治技术	37
3.3 陵川滑坡处治技术方案比选	43
3.4 处治设计技术研究	46
3.5 小结	60
第 4 章 高填方路基滑坡防治技术的理论分析	62
4.1 概述	62
4.2 土压力计算	62
4.3 重力式挡墙受力计算与验算	65
4.4 滑坡推力计算	68
4.5 普通抗滑桩的受力计算	73
4.6 预应力锚索抗滑桩的受力计算	86
4.7 小结	101
第 5 章 高填方路基滑坡支挡结构联合作用空间有限元分析	102
5.1 概述	102

5.2	模型建立	103
5.3	单元划分	109
5.4	计算参数选取	110
5.5	计算方案	110
5.6	计算成果与分析	111
5.7	不同支挡结构最不利应力与位移汇总	132
5.8	小结	133
第 6 章	盐渍土基本工程特性与盐渍土路基病害特征	134
6.1	盐渍土的基本工程特性	134
6.2	盐渍土路基（依托公路路基）病害特征	135
6.3	盐渍土分类及相关标准规范	139
6.4	小结	140
第 7 章	盐渍土路基工程性质试验研究	142
7.1	路基常规土工试验方法	142
7.2	盐渍土路基力学性能试验研究	144
7.3	盐渍土路基耐久性能试验研究	149
7.4	小结	152
第 8 章	盐渍土路基改良措施机理研究	154
8.1	石灰改良盐渍土机理研究	154
8.2	二灰改良盐渍土机理研究	156
8.3	石灰、粉煤灰、水泥改良盐渍土机理研究	158
8.4	盐渍土改良效果分析	161
8.5	小结	162
第 9 章	盐渍土路基的处理技术研究	163
9.1	土壤盐渍化的影响因素研究	163
9.2	盐渍土地区路基设计原则	164
9.3	盐渍土路基的基本处理方法	165
9.4	盐渍土改良技术施工要求	167
9.5	盐渍土路基的施工工艺	169
9.6	小结	172
第 10 章	细粒土全压实机理及试验分析	173
10.1	引言	173
10.2	压实的物理过程	174
10.3	压实机理的解释	175
10.4	全压实曲线理论及四参数方程介绍	177
10.5	试验方法及土样的基本物理性质	180

10.6	全压实曲线及试验分析	182
10.7	小结	189
第 11 章	压实黏性土的强度特性	191
11.1	引言	191
11.2	全压实曲线上土体的无侧限抗压强度试验	191
11.3	全压实曲线上土体的抗剪强度指标变化规律	202
11.4	小结	207
第 12 章	黏性土的承载比试验	208
12.1	引言	208
12.2	CBR 试验方法与机理	210
12.3	不饱水 CBR 试验	211
12.4	饱水 CBR 试验	213
12.5	小结	217
第 13 章	现场测试与分析	218
13.1	概述	218
13.2	测试方案与方法	218
13.3	测试成果与分析	223
13.4	测试成果与理论计算成果对比分析	232
13.5	小结	235
第 14 章	高填方路基滑坡处治施工技术研究	236
14.1	概述	236
14.2	支挡结构施工技术	236
14.3	防排水施工技术	246
14.4	回填土施工技术	250
14.5	小结	253
参考文献		254

第 1 章 绪 论

1.1 课题研究背景

在山区修建公路过程中,不可避免会遇到大量的滑坡等地质灾害。公路边坡包括填方路堤边坡和挖方路堑边坡,是公路的重要组成部分。公路边坡综合防护技术一直是公路修筑中的热点问题。20 世纪 80 年代中期前,我国主要以低等级公路建设为主,深挖高填较少,公路建设投资不大,因而公路边坡稳定问题较少,边坡支挡工程不作为道路建设的主体工程,对公路工程建设中边坡的防护重视不够。90 年代后,随着山区公路和高等级公路的修建,遇到大量的高填深挖路基,边坡稳定问题日渐突出。90 年代初期,边坡防护与加固仍主要沿用低等级公路的边坡工程技术或借鉴铁道部门的经验来实施局部处理,由于在边坡处治时缺乏综合考虑,为工程埋下不少隐患。

陵沁线(省道 S332)是连接陵川县与周边市县的重要枢纽,2009 年 8—9 月,晋城地区遇到了多年罕见的特大暴雨,由于降雨历时长,降雨量大,引起 K5+820~K6+120 段发生巨型滑坡,滑坡南北长约 360m,东西宽约 240m,滑体厚度 2.0~17.8m,平均厚度 10.5m,滑坡体积约 88 万 m^3 ,属大型土质滑坡。滑坡造成半幅公路坍塌,严重影响了该线的正常使用。

滑坡发生后,路基出现了沉陷、裂缝,公路路面坍塌变形宽 10 余米,随着时间的推移,每次强降雨后,滑体都会有滑动变形。第二次大的滑动发生在 2012 年 6 月 29 日,强降雨过后,筑路填土承泥石流状顺沟倾泻,土体移动距离达 100 余米,对行车安全造成了极大的威胁。

针对陵川滑坡引起的工程病害,晋城公路分局多次组织省内外专家前往工程现场考察,对滑坡的成因进行分析,以期提出可靠的处治方案,但由于该滑坡属于填土滑坡,成因较复杂,且这种类型的滑坡工程中少有,处理时可借鉴的工程经验不多,为此,有关专家始终未能给出成套处治技术。本书在对陵川滑坡成因分析的基础上,评价该滑坡的稳定性,进而提出可靠的处治技术,对该技术通过理论分析和现场监控分析,形成一套完整的大型填方路基滑坡处治技术成果。该成果一方面指导陵川滑坡病害处治工程的顺利实施,确保该工程的处治效果和工程质量,同时可供相关山区公路滑坡处治参考,研究成果具有重要的理论意义和工程实用价值。

1.2 国内外研究综述

1.2.1 边坡稳定性研究

边坡稳定性问题一直是岩土边坡一个重要研究内容,能否正确评价其稳定性直接关系

到建设的资金投入和人民的生命财产安全。边坡稳定性分析方法很多,不同的方法又各具特点,有一定的适用条件。如何根据具体的边坡工程地质条件,具体地分析目的与精度要求,合理有效地选用与之相适应的边坡稳定性分析方法,是一项很重要的工作。

1. 极限平衡法

此法是边坡稳定分析中最常用的方法。它是通过分析在临近破坏状况下,土体外力与内部强度所提供抗力之间的平衡,计算土体在自身和外荷作用下的土坡稳定性程度,通常以边坡稳定系数表示。

边坡中最小的稳定系数称为边坡稳定安全系数,它表示了该边坡的稳定程度。目前已有多种极限平衡分析方法,例如斯宾塞法、毕肖普法(Bishop)、简布法(Jaubu)、摩根斯坦-普赖斯法(Morgenstern-Prince)、剩余推力法、沙尔玛法(Sarma)、楔体极限平衡分析法等。其中沙尔玛法既可用于滑面呈圆弧形的滑体,又可用于滑面呈一般折线形滑面的滑体极限平衡分析;楔体极限平衡分析则主要用于岩质边坡中由不连续面切割的各种形状楔形体的极限平衡分析。与其他方法相比,极限平衡法的缺点是在力学上作了一些简化假设,但是近年来已在计算模型、滑动面确定、边坡类型等方面都得到了一定的完善。

陈祖煜等介绍介绍了对边坡稳定分析三维极限平衡方法的一个新解法,它是二维Spencer法在三维条件下的扩展。该法保证了滑坡体三个方向的静力平衡,同时,还增加了一个整体力矩平衡条件,行界面的条间力不再假定为水平,条底的剪力方向也不假定为平行于主滑平面。工程实例说明了其可行性和实用性。

邹广电根据毕肖普法和非线性规划原理,对工程实践中最为广泛应用的圆弧滑裂面法,提出了一个较为完整的优化数值模型,并运用障碍函数法求解了该优化数值模型。为避免陷入“局部优化点”,运用随机投点法建立了一种全局优化算法。通过工程实例分析,计算结果是令人满意的。

2. 有限元法

此法是一种十分成熟的数值方法,也是边坡稳定分析中用得较多的一种方法。目前,已经开发了多个二维及三维有限元分析程序,可以用来求解弹性、弹塑性、黏弹塑性、黏塑性等问题。有限元法的优点是部分地考虑了边坡岩体的非均质和不连续性,可以给出岩体的应力、应变大小与分布,避免了极限平衡分析法中将滑体视为刚体而过于简化的缺点,能使我们近似地从应力应变去分析边坡的变形破坏机制,分析最先、最容易发生屈服破坏的部位和需要首先进行加固的部位等。但它还不能很好地求解大变形和位移不连续等问题,对于无限域应力集中问题等的求解还不理想。

史恒通、王成华详细探讨了用有限元方法分析土坡稳定所遇到的问题及处理方法,主要包括:有限元前后处理、有限元计算范围及网格划分对计算结果的影响、安全系数的定义、最危险滑动圆心位置及临界滑动面的形状等问题。

赵尚毅、郑颖人等提出了利用有限单元法,通过强度折减来求边坡稳定安全系数。通过强度折减,使系统达到不稳定状态时,有限元计算将不收敛,此时的折减系数就是安全系数。安全系数的大小与所采用的屈服准则有关,对几种常用的屈服准则进行了比较,导出了各种准则互相代换的关系,并采用莫尔-库仑等面积圆屈服准则代替莫尔-库仑准则,

算例表明由此求得的边坡稳定安全系数与传统方法的计算结果十分接近。

3. 无单元法

此法是有限元法的一种推广,近来已得到广泛的应用。此法采用滑动最小二乘法所产生的光滑函数近似场函数。它保留了有限元的一些特点但摆脱了单元限制,克服了有限元的不足。无单元法只需结点信息而不需单元信息,处理简单,计算精度高,收敛速度快,提供了场函数的连续可导近似解。基于这些优点,无单元法具有广阔的应用前景。

周维垣、寇晓东无单元法可以求解复杂边界条件的边值问题,它只需结点信息而不需单元信息,故信息简单,特别适用于岩土工程数值分析。它的理论基础是滑动最小二乘法,论文对无单元法的基本理论做了阐述,并用算例说明了它的广泛应用前景。

4. 离散单元法 (DEM)

此法是一种适用于模拟离散介质的数值方法。自从康德 (Cundall) 于 20 世纪 70 年代提出以来,这一方法在岩土工程和边坡问题中的应用日益增长。离散元法的一个突出功能是在反映岩块之间接触面的滑移,分离与倾翻等大位移的同时,又能计算岩块内部的变形与应力分布,因此,任何一种岩体材料都可以引入到模型中,例如弹性,黏弹性或断裂等。故该法对块状结构、层次破裂或一般破裂结构岩体边坡比较合适。并且,它利用显式时间差分法求解动力平衡方程,对求解线性大位移与动力稳定问题较为容易。

魏龙海、陈春光通过大量的计算机模拟试验、物理模型试验及一定的理论分析,改进了三维离散单元法计算型,并探讨了把该方法应用于城市管道工程建设中沟槽开挖边坡稳定性分析的可行性。

侯克鹏、王龙、邓义声采用大变形离散元方法和 CAD 技术对朱家包包铁矿高大边坡的稳定性进行模拟研究,模拟结果与实际情况非常吻合,为矿山的下一步设计、加固和生产提供了理论依据。结果表明采用离散单元法研究边坡稳定是合适和可行的。

5. FLAC 法

首先由康德在 20 世纪 80 年代提出并将其程序化、实用化。FLAC 基本原理类同于离散单元法,但它却能像有限元那样适用于多种材料模式与边界条件的非规则区域的连续问题求解;在求解过程中,FLAC 又采用了离散元的动态松弛法,不需求解大型联立方程组,便于在微机上实现。该方法较有限元方法能更好地考虑岩土体的不连续性和大变形特征,求解速度较快。其缺点同有限元方法一样,计算边界、单元网格的划分带有很大的随意性。

魏继红、吴继敏、孙少锐采用 FLAC^{3D} 研究某边坡的大变形破坏,模拟了边坡天然情况下的应力状态,分析了边坡分步开挖对边坡稳定性的影响,然后根据计算的结果对边坡采取了一定的加固措施,对加固后的边坡应力、应变状态进行分析,得出边坡基本处于稳定状态,分析表明,FLAC^{3D} 在解决边坡的大变形模拟方面的优势是有限元无法比拟的。

王向东、文江泉利用 FLAC^{3D} 的基本原理,对昆明东支线两面寺 (FD2) 土质高边坡的稳定性进行了模拟和分析,并与简化毕肖普法的计算结果进行了相互验证,结果表明:FLAC^{3D} 是边坡稳定性分析的一种有效工具,在考虑 8 度地震烈度的条件下,此边坡的设计坡率合理,边坡处于稳定状态。

6. DDA 法

此法是石根华博士提出的分析不连续变形问题的一种新的离散型数值计算方法。它兼具有限元与离散元法二法之部分优点。此法将每个块体作为一个单元,块体与块体间通过接触机构进行连接,通过分析单个块体或块体系统的动态平衡,求解块体的受力和运动。此法可以反映岩体连续和不连续的具体部位,考虑了变形的不连续性和时间因素,既可计算静力问题,又可计算动力问题,既可计算破坏前的小位移,也可计算破坏后的大位移,特别适合于边坡极限状态的设计计算。然而由于岩体种类繁多,性质复杂,计算时步的大小对结果的影响较大计算方法的优化和改进还有待提高。

张国新、武晓峰在 DDA 法基础上,提出了渗流、变形耦合作用的 DD 法,并通过对某隧道的破坏进行数值模拟分析,表明扩展后的 DDA 法不仅可以很好模拟裂隙渗流、岩体变形的耦合作用,而且可以模拟块体结构的破坏过程。

鲁群志认为,工程岩体的变形主要是不连续面的变形,岩块的变形只占较小的比例,如矿山边坡,不连续变形体现了岩体变形的本质。本书用不连续变形分析(DDA)方法探讨了矿山边坡的渐进性破坏和运动的动态过程,认为 DDA 方法是研究边坡稳定性的很有价值的数值方法。

7. 流形元法

此法是石氏继创立块体理论和 DDA 后首创的一种新的现代数值方法。它以拓扑流形为基础,应用有限覆盖技术,吸收有限元法与 DDA 法各自的优点,通过分析域内各物理覆盖上建立一般覆盖函数和加权求和形成总体位移函数,从而把连续和非连续变形的力学问题统一到流形方法之中。利用该法不仅可以计算不连续体的大变形、块体接触和运动,也可以像有限元那样提供单元应力和应变的计算结果,并且可有效地计算连续体的小变形到不连续体大变形的发展过程。

张国新在原有一阶流形元法的基础上推导了二阶流形元法数值计算模型,并开发了可以模拟沿结合面开裂、沿数学网格开裂,裂缝沿任意可能方向扩展及考虑裂隙渗流对变形的耦合作用分析裂隙边坡的稳定性程序。作为应用实例,计算了受刚性板挤压的圆柱体的接触应力、悬臂梁的大变形、不连续块体边坡崩塌破坏、拱座的破坏失稳及移动中梁的破坏问题。结果表明,流形元法可以以较高的精度分析一般结构的变形及应力、接触应力及大变形问题,并能很好地模拟不连续介质的破坏及块体的运动。

8. 遗传进化算法

此法是一种新发展起来的全局搜索的算法。此法首先随机生成一组模型,将模型的每个参数表示为二进位制数码,然后对种群内各模型根据具体问题所给的目标函数决定其生存概率,来进行优胜劣汰,再把剩下的较优的个体进行交换和变异,最终完成一次对种群的繁殖,反复循环,来模拟生物进化规律。它的特点是在检索了少部分搜索空间后便能迅速地收敛于最优解。该方法模拟了生物遗传进化的过程,克服了传统方法容易陷入局部极小值的缺点,是一种全局优化算法。

何则干、陈胜宏利用遗传模拟退火算法结合瑞典圆弧法,寻找最危险滑裂面进行边坡稳定分析。对构造数学模型、确定计算步骤、选取参数等方面做了一定的研究。通过实例计算,结果令人满意。

肖专文、张奇志等基于圆弧滑动面假定,提出了一种用遗传进化算法确定边坡最危险滑动面及其对应的最小安全系数的方法。该方法模拟了生物遗传进化的过程,克服了传统方法容易陷入局部极小值的缺点,是一种全局优化算法。

9. 人工神经网络

人工神经网络是指由大量简单神经元经广泛互连构成的一种计算结构,是一种广义的并行处理系统。神经网络采用类似于人脑的神经网络的体系结构来构造模拟仿真人的大脑功能,即把对信息的储存和计算推理同时储存在一个单元里。因此,在某种程度上神经网络被认为可以模拟生物神经系统的工作过程。研究表明,神经网络法用于研究边坡工程具有独特的优势。利用神经网络,可以尽可能多地将各种影响因素作为输入变量,建立这些定性或定量影响因素同边坡安全系数与变形量之间的高度非线性映射模型,然后用模型来评价边坡的安全性。

熊锐、彭辉等认为,边坡具有复杂的变形破坏机理和模式。目前分析边坡变形破坏机理及评价其稳定性的一些精确分析方法由于应用起来存在随意性和不确定性,在很多情况下是不适宜的。因此,建立一种把人为影响减少到最低程度的!能融定量与定性指标于一体的边坡稳定性评价方法是非常必要的。利用人工神经网络探索建立的这样一类模型,用于边坡稳定性评价可望建立接近人类思维模式的定量与定性指标相结合的综合评价模型。

何翔、李守巨阐述了经典边坡稳定分析方法的局限性,综合考虑了影响边坡稳定性的因素,建立基于人工神经网络的边坡稳定性预报方法。采用遗传算法优化神经网络的结构,以提高其非线性映射能力和泛化能力,从而提高预报准确度。基于已有的工程实例训练所建立的神经网络,并对新的边坡稳定性问题进行了预报,预报结果表明,所建立的边坡稳定性预报方法具有较高的预报准确度。

10. 范例推理 (Case - Based Reasoning, CBR)

此法是由斯坎克 (Schank) 在 1982 年提出的。1983 年科勒登 (Kolodner) 开始在计算机上实现。在范例推理中把当前所面临的新问题称为目标范例 (Targetcase), 而把记忆的问题称为源范例 (Basecase)。范例推理就是由目标范例的提示而获得记忆中的源范例,并由源范例来指导目标范例求解的一种策略。基于范例推理中知识表示是以范例为基础,范例的获取比规则获取要容易,从而大大简化了知识获取,为边坡稳定性评价这样知识获取很不容易的复杂问题提供了一条新途径。

刘沐宇提出了基于模糊相似优先的边坡稳定性评价范例推理方法。实例分析表明,评价结果与边坡的实际状态完全一致。但随着边坡范例库中的边坡源范例不断增多,必然会引起边坡范例之间的相互矛盾,甚至不相容,这些问题还有待进一步的研究。

11. 专家系统

此法是一种按某学科及相关学科专家的水平进行推理和解决问题、并能说明其缘由的计算机程序。边坡稳定分析设计专家系统就是进行边坡工程稳定性分析与设计的智能化计算机程序。它把某一位或多位边坡工程专家的知识、工程经验、理论分析、数值分析、物理模拟、现场监测等行之有效的知识和方法有机地组织起来,建成一个边坡工程知识库,再利用智能化的推理机 (一个控制整个系统的计算机程序) 来模拟并再现人 (专家) 脑的思维 (推理与决策) 过程,吸收其合理的知识结构,寻求优化的技术路径。同时,它又能

建立计算机模型,结合相关学科不同专家的知识进行推理和决策,对所研究的对象(边坡)进行稳定性评价。利用良好的边坡工程专家系统,运用专家的知识水平,模拟其思维方式和决策过程,以提高设计人员的决策水平,并最大限度地降低费用、节省时间,达到更加优化的目的和效果。

饶文碧、谢颂华基于神经网络和专家系统各自的特点,研究了神经网络和专家系统的集成系统,论述了系统的设计思想、总体结构及实现的基本原理,通过软件设计实现了“可视化”操作。系统具有知识自动获取、预测速度快、鲁棒性及容错能力强等特点。该研究为解决边坡稳定性评估问题提供了一种有效途径。

12. 模糊评价方法

试验与工程实践表明,边坡性质及稳定性的界限实际上不是很清楚,具有相当的模糊性。模糊综合评价是应用模糊变换原理和最大隶属度原则,综合考虑被评事物或其属性的相关因素,进而进行等级或类别评价。实践证明,模糊分级评判方法为多变量、多因素影响的边坡稳定性分析提供了一种行之有效的手段。这一方法主要应用于大型边坡的整体稳定性评价。

李彰明构造了边坡稳定性分析的模糊综合评价模型及关联因素边界值矩阵,通过对某一大型露天矿边坡工程地质条件调查与物理力学性质测试研究,得到各关联因素的实测值,进而评价了该边坡的稳定性。

徐卫亚、蒋中明认为,岩土工程中的各种信息都存在模糊性,通过对边坡稳定性分析中模糊因素的研究,提出了一种工程边坡模糊稳定性分析的新方法,建立了边坡稳定性分析的模糊数学模型,并给出了相应的求解方法。该模型可以考虑分析中所涉及到的计算力学参数的模糊性。在分析岩土力学参数试验资料的基础上,结合专家经验提出了岩土力学参数的隶属函数构造方法,利用统计资料构造了边坡稳定性评价的隶属函数,并提出了边坡稳定性评价的具体分类指标和模糊安全系数隶属度的计算方法。实例研究表明边坡稳定性模糊分析方法是一种更为合理的研究边坡稳定性的新方法。

13. 边坡工程可靠性分析

此法是近20年发展起来的评价边坡工程状态的新方法,它把边坡岩体性质、荷载、地下水、破坏模式、计算模型等作为不确定量,借鉴结构工程可靠性理论方法,结合边坡工程的具体情况,用可靠指标或破坏概率来评价边坡安全度。与传统的确定性理论相比较,可靠性分析能更好地反映边坡工程的实际状态,正确合理地解释许多用确定性理论无法解释的工程问题。但是,客观地说边坡工程可靠性分析目前还处于研究和探索阶段,往往只作为确定性方法的一种补充和参考。尽管如此,边坡工程可靠性分析的方向是正确的,它能真实地考虑到客观和人为的一些不确定性因素,并且已逐步运用于工程实践。

李东升、刘东燕认为,确定性设计安全系数法由于简单易行得到了广泛的应用。可靠度方法在一定程度上弥补了确定性设计中不能考虑实际工程中岩体参数离散性的问题,使设计更加符合实际情况。函数连分式方法在边坡一次二阶矩概率设计中可以方便地计算出状态函数对各随机变量的偏导数,也可使传统安全系数法和可靠度分析有机结合。考虑经济最优的原则,结合风险分析来确定可靠度法设计中的可靠度数值问题。由安全系数和可靠性共同度量边坡系统的稳定性,建立传统安全系数与可靠度理论耦合的边坡稳定二元体

系,可有效地考虑边坡系统内实际存在的不确定性和相关性,使边坡的稳定性评价更加客观精确,为边坡安全和滑坡灾害的风险性管理提供理论和方法。

14. 灰色系统分析

信息不完全,部分信息已知,部分信息未知的系统称灰色系统。把系统中的一切信息量看作灰色量,采用特有的方法建立描述灰色量的数学模型有3个基本环节:①根据系统已发生的一组时间序列数据,根据变量多少建成不同的预测模型;②估计模型参数,如按最小二乘法确定;③把模型用于预测,并进行评价。利用灰色关联度分析方法,可在不完全的信息中,对所分析研究的各因素通过一定的数据处理,在随机的因素序列间找出它们的关联性,发现主要矛盾,找到主要特征和主要影响因素。因此特别适合于象边坡稳定性这种数据有限、没有原型、复杂而且具有不确定性问题的分析与评价。该法所得结果与边坡实际状态相一致且直观,简单,可操作性强。

李梅、夏元友采用基于案例推理的方法来评价边坡稳定性,并利用灰色关联理论,提出基于灰色关联分析的案例检索方法,应用于边坡工程实例,效果良好,且将实例应用结果与同等条件下欧氏距离的检索结果比较,说明此方法合理有效。具有明显的优越性。

魏星、虎旭林等将复杂的岩体边坡系统视为一个灰色系统,在综合分析岩体边坡影响因素的基础上,采用表征边坡岩体稳定性的复合指标作为评判其稳定性的因素,给出了一种基于复合指标的边坡岩体稳定性的灰色系统类比预测模型。算例结果表明,该法简单、直观、实用性强,预测效果较好,很适合于工程应用。

1.2.2 挡土墙土压力计算理论研究

挡土墙是用来支撑陡坡并保持墙后岩土体稳定的一种墙形构筑物,因挡土墙所承受的荷载主要是墙后土压力,故土压力计算是挡土墙设计的主要工作之一。

1. 传统土压力计算理论

土压力是土力学中的一个重要课题,从18世纪开始就有许多学者对此进行了研究,提出了土压力的计算理论和计算方法,其中最著名的是1773年库仑(C. A. Coulomb)提出的土压理论和1857年朗肯(W. J. M. Rankine)提出的土压理论,这两个土压力理论得到了广泛的应用。至今也是工程建设中进行土压力计算的基础。

朗金土压力理论和库仑土压力理论分别根据不同的假设,以不同的分析方法计算土压力,只有在最简单的情况下,用这两种理论计算的结果才相同,否则便得出不同的结果。

朗金土压力理论应用半空间中的应力状态和极限平衡理论的概念比较明确,公式简单,对于黏性土和无黏性土都可以用该公式直接计算,故在工程中得到广泛应用。但其必须假设墙背直立、光滑、墙后填土水平,因而使应用范围受到限制,并由于该理论忽略了墙背与填土之间摩擦的影响,使计算的主动土压力偏大,而计算的被动土压力偏小。

库仑土压力理论根据墙后滑动土楔的静力平衡条件推导得土压力计算公式,考虑了墙背与土之间的摩擦力,并可用于墙背倾斜、填土面倾斜的情况,但由于该理论假设填土是无黏性土,因此不能用库仑理论的原公式直接计算黏性土的土压力。库仑理论假设墙后填土破坏时,破裂面是一平面,而实际上却是一曲面,实验证明,在计算主动土压力时,只有当墙背的斜度不大,墙背与填土间的摩擦角较小时,破裂面才接近于一个平面,因此,

计算结果与按曲线滑动面计算的有出入。在通常情况下,这种偏差在计算主动土压力时约为2%~10%,可以认为已满足实际工程所要求的精度;但在计算被动土压力时,由于破裂面接近于对数螺线,因此计算结果误差较大,有时可达2~3倍,甚至更大。

张鹏博、郭进京认为,扶悬臂式挡土墙的土压力计算一般来用库仑模型和朗金模型。由于两种计算模型的前提条件不完全相同,所以其适用条件也不相同。以天津软土地区某工程为例,分别采用两种计算模型进行了计算,并对计算结果进行了比较,指出了两种模型在整体稳定性和构件强度验算方面的差异,而了解这些差异对扶悬臂式挡土墙的设计具有重要的参考价值。

王元战、王玉红采用库仑土压力理论中墙后填土滑动楔体极限平衡的概念,在滑动楔体上沿填土深度方向取单元片体进行分析,建立力平衡方程,调用标准的四阶龙格-库塔方法子程序求解此微分方程,得到作用于挡土墙上的土压力及其分布,用两个试验的测试数据对此法进行了检验。

2. 库尔曼图解法

1871年库尔曼(Culmann)在库仑土压理论的基础土,提出了一个著名的计算土压力的图解方法,被称为库尔曼图解法,这一方法利用力三角形与几何三角形的相似性,根据力的比例尺可直接得出主动土压力的值。库尔曼图解法可用于墙背填土的表面为任意形状和填土表面作用任意荷载的情况,但该法仅适用于无黏性土情况,对于黏性土,这种方法便无能为力,因此,库尔曼图解法也有一定的局限性。

王奎华、阙仁波对库尔曼图解法进行了改进,通过巧妙的作图,结合几何和物理两方面的关系导出了库仑主动土压力公式的另外一种表达形式,并由此得出了一种新的土压力图解法。和原库尔曼图解法相比,改进的方法计算量大大减少,作图更加方便,所得结果更加精确。算例表明,该方法所得的结果和库仑主动土压力理论公式所得到的结果吻合得非常好。

3. 土压力的非线性分布解法(水平层分析法)

1943年,太沙基(K. Terzaghi)在其所著的《理论土力学》一书中,指出了土压力的非线性性质。其后在许多学者的土压力试验中,也证实了这一特点,国内外许多现场观测和室内试验结果均表明,土压力沿墙背的分布是非线性的,土压力的合力作用点位于0.36~0.5倍墙高范围内,这与库仑理论和朗肯理论的土压力分布模型有较大的差别。1895年,X. 杨森首先利用水平层分析法计算圆筒形深仓仓壁上散粒体压力,E. A. 伽夫拉申科(1937)、Φ. M. 希里耶夫(1955)和 M. E. 卡岗(1960)通过研究挡土墙后土体单元层的极限平衡条件得出了非线性分布的土压力计算方法,而后国内王渭章等利用水平层分析法得出了直线形墙背土压力分布的非线性解,宗全兵依据水平层分析法的基本原理详细研究了衡重式挡土墙非线性土压力的计算方法,并得出了其土压力非线性分布的解析解。自此以后,这种水平层分析法在国内引起了众多研究者的注意。

陈昌富、曾玉莹认为,作用于挡土墙侧土压力的计算一直沿用经典的土压力理论,其土压力分布沿墙高呈直线分布,但实践证明它们与实际情况不符。作者在已有研究成果的基础上,为提高计算精度,假定挡土墙后土体潜在滑裂面为由对数螺线面和平面组合而成,根据挡土墙后土体薄层单元的极限平衡条件推导出土压力的计算公式。由于土压力计

算值与滑裂面的位置有关,为寻找潜在最危险滑裂面,在简单遗传算法中引入复合形搜索法得到一种高效的复合形遗传算法,并将其用于墙后填土潜在最危险滑裂面搜索和相应主动土压力计算。最后,对室内模型挡墙和现场实际挡墙后填土土压力进行了分析计算,计算值与实测值吻合很好,这表明该方法不仅可行,而且可靠。

张军、王贻荪考虑有关因素对土压力分布的影响,根据挡土墙后土体薄层的竖向平衡条件推导出一般情形下主动土压力分布的一般解,并利用实测土压力数据,经优化拟合确定解答中包含的2个参数,从而提出了确定一般情形下挡土墙主动土压力分布的一种新方法。

4. 按能量理论计算土压力

土体(散粒体)在极限平衡状态下,除了存在一个满足应力平衡条件和强度条件的应力场之外,还存在一个相应的运动速度场。所谓运动速度,是指将土体视为完全塑性体而处于流动状态时,各点处的塑性应变速率,即应变相对于时间的增长率。各点处的应变速率反映各点的位移速度或运动速度,而各点的应变速率分量则决定着各点处应变矢量的方向。根据能量守恒原理,在某区域内满足平衡条件、边界条件和屈服准则,如果外荷载所做的功等于内能的耗散,则土体破坏,反之土体稳定。在土压力分析中应用能量守恒原理,同时不考虑墙背的倾斜度、填土的作用面、土的性质、土体间作用力的大小、方向,使此法在土压力计算中具有应用简便的特点。

高江平、刘元烈运用统一强度理论和能量理论,导出了按能量理论计算挡土墙主、被动土压力系数及土压力的公式,这些公式可以灵活地适用于各种不同特性填土材料土压力的计算。对不同权系数下的土压力计算结果的比较表明:已有的Mohr-Coulomb解仅为文中解的特例,主动土压力统一解小于Mohr-Coulomb解,而被动土压力统一解大于Mohr-Coulomb解。应用统一强度理论解可以更好地发挥填土材料的强度潜力,并获得明显的经济效益。

喻泽红、王勇智分析讨论了能量法在挡土墙土压力计算中的应用,给出了主动土压力的计算公式,同时进行了实例验证,结果证明比其他极限平衡法更接近实际且思路明了、计算简单,是一种值得推广的好方法。

5. 土压力的空间计算理论

前面所述的朗肯理论、库仑理论和极限平衡理论,都是将挡土墙作为平面问题来研究的,也就是将挡土墙看作是无限长墙中的一个单位长度墙体来研究的,但是实际的长度都是有限的,只不过其相对长度不同而已。作用在挡土墙上的土压力,不仅随墙高而变化,而且随墙的长度而变化,沿挡土墙的长度,作用在中间断面上的土压力与作用在两端断面上的土压力有明显的不同,这就说明,作用在挡土墙上的土压力是一个空间问题,而非平面问题。

20世纪30年代,在太沙基、契波塔廖夫等人的著作中,指出了土压力的空间特性,对这一问题的实际研究是从20世纪50年代开始的,特别是在近30年来,许多学者对这一问题进行了试验研究,使空间土压力的计算成为可能。1981年到1986年,在顾慰慈的主持下,武全社、张亦昭、陈卫平对挡土墙背面填土中的滑型体形状,进行了系统的试验研究,取得了不同墙长时滑裂体的形状及其变化规律从而为空间土压力的计算打下了