

第二届全国岩土与工程学术大会 论文集 (上册)

《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会



科学出版社

www.sciencep.com

第二届全国岩土与工程学术大会论文集

(上 册)

《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本论文集共收录了 304 篇论文, 内容包括: 岩土勘探测试与信息技术; 特殊性土与岩土力学理论; 重大岩土工程项目的综合研究; 边坡及地质灾害防治; 地基与基础工程; 地下工程技术与地下空间开发利用; 地震区场地勘察与抗震; 环境岩土工程与可持续发展; 岩土工程中的地下水问题。分上下册, 即岩石、土两部分。

本论文集可供从事岩土力学与岩土工程的科技工作者借鉴和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

第二届全国岩土与工程学术大会论文集/《第二届全国岩土与工程学术大会论文集》编辑委员会编. —北京: 科学出版社, 2006

ISBN 7-03-018141-7

I. 第… II. 第… III. 岩土工程—学术会议—文集 IV. TU4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 121661 号

责任编辑: 编辑组 / 责任校对: 梅 莹

责任印制: 高 嵘 / 封面设计: 宝 典

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 10 月第一次印刷 印张: 63 1/4

印数: 1—1 400 字数: 1 603 000

定价: 298.00 元 (上、下册)

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

由中国土木工程学会土力学与岩土工程分会、中国地质学会工程地质分会、中国岩石力学与工程学会、中国建筑学会工程勘察分会联合主办，中国科学院武汉岩土力学研究所承办的第二届全国岩土与工程学术大会于2006年10月在武汉召开。这次会议将是我国岩土工程领域的又一次学术盛会，来自全国从事岩土工程科研、教学、设计、管理及施工等工作的专家、学者和代表将增进了解、加深友谊，从而互相启发、共同提高。

第二届全国岩土与工程学术大会的主旨是以科学发展观为指导，研讨岩土工程理论、实践探索、工程实录、新技术与新方法等，如岩土工程与可持续发展、环境岩土工程、岩土工程中的新技术与新材料及岩土工程中的计算机应用等。同时还包括我国南水北调、西电东送、青藏铁路、地铁工程、高原冻土和高土石坝等重大岩土工程问题，以及填海造地、岩土抗震数值和物理模拟等方面的研究进展。本次会议将给从事岩土力学与岩土工程的科技工作者提供一个交流新思想、新理论、新技术和新经验的好机会，搭建一个讨论学科发展的新理念、新进展、新方向和新领域的好舞台。

经过多年的风雨历程，我国岩土工程学科从起初十分薄弱的基础发展到今天，获得了巨大的进步和发展。这是奋战在我国岩土工程战线上的科技人员长期不懈努力的结果，其中更饱含着老一辈岩土工程专家学者的智慧和汗水。为了让中年岩土工程科技工作者承前启后，为了让青年岩土工程科技工作者得到锻炼和提升，会议还将邀请一些中青年专家组成青年岩土工程论坛，以期让更多的青年岩土工程科技工作者深入地认识本领域的过去、现在和将来，传承老一代科技工作者自强不息和勇于创新的拼搏精神。

在各方支持下，大会主办方收到400余篇论文。经大会学术委员会审核，选择其中304篇论文汇编成论文集。

论文集内容主要有：岩土勘探测试与信息技术、特殊性土与岩土力学理论、重大岩土工程项目的综合研究、边坡及地质灾害防治、地基与基础工程、地下工程技术与地下空间开发利用、地震区场地勘察与抗震、环境岩土工程与可持续发展和岩土工程中的地下水问题。论文集分为上下集，即岩石力学、土力学两部分。

本次会议的组织及论文编辑得到了大会顾问委员会、组织委员会、学术委员会的大力支持，在此向他们深表谢意。

大会组织委员会

2006年10月

目 录

岩石力学部分

岩体中复杂构造的三维可视化方法	韦宏鹄 王建锋 杨玮	3
边坡稳定安全系数计算的应力状态方法	王国体	8
利用 Modflow 进行某露天煤矿开挖降水设计预测	赵龙等	12
CCD 图像处理技术用于土木工程监(检)测	赵文光等	16
BP 神经网络在岩石三轴压缩围压与峰值应力、应变关系研究中的应用		
.....	易达 刘洁荣 葛修润	21
砂岩卸载过程的渗透特性试验研究	李小琴 李文平 盛平	25
关于瓦斯隧道施工地质超前预报的探讨	李苍松 何发亮	30
锚网索注联合支护技术在深部岩巷返修中的应用	何满潮等	37
分布式光纤温度传感技术在思安江大坝渗流监测中的应用	肖衡林 蔡德所	43
滑坡灾害风险分析原理	汪华斌	49
过街隧道开挖对周围管群的影响分析	王秋生 钱军	54
三板溪面板堆石坝应力变形的数值模拟	侯文峻 张建民 张嘎	60
φ14.87 盾构出洞段冻结区强制解冻及注浆充填的复合应用	李福清等	66
高边坡压力分散型预应力锚索施工工艺研究	王清标等	73
隧道联络通道冻土帷幕 3D 可视化研究	邱凡 胡向东	79
超载法在岩石边坡地基稳定性分析中的应用	吴曙光 张永兴 康明	84
超固结土的主动土压力求解方法	宋飞 张建民	91
盾构法施工对地表沉降影响的数值分析	卿伟宸 廖红建 李昌宁	96
两相介质弹塑性地震反应分析方法研究	李亮等	102
三维刚体极限平衡方法在滑坡分析中的应用	王小明 姜清辉 张奇华	111
湖南省高速公路滑坡研究	黄向京等	116
基于强度折减与离心加载原理的边坡稳定性分析方法	唐春安 李连崇 马天辉	123
隧洞“一洞两用”施工有限元模拟及安全分析	戚蓝 陈勇 宁少晨	134
甬台温高速公路温州大桥南岸挖方边坡滑坡加固治理与分析	王小明等	148
C-M 和 D-P 屈服准则参数与岩石的断裂韧度关系研究	郑炎等	156
人类活动与泥石流灾害的关系	梁收运 钟秀梅	162
紫坪铺水利枢纽工程 2 号泄洪洞出口边坡滑坡及治理	彭仕雄 杨建 谭顺仕	167
危岩主控结构面压剪断裂机理研究	李明 唐红梅 祝辉	173
土石坝坝坡抗滑稳定可靠度分析	秦朝江等	179
甘肃九甸峡水电站混凝土面板堆石坝离心模拟试验研究	张延亿 侯瑜京	185
岩土工程可靠度分析方法的比较研究	曾琦等	191
岩石锚杆拉拔实验的数值分析	刘明贵等	196
小浪底工程进出口高边坡的稳定研究和加固处理	严永璞	200

垂直交叉隧道盾构法施工的三维数值模拟	高峰等	209
边坡稳定性分析集成系统的实现	边亚东 张玉国 祝彦知	215
沿空巷道顶板锚注支护技术研究及其应用	张玉国 边亚东 祝彦知	221
地下空间开挖动态过程中支护结构受力分析	边金等	228
K93+946~K94+082 段公路路堑岩质高陡边坡稳定性分析	邹祖银等	234
库木吐拉千佛洞修复保护效果分析	马淑芝 贾洪彪 方云	240
高水头下岩体渗透特性及数值模拟	傅旭东 魏宁	245
水布垭面板堆石坝垫层料和过渡料渗透稳定性试验研究	张伟等	251
基于改进 BP 神经网络的隧洞围岩变形预测	杨锡鏊等	256
赣粤高速公路垭口边坡稳定性分析与加固设计	易萍华 罗嗣海 杨泽平	265
花岗岩风化砂作为坝料的长期稳定性试验研究	李青云 熊官卿 宋建平	270
锦州某地下水封洞库工程地质条件适宜性分析	郭书太等	277
碳酸盐岩山区隧道防治水的重点与工程对策研究	孙军等	283
基于模糊神经网络盾构施工引起地表沉陷预测	张孟喜 周淮 涂敏	290
唐钢司家营尾矿库坝地震动力反应分析	杨光等	296
松散含水层下采煤水砂突涌防治研究现状与展望	隋旺华 费芳草	300
基于聚类分析与两级模糊综合评判相结合的大坝变形分析与预报研究	刘子侠 王清 王永全	305
大跨度公路隧道施工过程的仿真分析研究	张海波	311
关于浅埋偏压隧道合理开挖进尺的讨论	王磊等	317
广西洞巴水电站厂房边坡破坏机理探讨	林峰 罗冲 范孝锋	324
石宝白石岩滑坡灾害的分析与治理	陈爱新 刘世岩 路永平	330
云南哀牢山大水井岩滑特征及其形成的动力学机制	程谦恭 陈红旗	335
十三陵抽水蓄能电站上水库西外边坡监测分析及稳定性研究	崔学巨 齐俊修	349
龙羊峡虎山坡滑坡的失稳过程及其处理	党林才 尉军耀	361
岳城水库库下采煤对其库区渗漏的影响研究	段庆伟等	370
废旧轮胎在环境岩土工程中的应用和研究展望	龚壁卫 李青云 丁金华	376
地铁区间隧道下穿某桥数值模拟分析	贺美德等	381
武汉阳逻长江公路大桥南锚碇地下连续墙施工的重要技术创新	蒋振中 郭宏波	386
坝陵河大桥西锚洞周边围岩地质条件分析及预报	李苍松 尚海松 于维刚	396
$\phi 11.36$ 越江隧道管片拱顶大面积密集植筋可行性技术研究	李福清 姜颖	403
隧道施工地面沉降影响因素敏感性分析	李小青 周伟	409
凤安山滑坡地质过程研究	刘高等	418
赵各庄矿深部巷道冲击地压诱发因素分析	刘文岗等	425
地下水中硫酸根离子检测方法探讨	刘学芹等	431
重庆市朝天门两江隧道越江段合理覆盖层厚度研究	刘元雪等	435
τ - p 变换中假频现象的压制	罗敏 李堂磊 黄真萍	441
地震动荷载作用下锚固边坡稳定性研究	马行东 李海波	446
我国祁连山-河西走廊地区典型环境岩土工程问题探讨	毛军南	452
基于 GDAS 中间件技术互联网架构下有限元数值模拟的研究	欧阳治华 许梦国 贺怀建	458

焦作城市抗震的工程地质问题研究	潘国营等	465
宝泉电站上水库主坝坝基深厚覆盖层问题研究	齐三红 杨顺群 郭晓峰	469
地质工程学-人工干预地质过程的学科	沈珠江	473
基于光纤传感技术的桩基分布式检测技术研究	施斌等	476
岩土体地源介质库的类型与工程特性	苏滔 苏景中	482
煤矸石地基土的工程问题研究	孙鑫 孟杰 李艳杰	488
渠道边坡顺层滑坡稳定性分析与加固治理	田斌 童富果 周建军	493
高速公路边坡稳定性分析与防护设计	汪春桃 胡光伟 徐春明	499
包钢白云鄂博东矿 C 区滑体变形研究及边坡稳定性评价	王广和等	503
北京地铁十号线第三方监测与安全评估	王金明 郑瑶 陈昌彦	513
高速公路下伏采空区剩余沉降影响因素分析	王生俊	518
边坡的阻滑技术及其发展趋势	文松霖	523
浅析山区公路隧道的工程地质勘察方法	吴言军 陈爱新	528
小溪隧道口危岩工程治理研究	许家美 曾仁书	534
武汉阳逻长江公路大桥南锚碇深基坑监测技术及研究	杨玉泉 吴浩 刘明虎	538
尾矿库坝二维及三维渗流数值计算分析	杨媛媛 胡黎明 张丙印	566
危岩落石威胁区域预测	叶四桥 唐红梅 祝辉	570
大藤峡水利枢纽武宣盆地浸没预测	于立宏 刘德斌 王迅	576
坝陵河悬索桥西岸隧道式锚碇及其边坡的岩体工程地质力学研究建议	曾钱帮等	579
西藏错木及日水库坝址区透水性分析与防渗处理建议	张定邦	583
SMW 围护结构地铁基坑开挖数值模拟	张飞进 高文学 刘军	588
岩溶地区高速公路隧道溶洞处理	张家铭等	594
高心墙堆石坝静力三维有限元应力变形分析	张坤勇 周治刚	601
岩土工程的工作方法	张在明	608
沥青混凝土心墙堆石坝产生水力劈裂破坏的分析与评价	周欣华 饶锡保 朱国胜	621
从实际地震的加速度谱看我国建筑抗震设计规范谱	朱国祥 陈刚	627
Lade-Duncan 模型在粉质黏土中的试验研究	朱志政 何世秀 杨雪强	633
明洞在崩滑体治理工程中的设计与实践	邹勇等	640
ANSYS 二次开发技术在侧向受荷桩土分析中的应用	张慧 杨敏 李琳	644
Nonlinear Softening Model of Shear Strength for	ZHOU C Y TAN X S DENG Y M	649
小湾水电站进水口高边坡稳定监测成果分析	段会文等	666
考虑混合料特性的积石峡面板堆石坝变形分析	于艺林等	675
公路边坡新型防护体系及其力学解析	冯玉涛 肖盛燮 戎进章	680
基于气象因素的区域地质灾害预警原理与应用	刘传正 温铭生 刘艳辉	686
考虑震动附加力的岩质边坡稳定萨尔玛分析方法及其应用	苏永华	694
宝中线某滑坡立体排水措施介绍	陈志敏等	698
百色水利枢纽主坝区主要工程地质问题及施工处理	罗继勇	703
地质工程学—人工干预地质过程的学科	沈珠江	709
一种新的基于有限单元法的边坡稳定性分析方法	凌道盛 李育超 陈云敏	712
PANDA 触探试验与标贯试验在岩土工程勘察应用中的对比分析	郑书增 方德火	717
架空送电线路通过沁水煤田塔位的稳定性分析	赵环	724

大同市小营 500 kV 变电站的岩土工程勘测·····	赵环	730
赵庄煤矿坑口电厂煤矿大巷对电厂的安全稳定性状况评价·····	于爱文 何万龙	734
云南公路工程的膨胀土灾害及其防治原则·····	刘汝明	745
大面积剪切试验在乌鞘岭隧道松软岩体中的实践·····	钱伟平	751
地应力测试在乌鞘岭隧道工程中的应用·····	张惟理 钱伟平 楼文虎	759
两河口滑坡稳定性评价·····	高红杰	767
南疆铁路吐鲁番至鱼儿沟段的大风及路基挡风工程·····	胡长宏	772
浅谈长大深埋隧道工程地质勘察中地质对物探的配合·····	张举贤	779
乌鞘岭隧道变形整治中围岩松动圈测试技术应用·····	钱伟平 楼文虎	784
浅谈乌鞘岭隧道动态设计中对围岩分级的调整·····	王华江	790
松软地层原状试样的采样制样与试验分析·····	钱伟平 李文祥	795
乌鞘岭隧道施工对区域水环境影响的初步分析·····	钱伟平 张庆珠 王华江	800
乌鞘岭隧道综合物探测试及工程应用·····	王华江	810
滨海发电厂开山填海工程中的岩土工程问题·····	王清黎	817
边坡工程的复合开挖效应及其评价方法的研究·····	孙世国 冉启发 李国柱	822
黄河岸边某提水工程边坡失稳分析·····	张绍民 陈传华 刘平安	827
大亚湾石化区一期陆域形成及地基处理工程·····	付文光 张俊 杨志银	831
三峡库区危岩发育规律研究·····	陈洪凯 唐红梅	837
水电工程边坡设计与施工技术总结·····	周建平 陈观福 赵全胜	843
复杂条件下长大地道结构不均匀沉降的数值模拟与控制·····	刘镇 朱凤贤 周翠英	850
松散坡体滑塌成因及加固技术·····	张泽彬	857
地下水封岩洞储油库地下水控制·····	王玉洲 代云清 安佰燕	862
安徽芜铜高速公路高边坡岩体结构特征分析与稳定性评价·····	金培杰等	866
厦门某滨海海底大滑坡分析·····	黄清和	872
长江三峡水库移民工程地质灾害防治工作体会·····	刘广润 徐开祥	876
西南某水电站施工期的边坡岩体分类·····	李攀峰 崔长武 张绍成	881
铜黄一级公路滑坡分布特征及治理设计总结·····	张亮 何宏民	885
三峡船闸高边坡工程·····	曹广晶	894
中国露天矿山边坡工程研究进展与展望·····	王思敬 高谦 孙世国	901
柘溪水库塘岩光滑坡·····	杜伯辉	918
中国铁路与公路建设中的边坡工程·····	王恭先等	923
漫湾左岸滑坡特征及边坡治理·····	汤献良 高强	937
鲁布革水电站发耐滑坡稳定性分析·····	李开德 张进 张四和	942
天荒坪抽水蓄能电站 3.29 滑坡处理工程设计·····	张克钊 罗锡龙 任忠民	952
小湾左岸坝前堆积体边坡变形特征及其治理·····	汤献良 冯汉斌 向东辉	961
锦屏一级水电站坝区左岸复杂地质条件下的超高边坡设计·····	向柏宇 陈岗	966
铜黄公路川口黄土-基岩滑坡治理·····	赵久柄	977
洪家渡水电站岩质高边坡与工程处理·····	杨泽艳 肖万春 蔡大咏	987
龙滩水电站进水口高边坡稳定研究与治理·····	周建平等	996

岩石力学部分

岩体中复杂构造的三维可视化方法

Visualization of Complicated Structures in Rock Masses

韦宏鹄¹ 王建锋² 杨 玮³

(1. 北京工业大学建工学院, 北京, 100022; 2. 中国科学院力学所, 北京, 100083; 3. 山西省临汾市水资源局, 临汾市, 041000)

摘要: 岩体中复杂构造(如断层及褶皱)对地下建筑工程的安全影响很大, 因此如何根据工程勘察结果精确地再现构造的空间分布对于地下工程的设计及安全施工极为重要。本文基于地下工程中地质构造的空间形态, 结合 Gemcom 三维建模软件的基本功能, 分析复杂地质构造的三维建模问题, 解决诸如断层及倒转褶皱等复杂构造的可视化方法。

关键词: 断层 倒转褶皱 软弱夹层 可视化

1 引言

断层、褶皱及软弱夹层是地层中几种重要的构造形态。褶皱(特别是翻转褶皱)使地层发生了扭曲、断层使地层发生断裂、软弱夹层使地层容易发生滑动, 这些因素的存在使得地层的力学特性发生了很大变化, 大大减弱岩体的抗剪切强度及抗滑强度, 极大地影响了地下建筑的安全性。因此, 详细了解地下构造空间分布情况对提高地下建筑的设计、施工的稳定性非常重要。尽管目前钻孔工程勘察是获取地下地层、构造信息的主要手段, 但这些仍然只是一堆散落的孤燥数据, 需要更为有效的措施来处理并显示这些信息, 以便能充分了解岩体结构的分布、构造的空间形态以及其在岩体内的穿插关系, 才能更好地把握空间地质情况, 为设计、管理及施工部门提供更好的资料。3D 可视化技术是主要方法之一。岩体结构构造的 3D 可视化是一种有效方法来描述岩体结构构造的空间分布、相互制约以及相互交错的特性。

目前, 对于地下岩体结构构造的三维可视化问题出现了不少的方法技术, 这些方法技术均基于一定的算法条件以及函数关系, 可通过这些关系来描述结构构造的空间形态^{[1-4]*}。然而, 由于地下情况的复杂性, 很多情况下很难用某种函数关系来完整地描述这些构造现象, 这就需要具有更多的人机交互能力的方法来解决这些复杂的空间分布问题。本文以 Gemcom software International Inc. 开发的 Gemcom Desktop Edition 系统为基础, 利用其三维体生成方法以及各种交互切割处理功能, 分析复杂岩体、结构构造的三维地质体建模方法, 讨论断层、褶皱(特别是翻转褶皱)以及软弱夹层的建模方法。

2 面生成

三维地质模型的生成过程: 点(线)→面→体, 其中主要的步骤就是面的生成方法。现有的很多方法都是以 Delaunay 网格法, 即根据实际数据点的空间分布状态来生成网格面。这种方法虽然能够保持原始数据点的不变性(即所生成的面经过所有的数据点), 但它却存在一个不可回避的问题: 由于受客观条件的影响, 实际采样数据点的空间分布往往极不均匀。在这

* 李魁星, 2000. 3D 地质空间信息系统设计及其可视化. 博士论文, 北京大学。

种情况下, Delaunay 法所生成的网格面容易产生过长的三角形, 而此类三角形在网格生成中最容易导致错误, 以至后续的工作无法继续进行, 并且也会使生成的面圆滑度较差。鉴于这种情况, 在生成网格面之前, 首先采用内插方法对实际数据进行插值处理。使数据点的空间形态尽可能达到均匀分布。

空间插值按数据点与插值结果之间的关系, 可分为纯插值和曲面拟合两类^[5]。纯插值法要求插值结果与已知点之间的误差为 0, 即要求插值结果通过已知的每一个数据点; 曲面拟合方法不要求插值必须包括每个已知点, 但必须满足某种条件, 如最小二乘准则(插值结果与已知点之间误差的平方和最小)。可见, 纯插值法不可能形成规范的三角形网格, 而曲面插值法则可构成规则三角形网格, 即通过人工规定插值网格的长、宽间隔, 从而可以实现规则网格划分。具体处理采用 Laplace 插值法, 这是一种曲面拟合方法。Laplace 方法具有如下优点: 对于数据点稀疏或缺少的地方, 容易生成插值点*, 而这正是工程勘察结果常见的数据点分布特征。

假设与待求点相邻的 4 个已知点的值分别为 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 , 并且 f_1 、 f_3 相对, f_2 、 f_4 相对, 待求插值点的值为 f_0 , 则 f_0 可由下式求得:

$$f_0 = \frac{\frac{f_1}{a(a+b)} + \frac{f_2}{b(a+b)} + \frac{f_3}{c(c+d)} + \frac{f_4}{d(c+d)}}{\left(\frac{1}{ab} + \frac{1}{cd}\right)}$$

其中, a 、 b 、 c 、 d 分别为待求点到 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 的距离。

3 复杂构造建模方法

3.1 断层建模方法

断层构造最大的特征是断层两侧地层出现了相对位移、地层界面出现突变不连续性, 甚至断层带本身还具有一定的层厚。这种复杂的空间界面分布特征在计算机中很难通过一般的函数关系来精确表达, 必须通过人工交互处理才能实现这种突变现象的拟合再现。

考虑一般情况, 即断层带具有一定的厚度, 并且断层两侧地层出现了上下位移, 两侧地层界面发生了上下错动现象(图 1(a))。对于这种突变的界面现象, 采用以下方法进行处理:

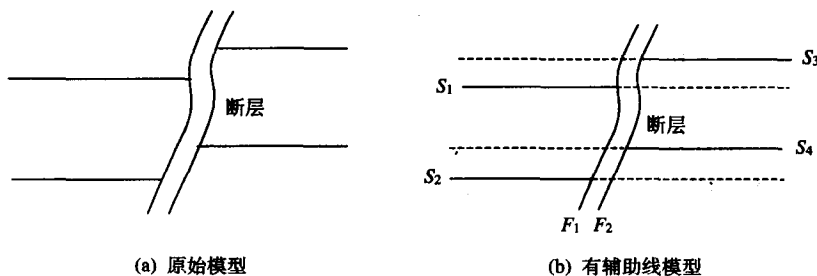


图 1 有断距与落差的断层模型及辅助线

1. 作地层分界线的辅助线

在网格化之前, 首先根据实际地层分界线对所有剖面作界面辅助线(如图 1(b)中的虚线所

示)。经过处理后,对于一个地层来说便有两对地层分界线:一对以断层左侧的地层分界线为准向断层右侧延伸而形成的界线(断层右侧虚线部分),另一对则以断层右侧的地层分界线为准向断层左侧延伸形成的界线(断层左侧虚线部分)。

2. 地层界面生成

利用地层分界线及辅助线生成地层界面,对于如图 1(b)所示的断层来说,可以生成 4 个地层分界面:其中两个以断层左侧地层界面线为基础的上下分界面 S_1 及 S_2 (包括右侧的虚线部分),另外两个则以断层右侧地层分界线为基础的分界面 S_3 及 S_4 。 S_1 及 S_2 所表示的地层界面在断层左侧是精确的,而在断层右侧则是虚构的;同样道理, S_3 及 S_4 在断层右侧是精确的,而在断层左侧则是虚构的。

同样道理,可利用断层界面线生成断层两侧的界面 F_1 (左侧界面)及 F_2 (右侧界面)。

3. 由地层分界面生成地质层

采用两个不相交的面来生成体。分别由 S_1 、 S_2 以及 S_3 、 S_4 生成两个地层体 V_1 及 V_2 ,然后再由 F_1 及 F_2 生成断层体 V_F 。

4. 体切割及体合成

首先利用 F_1 对 V_1 进行切割处理,保留左侧部分 V_1' (断层左侧实际地层)。同样道理,利用 F_2 对 V_2 进行切割,保留右侧部分 V_2' (断层右侧实际地层),然后将左右两部分的地层 V_1' 及 V_2' 合成后即得到该地层在断层两侧的实际地层体,最后将中间的断层体 V_F 嵌入即可得到完整的地层(图 2)。

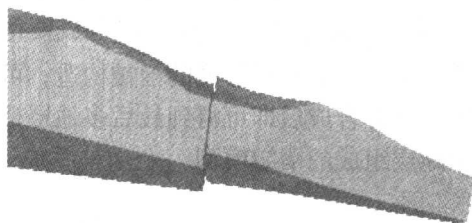


图 2 断层三维模型

3.2 翻转褶皱的建模方法

翻转褶皱是地层中最为复杂的构造形态之一,由于它的空间分布复杂性,几乎不能用一个函数形式来完整表示它的空间分布,因此,也就很难根据它的空间形态直接生成构造体模型。另一方面,由于翻转褶皱的空间形态复杂,因此从计算机三维图形建模的方法来说,不管从哪个方向对翻转褶皱进行平面投影处理,在部分网格点会出现多值性。因此,必须对褶皱进行分解处理,才能保证在投影平面网格点上的单值性。因此,翻转褶皱的建模工作可分为以下几个步骤完成。

1. 分解地层剖面

在图 3 所示的褶皱剖面模型中,地层分界线主体上是以水平分布为主,因此,选择水平面作为网格化投影平面。为了避免投影点出现多值性,采用分块建模的方法,即引入辅助线

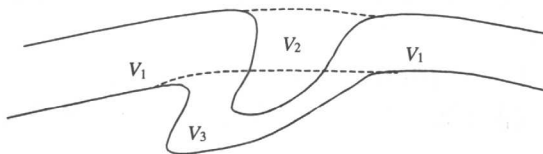


图 3 褶皱模型及辅助线

将地层划分为三部分。如图 3 中的虚线所示:由两条缓变曲线以及虚线之间作为体模型的第一部分 V_1 ,上下凹线及上部虚线所围成的空间构成体模型的第二部分 V_2 ,而下部凹线及下部虚线所围成的空间则构成体模型的第三部分 V_3 。对于这三部分,采用不同的方法建模,既可避免多值性问题,同时又使得复杂构造的建模过程变得十分简单。

2. 体生成

第一部分采用由面生成体的方法, 首先利用改造后的两条平缓变化曲线来生成两个面, 然后再由这两个不相交的面来生成。对于第二、第三部分, 采用由闭合环来生成体的方法。由剖面中所加入的辅助线(虚线)和对应的下凹分界线来构成一个闭合环, 然后利用软件将各个剖面中对应的闭合环用连接线连接起来形成连接的闭合环串。

首先调出对应 V_1 的上下两个(不相交)界面, 然后利用这两个不相交界面来生成体 V_1 , 这是一个边界平稳变化、近似水平的地层。其次, 调出对应 V_2 的所有闭合环。Gemcom 软件提供了由闭合环生成体的功能。调用相应的软件功能生成体 V_2 , 体的属性与上一层的体的属性一样。同理可生成 V_3 。

3. 体切割及体合成

利用 V_2 对 V_1 进行切割, 将 V_1 中被 V_2 所占据的部分切掉后得到 V'_1 , 对 V_3 也进行同样处理得到 V'_3 。最后将 V'_1 、 V_2 及 V'_3 合成便得到了倒转褶皱的最终三维构造模型。

对于由多地层形成的褶皱构造, 可以对各个地层按照上述方法生成各层的模型, 然后将各个部分合成后即可得到最后多地层褶皱构造的模型。图 4 所示为按照上述方法生成的由 4 个地层组成的褶皱模型。



图 4 倒转褶皱模型

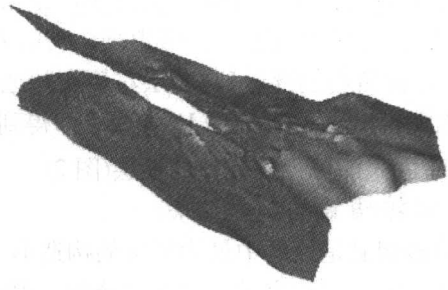


图 5 软弱夹层三维模型

3.3 薄软弱夹层的建模方法

软弱夹层是在地下岩土工程中占据着重要位置的一个力学结构层, 其空间分布特征是, 范围广、厚度薄, 因此按照常规的方法很难完整、精确地描述其空间形态。由于 Gemcom 系统提供体生成的一般方法是, 利用两个不相交的三维面来生成体。当两个面存在相交时, 由此方法生成的体不完备, 不能用于进一步处理(如切割处理等)。由于软弱层厚度小, 因此在整个建模的范围内可能还会出现局部缺失的现象。因此由软弱层上下界面点所生成的两个界面往往会存在交叉现象。在这种情况下, 不能直接利用夹层两侧的两个界面来生成体。为了避免出现面的交叉性, 可对薄层模型生成做如下处理:

以夹层的一个界面为基础, 将另一个界面拉开一定的距离, 以保证两个面不相交。然后再利用这两个面进行三维体生成, 最后再利用移动前的界面对体进行切割处理, 便得到实际的软弱夹层, 如图 5 所示。

4 建模实例

本实例为我国一个水电建筑工程, 工程所处的地段多为裸露的基岩。主坝位置位于一山凹中, 两侧地势起伏很大(图 6)。在整个场地中, 影响工程岩体稳定性的因素为 4 条较大的断

层带以及 7 个层间软弱夹层。根据工程勘察结果表明, 软弱夹层的空间分布形态虽然相互基本平行, 但厚度很小, 最小只有 30 cm。4 条断层带均具有一定的厚度, 且在建模区内纵横交错, 相互之间存在穿插现象。根据工程要求, 坝区内建模地层对象共有 12 个地层。所有这一切为建模工作增加了很大的难度。

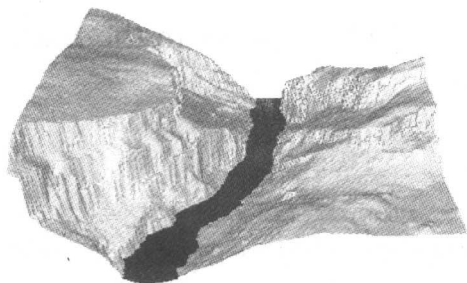


图 6 某水电工程地形图

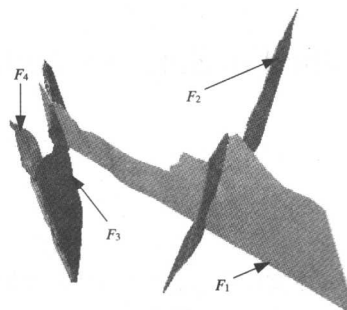


图 7 某水电工程断层分布图

实际建模时利用上述方法分别对地层、断层及软弱夹层进行建模。对断层及软弱夹层的建模结果显示了 4 条断层带及 7 个软弱夹层的空间形态如图 7、8 所示。

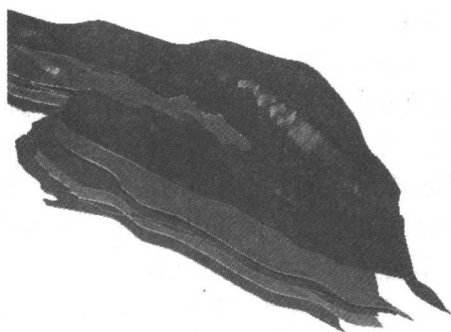


图 8 某水电工程软弱夹层模型

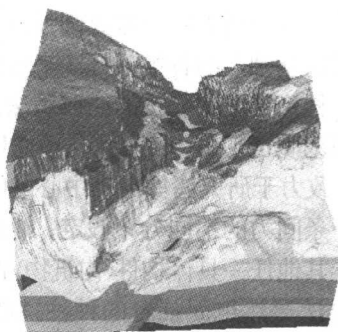


图 9 某水电工程三维地质图

4 条断层带倾角很大, 几乎是直立的。将断层带、软弱夹层以及经过切割处理后的地层合成后即可得到整个工区内的三维地质模型(如图 9 所示)。通过该图可以容易地看到在河谷的不同地段不同地层的分布情况, 为工程设计提供了清晰的三维空间地质及构造资料, 从而为消除工程隐患、提高地下工程建筑的安全性提供了有用的信息。

参 考 文 献

- 1 Eric A. de Kemp. Visualization of complex geological structures using 3-D Bezier construction tools. Computers & Geosciences 25, 1999. 581-597
- 2 Chai Hejun. 3D visualization of rockmass structure and its application in engineering. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 23(2): 217-220
- 3 Mallet. Three-dimensional graphic display of disconnected bodies. Mathematical Geology, 1988, 20(8). 977-990
- 4 Pinto V, Casas A. An interactive 3-D gravity modeling program for IBM-compatible personal computers. Computers & Geosciences, 1996, 22(5). 535-546
- 5 柯正谊, 何建邦, 池天河. 数字地面模型. 北京: 中国科学技术出版社, 1993

边坡稳定安全系数计算的应力状态方法

The Method in Safety Stability Factor of Soil Slope With the State of Its Stress

王国体

(合肥工业大学, 安徽, 合肥, 230009)

摘 要: 本文以考虑土体应力状态为条件, 应用土的库仑强度定律和摩尔库仑准则, 对推导出平面土坡的安全系数计算公式, 并结合参考文献中的各种算例, 与条分法的安全系数做出了对比, 说明本方法具有概念明确、计算简便、定性可靠的重要特点。可以直接提供于工程应用和参考。

关键词: 侧应力系数 K_0 初始应力状态 开挖边坡 稳定安全系数公式

1 引言

土坡稳定分析方法自瑞典圆弧滑动法(1927 年)提出以来, 80 年来的发展, 重点在分条的条间力的假定基础上的各类条分法来求取安全系数, 虽然其依据不足且试算工作量巨大, 但一直成为各类工程土坡应用分析的经典做法。虽然当前各类数值方法也是不胜枚举, 但就工程具体应用和各类规范确定来说, 使用量化概念明确的还是条分法。另一方面也可以这样说, 一批研究学者和专家, 致力于研究诸如滑动中心的闭合界、滑裂面的形状和条间力的分布的各种形式, 从而演化出对于条间力的不同分布假定, 涌现了种种条分法的公式的形式, 条分法公式的众多形式, 可能是对于其他任一具体构件(构筑物)的计算公式来说, 其公式种类之多是不可比拟的。

条分法显然也面临着的种种挑战。在实际应用中, 虽然有种种计算软件和程序对土坡计算、设计起到了一定的支持作用, 但在具体土坡稳定分析与滑坡治理的工程中, 这类方法的可行性、可信性、可靠性, 受到了种种的质问。这一方面是由于土的性质和工程环境的复杂, 另一方面是条分法本身的欠缺^[1]。

2 不同坡角的边坡的稳定安全系数计算公式

设具有天然地表面的土体, 其在自重应力状态下的应力场、土体均质、重度 γ 、土体内任意点的应力状态可以表示为

$$\sigma_x = K_0 \gamma z = \sigma_3 \quad (1)$$

$$\sigma_z = \gamma z = \sigma_1 \quad (2)$$

式中, K_0 为土体的初始应力状态下的侧应力系数; z 为任一点距地面的距离; σ_x 、 σ_z 、 σ_1 、 σ_3 依次为任一点土的 x 方向、 z 方向、最大主应力、最小主应力。

以土体的平面应力状态为研究对象, 应用土的一点的抗剪强度的库仑定律:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (3)$$

由土的一点强度极限平衡条件, 得摩尔-库仑准则为

$$\sin \varphi = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{(\sigma_1 + \sigma_3)_f + 2c \cot \varphi} \quad (4)$$

假定开挖土体可以简化为平面土坡计算时, 设土体均质、初始应力状态可用公式(1)、(2)来表述, 土的抗剪强度满足库仑定律公式(3), 摩尔-库仑强度准则使用式(4)。再设开挖土体卸荷时影响土坡稳定、引起土坡失稳的是沿深度内点的水平应力, 其应满足开挖坡角 $\beta = 0^\circ$ 时 (即未开挖), $\sigma_x = K_0 \gamma z$; 当 $\beta = 90^\circ$ (即垂直开挖), $\sigma_x = 0$ 。这样, 不同开挖坡角边坡的应力状态变化为

$$\sigma_x = K_0 \gamma z (1 - \sin \beta) \quad (5)$$

应用摩尔-库仑准则, 按传统的安全系数的定义, 则土体沿深度 H 范围内的安全储备为

$$F_s = \frac{\int_0^H \tau_f dz}{\int_0^H \tau_{\max} dz} = \frac{4c(1 + K_0 - K_0 \sin \beta) + \gamma H(1 + K_0 - K_0 \sin \beta)^2 \tan \varphi}{\gamma H[1 - K_0^2(1 - \sin \beta)^2]} \quad (6)$$

式中, F_s 为土体某一深度内储备的安全系数; c 、 φ 为土体的抗剪强度指标、凝聚力和内摩擦角; 其他同前。

式(6)对应于土体的总应力状态, 当土体有孔隙水应力出现时, 当孔隙水应力与深度变化一致时, 式(6)中对应参数换为有效应力参数。

3 公式的理论检验和讨论

公式(6)是基于开挖边坡的形式推导出的, 为了不失对一般土坡应用的一般性, 现对于式(6)进行必要的理论检验和相关讨论。

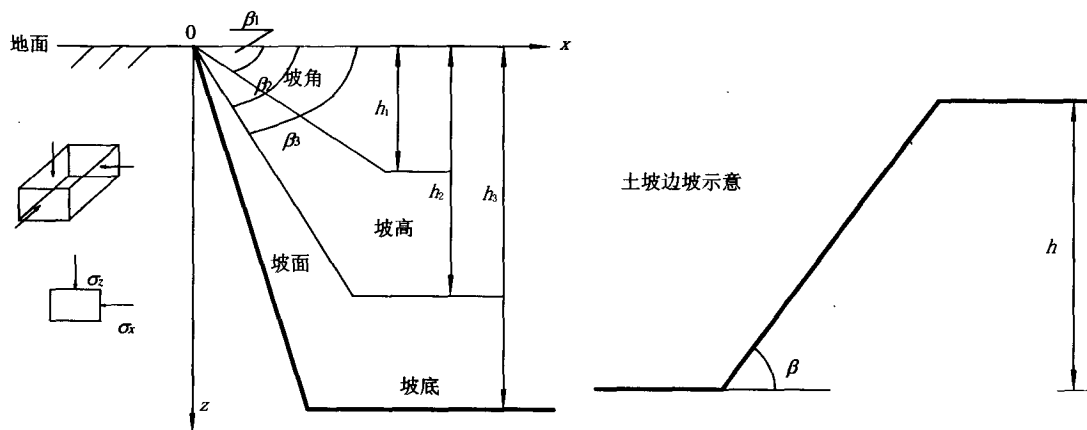


图1 不同开挖形式的边坡描述与简化

(1) 当边坡土体的抗剪强度参数凝聚力 $c = 0$ 时, 即为砂土; 若 $K_0 = 0$, 即土层未产生自重应力固结作用, 可以认为天然堆砂, 可得: $F_s = \tan \varphi$, 临界安全系数为 $\tan \varphi$, 天然坡角必须、应该等于内摩擦角。

(2) 若当边坡土体的抗剪强度参数凝聚力 $c = 0$ 时, 为砂土时; 取 $F_s = 1$, 则 $\varphi = 45^\circ$, 即脆性材料的安全角(或刚性破坏角)。

(3) 当边坡土体的抗剪强度参数凝聚力 $c \neq 0$, $k_0 = 0$, $\varphi = 0$ 时, $F_s = 4c/\gamma$, 即黏性材料的强度累积与重力之比。