

1992 年学术年报

工程地质研究进展

ADVANCE IN THE RESEARCH ON
ENGINEERING GEOLOGY

国家地质灾害防治与地质环境保护专业实验室
——成都理工学院工程地质研究所——

西南交通大学出版社

—1992 年学术年报—

工程地质研究进展

ADVANCE IN THE RESEARCH ON ENGINEERING GEOLOGY

国家地质灾害防治与地质环境保护专业实验室
成都理工学院工程地质研究所

西南交通大学出版社

(川)新登字 018 号

内 容 提 要

本书是一部以文集形式出版的学术年报。全书共收入论文 13 篇,包括了岩土工程特性研究、区域构造稳定性研究、岩体稳定性研究等各个方面。是国家地质灾害防治与地质环境保护专业实验室和成都理工学院工程地质研究所近年来部分重要科学研究成果的总结。这些成果是在扎实的工程地质原型研究基础上,吸收和采用了大量的新理论、新技术、新方法;通过多学科交叉汇合,又提出了一系列新的理论。它们在一定程度上,代表了工程地质学科的发展方向,具有较高的学术水平。

全书约 40 万字,可供从事工程地质生产、科研、教学等方面的专业技术人员参考。

工程地质研究进展

国家地质灾害防治与地质环境保护

专业实验室 著

成都理工学院工程地质研究所

西南交通大学出版社出版发行

成都理工学院印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 16

1993 年 6 月第 1 版 1993 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 册

字数: 400 千字

ISBN 7-81022-573-1/P·009

定价: 8.00 元

《工程地质研究进展》编委会

主 任： 张倬元

副主任： 孔德坊、王士天、黄润秋

委 员： 王士天、王兰生、孔德坊、刘汉超、朱春润
杨淑碧、张倬元、黄润秋、聂德新

主 编： 王士天

副主编： 黄润秋、王兰生、刘汉超

序

从建立“地质灾害防治与工程地质环境保护”国家工程地质重点学科专业实验室和“工程地质研究所”之初,我们就筹划每年出版一册学术年报,以便如实记录我室(所)在工程地质学各方面以及地质灾害防治与地质环境保护各领域探索前进的步伐。向全社会及国内外同行展示我室(所)以地质环境合理开发与保护为目标,沿地质学与土力学岩体力学紧密结合、广泛吸收数理力学最新成就、充分利用现代测试技术与现代计算技术的途径,为重大工程建设服务,开展科学研究所取得的成就和推动工程地质学科发展所做出的贡献。由于建室(所)伊始,工作千头万绪,特别是教学和科学研究任务十分繁重,以至这一计划在前两年未能实现。现在,经过全所人员特别是中青年研究人员的努力,1992年学术年报终于面世了。年报是逐年研究成果的专报,于次年的第二季度出版,定名为《工程地质研究进展》。

本年度的年报共刊载论文十三篇,绝大部分作者为中青年研究人员,表明我室(所)人才辈出后继有人,这是十分值得可喜的。论文所涉及的方面除原来的工程岩土学研究,区域稳定性工程地质研究,岩体稳定性工程地质研究,崩、滑灾害的形成机制研究等方面外,还增加了滑坡的治理、岩体水力学等方面的论文。在科学观和方法论方面还引入了一系列新的系统论思想,如突变理论分析岩体变形和以非线性动力学探索滑坡的动态追踪时间预报等。表明我室(所)在研究方向和学术思想方面又有新的进展,这也是十分可喜的。

科学研究总是要开拓新途径探索新领域的,希望我室(所)的研究人员,不囿于已有的学术思想和研究方向,博采众家之长,在推动工程地质学发展中不断做出新的贡献;希望《工程地质研究进展》的学术水平随我室(所)研究水平的提高而逐年有所提高。

探索性的研究工作不够完善或出现错误是在所难免的,希望读者不吝提出批评与指正。

张傅元

一九九三.六

目 录

昔格达组地层易滑性的研究.....	孔德坊、黄俊、彭盛恩(1)
渭河盆地地壳动力学环境与西安地裂缝成因机制	徐进、赵其华、黎克武(31)
锦屏电站区域构造稳定性数值模拟.....	尚岳全、李渝生(51)
澜沧江小湾电站区域构造稳定性数值模拟研究	王士天、李渝生、雷明堂(76)
松动岩体工程地质研究.....	陈剑平、张倬元、肖树芳(100)
滑坡灾害非线性时间预报理论	秦四清、张倬元、王士天、黄润秋(122)
溪口滑坡的地质原型及形成机制的“概念模型”研究	 黄润秋、邓荣贵、李自停、刘成渝(152)
崩滑地质灾害的全过程数值模拟——以四川溪口滑坡为例.....	黄润秋(171)
中倾角反向滑坡变形破坏特征——巴东黄腊石滑坡深部破裂带的形成机制	 李曰国、尚岳全、徐进、苏建成(183)
垮梁子滑坡治理的工程地质研究	刘汉超、黎克武、陈明东、胡卸文、张成、程智荣(201)
反倾岩层弯曲拉裂变形的 CUSP 型突变分析	许强、黄润秋、王士天(222)
重庆市中区浅埋地下硐室上部地基中应力变化的数值模拟分析	陈上明、张倬元(229)
岩体水力学模型研究与发展	仵彦卿、张倬元、王士天、黄润秋(237)

ADVANCE IN THE RESEARCH ON ENGINEERING GEOLOGY

CONTENTS

Study of slide-susceptibility of Xigeda stratum ... Kong Defang Huang Jun Peng Shengen(1)	
Dynamic environment of crust of Wei's river basin and mechanism of Xi'an ground fissure	
..... Xu Jin Zhao Qihua Li Kewu(31)	
Numerical simulation of the regional tectonic stability of the Jinping Hydropower Station	
..... Shang Yuequan Li Yusheng(51)	
Numerical analysis of regional tectonic stability in the area of the Xiaowan hydro-electrical power station on the Lancang river	
..... Wang Shitian Li Yusheng Lei Mingtang(76)	
A study of engineering geology of loosed rockmass	
..... Chen Jianping Zhang Zhuoyuan Xiao Shufang(100)	
The nonlinear time forecasting theory for landslide disasters	
..... Qin Siqing Zhang Zhuoyuan Wang Shitian Huang Runqiu(122)	
Studies of the geological model and formation mechanism of Xikou Landslide	
..... Huang Runqiu Deng Ronggui Li Zhiting Liu Chengyu(152)	
Full-course numerical simulation of landslides and falls	
..... Huang Runqiu(171)	
Deformation characters of medium dip obsequent slope —— Formation mechanism of the deep-seated fracture zone of Huanglashi landslide	
..... Li Yueguo Shang Yuequan Xu Jin Su Jiancheng(183)	
Engineering geology study of Kualianzi landslide	
..... Liu Hancan Li Kewu Cheng Mingdong Fu Xiewen Zhang Chen Cheng Zirong(201)	
Cusp catastrophic analysis of bending-toppling type failure slopes	
..... Xu Qiang Huang Runqiu Wang Shitian(222)	
A numerical simulation analysis on the stress variation in the foundation above shallow underground cavities in Chongqing city	
..... Chen Shangming Zhang Zhuoyuan(229)	
The research and development on rock hydraulics models	
..... Wu Yanqing Zhang Zhuoyuan Wang Shitian Huang Runqiu(237)	

昔格达组地层易滑性的研究

孔德坊 黄俊

(成都理工学院工程地质研究所)

彭盛恩

(中国建筑西南勘察院)

摘 要 四川西部广泛分布的早更新世昔格达组地层是一种著名的易滑地层, 滑坡的发生对国民经济造成了很大的损失。在本次研究中, 根据现场的大量调查统计, 查明了昔格达组地层易于发生滑坡的层位, 并从此种土的化学和矿物成分、宏观和微观结构、以及力学性质等方面阐明了易滑的原因。

关键词 昔格达组地层 易滑性 泥化夹层 微结构 力学性质

一、绪 言

昔格达组地层广泛分布在四川省西南部, 北起汉源, 南至攀枝花市, 西界盐源, 东临布拖, 在面积约 40000 km² 的范围内(图 1) 呈不连续的南北向条带状、片状分布。昔格达地层极易发生滑坡, 是著名的易滑地层。对攀枝花市不完全调查统计, 1968 年至 1988 年 20 年中共发生大小滑坡六十余个, 其中滑坡体积大于 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ 的 22 个。滑坡的发生不仅使国土遭到巨大的破坏, 而且由于位于昔格达组地层集中分布地区之一的攀枝花市是我国重要的钢铁基地, 作为西南交通干线的成昆铁路沿安宁河、雅砻江河谷的泸沽至金江(攀枝花市)段纵贯于昔格达地层发育地区, 因而对城市和矿山建设以及交通运输造成了严重危害(照片 1、照片 2), 使国民经济受到巨大损失。仅对单个滑坡整治的费用即动辄数十万元, 甚至百万元以上(例如, 据调查弄弄坪 103 车站滑坡的整治费用 180 万元, 攀钢氧气站滑坡的整治费用 118 万元, 均不包括停产、停运的直接和间接损失), 如将财产破坏、停产或停运等直接和间接损失计算在内, 总的经济损失非常惊人。

斜坡的稳定性, 总体说来是促滑力与抗滑力较量的结果, 它们都取决于土体本身的特点和环境条件。昔格达

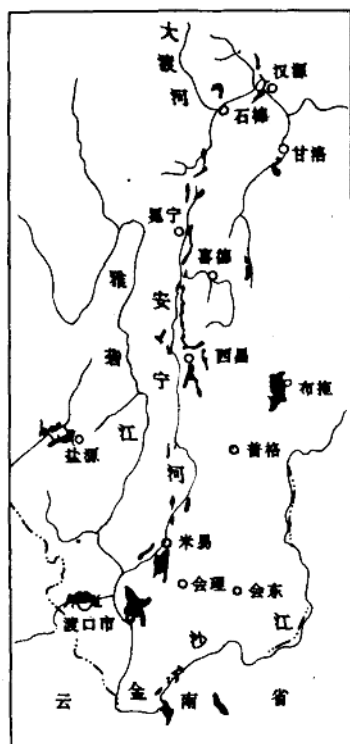
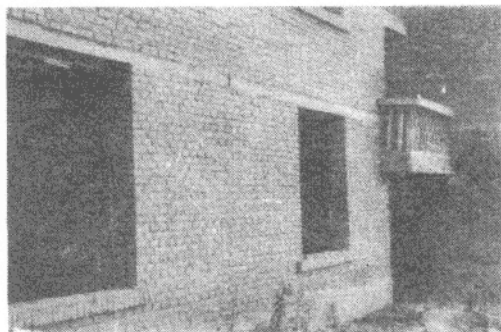
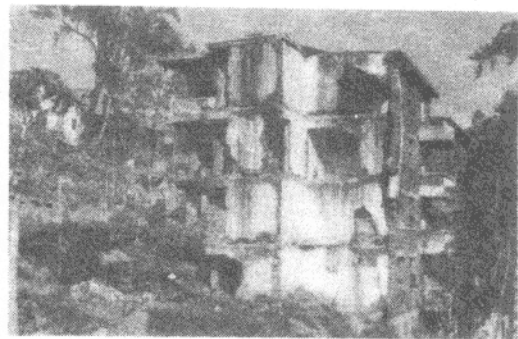


图 1 昔格达组地层分布示意图

• 本研究由国家自然科学基金委员会资助



照片 1 斜坡变形过程中的房屋开裂



照片 2 房屋的毁坏

地层容易发生滑坡,显然有其内在的主要原因,因此,从土体本身的内在特点研究其易滑性,明确地层的易滑层位,对于斜坡稳定性的监控和滑坡的防治,无疑是具有重大意义的。

对于昔格达地层的研究始自本世纪的 30 年代,至今已历时近 60 年。按照研究的重点大致可以分为两个时期。60 年代中期以前主要从地层学的角度研究了昔格达地层的成因和沉积时代。常隆庆、袁复礼等先生以及四川省地质局、西南第四纪冰川考察队都先后进行过大量研究工作。60 年代中期,由于攀枝花铁矿资源的开发,钢铁基地、攀枝花市以及成昆铁路和公路网等的大规模建设相继兴起,人们对昔格达地层的研究转向为其工程地质性质和作为地基的承载能力以及滑坡等方面。值得指出的是,因为在上述建设中对土体干扰和处理不当,使滑坡的发生有加剧的趋势。对近 30 年的研究,大致可分为四个主要方面:

(1) 以建筑物地基承载力为中心结合单体建筑物的修建对昔格达土体工程地质特性的研究。在此研究中取得了大量的资料和实测数据,但综合分析不足,未能将其提高到理论和规律性上来。

(2) 以整治为中心的对昔格达地层中滑坡的研究。许多研究者对此进行了深入研究,发表了大量论文,研究内容涉及滑坡的规模和类型、发生原因和触发因素、滑动机制、预测方法以及整治原则和方法。

(3) 对作为粘土力学特性主要控制因素之一的昔格达粘土微结构的研究。

(4) 对攀枝花市城市建设工程地质环境的全面研究,其中也包括对昔格达地层的工程地质特性和滑坡的研究。

上述研究分析了昔格达粘土容易产生滑坡的原因,归纳起来主要有以下几点:a. 粘粒组和伊利石的含量以及片状颗粒的定向排列程度均较高;b. 土体中存在强度低的原生结构面,构成了天然的易滑面;c. 透水性能显著不同的各土层交互叠置,相对不透水层为水的集聚并由此对土层软化提供了有利条件;d. 陡倾裂隙(其中许多是构造裂隙)发育为滑坡的形成提供了边界。应当指出,上述见解都是对昔格达组地层总体而言的,并未对昔格达地层本身进行内部的对比分析,未能提出昔格达地层中的可能易滑层位及其易滑原因。

本次研究的主要地区为昔格达地层分布较集中,滑坡的发生较多且对工程建筑危害最大的攀枝花市;研究的主要目标是探索昔格达地层中的易滑层位及其易滑的原因,从而为更主动地防治斜坡失稳(或者说滑坡的发生)提供方向和依据。研究的基本思路是通过野外实

地调查和对比分析滑坡滑面与地层剖面的关系,确定易滑层位;通过各种分析、鉴定和试验工作,对比易滑结构面、土体其它软弱面和滑坡滑带土的物质成分、微观结构特征和力学特性,探讨易滑的主要原因(图 2)。

研究工作在搜集、分析研究已有资料的基础上,于 1989 年 4 月正式开展,先后三次进行了现场调研,历时三个多月;室内分析、鉴定和试验工作为时近一年。主要研究人员为孔德坊、彭盛恩和黄俊;成都理工学院工程地质研究所实验室的许国琳工程师和张品萃、李勤同志协助进行了大量的试验工作。在现场研究中得到了攀枝花市建筑设计院于锁龙总工程师、张治中和李大选工程师的大力支持和热情帮助,在此深表谢意。

本研究属国家自然科学基金资助项目。

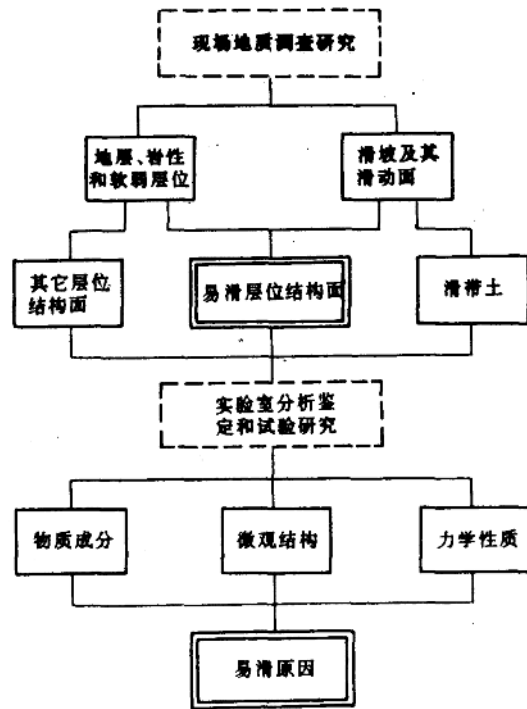


图 2 研究思路框图

二、昔格达组地层分布区的自然环境

(一) 地质构造环境

本区在大地构造上位于扬子断块西部边缘的南北向构造带的北、中段。在漫长的地质历史过程中,主要在晋宁运动(对基底)以及海西运动、印支运动和燕山运动(对盖层)的作用下,形成了总体上以南北向和近南北向构造为主干的构造格局。晋宁运动大规模变质作用和岩浆侵入形成了本区的刚性结晶基底以及深断裂,它们对后期构造的发展、后期岩浆活动中侵入岩和岩浆溢出带的空间分布、各地质时代古地理的特点和演变、沉积建造的分布和厚度等等,莫不起着重要的控制作用。古生代以来,本区地壳长期隆起,属所谓康滇地轴攀西断隆的主体部位。海西运动(晚期)在本区的主要特点是大规模的玄武岩浆的喷溢以及基性和超基性岩体沿某些断裂(如安宁河断裂带等)的侵入。印支运动和燕山运动对本区的主要表现,是在刚性结晶基底和已有深断裂条件的制约下在广大区域内使已有断裂复活、改造,并形成了其它方向(北西—如展布在本区北东部的则木河断裂、北东—如展布在本区南东部的宁南—会理断裂、东西—如展布在本区南部的茅坪—渡口断裂)和各低级序的断裂;产生了盖层的褶曲构造;同时,还伴有花岗岩、闪长岩和正长岩的侵入。

这种由深断裂所控制的基本构造格局,由于在各地质历史时期(特别是印支运动以来)中各部位升降运动的差异,形成了大小不同的断隆以及断陷盆地和断陷槽谷,它们控制着后期的沉积环境和地层分布。昔格达组地层就是在这种地质背景和环境中的沉积的。

(二) 地貌环境

昔格达地层分布地区属于川西高原的南部和四川盆地西端的接合部位,由于原面向东南倾斜,到本区已降至 3000 m 左右。

区域地貌属剥蚀、侵蚀和侵蚀-堆积类型,在其发育和展布上明显受地质构造的控制。除高原原面而外,河谷上部还断续残留有在地壳相对稳定时期因剥蚀作用而形成的 2—3 级夷平面。高原区山脉属横断山脉北段,在南北向主体断裂的控制下,山脉与河流均呈南北走向,相间排列,自西而东有金沙江、沙鲁里山、雅鲁江、大雪山—磨盘山—牦牛山、大渡河—安宁河、夹金山—小相岭—鲁南山。在地壳上升和河流强烈侵蚀下切的作用下,形成了高山狭谷蔚为壮观的地貌景象,岭谷高差多在千米以上。

但是,纵贯昔格达组地层分布地区的安宁河,因其沿由多条断裂组成的安宁河断裂带发育,加以冰川的刨蚀作用,因而形成了以宽谷型为主的河谷,尤其冕宁至喜德黄水塘的中游段(长 135 km,占该河流干流总长度的 42%),谷宽 2—5 km,西昌附近最宽达 8—12 km。在此宽谷中阶地发育良好,最多可达六级(德昌附近),主要为堆积或基座型阶地,宽度一般数十米至 500 m,最宽达 3000 m(西昌礼州一级阶地)。此外,在沿构造带发生继承性和差异性运动而产生的一些小型断陷盆地(如盐源盆地)中则相应形成了堆积地貌。

(三) 气候环境

昔格达组地层在四川西部的分布地区约介于东经 $101^{\circ}30' - 102^{\circ}47'$,北纬 $26^{\circ}03' - 29^{\circ}24'$ 之间,由于地势原因,总体上属亚热带高原气候。因此,该区气候既受纬度控制,也因地势的显著影响而具有垂直分带性。从北向南,平均气温逐渐升高,年降水量增大;由高山到河谷,平均气温虽也具逐渐升高的规律,但降水量则随高程的减小而降低。

攀枝花市位于本区最南端的金沙江河谷中,已属南亚热带气候。其基本特点是气温较高,日温差较大,季节变化不显著;降雨量高度集中,干湿季分明。攀枝花市年平均气温为 $19^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}$,日温差平均达 $11^{\circ} - 15^{\circ}\text{C}$,极端最高气温达 41.2°C ,最高气温往往出现在每年五月。降雨量因地势而不同,平均为 900 mm 左右,分配极不均匀(表 1),雨季集中在 6—10 月。在此期间降雨量达全年的 92% 以上,降雨日数达全年的 80%,7—8 月份多暴雨,雨量近全年的一半。由于雨季集中,则旱季较长(11 月至翌年 5 月七个月中降雨量不到全年的 8%),加以日照强烈(日照时数全年大于 2400),因而平均年蒸发量达 2500 mm 左右,以 3—5 月最大,占全年蒸发量的 40%。

表 1 攀枝花市多年月平均降雨量和蒸发量

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总 计
降雨量(mm)	3.2	2.1	2.6	13.3	32.4	169.9	216.7	219.1	159.6	67.6	10.2	6.3	903.0
蒸发量(mm)	153.8	193.1	306.6	341.2	372.3	250.6	203.4	186.7	159.9	139.3	128.3	110.4	2545.6

本区气候上述基本特点的形成,主要是西西南支气流和西南季风交替作用的结果。11 月至翌年 5 月,西风带因受青藏高原阻挡而产生的南支气流到达本区,但因其经过北非、中亚和印巴半岛北部等干热地区,下层已变干暖,致使本区气候干燥、晴朗;从 5 月中、下旬开始,来自印度洋暖而潮湿的西南季风开始控制本区,带来了丰沛的降雨,一直持续到 10 月,雨季也随西南季风的撤出而结束。

三、昔格达组地层的宏观地质特征

(一) 昔格达组地层和岩性

如前所述,在四川西部,昔格达组地层主要分布在安宁河河谷、攀枝花市附近的金沙江两岸、布拖、盐源以及大渡河河谷的石棉、汉源一带。出露高程各地区相差悬殊。沿安宁河谷至攀枝花市一线,在泸沽一带为 1800 m 左右,西昌邛海附近约为 1500—1700 m,出露均为昔格达组的中、上部;在攀枝花市郊区地层剖面比较完整,高程约 1100—1300 m。此外,在石棉、汉源地区约为 2400 m 左右和 2300—2500 m。由于昔格达组地层在随“昔格达湖”的发展,湖水面不断升高而沉积的过程中,在某些地区因原始地形的起伏而导致在地势较高处其下部沉积物缺失,加以许多地区昔格达组地层出露不全,因而在各分布区其沉积厚度既有很大的变化,而又难以较准确的测到。在此次调查中仅在攀枝花市大水井区见到大致完整的剖面,厚度为 210 m 左右;另据区测资料,盐源盆地中其厚度达 220—640 m。

从昔格达组地层出露较完整的剖面来看,按照岩性变化和组合可将其分为三段,其基本特征如下:

下段:底部或与冰碛物呈同期异相交互沉积或覆盖于早期冰碛(紫灰色泥砾)、冰水沉积层上。由灰黄色粉、细砂层和深灰色淤泥质粘土或肝红、褐黄色粘土互层组成,中、上部含数十个小的韵律层;砂土矿物成分以不稳定的角闪石、方解石为主。顶部为厚度 0.9 m 的红色粘土。根据前人对孢粉和植物化石鉴定,属湿冷气候。

中段:下部由韵律层组成,单套厚度一般为数十厘米;上部以中、细砂层为主,夹有数十套较薄的韵律层。在砂土的矿物成分中,石英含量较下段明显增多,角闪石含量减少。细粒层主要为黑灰、褐色粉质、砂质粘土或青灰色淤泥质粉砂。据前人对孢粉、植物化石和介形虫的鉴定表明,自下而上有由湿冷渐变温湿,再渐变为湿热型气候。在攀枝花市可见到此段地层与下段的连续剖面,在安宁河谷左岸某些支谷谷口也可见到中段地层直接覆盖于较老地层或火成岩体之上。

上段:主要为细砂层,下部仍含有数量较多但单套厚度一般仅 1—4 cm 的韵律层;上部为厚层砂土,偶夹少量薄层粘土。出露的地势较高,分布也较广。砂土呈土黄色,重矿物中含有较多量的不稳定和较不稳定的矿物,如角闪石、绿帘石等;轻矿物中则含有较多的斜长石、黑云母。除在少数剖面上可见到上段地层与中段正常、连续的接触关系以外,在安宁河河谷的某些地段常见此段地层直接超覆于早期老地层或火成岩体上。上段的顶部,在某些地段可见到被覆盖于较新的红色冰碛泥砾(呈不整合关系)或高阶地河流冲积层之下,因此应当认为,昔格达地层顶部均已不同程度地受到冲刷侵蚀或剥蚀。

从昔格达组地层的上述岩性特征和与上覆、下伏地层的特点,以及前人对本区冰川研究和孢子花粉、古生物的鉴定结果,对昔格达组地层可以得到以下认识:

(1) 自昔格达组被确定为一个独立的地层单元以来,关于其沉积时代出现过第三纪上新世与第四纪早更新世的分歧。中国地质科学院第四纪冰川考察队的研究认为,昔格达组底部所覆盖的冰川和冰水沉积为该地第四纪第一冰期的产物(第四纪冰川考察队称之为安宁冰期或金沙冰期),而覆盖于昔格达组之上的红色冰川泥砾属较晚期的冰川沉积物;同时考虑到在昔格达组地层中普遍存在元谋运动的构造形迹,上覆红色泥砾与其呈角度不整合

接触,因此,昔格达组地层属于早更新世沉积的论据是比较充分的。

(2) 前述关于昔格达组地层在某些地段可以见到与下伏冰水沉积呈同期异相交交互沉积关系,孢粉、植物化石和岩性的纵向演变,说明了在昔格达组沉积过程中,古气候条件有明显变化,即湿冷—湿热—渐冷。

(3) 地层分布和沉积的韵律性表明,昔格达组地层应属湖相沉积,其下段的下部显然为冰水湖泊相,向上随气候变暖,湖水深度不断增大,渐变为正常的湖泊相。同时,矿物的成熟度较低和颗粒多具棱角状或次棱角状结构还表明,其物质来源较近,仅经过了短距离的搬运。

(4) 昔格达组地层的分布高程和已查明的厚度,均相差很大,而且发现中、上段在多处都有超覆现象,下、中段缺失或不完整,因此可以设想,在昔格达组沉积以前该区河谷、洼地已经存在。随着“昔格达湖”(姑名之)的发展,湖水逐渐加深,沉积范围不断扩大,中、后期湖水中的固体物质就有可能沉积在湖底较高的平台上,从而使许多地段的沉积物下部缺失,厚度不完整,表现了明显的沉积超覆现象。

(二) 层间结构

层间结构,包括昔格达组地层的顶、底部与上覆、下伏地层间及其本身内部各层间的结构。它们都是与该地层有关的原生软弱结构面。

昔格达地层的顶部,在不同地段覆盖着各种成因(冰积、冲积、洪积、残坡积、重力堆积和人工堆积等等)的、中更新世以来的各种松散地层,其岩性包括卵、砾、块石土,砂土和粘性土。下伏地层也因地而异。在正常情况下,其下为金沙期冰碛砾石层或冰水沉积层;在金沙期冰积层缺失的地段,其下则为从震旦纪(观音岩组砂岩)至侏罗纪不同时代的基岩(包括印支期闪长岩)。

昔格达地层内部,层理结构的发育程度显著不同,如前所述,其上段和中段上部主要为厚层中、细砂土,虽夹有薄层粉土和粘土多层,但多集中在局部,总地说来其层理不太发育;而其中段下部和下段地层,基本上由砂、粘土互层组成,层理和微层理非常发达(照片3)。根据在攀枝花地区15条剖面的仔细观察,昔格达组地层下段和中段下部各层间的界面基本上可以分为以下三种类型。



照片3 昔格达组地层的微层理



照片4 层间夹泥

(1) 直接接触类型:即不同粒度的砂土层之间、砂-粘性土层之间以及不同的粘性土层之间直接接触。在粘性土层直接接触的界面上,时常也含有一层极薄的粉砂,由于其极薄,肉眼观察时常被忽略。

(2) 钙质或铁质薄膜接触类型:即在上、下土层相互接触的界面上敷有一层钙质或铁质薄膜,厚度一般小于 1 mm,用手触摸,有粗糙感。

(3) 层间夹泥接触类型:即在上、下土层层面之间夹有一层薄泥。其颜色不同于上、下土层,呈灰色、灰白色或肉红色。用手触摸,非常细腻,滑感很强。厚度一般仅为 1—10 mm,有时甚至更薄。它们存在于粘土层面之间或粘土与粉砂层之间(照片 4)。据不完全统计,在所研究的剖面中,有 40% 在不同层位上见到了此种夹泥。

层间接触类型的不同,决定了其强度的显著差异。

(三) 昔格达组地层的构造特征

昔格达组地层沉积之后,立即经历了元谋运动,使其发生褶曲,从而造成了与上覆沉积物的角度不整合接触关系。同时,由于昔格达地层分布在第四纪以来新构造运动强烈的地区,在元谋运动及其以后的地壳活动中不断地产生小型断裂(小断层和构造裂隙)。

本层的褶曲一般均甚舒缓,地层倾角通常仅 3° — 5° ;有时因受下伏活动断裂的影响,倾角可达 20° — 50° 。

断层的规模,就其延展和断距来说,一般均较小;其展布和性质主要受新构造应力场和下伏基岩断层特点的控制。根据其掩覆地层的关系可以看出,它们产生于自元谋运动至整个更新世时期。构造裂隙比较发育,主要为 $N5^{\circ}$ — $40^{\circ}E$ 和 $N30^{\circ}$ — $65^{\circ}W$ 两组(图 3),倾角较陡,一般为 60° — 85° (照片 5);裂隙线密度一般为 2—5 条/米,密集处可达 14—19 条/米;裂隙与层面组合,常将土体切割成大小不同的块体。土体中断裂常成为地下水的自然良好通道。

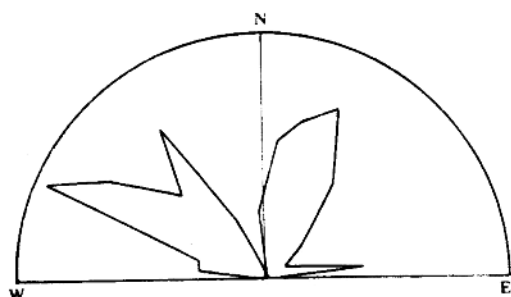


图 3 裂隙走向统计



照片 5 陡倾构造裂隙

四、滑 坡

在绪言中已经阐明,昔格达地层中频繁发生滑坡,其数量之多,危害之大,可列为该地层分布地区首要的表生地质灾害和环境工程地质问题。

在昔格达地层分布区,除少量发生在中更新世及以后的第四系沉(堆)积物(包括各种成因的)内部及基岩中的滑坡而与昔格达组地层基本无关外,绝大多数滑坡的发生均与昔格达组地层特性有关。对后一类滑坡的调查分析表明,其主滑面发生的层位,主要有三种情况:

(1) 昔格达层顶部与后期不同成因沉(堆)积物的界面。由于该区中更新世以来的沉积物,结构均较疏松,而昔格达组地层是一种超固结土,具有半成岩特征,故二者虽同属第四纪沉积物,但结构有显著差别,界面非常明显,时常是地下水水平运移的通道,当昔格达组出露厚度不大而其上覆沉积物又具有一定厚度时,是最有利于沿此界面发生滑坡的土体结构。

(2) 昔格达组底部与金沙冰期冰碛或冰水沉积层以及第三系或更老的基岩间的界面。尽管在个别地点(如金沙江北岸)可以见到昔格达组底部与金沙冰期的沉积物呈同期异相的交互沉积关系,但在更多的剖面上则是其与下伏地层(包括金沙冰期冰积层和第三系及其以前的基岩)间存在明显的界面。当昔格达地层被冲刷侵蚀后的剩余厚度不大(一般为数十米)时,滑坡的发生往往沿此弱面。

(3) 主滑面发生在昔格达层内部,一般沿此土体中层间原生弱面,所见切层滑坡较少。

滑坡的发生是岩土体斜坡在内、外各种因素的综合作用下,使应力超过了岩土体强度的结果。昔格达组土体斜坡中的应力主要是由重力引起的,它们的分布情况受斜坡形态的影响;此外,雨季中地下水的渗透压力和孔隙水压力以及地震力等也常作为重要的诱发因素促使滑坡发生。除自然冲刷、剥蚀而外,人类工程活动(斜坡上堆载、人工边坡开挖等)是斜坡形态改造的重要活跃因素,这在工业和城镇建设地区尤其如此。土体强度是制约滑坡发生的另一个起主导作用的侧面。昔格达组是一种层状非均质土体,层间界面(包括其顶部与后期第四纪沉积物和底部与下伏地层之间以及昔格达组土体本身的层面)的联结一般较弱,当有地下水渗入时强度将进一步降低,因而滑坡的主滑面往往追踪这些弱面发展。此外,还应强调指出,老滑坡的滑面(带)也是土体中一种重要的弱面。已处于稳定状态的老滑坡在内、外营力的作用下,其稳定性可能降低,直至沿原滑面复活,这种老滑坡的复活可以是局部的,也可以是整体的,有时还可能较原滑体略有增大。

昔格达组地层中广泛发育滑坡,是公认的我国易滑地层之一。根据王思敬等(1990)对攀枝花市主要大型滑坡的统计,与昔格达组地层有关的滑坡占滑坡总数的 76.9%,充分说明了该地层的易滑性。同时还意味着,昔格达组地层中大量发生滑坡,土体的特性必然对这种规律起首要的主导作用。

在深入研究昔格达组地层的易滑性中,首先必须分析在总厚度达数百米的昔格达地层中的易滑层位及其岩性特点。根据对发生在该组地层中的滑坡的调查,90%滑坡的主滑面位于中段下部和下段地层中,这显然与粘土层所占比例大以及砂、粘土的单层均较薄有关。为了进一步探索易滑层位的岩性规律,对 20 个滑坡进行滑体归位分析,并将其与邻近(尽可能与滑坡靠近)完整斜坡(未滑的)地层剖面对比,发现这些滑坡的滑面基本上都是沿不同颜色的层间夹泥发生的。据此可以认为,昔格达组地层的易滑性主要由中段下部和下段地层中的夹泥层控制。

五、昔格达组粘土的微观地质特征

为了能够较明确地探讨昔格达组地层中的滑坡常沿前述特定层位和岩性发生的原因,

在以下对其微观地质特征的论述中,着重进行完整粘土(未滑地层的层内,非层间)、层间夹泥和滑带土的对比研究。

(一) 物质成分

根据对不同颜色的完整粘土、层间夹泥和滑带土($d < 2 \mu\text{m}$ 粒组)的化学成分分析结果可以看到以下特点:

(1) Fe_2O_3 的含量普遍较高。完整粘土一般为 5.72—8.87% (在铁质膜附近的黄色粘土达 18.23%); 夹泥中为 4.26—5.55%; 滑带土中为 4.42—7.02%。前者明显高于后二者,而且黄色粘土普遍高于其它颜色的粘土。

(2) 三种试样中均含有一定数量的游离氧化铁,其在完整粘土中的含量大大高于夹泥和滑带土,前者为后二者的 2.5—4.8 倍;其在各自试样总的 Fe_2O_3 中所占的比例也有类似规律,在完整粘土的总 Fe_2O_3 中所占比率 $\geq 50\%$,而在后二者的 Fe_2O_3 中仅为 25—30%。因此三种试样中的固定 Fe_2O_3 含量差异不大,为 3—5%。

(3) K_2O 的含量均较高,为 3.38—5.58%。舍去大、小两个数值后的平均值为 4.33%。

(4) 各种试样中的有机质含量均不高,一般 $< 1\%$,仅占烧失量 (5.88—9.71%) 的 3.9—16.2%,多数 $< 10\%$ 。说明在灼烧逸失的物质中,绝大部分是矿物晶格中的水,换言之,即组成这些土的矿物中含水矿物较多。

(5) CaO 在完整粘土中含量高于夹泥和滑带土,在后二者中含量一般 $< 1\%$ 。

(6) pH 值一般在 8—9,表明了一种弱碱性环境。这一特点与有机质含量低相一致。

化学成分的上述特点与矿物成分、微结构特征的对应性,将在后面分析论述。

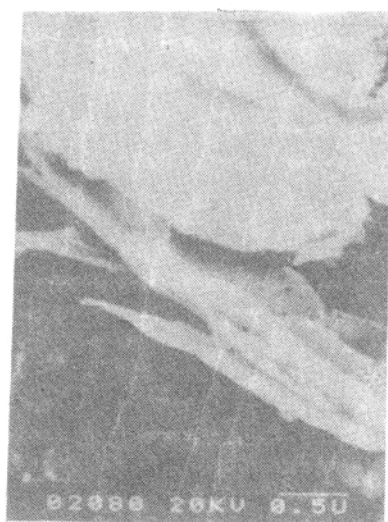
用 X—射线衍射、差热和扫描电镜等方法综合研究了昔格达组地层中三类试样的粘土矿物成分,得到了基本一致的结果。结果表明,粘土矿物中以伊利石为主,并含有较多量的蒙脱石和绿泥石,高岭石含量一般低于 6%。此外,还含有石英和微量长石等矿物(表 2 和照片 6、照片 7)。

表 2

X—射线衍射鉴定结果($d < 0.002 \text{ mm}$)

试 样			主 要 矿 物 (%)					备 注
类型	颜 色	编号	伊利石	蒙脱石+绿泥石	高岭石	石英	长石	
完 整 粘 土	肉红色	S266	41	50	4	4	0.2	采用乙二醇处理后, 在蒙脱石+绿泥石 总含量中,蒙脱石占 1/4 至 3/4 不等
	灰 色	S267	48	34	14	2	1	
	浅灰色	S271	48	42	5	4	1	
	黄 色	S275	43	47	5	3	1	
层间 夹泥	肉红色	S278	40	50	6	3	—	
	灰 色	S264	53	34	6	5	1	
	浅灰色	S270	38	48	6	7	1	
滑 带 土	肉红色	S277	35	52	5	8	1	
	灰 色	S265	46	43	6	4	1	
	黄 色	S268	37	55	4	3	0.3	
	浅黄色	S269	34	59	4	3	—	

在物质成分方面,除前述化学和矿物成分而外,交换阳离子的成分和交换容量对其工程地质特性也会产生重要影响。交换阳离子成分主要受环境条件的制约,交换容量则取决于粘



照片6 昔格达组粘土中的伊利石



照片7 昔格达组粘土中的蒙脱石

土矿物的成分和数量以及颗粒的大小。表3中列出了三类试样的主要交换阳离子成分、含量以及交换容量。

表3 交换阳离子成分和含量

试 样 类 型	颜 色	交换容量 meq/100g 土	交 换 阳 离 子 meq/100g 土			
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
完整粘土	肉红色	29.97	14.16	13.22	1.21	0.84
	黄 色	31.10	20.89	7.57	2.36	0.28
	灰 色	33.00	23.60	6.72	2.32	0.36
层间夹泥	肉红色	32.51	15.65	13.91	1.98	0.88
滑带土	浅黄色	37.91	29.39	6.12	0.96	0.91

从表3中可以看出：

(1) 交换阳离子成分均以二价的 Ca²⁺、Mg²⁺为主。

(2) 层间夹泥和滑带土与其相同颜色的完整粘土相比，其交换容量均较高。表明其吸附能力均高于相同颜色的完整粘土。

(3) 交换容量大致介于 30—38 meq/100g 土。与一般文献中列出的纯伊利石交换容量 (10—40 meq/100g 土) 相比，位于其高值区段。应当指出，根据表2中列出的与表3中相同类型、颜色的试样，其伊利石含量仅占 $d < 0.002 \text{ mm}$ 的 37—48% [如果按在全部颗粒(土)中所占的比率考虑，还应大大低于此值]。因此可以设想，交换容量之所以能够达到 30—38 meq/100g 土，在组成这类土的粘土矿物中，除伊利石而外，必然还有一定数量的、吸附能力较伊利石更强的矿物存在。这种矿物在自然界中存在最普遍的则是蒙脱石组矿物。因此，其交换容量值的偏高也是一定数量蒙脱石存在的佐证。

(二) 微结构特征