

区域实践

大渡河中游核桃坪堵江滑坡特征及形成机制

雷清雄

(宜宾市城市 and 交通建设投资集团有限公司, 四川 宜宾 644000)

摘要: 为了丰富研究大渡河流域堵江滑坡及堰塞沉积的素材,以新发现的大渡河中游核桃坪堵江滑坡为研究对象,通过详细野外地质调查和剖面实测方法研究了滑坡特征、堵江形成的堰塞沉积特征以及滑坡形成机制。现场调查结果表明:核桃坪堵江滑坡平面面积达 2.5 km^2 ,总体积约为 $4\ 000\times 10^4\text{ m}^3$;堰塞沉积剖面垂直向表现的相变特征,反映堰塞湖经历了形成、沉积和溃决的演化过程和滑坡局部发生多期次滑动特征;核桃坪堵江滑坡的形成机制为卸荷回弹阶段→倾倒变形阶段→倾倒扩展折断阶段→滑坡形成堵江阶段。

关键词: 大渡河; 核桃坪; 堵江滑坡; 堰塞沉积; 形成机制

中图分类号: P642.5; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)14-0136-11

已有文献^[1-5]对滑坡成因、形成机制、变形特征、运动过程等进行了分析和研究,但对大渡河流域堵江滑坡的研究较少。大渡河流域位于青藏高原东缘的地貌陡变带,地形陡峻,处于鲜水河断裂、龙门山断裂和龙日坝断裂的交汇处,构造活跃,地震频发,在漫长的形成演化过程中形成了多个大型甚至巨型堵江滑坡,致使大渡河流域形成多处堰塞沉积^[6-8]。近年来,随着气候变化和人类活动的加剧,滑坡灾害的频率和规模呈上升趋势,对大渡河流域的生态环境和人类活动构成严重威胁。因此,深入研究堵江滑坡的形成机制及其堰塞沉积特征,对防灾减灾和生态环境保护具有重要意义。

许多学者对大渡河流域典型堵江滑坡进行了研究和分析,谢佐彬等^[9]、张海泉等^[10]、文强等^[11]、李晨露等^[12]、李海龙等^[13]对位于大渡河上游阿娘寨堵江滑坡、鸡心堡堵江滑坡、开绕村堰塞湖的沉积特征和环境进行了研究。钟湖平和吉锋^[14]、邓建辉等^[15]、张御阳等^[16]、吴俊峰等^[17]、周洪福等^[18]对位于大渡河中游的加郡堵江滑坡、四湾村堵江滑坡、摩岗岭堵江滑坡的形成与演变过程进行分析。此外,李海龙等^[7]和郭晓光^[19]分别对大渡河中游泸定-石棉段堵江滑坡和堰塞沉积物进行了深入探讨。

本文以野外新发现的位于大渡河中游核桃坪堵江滑坡及其堰塞形成的典型沉积剖面为研究对象,通过详细的野外调查及堰塞沉积剖面实测,揭

示核桃坪堵江滑坡的形态特征、形成机制及堵江堰塞沉积特征。本文不仅丰富了大渡河流域堵江滑坡及堰塞沉积的研究素材,还为滑坡灾害的预测和防治提供新的理论依据,具有重要的科学意义和实际应用价值。

1 核桃坪堵江滑坡概况

1.1 地理位置

核桃坪堵江滑坡位于四川省峨边彝族自治县沙坪镇,地理坐标为 $29^{\circ}14'48.00''\text{N}$ 、 $102^{\circ}16'40.76''\text{E}$,距峨边彝族自治县城 1.2 km 、上距金口河 20 km 、下距沙湾区 35 km 。

1.2 地质概况

核桃坪堵江滑坡位于大渡河东岸,地形东高西低,呈折线形展布,滑坡区地形呈上陡下缓坡角多变的特点,坡角为 $5^{\circ}\sim 25^{\circ}$,后缘较陡斜坡地带达 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}$,村庄、学校、厂房及耕地主要分布于平缓台地,灌木丛林主要分布于陡立斜坡地带。

滑坡地处扬子准地台西侧,毗邻松潘-甘孜造山带,峨边断裂从滑坡堆积体后部通过。峨边断裂为沿SW-NE向展布的逆断层,断裂面统计产状为 $\text{N}40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{E}/\text{NW}\angle 50^{\circ}\sim 66^{\circ}$,断裂上盘为寒武系上中统二道水组(C_{2-3e}),下盘为二叠系上统峨眉山玄武岩($\text{P}_2\beta$),受到构造运动的影响,在断裂面附近形成宽约 20 m 的断层破碎带,这为核桃坪堵江滑坡的形成提供了构造基础。

收稿日期: 2024-12-30

作者简介: 雷清雄(1990—),男,四川宜宾人,硕士,工程师,研究方向为地质灾害评价与预测。

滑坡区地层岩性主要为上覆第四系冲洪积层($Q^{q_1+h_1}$)、滑坡堆积层(Q^{del})及下伏奥陶系下统红石崖组(O_1h)、寒武系上中统二道水组(C_{2-3e})、二叠系上统峨眉山玄武岩($P_2\beta$)基岩组成,岩土体物理力学性质差异较大。

通过对滑坡前部基岩寒武系上中统二道水组(C_{2-3e})灰岩的观察和测量,发现岩体中共发育3组节理:第1组为陡倾坡外的岩层层面(C),统计产状为 $N10^\circ\sim 30^\circ/NW\angle 50^\circ\sim 60^\circ$;第2组为走向NW,倾向NE的节理(J_1),测量产状为 $N40^\circ W/NE\angle 49^\circ$;第3组为走向NW,倾向SW的节理(J_2),测量产状为 $N88^\circ W/SW\angle 48^\circ$ 。

滑坡区地下水主要赋存于下伏基岩裂隙和峨边断裂构造裂隙中,没有统一的地下水位,地下水的运移受地形坡度控制,地形转折处和冲沟处多以泉水形式排泄,动态特征受大气降水补给影响较明显,以潜流的形式向大渡河运移排泄;此外,赋存于第四系土层和碎裂岩体中松散岩类孔隙水,主要受大气降水和农田灌溉补给,短途径流,在陡坎和冲沟处以散流形式排泄,赋存条件较差。

滑坡堆积区域发育一处常年流水冲沟,切割深度为2~5 m,大部分地表水顺沟排泄。此外,由于基岩裂隙和构造裂隙发育,部分地表水顺裂隙和构

造裂隙渗入基岩内部和节理构造,转化为基岩裂隙水和构造裂隙水。

2 核桃坪堵江滑坡特征

2.1 滑坡形态及规模

核桃坪堵江滑坡位于大渡河五渡-峨边段东岸,大渡河在此处呈“C”形由南至北从滑坡前缘通过(图1),滑坡平面形态总体呈“簸箕”状,前宽后窄,滑坡前缘最宽达2 735 m,滑坡后缘最窄宽为1 822 m,滑坡纵向长约1 148 m,面积约为2.5 km²;滑坡后缘高程约为777 m,前缘高程约为659 m,高差约为118 m,地表坡度变化较大,陡缓交替,总体呈折线形斜坡地形;滑坡平均厚度约为50 m,体积约为 $4\ 000\times 10^4\ m^3$,主滑方向 300° 。

2.2 滑坡边界特征

核桃坪堵江滑坡的边界主要由三部分组成,即滑坡后缘高陡斜坡、上下游边界冲沟(图2)。

滑坡后缘为走向近南北向的陡峻斜坡,北侧后缘坡度为 $35^\circ\sim 40^\circ$,岩性为灰岩夹页岩(图2a),南侧后缘坡度为 $45^\circ\sim 50^\circ$,岩性为玄武岩[图2(b)和图2(c)],峨边县城至石梯坎的乡村公路从滑坡堆积体北侧后缘通过。

滑坡上游边界为一条季节性冲沟[图2(e)],长约800 m,切割深度为20~30 m,沟内杂乱分布

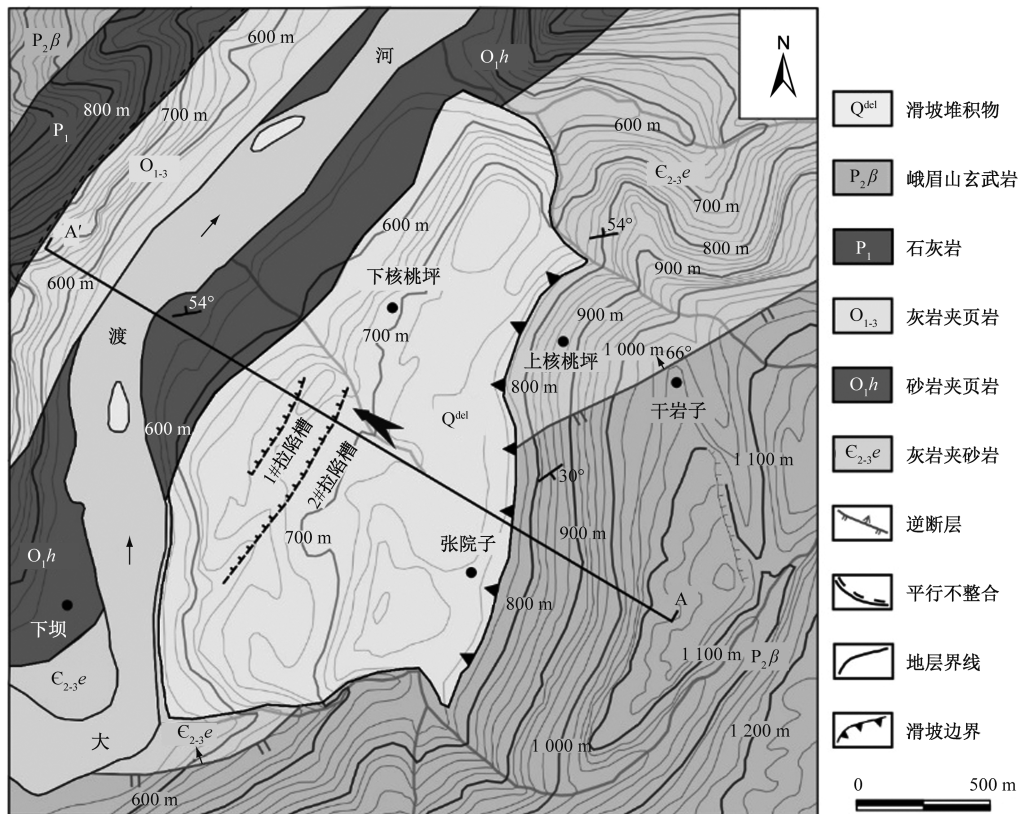


图1 核桃坪堵江滑坡工程地质平面



图 2 核桃坪堵江滑坡边界特征

着巨大玄武岩孤石,其轴向没有明显定向性。

滑坡下游边界为一条泥石流沟[图 2(d)],长约 1 300 m,切割深度为 80~100 m,该沟由东至西于灌口处注入大渡河,沟内常年有流水。

2.3 滑坡表面形态特征

根据现场调查和资料判定,核桃坪堵江滑坡为古滑坡,具有多期次滑动特征。滑坡体表面呈“一缓两平”形态,即滑坡体中部和滑坡体前后平台。滑坡多期次滑动特征主要反映在两条拉陷槽,拉陷槽为后期局部滑坡体发生失稳而形成,其中,1#拉陷槽位于滑坡堆积体中部核桃坪公路与变电站之间,长约为 600 m,宽为 50~80 m,沿北东-南西方向延伸,槽内全部是农田,槽两侧坐落着居民房屋[图 3(a)];2#拉陷槽位于滑坡体中后部变电站东侧,长约为 1 000 m,拉陷槽呈北宽南窄的梯形,北侧宽为 110 m 左右,南侧宽为 50~80 m,槽内全部是农田[图 3(b)]。

此外,滑坡多期次滑动特征还反映在滑坡堆积体加积在堰塞湖相粉砂层之上,加积现象表明核桃坪堵江滑坡发生后堵塞大渡河形成堰塞湖,堰塞坝上游区域沉积形成湖相粉砂层,后期核桃坪堵江滑坡体局部发生多期次滑动,从而致使滑坡堆积体加积于堰塞湖相粉砂层之上。

2.4 滑坡区地层岩性

核桃坪堵江滑坡区出露寒武系、奥陶系和二叠系部分地层,出露岩性主要有沉积岩和岩浆岩(图 4)。

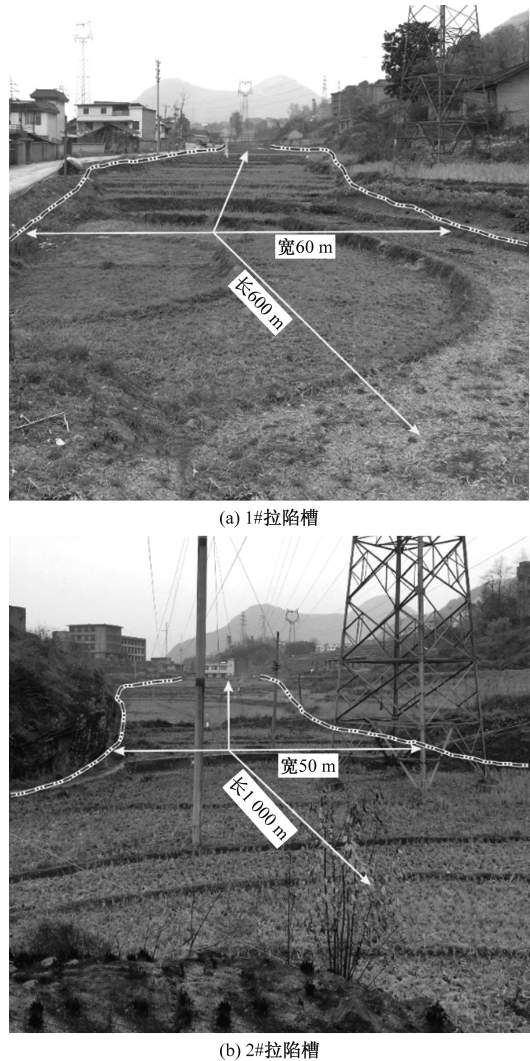


图 3 核桃坪堵江滑坡堆积体上拉陷槽

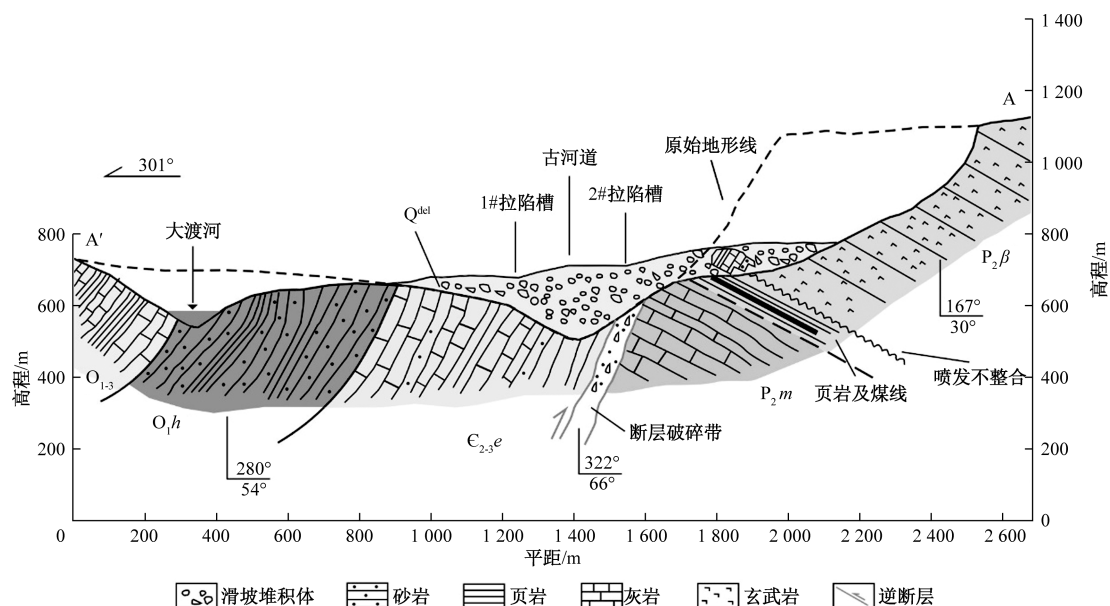


图4 核桃坪堵江滑坡工程地质 A-A'剖面

地层自老而新依次如下。

(1)寒武系上中统二道水组(E_{2-3e}):出露于滑坡区东北侧,其岩性为灰白色中层状白云质灰岩夹灰黑色薄层页岩及砖红色薄层砂岩。滑坡堆积体大部分位于此层之上。

(2)奥陶系下统红石崖组(O_{1h}):出露于滑坡堆积体前部,其岩性为砖红色薄-中层状砂岩夹灰黑色薄层砂质页岩。岩层统计产状为 $N10^{\circ}E/NW\angle 54^{\circ}$ 。

(3)二叠系上统峨眉山玄武岩($P_2\beta$):出露于滑坡区西南侧,与下伏寒武系上中统二道水组呈断层接触关系。其岩性为灰黑色块状隐晶质玄武岩,底部有厚1 m的铝土质黏土岩、泥岩、炭质页岩夹煤线。

2.5 滑坡剖面形态特征

在主滑剖面上根据高程和坡度的不同,从滑坡后缘到前缘人为可划分为四段。第一段为滑坡后缘陡坎,高程为782~1 079 m,高差达297 m,坡度为35~50°,该段地形由北东向南西逐渐变陡;第二段为滑坡体中后部平台,高程为700~782 m,高差约为82 m,坡度为5~10°,此段地势平坦开阔,大部分已被开垦为水田和旱地,此外,还分布着村庄和学校;第三段为滑坡体中部缓坡,高程为600~700 m,高差达100 m,坡度为15~25°,该段为灌木丛林;第四段为滑坡前缘河流侵蚀基岩形成的平台,高程为560~600 m,高差约为60 m,坡度为5~8°,矿业厂房和新材料公司坐落在平台上。

2.6 滑坡堆积体特征

通过对滑坡堆积体的现场调查,根据堆积物特征将堆积体划分为以下四类(图5):第1类为杂乱分布的巨大块石,直径为3~16 m,岩性为灰黑色隐晶质块状玄武岩,主要分布于滑坡后缘和上游边界,这种块石分布具有典型地震滑坡堆积物特征;第2类为分布广泛的碎石土,其中碎石含量约55%,碎石粒径为5~15 cm,最大粒径可达30 cm,呈棱角-次棱角状,分选差,碎石母岩岩性主要为灰黑色隐晶质玄武岩和灰白色白云质灰岩,少量灰黑色页岩和砖红色砂岩,碎石之间砂土充填,胶结较差,其为滑坡堆积体的主要组成成分;第3类为河流相沉积形成的卵砾石,其中卵石含量约为15%,卵石粒径为15~20 cm,呈圆状-次圆状,分选较好,卵石岩性主要为砖红色砂岩,该卵砾石层主要分布于滑坡前缘;第4类为堰塞湖沉积的黄色粉砂层,此层常常与卵砾石层相互夹杂分布于滑坡前缘。

3 核桃坪堵江滑坡堰塞沉积特征

通过野外对核桃坪堵江滑坡上游形成的下核桃坪工厂剖面、滑坡前缘加油站剖面、大竹坝左岸剖面、蔬菜村1#剖面、蔬菜村2#剖面、蔬菜村3#剖面、张村剖面7个堰塞沉积剖面进行测量,并将其物质组成进行分层研究。核桃坪堵江滑坡堵江形成的堰塞沉积剖面分布特征如图6所示,各剖面堆积物特征分述如下。

3.1 下核桃坪工厂剖面

下核桃坪工厂典型沉积剖面位于核桃坪堵江

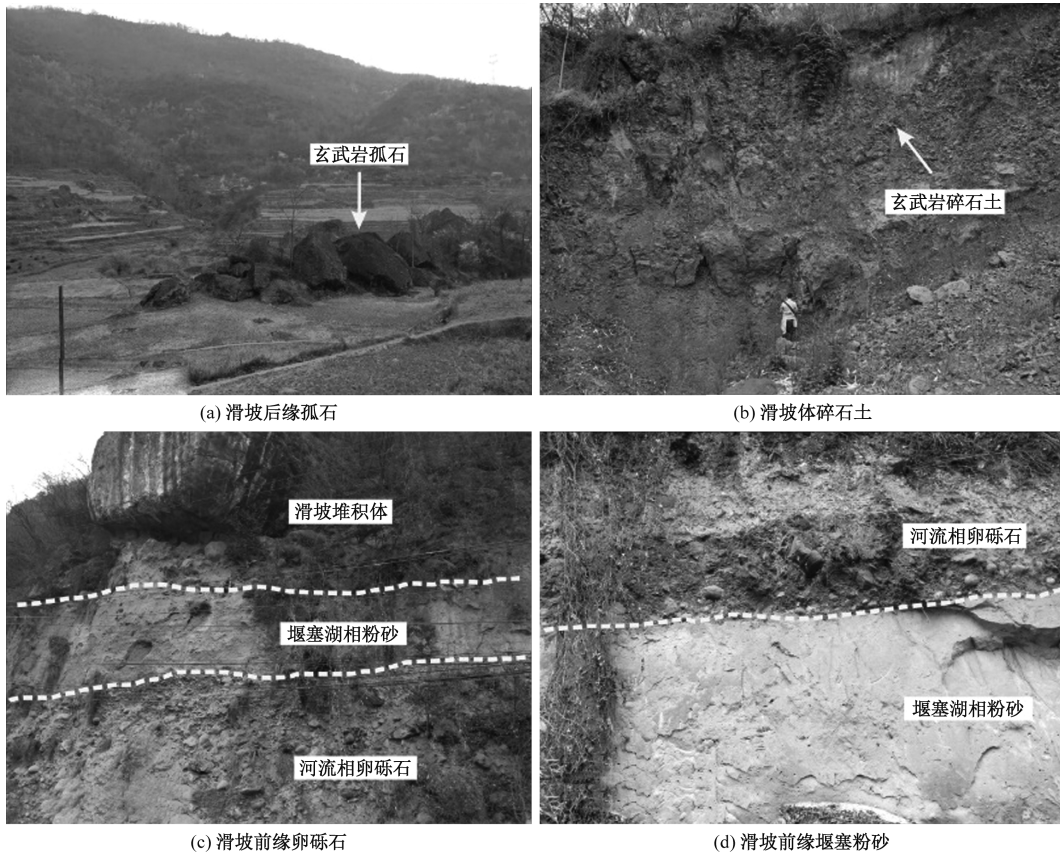


图 5 核桃坪堵江滑坡堆积体特征

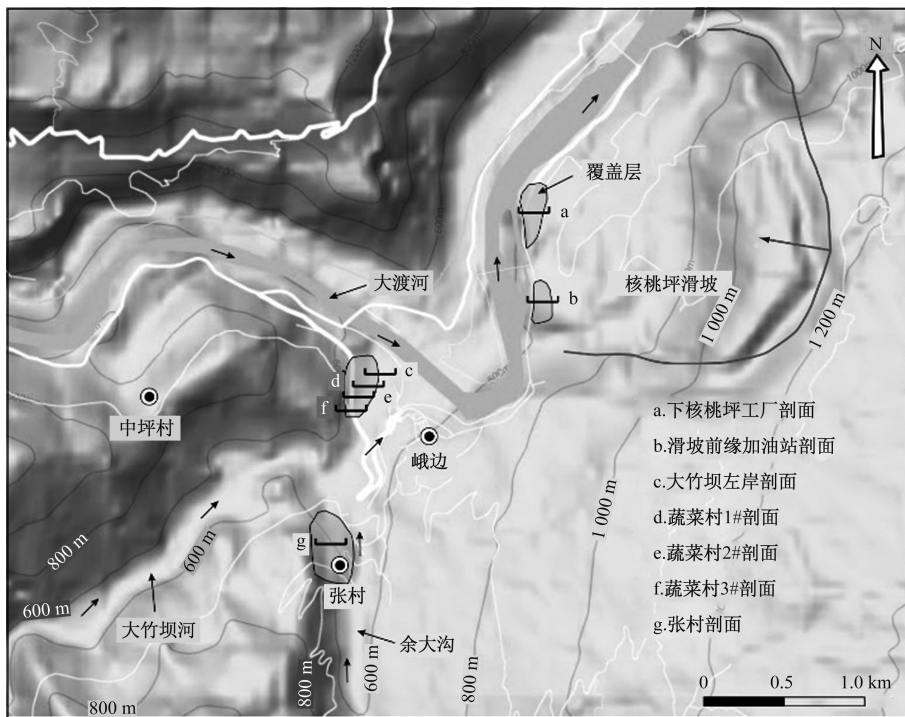


图 6 核桃坪堵江滑坡形成的堰塞沉积剖面分布

滑坡前缘峨边公路与至下核桃坪工厂公路的交会处,其不同沉积层的具体特征如图 7 所示,各层特征分述如下。

I层:滑坡碎石土,其中碎石含量约为 60%,碎石粒径为 8~16 cm,最大粒径可达 24 cm,呈棱角-次棱角状,分选差,碎石岩性主要为砖红色砂岩,少

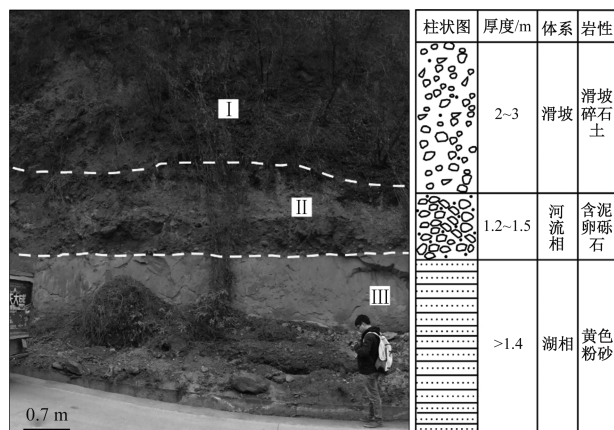


图7 下核桃坪工厂典型剖面沉积特征

量灰白色白云质灰岩和灰黑色页岩,碎石之间砂土充填,胶结较差。该层坡面主要发育灌木和杂草,层厚为2~3 m。该层是由于堰塞湖溃坝后,泄洪道对滑坡前缘的侵蚀作用形成新临空面,致使滑坡堆积体发生二次滑动,堆积于泄洪形成的卵砾石层之上。

II层:含泥卵砾石层,砖红色,中密,卵砾石母岩以砖红色砂岩为主,呈次圆状-圆状,磨圆较好,分选较好,粒径为6~9 cm,最大粒径为15 cm左右,含量约为60%,卵砾石间隙充填黏土,此外层内可见厚为2~3 cm的黄色黏土层。该层总厚为1.2~1.5 m。判断为高密度流沉积。

III层:粉砂层,浅黄色、黄色,砂质均匀,颗粒分选性好,颗粒均匀,稍密。层内局部发生垮塌,层厚大于1.4 m,未见底。判断为堰塞湖水位较深的湖湘沉积层。

3.2 滑坡前缘加油站剖面

滑坡前缘加油站沉积剖面位于核桃坪堵江滑坡前缘峨边公路旁加油站对面,其不同沉积层的具体特征如图8所示,各层特征分述如下。

I层:含巨大孤石的滑坡碎石土,其中碎石含量约为72%,碎石粒径为12~25 cm,最大粒径可达35 cm,呈棱角-次棱角状,分选差,碎石岩性主要为玄武岩和砂岩,少量灰白色白云质灰岩,碎石之间砂土充填,胶结较差。在碎石土上部可见直径为5~6 m的巨大玄武岩孤石。该层厚度为4~5 m,判断为核桃坪堵江滑坡次级滑动而形成的碎石土。

II层:粉砂层,浅黄色、黄色,砂质均匀,颗粒分选性好,颗粒均匀,稍密。层内局部可见垮塌形成的空洞,该层厚约为1.6~2.4 m。判断为堰塞湖水位较深的湖湘沉积层。

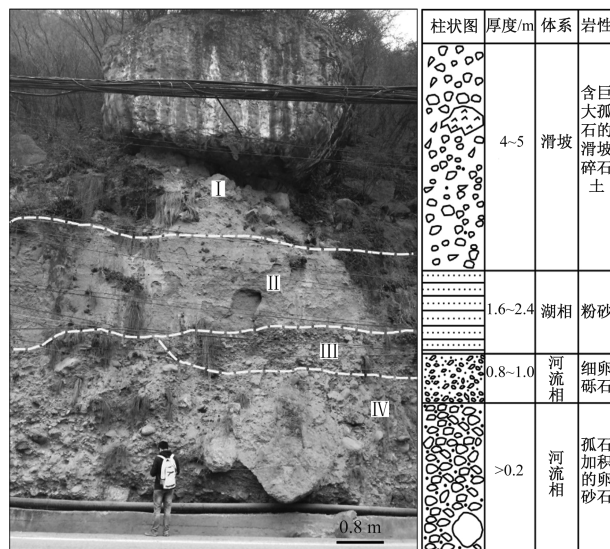


图8 滑坡前缘典型剖面沉积特征

III层:细卵砾石层,灰色、浅黄色,中密,卵砾石母岩以白云质灰岩和玄武岩主,少量砂岩,呈次棱角状-次圆状,磨圆一般,分选一般,粒径为4~8 cm,最大粒径为12 cm左右,含量约为50%,基质支撑,胶结程度差,卵砾石间隙充填砂土,该层呈楔形分布于砂层之下,厚度约为0.8~1.0 m。判断为河流相沉积层。

IV层:孤石加积的卵砾石层,浅黄色,稍密,卵砾石母岩以玄武岩和砂岩为主,少量白云质灰岩,呈次圆状-圆状,磨圆好,分选较差,粒径为6~15 cm,最大粒径为26 cm左右,含量约为74%,卵砾石间隙充填砂土,胶结程度一般,卵砾石层间可见直径为0.8~1.2 m呈棱角状玄武岩孤石,该孤石为核桃坪堵江滑坡形成过程中,孤石掉入古河床而保存下来的。该层总厚大于2 m,未见底。判断为河流相沉积层。

3.3 大竹坝河左岸典型剖面

大竹坝河左岸典型沉积剖面位于峨边县城大竹坝河左岸至蔬菜村公路旁,其不同沉积层的具体特征如图9所示,各层特征分述如下。

I层:砾石支撑的卵砾石层,灰色、青灰色,稍密,卵砾石母岩以白云质灰岩和玄武岩为主,少量砂岩,呈次棱角状-次圆状,磨圆较好,分选一般,粒径为11~20 cm,最大粒径约为30 cm,含量为85%左右,砾石支撑,胶结程度一般,卵砾石间隙充填少量砂土,层厚为8~9 m。判断为河流相沉积层。

II层:基质支撑的卵砾石层,灰色、灰黄色,中

密,卵砾石母岩以白云质灰岩和玄武岩主,少量砂岩,呈次棱角状-次圆状,磨圆一般,分选一般,粒径为 4~8 cm,最大粒径为 12 cm 左右,含量约为 50%,基质支撑,胶结程度差,卵砾石间隙充填砂土,该层总厚为 9~11 m。判断为河流相沉积层。

Ⅲ层:砾石支撑的卵砾石层,灰色、青灰色,稍密,卵砾石母岩以玄武岩和白云质灰岩为主,少量砂岩,呈棱角状-次棱角状,磨圆差,分选较好,粒径为 4~8 cm,最大粒径为 13 cm 左右,含量约为 85%,砾石支撑,胶结程度差,卵砾石间隙充填少量砂土,层厚大于 0.2 m,未见底。判断为河流相沉积层。

3.4 蔬菜村 1# 典型剖面

蔬菜村 1# 典型沉积剖面位于蔬菜村峨边县城至饮料加工厂的石子路旁,其不同沉积层的具体特征如图 10 所示,各层特征分述如下。

I 层:砂质黏土层,黄褐色、灰黄色,砂质均匀,颗粒分选性好,颗粒均匀,稍密。风化严重,残留较少,层厚为 1~2 m,该层顶部发育少量杂草。判断为湖水为较深的湖湘沉积层。

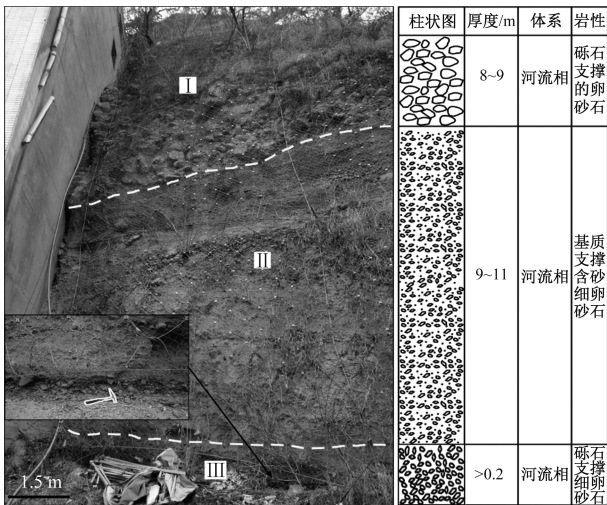


图 9 大竹坝河左岸典型剖面沉积特征

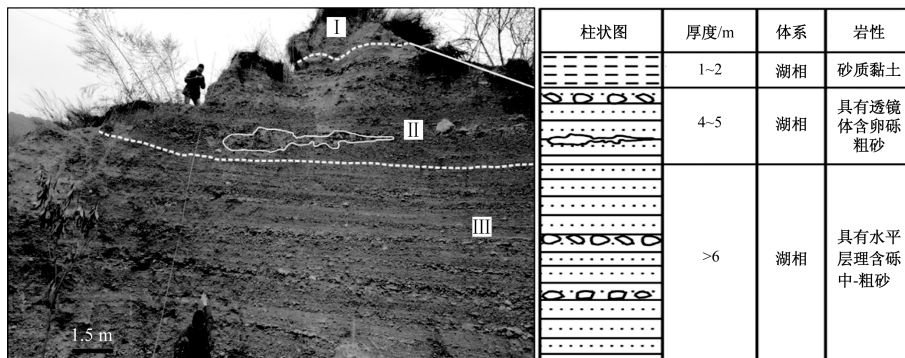


图 10 蔬菜村 1# 典型剖面沉积特征

Ⅱ层:具有透镜体含卵砾石粗砂,灰黄色、浅黄色,卵砾石母岩以白云质灰岩和砂岩为主,呈次棱角状-次圆状,磨圆较好,分选一般,粒径为 4~7 cm,最大粒径为 25 cm 左右,含量为 15%~20%,其余为砂土充填与卵砾石之间,胶结程度一般。此外,层内含有黄褐色含砾黏土,呈透镜体分布于含卵砾石粗砂层中。层厚为 4~5 m,判断为堰塞湖半深水位沉积层。

Ⅲ层:具有水平层理含砾中-粗砂层,浅黄色、灰黄色,发育水平层理,卵砾石母岩以玄武岩和灰岩为主,呈次棱角状-次圆状,磨圆较差,分选一般,粒径为 3~6 cm,最大粒径约为 10 cm,含量为 12%~16%,其余为中-粗砂,胶结程度一般,层厚大于 6 m,未见底。判断为堰塞湖半深水位沉积层。

3.5 蔬菜村 2# 典型剖面

蔬菜村 2# 典型沉积剖面位于峨边县城至饮料加工厂的石子路旁,其不同沉积层的具体特征如图 11 所示,各层特征分述如下。

I 层:黏质粉砂层,浅黄色、灰黄色,砂质均匀,颗粒分选性好,稍密。层内发育蜂窝空洞,层厚为 4~5 m,该层顶部为旱地。判断为湖水为较深的湖湘沉积层。

Ⅱ层:含砾粗砂层,灰色、青灰色,发育斜层理;砾石含量为 9%~14%,砾石粒径为 3~5 cm,砾石成分以砂岩、玄武岩为主,呈次棱角状-次圆状,分选较好,其余为细砂充填,中密程度,微胶结-半胶结,层厚为 1~1.5 m,判断为较高密度下的浊流沉积层。

Ⅲ层:卵砾石层,黄褐色,密实,卵砾石母岩成分以砂岩为主,少量玄武岩,呈次圆状-圆状,分选好,质硬,粒径为 6~9 cm,最大粒径为 12 cm,含量约为 65%,卵砾石间隙充填砂土。厚层为 0.6~0.8 m,属于典型河流相沉积层。

Ⅳ层:含砾粗砂,灰色、青灰色,发育斜层理;砾

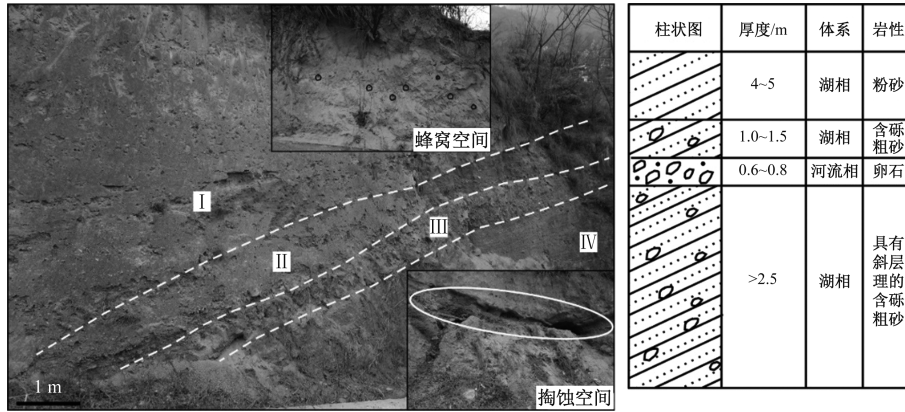


图 11 蔬菜村 2# 典型剖面沉积特征

石含量为 9%~14%，砾石粒径为 4~6 cm，砾石成分以砂岩、玄武岩为主，砾石呈次棱角状-次圆状，分选较好，其余为细砂充填，中密程度，微胶结-半胶结，局部发育应河流淘蚀作用而形成的空洞，大于 2.5 m。属于较高密度下的浊流沉积层。

3.6 蔬菜村 3# 典型剖面

蔬菜村 3# 典型沉积剖面位于峨边县城西侧饮料加工厂旁，其不同沉积层的具体特征如图 12 所示，各层特征分述如下。

I 层：卵砾石层，青灰色，密实，卵砾石母岩以砂岩为主，呈次棱角状-次圆状，磨圆好，分选差，粒径 9~15 cm，最大粒径 30 cm，含量约 65%，卵砾石间隙充填砂土，层厚 9~10 m，判断为河流相。

II 层：细卵砾石层，灰色、灰黄色，中实，卵砾石母岩以玄武岩和砂岩为主，呈次棱角状，磨圆差，分选一般，粒径 2~7 cm，最大粒径约 10 cm，含量约 85%，砾石间隙充填砂土。层厚 4~5 m，判断为河流相沉积层。

3.7 张村典型剖面

张村典型沉积剖面位于余大沟左岸张村，其不同沉积层的具体特征如图 13 所示，各层特征分述如下。

I 层：含砾黏土，棕红色，软塑，稍湿，黏性较好，局部含有 8%~10% 的砾石，砾石母岩以砖红色砂岩为主，呈棱角状-次棱角状，磨圆差，分选差，胶结程度好，层厚为 0.7~1.1 m，判断为堰塞湖沉积层。

II 层：细砾石层，灰色、灰白色，密实，砾石母岩以砂岩为主，呈棱角状-次棱角状，磨圆差，分选好，粒径为 2~4 cm，最大粒径约为 5 cm，含量约为 85%，砾石间隙充填砂土。层厚为 0.9~1.4 m，判断为河流相沉积层。

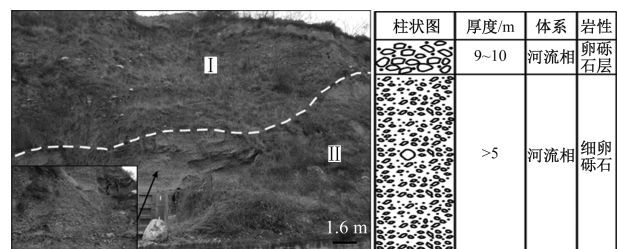


图 12 蔬菜村 3# 剖面沉积特征

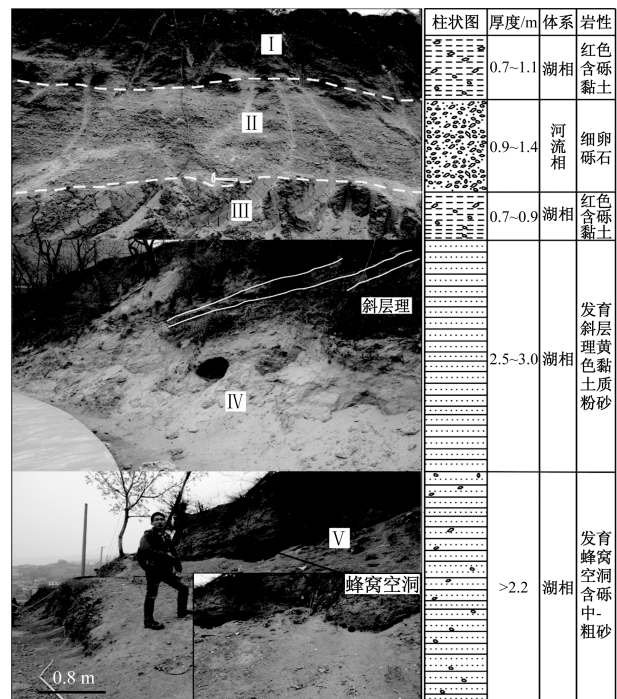


图 13 张村典型剖面沉积特征

III 层：含砾黏土，棕红色，软塑，稍湿，黏性较好，局部含有 4%~6% 的砾石，砾石母岩以砖红色砂岩为主，呈棱角状-次棱角状，磨圆差，分选差，胶结程度好，层厚为 0.7~0.9 m，判断为堰塞湖沉积层。

IV层:发育斜层理黏质粉砂层,浅黄色、黄色,发育斜层理,砂质均匀,颗粒分选性好,颗粒均匀,稍密。层内局部发生垮塌和发育空洞,层厚为2.5~3 m,未见底。判断为堰塞湖水位较深的湖湘沉积层。

V层:含砾中-粗砂,灰色、青灰色,砾石含量为7%~9%,砾石粒径为2~4 cm,砾石成分以砂岩和灰岩为主,砾石呈次棱角状-次圆状,磨圆一般,分选一般,其余为细砂充填,中密程度,胶结程度差,局部发育蜂窝状空洞,大于2.2 m,未见底。属于较高密度下的浊流沉积层。

4 核桃坪堵江滑坡形成机制分析

根据对滑坡区的调查,可将滑坡变形破坏过程归纳以下四个阶段。

(1)卸荷回弹阶段:核桃坪堵江滑坡地处深切峡谷地段,斜坡结构为上部为隐晶质玄武,其流面节理产状为 $167^{\circ}/30^{\circ}$,玄武岩底部为易产生变形的页岩夹煤线。大渡河不断下切,使核桃坪斜坡形成高陡的坡面。在此过程中,玄武岩岩体在水平应力不断释放,在岩体内部产生与河流流向大致平行的陡立卸荷拉裂缝。这些拉裂缝主要分布于斜坡的坡肩和坡面等张力带,而且坡肩表部玄武岩岩体沿流面节理向临空面发生轻微倾倒变形[图14(a)]。

(2)倾倒变形阶段:斜坡中页岩和煤线因自身抗风化作用弱、遇水易软化和易变形,它在上部玄武岩重力、河水和沿拉裂缝下渗的降雨等作用下,产生向临空面的塑流变形。这一过程导致上部玄武岩岩体倾倒变形沿流面节理向坡内逐渐发张。在此过程中斜坡内的卸荷拉裂缝不断增多且不断向深部扩展[图14(b)]。

(3)倾倒扩展折断阶段:在玄武岩岩体自身重力作用下,玄武岩岩体底部页岩和煤线塑性变形不断增大,从而使玄武岩岩体的倾倒变形向深部发张,并且斜坡后部出现由倾倒变形引起的拉裂缝。在斜坡内发生了局部折断,逐渐形成潜在滑移面[图14(c)]。

(4)滑坡形成堵江阶段:在某次地震作用诱发下,潜在滑移面最终贯通,滑坡体在自身重力和地震动力作用快速滑入大渡河,滑坡体并到达核桃坪堵江滑坡位置对岸山体上,至此大渡河被堵塞形成堰塞湖。在漫长的堰塞地质历史过程中,堰塞坝上游淤积形成堰塞湖相沉积物,后期滑坡局部发生多期次滑动导致滑坡体产生拉陷槽,同时在滑坡堆积体加积于堰塞湖相粉砂层之上。此

外,大渡河另辟蹊径在堵塞古河道左岸形成现今大渡河河道[图14(d)]。

5 结论

本文通过详细的野外调查,并结合典型堰塞湖沉积剖面实测,查明了核桃坪堵江滑坡的形态及规模、边界特征、平面形态特征、地层特征等,对堰塞湖沉积剖面进行沉积相划分,分析阐明了核桃坪堵江滑坡的形成机制,获得以下主要结论。

(1)核桃坪堵江滑坡平面面积为 2.5 km^2 ,总体积为 $4\ 000\times 10^4\text{ m}^3$,其平面形状呈“簸箕”状,滑坡前缘最宽达2 735 m,后缘最窄宽为1 822 m,滑坡纵向长约为1 148 m,主滑方向为 300° 。

(2)对滑坡堵江形成的7处堰塞湖沉积剖面进行详细的野外观测,剖面垂直向表现明显的相变特征,堰塞沉积物具有粗细层混杂的沉积特征,反映堰塞湖演化过程中经历了形成、沉积和溃决。

(3)滑坡前缘堰塞湖沉积剖面显示滑坡堆积体加积于堰塞湖沉积物之上,表明核桃坪堵江滑坡发生后堵塞大渡河形成堰塞湖,后期滑坡体局部发生多期次滑动。

(4)核桃坪堵江滑坡的形成机制可以分为卸荷回弹阶段、倾倒变形阶段、倾倒扩展折断阶段和滑坡形成堵江阶段等四个阶段。

参考文献

- [1] 李海军,董建辉,朱要强,等. 贵州织金垮坡组滑坡成因分析及稳定性评价[J]. 科技和产业, 2020, 20(5): 156-160.
- [2] 张鑫鑫,杜明,董洁. 岐山县宋家尧村滑坡形成机理[J]. 科技和产业, 2024, 24(7): 238-242.
- [3] 潘明慧,王其光,江山,等. 强降雨作用下川西地区大型露天矿坑古滑坡复活特征[J]. 科技和产业, 2024, 24(22): 272-279.
- [4] 陈建强,沈贺,冯文凯. 四川省汉源县中海村滑坡特征与运动过程分析[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(17): 7448-7454.
- [5] 邓立雄,徐世光,郑庭,等. 永善县城古滑坡复活变形特征及稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(6): 2308-2316.
- [6] 张培震,邓起东,张国民,等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J]. 中国科学: D辑, 2023, 33(S1): 12-20.
- [7] 李海龙,张岳桥,乔彦松,等. 青藏高原东缘大渡河中游深切河谷沉积物及其地震地质意义[J]. 地质通报, 2015, 34(1): 104-112.
- [8] 夏银珍,刘维明,赖忠平,等. 大渡河石广东古滑坡堰塞湖沉积物光释光年代研究[J]. 地球环境学报, 2017, 8(5): 419-426.

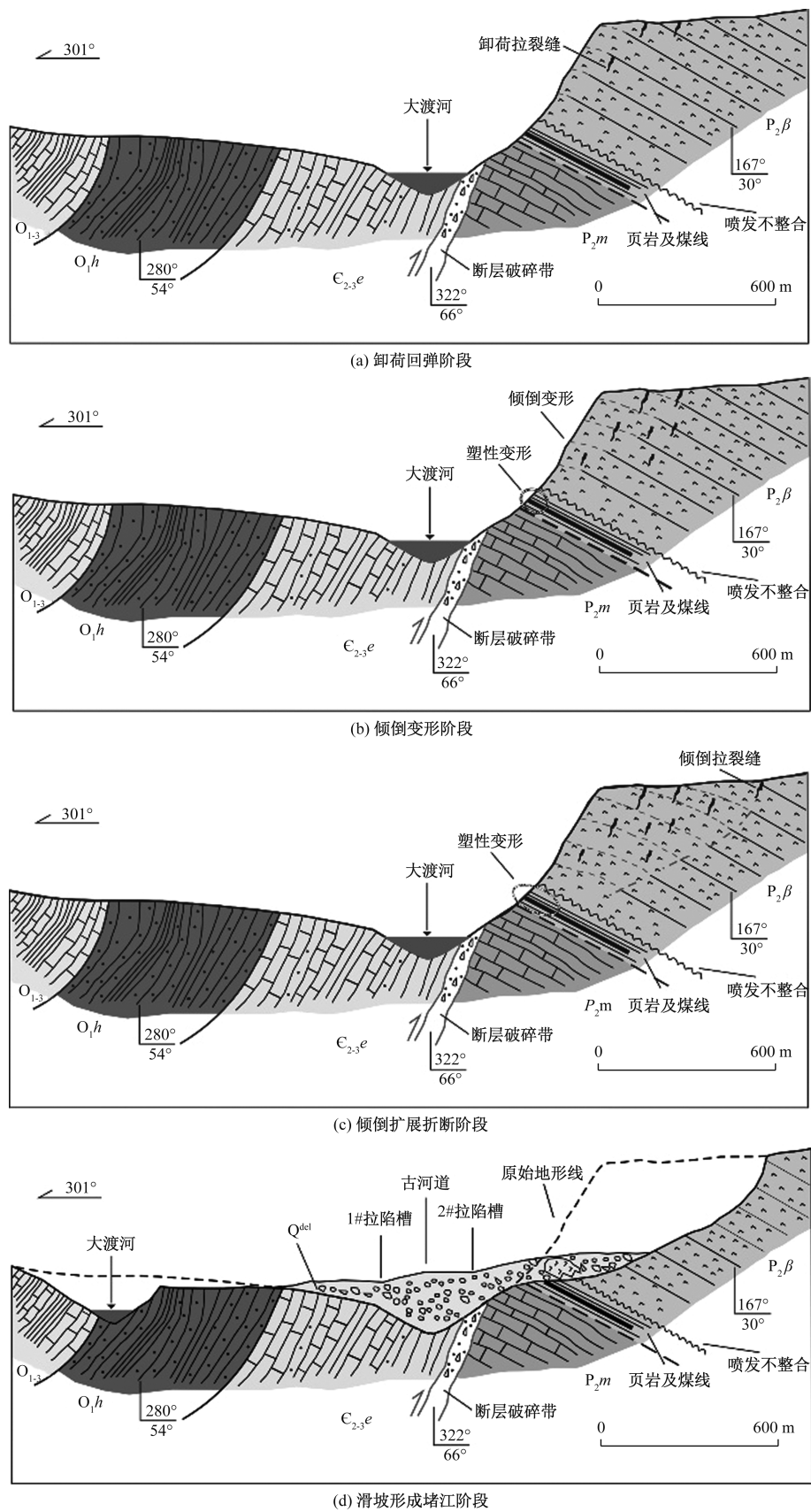


图 14 核桃坪堵江滑坡变形破坏过程纵剖面示意图

- [9] 谢佐彬, 向芳, 许强, 等. 大渡河上游阿娘寨古堰塞湖的发现及其特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 1-21.
- [10] 张海泉, 何文秀, 赵波, 等. 四川丹巴县“6·17”梅龙沟泥石流-阿娘寨滑坡灾害链现场调查与监测分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(29): 12481-12489.
- [11] 文强, 胡卸文, 刘波, 等. 四川丹巴梅龙沟“6·17”泥石流成灾机理分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(3): 23-30.
- [12] 李晨露, 潘美慧, 杨安娜, 等. 大渡河上游鸡心堡滑坡形成的古堰塞湖及其环境效应[J]. 第四纪研究, 2022, 42(5): 1363-1375.
- [13] 李海龙, 张岳桥, 李建华. 青藏高原东缘南北向河流系统及其伴生古堰塞湖研究[J]. 第四纪研究, 2010, 30(4): 812-824.
- [14] 钟湖平, 吉锋. 大渡河加郡古堰塞湖沉积特征及演变过程初探[J]. 中国水运(下半月), 2012, 12(4): 182-184.
- [15] 邓建辉, 陈菲, 尹虎, 等. 泸定县四湾村滑坡的地质成因与稳定评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(10): 1945-1950.
- [16] 张御阳. 强震触发摩岗岭滑坡成因机制及运动特征研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [17] 吴俊峰, 王运生, 董思萌, 等. 摩岗岭滑坡成因机理[J]. 湖南科技大学学报(自然科学报), 2012, 27(3): 52-56.
- [18] 周洪福, 韦玉婷, 王运生, 等. 1786年磨西地震触发的摩岗岭滑坡演化过程与成因机理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2017, 44(6): 649-658.
- [19] 郭晓光. 大渡河流域石棉—泸定段大型古滑坡与河谷侵蚀的孕生关系[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.

Characteristics and Formation Mechanism of the Hetaoping Landslide Dam in the Middle Reaches of Dadu River

LEI Qingxiong

(Yibin City and Transportation Construction Investment Group Co. Ltd., Yibin 64400, Sichuan, China)

Abstract: In order to enrich the materials for studying the landslides dam and dammed sediments in the Dadu River Basin. The newly discovered the Hetaoping landslide dam in the middle reaches of the Dadu River was studied. The landslide characteristics, the weir depositional characteristics of the river blockage formation and the landslide formation mechanism were studied through detailed field geological investigations and profiling methods. The field investigation results are as follows. The Hetaoping landslide dam plane area of 2.5 km², the total volume of about 400×10⁴ m³. The phase change characteristics exhibit vertically in the weir depositional profile reflect that the weir has undergone the evolutionary process of formation, deposition and outburst, and that the landslide has locally occurred multi-phase sliding characteristics. The formation mechanism of the Hetaoping landslide dam is divided into four stages, that is unloading rebound stage → dumping deformation stage → dumping expansion fracture stage → landslide formation plug river stage.

Keywords: dadu river; hetaoping; landslide dam; dammed sedimentation; formation mechanism