

美国西部滑坡坝的合作研究

李天池 吴积善

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所)

R.L.舒斯特

(美国内务部地质调查局)

提 要 沟谷的滑坡成坝已成为美国西部山地中一个值得注意的问题。1985 年作者们考察了美国西部六州九个滑坡坝的特点。这是执行 1979 年中美科学技术合作协议(特别是 1980 年地学合作补充议定书)的部分内容。中美两国科学家和工程专家考察九个滑坡坝后,取得了一些研究成果,即论述了滑坡坝(尤其是近代滑坡坝)的成因与稳定性,并列举了灾变性溃坝防止措施的若干成功经验。

关键词 美国西部 滑坡坝 成坝滑坡 滑坡成坝

前 言

1985 年 6 月,为执行 1979 年中美科学技术合作协议(特别是 1980 年地学合作补充议定书),李、吴两位赴美国进行了技术访问。其间,作者们在一起调查研究了美国西部的滑坡坝。

犹如中国西南的情况^[1]一样:更新世以来,美国西部的山区沟谷,被数以千计的滑坡所堵而成坝。某些滑坡坝产生于 20 世纪,正在造成深远的经济-社会影响。这次合作所进行的野外考察为研究滑坡的形成与溃坝提供了一个良机,由此中美两国共同解决了一个技术难题。在美国西部驱车行程 4000 公里,考察过某些地方的六个大型滑坡所造成的九个滑坡坝;这些地方是:华盛顿州西部的喀斯喀特岭,俄勒冈州东北部的蓝山,以及蒙大拿、怀俄明、犹他和科罗拉多四州境内的落基山脉的一些山岭(图 1)。这些天然坝选作为取得某些研究成果的根据,即选来论述天然坝的前因后果,近代大型滑坡坝的实态,并列举了采取溃坝防止措施的若干成功经验。

虽然这次滑坡坝的研究路线始于华盛顿州的圣海伦斯火山,而终于科罗拉多州的斯卢姆格莱昂土流,但是文中将按生成年代的先后论述各个滑坡坝。第一个将是斯卢姆格莱昂土流及其所生成的坝体(位置见图 1),该坝约在 700 年前堵塞成科罗拉多州西南部圣胡安山中的圣克里斯托瓦尔湖。其余四个 20 世纪生成的大型成坝滑坡(位置见图 1)即:1925 年生成的怀俄明州下格罗文特滑坡,1959 年地震触发成的蒙大拿州麦迪逊坎宁滑坡,1980 年生成的华盛顿州圣海伦斯火山岩屑崩塌,以及 1983 年生成的犹他州锡斯尔岩屑滑坡。这四个滑坡中,仅有下格罗文特滑坡坝业已失事,致使下游洪水严重泛滥;另外三个滑坡的天然坝因采取一系列防止措施而仍保持稳定。不过,四个生成 20 世纪滑坡

坝的滑坡, 均因洪水泛滥(上游或下游)而带来重大的经济损失, 并(或者)花费巨大的防治费用。此外, 还有一个 1984 年生成的规模较小的滑坡——墙洞峡谷滑坡(位置见图 1), 它拦断了俄勒冈州东北部的保德河, 因在这次考察前仅数月才成坝而加以考察。



图 1 1985 年 6 月考察的美国西部六个成坝滑坡位置略图

Fig.1 Outline map of the western United States showing locations of six dam-forming landslides visited in June 1985

1. 斯卢姆格莱昂 (Slumgullion) 土流; 2. 下格罗文特 (Lower Gros Ventre) 滑坡; 3. 麦迪逊坎宁 (Madison Canyon) 滑坡; 4. 圣海伦斯火山 (Mount St. Helens) 岩屑崩塌; 5. 锡斯尔 (Thistle) 滑坡;
6. 墙洞峡谷 (Hole-in-the-Wall Gulch) 滑坡

本文给出的数据大多引自 1985 年野外考察前发表的技术文献。可是 1985 年以来又发表了这些天然坝的补充数据, 有关的已含于本文中, 并列有参考文献。

斯卢姆格莱昂土流——一个科罗拉多州西南部的古滑坡坝

美国西部不是因为堵塞体溃决, 就是由于湖盆淤满泥沙, 而使大多数堵河的古滑坡已不起作用。不过, 也有特例, 这就是科罗拉多州西南部落基山脉的一支脉——圣胡安山中的斯卢姆格莱昂土流(照片 1)¹⁾。土流长 6.5 公里, 它所形成的一个古滑坡坝至今

1) 文中照片见刊末图版 I, I.

仍拦蓄着大量的自然水体。此条土流起始端海拔 3700 米, 终止端海拔 2740 米; 土流物质来自第三系热液蚀变安粗岩流和角砾岩^[2]。约在 700 年前斯卢姆格莱昂土流拦断了甘尼森河中的福克湖, 由此而堵塞成长 3.0 公里的圣克里斯托瓦尔湖。尽管构成土流的重粘土与热液蚀变火山物质没有多大抗侵蚀能力, 但既因福克湖未排泄大量径流, 又因土流把福克湖与谷地隔得甚远, 故坝体仍保持完整。谷地将基岩坝座一侧切开一个天然溢水口。

斯卢姆格莱昂土流终止端上游 4.0 公里处, 因有土流源头峭壁的碎屑物及土流上游右侧的滑移(或滑动)而不断加载, 故还在活动。航空照片量测和当地实测[见参考文献[2]和 1985 年瓦内斯(Varnes)的未刊资料]结果显示, 1939—1985 年 46 年间土流活动部位的中部在以平均速度 5.00—6.00 米/年向前运动; 1940—1952 年间土流活动部位的尾部在以平均速度 0.75 米/年向前推进。临时观测结果表明, 在前述测量期间土流活动部位尾中两部的经常性运动速度各自均保持着同一数量级。

美国西部 20 世纪生成的滑坡坝

(一) 怀俄明州的下格罗文特滑坡

1925 年 6 月 23 日, 下格罗文特滑坡(照片 2)生成于怀俄明州西北部的下格罗文特河谷, 即斯内克流的一条主要支流。正如奥尔登(Alden, 1928)^[3]所提出的, 冬春两季格罗文特山内的大雨雪浸润了石炭系粘土层(其倾角 18°—21°, 倾向谷地), 由此一个庞大的完整岩体突然滑入格罗文特河谷。数分钟之内, 这个估计方量为 3800 万立方米的完整岩体被破碎成岩石碎屑, 横冲过谷地, 遇北缘砂岩峭壁冲起高约 100 米, 并生成一个横断格罗文特河的高度约 70 米的坝体。洪水来临后, 河水即灌满坝体后的盆地; 约经三个星期, 盆地蓄水成湖, 这就是下斯莱德湖, 湖长达 6.5 公里, 湖宽平均约 600 米, 湖深最大 60 米, 湖水容量 8000 万立方米^[3,4]。滑坡以上沿河两岸的许多大农场遭这个新湖所淹。

堵塞体渗漏相当严重, 由此使下斯莱德湖湖水在滑坡发生后的近两年内就未漫过坝顶^[3]。可见, 因渗漏使湖水不足以漫过坝顶, 故不用防止坝体发生决口。然而, 1926—1927 年间的冬天, 格罗文特山地普降大雪, 并于 1927 年 5 月降雨和融雪使湖水猛涨, 5 月 18 日下格罗文特湖湖水漫过滑坡坝坝顶, 后由溯源侵蚀而使坝体决口。整个坝体没有失事, 但湖水位顷刻间下降 15 米余, 于是一场特大洪水发生了。湖泊泄水约 5300 万立方米, 并淹没了坝下游 6 公里处的小镇凯利(居民有 80 人), 当地水浪涌高 5 米^[5]。这个小镇遭摧毁, 并有 6 人被淹死。格罗文特河洪流汇入的斯内克河后, 出现了一场小洪水, 其波及至坝下游 220 公里处的爱达荷州爱达荷福尔斯城。

(二) 蒙大拿州西南部的麦迪逊坎宁岩石滑坡

1959 年 8 月 17 日蒙大拿州西南山区发生了震级为 7.1 级的赫布根湖地震。地震触发了麦迪逊坎宁滑坡(照片 3)。这使 2140 万立方米岩体(前寒武系风化片岩、片麻岩与白云石等)和崩积物, 从约 500 米的高处顺 30° 斜坡向下滑入麦迪逊河峡谷(图 2)。滑坡运动的最大速度估计有 50 米/秒^[6]。长约 1.5 公里的一段麦迪逊河谷与毗连的美国 285 号公路均遭埋深 70 米余。这个岩石滑坡阻塞了河水, 由此而蓄水成“地震湖”, 湖长 10.0 公里, 湖

深近 60 米。

麦迪逊坎宁岩石滑坡生成后不久,美国陆军工兵部队立即开挖了泄流道,“以免蓄水从麦迪逊坎宁突然又有灾变性地向下游谷地”(见参考文献[7],第138页)。75米宽的

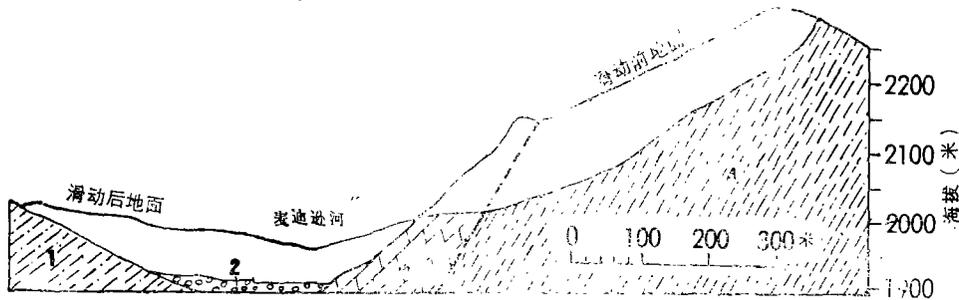


图 2 麦迪逊坎宁岩石滑坡纵剖面(引自参考文献[6])

Fig. 2 Longitudinal cross section through the Madison Canyon rock slide, southwestern Montana State (from reference[6])

1. 角闪岩和片麻岩; 2. 冲积层; 3. 白云岩; 4. 片麻岩和片岩

泄流槽横挖于堵塞体顶部。泄流道用作为通过流量280立方米/秒的水道,以便得到仅能缓慢地冲刷滑坡坝组成物质的流速^[7]。为确保泄流道的稳定,沿泄流槽槽底和槽壁选用大石块铺砌成“护面”。1959年10月末建筑物竣工;与此同时,用施工器械和放水(即从滑坡坝上游10公里的赫布根坝泄出的增大泄水量)冲刷两者相结合的开挖方式,把堵塞体顶部削低约15米。“1959年以来,尽管从赫布根坝泄出的增大泄水量流经‘地震湖’,削低泄流道顶部约5呎(1.5米),泄流槽下游部分被下切约20呎(6.1米),但滑坡体变动甚微。”(见参考文献[7],第140页)由照片4可见,1974年以来,泄流槽略有附加侵蚀作用。

(三)华盛顿州西南部的圣海伦斯火山岩屑崩塌

1980年5月18日圣海伦斯火山喷发,火山海拔2950米,地处华盛顿州的喀斯喀特岭。火山锥北坡上部崩滑下一个巨大的岩石滑坡。这个地震触发成的滑坡发展成一个28亿立方米的岩屑崩塌,于是它以70—80米/秒的速度铺盖了图特尔河北支流的一段长24公里的谷地^[8]。火山锥(圆丘)麓,面积约60平方公里的谷地平均埋深45米,岩屑分选不佳。

火山以北和以南,圣海伦斯火山岩屑崩塌堵断了图特尔河北支流的大小沟谷,由此生成数个新湖^[9]。其中最主要的有四个,即:斯皮里特湖、科尔德沃特湖、卡斯尔湖和埃尔克罗克湖(图3)。这几个湖泊值得在此加以论述。

埃尔克罗克湖是四个湖泊中最小的一个,又是最先遭堵塞的一个。1980年8月前,该湖湖深9米,湖水容量30万立方米^[10]。8月27日,一场暴雨后,滑坡坝失事,当时洪峰流量为450立方米/秒。随之而来的一场小洪水冲毁了沟道维护设施,但未造成人员伤亡。可是,从某种意义上说,这次失事预示:斯皮里特湖、科尔德沃特湖或卡斯尔湖三者各自的滑坡坝可能也要发生决口。对此,三个残余坝及其蓄水湖泊各自都布设了监测设

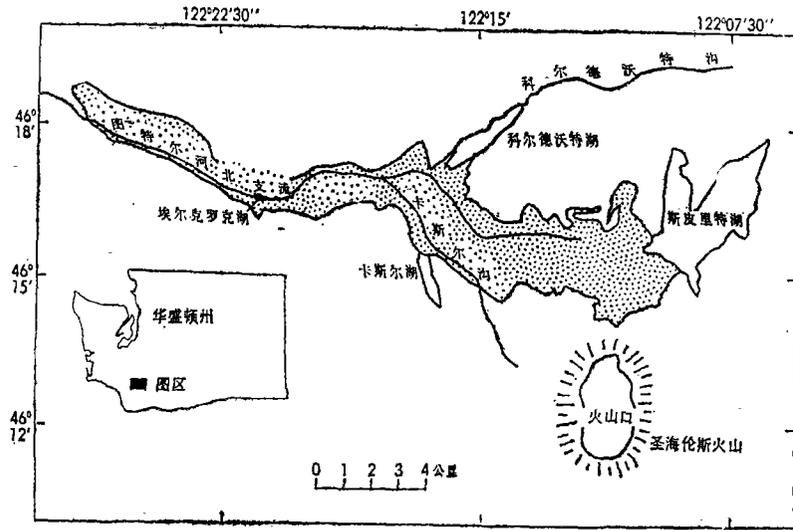


图3 圣海伦斯火山岩屑崩塌掩埋区

Fig. 3 Area buried by the May 1980 Mount St. Helens debris avalanche, southwestern Washington State

施。

斯皮里特湖(照片5)是三个残留天然水库中最大的一个。1982年8月前,岩屑崩塌坝拦蓄于湖泊中的水体约3.30亿立方米。当时湖水位为海拔1055米。就在这时,政府特别工作组决定,坝体拦蓄水位不能超过海拔1060米,以排除坝体决口威胁^[11]。由溃坝数学模式计算结果显示,若斯皮里特湖堵塞体发生决口,则图特尔河北支流谷地内的臆拟洪水(或泥石流)流量约7.5万立方米/秒;这样的溃决洪水足以把图特尔河与考利茨河两者下游沿岸的一些城镇淹深20米^[12]。再次,用单向输沙计算机模式,研究了斯皮里特湖溃决洪水的沉沙效应,由此判断得出:这样的一场洪水使斯皮里特湖下游约100公里的哥伦比亚河内的泥沙堆积厚度能有13米,因而主水道要暂遭阻塞^[13]。

由于有了上述这些研究结果,1982年11月美国陆军工兵部队在当地安装了一个临时抽水泵,以便把湖水位保持在海拔1055米处。这是一个16型抽水泵,其出水率为5立方米/秒。抽水泵把湖水经一根长1112米直径1.5米的管道,过堵塞体顶部,抽入一个静水池,尔后流入图特尔河北支流。

长远之计在于,开挖一条长2590米直径3.4米的自流泄水隧洞(图4)来保持湖水位的稳定;泄水隧洞穿过一条由第三系凝灰岩与火山流岩组成的山脊,而山脊位于斯皮里特湖以西^[11]。开挖自流泄水隧洞用的是隧洞掘进机(TBM,图5)技术。1984年夏季隧洞开工,并于1985年4月初竣工。工程总造价为2900万美元^[11]。这条泄水隧洞使湖水位下降而稳定于海拔1048米,于是出现一个“安全”湖水容量,即约2.59亿立方米。

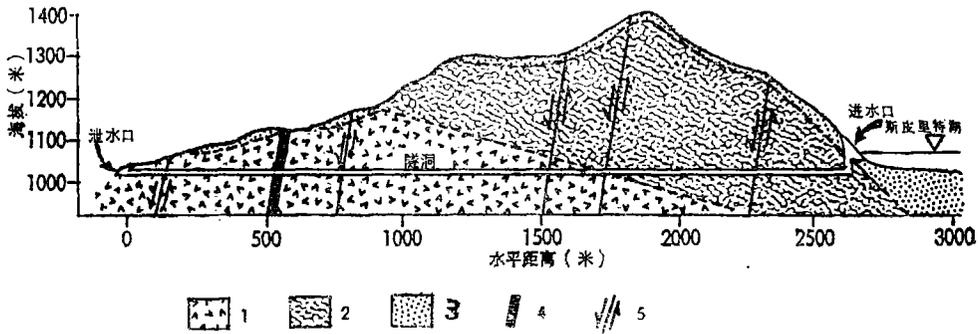


图4 斯皮里特湖泄水隧洞定线及沿线地质纵断面(引自参考文献[11])

Fig. 4 Spirit Lake outlet tunnel alignment and geologic profile along alignment (from reference[11])

- 1 主要为凝灰岩; 2 主要为玄武岩流或安山岩流; 3. 覆盖层或岩层坍塌层; 4. 岩脉; 5. 断层带或正断层

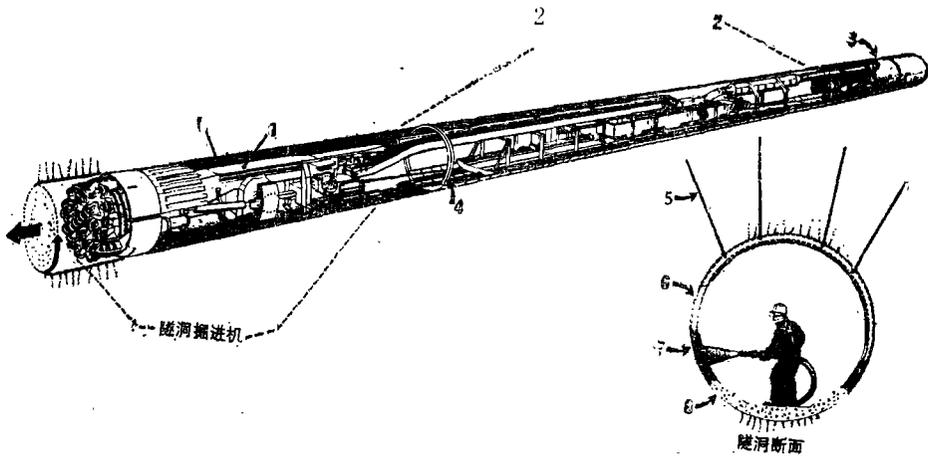


图5 斯皮里特湖泄水隧洞施工用的隧洞掘进机(引自参考文献[11])

Fig. 5 Tunnel Boring Machine (TBM) used in constructing the Spirit Lake outlet tunnel (from reference[11])

- 1. 岩石锚栓(一定要); 2. 拖带传动装置; 3. 敷喷砂浆; 4. 钢筋(一定要); 5. 6'×8"岩石锚栓(一定要); 6. W 4×13 钢筋圈(一定要); 7. 最少 4"的纤维-钢筋混凝土喷浆; 8. 混凝土弧形倒拱

科尔德沃特湖(照片6)湖水若在1981年末让其自然漫过坝顶,则湖水最大容量估计有1.28亿立方米。为防止科尔德沃特滑坡坝发生灾变性决口,1981年夏季美国陆军工兵部队在滑坡坝基岩右坝座上开挖出一条永久性泄流道。这条泄流道使科尔德沃特湖容量

恒定在 0.83 亿立方米,并充分确保了天然坝的稳定性。

同前所述,卡斯尔湖(照片 7)湖水容量,也用一条横挖于天然坝中的泄流道来恒定在 0.24 亿立方米。由此,因湖水漫过坝顶而引起的卡斯尔湖堵塞体溃决的可能性不大。可是,在现有湖水位情况下的卡斯尔湖堵塞体渗漏严重;并由分析研究结果显示,堵塞体因有体内侵蚀而岌岌可危^[14]。由溃坝计算机模式计算结果表明,这个天然坝失事后,将在近坝下游暴发一场峰值流量为 42500 立方米/秒的洪水^[15]。

由于岩屑崩塌区存在着表面侵蚀作用、可能出现的堵塞体体内侵蚀作用、斜坡的不稳定性,以及(或者)圣海伦斯火山的复苏活动或地震活动,故前述那些稳定湖水位的措施不能绝对保证任一滑坡坝保持完整无损。为此,要继续研究和监测三个滑坡坝的稳定性^[14]。再则,目前美国陆军工兵部队在岩屑崩塌尾端下游 11 公里处的图特尔河北支流上,正在建造一座大型停淤结构物(照片 8)。尽管这座土石填筑挡坝(坝高 54 米,坝顶长约 550 米,而设计库容为 1.97 亿立方米)主要用来截留从岩屑崩塌上冲刷下来的泥沙,但若遇某一滑坡坝失事,也是用来预防下游洪水泛滥之患的。这座停淤结构物(即土石填筑挡坝)将于 1989 年 12 月竣工。

(四)犹他州中部的锡斯尔岩屑滑坡

发生于 1983 年 4 月的犹他州中部锡斯尔岩屑滑坡(估计方量为 2200 万立方米),由古岩屑滑坡复活而成。岩屑物质生成在上白垩统-第三系北角建造的沉积岩层(一套由泥岩、粘土岩、砾岩和石灰岩组成的软弱岩层)中。岩屑物质滑动于三叠系安卡雷建造(软弱的粉砂岩夹页岩和砂岩)及三叠系(?)—侏罗系(?)纳吉特砂岩层(巨厚块状砂岩)上^[16]。这个大型滑坡形成了一道横断西班牙福克峡谷的天然障碍物(照片 9),由此拦断了西班牙福克河,毁坏了美国 6 号公路、89 号公路和丹佛—里奥格兰德西部铁路干线。300 米长的滑坡坝堵河成湖,最大湖深 62 米,湖水容量估计有 7800 万立方米^[17,18]。湖水淹没了小镇锡斯尔,同时遭损失的有: 15 家商店,10 幢住宅,以及丹佛—里奥格兰德西部铁路线上的当地编组站。值得庆幸的是,人员没有伤亡;可是,锡斯尔滑坡及其引起的上游洪水泛滥,造成直接经济损失达 2 亿美元^[16]。

滑坡发生后不久,犹他州作出决定,必须尽快把湖体蓄水排出,以防止滑坡坝可能失事。在一个星期之内,建成了一条 2.4×3.0 米、长 145 米的临时引水隧洞,以防湖水漫过滑坡坝坝顶^[18]。随后建造的永久性排水工程有两项: 1. 一条长 670 米直径 4.3 米的马蹄形隧洞,其开挖于滑坡坝右坝座的纳吉特砂岩层中; 2. 一个直径 4.9 米的湖水竖井,其建于湖面至隧洞上游终端。1983 年 10 月 1 日(即滑坡发生后五个半月),这两项工程竣工;与此同时,湖水排水系统工程开工,1983 年 12 月底全部排水系统工程竣工。

(五)俄勒冈州东北部的墙洞峡谷滑坡

1984 年 8 月 1 日,墙洞峡谷低速滑坡(照片 10)开始滑动,其最大运动速率为 5 米/天。这个岩石滑坡(或岩屑滑坡)发生在中新统上段哥伦比亚河巴索尔特组玄武岩流与凝灰岩、火山灰层互层中。它是这次考察的六个滑坡中规模最小的一个(表面面积为 17 公顷,估计方量是 600 万立方米),但因其已停止活动而令人感兴趣。墙洞峡谷滑坡拦断了保德河,即俄勒冈和爱达荷两州交界处最大河流斯内克河的一条支流。堵塞体宽约 120 米(垂直河流流向),拦蓄的湖水最大容量 29 万立方米^[19]。1986 年 2 月出现最高湖水位(海拔 741 米)。

此时正逢大雨,随之而发生河流上游的一些冰坝尖事,致使泄水口遭淘刷。1986年4月天然溢流道曾刷深约3米,由此湖水位下降至海拔738米。因新溢流道由抗侵蚀强的玄武岩块作天然“护面”,故可以预料:水流将下切甚微。

结 束 语

沟谷的大型滑坡成坝已成为美国西部山区中的一个长期存在的问题,实际上在中国亦是如此。1980年以来,美国西部出现的两个耗资甚巨的大型滑坡坝显示,问题并没有获得最终解决。虽然现代施工技术和通讯系统可用来控制湖水位而避免发生决口,但这样控制所付出的代价和上游洪水泛滥所造成的经济损失都大得惊人。再则,种种滑坡坝因与按严格设计标准建造成的各种工程填筑坝不同,故对下游地区有严重的威胁。滑坡坝由非均质固结不良土石体组成,而且没有槽式溢流道和其他泄水防护建筑物。因而滑坡坝就其短期稳定性和长期稳定性两个方面来说,实际上还都是未知数。对中美两国和其他各国科学家及工程专家来说重要的是,要揭示沟谷大型滑坡的成坝作用,并必须进一步认识大型滑坡这种自然现象的形成过程与破坏过程,因为滑坡能对经济-社会福利事业构成严重危害。

参 考 文 献

- [1] Li Tianchi, Schuster, R.L., Wu Jishan, 1986, Landslide dams in south-central China. In Schuster, R. L., ed., Landslide dams, processes, risk, and mitigation. *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, (3), 146—162.
- [2] Crandell, D.R., Varnes, D.J., 1961, Movement of the Slumgullion earthflow near Lake City, Colorado. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 424-B, B-136—B-139.
- [3] Alden, W.C., 1928, Landslide and flood at Gros Ventre, Wyoming. *American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Transactions*, 76, 347—360.
- [4] Emerson, F.B., 1925, 180-ft. dam formed by Landslide in Gros Ventre Canyon. *Engineering News-Record*, 95(12), 467—468.
- [5] Hayden, E.W., 1956, The Gros Ventre Slide(1925) and the Kelly flood (1927). In Wyoming Geological Association Guidebook, 11th Annual Field Conference, Jackson Hole, Wyoming, 20—23.
- [6] Hadley, J.B., 1978, Madison Canyon rockslide, USA. Chapter 4, in Voight, Barry, ed., *Rockslides and avalanches, 1. Developments in Geotechnical Engineering 14A*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 167—180.
- [7] Harrison, A., 1974, Madison Canyon slide mass modification by the U. S. Army Corps of Engineers. In Voight, Barry, ed., *Rock mechanics—The American Northwest*.

- Third International Congress on Rock Mechanics, International Society for Rock Mechanics, Pennsylvania State Univ., Coll. Earth and Mineral Sci. Expt. Sta. Special Publication, 138--143.
- [8] Voight, Barry, Janda, R. J., Glicken, H., Douglass, P.M., 1983, Nature and mechanics of the Mount St. Helens rock-slide avalanche of 18 May 1980. *Geotechnique*, 33(3), 243--273
- [9] Schuster, R. L., 1983, Engineering aspects of the 1980 Mount St. Helens eruptions. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 20(2), 125--143.
- [10] Jennings, M. E., Schneider, V. R., Smith, P. E., 1981, Computer assessments of potential flood hazards from breaching of two debris dams, Toutle River and Cowlitz River systems. In Lipman, P. W., Mullineaux, D. R., eds., The 1980 eruptions of Mount St. Helens. Washington. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 1250, 829--836.
- [11] Sager, J. W., Chambers, D. R., 1986, Design and construction of the Spirit Lake outlet tunnel, Mount St. Helens, Washington. In Schuster, R.L., ed., Landslide dams, processes, risk, and mitigation. *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, (3), 42--58.
- [12] Swift, C. H., II, Kresch, D. L., 1983, Mudflow hazards along the Toutle and Cowlitz Rivers from a hypothetical failure of Spirit Lake blockage. *U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 82-4125, 10p.
- [13] Sikonía W. G., 1985, Impact on the Columbia River of an outburst of Spirit Lake. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 85-4054, 55p.
- [14] Meyer, William, Sabol, M. A., Schuster, R.L., 1986, Landslide dammed lakes at Mount St. Helens, Washington. In Schuster, R. L., ed., Landslide dams, processes, risk, and mitigation. *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, (3), 21--41.
- [15] Laenen, A., Orzol, L. L., 1987, Flood hazards along the Toutle and Cowlitz Rivers, Washington, from a hypothetical failure of Castle Lake blockage. *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 87-4055, Portland, Oregon, 29 p.
- [16] Kaliser, B. N., Fleming, R. W., 1986, The 1983 landslide dam at Thistle, Utah. In Schuster, R. L., ed., Landslide dams, processes, risk, and mitigation. *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, (3), 59--83.
- [17] *Engineering News-Record*, 1983, Slide dam detours, drain moving. July 14, 14--16.
- [18] Hansen, D. C., Morgan, R.L., 1986, Control of Thistle Lake, Utah. In Schuster, R. L., ed., Landslide dams, processes, risk, and mitigation. *American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication*, (3), 84--96.
- [19] Geist, J. M., Schuster, R. L., 1986, Hole-in-the-Wall Gulch Landslide, Baker County, Oregon. Proceedings of the 22nd Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering, Boise, Idaho, February 24--26, 227--244.

COOPERATIVE STUDY OF LANDSLIDE DAMS IN THE WESTERN UNITED STATES

Robert L. Schuster

(*Geological Survey, United States Department of the Interior*)

Li Tianchi Wu Jishan

(*Institute of Mountain Disasters and Environment,
Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

Landslide damming of rivers and streams has been a significant problem in the mountains of the western United States. This paper discusses the characteristics of nine landslide dams located in the six western States of Washington, Oregon, Montana, Wyoming, Utah, and Colorado.

These natural dams were visited by the authors in 1985 as part of the 1979 United States/People's Republic of China Scientific and Technological Cooperation Agreement and, more specifically, of the 1980 subsidiary Protocol for Cooperation in the Earth Sciences.

Lessons of value to scientists and engineers in both the United States and the People's Republic of China have been learned from these nine land slide dams in regard to the causes of damming, the stability of the landslide dams, and for the recent ones, the success of control measures installed to prevent catastrophic dam failure.

Key words the western United States, landslide dam, dam-forming
landslide, landslide damming

告 读 者

至今,《山地研究》已出齐6卷。感谢广大读者对敝刊的热情支持与帮助。近两年来,科学技术文献出版社重庆分社对我刊的出版也给予了最大的方便,谨致谢忱!1989年起我刊交科学出版社出版,四川省德阳市邮局发行。《山地研究》,季刊,逢季中月5日出版,国内统一刊号:CN51—1215,邮发代号:×—×,季价:2.70元,年价:10.80元。欢迎读者至各地邮局订阅。敝部尚存有部分过期期刊,请读者径至敝部购阅。

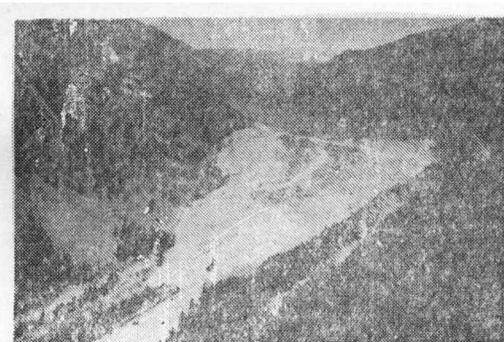
《山地研究》编辑部



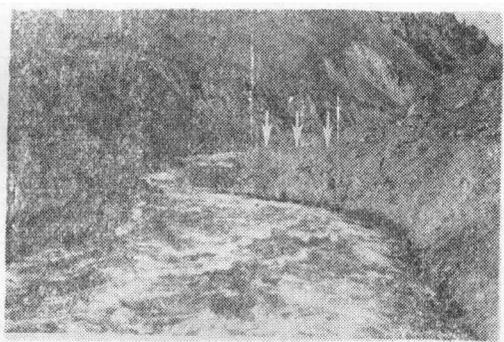
照片1 斯卢姆格莱昂土流（照片中央偏左）及其堵塞成的圣克里斯托瓦尔湖（前景，1984年摄）



照片2 1925年生成的下格罗文特滑坡及滑坡坝。白色箭头所指为，滑坡堵塞成的残留着的下斯莱德湖下游末端（1985年向南摄）



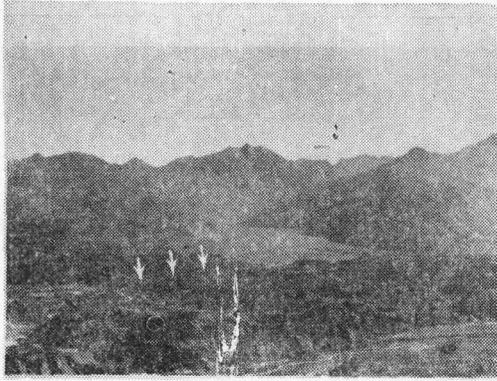
照片3 1959年生成的麦迪逊坎宁岩石滑坡坝及“地震湖”（1959年美国地质调查局斯塔塞（J. R. Stacey）摄）



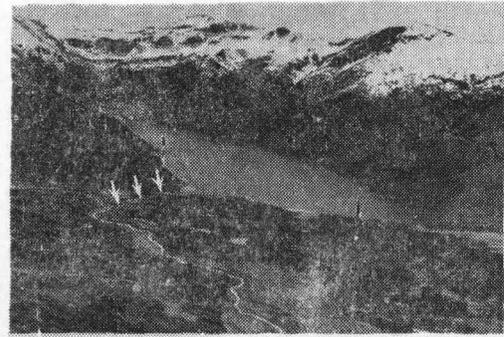
照片4 “地震湖”泄流道切入麦迪逊坎宁滑坡坝坝面。照片中心站人处，1959年开挖泄流道以来侵蚀下切6.1米。白色箭头所指为原泄流槽底面（1985年向下游摄）



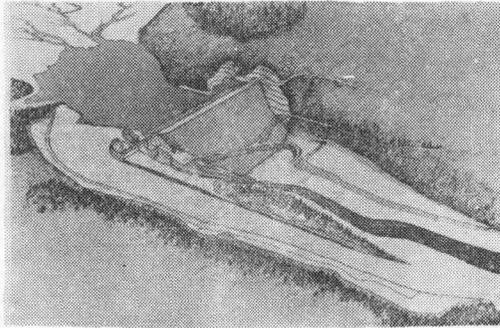
照片5 1982年5月24日，火山喷发后两年，圣海伦斯火山截头火山锥以北的景色。左前景为斯皮里特湖西缘。堵湖的岩屑崩塌在火山锥麓由左伸向右。白色箭头所指为堵塞体顶部的大体位置。注意：火山口正在长出一个新穹隆（1982年美国地质调查局克里默尔（R. M. Krimmel）摄）



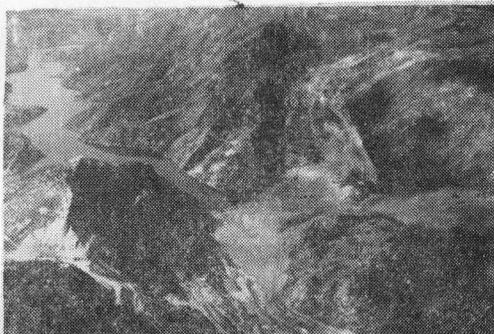
照片6 1983年6月的科尔德沃特湖及其岩屑崩塌坝。白色箭头所指的泄流道开挖于滑坡坝基岩右坝座上,并汇入图特尔河北支流(前景)。该支流由右流向左,流经岩屑崩塌



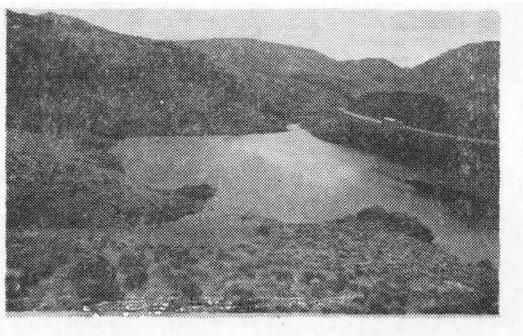
照片7 1983年的卡斯尔湖及其岩屑崩塌坝。横挖于天然湖坝右端的泄流道在泄放湖水(左中央的白色箭头处)。岩屑崩塌(前景)伸向图特尔河北支流。该支流由左(东)流向右(西)



照片8 目前建造在图特尔河北支流上的停于结构物示意图(俄勒冈州波特兰特区美国陆军工兵部队赠)



照片9 1983年4月生成的锡斯尔岩屑滑坡(中上)和锡斯尔湖(左)。用1983年后期建造的穿山基岩隧洞排放湖水(中下偏左,1983年9月向南摄)



照片10 墙洞峡谷滑坡及其堵塞湖(1985年向北摄)