

# 四川暴雨滑坡的成因及其预报和防治

王 少 东

(中国科学院成都地理研究所)

## 一、暴雨滑坡分布简况

1981年雨季四川连降暴雨,使全省十八个地、市、州的90多个县区发生了约6万处滑坡,造成重大损失的有4.7万处,30多万人受灾,死亡300多人,倒塌房屋7.4万间,造成危房9万间,使6万人无家可归,并毁坏了大量耕地和山林。据初步统计,滑坡密集在旺苍、广元、南江、苍溪、巴中、仪陇、盐亭、剑阁、南部、三台、射洪、阆中、中江、龙泉山等14个县、区,集中分布在四川盆地北部和中部的低山、丘陵地带。这些滑坡的特点是数量多、分布范围广、来势猛、危害大,它的发生和发展与当地暴雨过程的降雨强度和降雨量密切相关。虽然四川是我国历来滑坡最密集的地区之一,可是1981年雨季,四川发生的滑坡灾害之多是历史上少见的,是暴雨滑坡的典型例证,是值得探索的。

## 二、滑坡主要类型及特征

这次暴雨滑坡可依滑动面(带)及滑坡体的岩性分成三类。这三类滑坡在四川地区往年均频繁出现,但由于今年暴雨集中,降雨强度及降雨量大,这些滑坡均较往年滑动速度快,变形剧烈。

### (一) 岩层滑坡

岩层滑坡常发生在白垩系和侏罗系的泥岩、页岩和砂岩的风化、半风化层中,少数发生在三迭系灰岩及其它地层中,一般为岩层的顺层滑坡,少数为岩层的切层滑坡。这次暴雨中产生的岩层滑坡,多为推移式滑坡,一般规模较大,滑坡体体积可达数十万立方米以上。

顺层滑坡的滑面多为岩层中的软弱结构面,其抗剪强度偏低,表面平整光滑,滑后留有明显的滑动擦痕。滑坡体上裂缝密布,一般与滑动方向垂直呈弧形分布;滑坡后缘断壁明显,高度数米到数十米不等。切层滑坡一般发生在强风化岩层中,滑床形态受节

理、裂隙、断层与临空面组合关系所控制，一般不甚规整。

## （二）崩塌堆积层滑坡

崩塌堆积层滑坡一般发生在泥岩、页岩和砂岩互层地区，在悬崖陡壁下有厚薄不等的岩块和土的混合堆积层，其下伏岩层为泥岩、页岩等不透水岩层，滑坡体沿着下伏岩层顶面滑动，滑动速度直接受降水强度所控制，受水流的明显影响。这种滑坡分布比较广泛。

## （三）土层滑坡

这次暴雨中所发生的土层滑坡，一般为斜坡上残积、坡积土层的滑坡，土层厚度由数米到十多米不等。下伏岩层为泥岩、页岩等不透水岩层，滑坡规模常受下伏岩层顶面坡度影响，当大于 $10^{\circ}$ — $11^{\circ}$ 时，雨季中地表土层极易滑动。滑动面的深度取决于土层的厚度，一般滑动面都和下伏岩层顶面重合，直接受降雨的影响，为粘土的塑性滑动。

# 三、滑坡形成的原因

## （一）降雨的影响

1981年是四川地区暴雨特多的一年，1月到8月累计降雨量相当历年同期降雨量1.22—2.38倍，盆地西部暴雨集中在7、8月份，盆地北部集中在7—9月份。大量滑坡出现在7、8月份。在这两个月内，四川降雨分布成旺苍、洪雅、广汉和荣昌四个降雨中心，各中心降雨量详见表1。

表1 降雨中心雨量表

降雨中心	7、8两个月降雨量	相当历史同期	相当历年年平均
	(毫米)	降雨量倍数	降雨量百分率
旺 苍	1,418.0	3.71	135.3%
洪 雅	1,089.4	1.2—2.4	74.5%
广 汉	1,039.0	1.45—3.20	83.6%
荣 昌	862.0	3.03	105.8%

7月份有两次大的降雨过程：从7月1—3日，以荣昌县为中心有28个县、市普降暴雨，荣昌县过程降雨量403毫米，日最大降雨量253毫米。在这次暴雨中该县出现滑坡33处。7月9—15日，有135个县普降暴雨，其中有68个县过程降雨量超过100毫米，11个县超过300毫米，这次降雨中心集中在广汉，影响到龙泉山区背斜两翼斜坡的稳定性。7月12—13日，这一天龙泉山降雨259.3毫米，为1973年以来历年最大降雨量的1.57—11.5倍，使龙泉山区产生滑坡2,150处。

8月份有四次大的降雨过程：8月7—10日有44个县普降暴雨；8月12—20日有59个县普降暴雨，以旺苍县为中心主要集中在川北，旺苍县过程降雨量高达447毫米；8月29日至9月3日，以川中三台县为中心有一次大暴雨，该县过程降雨量473毫米。这四次暴雨过程造成川北和川中的旺苍、广元、南江、苍溪、巴中、仪陇、盐亭、剑阁、南部、三台、射洪、阆中、中江等13个县成为滑坡密集区，发生5万多处滑坡。

## (二) 地质条件的影响

滑坡与当地的地貌、地层岩性、构造密切相关。这次四川14个暴雨滑坡密集县、区，大多分布在盆地中部的低山、丘陵地区。地层岩性多为侏罗系到白垩系的紫红色泥岩和砂岩，仅个别的县、区如广元、旺苍和南江县北部出现三叠系灰岩和白云质灰岩等其它地层。

侏罗系和白垩系地层在四川盆地广泛分布，是属于陆相红色碎屑岩的沉积地层，一般是由泥岩或页岩，夹有层数不等、厚薄不一的砂岩所组成；它们既是不同时代的沉积地层，由于成岩作用的差异，其物理力学性质也有较大的差异。在四川水利、水电工程建设中，常按其工程地质性能进行分类，一般成岩时代比较久的三叠系和侏罗系钙质砂岩，结构比较致密，力学强度较高；而侏罗系和白垩系的泥质粉砂岩和粘土岩则质地松散，力学强度甚低。根据水电部门对四川地区的钙质砂岩、泥质砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、风化半风化砂岩、页岩、泥岩、砾岩、灰岩这9种主要岩石1,000多组试样的浸水试验资料，一般均具有一定程度的软化性能（见表2），其中以粉砂岩、泥质粉砂岩、

表2 四川九种主要岩石浸水前后抗压强度变化

岩石名称	Rd 平均干抗压强度 (公斤/平方厘米)	Rw 平均湿抗压强度 (公斤/平方厘米)	浸水后岩石抗压 强度降低值 (1-Rw/Rd) × 100%
钙质砂岩	995	795	20.1%
泥质砂岩	803	510	36.5%
粉砂岩	897	409	54.4%
泥质粉砂岩	527	295.1	53.5%
页岩	726	440	49.4%
泥岩	300	154	45.0%
砾岩	822	622	24.3%
灰岩	1318	835	36.7%
风化半风化砂岩	393	291	25.4%

泥岩、页岩等抗压强度降低最为显著（约为40—50%）。这些岩石的弹性模量和抗剪强度，也在不同程度上受浸水条件的影响。同时由于泥岩、页岩本身粘土矿物成份的亲水性能，吸水后体积膨胀，常引起岩石的崩解，增加了岩层破裂和滑坡发生、发展的可能性，构成四川岩层滑坡的内因条件。

在紫红色泥岩和砂岩互层或页岩和砂岩互层的低山陡坎地带，由于泥岩和页岩风化速度快，而砂岩风化速度慢，加之这些岩层在各种构造地质营力作用下，节理裂隙比较发育。在一些悬崖陡坎地带，有大量崩坍岩块存在。这些崩坍岩块混合各种残积、坡积土层，组成厚薄不一的崩坍堆积层，分布在下伏的泥岩或页岩等不透水岩层的斜坡顶部上，当遇到降雨作用时，其抗剪强度将迅速减弱，构成崩坍堆积层滑坡的内因条件。

在四川滑坡地区的一些低山、丘陵的斜坡上，往往有一定厚度的残积、坡积土层。这些第四纪土层是各种泥质岩层的风化产物，其力学强度较低，同样具有遇水力学强度迅速降低的特征，这就构成四川斜坡地区土层滑坡的重要内因条件。这些条件是长期存在的，过去、现在和将来都会直接影响四川斜坡的稳定性，促使滑坡的发生和发展。

### （三）人为因素的影响

近年来，开山填沟造大田或兴建工程，大量地开挖斜坡坡脚，破坏了山体的自然平衡条件；堵塞沟渠影响了天然排水通道，严重降低了斜坡的稳定性，给滑坡的发生、发展提供了条件。根据四川林业部门统计，有些地方山林受到严重的砍伐，解放初期四川森林覆盖率为19%，现存森林覆盖率只有13.3%。在这次暴雨滑坡比较密集的川中、川北的58个县中，有些县覆盖率下降到4.3%，甚至其中有19个县森林覆盖率还不到1%，到处是童山秃岭，严重降低了这些地区的蓄水、保土能力，促进了这些县滑坡的发生和发展。根据苍溪县调查的材料，全县森林破坏最严重的运山公社，1981年雨季发生滑坡2,656处，森林比较完好的万安公社只发生滑坡1处。这个例子可大致证明，森林对于维护斜坡的稳定性起到了良好的作用。

### （四）综合分析

1.从以上这些对滑坡发生、发展有影响的条件中可以看出，对各个具体的地区来说，地质、地层及岩性条件是长期存在的，它随着时间推移而产生的变化是最少的；在过去10—30年中，人为的开山造田、砍伐林木是声震一时的，造成了斜坡稳定性的降低和生态平衡的破坏，但这对滑坡的发生、发展只起促进作用，并不起主导作用。起主导作用的是大气降雨条件，它是滑坡发生、发展的主要外因条件。斜坡岩（土）体的物理力学性质是通过降雨才起变化的，开山填沟造田和砍伐林木的影响，也是通过降雨中地面排水能力减弱，径流急骤增加，表土大量流失，地表下渗能力增强，地下蓄水能力减弱，而促使斜坡滑动的。

2.从前节降水条件和滑坡发生机遇的关系中可以看出，在降雨这一因素中，存在着降雨强度和降雨量这两个方面。如果降雨强度大，降雨持续时间也长，则降雨量也大，在这种情况下，上述两个方面是一致的。例如，1981年7、8、9这三个月内，旺苍县都是暴雨中心，它的降雨强度最大，降雨持续时间最长，降雨量也最大，加上它所处的

地貌、地层、岩性条件，形成全省滑坡最密集的地区之一。类似的情况在其相邻的广元、苍溪、阆中、南江、巴中、剑阁、盐亭、仪陇、南部、阆中、射洪、三台、中江等县也有反应，这就是川北、川中滑坡密集区形成的根本原因。另一种情况是暴雨集中，过程降雨强度大，虽降水持续时间只有1—2天，由于降水时间较短，降水总量并不很大，而滑坡的产生则特别集中，在暴雨声中出现了大量滑坡灾害。例如，龙泉山区1981年7月12—13日29小时内降雨269毫米，日降雨量达到历年年平均降雨量的29%，一天之内就产生滑坡2,000多处。

这两种情况在1981年四川雨季滑坡中都有出现，这是因为暴雨期间大量的雨水渗入地下，汇集在地下某一不透水层上，形成较高的水头压力。当这些水沿着斜坡中的某一岩层面顺坡向流动时，所形成的动水压力与滑体自重引起的下滑力之和，远大于正常情况下滑体自重引起的下滑力，因而造成很剧烈的滑动，它要比细雨绵绵，降水时间虽长而地下积水甚少时，对坡体破坏性更大些。

3.暴雨的降雨强度和降雨量既是滑坡的主要触发因素，对于川东那些1981年降雨量低于往年的地区，产生的滑坡较往年偏少，自然也是容易理解的；对于有些这类县（如忠县和开县）也产生了较多的滑坡，这说明那里形成滑坡的其它因素更加发育。并且可以预料，在暴雨强度更大的某个年月，这些地区将会有更多的滑坡出现。

## 四、滑坡的预测、预报

（一）从14个滑坡密集县、区的分析中可以看出，这些县、区处于四川盆地中部的低山、丘陵地带，为白垩系侏罗系的红色岩层分布地区。在这样的地形、地貌、地层岩性等内因条件下，据初步统计，当日最大降雨强度达到或超过当地历年年平均降雨量8%，或月最大降雨量达到或超过历年年平均降雨量34%，7、8这两个月的降雨总量达到或超过历年年平均降雨量63%时，在这些地区就可能出现大量的滑坡灾害。

（二）对于盆地边缘地区，如广元、旺苍和南江县北部，有震旦系，奥陶系、志留系、二迭系、侏罗系等多种老地层出现。这些地层经过多次构造运动，断层密布，岩层破碎，地形陡峻，山高谷深坡陡。据1981年暴雨期间初步统计，当日最大雨量达到或超过当地历年年平均降雨量15%时，或月最大降雨量达到或超过当地历年年平均降雨量42%，7、8这两个月降雨总量达到或超过历年年平均降水量82%时，就可能有大量滑坡出现。例如，旺苍县北部的英翠区和国华区，在1981年暴雨期间共出现滑坡8,176处，就是盆地边缘地区暴雨滑坡的实例。

（三）对于广布在川西大渡河、金沙江、雅砻江、安宁河、普雄河、流沙河等河谷地区的汉源、石棉、甘洛、普雄、米易、渡口、会理、盐源、布拖等县的昔格达组地层，据1981年暴雨期间初步统计，当日最大降雨量达到或超过当地历年年平均降雨量6%时，或月最大降雨量达到或超过历年年平均降雨量32%，7、8这两个月降雨总量达到或超过历年年平均降雨量60%时，在昔格达组分布的斜坡地区就有大量滑坡灾害出现。

（四）对于分布在川西都江堰灌区，特别是成都平原Ⅱ级、Ⅲ级阶地上的成都粘土，历来是滑坡密布的地层。据1981年暴雨期间初步统计，当龙泉山区最大日降雨量达到或

超过历年年平均降雨量29.1%，或月降雨量达到或超过历年年平均降雨量47%，7、8这两个月的降雨总量达到或超过历年年平均降雨量67%时，也出现了大量滑坡灾害，对都江堰灌区渠道造成较大危害。

(五) 以上这些滑坡灾害往往出现在暴雨声中，它们出现的时间和暴雨过程相吻合或稍后，各地可依据滑坡灾害发生时的临界降雨强度和降雨量标准，借助于当地气象台站的降雨预报，进行滑坡的预测、预报工作。

(六) 在斜坡大滑动以前，常伴有蠕动阶段和剪切变形阶段，在滑动区有地表水异常（如稻田漏水和地面渗水）和房屋开裂现象，这些现象是滑坡前兆，可供作滑坡的预测、预报工作。

(七) 根据各地滑坡考察发现，在一些大滑坡发生前1—2天，少数地方有山鸣谷啸的现象，较多的地方有鸡、猪不进圈，牛不进棚，老鼠搬家等动物异常反应。这是因为斜坡开始滑动时，剪应力逐渐增大，当其超过某一极限值时可能有岩土的低频发声过程（一般在坚硬岩层中发声强烈，在粘性土层中则发声低微），超出了人类对低频的感受范围。据有关资料介绍，有100多种小动物，具有这种对低频的感受能力，引起惊恐，产生异常反应，这种宏观征兆可用来进行滑坡的预测、预报工作。

(八) 在1981年暴雨滑坡中，由于滑坡分布面积广，灾害时间比较集中，宏观征兆比较明显，各地群众误认为是地震前兆，影响了恢复生产和重建家园的斗争。为此将滑坡和地震进行对比列入表3，以利滑坡的预测、预报工作。

表3 滑坡与地震现象对比表

序号	滑 坡	地 震
1	滑坡是山区斜坡地方所发生的一种重力地质现象。一般说来，新构造运动和地震活动虽然对其发生、发展有一定的影响，但绝大多数滑坡不完全受这些因素控制，而是多种因素影响下所发生的重力现象。	地震发生在地壳内部或地幔上部，是构造地应力作用下局部地层断裂的应力释放现象，是其弹性振动波在地表的反应。它有时可能是触发滑坡产生的一个因素，但和滑坡的发生、发展具有完全不同的性质。
2	滑坡发生在浅层，影响区域较小，只能在山区、丘陵上产生，不可能在平地上产生。	地震是一种深层裂变过程，影响区域较大，山区和平地都能发生，一般平地上地震波衰减速度慢，较山区破坏性大。
3	滑前宏观征兆时间短暂，一般滑前1—2天比较明显，滑后宏观征兆立即消失。	震前、震后都有宏观预兆，往往几起几落，鸡犬不宁，数周不止。
4	滑坡受季节性影响，雨季滑动剧烈，旱季相对稳定。	地震雨季、旱季都可能发生，据统计旱震多于涝震。

## 五、滑坡防治的要点

(一) 在前面暴雨滑坡成因分析的基础上可以看出，四川山地岩性软弱，容易滑动

的地层广泛分布，一般均具备滑坡发生、发展的内因条件；滑坡的分布在一定程度上受当年暴雨分布情况的影响和控制，暴雨强度和降雨量是触发滑坡发生、发展的主要外因条件。加强斜坡地区的排水工作是滑坡防治最根本的方法。1981年暴雨期间，在实地考察中发现滑坡密集区均具有山坡汇水面积大，地面排水甚差的弱点。例如苍溪县漓江公社有一处大滑坡，早些年山上有两条大的排水沟，由于填沟造田已遭破坏，造成地表雨水漫流，沿地面裂缝下渗，促成了滑坡的发生和发展。在这类地区如果恢复良好的地面排水通道，就可能避免或减少类似滑坡现象的出现。做好地面排水沟渠既可用于滑坡的预防，也可用于已滑动区域的治理，是花钱少效果好应该广泛采用的基本方法。

（二）1981年暴雨中的滑坡，大量的是自然滑坡，少量的是工程滑坡，分布范围广，规模比较大，往往一个滑坡的治理需要很大的工程费用，有时会超过治理完成后能取得的经济效益。因而在今后农村居民点建设、工业交通选场、选线中，都要着眼于山地灾害的预防，加强对当地滑坡发生、发展规律的认识，及时识别可能产生滑坡的各种不良地质条件，要尽量绕避或提前采取预报措施。

（三）对已经产生滑坡的地带，滑坡影响区的危险建筑物要逐步拆除，不另扩建。对人民生命财产有重大影响地区要做好地面观测，要防止暴雨、地震等外因突变可能造成的灾害发展。1981年四川暴雨季节中发生了多起低山陡壁崩塌性或错落性的滑坡灾害，直接淹埋了村舍，造成了人身伤亡，我们要吸取教训，引以为戒。

（四）对处于滑坡威胁中的铁路、公路、工厂等重要工程，可采取排水、减重、支挡等综合措施，尽量采用抗滑桩、锚杆挡墙等新型支挡结构。但在农村滑坡处理中，则要多从当地实际条件出发，就地取材，采取简易的工程措施，以降低滑坡处理费用。

（五）根据各地反应，森林对维护斜坡的稳定性，起到了良好的作用，因而应该大力植树造林，绿化荒山，增加森林覆盖面积，以减少降雨及地表径流对斜坡的冲刷影响，增加斜坡的稳定性。

（六）四川有57万平方公里的土地，70%是山区。山地灾害这样多，防灾是一项长远的工作，应加强对山区人民山地灾害基本科学知识的教育，树立科学防灾的思想，做好经常性的滑坡防治工作。