

九寨沟沟谷成因与演化

万新南 陈叙伦 许 模

(成都理工学院水工系 成都 610059)

提 要 本文根据戴维斯流域理论及地史演化特征研究了九寨沟的成因,进而根据水均衡原理及 Bugli 岩溶理论研究了九寨沟的演化.可以得出结论:九寨沟属流水成因,其演化发展主要受控于长海的断流、水动力条件的变迁及特殊的水化学环境.

关键词 隘谷 流域 均衡 钙华 水化学

1 九寨沟概况

九寨沟位于青藏高原东缘、阿坝藏族自治州南坪县中南部,海拔 2 200—4 500m,面积约 639.80km². 气候四季分明,平均气温 7.3℃,最高 20.0℃,最低达 -20.2℃. 年降水量平均 761.8mm. 植被茂密. 九寨沟有约 13 条一级沟,4 条二级沟(分别是丹祖沟、日寨沟、则查沟及扎如沟),1 条三级沟即树正沟. 除扎如沟与一级沟外,沟谷大都近南北向分布(图 1),并横切西秦岭分区的三叠系至泥盆系灰岩(局部夹各种泥质岩类)地层.

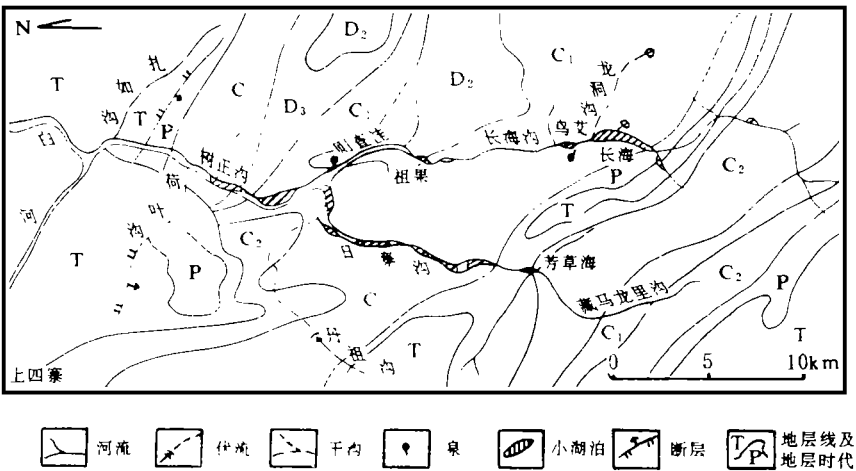


图 1 九寨沟地质地貌图

Fig. 1 The geologic and geomorphologic characteristic of Jiuzai Valley

九寨沟处于南为东西向宝顶背斜,西为南北向岷江大断裂,北为扎如沟大断裂,东为华夏系龙门山褶皱带各构造的复合部位,为一较规则的北西向构造带.此带岩层破碎,

本文改回日期:1994-04-13.

断裂发育,属强烈上升区。

2 九寨沟的成因

2.1 九寨沟为流水成因沟谷,现处幼年期,即隘谷至障谷阶段

九寨沟属嘉陵江水系。白河为四级沟谷,纳九寨沟至文县入白龙江。下更新世起,白河上游弓嘎岭、斗鸡台处(海拔 3 582—3 850m)河流地貌就已发育完善,沉积了一套更新统砾石层。这套地层在岷江上游两岸发育良好。砾石成分为灰岩与白云岩,源于北边碳酸盐岩地层,占 80%以上,其次为砂岩和其它含铁质板岩等,砾石磨圆度、分选性均较好,胶结程度由下至上逐渐减弱,且新砾石层含有老砾石层重新冲刷剥蚀的残留物。如对河寺组(Q₂d)砾石层中夹有来自观音山组(Q₁g)中的岩块—巨砾夹层。砾石砾径由老至新波动变化,由平均 15.0cm 的砾径递变为 4.0cm,然后为 7.0cm 左右。这反映水动力条件在下更新世最强,中更新世减弱,上更新世又有所加强的趋势,可推断现今分水岭地带的弓嘎岭、斗鸡台在下更新世以前就属岷江水系。但至少在全新世以后由于地块的掀斜抬升而成为了白河与岷江的分水岭。这点从全新世沉积物也可得到证实,如距弓嘎岭以南约 15km 的漳腊处河流阶地发育良好,而从弓嘎岭至塔藏,以及白河的更下游却不存在阶地。

据流域理论分析^[1],九寨沟属典型的山间河流模式。若把九寨沟水系视为一个小小流域,此流域的形成、发展则要受流域中地层、构造、气候、植被及降水量的影响。对一个最初地面平整,介质均一的地区,根据戴维斯随机游动模拟过程得知:经水流的随机漫流、汇合、切割,最终会呈现一种不对称人字形或树枝状水系,九寨沟实际沟谷形态与流域理想模式极为相似,但由于地层的不均一性及构造的影响,沟谷的局部地段又有别于理想模式。例如金铃海至诺日朗段表现为河道急转弯,因为此处位于中石炭纪岷河群(C₂mn)核部,地层陡立,断裂发育,在卫星照片上可明显见到北西向构造断裂迹线。

九寨沟流域西侧以海拔 4 536—3 390m 的山岭为界,东侧以海拔 4 324—4 558m 的山岭为界,总体地势南高北低,东高西低。究其原因,可认为这是早期受白河控制的结果。白河可分两段:白河上游斗鸡台至上四寨段呈南北向发育,控制了附近东西向水流,而在白河的上四寨到九寨沟口段呈近东西向发育,控制了南北向水流,致使地形呈目前势态。斗鸡台至上四寨段沟谷宽阔,谷中只存在一条流水小沟,雨季干海子处仍可积水成湖,似反映当年沟水漫流风貌,而枯季干海子基本无水,或维持一个很小范围的水潭。此沟西侧发育数条有水次级沟谷,而东侧却无流水沟谷发育。这点反映了九寨沟对此河段的影响。按河流发育的随机模式,干海子沟与日寨沟之分水岭虽不一定靠近日寨沟,但至少应在中央位置。从现在实际分水岭看,在水流最强烈的镜海、珍珠滩附近,分水岭明显西突,大有袭夺干海子上游水之势,而在珍珠滩上游的马龙里沟和犀牛海至九寨沟口段,分水岭明显偏向九寨沟,可见九寨沟与干海子分水岭存在西移趋势,而使干海子沟东翼支流断流。

九寨沟沟谷两侧山峦重叠,犬牙交错呈典型的流水地貌特征。但沟谷的横切面较特殊,很象冰川 U 型谷横切面。根据本区地处强烈抬升区,地震频繁及没有粒雪源等条件,冰川成因说难以成立。在马龙里沟、长海沟中的祖果湖至鸟艾湖之间的沟段,V 型沟谷形态仍清晰可辨。据查,在九寨沟附近有感地震时有发生,大地震亦有记载。因而由地震引

起的谷侧崩塌多处可见,它们对谷底有着填平作用. 另一方面因九寨沟属长期的掀斜抬升区,地表水本应起着拓深沟谷的下切作用. 但由于水量较小,地表水来不及清除这些障碍,或成为“地上河”或不得不转入地下成为潜流. 而使沟谷呈目前势态.

九寨沟多处发现砾石及砾石层(图 2),如诺日朗瀑布对面山嘴高于公路 2—3m 处,砾石零星分布,磨园度好,砾径大者可达 10cm,小者亦有数厘米. 镜海南侧,相对高程 15m 处的砾石层,厚可达 2—3m,但分布范围有限. 再有原始森林沟口及则查洼处沟底均见次棱角状及次圆状砾石散乱堆积,主要成分为灰岩,它们显然反映了当时沟谷中的流水作用. 据九寨沟沉积物的成分分析和粒度分析,则查洼处的沉积物与镜海南侧砾石层中的亚粘土成分极为相似,只是则查洼处的粘土含硅质较重,而钙镁质较少. 砾度分析的各特征值也很近似,不同的是一为正偏态,另一为负偏态. 分选性虽然均较差,但后者较前者好. 可见两者成因相似,均由流水近距离搬运而来. 据高程判断,这两处粘土层绝对高程较接近,可说明此两处形成的时间相当. 反映沟谷下切趋势. 犀牛海近期钙华粘土与基岩风化物成份基本一致(表 1). 但前者 SiO₂ 的含量大于后者, Ca, Mg 含量小于后者. 这是流水作用的结果. 从粒度分析来看,钙华滩中的颗粒大小较均一,似有某种分选性,说明拌有搬运作用.

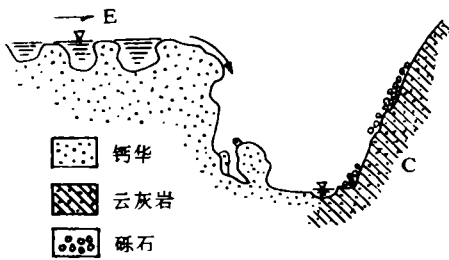


图 2 诺日朗瀑布对面砾石分布示意图

Fig 2 The gravel distribution opposite Luorilang Waterfall

是则查洼处的粘土含硅质较重,而钙镁质较少. 砾度分析的各特征值也很近似,不同的是一为正偏态,另一为负偏态. 分选性虽然均较差,但后者较前者好. 可见两者成因相似,均由流水近距离搬运而来. 据高程判断,这两处粘土层绝对高程较接近,可说明此两处形成的时间相当. 反映沟谷下切趋势. 犀牛海近期钙华粘土与基岩风化物成份基本一致(表 1). 但前者 SiO₂ 的含量大于后者, Ca, Mg 含量小于后者. 这是流水作用的结果. 从粒度分析来看,钙华滩中的颗粒大小较均一,似有某种分选性,说明拌有搬运作用.

表 1 沉积物成分百分含量

Table 1 The percentage of sediment composition

取样点	岩 性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂	H ₂ O+	烧失量	总和
则查洼	砂质亚粘土	38.6	7.4	0.78	1.44	23.9	2.15	1.11	0.35	0.38	0.09	0.04	18.4	2.51	22.88+0.16	99.30
镜海	粉砂质亚粘土	27.6	7.1	1.64	0.64	30.2	3.28	1.29	0.49	0.35	0.06	0.05	26.2	0.25	16.64+0.07	99.43
诺日朗	基岩风化物	7.9	2.2	0.31	0.47	47.0	2.19	0.36	0.19	0.09	0.05	0.01	36.6	2.15	38.64+0.05	99.44
五花海	含砾砂质亚粘土	55.3	10.8	2.18	1.24	11.4	1.52	2.14	1.74	0.55	0.11	0.07	9.8	2.92	12.07+0.14	99.35
钙华滩	钙华粘土	9.5	1.8	0.00	0.16	45.1	1.64	0.36	0.27	0.10	0.04	0.01	35.6	2.60	39.84+0.07	99.28

五花海近公路边的细粒沉积物及诺日朗瀑布对面的细粒沉积物类似于镜海南侧砾石层中的粘土物质,但硅铝含量特高,钙镁极少,胶结较差. 据化学分析及粒度分析,成因条件与镜海南侧残留砾石层中粘土及则查洼处粘土相似. 从高度分布来看,公路处粘土经过淋滤作用的时间也许更长,致使 Si, Al 含量极高,而钙镁所剩无几. 现代钙华沉积物也反映了以上特点,这显然应归于水对沉积物成分的改造.

2.2 九寨沟水文及水动力特征

九寨沟现今水流地貌特征尤为明显,目前主流为日寨沟至树正沟. 以西为丹祖沟,上游水经约 4km 的明流后隐伏地下,又经 3—4km 的潜流于珍珠滩瀑布下的沟底乱石中出露. 汇水面积约 77.0km². 以东为长海—则查沟,于诺日朗处与日寨沟相交汇入树正沟. 地表除几个孤立的泉和湖泊外,无统一地表水流. 此沟全长 30.0km 余,比日寨沟长

约 10.0km。沟中主要有四个小湖泊,长海与五彩池长年有水,余者为季节性湖泊。长海长约 4.5km,宽约 1.5km,平均水深 44.6m,最大水深达 88.8m。水位季节变动可达 6.0—10.0m。长海下游终端有一高约 145m、底宽约 110m 的天然堆石坝。因而长海本身既具河道性质又具水库性质¹⁾。日寨沟—树正沟景点云集,由七个海子与四个瀑布组成。日寨沟源于马龙里,沟长 23.0m,汇水面积约为 162.5km²。其水量之大是本身无法解决的,主要应来自长海沟的渗漏。

若以 8 月份或 9 月份日寨沟中孔雀河道及诺日朗的测流计,其径流模数分别为 0.023m³/s·km²与 0.029m³/s·km²,相差不大。以平均值推算,悬泉测流处流量为 3.3m³/s,而实测为 5.1m³/s。因而悬泉上游需从区外获得近 1.8m³/s 的水量。其来源有二:1. 高山上雪融;2. 邻谷长海沟或干海子沟的渗漏。从当时 10 月份九寨沟温度来看,气温很低,虽然山上到处积雪,但不见融雪,因而高山上的雪融造成的雪水补给即使存在,也不可能如此之大。至于干海子沟的邻谷渗漏可能性也很小,因为干海子沟本身几乎干枯。因而最大的可能是来自长海沟的渗漏。

在日寨沟与长海沟的分水岭处,溶蚀洼地发育,其发育方向与区域北西向构造吻合,长海水面与芳草海水面高程相差 140m 余。在高水头差下,沿极为发育的北西向构造线进行邻谷渗漏是可能的。长海汇水面积达 104km²,按 8 月份径流模数计算,应有 3.04m³/s 的泄水量,按枯季水位下降 6—10m 计算,泄流量至少可达 1.80m³/s。如此之大的泄流量在地表无明显显示,说明长海上游包括长海本身之水除进行沿长海—则查沟的地下补给外,有部分水将进入日寨沟,其渗漏水量与悬泉处所得额外补给量基本一致。

单从长海沟的水文特征来看,也可证实以上推论。长海下游除两个较大的季节湖祖果、鸟艾外基本属干沟。鸟艾、祖果湖相距 7km,高差约 320m,坡降 4.6%,两者动态特征及水化学特征基本一致。鸟艾湖与长海相距有 12km,高差 150m,坡降达 12.5%,但动态特征明显不同。鸟艾湖在枯季很快干枯,说明上游补给极为有限。据计算及测量资料,鸟艾—祖果沟段可形成较独立的潜流系统。因而长海大量的泄流只可能排入邻沟。

3 九寨沟的发展与演化

从以上分析及九寨沟地貌特征可以推断:早期的长海沟应是一条具有统一地表水面的有水沟谷。日寨沟只不过是一条支流。长海下游沟谷平缓,在鸟艾与祖果之间可以找到一系列底部平坦的长满野草的盆形小草坪,这些小草坪从上游至下游呈梯状相连或相间分布。草坪中主要沉积物为亚粘土,估计由钙华及粘土沉积物转化而来。现有喜水植物红柳生长。对比现今日寨沟中的芳草海其湖底形态与小草坪极为相似。显然有着相同的成因。

祖果湖以北,翻过一个坳口则可见一条长约两公里的宽广平直的干沟,底部堆积物厚约 20m,由棱角状、次棱角状灰岩砾石及亚粘土、亚砂土组成,砾石颗粒大小较均匀,砾石

1)四川省地质局成都水文地质、工程地质队。四川黄龙—九寨沟旅游地质景观及矿泉水资源调查研究报告。1987。

及粘土呈互层出露。从地貌条件及堆积物特征判断无疑为流水作用造成。将今论古,此沟段当时的泄水量将不会亚于今天的珍珠滩。之所以现今成为无水干沟,完全应归究为长海水流不能下泄所致。

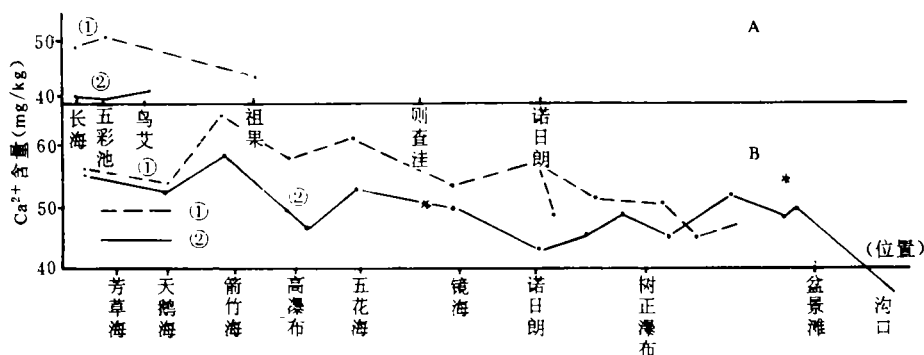
长海堵塞的原因众说不一,有的认为是冰渍垄造成,有的认为是两坡崩积所致。但据笔者考证:应属突发性融冻泥石流堵塞所致,且经后期两侧不断崩积加高,形成目前的天然高坝。在长海沟有一有趣现象:在每个海子前都伴有一条近于垂直长海沟的小沟,而就在这小沟的南侧形成垄岗,成为海子的天然堤坝。此事实揭示了海子的存在与横向小沟谷之间的某些内在联系。

从地貌条件看,长海与鸟艾湖早期应该在地表上有直接联系,但由于两湖之间东侧龙洞沟的作用,使其彻底分离。龙洞沟长约4—5km,沟上游顶部平坦开阔,现在仍有小积水池存在。此处为泥石物质来源的好场所,其面积可达4km²。下游沟谷狭窄、陡立,呈弧形指向长海上游。正是龙洞沟的这种弧形形态,显示了当时融冻泥石流大量推向长海现今坝址处的情景,使得目前龙洞沟口五彩池至长海地形呈东高西低及南高北低势态。因此五彩池得以幸存发展。目前龙洞沟口仍保留有早期泥石流造成的残余垄岗。从地貌来看,当时长海堵塞后,很长一段时期仍有水流从沟西侧近3100m的低洼处溢出。由于后期的崩积使坝体进一步加高加宽,使其最终从地表断流。长海断流后,大部分水流则通过北西走向的裂隙,溶隙向日寨沟渗漏。它加大了日寨沟的泄水量,从而增加了日寨沟的水动力条件,进而形成了与长海沟迥然不同的钙华地貌景观。

早期日寨沟与附近其他沟类似,水流在沟谷中均匀流淌,既无海子也无钙华坝。但由于此区地震频繁,泥石流、边坡崩塌或参天大树的倒伏,加之岩性与构造变化使河道的某些局部地段高于其他部位,于高瀑布、珍珠滩瀑布等处形成一种原始的格档式地形。此地形则成为进一步演化的基础。

据 Bugli 洞穴沉积理论,在快速运动的薄层水流处易于CaCO₃析出,利用这观点,Bugli成功地解释了流水石、边盆石等的成因^[2]。自然此理论也可应用于九寨沟、黄龙等类似景点。一旦初始格档式地形在沟底形成,则水流在地表凸处,水层变薄,水速加快,水温增高,造成局部地区的低压,甚至负压,使水中溶解的Ca(HCO₃)₂易于释放出CO₂产生CaCO₃沉淀。据哈钦森(1957)研究,在正常大气压下,溶液温度为5℃时,CaCO₃的溶解度为86ppm,当温度升高10℃时,溶解度降低至75ppm。可见温度差在CaCO₃的溶解与沉淀过程中也起重要作用^[3]。九寨沟除了季节性温度较大外,日温差也较大,达10℃度以上。水温差较小,一般为4—8℃,但在日照下,水温差可达12—17℃,浅滩处水温明显高于河床其它部位,这有利于CaCO₃在浅滩或坝体上析出沉淀。九寨沟的水化学特征很特殊,各沟中的水pH值随位置而变化。如长海为5.8、五彩池与剑岩上方的溪水为6.2,而在五花海、诺日朗、犀牛海一带为7.5—8.5。长海沟pH值从上游至下游递增,说明长海上游为溶蚀区。而日寨沟pH值呈波状变化,致使溶解态钙含量经过瀑布高坝前增高,至瀑布跌水处下降,经瀑布后,又慢慢回升。循环往复,跨越四个瀑布至盆景滩后,钙含量直线下降(图3)。这种变化可从下面事实得到解释。

九寨沟属原始森林区,植被茂密,植被底部复盖有一层0.1—0.5m厚的枯枝烂叶,高

图3 九寨沟 Ca^{2+} 含量沿程变化图Fig. 3 The change characteristics of Ca^{2+} content along Jiuzhai Valley

A. 长海沟; B. 日寨沟; * 泉水取样点; 潮水取样点. ① 8 月份取样曲线; ② 10 月份取样曲线

含有机质、富里酸。九寨沟地区降雨中的 Ca 、 Mg 含量比溪水、地下水低 5—7 倍。这种钙含量极低的雨水在进入腐植层后则能促成有机酸的形成, 且溶解大量的有机酸, 进而溶解基岩或基岩崩积物中的钙镁化学物^[4], 不断沿程补充海子中的钙镁量。

在钙华沉积过程中, 水生植物的作用也不可忽略。在高瀑布上游戈夏处有一规模较大的钙华堆积, 其中可找到一些钙华洞穴。洞壁上形成了大量指向水流运动方向的滴水石。此滴水石的形态全是水生植物群体, 可见在钙华滩形成的过程中植物也起着重要作用, 究其原因有二: 1. 喜钙水生植物在光合作用下, 新陈代谢过程中使 CO_2 易于从水中释出; 2. 浅水水生植物或漂浮植物残骸能增加水—固界面的接触面积, 而增加薄层水的覆盖域, 使钙镁围绕这些水生植物、喜钙植物及枯枝败叶加速沉淀, 并使其钙化。

九寨沟钙华景观形成也与钙华的“加高—崩塌—推进”过程有关。如现今 65m 的高瀑布钙华坝, 由于快速薄层水的作用仍有使其加高趋势, 且坝体跌水弱点进一步向下游外突, 形成蘑菇状, 进而在重力作用下坍塌(图 4), 使钙华不断推向下游, 使下游钙华加高, 原坝体降低, 最后保持坝的相对稳定。如此反复, 最终形成了现今九寨沟风光。

综上所述, 九寨沟风貌的形成与诸多因素有关, 除了水的化学特征和具有原始凹凸地形这些基础因素外, 主要与九寨沟特定的地质、地貌环境、气象、植被、水动力条件及钙华本身的水理性质有关。四川西部高原高寒地区的各钙华景点及南斯拉夫普利特维斯基湖泊公园的钙华景观都说明了这一点。

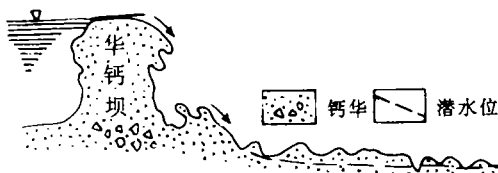


图4 高瀑布钙华坝崩塌示意图

Fig. 4 Collapse of travertine dam at Gao Waterfall

参 考 文 献

- [1] 沈玉昌,龚国元. 河流地貌学概论. 北京:科学出版社,1986. 34—51,81—84.
- [2] Bugli A. Karst hydrographie und physische speleologie. Berlin-Heidelberg-New York; Springer-Verlag,1978. 180—190.
- [3] 章典. 洞穴碳酸钙沉积的水运动条件. 中国岩溶,1983,2(1),31—38.
- [4] White W B. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York-Oxford;Oxford University Press Inc. ,1988. 132—148.

THE EVOLUTION AND ORIGIN OF JIUZAI VALLEY

Wan Xinnan Cheng Xulen Xu Mo

(Department of Hydrogeology & Engineering Geology, Chengdu Institute
of Technology Chengdu 610059)

Abstract

According to Davaise' s watershed theory and the characteristics of geohistory evolution, the valley origin has been studied. Based on the hydro-equilibrium theory and Bugli karst theory, the valley evolution has also been analysed. It can be concluded that Jiuzai Valley is an eroded valley because of surface water. The valley evolution and developing are controlled by downstream flow stopping in Changhai Valley, the change of hydrodynamic condition and the environment of special hydrochemistry.

Key words young valley, watershed, hydro-equilibrium, travertine, hydrochemistry

具有多种功能的《山洪、泥石流、滑坡及防治》一书出版

在国家防汛总指挥部办公室的直接组织和指导下,由中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所及中国水土保持学会泥石流、滑坡专业委员会唐邦兴研究员和王成华、崔鹏等副研究员主编的《山洪、泥石流、滑坡及其防治》一书,已由科学出版社出版。

该书是在充分利用 30 多年来,我国在山洪、泥石流和滑坡(含崩塌)等方面大量的研究成果和防治经验的基础上编著而成。全书共分 4 篇 11 章,约 48 万字。第一、二和三篇分别阐述了山洪、泥石流和滑坡三种灾害的形成机理、活动规律和成灾特征等基础知识;提出了进行野外调查、动态观测和室内实验的主要方法;介绍了预测、预报和治理等减灾硬措施,以及加强行政、社会和法规管理等减灾软措施。第四篇探讨了以小流域或小区为单元,进行山洪、泥石流和滑坡等山地灾害综合治理的原则、方案和措施;并介绍了 10 个山地灾害综合治理成功的实例。

该书概念清晰,内容翔实,深入浅出,通俗易懂。它融科学性、知识性和实用性为一体,既不同于一般的理论性专著,又有别于技术性很强的手册,是一部理论与实践紧密结合,具有多种功能的著作。故该书可同时作为山洪、泥石流、滑坡方面的研究人员、工程技术人员和大专院校师生的参考书,各级防洪、水土保持和国土整治等部门技术人员和管理干部的手册性读本,以及培训基层抗灾、减灾方面技术人员和施工指挥干部的教材。

需要该书者可径与成都市 417 信箱(邮编 610041),科学出版社成都发行站联系。

中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所研究员 吴积善