

风景名胜区泥石流治理模式：以世界自然遗产九寨沟为例*

崔鹏** 柳素清 唐邦兴 陈晓清

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要 系统分析了风景名胜区泥石流治理的特点, 提出了风景名胜区泥石流治理原则, 结合九寨沟泥石流活动特征和保护对象, 提出了一些减灾工程的布设方法, 构成了一套科学、合理、可行的泥石流治理技术实现途径. 综合泥石流治理的原则和技术实现途径, 形成了以减灾工程与自然景观相协调和工程减灾与生态减灾功能相结合为核心的风景名胜区泥石流治理模式. 这种治理模式不同于城镇、交通、农田等泥石流治理模式, 九寨沟的泥石流治理中体现了这一模式, 有效地控制了泥石流, 达到了保护景观资源、生态环境、游客和居民安全的目的. 目前, 国内外还有许多风景名胜区受泥石流危害或威胁, 其灾害也可以用这种模式治理.

关键词 风景名胜区 泥石流 治理 模式

位于山区的风景区, 常有泥石流活动, 严重破坏风景名胜区的自然景观, 危害生态环境和人民生命财产安全. 国内外已有较多关于风景区泥石流发育和活动的研究报道^[1-10]. 随着生态旅游的发展, 对景观资源的保护和游客安全保障提出了更高的要求, 风景区泥石流治理愈来愈受到关注.

目前, 国内外泥石流治理多是针对城镇、交通、矿山、农田等人口和经济密集地区进行的, 针对风景区泥石流治理的有关报道较少. 潘江等人^[8]研究了中国风景区的地质灾害并提出宏观的减灾对策, 王士革等人^[9]对庐山风景区的一条泥石流沟进行了治理. 然而, 迄今还没有一套较系统的针对风景区泥石流灾害治理的理论. 由于保护对象和目的的不同, 风景区泥石流治理具有

2003-12-01 收稿, 2003-12-31 收修改稿

* 国家杰出青年科学基金项目(批准号: 40025103)资助

** E-mail: pengcui@imde.ac.cn

特殊性,不能照搬其他地区泥石流的治理模式.风景名胜区泥石流的治理不但要治理泥石流灾害本身,还要求灾害治理工程不能破坏原有的景观资源,要尽可能恢复和保证景观的完整性.因此,风景名胜区的泥石流防治原则、防治工程方案编制的理论依据和工程设计理念等都是—个值得探索的新课题.

世界自然遗产九寨沟泥石流综合治理研究课题组对九寨沟风景名胜区泥石流进行了长期的研究和治理,在泥石流形成机理、灾害治理和预测方法等方面取得了一定进展^{[10-16]1)},并对风景名胜区泥石流防治模式进行了初步探讨.

1 风景名胜区泥石流治理原则

风景名胜区泥石流的危害对象主要是景观资源和生态系统,风景名胜区往往同时又是旅游区,泥石流危害对象还有游客和交通安全.根据其危害对象,确定出如下泥石流防治原则.

() 保护景观资源的原则

对于风景名胜区而言,自然景观多是独特的或惟一的宝贵财富,是保护的主要对象.泥石流破坏景点,给风景名胜区造成严重灾害,泥石流治理的核心是保护关键的景点和景观资源.九寨沟的海子和水体是其景观的灵魂^[16],因此,保护水体和海子,就成为九寨沟泥石流治理的核心任务.

() 保护生态系统和生态环境的原则

生态系统和生态环境是风景名胜区和自然保护区的基本资源,是需要保护的重要对象.泥石流防治工程要瞄准这一保护对象布设,同时要注意把工程施工对生态环境的影响减少到最小程度.

() 灾害治理工程与景观协调—致性原则

风景名胜区景观的美学价值和自然格调是灾害防治工程布设时必须要考虑的因素,要尽可能地减少由于工程建造而破坏或影响景观的自然格调和美学价值,注意防治工程与景观的协调—致性.在工程布局上,充分利用地形地物和环境条件,巧妙布置,使灾害防治工程与地景相融合;尽量将防治工程布设在游客的视线之外,不因防治工程而破坏美丽的景观;如果不能避开时,就从美学观点考虑,将防治工程的形状加以美化,力争与环境协调—致.

() 生态系统与治理工程有机结合、协同减灾的原则

—般而言,风景名胜区内的生态系统较为完善,其自然演替能力较强.在灾害治理中应尽量利用生态系统的自然恢复能力,减轻人为干扰程度,通过人工工程适当调控灾害形成和运动过程,利用生态系统自然恢复能力和减灾屏障功能逐步达到灾害的根本控制,使生态系统与治理工程协同防灾,发挥最大的效益.

1) 崔鹏. 泥石流起动机理研究. 北京林业大学博士论文. 1990

() 保障游客安全的原则

风景名胜区是国家专门为人们休养生息划定的场所。游客的安全保障是风景名胜区运营管理的首要目标。避免泥石流对游客的危害，保证游人生命财产安全是风景名胜区泥石流防治的重点，在治理方案中应予考虑。

() 保障交通畅通的原则

道路是保护景观资源的通道，更是旅游业的生命线。风景名胜区泥石流防治必须要保障道路的畅通和交通的安全，营造安全便捷的旅游环境，保证各项旅游计划的如期实施，创造良好的旅游品牌。

2 风景名胜区泥石流治理技术实现

根据以上原则，结合九寨沟各支沟泥石流活动特征和保护对象，在泥石流形成机理和减灾新技术的支持下¹⁾，提出了一套科学、合理、可行的泥石流治理技术途径。主要有：巧妙利用地形地物来隐蔽防治工程；利用视角分析原理，采用避开视线和弱化处理的方法布置工程；工程设计中注意保护工程周围的植被和工程施工后的生态恢复；工程设计时考虑工程外观与景观的协调；充分利用生态系统的恢复能力和防护作用，利用小型工程治理较大规模的灾害等。采用上述技术途径来实现对九寨沟泥石流的控制，有效地保护了景观资源和旅游条件。

2.1 保护生态环境和景观资源

大小相连的海子是观赏的精髓，水与五颜六色、层次分明的植被交相辉映，共同组成九寨沟的童话世界。因此，水体和植被是保护的主体，最吸引游人的景点则是保护的核心。

丹祖沟位于镜海上游，每年雨季，从丹祖沟内流出的泥石流和高含沙水流，挟带大量泥沙，进入镜海，使镜海大面积水域由美丽清澈的兰色变得浑浊；同时泥石流和淤泥沉淀后，淤埋湖区尾部，使镜海的面积逐渐缩小。据九寨沟管理局提供的资料，在泥石流活跃的年份，一年内镜海由于尾部淤积而缩短 20 m。在丹祖沟泥石流的防治技术实现上，考虑使用拦沙坝全面拦截下泄的泥石流流体，只让水流进入下游，不让泥石流或淤泥进入镜海。故拦沙坝要求有一定库容，坝体尽量高大，并且有良好的过滤作用，截留砂石和淤泥。首先在沟中游距离沟口 6 km 处设置骨干拦沙坝 1 座，拦截泥石流的大颗粒；在控制性拦沙坝下游的地形开阔地段距离沟口 2 km 左右，连续设置 2 座滤水坝，分两次过滤细粒泥沙，保证出流的水流清澈，工程布置见图 1。通过治理达到了保护镜海水域的目的。

九寨沟的水量之所以能够常年保持稳定状态，在于流域内有大量的森林涵养水源，保持水土。森林同时也是景区风景不可分割的组成部分。保护森林是保

1) 见 2 页脚注

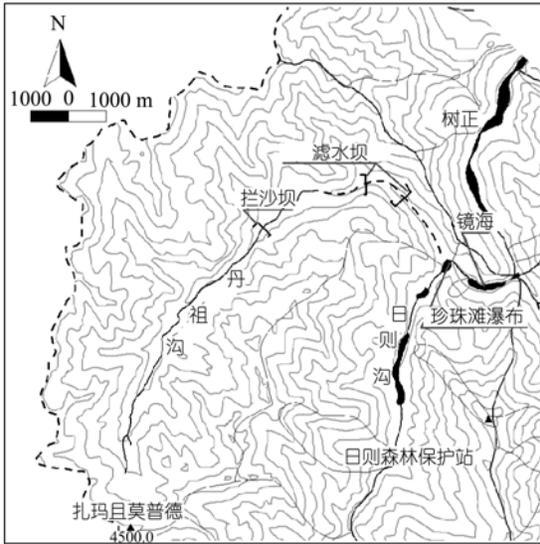


图 1 丹祖沟泥石流治理工程布置图

一定的流速和流量范围内进入下游排导槽；排导槽使用肋槛式槽，起到消能和控制沟床形态的作用，防止泥石流侵蚀破坏沟道进而毁坏两侧林木。

2.2 治理工程与景观协调

为了使泥石流防治工程与景观保持协调一致，主要从防治工程的规划布局 and 细部设计两个方面考虑。

在防治工程规划布局上，尽量将工程布置在远离景点的地方，这样不会影响景区原有的景观，打破原始的自然平衡。在丹祖沟泥石流防治中，将所有工程都远置于沟内游客不会进入的区域，这样既防治了泥石流，又不影响沟口珍珠滩瀑布的景观(图 1)。

当灾害治理工程无法远离景点时，则利用视角分析原理，采用避开视线和弱化处理的方法，设置小型工程，使其在人们的视角中不突出；在人群活动和主景点观赏方向使工程隐蔽；在工程外形和色调处理上尽量与周围景观一致；注意工程建设中的环境保护和工程周围植被的恢复。这些措施使得九寨沟泥石流治理工程在治灾的同时也保持景区良好的视觉效果。在 4k 沟泥石流防治中使用的小型工程，在公路上很难发现，隐蔽性好。

对于流域面积比较大的泥石流沟，则综合考虑，将主体工程布置于沟内隐蔽，沟口景区旁的工程则考虑美学处理。日则 1 号沟在沟内修建拦沙坝，稳定沟床，控制泥石流规模，在公路边的扇形地修单侧导流堤，工程量小，既能保护森

护景观、景区和水体的重要内容。日则 2 号沟泥石流冲毁沟口森林植被，严重破坏通向原始森林道路右侧的景观。通过设置两座坝(上游坝为缝隙坝，下游坝为拦沙坝)分级拦截泥石流粗颗粒物，下游排导槽排泄细颗粒物质和水流，达到保护沟口滩地及其植被不被泥石流危害的目的(图 2)。其中，缝隙坝拦截漂木和大石块；其下游拦沙坝主要拦截中粒径的石块，同时调节泥石流的洪峰流量和流速，使泥石流在

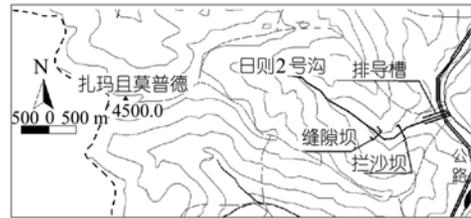


图 2 日则 2 号沟泥石流治理工程布置图

林保护站，又减少了对扇形地森林植被的破坏。

2.3 保障游客和居民安全

九寨沟游客较聚集的地方主要有诺日朗、荷叶寨、树正寨和日则森林保护站，这4处都受到泥石流的危害和威胁。在治理中，重点给予考虑。对于荷叶沟，由7座拦沙坝群形成一个完整的泥石流拦截体系，起到控制泥石流的作用；在拦沙坝下游修建了528m长的排导沟，将高含沙水流排向主沟，保护了沟口大片土地、荷叶景区游客接待中心和九寨沟旅游交通车的停车场。树正沟泥石流直接冲击树正寨，影响树正群海，危害严重。为了有效防治泥石流，在树正沟探索了新型泥石流防治技术，通过控制形成区的泥石流起动，使之不形成泥石流，而达到有效控制泥石流的目的。诺日朗沟历史上曾暴发过泥石流，对此在沟内设置骨干拦沙坝，在下游接近村寨处设置格栅坝，拦截泥石流，保护诺日朗游客中心的安全。

2.4 保障交通安全和道路畅通

九寨沟旅游线路为单线往复式，未能形成回路。沟内支沟泥石流众多，活动频繁，常常毁坏道路，中断交通，形成一处断道，全线瘫痪的局面，严重影响旅游业的发展，还有可能产生交通事故，危及游客安全。对于影响道路泥石流的治理，在技术上通过两种措施来处理，即“拦”和“排”。如日则2号沟，在泥石流排导槽上架设桥梁跨过，考虑到公路的安全，加大了桥跨的净空。而在3k沟内设置了3座拦沙坝(图3)，从上至下减小拦沙坝的排泄孔孔径，下坝为封闭式重力坝，全部拦截泥石流，在坝下游公路上方还设置了两道栅栏坝，加强对公路安全

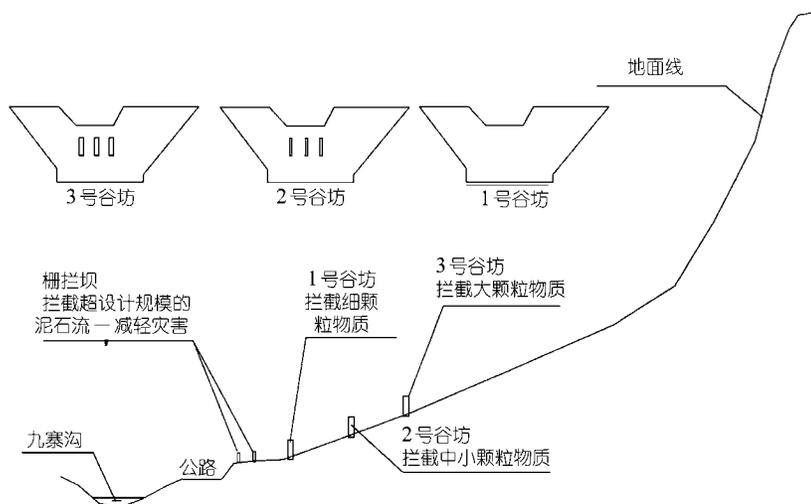


图3 3k沟泥石流治理工程布置示意图

的保护，以防止超设计频率泥石流的破坏。下季节海子沟和下季节海子悬沟则采用导流方式，使泥石流改变流向，避免对公路的危害。

3 风景名胜区泥石流治理模式

综合上述风景名胜区泥石流治理原则和相应的实现技术，构成了不同于城镇、交通、农田等泥石流治理模式的风景名胜区泥石流治理模式。该模式可以归纳为图 4。

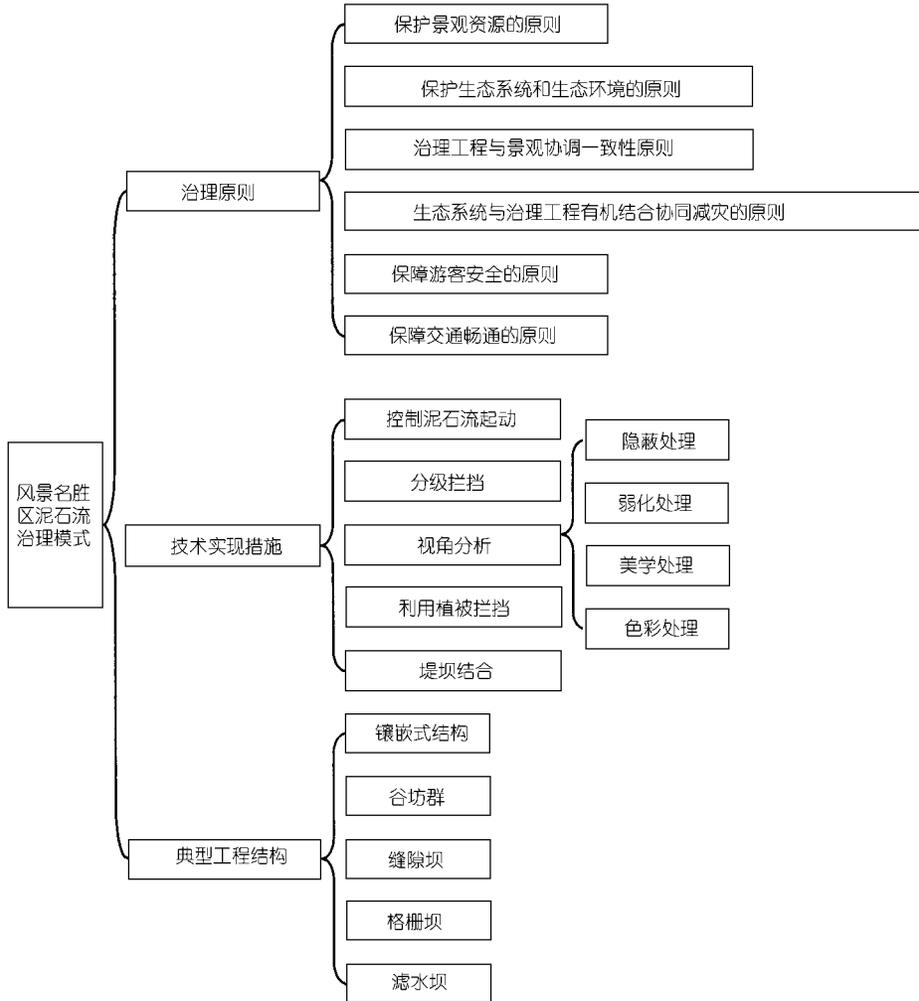


图 4 风景名胜区泥石流治理模式

4 实例分析

现以下季节海子泥石流治理为例，详细分析风景名胜区泥石流治理模式的

应用及其效益.

4.1 下季节海子沟泥石流概况

下季节海子沟位于九寨沟风景区的中部, 在诺日朗以上 5 km 处, 是去长海必经之地. 该沟流域面积 2.1 km^2 , 主沟长 2.5 km, 沟床纵比降达 612‰. 沟的中、上游为漏斗状, 沟口为规模较大的老泥石流堆积扇. 近期泥石流活动对该扇切割较深, 形成深 4~5 m、宽 9~14 m、沟床纵比降 268‰~380‰的沟槽. 沟两岸崩塌滑坡发育, 供给形成泥石流的固体物质. 中、下游山坡森林密布, 源头为陡岩, 岩石裸露、风化强烈、岩锥发育, 是泥石流形成的水源区, 也是泥石流形成物质的主要源地.

从堆积扇和沟道形态来看, 下季节海子沟泥石流活动历史悠久, 近年来活动与 1976 年松潘-平武地震有密切关系. 据访问调查, 1976 年松潘-平武地震时, 该沟受到波及并引起岩崩, 于当年发生了较大规模的泥石流, 1983 和 1984 年相继发生多次泥石流, 其中 1983 年泥石流规模较大. 该沟泥石流多为黏性, 容重 $2.1\sim 2.2 \text{ t/m}^3$, 冲出石块最大直径 3 m 左右, 一般 15~20 cm, 流量为 $142 \text{ m}^3/\text{s}$. 主要毁坏沟道及其所漫流的两岸森林, 淤埋公路, 阻断交通. 特别是大量泥沙石块直泻下季节海子, 形成石滩, 危及海子, 妨碍旅游.

4.2 下季节海子沟泥石流治理

下季节海子沟泥石流的治理原则是保证下季节海不受泥石流危害, 保障交通安全和公路畅通. 考虑到泥石流特征, 充分利用了森林对泥石流的拦挡作用, 用尽量小的投资和小型工程治理泥石流, 主要采用的工程结构布置如图 5. 在流域沟口位置修建两道小型拦沙坝, 拦截泥石流的粗颗粒物, 稳定中上游沟道, 控制沟道侵蚀基准, 限制泥石流流速和规模; 为了防止泥石流进入下季节海子, 在沟口坝下设置了新型的堤坝结合的工程结构, 在拦挡泥沙的同时, 改变泥石流的流向, 并进一步控制泥石流的流速和冲击力, 将泥石流引入沟左侧的森林带, 利用森林对泥石流的拦截、停淤作用, 把泥石流分散停积于扇形地茂密的森林中, 避免了对下游道路和景点的危害.

4.2 泥石流治理效益

下季节海子泥石流治理工程有效地控制了泥石流灾害. 工程竣工后, 沟内虽然也发生了泥石流, 但由于治理工程的作用, 把泥石流有效地拦截在预先设定的区域, 保护了公路和海子, 原来的泥石流沟道内恢复了植被.

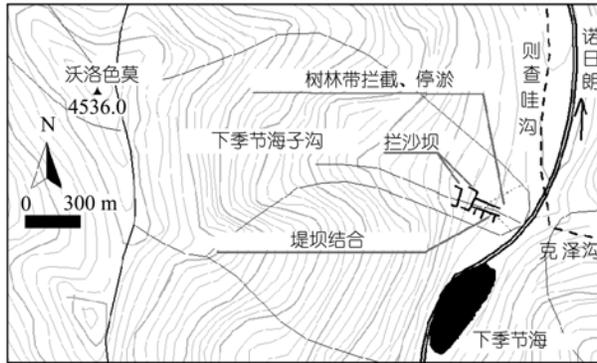


图 5 下季节海子沟泥石流治理工程布置图

世界自然遗产九寨沟内共有 33 条泥石流沟, 已经对其中危害严重和有较大潜在威胁的 14 条泥石流沟进行了治理. 治理中体现了风景名胜区泥石流治理模式, 治理工程经过 5~18 年的运行, 各项功能发挥正常, 有效地控制了泥石流, 达到了保护景观资源、生态环境、游客和居民安全的目的, 取得了显著的减灾效益、生态效益、社会效益和经济效益, 并为九寨沟风景名胜区成为世界自然遗产做出了重大贡献^[12, 16].

5 结论与讨论

() 根据风景名胜区泥石流危害特点、保护对象和减灾目标, 提出了如下 6 点风景名胜区泥石流治理原则: 保护景观资源的原则、保护生态系统和生态环境的原则、灾害治理工程与景观协调一致性原则、生态系统与治理工程有机结合协同减灾的原则、保障游客安全的原则、保障交通畅通的原则.

() 在治理原则指导下, 提出了一套科学、合理、可行的泥石流治理技术途径. 主要有: 巧妙利用地形地物来隐蔽防治工程; 利用视角分析原理, 采用避开视线和弱化处理的方法布置工程; 工程设计中注意保护工程周围的植被和工程施工后的生态恢复; 工程设计时考虑工程外观与景观的协调; 充分利用生态系统的恢复能力和防护作用, 利用小型工程治理较大规模的灾害等.

() 在风景名胜区泥石流治理原则和相应的实现技术基础上, 提出了风景名胜区泥石流治理模式. 在九寨沟的泥石流治理中体现了这一模式, 取得了成功.

() 中国的绝大多数风景名胜区和自然保护区位于山区, 如华山、庐山、黄龙、大理、天山天池等. 它们和九寨沟类似, 具有形成泥石流的条件, 其中有的已经受到泥石流的危害. 风景名胜区泥石流治理模式可以用于这些风景名胜区

的泥石流治理。

() 由于泥石流形成条件的地域性很强, 在应用本模式时, 还要针对具体泥石流及其危害对象的特征, 有选择地使用其中的原则和技术。随着社会对生态环境质量要求的提高, 在城镇、农田、矿山、交通等泥石流的治理中也可参考本模式。

致谢 研究工作得到了九寨沟风景名胜区管理局的支持和帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 1 Wilkerson F D, Schmid G L. Debris flows in glacier national park, Montana: geomorphology and hazards. *Geomorphology*, 55(2003): 317~328
- 2 Meyer G A, Pierce J L. Climatic controls on fire-induced sediment pulses in Yellowstone National Park and central Idaho: a long-term perspective. *Forest Ecology and Management*, 2003, 178: 89~104 [\[DOI\]](#)
- 3 Wieczorek G F, Stefan Jäger S. Triggering mechanisms and depositional rates of postglacial slope movement processes in the Yosemite Valley, California. *Geomorphology*, 1996, 15: 17~31 [\[DOI\]](#)
- 4 Hereford R, Thompson K S, Burke, K J. Numerical ages of holocen tributary debris fans inferred from dissolution pitting on carbonate boulders in the Grand Canyon of Arizona. *Quaternary Research*, 1998, 50: 139~147 [\[DOI\]](#)
- 5 Bowers J E, Webb R H, Pierson E A. Succession of desert plants on debris flow terraces, Grand Canyon, Arizona, U.S.A. *Journal of Arid Environments*, 1997, 36(1): 67~86
- 6 晏鄂川, 唐辉明, 傅荣华. 海螺沟生态旅游景区地质环境评价. *地球科学*, 2002, 27(1): 110~114
- 7 陕西省减灾协会. 秦巴山区山地自然灾害. 西安: 世界图书出版公司, 1999. 121~139
- 8 潘江, 卢立伍. 中国国家自然保护区及风景名胜区的地质灾害及其防治对策. *中国地质灾害与防治学报*, 1998, 19(s): 100~105
- 9 王士革, 钟敦伦. 庐山风景区犁头尖北坡泥石流及其防治. *水土保持通报*, 2001, 21(6): 33~36
- 10 唐邦兴. 九寨沟泥石流及其防治. *铁道工程学报*, 1986, (4): 186~189
- 11 崔鹏, 杨坤, 韦方强. 风景旅游区的泥石流灾情评估. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 107~110
- 12 柳素清, 唐邦兴, 康志成, 等. 九寨沟泥石流及其治理效益分析. *地理*, 1989, 2(3): 19~24
- 13 崔鹏. 泥石流起动条件及机理的实验研究. *科学通报*, 1991, 36(21): 1650~1652
- 14 Cui Peng, Thorens J B, Guan Junwei. Study on the properties of debris flow initiation by means of catastrophe theory. *Interpraevent 1996-Garmisch-Partenkirchen*, 1996, (3): 103~112
- 15 崔鹏. 九寨沟泥石流预测. *山地研究*, 1991, 9(2): 88~92
- 16 柳素清, 唐邦兴, 唐小春, 等. 世界自然遗产九寨沟生态与保护. 成都: 成都科技大学出版社, 1996. 108~117, 125~131