

# 宁南县城后山泥石流综合治理\*

李德基

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

欧阳强

(四川省宁南县治理后山泥石流工程指挥部)

王士革

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

**提 要** 宁南县城后山有8条泥石流沟。其中3条一旦暴发泥石流,就直接威胁着县城的安全。为使县城免遭泥石流为患,1985—1989年县上在有关科研单位参与和支持下,对后山泥石流采取了工程措施、生物措施和预警、管理措施,加以综合治理。治理工程取得的防灾效益、水保效益与经济效益明显。

**关键词** 四川省 宁南县 后山泥石流 综合治理

宁南县城后山有8条泥石流沟。其中3条(羊圈沟、阴阳沟、沈家沟)一旦暴发泥石流,就直接严重地危害着县城。为确保县城安全,1984年9月县上成立了宁南县治理后山泥石流工程指挥部,并委派一位副县长任指挥长;1985年四川省防汛抗旱江河管理指挥部(后文简称省防汛指挥部)批准《宁南县城后山泥石流综合治理工程》正式立项,1985年4月—1989年秋,在中国科学院、水利部山地灾害与环境研究所参与和支持下,对后山泥石流进行了综合治理,并于1989年11月通过了由省防汛指挥部主持的竣工验收。

现就后山泥石流及其综合治理概述于后。

## 一、泥石流的形成特征

### (一)泥石流流域特征

宁南县城座落在泥石流堆积扇群上部,西北、东北、东南三面环山(老君山)而开口向西南;城区西北-东南长1.2公里,东北-西南宽1.0公里。由西北至东南的主要沟谷有:羊圈沟(流经城区西北侧)、阴阳沟及沈家沟(均流经县城东南侧)。三者主要是单沟或多沟暴发泥石流,都对县城有直接威胁。

宁南县城的各条泥石流沟皆发源于后山。后山的泥石流沟有:羊圈沟,其在城区西北端分出两条支流吴家沟(它有一条支流官村子沟)和史家沟;阴阳沟(照片1)<sup>1)</sup>及其支流棺山沟、新观音沟;此外还有沈家沟,龙王庙沟。大小一共8条泥石流沟。

\*参加课题研究和野外考察工作的还有中国科学院、水利部山地灾害与环境研究所张有富,宁南县治理后山泥石流工程指挥部郑德明、徐素琼、杨开顺、史金万、刘其贵、卢国品、罗宗海、薛大星等。

1)本文照片见刊末图版Ⅳ。

后山各沟(表1)沟头至沟口高差 400—1650 米,沟床纵比降为 206—450‰,沟坡坡度多 30°—50°,潜在势能充足,各沟的流域狭长。汇水区、泥石流形成区、流通区和堆积区发育完整。

表1 后山各沟的流域要素

Table 1 The basin elements of all gullies in the Houshan area

沟 名	流 域 面 积 (公里 <sup>2</sup> )	沟 长 (米)	沟头至沟口高差 (米)	沟床纵比降 (‰)
吴 家 沟	2.371	4195	1645	287
官村子沟	0.256	1600	440	206
史 家 沟	1.639	3670	1420	314
阴 阳 沟	0.320	1715	810	429
棺 山 沟	0.265	1670	810	450
新观音沟	0.124	1100	460	342
沈 家 沟	1.352	3530	1400	348
龙王庙沟	1.968	3640	1295	292

海拔 1750 米以上为汇水区。沟谷切入风化壳和基岩,沟型呈 V 形。沟床陡,多跌水。两岸沟坡稳定,并长满灌丛和杂草。沟内几无松散堆积物,水土流失轻微。

各沟的中游段为泥石流形成区。海拔 1420—1550 米处沟道被断层  $F_1$  横切,常见有高达 30—50 米的跌水。

跌水以下,沟道切入老泥石流堆积层,沟型呈 U 形。沟岸崩滑体发育,储备了大量的松散固体物质;有的崩滑体进入沟床,阻沟塞流,聚积能量,对泥石流形成更为有利。

海拔 1300 米以下,沟道破山而出后,在泥石流堆积扇上通过,比降减缓,沟槽窄浅,流势减弱。泥石流时冲时淤,堆积扇顶点随之有上下移动。沿沟两岸低洼处多道路,输电、电讯线路,管道,工厂,居民点和农田,这些是泥石流主要危害对象。

县城后山处于背斜西翼,自高而低出露有寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系和二叠系。岩层倾向西,倾角 50°—60°。主要岩性有白云岩、页岩、石英砂岩及石灰岩等。

第四纪地层分布甚广。海拔 1500 米以上为残坡积,以下为冲洪积和老泥石流堆积。县城附近泥石流堆积层厚度在 150 米以上。

后山所处的骑骡背斜西翼,次一级褶皱强烈,并发育有断层  $F_1$ ,岩层多节理裂隙,风化深度一般为 2—5 米。断层  $F_1$  属正断层,也是倾向西,倾角 60°,长度 15 公里,断距 100 多米。泥石流形成区包括了该断层破碎带。当地处于则木河断裂与会宁断裂的交汇处,地震活动频繁,属 7 度地震烈度区。

## (二)植被及人为影响因素

宁南县城在气候上属横断山中段东部季风中亚热带半湿润气候区( $I_{sb}$ )<sup>[1]</sup>。这对植物生长较为有利。

宁南县植被属川西南山地常绿阔叶林地带的偏干性常绿阔叶林亚带金沙江下游安宁河植被小区  $I_{b(c)}$ <sup>[2]</sup>。20 世纪初以前,这里广有原始森林。40 年代后期,后山原始森林破坏殆尽,地表失去保护,而崩塌、滑坡、山洪、泥石流频繁出现。50 年代初,在后山营造大片

松林,总面积达 17000 亩;海拔 1750—2500 米为云南松,2500 米以上有小片华山松林,长势良好,郁闭度达 0.60—0.80,对控制水土流失起一定作用。海拔 1200—1750 米属于热河谷,受人为消极活动影响日趋明显,生态破坏严重,沦为荒坡裸地。如陡坡开荒、放牧割草等问题突出,地表侵蚀加剧,沟壑发展很快。当地成为崩塌、滑坡和泥石流的策源地。

### (三)暴雨泥石流形成特征

宁南县城后山,泥石流固体物质由崩塌、滑坡、老泥石流堆积物遭铲蚀而补给,泥石流则由暴雨激发而成。这就是说,泥石流的发生与暴雨密切相关,并与某次暴雨强度和当日降雨量有较好的对应关系。

1970—1988 年宁南县气象站资料统计分析结果表明,当  $\geq 50$  毫米的暴雨共 35 日,平均每年 1.8 日(1985—1988 年坡面垂直气候观测结果得知,平均每年 2.8 日); $\geq 100$  毫米的大暴雨有 3 日,最上一日降雨量达 106 毫米;1 小时、30 分钟和 10 分钟最大雨强分别为 55.4 毫米、42.5 毫米和 24.4 毫米。当地泥石流形成区雨量观测资料与泥石流活动状况对比、分析结果证实,后山泥石流的激发雨强为:10 分钟雨强  $\geq 10—15$  毫米,当日降雨量  $\geq 35—50$  毫米;10 分钟雨强  $\geq 5$  毫米,当日降雨量  $\geq 70$  毫米。如前期降水充沛,则激发雨强将相应降低。

## 二、泥石流的灾害与活动

### (一)泥石流灾害

自 19 世纪中叶以来,宁南县城泥石流灾害有如下重大事例。

1850 年(清道光三十年)雨季,后山多沟齐发大规模泥石流,宁南县旧城长 1.25 公里街道的东西两端均遭摧毁,东端损失最重,史称“水打坝”。

1894 年(清光绪二十年),阴阳沟暴发的泥石流冲老城街(现印刷厂附近),毁南华宫、川主庙及部分民宅,人称“水打街子”。

1900—1949 年,山洪泥石流不断发生,平均 5—10 年就有一次较大灾害,每次灾害都淹埋些农田和毁坏些房屋,并偶有人畜伤亡。

50—70 年代,泥石流间歇暴发,周期缩短、危害性增大;80 年代几乎每年都发生泥石流。主要的如后。

1954 年雨季,羊圈沟、阴阳沟和沈家沟同时暴发山洪泥石流,县城东西两侧受灾较重,冲埋农田 420 余亩,毁木桥一座和民房 26 间,损失达 50 多万元。

1981 年 6 月 27 日阴阳沟暴发泥石流(照片 2)。1983 年 6 月 5 日和 27 日阴阳沟和羊圈沟都暴发了山洪泥石流。

### (二)泥石流活动状况

后山各沟的地形、泥石流形成源地松散固体物质岩性及粒度组成的不同,各沟的泥石流性质和规模亦有差异。

在阴阳沟内,泥石流形成源地松散固体物质储量大,含细颗粒物较多。土样中颗粒粒径  $d \leq 0.05$  毫米的含量占 5—19%,平均 10%; $d \leq 0.005$  毫米含量占 3—9%,平均

6%。故阴阳沟多出现容重  $\gamma_c \geq 2.0$  吨/立方米的粘性泥石流,其危害方式以淤埋为主。未治理前几年,泥石流阻塞沟道,淤满坝库,平均每年输移数千至上万立方米沙石,侵蚀模数达  $10^4 \sim 10^5$  吨/平方公里 $\times$ 年。

在羊圈沟内,泥石流形成源地开阔,两岸有几处崩塌,但固体物质储量不大,且两岸又离沟床较远,不易遭水流侵蚀,故易出现稀性泥石流或高含沙洪水,其危害方式以冲刷为主。县城两侧所受威胁较大。

沈家沟地处离县城二三百米的东郊,两岸有几个小厂和居民点,地下水位高。沟坡崩塌滑坡活跃。泥石流发生频繁,危险性较大。对沈家沟泥石流应主动防治。

### (三)泥石流危害性及发展趋势

阴阳沟泥石流危害县城东部。羊圈沟泥石流危害县城西部。两条泥石流沟过境的县城部分,房密人聚,生产设施和生活设施多,资财集中,一旦遭泥石流为患,后果不堪设想。沈家沟危害县城东郊,其潜在危险不容忽视。

宁南县城后山泥石流危害主要有以下几点。

1. 破坏山坡与沟道的稳定性,增加泥石流固体物质补给量。
2. 毁坏森林、农田、道路及水利设施等,危害农林牧业生产。
3. 冲毁或淤埋工厂、企业单位、民宅等与生活设施,严重威胁人民生命和财产安全。
4. 淤塞沟床,污染水源,恶化生态环境。

由上可见,后山已具备泥石流形成的基本条件(即地形陡峻、松散固体物质储量丰富和水源充足)。如不加以综合治理,不控制泥石流发生条件,不改变泥石流危害现状,则泥石流还要发生,并造成灾害。若县内有 1954 年,甚至 1850 年那样规模的泥石流重演,则造成的损失会更大。

## 三、后山泥石流综合治理

### (一)综合治理规划总体方案

后山泥石流综合治理要在预防为主、防治结合的指导方针下,注意因地制宜、突出重点、抓住关键、分期实施,并以“全面规划,综合治理,因害设防,保证重点,民办公助,节约投资,讲求实效,分期建成”为规划治理原则,以便控制泥石流规模,减轻灾害损失和水土流失,逐步改善生态环境。

根据四川省泥石流防治实践经验,并参照城镇防洪规定和灾害状况确定:按二十年一遇泥石流流量设计,五十年一遇泥石流流量校核,计算防护工程规模、投资和效益。

### (二)工程措施

以宁南县气象站的暴雨资料来作频率分析,并把分析结果换算成县城后山的雨量后得知,二十年一遇的设计日雨量为 128.0 毫米,五十年一遇的设计日雨量为 142.0 毫米,且推算出了几条泥石流沟的洪水流量  $Q_h$ 、泥石流流量  $Q_c$  及固体物质输移量  $V_c$ (表 2)。

1. 阴阳沟及其支沟内,设谷坊 8 座(即阴阳沟 3 座,棺山沟 3 座,新观音沟 2 座),坝高 3.0—5.0 米,可拦蓄和稳定沟床固体物质 2.45 万立方米;还建拦沙坝 3 座(即阴阳沟 2

座,新观音沟 1 座),坝高 5.0—10.5 米(照片 3),总库容 7.80 万立方米(表 3)。现预计,在正常情况下,这些工程可使用 8—15 年。若生物治理及时且见效快,则使用期还要延长。坝库将有效地拦截泥石流中的粗大碎屑物,以减小流体的容重和破坏力。这样既能稳住拦沙坝上游方的沟底和沟坡,又能保障拦沙坝下游方排导槽的正常使用。

表 2 后山几条沟中的泥石流设计参数

Table 2 The design parameters of debris flow in some gullies of Houshan

设计频率(%)	5			2		
设计要素	$Q_b$ (米 <sup>3</sup> /秒)	$Q_c$ (米 <sup>3</sup> /秒)	$V_c$ (万米 <sup>3</sup> )	$Q_b$ (米 <sup>3</sup> /秒)	$Q_c$ (米 <sup>3</sup> /秒)	$V_c$ (万米 <sup>3</sup> )
阴阳沟	6.85	16.10	2.70	7.63	28.00	5.50
史家沟	9.19	13.10	1.23	11.03	15.80	2.19
羊圈沟	23.20	33.20	3.12	26.60	38.00	5.27
沈家沟	7.51	13.30	2.05	8.66	15.36	3.18

阴阳沟排导槽(照片 4)按表 2 中的泥石流流量加以设计。通过泥石流最大设计流量时,排导槽的安全超高 0.50 米,桥孔的安全超高 0.80 米,采用底宽 4.00 米、边坡系数 0.3、槽深 2.50 米的梯形过流断面。槽底用圪工防冲消力槛,基础埋深 1.5 米,槛体沿流向长 1 米,间距 15 米。泥石流最大流速  $V < 6$  米/秒,其在结构允许流速范围内。排导槽全长 1060 米,其末端伸出县城 50 米,以确保泥石流安全排泄。

表 3 拦沙坝的设计要素

Table 3 The design elements of debris dams

设计要素	坝高 (米)	坝顶长 (米)	回淤长度 (米)	库容 (万米 <sup>3</sup> )
1#拦沙坝	10.5	42.2	220	4.70
2#拦沙坝	9.0	51.0	150	2.62
3#拦沙坝	5.0	20.0	90	0.48

### 2. 羊圈沟排导槽(照片 5)的设计

同前。县二中西侧的史家沟内,因地势低洼,将导流堤单侧加高加固,长 250 米,以防止山洪泥石流漫溢、改道而危害县城。为避免排导槽被泥石流淤塞,拟在史家沟沟口以上修拦沙坝 1 座,坝高 8.0 米,库容为 3.50 万立方米。

3. 沈家沟流经县城处,即南华宫旧址一西(昌)巧(家)公路桥段,拟沿西北岸修单侧防护导流堤长 350 米,以保护糖厂、印刷厂和纸板厂等免遭泥石流危害。鉴于该段沈家沟泥石流对县城东郊潜在威胁较大,工程宜尽早实施。

概述之,第一期工程规划包括:谷坊 8 座,拦沙坝 3 座,排导槽 2 条,防护堤 2 段,桥梁 5 座等九个单项工程;预计挖填土石方 41828 立方米,浆砌石方 21968 立方米,混凝土 975 立方米;工程总造价 129.01 万元。史家沟拦沙坝和沈家沟防护导流堤,宜在第二期工程中安排。

### (三)生物措施

治理泥石流的生物措施应上中下游全面规划,山水林田路统筹安排,并以山上为主,山下为辅,旨在控制泥石流灾害,减少水土流失,促进经济发展,美化县城环境。

上游是各沟汇水区,海拔 1750—2900 米,具人工植被云南松林和华山松林,林种单一,又欠育管,不大起涵养水源的作用。因此须加速稀树灌丛造林、林间隙地造林和现有纯林的改造,增加阔叶树种,以构成针阔混交林、乔灌木多层次被覆,增强森林的涵养水源功能(照片 6)。

中游为各沟泥石流形成区,海拔 1300—1750 米,荒坡裸地。该处是植树造林的重点地区。陡坡地要退耕,封山禁牧,继而抓好植灌造林,恢复植被;缓坡地应推行等高带状耕作,采取轮作、坡地改梯田、沟岸留出免耕带用作造防护林等措施。在有条件的坡地上应营造部分经济林和速生薪炭林,以增加群众的经济收入和解决烧柴问题。

下游是各沟泥石流堆积区,海拔 1300 米以下,即平坝区,县城所在,县内工农业生产重要基地,常遭山洪泥石流为患。因此除加强排导外,宜在沟旁营造防护林带,空地植树、栽桑,以保护工程设施,使县城免遭灾害。

规划区面积 8.53 平方公里(12588 亩),需育林造林面积 9085 亩,经费 24.66 万元。其中造林种苗费 16.23 万元,人工费 5.30 万元,幼林治虫费 1.05 万元,护林员经费 1.63 万元,建护林站一处花费 0.40 万元。

#### (四)预防报警与管理措施

对超标山洪泥石流亦应有进一步的防避措施。为此在后山不同海拔处建立 3 个雨量观测点。这些观测点由县气象站配置仪器,培训人员,统一管理并负责观测资料的分析整理。汛期,雨量观测员同防汛值班人员应密切联系,作好预防报警。

此外,治理工程投入使用后,应重视养护工作。平时注意疏浚沟道,消除隐患;闲时勤养早治,修损补底;遇险及时排除,及时整修。以免事故扩大,确保工程设施充分发挥作用,延长使用年限。对群众要进行泥石流知识的科普宣传教育和法制教育。

## 四、泥石流综合治理效益

### (一)新增防护设施

综合治理经四年实施,实际完成:挖填土石方 47744 立方米(原计划为 41828 立方米),浆砌石方 27623 立方米(原计划是 21968 立方米),混凝土 633 立方米(原计划为 975 立方米);完成工程总投资 129.01 万元,其中工程措施造价 118.92 万元,生物措施造价 10.09 万元。

综合治理中所完成的新增设施和防护能力如下。

1. 谷坊 8 座,拦沙坝 3 座。两者可拦蓄和稳定沟床固体物质 10.25 万立方米,按阴阳沟年输沙量 0.80 万—1.20 万立方米计,工程可使用 8—15 年。

2. 排导槽 2 条,防护堤 2 段,两者共长 2848 米,可安全排泄五十年一遇的泥石流和洪水。阴阳沟原设计排导槽为梯形,断面积 11.88 平方米,而施工图设计改为矩形,断面积 15.00 平方米,由此增大过流能力约 25%。此外,按分清主次、重点保护县城的原则,将靠县城一侧的堤岸加高 0.50 米,以确保超设计频率的泥石流和洪水发生时能自动分流,排至县城之外。

3. 雨量观测兼护林点 1 处,可供研究山区垂直气候、泥石流预防报警及护林之用。

4. 造林面积 2077 亩,山坡栽油桐 450 亩,埂边或沟边种桑约 50 亩。

## (二) 综 合 效 益

### 1. 防灾效益

宁南县城土地面积约 2.00 平方公里,城镇建筑面积 100 万平方米,近郊农舍 5 万平方米,城乡人口约 1.20 万,“吨粮田”1000 多亩,城乡固定资产总值 2 亿元。县城区受泥石流威胁后又不可能搬迁,故必须对后山泥石流加以综合治理。泥石流综合治理工程总投资(129.01 万)和防护了的城乡固定资产总值(2 亿元)之比(投保比)不到 0.65%。同目前国内外城镇泥石流防治的投保比 2—10 % 相比,后山泥石流综合治理工程的总投资显然是很合算的,也是很低的。

按照设计标准下的危险区估计,县城有 3000 多人和约 800 亩“吨粮田”直接受益,有 20 多万平方米城镇建筑面积和 3000 万元的固定资产得到保护。若 1954 年那样规模的泥石流重演,其造成的损失就在 100 万元以上,近于此次治理工程的总投资。因此可以说,宁南县城后山泥石流综合治理是费省效宏的。

### 2. 水保效益

这次综合治理可控制的水土流失面积 8.39 平方公里,属强度侵蚀的小流域治理,具有一定的实际意义和科学价值。预计:今后 20 年内土壤流失量将减少数十万立方米,荒坡会绿化,幼树已成林,不仅可以涵养水源,调节小气候,而且能美化县城环境。

### 3. 经济效益

按每亩林木蓄积量 0.8 立方米计,2077 亩造林地上木材蓄积量 1662 立方米,木材价每立方米 280 元,产值 46.54 万元;油桐每亩年产籽 40 斤,桐籽价每斤 0.39 元,450 亩油桐林的产值 0.70 万元;桑树每年产二季桑叶,50 亩桑田二季可养种蚕纸 50 张,每张蚕纸产茧价 300 元,蚕茧产值 1.50 万元。三项总产值 48.74 万元。产出与投入(10.09 万元)之比 4.8:1.0。此外,木豆、山毛豆等豆科植物的果实、枝叶蛋白含量甚高,可开发为家禽家畜的饲料。如能在短期内获得成功,经济效益甚为可观,每年能提供饲料 500 万斤,价值 100 多万元。

## 参 考 文 献

- [1] 张道光,1989,横断山区气候区划,山地研究,7(1),第 21—28 页。
- [2] 四川植被协作组,1980,四川植被,四川人民出版社,第 302 页。

## THE INTEGRATED PREVENTION AND CONTROL OF HOUSHAN DEBRIS FLOW BY NINGNAN COUNTY TOWN

Li Deji

*(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences  
& Ministry of Water Conservancy)*

Ouyang Qiang

*(Command of the Project for Controlling Houshan Debris Flow in Ningnan County, Sichuan Province)*

Wang Shige

*(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences  
& Ministry of Water Conservancy)*

### Abstract

Ningnan County is one of the typical regions of the rainstorm debris flow. Ningnan County Town is located on the group of debris flow accumulated fans.

In the Houshan area of Ningnan County Town, the relief is steep and precipitous, the lithologic character is weak, the stratum is broken, the fissures are developed, the loose solid material are abundant, and in the rainy season, the rainfall is mainly rainstorm and the intensity is high. As a result, the rainstorm debris flow occur frequently and endanger the Ningnan County Town.

There are a number of debris flow gullies in the Houshan area. In the Yinyang Gully and Yangquan Gully there are major projects of prevention and control debris flow, combining the planting measures and the engineering measures. The planting measures are: to close hillsides to facilitate afforestation in the water source area at the upper reaches; to plant grass, bush and trees and carry out a series of farming measures for water and soil conservation, such as terracing of the slope land and interplanting of trees and crops in the debris flow formation area at the middle reaches. The engineering measures are: to build check dams and debris dams to stabilize the slope and protect the banks in order to reduce the frequency and scale of debris flow; to build discharge canals in the draining reaches and accumulated area of the Yinyang Gully and Yangquan Gully in order to protect the farmland, houses, factories and roads along gully banks.

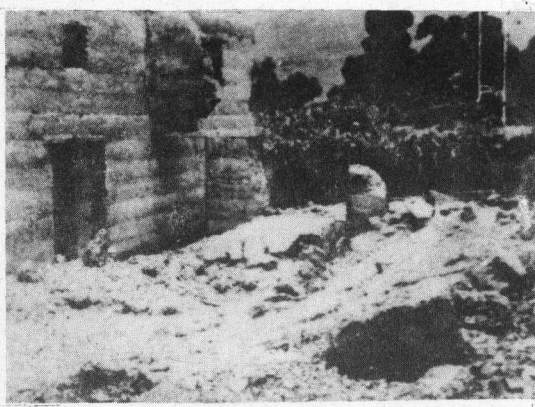
The project started building in 1986 and completed in 1989. The total investment is  $129 \times 10^4$  yuan. The project consists of 8 check dams, 3 debris dams and 2 discharge canals; the afforestation area is  $1.4 \text{ km}^2$ . It protects the town and the suburbs from debris flow disasters. The insurance ratio is 0.7% and is the lowest in Sichuan Province.

**Key words** Sichuan Province, Ningnan County Town, Houshan debris flow, integrated prevention and control

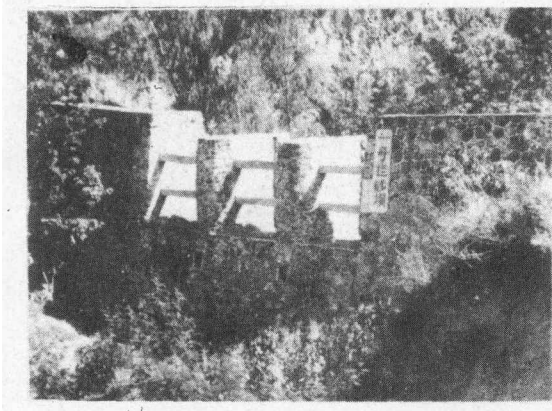




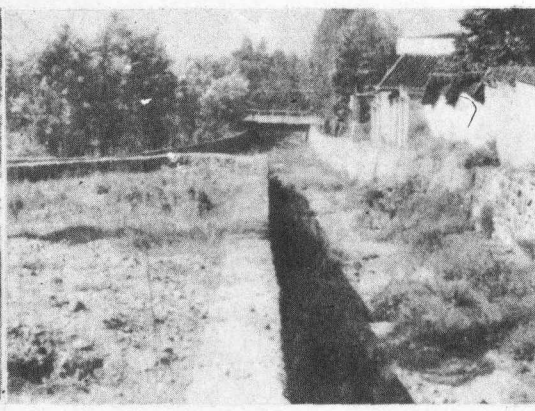
照片 1 阴阳沟治理前的面貌(欧阳强摄)



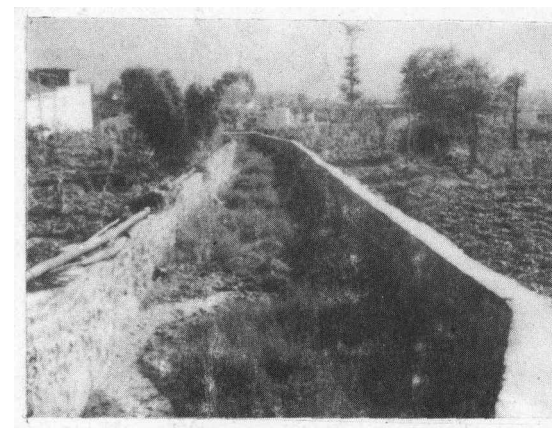
照片 2 1981年6月27日宁南县城后山泥石流冲毁民房,淤埋农田(欧阳强摄)



照片 3 阴阳沟 1#拦沙坝



照片 4 阴阳沟排导槽与公路桥



照片 5 羊圈沟排导槽



照片 6 阴阳沟上游水土保持林(赤桉)

(本版照片除署名者外,其余均为张展摄)