

乌东德库区泥石流灾害的成因及特征分析

李 逵, 潘 伟, 吴吉民, 谭建民

(宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要:金沙江河谷属泥石流多发地区之一。本文通过金沙江乌东德库区(龙川江 - 坝址段)地层岩性、地质构造、新构造运动、地形地貌以及气候条件等地质环境条件的调查研究,详细分析泥石流灾害的成因、类型以及分布特点。这一分析研究对水电站工程的建设及安全运行具有一定的现实意义。

关键词:干热河谷;泥石流灾害;特征;金沙江乌东德

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

金沙江乌东德水电站位于云南省禄劝县和四川省会东县交界的金沙江干流上,是金沙江下游河段四个水电梯级(乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝)中的第一个梯级,上距观音岩水电站 253 km,下距白鹤滩水电站 180 km,电站坝址位于陆车林 - 乌东德长约 12.6 km 的河段内,初选正常蓄水位 975 m,蓄水后水位将提高 160 m,水库总长 245.7 km,库容 $58.63 \times 10^9 \text{ m}^3$,总装机容量 8 700 MW,年平均发电量 394.6 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。乌东德库区两岸第四系松散堆积物较丰富,植被覆盖较差,物理地质作用强烈,岩石风化严重,降水丰沛,加上人类活动,库区泥石流分布较广,活动较为频繁。经实地调查,乌东德库区共发育泥石流沟 47 条。泥石流堆积扇多直接顶托主河道,每年雨季泥石流将大量泥沙石块输入金沙江干流,给库区带来了严重的泥沙淤积问题;泥石流的活动性也对水电工程的施工及工程运行的安全具有较大影响。因此,研究泥石流的成因、类型及其分布特点,具有重要的工程意义。

1 库区地质环境条件

收稿日期:2008-08-06

作者简介:李逵(1972—),男,工程师,地质工程专业,从事地质灾害方面的调查研究工作。

1.1 气象水文条件

金沙江乌东德库区属中亚热带西南季风气候区,干湿季节分明,区内气候垂直分带性明显。金沙江河谷为著名的干热河谷,库区垂直气候变化大,随着海拔增高,温度降低。库区年平均气温为 $20^\circ\text{C} \pm$,最热 6~7 月平均气温 26°C ,最冷 1 月平均气温 $6^\circ\text{C} \pm$,极端最高气温 42°C ,极端最低气温 -10°C (高海拔地区)。库区多年降雨量在 600~1 400 mm 之间,降雨地域分布不均,在水平方向上,由东向西降雨逐渐减少;在垂直方向上,随着海拔增高,降雨明显增加。库区 5~10 月为雨季,降雨充沛,11~4 月为干季,降雨稀少。降雨量在 6~8 月最多,最大小时降雨量近 50 mm,平均降雨量达 540~680 mm,占全年降雨量约 59%,冬季 12~2 月最少,平均降雨量为 25~47 mm,占全年降雨量的 5%。库区年均日照时间达 2 500 h 以上,太阳辐射总量为 $126.85 \text{ 千卡}/\text{Cm}^2 \cdot \text{a}$,年蒸发量 3 000~4 000 mm,是年降雨量的 3~6 倍,可见干旱之甚。

1.2 地形地貌

库区在区域上地处青藏高原东南缘、川西南山地与云贵高原交接过渡地带,属山原峡谷地貌类型,地势总体上 NW 高 SE 低。构造上属燕山运动下沉喜马拉雅运动上升的高原区,受流水侵蚀作用明显,属构造侵蚀中山区,地势总体呈西低东高的

峡谷地貌。区内沟壑纵横,谷地深狭,山地切割深度一般700~2 000 m,山脉及金沙江的主要支流均呈SN向发育,与主体构造形迹一致。其中龙川江口至自力新村段河谷以“U”型谷为主,切割深度一般为700~1 200 m,坡降约0.7‰,岸坡地形上陡下缓,上部多为30°~45°的岩质陡坡,中下部平均坡度20°~25°,地表多覆盖厚约3~5 m残坡积碎石土,下部岩质岸坡受金沙江侵蚀切割,多呈坡度大于60°陡崖地貌,土质岸坡发育阶地或河漫滩,坡度

平缓;自力新村至坝址段,河谷形态以“V”型谷为主,切割深度一般为1 000~2 000 m,坡降约1.2‰,岸坡地形陡峻,平均坡度在30°~45°以上,仅局部谷坡分布少量冲洪积、崩坡积物。

1.3 地层岩性

除古生界奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和第三系缺失外,从元古界至新生界地层在乌东德库区均有分布,且泥岩、页岩、片岩、千枚岩等易滑地层占比重大。库区主要地层岩性见表1。

表1 库区主要地层岩性

Table 1 Main strata and lithologic characters in the reservoir area

地层时代	地层代号	岩性描述	比例(%)
新生界第四系	Q	崩积物、残积物、滑坡堆积物、河流堆积物、泥石流堆积物	23.50
中生界 白垩系 - 三叠系	K - T	泥岩、泥灰岩、长石石英砂岩、砾岩、粉砂岩、页岩夹煤	43.42
上古生界二叠系	P	粘土岩、石英岩、石英砂岩、灰岩、安山岩、页岩夹煤线	0.78
下古生界 寒武系 - 奥陶系	O - e	砂岩、粉细砂岩、泥岩、页岩等	0.99
新元古界震旦系	Z	白云岩、长石石英砂岩夹砂质泥岩、页岩	15.72
中元古界会理群	P ₂ t	千枚岩、白云岩、灰岩、片岩、板岩、石英岩、砂岩、灰岩、大理岩	15.18
古元古界康定群	P ₁ t	角闪斜长岩片岩、片麻岩、花岗质混合岩、大理岩	0.2
岩浆岩	Bμ、ν	辉绿岩、辉长岩	0.21

1.4 地质构造和新构造运动

根据库区褶皱形成时代和性质,可分为基底褶皱和盖层褶皱两类。基底褶皱形成于早元古代末期,轴线呈近EW向展布,断续出露,多为复式褶皱;盖层褶皱形成于中生代,轴线多呈NE向展布,多为宽缓向斜和紧闭背斜相间产出。在本区早元古代褶皱基底之上,又形成了与之迥然不同的盖层褶皱,本区盖层褶皱主要由中生代陆相红色碎屑岩地层组成。

在大地构造上,乌东德库区属扬子准地台,位于其西部康滇地轴(有称康滇台背斜)的中南部。断裂走向以SN向为主,其次为NW向、EW向和NE向,并以SN向断裂为主构成了川滇SN向构造

带。其中SN向断裂以左旋走滑为主,兼有明显的拉张,NE向断裂以右旋走滑为主,NW向断裂最新活动以右旋走滑为主^①。

库区SN向断裂主要有德干断裂带、会东 - 皎西断裂带、汤郎 - 易门断裂带和磨盘山 - 绿汁江断裂带,这些SN向断裂除少量发育在早元古代褶皱基底内的,大多形成于震旦纪到白垩纪,往往切割了早期的EW向断裂;又多被后期NE向、NW向断裂所切割。NW向断裂主要为热水塘断裂,发育于震旦系白云岩及二叠系石英砾岩中,沿金沙江及左岸展布,在区内其他地段还发育有次级线性构

① 常宏,谭建民,潘伟,等.金沙江乌东德水电站可行性阶段水库区岸首 - 龙川江口段1:1万综合工程地质测绘报告,2008.

造;EW向断裂主要为落雪-通安断裂,发育于早元古代褶皱基底中,呈压扭性,且多被后期断裂切割破坏,地表断续出露,破碎带主要由糜棱岩、碎裂岩、角砾岩等组成;NE向断裂主要为远离库区的糖房-瓦厂田断裂,在区内仅发育有小型的、次级的线性构造。

自新生代以来,本区地壳不均衡的间歇性急剧上升,断裂差异性活动显著。全区地势表现为NW高SE低,高原面自NW向SE逐渐降低,显示其具有掀斜抬升特征;而沿金沙江干流及其主要支流沿线发育的河流阶地又表明在掀斜抬升运动中具明显的间歇性的。

2 泥石流灾害形成因素分析

影响泥石流形成的因素很多,按各因素的归属和泥石流发育过程的作用特征,可以归并为自然因素和人为因素两大类。自然因素主要包括地质条件、地形条件和水源条件,这也是泥石流形成发生的内因;人为因素则以多种形式影响泥石流的发育和形成^[1]。

2.1 气象条件分析

金沙江河谷为著名的干热河谷,气候属中亚热带西南季风气候区,年均气温高且日差悬殊,日照时间长,年蒸发量大,地表森林植被稀疏,裸露的岩石土体面积大,热胀冷缩和干湿交替强烈,加快了风化速度,增加了松散土石体的积聚过程,因此该地区泥石流活跃,风化强烈也是重要因素之一。库区具有降雨集中且降雨量具高程效应的特点,暴雨不仅为泥石流活动提供了充足的水源条件,也是泥石流形成的诱发因素。本区年降水分布极不均衡,近60%的年降水量分布在七、八月份,极易造成季节性的大雨或暴雨,这些雨水在流域范围内汇聚形成地表径流,携带岩石碎屑物沿沟坡而下,发育成泥石流。

2.2 地质条件分析

地质条件集中反映在泥石流形成的松散碎屑物质方面。地质条件包括内力地质作用,如岩性、构造、新构造运动、地震等,以及外力地质作用,如

风化作用、重力地质作用、流水侵蚀搬运堆积等。这些地质条件相互关联,并经过错综复杂地组合,决定着参与泥石流活动的松散碎屑物质数量多少和类型特征^[1]。

库区内主要出露变质碎屑岩(千枚岩、片岩)、碎屑岩(砂岩、泥岩、页岩)等软弱岩层和白云岩等坚硬岩层。库区地质构造较为发育,对泥石流形成发育具有直接影响的是断裂作用。断裂在地表往往呈带状分布,在断裂带内软弱结构面和裂隙发育,岩石破碎生成断层角砾岩、糜棱岩、压碎岩等。这利于加速风化过程,形成带状风化,导致滑坡、崩塌等灾害发生,使松散碎屑物质更加丰富,为泥石流爆发提供了丰富的物质来源。

此外,特殊的河谷地形地貌也为泥石流的形成提供了条件。本库区河谷以深切的高中山峡谷为特征,山岭高程大多在海拔2 000~3 000 m,切割深度一般1 000~2 500 m,河谷形态多为“V”型谷和“U”型谷,岸坡地形陡峻,平均坡度多为30°以上,这为泥石流的发育提供了地形地貌条件。

2.3 人类工程活动

开荒种地、畜牧业、不合理筑路、矿山开发等人类不合理经济活动对泥石流灾害的形成有着较大的影响,这些活动不仅破坏了山体表面覆盖的植被,使得周围环境退化,不能发挥保持水土的作用。一旦遇到强降水作用,便在强烈的冲刷作用下产生大量土体、碎石,这些碎屑物与地表径流混合,随地表径流沿沟谷滚落,加剧了泥石流灾害的强烈程度。

3 库区泥石流类型特征及分布特点

3.1 库区泥石流类型特征

按流域沟谷地貌形态分为坡面型泥石流和沟谷型泥石流两类。坡面型泥石流主要发生于坡度30°以上的斜坡坡面上,其特点为沟槽短、平均坡降大,流域面积小,泥石流形成区和堆积区相连,流通区不明显;沟谷型泥石流只发育在已形成的沟谷中,主沟长,流域面积大,坡降较小,形成区、流通区和堆积区一般较明显。库区明确划分出来的均属于沟谷型泥石流,多数形成区与流通区难以分清,

堆积区则较明显,区内大沙坝泥石流沟是比较典型的泥水流沟;坡面型泥石流分布较广泛,如半坡、勐果河两岸等,一般与崩坡积物或冲洪积物混杂。

按泥石流性质分为粘性泥石流、稀性泥石流和过渡型泥石流^[2]。粘性泥石流为固体含量 > 80%,呈整体流动,有阵流现象,堆积物分选性差;稀性泥石流为固体含量 < 10~40%,紊流运动,无明显阵流,堆积物有一定分选性;过渡型泥石流特征及破坏性介于上述二者之间。库区共有 34 条粘性泥石流,占总数 73%,有沙沟河、太平河、木上达河、竹鲜河及细柞河 5 条稀性泥石流,占总数 10%;有 8 条过渡型泥石流,占总数 17%。

按泥石流爆发运移的流体体积分为特大规模($> 50 \times 10^4 \text{ m}^3$)、大规模($10 \sim 50 \times 10^4 \text{ m}^3$)、中等规模($1 \sim 10 \times 10^4 \text{ m}^3$)和小规模($< 1 \times 10^4 \text{ m}^3$)^[2]。库区内有 7 条泥石流沟可能发生特大规模泥石流,依次为大沙坝、白泥洞、木老沟、竹鲜河、木上达河、甲里沱及阿米拉沟;有 5 条泥石流沟可能发生中等规模泥石流;有 28 条泥石流沟可能发生小规模泥石流。规模较小的多属山坡型泥石流,其物质来源主要为基岩陡坡剥落的风化碎屑与第四系残坡积小规模崩滑物质;大规模泥石流基本属沟谷型泥石流,中上游发育大规模崩塌滑坡,沿沟冲刷与搬运作用共存,沟口堆积体积大。

据本区泥石流流域沟谷形态、堆积扇特征及堆积区植被发育状况所表现出的泥石流沟不同发育时期,将库区泥石流分为 4 个发育阶段:即形成期、发展期、衰退期和间歇期。泥石流沟发育阶段处于形成期的有 1 条,发展期 18 条,衰退期 28 条。

泥石流沟的流域面积差别悬殊,一般在 $1 \sim 10 \text{ km}^2$ 之间,最大可达 167 km^2 ,流域面积 $> 5 \text{ km}^2$ 的泥石流沟 25 条,占泥石流沟总数的 53.2%;在 $1 \sim 5 \text{ km}^2$ 之间的有 21 条,约占总数的 44.6%,而流域面积 $< 1 \text{ km}^2$ 的仅 1 条。

库区干流泥石流平均密度为 0.77 条/km,自力新村 - 龙川江口段分布较多;泥石流分布最密集的是尘河河口 - 甲里段,发育频率为条 0.9 条/km;库首 - 自力新村段共分布泥石流 17 条,约 0.42 条/km。

泥石流沟具有高差大、沟谷比降大的特点。区

内泥石流高差在 430 ~ 2 680 m 之间,其中高差 1 000 ~ 1 500 m 的占 74%,高差 $> 1 500 \text{ m}$ 的占 24%。泥石流沟比降 $> 400 \%$ 有 7 条,比降在 100 ~ 300% 有 31 条,而比降 $< 100 \%$ 有 8 条。

3.2 库区泥石流分布特点

(1) 泥石流爆发具季节性特点:本区雨季一般为 5 ~ 10 月,雨季降雨量占全年降水量 85% 以上。降水量有随海拔增高而增多的趋势,山区降水量要比坝区、河谷区多。由于全区地貌高差悬殊,局部地区容易形成控制面积小,历时短促,降水强度大的单点性暴雨,从而触发泥石流暴发。库区内所研究调查的 47 条泥石流(表 2),均是暴雨造成的,其中部分沟道年年暴发泥石流,而且多发生在降雨丰沛的雨季。

(2) 泥石流的分布受地质构造的控制:库区内大黑山复式向斜是控制岩层出露、岸坡结构的主要构造格架,其核部的易风化剥蚀的软岩、较软岩地层是本区泥石流的主要物质来源地,金沙江库首 - 尘河河口于向斜 SE 翼穿过,尘河河口 - 龙川江口段沿近核部 E 翼向 W 穿过,故库首 - 尘河河口泥石流多分布在金沙江北岸,尘河河口 - 龙川江口段两岸各有分布(见图 1)。

库区下游断裂较发育,距断裂越近,受其影响岩石较易破碎,这为泥石流形成提供了丰富的固体碎屑物质源;断裂带规模越大,破碎带愈宽,其走向与河谷走向愈接近,断裂所在的沟谷发育泥石流规模愈大,因此下游泥石流沟即多沿断裂沟谷发育。

(3) 新构造运动越强烈,垂直差异性运动越大的地区,泥石流分布越集中,规模亦越大,危害越严重。新构造运动不仅加剧了支沟的向源侵蚀,促成不良地质现象增加,物源增多,而且由于支沟在古洪积扇上冲刷、侵蚀,使洪积物又成为泥石流固体物质的第二供给源地,从而进一步促使泥石流发育^[3]。元谋县龙川江 - 白马口 23.5 km 长的金沙江河段有 10 条泥石流分布:右岸有法帕泥石流、骂拉莫泥石流、新村泥石流、阿柱河泥石流、阿柱河西泥石流;左岸有依里古泥石流、依里古西泥石流、阿米拉泥石流、盐水井泥石流、盐水井东泥石流,平均 2.35 km 长的河段有 1 条泥石流沟分布。

(4) 地层岩性与泥石流分布关系密切:库区泥

岩、页岩、片岩、千枚岩等易滑地层和第四系厚层松散堆积区分布广泛,所占比例也较大,在这些地层中,泥石流易于形成,分布亦较集中^[3]。库区所调查的47条泥石流中,有46条泥石流发育的地层为中元古界天宝山组千枚岩、片岩和中生界白垩系、侏罗系砂泥岩以及第四系松散堆积物等易滑地层

中。该类型泥石流沟口堆积扇的面积也较大,如白滩泥石流、白泥洞泥石流、陆房坪泥石流、黄家村西泥石流、细柞泥石流及甲里泥石流等。

(5)森林植被遭到破坏的地区,泥石流危害严重^[3]:在地形陡峭、地面组成物质松散破碎的山区,在失去森林植被覆盖后,容易诱发泥石流发生。

表2 库区重点泥石流特征

Table 2 Characteristics of main debris flow in the reservoir area

编号	名称	发育地层	江边堆积扇 高程(m)	汇水面积 (km ²)	沟口堆积体积 (10 ⁴ /m ³)	固体物质主要来源途径	形态特征	规模等级	发育阶段
1	阴地沟泥石流	Q 松散堆积 J. K 砂泥岩	950	17.5	400.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	大型	发展期
2	尖山包泥石流	T. J 砂泥岩 Q 松散堆积	910	16.0	400.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	小型	发展期
3	转塘泥石流	P ₂ 变质岩	875	5.0	600.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	小型	衰退期
4	付厝田泥石流	Z 砂岩 P ₂ 变质岩	900	5.0	400.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	小型	衰退期
5	大沙坝泥石流	P ₂ 变质岩	1150	4.0	800.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	特大型	发展期
6	花坪子泥石流	P ₂ 变质岩	940	5.0	400.0	坡面侵蚀	沟谷型	小型	发展期
7	白泥洞泥石流	Z 砂岩 P ₂ 变质岩	950	10.0	1500.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	特大型	发展期
8	鲁车泥石流	Z 白云岩、砂岩	980	8.5	2000.0	坡面侵蚀	沟谷型	小型	衰退期
9	黄家村西泥石流	Q 松散堆积 Z 砂泥岩	920	1.3	600.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	小型	发展期
10	下坪子泥石流	K. J 砂泥岩	955	0.5	210	坡面侵蚀	山坡型	小型	衰退期
11	窝波鱼夺泥石流	K. J 砂泥岩	996	5.1	240.0	坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	中型	衰退期
12	五曲沟泥石流	Q 松散堆积 K. J 砂泥岩	915	12.3	400.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	大型	衰退期
13	木老沟泥石流	Q 松散堆积 K. J 砂泥岩	950	20	862.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	特大型	衰退期
14	竹蚌河泥石流	Q 松散堆积 K. J 砂泥岩	920	167.0	630.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	特大型	衰退期
15	木上达河泥石流	Q 松散堆积 K. J 砂泥岩	917	112.0	840.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	特大型	衰退期
16	太平河泥石流	Q 松散堆积 K. J 砂泥岩	928	78.0	600.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	大型	衰退期
17	小米支北泥石流	Q 松散堆积 K 砂泥岩	953	1.5	588.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	大型	发展期
18	甲里泥石流	K. J 砂泥岩	980	21.0	5023.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀	沟谷型	特大型	发展期
19	骂拉莫泥石流	Q 松散堆积 K 砂泥岩	988	14.4	480.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	大型	发展期
20	阿米拉泥石流	J 砂泥岩	956	5.2	558.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	特大型	发展期
21	盐水井泥石流	Q 松散堆积 P ₁ 变质岩 J 砂泥岩	950	78.0	192.0	沟岸崩滑、坡面侵蚀、沟底搬运	沟谷型	大型	发展期

4 结论

综上所述,金沙江乌东德地区泥石流分布受地质构造、地层岩性、气候等自然地质条件的控制,主要分布在坡陡谷深、风化强烈、岩性松软、地层破碎的金沙江河谷地带,这些地带又是人类聚集、工农

业生产活跃地区,泥石流对人类的生产生活产生了很大的危害和威胁,而强烈的人类活动又进一步促进了泥石流的发育。但水库蓄水后,随着库区水位抬高,泥石流沟比降的减小,在一定程度上可以减缓泥石流的活动性及破坏能力,大部分泥石流活动将会减弱,从而逐渐降低对工程的影响。

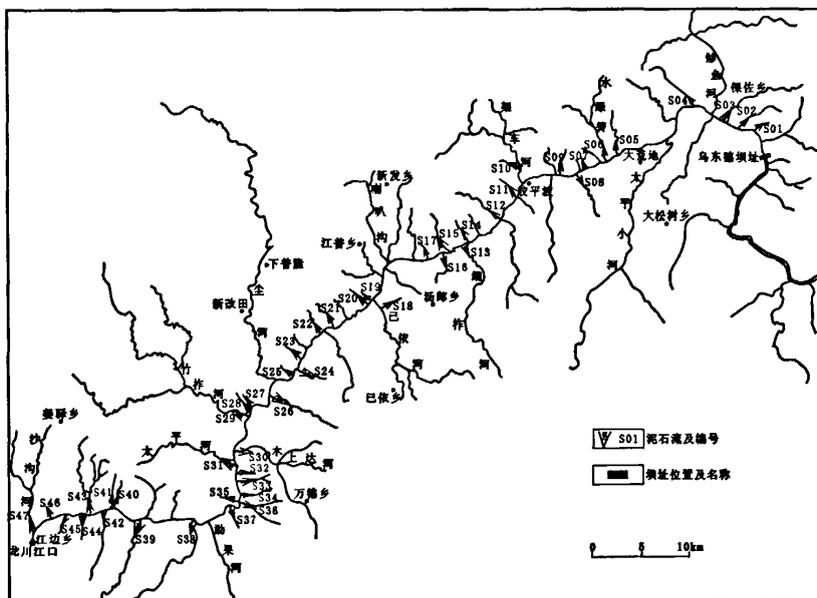


图1 库区泥石流分布图

Fig.1 Regional distribution of debris flow in the reservoir area

参考文献:

中国地质灾害与防治学报,2003,14(3).
 [1]康志成,李焯芬,马嵩乃,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.
 [2]李进元.金沙江某水电站库区泥石流地质灾害研究[J].
 [3]陈循谦.云南金沙江下游的泥石流及其防治[J].水土保持学报,1988,3(3).

Origin and Characteristics of the Debris Flow in Jinshajiang River

LI kui , PAN wei, WU Ji - ming, TAN Jian - ming
 (Yichang Institute of Geology and Mineral Resource, Yichang 443003, Hubei, China)

Abstract: Jinsha jiang river valley is one of frequently - occurring debris areas. Based on the investigation along Wudongde reservoir area from Longchuanjiang River to damsite in Jinsha jiang river of geologic environmental conditions, such as stratum lithology, geological structure, neotectonic movement, landform and climatic condition, the paper analyses detailedly the formation factors, types and distribution characters of debris flows. The researches have realistic significance to hydroelectric power station in the construction and operation safely.

Key words: dry - hot valley; debris flow damage; character; Wudongde, Jinsha jiang River