

南水北调西线一期工程区达曲流域泥石流 及发展趋势

柳金峰, 欧国强, 游 勇, 吕 娟

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 南水北调西线一期工程区位于青藏高原的东北缘, 具有复杂的地形地貌、岩性和区域构造背景, 受自然因素控制和人类活动影响, 尤其是工程建设对山地表层大规模的扰动, 泥石流将成为工程施工和运行期间的重要灾害。通过野外考察和调查, 查明了达曲流域的泥石流分布情况, 得出达曲流域泥石流具有规模中等, 危害严重; 以冲为主, 冲淤强烈; 泥石流固体物质粒径粗; 泥石流活动频率较低等特点。并在此基础上, 分析了达曲流域泥石流的发展趋势。

关键词: 南水北调西线一期工程; 达曲流域; 泥石流; 发展趋势

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

南水北调西线一期工程区位于青藏高原的东北缘, 横跨巴颜喀拉山东段, 是青藏高原地貌的陡变带, 也是新构造活动相对活跃的地区, 调水区具有复杂的地形地貌、岩性和区域构造背景^[1]。受自然因素控制和人类活动影响, 尤其是工程建设对山地表层大规模的扰动, 大坝附近、库区、施工公路和输水线路区 (主要是隧洞出入口附近) 等区域的崩塌、滑坡、泥石流、山洪等山地灾害将成为工程施工和运行期间的重要危害因素。主体工程 (调蓄引水枢纽、输水线路) 及其配套工程 (道路、料场、废料堆放场、生活区等) 的建设, 人类活动强度急剧增加, 边坡开挖、填方、水库蓄水等等, 将改变区域自然地理条件, 影响区域工程地质环境和水文地质环境, 诱发新的山地灾害, 进而威胁工程自身安全及预期效益。

在南水北调西线一期工程中的地质灾害方面, 我国科技工作者已做了一些工作, 王学潮提出工程区的主要地质灾害包括活动断层和地震、冻土冻

害、高地应力及岩爆、地温异常、库区岸坡变形等。其中, 活动断层及地震是调水工程区的主要地质灾害。对主要地质灾害的特征和破坏形式进行了探讨, 并提出了有关治理措施^[2]。张成恭认为枢纽工程可能遇到的地质灾害有: 断裂活动与地震灾害、冻土与冻害、坝基坝肩岩体变形破坏、滑坡泥石流灾害, 并在此基础上对该区可能遇到的地质灾害作了预测和分析^[3]。马东涛在对调水区气象气候、水文、地貌、岩性构造等环境背景条件分析研究的基础上, 初步论述了西线工程建设中将面临的主要地质灾害问题, 并针对这些灾害问题和西线工程目前现状, 提出了五点指导性防灾建议^[4]。从国内的研究现状来看, 对南水北调西线工程地质灾害的分布、特征研究很少, 本文以泥石流灾害为例, 通过野外调查, 查明达曲流域泥石流灾害分布现状, 在此基础上, 分析达曲流域泥石流灾害的特征及其发展趋势。

收稿日期 (Received date): 2005- 06- 20; 改回日期 (Accepted): 2005- 08- 31。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目“南水北调西线工程山地灾害防治技术及环境影响研究” (项目编号 KZCX3) [Supported by the important heading item of knowledge innovation project of Chinese Academy of Sciences: “The research on mountain hazards preventing technology and the environment influence of the west line of water diversion project from south to north of China” (KZCX3)]

作者简介 (Biography): 柳金峰 (1979-), 男, 硕士。主要从事山地灾害与防治工程研究。[Liu Jinfeng (1979-), male, Master. Specialized on mountain hazards and preventing project.]

1 达曲流域泥石流灾害分布

南水北调西线一期工程达曲流域有上线方案然充、中线方案阿安、下线方案申込三个预选坝址。然充坝址距东谷约 39 km，阿安坝址距东谷约 34 km，申込坝址距东谷约 27 km。三个引水隧洞进水口：引水上线隧洞进水口、引水中线隧洞进水口、引水下线隧洞进水口。其中上线隧洞进水口位于然充坝址以上约 1.67 km 河流左岸，中线隧洞进水口位于阿安坝址以上约 0.89 km 河流左岸，下线隧洞进口位于申込址以上约 0.77 km 处。

通过野外调查，核心工作范围为东谷至然充乡约 60.4 km，达曲流域共分布 21 条泥石流沟，其中左岸 13 条，右岸 8 条。达曲流域泥石流分布见图 1，泥石流沟特征值见表 1。

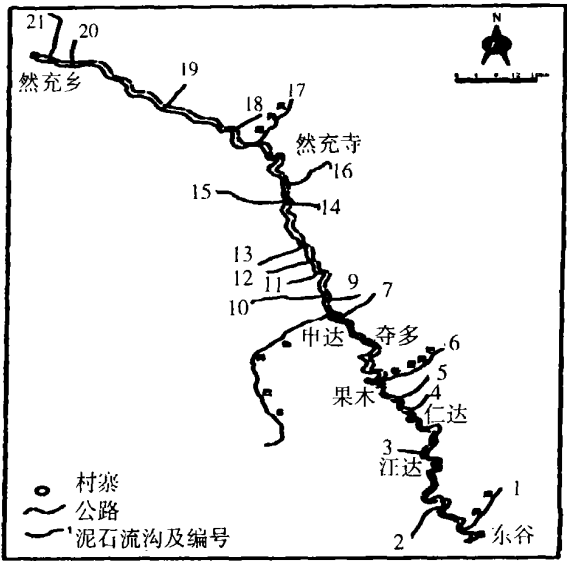


图 1 达曲流域泥石流分布图

Fig. 1 The distributing map of debris flow in Daqu watershed

表 1 达曲流域泥石流沟特征值

Table 1 The eigenvalue of the debris flow in Daqu watershed

编号	流域面积 (km ²)	主沟长度 (km)	相对高度 (m)	主沟比降 (‰)	> 15° 集水区面积 (km ²)	一次泥石流规模 (m ³)
达- 1	3. 01	3. 53	980	278	2. 73	25 800
达- 2	1. 88	3. 02	740	502	1. 55	22 500
达- 3	0. 88	1. 24	770	622	0. 81	17 500
达- 4	0. 72	1. 07	550	511	0. 57	5 500
达- 5	1. 73	2. 47	800	323	1. 41	17 900
达- 6	4. 13	4. 59	1060	294	3. 46	106 600
达- 7	2. 05	1. 95	760	524	1. 71	12 500
达- 8	28. 47	12. 11	1130	93	24. 19	298 900
达- 9	0. 78	1. 1	620	564	0. 00	6 300
达- 10	4. 41	3. 47	990	333	3. 78	58 200
达- 11	1. 23	2. 11	780	398	1. 02	9 600
达- 12	2. 62	2. 25	890	459	2. 21	26 300
达- 13	1. 92	2. 25	740	529	1. 64	19 200
达- 14	1. 20	1. 41	630	447	1. 01	10 500
达- 15	3. 51	3. 72	990	266	3. 11	42 000
达- 16	2. 99	3. 15	790	251	2. 44	32 900
达- 17	4. 32	3. 3	970	337	3. 65	57 700
达- 18	0. 88	1. 77	670	380	0. 82	6 700
达- 19	1. 39	1. 77	610	344	1. 16	11 600
达- 20	0. 92	1. 79	480	382	0. 75	7 100
达- 21	2. 66	3. 67	600	306	2. 10	26 300

注：一次泥石流规模指百年一遇 ($P=1\%$) 泥石流规模，主要根据公式 $Q_B=f\times R\times F/3.6$ ， $Q_C=(1+\phi_C)Q_BD_U$ [《泥石流防治指南》(周必凡主编，科学出版社，1991 年)] 和 $Q_C=0.0188Q_T^{0.790}$ [《关于泥石流发生规模的研究》(欧国强，京都大学研究生院博士学位论文)] 计算而得，其中： Q_B 清水洪峰流量 (m^3/s)； f ：流出系数 (取值 0~1)； R ：年最大 1h 暴雨 (mm)； F ：汇水面积 (km^2)； Q_C ：泥石流峰值流量 (m^3/s)； ϕ_C ：泥石流峰值流量增加系数； D_U ：堵塞系数； Q_T ：一次泥石流规模 (m^3)

2 达曲流域泥石流特征

2.1 泥石流规模中等, 危害严重

南水北调西线一期工程区达曲流域 21 条泥石流沟中, 根据统计计算, 百年一遇泥石流为小规模 ($< 1 \times 10^4 \text{ m}^3$) 的泥石流沟有 5 条, 占总数的 23.8%; 中等规模 ($1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5 \text{ m}^3$) 的泥石流沟有 14 条, 占总数的 66.7%; 大规模 ($> 1 \times 10^5 \text{ m}^3$) 的泥石流沟有 2 条, 占总数的 9.5%。

据调查, 达曲流域内的各目弄巴沟 (达曲-6 号沟) 于 2003-09 暴发较大规模的泥石流, 沟口的公路、桥梁被冲毁, 造成断道, 目前仍以简易木桥代替。此次泥石流还将沟口右侧卫生所的一堵墙冲倒, 桥梁以下沟道向下冲刷深 3 m 左右, 沟口老堆积扇上的青稞地被冲, 重新淤积形成长约 50 m, 宽约 120 m 的堆积扇, 固体物质主要堆积在出山口达曲左岸一、二级阶地上, 部分固体物质直接进入主河。泥石流暴发图片见图 2、3。

南水北调西线一期工程区达曲流域泥石流对调水工程设施 (大坝、隧洞进出口、进场公路) 的危害严重。如达曲-10 号沟, 若暴发泥石流时遭遇主河洪水期较枯流量, 百年一遇泥石流支主流量比 $Q_{支}/Q_{主最小} = 1.70$ ($Q_{支}$ 值泥石流沟峰值流量, 此处为 $109.3 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{主最小}$ 为主河洪水期的较枯流量, 此处为 $64.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。主河流量主要是根据一期调水工程区及邻近地区水文站: 甘孜、朱巴、道孚、足木足、马尔康、大金、绰斯甲的水文资料, 分析各泥石流沟汇入主河处主河汛期各月的最大流量和最小流量; 泥石流峰值流量主要根据配方法计算而得)。由于该沟主沟平均比降为 211‰, 泥石流固体物质能快速运动, 直接进入主河, 加之此段达曲较为狭窄 (约 65 m), 可能堵塞主河, 据初步估算泥石流堵塞高度约为 11 m (泥石流堵河高度根据野外高差实际地形情况及周必凡 1991 年主编《泥石流防治指南》中公式 $Q_T = (\frac{1}{2tg 14^\circ} + \frac{1}{2tg \phi_s} BH^2$ 计算而得, 式中 Q_T : 一次泥石流总量 (m^3); ϕ_s : 泥石流体内摩擦角 (度); B : 主河宽度 (m); H : 堵河高度 (m)), 向上游回水长度约为 1.19 km, 堵塞坝一旦溃决, 将对该沟下游的申达大坝基础施工造成严重的危害; 距隧洞进水口上游约 1.84 km 右岸的达曲-15 和隧洞进水口上游左岸约 3.16 km 的达曲-16, 百年一遇泥石流与主河

洪水期较枯流量遭遇时, 可能堵塞主河, 据初步估算泥石流堵塞坝堵塞高度分别约为 10、9 m, 如果堵塞坝溃决, 溃决洪水会对进水口施工区位置相对较低的施工道路、临时设施等造成严重的危害。达曲-6 号沟暴发泥石流时遭遇主河洪水期较枯流量时, 根据计算, 可得百年一遇支主流量比 $Q_{支}/Q_{主最小} = 2.65$ ($Q_{支}$ 为 $176.2 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{主最小}$ 为 $66.6 \text{ m}^3/\text{s}$), 泥石流能较快运动, 固体物质直接进入主河, 可能堵塞主河, 据初步估算泥石流堵塞高度约为 14 m, 向上游回水长度约为 1.55 km。由于该沟上游部分目前公路走线较高, 回水会淹没南水北调西线一期工程区达曲流域部分段公路, 一旦溃决, 溃决洪水会严重冲刷该沟下游沿河公路路基, 并淹没走线较低的路段, 威胁达曲距该沟下游约 300 m 的一座桥梁的安全。



图 2 达曲-6 号沟泥石流冲刷沟道

Fig. 2 Channel rushed by debris flow of No. Daqu-6



图 3 达曲-6 号沟泥石流堆积扇

Fig. 3 The alluvial fan of No. Daqu-6 debris flow

2.2 以冲为主, 冲淤强烈

大冲、大淤是泥石流的主要特征之一, 也是泥

泥石流以其独特的动力作用塑造和影响山区地貌的表现。一般山洪几年,甚至几十年才能完成的地貌过程,泥石流在几小时或几分钟就完成了,因此破坏力极大^[6]。

南水北调西线一期工程区达曲流域的 21 条泥石流沟中,根据统计,沟床比降 $< 100\%$ 的泥石流沟有 1 条,占总数的 4.77%;沟床比降 $200\% \sim 300\%$ 的泥石流沟有 4 条,占总数的 19.05%;沟床比降 $300\% \sim 400\%$ 的泥石流沟有 8 条,占总数的 38.0%;沟床比降 $400\% \sim 500\%$ 的泥石流沟有 2 条,占总数的 9.52%;沟床比降 $500\% \sim 600\%$ 的泥石流沟有 5 条,占总数的 23.8%;沟床比降 $> 600\%$ 的泥石流沟有 1 条,占总数的 4.77%。

达曲流域的泥石流主沟比降 $> 200\%$ 的泥石流占总数的 95.23%,这些泥石流沿着陡峻而狭窄的沟床快速运动,强烈地掏蚀、冲刷沟床,在沟床凹岸弯道处冲刷尤为强烈,岸上覆盖土层全被冲刷,

而在凸岸迎面处产生爬高并在岸边有堆积。如各目弄巴沟泥石流冲刷强烈,使沟道刷深 $3 \sim 4$ m,加宽 $3 \sim 4$ m,淤积厚度约 3 m,大量的泥石流固体物质在沟口入汇主河处堆积成长约 50 m,宽约 120 m 的扇状地,把达曲水流逼向右岸。

2.3 泥石流固体物质粒径粗

南水北调西线一期工程区达曲流域的 21 条泥石流沟中,根据野外考察,室内泥石流样品分析判定有 19 条沟为粘性泥石流沟,占总数的 90.48%,有 2 条为稀性泥石流沟(达曲-7、8 号沟),占总数的 9.52%。如达曲-6、19 号典型泥石流沟泥石流堆积物样品试验分析可得,砾石含量(> 2 mm)分别占总量的 77.27%和 76.18%,最大颗粒粒径约为 1.0 m,表明泥石流固体物质以粗大的砾石为主,说明达曲流域泥石流沟泥石流搬运力巨大,撞击力大,危害性大。泥石流堆积物样品颗粒分析试验结果见图 5。

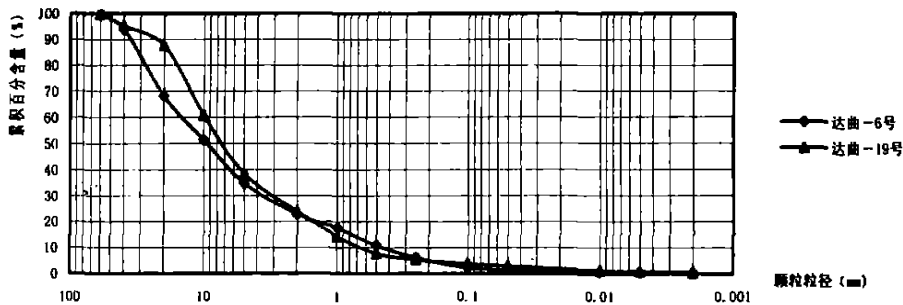


图 5 达曲-6、19 号沟泥石流颗粒级配图

Fig. 4 The grain grading graph of the debris flow of No. DaQu-6, 19

2.4 泥石流活动频率较低

南水北调西线一期工程区达曲流域 21 条泥石流都为低频泥石流沟,虽然流域内地形条件和松散固体物质条件对泥石流形成十分有利,但另一方面,该流域的植被条件较好,对泥石流的形成和活动有一定的抑制作用。一般强度的降雨因植被条件较好而使汇流时间延长,并削减了洪峰流量,从而在一定程度上削弱了泥石流的形成条件,所以该流域泥石流活动频率较低。

3 泥石流发展趋势

达曲流域泥石流的发展趋势与其发育地区的自

然环境演变具有密切关系,各沟具备泥石流形成的条件,有充分促使能量转化的地形条件和较为丰富的松散固体物质,泥石流沟今后的发展趋势,主要取决于是否产生暴雨和大暴雨以及暴雨笼罩范围,沟道内是否会产生堵塞与泥石流发生、发展也有密切关系。

3.1 强烈地震条件下的发展趋势

达曲所处流域为鲜水河~炉霍地震区,具备 7.0 级以上潜在地震的危险性,如 1967-08-30 甘孜发生 6~7 级地震,拖坝区、城关区、东谷区的 7 个公社 100 个生产队受灾,受灾面积 3 300 km²,倒塌房屋 276 户,半倒塌 600 户,裂缝房屋 2 640 户,死亡 5 人,受伤 21 人。1973-02-06 炉霍发生 7.9 级地震,达曲所在区域夺多乡和四通

达乡损失尤为严重, 倒塌房屋 791 幢, 死亡 190 人, 重伤 107 人, 压死牲畜 4 208 头 (只、匹), 损失口粮种子 399 716 kg^[1]。若该流域内发生地震, 剧烈的震动会使两岸山坡表层产生松动破碎, 破坏沟两岸的稳定性, 直接引发崩塌, 使大量山坡物质直接进入沟床, 沟床内的松散固体物质将会骤增, 形成泥石流的松散固体物质更加丰富, 使得泥石流活动性增强。同时崩塌碎屑物质也会堵塞狭窄的沟道, 沟道的堵溃可能性大大增加。因此, 地震活动若增强, 导致形成泥石流的松散物质增多, 将会直接导致泥石流活动性的增强, 使泥石流暴发频率加大。如果达曲流域出现 100 a 一遇 ($P=1\%$) 暴雨, 达曲-1、2、3、5、7、10、12、13、14、15、16、17、19、21 号泥石流沟可暴发中等规模的泥石流, 若强烈地震后或外围强烈地震后, 松散固体物质增多, 如果再遭遇 100 a 一遇的暴雨, 这些泥石流沟可形成大规模、严重、特别严重的泥石流。

3.2 近期出现不同频率暴雨情况下泥石流的发展趋势

达曲流域具备暴发泥石流的充分的地形条件和较为丰富的松散固体物质条件, 一旦发生高强度的暴雨将会发生山洪泥石流, 并且暴雨强度越大, 笼罩范围越大, 泥石流的规模及危害将越大。

由于泥石流的形成条件极为复杂, 影响泥石流发生、发展及其规模的因素很多, 决定达曲流域泥石流发生、发展的主要因素是特大暴雨与松散物质的遭遇组合状况。若出现频率 20 a 一遇或更高频率的暴雨发生泥石流, 将沟内的松散固体物质输移至沟口堆积, 沟内松散固体物质减少, 泥石流后若没有发生崩塌滑坡, 没有聚集一定数量的松散物质, 紧接即使出现频率更高的暴雨, 形成泥石流的规模也可能会减小。

3.3 人类活动对发展趋势的影响

植被具有截留雨水、保持水土、削减洪峰的作用, 在一定程度上对泥石流的形成、发展有抑制作用。如果植被遭受人类经济活动的破坏, 造成山坡裸露, 径流系数将增大, 水土流失加剧, 将有利于山洪泥石流的形成、发展。人类经济活动既可促使泥石流的形成和发展, 又可抑制泥石流的形成和发展。

南水北调西线一期工程开工后, 若建筑与废渣不合理的堆放, 不合理的人工削坡等人类活动的加

强, 会诱发崩塌、滑坡, 泥石流的活动将会有所加强, 泥石流暴发频率将因激发雨量的减小而增高, 在暴雨强度、暴雨总量、历时、笼罩面积相同的条件下, 激发泥石流的规模将会加大, 对南水北调西线一期工程施工期间的危害会增大。

4 结论

南水北调西线一期工程区达曲流域共分布有 21 条泥石流沟, 其中左岸 13 条, 右岸 8 条。达曲流域泥石流具有规模中等, 危害严重、以冲为主, 冲淤强烈、泥石流固体物质粒径粗、泥石流活动频率较低等特点。该流域泥石流在强烈地震、高强度暴雨和不合理人类活动增多的情况下, 强度会增大, 对南水北调西线一期工程的危害会增大。

参考文献 (References):

- [1] Wu Faquan, Wang Xuechao, Guo Lianjie, et al. Fault activity and its effect on the West Line of Water Diversion Project From South to North of China [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, **23** (8): 1370~1374. [伍法权, 王学潮, 国连杰, 等. 南水北调西线一期工程区断层活动性及其对工程的影响分析 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, **23** (8): 1370~1374.]
- [2] Wang Xuechao, Zhang Hui, Liu Zhenhong, et al. Geological hazards about West Line Project of Water Diversion From upper Yangtze River into Upper Yellow River [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, **26** (3): 297~303. [王学潮, 张辉, 刘振红, 等. 南水北调西线工程地质灾害初步研究 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, **26** (3): 297~303.]
- [3] Zhang Xiangong. Preliminary discussion on geological hazards in Western Route Project for Transferring Water from Southern to Northern China [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2001, **12** (2): 1~6. [张成恭. 南水北调西线工程地质灾害刍议 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2001, **12** (2): 1~6.]
- [4] Ma Dongtao, Cui Peng, Chen Shutao, et al. Geological Hazards in the Project of Water Division from the South to the North via the Western Course, China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, **21** (5): 582~588. [马东涛, 崔鹏, 陈书涛, 等. 南水北调西线工程调水区地质灾害问题 [J]. *山地学报*, 2003, **21** (5): 582~588.]
- [5] County Annals Compiling Committee, Ganzi, Sichuan province. Ganzi County Annals [M]. Chengdu: Science and Technology Publishing Company, Sichuan, 1999. 58~59. [四川省甘孜县志编纂委员会. 甘孜县志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999. 58~59.]

[6] Xie Hong, Zhong Dunlun, Li Yong, *et al.* Features of debris flows in the upper reaches of the Changjiang River [J] . *Resources and Environment in The Yangtze Basin*, 2004, 13 (1): 94~

99. [谢洪, 钟敦伦, 李泳, 等. 长江上游泥石流灾害的特征 [J] . 长江流域资源与环境, 2004, 13 (1): 94~ 99.]

The Debris Flows and Their Development Trend of Daqu Watershed in the West Line of Water Diversion Project from South to North of China

LIU Jinfeng, OU Guoqiang, YOU Yong, LÜ Juan

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, The Chinese Academy of Sciences & Minister of Water Conservancy of China, Chengdu 610041, China*)

Abstract: The west line of water diversion project from south to north of China lies in the northeast edge of the Tibetan plateau and has complex topography, landform, lithology and regional tectonic setting. The debris flows will be great danger because the influence of natural factors and people's activity, especially the large-scale disturbance of project building on mountain surface. This paper detected existing distributing of debris flows in Daqu watershed based on the spot investigation. Daqu watershed distributes 21 debris flows, therein, 13 debris flow in left bank and 8 debris flow in right bank. The characteristic is as follows:

①middle-scale and great damage: There are 5 debris flows with little-scale (debris flow's scale of 100-year return period less than $1 \times 10^4 \text{ m}^3$), 14 debris flows with middle-scale (debris flow's scale of 100-year return period ranging from $1 \times 10^4 \text{ m}^3$ to $1 \times 10^5 \text{ m}^3$) and 2 debris flows with large-scale (debris flow's scale of 100-year return period larger than $1 \times 10^4 \text{ m}^3$). Each scale contributes 23.8%, 66.7% and 9.5% of the total respectively.

②strong impact and deposition: the debris flow with 200‰ channel slope contributes 95.23% of the total amount in Daqu watershed. The debris flow can move quickly along the steep channel. It scours the bed of the channel strongly especially in the concave bank.

③thick material: there are 19 viscous debris flows and 2 turbulent debris flows in Daqu watershed. The rate of large gravel is very high in these debris flows. It shows that these debris flows have large transporting force, bumping force and damage.

④low frequency activity: on the basis of the characteristics, this paper analyses the development trend of debris flows in Daqu watershed. It shows that the intensity of the debris flow will become greater and have larger damage to the West Line of Water Diversion Project From South to North Under the condition of violent earthquake, high-intensity rainstorm and unreasonable human activity.

Key words: the West Line of Water Diversion Project from South to North; Daqu watershed; debris flow; development trend