

杂多县萨呼腾镇乳日贡沟 泥石流发育特征分析

杨玲 田浩 权开兄 师廷霞

(青海省水文地质及地热地质重点实验室(青海省水文地质工程地质环境地质调查院), 西宁 810008)

摘要 在收集大量勘查资料的基础上,对杂多县萨呼腾镇北部山区发育的乳日贡沟泥石流沟的地质环境条件、形成区、流通区、堆积区内的工程地质和水文地质特征进行了较详细的论述。分析论证了乳日贡沟泥石流的成因、类型、规模、活动特征、危害程度及发展趋势。科学地计算了50年一遇的泥石流流量、重度、流速、冲起高度、冲击力和弯道超高等泥石流流体力学特征值,最终提出了“以拦挡+排导并重、生物工程为辅”的综合治理方案,为杂多县萨呼腾镇乳日贡沟泥石流灾害治理提供了重要依据。

关键词 乳日贡沟 泥石流 发育特征
中图分类号 P343.2; **文献标志码** A

萨呼腾镇为杂多县人民政府所在地,是全县政治、经济、文化和交通中心。由于萨呼腾镇地处扎曲狭谷地带,河谷宽度仅有1.5 km,北部为高山区,可利用建设用地相当有限,加之近几年来国家退牧还草政策的实施,大批牧民移居萨呼腾镇周边山前地带,无规划的在沟口、山前修筑宅院,严重地挤占了乳日贡沟泥石流沟的排泄通道,加重了泥石流灾害险情,对分布在沟口下游地带的居民、党政机关、企事业单位、学校、商贸区范围内的人民生命和财产造成严重威胁^[1]。

1 区域地质环境条件

1.1 气象水文

区内降雨集中,强度大,降雨主要集中在6、7、8、9四个月。研究区属扎曲外流水系,流域面积约12 900 km²,流量及水位变幅受季节控制明显,主要接受大气降水、冰雪融水补给,强降雨季节水位突涨、水量猛增,河水奔腾咆哮。区内发育的乳日贡沟泥石流沟为季节性冲沟。

1.2 地形地貌

研究区总体地势北高南低,最高点位于托拉呀,海拔高程5 110 m,最低点位于扎曲阶地,海拔高程4 020 m。研究区由剥蚀构造中高山区和河谷平原区两大地貌类型组成^[2]。

1.3 地层岩性

勘查区内出露的地层有石炭系(C)和第四系(Q)。

1.3.1 石炭系(C)

由石灰岩和板岩组成,构成勘查区北部山体和阶地的基座,在勘查区内呈条带状展布。岩体表部物理风化作用强烈,节理裂隙发育,节理裂隙发育,坡体表部撒落现象较为严重。

1.3.2 第四系(Q)

研究区出露的第四系地层为冲洪积粉土、卵石和泥石流堆积角砾。

1.4 地质构造与区域地壳稳定性

研究区位于滇藏地槽褶皱区中部,地处三江褶皱系的二级构造单元,即杂多—囊谦华力西褶皱带的西南角,区内褶皱、断裂构造较为发育。新构造运动较为强烈,主要为大面积整体间歇性抬升,并伴有继承性、差异性升降运动及水平运动,其特点是受断裂构造控制明显,以大幅度隆起为主,扎曲河谷下切强烈,河谷两岸基座阶地发育,表明近代新构造活动垂直上升强烈。

研究区属青藏高原西南部唐古拉山地震区,区内地震动峰值加速度为0.10 g,相当于地震基本烈度为Ⅶ度。工作区属现代地质构造活动的较稳定区。

1.5 人类工程活动对地质环境的影响

勘查区内人类工程活动较为频繁,主要表现为城镇建设、过度放牧和石料采挖等。区内人类工程活动对地质环境的影响属强烈。

2014年5月11日收到

第一作者简介:杨玲,女,硕士。E-mail:378636741@qq.com。

2 泥石流发育特征

该泥石流沟位于扎曲北岸,流域面积 1.76 km²,主沟长 750 m,沟谷纵坡降 258‰,主沟沟道横断面呈“V”型,两岸山坡坡度 50°,流域相对高差 940 m,沟道两岸堆积大量坡积角砾,平均厚度 5.0 m,下伏石炭系灰岩。

2.1 形成区发育特征

该泥石流沟的形成区海拔高程大于 4 200 m,该区面积约占整个流域面积的 65%,区内植被覆盖较好,达 70%,坡体表部均覆盖牧草,山坡坡度 24°~35°,山顶、山脊局部裸露,无植被覆盖,区内冲沟不发育,沟谷开阔、平坦。

2.2 流通区发育特征

泥石流沟主沟长 750 m,沟道切割深度 1~3 m,宽 1~5 m,沟谷纵坡降 258‰,主沟沟道横断面呈“V”型,两岸山坡坡度 50°。主沟沟道受出山口处的基岩出露阻隔,在该处主沟流向偏移形成一弯道,并发育一跌水陡坎,陡坎高 11 m。

流通区内发育有一段潜在不稳定斜坡 Q₁₋₁,位于泥石流沟下游右岸近沟口处,为岩质斜坡,组成岩性为灰岩,坡长 120 m,坡高 50 m,岩体破碎,节理裂隙发育,密度大,约 10 cm/条,坡面撒落现象严重,坡脚堆积大量松散堆积物(图 1)。

该泥石流的物源来自流通区沟道的底蚀、沟岸的侧蚀、潜在不稳定斜坡坡面撒落的角砾等。其中,沟道两岸堆积的大量坡积角砾,平均厚度 5.0 m,平均宽度约 15.0 m,主沟道长 750 m,计算其固体松散物储量为 5.625 × 10⁴ m³;潜在不稳定斜坡 Q₁₋₁,为岩质斜坡,坡长 120 m,坡高 50 m,岩体破碎,节理裂隙发育,坡面撒落现象严重,坡脚堆积大量松散堆积物,该潜在不稳定斜坡坡面撒落的角砾为泥石流提供了一定量的物源,坡面表面积为 1.2 × 10⁴ m²,按风化剥蚀撒落平均厚度 0.5 m 计算,其固体松散物储量为 0.6 × 10⁴ m³;泥石流沟下游左岸山坡处坡面受流水面蚀作用,坡面裸露,长 250 m,宽 50 m,面积 1 250 m²,表层坡积角砾厚约 0.5 m,计算其固体松散物储量为 625 m³。综上所述,该泥石流沟总的固体松散物储量为 6.29 × 10⁴ m³。

2.3 堆积区发育特征

泥石流堆积区位于扎曲 II 级阶地阶面上,泥石流堆积的角砾超覆于粉土、卵石之上,堆积扇长 200 m,宽 250 m,扇形地完整度达 85%,扇面冲淤变幅 0.5 m,扇面坡度 6°,扇前缘 II 级阶地陡坎处泥石流堆积角砾厚度为 7.7 m,沟口堆积巨石体积为 0.8 × 0.4 × 0.5 m³。扇面上现居民点较为密集,共有居民

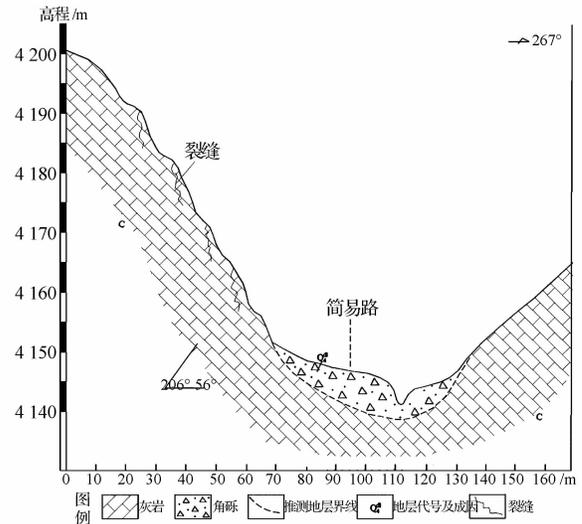


图 1 潜在不稳定斜坡 Q₁₋₁ 剖面示意图

Fig. 1 Potentially unstable slopes Q₁₋₁ section diagram

23 户 145 人,简易公路横贯而过,长 250 m。

据现场调查,该泥石流自出山口处的沟道跌水以下段,沟道较为顺直,地形坡度较大,达到 6°,堆积扇长约 200 m,堆积扇上现有一条简易的人工开挖而成的宽约 4.0 m、深 1.0 m 的排导渠,渠内堆积有前几次泥石流淤积的碎石、角砾,粒径分布在出山口处至扇前缘段,均分布较为均匀,级配较好,据采集的颗粒分析试验成果,粒径大于 40 mm 的块石含量为 16.7%,(20~40) mm 的块石含量为 21%,(2~20) mm 的砾粒含量为 32.7%,小于 2 mm 的砂粒和粘粒含量为 29.6%,d₆₀ = 18.7 mm。

2.4 泥石流的形成条件

2.4.1 地形地貌条件

乳日贡沟属季节性冲沟,主沟道长 750 m,流域面积 1.76 km²,沟谷纵坡降 258‰,主沟沟道横断面呈“V”型,两岸山坡坡度 50°,流域相对高差 940 m,三面环山的地形有利于降水迅速汇集,两岸山坡坡度较陡,使得降水在汇集的过程中便有了一定的势能、动能^[3],沟谷断面呈“V”型,有利于降水的汇集,沟谷纵坡降较大,为汇集的降水携带泥沙快速运移提供了有利的条件。

2.4.2 物源条件

乳日贡沟泥石流的物源主要由三部分组成:沟道两岸堆积的大量坡积角砾、潜在不稳定斜坡坡面撒落的角砾、冻融滑塌的堆积物,该泥石流沟总的固体松散物储量为 6.29 × 10⁴ m³。其中,沟道两岸堆积的大量坡积角砾占固体松散物储量的 89.4%,潜在不稳定斜坡坡面撒落的角砾占固体松散物储量的 9.5%,冻融滑塌的堆积物占固体松散物储量的

1.1%。这些泥石流沟道内及两岸山坡的松散物储量为泥石流灾害的发生提供了丰富的物源条件^[4]。

2.4.3 降水条件

据杂多县气象站统计资料,研究区内多年最大日降雨量平均值 23.8 mm,区内降雨集中,强度大,降雨主要集中在 6、7、8、9 四个月,具备了激发泥石流灾害的降水条件^[5]。

2.5 泥石流类型划分

乳日贡沟泥石流形成的水动力主要为充分的降雨激发作用下形成,其物质来源主要为沟床内的固体松散堆积物,物质组成主要为角砾,目前在沟口的堆积物以角砾为主,含少量粉砂、黏粒,根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》附录划分泥石流的类型,该泥石流沟属稀性沟谷型泥石流。

2.6 泥石流的易发性评价

根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》的量化标准,对乳日贡沟泥石流的发育特征进行综合评分,综合评分结果为 91 分,属易发性泥石流。

2.7 泥石流灾害史

据本次调查、访问,该泥石流沟曾于 2007 年 7 月底暴发泥石流灾害,冲毁房屋 2 户,掩埋过往吉普车 1 辆,冲毁公路 50 m,淤埋公路 200 m,造成交通中断,调查期间仍可见被泥石流冲毁的 2 户房屋残留的院墙及被泥石流堆积角砾掩埋厚度达 1.5 m 的废弃民房 2 间。据计算造成直接经济损失 10.4 万元。

2.8 泥石流活动的危险性分析

2.8.1 危害范围及危险区划分

乳日贡沟泥石流的危害范围主要为堆积扇扇区范围,长 200 m,宽 250 m,危及堆积扇上的居民点、简易公路和 10 kV 输电线路。该堆积扇扇区范围为极危险区(I)^[6]。

2.8.2 泥石流的危害方式

乳日贡沟泥石流的危害对象主要为堆积扇上的居民点、简易公路、10 kV 输电线路,对居民点和 10 kV 输电线路的危害方式主要为冲毁,对简易公路的危害方式主要为冲毁和淤埋。

2.8.3 泥石流的危险性

该泥石流沟道中现有大量的松散堆积物,在暴雨季节仍有暴发泥石流灾害的可能性,暴发的规模取决于降雨强度,现有威胁对象为居民 23 户 145 人,简易公路 250 m,10 kV 输电线路 150 m,计算其潜在经济损失为 49.5 万元,潜在危险性属于中型^[7]。

3 泥石流流体特征

3.1 泥石流的流量

由于野外调查工作未能在乳日贡沟的沟道中调查到位,该泥石流的流量计算采取雨洪法经验公式计算^[8]。

3.1.1 小流域设计洪峰流量 Q_w

$$Q_w = Kai\varphi F。$$

式中, K 为单位换算系数,取 0.1; a 为洪峰径流系数,取 0.9; i 为重现期为 50 年的最大 24 h 暴雨量(mm),取 38.3 mm; φ 为最大共时径流面积系数,取 1.0; F 为流域面积(km^2)。

3.1.2 泥石流的峰值流量 Q_c

$$Q_c = (1 + \varphi)Q_w D_c;$$

$$\varphi = (r_c - r_w)/(r_H - r_c)。$$

式中, D_c 为泥石流堵塞系数,取 2.0; r_H 为泥石流中固体物质比重(t/m^3),取经验值 25.0 kN/m^3 ; r_c 为泥石流重度(kN/m^3),取 15.0 kN/m^3 ; r_w 为清水的重度(kN/m^3),取 10.0 kN/m^3 。

3.1.3 一次泥石流过程总量计算

根据泥石流历时 T (s) (据访问,勘查区内 1998 年 6 月 30 日和 1999 年 6 月 3 日均暴发了泥石流灾害,历时均为 1 h) 和泥石流峰值流量 Q_c ,按泥石流暴涨暴落的特点,将其过程线概化成五角形,按下式计算一次泥石流过程总量 Q ^[9]。

$$Q = 0.264TQ_c = KTQ_c。$$

式中, K 为与流域面积相关的系数; T 为泥石流历时(s),取 3 600 s。

3.1.4 一次泥石流过程固体物质总量计算

$$Q_H = Q(r_c - r_w)/(r_H - r_w)。$$

式中符号意义同前。

3.2 形态调查法

采用形态调查法计算公式^[10]:

$$Q_c = W_c V_c;$$

$$V_c = (15.3/a)H_c^{2/3}I_c^{3/8};$$

$$a = (r_H\varphi + 1)^{1/2};$$

$$\varphi = (r_c - r_w)/(r_H - r_c)。$$

式中, W_c 为泥石流过流断面面积(m^2); V_c 为泥石流平均断面流速(m/s); H_c 为泥石流流体平均深度(m); I_c 为泥石流水力坡度(%); r_H 为泥石流中固体物质比重(kN/m^3),取经验值 25.0 kN/m^3 ; r_c 为泥石流重度(kN/m^3),取 15.0 kN/m^3 ; r_w 为清水的重度(kN/m^3),取 10.0 kN/m^3 。

采取上述雨洪法和形态调查法公式计算的区内各泥石流的流量结果见表 1。

3.3 泥石流的流速

根据形态调查法泥石流流量计算公式和流速计算公式:

表1 勘查区泥石流流量计算结果汇总表

Table 1 Exploration area of debris flow calculation results

沟名	计算方法	$F/$ km ²	$Q_w/$ (m ³ ·s ⁻¹)	D_c	$Q_c/$ (m ³ ·s ⁻¹)	K	$Q/$ (m ³ ·s ⁻¹)	$Q_H/$ (10 ⁴ m ³)	规模
乳日贡沟	雨洪法	1.76	6.07	2.0	18.21	0.202	1.32	0.44	中型

$$Q_c = W_c V_c;$$

$$V_c = (15.3/a) H_c^{2/3} I_c^{3/8}.$$

式中, $a = (r_H \varphi + 1)^{1/2}$; $W_c = B H_c$ 。其中, B 为泥石流沟平均断面宽度(m); V_c 为泥石流平均断面流速(m/s); H_c 为泥石流流体平均深度(m); I_c 为泥石流水力坡度(‰), 一般可用沟床纵坡代替。联合求解勘查区内各泥石流沟的流体平均流速。

勘查区各泥石流流速计算结果见表2。

表2 研究区泥石流流速计算结果统计表

Table 2 Calculation results of debris flow

沟名	$Q_c/$ (m ³ ·s ⁻¹)	B /m	$I_c/$ ‰	$H_c/$ m	$V_c/$ (m·s ⁻¹)
乳日贡沟	4.35	3.0	258	1.0	6.11

3.4 泥石流中石块的运动速度

在缺乏大量实验资料和实测资料的情况下, 以堆积扇的泥石流冲出物最大粒径大体推求石块运动速度的经验公式^[11,12]。

$$V_s = \alpha \sqrt{d_{\max}}.$$

式中, V_s 为泥石流中大石块的移动速度(m/s); d_{\max} 为泥石流堆积物中最大石块的粒径, 换算后取0.67m; α 为全面考虑的摩擦系数(泥石流容重、石块比重、石块形状系数、沟床比降等因素), α 取4.0。

计算结果见表3。

表3 勘查区泥石流中石块的运动速度

计算结果统计表

Table 3 The statistics results table 3 exploration area of debris flow velocity

沟名	α	$d_{\max}/$ m	$V_s/$ (m·s ⁻¹)
乳日贡沟 N_1	4.0	0.67	3.28

3.5 泥石流的冲击力

泥石流冲击力是泥石流防治工程设计的重要参数。分为流体整体冲击力和个别石块的冲击力两种^[13]。

3.5.1 泥石流流体整体冲击力计算公式

采用铁二院(成昆、东川两线)公式。

$$\delta = \left(\gamma \frac{\gamma_c V_c^2 \sin \alpha}{g} \right) \lambda.$$

式中, δ 为泥石流流体整体冲击压力(Pa); g 为重力加速度(m/s²), 取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; α 为建筑物受力面与泥石流冲击力方向的夹角(°); γ 为水的重度, 取 10.0 kN/m^3 ; λ 为建筑物形状系数, 圆形建筑物 $\lambda = 1.0$, 矩形建筑物 $\lambda = 1.33$, 方形建筑物 $\lambda = 1.47$ 。

3.5.2 泥石流流体中大石块的冲击力 F

$$F = r V_c \sin \alpha [W / (C_1 + C_2)]^{1/2}$$

式中, r 为动能折减系数, 对圆形端 r 为0.3; W 为石块重量(kN)。

计算结果见表4。

3.6 泥石流冲起高度

3.6.1 泥石流最大冲起高度 ΔH

$$\Delta H = \frac{V_c^2}{2g}.$$

式中符号意义同前。

3.6.2 泥石流在爬高过程中由于受到沟床阻力的影响, 其爬高 ΔH

$$\Delta H = 0.8 V_c^2 / g.$$

式中符号意义同前。

计算结果见表5。

4 结论

研究区位于杂多县萨呼腾镇北部基岩山区及山前地带, 东起金龙沟东侧分水岭, 西至乳日贡沟西侧分水岭, 北抵各沟沟脑, 南至扎曲。乳日贡沟泥石流流域范围内地质灾害发育强度为弱发育, 该泥石流沟总的固体松散物储量为 $6.29 \times 10^4 \text{ m}^3$, 易发程度等级为易发, 泥石流的峰值流速为 6.11 m/s , 流量为 $18.21 \text{ m}^3/\text{s}$, 规模属中型, 潜在危险性属于中等, 泥石流流体整体冲击力为 75.7 kPa , 单个石块的冲击力为 51.65 kPa 。根据泥石流的危害对象, 结合乳日贡沟泥石流的发育特征, 选取以排导、拦挡并重, 生物措施为辅的综合治理方案。

表4 研究区泥石流流体及大石块冲击(击)力计算结果统计表

Table 4 The study area of debris flow fluid and block stamping (strike) statistics results

沟名	$\gamma/$ (kN·m ⁻³)	$\gamma_c/$ (kN·m ⁻³)	$\alpha/(^\circ)$	λ	r	$C_1 + C_2$	块石体积/ m ³	$W/$ kN	$\delta/$ kPa	$F/$ kPa
乳日贡沟	10.0	15.0	85	1.33	0.3	0.005	$0.8 \times 0.4 \times 0.5$	4.0	75.7	51.65

表 5 勘查区泥石流冲起高度与爬高计算结果统计表
Table 5 Exploration area mud rock flow height
and run-up calculation results

沟名	冲起高度 $\Delta H/m$	爬高 $\Delta H/m$
乳日贡沟 N_1	1.9	3.05

参 考 文 献

- 田 浩,张盛生,白刚刚,等. 青海省杂多县萨呼腾镇泥石流灾害
勘查报告. 2008(内部出版)
Tian Hao, Zhang Shengsheng, *et al.* Qinghai province Heteropolity
county, call the debris flow disaster Tengzhen. Exploration Report,
2008 (internal publication)
- 青海省第二区域地质调查队. 杂多县幅[J-47-(30)] 1:20 万区域
地质调查报告. 1986(内部出版)
Qinghai Province Second Regional Geological Survey Team. Zadoi
county [J-47-(30)] report geological survey 1:20 million region-
al. 1986 (internal publication)
- 刘希林,赵 源,李秀珍,等. 四川德昌县典型泥石流灾害风险评
价. 自然灾害学报,2006;15(1):11—16
Liu Xilin, Zhao Yuan, Li Xiuzhen, *et al.* Disaster risk assessment of
typical debris flows in Dechang county of Sichuan. Journal of Natural
Disasters,2006;15(1):11—16
- 陈宁生,刘中港,谢万银. 四川石棉 2003-08-28 泥石流灾害考
察报告. 山地学报,2003;21(5):639
Chen Ningsheng, Liu Zhonggang, Xie Wanyin. Survey report on au-
gust 28,2003 debris flow in Shimian county, Sichuan province (ab-
stract). Journal of Mountain Science,2003;21(5):639
- 康志成,李焯芬,马嵩乃,等. 中国泥石流研究. 北京:科学出版
社,2004:18—19
Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ainai, *et al.* Research on debris flow
in China. Beijing: Science Press,2004:18—19
- 刘希林,莫多闻. 泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价. 工程地
质学报,2002;10(3):266—273
Liu Xilin, Mo Duowen. Debris flow risk and site-specific debrisflow
risk assessment. Journal of Engineering Geology, 2002; 10 (3):
266—273
- 刘希林,唐 川. 泥石流危险性分析. 北京:科学出版社,1995
Liu Xilin, Tang Chuan. Danger assessment on debris flow. Beijing:
Science Press,1995
- 徐永年,匡尚富,黄永键,等. 泥石流入汇的危险性判别指标. 自
然灾害学报,2002;11(3):33—38
Xu Yongnian, Kuang Shangfu, Huang Yongjiang, *et al.* Hazard deci-
ding indices for convergence of debris flow. Journal of Natural Disas-
ters,2002;11(3):33—38
- 马寅生,张业成,张春山,等. 地质灾害风险评价的理论与方法.
地质力学学报,2004;10(1):7—18
Ma Yinsheng, Zhang Yecheng, Zhang Chunshan, *et al.* The theory
and method of risk evaluation of geological hazards. Journal of Geolog-
ical Mechanics, 2004;10(1):7—18
- 葛文彬,谭炳炎,唐邦兴,等. DZ/T 0220-2006 泥石流灾害防治
工程勘查规范,26—31
Ge Wenbin, Tan Bingyan, Tang Bangxing, *et al.* DZ/T 0220-2006
Specification of geological investigation for debris flow stabilization,
26—31
- 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展. 中国地质灾害与防
治学报,2002;13(4):1—9
Liu Xilin. Chinese Journal of regional debris flow risk assessment of
geological disasters in the. China and control, 2002;13(4):1—9
- 刘希林. 泥石流危险度判定的研究. 灾害学,1988;3(3):
10—15
Liu Xilin. Research on. disasters of debris flow risk decision sci-
ence, 1988;3(3):10—15
- 柳 源. 论地质灾害的基本属性. 中国地质灾害与防治学报,
1999;10(3):15—18
Liu Yuan. The basic properties of. Geological Disasters and Preven-
tion of Geological Disasters Chinese journal, 1999;10(3):15—18

Characteristic Analysis of Debris Flow Development on Rurigong Gully of Zado County Sa Huteng Town

YANG Ling, TIAN Hao, QUAN Kai-xiong, SHI Yan-xia

(Qinghai Province Key Laboratory of Hydrogeological and Geothermal Geology

(Institute of hydrogeology and Engineering Geology Environmental Geological Survey of Qinghai Province), Xining 810008, P. R. China)

[Abstract] Based on a lot of investigation data collected, the debris flow gully geological environmental conditions on Rurigong gully of Zado County Sa Huteng town, forming area, circulation area, accumulation area within the engineering geological and hydrogeological characteristics were discussed in detail. The Rurigong gully debris flow origin, type, size, activity characteristics, damage degree and trend of development are analyzed. The discharge of debris flow, fifty years of severe, flow velocity, drop height, impact and bend superelevation of debris flow fluid mechanical characteristics value, comprehensive treatment plan put forward "to block + drainage, both biological engineering for auxiliary" are scientific calculated. An important basis for the debris flow disaster control for Debris flow of Rurigong gully of Zado County Sa Huteng town is Provided.

[Key words] development characteristics debris flow Rurigong gully