

文章编号: 1000-0585(2002)04-0495-09

西藏帕隆藏布河谷崩塌滑坡、 泥石流的分布规律

蒋忠信

(铁道部第二勘测设计院, 成都 610031)

摘要: 西藏帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流灾害严重。崩塌滑坡、泥石流的分布, 因谷坡坡向的水热条件差异而导致坡向差异, 因地貌发育和形态的沿程分异显现沿程差异, 因其促发条件的差异又显现灾种差异。采用有序样品最优分割和方差分析等定量方法, 揭示了崩塌滑坡、泥石流的差异性分布规律: 全河段可分为上游峡谷泥石流密集段, 中游宽谷泥石流及崩塌滑坡较密集段, 和下游、拉月曲峡谷崩塌滑坡、泥石流极密集段; 北岸崩塌滑坡和泥石流比南岸数量多、规模大; 崩塌滑坡有向下游增大增多之趋势。进而对道路平面选线原则提出了建议。

关键词: 崩塌滑坡; 泥石流; 分布规律; 坡向差异; 沿程分异; 帕隆藏布河谷

中图分类号: P642.2; X43 **文献标识码:** A

1 帕隆藏布河谷泥石流、崩塌滑坡的成因条件

藏东南的帕隆藏布是雅鲁藏布江的一级支流, 居川藏、滇藏交通要道, 川藏公路南线和拟议中的滇藏铁路均从帕隆藏布源头的然乌顺干流而下, 经松宗、波密、通麦, 于迫龙乡逆其支流拉月曲而上至鲁朗。其中然乌至 108 道班段河谷长约 270km, 崩塌滑坡、泥石流众多、规模巨大、危害深重, 成为阻碍川藏公路畅通和制约滇藏铁路建设的一个关键问题, 对此已有专门的研究^[1~3]。

(1) 泥石流。流域内山岭海拔为 5500~6000m, 雪线海拔 4500~5000m, 海洋性冰川、永久性和季节性积雪覆盖较广。强烈的冰川作用和寒冻风化, 剧烈的新构造运动和频繁的地震活动, 加之谷坡高陡, 因而冰碛、冰水沉积、岩屑锥、崩塌、滑坡等松散堆积物极其丰富; 强烈而持久的新构造抬升, 使沟谷切割深、比降大、谷坡陡。在普遍具备形成泥石流的固体物质和地形条件的基础上, 孟加拉湾暖湿气流的入侵带来丰沛的降水, 年降水量为 600~2000mm, 提供了丰富多样的水动力, 使本区成为泥石流尤其是冰川泥石流特别发育的典型地区。全区共统计泥石流沟 125 条 (北岸 80 条, 南岸 45 条), 主要为冰雪融水泥石流, 次为雨水泥石流, 冰湖溃决泥石流仅 1 条。以培龙沟、古乡沟、冬茹弄巴融水泥石流、米堆沟溃决泥石流和加马其美沟雨水泥石流最著名。

(2) 崩塌滑坡。促成帕隆藏布谷坡崩滑的因素主要有: 剧烈的风化剥蚀, 复杂的地质

收稿日期: 2002-01-09; 修订日期: 2002-05-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-306)

作者简介: 蒋忠信 (1941-), 男, 四川广安人, 教授级高工。主要从事地质灾害及其防治工程的研究、设计。

Email: jianghx@sccd.cnuninet.net

构造和脆弱的地质环境,导致坡体破碎;河流深切,谷坡高陡,相对高差达 2000~4000m,坡度为 35°~40°;丰富的雨水、冰雪融水下渗及河流冲刷下切。共发现崩塌、滑坡 63 处,其中拉月大塌方、102 道班滑坡群规模巨大。

此外,帕隆藏布上游北岸的岩屑锥连绵,南岸的雪崩多发,危害也甚大。

对公路所经帕隆藏布北岸崩塌滑坡的分布,中国科学院成都山地灾害与环境研究所进行了系统的调查与研究^[1,2]。本文在此基础上,结合铁道部门对南北两岸的研究资料,采用有序样品最优分割和方差分析等定量方法,进一步揭示崩塌滑坡、泥石流分布的沿程差异、两岸差异和灾种差异规律,为灾害分段防治和沿江道路选线服务。

2 帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流的沿程分布规律

2.1 帕隆藏布河谷地貌的沿程分异

然乌至迫龙乡(81~104 道班)属帕隆藏布干流,据河谷地貌可分为以下 3 个河段(图 1)。

(1) 下游段(98 道班以下):深陡峡谷段,横断面呈 V 型。至河口共长 90km,纵剖面近直线形,平均纵坡 11‰。因作为其侵蚀基准的雅鲁藏布江大拐弯段裂点溯源后退^[4,5],本段开始了新的侵蚀旋回进程。

(2) 中上游段(98~82 道班):长 157km,高差 1350m,纵剖面为下凹曲线形,平均纵坡 8.6‰。由于下游段的新侵蚀旋回尚未传递到中上游段,故仍处于前一侵蚀旋回中的均衡调整阶段。其河流纵坡向上游变大,河谷变窄,谷坡渐陡,河谷地貌类型向上游依次为:网状河宽谷(98~94 道班)、阶地宽谷(94~90 道班)、宽狭相间节状谷(90~86)和 V 型峡谷(86~82)。

(3) 源头段(安目错):安目错为冰川湖,长 11km,直至然乌镇,湖宽约 1km,呈宽谷状。

此外,104~108 道班路段位于帕隆藏布支流拉月曲下游峡谷段,纵比降更大,谷坡更陡,峡谷更典型。

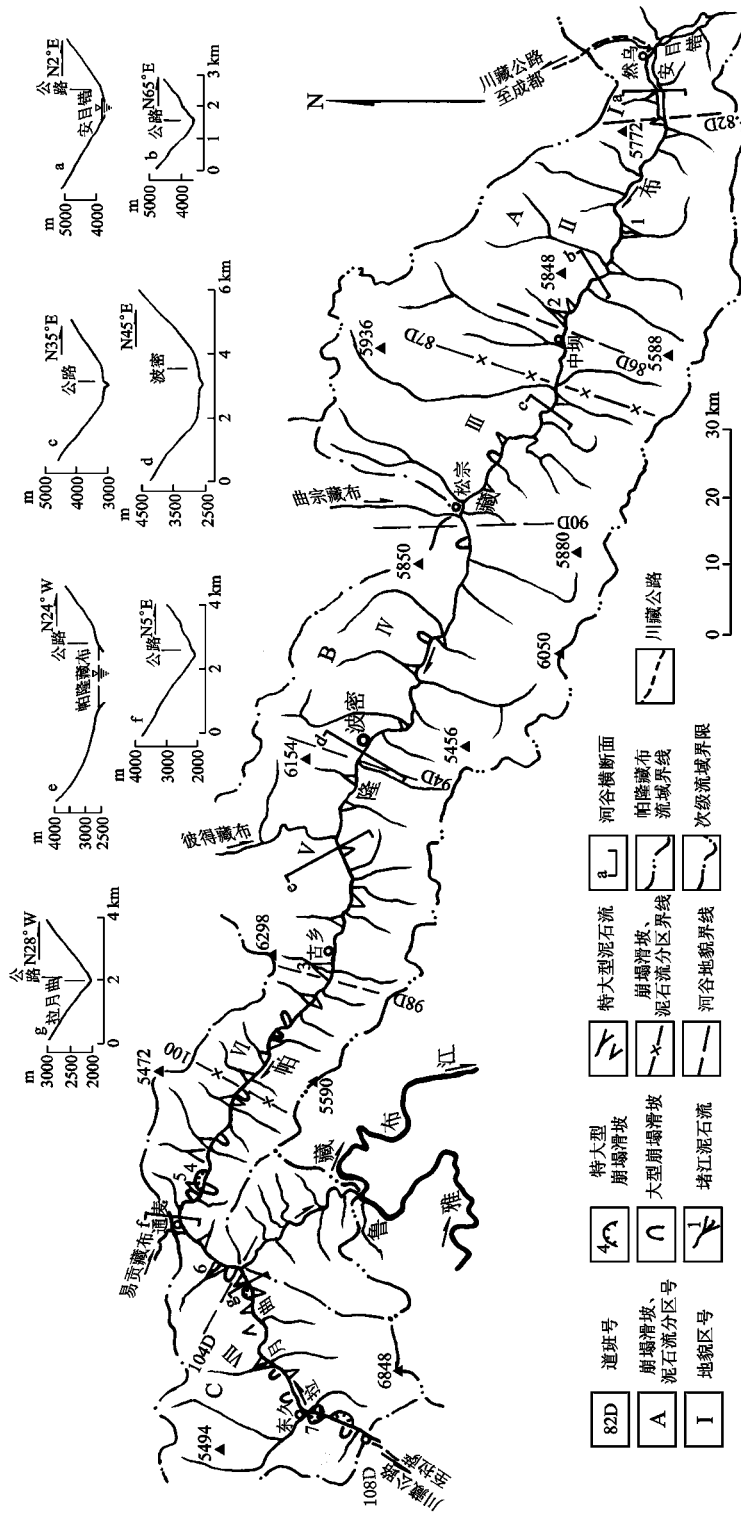
崩塌滑坡和泥石流的沿程分布规律可通过有序样品的最优分割法加以揭示。崩塌滑坡、泥石流以道班区间为单位的空间分布序列是一个有序样品序列,采用有序样品最优分割方法可将该序列按空间顺序划分为若干个河段,使各个河段内的灾害分布差异的总和达到最小,从而反映灾害分布的沿程差异。同一河段内各道班区间之间的灾害分布差异用距离系数 D 来刻画:

$$D = \sum \sum [x_{ab} - x_b(ij)]^2, (a=1, \dots, i; b=1, \dots, j)$$

式中, a 为道班区间, b 为灾种, $x_b(ij) = \sum x_{ab} / (j-i+1)$ 。具体计算方法见文献[6]。以下按两岸合计和只计北岸两类资料、崩塌滑坡和泥石流两个灾种所组合而成的 6 个序列进行最优分割。

2.2 两岸合计的崩塌滑坡、泥石流空间分布序列的最优分割

灾点数据据铁道部专业设计院 2000 年所编 1:50000 遥感地质图,如表 1。对全程(81~108 道班)共 27 个道班区间,分仅计崩塌滑坡灾点数和仅计泥石流灾点数两个一元序列,以及同时考虑崩塌滑坡灾点数、泥石流灾点数的二元序列进行最优分割,结果如表 2 之上列。



A—上游峡谷泥石流、雪崩、岩屑锥密集段；B—中游宽谷泥石流及崩塌滑坡较密集段；C—下游、拉月曲峡谷崩塌滑坡、泥石流极密集段。
 I—源头冰湖段；II—上游峡谷段；III—阶地宽谷段；IV—阶地河段；V—网状河段；VI—下游峡谷段；VII—拉月曲峡谷段。1—米堆沟溃决泥石流；2—冬茹弄巴融水泥石流；3—古乡沟融水泥石流；4—102滑坡群；5—加马其美沟雨水泥石流；6—培龙沟融水泥石流；7—拉月大塌方。

图1 帕隆藏布(川藏公路路段)崩塌滑坡、泥石流分布与区划略图

Fig.1 Sketch map of distribution and block of collapse2landslide, debris flows along Palong Zangbu river

表 1 帕隆藏布两岸崩塌滑坡与泥石流灾点数 (以后一道班号代表与前一道班间的约 10km 河段)

Tab. 1 Number of collapse—landslide and debris flow on south and north banks of Polongzangbu river

| 河段 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 小计 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 小计 | 101 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 小计 | 合计 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 滑 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 11 | 5 | 6 | 2 | 1 | 2 | 5 | 8 | 6 | 35 | 49 |
| 1 泥 | 3 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0 | 11 | 0 | 4 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 2 | 30 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 4 | 30 | 71 |
| 1 和 | 3 | 1 | 2 | 1 | 5 | 2 | 14 | 0 | 6 | 1 | 5 | 4 | 5 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 41 | 7 | 10 | 7 | 6 | 7 | 9 | 9 | 10 | 65 | 120 |
| 2 滑 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 12 | 14 |
| 2 泥 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 5 | 6 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 | 2 | 0 | 26 | 3 | 1 | 0 | 4 | 3 | 1 | 2 | 0 | 14 | 45 |
| 2 和 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 6 | 6 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 4 | 4 | 2 | 1 | 27 | 8 | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 5 | 26 | 59 |
| 滑 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 12 | 10 | 6 | 3 | 1 | 2 | 5 | 9 | 11 | 47 | 63 |
| 泥 | 4 | 2 | 2 | 3 | 5 | 0 | 16 | 6 | 4 | 2 | 6 | 5 | 4 | 2 | 6 | 2 | 6 | 8 | 3 | 2 | 56 | 5 | 5 | 5 | 9 | 8 | 5 | 3 | 4 | 44 | 116 |
| 和 | 4 | 2 | 3 | 3 | 5 | 3 | 20 | 6 | 6 | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | 7 | 2 | 6 | 8 | 6 | 5 | 68 | 15 | 11 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 15 | 91 | 179 |

注：1—北岸，2—南岸，滑—崩塌、滑坡，泥—泥石流，1—北岸滑+泥，2—南岸滑+泥，和—两岸滑+泥。

可见，崩塌滑坡与泥石流两灾种序列的分割点、分段数及密集性都不一样，沿程分布的差异也大。崩塌滑坡集中于下游及拉月曲两峡谷段，中上游段较少；泥石流沟数则按拉月曲峡谷段、帕隆藏布下游峡谷段、中游宽谷和宽狭相间谷段、上游峡谷段的顺序减少。综合崩塌滑坡与泥石流的两岸分布，下游和拉月曲两峡谷段极多，中游宽谷和宽狭相间谷段多，上游峡谷段较多。

表 2 崩塌滑坡、泥石流空间分布序列的最优分割结果

Tab. 2 Results of the best cut apart for distribution succession of collapse-landslide and debris flows along the valley

| 序列 | 最佳分割点 ¹⁾ | 采用分割点 | 河段划分及灾点数 (处或权%/10km) ²⁾ 和密集性 ³⁾ |
|----------------------|------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 崩塌滑坡 | 100, 106, 102 | 100 | 82—100 (0.84, 稍密集); 101—108 (5.9, 极密集) |
| 两岸 泥石流 | 87, 86, 103, 106 | 87, 103 | 82—87 (2.7, 较密集); 88—103 (4.4, 密集); 104—108 (5.8, 极密集) |
| 合计 崩滑流 ⁴⁾ | 100, 106, 103, 87 | 100, 87 | 82—87 (3.3, 较密集); 88—100 (5.2, 密集); 101—108 (11.4, 极密集) |
| 崩塌滑坡 | 102, 98, 100, 106, 104 | 102, 98 | 82—98 (1.4, 稍密集); 99—102 (4.7, 密集); 103—107 (11.7, 极密集) |
| 只计 泥石流 | 103, 86, 90 | 103, 86, 90 | 82—86 (5.2, 极密集); 87—90 (1.0, 稍密集); 91—103 (3.7, 密集); 104—107 (5.6, 极密集) |
| 北岸 崩滑流 | 102, 86, 106, 104, 98 | 102, 86, 98 | 82—86 (5.7, 较密集); 87—98 (4.6, 较密集); 99—102 (8.3, 密集); 103—107 (16.8, 极密集) |

注：1) 分割点的重要性由左向右降低；2) 两岸时为处数，北岸时为权重%；3) 密集性分级是相对的；4) 崩滑的权重为处数的 2 倍。

2.3 北岸崩塌滑坡、泥石流空间分布序列的最优分割

表 1 遥感数据尚缺灾体规模，且可能漏判、错判，中国科学院成都山地灾害与环境研

究所通过实地调查绘制的《川藏公路西藏境内山地灾害分布图》(1:15万)划分了灾体规模(表3),以此进行最优分割更为客观。但又限于公路所经的北岸,故应与两岸遥感数据的分割结果互为补充。对北岸81~107道班河段崩塌滑坡、泥石流,规模按等比级数赋权,再换算成权重百分比,其只计崩塌滑坡灾点数和只计泥石流灾点数的两个一元序列以及同时考虑崩塌滑坡、泥石流的二元序列的最优分割结果列于表2之下列。

表3 帕隆藏布北岸崩塌滑坡与泥石流灾点数(以与前一道班间的河段计)

Tab. 3 Number of collapse-landslide and debris flows on the north bank of Palong Zangbu river

| 灾种 | 规模 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 合计 | 权 | Σ权 |
|----------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 崩塌 滑坡 | 特大 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 12 |
| | 大 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 8 | 2 | 16 | |
| | 中小 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 20 | 1 | 20 |
| | 合计 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 4 | 1 | 0 | 3 | 2 | 1 | 3 | 6 | 31 | | 48 |
| 泥石流 | 堵河 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 8 | 40 |
| | 特大 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 18 | 4 | 72 |
| | 大中 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 2 | 36 | 2 | 72 |
| | 小+潜在 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 21 | 1 | 21 |
| | 合计 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 0 | 2 | 2 | 0 | 6 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 80 | | 205 |

可见,与两岸合计相似,北岸崩塌滑坡与泥石流两灾种序列的分割点、分段数及密集性也不一样,沿程分布差异亦大。北岸崩塌滑坡极密集或密集于下游及拉月曲的峡谷段,中上游段分布较少;泥石流在上游峡谷段和拉月曲峡谷极密集,下游峡谷段和中游宽谷段密集,上游宽狭相间谷段较少。综合崩塌滑坡、泥石流在北岸的分布,下游峡谷段和拉月曲峡谷极密集至密集,其余河段较密集。

2.4 崩塌滑坡、泥石流沿程分布规律与分区

综合两岸遥感资料和北岸调研资料的最优分割结果,帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流沿程分布有以下规律:

(1) 崩塌滑坡在帕隆藏布下游峡谷段及其支流拉月曲峡谷极密集,帕隆藏布中上游段稍密集,有从帕隆藏布下游向上游递减,逐渐让位于冰雪寒冻灾害之趋势。

(2) 泥石流在拉月曲峡谷段极密集,帕隆藏布上、下游两峡谷段密集,然后按网状河段、宽谷段、节状谷段的顺序递减,有沟口海拔2300m以上的中上游融水泥石流居多、以下雨水泥石流居多的趋势。

综合各种山地灾害的沿程分布,可将帕隆藏布路段分为以下山地灾害河段:

(1) 上游峡谷段(81~87道班):以泥石流、雪崩、岩屑锥为主,属灾种多、灾害密集河段。

(2) 中游网状河、宽谷、节状谷段(87~100道班):属泥石流及崩塌滑坡较密集河段,以泥石流为主,具有规模大但密度较疏的特点。按这3个河段的顺序有灾点递减之趋势。

(3) 下游和拉月曲两峡谷段(100~108道班):属崩塌滑坡、泥石流极密集河段,规模巨大。加马其美沟、培龙沟泥石流和102道班滑坡群、拉月大塌方都在本河段。

上述定量分析的结果与对北岸的研究结论^[1,2]基本一致,可作为两岸山地灾害分段防治的依据。

3 帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流分布的坡向差异规律

3.1 山地灾害分布的坡向差异原理

已有研究表明^[7],在地质地理条件类似的情况下,阳坡比阴坡的日照时间长,太阳辐射强,气温高,日较差大,蒸发强烈,湿度低。这种水热条件的坡向差异导致植被、水文、土壤、地形等自然地理要素的规律性分异,从而使滑坡、泥石流的分布呈现出坡向差异规律。近于东西流向的帕隆藏布,北岸谷坡为阳坡,南岸谷坡为阴坡,两岸的岩性、构造、降水、气温等条件相似^[2],而自然地理要素的坡向分异较明显。北岸与南岸相比,寒冻风化更强烈,雪线、积雪较高,地形较陡,植被较疏,土层较薄,松散固体物质最丰富,地表径流与冰雪融水较多。因此崩塌滑坡、泥石流在北岸比南岸数量多、规模大。

3.2 崩塌滑坡、泥石流分布的坡向差异的单因子方差分析

采用同精度的两岸遥感地质资料(表1),对全程的崩塌滑坡、泥石流处数按南、北两岸分别进行单因子方差分析。灾点数的总波动 $S_{总}$ 和回归平方和 $S_{回}$ 分别为:

$$S_{总} = \sum \sum (Y_{ij} - Y)^2 = S_{回} + S_{误}; S_{回} = 27 \sum (Y_j - Y)^2$$

式中, i 为道班区间数 ($i=1, \dots, 27$), j 为南、北岸 ($j=1, 2$); Y_{ij} 为南、北岸每一道班区间的灾点数; Y 为 Y_{ij} 的平均值, Y_j 为南、北岸各道班区间灾点数的平均值。得

$$F = [S_{回} / (2-1)] / [S_{误} / [27 \times 2 - 1 - (2-1)]] = 52 \times S_{回} / S_{误}$$

F 遵从自由度为 $[2-1, 2 \times (27-1)]$ 的 $F_{2-1, 2 \times (27-1)}$ 一分布。

单因子方差分析结果如表4。可见,崩塌滑坡、泥石流在两岸的分布都有较显著的差异性,保证率均为95%;崩塌滑坡加泥石流在两岸的分布则有很显著的差异性,保证率达到99.5%。

表4 崩塌滑坡、泥石流坡向分异的单因子方差分析表

Tab. 4 Results of the single factor variance analysis for distribution difference of collapse-landslide and debris flows with aspect of slope

| 变差来源 | 崩塌滑坡 | | | 泥石流 | | | 崩塌滑坡+泥石流 | | |
|------|--------------------------------------|-------------|------------|--------------------------------------|------------|------------|------------------------------------------|------------|------------|
| | 回归 $S_{回}$ | 剩余 $S_{误}$ | 总计 $S_{总}$ | 回归 $S_{回}$ | 剩余 $S_{误}$ | 总计 $S_{总}$ | 回归 $S_{回}$ | 剩余 $S_{误}$ | 总计 $S_{总}$ |
| 平方和 | 22.69 | 179.45 | 202.14 | 12.52 | 136.29 | 148.81 | 68.90 | 324.75 | 393.65 |
| 自由度 | 2-1=1 | 2×(27-1)=52 | 52+1=53 | 1 | 52 | 53 | 1 | 52 | 53 |
| F | 6.58* (>F _{0.051,52} =4.03) | | | 4.78* (>F _{0.051,52} =4.03) | | | 11.03*** (>F _{0.0051,52} =8.59) | | |

3.3 崩塌滑坡、泥石流分布同时考虑灾种差异、坡向差异的双因子方差分析

对全程和分3个河段(82~87、88~100、101~108道班区间),同时考虑崩塌滑坡、泥石流处数的灾种差异(A)、两岸差异(B)进行双因子方差分析,则灾点数的总波动:

$$S_{总} = \sum \sum \sum (Y_{ijk} - Y)^2 = S_A + S_B + S_{A \times B} + S_{误}$$

式中, i 为道班区间数 ($i=1, \dots, m$), j 为灾种数 ($j=1, 2$), k 为南、北岸 ($k=1, 2$); Y_{ijk} 为南、北岸各灾种每道班区间的灾点数; Y 为 Y_{ijk} 的平均值。令 $Y_{.j.}$ 为某灾种

每道班区间两岸合计灾点数的平均值 ($j=1, 2$), $Y_{..k}$ 为南、北岸每道班区间两灾种合计灾点数的平均值 ($k=1, 2$), $Y_{.jk}$ 为各道班区间灾点总数的平均值, 则灾种、岸向的回归平方和 S_A 、 S_B 以及剩余平方和 $S_{\text{误}}$ 分别为:

$$S_A = 2m \sum (Y_{.j.} - Y)^2; S_B = 2m \sum (Y_{..k} - Y)^2; S_{\text{误}} = \sum \sum \sum (Y_{ijk} - Y_{.jk})^2$$

$$F_{A\text{或}B} = [S_{A\text{或}B} / (2-1)] / [S_{\text{总}} / [2 \times 2 (m-1)]]$$

F 遵从自由度为 $[2-1, 2 \times 2 (m-1)]$ 的 $F_{2-1, 2 \times 2 (m-1)}$ 一分布。

双因子方差分析结果如表 5。可见: 对全程, 崩塌滑坡与泥石流两灾种分布的差异性显著, 保证率达 99%; 南、北岸灾点分布的差异性很显著, 保证率达 99.5%。分河段计, 在 82~87 河段, 两灾种分布的差异性稍显著, 保证率仅 90%; 南、北岸灾点分布的差异性微显著, 保证率仅 75%。在 88~100 河段, 两灾种分布的差异性极显著, 保证率达 99.9%; 两岸灾点分布的差异性微显著, 保证率仅 75%。在 101~108 河段, 两灾种分布的差异性不显著; 两岸灾点分布的差异显著, 保证率达 99%。

表 5 崩塌滑坡、泥石流的灾种差异、坡向分异的双因子方差分析表

Tab. 5 Results of the double factor variance analysis for distribution difference of collapse-landslide and debris flow with aspect of slop and type of disaster

| | 全程(82~108) | | | | | 82~87 河段 | | | | | 88~100 河段 | | | | | 101~108 河段 | | | | |
|-----|-----------------------------------------|-------|------------------|----------------|----------------|------------------------------------|-------|------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-------|------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-------|------------------|----------------|----------------|
| | S_A | S_B | $S_{A \times B}$ | $S_{\text{误}}$ | $S_{\text{总}}$ | S_A | S_B | $S_{A \times B}$ | $S_{\text{误}}$ | $S_{\text{总}}$ | S_A | S_B | $S_{A \times B}$ | $S_{\text{误}}$ | $S_{\text{总}}$ | S_A | S_B | $S_{A \times B}$ | $S_{\text{误}}$ | $S_{\text{总}}$ |
| 平方和 | 26.0 | 34.45 | 0.75 | 317.1 | 378.3 | 6.00 | 2.67 | 0.67 | 24.00 | 33.33 | 37.2 | 3.77 | 0.69 | 79.4 | 121.1 | 0.28 | 47.5 | 1.75 | 106.7 | 156.2 |
| 自由度 | 1 | 1 | 1 | 104 | 107 | 1 | 1 | 1 | 20 | 23 | 1 | 1 | 1 | 48 | 51 | 1 | 1 | 1 | 28 | 31 |
| F | 7.15** (> $F_{0.01, 1, 104} = 6.87$) | | | | | 3.60* (> $F_{0.11, 20} = 2.97$) | | | | | 14.8**** (> $F_{0.001, 48} = 12.3$) | | | | | 0.05 | | | | |
| | 9.47*** (> $F_{0.005, 1, 104} = 8.21$) | | | | | 1.60 (> $F_{0.25, 1, 20} = 1.40$) | | | | | 1.49 (> $F_{0.25, 1, 48} = 1.36$) | | | | | 8.52** (> $F_{0.01, 1, 28} = 7.64$) | | | | |

3.4 崩塌滑坡、泥石流的坡向分异规律

综合单因子和双因子的方差分析结果, 得出帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流的下述坡向分异规律:

(1) 崩塌滑坡、泥石流在北岸比南岸数量多, 规模大, 灾害重。著名灾点除米堆沟外均在北岸。

(2) 分河段计, 崩塌滑坡、泥石流分布的坡向差异如表 6, 各河段的北岸均比南岸分布密集。

表 6 帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流的分布规律

Tab. 6 Distribution regularity of disasters of the collapse-landslide and debris flows along Palong Zangbu valley

| 岸别 | 崩塌滑坡频数与密集性 | | 泥石流频数与密集性 | | | 崩塌滑坡+泥石流频数与密集性 | | |
|----|------------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| | 81~100 | 100~108 | 81~87 | 87~103 | 103~108 | 81~87 | 87~100 | 100~108 |
| 北岸 | 0.74 稍密集 | 4.40 极密集 | 3.50 密集 | 2.63 密集 | 4.20 极密集 | 4.00 密集 | 3.46 密集 | 8.00 极密集 |
| 南岸 | 0.11 不密集 | 1.50 较密集 | 0.83 稍密集 | 1.88 较密集 | 2.00 较密集 | 1.00 稍密集 | 2.08 较密集 | 3.25 密集 |

注: 频数为每 10km 的灾点数。两岸崩塌滑坡、南岸泥石流处数据表 1, 北岸泥石流处数据表 3。

4 结论

(1) 独特的地质地理环境造就了帕隆藏布河谷泥石流、崩塌滑坡等山地灾害的典型性和严重性, 主要山地灾害类型按危害性由大到小为: 泥石流、崩塌滑坡、雪崩、岩屑锥。

(2) 帕隆藏布河谷崩塌滑坡、泥石流的分布, 因谷坡坡向的水热条件差异导致自然地理要素的差异, 显现一定的坡向差异; 因地貌发育和形态的沿程分异, 又显现沿程差异规律; 由于促发条件不尽相同, 二者的分布又显现差异性。结合进藏公路、铁路山地灾害防治研究, 本文采用有序样品最优分割和方差分析等定量方法, 揭示了山地灾害分布的这些差异性规律。

(3) 综合坡向差异、沿程差异和灾种差异, 得出帕隆藏布崩塌滑坡、泥石流的分布规律为:

1) 全河段可分为上游峡谷密集段、中游宽谷较密集段和下游、拉月曲峡谷极密集段。

2) 北岸崩塌滑坡和泥石流比南岸数量多、规模大、灾情重。崩塌滑坡有向下游增大增多之趋势, 泥石流有按下游峡谷段、上游峡谷段、中游宽谷段顺序减少的趋势。

(4) 据上, 对帕隆藏布河谷铁路、公路的平面选线原则宜为: 分段制宜, 跨河避灾。分段建议为:

1) 上游峡谷泥石流、雪崩、岩屑锥密集河段(81~87道班), 虽北岸的泥石流、岩屑锥较南岸普遍, 但考虑到南岸雪崩的突发性和毁灭性, 线路仍以走北岸为妥。

2) 中游网状河、宽谷、节状谷泥石流崩塌滑坡较密集河段(87~100道班), 以泥石流为主, 北岸泥石流比南岸发育, 但可利用的阶地比南岸多, 城镇也多在北岸, 因此线路可不拘泥于一岸, 宜以多次跨河来充分利用两岸的阶地, 并绕避北岸古乡沟泥石流等巨大灾点。

3) 下游和拉月曲峡谷崩塌滑坡、泥石流灾害极密集河段(100~108道班), 北岸灾害比南岸密集、严重, 线路总体上应沿南岸行进, 但遇到大的灾点时仍可绕避到北岸。

参考文献:

- [1] 朱平一, 冯清华, 陈瑞, 等. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策. 北京: 科学出版社, 1995. 179~252.
- [2] 朱平一, 何子文, 汪阳春, 等. 川藏公路典型山地灾害研究. 成都: 成都科技大学出版社, 1999. 35~51.
- [3] 吕儒仁, 唐邦兴, 朱平一. 西藏泥石流与环境. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.
- [4] 杨逸畴. 雅鲁藏布江大拐弯峡谷的地貌特征和成因. 地理研究, 1982, 1(1): 40~48.
- [5] 杨逸畴. 雅鲁藏布大峡谷河床瀑布的发现及其特征和成因. 地理研究, 1999, 18(4): 342~348.
- [6] 蒋忠信. 气候序列的最优分割与暴雨的灾变预测. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 89~97.
- [7] 蒋忠信. 云南滑坡分布的坡向性浅析. 国际滑坡与岩土工程学术会议论文集. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991.

Differential distribution regularity of collapse-landslides and debris flows along Palong Zangbu River Valley in Tibet

JIANG Zhong-xin

(The No. 2 Survey and Design Institute of MOR, Chengdu 610031, China)

Abstract: Collapse-landslides and debris flows are main types of mountain disasters in Palong Zangbu river valley of Tibet. These disasters are large in scale and serious in harmfulness to the valley. Differences of hydro-thermal conditions related to aspect of valley slope lead to differences distribution of the collapse-landslide and debris flows. Differences of the geomorphologic evolution and morphologic processes of the valley lead to distribution differences of the disasters along the river. Differences of growth conditions between collapse-landslides and debris flows lead to distribution differences of the two types of disasters. For control of mountain disasters and site selection of highways and railways along the river, distribution regularities of the collapse-landslides and debris flows with the above-mentioned differences are identified, by quantitative methods including orderly sample optimum cutting method and the variance analysis, method. These regularities are: (1) the whole river section (from Ranwu to Lulang) can be divided into: a) upstream gorge section with concentrated distribution of debris flows, avalanches and debris cones; b) midstream broad valley section with more concentrated distribution of debris flows and collapse-landslides; and c) downstream gorge section and the tributary of Layue with extremely concentrated distribution of debris flows and collapse-landslides. (2) Quantities and scales of collapse-landslides and debris flows on the northern slope surpass those on the southern slope of the river valley. (3) The collapses and landslides have an increase tendency towards downstream and the debris flows have a decrease tendency in order of the downstream gorge section, the upstream gorge section and the midstream broad valley section. Further, some suggestions on site selection principle of road plane are advanced.

Key words: collapse-landslide; debris flow; distribution regularity; difference with aspect of slope; difference along river; Palong Zangbu river valley