

意大利的泥石流研究*

刘希林

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

马奇 L 特卡 PR

(意大利国家研究院帕多瓦水文地质灾害防治研究所 帕多瓦 35127)

提 要 泥石流是意大利山区(尤其是境内阿尔卑斯山区)的一种主要山地灾害。从水力学和地貌学角度,综述了意大利的泥石流研究现状和进展,简介了一些有广阔前景的泥石流研究方法,如泥石流仪器监测法和泥石流起动过程的地质技术分析法。另外概述了三个有代表性地点的泥石流研究实例。

关键词 意大利 阿尔卑斯山区 泥石流 山地灾害 冲积扇

意大利为南欧的一个半岛国家,面积约 30 万(km)²,其 75%为山区,南北长1 200km,东西宽 900km。地势起伏较大,且各地差异明显。阿尔卑斯山脉(Alps,意大利北部)山峰海拔 2 700—4 800;亚平宁山脉(Apenines,意大利中部和南部)山峰海拔多为 2 000—2 800m。境内波河(Po River)最长(632km),东西向横穿意大利北部,流域面积 7 万(km)²,年均径流 660mm,最大流量 1 万m³/s。其他主要河流有北部的阿迪杰河[Adige River,长 400km,流域面积 14 700(km)²],中部的阿尔诺河和特韦雷河[Arno River, Tevere River 长分别为 245km 和 396km,流域面积分别为 8 250(km)²和 17 150(km)²](图 1)。

阿尔卑斯山脉由非洲和欧洲两大陆块碰撞、挤压而成。上白垩纪到现在的这种地壳挤压运动,自始新世以来使结晶基底向北逆冲数百公里成为推覆体,并被沉积复合物覆盖(碳酸盐岩、泥灰岩和砂岩)。基岩遭强烈区域变质和花岗岩入侵。渐新世—中新世的连续挤压,形成亚

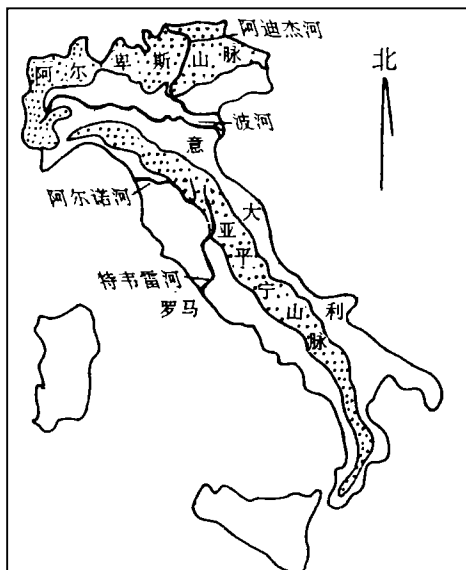


图 1 意大利

Fig. 1 Italy

* 本文系第一作者在意大利博洛尼亚(Bologna)大学作高级访问学者时,与意大利国家研究院帕多瓦水文地质灾害防治研究所[Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Ricerca la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI) in Padova, Italia 35127]的学者合著。原图由 CNR-IRPI in Padova, Italia 的费尔蒙(Fermon F)与佩鲁佐(Peruzzo G)清绘,照片由 CNR-IRPI in Padova, Italia 提供,在此一并深表谢忱。

本文收稿日期:1995-06-19。

平宁山脉的沉积推覆体,复理层发育。意大利大部分地区地震活跃。

意大利的中部、南部和岛屿以地中海气候为特征(夏季温暖干旱);北部亦受地中海气候影响,但降水充沛。山区复杂的地形导致了局地降水分异相当明显。年最大降水量(3 000mm)出现在亚平宁山区东北坡的山前地带,年最小降水量(<600mm)出现在意大利南部;意大利北部某些地区(如阿尔卑斯山区内的一些沟谷)的降水量也较少。

在阿尔卑斯山区西部和中部,至今存在着山谷冰川,而东部的冰川主要保存在内陆(阿迪杰河上游),且仅为小规模的冰斗冰川。

泥石流是意大利山区(尤其是阿尔卑斯山区)的一种频发而又严重的山地灾害。饱含泥沙石块的粘性泥石流沿着沟谷和山坡作快速运动,破坏力极大,威胁山区居民生命安全,造成严重的经济损失。

意大利山区有如下突出的灾难性泥石流事件(图2):1)贡德尔沟(Gonder Torrent),一场约50万m³的泥石流摧毁了位于下游的20余栋民房,致死39人(1891-08-17—18)^[1];2)蒂纳沟(Tina Torrent),一场约50万m³的泥石流淤埋了丘萨(Chiusa)村的大部分,造成严重经济损失(1921-08-09)^[2];3)基耶佩纳沟(Chieppena Torrent),一次区域性洪水中的一场大型泥石流淤埋了斯特里尼奥(Strigno)村的大部分(1966-11-04,照片1)^{1),[3]}。

另有因费尔诺沟(Inferno Torrent),流域面积0.2(km)²,一场75万—100万m³的泥石流发生于阿尔卑斯山区西部,毁坏了数栋民房(1983-05)^[4]。

1 泥石流研究现状

1.1 泥石流分布的研究

意大利泥石流大多源于滑坡或大量水体注入松散碎屑物而发生流动;水体通常是局地高强度暴雨或快速融冰雪水。泥石流一般出现于流域面积10—20(km)²的沟谷内(沟谷型泥石流),或以不断变化的流路出现于某处山坡上(山坡型泥石流)。在阿尔卑斯山区和亚平宁山区中部,两类泥石流都有发生。在碳酸盐岩地区,碎屑物通常由基质支撑的砾石和卵石组成,大的漂砾也可能存在。在广泛出露的复理层地区,碎屑物主要由细颗粒组成,产生泥流。在意大利,泥石流可发生在具有陡峻山坡和丰富松散固体物质的任何山区。

1.2 泥石流研究机构

意大利泥石流的破坏性日趋严重,并与人类不合理经济活动密切相关,近年来泥石流研究已引起了有关山区流域管理的科技人员和有关当局越来越浓厚的兴趣。

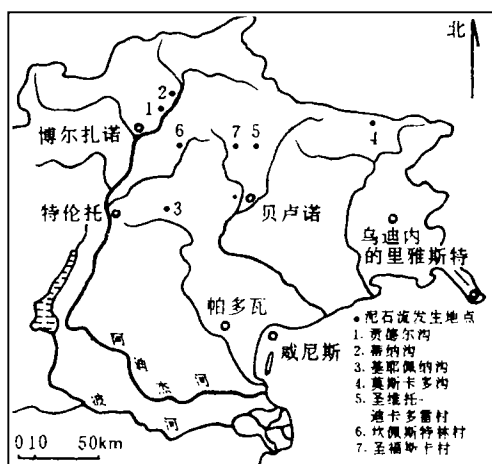


图2 意大利东北部灾难性泥石流发生地点

Fig. 2 Mentioned field sites of debris flow in Northeast Italy

1)本文照片见刊末图版1。

在泥石流研究的机构中,意大利国家研究院所属的四个水文地质灾害防治研究所较为突出,它们是专门从事环境保护和水文地质灾害防治的国家研究所,主要从事洪水、滑坡和泥石流灾害调查、监测和基础理论研究。此外特伦托(Trento)大学水力工程系、佛罗伦萨(Firenze)大学地球科学系、博洛尼亚大学地质系和罗马(Rome)大学地质系等也在开展泥石流研究工作。

1.3 泥石流的水力学研究

在泥石流机理和防治方面作过一些工作^[5]。特伦托大学开展了泥石流物理模型的实验研究,包括相似理论、泥石流对建筑物的冲击力和高效谷坊等的研究^[6-8]。佛罗伦萨大学在实验槽内进行了由水和角状碎屑混合物的流深、流速和容重的实验研究^[9]。有的学者研制了一种可作球状和不规则状小颗粒实验用的流变仪^[10]。

基于一维稳定流中的动力波理论,有学者提出了一种描述泥石流阵流运动过程的水力学模型^[11-13]。该模型以开放渠中水流的最初运动关系式为基础,加以推导和简化,得出了可描述泥石流阵流运动波的传播、演变过程和距离预报的一系列公式,用美国华盛顿州圣海伦斯山马迪(Muddy)河和美国犹他州下鲁德(Lower Rudd)峡谷观测到的几次泥石流资料进行验证,结果较为理想。

1.4 泥石流的地貌学研究

泥石流地貌学研究文献主要出现在有关阿尔卑斯山区洪水的报告中^[14-16]。它们描述了泥石流发生地点的地质地貌背景,论述了泥石流堆积物的地貌特征,记载了泥石流危害和灾情损失。通过野外调查,结合流域和冲积扇形态测量方面的分析,更好地认识了阿尔卑斯山区泥石流活动特点^[17,18]。

涉及到城镇居民点的泥石流更有详细记载。对 159 次泥石流资料所作的统计分析,得出了下列结论^[17]:1)66%的泥石流发生在 7—9 月;2)泥石流沟大多位于大陆性降水类型区,即最大降雨量出现在夏季,最小降水量(主要为降雪)出现在冬季。这在阿尔卑斯山内陆区最为典型。

对 40 年来 67 次较严重的泥石流灾害的统计分析结果表明,泥石流活动具有下列特征^[19]:1)85%的泥石流流域面积为 0.5—13.0(km)²;2)55%的沟道平均坡度为 11°—22°,37%的达到 35°;3)45%的触发机理为沟谷源头的浅层滑坡,43%的为谷坊和自然坝溃决;4)42%的泥石流发生在同一流域,平均发生周期 $\geq 50a$,6%的发生周期 5—15a,其余在过去 40 年内至少发生过一次泥石流。

相对来说,泥石流沟谷的判别更为重要,因为泥石流发生周期在阿尔卑斯山区一般很长,以致泥石流沟谷常常不易察觉而容易酿成突发事件。

在意大利北部冲积扇上流动类型的鉴别关系到灾害类型的划分,并以形态测量方法结合野外考察作了研究^[20]。采用在加拿大落基(Rocky)山区提出的方法^[21],将 52 个冲积扇样本分为三类:泥石流扇、混合扇和河成扇。在混合扇中,床移质输移、高含沙水流和泥石流均可发生,但泥石流发生频率极低,三种类型在扇面坡度-流域坡度图上可以明显地区分开来,从而为辨别冲积扇类型提供了一种图示方法。判别结果与历史资料的吻合,表明这种方法的可行性。

在亚平宁山区中部的泥石流调查中,主要从历史资料、降雨特征和沟道演变方面研究泥石流^[22]。一位学者研究了意大利南部两个泥石流流域的地貌特征^[23],并分析了泥石流的发生原因。他认为,除了构造和岩石因素外,人类活动如毁林、耕地废弃等,通过改变地下水文模式,也是导致泥石流发生的重要原因。

1.5 泥石流的研究前景

泥石流机理在其他国家已有过许多研究^[24-26]。意大利在这方面的研究非常有限。博洛尼亚大学最近的一项关于泥石流起动机理的研究,探讨了泥石流起动时土体的机械行为,分析了土体颗粒剪切阻力变化与初始密度、土体崩塌潜力的关系^[27],为泥石流起动的研究提供了新的启示。

泥石流资料(如流速、流量、流态、泥深等)对泥石流研究具有重要意义。意大利与其他欧洲国家一样,这类资料相当缺乏。在同一流域,泥石流发生频率通常很低,从而严重限制了设置观测仪器的可能性。在两次泥石流之间平均2—5a的间歇期,在阿尔卑斯山区已是相当短了,尽管如此,仍难以收集到所需的资料。因此观测仪器只能选设在发生频率较高、而岩相、地貌和土地利用方面却较少有代表性的泥石流沟内。

在意大利东部阿尔卑斯山区的一条高频率(每年至少发生1—2次)泥石流沟——莫斯卡多沟[Rio Moscardo,长3.05km,流域面积4.1(km)²,流域海拔800—2043m],意大利国家研究院都灵(Torino)水文地质灾害防治研究所安装了一套泥石流监测装置^[19]。通过超声波探头测距,记录泥石流流动过程。目前的观测段(长300m,平均纵坡10.2%)位于冲积扇的中部,安装有两个超声波探头和一个数据自动记录仪。根据两个断面泥石流通过的时间差,即可估计出平均流速(图3)。通过资料分析,可绘出泥石流流量过程线,并确定侵蚀和堆积的不同阶段。降雨资料也做了记录。在初期运行中,记录到的泥石流流速1—10m/s,最大估计流量88m³/s^[28]。

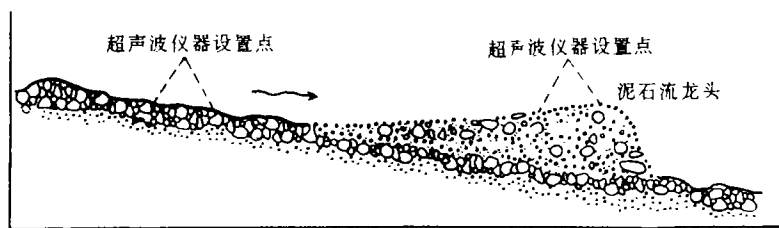


图3 泥石流观测装置(设在莫斯卡多沟内)

Fig. 3 Debris flow recording system (in Rio Moscardo)

2 泥石流研究实例

2.1 圣维托-迪卡多雷(San Vito di Cadore)村附近的山坡型泥石流

在意大利阿尔卑斯山区,泥石流频繁活动于陡崖下的白云岩碎屑山坡。一处典型场所位于圣维托-迪卡多雷村附近的博伊泰河(Boite River)。左坡发育有临时性沟谷,并有一国道从山麓通过。泥石流通常发源于陡崖下的碎屑堆积,松散固体物质储量丰富(照片2)。降雨期间,地表径流集中于狭窄的碎屑沟道中,冲刷碎屑物质而形成泥石流。泥石流

沿山坡流程 1 000—1 500m,在坡脚处生成典型的堆积物,并淤埋国道(照片 3)。这种山坡型泥石流严重威胁着村镇居民点的安全,如 1960-02 一次大型岩崩,山坡上部有 80 万—100 万m³的岩堆(图 4),成为泥石流固体物质的补给源。后来的两次泥石流(1966,1972 年)都造成了危害,采取的补救措施是修建人工渠道,主要用于疏导泥石流,至非居民区^[29]。

2.2 坎佩斯特林(Campestrin)村附近的多纳沟(Rio Dona)沟谷型泥石流

坎佩斯特林村位于多纳沟[流域面积 2.86(km)²]的冲积扇上。多纳沟 1989-07-09 在一场暴雨激发下发生了泥石流,规模约为 1.5 万m³^[30]。泥石流造成了严重的财产损失,大量的泥沙淤埋了扇上部的几栋民房(照片 4),远处的几栋民房则受到了洪水的袭击。泥石流堆积物的组构粗糙,包括砾径数米的漂砾、很细的碎屑和树木的残枝断干。泥石流扇上部的堆积物较粗,在阻塞淤埋了一条国道的几段后,细粒物质到达了阿维西奥河(Avisio River)。泥石流过后扇下部的草丛上保留了很好的洪痕。采用沉积区划分方法^[31],划分出三个灾害区(图 5):1)直接冲击区,泥石流冲击危害大,固体物质含有大的漂砾;2)间接冲击区,泥石流冲击危害较小,但大量泥沙石块能造成大面积淤埋危害;3)扇边缘和细粒物质区主要为洪水区。

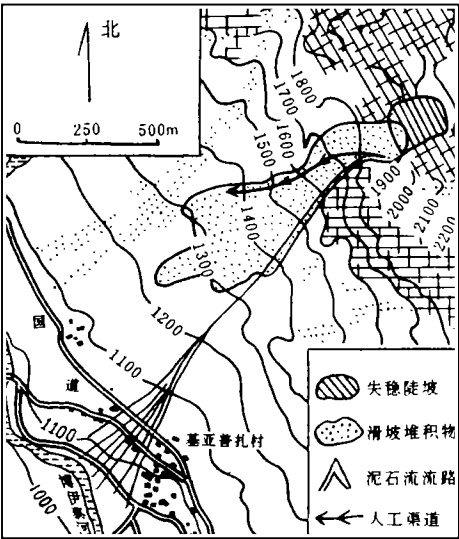


图 4 基亚普扎(Chiapuzza)村附近白云岩岩堆处的泥石流沟道

Fig. 4 Debris flow tracks on dolomitic screes near the hamlet Chiapuzza (redrawn from sief,1982)

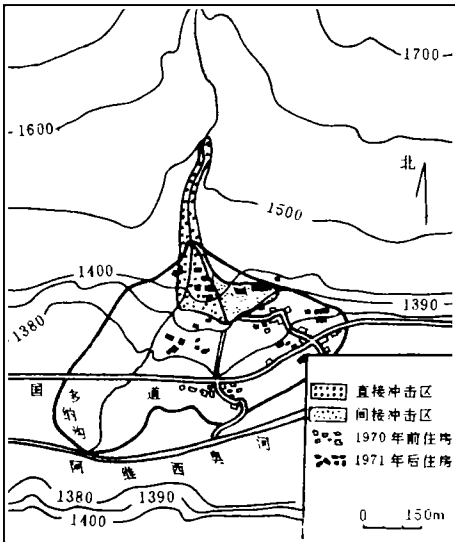


图 5 多纳沟冲积扇,坎佩斯特林村在发展

Fig. 5 Alluvial fan of the Rio Dona, Showing urban development of the Campestrin Village

由图 5 可见,多纳沟冲积扇上居民点近 30 年的发展恰好均位于泥石流直接冲击区内,这可能是由于泥石流的发生周期很长而使泥石流灾害不易察觉之故。在此种情况下,工程防治是必要的。但如能事先按灾害划区的要求,禁止在直接冲击区内建造民房,这要比在扇上方建一座拦沙坝节省更多的费用。

2.3 贾瓦兹沟(Rio Giavaz)和贾乌塞尔沟(Rio Glausel)的泥石流

1978年一场局地暴雨引起强烈的地表径流,水流沿沟道切割圣福斯卡(San Fosca)村上部的白云岩碎屑,岩石底部的侵蚀引起了数千立方米的岩崩。岩崩冲击碎屑物形成泥石流,并进入贾瓦兹沟和贾乌塞尔沟(照片5)。泥石流给圣福斯卡村造成了严重的财产损失,一条国道交通被中断。此后泥石流只发生在贾瓦兹沟,如1981年的一次泥石流扫荡了4座谷坊,并再次淤埋了国道^[32]。从航片和野外调查以及历史资料来看,村庄大都位于贾乌塞尔沟泥石流灾害危险区。

参 考 文 献

- [1] Eisebacher G H, Clague J J. Destructive mass movements in high mountains, hazard and management. In: Geology Survey of Canada, Paper 84-16. Ottawa, Canadian Government Publishing Centre, 1984. 1—230.
- [2] Baselli G. La catastrofe di Chiusa d'Isarco e le opere di riparazione e di prevenzione eseguite. *Giornale del Genio Civile*, 1923, 61: 619—634.
- [3] Venzo G A, Largaiolli T. Il bacino del Chieppena (Trentino)—Stratigrafia-Tettonica-Geomorfologia e Idrologia—Fenomeni Frattosi. *Memorie del Museo Tridentino di Scienze Naturali*, 1968, 17(2): 1—103.
- [4] Mortara G. Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino. In: CNR-GNDCI, Rapporto 1992/93, 1994. 287—302.
- [5] Seminara G, Tubino M. Debris flow: meccanica, controllo e previsione. In: CNR-GNDCI, Rapporto 1990. 1—220.
- [6] Armanini A. Physical modelling of debris flow. In: International Symposium on Debris Flow and Flood Disaster Protection, Emeishan City, China, 1991. 1—8.
- [7] Armanini A, Dellagiacoma F, Ferrari L. From the check dam to development of functional check dams. In: Fluvial hydraulics of mountain regions. Lecture Notes in Earth Sciences, 37. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 331—334.
- [8] Armanini A, Scotton P. Experimental analysis on the dynamic impact of a debris flow on structures. In: International Symposium INTERPRAEVENT, Band 6. Bern, Switzerland: Tagungspublication, 1992. 107—116.
- [9] Tubino M, Lanzoni S. Rheology of debris flows: experimental observations and modelling problems. *Excerpta*, 1993, 7: 201—236.
- [10] Lamberti A, Schipha L. Preliminary experimental results on the rheology of debris-flows. In: International Workshop on Floods and Inundations related to large Earth Movements. Trento, Italy, 1994. A10. 1—A10. 15.
- [11] Arattano M, Savage W Z. A comparison between two kinematic wave solutions for movement of debris flows. In: Shen H W, Su S T, Wen F eds. Hydraulic Engineering 1993, 2. ASCE, 1993. 1592—1597.
- [12] Arattano M, Savage W Z. Application of kinematic wave theory to a debris flow at Lower Rudd Canyon, Farmington, Utah. In: Novosad S, Wagner P eds. Landslides. Rotterdam, Balkema, 1993. 123—130.
- [13] Arattano M, Savage W Z. Modelling debris flows as kinematic waves. *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 1994, 49: 3—13.
- [14] Mortara G, Sorzana P F, Villi V. L'evento alluvionale del 6 agosto 1985 nella valle del Fiume Isarco tra Fortezza ed il passo del Brennero (Alto Adige). *Memorie di Scienze Geologiche*, 1986, 38: 427—457.
- [15] Arattano M, Deganutti A, Godone F et al. L'evento di piena del 23—24 settembre 1990 nel bacino del Fella (Alpi Giulie). *Bollettino dell'Associazione Mineraria Subalpina*, 1991, 28(4): 627—763.
- [16] Marchi L, Pasuto A, Silvano S et al. Nota su alcuni eventi alluvionali verificatisi durante il 1989 nell'Italia Nord-orientale. *Bollettino dell'Associazione Mineraria Subalpina*, 1990, 27(1—2): 205—228.
- [17] Govi M. L'assetto geomorfologico nella valutazione dei rischi connessi ad eventi idrologici estremi. In: Seminario su: La pianificazione di bacino. Genova, Italia, 1979. 5—38.
- [18] Govi M, Mortara G, Sorzana P F. Crues et crises torrentielles avec des conséquences humaines graves ou catastrophiques dans les Alpes Italiennes. In: 25th International Congress Geography "Les Alpes", Paris, France, 1984. 31—39.
- [19] Govi M, Marchi L, Mortara G et al. Ricerche sulle colate detritiche torrentizie (debris flow) in ambiente alpino. In: CNR-GNDCI, Rapporto 1990/91, 1992. 405—420.
- [20] Marchi L, Pasuto A, Tecca P R. Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 1993, 37(4): 447—458.
- [21] Jackson L E, Kostaschuck R A, MacDonald G M. Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains. *Review in Engineering Geology*, 1987, 7: 115—124.

- [22] Guzzetti F, Cardinali M. Debris-flow phenomena in the Central Apennines of Italy. *Terra Nova*, 1991, 3: 619—627.
- [23] Alexander D. On the causes of landslides; human activities, perception, and natural processes. *Environmental Geology and Water Sciences*, 1992, 20(3): 165—179.
- [24] Takahashi T. Evaluation of the factors relevant to the initiation of debris flow. In: *Proceedings of International Symposium on Landslides*, 3. New Delhi, India, 1980. 136—140.
- [25] Sassa K. The mechanism starting liquefied landslides and debris flows. In: *4th International Symposium on Landslides*, 2. Toronto, Canada, 1984. 349—354.
- [26] Ellen S D, Fleming R W. Mobilization of debris flows from soil slips, San Francisco Bay region, California. *Review in Engineering Geology*, 1987, 7: 31—40.
- [27] Genevois R, Marchi L, Tecca P R. Influence of mechanical behaviour of soils in debris flow initiation. In: *20th IUFRO World Congress—SI. 04, Technical Session on Natural Disasters in Mountainous Area*. Tampere, Finland, 1995. 15—26.
- [28] Arattano M, Deganutti A, Mortara G *et al.* Five years of debris flow monitoring in an instrumented basin: Rio Moscardo (Eastern Italian Alps). In: *European Geophysical Society, 19th General Assembly*, Grenoble, France, 1994. Poster Session.
- [29] Sief L. Sistemazione della frana di Chiapuzza. In: *Esperienze di difesa del suolo e di sistemazione idraulico-forestale nel Veneto*. Venezia, Regione Veneto-Dipartimento Foreste, 1982. 11—14.
- [30] Provincia Autonoma di Trento. *Per una Difesa del Territorio*. Trento, 1991. 1—237.
- [31] Hungr O, Morgan G C, Van Dine D F *et al.* Debris flow defenses in British Columbia. *Review in Engineering Geology*, 1987, 7: 201—222.
- [32] Marchi L, Pasuto A, Silvano S *et al.* Studi su fenomeni di debris flow in ambiente alpino. *Quaderni di Idronomia Montana*, 1992, 11/12: 205—218.

STUDY ON DEBRIS FLOWS IN ITALY

Liu Xilin

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

Marchi L Tecca P R

(*CNR-IRPI Padova, Italy 35127*)

Abstract

Debris flow is a sort of main mountain hazard from the mountainous region in Italy (especially in Mt. Alps within boundaries). The situation and advance of debris flow study in Italy were summarized from the aspects of hydraulics and geomorphology, as well as some study methods of debris flow, which will be of vast vistas were introduced, such as debris flow meter monitoring method and debris flow geotechnical method in the starting process. In addition, 3 debris flow study cases with representative positions were dealt with.

Key words Italy, Mt. Alps, debris flow, mountain hazard, alluvial fan