

文章编号: 1000 - 6524 (2001) 03 - 0313 - 05

火山碎屑岩分类评述及 火山沉积学研究展望

孙善平¹, 刘永顺², 钟 蓉³, 白志达¹,
李家振¹, 魏海泉⁴, 朱勤文¹

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 首都师范大学地理系, 北京 100037; 3. 中国地质科学院地质力学所, 北京 100081; 4. 中国地震局地质所, 北京 100029)

摘 要: 火山碎屑岩是介于熔岩和沉积岩之间的过渡类型岩石, 岩类复杂。长期以来, 火山碎屑岩的分类研究受到了国内外学者的重视, 先后提出了火山碎屑物、火山碎屑岩岩性和火山碎屑岩成因分类。虽然目前国际地科联火成岩分类命名委员会确定的火山碎屑物和火山碎屑岩岩性分类已得到广泛推广, 但此分类尚有不足之处。中国学者提出的火山碎屑岩分类时间较早, 有自己特色, 在一定的范围得到了应用。在此基础上, 本文提出了新的火山碎屑物、火山碎屑岩岩性和火山碎屑岩成因分类。火山沉积作用是介于火山学和沉积学之间的边缘研究领域。近 20 年来, 火山沉积作用研究在理论和方法上得到了深化, 火山喷发和沉积的物理作用及实验和数值模拟已经成为未来发展的趋势。尽管这样, 野外地质和火山碎屑岩的岩性特征, 仍是火山碎屑岩成因研究的基础。

关键词: 火山碎屑岩成因分类; 火山沉积作用; 火山喷发物理

中图分类号: P588.21⁺1; P512.2

文献标识码: A

火山碎屑岩是介于熔岩和沉积岩之间的过渡类型岩石, 呈现一系列过渡种属。近 20 年来随着火山学和沉积学的快速发展, 火山碎屑岩的分类研究趋向成熟, 成因研究得到了深化, 逐渐向火山沉积作用和火山喷发物理作用方向发展。尽管这样, 野外地质和火山碎屑岩的岩性特征, 仍是火山学和火山沉积学研究的基础。

1 岩性分类趋向成熟和统一

国内第一个火山碎屑岩岩性分类表, 是 1959 年孙善平和王小明根据火山碎屑岩的过渡性特征和粒度提出的。之后, 经过多年火山岩发育区的野外地质调查工作, 结合广大地质工作者的意见, 1962 年孙善平和王小明在此基础上又提出了一个比较成熟的分类表, 曾在中国地质学会 32 届年会上宣读, 引起了与会学者的重视。1987 年, 孙善平等又提出了一个相对比较完善的岩性分类表^[1], 目前该分类表已在国内逐步推广和使用。

收稿日期: 2001 - 08 - 06; 修订日期: 2001 - 08 - 10

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(49802006)

作者简介: 孙善平(1932 -), 男, 教授, 长期从事火山地质学和火山岩石学研究。

孙善平, 王小明. 火成碎屑岩. 见: 池际尚主编. 岩浆岩岩石学. 北京地质学院出版, 1959.

孙善平. 关于火山碎屑岩成因特征及分类命名问题. 见: 庆祝校庆十周年第八届科学研究报告讨论会论文摘要(岩石部分). 北京地质学院, 1962, 22 ~ 27.

国际上正式发表的火山碎屑岩分类表不下数十个之多,特别是80年代初国际地科联火成岩分类命名委员会委托瑞士地质学家 R. Schmid 拟定了一个火山碎屑物和火山碎屑岩分类表^[2]。此分类表是在征求世界上多位地质学家和岩石学家的意见之后修订而成的,可是由于一些众所周知的原因,没有征求中国学者的意见。该分类表优点是:比较简明扼要,考虑到了火山碎屑岩的过渡性,粒度采用2进制 ϕ 值,与沉积碎屑岩相似;缺点是:忽略了火山碎屑岩向熔岩过渡的类型,没有列入熔结碎屑岩类,有些明显为外生成因的岩石类型也列入分类表中,显然是不适当的。

孙善平等1987年的分类表也存在一些缺点,例如粒度采用2进位和10进位双轨,是不必要的,应与国际接轨用2进位 ϕ 值,有利于制图。另外,层状火山碎屑岩可不列入分类表内,命名时可以加上词冠。

总之,一个分类表不可能面面俱到,允许求大同存小异,命名上反映区域性特点,但最好不要另列新名词和新译名,这不利于交流,容易引起不必要的混乱。例如 ignimbrite,原意为火雨岩,此词由 Marshall P 于1932~1935年在新西兰北岛陶波火山和火山岩发育区发现并命名^[3],过去定名为流纹岩的许多岩石实际上都是酸性的火山碎屑岩,部分已经熔结。1959年赵宗溥于浙江寿昌在国内首先发现此类岩石,称作熔灰岩^[4],之后孙善平等于1962年在北京延庆小张家口的北方中生代火山岩中也发现了此类岩石,长期以来一直称作熔结凝灰岩,直到90年代才发现 ignimbrite 一词含义比较广,包括熔结和非熔结两种,并非是 welded tuff 同义词,而后者译作熔结凝灰岩才是合适的。后来有人把 ignimbrite 音译为伊格尼姆岩,但此译名也不合适,因 ignimbrite 也有固结和非固结的情况,同时音译也容易引起混乱,非固结的称作“岩”显然不合适。根据它的形成特点类似于 pyroclastic flow deposits,是否可作为同义词有待研究,建议暂译为火山碎屑流堆积。又如译名“次火山、次火山岩”,英文原文为“subvolcano, subvolcanic rocks”。“sub”有两层意思,即次、亚、半等,还有“在……之下”的意思,如 subway(地铁)、submarine(潜水艇),所以张炳熹20多年前就建议译为地下或潜,即潜火山、潜火山岩。

2 成因分类逐步充实完善

关于成因分类也是近20年来逐步发展起来的。早在1962年笔者第一次提出一个成因分类表,指导思想是按离火山口的远近分为火山口相、近火山口相和远火山口相,每一个相又分为陆成亚相和水成亚相。国外学者 Fisher 和 Schmincke 对火山碎屑岩做了详细阐述^[5]。他们虽然没有明确提出一个火山碎屑岩成因分类表,但迄今为止,对于主要的火山碎屑岩成因类型描述最为详尽,至今尚有重要参考价值。Cas 和 Wright 进一步详述了各种火山碎屑岩成因类型以及熔岩不同地质成因堆积特征,收集了大量火山碎屑岩堆积的柱状剖面图,补充了前人研究的不足^[6]。

Sparks 早在70年代就提出了火山碎屑流堆积模式,不久为中国学者采用,纳入沉积岩石学教材中^[7]。随着80、90年代火山学和沉积学的快速发展,Sparks 等发表了不少这方面的著作,特别是90年代中,出版了一本《火山喷发柱》专著,系统总结了火山喷发柱的形成和塌落,对火山碎屑岩成因类型和火山沉积作用的研究达到了一个新的高度^[8]。

80年代初,刘宝珪等分别提出火山碎屑岩成因类型分类系统,但主要是从沉积学角度出发^[9]。孙善平等于1987年在《国内外火山碎屑岩分类命名历史及现状》一文最后部分,从火山学和沉积学角度提出了一个比较完善的分类系统,包括近地表隐爆、陆上和水下各种不同成因类型的火山碎屑岩^[1]。关于近地表隐爆火山碎屑岩类,是笔者首次提出的。1996年第30届国际地质大会上,孙善平等提交了一篇论文《火山碎屑岩成因类型》,用中英文版分别发表^[10]。近年来笔者收集了各方面的反映意见,最近又提出一个修订后的火山碎屑物、火山碎屑岩及火山碎屑岩成因分类方案,供大家指正(见表1、2、3)。同时考虑离火山口远近,分出火山口(火山颈)相、近火山口相和远火山口相。

孙善平,王小明. 燕山西段侏罗纪凝灰岩类岩石成因类型及岩性特征. 见:中国地质学会编. 第一届矿物、岩石、地球化学专业学术会议论文选集(岩石部分), 1964, 477~492.

表 1 火山碎屑物分类表

Table 1 Classification of pyroclasts

粒度	同源			异源
	塑性	半塑性	刚性	异源刚性
> 64 mm	浆屑、塑变岩屑	火山弹	火山岩块	异源火山岩块
64 mm ~ 2 mm	浆屑、塑变岩屑	火山砾	火山角砾	异源火山角砾
2 mm ~ 2 ⁻⁷ mm	塑变玻屑	火山灰	火山砂	异源火山砂
< 2 ⁻⁷ mm	火山尘	火山尘	火山尘	火山尘

表 2 火山碎屑岩分类表

Table 2 Classification of pyroclastic rocks

类	碎屑熔岩类	正常火山碎屑岩类		火山—沉积岩类		粒度 (ϕ 值标准)
亚类		熔结火山碎屑岩亚类	普通火山碎屑岩亚类	沉积火山碎屑岩亚类	火山碎屑沉积岩亚类	
火山碎屑含量	10 % ~ 90 %	占绝对优势 > 90 %		占多数 90 % ~ 50 %	占少数 50 % ~ 10 %	
成岩作用方式	熔浆胶结	熔结状	以压紧胶结为主,也有部分为火山灰分解物	化学沉积物及粘土物质胶结		
结构构造特征	火山碎屑一般不定向	具有明显的假流纹构造	层状构造一般不明显	一般成层构造明显		
基本名称	集块级	集块熔岩	熔结集块岩	集块岩	沉集块岩	凝灰质砾岩 (或角砾岩)
	角砾级	角砾熔岩	熔结角砾岩	火山角砾岩	沉火山角砾岩	
	凝灰级	凝灰熔岩	熔结凝灰岩	凝灰岩	沉凝灰岩	凝灰质砂岩 凝灰质粉砂岩 凝灰质泥岩 凝灰质化学岩

此表是在文献[1]的基础上修改而成的。

3 火山沉积学研究的发展及展望

火山学是一门古老又年轻的学科,它主要研究以内营力为主的与火山活动有关的物质过程。火山是地球表面惟一能窥视地球内部的窗口,为此,国际地科联成立了火山学及地球内部化学学会,现任主席就是著名的英国火山学家 S. Sparks 教授。沉积学主要研究在外营力作用下形成的各种沉积物、搬运堆积和成岩成矿的过程。火山沉积学则是介于这两门学科之间的一门新兴的边缘学科,火山碎屑岩石学是介于岩浆岩石学和沉积岩石学之间的边缘分支学科,同时它又是火山沉积学的重要组成部分。

火山沉积学的研究范围是十分广泛的,包括火山沉积物(包括各种火山碎屑物、火山喷气和流动的熔岩流)的起源、运移、再搬运和随后不同程度的改造,着重研究与火山沉积作用有关的火山沉积矿床,指导减轻如垮塌、崩落、火山碎屑流、火山泥石流、降落火山碎屑堆积物所引起的灾害,并关注与火山沉积作用有关的构造问题,如弧后盆地和板块边缘的地质过程^[5~8]。近几十年来,在越来越多过去认为无火山事件的地层和现代沉积中发现了火山沉积事件,火山沉积作用成为不可忽视的重要地质作用^[11~17]。

火山碎屑的沉积作用涉及岩浆的生成、运移储集、结晶过程、喷发破碎、碎屑堆积和沉降、冷凝固结等物理过程。近 10 年来,由于流体力学和热流理论的渗入及沉积学方法与岩浆过程的结合,火山碎屑岩石学的研究取得了较大进展,主要表现在:火山碎屑物形成机制的深入,火山喷发柱及火山碎屑流的形成机

理,水下火山喷发的机理、碎屑堆积和浊流过程,火山爆炸岩管的形成与蒸气喷发,数值和实验模拟火山喷发过程和堆积过程等^[5~8,18~21]。

表 3 火山碎屑岩成因分类表

Table 3 Petrogenetic classification of pyroclastic rocks

近地表隐爆 (包括潜火山相和火山管道相)	岩浆隐爆: 1) 隐爆震碎火山碎屑岩亚类 2) 隐爆岩浆胶结火山碎屑岩亚类 3) 隐爆熔结火山碎屑岩亚类
	蒸汽隐爆: 4) 蒸汽隐爆火山碎屑岩亚类
陆上	1) 流动自碎火山碎屑堆积亚类 2) 降落火山碎屑堆积亚类 3) 降落熔结火山碎屑堆积亚类 4) 火山碎屑流堆积亚类 5) 涌浪火山碎屑堆积亚类 6) 火山泥石流堆积亚类 7) 蒸汽喷发火山碎屑堆积亚类 8) 冰川和冰水火山碎屑堆积亚类
水下	1) 淬碎火山碎屑堆积亚类 2) 水下降落火山碎屑堆积亚类 3) 火山浊流火山碎屑堆积亚类 4) 水下火山碎屑流堆积亚类 5) 混积火山碎屑堆积亚类

此表是在文献[10]的基础上修改而成的。

2000 年 7 月在印度尼西亚巴厘岛召开了 2000 年火山学及地球内部化学国际大会,其中有关火山沉积物部分论文摘要共有 21 篇,涉及领域很广,包括火山泥石流、火山碎屑流形成机制及其灾害,季风导致的火山灰扩散对全球气候的影响,前喷发沉积的地表特征所产生的火山碎屑密度流的变化,地表和水下火山碎屑崩落特征的对比,从火山成因沉积物推断喷发序列和岩浆房的情况,印度尼西亚 1883 年克拉卡托火山喷发产生的海啸的沉积,哥伦比亚河玄武岩极浅水下的内成的淬碎玻璃岩等。这些文章主要涉及区域性的实例,缺乏综合性的评述^[22]。

目前,在全球的火山学、火山沉积学、矿床学、储油地质学等研究领域中,都离不开对火山碎屑岩的深入探索,因此,详细区分火山碎屑物和正常沉积物显得尤其重要。火山碎屑物飘得很远,堆积快,比较稳定,具有等时性,现已形成一门分支学科——火山灰年代学^[5]。详细研究火山碎屑降落堆积、火山碎屑流和火山泥石流堆积对减灾防灾也具有重要意义。随着发展,火山碎屑岩石学和火山沉积学将愈来愈会受到国内外地学工作者的重视。

致 谢 文中主要内容曾经路凤香教授、游振东教授审阅并提出宝贵意见,在此表示感谢。

参考文献:

[1] 孙善平,李家振,朱勤文,等. 国内外火山碎屑岩的分类命名历史及现状[J]. 地球科学, 1987, 12(6): 571~577.
[2] Schmid R. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments. Recommendation of IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks[J]. Geology, 1981, 9 (5): 41~43.
[3] Marshall P. Acid rocks of Taupo - Rotorua volcanic district[J]. Transactions of Royal Society of New Zealand, 1932, 64, 323~366.
[4] 赵宗溥. 关于浙西中生代火山沉积岩系及火山岩类[A]. 全国地层会议学术报告汇编(浙西地层现场会议)[C]. 科

学出版社, 1963, 83 ~ 88.

- [5] Fisher R V, Schmincke H-U. Pyroclastic rocks[M]. Berlin: Springer-Verlag. 1984.
- [6] Cas R A, Wright J V. Volcanic successions modern and ancient[M]. London: Allen and Unwin., 1987.
- [7] Sparks R S J. Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows[J]. *Sedimentology*, 1976, 23 (4): 147 ~ 188.
- [8] Sparks R S J, Bursik M I, Carey S N, *et al.* Volcanic Plume[M]. John Wiley & sons Ltd., 1997.
- [9] 刘宝珪. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1980, 174 ~ 187.
- [10] Sun Shanping, Li Jiazhen, Bai Zhida, *et al.* Petrogenetic classification of pyroclastic rocks[A]. *Proc. 30th Int l. Geol. Congr.* [C]. 1997, 8: 242 ~ 249.
- [11] 钟 蓉. 华北石炭系火山事件沉积新发现及其地质意义[J]. *中国地质*, 1993, 2: 22 ~ 23.
- [12] 彭格林, 钟 蓉. 华北西缘太原组火山事件沉积的发现及太原组地层对比[J]. *现代地质*, 1995, 9 (1): 108 ~ 118.
- [13] Zhong Rong, Sun Shanping, Fu Zeming. The characteristics of volcanic event deposits and their regularity at the temporal spatial distribution of Benxi and Taiyuan Formations in North China Platform(NCP) [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1996, 119 ~ 124.
- [14] 钟 蓉, 孙善平, 傅泽明. 山东及邻区晚石炭世一早二叠世火山事件沉积及地层对比[J]. *地质学报*, 1996, 70 (2): 142 ~ 158.
- [15] 贾炳文, 郭成印. 冀东晚古生代煤系中火山碎屑岩研究[J]. *沉积学报*, 1993, 11 (1): 65 ~ 73.
- [16] 贾炳文, 房晓红, 周安朝. 山西北中部晚古生代煤系中火山事件层的发现与研究[J]. *山西地质*, 1993, 3 (4): 346 ~ 355.
- [17] 徐和聆, 吴锡浩, 蒋复初, 等. 黄土高原南缘午城黄土底部火山碎屑的来源和成因[J]. *地球学报*, 1997, 18 (2): 192 ~ 199.
- [18] Huppert H E, Turner J S, Carey D N, *et al.* A laboratory simulation of pyroclastic flows down slopes[J]. *J. Volcanol. Geotherm Res.*, 1986, 30: 179 ~ 199.
- [19] Lyakhovsky V, Hurwitz S, Navon O. Bubble growth in rhyolitic melts: experimental and numerical investigation[J]. *Bull Volcanol.*, 1996, 58: 19 ~ 32.
- [20] Mangan M T, Cashman K V, Newman S. Vesciculation of basaltic magma during eruption[J]. *Geology*, 1993, 21: 157 ~ 160.
- [21] Neri A, Macedonio G. Physical modeling of collapsing volcanic columns and pyroclastic flows[A]. Scarpa R & Tilling R I. *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*[C]. Berlin: Springer-Verlag. 1996, 389 ~ 427.
- [22] Volcanological Survey of Indonesia. Exploring volcanoes: utilization of their resources and mitigation of their hazards [A]. *Abstracts of IAVCEI General Assembly 2000*[C], 2000: 121 ~ 134.

Classification of Pyroclastic Rocks and Trend of Volcanic Sedimentology : A Review

SUN Shan-ping¹, LIU Yong-shun², ZHONG Rong³, BAI Zhi-da¹,
LI Jia-zhen¹, WEI Hai-quan⁴, ZHU Qin-wen¹

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Department of Geography, Capital Normal University, Beijing 100037; 3. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081; 4. Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029)

Abstract: Pyroclastic rocks are a kind of transitional and complex rocks between lavas and sedimentary rocks. Petrologists, both at home and abroad have spent a lot of time on the classification of pyroclastic rocks, and suc-

(下转第 328 页) (to be continued on p. 328)

Geochemical Comparative Studies of Some Granulite Terranes and Granulite Xenoliths from North China Craton

HUANG Xiao-long, XU Yi-gang

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

CHU Xue-lei, ZHANG Hong-xiang

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

LIU Cong-qiang

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

Abstract : There are marked differences in petrogeochemistry between granulite xenoliths (Hannuoba) and granulite terranes (Xiwangshan and Manjinggou) in North China craton. The xenoliths are predominantly mafic in composition, whereas the terranes tend to be felsic in composition. Different epochs of rock formation, different depths of origin and different tectonic settings seem to be responsible for their diversities. Hannuoba granulite xenoliths are cumulates of the basaltic melts undepleted in the lower crust associated with the extensional tectonics, and the geochemical compositions of the xenoliths are controlled by the proportion of pyroxene to plagioclase. The crustal contamination is not the only reason for Nb, Ta, U and Th depletion of Hannuoba granulite xenoliths. The basaltic melts might have experienced some fractional crystallization of Ti-minerals, which caused the Nb, Ta depletion, whereas metamorphism of granulite facies in the lower crust resulted in the depletion of Th and U in xenoliths. There exists the juxtaposition of different tectonics corresponding to the differences in geochemical composition of granulite terranes, which results from the extrusion uplift.

Key words : granulite xenolith; granulite terrane; cumulates; Hannuoba

(上接第 317 页) (Continued from p. 317)

cessively put forward the classification of pyroclasts, the petrographic and the petrogenetic classification of pyroclastic rocks. Widely accepted as they are, the classification of pyroclasts and the petrographic classification of pyroclastic rocks stipulated by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks fail to consider the classification with Chinese characteristics, which was put forward in 1950s to 1960s and improved in 1980s to 1990s and has since been widely used in China. On the basis of the past schemes, new classifications of pyroclasts and the petrographic as well as the petrogenetic classification of pyroclastic rocks are proposed in this paper. Volcanic sedimentation is a frontier realm between volcanology and sedimentology. The past twenty years have witnessed great development in the study of volcanic sedimentation, both theoretical and methodological. The dynamics, experimentation and simulation of volcanic eruption and sedimentation have become the main trend in the future. Despite of this, the field geology and the character of pyroclastic rocks remain the basis of the petrogenesis of pyroclastic rocks.

Key word : petrogenetic classification of pyroclastic rocks; volcanic sedimentation; physics of volcanic eruption