

编者按：从本期起本刊将设立《科普园地》栏目，不定期刊出地球科学与相邻学科的各类科普文章，欢迎广大会员、读者来稿。本期首发刘若新先生的“关于超级火山”一文。刘若新先生是我国著名的资深岩石学家，我国基性-超基性岩研究及地幔岩石学的领军人物之一；他曾多年担任我学会副理事长，为我国矿物岩石地球化学事业的发展及青年人才的培养作出过杰出贡献。他也是我国火山学及近代火山活动灾害监测与研究工作的先行倡导者、奠基者和积极践行者。近年来虽年事已高，他仍十分关心我国的火山事业，近期应本刊主编之约，亲自操盘敲键撰写了火山系列专业科普文章，其中不乏他数十年工作积累中之精品，也处处呈现他独到的真知灼见。自本期起，我们将配合即将刊发的火山学与近期火山活动主题分期陆续刊登，以飨读者。

关于超级火山： 近代火山活动与人类社会可持续发展(一)

□ 刘若新

20 世纪因板块构造理论的兴起，近代火山活动渐渐走进了人们的视野，各类火山活动及其产物（火山岩）与构造背景的成因关系及指示意义得以阐明；而频发的火山地震灾害及其对人类社会可持续发展的巨大破坏作用又引起了包括学术界及政府在内的广大民众的普遍关切。以下介绍的是有关近代活动火山中不大为人们所关注的科普性问题，希望起到一点对火山知识的补缺作用。内容多是对已有资料的编辑整理，部分是作者考察过的活火山，其中不当之处，尚请读者指正。

1 关于超级火山

什么是超级火山与超级火山喷发？作者建议的定义是：那些巨大的爆炸性喷发、以喷出直冲云霄的火山灰、火山碎屑组成的喷发柱，喷发物体积大于 $300 \sim 500 \text{ km}^3$ 的喷发，火山爆炸指数^[1]等于或大于 7 的那些喷发，可称之为超级火山喷发。为了有个直观的比较，下面给个实例：印尼是个多活火山的国家，其著名的坦博拉火山 1815 年大喷发，其爆炸性指数为 7 (Simkin 1993)，(主要是火山灰) 体积被估计为 150 km^3 ，直接或间接导致近

9 万人死亡，是地球上近 2000 年来最猛烈的爆炸喷发之一。但这样规模的喷发，还算不上是超级火山喷发。那么什么样的火山喷发才算得上超级喷发呢？以下仅举四例：

苏门答腊岛托巴超级火山。印尼苏门答腊岛西南临海地带平直而又破碎，是印澳板块与太平洋板块俯冲碰撞地带，曾发生多次大于 8 级的大地震和多次超级火山喷发。以下是对苏门答腊岛托巴超级火山的简要介绍：现今见到的是北西向分布的巨大的该超级喷发的火山口—托巴湖，岩浆源位于其地下 $20 \sim 100 \text{ km}$ 深处，最近 1 次喷发在 7.5 万年前，其强度为火山喷发指数达超大规模喷发的 8 级，释放的能量被估计达 10 亿吨烈性炸药量；进入大气层、平流层的火山灰导致全球数年内年平均温度下降 11°C ，由此引起一次新的“冰期”，改变了地球上各种生命的进程，使北半球四分之三的植物死亡，当时的人类被推向灭绝的边缘。英国《独立报》在 2003 年 7 月 25 日的一篇文章中甚至认为，当时全球只剩下数千人。根据著名的“托巴巨灾理论”，托巴火山曾在 120 万年前、84 万年前和 50 万年前发生过超级大喷发。今天看到的托巴湖火山口湖及其

景观，就是 7.5 万年那次喷发所塑造的，现已成为印尼的旅游区。据《雅加达邮报》2013 年 11 月 4 日报道，印尼地质专家协会主席洛维奇，已组织一个专家团队对该火山进行考察研究，评估其未来可能的喷发及其影响。

美国怀俄明州的黄石火山。它就是 1872 年 3 月 1 日设立的全球第 1 个国家公园—黄石公园所在地。占地约合 9000 km^2 。大约在 2 百万年前、然后是 1.3 百万年前及 64 万年前都发生过大规模喷发，64 万年前的喷发物体积被确定为 345 km^3 ；而其最近的一次超级喷发介于 7.5~15 万年间，喷发物体积大于 500 km^3 。实际上黄石公园或黄石火山高原、就是由历次巨大喷发的喷发物堆积而成。海拔 $1610 \sim 3462 \text{ m}$ ，平均海拔约合 2440 m 。占地约合 9000 km^2 。极目四望，除约 80% 植被森林覆盖区外，大都是火山喷发的各种碎屑堆积，只在黄石河一处瀑布见到在碎屑堆积之下的熔岩层。广布的温泉、间歇泉、泥浆泉及色彩斑斓的泉华，其中以“老忠实泉”最有名，每隔 90 分钟喷发一次，喷出的水柱高达 40 m ，持续约 2 min。黄石火山口位于宽阔、碧波荡漾的黄石湖中，据称湖中曾冒出小岛，显示火山区有明显的地

形变,火山构造地震也时有发生,这一切都显示黄石火山地下仍存在活动的岩浆系统,是一个实实在在的休眠活火山,USGS(美国地质调查局)在此布有监测台网。近几年来黄石超级火山行将喷发的报道不时见诸报端,其中一位英国地球物理学家甚至危言耸听地声称,即将爆发黄石超级火山喷出的厚大火山灰,将会覆盖美国本土三分之二的面积,造成巨大的火山灾难。但美国有关方面并未对此做出反应,事实上此后多年黄石超级火山也并未出现行将喷发的可靠的系列前兆信号。黄石公园仍以其多彩秀丽的景色和火山景观吸引着众多游客前往观光。

新西兰北岛的陶波火山。它在26500年前的一次喷发可称之为超级喷发,爆炸式喷发物体积大于500 km³,喷发柱高度达55 km 平流层。其火山口就在今宽阔的陶波湖下面280 m处,这是由于此后的18次喷发、包括公元181年的喷发物体积为45 km³的喷发物所覆盖。笔者曾于1999年3月随地震局火山考察团赴新西兰考察。在陶波湖被公路切割的露头上看到厚大的火山泥石流,在附近一条河流两壁,显露出厚大的、半熔结的火山碎屑流。但不能确定这些是26500年前还是公元181年的喷发物。陶波湖及临湖的陶波城已是旅游区。陶波湖及其附近有丰富的地热资源,附近建有地热发电站。

希腊克里特岛附近的桑托林火山。曾于公元前1400~1500年间发生过一次摧毁米诺斯文明的巨大爆炸性喷发,喷发引起的地中海大海啸,恰好阻隔了公元前1450年埃及军队对以色列人的追杀,也正好与桑托林喷发的年代相符。因此笔者认为桑托林喷发可以归入超级喷发之列。由于喷发物大都落入海中,喷发物体积无法估计。作为一个非赢利性组织,桑托林火山研究和监测研究所,建立了一个现代化的、拥有遥测地震仪、潮汐测量仪等监测研究台网。这也说明该火山仍被认为是一座休眠的活火山,存在潜在大喷发的危险。国际火山学会曾组织

众多火山学家对该火山进行过考察。人们现在仍可在桑托林岛找到60 m厚的浮岩堆积。桑托林岛是爱琴海中一小群火山岛的总称,位于克里特岛北11 km。半圆形的塞拉岛是桑托林群岛中最大的火山岛,实际上是一个大的破火山口。1956年,一些学者在桑托林偶然发现的小木块和人的牙齿,其放射性碳定年为公元前1410±100年。

目前国际上有多种版本的“科学解读世界末日论”,一般即列举了10项可能摧毁人类文明、导致世界末日的事件,尽管版本有所不同,但都把超级火山喷发列为其中之一,且都列第6位。这里仅将西班牙《阿贝赛报》2011年10月23日所载“十种从科学角度看最靠谱的世界末日之可能”(作者:叠戈·卡萨多)中列第6位的超级火山喷发为例。他仍以苏门答腊托巴超级火山喷发为实例:喷发形成的大量火山灰摧毁了数千千米外的森林,随之而来的是遮天蔽日的冰河时代。科学家帕特利夏·格雷格在有关超级火山成因研究中指出,这些超级火山喷发或将成为地球面临最为严峻的环境威胁。

2 关于城市火山

由于靠近城市、特别是大城市的火山喷发,很可能会带来严重的火山灾害,因此,国际火山学和地球内部化学协会(IAVCEI)前主席格兰特黑根向IUGG(国际地球物理和大地测量联合会)建议将2001~2010年定为《国际地球科学十年》,建议每个国家至少选出一个“十年城市”,这个计划当然也包含“城市火山”。目前全球有59个城市靠近潜在喷发的火山或火山群,并已举行过多次国际城市火山会议。有2座特大型城市—菲律宾的马尼拉市(塔尔火山)和墨西哥的墨西哥城,处于危险之中的人数达数千万。无疑,对靠近墨西哥城的波波卡特佩特火山,靠近马尼拉市的塔尔火山以及位于170余座火山群中的新西兰的奥克兰市等这样一些靠近大城市的火山的监测、喷发预报以及减灾对策人们应给

予特别关注。笔者曾考察过奥克兰火山群,据陪同的新西兰火山学家介绍,分布在城区的170座火山,都属第四纪单成因火山,其中一座于600年前喷发形成,因此被认定为活火山区。但没有1座火山发生过第2次喷发,其原因不明。笔者带着这个问题,直接对比了我国五大连池火山群的大地电磁探测结果,其答案将在有关“全球火山分布规律及其机制之我见”一文中探讨。实际上像富士山火山(靠近东京);维苏威火山(靠近那不勒斯)都可归于城市火山。维苏威火山(照片1,2)在公元79年爆炸性喷发的火山灰曾掩埋古庞贝城(见照片3),作为著名的旅游地,现在维苏威附近已聚居60余万人口;并且,如果发生新的喷发,也会威胁到其东面60 km临海的那不勒斯市。另外,在埃特纳火山脚下的卡塔尼亚市,作为西西里岛的首府,有数十万居民。埃特纳火山是欧洲最高的火山,不仅历史上发生过多次灾难性喷发,近数十年来仍持续间断性喷发。实际上,卡塔尼亚市,曾多次经受埃特纳的火山灾难。笔者与樊祺诚、魏海泉、李霓等曾于2000年考察过埃特纳火山,在该火山站工作人员带领下,不仅走近到火山喷出口,而且目睹了火红的圆形火山口,不时喷出含有少量碎屑的蒸汽柱,持续不断的闷雷似的噗噗声,令人生畏;这是我们作为火山专业工作者第1次如此靠近活火山口。意大利将维苏威火山和埃特纳火山已被列为城市火山,并在那里召开过1次国际城市火山会议。我国海南岛的海口市,临近琼北火山群,严格说来,也可归入城市火山。而令笔者有点担忧的是我国长白山天池火山,该火山曾在大约1000年前发生过近2000年来地球上最猛烈的爆炸喷发之一的大喷发(可与坦博拉火山1815年喷发相比),此后还发生过多次较小规模的喷发。

大喷发塑造出无与伦比的火山景观和森林生态景观,每年夏季吸引着络绎不绝的游客,相应地建造了许多旅游设施;企业家们也争先恐后地前往开发。旅游业的发展,相关设施和

建筑拔地而起;天池火山锥西坡大型滑雪场的建设;恒大冰泉、农夫山泉都在以天池火山为中心的火山区内,建立起超大型矿泉水厂等。有关详情及评述将在“长白山火山的前世今生”一文中加以讨论。



照片1 远眺维苏威火山



照片2 维苏威火山口



照片3 被公元79年喷发
所掩埋的庞贝古城

城市火山吸引许多火山学家走进城市,进行火山危险性、火山灾害对策研究,有关城市交通运输、能源、通讯、地下水分布、公众健康状况、食品供应等数字模型方面的灾害研究。对城市火山危险性评价在很大程度上依赖于对火山喷发物理过程的模拟及结果的预想、灾害预测图的编制等。这样就容易被突发事件的受理者—官方政府、政策制订者、保险业者和公众接受,从而减轻火山灾害。

3 国际十年火山计划(1990—2000年)

国际火山学及地球内部化学协会(IAVCEI)为配合国际减灾十年所设计和执行的十年火山计划,科学家们从全球精选出一小部分活火山,既考虑其喷发危险性,也考虑以往的经验 and 研究价值。目的是使公众加强对火山及有关灾害的认识。尽管此计划的十年已过去,但对于大多数火山仍按原计划执行。今天这些对我们仍有重要参考价值。十年火山计划选出的16座火山是:(其中一半以上的火山在1990年后有过一次或多次喷发)

1) 阿瓦恰斯基—科里亚克斯基火山(俄罗斯)。在过去8000年中,至少有112次喷发。

2) 科利马火山(墨西哥)。1991年和1998~1999年有过喷发,1999年五岳的大喷发迫使火山脚下几个村庄村民撤离。2000年火山站组织科利马火山和印尼默拉皮火山的监测者和研究者们交换参观。

3) 埃特纳火山(意大利)。在前述城市火山一节中已做过简要介绍。该火山海拔3300余米,每次从火山上口喷出的熔岩流沿山谷下泻,都会对山间或山脚下的城市村镇造成灾害。于是人们关注,是否可以用人工方法控制这里的熔岩流灾害。例如把大岩块推入熔岩通道,或用飞机往熔岩通道扔炸弹以分散引流熔岩;修筑堤坝蓄住熔岩等。这些方法都有一定效果,其最后一种方法至少挽救了扎费拉纳镇。作者等在2000年考察埃特纳火山时,曾参观了这些防止熔岩流灾害措施。

4) 加拉莱斯火山(哥伦比亚)。1993年1月的喷发导致9人丧生,其中6人是正在进行调查取样的火山学家。我们需要吸取的教训是,必须特别注意喷发时近地表气体压力突然增强。

5) 冒那罗亚火山(美国夏威夷)。详细的地质区划图,古地磁和 ^{14}C 测年表明,该火山前后涌出的熔岩流超过

180条,化学分析数据提供了岩浆供给率详细变化情况,并经GIS(地理信息系统)合成。专家们对火山区西南向断层区进行了水下研究,发现许多富橄榄岩的岩流,表明源区组分发生了变化。

6) 默拉皮火山(印度尼西亚)。该火山有记录的喷发有68次,2002年3月3日的一次喷发,事先出了预报。

7) 尼雷尔火山(美国)。美国地质调查局制作了一部科教片:险恶的美丽—尼雷尔火山潜在的危险。作为负责公众安全事务官员与不动产投资商之间妥协的产物,科学家开发出一种早期预报火山塌陷和火山泥石流的音响报警系统。尼雷尔火山是美国最危险的火山之一,大约每500年喷发一次。但有时岩浆活动只发生在火山底下而未喷出地表,这成为研究岩浆上升喷发与岩浆侵入所引起的地震信号之间差别的重要场所。从而减少火山喷发预报中很难避免的误判。

8) 尼拉贡戈火山(扎伊尔)。1994年当熔岩从岩浆湖上升时,地震、地变形、及热监测方面的工作就加强了,但始于1996年10月的国内冲突,破坏了所有台站并使监测工作停顿。1997年1月这座火山猛烈喷发,造成2000多人死亡。该火山最近一次活动是2002年1月18日。

9) 樱岛火山(日本)。该火山自1994年以来,喷发开始减少。1998年11月,在鹿儿岛市举行亚洲活火山峰会。当地官员与来自印尼、菲律宾和意大利的科学家之间,交流了在火山危机期间的经验。该火山在1779年12月、1781年和1914年曾发生过喷发,并有数十至数百不等的人员死亡。

10) 圣马利亚火山(危地马拉)。1993年在危地马拉举行的工作会议有许多人参加,也提出不少建议,遗憾的是来自政府高层的行动迟缓。没有几个计划得以实施。幸运的是,一个名为EI·Pamar的村庄,在熔岩流到达之前搬空。

11) 桑托林火山。已在超级火山中述及,此不赘。

12) 塔尔火山, (菲律宾)。作为城市火山, 专家们已做了很多火山地质学的框架工作, 还补充了公元前5000年喷发的详细情况。

13) 泰德峰火山(西班牙属加纳利群岛)。该火山已成为 UNESCO 和 IA-VCEI 发起并进行研究火山学课程必去打扰一个地方。准备和传播火山灾害信息的程序已用法律形式固定下来。GIS 方法已被用来评估和描述火山灾害及危险性。

14) 乌拉文火山(巴布亚新几内亚)。专家们在 1998 年的会议上计划改进地震监测工作, 绘制灾害区划图, 对火山机构的稳定性进行研究, 不幸的是, 1999 年 4-5 月, 由于其国内政局事务, 使该计划被迫推迟。

15) 云仙岳火山(日本)。火山研究者对 1990~1995 年该火山的喷发记录格外详细, 在《火山和地热杂志》上也专门发表了许多值得吸取教训的文章。有关该火山喷发是否结束的争论导致产生了一个日后用于蒙特塞拉特的苏弗里耶尔火山喷发的判定准则。《自然》杂志曾报道 1995~1999 年苏弗里耶尔火山熔岩活动的各种数据, 并用以开发一些数学模型以解释以前有关熔岩喷发的许多疑团, 其中就包括云仙岳火山喷发的原因。同时, 这些熔岩活动的详细记录材料还可以改善对火山行为的监测, 并最终形成对火山喷发的预报。

16) 维苏威火山(意大利)。火山

学家参考研究了该火山 1631 次喷发的情况, 提出第 1 个有关维苏威的现代搬迁计划, 它规定了灾害区域、科学报警水平和防御对策等。如果判断火山喷发前兆不可逆转, 此计划要求在 1-2 周内, 迁走 60 万名居民。

参考文献:

- 刘若新, 李霓, 编. 2000. 火山灾害. 见: 范宝俊主编. 人类灾难纪典. 改革出版社, 707-741
- 刘若新, 李霓, 编著. 2005. 火山与火山喷发. 北京: 地震出版社
- 刘若新等译. 1997. 火山监测与减灾. 北京: 地震出版社
- 刘若新, 魏海泉, 李继泰, 等. 1998. 长白山天池火山近代喷发. 北京: 科学出版社
- 罗杰·卡洛琳, 等著. 陈琳, 陈水华等译. 2003. 地球探索. 太原: 书海出版社
- 苏珊娜·范·罗丝, 孙义方, 姜庆堯等编译. 1997. 火山—目击者丛书. 见: 北京: 生活·读书·新知三联书店
- 徐胜华主编. 2004. 科学探索. 北京: 中国文史出版社, 光明日报出版社
- 姚晓华主编. 2004. 世界文化与自然遗产. 北京: 中国文史出版社, 光明日报出版社
- Alexandra Szakcs, 1994, Redefining active volcanoes: A discussion. Bulletin Volcanology, 56, 321-315
- Geophysics Program, University of Washington, 1980 Eruption of Mount St Helens, Nature, 285
- McNutt S R. 1996. Seismic monitoring and eruption forecasting of volcanoes. In: Scar-

paTilling. (eds). Monitoring and mitigation of volcano hazard. Springer Verlag Berlin Heidenberg, 99-104

Newhall C G, Dzurisin D. 1998. Historical unrest at large calderas of the world, USGS Bulletin, 1855, 1-1108

Newhall C G, Self S. 1982. The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism, J. Geophys Res., 87, 1231-1238

Okata Y Matumo N Yanagi T. 1992. The 1990-1992 Eruption Unzen volcano In: Yanagi T, Okata H. Ohta H (eds). Unzen volcano the 1990-1992 eruption. The Nishinippon and Kyushu University Press, Kyushu

Simkin T, Seibert L. 1994. Volcanoes in the world. Geoscience Press

Tilling R I, et al. 1987. Eruptions of Hawaiian volcanoes: Past present future. USGS General Interest Publ. Ser., 54

[1] 火山爆发指数 (Volcanic Explosivity Index, 简称 VEI) 是 1982 年美国地质调查局的纽豪尔教授 (Chris Newhall) 和夏威夷大学校的斯蒂芬·塞尔夫提出的量表, 以喷出物体积、火山云和定性观测用来量度火山爆发的强烈程度。火山爆发指数采用开放式尺度, 历史上最大型的火山爆发强度为 9 级, 而非爆炸性喷发强度为 0 级, 指数每增 1 级表示火山爆发威力大 10 倍。

□ 作者为中国地震局地质研究所研究员