



魏海泉，中国地震局地质研究所研究员，硕士生导师，英国皇家学会资助布利斯托尔大学访问学者，日本东北大学客座教授。兼中国火山学会理事，北京地质学会监事长。长期从事物理火山学与火山灾害研究工作。经过十几年对长白山天池火山等活火山的研究，在我国若干近代火山的活动规律、喷发特征与过程、灾害类型与强度等方面取得了比较系统、深入的认识与研究成果，为我国火山学研究与火山灾害减轻工作做出了贡献。先后主持参与国家自然科学基金和地震行业专项基金多项研究项目，在国内外核心学术期刊发表论文数十篇，合著专著 2 部。

科学减轻火山灾害

魏海泉 魏费翔

所谓火山灾害，是指与火山喷发或火山本身有关的灾害。它既包括不同类型火山喷发所造成的灾害，也包括一些重要的大的火山山体本身所具有的灾害。在 1986 年进行的火山灾害死亡人数统计中，1600—1986 年共死亡 564612 人，而 1900—1986 与喷发有关的灾难死亡人数为 76152 人，可见火山灾害死亡的人数已大大减少，这主要是 20 世纪有了火山监测工作以来科学进步的结果。火山灾害分为直接灾害和间接灾害。所谓直接灾害是指直接与火山喷发事件有关的灾害，而间接灾害则是指火山喷发之后由于间接因素引起的灾害。历史数据表明，死亡人数主要是由间接灾害（例如喷发之后的气候因素引起的饥荒）引起。据统计，与 1783 年日本浅间山喷发事件伴生的，与饥饿有关的死亡人数为 3 万人，但在 20 世纪（指 1900—1986）与喷发后饥饿有关的死

亡人数大约只占死亡人数的 1/25。

目前对于火山灾害死亡人数的统计，主要来源于曾造成大量死亡人数的若干火山喷发事件，例如 1783 年浅间山和拉基火山、1792 年云仙岳火山、1815 年坦博拉火山、1883 年卡拉卡托火山、1902 培雷火山以及 1985 年内华德路易兹火山等喷发事件。除了内华德路易兹火山是由于当地政府没有按照火山学家的建议及时撤离民众而造成的灾难损失外，其余几次都是在没有火山监测预警条件下火山喷发导致的灾难事件。如果把间接死亡人数除外，由大的火山碎屑流、火山泥石流和火山海啸引起的死亡人数占据着火山灾害死亡人数的前三位。世界上死亡人数最多的火山是意大利的埃特纳火山（图 1），自有人类记录历史以来，埃特纳火山的历次喷发致死人数累计已经超过了一百万人。究其原因，主要是早先时候埃特纳火



图1 西西里岛埃特纳火山，山顶火山口内有多个喷火口

山没有火山监测预警设施，加之埃特纳火山喷发规模通常都很大，人们又都没有火山减灾的知识，突如其来的大规模高速流动的熔岩流使人们没有时间逃离西西里岛，而且火山岛周边沿海地区还要受到火山海啸的冲击。

本文以火山灾害基本特征的讨论为基础，简要介绍火山学家在开展减轻火山灾害工作中所涉及的有关科学与社会学关系的问题。

火山灾害的物理特征

火山灾害是由火山喷发的物理过程直接控制的，不同的火山喷发物理过程导致了不同类型与强度的火山灾害。例如，与空降火山灰有关的灾害，就直接与火山碎屑堆积物的厚度、粒度、温度、堆积速率等参数有关。与熔岩流有关的灾害，则与熔岩流厚度、温度、流速与构造类型（结壳熔岩、渣状熔岩等）有关。而与大型火口湖有关的灾害，除了直接的岩浆与水体爆炸式反应引起的射汽岩浆喷发灾害以外，还需要考虑火口湖山体滑坡引起的洪水泛滥及湖底有毒气体的聚集

可能引发的灾害（图2）。

由于不同的火山灾害具有不同的物理特征，其影响的地区不同，发生的频度也不同，其中最重要的控制因素是火山喷发方式的差异。表1总结了不同火山灾害的主要的物理特征，依此可以纲要性地评判其对人、建筑物、基础设施和经济活动产生的后果。



图2 尼尔斯湖富CO₂毒气释放致使低洼地带大量家畜神秘死亡

表1 火山灾害物理特征

现象	影响距离 (km)		影响地区 (km ²)		速度 (m·s ⁻¹)		温度 (°C)
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	
熔岩流	1 ~ 4	100	<2	500	<1	<30	750 ~ 1000
弹道喷射	<2	>5	10	~ 80	50 ~ 100	>100	<1000
火山灰降落	20 ~ 30	>800	>100	>100000	<15	~ 30	通常周围是空气
火山碎屑流	<10	50 ~ 100	5 ~ 20	1000	20 ~ 30	<200	<900
火山碎屑涌浪	3 ~ 4	<20	50	1000	20 ~ 30		冷 ~ 400
火山泥石流	~ 10	>300	5 ~ 10	200 ~ 300	3 ~ 10	>30	冷 ~ <100
岩崩与雪崩	5 ~ 10		10	>1000	20	>100	冷 ~ 200
地震	<20	>50	>1000	>7000	<5500	<5500	—
地形变	<10	<20	~ 100	100	<10 ⁻⁵	<10 ⁻⁵	—
海啸	<50	>500 ~ 600	100	5000	3	<10	周围是水
冲击波	10 ~ 15	800	100	1000			周围是空气
闪光	<10	120	<300	3000	12 × 10 ⁵	12 × 10 ⁵	着火点以上
酸雨和气体	20 ~ 30	2000	<100	>20000	<15	~ 30	周围是空气

减轻火山灾害的途径

(一) 高风险火山的鉴定与火山灾害区划图

如何从科学的角度减轻火山灾害? 首要一步就是要鉴定出高风险火山。对于这些高风险火山, 基础工作是准备出一份火山灾害区划图, 在这张图上要清晰地标示出高风险火山历史上不同喷发物的分布范围和未来可能发生的各种不同类型喷发的致灾范围、概率与强度。火山学家努力工作, 致力于获取火山历史上曾经做了些什么, 目前的行为是什么, 和将来火山可能活动的过程如何。完成这些任务是火山学家的主要责任, 同时他们也有责任及时地把他们的发现报告给公共机构和新闻媒体。火山学家解译火山及其活动, 使社会其他成员对这种灾害做好准备并做出恰当的反应, 以减少人员伤亡和财产损失。科学家在火山危机期间起着关键的作用, 因为正是通过科学的观察、监测和解释, 才能得出紧急事件的性质和范围。

根据国际上先进的火山减灾工作经验, 需要周期性地开展关于火山灾害的教育, 因为通常情况下, 人们不愿意离开他们熟悉的家园。虽然他们本身是置身于一个高风险火山的阴影之下, 但是火山带给了他们无尽的资源与财富, 驱使他们集中生活在火山周围。火山教育的理想情况是, 要使居住在火山区的人们生活在一种既不是不以为然, 也不是过度恐慌的状态, 而是对身边的火山存在的灾害有真实的了解, 通

过一系列教育使人们认识到有必要采取一定的减灾措施。如在脆弱的地区, 通过设计合理地限制和发展区域经济以减轻危害。如果需要撤离, 则有必要建立和采纳有效的应急反应计划。科学家必须始终扮演这些地区发展的基本顾问的角色, 确保这些计划在火山行为预计范围内既合理又现实。

(二) 政府与行政管理行为

有了高风险火山的鉴定和火山灾害区划图, 下一步的工作就是如何把火山学家的意识恰当地转化为公众的意识(这里所说的“公众”, 是指除了对相关火山进行科学研究、观察、监测的人员以外的一切人员), 并影响到政府与行政决策的行为。从社会学观点出发, 这就需要研究公众对火山灾害的理解程度, 一些火山学家就火山紧急状态时科学家与公众的关系进行了研究, 就火山对人类社会及生态系统的影响方面收集了大量信息并概括了火山活动与人类社会的反应之间的关系。联合国资助的两项研究出版了袖珍实用手册, 强调需要对大的火山危害做出适当的计划以减免损失, 联合国救灾组织和联合国科教文组织 1985 年就火山应急措施也进行了讨论。国际火山学和地球内部化学联合会为“国际减轻自然灾害十年”提出了一个世界范围的计划, 其中包括大量的改善火山紧急事件管理的建议。

当火山险情发生时, 必须对属于公众的部分团体和个人赋予特定的责任, 以有利于采取恰当的应急措施。这些应赋予特定责任的人包括主要的政府官员、执法者、土地管理人员、一些公司领导、救灾人员(如红十字会成员)以及新闻



图3 哥伦比亚内华德路易兹火山泥石流淹没了阿梅罗镇

工作者。他们可以制订应急计划，但必须在火山学家的指导下完成。对紧急情况的应变能力完全取决于这些人及他们的组织对紧急事件的准备情况。如果险情突然发生，而预先没有准备或准备不足，那么应变也一定不足。因此火山学家应该视以下工作为己任：让上述人员了解火山险情发生时的情况并积极协助他们制订相应的计划。整个过程中，新闻工作者起很大的作用，科学家与新闻工作者建立良好的关系也十分重要。除以上人员外，社会中占有一定职位的人员可以利用他们的职位来影响公众对紧急事件应急措施的反应和态度。这些人员包括：教育机构（大学、中学、小学）的领导及教师、公益性、服务性俱乐部和社会团体、神职人员及商界领导等。如果他们了解一些火山及火山工作的知识，会对塑造公众的观点和鼓励人们接受适当的应急计划起到重要的作用。

20世纪最严重的火山灾害（按死亡人口划分）是1902年的马提尼克岛的培雷火山喷发和1985年哥伦比亚内华德路易兹火山喷发，它们可以作为火山减灾实践的反面教材。前者是当时人们不了解他们就居住在一座极为危险的火山之下，对于山顶的熔岩穹丘的生长过程熟视无睹，或者说是麻

木到视而不见的程度。结果当熔岩穹丘发生垮塌时，大体积的火山碎屑流瞬间扫荡了山脚下的圣皮埃尔城，全城三万居民几乎全部丧生。后者则是当地官员忽略了火山学家提出的警告，没有及时采取人员撤离措施。喷发危机时又不能对最为危险的潜在灾区发出警报，因为通信警报系统已经被破坏了。结果就是很小一次火山喷发引发的火山泥石流悄无声息地掩埋了远在70km以外的阿梅罗镇，导致2万余人在睡梦中丧生（图3）。在这两个火山灾难实例中，如果当地官员能意识到火山危险信号并认识到可能的后果，他们应该会采取相应的减灾措施，那么死亡人数将大大减少。

（三）公众应当了解的火山知识

那么，作为生活在高风险火山区的公众，都需要了解哪些火山知识呢？首先人们应当对附近火山的过去和现在的基本活动情况有所了解。这不一定需要很详尽、很复杂，通常只把火山最主要的情况简要概括出来就可以了，而其中一些情况或许只是常识。科学家应当把它总结出来，可以采用小册子的形式以供分发之需。小册子里应包括以下内容：火山的位置、形状、爆发中心、以前的爆发形式和一些爆发参数

如规模、猛烈程度、喷发量、影响地区及喷发频率。同时，人们还应该了解，即使同一火山的连续喷发，其形式、规模和猛烈程度也可能变化很大，爆发间隔或长或短。相邻火山的喷发习惯和特征差别可能就更大。

公众应了解喷发预报的时效性。有必要区分是在几小时、几天内发生的近在眼前的险情预报还是将来几年、几十年甚至几百年内可能发生的险情预报。如果公众不能正确区分二者的关系，则可能造成巨大的混乱。例如为了指导夏威夷火山地区经济社会的长期发展，有人发表了一篇关于夏威夷火山危险区的文章，一个新闻记者借此发布一条耸人听闻的消息，暗示灾难即将降临。谣言风传以致当政要及商界领导辟谣时都无人相信，造成了相当大的危害。类似地，当一篇关于圣海伦斯火山危险的文章发表时，火山周围立即产生毫无理由的恐慌，接着是公众与科学家的对抗。然而最终，该危险区安然无恙。公众还应知道，当一个长期稳定的火山开始活动时，通常很难预报它是否会爆发、何时爆发及爆发的强度和规模。应急计划及程序都应是灵活的，以适应多变的环境。甚至还有一些火山先兆活动达到顶峰却又平息下来，但为其所做的准备却引起了相当大的经济、社会和政治问题。最著名的例子发生在巴布亚新几内亚的拉包尔火山和加利福尼亚的长谷火山。人们应该明白科学研究的作用及其局限性，要知道有时出现火山爆发的先兆现象之后并不一定有火山爆发。当然发出警报而未爆发会造成不便和花费，一些人就认

为是犯了大错误，他们会严厉指责那些科学家们。因此要让官员、记者和其他所有人明白火山预报也并不是十分准确的，并不是所有的火山活动先兆之后都必然有爆发，这一点相当重要。人们应该知道：科学家发现了以前曾导致爆发的信号时有责任发出警报，如果他们没有发出警报，那就是他们的失职。但是，发出警报后，确实可能发生不喷发的情况，因为岩浆在上升途中，是随时可能停下来的（图4）。从统计学上看，岩浆上升到地表发生火山喷发的次数比起岩浆停滞于地下某个深度形成侵入体的次数要少很多。

其实，很多人对火山及火山活动的基本概念的理解都是有困难的，这会造成很严重的问题，尤其是决策者、应急措施的制定者以及负责向其他公众传递火山信息的记者，如果他们误解则会造成更严重的后果。科学家对这些人要有耐心和宽容的态度，他们必须充分认识到：一些对科学家本身来说很自然的基本事实和规则对大多数的人来讲可能是完全陌生的。

（四）科学家如何帮助公众获取必要的信息

向公众传授火山知识理应是一个长期的过程，这个过程

的开始及进行应主要在火山喷发的休眠期，而所采取的方案和进行的活动在建有火山观测站和驻有科学工作人员的地方最为容易展开。在这些可能发生火山活动的地区，科学家应当与市政和公司领导、执法人员、有关的政府官员及新闻工作者定期会面。这有利于相互交流信息，对于熟悉和理解彼此的问题，达成共识和相互信任都具有重要的意义，而所有这些对于以后面对火山紧急事件至关重要。首先，对科学家来讲，这种会面的主要目的是指导人们了解火山目前的状况，帮助他们更好地掌握火山活动的历史及长期性行为，倾听和解释他们关于火山及其潜在活动性的询问。其次，这些会晤将为制定和采纳那些用于应对和演练实际突发火山活动的详细计划奠定基础。

通过报纸、电视、广播电台和博物馆展览，以及科学家对服务性俱乐部、社会组织，



图4 意大利坎皮弗雷格里火山，1982—1984年火山危机过后，火山口附近的居民正常生活。图中古迹大石柱暗色条纹指示的潮间带在此期间抬升了2.5m，期间伴随着大量的火山地震与火山气体释放活动

学术阶层以及其他能够聚集起来的群众演讲，人们能够获得有关火山的知识。而对学校的学生讲授火山知识尤见成效（图5），这是因为家长也通过孩子们获得了有关火山的知识。定期开放监测站并由科学家们演示和讲解是大受欢迎的，而且对于传播火山知识，对于理解科学家们如何开展研究工作，如何得出结论，对于弄清科学家们能做到什么，不能做到什么都卓有成效。对老师和新闻工作者进行特殊的培训是极其必要的，这是因为他们中的每一位成员在知识传播中都起着关键的作用。同样，这些人也需要事先能够学习和掌握大量的科学概念，能够理解火山活动的基本原理，并能够用于解释已经出现的火山躁动的事实。应该鼓励图书馆和书店购进更多的关于火山的图书和宣传手册。我们可以选用许多引人入胜的原文文章，他们不仅简单易懂，而且符合大众口味。

结 语

火山学家拥有识别火山灾害及其特性的知识、技能和经验，因此让他们去关注存在火山危险的地区的人们的防灾情况是至关重要的。很多火山一般处于休眠状态，即使住在火山附近的居民对潜在的危害也一无所知。因此，火山一旦爆发，往往会造成大量的生命和财产的损失。基于以上原因，火山学家应当通过教育提高公众对火山及其灾害的意识，例如同官员的会谈、与新闻界人士的讨论、在展览馆里火山知识的展出及向学校、机关团体做演讲、报告等。

公众必须了解以下火山的基本常识：（1）火山爆发的可能类型及其结果；（2）爆发的规模及频度范围；（3）不同火山具有不同的行为。另外，人们还应当清楚——火山预报并不很准确。一定类型先兆活动通常预示着火山的爆发，但并非所有的先兆活动后面都跟着火山喷发。火山爆发的确切时间、规模一般都是很难准确预报的。了解这些的官员和科学家应通力合作制订出相应的预防计划。火山学家应以火山灾害评价为基础，指导有关官员对危险程度不同的火山制定不同的计划。依据监测的结果，科学家可以判明火山活动的级别并指出哪种程度应发出警报信号，虽然如何做出警报通常由政府官员决定，但通过与科学家商讨可以使它更符合预期的爆发情况。火山紧急预防计划应当包括：警报发出、撤离行动的安排及撤离群众的安置。在绝大部分国家里，撤离决定是由政府官员做出的，因为撤离对经济和社会的影响已经超过了火山学家的专业特长。



图5 长白山天池火山夏令营，学生们对火山弹的形成过程非常感兴趣



图6 冰岛埃亚火山2010年大喷发时，开始时期的三个火山口恰好组成了那幅世界名画——恐怖之脸

鉴于我国近代缺少火山喷发的实例但又存在若干具有相当危险的活火山的情况，目前对于我国公众的火山教育，首先还是应该以加强火山学家的火山研究工作为主，借鉴国外先进成果，尽快提高我国整体火山研究工作水平。在完善火山灾害区划图及相关监测手段的常规监测的基础上，对重点火山区的居民开展火山科普知识的教育。通过举办夏令营、科普馆、火山主题生活馆等形式，在中小学学生中普遍开展火山背景知识的讲解，进而带动全社会火山知识的提高。使得生活在火山区的居民，既能够充分享受火山带给他们的福利，又不至于出现接到火山将会喷发的提醒或警告后就惊慌失措的局面。这样，才能出现类似于冰岛2010年冰下火山大喷发时，也可以给我们带来一幅天然名画（图6），而不仅仅是那张“恐怖之脸”。要真正做到人与自然和谐共处，我们正在路上。■

本文由中央级公益性科研院所基本科研业务专项（IGCEA1603）资助