

地球深部的奥秘

〔苏〕 M.C. 阿拉巴吉 著
B.C. 米尔尼楚克

科学出版社

DI90/12

地球深部的奥秘

[苏] M. C. 阿拉巴吉 著
B. C. 米尔尼楚克

沈德富 关玉奎 译

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书以深入浅出的形式,揭示了地球深部的奥秘。全书共分九章,主要讲述火山喷发、地震、地球的组成及化学成分、地球物理场、地下宝藏等内容,其间还插入许多发现和发明的小故事,以期引起青年读者对地球科学的兴趣。

本书可供具有中等文化水平的广大读者阅读。

М.С.Арабаджи В.С.Мильничук

ТАЙНЫ ЗЕМНЫХ ГЛУБИН

Издательство «Недра», 1983

地球深部的奥秘

〔苏〕 М.С. 阿拉巴吉 著
В.С. 米尔尼楚克

沈德富 关玉奎 译

责任编辑 陈菲亚

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

1987年12月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1987年12月第一次印刷 印张:4 3/4

印数:0001—3,200 字数:108,000

ISBN 7-03-000115-x/P·16

统一书号:13031·3974

定价:0.95 元

目 录

引言	1
第一章 火山喷发	2
1. 庞培城的末日	2
2. 坐在火药桶上	4
3. 地球上的裂缝	7
4. 哪些火山常喷发?	10
5. 火山是什么?	12
第二章 地震	15
1. 地震的记录	17
2. 地球为什么会发震?	19
3. 海啸	22
第三章 地球如何组成	25
1. 不单是水面有波	25
2. 对地球内部的猜测	28
3. 神灯的闪光	29
4. 由A层到G层	33
5. 到地心旅行去	35
6. 地壳	37
7. 为什么这样?	39
第四章 地球的组成	44
1. 真相不明的地球深部	45
2. 进入地幔的道路	45
3. 我们脚下的氧	50
4. 从宇宙空间取得的地球成分资料	53
5. 地球究竟由什么组成?	57
6. 疑惑不解的一些问题	60
第五章 重力场	63

1. 比萨的固执者	63
2. 如何称出地球质量?	66
3. 在地球的深处	68
4. 从地极到赤道	72
第六章 地球的磁场	78
1. 多少世纪之谜	78
2. 最大的加速器	82
3. 永久磁铁并不永久	88
4. 重游上古的遗址	91
5. 我们离开卢克莱修的时代很远吗?	95
6. 探索智慧的标志	99
第七章 地球的热场	104
1. 凝固的水滴	105
2. 这意味着地球在冷却吗?	105
3. 地球也许变热起来?	110
4. 热源	113
5. 深部热的性质	115
6. 不花钱的热源	119
7. 其他领域的实际应用	121
第八章 目前还只是假说	124
1. 脉动的地球	125
2. 主要是放射性生成的热	128
3. 漂移的大陆	131
4. 不是大陆, 而是岩石圈板块	135
第九章 地下宝藏	140
1. 我们从地下开采什么, 有多少?	140
2. 事物的反面	141
3. 我们还将开采多少?	142
结 语	147
参考文献	148

引 言

人们的志向显然也决定着他们的兴趣范围。有些人极力向往社会科学，而另一些人倾心于精密科学，再有一些人则喜欢音乐或写生绘画等等。然而，在现实生活中，很少见到“物理学家”和“抒情诗人”之间是截然分工的。“职业”兼任的情况是很普遍的：例如，化学家鲍罗金作为一位作曲家却更有名，物理学家爱因斯坦是娴熟的小提琴手等等。但是，总的说来，人们总是具有某种主要的爱好。

然而，人类的知识犹如长河，科学领域门类繁多，熟悉各个领域对于有任何志向和才能的人都是有意义的。例如，我们回顾一下第一颗人造地球卫星的发射、人第一次飞向宇宙、以及人类足迹第一次踏上月球等等的普天同庆情景。正是这些标志着地球科学发展的新阶段，标志着在揭示人类赖以生存的地球的成因、演变及内部结构的奥秘的大道上迈开的新步伐。

可惜，我们对地球的许多问题研究得还很不充分。目前，一方面在地球上已打钻出最深钻孔，深度已达12公里，这也是人类巨大的技术成就。但是另一方面，这一深度还不到地球半径的千分之二，因为地球半径是6371公里。因此，正如读者所看到的那样，关于地球许多问题的解答目前还处于假说的水平，这类假说在某种程度上是近乎情理的，它们在不同程度上同已知的科学事实是相适应的。

揭示地球深部的奥秘是当前地球科学最重要的课题。

第一章 火山喷发

火山活动——这种地下冒火的自然现象，是自古以来危害人类、造成最严重后果的自然灾害之一。震耳欲聋的轰隆声，地面的振动，强大的爆炸，喷出有毒的气体、水蒸气、火山灰和巨大岩块，最后溢出惊人的液态熔岩，在它流经的路途上烧掉一切东西。这种情景不可能不给你留下惊人的印象。

1. 庞培城的末日

小普里尼在写给罗马历史学家塔季特的信中，叙述了公元79年那不勒斯湾维苏威火山爆发的情景，这几封信是对古代这种灾变的可靠的历史见证。在火山爆发之前，发生了强烈地震，然后从火山坑向上冒出一股扩散开来的白色水蒸气柱，小普里尼把它叫做伞形松树状烟云（伞形松，即一种意大利松树）。逐渐向上抛出的火山灰和岩石碎块，使“烟云”变成黑色，并同强大的暴雨一道降落在地面上。在它对面的海湾西南端，小普里尼居住的米森镇，距火山喷发地点约15—20公里处，天空变得如同黑夜一般，“往往需要不断地抖落身上的火山灰，否则它会撒满全身，使你感到沉重。周围一切物体披上一层火山灰，宛如白雪。”熔岩流出的量不大。主要的破坏是由地震、降落在地面上的火山灰和火山弹造成的。火山弹就是岩石碎块与熔岩的凝结块。必须指出，后来被人们称为“维苏威的眼泪”的火山弹，有时相当大，质量

竟达数十吨。暴雨水流夹杂着伞形松树状烟云降落下来的火山灰，形成液态软泥，淹没了坐落在维苏威山坡上的几座城市——南面的庞培、西南面的赫库兰尼姆和东南面的斯塔比奥。经过了1500多年之后(第一次发掘庞培城是在18世纪)，这种软泥已变成坚硬的凝灰岩。在发掘地点的凝灰岩中，发现了许多孔洞，其形状相当于爆发时掉进软泥中的牺牲者和各种古代生活用品。用石膏注入这种孔洞之后，就得出跑动的人及其他的模制品。在喷发的牺牲者中有古罗马的大作家兼历史学家老普里尼，即给塔季特写信的小普里尼的叔父。

庞培、赫库兰尼姆和斯塔比奥城的悲剧，反映在许多艺术家的画面上。俄国大画家卡尔·布留洛夫在他的《庞培的末日》名画中，非常真实地重现了在狂暴的自然为背景的人类悲剧的全部惨状，表现出建筑物破坏、雕像及其他物体倾倒

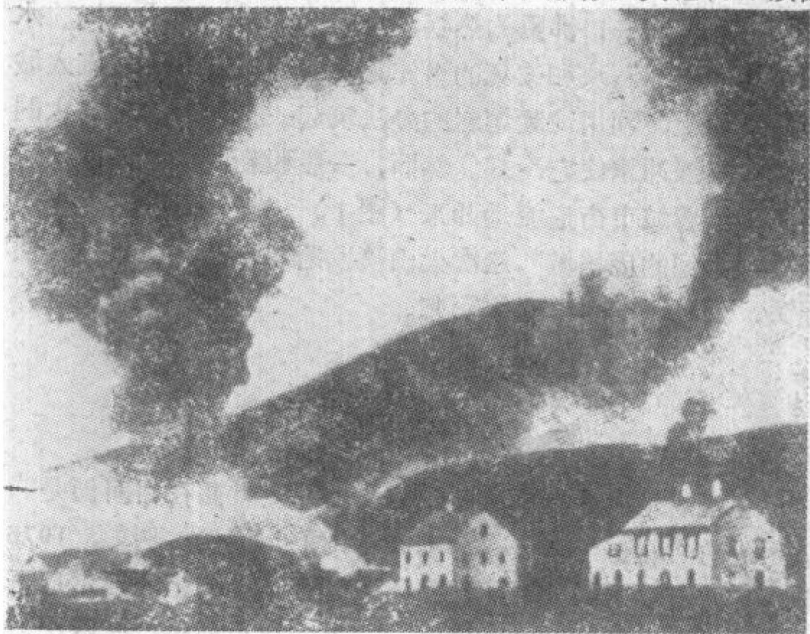


图1 1973年，赫尔加菲德尔火山喷发，熔岩流沿维斯特曼群岛城的街道移动

的动力状态等等。

遗憾的是，火山喷发甚至在今天仍然是极为可怕的自然现象。虽然在这种情况下人的死伤极少，但物质的损失往往还相当大。

1973年1月23日，在冰岛不大的赫伊麦耶岛上，赫尔加菲德尔火山在沉默了1000多年之后，突然又开始喷发了。冰岛有200多座活火山，差不多每隔5年就有一次喷发，所以这里的救险事务组织得很好。在赫尔加菲德尔火山开始喷发3—4小时之后，全岛的居民就迁移到首都雷克雅未克去了。

火山喷发与一条分割海岛的2—2.5公里长的大裂隙有关系。老的火山锥邻近，在裂隙上，几天之后成长了一座高达200米的新火山锥。周围的牧场被一层厚的火山灰覆盖。从裂隙中冒出的熔岩流，流到海港城市——维斯特曼群岛城，并使海港变成一口沸腾的热锅，上空笼罩着团团的蒸气。水面上漂浮着浮石块和烫死的鱼。人们曾经试图在熔岩流入城市的沟谷上，利用冷凝熔岩的办法筑起一道屏障，用强大的水龙头猛烈冲水使它冷却。然而，一股股新的熔岩流冲垮了屏障，沿着城市街道流动开来（图1），城市受破坏，变成了“20世纪的庞培城”。这次火山喷发给冰岛带来巨大的物质损失，使几千名居民无家可归。

2. 坐在火药桶上

遗憾的是，必须承认，预报火山喷发就是在目前仍是一个复杂的问题。至今只有个别成功预报的实例。例如，1976年苏联火山学家们极精确地预报了堪察加半岛上的托尔巴奇克火山喷发。然而，总的说来，这个问题目前还没有解决。如果说我们现在实际上避免了伤亡，那么，这决不是可靠的

预报自然灾害的结果，而是同良好的组织撤离居民、交通便利等条件有关系。

预报火山喷发的复杂性，首先是由于喷发的全部地质机理的复杂性，以及对它们研究很差。试图根据这样一些前兆，如地震、气体释放活动、气体成分变化等来预报喷发出现的时间，至今仍未成功。每次喷发都很特殊。虽然公元79年维苏威火山的灾难性喷发之前曾发生过地震，甚至在公元63年那里也发生过类似或更强烈的地震，当时庞培城已受到部分破坏，但那时地震之后并没有发生任何火山喷发。

冰岛的赫尔加菲德尔火山喷发之前没有发生过有感的地下振动，但在这里发现了释放出的气体的数量和成分有变化。然而这些标志并不是可靠的喷发前兆。

可惜，上述维苏威火山于公元79年的喷发，不是第一次，更不是最后一次。根据地质、考古和历史的资料，在维苏威历史上已知有50多次大的火山喷发。其中好多次喷发都带来可怕的后果：居民死亡和住房遭到破坏。这种灾难并没有周期性的时间序列：有时每隔5—10年出现一次火山活动；有时则好几百年甚至几千年都处于宁静状态。这种在两次喷发之间的连续性间歇，也是造成人们固执地居住在已经多次受到灾难性破坏的地方的原因。而且这些地区的良好自然地理条件，首先是宜人的气候，对这方面也起着很重要的作用。

绝大多数已知的火山——活火山和死火山^①，分布在赤道区、热带和温带地区(图2)。在北极圈和南极圈以外的两极地区，连比较弱的火山活动地段都非常少，往往只限于释

① 死火山，即在漫长的历史时期内保存着火山本身的形状，但又不出现任何活动的标志。有些被认为是死火山，有时却重新开始喷发。所以分布在活火山区的死火山，通常称为休眠火山。

放气体。如果我们注意到火山是频繁出现在一直作为渔业和航运利用的海洋沿岸地区，那么人们为什么还要固执地返回到遭受毁灭性喷发的地方去，就很可以理解了。

还有一种不很重要的因素是土壤肥沃，地表上经过风化的火山活动产物，成为富含宝贵的微量元素的土壤，这在初期的农业条件下是有助于获得较高收成的。

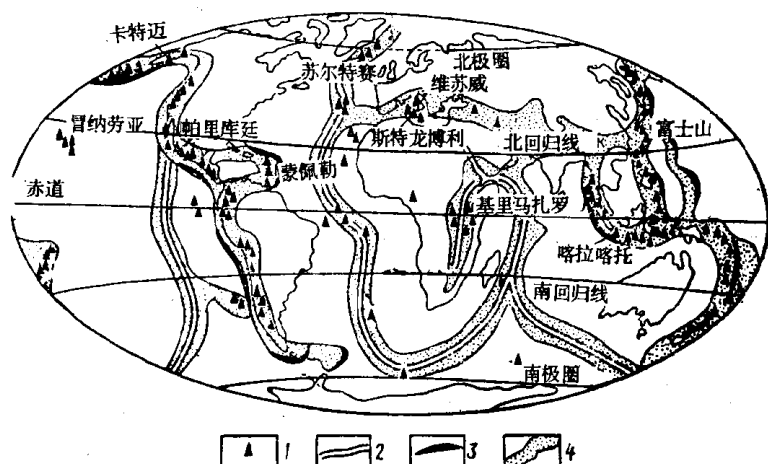


图2 全球火山和地震中分布略图

1.活火山 2.大洋中脊 3.深海沟 4.地震震中

因此，人们长久以来就与有喷发危险的火山为邻，并将继续同它和平共处下去。由于对下次喷发无法预报，使得火山附近的人们犹如生活在火药桶上。

人们对预报火山活动有什么办法呢？很遗憾，目前在这方面还没有取得重大成就。毫无疑问，火山喷发不时一再发生，而且出现在固定的火山危险带内。所以，如果预报未来喷发时间的问题还不能解决，实际上就不存在确定其地点的问题。显然，活跃的火山都是与熟知的区域有关的，这种区域内的喷发都记载在历史文献资料中，喷发的遗迹或者可

以由考古资料确定，或者可以根据地质资料确定。

然而，这方面是完全没有规则的。看来，至今唯一的例外是墨西哥的帕里库廷火山，它完全是在人们的眼前成长起来的。1943年2月20日，在好几天的地下微弱振动之后，在一块农田上出现裂隙，并且开始释放出气体和水蒸气，然后喷出火山灰和火山弹——被气体抛出并在空中冷却成形状奇特的熔岩凝缩物。接着，溢出的熔岩迅速成长为火山锥，其高度到1946年已达500米。

3. 地球上的裂缝

苏联科学院出版了几份最新的火山喷发目录，其中一份记录有933座火山，包括609座活火山和有历史记述的火山，以及324座以排气喷口为特征的死火山。这些火山绝大多数分布在陆地，对之作过较好的研究，并精确地确定了它们的地理座标，还有过去喷发日期和喷发产物特点的资料。

然而，大部分火山活动显然出现在占地球表面三分之二以上的海洋中。当然，科学家们对这类火山并不是每一座都清楚的，况且火山喷发时也并不总是有船从旁边经过，因为只有在船上才能准确定出火山喷发的地理座标和时间。实际上，研究降落在洋底上的喷发产物也很困难。当然，大规模的喷发会产生大量的产物，形成露出水面的火山锥，成为岛屿，人们就可以前往详细研究。例如，在冰岛以南的大西洋中，1963年11月14日，渔民们发现海面上正在升起一团团浓烟，接着从水中抛出石块。10天之后，在喷发处已形成一座长约900米、宽达650米、高出海面达100米的岛屿，命名为苏尔特塞岛（图3）。喷发延续一年半之久，到1965年春季才结束。至此，这座新火山岛由凝结的熔岩流和火山凝灰岩构

成，其面积达2.4平方公里，高出海平面169米。



图3 1963年9月14日在大西洋北部一座新的火山岛——苏尔特塞岛的形成

1965年5月28日，在苏尔特塞岛以东800米处，从飞机上发现了一个新的火山口。这里也生长了一座高67米的小岛。它主要是由不太坚硬的凝灰岩组成，但很快被波浪冲刷掉了。这个海区形成的一些其他火山岛也都是这样的命运。

对大洋岛屿的地质研究结果表明，有很多岛屿是火山成因的。由于喷发频繁反复发生，延续时间持久，而且喷出物数量巨大，可以形成很大规模的山体。例如，火山成因的夏威夷群岛链，是高达9.0—9.5千米（相对于太平洋底面的高度）的一系列火山锥，竟超过珠穆朗玛峰！

对大洋底深度测量（即海深测量）的结果，令人信服地证实了水下火山喷发的频度。洋底缓慢下沉和波浪的破坏作用，使洋底上的火山形成一座座平顶的山峰，称为平顶山。这种平顶山的平坦顶部通常处在海水面以下几百米的深度（平顶山的普遍高度为2—3千米）。有时平顶山成为群体珊瑚生息的场所，这种情况下就形成珊瑚礁或特殊的环状潟湖——环礁。根据海深资料，单是在太平洋中，火山成因的岛屿和平顶山就超过1万座（图4）。

关于火山活动性质的现代地质概念派认为，火山与巨大

的线性构造——长达几万公里的，环绕全球的深大断裂有密切关系。这种全球性大断裂大致分为两个系统。一个系统包括深 5—15 公里的延伸很长的断裂，出现在大洋中部最隆起的大洋中脊轴上。它们切割所有大洋盆地。这种地方形成窄而长的狭谷，具有陡峭的两壁，名为裂谷。拥有 200 来座活火山的冰岛，就是这种与大西洋中脊相联系的断裂带。

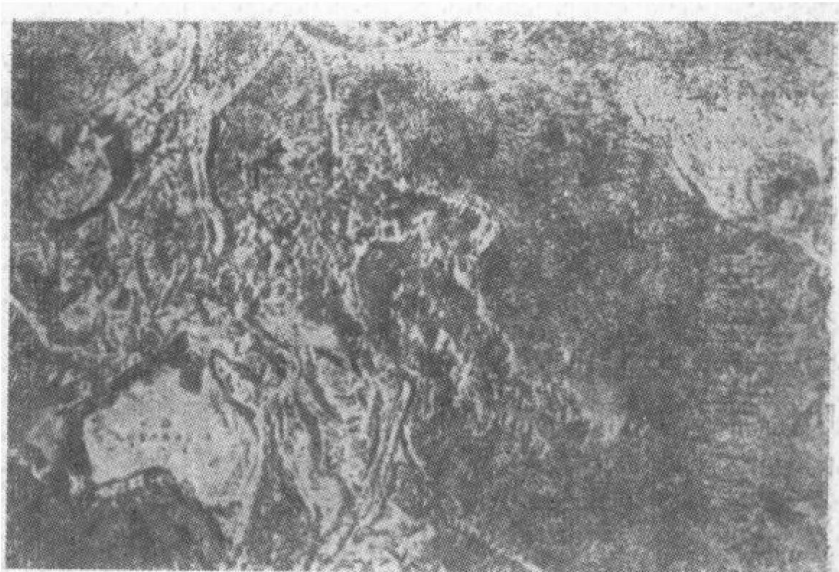


图 4 太平洋中有大量的火山岛屿和 underwater 平顶山

另一个系统包括延伸较短而深度较大的断裂，呈弧形分布，成 $45-60^\circ$ 角切入地球内部至 700—900 公里的深度。这种深断裂出现在洋底最深水部位——深海沟处，而且与其有关的岛弧主要分布在太平洋边缘。

从图 2 上我们可以看到，绝大多数活火山出现在这两个系统的深大断裂内。我们可以把地球比作大西瓜，上面的大量裂缝排出成熟果实的汁。

4. 哪些火山常喷发？

1883年5月20日，从一艘驶经巽他海湾（在爪哇岛与苏门答腊岛之间）的荷兰军舰上，有人看到了从喀拉喀托群岛上升起巨大的松树状烟云。发现这种烟云的高度约达10—11公里，而且每隔10—15分钟一次的频繁喷发，伴随有火山灰喷发柱，高达2—3千米。这些曾经是荒芜的岛屿，只有极少数渔民往访，所以喷发开始的时间不清楚，而且喷发的整个序列只能零碎地确定出来。5月份喷发之后，火山活动稍为平静，只是在7月中旬，又发生一次强大的喷发。然而，主要灾害发生在8月26日。

这一天下午，在“美吉亚”号军舰上看到了高达27—33公里的火山灰柱。到傍晚时分，周围诸岛屿上降落了含火山灰的大雨，甚至在距离150公里远的雅加达，人们都听到轰隆声，感觉到地下震动。火山灰降了一整夜，处在巽他海峡的船只上也堆积了厚达1米的火山灰层。到早晨6点钟，突然可怕的暴风大作——海水超过海岸，波浪高达30—35米。波浪冲坏了沿岸的城镇，破坏了爪哇岛和苏门答腊岛的道路；最靠近火山的各岛屿上的居民，几乎全部死亡。根据官方的资料，死亡人数达到4万。

强大的火山爆发破坏了喀拉喀托群岛的主岛——拉卡塔岛的三分之二：面积为 4×6 平方公里的主岛，一部分连同两个火山锥（达南和伯尔布坦）被抛向空中。后来，这个地方由于岩浆囊排空，顶板塌陷，成为深达360米的海区。这次喷发的另一后果是巨大的海啸——造成破坏和死亡的主要祸首。喷发几个小时以后，波浪到达法国和巴拿马海岸，在南美海岸，海啸传播的速度竟达483公里/小时。

爆发时还出现了强大的空气波，它三次绕行地球，全球所有气压计都记录到了。甚至9月4日，即爆发后9天，自记压力计还继续呈现出气压的微小变动。

在大西洋的马提尼克岛上，培雷山（秃顶山）火山喷发时则出现另一种情况。

1902年春，原来认为是多年休眠火山的培雷山（其山坡上已发展起圣皮尔城），突然出现强大的爆发。第一次和最后一次爆发都造成火山锥侧壁上出现裂隙，从中冒出灼热的黑色云雾，它由熔化的熔岩、炽热的（700℃以上）火山灰和气体组成。5月8日，这种云雾有一团向南飘移，几分钟后，全部降落下来，摧毁了圣皮尔城。造成约28,000人死亡，只有那些来得及游离海岸的人得救了。而来不及上船离开的人或者被烧死，或者因翻船而死亡，因为海湾中的海水是沸腾的。城市中只有一个人幸免于死，因为市监狱的厚墙壁保护了他。

培雷山火山喷发在当年10月就结束了。从火山通道中缓慢地排出很粘的熔岩，形成高约400米的锥形山，如同方尖塔。然而，其顶部很快沿一条斜向裂缝塌落掉了，保存下来的锐角针顶高度约为270米。但后来因风化作用，到1903年针顶就破坏了。

地中海区域的火山，则别具各自的特点。例如，意大利的斯特龙博利岛（火山锥高926米）和武耳卡诺岛（火山锥高499米）的火山，周期性地爆发和喷发，虽然规模没有上述维苏威火山公元79年喷发那么大，但从喷发序列和排出的产物数量上说则与之接近。因为它们都伴随喷出水蒸气、各种气体、火山灰和火山弹。有时还见有熔岩溢出地表，但因粘度相当大，所以熔岩流规模不大。

夏威夷火山的熔岩粘度最低。这里的液态熔岩在火山口

(火山顶上不深的熔岩湖)中激烈沸腾,形成壮丽的奇观,特别是夜间,更显得光彩耀目,灿烂辉煌。熔岩湖的暗淡浅红褐色表面,不时冒出一股股耀眼的熔岩,向上飞起,照亮夜空。喷发时,熔岩湖面上升,熔岩溢出火山坑,散流在广阔地面上,直到距离火山几十公里的地方。

5. 火山是什么?

根据现代的概念,火山活动是岩浆活动呈现的一种外表形态,即所谓喷出岩浆的形态,是一种与岩浆从地球内部向地表运动有关的作用过程。在地表下从50—350公里深处的地球圈层中,有熔融的物质——岩浆源形成。关于岩浆成因问题,目前还不完全清楚。但显然它是由于地球内部最易熔的组份——内部热流局部增高地带中的硅酸盐熔化而形成的。与地球内部的周围固态物质相比,密度较低的活动的岩浆,沿裂隙上升,并在裂隙中开始冷凝(岩浆活动的侵入形态)。只有某些地段的最活动部分的岩浆才到达地表,形成火山——顶部有火山口的高山丘。当岩浆接近地表时,熔化物和气体从火山口排出,然后变为熔岩。

岩浆的脱气作用是绝大多数火山爆发,即喷射出水蒸气、气体、火山灰和熔岩凝结块(火山弹)等原因。若熔岩很粘,它就不会到达地表,而在火山通道中凝结。这样的火山下一次喷发就会非常强烈,因为在所形成的岩栓之下,岩浆中排出的气体会长时期聚集,早晚会通过主火山通道或通过周围新形成的、与新火山口相连通的裂缝爆发出来。这种火山的喷发产物主要由气体和火山灰组成,而火山弹和粘的熔岩可能只是在喷发结束阶段才出现。喀拉喀托火山和培雷山火山就是这类喷发的实例。