



1980 年 圣海伦斯火山 喷发

P. W. 李普曼 D. R. 马林内克斯

地质出版社

6321 56.568

1980年圣海伦斯火山喷发

P.W.李普曼 D.R.马林内克斯

南京地质矿产研究所 译

翁世劼 等校

地质出版社

内 容 提 要

本书介绍了用现今可能采取的各种手段查明了1980年圣海伦斯火山喷发过程和火山堆积物的形成过程,以及各种火山堆积物的成分、特性与分布情况;提供了火山喷发与地震活动间的关系;揭示了火山喷发与其下的柱状岩浆房、更深的岩浆库和岩浆源之间的内在联系;以及不同地质历史时期,该火山机体中,火山岩浆的分异与喷发情况。由于本书篇幅过长,翻译时作了删减。

本书可供地质调查、科研人员及地质院校师生参考。

THE 1980 ERUPTIONS OF
MOUNT ST. HELENS, WASHINGTON
EDITED BY PETER W. LIPMAN
AND DONAL R. MULLINEAUX
UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE
Washington, D.C. 1981

1980年圣海伦斯火山喷发

P.W. 李普曼 D.R. 马林内克斯

南京地质矿产研究所 译

翁世劼 等校

*

责任编辑:王休中

地质出版社出版

(北京西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 11¹/₂ 插页: 1 字数: 272,000

1986年5月北京第一版·1986年5月北京第一次印刷

印数: 1—817册 定价: 3.05元

统一书号: 13038·新213

目 录

一、火山事件	1
圣海伦斯火山喷发史	2
圣海伦斯火山1980年活动史	5
二、地球物理监测	14
地震研究	14
变形研究	18
气体研究	22
热研究	35
遥感监测	41
三、岩滑崩落堆积物	43
5月18日灾害性岩滑崩落	43
四、定向爆炸堆积物	56
5月18日爆炸流的流体动力学	56
5月18日定向爆炸堆积物的地层学和成因	59
5月18日火山碎屑热涌堆积物及其堆积作用	68
5月18日灾害性火山浓碎屑流和伴生空落物的地层学和沉积学	72
五、火山泥石流堆积	77
火山泥石流的运动、作用和堆积	77
5月18日后South Fork和North Fork Toutle河泥石流的年代学	82
六、泡沫状火山碎屑流堆积	85
火山碎屑流堆积物	86
火山碎屑流及其堆积物的形态学和流变学	95
火山碎屑流、火山灰云及热涌堆积物的岩相学和粒径分布	99
七、熔岩穹丘	109
1980年6月—1981年1月火口区内熔岩穹丘的生长	109
6月英安岩穹丘的物理性质	113
6月英安岩穹丘的热量和热能及与5月—10月总能量的关系	116
八、空落堆积物	120
3月27日到5月14日期间岩浆期前喷发火山灰的分布、数量、体积和成分	120
六次主要喷发中空落火山灰的分布范围、厚度、质量、体积与粒度	123
5月18日喷发的近源区空落堆积——地层学与宏观的沉积学特征	128
5月24日—8月7日的近源空落堆积——地层学与宏观沉积学	138
九、堆积物的地球化学	143
1980年岩浆堆积物的成分变化	144

1980年喷发系列的爆发前温度和氧逸度.....	151
新火山堆积物的蚀变.....	158
5月18日、5月25日、6月12日、7月22日和8月7日喷发中空落火山灰的 成分.....	166
译后记.....	176
附件:	178
1.填图单元说明	
2.圣海伦斯火山地质图(原图为1:50000, 缩去6/10)	

一、火山事件

圣海伦斯火山自1857年即进入了休眠期。根据火山斜坡及周围地区的地质调查，过去它曾有过多次喷发活动。现在所见的火山锥则是在最近2500年内形成的。英安质碎屑流、空落火山灰和粘稠的熔岩穹丘，与安山岩和玄武岩成互层产出。过去的多次喷发活动，每次都在圣海伦斯火山底部的四周，筑构成由碎屑流和泥石流组成的碎屑扇，或部分充填于从火山向外伸延的河谷内。1980年以前，某些火山学家就认为圣海伦斯山是喀斯喀特(Cascade)火山群中不久即将喷发的火山，考虑到它的爆炸喷发和离居民区近的情况，而列为危害最大的火山之一。

圣海伦斯火山1980年的喷发活动从3月20日的强震开始，一周后出现第一次蒸气爆发活动，并持续伴有高强度的地震，从而形成山顶火山口，火山北坡也相应发生变形。5月18日喷发发生在8时32分(太平洋夏季时间)，以5级地震开始。这和其他震前地震相同，使拱起的火山北坡出现多重崩落，并产生巨大的岩滑崩落堆积物。崩落使火山荷载减小，导致由热液驱动的指向北方的定向爆炸，从而使近600平方公里的地区被毁坏。正是这一事件触发了英安质岩浆的爆发，形成超过25公里高的喷发柱，使向东1500公里内均可见到空落火山灰，以及在北坡出现泡沫状碎屑流。冰雪的迅速融化促使灾害性泥石流和洪水的出现。5月22日、6月12日、8月7日、10月16—18日及12月末出现了几次较小的岩浆喷发活动，产生了碎屑流、空落火山灰和几个熔岩穹丘。从1980年12月以后，喷发物的体积逐渐减小，成分也略偏基性，爆发程度也相应减弱。

圣海伦斯火山由于位置靠近主要居民中心，因而有可能对它进行监测。它在1980年的活动已被详细记录下来。在1980年的整个调查活动中，使用了美国地质调查局的飞机，并装备了大相幅的固定摄影机，从而获得了数百张高质量的摄影相片。这些相片记录了地表变形、火山口扩大和5月18日被雪和火山灰所复盖的地区。5月18日灾害性喷发从11时开始进行摄影，并一直持续拍摄到晚上。此外，1980年以后的火山变化也被摄影记录下来。

地面摄影和目击者的描述，提供了有关5月18日喷发事件的大量记录。喷发活动发生在特别良好的气候条件下，而且是在白天，正好又是周末，因此在火山四周有很多目击者。目击的现象主要有8时32分地震时的小石块和冰屑、火山北坡的巨大岩崩和紧跟其后的横向定向爆炸、垂直喷发柱的发育过程、泥石流和最早空落物出现的时间等等。所有这些，对以后的科学研究都有重要价值。

G. Rosenquist从火山北东方向以1—2秒间隔拍摄的一系列相片，对于确定5月18日喷发事件的起始过程十分有用。分析这些相片后，获得了岩滑崩落物和定向爆炸开始的时间表，并可据此估计他们的速度。岩崩发生于8时32分地震之后10—20秒。爆炸流的近地表速度为50米/秒至200米/秒以上。

圣海伦斯火山喷发史

D.R.Mullineux D.R.Crandell

圣海伦斯火山位于美国西北部华盛顿州境内，是喀斯喀特山脉许多火山中较年轻的一个活火山。从4万年前开始活动一直到2500年前为止，它不时地喷溢以英安质为主的岩浆物质。据地表出露的火山堆积物测定，它可分为九个主要活动期(见表1)。2500年前的多次火山活动与之后的火山活动出现明显的突变。2500年之后以安山质熔岩流为主，夹有二次玄武岩流，其次为安山质和英安质碎屑流、泥石流、英安岩、玄武质火山灰等。它们组合为英安质—玄武质的Castle Greek期和英安质—安山质—英安质的Kalama及Goat Rocks期。喷发物的化学成分有时为渐变，有时为突变，而且演化方向也各不相同。大岩浆体可以分异为成分连续的分层，然后分层逐步喷发，构成喷发物的韵律序列。

根据上述这些现象，显然将Hopson(1971, 1980)模式用于圣海伦斯火山是不适合的。看来比较合理的是Wilcot提出的解释：喷发物至少来自一个以上的岩浆体或不均一岩浆体的不同部位(表2-1, 2-2)。圣海伦斯火山每次喷发的体积在0.1—3立方公里之间。碎屑物和熔岩流环绕火山底部分布。碎屑流向外延伸可达20公里，泥石流则可远达75公里以上。



图1 圣海伦斯火山

从北东方向观察。照片显示了1980年之前较平滑亦未被剥蚀的外貌。碎屑组成的
崩体在河谷内围堵而形成Spirit湖。北坡上拱起的穹丘为Head(D), Sugar
Bowl(S), Goat Rocks(G)

表 1 圣海伦斯火山喷发历史

喷发期与休眠间隔	大 致 年 代 (1950年前)	火 山 灰 单 元 组 层		其他喷发堆积
Goat Rocks	150—100		T(d)	穹丘(d) 熔岩流(a)
休眠约200年 ¹ Kalama	450—350			碎屑流(d) 穹丘(d) 碎屑流(a) 熔岩流(a)
		X(a)		碎屑流(d)
		W(d)		
休眠约700年 Sugar Bowl	1150			穹丘(d)碎屑流(d) 定向爆炸物(d)
休眠600年 Castle Creek	>2200—1700		Bu(b) Bi(d) Bo(a) Bb(a)	熔岩流(b) 碎屑流(a)熔岩流(a) 熔岩流(b) 碎屑流(d) 熔岩流(a)
休眠300年 Pine Creek	3000—2500	P(d)		碎屑流与穹丘(d)
休眠约300年 Smith Creek	4000—3300	Y(d)		碎屑流(d)
休眠>4000年 Swift Creek	13,000—>8000	J(d)		碎屑流(d)穹丘(d)
		S(d)		碎屑流(d)
休眠5000年 Cougar	20,000—12,000	K(d)		碎屑流(d)穹丘(d) 少量熔岩流(d)
		M(d)		碎屑流(d)
休眠约15000年 Ape Canyon	~40,000—35,000	C(d)		碎屑流(d)

注: 1. d 英安质 b 玄武质 a 安山质

2. Goat Rocks 期及 Kalama 期为历史记录, 以前的年代据放射性碳测定。

3. 多数喷发期均有泥石流堆积, 但未列入表内。

4. 凡在圣海伦斯火山周围未发现相当喷发产物的时期称之为休眠期

表 2-1 圣海伦斯火山空落火山灰堆积层序

喷发期与休眠期	火山灰单元组层		暗色矿物斑晶	其他空落堆积 (d ²)和土壤(s)
Goat Rocks		T	hy, hb, ag	
休 眠				
Katance	X			
Kalama		We	hy, hb	
	W	Wn	hy, hb	
休 眠				s
Sugar Bowl ³	—	—		
休 眠				
Castle Creek	B	Bu	ol Bi hy, ag Bo ol, ag Bh, hy, ag	
休 眠				d
Pine Creek	P		hy, hb	
休 眠				s
				d
Smith Creek	Y	Ye	Cm, hb Yn, Cm, hb Yb, Cm, hb, bt	
休 眠				s
Swift Creek	J		hy, hb	
				d
	S	Sg	Cm, hb, hy	
		Sg	Cm, hb, hy	
休 眠				s
Cougar	K		Cm, hb	
				s
				d
	M,	Mm	Cm, hb, hy	
		Mp	Cm, hb, hy	
		Mo	Cm, hb, ol	
休 眠				s
				d
				s
				d
Ape Canyon	C	Cy	Cm, hb, hy	
				s
				d
				s
				d
	C	Cw	Cm, hb, bt	
				s

注：1.用以鉴别火山灰单元的矿物：

ag 普通辉石 bt 黑云母 Cm 钙镁闪石 hb 角闪石 hy 紫苏辉石 ol 橄榄石

2. 这些细粒空落堆积与火山灰互层，但其来源尚不清楚。

3. 与Sugar Bowl喷发期有关的空落火山灰堆积尚未被识别

表 2-2 圣海伦斯火山喷发产物的SiO₂含量

喷 发 期	产 物	SiO ₂	喷 发 期	产 物	SiO ₂
Goat Rocks	穹 丘	63	Pine Creek	Bo层火山灰	57
	安山熔岩流	60		Bh层火山灰	59
	T层火山灰	64		英安质碎屑流	64
Kalama	穹 丘	64	Smith Creek	P组火山灰(底部)	66
	安山碎屑流	57		Y组火山灰(底部)	69
	安山熔岩流	59		岩屑碎屑流	65
	X组火山灰(底部)	58	Swift Creek	Yn层火山灰	66
	英安碎屑流	64		J组火山灰	62
	We层火山灰	66		英安碎屑流	65
	Wn层火山灰	68—65		Sg层火山灰	63
Sugar Bowl	穹 丘	69	Cougar	英安碎屑流	67
	爆炸堆积	69		英安质碎屑流	62
CastleCreek	Ba层火山灰	50		英安质碎屑流	62
	Bi层火山灰	67	Ape Canyon	英安质碎屑流	68
	玄武岩流	50			

(为不含水的SiO₂的百分含量)

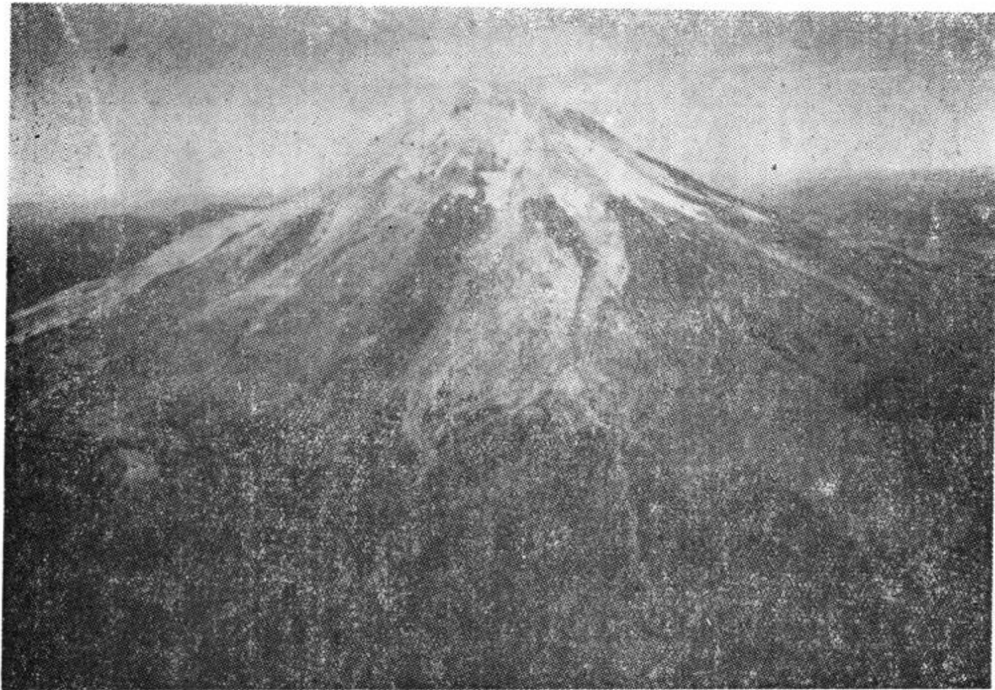


图 2 圣海伦斯火山

从南西方向观察。Kalama期的暗色安山岩流在火山的东南坡为熔岩流组合体，在西南坡为单一岩流，山顶穹丘的英安岩在熔岩流之上，构成上部山坡

圣海伦斯火山1980年活动史

R.L.Christiansen D.W.Peterson

自1914—1917年加利福尼亚州Lassen火山喷发后，美国境内长期未出现大规模的火山



图 3 圣海伦斯火山的热液—岩浆爆炸
1980年5月18日霜坡后14秒拍摄，爆炸从火山中心指向侧方，并越过火山北坡霜坡
后留下的坎崖

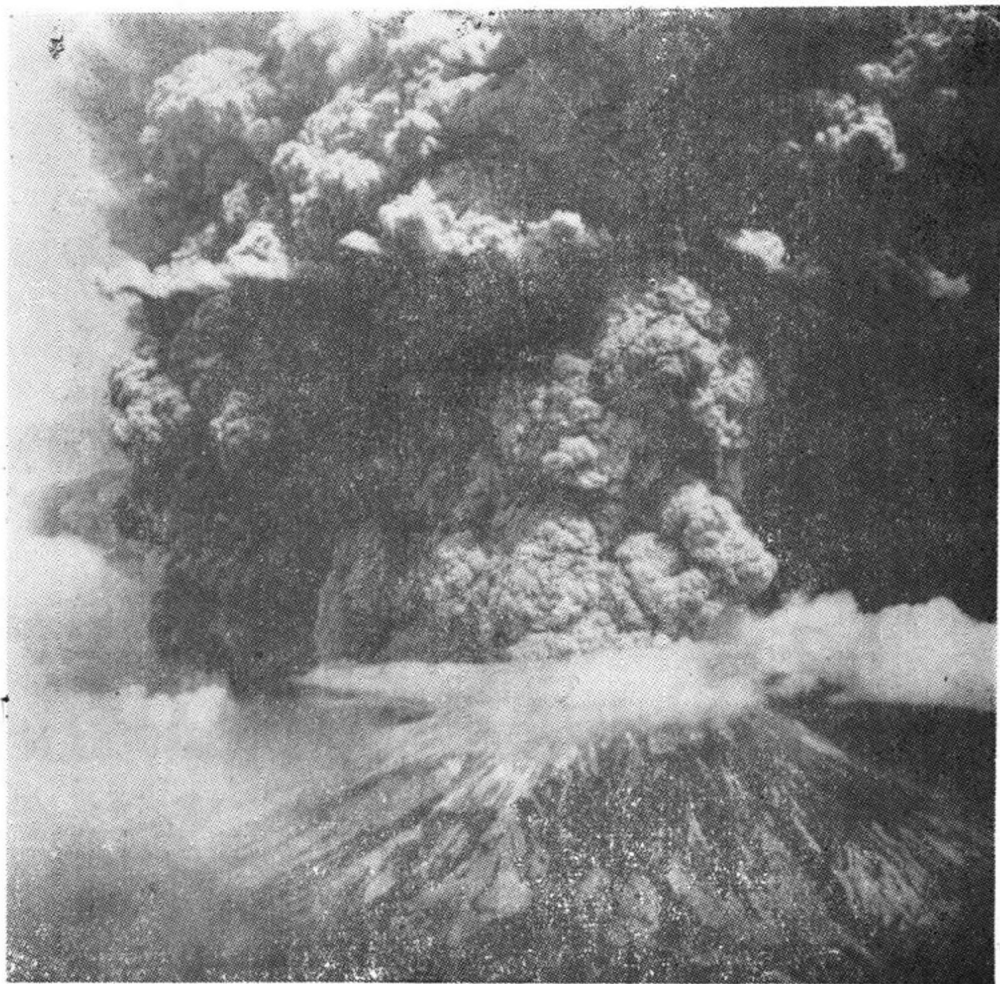


图 4 5月18日普林尼式喷发柱
它从火口中央升起，喷发柱显示菜花状结构，从围场状火口的北部升起幕布状灰
尘。从空中向北方拍摄

活动，1980年圣海伦斯火山爆发是它自1857年休眠以来又一次重大事件。

初期活动

第一个事件是3月20日产生的4级地震。3月25日群震达到高潮，山顶出现滑动破裂。3月25日以后，大于3级的地震每天仍在30次以上。3月27日下午发生第一次喷发，在原400米宽的山顶火口区内出现60—75米直径的一个新火口，在火山西南侧见到火山灰堆积。此时，火山西北坡出现东西向破裂，延长1500米，并切过老火口区。3月28日发生一系列小的爆发。3月29日在上述火口以西10米又出现一新火口。4月7日，上述两火口连接成一东西长500米，南北宽300米，深100—250米的大火口。4月份喷发活动逐渐减弱直至消失，但地震活动仍继续不断，每天都有30多次3级以上的地震。震中位于火山北坡拱起的这样一个小范围内。

4月22日一切喷发活动暂时终止。喷气活动仍继续发生。5月7—14日又有喷发，喷发柱可高出火口底板3000米，火山灰柱一般低于500米，更上为稠蒸汽柱。其中的碎屑主

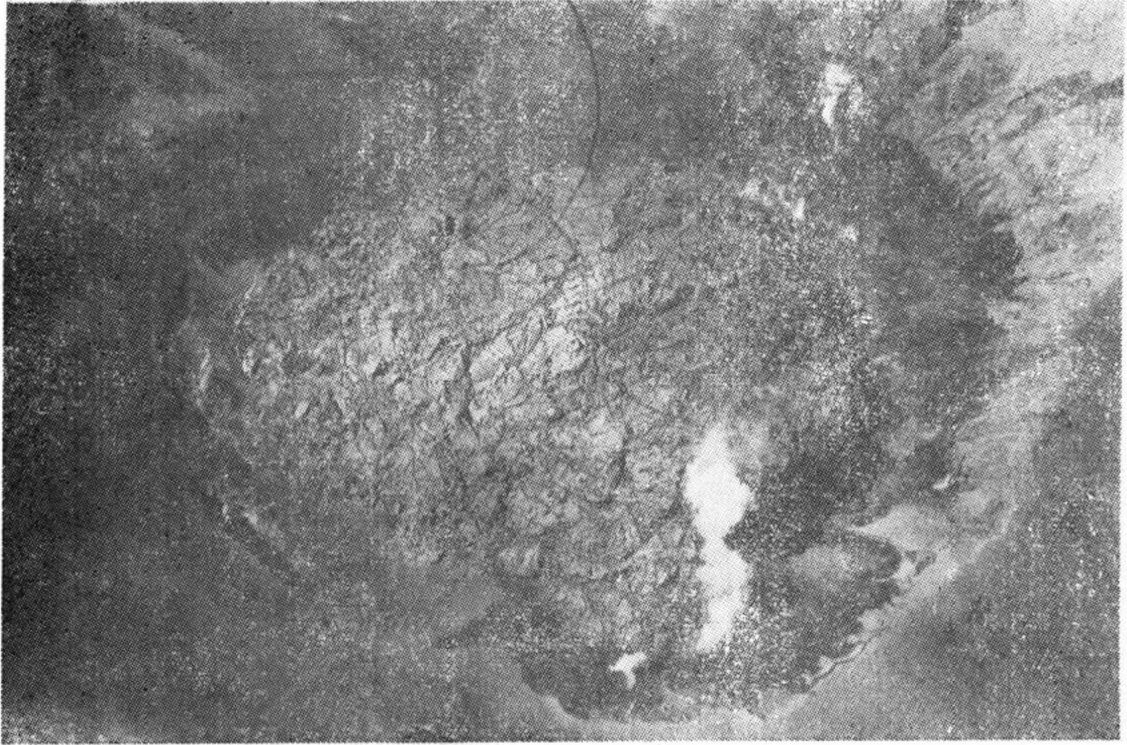


图 5 7月18日熔岩穹丘
它从6月12日通道内挤出，穹丘平均直径为365m。从空中拍摄

要为老英安岩穹丘的破碎物。下坡风将灰云吹向火山下部，形成碎屑流，更下则为浓流。更低处火山灰又被大气卷入空中。山麓堆积十分厚，以致无法估计。3—5月间，火山北坡上的拱起越来越明显，至5月12日已上升150米，位于拱起以北的Goat Rocks则向北移了106米。位移速度约2米/天。5月份以来3级以上的地震活动每天约20—40次，其中包括大于4级的5—10次。

上述两个火口内的喷出物主要来自火山机体本身，多数系约300米高的老山顶穹丘岩石。火山灰向外散布达50公里，也有人认为向东可达100公里。但主要部分在距火山几公里范围内。水的参与十分突出，故喷发主要是蒸汽爆炸。浅部有侵入活动，北坡出现快速拱起。

高潮期

5月18日前4天，喷发活动已终止。5月18日在8时32分发生的5级地震触发了整个活动。首先是北坡产生滑坡，使拱起区沿东西向破裂与火口区分开。随即从滑坡坎底部和山顶火口内升起黑色富灰喷发柱。从火山锥上部开始整个北坡的上部向下滑动，形成一大崩落物。同时在北坡上部发生一次爆炸。此爆炸破坏了北坡。大量火山灰和碎屑使老火山顶东西侧近30公里、北侧20公里以上的地区成为废墟。在内圈10公里内无一树林得以保存，毁坏区面积达600平方公里，并覆盖有一些碎屑物。来自火山锥底部的崩落物向北移动，在火山底部以外8公里处被一山背所阻挡。一小部分崩落物流过山背东端，进入Spirit湖。大部分崩落物西行，进入North Fork Toutle河谷，并流了28公里。崩落物总体积2.8立方公里。河、湖和火山冰川融化的水引起了5月18日下午的泥石流。泥石流活动主

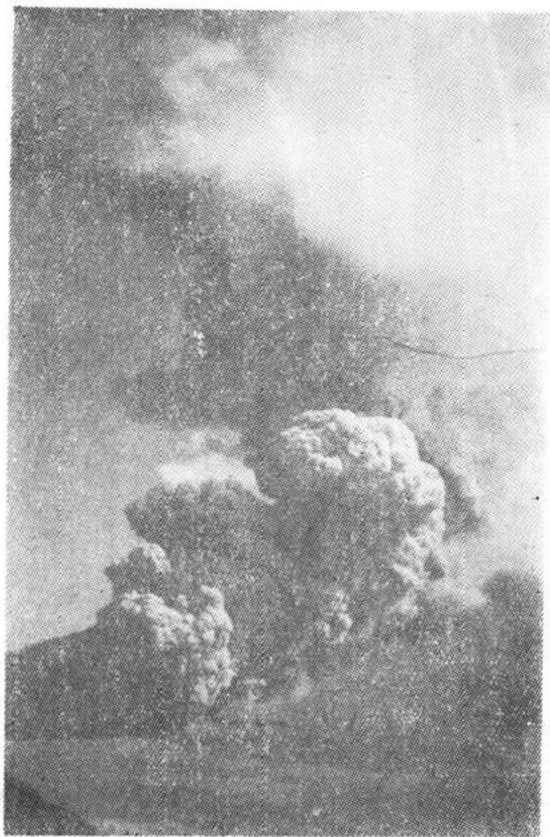


图 6 8月7日喷发的泡沫状灰流
灰流沿火山北坡下降，在充分发展阶段速度超过100公里/小时。速度是依据35毫米
定时摄影与16毫米连续摄影计算的



图 7 8月29日的圣海伦斯火山
照片显示滑动后的北坡，山顶崩落和5月18日喷发时扩展形成现今的围墙，围墙内
有一缕灰云升起。部分围场已被8月7日喷发所形成的穹丘拱起

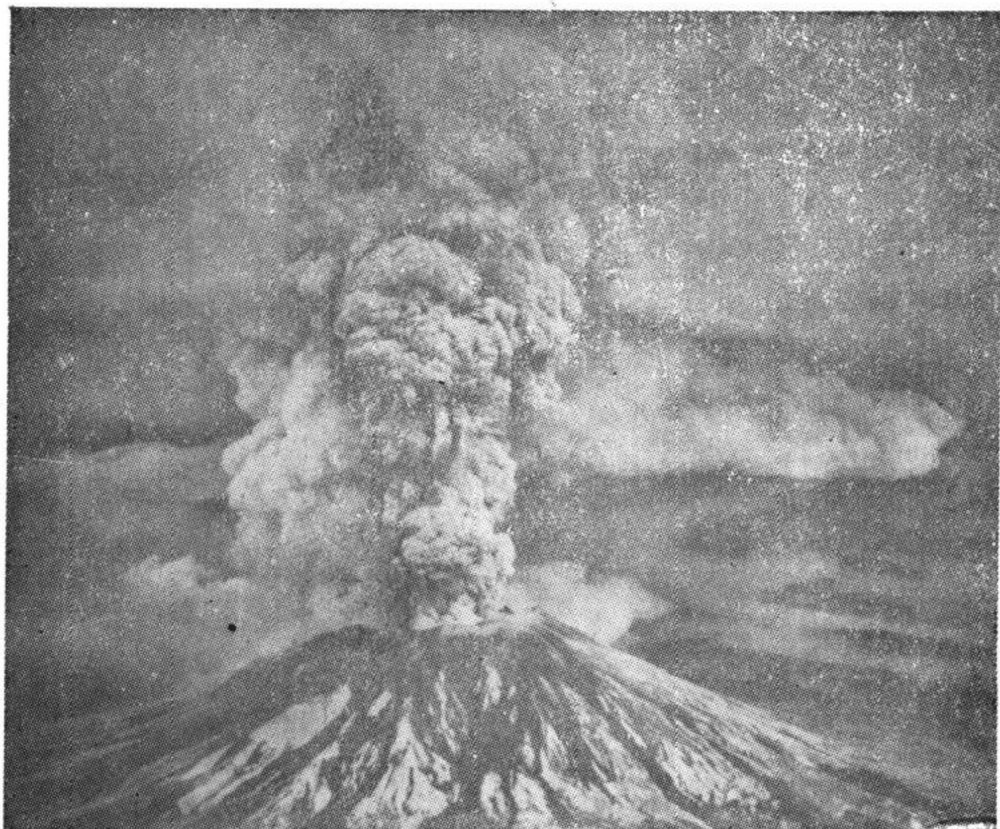


图 8 5月18日喷发，从北东方观察。照片摄于中午，约在爆发后4小时。天空渐渐明朗，图中的云与喷发有关。蒸气从通道、湖泊、河流与消融冰雪上兴起；亦从热的岩滑崩落和碎屑流上兴起。通道内升起的翻腾火山灰和液化物质落入火口区。早期爆炸和后期碎屑流使森林着火，火焰和烟从林中升起。每隔几秒钟出现一次闪电。在山的向风一侧未感觉到大气的扰动

要在北坡，东坡的规模很小。

喷发活动从早先火口内升起普林尼（Plinian）式烟柱开始，10分钟后达到20公里高度。火山灰被吹向NEE方向。爆发和滑坡带走了火山锥体上部约300米，共同组成了 $1/2 \times 3$ 公里的大围墙。普林尼式喷发延续了9个小时。17时30分后喷发开始减弱，至19日晨已相当微弱，而小型活动却延续至5月21日。喷发的岩浆为英安质，主要形成浅色紫苏辉石一角闪石英安质浮岩， SiO_2 63—64.5%。前期喷发物为暗色英安岩。喷出物总体积0.2立方公里。

后续期

5月28日2时30分又再次爆发。在这次爆发后两周的时间内，火山继续释放大气气体，形成3—5公里高的蒸汽柱，但未见有岩流。

第三次喷发见于6月12日。事先地壳活动加剧。19时20分，烟柱上升至4公里，地震活动急剧减弱，至6月13日零时43分喷发终止。烟柱高度在5—12公里内变动。下坡风将灰吹向SSW。在此期间，火口内有几股灰流向外出溢。喷发物包括暗灰色致密浮岩与浅色多孔浮岩两种。与此同时，在火口区内出现一个每天以2—3米速度生长的熔岩穹丘。

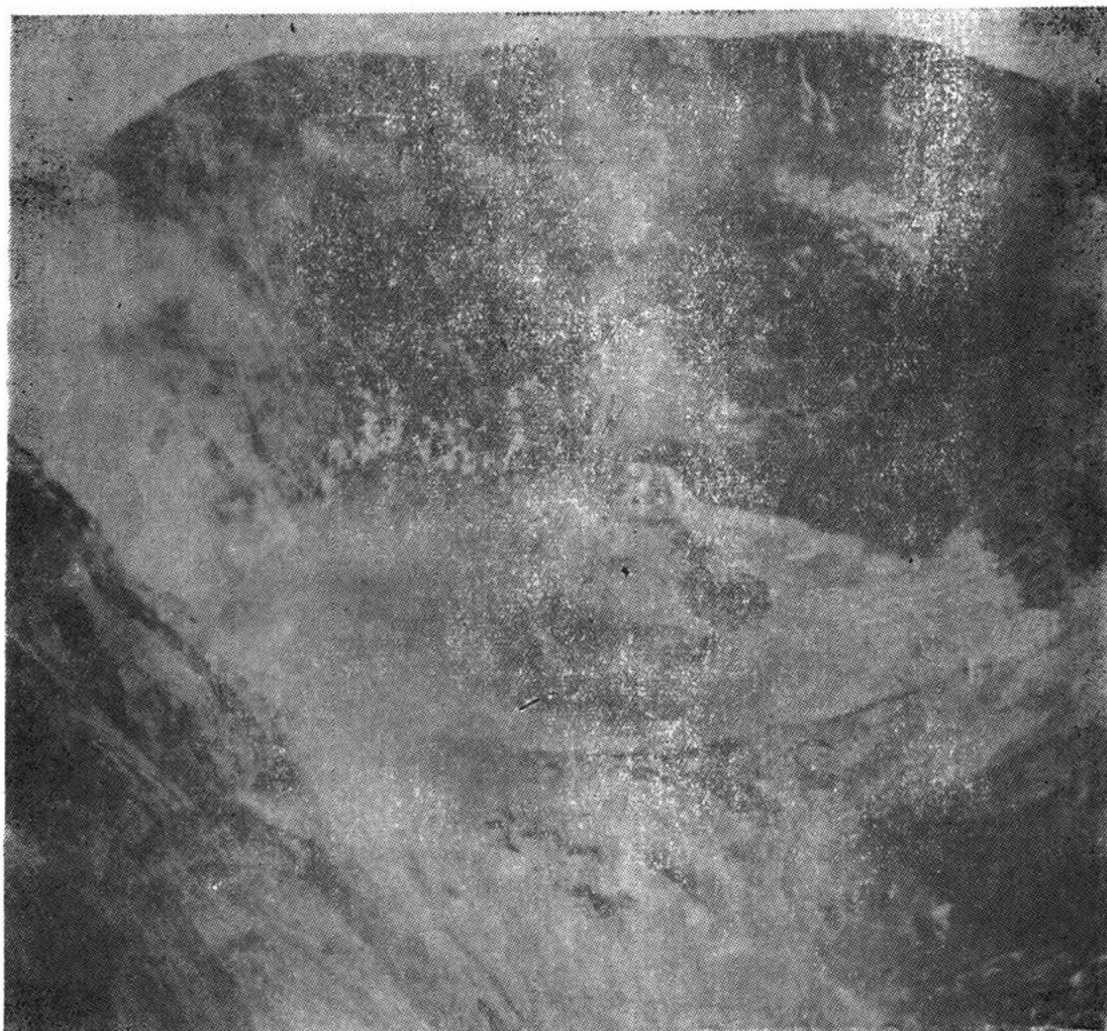


图 9 7月22日爆发后留下的小凹地。碎屑流(浅色部分)越过火口的低矮外沿向北和向下移动

七月中火山管道的北部围墙以5厘米/天速度膨大,在7月22日17时14分再次发生喷发。首先是喷发出一个碎屑柱,延续6分钟,高出海平面14公里;其次是灰云,延续22分钟,高18公里;再其次仍旧是灰云,而且是最大的一次,延续2小时40分,高度在14公里以下。灰云向北东移动,在北坡出现灰流。此次喷发在6月穹丘中央生成一个新火口,面积 $300 \times 400 \text{ M}^2$ 。此后火口区变得炽热,不断喷出高达3000—3500米的蒸汽柱。夜间观察,岩石呈暗红色。 CO_2 、 SO_2 喷发量仍相当大。

8月7日再次发生地震。16时23分开始爆发。灰云柱高13公里。从围墙到北坡有一股泡沫状灰流。爆发活动在22时32分结束。8月在火口管道内出现一个穹丘,充填了90米深火口的一半以上。

此后约两个月期间,火山保持平静。10月16日开始发生地震,21时58分出现碎屑流。至18日止,共发生五次,每次延续几分钟至1小时。云柱最高达14公里。其中两次活动内出现灰流,向北流了约5公里。18日开始在火口底上出现一个熔岩穹丘,它发展速度很



图 10-1 摄于5月4日, Goat Rocks位于照片东南部位的左侧中心, Dogs Head 位于左侧山脊线上

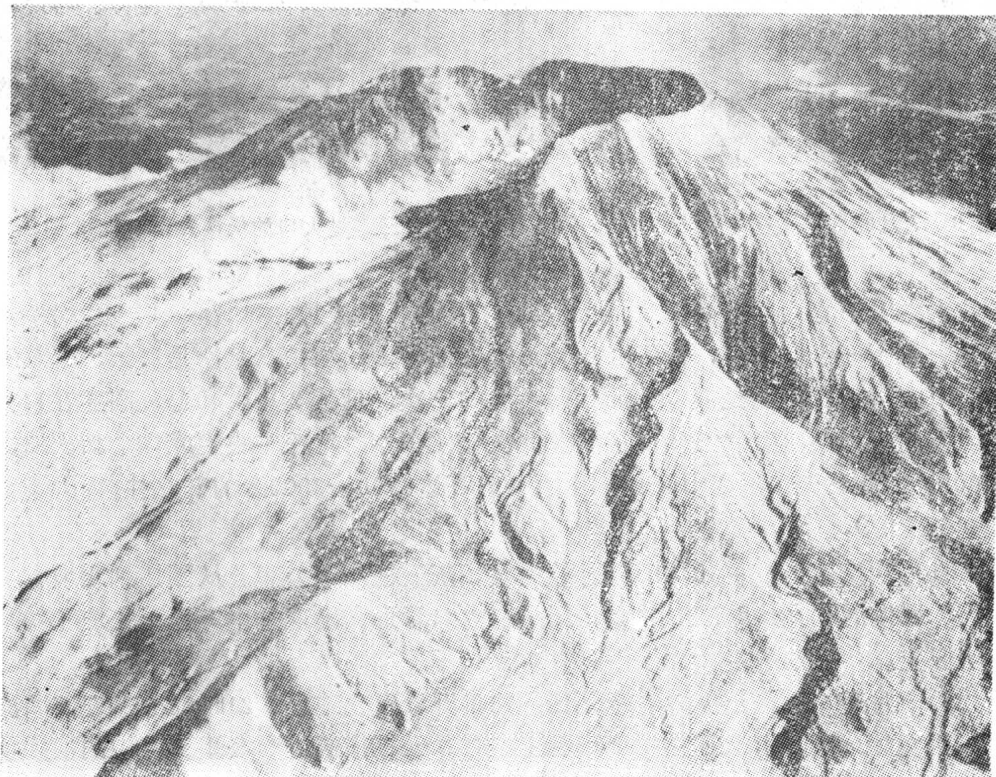


图 10-2 摄于8月19日, 与图10-1相比较。注意火山锥附近植被已全部被破坏