

辽河盆地 火山岩与油气

赵澄林 孟卫工 金春爽
蔡国钢 赵随光 季汉成 等著



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

北京)

伏虎阁书

2000年2月

辽河盆地 火山岩与油气

赵澄林 孟卫工 金春爽 等著
蔡国钢 赵随光 季汉成

石油工业出版社

内 容 提 要

本书首先介绍了火山作用方式及作用模式等,并对火山岩的分类命名进行了概述;其次对辽河盆地中—新生代火山岩的分布、地球化学特征、岩石学特征及岩相特征进行了论述;最后结合辽河盆地火山岩油气勘探实际,进行了储层评价和成藏条件分析。

本书可供油气勘探、开发的科研人员及大专院校相关专业的师生参考和教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河盆地火山岩与油气/赵澄林等著.

北京:石油工业出版社,1999.12

ISBN 7-5021-2863-8

I. 辽…

Ⅱ. 赵…

Ⅲ. ①盆地-火山岩-辽宁②盆地-油气藏-研究-辽宁

Ⅳ. P544

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 70388 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京来梦得有限责任公司排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 7 印张 4 插页 162 千字 印 1—1000

1999 年 12 月北京第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2863-8/TE·2235

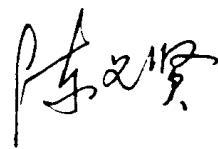
定价: 16.00 元

序

衷心祝贺由石油大学赵澄林教授和辽河油田孟卫工高工等编著的《辽河盆地火山岩与油气》一书正式出版。这是一部由石油高校与油田勘探实践及理论分析、地质与物探及测井、勘探与开发,以及老中青科技人员等诸方面密切结合所完成的一部学术专著。在内容的选择上具有较强的实践性、理论性和创新性。本专著从一个侧面反映了我国中—新生代陆相含油气盆地特殊岩类储层(火山岩以及变质岩、泥岩裂缝等)也有良好的勘探前景。

辽河断陷盆地火山岩油气藏发现较早,早在1971年首次在东部凹陷的热24井火山岩获工业油流,之后又相继在热11-7和兴99等井火山岩中获得工业油气流。特别是“九五”以来,首先在西部凹陷洼16-24、洼609等井的房身泡组玄武岩中出油,随之又在东部凹陷的欧26等井沙三段粗面岩中获高产工业油气流。为了搞清辽河盆地火山岩油气藏的形成机理和分布规律,辽河石油勘探局特邀请我国著名油气储层专家赵澄林教授主持开展了“洼609井区火山岩储层特征及成藏条件研究”(1997)、“辽河盆地东部凹陷欧利坨子—热河台地区火山岩储层特征及成藏条件分析”(1998)两项专题研究。研究过程中,辽河石油勘探开发研究院主任地质师孟卫工高工和赵澄林教授共同带领年轻人开展研究工作,他们不畏炎热夏天,利用节假日在岩心库对大量取心井进行岩心描述,收集岩性、岩相、储层特征及含油气标志,并取样和照相,为研究工作打下了坚实基础。经过大量测试鉴定和综合研究,从单井储层评价至区域储层评价,最后落实到成藏条件分析和有利勘探目标选择。由于研究工作能充分发挥院校和油田双方研究人员的理论水平及技术优势,才保证如期高水平地完成了这两项研究工作,并获得了专家和辽河油田广大科技人员的一致好评,在同类研究课题中,达到了国内领先水平。

为了深化对辽河盆地火山岩油气藏的总体分布规律及对成藏机理的认识,他们又在前人研究工作基础上,突出现有两项研究成果的特色,经过半年多的大量调研和资料收集,最终完成了本学术专著的撰写。希望该书的出版能进一步推动辽河油区乃至全国各油区的火山岩油气藏的研究,并在勘探和开发研究中发挥有益的作用。



1999. 7

前 言

目前,随着世界对油气资源需求的增加,勘探、开发难度的提高,以前仅侧重于碎屑岩、碳酸盐岩类型的油气藏,如今难以满足今后对能源的需求。寻找新类型的储层、油气藏已显得极为重要,这已成为大势所趋。火山岩油气藏的勘探和开发已成为油气储量增长的一个突破点。

火山岩储层广泛分布于美国、前苏联、古巴、墨西哥、印度尼西亚、日本和我国。这类油气藏单井日产也可上百吨、上千吨。国外地质学家从火山岩岩相入手,研究火山岩的孔隙类型及其分布规律,进而揭示火山岩油气藏的控制因素,积累了一定的经验。

近十年来,国内以准噶尔盆地古生代火山岩储层勘探效果最佳,在盆地西北缘已发现 14 个与火山岩有关的油气藏,石油地质储量已达一亿多吨,并已有六个油气田投入开发。惠民凹陷的临盘地区和黄骅坳陷风化店地区的火山岩、次火山岩油气藏也有明显的经济效益。内蒙二连盆地的阿北火山岩油田、江苏金湖凹陷的闵桥火山岩油田等,它们在全盆地油气储量和产量中均占有一定的地位。

辽河油田目前是我国陆上第三大油田,为我国石油工业和国民经济发展作出了重要贡献。但随着油田勘探开发的深入发展,勘探难度越来越大,要确保油田的储量和产量持续稳步发展,必须积极寻找新的勘探开发接替区和探索新领域。勘探实践表明,辽河盆地中—新生代有强烈的火山活动,从而在沉积岩层中夹杂有大小不一,岩性各异的火山岩体,有一定储集空间的火山岩体由于处于生油凹(洼)陷中及其邻近地区,因此在其它地质条件的配置下,也能形成油气藏。

辽河断陷盆地火山岩油气藏发现较早,早在 1971 年首次在东部凹陷的热 24 井 2211~2220m 火山岩中获间喷原油,8mm 油嘴生产,日产原油 5.66~6.17t;在 1972 年对该井进行酸化处理后仍用 8mm 油嘴生产,日产油 74~82t,揭开了辽河油田在火山岩中获得高产工业油流的勘探历程。相继又在热 11-7 井 2153.5~2171m 火山岩中获得 4mm 油嘴日产油 12.7t。在西部凹陷兴 99 井 2246~2400m 玄武岩中获得原油,10mm 油嘴日产油 101t,天然气 107350m³。最近又在西部凹陷南部洼 16-24 井、洼 609 井下第三系房身泡组玄武岩出油,东部凹陷欧 26 井沙三段粗面岩出油。这些事实证明,辽河盆地火山岩油气藏具有明显的经济效益,在整个含油气盆地的油气储量和产量中将占重要地位,为油田的增储上产将日益发挥重要的作用。总结辽河盆地火山岩与油气关系,也正是出版本书的目的。另一方面,渤海湾盆地的胜利、华北、大港、渤海等油田都已发现不同规模的火山岩油气藏。上述各油田的构造演化、构造格局、沉积体系和火山岩体分布有诸多相似之处,借鉴辽河油田火山岩油气藏勘探经验,进一步推进其它油田类似火山岩含油气带的勘探和开发也是出版本书的另外一个重要目的。

本书主要根据辽河石油管理局委托石油大学(北京)的专项科技攻关项目,也是中国石油天然气集团公司“九五”科技攻关项目“渤海湾及外围深层储层评价”子专题(970206-03-01-06)和中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室深部储层和特殊储层(火山岩、变质岩和裂缝)研究方向中的研究内容之一。

先后参加“洼 609 井区火山岩储层特征及成藏条件研究”(1997)和“辽河盆地东部凹陷

欧利坨子—热河台地区火山岩储层特征及油气藏形成条件分析”(1998)研究工作的有:

石油大学:赵澄林、金春爽、胡爱梅、季汉成、姜在兴、涂强、崔勇、王永新、王鹏、张同钢、操应长、唐洪等。

辽河油田:孟卫工、张占文、谷云飞、任作伟、蔡国钢、苗振、冯殿升、喻国凡、赵随光、张凤莲、刘敏、张坤、周建民、刘汉之等。

全书编写分工是:前言和第一章由赵澄林编写;第二章和第四章由赵澄林、金春爽、崔勇和季汉成等编写;第三章由金春爽、赵澄林、张同钢等编写;第五章由赵澄林、金春爽、姜在兴、蔡国刚、赵随光等编写;第六章和第七章由孟卫工、赵澄林、金春爽、冯殿升、姜在兴、赵随光等编写。结论由赵澄林、金春爽编写。金春爽自始至终参加了课题的研究工作,并结合课题研究完成了论文撰写,被专家评为优秀研究生论文。全书由赵澄林、孟卫工统编和审定。

全书的基本结构是:第一章火山岩岩石学概论是全书的基础理论部分,除了为阐述辽河盆地中—新生代火山活动、火山作用、火山岩分类和命名打基础外,也使本书更能广泛地面向社会,可供有关院校教学和科研参考使用;第二至第五章是辽河盆地火山岩研究成果的基础部分,并结合火山岩研究方法的介绍;第六章和第七章是结合辽河盆地火山岩油气勘探实际,进行储层评价和成藏条件分析,可供油气勘探部署参考;结论是对全书要点的总结。

最后感谢辽河石油勘探局总地质师陈义贤(教授级高工)为本书作序,感谢马玉龙、张学汝、吴铁生、祝学江等院领导的指导,以及辽河油田广大科技工作者的大力支持。

赵 澄 林

石油大学矿物学、岩石学、矿床学理学博士学科点
(原沉积学、古地理学理学博士学科点)

1999年6月

Foreword

Liaohe basin is the third largest continental oil field in China, which has made contributions to the nation's petroleum industry and economics. In recent years, with the developments of exploration and exploitation, it becomes more and more difficult to increase or maintain the reserves and output of the oil and gas, so it is necessary to look for new areas of exploration. The exploration practice indicates: in Mesozoic-Cenozoic, there were strong volcanic activities in Liaohe basin, which generated many volcanic rock bodies with different sizes and lithologies in the sedimentary rocks. Some volcanic rock bodies with some reservoir space located in the source sag or its near areas, so with the configurations of other geologic conditions, there could be some pools generated in them.

The discovery of pools in volcanic rocks was early. In 1971, in Re24 well of the eastern sag, crude oil firstly surged from volcanic rocks. In the volcanic rocks of 2211~2220m, with 8mm chokes, the output/day of crude oil was 5.66~6.17 t/d. In 1972, after acidization to Re24 well, still with 8mm chokes, the output/day of crude oil reached 74~82 t/d. This began the exploration process of high-output industry oil flow in volcanic rocks of Liaohe basin. Later, in Re11-7 well, from the volcanic rocks of 2153.5~2171m, with 4mm chokes, a output/day of 12.7 t/d was acquired. In 1991, in Ying24 well of eastern sag, industry oil flow was acquired in volcanic rocks, then in Xing99 well of western sag, from the basalt of 2246~2400m, with 10mm chokes, the output/day of oil was 101 t/d with the output/day of gas 107350m³/d. Recently, in Wa16-24 well and Wa609 well of western sag, oil was found in volcanic rocks of Fangshenpao formation of Paleogene; in Ou26 well of eastern sag, oil was also found in the volcanic rocks of Sha-3 members. The above practices indicate that pools in volcanic rocks have obvious economic benefits, and will play important roles in the process of increasing or maintaining the output and reserve in Liaohe basin. The first purpose of this book is to make a summarization of the relationship between volcanic rocks and pools. On the other hand, recently, in Shengli, Huabei, Dagang and Bohai oil field, pools with different sizes in volcanic rocks have been found, their structure evolution, sedimentary systems and distribution of volcanic rock bodies have many resemblance. So with the experiences acquired in the exploration of pools in volcanic rocks in Liaohe basin, to advance the exploration and exploitation of oil-gas-bearing zones in volcanic rocks of other oil fields is the other important purpose of this book.

Zhao Chenglin

Petroleum university

Doctor station in mineralogy, petrology and geology

1999. 6

目 录

第一章 火山岩岩石学概论	(1)
一、火山作用方式.....	(1)
二、火山作用模式.....	(2)
三、近代典型的火山作用模式.....	(5)
四、火山岩分类、命名和鉴定.....	(9)
五、火山岩岩相	(12)
第二章 辽河盆地基本地质特征	(15)
第一节 自然地理和区域地质概况	(15)
第二节 区域构造特征分析	(16)
第三节 火山活动与火山岩分布	(22)
第三章 火山岩地球化学特征	(27)
一、主元素特征	(27)
二、微量元素特征	(30)
三、稀土元素地球化学特征	(31)
四、同位素	(35)
第四章 火山岩岩石学特征	(37)
第一节 火山岩的测井、地震响应	(37)
第二节 火山岩的微观特征	(38)
第五章 火山岩岩相特征	(45)
第一节 辽河盆地中—新生代火山岩岩相模式	(45)
第二节 火山岩岩相类型	(46)
第三节 火山岩岩相层序	(48)
第四节 火山口位置的推测	(53)
第五节 辽河盆地重点研究区火山岩岩相分布	(63)
第六章 火山岩储层综合评价	(64)
第一节 火山岩储层岩性评价	(64)
第二节 火山岩储层岩相评价	(64)
第三节 储层的储集空间特征及其演化	(64)
第四节 火山岩储层物性特征及孔喉结构分析	(70)
第五节 储层裂缝研究	(77)
第六节 火山岩储层分类	(80)
第七章 火山岩成藏条件及油气藏类型	(91)
第一节 火山活动在油气形成中的作用	(91)
第二节 火山岩油气藏的控制因素	(92)
第三节 火山岩油气藏形成的基本条件	(93)

第四节 火山岩油气藏类型	(95)
结 论	(97)
参考文献.....	(101)

Contents

Chapter1	petrology summarize of volcanic rock	(1)
Section1	manner of volcanism	(1)
Section2	model of volcanism	(2)
Section3	modern typical model of volcanism	(5)
Section4	classification and identification of volcanic rock	(9)
Section5	volcanic rock lithofacies	(12)
Chapter2	general geologic characteristics	(15)
Section1	geography and regional geology in liaohe basin	(15)
Section2	analysis of regional structures of liaohe basin	(16)
Section3	volcanic activity and distribution of volcanic rock	(22)
Chapter3	geochemical characteristics of volcanic rock	(27)
Section1	characteristics of main elements	(27)
Section2	characteristics of microelements	(30)
Section3	geochemical characteristics of lanthanon	(31)
Section4	isotope	(35)
Chapter4	petrology characteristics of volcanic rock	(37)
Section1	logging and seismic response of volcanic rock	(37)
Section2	micro-characteristics of volcanic rock	(38)
Chapter5	lithofacies characteristics of volcanic rock	(45)
Section1	lithofacies models of volcanic rock of Mesozoic-Cenozoic in liaohe basin	(45)
Section2	lithofacies types of volcanic rocks	(46)
Section3	lithofacies sequence of volcanic rocks	(48)
Section4	location conjecture of the crater	(53)
Section5	distribution of volcanic lithofacies of key areas in liaohe basin	(63)
Chapter6	comprehensive evaluation of volcanic rock reservoirs	(64)
Section1	lithologic evaluation of volcanic rock reservoirs	(64)
Section2	lithofacies evaluation of volcanic rock reservoirs	(64)
Section3	characteristics and evolution of reservoir space	(64)
Section4	properties of reservoirs and texture analysis of pores and throats	(70)
Section5	research of reservoir fracture	(77)
Section6	reservoir classification of volcanic rocks	(80)
Chapter7	generating conditions and types of pools in volcanic rocks	(91)
Section1	effects of volcanic activity in the process of pool generation	(91)
Section2	controlling factors of pools in volcanic rocks	(92)
Section3	basic conditions of pool generation in volcanic rocks	(93)

Section4	types of pools in volcanic rocks	(95)
Conclusion		(97)
References		(101)

第一章 火山岩岩石学概论

火山作用与火山岩的研究，近年来越来越受重视，有相当多的金属和非金属矿产（也包括流体矿产），被证明是与火山作用直接有关。近代地球物理、地球化学与海洋地质的研究发展了火山岩岩石学及火山作用的理论。板块构造学说就包括了火山作用怎样发生与发展及火山岩分布规律等多方面内容。岩浆或熔浆主要发源地是上地幔的顶部和地壳的中下部。当深大断裂达到这些部位时，熔浆沿着断裂上升可达到地壳表层，即表现为火山作用。火山犹如一个天然的深钻孔，它对于人类研究地壳和上地幔的物质组成有着重要科学意义。

辽河盆地地处环太平洋地区，晚侏罗世至新生代沿北东和北西向两组主要断层交汇部位，发生了多级次的大规模的火山活动。因此深入研究辽河盆地火山作用的发生、发展和火山岩的形成及分布规律同样具有重要科学意义。

为了较好地阐明辽河盆地火山作用与构造演化、火山岩岩性、岩相基本特征与油气储层条件、火山岩油气藏形成与分布等方面基本内容，兹就火山作用方式，火山岩分类、命名和鉴定，火山岩的研究方法等方面概括作些介绍。以使读者阅读本书主体部分时，先有个火山作用和火山岩岩石学基础方面的准备（王德滋等，1982；孙鼎等，1985；邱家镶等，1993）。

一、火山作用方式

关于火山作用的方式在一定程度上与岩浆成分有关，与其中气体积聚的数量有关，或者说与岩浆的粘性有密切关系。酸性岩浆的粘性大于基性岩浆，这是因为岩浆的粘性与硅原子数对铁、镁、钙等原子数的比值有关，比值越大，粘性越大。因为当铁、镁、钙等原子数目较少（如酸性流纹质岩浆），不能满足 SiO_4^{4-} 中和的需要时，以致硅氧四面体不是一个个孤立地存在，而是彼此以不同程度连接形成链和网，这样粘性就增大了，当大量气体溶于岩浆中，一般促使粘性减少，但当气体以气泡状态存在而且数量很多时，粘性将增加。温度和压力对岩浆的粘性也有影响，岩浆的温度越高，粘性越低，压力增大，粘性增加。故当深大断裂达到岩浆房时，熔浆的粘性将会突然降低，此外，如果岩浆内含有数量较多的斑晶和异源碎屑时，粘性也会随之增大。

综上所述，岩浆粘性将直接影响到火山作用的方式并影响到火山岩的产状，概括起来火山作用主要有三种基本形式。

1. 爆发作用（explosion）

是一种猛烈喷发，与气体的大量积聚和突然释放出来有关，从而在火山口附近形成大量的火山碎屑物质，堆积而成火山碎屑锥。

2. 喷溢作用（effusion）

当岩浆从火山口比较宁静地溢出时，其流动性较好，而形成熔岩流和盾火山。一般来说，爆发和喷溢这两种方式有时是交替进行的，即爆发作用以后往往是随之而来的熔浆从火山口的溢出，这样形成的火山物质主要是熔岩流和层火山锥。

3. 侵出作用（extrusion）

主要是一些粘性较大的熔浆，在一次气体大量释放以后，涌出火山口后堆积而成。由于其粘性很大，又主要分布在火山口附近，故多形成岩钟、岩塔、岩针等十分特征的“侵出

体”，是识别古火山口的标志之一。

二、火山作用模式

前已述及，火山作用表现为爆发、喷溢和侵出三种方式，这三种方式是以不同程度彼此结合并交替出现，从而形成各种类型的火山体系。所谓火山体系是指在一定时间内喷发出来的火山碎屑物和熔岩围绕火山通道所形成的堆积体，包括火山通道相、喷发相、侵出相、次火山岩相等，还包括与火山作用有密切关系的矿产，这些都是火山体系的组成部分。现代火山体系往往保存较好，古火山体系由于遭受剥蚀和构造变动常常受到不同程度的破坏，必须通过详细研究各种火山生成的关系，才能在一定程度上恢复已受到破坏的古火山体系。根据火山通道的形态，火山体系可分为线型火山体系与中心型火山体系（图 1-1）两类。有些火山作用模式比较简单，仅有一个火山通道，经历一次喷发旋回。有些则比较复杂，属于多喷发旋回的多孔火山，如意大利的埃特纳火山有一个主火山口，周围还有数百个寄生火山口（或称侧火山口）。

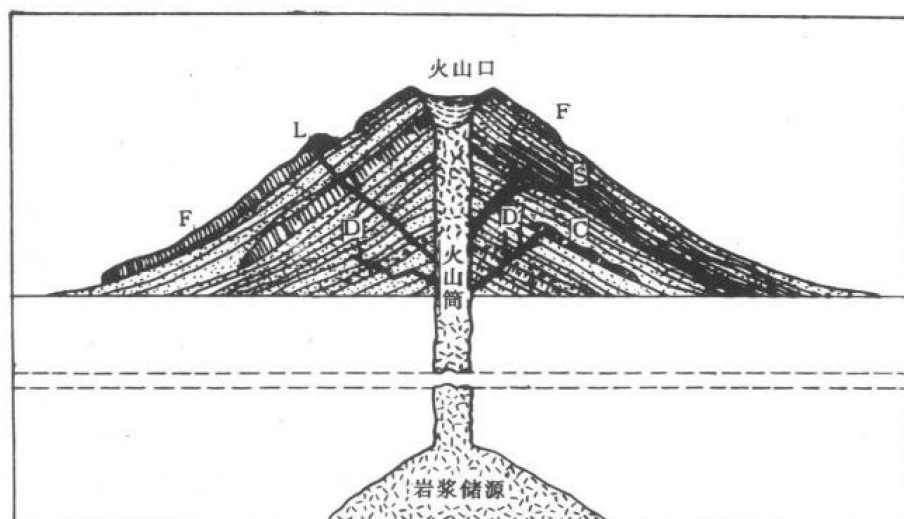


图 1-1 中心式复合火山体系示意图

表示火山锥、火山口、中心式火山筒、岩浆源、岩脉（D）、侧火山锥（L）、熔岩流（F）已覆盖的火山渣锥（C）和岩床（S），细火山碎屑岩层以细点表示，火山角砾岩层以小三角形表示

（据 Macdonald, 1972）

火山喷发物围绕火山通道堆积成锥状体称为火山锥。火山锥的形态决定于下列因素：（1）火山通道的形态；（2）喷发的猛烈程度；（3）喷发物的物理性质。对于火山碎屑物来说，表现为压结的程度和静止角；对于熔岩来讲，则为岩浆的粘性和涌出的体积。根据火山通道的形状可分为裂隙式喷发与中心式喷发两大类。泛流式玄武岩和流纹质火山灰流这些大面积的喷发大都属于裂隙喷发，有些中心式火山口呈定向排列，显然是受基底岩石中的深大断裂的控制，这种喷发类型称为裂隙—中心式。在两组断裂的交会处往往发育中心式火山口。一般来说，中心式喷发较裂隙喷发要猛烈些。中心式喷发的火山口往往表现为复合式火山口，即同一火山通道经受多次喷发；而裂隙喷发则往往改变通道，同一通道很少重复喷发，新开辟的裂隙通道往往与旧裂隙通道相互平行。

喷发的猛烈程度可以通过测定爆发系数（E）来衡量

$$E = \frac{m}{M} \times 100\%$$

式中 E——爆发系数；

m ——火山碎屑物数量；

M ——火山生成物总量。

火山锥分为火山碎屑锥、盾火山和层火山等三种基本类型。麦克唐纳 (Macdonald, 1972)、里特曼 (Rittman, 1962) 等叙述了这些火山锥类型的基本特征。

1. 火山碎屑锥

组成火山锥的物质全部为火山碎屑岩，粗的火山碎屑靠近火山口，细的略远些，火山锥的原始坡角为 30° 左右，相当于松散堆积物质的静止角，呈锥形山或低丘状态产出 (图 1-2)。平面上近似圆形，并随火山口形状而变化。火山锥顶部平坦，火山口呈碗形或漏斗形，底部常有火山碎屑堆积其中。火山口可以是一个洼地构成，也可以由几个洼地复合构成，每个洼地都代表着从前喷发过的火山口位置。复合火山口和火山锥在平面上呈长圆形，缺乏单一火山口构成的圆形火山锥的对称性。有时可以看到许多火山口呈线状分布，那是受断裂系统控制的结果。相邻的火山口喷出的火山碎屑物可以彼此重叠，后期喷发的火山口可以将前期的火山口部分或全部破坏或掩埋。由于喷发晚期熔浆在通道内的后退，会造成锥顶物质的塌陷，从而使火山口范围扩大。如果喷发是间歇的，则可以看到火山锥由一层层的粗细不等的火山碎屑岩组成，而且火山碎屑锥外坡的成层性比其内坡显著。火山碎屑岩粒度多数属角砾级和集块级，一般为 2mm 到 30mm。在单独火山碎屑岩层序中，碎屑往往自下而上减小，因为喷发时，大粒碎屑物比小粒碎屑物喷得低些、近些，着地也快些。然而这种差别有时并不显著，因单独一次喷发的强度比较均匀，而多次喷发活动的后几次喷发强度，由于气体减少，一般弱于前几次。因此，上部火山碎屑岩的粒度就小于下部。就火山碎屑物种属来说，下部多火山块、火山渣，上部多各种形状的火山弹，这也是由于喷发晚期岩浆气体减少的缘故。在某些情况下，当晚期熔浆气体含量极度少时，就喷发出溅落熔浆团，堆积于火山口边缘，可相互熔结，构成弧形直立的壁垒或低矮陡峻溅落熔岩锥，锥体中央为喷发熔岩和气体的孔穴。火山碎屑锥也可以形成于水下，而锥顶又往往露出水面，水下部分以良好的粒度分选为特点，有时也能见到递变粒序，反映火山沉积物重力流特点，各层碎屑自下而上，由粗变细显正粒序，这就是通常所说的火山碎屑重力流沉积物 (岩)。



图 1-2 江苏江宁方山火山碎屑锥及其上覆熔岩被

- 1—中新统洞玄观组砂岩、砂砾岩；2—上新统方山玄武岩系下部碱性橄榄玄武岩；3—上新统方山玄武岩系火山砂岩；
4—上新统方山玄武岩系上部玄武质火山碎屑岩及其构成的火山碎屑锥；5—上新统方山玄武岩系上部碱性橄榄玄武岩 (与 4 呈喷发不整合接触)；6—最后形成的火山颈相辉绿岩

2. 盾火山和熔岩锥

全部或几乎全部由熔岩组成的大型宽矮的穹窿称盾火山。形状如古代战士手执的盾牌，主要由夏威夷式和斯特朗博利式火山喷发，由多次溢出的岩流构成。坡角 $2^\circ \sim 10^\circ$ ，很少超过 15° 。顶部有火山口，火山口呈平底、陡壁。火山口边缘有时有溅落熔浆团或火山渣。爆发系数小于 10，一般在 2~3 之间。在盾火山中有岩墙、岩床、岩盖等次火山岩体，它们也是火山体系的组成部分。盾火山往往呈定向排列，说明它们同样是受断裂系统控制。盾火山绝大多数由

玄武岩组成，有时只在火山口附近出现粗面岩、响岩或碱性玄武岩的侵出体（岩钟），它们是玄武质熔浆的分异物。目前对于海底大型盾火山的了解逐渐增多，它们主要由熔岩组成，极少火山碎屑岩。因为在海底条件下，上覆海水重量阻止或妨碍了熔浆中气体的逸出或爆炸。但在浅水地带的一二百米水体深度条件下，火山碎屑物比例会多些，可达总体积的 2%~3%。熔岩锥是一种小型的盾火山，也是由薄的多次溢出的熔岩流组成，顶部常有一小火山口，由于熔浆缩回而构成，有时还有熔岩湖。区别于盾火山的是，它缺乏特征的圆而广阔的盾形山。一般宽 1~3km，高几十米，平均坡角 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。

3. 层火山

又名复合锥。由熔岩和火山碎屑岩互层组成，熔岩起着类似骨架的作用。因此，一些现代层火山（如日本的富士山）可以构成很高的山峰，通常由斯特朗博利式、武耳卡诺式或培雷式火山喷发，或者其中的两种，甚至三种类型的火山喷发先后复合构成。熔岩流一般呈致密块状，上部有时因熔岩自碎角砾化作用而呈具有复原性的碎块状，但极少有绳状熔岩。随着喷发熔浆粘度的差异，熔岩流厚度可以薄而广阔，也可以厚而窄，且常伴有岩钟。火山碎屑物主要是火山渣、火山灰，较少溅落熔浆团。对于不同的火山，熔岩与火山碎屑岩的比例不同。层火山又可分为富熔岩类型 ($E=11\sim 33$)，中间型或正常型 ($E=34\sim 66$) 和富火山碎屑岩类型 ($E=67\sim 90$ 或甚至 95)。即使在同一火山体系中，不同的喷发时期，熔岩和火山碎屑岩的比例也是变化的。火山口在平面上近于圆形，也有的为椭圆形。多数层火山有单一的火山口，因此比较对称。但也有不少层火山体系是复杂的多孔火山体系，不同火山口的喷发物彼此交错，很难区分。有时又以一个孔道为主，其它则为发生于主火山锥侧翼上的寄生火山锥，这种多孔火山口体系对称性低。坡角约 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，往火山口方向渐陡，向外缘方向逐渐平缓，底座则近于水平。变平的原因有二，底部熔岩比例较高，或是松散碎屑物随坡向下滑动。有的层火山在喷发末期发生塌陷，形成破火山口，在大的塌陷火山口中，又可以升起新的火山锥，维苏威火山及我国内蒙古阿尔巴戈旗火山就是典型的例子（图 1-3）。构成层火山



图 1-3 火山锥——内蒙古阿尔巴戈旗破火山口内升起新的火山锥
大的破火山口最大直径约 2km，火山锥最大的相对高度约 60m（据孙鼐，1985）

的岩浆岩类型主要是粗安岩、安山岩、粗面玄武岩、碱性玄武岩等。其中流动性较大的构成熔岩流层火山，而熔浆粘性较大的则构成以火山碎屑岩为主的层火山。

三、近代典型的火山作用模式

研究现代火山体系是研究古火山体系的一把钥匙，可以通过解剖典型现代火山体系的方法，重溯古火山作用的历史。可将现代火山喷发划分为各种成因类型，麦克唐纳 (Macdonald, 1972) 和勃拉德 (Bullard, 1962) 在他们的著作中较详细地叙述了这些近代典型火山作用模式的基本特征。世界范围内的近代火山喷发模式有：

1. 夏威夷式和泛流玄武岩式

夏威夷式是以熔浆粘度小，流动性较大，表现为比较平静的溢流作用为特点。气体含量少，伴有弱的爆发，爆发系数一般小于 10。火山通道一般属于裂隙型，特别表现在喷发的早期阶段。到了晚期，有时可以出现一些中心式喷发。熔浆成分主要是玄武质熔岩，但也可以是安山质熔岩。单层熔岩流较薄，一般厚度不足 15m，但延展广，常达 15~50km²，延长 50km 以上。往往表现为绳状熔岩和块状熔岩。由于喷发时熔浆受到较大的静压力以及气泡的膨胀作用，当其到达地表时，形成熔浆流喷泉，喷射高度一般为几米到几十米，最高可达 800 余米。由于伴随微弱的爆发，常产生“牛粪状”火山弹和溅落熔岩团，后者沿裂隙喷发形成一堵城墙似的壁垒。这种喷发类型，熔岩流往往是多次溢流，而且有许多裂隙作为通道。结果是熔岩呈大面积分布，而且厚度也较大 (图 1-4)。泛流式玄武岩喷发 (图 1-5) 与夏威夷式相似，差别在于喷溢的熔岩流数量极大，火山碎屑物更少，爆发指数不足 2~3；单一熔岩流规模往往十分巨大，可达几百平方公里和上百立方公里；通道几乎都是裂隙式的，但更难于发现，一般被后期熔岩流所掩埋，只表现为一些低矮的溅落熔岩锥或盾形低山。

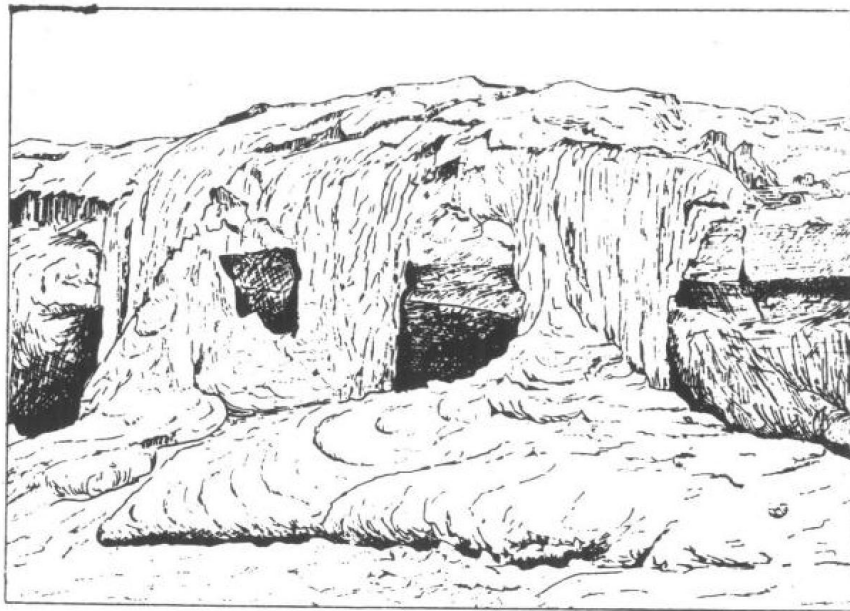


图 1-4 夏威夷群岛拉维亚玄武岩流构成的熔岩瀑布 (据依霍尔姆斯, 1949)

图下为波状熔岩的典型剖面

2. 斯特朗博利式

以靠近意大利的西海岸一个小岛上的斯特朗博利火山为代表，熔浆比夏威夷式要粘稠些，熔浆成分为玄武质的和安山质的，熔岩流主要形成块状熔岩，也有少数绳状熔岩，熔岩流较夏威夷式厚而短些。这种火山可以持续几个月，甚至几年，长期平稳地喷发，并以伴有间歇

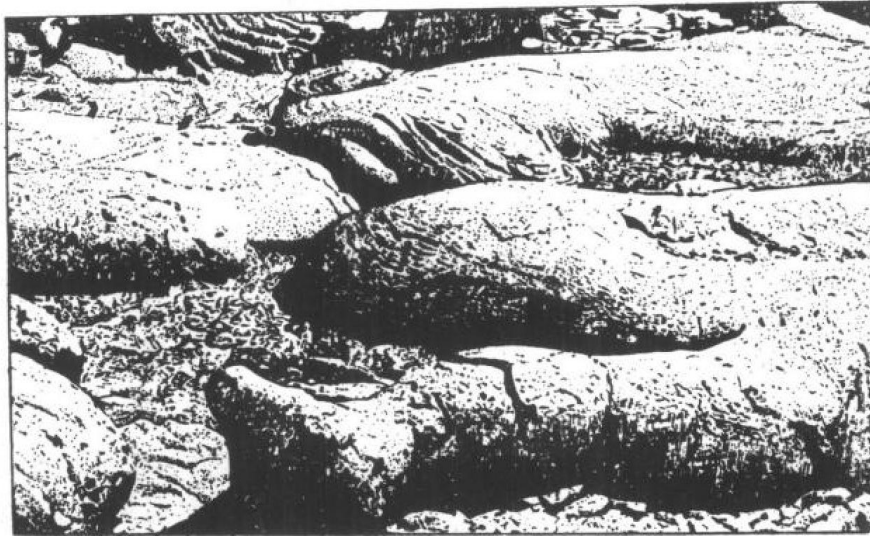


图 1-5 夏威夷基拉韦厄 1920 年喷发的熔岩流
(据 G. A. Macdonald, 1972)

性的爆发为特征。从通道里韵律性地喷出白热的火山渣、火山砾、火山弹，喷射高度一般为几十米到几百米。如是夜间喷发，则构成节日焰火般壮观景象。爆发系数为 30~50。火山弹呈球至纺锤形，火山灰数量也较少。往往含有来自火山基底的异源碎屑。这些火山碎屑物围绕火山口堆积，由于其间常有熔岩夹层，可以形成很高的火山锥。我国山西大同火山群属斯特朗博利式喷发。

3. 武耳卡诺式和超武耳卡诺式

武耳卡诺岛位于地中海西西里岛附近。熔浆粘度较大，喷发猛烈，夹杂有火山灰的云雾可升入高空 40~50km 以上，爆发系数为 60~80，也可以是水下爆发。熔浆成分通常是安山质、英安质或粗面质的，也有玄武质的和流纹质的，见不到斯特朗博利式喷发的球形和纺锤形火山弹。但可见到面包壳状火山弹，它们与不规则的火山集块堆积在火山通道附近。大的火山块可重达几吨至上百吨。在火山碎屑物中，以火山灰和火山角砾最多，其间夹有棱角状熔岩屑，它喷发时被加热，夜里发光，但仍未熔蚀。通常无熔岩流伴生，如有则厚而较短，因粘性较大之缘故。火山灰流少见，火山锥主要是火山碎屑堆积而成。超武耳卡诺式喷发是指喷发物全部由刚性的固体火山碎屑组成，它们是最早喷发凝固的火山岩，也可以是基底和通道附近的各种围岩，往往二者兼而有之。喷发时，它们被热气流加热，而未熔蚀。熔岩碎屑粒径自火山集块至火山灰皆有。火山灰中主要是熔岩岩屑，也有一部分玻屑。玻璃质火山灰极度少见，如出现，也往往是以以前火山玻璃再粉碎产物。引起超武耳卡诺式喷发的气体可以来自深部熔浆，也可以是被加热的地下水发生气化而引起的爆发。超武耳卡诺式往往是其它喷发如武耳卡诺式和斯特朗博利式喷发的前奏。

4. 培雷式

培雷火山是小安的列斯群岛中的马提尼克岛上的一个火山。培雷式喷发具有两个特点：一是喷发时具有炽热的热崩碎屑流；二是伴有岩钟的形成。此二特点可以同时都有，也可以只有其中之一。热崩碎屑流表现为气体与火山灰的乳浊相，而且火山灰被气体所包裹，因此具有很大的流动性。如为低角度喷发时，则是早先形成的岩钟因火山爆发而崩塌、冲碎（图 1-6A），或者刚堆积于火山斜坡上炽热火山灰，因火山爆发震松，由此发生的热崩碎屑流贴着地