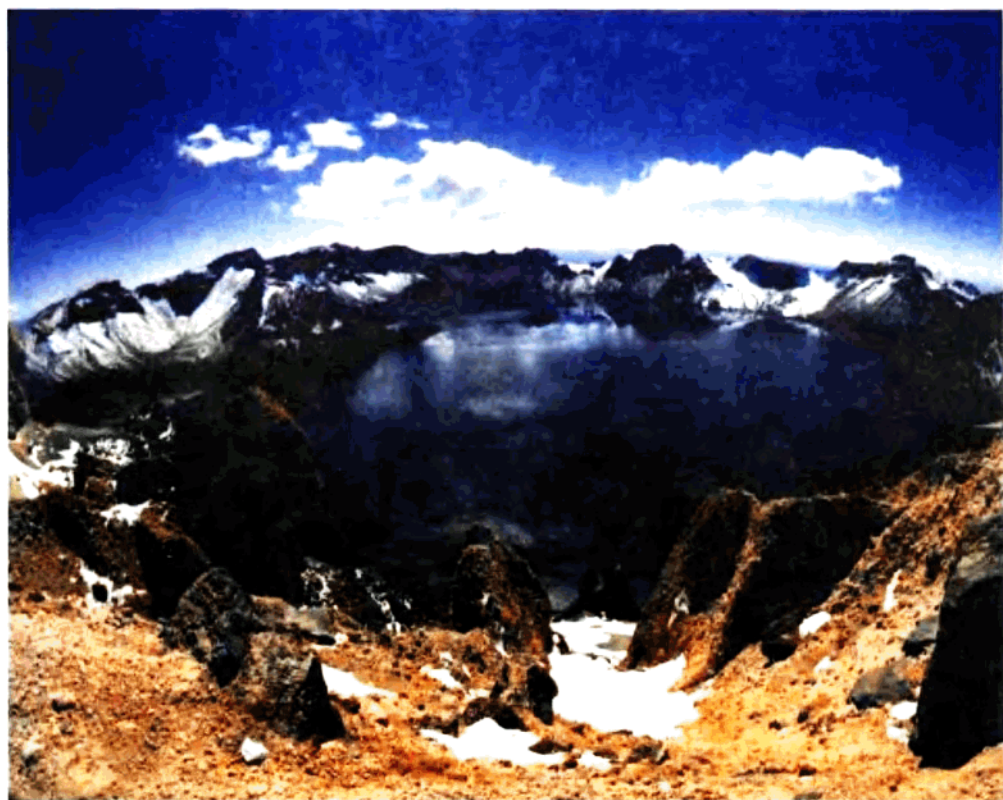
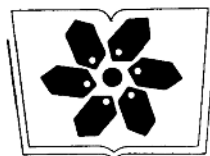
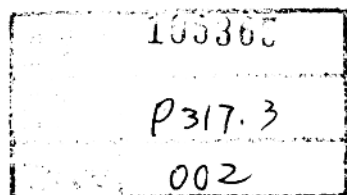


长白山天池火山 近代喷发

刘若新 魏海泉 李继泰 等 著



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

SY29/06

长白山天池火山近代喷发

刘若新 魏海泉 李继泰 等著

地震科学联合基金委员会资助项目(95000007)



石油0105468

科学出版社

1998

内 容 简 介

作者通过近年对长白山天池火山的研究,取得了多方面较为丰富的第一手资料,对天池火山近代喷发的主要方面以及对公元 1215 年的大喷发从整体上获得了基本的认识,这是我国第一部有关活火山学研究方面的专著。

本书可供从事岩石学、火山学方面的科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

长白山天池火山近代喷发/刘若新等著. - 北京:科学出版社,1998.3
ISBN 7-03-006285-X

I. 长… II. 刘… III. 火山喷发-研究-吉林,长白山天池 IV. P317.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 21696 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

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

*

1998 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 3 月第一次印刷 印张: 10 1/4 插页: 6

印数 1-1 000 字数: 234 000

定价: 32.50 元

绪 言

地球上的火山及火山作用,几乎是所有金属、非金属矿产资源的主要来源,也是人类一个可供利用的潜在巨大能源宝库,还为农业、林业提供了肥沃的土壤和巧夺天工的火山景观。可以毫不夸张地说,火山及火山作用为人类物质文明的进步和发展提供了不可缺少的物质基础。

但是另一方面,火山喷发也给人类带来巨大灾难,并对人类生存的环境带来不利影响,以至国际减灾十年委员会将火山灾害列为第六位主要自然灾害。在过去 400 年里,火山喷发已夺走了近 27 万人的生命;全球大约有 10% 的人口生活在火山危险带及其附近。全球最大的火山带——环太平洋火山带每年约有 50 座火山喷发,其中有 5% 的喷发造成了灾害。火山喷出的大量 SO_2 、 Cl 、 CO_2 、 F 等有害气体以及火山灰进入高空,造成“火山冬天”效应并破坏臭氧层,从而导致全球气候变化,成为另一些自然灾害如洪涝、旱灾等的主要原因之一。

由于上述火山及火山作用,既给予人类巨大的财富,也造成惨重的灾难这样正反两个方面的原因,迫使人们,特别是那些多火山的国家和地区的科学家们去研究和认识火山分布规律、火山成因、火山作用过程和火山喷发机制,以及火山灾害、灾害减轻与火山喷发预测、预报等科学问题,最终达到充分开发利用火山资源而又最大限度地减轻火山灾害的目的。这就是近代火山学研究的主要内容。

在我国,不论是东部还是西部青藏高原及其周边地区,新生代时期都有强烈的火山作用。全新世时期乃至近代有历史记载的火山喷发,也不乏其例。但火山灾害却远不如地震灾害那样给我国人民留下惨痛的记忆。这一方面是因为近 700 多年来在我国未发生过灾害性火山喷发;另一方面也因为大约 700 多年前发生过大喷发的地区,在当时属于未被开发的边远地区,以至没有人直接感受到大喷发可能带给人们的悲惨后果。这导致人们得出“中国不存在火山灾害”,因而也就不存在可造成灾害性大喷发的近代活动火山的错误印象。也许这就是火山学在我国没有得到应有的重视和发展的主要原因。

但是,历史记载和近些年来中、外火山学家们的工作表明,我国不仅存在像黑龙江五大连池老黑山、火烧山火山,长白山天池火山,云南腾冲打鹰山火山,西昆山的阿什山火山,而且还存在像长白山天池火山这样曾发生过被认为是地球上近 2000 年来最大的火山喷发之一(Machida et al., 1990; Gill, 1992),而现今仍被认为具潜在灾害性喷发危险的火山(刘若新等, 1992, 1995, 1996)。这主要是基于以下基本事实:

1) 历史记载了天池火山在近 300 余年来有过多次喷发活动(详见本书第三章)。对天池火山近期的季节性微震观测表明,火山口下面深部岩浆房仍有活动,虽然这种活动是低水平的。而大地电磁测深结果显示,在天池火山地下 12—25km 深度上存在地壳岩浆房。

2) 天池火山口及其周围地区大量分布的布里尼空降堆积和大规模的火山碎屑流,清楚地表明该火山曾发生过一次巨大规模的爆炸式喷发。这次喷发的火山灰落到远至日

本海及日本北部,在北海道南部及九州岛北部,发现的该次喷发火山灰的厚度仍可达 2—5cm(Machida et al., 1981, 1983)。本书作者及 Gill 等(1992)对这次大喷发的规模和喷发物体积的估计值接近或大于 1815 年印度尼西亚坦博拉火山的大喷发。而坦博拉火山 1815 年的大喷发,被认为是有史以来全球最大的一次喷发,造成 9.2 万人死亡和 1816 年全球气候的大异常,因而 1816 年被称为没有夏季的年份;从纽芬兰和从冰岛中部穿过英格兰到波罗的海一带,1816 年 5 月到 10 月几乎连续下雨;伦敦夏季气温比常年低 2—3℃;新英格兰 6 月 6 日—11 日普遍降雪;农业歉收导致爱尔兰和威尔士食物严重短缺。

在天池火山周围,被浮岩堆积物和火山碎屑流所摧毁掩埋的碳化及未碳化的树木,多处可见,甚至在火山西南 90km 的火山砂中,还保存有碳化木(Kohyama, 1943),表明天池火山的这次大喷发,毁灭的当时长白山区的原始森林面积在 5 000km² 以上(以火山为中心、半径为 40—50km 估算)。由火山周围不同产地 30 余个碳化木的放射碳定年数据给出这次喷发的时间范围为距今 910—1435 年,也就是公元 561—1086 年。而新近对一个碳化木由中心至边部系统的¹⁴C 年代研究确定这次大喷发的时间为公元 1215 ± 15 年。此外还揭示出在这次大喷发之前,发生过另一次大规模喷发,其时代距今 > 2024 年,或可能为距今 4105 ± 80 年。

李晓东等(1996)的数值模拟结果表明,由公元 1215 ± 15 年大喷发释放至高空大气层中的硫酸气溶胶,曾对全球气候变化产生过重要影响,北半球平均最大降温可达 0.85℃,局部地区可达 2.25℃。这可能是导致中国乃至全球公元 1230 年前后气候突然变化的主要因素之一。格陵兰冰芯中公元 1227—1229 年 SO₄⁻² 峰所反映的火山喷发事件,可能与 1215 ± 15 年的大喷发相对应。

上述基本事实不仅证实天池火山是一座近代活动火山,而且曾发生过灾难性大喷发。这就不能不引起我们的高度关注和警觉。何况天池火山周围的长白山区,已远不是当年偏远不毛之地,如今已是著名的旅游胜地和自然保护区,并加入国际生物圈保护区网,列为世界自然保护地之一。天池周围 100km 以内的城镇农村还聚居着数十万计的人口。一旦发生公元 1215 ± 15 年那样的大喷发,在事先不作出预测预报的情况下所造成的灾难,将不仅仅是森林的毁灭,还将带来周围地区工农业的严重破坏和数以万计人员的伤亡,沿松花江、鸭绿江中、上游水电设施也将面临威胁。于是问题就十分尖锐地提出来了:长期被忽视和遗忘了的天池火山是一座什么样的火山? 它的过去、现在和将来会是什么样子? 是否还会发生公元 1215 ± 15 年那样的灾难性大喷发? 我们是否能够在灾难事件发生之前作出预测、预报并把可能造成的生命财产的损失降低到最低的程度? 近代科学技术和火山学的发展水平,应该也有可能对上述问题做出明确回答。问题在于人们是否认识到这一问题的严重性,并愿意采取相应的措施和行动。

正是由于这一背景,在地震科学联合基金和国家自然科学基金的支持下,我们开始了对天池火山研究计划的研究。虽然由于经费所限,我们不可能完成上述各问题中提出的所有各项任务,加之天池火山及周围地区山高路险,峡谷林深,气候恶劣,工作条件极为艰难,可以利用的前人研究资料极其有限,但是经过三年的努力,我们还是取得了较为丰富的第一手资料,使人们对天池火山近代喷发的主要方面以及对公元 1215 ± 15 年的大喷发,从整体上获得了基本的认识。这就是本书作者所奉献给读者的各章节的内容。作为我国第一部有关火山学的专著,本书在研究的深度和广度上均有待进一步提高。好在对

天池火山的监测与研究,仍将继续进行,“九五”期间我国近代火山研究国家项目的执行,将为天池火山的监测与研究注入新的活力,打开新的局面。

如果本书的出版,能够引起地学界对天池火山乃至我国其他近代活动火山的关注,从而促进我国火山事业的发展,提高我国对近代火山的监测研究水平,并有利于对未来可能发生的火山灾害的减轻,那将使我们感到莫大的欣慰。

本书绪言由刘若新编写,第一章由李继泰、刘若新编写,第二章由魏海泉、杨清福编写,第三章由刘若新、宋圣荣编写,第四章由刘若新、樊祺诚、郑祥身、张明、李霓编写,第五章由魏海泉、宋圣荣、杨清福、刘祥编写,第六章由魏海泉、刘若新、杨清福编写,第七章由汤吉、马明志、刘若新等编写,第八章由上官志冠、李春园编写,第九章由李晓东、刘若新、叶瑾琳编写,第十章由李继泰、魏海泉、刘若新编写。全书由刘若新作最后审定。

本书是由中国科学院科学出版基金委员会资助出版的,地震科学联合基金委员会也资助了部分出版经费,作者谨致谢忱。

作者特别感谢国家自然科学基金委员会、地震科学联合基金委员会提供项目经费,还有国家科学技术委员会提供探测天池火山区深部岩浆囊的专项研究经费,使我们有可能向世人揭示天池火山的本来面目。

我们还必须感谢涂光炽院士、孙枢院士、陈颙院士、丁国瑜院士、孙善平教授对天池火山研究的支持与关心,感谢国家地震局的陈章立局长、蒋克训司长、孙其政司长、赵和平副司长、刘小伟处长、方韶东副处长等以及吉林省地震局董继川、臧柏金局长、尤洪波同志等对天池火山研究的宝贵而实际的支持。

目 录

绪言	刘若新(1)
第一章 地质背景	李继泰、刘若新(4)
主要参考文献	(5)
第二章 长白山天池火山地质	魏海泉、杨清福(6)
第一节 长白山天池火山自然地理概况	(6)
第二节 天池火山地质	(6)
第三节 天池火山地貌	(14)
主要参考文献	(18)
第三章 长白山天池火山喷发历史	刘若新、宋圣荣(19)
第一节 天池火山锥体底盘玄武岩盾的形成年代	(19)
第二节 粗面岩及碱流岩质(以熔岩为主,但也有一部分火山碎屑岩)火山锥形成时代及年龄	(20)
第三节 以碱流岩质碎屑喷发为主的近代喷发和历史喷发	(21)
主要参考文献	(26)
第四章 长白山天池火山的岩石学与地球化学	
..... 刘若新、樊祺诚、郑祥身、张明、李宽(28)	
第一节 天池火山造盾阶段的玄武岩类	(28)
第二节 天池火山锥体的岩石成分	(30)
第三节 天池火山近代喷发物	(35)
第四节 天池火山各阶段喷发物的微量元素	(38)
第五节 小结	(47)
主要参考文献	(47)
第五章 长白山天池火山近代喷发物	魏海泉、宋圣荣、杨清福、刘祥(49)
第一节 天池火山近代大喷发岩相分析——一般特征	(49)
第二节 碎屑物粒度分布特征	(53)
第三节 天池火山火山灰形貌学研究	(59)
第四节 天池火山伊格尼姆岩岩相分析	(62)
第五节 长白山天池火山近代喷发物火山泥石流堆积	(74)
主要参考文献	(82)
第六章 天池火山物理火山学研究	魏海泉、刘若新、杨清福(83)
第一节 有关基础理论概述	(83)
第二节 天池火山布里尼空降堆积物搬运及堆积动力学	(88)
第三节 天池火山伊格尼姆岩形成动力学过程恢复	(100)
主要参考文献	(107)
第七章 天池火山区岩浆囊的大地电磁探测及近期微震观测	
..... 汤吉、马明志、刘若新等(108)	
第一节 大地电磁探测天池火山区地下电性结构	(108)
第二节 天池火山区微震观测与分析	(115)
第三节 碱流岩质浮岩与玄武质粗安岩浮岩共堆积剖面的发现	(120)

第四节 讨论	(120)
主要参考文献	(122)
第八章 长白山天池火山区地下水气地球化学	上官志冠、李春园 (124)
第一节 前言	(124)
第二节 天池火山区现代水热活动特征	(124)
第三节 天池火山区的深源气体释放	(127)
第四节 天池火山区的深源流体释放动态及其意义	(137)
主要参考文献	(138)
第九章 天池火山公元 1215 年大喷发对全球气候影响的模拟研究	李晓东、刘若新、叶瑾琳 (140)
第一节 火山气候学的研究历史和现状	(141)
第二节 长白山天池火山公元 1215 年大喷发对全球气候影响的数值模拟研究	(145)
第三节 需要进一步研究的问题	(149)
主要参考文献	(150)
第十章 长白山天池火山未来喷发危险性初步评价及火山灾害预测	李继泰、魏海泉、刘若新 (151)
第一节 火山灾害评价、预测的一般原则和工作方法	(151)
第二节 天池火山喷发潜在危险性	(152)
第三节 天池火山灾害初步评价与对策	(154)
主要参考文献	(157)
图版说明	(158)
图版 I - V	

绪 言

地球上的火山及火山作用,几乎是所有金属、非金属矿产资源的主要来源,也是人类一个可供利用的潜在巨大能源宝库,还为农业、林业提供了肥沃的土壤和巧夺天工的火山景观。可以毫不夸张地说,火山及火山作用为人类物质文明的进步和发展提供了不可缺少的物质基础。

但是另一方面,火山喷发也给人类带来巨大灾难,并对人类生存的环境带来不利影响,以至国际减灾十年委员会将火山灾害列为第六位主要自然灾害。在过去 400 年里,火山喷发已夺走了近 27 万人的生命;全球大约有 10% 的人口生活在火山危险带及其附近。全球最大的火山带——环太平洋火山带每年约有 50 座火山喷发,其中有 5% 的喷发造成了灾害。火山喷出的大量 SO_2 、 Cl 、 CO_2 、 F 等有害气体以及火山灰进入高空,造成“火山冬天”效应并破坏臭氧层,从而导致全球气候变化,成为另一些自然灾害如洪涝、旱灾等的主要原因之一。

由于上述火山及火山作用,既给予人类巨大的财富,也造成惨重的灾难这样正反两个方面的原因,迫使人们,特别是那些多火山的国家和地区的科学家们去研究和认识火山分布规律、火山成因、火山作用过程和火山喷发机制,以及火山灾害、灾害减轻与火山喷发预测、预报等科学问题,最终达到充分开发利用火山资源而又最大限度地减轻火山灾害的目的。这就是近代火山学研究的主要内容。

在我国,不论是东部还是西部青藏高原及其周边地区,新生代时期都有强烈的火山作用。全新世时期乃至近代有历史记载的火山喷发,也不乏其例。但火山灾害却远不如地震灾害那样给我国人民留下惨痛的记忆。这一方面是因为近 700 多年来在我国未发生过灾害性火山喷发;另一方面也因为大约 700 多年前发生过大喷发的地区,在当时属于未被开发的边远地区,以至没有人直接感受到大喷发可能带给人们的悲惨后果。这导致人们得出“中国不存在火山灾害”,因而也就不存在可造成灾害性大喷发的近代活动火山的错误印象。也许这就是火山学在我国没有得到应有的重视和发展的主要原因。

但是,历史记载和近些年来中、外火山学家们的工作表明,我国不仅存在像黑龙江五大连池老黑山、火烧山火山,长白山天池火山,云南腾冲打鹰山火山,西昆山的阿什山火山,而且还存在像长白山天池火山这样曾发生过被认为是地球上近 2000 年来最大的火山喷发之一(Machida et al., 1990; Gill, 1992),而现今仍被认为具潜在灾害性喷发危险的火山(刘若新等, 1992, 1995, 1996)。这主要是基于以下基本事实:

1) 历史记载了天池火山在近 300 余年来有过多次喷发活动(详见本书第三章)。对天池火山近期的季节性微震观测表明,火山口下面深部岩浆房仍有活动,虽然这种活动是低水平的。而大地电磁测深结果显示,在天池火山地下 12—25km 深度上存在地壳岩浆房。

2) 天池火山口及其周围地区大量分布的布里尼空降堆积和大规模的火山碎屑流,清楚地表明该火山曾发生过一次巨大规模的爆炸式喷发。这次喷发的火山灰落到远至日

本海及日本北部,在北海道南部及九州岛北部,发现的该次喷发火山灰的厚度仍可达 2—5cm(Machida et al., 1981, 1983)。本书作者及 Gill 等(1992)对这次大喷发的规模和喷发物体积的估计值接近或大于 1815 年印度尼西亚坦博拉火山的大喷发。而坦博拉火山 1815 年的大喷发,被认为是有史以来全球最大的一次喷发,造成 9.2 万人死亡和 1816 年全球气候的大异常,因而 1816 年被称为没有夏季的年份;从纽芬兰和从冰岛中部穿过英格兰到波罗的海一带,1816 年 5 月到 10 月几乎连续下雨;伦敦夏季气温比常年低 2—3℃;新英格兰 6 月 6 日—11 日普遍降雪;农业歉收导致爱尔兰和威尔士食物严重短缺。

在天池火山周围,被浮岩堆积物和火山碎屑流所摧毁掩埋的碳化及未碳化的树木,多处可见,甚至在火山西南 90km 的火山砂中,还保存有碳化木(Kohyama, 1943),表明天池火山的这次大喷发,毁灭的当时长白山区的原始森林面积在 5 000km² 以上(以火山为中心、半径为 40—50km 估算)。由火山周围不同产地 30 余个碳化木的放射碳定年数据给出这次喷发的时间范围为距今 910—1435 年,也就是公元 561—1086 年。而新近对一个碳化木由中心至边部系统的¹⁴C 年代研究确定这次大喷发的时间为公元 1215 ± 15 年。此外还揭示出在这次大喷发之前,发生过另一次大规模喷发,其时代距今 > 2024 年,或可能为距今 4105 ± 80 年。

李晓东等(1996)的数值模拟结果表明,由公元 1215 ± 15 年大喷发释放至高空大气层中的硫酸气溶胶,曾对全球气候变化产生过重要影响,北半球平均最大降温可达 0.85℃,局部地区可达 2.25℃。这可能是导致中国乃至全球公元 1230 年前后气候突然变化的主要因素之一。格陵兰冰芯中公元 1227—1229 年 SO₄⁻² 峰所反映的火山喷发事件,可能与 1215 ± 15 年的大喷发相对应。

上述基本事实不仅证实天池火山是一座近代活动火山,而且曾发生过灾难性大喷发。这就不能不引起我们的高度关注和警觉。何况天池火山周围的长白山区,已远不是当年偏远不毛之地,如今已是著名的旅游胜地和自然保护区,并加入国际生物圈保护区网,列为世界自然保护地之一。天池周围 100km 以内的城镇农村还聚居着数十万计的人口。一旦发生公元 1215 ± 15 年那样的大喷发,在事先不作出预测预报的情况下所造成的灾难,将不仅仅是森林的毁灭,还将带来周围地区工农业的严重破坏和数以万计人员的伤亡,沿松花江、鸭绿江中、上游水电设施也将面临威胁。于是问题就十分尖锐地提出来了:长期被忽视和遗忘了的天池火山是一座什么样的火山? 它的过去、现在和将来会是什么样子? 是否还会发生公元 1215 ± 15 年那样的灾难性大喷发? 我们是否能够在灾难事件发生之前作出预测、预报并把可能造成的生命财产的损失降低到最低的程度? 近代科学技术和火山学的发展水平,应该也有可能对上述问题做出明确回答。问题在于人们是否认识到这一问题的严重性,并愿意采取相应的措施和行动。

正是由于这一背景,在地震科学联合基金和国家自然科学基金的支持下,我们开始了对天池火山研究计划的研究。虽然由于经费所限,我们不可能完成上述各问题中提出的所有各项任务,加之天池火山及周围地区山高路险,峡谷林深,气候恶劣,工作条件极为艰难,可以利用的前人研究资料极其有限,但是经过三年的努力,我们还是取得了较为丰富的第一手资料,使人们对天池火山近代喷发的主要方面以及对公元 1215 ± 15 年的大喷发,从整体上获得了基本的认识。这就是本书作者所奉献给读者的各章节的内容。作为我国第一部有关火山学的专著,本书在研究的深度和广度上均有待进一步提高。好在对

天池火山的监测与研究,仍将继续进行,“九五”期间我国近代火山研究国家项目的执行,将为天池火山的监测与研究注入新的活力,打开新的局面。

如果本书的出版,能够引起地学界对天池火山乃至我国其他近代活动火山的关注,从而促进我国火山事业的发展,提高我国对近代火山的监测研究水平,并有利于对未来可能发生的火山灾害的减轻,那将使我们感到莫大的欣慰。

本书绪言由刘若新编写,第一章由李继泰、刘若新编写,第二章由魏海泉、杨清福编写,第三章由刘若新、宋圣荣编写,第四章由刘若新、樊祺诚、郑祥身、张明、李霓编写,第五章由魏海泉、宋圣荣、杨清福、刘祥编写,第六章由魏海泉、刘若新、杨清福编写,第七章由汤吉、马明志、刘若新等编写,第八章由上官志冠、李春园编写,第九章由李晓东、刘若新、叶瑾琳编写,第十章由李继泰、魏海泉、刘若新编写。全书由刘若新作最后审定。

本书是由中国科学院科学出版基金委员会资助出版的,地震科学联合基金委员会也资助了部分出版经费,作者谨致谢忱。

作者特别感谢国家自然科学基金委员会、地震科学联合基金委员会提供项目经费,还有国家科学技术委员会提供探测天池火山区深部岩浆囊的专项研究经费,使我们有可能向世人揭示天池火山的本来面目。

我们还必须感谢涂光炽院士、孙枢院士、陈颙院士、丁国瑜院士、孙善平教授对天池火山研究的支持与关心,感谢国家地震局的陈章立局长、蒋克训司长、孙其政司长、赵和平副司长、刘小伟处长、方韶东副处长等以及吉林省地震局董继川、臧柏金局长、尤洪波同志等对天池火山研究的宝贵而实际的支持。

第一章 地质背景

长白山天池火山属大型复式火山,在地理位置上坐落于吉林东部中-朝边境上,而在地质背景上则位于中-朝克拉通北缘。在区域上,本区基底岩系包括古太古代的龙岗群,新太古代及早元古代的变质岩系,以及分布于鸭绿江、浑江、两江等地的新元古界青白口系和震旦系。在新元古代沉积之上,发育有寒武系、下奥陶统、中上石炭统、二叠系等,缺失志留系、泥盆系,与华北大陆其他地区的地层系统是相似的。有关本区的区域地质,金伯禄等(1994)在其《长白山火山地质》研究中有详细的论述,我们对此也未作专门研究,故在此不拟讨论。但应指出以下几点,对理解长白山天池火山的构造地质环境可能是重要的。

1) 如前所述,长白山天池火山位于中-朝克拉通北缘,但并非位于其与其北的古生代造山带的边界上(马杏垣等,1987)。晚中生代至新生代时期强烈的岩浆活动沿着NE向的依兰-伊通、抚顺-密山、鸭绿江、图们江-珲春等地堑型裂谷带发育。即它们主要不是受控于前中生代构造,而是与中国东部中生代-新生代的一系列NE向裂谷系的构造环境相类似。

2) 从较大的范围看,上述一系列中-新生代地堑裂谷或火山岩带,是位于松辽盆地与日本海盆地之间,这两个大盆地分别是在中生代和早-中新生代时期伸展-裂陷形成的。而由日本岛弧海沟向西俯冲的西太平洋俯冲带的前缘已到达图们江-珲春裂谷带地下约600km深处(图1-1)(张立敏等,1983)。因此,前述中-新生代时期NE向构造方向的形成和岩浆-火山活动的发育,一系列盆地或地堑的形成,都是在这种弧后、向西的深俯冲带背景引张体制下发生的。实际上,长白山天池火山本身从造盾阶段、造锥阶段,直到近代喷发的双峰式火山作用,钠闪碱流岩(相当于碱性花岗岩的喷出相)的大地构造属

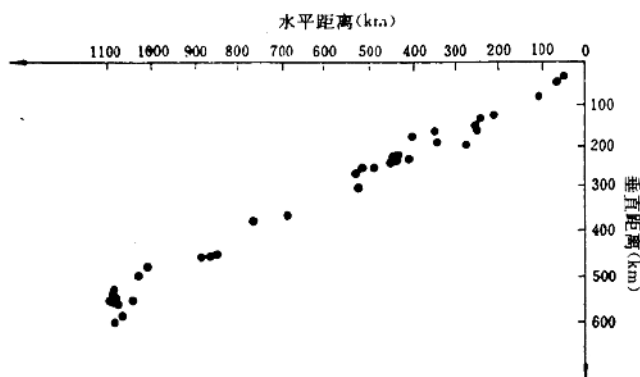


图1-1 由日本海南至珲春深震区震源投影剖面图
(张立敏等,1983)

性,也说明它们是裂谷环境和引张体制下的火山活动。

3) 作为西太平洋俯冲带前缘的一个重要标志,是长白山与珲春之间的深震群。这些深震震中离天池火山最近者仅 120km。因此,很难回避这一事实来讨论长白山天池火山的构造背景。另一重要事实是:以天池火山为中心的长白山地区分布有约 30 000km² 的主要是中新世以来喷发形成的火山岩(吉林省地质矿产局,1988),其中占优势的是玄武岩类,像天池火山的粗面岩、碱流岩只占很少比例。金伯禄等(1994)所做的长白山区新生代火山岩等厚线图表明,500m 或 1 000m 以上最大厚度区就是天池火山区,然后向四周厚度变小。这既造就了天池火山在地形上作为长白山主峰地带的地位,也说明天池火山自晚第三纪以来作为地幔源玄武岩浆喷发中心地带的事实。如以平均厚度为 300m 计,则长白山地区晚新生代火山岩的体积可达 9 000km³ 以上。在相对较小的范围内喷发如此大体积的地幔源火山岩,要求其下有一个或多个地幔岩浆库的形成。板块俯冲带之上的地幔楔,较易受其下俯冲板块中挥发组分的影响而导致产生地幔玄武岩浆。本书第四章的资料表明,天池火山造锥阶段及近代喷发的粗面岩和碱流岩,虽来源于地壳岩浆房的喷发,并有部分样品受地壳物质混染,但就其最初来源,仍属于造盾阶段地幔源碱性玄武岩类的分异演化,他们有相似的 REE 分布形式和 Sr-Nd-Pb 同位素组成。其 Sr-Nd-Pb 同位素成分中既有 MORB+OIB 型的亏损地幔 DM 型组分,也有富集地幔 EM I 组分,但更为特征的是它们大都围绕原始地幔值附近分布,即明显具有来自深地幔 PM 型组分。这就迫使我们需要考虑震源深度在 600km 左右处深地幔物质(PM 组分)及俯冲板块物质(EM 组分和 DM 组分)作为天池火山岩浆物质来源的构造涵义。

4) 从具体的构造控制来说,金伯禄等(1994)指出 NW 向白山镇到朝鲜金策的火山断裂带的重要性。Il Won 等和 Ri Don(1993)分别描述了由天池火山(白头山火山)至金策之间作 NW 向分布的一系列呈环状分布的新生代玄武岩-粗面岩-碱流岩系,并命名为白头山断裂带。在我国一侧另一个玄武岩-粗面岩-碱流岩喷发组合,是位于天池火山南侧的望天鹅火山和红头山火山,其时代为中新世至上新世(刘祥等,1989)。据马杏垣等(1987)的意见,中国东部这些 NW 向断裂带是在晚第三纪至第四纪形成的。这表明包括朝鲜境内的长白山区在内,自中新世以来,在直接由地幔喷出大量玄武岩的同时,也伴有少量由玄武岩浆分异产生的粗面岩、碱流岩浆的喷出。它们都是发生于西太平洋板块俯冲,一系列 NE 向弧后盆地或地堑裂谷的产生,俯冲板块前缘已到达长白山珲春一带地下 600km 左右深度并导致发生一系列深源地震的条件下。在我们看来,这些都是研究天池火山构造环境或构造动力学时必须加以考虑的重要问题。

主要参考文献

- 马杏垣等,1987,中国及邻近海域岩石圈动力学图(1/4000000)及说明书,地质出版社。
吉林省地质矿产局,1988,吉林省岩浆岩图,地质出版社。
刘祥、向天元、王锡魁,1989,长白山地区新生代火山活动分期,吉林地质,第 1 期,第 30—39 页。
张立敏等,1983,西太平洋板块俯冲运动与中国东北深震带,地球物理学报,第 4 期,第 331—340 页。
金伯禄、张希友,1994,长白山火山地质研究,东北朝鲜民族教育出版社,第 7—14 页,第 31—39 页,第 188—202 页。
Il Won and Kim Chang Gon, 1993, Strata, in Geology of Korea, Geological Institute Academy of Sciences, Foreign Languages Books Publishing House, DPR of Korea, Pyongyang, Chapter 2, Section 6, 198—235.
Ri Don, 1993, Paektu volcano, in Geology of Korea, Geological Institute Academy of Sciences, Foreign Languages Books Publishing House, DPR of Korea, Pyongyang, Chapter 3, Section 7, 330—343.

第二章 长白山天池火山地质

本章重点讨论天池火山地质及火山地貌的主要特征。在火山地质部分适度介绍朝鲜境内有关天池火山的地质资料。

第一节 长白山天池火山自然地理概况

长白山天池火山位于中朝边界长白山山脉最高峰。地理坐标北纬 $41^{\circ}20'$ — $42^{\circ}40'$,东经 $127^{\circ}00'$ — $129^{\circ}00'$ 。火山锥体半径约20km,锥体顶部塌陷式破火山口内积水成湖—天池。火口缘周边有16座山峰环抱,最大海拔高度2749.5m。天池水面高度2189.7m,蓄水 $2 \times 10^9 \text{m}^3$,是东北最大、最高的高原淡水湖。天池水向北经乘槎河、长白瀑布注入二道白河并汇入二道松花江。图们江、鸭绿江水系也均发源于天池火山锥体。充沛的水力资源、茂盛的原始森林蕴育了长白山区丰富的动植物自然综合体而加入了国际生物圈保护区网,被列为世界自然保护地。

长白山区属温带气候,全年风向以西风占绝对优势并受季风影响。年平均风速 $11.7 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,年降水量1333mm,降水主要集中在7—9月份。冬季寒冷,近山顶背阴处常年积雪不化——长白山由此而得名。海拔1400m以上高度无夏季而由春秋季直接相连。局部区域性小气候的明显表现是植被的垂向分带。如锥体北坡所见:海拔2000m以上至山顶为高山苔原带,海拔1700—2000m之间为亚高山岳桦林带,海拔1100—1700m之间为暗针叶林带,海拔1100m以下为红松阔叶混交林带。天池火山锥体植被分带性如此强烈,在世界上其他地区是很罕见的。

由于近年来工农业的发展,特别是旅游业的发展,使长白山天池火山的交通条件得到了很大的改善。自二道白河镇有公路直达天文峰气象站,还有公路、铁路通往通化、安图、延吉等地。延吉机场现已投入使用。在火山锥体西侧自松江河镇也有公路开往天池火山,锥体南侧自长白朝鲜族自治县有公路直达天池火口缘。在朝鲜境内也有公路直达天池火山。

第二节 天池火山地质

长白山天池火山是我国境内保存最为完整的新生代多成因复合火山。该火山的喷发活动持续了整个第四纪。岩浆成分自碱性玄武岩演化至粗面岩、碱流岩。火山作用可分为早期造盾阶段、中期造锥阶段和晚期造伊格尼姆岩阶段等三个阶段。各阶段的火山活动特征具有明显的差异,而共性则是沿着早期喷发主通道相继发生多期次大规模喷发。属于岩浆补给速率相当高的高产火山(封面)。

造盾喷发(shield-forming eruption)发生于上新世到早更新世。军舰山期、白山期玄武

岩构成天池火山的盾状熔岩台地主体,以天池火山为中心向四周缓慢降低(王季平,1987; Wei Haiquan and Liu Ruoxin, 1993)。地表坡度一般 $<4^{\circ}$,展布面积 $7\,200\text{km}^2$ (金伯禄、张希友,1994)。在朝鲜境内,与该期玄武岩相当的层位也有大面积分布(Ri Don, 1993)。以天池火山为主喷发通道的造盾喷发体现了多旋回、多期次的喷发特点。如和龙市崇善图们江北岸较早时期造盾喷发剖面所见(图2-1),下部四个流动单元总厚55m。顶部有近1m的紫红色风化壳,代表了与其上部玄武岩流的较长时间间隔。风化壳之上的7个流动单元一般都以致密块状碱性橄榄玄武岩向上过渡为气孔状碱性橄榄玄武岩为代表。这7个流动单元总厚150m,代表了7次喷发产物。刘嘉麒给出了该阶段造盾喷发玄武岩的K-Ar年龄范围值为4.5—2.1Ma(刘嘉麒,1988)。

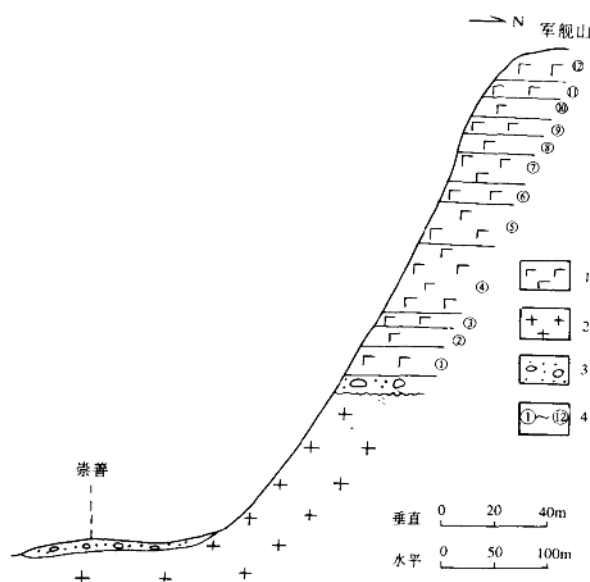


图2-1 和龙市崇善军舰山期玄武岩剖面图
(金伯禄等,1994)
1.玄武岩;2.花岗岩;3.砾石层;4.玄武岩流分层号

较晚时期的造盾喷发物一般都分布于天池火山锥体附近,其上部往往被造锥阶段碱性粗面岩所覆盖。如鸭绿江上游白山林场附近出露的白山玄武岩(金伯禄、张希友,1994)、玄武质角砾熔岩、粗面玄武岩、气孔状玄武岩总厚150m(图2-2),近水平状产出,下部盖在军舰山期玄武岩之上,其上又被白头山期、粗面岩覆盖。

由此可见,天池火山造盾喷发的地质时间范围是上新世末到早更新世。这与朝鲜境内地质资料也是吻合的(Ri Don, 1993)。

在朝鲜境内,天池火山造盾喷发物被称作普天堡岩系(Pochon Series Ri Don, 1993)。熔岩台地覆盖了 $5\,400\text{km}^2$ 的面积。总体上沿着北西向白头山断裂带(Paektusan Fault Zone)分布,最远延伸至白岩(Paegam)一带。普天堡岩系由橄榄玄武岩、斜长玄武岩、橄榄辉石玄武岩和斜长辉石玄武岩组成。岩石外貌常呈深灰色、深蓝色、红色和暗红色。以致密块

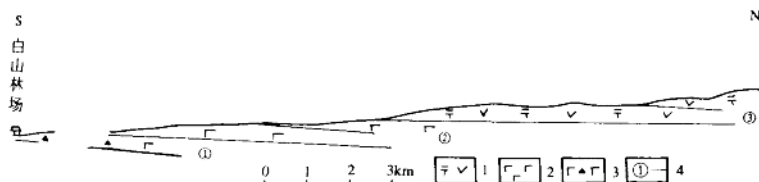


图 2-2 白山林场南北沟造盾、造锥喷发物剖面图
(金伯禄、张希友, 1994)

1. 第一造锥阶段安粗岩; 2. 晚期造盾阶段玄武岩; 3. 晚期造盾阶段玄武质集块岩; 4. 层序号

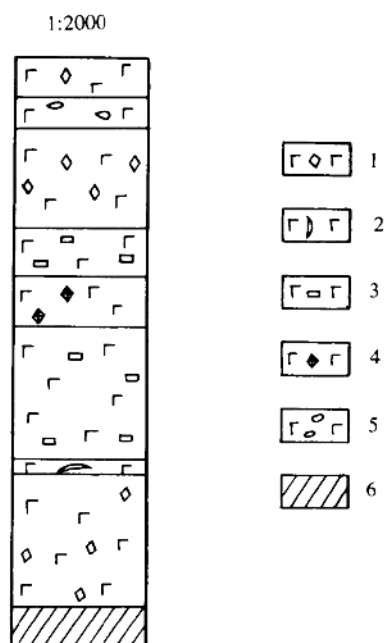


图 2-3 朝鲜普天堡县 Naegonri 玄武岩柱状图
(据 Ri Don, 1993 资料编绘)

1. 块状橄榄玄武岩; 2. 玻质玄武岩; 3. 斜长玄武岩; 4. 块状、致密橄榄玄武岩; 5. 海绵状玄武岩; 6. 基底岩石

状构造为主, 偶见气孔状构造。厚度最大为 400—600m。层序以普天堡县 Naegonri 一带剖面为代表(图 2-3)。该地玄武岩总厚 166m。在惠山一带的玄武岩流中见到两个喷发间断。一是 Nongsanri 陡壁出露的 1.5—2m 厚深棕色粘土层, 含有桦属植物花粉。另一是 Rimyongsu 地下水流出的 2.5m 厚的粘土质玄武岩砾石层。根据上述化石确定的层位属于上新统到下更新统。这与其地区玄武岩古地磁年代也是吻合的。

附带说明一点, 天池火山造盾喷发期间也伴随有裂隙式喷发活动。在鸭绿江北岸沿江煤矿村和图们江上游及黑石河一带, 玄武质岩墙大量出现。对应的灵光塔碱性橄榄玄武岩厚 80m, K-Ar 年龄值为 1.66Ma。图们江玄武岩厚 42m, K-Ar 等时线年龄为 1.48Ma。可见当时在以天池主通道频繁发生造盾喷发的同时, 熔岩盾的南部和东部都发生过岩墙传导式(dike propagation)裂隙喷发。这与夏威夷冒纳罗亚熔岩盾东侧断裂谷的裂隙式喷发十分相似。

天池火山造盾喷发(composite-cone-forming eruption)阶段持续了整个更新世。岩浆成分以粗面岩质、碱流岩质为主。喷发形式主要是自天池火山口的中心式溢流。火山作用自早到晚可分为

四个阶段。

第一造锥阶段喷出的粗面岩、碱长粗面岩分布较局限。主要见于天池火山锥体南侧及北侧的锥体靠下部层位。海拔标高一般在 1700—2000m 之间。锥体南侧粗面岩的 K-Ar 年龄为 $1.00 \pm 0.03\text{Ma}$ (金伯禄、张希友, 1994)。

第二造锥阶段喷发产物分布较稳定, 在火山锥体中下部呈环状分布。海拔标高多在

1 000—1 900m 之间。天文峰—冰场公路剖面所见层序如图 2-4。此剖面为刘祥等于 1988 年测制,后又由金伯禄补充修编。与第一造锥阶段相比,岩浆成分向酸性端元演化,堆积物中火山碎屑岩比例有所增加。反映了火山作用既有宁静式熔岩的溢流,也有强烈爆发式火山碎屑岩的产出。K-Ar 年龄测定值在 0.611 ± 0.015 — 0.551 ± 0.0024 Ma 之间。

第三造锥阶段喷发物分布于天池火山锥体中上部。天池破火山口内壁岩石主要由此阶段形成。锥体外侧海拔标高一般在 1 700—2 200m,破火山口内壁本阶段喷发物位于海拔 2 200—2 600m 之间。剖面中火山碎屑岩比例明显增加,反映了爆破式火山作用的加强。与第二造锥阶段的石英粗面岩岩浆成分相比,本阶段出现了大量碱流岩。爆发指数(火山碎屑岩占火山岩总厚度的百分数)也由第二阶段的 10 上升到近 30。天池—天文峰剖面较好地代表了本阶段喷发物的剖面特征(图 2-5)。K-Ar 年龄测定结果为 0.44 ± 0.015 — 0.25 ± 0.005 Ma。

第四造锥阶段喷发物分布于天池火山锥近顶部,海拔标高一般在 2200—2500m 之间。碱流岩、碱流质熔结凝灰岩、黑曜岩状熔结凝灰岩、石英碱长粗面岩是该阶段主要岩性。熔岩类主要集中在火口缘附近,常常构成火口缘周围主要山峰。而火山碎屑岩则往往分布至更广泛的范围。晶屑凝灰岩的存在标志着岩浆房内晶体的充分结晶作用,随后的喷发作用则是挥发分逐步富集的结果。在天文峰—冰场天池公路的靠上部,该阶段喷发物以石英碱长粗面岩为主,下部覆盖在第三造锥阶段后期风化壳之上(图 2-6),指示了两者之间的明显喷发间断。岩石 K-Ar 年龄测定值为 0.20 ± 0.04 Ma。时代属晚更新世中—晚期。0.04Ma 是目前对天池火山造锥喷发阶段产物的最年轻的年龄值。

在天池火山主通道造锥喷发的同时,主通道周围一些寄生火山口也相继喷发。寄生火山口穿过已形成的火山锥体,喷发物覆盖在火山锥体之上,构成锥体的一部分(图 2-7)。喷出的岩浆多为玄武质粗安岩。玄武质岩渣及熔岩流覆盖在粗面岩锥的中上部,离天池火山主通道距离一般都 > 5km。这是由天池火山下部岩浆房的体积决定的(见以下章节)。老虎洞期玄武质寄生火山活动 K-Ar 定年结果为 0.34 ± 0.02 Ma,属第三造锥阶段产物,因而穿过了第二造锥阶段火山喷发物。在火山锥东北侧黑石河一带,最近工作还得到了 0.18 ± 0.02 Ma 的 K-Ar 年龄值。在朝鲜境内本期寄生火山喷发活动发育更为普

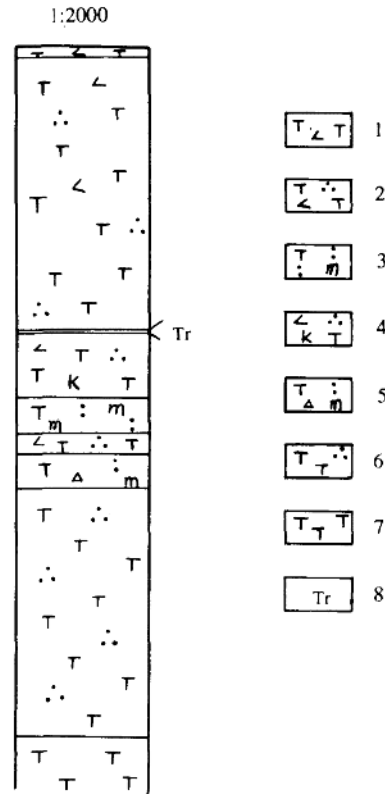


图 2-4 天池火山第二造锥阶段柱状图

(据金伯禄、张希友,1994 资料编绘)

1. 紫红色辉石粗面岩,顶部为风化壳粘土;
2. 青灰色辉石石英粗面岩;
3. 青灰色辉石粗面质熔结凝灰岩;
4. 灰绿色霓辉石英碱长粗面岩;
5. 青灰色含角砾粗面质熔结凝灰岩;
6. 褐灰色石英粗面岩;
7. 暗灰色粗面岩(第一造锥阶段产物);
8. 灰色气孔状霓辉石英粗面岩