



中国克什克腾世界地质公园科学研究丛书
ZHONGGUO HEXIGTEN SHIJIE DIZHI GONGYUAN KEXUE YANJIU CONGSHU

克什克腾晚新生代

火山地质研究

© 田明中 等著



地质出版社



中国克什克腾世界地质公园科学研究

内蒙古自治区国土资源厅、财政厅联合资助

克什克腾晚新生代 **火山** 地质研究

田明中 史文强 孙继民 著

地质出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

克什克腾晚新生代火山地质研究/田明中等著. —北京: 地质出版社, 2011.3

(中国克什克腾世界地质公园科学研究丛书)

ISBN 978-7-116-06949-7

I. ①晚… II. ①田… III. ①新生代—火山—地质构造—研究—克什克腾旗 IV. ①P588.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 205438 号

HEXIGTEN WANXINSHENGDAI HUOSHAN DIZHI YANJIU

责任编辑: 何 蔓 贺秋梅

责任校对: 杜 悦

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324502 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82318790

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 15.25

字 数: 200 千字

版 次: 2011 年 3 月第 1 版

印 次: 2011 年 3 月第 1 次印刷

审 图 号: GS (2011) 1 号

定 价: 68.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06949-7

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

Foreword

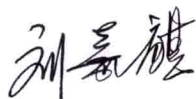
克什克腾位于内蒙古自治区的中东部，地质上属于华北地台北缘，是晚古生代中朝板块和西伯利亚板块碰撞拼合区；区内汇聚了大兴安岭山脉、燕山山脉、浑善达克沙地和达里诺尔湖等地貌景观，有奇特的地质遗迹和丰富的旅游资源，是塞外广袤原野上的一颗璀璨明珠，2005年被联合国教科文组织评为世界地质公园，声名已悄然享誉海内外。

那里广泛分布的花岗岩，经数万年的风化剥蚀，被雕琢成各种各样的形态，有的像天鹅，有的似殿阁。最突出的地质遗迹是遍布全区的晚新生代火山和火山岩，既有典型的火山锥，又有广阔的熔岩台地，地貌景观壮丽，岩石类型多样。富含地幔包体的汉诺坝玄武岩带来了地球深部信息，著名的达里诺尔火山群记录了岩浆演化和构造运动的历史，是探讨华北克拉通地质演化的重要场所，受到地质界的广泛关注，20世纪初期就有外国学者到那里进行火山地质考察。

尽管前人在克什克腾地区做过许多地质工作，但迄今为止，仍没有一本专门介绍克什克腾地质公园火山地质的专著，这对本区火山地质的深入研究和地质公园的长远发展都很不利。本书作者在过去近20年的岁月里，对该地区的地质地貌和地质遗迹，特别是火山地质地貌进行了大量深入细致的调查研究，取得了丰硕成果，不仅为保护该地区的地质遗迹付出了艰辛的劳动，也为提升这些地质遗迹的价值，建立世界地质公园，促进地方经济社会发展做出了突出贡献。在此基础上撰写的《中国克什克腾世界地质公园科学研究丛书——克什克腾晚新生代火山地质研究》一书，是对以前工作的全面总结，既包含了一些新的研究成果，也包含了丰富的科学知识，是一部兼顾地质理论和科学普及的专著。可供专业人员借鉴和参考，也为广大关心克什克腾地质遗迹保护和地质公园发展的人们提供丰富的资料。

在此，我向本书作者表示诚挚的祝贺，期待这部新作早日面世，为我国和世界地质公园的建设做出新的贡献。

中国科学院院士



2010年6月，北京

Foreword

Hexigten is located in the east of Inner Mongolia Autonomous Region. Geologically speaking, it belongs to the northern margin of North China Plate, and the area is in the collision zone between the Sino-Korean Plate and Siberian Plate during the Late Paleozoic. In Hexigten Geopark there are three great morphologic regions such as Daxing an Mountain range, Yanshan Mountains and Otindag sandy land. The unique and abundant geo-heritage resources bring us great scientific value on doing researches. Moreover, in 2005, Hexigen Geopark was awarded as one of the Global Geoparks by the UNESCO, and has been enjoying high reputation around the world.

In the geopark, there are widely spread of granite, which have been existing for more than billions years. The granite rocks formed into different kind of shapes, one may look like swan, and another could look like a palace. The Late Cenozoic volcanic vestiges are the most seen in the geopark region, such as typical volcanic cones and a great expanse of lava terrace. The landforms in the park are splendid, yet the rock types are various, plus Hannuoba Basalt containing Earth mantle element has brought us ancient information and messages from inside of our motherland, the Earth. The Dali Nur volcanic cluster has been recording development history of lava evolvement as well as tectogenesis. As an important research location especially for discussion of Northern China craton geological evolvement, many scholars from overseas have been here for doing relevant researches since early twentieth century.

Although a large number of geologists have done several scientific researches on volcanic geology in Hexigten, however, there has not been a single monograph yet devoted to the introduction of the volcanic geology in

Hexigten so far, which is adverse to either intensive study on volcanic researches or to the long-term development for geopark. Till now, the official publishing of this book is going to filling up these gaps. The author has been doing researches on geologicallandforms and geologicalland vestiges in this region during the past 20 years, especially working on volcanic geology landforms and has achieved desirable results. It has been a tough and hard-working progress for the author, and these efforts finally paid out for the great development prospects of Hexigten Global Geopark, to protect the value of geological vestiges, to boost Hexigten local tourism economy growing at a steady pace. All the above became solid fundatmentals for successfully publishing “Study on Volcanic Geology of the Late Cenozonic in Hexigten Global Geopark of China.” The book is a well conclusion for the past workings have done which in content includes newly found reasearch results and professional description of the geological aspects. Therefore, it can serve as either a researching report of geological sciences or a science reference book, thus more people could come to understand the volcanoes in Hexigten.

Hereby, I give him my sincere respects and congratulations to the publication of this book, and look forward to its obvious advancements in further developments and scientific researching results of Hexigten Global Geopark, which I am sure can make new contribution to furture constructions of the geoparks domestic and overseas.

Liu JQ

July, 2010, in Beijing

前言PREFACE

火山喷发是自然界最常见的地质现象之一，它是地球内部释放能量的表现。火山活动通常发生在构造板块的边缘，对地质历史的发展、地貌形态的塑造和生物界的演化等带来了巨大的影响，尤其是威胁着人类的生存。有历史记载的最大一次火山爆发，是印度尼西亚的坦博拉火山在公元1815年的大爆发，造成92000人丧生。同时，火山活动能够创造资源，许多矿产和旅游资源都是火山作用产生的。长期以来，火山地质是地球科学领域中的重要组成部分，其研究涉及地壳表层至地幔深处，涵盖岩石学、地球化学和构造地质等多种学科，具有十分重要的研究意义和巨大的生产价值。

中国克什克腾世界地质公园位于内蒙古自治区赤峰市的克什克腾旗境内，大地构造位置处于中朝板块与西伯利亚板块晚古生代对接带上，以北东向为主体的构造方向，加之西拉木伦深大断裂为主的東西向构造，控制了区内多数地质体的展布，是一个集第四纪冰川遗迹、火山遗迹、花岗岩地貌、温泉资源、沙漠、草原、河流、湖泊于一体的综合地质公园。在公园内众多的地质遗迹中，火山遗迹具有代表性。现今公园内留存的大量火山遗迹主要是晚新生代火山活动的结果：这里有中国东北九大火山群之一的达里诺尔火山群和华北地区典型的汉诺坝玄武岩，可见数目较多的火山口、广阔的玄武岩熔岩台地、发育的玄武岩柱状节理以及火山喷气碟等多种火山景观，它们是环太平洋火山带的重要组成部分，对中国东部火山岩时空分布和成因机制的探讨具有重要的科学价值，在中国新生代火山的研究中占有十分重要的地位。很多专家学者都曾在此做过火山地质的相关工作，随着地质公园科学研究水平的提高和深度的加强，晚新生代火山的进一步研究工作成为新的课题。

最早对克什克腾地区火山进行研究的是法国人德日进，1925~1926

年，他发现并考察了内蒙古达里诺尔火山群，揭开了本区火山研究的序幕，后来陆续有专家学者来到克什克腾地区考察火山遗迹，得到了一些火山地质的研究成果。尽管前人对东北地区新生代火山岩做过比较广泛而深入的工作，但对地质公园小区域内的火山研究工作还很局限，缺乏系统性和针对性。因此，作者大量收集整理了前人对克什克腾区内晚新生代火山岩的研究资料和成果，结合多年来地质公园内火山遗迹的调查和研究，完成了本书。本书从火山地质的基础工作做起，采用岩石学、矿物学和地球化学等方法，紧密结合野外观察，应用K-Ar 测年、主微量化学元素分析等先进的实验测试手段，对公园内火山及火山岩的时空分布和地质特征等一系列地学问题进行了全面的阐述，从大地构造位置来探讨研究区火山喷发的成因机制，得到对克什克腾地质公园内新生代火山地质的比较正确而清晰的认识，对公园内地质研究程度的加深、研究水平的提高以及地质解说系统的科学化将会有很大的帮助。

本书内容基于内蒙古自治区基金项目“达里诺尔火山群研究”，研究时间从2008年8月至2010年8月，历时两年。全书由田明中拟定各章节内容并统稿。参加野外和室内工作的还有中国地质大学地质公园（地质遗迹）调查评价研究中心的博士生刘斯文、张国庆、耿玉环、郭婧，硕士生郑妍、刘航、赵飞等。

本书得以顺利完成要特别感谢内蒙古自治区国土资源厅地质环境处王剑民、崔庆云、高宏等，感谢中国科学院院士、中国科学院地质与地球物理研究所研究员刘嘉麒为本书作序，感谢中国地质大学（北京）白志达教授对本书的审阅，并提出宝贵意见，为我们的工作提供了极大的支持和帮助；感谢中国地质大学（北京）武法东教授、莫少龙教授、王瑜教授、袁万明教授和研究生杨宗峰、王璐琳在实验过程中给予的帮助，

使本书的实验与测试能够比较顺利地进行。克什克腾世界地质公园管理局、克什克腾旗国土资源局的其他领导和全体工作人员在我们的工作过程中给予了很大的支持和协助，摄影家杨孝在野外不辞辛劳拍摄了珍贵而精美的图片，这里一并表示由衷的感谢。

受作者水平以及时间的限制，书中许多科学观点还有待进一步研究和验证，难免挂一漏万，部分引用的成果未能在参考文献中列出，在此特向这些作者表示真诚的歉意。文中定有不足之处，敬请读者批评指正。

作者

2010年12月于北京

CONTENTS 目录

序

前 言

第1章 火山岩分布区概况	1
1.1 自然、地理及人文概况	2
1.2 世界地质公园的科学研究	5
1.3 区内火山研究概况	7
1.3.1 研究历史	7
1.3.2 研究现状	9
1.3.3 存在问题	11
1.3.4 研究建议	13
第2章 火山岩分布区区域地质特征	15
2.1 大地构造单元划分	16
2.2 区域地质特征	20
2.2.1 地层	20
2.2.2 岩浆岩	21
2.2.3 断裂	22
2.2.4 地质发展史	23
2.3 构造运动与地壳演化	25
第3章 火山岩空间分布与地质地貌特征	27
3.1 达里诺尔火山群	29
3.1.1 分布范围	29
3.1.2 野外地质与地貌特征	30
3.2 围场火山群	48
3.2.1 汉诺坝玄武岩	49
3.2.2 百岔河玄武岩	57
第4章 火山岩年代学与火山活动规律	63

目 录

4.1 火山岩年代学特征	64
4.1.1 火山岩年龄测定方法概述	64
4.1.2 克什克腾火山岩年龄	72
4.2 火山喷发的活动规律	78
4.2.1 火山活动期的划分	78
4.2.2 克什克腾火山活动规律	81
第5章 火山岩岩石学及地球化学	91
5.1 岩石学与矿物学	92
5.2 岩石化学	95
5.2.1 常量元素	95
5.2.2 化学分类和命名	99
5.2.3 火山岩系列	102
5.3 稀土元素与微量元素	104
5.3.1 稀土元素	105
5.3.2 微量元素	110
5.4 构造环境分析	111
5.4.1 地质分布	112
5.4.2 岩石化学	112
5.4.3 微量元素	113
第6章 火山活动成因机制探讨	115
第7章 克什克腾火山活动的独特性及国内外典型火山	126
7.1 克什克腾火山活动的独特性	127
7.2 国内典型火山概述	130
7.2.1 五大连池火山	130
7.2.2 长白山火山	136
7.2.3 阿尔山火山	140
7.2.4 大同火山	145

CONTENTS

7.2.5 雷琼火山	149
7.2.6 腾冲火山	154
7.3 国外著名火山	159
第8章 火山资源的利用与保护	173
8.1 火山资源	174
8.1.1 土壤	174
8.1.2 矿产资源	175
8.1.3 温泉、矿泉、地热	177
8.1.4 旅游资源	178
8.2 资源的利用与保护	181
第9章 达里诺尔湖的成因与演化	184
9.1 基本特征	186
9.2 达里诺尔湖的成因	190
9.2.1 构造成因湖	190
9.2.2 火山口湖	190
9.2.3 冰川成因湖	192
9.2.4 构造—火山口湖	192
9.3 达里诺尔湖的演化	193
9.3.1 湖盆的形成——大地构造证据	193
9.3.2 “超级达里诺尔湖”的存在——地貌证据	195
9.3.3 “超级达里诺尔湖”的演化——沉积物证据	198
9.3.4 湖泊萎缩	204
9.4 湖水的来源	206
9.5 小结	208
参考文献	209
摘 要	218

目 录

Chapter 1 General situation of the distribution area of volcanic rocks	1
1.1 Nature, geography and humanity condition	2
1.2 Scientific research in Hexigten Global Geopark	5
1.3 Volcanic research in study area	7
1.3.1 Research history	7
1.3.2 Research status	9
1.3.3 Research lack	11
1.3.4 Research suggests	13
Chapter 2 Regional geologic features in the distribution area of volcanic rocks	15
2.1 Division of geotectonic units	16
2.2 Regional geological features	20
2.2.1 Strata	20
2.2.2 Magmatic rocks	21
2.2.3 Faults	22
2.2.4 Geological development history	23
2.3 Tectonic movement and crustal evolution	25
Chapter 3 Spatial distribution and characteristics of geology and geomorphology	27
3.1 The Dali Nur volcanic cluster	29
3.1.1 Distribution range	29
3.1.2 Field geological and geomorphological characteristics	30
3.2 The Weichang volcanic cluster	48
3.2.1 The Hannorpa Basalt	49
3.2.2 The Baichahe Basalt	57
Chapter 4 Volcanic chronology and laws of volcanic activity	63
4.1 Characteristics of volcanic chronology	64

CONTENTS

4.1.1 A summary of dating method	64
4.1.2 Age of volcanic rocks in Hexigten	72
4.2 Laws of volcanic eruption	78
4.2.1 Division of volcanic active period	78
4.2.2 Laws of volcanic activity in Hexigten	81
Chapter 5 Petrology and geochemistry	91
5.1 Petrology and mineralogy	92
5.2 Petrochemistry	95
5.2.1 Major elements	95
5.2.2 Chemical classification and nomenclature	99
5.2.3 Volcanic rock series	102
5.3 Rare earth elements and trace elements	104
5.3.1 Rare earth elements	105
5.3.2 Trace elements	110
5.4 Analysis of tectonic environment	111
5.4.1 Geological distribution	112
5.4.2 Petrochemistry	112
5.4.3 Trace elements	113
Chapter 6 Discussion on genetic mechanism	115
Chapter 7 Uniqueness of volcanoes in Hexigten and other typical volcanoes	126
7.1 Uniqueness of volcanoes in Hexigten	127
7.2 Typical Cenozoic volcanoes in China	130
7.2.1 The Wudalianchi Lake volcanoes	130
7.2.2 The Changbaishan volcanoes	136
7.2.3 The Arxan volcanoes	140
7.2.4 The Datong volcanoes	145

目 录

7.2.5 The Leiqiong volcanoes	149
7.2.6 The Tengchong volcanoes	154
7.3 Famous volcanoes abroad	159
Chapter 8 Utilization and protection of volcanic resources	173
8.1 Volcanic resources	174
8.1.1 Soil	174
8.1.2 Mineral resources	175
8.1.3 Hot spring, mineral spring and geothermal resources	177
8.1.4 Tourism resources	178
8.2 Utilization and protection	181
Chapter 9 The formation and evolution of Dali Nur lake	184
9.1 Basic characteristics	186
9.2 Formation of the Dali Nur lake	190
9.2.1 The structural lake	190
9.2.2 The crater lake	190
9.2.3 The glacial lake	192
9.2.4 The structural and glacial lake	192
9.3 Evolution of the Dali Nur lake	193
9.3.1 Formation of the lake basin—Evidence of the tectonics	193
9.3.2 Existence of the “Super Dali Nur”—Evidence of the landform	195
9.3.3 Evolution of the “Super Dali Nur”—Evidence of the Sediments	198
9.3.4 Lake shrinkage	204
9.4 Source of the lake water	206
9.5 Brief summary	208
References	209
Abstract	218



第 1 章 Chapter 1

火山岩分布区概况

General situation of the distribution area of volcanic rocks

- | | |
|---------------------|---|
| 1.1 自然、地理及人文概况 / 2 | 1.1 Nature, geography and humanity condition /2 |
| 1.2 世界地质公园的科学研究 / 5 | 1.2 Scientific research in Hexigten Global Geopark /5 |
| 1.3 区内火山研究概况 / 7 | 1.3 Volcanic research in study area /7 |
| 1.3.1 研究历史 / 7 | 1.3.1 Research history /7 |
| 1.3.2 研究现状 / 9 | 1.3.2 Research status /9 |
| 1.3.3 存在问题 / 11 | 1.3.3 Research lack /11 |
| 1.3.4 研究建议 / 13 | 1.3.4 Research suggests /13 |

1.1 自然、地理及人文概况

克什克腾旗位于内蒙古自治区赤峰市西北部（图1.1），地理坐标为东经 $116^{\circ}16'00'' \sim 118^{\circ}20'00''$ ，北纬 $42^{\circ}20'00'' \sim 44^{\circ}10'00''$ ，地处内蒙古高原东部、华北地台北缘，大地构造位置处于晚古生代中朝板块和西伯利亚板块碰撞拼合区，是大兴安岭山脉、燕山山脉、浑善达克沙地三大地貌单元的结合部，也是东北植物区系、蒙古植物区系和华北植物区系的交汇处，横跨半湿润、半干旱和干旱气候区。

区内地貌类型丰富，有平原、草原、山地、丘陵、湖泊、沙地、古冰川及冰缘地貌等，以北大山—黄岗梁—敖包山—二龙山为界，分为两种不同的地貌单元，东部为山



图1.1 克什克腾旗的位置图

Fig. 1.1 The location map of Hexigten