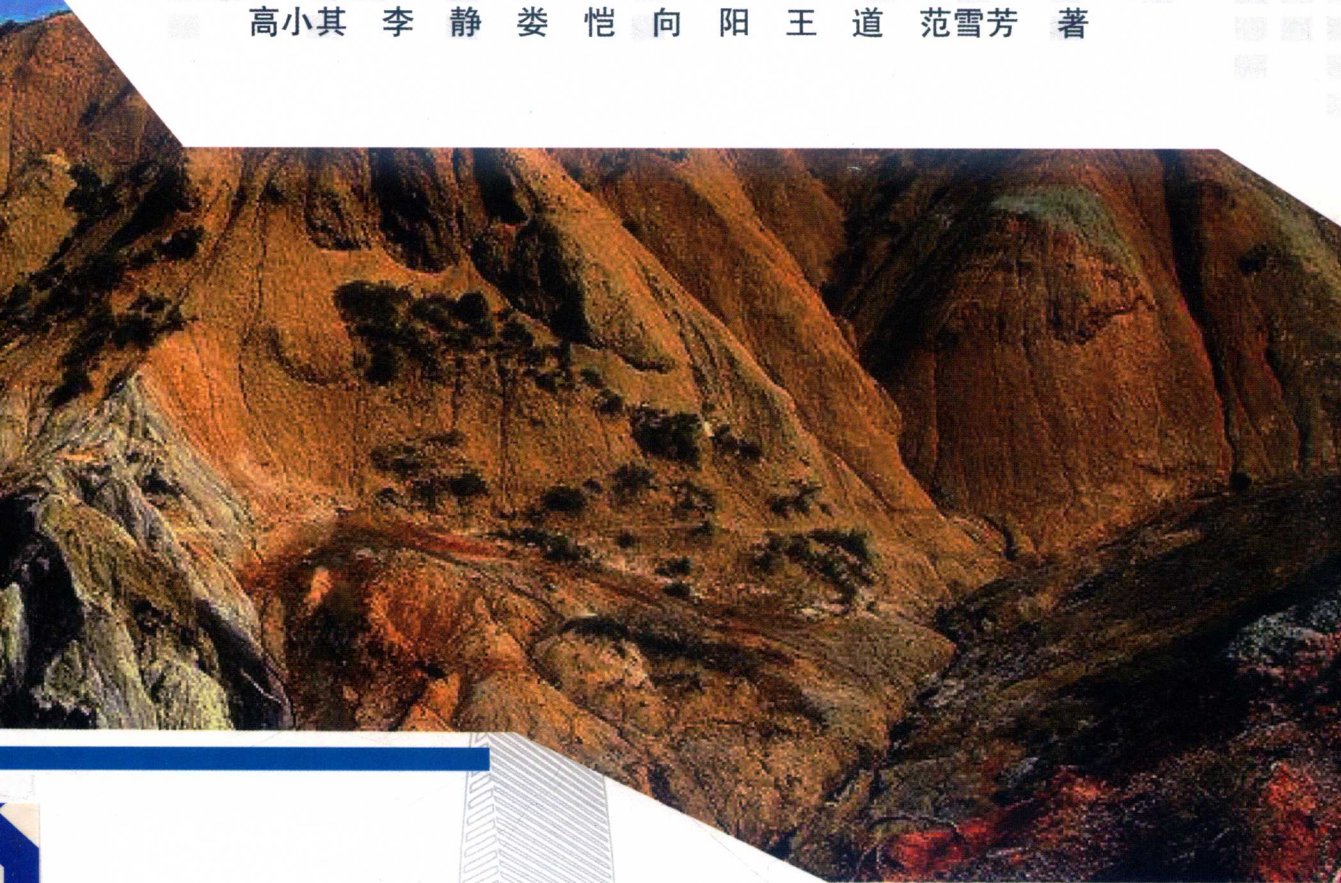


天山地区地震生物与泥火山观测

SEISMIC BIOLOGY AND MUD VOLCANO OBSERVATION IN TIAN SHAN AREA

高小其 李 静 娄 恺 向 阳 王 道 范雪芳 著



地震出版社

非外借

P315.72
13

天山地区地震生物与泥火山观测

高小其 李 静 娄 恺 向 阳 王 道 范雪芳 著

地 震 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

天山地区地震生物与泥火山观测/高小其等著. —北京: 地震出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5028-4179-9

I. ①天… II. ①高… III. ①天山-地震前兆-生物-研究 ②天山-地震-泥火山-观测
IV. ①P315.72 ②P317.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 108538 号

地震版 XM3666

天山地区地震生物与泥火山观测

高小其 李 静 娄 恺 向 阳 王 道 范雪芳 著

责任编辑: 刘晶海

责任校对: 凌 樱

出版发行: 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

专业图书事业部: 68467982 68721991

<http://www.dzpress.com.cn>

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

版 (印) 次: 2018 年 6 月第一版 2018 年 6 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 537 千字

印张: 21.5

书号: ISBN 978-7-5028-4179-9/P (4867)

定价: 100.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)



2004 年 11 月高小其在哈萨克斯坦交流



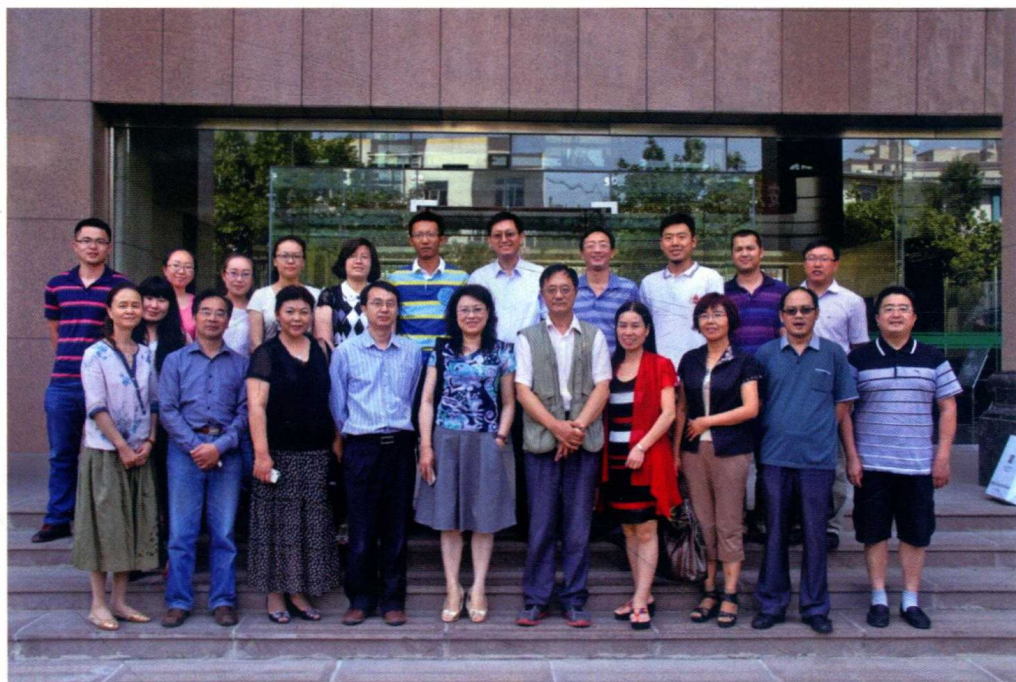
2010 年 11 月高小其在哈萨克斯坦参加天山学术研讨会



2013 年刘耀炜、高小其等在哈萨克斯坦交流访问



2012 年 10 月梁毅强、吴云、刘耀炜、高小其等到新疆塔城地区地震局开展工作



2014 年陈华静、孔令昌、高小其、杨选辉等参加地下流体学科技术管理组会议（乌鲁木齐）



2018 年杜建国、高小其在中国地震局

前 言

在过去 40 多年的防震减灾工作中，我国一直致力于健全以专家为主、专群结合的地震监测预报体系。几十年来，我国曾形成了一支较健全的群测群防队伍，他们多年来坚持观测和收集动物习性、地下水、地声、地光等宏观异常，并及时向上级地震部门汇报，这些来自民间的异常信息在地震预测方面也发挥了积极有效的作用。如 1975 年 2 月 4 日辽宁海城 7.3 级地震和 1976 年四川松潘—平武 7.2 级地震的具有减灾实效的地震预报，地震前大量出现的地下水和动物宏观异常现象，就为地震短期、临震预报的发布提供了重要性依据；2008 年 3 月 21 日新疆和田 7.3 级地震后的现场工作中，现场工作队就搜集到震前出现了 9 种、近 1114 起宏观异常现象。汶川 8.0 级地震的宏观异常科学考察工作，也发现了大量的震前地下水和动物宏观异常现象，为此，中国地震局专门下发了“关于加强宏观异常收集报送和核实工作的紧急通知”，成立了专门的工作组，以便严密监视全国地震形势的发展，充分发挥群测群防的作用。

目前，我国每个省、市、自治区都有数十到数百个宏观监测点；全国范围内，地震宏观观测点应该数以千计。但是，截止到 2017 年 12 月，我国目前还没有一个《宏观观测技术规范》。因此，各地宏观观测的方法、方式和判定依据等等也差异很大。

中亚五国包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦，是世界大陆地震活动最强烈的地区之一，也是世界最早从事地震流体和生物（动物）前兆研究的发源地。自 1966 年塔什干地震以来，处于帕米尔—天山地震带及科彼特塔格地震带的各国地震学者为了防御和减轻地震自然灾害，相继建立了 15 个地震研究所和地球动力学及地震预报实验场，开展了地震地下流体、地球物理和地球生物（动物）学的综合前兆观测和地震预测理论与方法的研究。在长期地震前兆探索中，积累了极为丰富的资料和宝贵的经验，在各国中强地震预报中发挥了十分重要的作用。中亚生物（动物）前兆

研究规范而系统，在世界上具有深远的影响。在中亚诸国中，哈萨克斯坦的南准噶尔试验场、阿拉木图试验场、卡拉套试验场的地震生物（宏观）前兆研究已经近 50 多年，积累了大量震例资料，值得我们学习和借鉴。

笔者 2004、2010、2013 年先后三次赴哈萨克斯坦开展学术交流，在哈萨克斯坦地震研究所库尔斯科耶夫院士、地震地球化学家阿布都拉耶夫院士和地震生物学家谢拉赛季诺娃教授的帮助下，搜集、整理和翻译了大量中亚地区地震生物和地下流体监测预报研究资料，在此对哈萨克斯坦地震研究所各位专家的无私帮助深表感谢！本文作者之一，王道研究员给予了俄文参考资料校审。

在国家自然科学基金委、中国地震局和新疆科技厅等资助下，笔者先后开展了多项泥火山和泉水微生物研究，有关研究进展在此一并介绍给各位读者。

在本书完成过程中，新疆地震局热甫克提·阿不力孜高级工程师、鲁娜主任科员给予了俄语翻译帮助；新疆地震局朱成英高级工程师、杨晓芳高级工程师、崔勇高级工程师、李娜工程师、梁卉工程师、颜龙工程师参与了本书图件的清绘、文字整理与校核等；新疆农科院微生物研究所张涛副研究员、孙健副研究员、林青副研究员和中国地震局地壳应力研究所张磊助理研究员等都给予了帮助，在此一并谨至谢意！

我是 1991 年 7 月大学毕业并被分配到新疆地震局工作，2015 年 10 月因工作原因调入中国地震局地壳应力研究所工作。谨以此书献给我工作、生活和学习了 25 年的新疆，献给目前仍在新疆工作和生活的亲人、同事与朋友！

中国地震局地壳应力研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项（ZDJ2017-27）对于本书的出版给予了资助。

高小其

2018 年 2 月 8 日

序

人们对于认识地震过程本质以及建立地震预报科学理论和方法所投入的所有关注，都是为了减轻地震灾害的破坏性后果。很久以前人们就开始探寻防御地震灾害的方法。在这一探索过程中，居住在地震活动区的居民多次观察到了强烈破坏性地震临震前和地震发生时动物行为习性的异常现象。为了解释动物行为“异常”，产生了不同的想法和假说。但是直到最近，仍然还未揭示出“地震震源区”对生物机体作用的物理本质和机理。因而，动物对地震前地球物理现象的高敏感程度作为一种地震灾害的预测方法还尚未达到足够的水平。

《天山地区地震生物与泥火山观测》一书即将交付出版，之前我也看了整个书稿，感觉该书的内容是地震流体学科很少涉及的内容，况且内容的新颖性足以引起地震监测预报科学人员的兴趣，故高小其研究员希望我能为该书作序也就欣然答应。

地震生物学在中国大陆地震科学研究中是一个既古老又显得陌生的研究方向，但在国际地震科学领域却被特别关注，内容包括动物和微生物。泥火山是另外一个比较稀缺的研究对象，在中国大陆新疆、中国台湾地区及美国和日本等国家均开展过地震观测预测应用研究，并取得了一些经验性的成果。就本人所见，历史上一些重大科学的发展与进步，均不是从常规科学研究的途径上获得突破，而是在那些未被传统思想接受的领域获得启示并作出开拓性发现。作者收集并整理国内外研究成果，并总结了本人多年有关动物、微生物及泥火山地震观测研究成果，写成这本涵盖国内外现状、理论探索、方法实践和内容详实的专著，对丰富地震监测预报科学研究内涵及拓展研究外延都是非常重要的，同时，对地震预测预报科学或许能起到启发探索和创新推动的积极作用。

地震生物学的主要研究对象是动物，相对传统地震地下水物理和地震地球化学来讲是一个比较陌生的领域，在 2008 年汶川 8.0 级地震后到现场进行宏观异常调查时听到了当地老百姓有关动物异常的叙述，生动地讲述在汶川大地震

发生前出现的一些与平常有巨大差异的动物“异常现象”，这些现象不是个别地方出现或个别人所讲的，是覆盖整个汶川地震影响区、众多人共同感知的，而且出现的规模也是非常可观的，坚定了自己对周恩来总理所指示的“地震是有前兆的，是可以预测的”信念。2013年12月，本人随中国地震局派遣的考察团赴哈萨克斯坦地震研究所进行了20天的学习、考察与学术交流，对哈萨克斯坦国的地震生物观测研究工作进行详细考察，走访了该国规范化地震生物观测站，与研究所主要研究人员及观测站生物学科班出身的技术人员进行交流。至此，本人对“地震生物学”这一概念有了初步认识，也极力推荐感兴趣的科技人员涉足这一研究领域并有所创新。

地震微生物研究和泥火山研究，是通过微生物或泥火山活动规律的探索，揭示区域构造活动特征及其与强地震孕育发生规律的关系，进而为减轻地震灾害提供可操作的地震预测意见。目前涉及这个研究领域的科技人员较少，研究的理论基础、方法及技术正处在探索与发展的初期阶段，因此很有吸引力，有可能获得一些新研究发现，甚至突破性的研究成果。

本书介绍了地震微生物研究的基本概念以及研究方法，论述了地震生物监测的技术方法，给出了一些具有使用价值的实践结果。特别是系统介绍了哈萨克斯坦生物观测网的发展与现状，从研究对象和方法、地震孕育发生过程有关的生物参数获取与信息分析等，都给出了非常详细的依据与结论。同时，该书系统介绍了泥火山地球化学研究现状及在地震预测研究中的作用等。总之，该书涉及了跨度较大的研究领域，从中也可展示作者潜心从事地震监测预报探索的精神，以及丰富的实践经验与坚实的归纳总结能力。

总之，本书的作用不仅仅是对生物地震学研究历史的回顾与成果的整理，重要的作用是开启了地震生物学、地震微生物和泥火山地球化学地震应用研究的一扇大门，为营造地震监测预报科学研究的良好生态，倡导百家争鸣、百花齐放学术精神具有重要的示范意义。

中国地震学会地震流体专业委员会主任

刘耀炜

2018年5月8日

目 录

第 1 章 地震生物学	1
1.1 地震预报问题的现状	1
1.1.1 地震预报和地震前兆的阶段划分	2
1.1.1.1 地震预报的阶段	2
1.1.1.2 前兆的分类	6
1.1.1.3 地球各个地区地震的生物前兆	9
1.1.2 世界实践中动物行为异常预报地震的科学手段和方法	17
1.2 地震生物监测的科学方法基础	21
1.2.1 地震现象生物指示作用的基本依据	21
1.2.1.1 地震生物监测系统组建的实验—理论前提	22
1.2.1.2 哈萨克斯坦生物观测网的发展与现状	22
1.2.2 研究对象和方法	29
1.2.2.1 研究对象	29
1.2.2.2 研究方法	30
1.2.3 与地震过程有关的生物参数信息度的研究	57
1.2.3.1 强震震中区考察资料中动物行为习性异常标志的信息度	57
1.2.3.2 异常反应的表现强度和预测时间与震中距和地震烈度之间的关系	83
1.2.3.3 关于地震生物前兆显示区域的大小问题	92
1.2.4 物理因素对生物机体作用的试验研究	94
1.2.4.1 物理因素对处于接近自然条件下生物试验场中生物体的影响	94

1.2.4.2	在实验室条件下物理因素对生物对象的影响	118
1.2.5	作为地震过程结果的动物行为反应异常形成的物理生物学原理	133
1.2.5.1	动物行为反应模型	134
1.2.5.2	强震孕育时期外部因素对动物作用的模型	140
1.2.5.3	地震危险区动物活跃度异常的形成机制	146
1.3	地震短期预报的科学基础及地震生物学方法	154
1.3.1	生物资料方面识别前兆类型的判据	154
1.3.2	地震生物监测有效性的实际结果	169
第 2 章	地震微生物异常的识别及其特征	173
2.1	微生物简介	173
2.1.1	微生物的定义及特点	173
2.1.2	微生物的生态功能	173
2.1.3	微生物对人类的贡献	173
2.2	微生物多样性及其动态变化的免培养研究方法	174
2.2.1	限制性片段长度多态性	174
2.2.2	末端限制性片段长度多态性 (T-RFLP)	174
2.3	断裂带地下水概述	176
2.4	地下水微生物的基本特征	177
2.5	断裂带环境因子对微生物多样性的影响	177
2.5.1	水文地球化学因素的影响	178
2.5.2	空间分布差异性的影响	178
2.5.3	时间变化和扰动的影响	179
2.5.4	地下水微生物群落结构对环境因子变化的响应	180
2.6	乌鲁木齐 10 号泉水体细菌群落对地震的响应	181
2.6.1	乌鲁木齐 10 号泉水体细菌 T-RFLP 图谱定性分析	181
2.6.2	乌鲁木齐 10 号泉优势类群及特殊类群的丰度变化趋势	183
2.6.3	乌鲁木齐 10 号泉水体细菌多样性指数	183
2.6.4	乌鲁木齐 10 号泉水体细菌聚类分析	184
2.6.5	有感地震对 10 号泉水文地球化学元素的影响	184
2.6.6	乌鲁木齐 10 号泉水可培养细菌群落动态变化特征	186
2.6.7	地震前后泉水细菌碳源代谢活性的平均颜色变化率 (AWCD)	188

2.6.8 地震前后泉水细菌对化学敏感物质代谢活性的平均颜色变化率 (AWCD)	189
2.6.9 地震前后泉水水体细菌碳源利用类型分析	189
2.6.10 判别函数的建立	190
2.6.11 地震前后样品判别模型的回判验证	192
2.6.12 判别分析后 10 种碳源代谢 AWCD 值的变化情况	193
2.6.13 10 种判别因子(碳源)代谢情况	193
2.6.14 地震信息	197
2.6.15 地震前后乌鲁木齐 10 号泉水体细菌碳源利用及化学敏感物质的 BIOLOG 分析	197
2.6.16 地震前后及无地震时期细菌群落碳源类型利用差异分析	198
2.6.17 地震前后乌鲁木齐 10 号泉优势类群细菌的动态响应	199
2.6.18 地震前后泉水细菌优势类群多样性指数	200
2.6.19 地震前后新出现的泉水细菌类群与水文理化性质的 CCA 分析	200
2.6.20 地震前后泉水中消失的优势细菌类群	204
2.6.21 结论	205
第 3 章 中亚五国地下流体前兆异常震例	209
3.1 中亚各国地震预报试验场及地下流体观测台网	209
3.1.1 哈萨克斯坦地下流体观测系统	210
3.1.2 吉尔吉斯斯坦地下流体观测系统	212
3.1.3 乌兹别克斯坦地下流体观测系统	214
3.1.4 塔吉克斯坦地下流体观测系统	216
3.1.5 土库曼斯坦地下流体观测系统	218
3.2 中亚五国及邻区强震活动概况	220
3.3 中亚地震流体前兆异常震例资料	221
3.3.1 1946 年 11 月 4 日土库曼斯坦卡赞治克 7.2 级地震	221
3.3.2 1948 年 10 月 5 日土库曼斯坦阿什哈巴德 7.1 级地震	221
3.3.3 1966 年 4 月 26 日乌兹别克斯坦塔什干 5.3 级地震	223
3.3.4 1970 年 6 月 5 日吉尔吉斯斯坦萨雷卡梅什 6.7 级地震	223
3.3.5 1973 年 2 月 8 日塔吉克斯坦奥比-加尔姆 4.7 级地震	225
3.3.6 1974 年 7 月 2 日科奇科尔卡 5.3 级($k=12.7$)地震	226

3.3.7	1974年8月11日中国与吉尔吉斯斯坦边界乌兹别里山口(阿赖)7.3级地震	226
3.3.8	1976年4月8日,5月17日乌兹别克斯坦布哈拉加兹里7.0,7.3级地震	228
3.3.9	1977年1月31日吉尔吉斯斯坦伊依什法拉-巴特肯6.3级地震	230
3.3.10	1977年6月21日塔吉克斯坦杜尚别加尔姆4.3级地震	230
3.3.11	1977年12月6日乌兹别克斯坦塔瓦克塞5.0级地震	233
3.3.12	1978年3月24日吉尔吉斯斯坦扎拉纳什-丘普6.7级地震	233
3.3.13	1978年9月16日,1979年1月16日阿什哈巴德东南伊朗7.7级地震、6.7级地震	236
3.3.14	1978年11月1日塔吉克斯坦阿赖6.8级地震	237
3.3.15	1979年7月21日吉尔吉斯斯坦萨雷塔什4.3级地震	240
3.3.16	1979年9月25日哈萨克斯坦巴卡纳斯5.6级地震	241
3.3.17	1980年7月6日吉尔吉斯斯坦伊塞克湖南巴尔什考恩5.6级地震 ($41^{\circ}48'$, $77^{\circ}31'$, $K=13.6$)	243
3.3.18	1980年12月11日,12月30日乌兹别克斯坦塔什干纳扎尔别克5.0,5.0级地震	245
3.3.19	1981年9月29日塔吉克斯坦杜尚别东南苏尔坦纳巴德地方震	250
3.3.20	1982年5月6日乌兹别克斯坦费尔干契米奥5.6级地震	250
3.3.21	1982年12月16日阿富汗6.7级地震	252
3.3.22	1982年12月31日吉尔吉斯斯坦伊塞克湖乔尔蓬-阿塔5.6级地震	253
3.3.23	1983年2月27日塔吉克斯坦5.5级地震	257
3.3.24	1983年12月16日吉尔吉斯斯坦阿赖($K=14.5$)地震	258
3.3.25	1983年12月21日哈萨克斯坦卡吉-赛依4.9级地震	260
3.3.26	1983年12月31日兴都库什7.0级深源地震	261
3.3.27	1984年2月17日乌兹别克斯坦帕普5.6级地震	262
3.3.28	1984年3月19日乌兹别克斯坦布哈拉加兹里7.2级地震	266
3.3.29	1984年10月26日塔吉克斯坦治尔加塔尔(共产主义峰)6.3级地震	267
3.3.30	1985年8月23日,9月11日中国新疆乌恰7.4,6.6级地震	270

3.3.31	1985 年 10 月 13 日卡依拉库姆 6.2 级地震 ($40^{\circ} 30'$, $69^{\circ} 45'$, $H=10\text{km}$)	271
3.3.32	1986 年 12 月 26 日, 1987 年 9 月 7 日西土库曼斯坦 5.0, 5.4 级地震	272
3.3.33	1988 年 6 月 17 日吉尔吉斯斯坦伊塞克湖 5.4 级地震	273
3.3.34	1989 年 3 月 5 日吉尔吉斯斯坦塔什巴萨特 4.5 级地震	273
3.3.35	1990 年 6 月 14 日哈萨克斯坦斋桑 7.3 级地震	275
3.3.36	1990 年 11 月 12 日哈萨克斯坦拜沙龙 6.3 级地震	276
3.3.37	1992 年 5 月 15 日乌兹别克斯坦伊兹巴什干 6.1 级地震	278
3.3.38	1992 年 8 月 19 日吉尔吉斯斯坦苏萨梅尔 7.5 级地震	279
3.3.39	1993 年 12 月 30 日哈萨克斯坦塔尔迪库尔干捷克利 5.6 级地震 ($44^{\circ} 49'$, $78^{\circ} 46'$, $h=20\text{km}$, $k=15.0$)	283
3.3.40	1995 年 10 月 8 日乌兹别克斯坦乌其库尔干 5.9 级地震	286
3.3.41	1996 ~ 1998 年帕米尔 - 兴都库什强地震	288
3.3.42	1999 年 10 月 31 日, 2000 年 4 月 20 日, 2001 年 1 月 18 日乌兹别 克斯坦卡玛希 5.0、5.4、5.3 级地震	289
第 4 章	泥火山观测	293
4.1	泥火山概述	293
4.1.1	泥火山分布	295
4.1.2	泥火山的特征和分类	298
4.1.3	泥火山的成因机制	299
4.1.4	我国泥火山的研究历史与展望	300
4.2	新疆北天山泥火山地球化学特征研究	301
4.2.1	泥火山地质概况	301
4.2.2	泥火山活动方式	304
4.2.3	北天山泥火山地球化学特征	306
4.2.3.1	液体成分	306
4.2.3.2	气体成分分析	306
4.2.3.3	固体成分	307
4.2.3.4	泥火山气体放射性同位素	307
4.2.3.5	北天山地区泥火山地球化学成因	307

4.3 北天山泥火山喷发与地震活动研究	309
4.3.1 霍尔果斯泥火山活动与新疆地区中强以上地震活动关系的研究	309
4.3.1.1 霍尔果斯泥火山活动及记录情况	309
4.3.1.2 “脉冲”异常现象与地震的对应性分析	312
4.3.1.3 依据霍尔果斯泥火山开展地震预测	314
4.3.1.4 霍尔果斯泥火山具有较好映震性能的可能原因分析	315
4.3.2 新疆泥火山群地震前兆异常实时监测	316
4.3.3 新疆 $M_s6.0$ 和 $M_s6.6$ 级地震近场泥火山宏观异常现象	318
4.3.3.1 艾其沟泥火山观测点简介	318
4.3.3.2 $M_s6.0$ 和 $M_s6.6$ 两次震例现象	318
4.3.3.3 针对上述两次泥火山宏观异常的认识	321
参考文献	322

第1章 地震生物学

灾难性地震的发生常常会夺走数十万人的生命，极大地影响国家的经济发展，地震以及由地震引发的次生灾害威胁到许多国家的人民及经济财产的安全。人们对于认识地震过程本质以及建立地震预报科学理论和方法所投入的所有关注，都是为了减轻地震灾害的破坏性后果。很久以前人们就开始探寻防御地震灾害的方法。在这一探索过程中，居住在多地震地区的居民多次观察到了强烈破坏性地震临震前和地震发生时动物行为的异常现象。为了解释动物行为“异常”，产生了不同的想法和假说，至今仍然还未揭示出“地震震源区”对生物机体作用的物理本质和机理。因而，动物对地震前地球物理现象的高敏感程度作为一种地震灾害的预测方法尚未达到足够的水平。

在这方面，本章借鉴了哈萨克斯但学者 Б.З. 谢拉泽季诺娃的研究成果，系统地阐明了地震生物学的原理、方法和实际成果。本章所阐述的研究内容介于地震学、生物学和地球物理学的结合点上，可以视为一个新的科学方向——地震生物学。其特点是对自然条件下（背景）以及地震孕育过程活跃条件下能够影响动物行为的综合因素进行具体详细的研究。目前查明，地震前夕改变动物活动习性的主要能源可能来自于震源区的电磁现象。正是这些电磁现象导致了动物机体各个系统的变化，从而形成了它们行为上的“异常”。重要的是，这些“异常”能被现代高灵敏度的仪器记录下来。这也是生物学家在地震学领域首次富有成果地创建了地震生物学综合监测，其研究成果值得借鉴。

1.1 地震预报问题的现状

世界上所有处在地震带的工业发达国家中，如何使人民群众和国家经济项目免受地震威胁的安全问题已经成为最重要的社会经济问题、民生问题和生态问题。这一问题的重要性就要求在地震危险区组建地震观测系统，并研究出地震预报的方法。

地震预测的现代方法建立在岩石物理性质以及岩石中发生的物理化学过程变化的观测资料基础之上。在地球内部，地球物理过程无时无刻不在进行，会在各种不同的地球物理场和动物的行为习性上反映出来。这些变化在一定范围内构成了介质的背景状态。强震之前，介质研究场物理参数的变化幅度和背景特性会发生急剧的变化，从而导致异常的发生。它们形成异常的持续时间是各不相同的。对于某些参数来说，异常持续时间