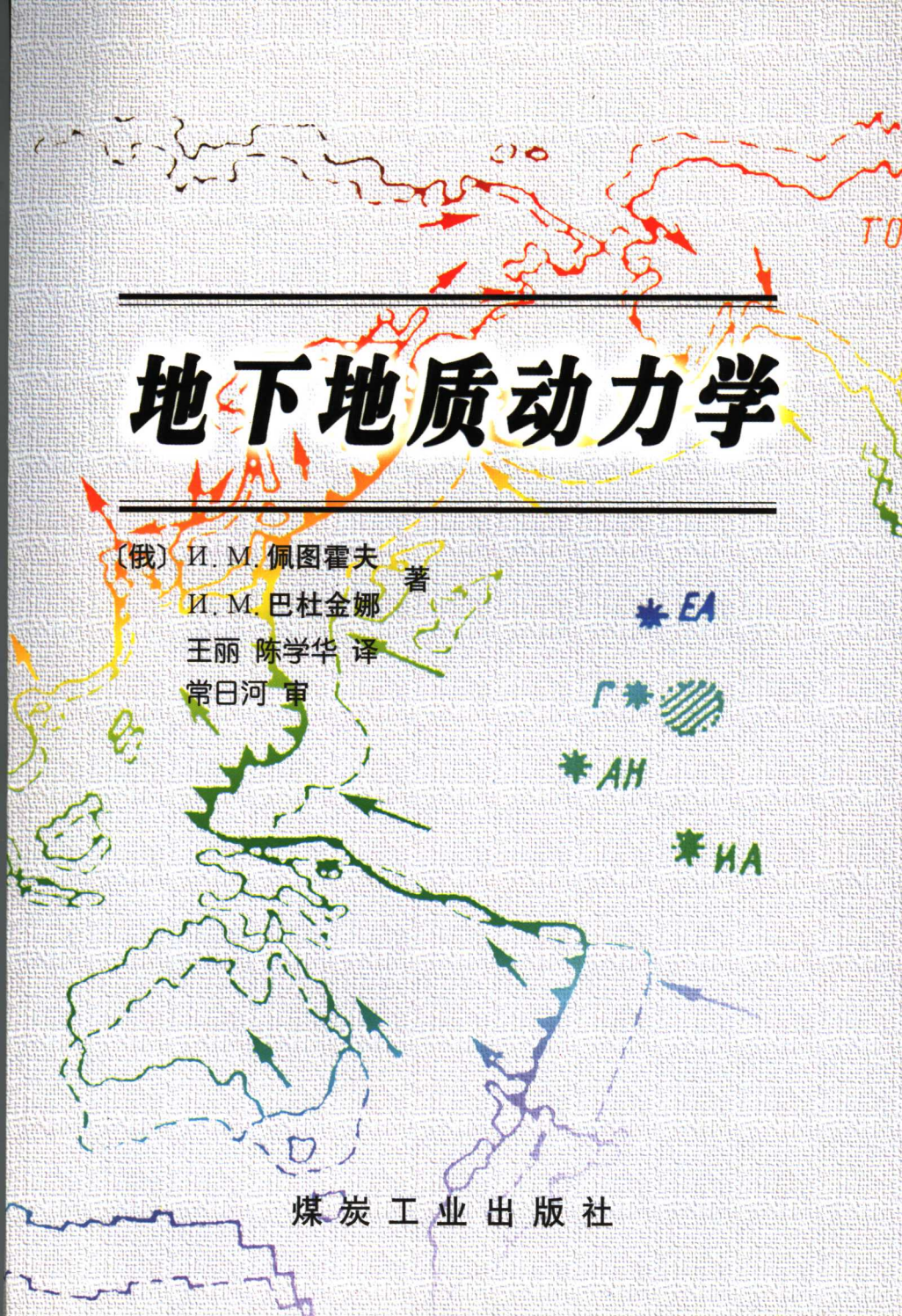




地下地质动力学

〔俄〕И. М. 佩图霍夫 著

И. М. 巴杜金娜

王丽 陈兴华 译

常日河 审

* EA

Г * 

* AH

* HA

煤炭工业出版社

地下地质动力学

[俄] И. М. 佩图霍夫 И. М. 巴杜金娜 著
王丽 陈学华 译 常日河 审

煤炭工业出版社

• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

地下地质动力学/王丽, 陈学华译. —北京: 煤炭工业出版社, 2006

ISBN 7-5020-2869-2

I. 矿… I. ①王…②陈… II. 矿床-地球动力学
N. ①P61②P541

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第 028599 号

И. М. Петухов И. М. Батугина; ГЕОДИНАМИКА НЕДР

ISBN 5-85723-013-6

Original Russian language edition Copyright © И. М. Петухов И. М. Батугина, 1999

Chinese translation Copyright © by И. М. Петухов И. М. Батугина

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or translated in any form or by any means without permission in writing from the Proprietor.

本书的中文翻译权由原著者И. М. Петухов И. М. Батугина 授予王丽、陈学华, 本书中文简体专有出版权由王丽、陈学华授予煤炭工业出版社。该专有出版权受法律保护。



煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm×1168mm¹/₃₂ 印张 9

字数 226 千字 印数 1—1,500

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

社内编号 5656 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

著者简介

И.М.佩图霍夫 (И.М. Петухов): 俄罗斯自然科学院名誉院士、全俄矿山地质力学和矿山测量研究院科研负责人、莫斯科矿业大学地质动力区划研究中心主任, 长期从事冲击地压研究工作, 是前苏联全国冲击地压学术研究带头人。

И.М.巴杜金娜 (И.М. Батугина): 俄罗斯自然科学院院士、莫斯科矿业大学地质动力区划研究中心负责人之一, 长期从事地质动力区划的研究工作。

书名关键词释义

地下 指有人工活动的、技术成因的地下。例如, 井工开采常被称作地下开采。

地质力学 地球科学之一, 研究内容很广。主要以板块构造理论为指导, 研究岩石圈构造和深部动力过程。具体研究内容涉及地壳运动、地壳构造各部分力的相互作用、地震、造山运动及与地壳自然状态有联系的其他活动。

内 容 提 要

本书论述了地下地质动力学和地质动力区划的科学原理,介绍了这些原理在固体矿藏、石油、天然气开采以及线性工程(铺设输油管道等)和深、超深钻孔施工及安全维护中的应用,分析了地球科学的新型分支学科——地下地质动力学的发展前景和在解决地质动力安全和有效开发地表和地下资源中的作用。在第二版(第一版出版于1996年,第二版出版于1999年)还增加了海底地质动力区划的内容,根据岩石圈板块理论更详细地说明了地表水平应力的特性,指出了解决地下地质动力学任务(课题)的前景。

本书适合安全工程、采矿工程、工程地质、构造地质和地球物理等专业的师生使用,也可作为相关领域科研、安全生产管理人员的参考书。

作者寄语

希望中国专家注意以下问题：

1. 地下地质动力学是地球科学中的一门新学科。该学科研究自然和技术成因两个系统的相互作用，开创了建立矿山岩体冲击变形一般理论的可能性。

2. 在该书中作者提出了地质动力区别的新方法，并进行了详细论述。该方法能解决安全有效地开采地下和地表矿物时遇到的许多问题。

3. 该书分析了安全有效地开采有冲击地压和煤与瓦斯突出危险煤层的主要问题。

4. 该书提出了利用矿山压力的能量来开采深部煤炭的方法。

5. 该书提供了在油田和气田利用钻孔截缝卸载的方法，该方法能够使资源的采出量增加5倍，甚至更多。

6. 该书提出了地质动力现象的分类，建议联合研究这些动力现象。

希望进一步合作！



И. М. 佩图霍夫



И. М. 巴杜金娜

2004年12月6日

绪 论

地下地质动力学主要研究地表和地下自然和技术成因两个体系的相互作用^[42]。目前,俄罗斯运用这一地球科学的新分支学科来解决地下和地表开发中的安全问题。

从1996年开始,在俄罗斯矿山科学院和国家矿山技术监督局的领导下,研究者们开始执行跨部门的规划——“地质动力安全性”。该规划包括25个重大课题,涉及诸如冲击地压、煤(岩)与瓦斯突出、矿山一构造冲击地压、技术成因地震、断块构造单元间的相互作用、透水等危险的地质动力显现问题。从事地球深部资源开采和地表开发的不同部门、许多大学、专业研究机构(主要是全俄矿山地质力学和矿山测量研究所,以下简称乌尼米)都参加了这一课题的研究。

如此庞大的课题在世界科学研究和生产实践中还没有先例,俄罗斯的学者和生产部门的工作者凭借其近50年来成功解决一系列重要问题的丰富经验,首先着力解决煤炭及非煤矿山开采工作中的安全问题。

煤炭工业最近50年来的显著特点是开采深度增加了近2倍,这使得冲击地压和突出问题更加严重。直到现在,这一难题在全球的生产实践中还未完全解决。20世纪50年代初期仅基泽尔煤田的3座井就发生了80次大型冲击地压,造成了严重后果。前苏联煤炭部委托乌尼米来解决这一问题。在随后的研究中,相关人员建立了冲击地压能量理论,提出并推广了有效预防冲击地压的综合措施,首先实现了向无煤柱开采的过渡。尽管随着开采深度增加,独联体国家的危险矿井增加了200座,但是冲击地压的发生却减少到仅是个别现象的程度,而且这些个别现象还是在违反了作业规程的情况下发生的。

煤(岩)与瓦斯突出问题最为严重,特别是顿涅茨克、库兹涅茨克、卡拉干达煤田,在20世纪60年代平均一年要发生近100次危险突出。研究解决这一问题的机构有斯科钦斯基矿业研究所(以该所为主)、乌尼米、马克耶夫卡煤炭工业作业安全科学研究所、东方煤炭工业安全生产科学研究所、地球工程力学研究所、俄罗斯科学院等,他们创立了动力能量理论,提出了防治突出的综合措施,其中包括区域性的措施,如超前开采保护层、瓦斯抽放、在卸载区煤层注水、无煤柱开采,等等。到1990年,独联体国家煤矿的煤与瓦斯突出次数减少了4/5,岩石和瓦斯的突出得到了控制。目前,根据乌尼米所创立的解决这些动力现象的一般理论,正在完成防治矿井冲击地压和突出的“统一规程”工作。

从1974年起,按照前苏联部长会议国家科技委员会所批准的综合规划,在金属矿进行了防治冲击地压的工作,许多科研机构(主要是乌尼米)参加了这项工作,国家矿山技术监督局对这项工作进行监督。在过去25年中,虽然金属矿开采深度大大增加,但冲击地压发生的次数却减少了5/6。1996—1998年在金属矿没有发生危险的冲击地压,只在塔什塔格勒斯克,由于在采矿中进行大量爆破而发生了个别矿山构造冲击地压。但是如果遵守采矿工作已确定的规范,那么这种危险就不会发生。

最近几年在开采石油和天然气、铺设铁路和远距离运输管道、修筑地下和地面建筑物时,发生地质动力现象次数有所增加,而且还必须对核电站、有害废物埋藏处实施地质动力危险性安全监督。

解决预防和防治矿井地质动力现象的重大问题要求乌尼米和其他研究机构必须研究许多特殊的方式和方法。于是,最近20年产生了地球科学的新学科——地下地质动力学^[42]。该学科的基本综合方法就是地质动力区划法,该方法不仅研究矿山岩体的块段结构及其自然应力状态,也能将技术成因活动的影响考虑到岩体现存的自然状态中。因此,地下地质动力学研究的是自然和技术成因体系的统一体,在进行地下和地表开发时必须从最大程度地保证地质动力安全的角度来研究这个统一体。

为解决上面所提到的问题，最终促成了部门之间协作的“地质动力安全性”规划的产生，规划要完成理论发展方面的科研、设计、采矿试验工作，建立和使用安全有效地管理煤矿、金属和非金属矿、油田和气田及易发生地质动力现象的其他地下工程项目的综合措施。

在开采有用矿物和打钻孔时（包括打超深钻孔），根据№337发明专利*和在试验台上岩石破坏条件的研究（包括模拟相当于地下12~15km深的热动力条件下大型试件的地质能量压力试验装置），有可能解决安全地利用矿山岩体压力能量的问题。

地下地质动力学的主要任务是根据已有的研究成果和假设建立矿山岩体冲击变形的理论，这一理论将是预报和防治地质动力现象（包括矿山构造冲击地压和突出、开采各种矿物时的技术成因地震）的基础，并且对改进地壳内地震活动区的各种安全方法也是有益的。

在解决矿山岩体地质动力状态控制问题的同时要建立自动检验专家系统，以预先对岩体的自然和技术成因状态、工艺方案以及实践进程中对岩体状态的检验评价提供原则性指导。

最近50年我国（指俄罗斯，译者注）解决地质动力安全问题的特点是国家矿山技术监督局参与建立和实施科学规划，这有助于促进地下和地表开发中安全问题的提出和解决。

控制地质动力状态，着力提高、改善地下和地表开发中的效率、安全性和生态平衡等，这些问题的提出在世界矿山科学和实践中还没有先例。

* 见《地下矿山岩体破坏的规律》，专利拥有者是И. М. 佩图霍夫、В. И. 库兹涅佐夫、А. Н. 卓林，发明专利证书№337，优先权开始于1968年4月18日。

目 录

1	地下地质动力学的研究对象和内容	1
2	岩石圈板块理论	5
2.1	一般概念	5
2.2	岩石圈板块构造的地质学基础	6
2.3	岩石圈板块边界	8
2.4	板块内部构造作用	12
2.5	简评	13
3	矿山岩体极限应力状态	18
3.1	极限应力状态带中矿山岩体活动的特点	18
3.2	矿山岩体中极限应力状态带形成条件的 多样性	30
3.3	小结	44
4	岩石圈内水平应力的属性和大小	46
4.1	地壳和岩石圈的地质动力	46
4.2	岩石圈内水平应力的属性	51
4.3	水平应力的大小	57
4.4	行星力对地壳状态的影响	61
5	岩石圈内主应力的评价	74
5.1	边界条件的确定	74
5.2	主应力的计算模型	76
5.3	岩石圈内应力状态的评价	82
5.4	岩石圈内应力状态评价方法的完善和 应用的可能性	95
6	不同深度岩石圈内矿山岩体的强度图	96
6.1	剪切强度图的建立	96

6.2	近似现场条件下矿山岩体性质的研究	98
7	地下地质动力区划	103
7.1	地下地质动力学的方法论基础和内容	103
7.2	矿山岩体断块构造的划分	110
7.3	断块动力相互作用的显现	118
7.4	根据张力和地质动力危险程度对地壳块 段进行分类	122
7.5	矿山岩体应力和水溶气体动力状态评价	134
7.6	地质动力区划的应用经验	140
8	海底地质动力区划	166
8.1	地质动力区划在太平洋的应用	166
8.2	地质动力区划用于世界海洋成矿作用的 研究	175
9	地质动力现象的特性和分类	185
9.1	地质动力现象的特性和动力特点	185
9.2	地质动力现象的分类	194
10	深部和地表开发时矿山岩体地质动力状态的 控制	199
10.1	问题的提出	199
10.2	固体矿物开采中岩体地质动力状态的 控制	200
10.3	石油和天然气开采中岩体地质动力 状态的控制	219
10.4	输送管道、铁路和其他线性工程设计、 施工中岩体地质动力状态的控制	226
10.5	重要设施和城市建设中岩体地质动力 状态的控制	228
10.6	深、超深钻井施工中岩体地质动力 状态的控制	228
10.7	使用微震法评价岩体应力状态的经验	231

11 地震活动区地质动力安全性控制	238
11.1 问题的提出	238
11.2 关于在地震活动区域内安全状态的 某些信息	239
11.3 煤矿解决冲击地压问题的经验	248
11.4 在地震威胁区建立安全补充措施	249
12 建立矿山岩体冲击变形一般理论的前提	254
12.1 关于对地壳极限应力状态的研究	254
12.2 根据地质动力区划法来评价和预报 岩体的状态	257
12.3 力能理论和动力现象的分类	258
12.4 极限应力状态带中矿山岩体状态的 各项指标	259
13 地下地质力学的发展方向和前景	261
结束语	264
参考文献	266

1 地下地质动力学的研究对象和内容

地壳在其形成的 $4 \times 10^9 \sim 5 \times 10^9$ a 间, 经受了最复杂的变化。这些变化是由大量内力、外力和其过程中各种作用决定的。地壳的构造非常复杂, 地壳中岩石的物理-力学性质也是多种多样的, 整个地壳和地壳某些地段的活动规律有许多还没有被揭示出来, 或者还没有被充分地揭示出来。因此, 这些未知问题向地球科学提出了重大的、有时是难以完成的任务。

众所周知, 地壳运动, 组成地壳构造各部分力的相互作用, 地震、地震能量和预报, 造山运动, 以及与地壳自然状态有联系的其他活动等都被列入到地质动力学这门学科的研究领域之中。最近几十年, 地质动力学在构造、地壳应力状态及其在时间、空间上的变化规律等方面已经作了很多研究^[11,12,14,19,47,49,52,57]。

参考文献[14]十分清楚地确定了地质动力学的研究方法。A. 魏格纳所提出的板块构造理论在 20 世纪 60 年代变成了岩石圈板块构造的新理论。地壳和岩石圈最主要构造的形成整体上是由比较少的岩石圈板块水平运动和相互作用决定的, 这些板块在一些地区逐渐增大, 而在另一些地区却进入地幔被吞没。在这种可能的运动机制下, 地球物质发生对流运动。因此, 地质动力学本身包括岩石圈板块构造和深部动力过程, 后者指大量物质和地球深部能量的巨大转移^[14]。

参考文献 [11, 32, 49] 也谈到过地质动力学这些重要问题的类似观点。但是某些学者不承认板块构造理论。例如参考文献 [19] 就明确地谈到这一点, 该著作在探究地球发展规律性时, 把主要注意力放在该观点的拓宽上。

目前, 板块构造理论是最充分反映地质动力过程和现象的基础, 而且参考文献 [40~43] 又谈到了某些变化和进行了补充。

地质动力学研究岩石圈板块及其自然状态下某些地段的活动和相互作用。在开发和管理地下工程时，不仅要研究地壳自然状态所发生的过程和现象，而且要研究技术成因所发生的过程、现象和规律。为了在安全、经济且保持生态平衡的条件下进行矿藏开发，就必须熟悉地下矿藏的构造、特点、当时的应力和水溶气体动力状态，提前预测这种状态，并考虑技术成因作用于矿山岩体和地表的程度和特点。在开发地球深部、特别是开采矿藏时，地质动力学的许多原理适用于技术成因的作用。这里首先是冲击地压和突出的问题。最近40年，在解决这些问题时建立了冲击地压动力理论和突出的能量动力-应力理论，提出了这些现象发生的一般理论和预防这些现象的综合措施，并在有关国家的煤矿和金属矿山中广泛地加以推广，提出了在开掘煤矿、金属矿和非金属矿的回采巷道、主要巷道和准备巷道时控制矿山压力的方法。在地下和露天开采矿藏时，对矿山岩体位移问题的研究，包括位移参数的预测计算作了大量的工作；对预测和防止技术成因的地震问题进行了认真研究。

利用地球科学的成果，包括上面提到的矿山岩体地质动力学的成果，最近15年在俄罗斯建立了地球科学的新学科——地下地质动力学，包括理论、研究任务和方法^[4,42]。地下地质动力学研究安全、有效地开发地下和地表资源的问题，并考虑技术成因对矿山岩体影响的特点和强度，以及岩石圈的现代地质动力状态。

作为地球科学新学科的地质动力学反映地壳矿山岩体系统中自然和技术成因体系的统一性和相互影响。这里指的是：自然体系是地壳断块构造各个部分客观上的统一和相互作用，地壳的应力-应变和水溶气体动力状态存在着一定的联系；技术成因体系是按照人的意志所确定的各个部分在处于一定联系的地壳中因技术成因活动而产生的现象和过程的统一和相互作用。

该问题的新提法要求分析和发展关于自然体系和技术成因体系现有的概念，找出两者的相互作用，其目的是保证安全有效地开采地下和地表矿藏。

地下地质动力学利用地质动力区划法^[4]来查明地壳断块构造、活动断裂带、构造应力带，对岩体的应力、渗透性和瓦斯含量进行计算，根据这些数据拟定预防措施，保证安全有效地开采和管理地下矿藏。

地壳和岩石圈整体上是由20个板块构成，这些板块经常相互作用。在这些板块上“浮动”着陆地和海洋。板块之间力的相互作用，导致板块分裂成巨大断块、不同大小和形态的断块、直至在进行采矿和地下建筑时才被发现的岩块。如果注意到岩石岩性差别的多样性，岩石的成层性，液体和瓦斯的饱和度（浓度），岩石物理、相位和化学的差别，岩石的动力和化学上相互作用，以及决定岩石性能的应力状态和温度变化等等，那么就可以在某种程度上得出在空间和时间上不断变化的整个地壳和岩石圈结构性质的复杂性。

岩石圈内板块的不断运动及动力的相互作用、地壳和地球周围空间的相互影响、月球-太阳的涨潮和落潮以及其他行星力和其作用过程的影响、地球磁场和电场作用力和方向的变化等，导致地壳构造、活动及其变化十分不稳定。这些力和其作用过程的一部分既从方向和作用上，又从其变化周期的某些情况上可以得知。对这些力和过程的其他部分还研究得很少，甚至根本没有研究过。但个别专家的意见是不可能建立统一理论的。

在解决技术成因活动的具体问题时，不可能考虑到矿山岩体的形状尺寸、岩体性质、各部分的相互作用过程等所有差别，而只能寻找特殊的方法。这种精选的方法应当以全局和局部上揭示地壳内在应力状态分布的规律性为基础，并考虑矿山岩体的综合物理-力学和化学-生物性能、温度，同时研究作为固体介质的岩体^[42]。

上述方法从根本上减少了对下述因素影响的研究，这些因素的作用经常表现在按照一定规律周期变化的强度上（例如月球-太阳潮），应当指出这些因素的影响很大。例如对区域性冲击地压数量的影响，表现在矿山岩体状态最大的、不稳定性的周期上。这

种论点对理解地壳内所发生的许多事件有重大意义。

本书试图从全局上研究地壳和岩石圈的应力状态问题，作为系统的岩石圈和它的个别部分都处在特殊的极限应力状态，而这些个别部分的内部应力状态，不论从强度上还是种类上都是不同的。

该著作的目的是研究解决地下地质动力学的个别问题，研究今后发展地球科学的新学科——地下地质动力学规划的科学依据，研究该学科如何应用于开发地球深部、地表资源等问题。

2 岩石圈板块理论

2.1 一般概念

本章试图论述在岩石圈和软流圈内所发生的构造过程和现象。这些过程和现象最终决定着地壳的状态和活动。在地壳里发生着人类技术成因的基本活动。

构造运动和变形的主要动力源不是在岩石圈内，而是在更深的地球深部，首先是直接位于岩石圈下部上地幔的塑性活动层——软流圈^[52]。在这里使用统一的概念——岩石圈和软流圈，即以构造圈的形式作为构造过程表现的主要区域。在这种情况下应理解为地质构造影响区，当然可扩展到整个地球。本书注意到最近对地质动力学的兴趣，即对新的科学方向的兴趣在增加，这种新的科学方向是在构造学、岩石学、地球化学和地球物理学的结合部产生的^[52]。

本书作者在进行论述时，以感激的心情，在很大程度上使用了参考文献 [52] 中的信息，当然也同样使用了国内、国外许多作者的信息^[2,6,11~14,19,26,32,35,36,47,49,57]。

下面谈谈在科技文献中现有的关于岩石圈理论基本原理的资料，这一理论在最近几十年得到了地球科学“关于与岩石圈板块边界有关的现代特点和概念、关于板块内部构造过程”的普遍承认。

首先使我们能够依靠这种评论，进一步研究我们感兴趣的问题，其次能够阐明自己的观点。如果在个别情况下与我们的观点不同，我们可以引用已作过评论的相关观点。