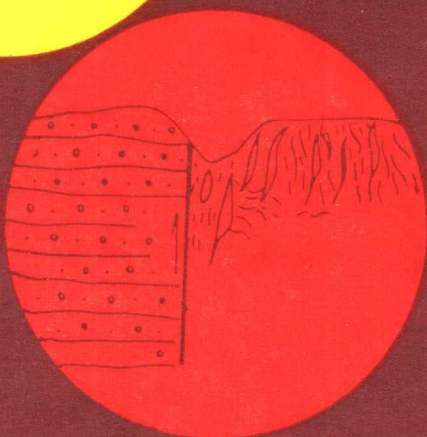
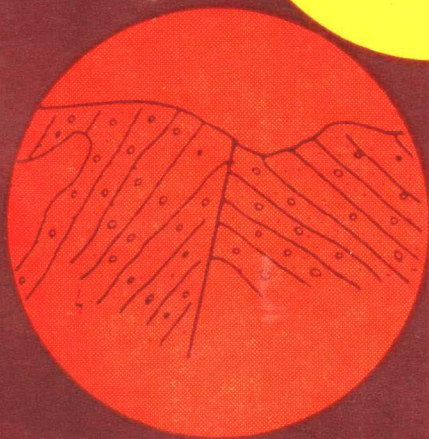
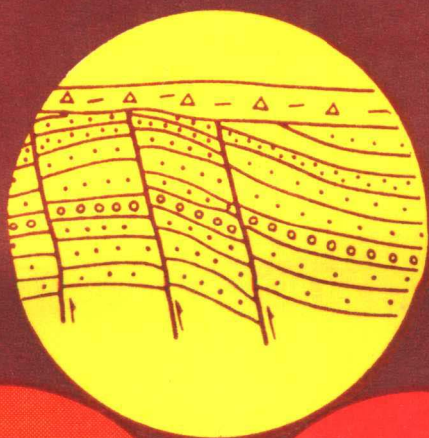


新构造 研究 与应用

许学汉 著



地质出版社

新构造研究与应用

许学汉 著

地质出版社

前 言

众所周知,构造地质学在地质科学领域有着举足轻重的地位。它的主要任务是研究地壳的建造和构造。地壳是物质的,是地质历史的产物。它无论是在形成(地质建造)抑或形变(地质构造)方面,都有大量的根本性的问题需要研究解决。地质建造与地质构造既有统一的辩证联系,又有各自的特点,形成二个重要分支学科。

地质构造是过去地壳运动的陈迹。只有追踪其遗迹,才能了解在某区域(空间)、某时间发生过何种运动。新构造形迹作为新构造运动的产物,记录着大地构造运动的最新一章,即新构造时期地壳运动的时、空演化特征和规律。

新中国成立后,因经济建设蓬勃发展的需要,涉及并且展开了新构造研究的工作。“新构造”一词,由尼古拉耶夫(Н. И. Николаев)于1958年应邀来华期间引入我国,并作了“关于研究中国新构造的若干理论和方法问题”的学术交流报告。以此为契机,中国的新构造研究和实践得到了更快的发展。但是,尼古拉耶夫的新构造学,当时在理论和方法上并不完善。其在概念和内容方面存在着明显的局限性。概言之,它侧重从地形地貌方面认识新构造运动,不甚重视同时从新构造的诸多其它形迹,特别是形变本身的特征及其时、空演化特点去把握新构造运动规律。因此,这种局限性,曾对中国一定时期内的新构造学的研究与发展,产生过某种消极影响。

新中国数十年来的新构造学的研究与实践,总的说来,发展是健康的,是卓有成就的。这同主动接受李四光的地质力学,以及张文佑的断裂与断块理论的指导,和在广泛领域包括工程地质领域的努力工作与开拓是分不开的。中国当代这两位著名的地质学家共同强调,地质构造,特别是新构造研究,不仅要注意构造地貌,更应注重构造形变特征的研究。他们指出,地质构造形变尽管千姿百态,但主要是以褶皱和断裂两类基本形态来体现的。他们强调从成因机制上下功夫,着力研究构造形变特征以及产生这种特征的力学作用机制与历史演变(时空演化)过程及规律;在研究和实践中,将新构造应力场与形变场高度地统一起来,克服传统研究的局限性。他们在谈及新构造学乃至地震预报等研究时,尤其强调断裂与断块运动的重要性。这不仅从理论上奠定了研究新构造与现代构造的基础,而且提出了有关研究内容和方法的科学依据。著者和全国同行一起,数十年来努力在这条正确的科技轨道上实践,共同开拓,促使我国的新构造和现代构造研究在理论和实践方面均得以长足进展。

著者在系统地进行总结的基础上,奉献给读者这本书。它将以大量研究成果和实际资料证明,在中国大陆泛见的最有理论和实践意义的新构造(含现代构造,下同)运动,是块断差异运动。这一运动方式以六种本质特征,充分展示其基本活动规律和结果,并且揭示其与现代构造活动以及未来趋势(构造运动)之间内在的规律性联系。毫无疑问,这不仅有助于从理论上进一步确认新构造与现代构造规律,从而强化了新构造与现代构造研究的理论基础;亦将对进一步从实质上提高实践应用效果,起到积极的促进作用。

理论研究的目的在于广泛有效地应用。在这种意义上,本书依据研究和实践成果,首

先为揭示新构造与现代构造运动特征与规律，提供理论基础；然后，系统地讨论基本研究内容和主要研究方法；最后给出充分的应用研究实例。从而为日益深刻、广阔的人类经济活动和生活实践提供科学的依据。

目 录

前言

第一篇 理论基础

第一章 新构造运动特征	1
第一节 新构造基本概念.....	1
第二节 新构造形迹与特征.....	5
第三节 新构造地域性特征.....	14
第四节 新构造活动特征.....	15
第二章 现代构造运动特征	17
第一节 活动断裂的基本概念与活动特征.....	17
第二节 现代构造运动与地震活动.....	26
第三节 现代构造运动表象与特征.....	33
第四节 现代构造运动的时间演化特征.....	40
第三章 新构造与现代构造运动的地球动力学条件和构造应力场特征	43
第一节 大陆现代地壳动力学条件及应力场特征.....	43
第二节 新构造与现代构造应力场的区域性特征.....	46
第四章 新构造与现代构造运动的基本规律	50
第一节 新构造与现代构造块断差异运动的力学作用机制.....	50
第二节 新构造与现代构造块断差异运动规律.....	54

第二篇 研究内容与方法

第五章 新构造与现代构造形迹鉴定与研究	59
第一节 新构造形变的地质观测.....	59
第二节 新构造与活动断裂的隐微标志与鉴定.....	62
第三节 新构造地貌观测.....	69
第四节 火山地貌与冰川地貌考察.....	69
第五节 新构造沉降与堆积研究.....	70
第六节 地热、温泉考察.....	70
第七节 地震地质及古地震分析法.....	71
第八节 现代构造运动的地球物理观测.....	74
第九节 遥感技术与方法.....	75
第十节 活动断裂参数的定量研究.....	79
第六章 新构造与现代构造活动年龄测定	80
第一节 放射性测试方法.....	80

第二节	历史和现代地震分析法测定年龄	85
第三节	其它测定年龄的方法	86
第七章	新构造与现代构造应力场鉴定与研究	87
第一节	新构造应力场地质力学分析	87
第二节	新构造应力场模拟分析	91
第三节	现代地壳应力状态(构造应力场)实测研究	100
第八章	新构造与现代构造运动时空演化规律分析	105
第九章	新构造与现代构造的工程地质特性研究	110
第一节	新构造与现代构造的综合与划分研究	110
第二节	各类工程新构造稳定性评价要点	125

第三篇 应用研究实例

第十章	攀西裂谷第四纪复活演化特征(基础研究实例)	136
第一节	新构造运动形迹及现代活动特征	136
第二节	现代地壳动力学与运动学的基本规律与特征	159
第十一章	大型水电站可行性论证中新(现代)构造的研究与评价	167
第一节	区域和坝址新构造与现代构造活动特征研究	167
第二节	区域地震活动特征	187
第三节	区域和坝址新构造活动与地壳稳定性分区评价	193
第十二章	大型水电站选址(可行性)选坝(坝线、坝型)中新构造研究与评价	196
第一节	选址历史的回顾	196
第二节	坝址地区新构造研究与地震相关分析及其在选址、选坝中的评价应用	198
第三节	水电站建设前期,有关新构造与地震稳定性评价的复核意见(结论概要)	206
第十三章	大型火电厂选址与可行性论证新构造研究与评价	208
第一节	电力开发中环境工程地质研究与区域地壳稳定性评价	208
第二节	电厂选址中断裂活动与地震作用的稳定性评价(实例简析)	215
第十四章	大型核电站可行性论证中新构造研究与评价	221
第一节	新构造形迹和特征	221
第二节	区域新构造运动基本规律	229
第三节	新构造分区与评价	232
第十五章	资源能源开发区域工程地质环境研究中的新构造评价	235
第一节	区域大地构造特征及发展史概要	235
第二节	区域第四纪断裂构造活动特征与规律	239
第三节	区域新构造与现代构造分区与评价	244

第一篇 理论基础

第一章 新构造运动特征

第一节 新构造基本概念

新构造运动对地块、岩层造成的形变包括各种新构造现象(形迹),或者说新构造的基本构造型式,同各个地质历史时期的构造型式相比较,并不存在实质上的差别;只是在认识和理解新构造运动时空演化特征与规律及研究和鉴定方法方面有所不同。

这就涉及到了新构造运动的一般概念问题。

综合国内外迄今关于新构造运动的一般概念,尽管在细节上观点尚不完全一致,然而在新构造的基本内涵以及研究倾向方面,日趋达成共识。从理论和实践的角度概括,大多认为新构造运动属大地构造运动的最新阶段,其历史地位是“承前(古构造)启后(现代构造)”,并指示(内涵)地壳运动的未来趋势。下面,简要论述一些有代表性的观点和概念。

李四光教授在论证地震地质工作时一针见血地指出^[1]:地震地质工作首先应调查和鉴定现今还在活动的构造地带和构造体系。这就从根本上赋予新构造与现代构造运动性质和概念以科学内涵,即新构造实质是那些迄今有着复活运动(包括地震活动)的构造带和构造体系。对此观点,他进一步地阐述如下:我们怎样对待新构造这个课题,是当前迫切需要考虑的问题之一。现在正在进行的构造运动,无论在地壳上部,或者是在地壳深部,算不算新构造运动?是不是把这种运动划归新构造运动的范围?答案是肯定的。因为地震地质资料证明,绝大部分地震的起源,都牵涉到现今正在进行的构造运动。他强调从地质构造角度研究地震问题,应该把地质构造工作和地震工作密切地结合起来,特别要查明出露地表的具有活动性的断裂带的性质、分布规律和延伸范围。这就是说,新构造研究必须与现代构造活动研究统一起来。众所周知,地震的发生及其震源位置,绝大多数是在某些地质构造带上,特别是在断裂带上。从研究构造迹象,到研究构造运动,对应力场的分析工作是必不可少的。如若应力场作用加强到了一定程度,稳定的构造带就会重新活动,乃至有所发展,或者产生新的构造带;断层受不住地应力的压迫,到一定阶段就会发生地震。因此,新、老断层都可能发生地震。地震震中是与活动地质构造带(无论暴露在地表,抑或隐伏于地下)密不可分的。迄今为止,地质力学工作者鉴定现代有明显活动的构造体系多达十数个,特别是其中的新华夏系、川滇西部—贺兰山径向构造带、青藏滇缅印尼“歹”字型构造系、祁吕贺兰山字型、秦岭纬向构造带与其它构造体系的复合部位等,其活动性

尤为醒目。例如,大量地震事件反映祁吕弧形褶皱带和贺兰山南部是作为统一的构造体系在活动;再例如,地震震中分布图反映整个新华夏构造体系现今处于活动状态。因此,要注意老断层的新活动,围绕现今仍在活动的断裂带,做好地震地质和地震预报工作。综上所述,李四光教授不仅明确地论述了新构造运动的“承前启后”特性;而且据此指明了新构造研究理论基础与正确途径和实践方向^[2]。

张文佑教授提出的新构造运动的观点和概念,明确地反映于断块构造学说中^[3]。他将中国地壳构造演化划分为五个发展阶段,包括太古代阶段、元古代阶段、始生代阶段、古生代阶段及塑造现今构造面貌的中—新生代构造发展阶段。并且指出,这五个发展阶段的相互关系是:前者构成后者之基础;后者表现为对前者之继承和发展。在大地构造演化中,形成了中国大陆地块上的南北构造带(由贺兰山、六盘山、龙门山、康滇—横断山等深断裂带组成),并将中国大陆分为东、西两部。大量资料证明,该南北带是一条明显的现代活动构造带。被其分治的中国大陆东、西两部,在中、新生代阶段构造发展特征不同:西部地区以地槽发育为主;东部地区则以断裂活动及其所控制的强烈火山活动,以及充填有巨厚沉积的裂谷和断陷盆地为主(诸如四川盆地、鄂尔多斯盆地、汾河地堑、近大陆边缘的地堑式断陷盆地,以及华南地区一系列沉降带和断陷盆地等)。东部地区的断裂与断块活动,反映中—新生代以来至今仍在持续的强烈的拉张应力状态。断裂活动的深度、强度及拉张幅度有自西向东增大之势。新构造和现代构造活动的主要特征概括为:a.晚第三纪末时的喜山运动晚期,使喜马拉雅地壳,包括青藏高原断块及巨厚山前堆积,发生强烈褶皱并形成叠瓦状推覆构造,使地壳厚度增大。b.南北构造带以东大陆地壳内的地堑式盆地进一步发展,至晚第三纪发育成为松辽盆地、华北盆地、江汉盆地等巨大型地堑盆地,并伴有频繁的玄武岩喷发,构成环太平洋巨型断陷系。c.燕山运动时期,在大陆地壳内曾发生强烈的断裂与断块活动。它们在新世代又得到继承和发展。新构造活动有着明显的深部地质背景。这一活动至今仍在继续进行中,致使亚洲东部大陆地壳处于拉张应力状态,呈现向大洋型地壳转化之特征。综上所述,断裂与断块理论得出的总结论是:从古至今的地壳运动,主要表现为断裂控制下的地壳块体(断块)之间的相对运动,以及各壳层之间沿层面滑动。这种断裂与断块运动,在新生代得到继承和发展,迄今仍在持续进行。

我国著名的工程地质学家刘国昌、谷德振教授等^[4,5],在地壳稳定性研究评价中,力倡新构造与现代构造相结合的观点,认为评价的基本依据是判断地震活动性。地震主要发生在过去形成、现今仍在活动的较大的压性和扭压性或压扭性和扭性的断裂带上。在鉴定现代活动性构造(主要是断裂和断裂体系)时,必需与研究现代构造应力场相结合,寻找那些在现代应力场作用下有条件发生复活运动的断裂和断裂体系。谷德振教授鉴于工程稳定评价的需要,尤其强调从不同层次上分别评价区域地壳稳定性、山体稳定性、岩体稳定性、地面稳定性以及深部稳定性,指出这些评价都是建立在对新构造与地震的相互关系研究的基础上的;强调从工程建设需要出发^[4],应非常重视新构造问题的研究与解决;认为新构造是地壳运动最晚期的构造形迹。这种构造形迹与晚近构造(晚于新第三纪的构造运动)应力场有密切的联系。因此,新构造在这种意义上具有活动构造的特点。我国境内地震频繁,必须重视地震和活断层的关系。现今正在进行的地壳运动,无论在地壳上部抑或深部,应归于新构造运动的范畴。因为,当前绝大部分地震的起源都涉及正在发生的构造运动。从地震地质角度出发,应该以地质构造为基础考虑地震活动问题。一是要鉴定是否

存在现今活动构造带及其如何活动。二是查清这些活动构造带是怎样引起地震的。在开展新构造或现代构造研究时,必须同时重视研究新构造或现代构造应力场的作用特点(地应力活动状态),分析新构造应力场及其所形成的构造体系,以及新构造体系的现代活动性(活动性质、程度、频度等)。综上所述,二位教授从应用实践出发,一致强调新构造运动与现代构造运动之间存在着继承与发展的密切联系,现代构造运动与地震活动存在着密切的相关性。

我国地震分析家丁国瑜、邓启东等指出^[6],我国现代、第四纪乃至新生代的断裂活动特征,常常具有一致性。也就是说,显示现今正在活动的活断层(活动断裂),大部分标志着新构造运动的持续性及现代表现。

国外著名的新构造学家H. И. 尼古拉耶夫曾于1958年应邀来华,帮助解决水工建设中的重大地质问题,特别是在新构造领域给予指导,并作题为《关于研究中国新构造的若干理论和方法问题》^[7]的学术报告。这对于中国此后新构造在理论和实践方面的发展很有影响。当时,尼古拉耶夫将新构造的概念和定义界定为:“新构造是由各种不同性质的新构造运动所决定的地壳的构造。这种运动或是显现的或是隐现的表现在现代地形上,是从第三纪到现在的一段时间内形成的。其出现最剧烈的时期是在新第三纪或在第四纪。”尼古拉耶夫强调指出,现有资料说明,“不仅是亚洲现代地形,即使整个地球的现代地形的全部特征,都完全可用新构造来解释。这种构造运动出现的特点是反映在地形上的垂直运动占主要地位”。尼古拉耶夫强调新构造运动塑造现代地形及其特征是无可非议的;然而只唯此强调,对新构造的其它诸多内涵深刻的形迹和特征涉及不多却未免失之偏狭。这些方面,诸如:新构造形变特征及其成生机制,新构造运动学的规律性特征,各种新构造形迹与标志,新构造与第四纪地质演化,尤其是它同现代构造运动和地震活动的深刻关系,以及由于过分强调垂直运动而忽视反映水平运动的诸多新构造迹象,等等。显然,这些方面能够更充分地反映新构造运动的本质和特征。它们同地形地貌标志一样,是认识新构造特征与规律的充分的标志和依据。尼氏的上述结论,曾在一段时间内造成了片面的理解,甚至产生了“现代地貌即新构造(全部)”的误解。可幸的是,在中国的新构造研究领域,始终以地质力学理论和方法为主导,克服了这种消极性和局限性。令人欣慰的是,尼氏在以后的研究中也自行克服了这种片面性^①,得出了关于新构造运动时、空演化的范畴、特征与结果,以及它与现代构造运动相联系的科学结论。

著名的地震地质学家古宾(И. Е. Губин),揭示了老构造(活化)、新构造、现代构造及其与地震的内在联系。他指出^[8],地震是一种地质现象。它并非到处发育,而是严格地依照地质结构和构造运动而发生,经常地沿着活化的老构造和最新构造边缘、小构造边缘及大大小小的构造隆起边缘发育。因为这些部位发生着继承性的现代差异构造运动。

日本地震地质学家松田时彦是统一地看待新构造、活断层和地震的。他直接了当地将发震的活动断裂视为新构造的现代活动。他指出^[9],在地质学上,活断层不仅是第四纪的断层,又是未来地震的发源地。从第四纪构造学来讲,构造运动在第四纪前期和后期以至末期之间,并没有间隔。因此,第四纪前半期曾活动过的断层(即新构造),一般应视为是现代和将来也可能再次活动的活断层。

① H. И. 尼古拉耶夫,新构造学的研究状况及前景,载于《地震地质科技动态》1985年第4期。

美国地震地质学家D. P. Schwastz在研究了中美加勒比—北美板块边界的第四纪断层作用之后,得出了以下结论^[8]:作为该板块边界断层之一的莫塔瓜断层带宽30m,其中3—5m宽的断层泥是由古生代大理岩和片岩、第三纪砂岩、第四纪浮岩等不同岩石类型遭受重复滑动而发生的强烈剪切变形带构成的。该大断裂是一条继承性活动的活断层。它最近一次破裂性左旋扭动产生了1976年2月4日的7.5级的危地马拉大地震。研究资料表明,莫塔瓜断层至少在第四纪期间曾多次活动,其平均滑动速率为0.48—1.8 cm/a。据其历史地震及这次大地震(1976年2月4日)资料分析,沿莫塔瓜大断层与表面断层破裂有关的大地震重复间隔为180年到755年。

Henning 和 Illies 等研究了阿尔卑斯山前的新构造运动以及持续至今并伴发地震活动等现象,认为非常典型地显示出新构造—现代构造与地震活动的继承性和统一性特征。研究结果表明^[8],在靠近阿尔卑斯山前一带,陆块,亦即断块沉降于地下很深处,表面形似一个整体,实际上是一个密集断层带(纲),其中许多断层与华力西褶皱基底原有的构造裂隙一脉相承,并在中生代,断层又经历过重新活动。在许多地方可以看到第三纪、第四纪乃至现代活构造与地震活动的典型迹象。近代地壳应力场和构造活动证明了这一地区现代构造运动和地震活动对于具有深部古构造背景的新构造所显示的继承性。

据中国科学报最新报道(1992),在美国洛杉矶西部又发现了一条新的发震断裂。它与发生过多次大地震的圣安德烈斯大断裂相毗邻。1992年6月28日的7.4级兰德斯大地震就是发生于这一新断裂上;并且,1992年4月发生的约书亚树6.1级地震,也与该断裂有关。现有研究资料表明,这条断裂可能是沿着一条过去百万年活动过的断层—火山带发育的。它作为太平洋板块和北美板块的一个接合部,将与圣安德烈斯断裂一样重要,有可能导致美国加利福尼亚地震区北移。这一发震活断层有力地表明,它就是就构造断裂的现代表现,甚至是未来活动的标志。

著者根据长期研究成果认为,新构造运动的基本特征与规律由其成生机制和时空演化而定^[9]。作为地壳运动的显示,它既在老构造复活的基础上继承了前期古构造,又在新的地壳动力学和应力场条件下,造就新的构造形迹,从而形成自己的新构造体系。在现代地壳应力场作用适合的场合,发生现代构造运动,并在那些具有深大断裂背景的新构造断裂的复活运动中,常常伴发现代地震活动。新构造的这种基本活动规律和特征,不仅规定,而且显示了新构造与现代构造以及地震活动的继承性和统一性;并且规定了新构造与现代构造(活动断裂)的科学概念和定义。作者在长期研究和实践中深刻认识到,并为大量实际资料所证明,对于中国大陆地块而言,新构造运动是以块断差异运动为主,现代构造运动继承了这一特征。例如,喜马拉雅山和青藏高原迄今仍在上升,而大陆东部及沿海某些地区却又表现为现代地壳沉降;中国大陆从西到东在地形地貌上差异迥然,以至形成和存在三个超级“大台阶”;据地质力学研究确认,中国大陆十几、20几个活动构造体系,尤其是其中的五大构造体系现代复活运动明显,且构成重要的孕震与发震构造;大陆上现代地震活动,尤其是地震带的形成以及强烈震害活动,几乎皆与现代的块断差异构造运动相关。值得回顾和有重要意义的一例是,在60年代初期,作者及其同事们,根据对黄河龙羊峡地区〔被一个差异活动强烈的复活新构造断裂体系(帚状)所控制〕的新构造专题研究成果^①,

① 水电部北京勘测设计院新构造小组,黄河龙羊峡新构造研究报告,原北京水电勘测设计院档案资料室,1964。

认为并首次提出在新构造活动区存在着“新构造相对稳定块”这一概念，当即得到李四光教授的首肯，随即在龙羊峡巨型水电站选址中得到应用。这一概念，在我国数十年来的工程地质学发展中经受了考验，并逐渐完善和拓展（例如在地质地质和地震预报方面的研究与应用上）。迄今，这一科学概念已发展成为区域地质环境和地壳稳定性综合评价的核心内涵。

综上所述，迄今国内外在围绕新构造的理论研究和实践应用方面基本达成了共识。这就意味着，第一，在基础研究中，必须重视并且准确把握新构造块断差异运动特征与规律及其演化历史的理论研究；第二，在应用实践中，必须充分注意到新构造的可划分（分区，分类）特性；新构造与现代构造在地质地理环境上形成的地域性（区域性）特征；在形成地质灾害上的差异性；以及对于地区综合开发和工程建设的重要影响和制约作用，等等。在这种共识基础上，有关新构造的基本概念，亦达成实质上的一致。其主要表现为以下共同的倾向性：a. 在新构造研究中，重视运用大地构造研究中的一切积极成果；b. 重视研究新构造块断差异运动的双向外延特性，即对复活性老构造的继承特性和向现代（含未来）构造活动的延续特性；c. 注重从新构造运动规律及其延续特性的意义上，界定活动构造以及活动断裂（或活断层）等的内涵和定义。同时认为：以下作法不可取，即根据任何主观意定的脱离客观运动规律的所谓“指标”去界定活动构造和活动断裂。

可以断言，建立于上述科学意义上的新构造概念，以及依据这种概念为基础的开展新构造的基础研究和实践应用，其前景无疑是光明而远大的。

第二节 新构造形迹与特征

广义的新构造形变场，是新构造诸多形迹的陈留场所，包括在新构造运动中形成的形变、地貌、建造、火山、温（热）泉以及地震活动等现象。这一系列新构造形迹构成新构造运动的“时空记录”，为人们考察、研究和剖析新构造运动特征与规律，提供丰富的客观依据。

一、新构造形变特征

大量研究结果和实际资料证明了以下事实：中国境内新构造运动以块断差异活动方式为主，仅在局部地区或部位发生与此种活动相关的褶皱作用。

概括新构造形变特征，无论是宏观的或是微观的，区域的抑或局部的；无不主要表现为基岩老断裂复活和在第三纪与第四纪地层中发生新的断层和褶皱。例如：大到贯穿全球的巨型经向和纬向新构造带，南极半岛本身是一个最后形成于新生代的岛弧，日本的中央构造线，东非的大陆裂谷，以及中国大陆内的攀西裂谷，郯庐深大断裂，汾河地堑，等等；小到一块手标本甚至微观样品中遗留的新构造形变痕迹。无论新构造形变的具体型式和形迹多么纷繁复杂，它们都一致地、深刻地反映出新构造运动的差异性这一最主要、最本质的特征。

尽管新构造在基本变形形式上不外乎是断裂、褶皱和裂隙系统，实质与老构造形变无异，然而，研究新构造形变特征时，必须从不同层次着手。既要揭示老构造的复活形式，又要辨识新构造形变特点；既要宏观地、综合性地把握新构造区域形变特征，还需研究新构造个体和微观形变特征。这就要求在实际研究工作中，按照地质力学理论与方法，从考

察个别新构造形变痕迹入手,尤其着重对新构造结构面要逐个、逐次地详细描述:每一个单个新构造形变的具体特征、组合形态特征,各种单个新构造形变的组合构造型式,以及各种不同构造形变和组合构造型式之间的成生联系与组构特征。既要描述主导构造形变,也要描述从属的和次级的构造形变,直至鉴辨整个新构造体系的组构形态和特征。

当复活的老断裂属于深大断裂时,它的各种复活迹象往往是宏观上、区域上综合地反映出来。大多数深大断裂未直接出露于地表,它们的复活迹象,往往较明显地体现于其上覆盖层断裂新构造活动的时空演化,及其对于这些深大断裂复活运动的依存关系和特征方面(在时间系列上多次复活和在空间范畴的继承重叠)。而这些发生新构造活动的盖层断裂,是不乏亦不难于取得直接证据的。笔者研究结果表明,这些盖层断裂不仅在平面展布上表现同其下伏深大断裂存在良好的对应关系;在剖面上也反映出重叠与依附的特性;在总体上表现出盖层新构造断裂对于深大断裂体系保持良好的空间继承性特征;并且往往在地质特征上,这种盖层断裂与其相应的深大断裂共同构成不同地质单元,尤其是不同新构造单元的分界线。沿边界断裂经常集中分布和发育一系列可资证明新构造活动的综合地质迹象^[9]。此外,大量的模拟实验研究亦证实了基底老构造复活对其上覆盖层新构造活动及其形态特征的制约效应。张文佑教授在《断块构造学说》一文中恰当地总结道:“断块间的相对运动对于其上覆岩层的建造发育与构造变形有着重要的控制作用;盖层构造的组合形式也在很大程度上取决于基底的断裂网络与活动方式”。综上所述可见,盖层构造形变的成生及其形态学特征,受控并反映着基底构造变动特性。据此,研究盖层断裂的新构造(乃至现代构造)形迹,不仅对于鉴别盖层新构造很重要,而且是判识深大断裂新构造复活运动特征(以及现代复活特点)的必要和重要途径。

在中国大陆地块上,老构造在新构造期的复活事例以及新生的断裂和褶皱变形比比皆是。本书将提供有关老构造复活与新构造形变的大量例证。在此,暂且简述某些典型实例。

在中国大陆西南边缘,喜马拉雅山区的地质现实堪称大陆碰撞的“活标本”。它提供了新、老构造活动融合统一,以及有关新构造乃至现代构造运动在宏观、区域及综合形变特征上最直观也最典型的例证。那里的地质历史表明,一亿年来,印度板块向北运动不止,最终直抵亚欧板块,两者发生了碰撞。研究结果表明,至今印度板块相对于亚洲板块仍然以每年4cm的速度向北运动。这不仅展示了新、老构造之间继承性时空演化的最现实最完整的范例;并且形成当今地球上最壮观的地貌形态——世界最高屋脊(山脉)和高原(广阔的青藏高原)。值得强调的是,加之在中国大陆内部有关深大断裂与断块的反复活动,形成了从青藏高原至华北平原的自西而东高差悬殊的三个巨大“台阶”——它们标志着三个不同类型的巨型新构造单元。中国的地质力学鼻祖李四光教授,在研究了喜马拉雅山运动及其构造形变特征后明确指出:强烈的第三纪阿尔卑斯造山带,从西往东以一个倒“上”字型与喜马拉雅褶皱带相结合。这是由于有南北方向的缓冲陆块,中国才免于由西而来的阿尔卑斯—喜马拉雅褶皱带的袭击,而且转为向南和向北,从而使中国大陆整体按照它的传统轮廓对第三纪的造山力得以反映。到上新世末期和更新世早期,中国大陆西部整体又经历过相当大的隆起。

研究表明,分布于中国大陆内部的十数个,尤其是其中五个巨型构造体系,不仅表现出明显的新构造复活运动,而且在现代地壳动力学条件下构成现代活动构造体系,甚至形

成历史和现代地震带。它们是：a.形成于中生代的祁吕贺兰“山”字型构造系；b.规模虽较小，但构造情况十分复杂的滇东“山”字型构造系；c.川滇SN向构造带。该带包含了新构造和现代构造复活运动强烈的攀西古裂谷，著者将专辟章节讨论有关研究成果；d.青藏高原滇缅印尼“歹”字型构造系中我国部分；e.在中国东部占主导地位、形成于燕山期的巨型扭动构造体系——新华夏系。笔者将于有关章节讨论涉及后面两个构造体系的新构造研究成果。综览上述可知，这五个显示新构造——现代构造活动的巨型构造形变场，几乎覆盖了整个中国大陆；然而它们又各具特色，各成系统。此外，中国大陆内的纬向构造带，有的亦显示出某种新构造复活特征。所有这一切，它们不仅对我国的经济开发、工程建设，以及生态和生活环境具有广泛而现实的重要影响；同时也提出了对其（新构造与现代构造活动特征）不断进行全面、深入地研究和实践的必要性和艰巨性。

通常，大多数新构造形变出现于（保存于）天然露头中，有丰富多彩的形变特征。其中，最基本、最实质地反映构造形变特征的构造单元是结构面的地质力学属性及其表征。按着地质力学的划分，同新构造变动有关的结构面总形态有两种基本类型^①：其一为破裂结构面，标示不连续构造，例如断裂面；其二是只有几何意义的结构面，一般表示连续性构造，例如褶皱轴面。天然剖面上显现出来的所有各种类型结构面，都淋漓尽致地显示出规定它们地质力学属性的地质特征——按照地质力学划分为5种基本力学属性，即压性、张性、扭（剪）性、压扭性和张扭性。其中，压性结构面包括单式或复式褶皱轴面、逆断层或逆掩断层面、片理面、一部分劈理面等。张性结构面包括断裂面、一部分节理、裂隙、一部分裂缝、一部分正断层等。扭性结构面，如平错断层、一部分正断层、一部分节理和一部分劈理等。压性兼扭性结构面和张性兼扭性结构面，它们的力学属性是两者兼而有之；在现场考察时，要分辨出两者之主次。不同结构面的力学属性，反映其受构造应力作用之差异，通过其构造产物——物质的组构、成分和形变特征显示出来。例如，压性破裂结构面的主要形变特征如下：表现为由一条主破裂面或者一束（数条）破裂挤压面构成一个挤压带，呈舒缓波状，长距离延伸。其中，集中分布有各种形态的压性构造形迹和产物；在结构面一侧或两侧，岩石呈不同程度的挤压状态，例如产生平行片理、局部强烈褶皱、倒转和仰冲，甚至局部发生次一级的（相对主导结构面是派生的）小型构造；在压性结构面旁侧还经常出现分布零乱而不规则的石英与方解石晶片或晶块，以及各种呈鳞形排列的片状矿物，诸如云母、滑石、绿泥石等，有时也有条状和针状矿物产生。这些矿物显然是主压结构面构造作用的结果，其主要劈面或联晶面，大都与各该主要挤压面平行或近于平行分布。关于张性破裂结构面，其最主要形变特征是：断裂面粗糙，参差不整，延伸不远，常有质地疏松、含较大破碎岩块的角砾岩充填。沿张裂面经常发生大、小不一的裂隙和裂隙群，甚至由一组平行的张裂面构成一个参差不齐的张裂带。至于纯扭性结构面，其最大特征是：扭裂面本身平直、光滑，有大量剪切活动擦痕，作长距离整齐延伸。经常有平行扭裂面成群分布，并往往呈不同方向的两组相互交切。扭性破裂面有时充填有研磨极细的角砾岩，直至糜棱岩状。扭裂面两侧的岩层或岩体，被平行反向错动位移的形迹十分清晰。在主扭裂面的旁侧，各种派生小构造形迹十分发育，诸如：羽状节理或羽状排列的小型裂面，规模不一的派生帚状构造、“人”字型构造，甚至各种类型的旋卷构造。值得

① 参照《地质力学概论》，这是按构造结构面总体分布形态特征而言，若按地质力学属性划分，共有五种基本类型。

强调的是,在野外新构造考察中,有时需要取样,以判识新构造形变的微观特征。

就新构造形变微观特征而言,它是指对于那些“肉眼不可直接度之”的微观形变特征,必需借助现代科技手段揭示出来。这种微观研究不可缺。它不仅能够更充分地反映新构造形变特征,而且有时对新构造研究能起到关键作用。例如,著者在二滩水电站工程可行性研究中,在坝址缺乏新生界提供直接证据的情况下,借助于对二叠系玄武岩中断层角砾的微观研究(对断层泥中方解石碎块电镜放大8000倍),看到清晰的双晶纹和再次错动了双晶纹的构造裂隙,据此结合测年研究,最终判定这一次新构造活动属于元谋期。为评价坝址新构造稳定性提供了微观论据。

二、新构造地貌特征

新构造运动既然是地壳活动和大地构造运动最新的一章,那么,它必然在雕塑地球现代地形地貌方面留下有力的“雕痕”。这种“雕痕”就是见于地貌地形的新构造形迹。在这种意义上,新构造运动是地球上地形地貌形成与发展的动力,地形地貌单元之形成及其特征依赖于相应的新构造单元的成生特点。它为我们开展新构造研究工作提供了一个方面的理论基础和宏观依据,即通过抽取和分析现代地形地貌中一切新构造信息,来追溯新构造运动的特征与规律。

从地形地貌的相对规模而言,可以分为巨型的或超级的,大型的或一级的,中型的或二级的,小型的或三级、四级的,等等,依此类推地划分下去。这种划分,如果是作为实际而谨慎地(而非空泛地)比较而言,是有一定意义的;但其明显的缺点在于缺少科学分析,仅是强调规模(级别)大小,容易任意地(亦即假定地)混淆了不同“时空域”中不同的类型,尤其是成因类型。例如,相对宇宙而言,作为行星之一的地球形态(地形地貌)堪属巨型的或超级的。如果就地球本身而言,则大陆与海洋之间不同的地表形态,均可划属为巨型或超级的,因为它们显示出全球级新构造地貌的差异性。有鉴于此,科学的方法论应该是,研究和揭示不同地形地貌单元的形成与特征,尤其是它们对应于各该不同新构造单元特征的依赖性。

在中国大陆地块上,例如前已述及的5个不同特征的巨型或大型新构造体系(单元)和有关的纬向构造,它们不仅塑造了彼此不同、各具特色的相应的巨型或一级的新构造地貌单元;从而也“雕刻”出中国大陆范围内差异迥然的一级新构造地貌景观。诸如:耸立于西南边陲的当今“世界屋脊”,自西而东错落分布的三个大“台阶”——青藏高原、黄土高原、华北平原,SN向纵贯中国大陆中央的著名的“南北带”——从北而南包括贺兰山、六盘山、攀西裂谷所在的康滇古陆轴部,不仅分治中国大陆为东、西两部截然不同的超级新构造地貌单元,同时也由其自身活跃的新构造——地震而构成独特的新构造地貌单元。无独有偶,EW向横贯中国大陆的秦岭,分割大陆为南北迥异的超级新构造地貌单元,等等。实例繁多,不胜枚举。应强调的是,在上述超级或一级的新构造地貌景观区域内部,还存在着更多生动丰富的、不同类型和次级的新构造地貌形迹。

以上述事实为根据,并且只在上述事实成立(新构造运动塑造相应的新构造地貌)的意义上,才可以接受B·A·奥勃鲁切夫和H·И·尼古拉耶夫的结论:新构造可以解释地球大陆表面现代地形的特征。本著须要强调阐明的是,不论新构造地貌的具体形态与特征(形态学特征)有多么繁杂,它们都一致地表明新构造地貌对于新构造运动特征的依赖性,归根结蒂取决并反映出各级新构造运动的差异性。诸如上述各巨型新构造体系(超级新构造

单元), 依靠其各具特色的差异运动塑造出与其相应, 形态千姿的超级新构造地貌景观和系统(超级新构造地貌单元)。还可举出另外一些实例: 逆冲叠瓦式新构造断裂活动单元(区域), 往往形成新构造块断山型地貌单元; 断陷型新构造单元(块陷单元)则形成平原或盆地等凹型地貌特征; 沿新构造断裂带往往分布着与其相关而形态多样的线性差异地貌景观, 等等, 不一而足。上述例证表明, 新构造地貌对于新构造差异运动的依赖性, 既见之于巨型、大型新构造体系的全局, 又反映在新构造小型和个体成分中, 甚至有时也显现于新构造活动的隐微形迹中。例如, 地震断层在地表留下的沟、坎、凸、凹等各种微地形, 当它们一旦被后期堆和物所掩覆时, 又转变为隐微地貌。据此得出结论, 新构造活动的差异性造就不同成因类型的新构造地貌形态的动力和依据。就方法论而言, 分析新构造地貌的形态学特征以达到区别鉴辨其成因类型的实质, 才是科学的研究方法。毫无疑问, 这一结论指明了研究新构造地貌的科学的理论基础与方法。换言之, 在研究由于新构造运动(这是内力作用)而产生的各种地貌形态时还必需充分地注意到, 外力作用对于地形地貌形成和发展的影响。事实上, 新构造差异运动造就新构造地貌的基本造型和本质形态, 外力因素仅在基本形态的次一级再塑中起作用。

尽管新构造地貌的景观和形态参差纷繁, 然而, 从本质上讲, 新构造地貌的基本成因类型, 可概括为三大类别, 即新构造隆升地貌、新构造沉降地貌及新构造差异活动地貌。三者不仅在宏观总体地貌景观和形态上差异迥然, 即使在次一级局部亚类地貌景观和形态方面, 亦各显特色。川西广大区域横穿攀西裂谷的EW向剖面提供了典型例证: 它不仅在总体上宏观地显示出上述三大类型新构造地形地貌的悬殊对照的差异性, 而且反映出在各大类型内部的亚类地貌之间的差异和特征(详见本书后面章节)。在三大类型中包含的基本亚类型地貌特征归纳如下。

新构造上升区, 造就了形形色色的山区地貌景观, 包括以下亚类地貌形态: a. 褶皱山, 例如世界最高峰最典型的喜马拉雅山。b. 断块山和高原(如青藏高原)。c. 块断山, 多由一系列叠瓦状逆冲断裂及其间夹较小断块构成, 往往地形陡峻, 高度参差悬殊, 山体两侧多不对称(如秦岭山脉北麓陡而南侧缓)。d. 山间盆地, 往往在块断山区内和断块山区内, 间或形成断陷型山间盆地。需要提及, 在新构造上升的山区, 往往风化剥蚀和水流浸蚀等外力地质作用强烈, 对山区地貌再塑造提供了条件。因而又可以派生出以下各种内、外力结合的亚地貌类型: e. 在断块山和块断山的山前地带, 特别是在较陡一侧的山前地带, 往往形成一系列特有的新构造山麓地貌形态, 诸如: 倾斜平原, 断陷平原(如太行山东麓), 叠次出现的滑坡、泥石流、洪积扇及它们的群体(在宝成及成昆铁路沿线, 以及贺兰山东麓地区泛见)。f. 剥蚀高原。有时剥蚀面发生变形(如四川绵阳地区的剥蚀面已呈弓型弯曲)。g. 夷平面。往往在山区出现数级高度不同的夷平面, 例如大别山地区与新构造有关的夷平面可见5级, 四川攀西区域可见3级夷平面, 太行山区亦存在数级夷平面。h. 上升的高原区。在原台上常见有古河道, 形成新的分水岭(如四川螺吉山大青梁子地区逼使则木河流向倒转入邛海), 在掀斜上升的高原区改变河流方向, 甚至出现“倒淌河”现象(如青海海南地区的倒淌河)。i. 在新构造上升的山区, 往往形成高山峡谷浸蚀地貌, 其表现为高而陡的“V”型峡谷, 谷底纵剖面裂点多、阶梯状、坡降大、切割深, 两岸悬谷发育, 溯源浸蚀强烈, 往往可见多级发育不全的侵蚀型阶地。例如, 在青海黄河龙羊峡谷地段、四川雅砻江峡谷地段和则木河谷, 皆可泛见上述“V”型峡谷的诸多地貌特

征; j. 在新构造上升强烈而幅度大的高山地区, 例如喜马拉雅山区, 为发育冰川提供得天独厚的条件, 从而形成独具特色的冰川地貌和冰缘地貌。在山谷冰川区内及外围, 于高山坡上和山麓带, 以及河谷与盆地边缘, 广泛发育融冻泥石流型堆积地貌; 在高山两侧普遍发育巨厚的山麓堆积型地貌形态。这些冰川地貌景观在喜马拉雅山南侧、青藏高原、天山南北两侧山麓均可一览。崔之久研究了青藏高原冰缘地貌的基本特征^[10]。他指出, 青藏高原及其邻近山地的冻土区是一个巨大的“冰土岛”, 是当今世界除极地以外最大的冰缘地貌发育区。他划分出以下类型: 覆盖型石冰川、冰缘石舌, 热融滑塌体, 冰核丘及自喷性冰丘, 成层岩屑及成层地面等。有实践意义的是, 他根据冰缘地貌发育从强到弱划分出以下三大类型区: 青南藏北高原, 藏南山地、喜山北坡、祁连山地, 藏东西、川西山地。

新构造沉降区地貌类型与特征, 总的显示各种形态的沉降地貌景观, 在外力作用参与下, 其地形特征更加优化。归纳起来有以下基本类型: a. 断块平原, 系由断块沉降形成的堆积平原, 河北平原堪称典型。在巨型断块平原内部, 经常包含若干个次级断块, 后者因新构造运动之差异, 在总体沉降背景下有的显示微弱块隆。有的则一贯沉降, 幅度很大, 形成沉没式块陷堆积平原, 甚至构成块陷沉降堆积中心。以上特征在河北断块平原区表现明显, 堪称典型。河北平原基底由一系列断块组成, 在新构造运动总体沉降中, 其内部断块又显示出块隆与块陷之差, 例如, 河间—隆尧断块的新隆起, 断块平原内的黄骅断块从早第三纪以来一直处于块陷过程, 迄今其中堆积新生界总厚度达4600m, 仍在继续沉降。此外, 渤海陆棚也显现沉没块陷特征; 而位处河北平原北部的唐山—宁河块陷, 表现为第四纪以来的沉降中心, 其中堆积第四系总厚度已达800m。此外, 因外力堆积作用机制不同, 断块平原又衍生以下亚类, 诸如: 洪积和冲积平原、海积平原; 湖积平原、湖积—冲积平原、风积平原, 乃至冰川平原、冰水—冰川平原, 等等。它们使断块平原的地貌景观在地貌形态和地形特征上, 更加充实和丰彩。b. 断陷盆地。由断块沉陷形成的规模不一的盆地, 比比皆是, 它们既可以构成规模巨大、独立存在的新构造块陷地貌单元, 例如银川盆地; 也可以是规模较小、出现于高原、山地、山间和山前的相对的断陷盆地, 如川西地区高部位的盐源盆地、布拖盆地; 甚至可以内叠于沉降单元之中形成沉降堆积中心, 如四川西昌盆地。断陷盆地周边的断陷程度一般是发育不等的。断陷盆地内部的堆积类型和成分, 取决于当地自然地理地质环境和气候条件所限定的外力地质作用机制。一般地说, 山间及山前断陷盆地多属洪积—冲积为主的混合型; 高原和平原区的断陷盆地堆积类型包括风积、冲积、洪积、冰水堆积、湖积以及有关的混合类型; 滨海区的断陷盆地多为海相或海相与冲积相混合型, 等等。一条基本原则是, 必须对断陷盆地的堆积类型作具体地考察和分析, 而鉴定之。c. 断陷槽地或称地堑谷。这是一类呈长条状发育的特殊形态的断陷地貌单元, 往往构成近代或现代河道。断陷槽地规模大小不等, 其成因多与大陆断裂带在新构造期间复活运动相关。例如东非大裂谷, 我国攀西地区安宁河断陷槽地(在攀西古裂谷新生代复活基础上发育而成), 川西地区则木河断陷谷, 山西汾河地堑等, 皆堪典型例证。关于断陷谷地的沉积建造类型及其地貌特征, 一般地说, 取决于各该断陷谷地或地堑谷的新构造运动特点, 特别是与新构造断裂差异活动相一致。d. 河流堆积阶地。一般地说河流堆积阶地形成和发育于, 具有侵蚀堆积作用的断陷谷地中。堆积阶地级数愈多, 说明新构造运动在总体沉降背景下的所谓振荡性愈强。堆积物来源于上升剥蚀区的陆屑, 多以冲积为主, 夹杂以洪积和湖积相, 在靠近差异活动强烈的一岸, 还可能有崩塌堆积相混杂。当

断陷谷地沉降速率加强、幅度增大时, 先期形成的高级阶地和剥蚀残丘可能遭到浸蚀破坏, 并作为陆屑来源堆积覆盖于低级阶地之上, 后者遂转化为掩埋式阶地(安宁河断陷谷昔格达层的先后二期建造特征, 提供了这种典型例证)。e. 与新构造断陷有关的湖、沼、泽、洼等凹地, 有时呈个体出现, 有时沿断裂带呈线性排布。它们共同的特征是, 其边缘(一边或二边)与新构造断陷边界一致, 例如江苏溧阳以北的隔湖和长荡湖的西部边界, 太湖的四周边界, 以及太湖与高邮湖的东部边界连线等是。f. 与新构造有关的地表沉降地貌。这是一种成因较为复杂的微地貌类型, 它的形成, 往往与见之于地表的新构造断陷、或与地震活动有关的地震断层和裂缝、有时还与外力和人工因素(如抽取地下水)相关, 可谓地貌虽微其性难鉴。例如, 有关西安地裂缝的成因迄今未得共识。

新构造差异活动区的地貌景观与形态尽管丰富多彩, 然其基本特征可概称为线性排布地貌。基本类型如下: a. 沿上升一侧的断层面, 有呈线性分布的断层崖、三角面、梯形面、陡坎、阶坎、以及塌滑床、崩落面等; b. 沿断裂带的沉降一侧, 经常出现呈线状排布的泥石流、洪积扇等的个体或群体, 以及各种重力堆积体或群体, 如滑坡体、崩塌体等。它们有时还表现为复杂叠置状堆积地貌形态。在总体景观上与断块山或块断山的山前山麓特有地貌形态颇有混然之状。例如四川沿雅砻江边岸断裂的新构造滑坡群、沿安宁河东侧边界活动断裂带发育的泥石流群等皆很典型。c. 沿着有地震活动的新构造带呈带状或线状分布的地裂缝和地震断层及其群体, 以及其它形态的微地貌景观, 如矮坎、低丘、凹坑、喷沙、湿地等; d. 被新构造错动和扭曲了的河川水系地貌, 其形态和景观发生的各种变异; e. 受新构造制约而发育的网格状水系(如大别山地区的网格状水系), 以及沿新构造断裂带发育的沟谷与河流(如四川鲜水河、安宁河、则木河等); f. 新构造差异活动地区经常形成狭窄河谷, 谷底纵剖面地形复杂、参差不平、纵坡降大、裂点多, 有时呈阶梯递降(如大别山地区河流、四川安宁河、青海黄河龙羊峡等谷底皆有上述参差断块状发育特征); 河谷结构不单一, 两岸阶地发育不全, 但类型复杂, 常出现河谷升降交替型(侵蚀型与堆积型交替出现)的阶地形态; g. 由新构造差异运动导致的海岸线变迁和海岸地貌形态的变异等。

三、新构造沉降与建造特征

研究表明, 新构造沉积建造, 特别是第四纪以来的沉降与堆积, 显示出二者相辅相成、互为印证的密切相关性。这种特征具体地显现于第四纪建造史与新构造块断差异运动史的一致性。第四系建造特点与演化表明, 它不仅以新构造运动为依据, 而且还体现出后者的运动规律和特征。概括地说就是, 新构造运动的反复性和差异性, 决定了沉积建造的多期、多相性及区段性特点; 而沉积建造的这种特点与演化, 又逼真地描述和印证了新构造沉降区的(沉降断块的)活动与演化的特定过程。根据这一原理, 在实际工作中必需对新构造沉降与堆现象, 进行充分考察、对比与分析, 以揭示其实质性特征。本书将提供安宁河断陷槽地的新构造沉降与堆积特征的典型例证。

四、新构造火山地貌特征

1. 新构造运动中伴发火山活动, 是一种既普遍又独特的新构造形迹

在中国大陆, 新构造火山活动遗迹不仅不乏其例, 甚至在大港油田勘探中, 在断陷盆地型的黄骅凹陷内, 曾钻过多层第三系隐伏火山岩层。杨子庚将华北断块区的第四纪火山活动划分为4期, 其中以第二期规模最大, 分布最广。李四光教授很早就指出^[14]: 在上