

doi:10.7515/JEE201504005

# 生态环境与地质构造的耦合关系研究

黄建军

(陕西省地质调查院, 西安 710065)

**摘要:** 本文以耗散构造理论为基础, 探讨了生态环境与地质构造之间的发生学联系, 对波浪镶嵌构造学说提出的构造规律可能影响的生态环境整体性情况进行了分析, 初步提出了构造波密带、波疏带对应的生态环境整体结构、功能及表现特征和演替方向。通过对陕西典型区域的构造与生态环境对比分析, 验证了生态环境与地质构造的耦合关系, 由此提出秦岭构造结地区生态环境整体结构复杂、生态功能完善是形成秦岭生物多样性中心, 陕甘宁地块内部生态环境整体功能衰退形成陕北严重水土流失和荒漠化的重要因素。

**关键词:** 耗散结构理论; 生态环境; 地质构造; 波浪镶嵌构造; 整体性; 耦合关系; 陕西  
**中图分类号:** X171 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2015)04-0231-07

## Study on the coupling relation between eco-environment and geotectonic

HUANG Jian-jun

(Shaanxi Geological Survey, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Based on theory of Dissipative Structure, the genetic collection between ecological and geotectonic is discussed. The affection on the entirety of eco-environment is theoretically related to the Hypothesis of Wavy Mosaic Structure. The characteristics, such as structure, function, and succession, of the eco-environment in tectonic wave-dense belt and tectonic wave-scattered belt are discussed respectively. To some extent, the above derived rules are verified through the typical study in Shaanxi. As a result, it is pointed that complexing structure and powerful function of the eco-environment lead to the biodiversity center in Qinling Tectonic Knot. On the other hand, the degradation of ecological function leads to serious ecological problems in Shaanganning Block.

**Key words:** Theory of Dissipative Structure; eco-environment; geotectonic; Hypothesis of Wavy Mosaic Structure; entirety of eco-environment; coupling relation; Shaanxi

区域生态环境特征及生态问题的形成, 受多因素的影响, 综合的研究即生态环境整体性的研究是全面分析解决问题的关键, 地质构造对生态环境整体性的影响十分深远, 也是本文研究的重点。长期以来, 有关生态环境因子与地质构造的研究不断 (Frakes and Kemp, 1972; Lamb, 1972; Bray, 1974; Frank and McNaughton, 1991), 还有一些研究则进行了地质构造与生态环境多因子的宏观研究, 认为大陆漂移和伴随的海底扩张及原有大陆重新组合成新的陆块 (Strahler and

Strahler, 1978), 无疑对海洋环流和大气环流都产生重大的影响。构造与地貌、构造与水系发育、构造与地质灾害等是中小尺度生态环境与构造研究中较为成熟的成果 (张伯声, 1984; 李裕元和石辉, 2001; 刘护军, 2005), 构造运动与环境变迁, 特别是喜马拉雅—青藏高原新构造运动与亚洲季风的演变是大尺度地质构造与区域生态环境之间关系研究的突出成就 (刘晓东, 1999; 刘秀铭等, 2009)。一些学者关于波浪状地貌环境论、构造波与旱涝灾害、波浪镶嵌学说的自然观

收稿日期: 2015-04-13

通讯作者: 黄建军, E-mail: shanxishengtai@sina.com

等的研究(王战, 1986; 李成和王战, 2001; 赵徐, 2013), 将构造运动规律运用到生态环境分异规律研究之中。本文着重以耗散结构理论来探究生态环境整体性与地质构造的发生学联系基础, 以波浪镶嵌构造理论所揭示的构造分异规律来探寻各种生态环境地带性分异规律的内在形成机制, 从而寻找生态环境整体性与地质构造的耦合规律, 试图为深入研究区域生态环境及解决生态问题探索一种可行的思路。

## 1 生态环境与地质构造的发生学联系

### 1.1 从“耗散结构”理论看生态环境与地质构造的发生学联系

比利时学者 Prigogine (1978) 提出了“耗散结构”这门学科。耗散结构从非平衡态热力学的观点解释, 系指当体系处于非平衡状态时, 通过体系与外界进行能量、物质和信息的交换而形成和维持的一种稳定化了的体系结构。通常把平衡状态下的稳定有序结构称为平衡结构, 耗散状态下的稳定化有序结构称为耗散结构。Prigogine 的布鲁塞尔学派从对热力学第二定律的分析中看出, 高熵是对应于无序化的增加, 而低熵则对应于有序化的增大。若是将平衡态对应无序, 则非平衡态就是有序的起源, 即“非平衡态是有序之源”。

地球表层包括非生物界、生物界和人类社会, 是个开放的有序结构的巨系统, 维持这样一个复杂的有序结构, 必须输入能量, 即负熵流, 这部分能量主要依赖太阳能的源源输入, 也有来自地球内能的输入, 表现为各种形式和尺度的构造运动, 因此地球表层是一个远离平衡态的具有耗散结构特点的开放系统。地球上出现生物以后, 生物改造环境, 环境也改造生物, 并终于在距今4亿年前, 生物从海洋登上陆地(景贵和等, 1990), 扩大了其直接接受太阳能的范围, 在种类和数量上大幅度增长, 促进陆地和水域都更加充分地固定太阳能与引入负熵流, 以至最后形成复杂完善的生物圈, 这就是天然生态系统。

天然生态系统是在地球表层系统中孕育和发展起来的, 地球表层系统是天然生态系统的环境。由于有机体固定和转化太阳能引入的负熵流, 因此, 天然生态系统较之地球表层系统更为有序, 功能更强。按照这个推理, 系统内的各个成分彼此相互作用, 这种作用越复杂, 彼此的调节能力

就越强, 其物质能量转化的功能也越强。

人类生态系统是以人类为中心的更为高级的系统, 它同天然生态系统有本质区别, 早期的人类只是天然生态系统中的一个普通消费环节(郑华等, 2003), 以后由于人类以社会生产的方式改变着能量和物质的输入输出和流通转换, 形成独立的具有耗散结构的人类种群系统(郑华等, 2003)。

上述在发生学上有联系的耗散结构, 它们的能量流通途径是: 宇宙系统 → 地球系统 → 地球表层系统 → 天然生态系统 → 人类生态系统。当一个系统从另一个系统获取负熵流时, 必然使提供负熵流的系统的总熵增长。当确定了一级系统为研究对象, 即主体系统时, 其下一级系统即成为该主体系统的客体环境, 主体系统并不是游离于客体系统的超然成分, 而是和客体环境具有耗散结构式发生学联系, 包含于客体环境的有机组成部分, 只是比客体环境结构更为有序, 功能更强。

### 1.2 生态环境整体性研究的必要性及判别依据

通过生态环境整体性研究而不仅仅是单因子分析, 有助于系统全面地理解地质构造对生态环境的影响以及它们之间的关系。这里的生态环境整体性是指人类和天然生态系统组成的复合系统各组成部分相互作用形成的, 而单独各部分又不具备的统一的结构、功能和效应, 是这个物质系统的整体性结构和由此产生的整体性功能及其随时间演化的规律性。系统的结构反映的是系统内部各组成部分在空间和时间上的组合关系与联系方式, 各组成部分也只有通过一定的结构才能组成有机整体, 对外界表现出统一的总体特征和相应的功能属性。生态环境的整体结构是时间上稳定的生态环境各组成要素的分布格局。生态环境时间结构是维持着空间结构的生态环境在状态上一系列变化的结局。生态环境的功能是生态系统与生态过程所形成及维持的生态环境条件与效用。系统的结构和功能是相互联系的不可分割的两个方面。对于生态环境整体性的研究必须从其结构功能两个方面入手。

(1) 生态环境整体性结构主要从其复杂性和层次性两方面衡量。生态环境各个组分局部的统一性构成了生态环境这个系统的整体性, 局部的独立性构成系统的个性。整体和局部通过统一性与独立性、共性与个性结合为一个有机的整体。复杂性就是系统的二维空间的不均匀程度和各向

异性。生态环境整体性强的, 其结构表现为组分复杂多样, 多样性是系统稳定性的必要条件(胡聃, 1997; 陈圣宾等, 2010)。层次性就是生态环境各组分间联系途径的多样性和联系的紧密性, 整体性强的表现为组分间联系途径多而又联系紧密。

(2) 衡量生态环境整体功能就要看其维持进化、有序而又良性循环的自组织结构的能力(于贵瑞, 2001)。整体性强的表现为各组分的功能可充分发挥, 物质流和能量流通畅, 流量大, 输入、输出与储存间的比例恰当, 系统遇到环境干扰后, 能迅速从一个有序的亚稳态跃迁到一个新的有序稳态。

## 2 从波浪镶嵌构造看生态环境整体性与构造的耦合规律

### 2.1 波浪镶嵌构造学说揭示的构造运动规律

按照波浪镶嵌构造学说, 中国的地质构造特征主要表现为北东向的环太平洋构造活动带各分带同北西向的特提斯构造活动带各分带的交织, 其结果编织成斜方网格状的中国构造网(张伯声和汤锡元, 1975)。构造网上任何部位, 均兼具环太平洋和特提斯构造的双重特性。构造带与构造带的交织形成构造网结, 称为构造结, 是构造活动强烈部位; 地块带与地块带的交织, 形成构造网眼, 称为地块, 是构造活动缓和部位; 构造带与地块带的交织, 则显示出构造带的单一优势

构造方向, 形成构造网线, 称为构造段, 其构造活动性介于地块和构造结之间。

同时, 该学说将中国构造网两个方向的网线称作“波密带”, 将构造网线所夹峙的地块带称作“波疏带”, 并指出, 两个相邻的地块带(即波疏带)在地史时期往往互为波峰带和波谷带, 而构造带(即波密带)则恰恰处于地壳波峰和地壳波谷的交接部位。在剖面上看, 波密带恰是正弦曲线的陡梯度转化部位, 应力最易集中, 早期地壳先在这些地方破裂, 而以后屡屡在其附近形成波密带。波密带构造波的振幅大、频率高、波长小。波疏带振幅小、频率低、波长大。波密带振幅越大、频率越高, 其所含势能越多, 于是构造波震荡释放能量的距离也就越远。

### 2.2 构造运动与生态环境的耦合规律

从以上的分析可以看出, 波浪构造运动的波密带生态环境将获得比波疏带较多的地球内能, 对区域因太阳能而造成的水热分布格局进行了更加强化的再分配, 其趋势是生态环境的复杂性、有序性以及非平衡性显著增强, 生态环境整体结构的层次更多, 组分的联系更紧密, 因而就显示出更强大的整体功能。根据波浪镶嵌构造学说提出的波浪运动的普遍性、时一空等间距性以及不同波系主从地位的变更及其相互间的叠加与干涉等要义(王战, 2001), 有以下推测(见表1)。

表1 波浪镶嵌构造与生态环境整体性耦合关系表  
Tab. 1 Coupling relation between eco-environment and geotectonic

波浪镶嵌构造运动类型	生态环境整体结构与功能	局域生态环境状态	全局生态环境状态	生态环境表现特征
波密带中波峰带	结构复杂多样, 有序化程度高, 整体功能强大	低局域稳定	高全局稳定	区域生物多样性中心
波密带中波谷带	结构复杂, 有序化程度高, 物质流集聚, 生态系统生产潜力高	高局域稳定	极高全局稳定	现代人类最适宜活动区
波疏带中波峰带	结构简单, 有序化程度低, 物质流损失大, 功能较弱	极低局域稳定	较低全局稳定	区域生态环境问题集中多发区, 生态环境脆弱
波疏带中波谷带	结构十分简单系统功能弱	较高局域稳定	低全局稳定	某种生态环境问题突出, 较脆弱

(1) 波密带生态系统的有序化程度高, 脆弱性低, 生态系统处于较低局域稳定、极高全局稳定状态, 遇到外来扰动后可能丢失一些物种或产

生种类成分的变化, 但总的结构和总生物量变化很小, 系统变化后可以很快建立新的平衡; 而波疏带生态系统有序化程度低, 脆弱性强, 生态系

统还可能保持一定程度的机械混沌稳态,但维持生态环境有序结构的整体功能处于一定局域稳定而低全局稳定状态。

(2)各生态环境因素及其整体性是沿波密带走向延伸,而沿波密带倾向而更替。由此可以看出,由于不同方向构造波动形成的构造网,有关研究提到的“过渡带”不是单一方向的过渡,而是由波密带向波疏带过渡,过渡中也不是直线型变化,而是波浪状变化趋势,即总趋势是越往稳定地块内部生态系统结构越单一,整体功能越弱,生态环境整体性越脆弱。但向稳定地块内部变化中,由于次级和更次级波浪运动的控制,而呈现出相对脆弱和相对良好的相间变化,理论上按照近等间距原理更替。

(3)波密带振幅越大、频率越高,其内能辐射影响的波疏带有序化结构范围越广(Prigogine, 1978; 王战, 2010)。由于稳定地块周围构造带运动时间上的波动性(即不同地质时期,不同方向的构造强弱主次关系在更替),地块内的生态环境最脆弱区并不在地块几何中心,而是偏向构造带活动性相对较弱的一方。

(4)根据波浪镶嵌构造理论的波浪级相套原理(王战等, 1996),即高级的构造波浪控制低级构造波浪的运动趋势,由构造所控制的生态环境整体性也表现出类似的规律。全球构造格局限定了中国所处的东亚地区是世界最大大洋和最大大陆的交接带,形成了强大的季风气候。同时,青藏高原在新构造运动时期的剧烈隆起与向东北方向的挤压位移所形成的“世界屋脊”构造地貌,极大地改变了东亚地区的气候布局,并影响了全球的大气循环。因此,构造控制陕西生态环境的总体趋势就深受上述全球构造引起的海陆对比性以及大陆尺度的构造升降与位移的影响,还毫无疑问地叠加了全球热量分带性影响。

### 3 典型分析——以陕西为例

按照波浪镶嵌构造学说,陕西位于中国构造网的中部(王战, 1996),为环太平洋构造活动带的三条分带同特提斯构造活动带的三条分带的交织部位。其结果,在本省中部形成秦岭构造结,它呈东西延长的菱形,横亘于本省中南部;由秦岭构造结向东北延为沁汾构造段,向西北延为陇山构造段,但它们均只在本省边部掠过;向西南延为龙门山构造段,它在本省只占一个小三角形

(勉略宁山块);向东南延伸形成的东秦岭—大别构造段,在本省的分量较大,占该构造段的三分之一以上。上述5个构造单元,形成一个压扁了的X形构造骨架,在其北有陕甘宁地块,大部在本省;在其南有扬子地块,在本省只有该地块的最北一角。

#### 3.1 波浪镶嵌构造与植被区划之间的耦合性

植被区划是从植被现状研究调查、区系分布和各主要生态因子综合研究总结出来的成果。从对陕西省植被区划(雷明德, 1999)和陕西波浪镶嵌构造(王战, 1996)的对比分析中可以看出,两者之间有一条耦合线是秦岭构造结及其相连的各构造段和陕甘宁地块的北部分界,基本是陕西典型森林植被带的北界界线。这条界线以北只在局部如崂山、子午岭等侵蚀低山上发育有温带草原化森林植被,而紧挨此界线以南则为典型的暖温带落叶阔叶林植被带。同时,陕西省暖温带落叶阔叶林带和北亚热带常绿阔叶林带的界线基本沿秦岭构造结南部边界线展布。但是在构造结的东段,影响陕西及其周边地区降水的东南暖湿气流首先遭受秦岭构造结东南翼东秦岭—大别构造段的抬升(王战等, 1993),在其迎风坡河南鲁山、栾川形成降水中心,接近1000 mm,陕西东南部陕豫过渡的商州等地则由于山体相对西部较平缓(薛祥煦等, 1996),且有低矮垭口使得南北气流易于交流而难以形成锋面,同时由于这里是夏季副热带高压控制下我国华北反气旋下沉气流补偿区,从而形成秦岭主脊以南相对高温少雨区,不过750 mm,商洛干燥度比同纬度位置更偏西的安康和汉中略大而将植被界线略向南推。

#### 3.2 秦岭构造结成为区域生物多样性中心

秦岭在晚第三纪以来强烈的构造活动性,体现最明显的地区是构造结地区。强烈隆升的山体一方面使其成为我国南北重要的自然分界线,成为暖温带半湿润季风气候区与北亚热带湿润气候的分界线(宋佃星, 2012),是落叶阔叶林植被带与常绿阔叶和落叶阔叶混交林植被带的分界线,是古北界动物区系与东洋界动物区系的分界线(李健超, 2002),另一方面使西北风不便南去,东南暖润气流被阻滞,使亚热带季风气候特征在陕西得以北延(齐增湘等, 2011),是我国种子植物泛热带分布属和热带分布属的北界。由于秦岭北仰南附以及形成的盆岭相间的构造格局,在山脊

峰顶便于青藏高原和蒙、新以至于中亚的内陆成分的纳入, 其内部山谷低地可以保存若干古老南迁植物成分, 北部由于山地而加大了大陆性, 旱生及中旱生内陆植物成分有可能就地繁衍。同时由于其是我国大陆中心部位的构造结, 如前分析的生态环境整体性沿波密带(构造活动带)走向延伸, 表现为水热因子和物种的生态幅沿构造带长距离基本保持相同, 因此物种和基因也多沿波密带走向而远距离交流。由于秦岭处于中国构造网的腹地地带, 这就使其与我国西南、东南、华北、西北动植物区系分布产生了广泛的发生学联系。

渭河平原主体是秦岭构造结强烈下沉区, 由于地处构造结内部, 有效物流能流聚积, 同时由于生态环境整体性强, 水热因子变差小, 旱、涝等自然灾害相对较少, 土地生产潜力高且稳定, 因而成为早期人类活动的理想之地。

### 3.3 稳定地块中心生态环境整体性脆弱

陕北黄土高原是我国水土流失强侵蚀区, 且几个最强烈的侵蚀中心即位于陕北北部, 到了长城沿线则为沙质荒漠化区。要研究这个区域脆弱性的原因, 必须将研究视野放宽到整个陕甘宁地块。

陕甘宁地块分别被秦岭构造结、陇山构造段、沁汾构造段和林格尔构造段、阴山构造结、贺兰山构造段所围限。由于陕甘宁地块新生代的构造波浪运动以隆凹非常和缓的地壳弯曲为主, 加之构造稳定区面积较大, 生态环境整体功能由地块周围波密带向地块中心波疏带衰减的趋势明显, 到地块内部时生态系统处于较高熵的状态, 有序性差, 生态环境整体结构十分单一, 物质流、能量流由于各组分的层次少而严重受阻, 大量的有效物质和能量不能利用, 生产潜力极低, 加之受到气候的干旱化波动影响和一些不合理的人为破坏, 从而使该地区生态环境呈现了极度脆弱的状态。

仔细分析陕西植被区划和现代鄂尔多斯地区地理环境(史培军, 1991)还可以发现, 陕甘宁地块的脆弱中心并不在地块的几何中心, 而是偏向西北部。这是由于如前所述的秦岭构造带的重要性, 且降水主要靠夏半年来自东南的暖湿气团, 而陕甘宁地块中心地区离秦岭构造结、沁汾构造段以及陇山构造段远, 受这三者构造活动性辐射的生态环境有序化影响小, 生态环境有序性由秦岭构造波密带(包括秦岭构造结、陇山构造段、沁汾构造段)沿北西向和北东向向地块内部波疏

带衰减距离长, 衰减了两个半纬距, 才由褐土森林生态系统、黑垆土、黄绵土温带森林草原、草原生态系统更替为干草原栗钙土生态系统进入该地区。有序性由地块东北部的和林格尔构造段向西南方向衰减的距离次之, 表现为由中低山脚森林草原栗钙土、暗栗钙土生态系统依次更替为高丘陵灌丛草原黄绵土、栗钙土生态系统、低丘陵灌丛草原栗钙土、黄绵土生态系统、覆沙低丘陵典型草原栗钙土、风沙土生态系统进入该地区。有序性由地块北边的阴山构造结和西边的贺兰山构造段这两个方向衰减最快, 表现为由河谷草甸黑钙土生态系统、典型草原栗钙土生态系统迅速更替为荒漠草原灰钙土、棕钙土、风沙土生态系统。在地块西北边, 即贺兰山构造段最北端(石炭井以北至苏海图)以及东北端(桌子山一带), 由于构造带相对较稳定, 多已剥蚀成平缓高原, 加之离海最远, 因此才在构造段上发育了荒漠生态系统, 由这些地带再向地块内过渡, 自然以最快的速度衰减, 出现了斜方性的“毛乌素沙地”, 成为陕甘宁地块上最脆弱的地区。

## 4 结语

本文从理论与实践结合上探讨了生态环境与构造的耦合关系。

(1) 生态环境是发生学上相互联系的多级耗散结构的一个环节, 生态环境与地质构造之间具有紧密的发生学联系, 从生态环境整体性入手是研究生态环境与地质构造关系的可行途径。

(2) 生态环境与地质构造之间存在一定的耦合关系, 波浪镶嵌构造学说揭示的波浪运动的普遍性、时—空等间距性、不同构造波系主从地位的变更及其相互间的叠加与干涉规律对地表相应地区生态环境整体性存在着影响和控制作用。

(3) 由波浪镶嵌构造学说推导出的生态环境整体性分异规律, 有助于对生态环境地带性规律、生态环境脆弱性、区域生态问题形成机制等进行深入研究。同时, 这一推论的有效性需要通过构造运动影响地貌形势进而影响环流特征而改变降水分布等途径进一步证实。

(4) 波浪镶嵌构造可能控制的生态环境整体性规律需要放到更大尺度、更深入的实际研究中去验证, 也需要更严密的方法和成熟的研究成果去完善。对于不同区域生态环境和地质构造的关系需要根据当地实际情况进行客观认识和评价。特

别应该加强构造运动能量输出对于生态系统负熵流影响的定量估算。

### 参考文献

- 陈圣宾, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 2010. Beta 多样性研究进展 [J]. *生物多样性*, 18(4): 322–335. [Chen S B, Ouyang Z Y, Xu W H, et al. 2010. A review of beta diversity studies [J]. *Biodiversity Science*, 18(4): 322–335.]
- 胡 聃. 1997. 生态系统可持续性的一个测度框架 [J]. *应用生态学报*, 8(2): 213–217. [Hu D. 1997. A indicating framework for ecosystem sustainability [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 8(2): 213–217.]
- 景贵和, 周人龙, 徐樵利. 1990. 综合自然地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社. [Jing G H, Zhou R L, Xu Q L. 1990. Integrated physical geography [M]. Beijing: Higher Education Press.]
- 雷明德. 1999. 陕西植被 [M]. 北京: 科学出版社. [Lei M D. 1999. The vegetation in Shaanxi [M]. Beijing: The Science Press.]
- 李 成, 王 战. 2001. 陕西克山病的构造环境机理初探 [J]. *西北大学学报 (自然科学版)*, 31(4): 329–333. [Li C, Wang Z. 2001. Study on the mechanism of tectonic environment of Keshan-disease in Shaanxi [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 31(4): 329–333.]
- 李健超. 2002. 秦岭地区古代兽类与环境变化 [J]. *中国历史地理论丛*, 4(17): 22–44. [Li J C. 2002. The transition of ancient beasts and environment in Qinling [J]. *Collections of Essays on Chinese Historical Geography*, 4(17): 22–44.]
- 李裕元, 石 辉. 2001. 新构造运动对黄土高原环境变迁的影响 [J]. *水土保持研究*, 8(1): 123–127. [Li Y Y, Shi H. 2001. The impact of the neotectonics on the environmental evolution and soil erosion of Loess Plateau [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 8(1): 123–127.]
- 刘护军. 2005. 秦岭的隆升及其环境灾害效应 [J]. *西北地质*, 38(1): 89–93. [Liu H J. 2005. Environmental hazards effects of uplift of Qinling Mountains [J]. *Northwest Geology*, 38(1): 89–93.]
- 刘晓东. 1999. 青藏高原隆升对亚洲季风形成和全球气候与环境变化的影响 [J]. *高原气象*, 18(3): 321–327. [Liu X D. 1999. Influences of Tibet Plateau uplift on the atmospheric circulation, global climate and environment changes [J]. *Plateau Meteorology*, 18(3): 321–327.]
- 刘秀铭, 毛学刚, 丁仲礼, 等. 2009. 黄土古气候变化趋势与青藏高原隆升关系初探 [J]. *第四纪研究*, 29(5): 988–999. [Liu X M, Mao X G, Ding Z L, et al. 2009. Study on the relation between loess paleoclimate trend and uplift of Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 29(5): 988–999.]
- 齐增湘, 熊兴耀, 徐卫华, 等. 2011. 基于 GIS 的秦岭山系气候适宜性评价 [J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 37(3): 321–324. [Qi Z X, Xiong X Y, Xu W H, et al. 2011. Evaluation of climate suitability in Qinling Mountains based on GIS [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 37(3): 321–324.]
- 史培军. 1991. 地理环境演变的理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社. [Shi P J. 1991. The theory and practice of geographic environment's evolution [M]. Beijing: Science Press.]
- 宋佃星. 2012. 秦岭南北气候变化响应与适应研究 [D]. 西安: 陕西师范大学. [Song D X. 2012. Research on response and adaption to climate change between the north-southern two sides of Qinling Mountains [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University.]
- 王 战, 吴文奎, 谢广成, 等. 1996. 中国地壳的镶嵌构造与波浪运动 [M]. 北京: 地质出版社. [Wang Z, Wu W K, Xie G C, et al. 1996. Mosaic structure and wave tectonics in China [M]. Beijing: Geological Publishing House.]
- 王 战, 张维吉, 李 侠, 等. 1993. 东秦岭波浪状构造演化 [M]. 西安: 西北大学出版社. [Wang Z, Zhang W J, Li X, et al. 1993. The evolution of wavy-tectonic movement in East Qinling Mountains [M]. Xi'an: Northwest University Press.]
- 王 战. 1986. 构造波与旱涝灾害 [J]. *灾害学*, 1(1): 38–41. [Wang Z. 1986. Tectonic waves and drought or waterlogging [J]. *Journal of Disaster Science*, 1(1): 38–41.]
- 王 战. 1996. 论波浪镶嵌学说的自然观——谨以此文纪念张伯声院士逝世两周年 [J]. *西北大学学报 (自然科学版)*, 26(5): 439–444. [Wang Z. 1996. On the natural ideology of the hypothesis of crustal-wave mosaic structure—In commemoration of the 2nd anniversary of academician Zhang Bosheng's death [J]. *Journal of*

- Northwest University (Natural Science Edition)*, 26(5): 439–444.]
- 王战. 2001. 黄土地层构造差异成因及其对自然环境的影响[J]. *安全与环境学报*, 1(3): 26–29. [Wang Z. 2001. Cause of structure difference of loess layer and its effect on natural environment [J]. *Journal of Safety and Environment*, 1(3): 26–29.]
- 王战. 2010. 地学哲学的理论与实践[M]. 北京: 地震出版社, 76–87. [Wang Z. 2010. Theory and practice of geological philosophy [M]. Beijing: Earthquake Press, 76–87.]
- 薛祥煦, 张云翔, 毕延, 等. 1996. 秦岭东段山间盆地的发育及自然环境变迁[M]. 北京: 地质出版社. [Xue X X, Zhang Y X, Bi Y, et al. 1996. The development of basins and evolution of environment in East Qinling Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House.]
- 于贵瑞. 2001. 生态系统管理学的概念框架及其生态学基础[J]. *应用生态学报*, 12(5): 787–794. [Yu G R. 2001. A conceptual framework and the ecological basis for ecosystem management [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 12(5): 787–794.]
- 张伯声, 汤锡元. 1975. 鄂尔多斯地块及其四周的镶嵌构造与波浪运动[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, (3): 89–91. [Zhang B S, Tang X Y. 1975. Mosaic structure and wave tectonics in Odors Block and its surrounding area [J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, (3): 89–93.]
- 张伯声. 1984. 张伯声地质文集[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. [Zhang B S. 1984. Geological collection of Zhang Bo-sheng [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press.]
- 赵徐. 2013. 太白山冰川发育与构造运动和气候特征的耦合研究[D]. 沈阳: 辽宁师范大学. [Zhao X. 2013. The Coupling research about the tectonic movement and climatic characteristics in Taibai Mt. glacier development [D]. Shenyang: Liaoning Normal University.]
- 郑华, 欧阳志云, 赵同谦. 2003. 人类活动对生态系统服务功能的影响[J]. *自然资源学报*, 18(1): 119–126. [Zheng H, Ouyang Z Y, Zhao T Q. 2003. The impact of human activities on ecosystem [J]. *Journal of Natural Resources*, 18(1): 119–126.]
- Bray J R. 1974. Volcanism and glaciation during the past 40 millenia [J]. *Nature*, 252: 679–680.
- Frakes L A, Kemp E M. 1972. Influences of continental positions on Early Tertiary climates [J]. *Nature*, 240: 97–100.
- Frank D A, McNaughton S J. 1991. Stability increases with diversity in plant communities: empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought [J]. *Oikos*, 62: 360–362.
- Lamb H H. 1972. Climate: Present, past and future, Vol. 1: Fundamentals and climate now [M]. Methuen, London. 613 pp.
- Prigogine I. 1978. Time, structure and fluctuation [J]. *Science*, 20: 777–785.
- Strahler A N, Strahler A H. 1978. Modern physical geography [M]. John Wiley & Sons, New York.