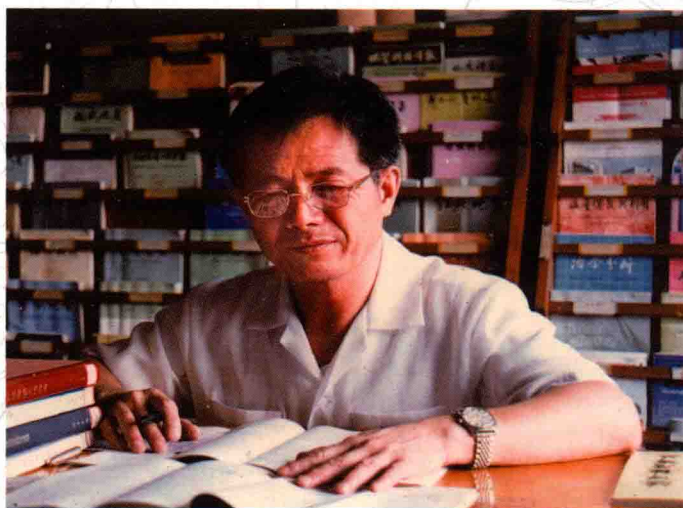


大陆层控构造 论文选集

李扬鉴 等 著



科学出版社

大陆层控构造论文选集

李扬鉴等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书这 29 篇文章,是作者昔日创立大陆层控构造学说重要的理论基础,并体现了尔后该学说的重要发展。这些文章,突破了就地球论地质的局限性,提出了在漫长的地质历史长河中,长期的渐变的造陆运动(升降运动),主要受重力作用控制;短暂的突变的全球性造山运动(水平运动),乃至板块构造的诞生,则是陨星撞击的产物。这些文章,还创立了压剪性正断层、扇型逆冲断层新断裂类型和纵弯褶曲应力应变场、盆-山系、弧后盆地、俯冲型冲叠造山带、仰冲型冲叠造山带等成因机制新模式,并论证了它们与油气资源和其他矿产资源的关系。

本书可供地质专业高校师生、野外工作者和科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

大陆层控构造论文选集 / 李扬鉴等著. —北京: 科学出版社, 2017. 5
ISBN 978-7-03-052625-0

I. ①大… II. ①李… III. ①大陆-地质构造-文集 IV. ①P931.2-53
②P54-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 086877 号

责任编辑: 王 运 姜德君 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 耕者

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 5 月第一次印刷 印张: 20 1/4

字数: 480 000

定价: 248.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

李扬鉴教授早年在湖北阳新枫林煤系黄铁矿从事矿山地质工作。该矿软弱的煤系是上覆中厚层石灰岩刚硬层的应变空间，各种构造现象极其发育；采矿工程在三维空间上的广泛揭露，又提供了十分优越的观测条件，因此该矿是研究小型构造得天独厚的场所。

他经过长期的深入研究，发现了许多新的构造现象，萌生了一系列的新思路。20 世纪 80 年代，他被调入原化学工业部化学矿产地质研究院（现为中化地质矿山总局地质研究院）从事地质构造研究，接触到种种文献资料，使他原来的认识得到了大大的充实和提高。随着研究的逐步深入和拓宽，他先后创立了压剪性正断层、扇型逆冲断层等新概念，以及纵弯褶曲应力应变场、盆-山系、弧后盆地、俯冲型冲叠造山带等成因机制新模式。

在科学发展史上，许多重大自然现象的发现，也往往是从细小事物的粗略认识开始的。

接着，在前人工作的基础上，他发挥东方人整体思维的优势，对自然界的地质构造现象进行了大综合。1996 年出版了《大陆层控构造导论》专著（地质出版社），创立了大陆层控构造学说，献给了第 30 届国际地质大会。该学说提出了多元动力成因观、多层次构造观和多阶段演化观。多元动力成因观认为，在漫长的地质历史长河中，长期渐变的造陆运动和短暂突变的造山运动交替出现，是地球自转力、陨星撞击力、重力和热力分别协调作用的产物。其中前者重力起主导作用，后者则主要是陨星逆向或顺向撞击所致。多层次构造观认为，岩石圈中每一层次刚硬层的构造运动，均受其下伏软弱层控制，从而把岩石圈构造先后分成三个大层次：盖层中受下伏软岩层控制的硬岩层构造，为薄皮构造；受中地壳塑性层控制的上地壳构造，为厚皮构造；在前侏罗纪受异常地幔控制的地壳构造，为过渡壳构造（优地槽）；侏

罗纪以来，受软流层控制的岩石圈构造，为板块构造。多阶段演化观认为，在前侏罗纪，只有规模较小、分异不充分的异常地幔，地壳运动演化到异常地幔物质喷溢的过渡壳构造阶段便终止了。到了印支运动时期，由于在短短 13Ma 时间内，连续发生了五次大的陨击事件，地球深部物质在反复强烈震动下，侏罗纪以来异常地幔演变成规模巨大、分异充分的软流层，诞生了板块构造。

该书选录了李扬鉴教授过去撰写的二十多篇文章。透过这些文章，不仅可以看到他学术思想的成长历程，还可以预感到他学术思想未来广阔的发展前景，如板块构造成因机制，以及在油气及其他矿产资源开发、厄尔尼诺现象成因研究和地震地质、工程地质等领域的应用。李扬鉴教授这种坚持实践—理论—实践相结合的自主创新精神，在当今实现中国梦的科学征途中，是值得鼓励的。

中国科学院院士

肖序常

2016 年 6 月于北京

前 言

笔者这个学采矿专业的，1958 年被错划为“右派分子”，发配到湖北阳新枫林煤系黄铁矿进行“劳动改造”，直到 1980 年平反，在该矿区达 22 年之久，反而实现了自己年轻时的地质科学梦。可谓是，“塞翁失马，焉知非福”。

1955 年，笔者从东北工学院（今东北大学）毕业后，被分配到冶金部一〇四地质队到承德大庙铁矿从事坑探工作。笔者喜欢理论思维，觉得工程技术工作太琐碎，便向队部申请改行从事地质工作，未获批准，只好作罢。

笔者在枫林煤系黄铁矿井下劳动改造期间，为了精神转移，也为了寻找未来渺茫的出路而积累点儿知识，经过一番深入思考之后，1959 年春天，便开始利用每月仅有的两个半天的休息时间，阅读自己随身带来的《找矿勘探理论和方法》一书，在艰苦的环境中，继续寻找希望。

《找矿勘探理论和方法》是一本苏联专家于 20 世纪 50 年代前期，在中国举办地质人员培训班使用讲稿的汇编。厚厚一大本，书中汇集了多位苏联专家的讲稿，内容广泛，涉及矿床、构造、找矿和勘探等诸多领域。笔者在学习采矿专业期间，虽然也学习了一些地质知识，但所学有限，不知道要补充些什么，只是想充实一下自己，为日后可能参与的工作打下基础。于是便不加选择地从头开始，逐页逐章地往下看，并在之后进行了如下研究。

1. 创立了纵弯褶曲构造应力场及其断裂系统分布新模式

笔者读到书中帕夫林诺夫教授的“地壳构造的基本原理”一章。该章运用应变椭球体概念，来解释纵弯褶曲中不同部位产生不同性质断裂的原因。了解这些断裂系统分布规律的成因，对指导找矿和解决工程地质等问题具有重要意义，这是构造地质学研究的主要内容之一。

应变椭球体概念，是当时国内外构造地质学教科书普遍引用的观点，可是那时笔者却误认为这是帕夫林诺夫自己想出来的观点，所以觉得这位教授的力学基础太差，用这种比拟性的定性描述来解释纵弯褶曲构造应力场是没有多少意义的。因为在最成功的场合下，它也只能孤立地描述纵弯褶曲中某一部位的三向应力轴方向。至于该部位的应力性质、应力强度却无法予以解释，更谈不上从定量角度对整个纵弯褶曲构造应力场作出全面系统的说明。例如，该应力场有几种应力？它们是如何产生的？每种应力在空间上的分布和时间上的演化又如何？当年采矿专业学了材料力学，而地质专业一般只学了理论力学，所以面对着这些材料力学问题，他们便束手无策了。那时笔者认为，如果引入材料力学纵弯杆（压杆）概念来研究纵弯褶曲构造应力场，则这些问题便可以用几个公式作出全面的、系统的定量解释。沿着这个思路走下去，这个与国计民生关系密切的构造地质问题便可望获得重大突破。想到这里，笔者兴奋不已，

如同茫茫大海中一叶迷航的小舟，陡然发现远方出现一座引航的灯塔。

当年笔者这个劳改队的年轻囚徒，连自然界的纵弯褶曲是什么样还未亲眼见过，竟然仅仅凭着自己比一般地质工作者多掌握的一点力学知识，就贸然想向苏联知名专家的重要学术观点发起挑战。真是蚍蜉撼大树，不自量力。可是对科学的痴迷和执着，使笔者这个心比天高，命比纸薄的狂徒，无视自己政治上的险恶处境和自己专业上的先天不足，像扑火的飞蛾，义无反顾地勇往直前。

笔者扬长避短，充分发挥自己力学知识和理论思维的优势，首先根据纵弯杆的形态，推导出一系列数学式，然后再以数学式的计算结果，去寻找有关实际资料和文献资料的验证。即运用胡适所提倡的“大胆假设，小心求证”的研究方法。首先抓住问题的实质，产生跳跃式的新认识，然后拿到实践中检验，由此收到了奇效。

对于一个崇尚精神生活的知识分子来说，即使在这样饥肠辘辘的情况下，得到精神寄托也还是比得到饭食更为重要。虽然一个月只有两个半天时间可以从事研究工作，而且只能在心里想，不敢见诸文字，生怕由此惹来政治上的麻烦。因为那时反对苏联专家的意见，就是现行反革命。然而这一丝丝的学术研究，还是使笔者绝望的心灵得到了无比的慰藉。因为学术天地是一块与周围丑恶环境截然不同的圣洁的净土，是个温馨美好的精神家园。在这里没有令人窒息的压迫和屈辱，有的只是在真理面前人人平等的民主权利和创造性劳动的尊严。有了这个精神家园，整个世界在笔者面前便完全变了样：这里好像不再是每时每刻令人痛苦和绝望的劳改队，而是一座充满欢乐和幻想的科学殿堂；自己好像也不再是那个正在劳改队服苦役的囚徒，而是一位献身于崇高科学事业的学者。这时笔者经常沉醉于创造性思维的乐趣中，一种使人超脱、淡泊于苦难的精神力量悠然而至。

1959年6月，在笔者被捕一周年之际，由于矿区生产需要，以及笔者劳动表现良好，矿部把笔者调出矿井，到其下属的技术组负责全矿区的地质、采矿和测量等科技工作，给了笔者一个在生产中施展才华和从事地质构造研究的难得机会。该矿1.5~3.0m厚的软弱煤系物质夹在刚硬的顶底板中厚层石灰岩之间，各种构造现象异常发育；采矿工程从三维空间对煤系进行广泛揭露，观测条件又得天独厚，所以该矿区是研究小型构造的优越场所。

经过了30年的艰苦努力，笔者的研究成果终于以“论纵弯褶曲构造应力场及其断裂系统的分布”为题，先后以中文版和英文版分别发表于《地质力学文集》1988年第7集和国际权威刊物——美国的《地球物理学研究》1991年第96卷第13期。该文这些公式，从定量角度综合了纵弯褶曲全部五种应力的分布和演化，并发现了横向剪应力，创立了扇型逆冲断层新概念，达到了预期的目的。其中，将纵向张应力和纵向剪应力强度的理论分布图与枫林矿区上千米横穿纵弯褶曲的坑道煤系编录图，进行数理统计后，绘制成纵向张性正断层强度和矿层厚度曲线图进行对比，这些曲线图和公式竟然耦合得天衣无缝，仿佛这些曲线图，是臆想出来迎合自己的公式似的，令笔者感到大自然竟然这么井然有序，和谐无比，美不胜收。所以，中文版评审专家赞赏该文观点超越国内固体力学权威王仁院士；英文版发表后，也惊动了美国学术界，他们随即主动来函，邀请和资助笔者加入美国地球物理学会。1989年笔者运用该文纵弯褶曲层间剪切运动强度分布规律的新认识，提出辽东-吉南地区沉积变质硼矿床受纵弯褶曲

倒转翼陡翼控制的新观点，否定了该地区硼矿床沿花岗岩底辟侧翼分布的权威认识，在该认识认定无矿的所谓花岗岩底辟地区，找到了一个隐伏的富矿，打开了辽东-吉南地区硼矿找矿的新局面，1996年获化工部科技进步奖一等奖。

2. 创立了压剪性正断层新概念

在枫林矿区期间，笔者发现纵弯褶曲翼部产生一系列平面X型断裂，其锐夹角平分线与褶曲轴垂直，锐夹角一盘朝褶曲轴方向走滑，是垂直于褶曲轴的水平挤压力（顺层挤压力）作用的产物。可奇怪的是，这些平面X型断裂，在煤系层面法线方向上也呈X型产出，成为走滑正断层。显然这些走滑正断层是水平（顺层）挤压力与顶板（垂直顶板）重力共同作用的产物。断层面平整，呈封闭状，为压剪性。根据现场实际观察，这些走滑正断层的垂直断距与水平断距大体相当，尽管它们的边界条件有所不同。

20世纪80年代，笔者来到原化学工业部化学矿产地质研究院，接触到国内外地应力绝对值测量资料，知道世界各地的地壳中，普遍存在着水平压应力，水平张应力极为罕见。在地壳600~1000m以浅，一般水平压应力大于重力导生的垂向压应力；在地壳600~1000m以深，一般重力导生的垂向压应力，大于水平压应力。这种应力分布状态，与枫林矿区见到的相似，而且根据井下的实际观察，岩石在地应力长期作用下呈弹塑性，而与短时间强度实验的脆性性质不同。于是笔者引用基于韧性破坏的能量强度理论，创立了压剪性正断层新概念，从而修正了基于脆性破坏的莫尔-库仑强度理论，把一切正断层都视为拉张力产物的片面性。该文获得了马杏垣院士的高度评价，他称赞说，压剪性正断层新概念的创立，将要解决构造地质学重大问题，并推荐给《构造地质论丛》，于1985年第4期发表。多年来，笔者发现压剪性正断层分布广泛，并控制含油气盆地和地震活动，对区域地质研究、油气资源勘探和地震预测具有重要意义。

3. 创立了盆-山系成因机制新模式

在矿井里，笔者看到顶板正断层上盘刚硬的中厚层石灰岩呈悬臂梁下降，并把下伏软弱的煤系物质压向重力作用较弱的下盘，促使该盘顶板刚硬的中厚层石灰岩上拱，但并没有当回事，认为这是再自然不过的现象：断层面是自由面，上盘在重力作用下，越趋近断层面稳定性越差，沉降幅度必然越大，还没有想到材料力学的悬臂梁概念。后来到了原化学工业部化学矿产地质研究院，看到了一些受上地壳正断层控制的盆-山系剖面，才幡然大悟：这不就是枫林矿井里的顶板正断层吗！于是为了研究与油气资源关系密切的盆-山系的成因机制及其演化，才想起材料力学的悬臂梁来。这里的悬臂梁，也与枫林矿区的顶板正断层一样，都有下伏软弱层（枫林矿区为煤系，盆-山系为中地壳塑性层），故称它们为弹性基础悬臂梁。笔者在本书的《论秦岭造山带及其立交桥式构造的动力学与流变学》一文中，还把盆-山系概念引申到地槽领域，使地槽成因机制也得到了确切的解释。

4. 创立了俯冲型冲叠造山带新模式

在枫林矿区期间，笔者还多次看到一种“不起眼”的构造现象：顶板正断层上盘，

该盘底层有一层数十厘米厚的石灰岩；该层石灰岩与上覆石灰岩之间，夹着一层 3 ~ 4cm 厚的碳质页岩，使上下层之间可以顺层滑动；当该层石灰岩完全断入煤系时，一旦受到侧压力作用，该层石灰岩便顺层俯冲入该顶板正断层下盘软弱的煤系中 1 ~ 3m。这种构造现象，当时只被笔者作为该正断层受到过水平挤压力作用的佐证，没有联想其他方面。20 世纪 90 年代中期，笔者正在研究作为中国地质界研究重心的秦岭印支造山带的成因机制时，看到大家都认为那里是板块俯冲碰撞造山带。但笔者却认为，印支期地球还未产生板块构造，不知道该造山带是如何形成的。忽然间笔者想起枫林矿区那些顶板正断层上盘底层石灰岩向该断层下盘煤系俯冲的构造现象来，于是重新打开横切东秦岭的 QB-1 二维速度结构剖面图，进行仔细研究。发现前人由于缺乏顺层俯冲概念，把南秦岭断陷盆地的上地壳底层刚硬的结晶基底俯冲岩板，其顶面的地震波速层分界线，当成中地壳塑性层的顶面，从而把结晶基底俯冲岩板划入中地壳塑性层，抹杀了它的顺层俯冲作用。如果把该分界线改正了，则该剖面便与枫林矿区一些顶板正断层上盘底层的顺层俯冲现象完全一致。从改正后的剖面图和有关的地质资料得知：位于北半球的南秦岭断陷盆地刚硬的结晶基底，在中三叠世与晚三叠世之间和晚三叠世与早侏罗世之间的印支运动期间，地球先后受到两次陨星的逆向撞击作用，使其自转速度急剧变慢，派生了强烈的自南而北的经向惯性力，而向北秦岭断隆山中地壳塑性层俯冲。从商丹断裂俯冲到栾川断裂一带，俯冲距离在 50km 左右。在俯冲过程中，南秦岭结晶基底俯冲岩板上覆盖层被刮削了下来，形成向南褶皱倒转和仰冲的冲褶皱带，而北秦岭则成为具有双层结晶基底的冲叠带，两者组成了俯冲型冲叠造山带。这是一种崭新的造山类型。

5. 创立了弧后盆地成因机制新模式

运用岩石圈弹性基础悬臂梁固定端的受力状态，来研究弧后盆地的成因机制，创立了弧后盆地成因机制新模式，解决了这个国际性的构造难题。

6. 创立了大陆层控构造学说

枫林矿区绝大部分矿井，分布于印支期东西向复背斜倒转翼，煤系底部的黄铁矿层与顶板直接接触。矿体有结核状和星散状两种类型。前者分布广泛，赋存于软弱的页岩中；后者仅局部见及，赋存于比较坚硬的泥岩中。有一条顺煤系走向掘进的长达 276m 的平巷，其中星散状矿体长 184m，竟然没有一条顶板正断层；一进入结核状矿体（长 92m），顶板正断层便立即出现，而且平均每 10m 一条。后来笔者又对全矿区的顶板正断层进行全面的统计，发现该矿区 97.7% 的顶板正断层被这 1.5 ~ 3.0m 厚的煤系所阻止，无力切入底板。在这活生生的事实面前，笔者萌生了层控构造概念：下伏软弱层是上覆刚硬层的应变空间和能量释放的场所。

20 世纪 80 年代，苏联在科拉半岛打了个超深钻孔，寻找上下地壳之间的康腊面。结果康腊面没有找到，却意外地发现了中地壳塑性层。钻孔打入该层，不敢提钻，一提钻钻孔便封闭了。后来发现，该层在各大陆分布广泛，是上地壳正断层及其盆-山系和俯冲型冲叠造山带的下伏应变空间。

在枫林矿区地质构造研究的坚实基础上，逐渐发展起来的这些新认识，到了 20 世

纪90年代,笔者吸收了有关学科的新成就,创立了多元动力成因观、多层次构造观和多阶段演化观,并于1996年出版了《大陆层控构造导论》专著,创立了大陆层控构造学说,献给第30届国际地质大会。多元动力成因观认为,地壳运动是地球自转力、陨星撞击力、重力和热力协调作用的产物。多层次构造观认为,下伏软岩层控制上覆硬岩层的盖层构造,为薄皮构造;中地壳塑性层控制上地壳构造,为厚皮构造;异常地幔控制地壳构造,为过渡壳构造(优地槽);软流层控制岩石圈构造,为板块构造。多阶段演化观认为,前侏罗纪只有异常地幔,地壳构造演化到过渡壳构造阶段便终止了;侏罗纪以来,在印支运动多次陨星撞击下,地球内部物质发生强烈的物理化学变化,使规模较小、分异不充分的异常地幔,演变成规模巨大、分异充分的软流层,诞生了板块构造。

在《大陆层控构造导论》的前言中,笔者明确指出:发端于年轻刚硬单一的“大洋岩石圈的板块学说,既无力解决古老的具有多层次特点的大陆构造问题,也不能说明各个层次构造的特点及其演化,所以板块构造学说是‘登不了陆’的”。时隔7年后的2003年4月,美国学术界以白皮书方式公布了总结性文件《构造地质学和大地构造学的新航程》,终于承认流行已达近半个世纪之久的板块构造学说“不适用于大陆地质”。

大陆层控构造学说经过1996年的第30届国际地质大会学科讨论会上的宣讲后,引起在座中外地质学家的强烈反响。会议主持人集中了这些反响,向记者发表了动情的谈话,指出:“大陆层控构造学说抓住了大陆地质的实质,代表了中国地质界的最新成就和最高水平,完全可以与西方板块构造学说相抗衡”。原中国地质学会理事长、中国科学院院士、已故老一辈著名地质学家程裕淇教授,在1996年11月12日的惠函中,也赞许该专著“不囿于洋人之观点,勇于向传统地质理论挑战,提出了许多充满挑战性的、创新性的见解。这是十分难能可贵的”。国际著名华裔地质学家许靖华教授,在该专著的序言中,也盛赞它是一部“闪烁着创新精神光辉的重要著作”。《大陆层控构造导论》专著,于1998年获国家石油和化学工业局(原石油部和化学工业部合并而成)科技进步奖二等奖。

7. 创立了薄壳构造、盆-山系、仰冲型冲叠造山带和厚皮纵弯隆起带与油气资源关系新模式

在前人研究的基础上,笔者提出了油气资源多元成因观,创立了油气资源与薄壳构造、盆-山系、仰冲型冲叠造山带和厚皮纵弯隆起带关系新模式。

近些年来,笔者被中国地质科学院矿产资源研究所聘请为客座研究员,与该所博士生导师吴必豪研究员等合作,研究大地构造和东海、南海地质构造及其油气资源成因机制问题。2014年在《前沿科学》第4期,以首要位置发表了《论陨击事件与全球性造山运动和板块构造诞生的关系》一文。该文提出了全球性造山运动受陨击事件控制和侏罗纪以来板块构造诞生是印支期多次陨星撞击所致的新观点,从而对大地构造动力学作出了重要贡献。

从矿山到科研单位,一路走来,得失之间正印证了古人所云:“天须地乃有所生,地须天乃有所成。”

特别说明的是，本文集所收集论文来源多种，且时间跨度大，格式标准不尽统一，本着尊重历史、忠于原文的精神，所用物理量单位、符号、图例、参考文献、图表序号等尽量保留了原文风貌。

本书承蒙中国科学院院士肖序常教授赐序，在此谨致衷心谢意。同时，非常感谢崔永强博士对本书的积极建议和大力协助。

李 杨 鉴*

2016 年 7 月于涿州

* liyangjian71@aliyun.com; 河北省涿州市中化地质矿山总局地质研究院 28 号楼 2 单元 101 室，邮编 072754; 0312-3682523。

目 录

湖北枫林矿区褶曲构造中断裂系统力学成因研究	1
压剪性正断层的成因机制与能量破裂理论——以枫林矿区等为例	25
论正断层上盘逆牵引构造的成因机制——与 W. K. 汉布林等的不同认识	36
论纵弯褶曲构造应力场及其断裂系统的分布	47
On the Structural Stress Field of the Longitudinal Bend Fold and its Distribution with Respect to the Fault System	59
中国东部中、新生代断陷盆地成因机制新模式	74
An Alternative Model for the Formation of the Meso-Cenozoic Down-Faulted Basins in Eastern China	87
弧后盆地成因机制新模式	91
A New Model of the Formation Mechanism about Back-Arc Basin	96
论辽东-吉南地区硼矿床控矿构造及找矿方向	100
青藏高原隆起及其断裂系统成因的探讨	112
中国东部中新生代盆-山系及有关地质现象的成因机制	118
大陆层控构造论——盆-山系与造山带成因及演化新模式	126
Continental Layer-Bound Tectonics—A New Model for the Origin and Evolution of Basin-Mountain System and Orogen	131
层控构造与板块构造	136
大陆层控构造论——一个新的大地构造学说	141
关于厄尔尼诺成因的新认识	144
解开厄尔尼诺成因之谜	150
论秦岭造山带及其立交桥式构造的动力学与流变学	154
略论地台区的海进、海退与相邻地槽区的造盆、造山运动伴生的原因	173
大陆层控构造与油气资源	182
大陆层控构造学说的内容、由来及意义	202
沿着玄武岩找油——访李扬鉴高级工程师	216
论陨击事件与全球性造山运动和板块构造诞生的关系——大地构造动力学 的重大新进展	222
陨星撞击事件与全球性造山运动和板块构造诞生关系的思考	231
论松辽盆地形成及演化的动力学和流变学	234
东海陆架盆地形成演化的动力学与流变学	247
冲绳海槽弧后盆地成因机制新认识	263
南海晚白垩世—新生代地质构造及其油气成因机制新认识	275

湖北枫林矿区褶曲构造中断裂 系统力学成因研究*

李扬鉴

(化学工业部化学矿山地质研究所)

当前对纵弯褶曲构造应力场,一般还局限于弯矩所派生的纵向张、压应力,以及纵向剪应力的定向定性描述;对重力在一些断裂形成过程所起的作用也缺乏认识。因而使其中一些断裂,尤其是纵弯褶曲翼部扇型逆冲断裂和压剪性正断层的成因,未能得到确切说明。

本文根据材料力学纵弯杆(压杆)应力分布情况和重力作用,从定量角度研究了枫林矿区纵弯褶曲中5种断裂系统的力学成因,探讨了纵弯褶曲中弯矩所派生的纵向张、压应力,以及轴向压应力、横向剪应力和纵向剪应力的分布,论证了重力在张性、张剪性和压剪性正断层整个形成过程中所起的作用,揭示了剪性断裂面与三个主应力轴的斜交关系,解释了一些复杂的地质构造现象,解决了一些生产实际问题。

文中将玫瑰图应用于断层线与褶曲枢纽夹角、断层面与煤系层面法线夹角的统计,并提出了断层强度新概念,用断层强度曲线和矿层、煤系厚度曲线反映矿井大量实际资料的数理统计成果,为应力的定量分析提供了可靠的依据。

1 概 述

枫林矿区位于湖北省阳新县境内,在秦岭印支造山带南侧。该矿为赋存于上二叠统龙潭煤系(以下简称煤系)中沉积型黄铁矿床。煤系由黄铁矿层、煤层等组成,厚1.5~3m。矿石主要为含结核状黄铁矿黏土页岩,含星散状黄铁矿泥岩仅局部见及。两者一般不共层,为同期异相产物。矿层及整个煤系原生厚度稳定。煤系顶底板为中厚层至厚层石灰岩,两者肉眼不易辨别。

矿区位于淮阳山字型构造弧顶南侧及其偏西部位,在通山复背斜之东缘。区内有纬向构造、华夏式构造、新华夏系构造和山字型构造四个体系^[1,2]。上述构造体系,形

* 本文原刊于《化工地质》(今《化工矿产地质》),1980,(3)。略修改。

附记:作者1958年被错划为“右派分子”在劳改矿山改造期间,有感于当时国内外构造地质学教科书对自然界广泛分布的纵弯褶曲构造应力场及其断裂系统分布的认识,还停留于定向定性描述的落后状态,便萌生了引入材料力学纵弯杆概念,从定量角度进行全面系统研究的想法。随后作者结合矿山生产,充分利用软弱的煤系作为刚硬顶底板应变空间所产生的多姿多彩的构造现象,以及采矿工程三度空间广泛揭露的优越观测条件,进行22年之久艰苦卓绝的研究,终于创立了完整的力学数学模型,并发现了许多新的构造现象,产生了一系列新的思路,为日后创立种种新概念、新模式、新理论奠定了坚实的基础。

成于中三叠世末以来的印支运动、燕山运动和喜马拉雅运动。区内地层从三叠系至奥陶系均有出露, 并且还有燕山早期花岗岩和喜马拉雅期玄武岩与纬向构造伴生。

纬向构造分布于矿区的中部和北部, 形成最早, 规模最大, 挤压最强烈。它主要由东西向的封山洞向斜和枫林背斜组成(图1)。单个褶曲长80~160km, 宽6~9km。两者相间而生, 背斜自南向北倒转, 并在倒转翼产生次一级的鸡笼山向形和火农泉背形^①。向形、背形单个长56~60km, 宽1~2km, 两翼倾角一般为7°~30°, 褶曲平缓。鸡笼山向形中又产生更次一级的3个东西向小型褶曲。单个褶曲宽350~400m, 幅度24~40m, 两翼倾角为7°~20°。

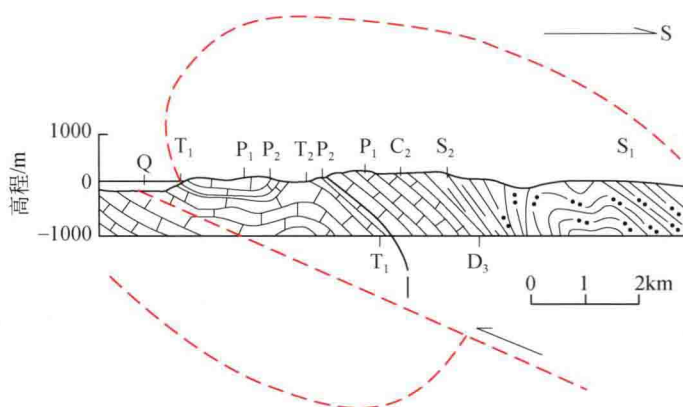


图1 湖北东部地区枫林倒转背斜及其扇型逆冲断层剖面图

Q. 第四系; T₂. 三叠系中统; T₁. 三叠系下统; P₂. 二叠系上统; P₁. 二叠系下统; C₂. 石炭系中统;
D₃. 泥盆系上统; S₂. 志留系中统; S₁. 志留系下统

华夏式构造分布于矿区南部。它的形成时间、规模和挤压程度仅次于早期纬向构造。主要由北东向的杨柳山背斜、坡山向斜和樟桥背斜组成。单个褶曲长9~14km, 宽2~4km, 两翼倾角一般为20°~51°, 仅坡山向斜局部倒转。

新华夏系构造与纬向构造、华夏式构造复合, 不发育, 主要由8个北北东向的小型褶曲组成。单个褶曲长一百余米至数百米, 宽35~116m, 幅度为4~14m, 翼部倾角为15°~25°, 褶曲平缓。具有向形、背形和挠曲三种形态。

区内山字型构造为王家铺山字型构造脊柱的一部分^[2]。煤系地区主要由22个南北向的小型褶曲组成, 与纬向构造复合。单个褶曲长一百余米至数百米, 宽18~120m, 幅度一般为4~20m, 个别达40m, 翼部倾角为4°~40°。南北向褶曲的规模和挤压程度与北北东向褶曲相若, 未见两者复合, 成生次序尚难判断。

上述四个构造体系的褶曲所派生的, 包括层间剪切运动在内的断裂, 控制着矿区黄铁矿床厚度的次生变化。

煤系强度低, 可塑性大, 系坚硬的石灰岩顶底板构造变动的自由空间。在地应力作用下, 煤系及其毗邻岩层形变较为强烈。所以在三维空间进行广泛揭露的采矿工程中研

① 在倒转地层中, 向形核部为老地层, 背形核部为新地层, 与向斜、背斜的概念不符。鉴于前者构造应力场和后者一致, 所以这里按形态命名似乎是恰当的。为了叙述方便, 以下泛指地向形、背形将包括向斜、背斜。

究地质构造,不仅是生产的需要,而且也是了解一般地质构造变动规律的有利场所。

矿区各个构造体系的褶皱,都是水平挤压或水平扭动的产物,均属于纵弯褶皱类型。它们派生有下列5种断裂系统(图2)。

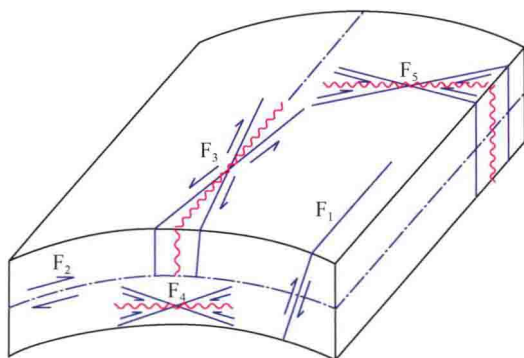


图2 纵弯褶皱中5种断裂系统的分布

2 矿区褶皱构造中5种断裂系统的分布

2.1 褶皱翼部扇型逆冲断层 (F_1)

区内规模较大、挤压较强烈的东西向和北东向褶皱之翼部,尤其是陡翼,一般都有扇型逆冲断层伴生(图1)。

矿区东部枫林背斜与封山洞向斜之间的倒转翼,出现一条长十余千米的逆冲断层,志留系仰冲于二叠系之上,造成泥盆系和石炭系断失。沿断层带有花岗岩侵入。这一断层带往西没入阳新盆地,但是在其延伸方向上,分布着或明或暗的玄武岩,显示这一东西向逆冲断层带往西伸展不下数十千米。

在杨柳山背斜两翼、坡山向斜西北翼和樟桥背斜东南翼也有逆冲断层伴生。断层方向与褶皱大致平行,长7~13km,不越出所在褶皱范围,断距从数十米至数百米不等。

这些断层的逆冲方向,背斜一盘仰冲,向斜一盘俯冲。

2.2 褶皱翼部层间剪切运动 (F_2)

各个构造体系的褶皱的层间剪切运动,使矿层及整个煤系在翼部减薄、尖灭,在转折端加厚。

根据横穿褶皱的巷道之编录图所作的数理统计,背形轴部和挠曲上下转折角统计单位的矿层(或煤系,下同)厚度为0.75~1.9m,翼部的厚度为0~0.65m,前者平均厚度为后者的4倍(图3)。

矿层厚度统计运用滑动平均法。根据所在地段断层密度和褶皱规模,在编录图上选取每5m或2.5m为一个点,量取该点矿层厚度。为了筛去断层对矿层厚度的影响,每6个点(30m或15m)为一组,组的矿层厚度为组内各点厚度平均值。组与组间3个点重复。图中横坐标表示水平距离,纵坐标分别表示顶板高程和组的矿层厚度。

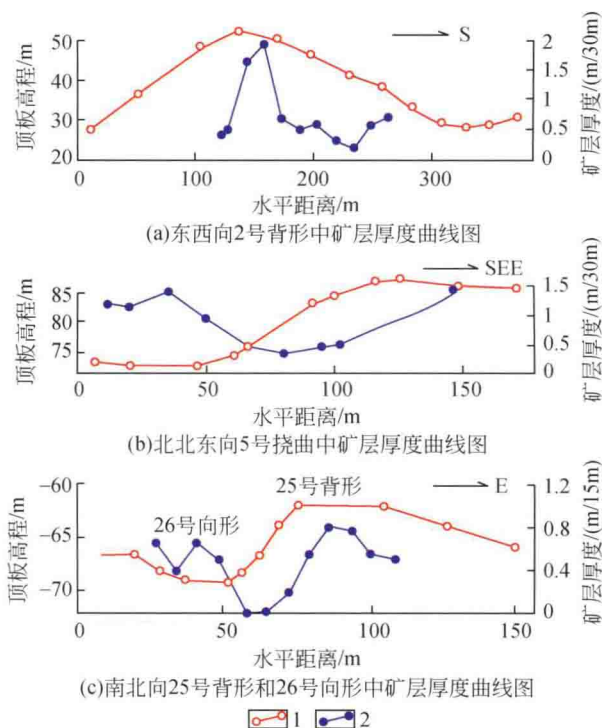


图3 各种褶曲构造中矿层厚度曲线图

1. 煤系顶板及其高程点; 2. 黄铁矿层厚度

褶曲翼部越陡, 其矿层减薄现象越强烈。例如, 25号背形东翼倾角为 4° , 矿层厚 $0.5\text{m}/15\text{m}$; 其西侧的26号向形, 西翼倾角为 9° , 矿层厚 $0.4\text{m}/15\text{m}$, 东翼倾角为 20° , 矿层尖灭。

在褶曲翼部矿层强烈减薄处, 煤系下伏岩层凹凸不平的假整合面都磨成镜状, 并有大量擦痕和方解石伴生, 有的还在顶底板中产生分支断裂。从这些分支断裂与煤系层面的关系来看, 顶底板间剪切运动方向是顶板朝上, 底板朝下。

例如, 东西向2号背形南翼, 在矿层强烈减薄处的底板中, 产生3条叠瓦状逆冲断层和1条正断层。前者断层面向南倾斜, 上盘自南往北仰冲; 后者断层面向北倾斜, 北盘下滑。断距仅数十厘米, 均没有切入顶板, 为煤系层面的分支断裂。从这些压剪性逆冲断层和张剪性正断层的产状可以看出, 顶底板间剪切运动方向是顶板朝北(上), 底板朝南(下)。

褶曲越宽, 翼部矿层减薄带也越大。例如, 100m 宽的25号背形, 减薄带宽 20m ; 350m 宽的2号背形, 减薄带宽 47m (图3)。

2.3 褶曲轴部顺层张性、张剪性断裂 (F_3 , 简称纵断裂系统)

各个构造体系的褶曲中, 纵张性、张剪性断层的断层面与煤系层面的交线(以下简称断层线), 前者及后者的锐夹角平分线与褶曲枢纽平行。其中与褶曲枢纽夹角在 5° 以内的纵张性断层最发育, 占纵断层的 $36.8\% \sim 75\%$ 。张剪性断层之间的锐夹角一般

为 $34^{\circ} \sim 52^{\circ}$ (图 4)^①, 在层面上呈 X 型。

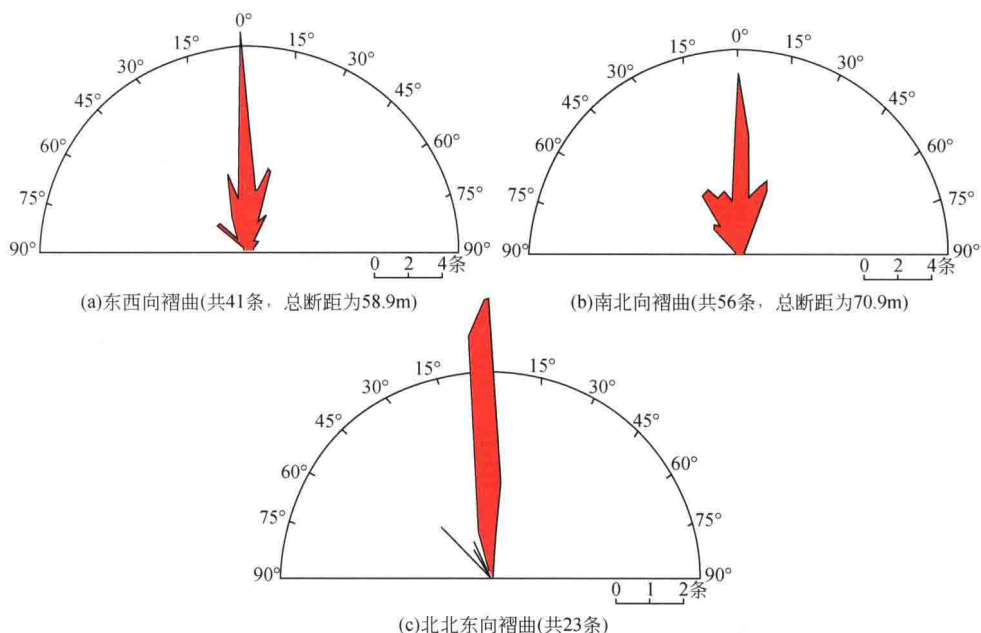
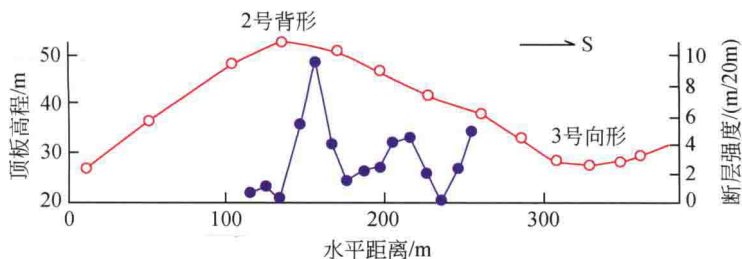


图 4 各种褶曲构造中纵断层系统的断层线与褶曲枢纽夹角玫瑰花图

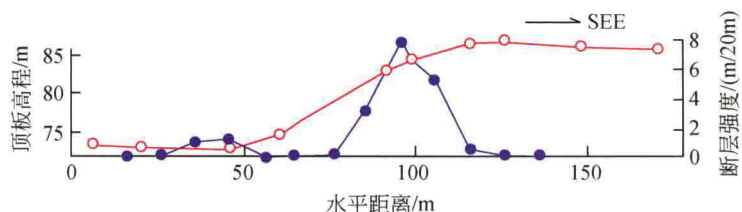
纵张性断层有的呈锯齿状, 齿的边长从数十厘米至数米不等。

纵断层系统绝大多数为正断层, 个别为高角度逆断层。一般断距为数十厘米至 2m, 没有切穿煤系, 所以顶板断层和底板断层通常各自独立。

根据横穿褶曲的巷道之编录图所作的数理统计, 背形轴部、向形轴部两侧和挠曲上转折角的顶板纵断层系统断层强度为 $4.4 \sim 9.4\text{m}/20\text{m}$, 翼部为 $0 \sim 1.9\text{m}/20\text{m}$, 前者平均强度为后者的 7.8 倍 (图 5)。



(a)东西向2号背形中纵断层系统断层强度曲线图



(b)北北东向5号挠曲中纵断层系统断层强度曲线图

① 本文玫瑰花图都以 5° 为最小分格单位, 并且一般以断层的断距作为统计对象。