

长江三峡地区 地壳应力场与地震

高士钧 等著

峰

陵

黄陵庙

峡

王昭君故里

屈原故里

秭归

巴东

大溪文化遗址

地震出版社

198

长江三峡地区 地壳应力场与地震

高士钧 等 著



地震出版社

1992

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

本书翔实地阐述了长江三峡地区地质构造特征、地质历史和构造应力场的发展演变过程,分析了地震活动特点以及地震活动与地震构造和应力场作用方式的相互关系,并通过应力场的数值模拟圈定了应力集中场所和潜在震源区,结合岩石孔压力学试验和库水的应力作用,讨论了断层产状和断层介质力学性态对水压应力场、形变场和孔压场的影响,最后探讨了水库诱发地震及其预测问题。该书有较高的科学性和实用性,并对评定区域地壳稳定性、地震危险性和诱发地震及其次生灾害等具有重要的意义。

本书可供地震、地震工程、工程地质、水文地质、水电工程设计等领域的科技人员和有关院校师生参阅。

31254/01

长江三峡地区地壳应力场与地震

高士钧 等 著

责任编辑:李洪杰

责任校对:徐雁生

*

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 10.5 印张 268 千字

1992 年 12 月第一版 1992 年 12 月第一次印刷

印数: 001—700

ISBN 7-5028-0740-3/P·482

(1133) 定价: 7.50 元

序

在浩浩荡荡的长江之上，截三峡之险，防灾兴利，建设巨大的三峡水利枢纽工程，这是近代中国振兴大计久有之宿愿。新中国成立以来，党中央和国务院十分重视此项工程，自50年代后期开始，即安排投入了大量的兴建三峡工程的各项前期勘探、科研、设计和试验工作，倾注了成千上万工作人员的心血，为探究此项工程之利弊，“七五”期间更加紧了各项决策工程“上”与“下”的若干基本问题的研究。“长江三峡工程水库诱发地震研究”曾是国家“六五”和“七五”期间重点攻关项目之一。《长江三峡地区地壳应力场与地震》就是多年来一批研究成果的精粹辑录。

本专著在全面介绍三峡地区地质构造特征的基础上，采用地质构造、地形变、地震以及井下测量等方法获收应力场的信息，综合各方面应力场资料并与多种方案的数字模拟、物理模拟和岩石力学实验资料相比较，全面地分析和判定了该区地壳应力场的状况，讨论了构造应力场与地震活动时空分布及地震活动度，计算了水库荷载应力场的迭加作用，讨论了在构造应力场作用下断层滑动的准则、水库诱发地震的机制及其与构造应力场的关系、水库诱发地震的可能性与发生条件的分析，指明断裂传压快，可传至岩体深处，快速蓄水和放水过程会降低有效应力和法向应力，因此容易诱发地震。全书共10章，20余万字，120多张图表。

这本专著的问世，是对三峡水利枢纽工程的奉献，它对三峡地区诱发地震问题的评价与防患提供了重要的依据。三峡地区是介于华北强震区和华南湘赣弱震区之间的过渡地带，应力场的状态比较复杂，本专著是这样一个地区应力场系统研究的结果，在科学方法上也提出了许多可兹讨论、比较的论点，供学术研究。

马宗晋
1992.2.18

前 言

长江是我国第一条大河，全长 6300 多公里，流域面积达 180 万平方公里，水利资源十分丰富，因此，开发利用这一取之不尽的资源对振兴经济，提高国力有着非常重要的现实意义。

三峡枢纽工程是一项举世瞩目的综合治理开发的特大水利工程，它的兴建究竟给人们带来怎样的经济效益、社会效益和对水库诱发地震、生态环境等产生怎样的影响，已引起了国内外专家学者的广泛关注。

近 20 多年来，国内外水库诱发地震的研究表明，水库诱发地震的形成除了库水的应力和非应力的作用外，主要与水库区域内的地质构造环境(断裂、岩性、水文地质、地热等)和现代构造应力场作用等有关。因此，在对水库诱发地震危险性作评价时，首先要确定水库诱发地震危险性评价原则以及诱发地震风险性的判别依据，所以深入分析研究三峡地区地震地质构造条件、现代构造应力场作用方式以及库水的作用和预测等已成为研究三峡水库诱发地震的重要课题之一。

三峡水库为一典型的河谷型水库，它穿越两个大地构造单元和不同时代的地层，地质构造环境较为复杂，有许多重大地震地质问题直接关系到工程的安全。50 年代以来，许多单位和研究者，针对这些问题，曾先后应用不同方法和手段开展了地震监测、地震地质、地球物理、大地形变测量、重力测量、地应力测量和深部人工探测等观测和研究工作，相继取得了一批有科学价值的成果，积累了丰富的科技资料，为三峡工程的宏观决策和可行性论证提供了科学依据。

三峡水库区的黄陵背斜为一古老的刚性地质体，根基深深扎入下地壳，并在漫长的地质历史中长期表现为隆起和对区域应力作用产生强大的反作用力，因此，它对区域应力场具有强大的阻抗和干扰作用，致使黄陵背斜周缘的局部构造应力场既不同于华北区也不同于华南区，而成为一个特殊的独立区。

另一方面，由于黄陵背斜不是一个简单的弹性、弹塑性地质体，又由于地下深处高温高压环境条件的变化，致使黄陵背斜周缘地体具有复杂的力学过程，从而给构造应力场的研究带来许多困难，也造成研究者对三峡地区局部构造应力场的作用方向持有不同见解。

当一个地区某一构造部位的岩体遭受的构造应力超过岩石破裂强度时，便会发生破裂错动而产生地震。因此，地震的发生既需要有特定的地壳介质性质和介质结构，又取决于现代应力活动状态，所以现代构造应力场的研究，已成为地震地质学的一项基本任务。另一方面，构造地震发生在具有一定活动能力的断裂上，断裂的活动状态又反映了应力作用的方式和强度。而水库地震除了与地质构造环境有关之外，还与库水的作用有关，因此，水库诱发地震的量级也可反映一个地区构造应力的强弱。总之，研究一个地区各种构造类型的变形、历史发展过程和空间分布规律，对于分析构造应力场与活动断裂、地震活动的关系，对于评价地壳稳定性和地震预测预防有着重要的现实意义。

大地构造上，黄陵背斜位于扬子准地台之中，北邻秦岭褶皱系，因此，除了受准地台的控制外，局部构造应力场还受到秦岭褶皱系不同程度的制约和影响，致使黄陵背斜周缘不同位置的应力作用方向有所差异，如黄陵背斜北侧和南侧的应力场作用方向呈近南北向，而东、西两侧的应力场作用方向为北北东至北东向。显然，黄陵背斜及其周缘在晚近时期的构

造应力场，具有独特性质。但是，有些研究者认为三峡地区的构造应力场作用方向为近东西向，而忽视了黄陵背斜周缘的特殊性；另一些研究者则认为北东向为主压应力方向，它既考虑了区域应力场的控制作用，又考虑了区域应力场的派生影响。这些争论问题倘若仅通过地表构造形迹进行反演和追溯运动学特征，总结地壳运动规律，显然是很困难的。因此，除了必要的野外地质调查、地形变测量、地应力测量和震源机制分析外，还必须配合数理模拟实验和力学理论分析与计算，方能得到比较符合实际的认识。

近几年来，许多兄弟单位和研究者在三峡地区开展了上述的多学科、多方法的工作，获得了大量的实际资料和实验数据，综合各种资料和数理模拟结果，证明黄陵背斜周缘地体虽受区域应力场控制和影响，但局部现代构造应力场的作用方向仍以北东-南西方向挤压为主，显然，这种作用方向的应力场比较符合实际地表上见到的断裂活动方式、地形变观测和地应力测量结果、地震活动及震源物理特征。

本书在总结地质构造总体组合环境、构造应力场特征以及蓄水影响的基础上，着重讨论了当今人们十分关注的水库蓄水后的水库诱发地震问题。国内外百余座水库诱发地震震例表明，判断一个大型水利枢纽工程蓄水后能否发生地震，发生多大强度地震和在哪里发生等，主要取决于库坝区范围内的地质构造条件、水文地质条件、构造应力的作用强度和作用方式，活动断裂或断裂带的规模、分布及历史地震记载、地球物理异常和库水作用程度等的总体组合环境。因此，兴建一个大型水利枢纽工程前，必须对水库诱发地震的危险性和危害性做出科学的评价，以确保水利工程的安全。

本书全面系统地分析讨论了三峡地区地质构造环境、地质历史发展演化过程、应力场变化特征、地震活动特点及其与地震构造、应力场作用方式的相互关系，并通过构造应力场的数理模拟，圈定了应力集中地段和潜在震源区，再结合岩石孔压力学试验和库水的作用，着重讨论了断层介质力学性状对水库荷载产生的应力场、形变场和孔压场的影响，探讨了三峡地区水库蓄水后诱发地震的可能性。由于水库诱发地震的研究工作在近几年才发展起来，有些方法和观测手段尚不够健全，一些资料还不够系统，加以作者的学术水平有限，书中难免有错误和不当之处，欢迎批评指正。

本书系在完成“七五”期间国家重点科技攻关专题“三峡工程水库诱发地震(16-2-3)”中的“三峡工程区域应力场及蓄水影响的模拟研究”子专题(16-2-3-4)基础上编写而成的，它体现了多单位多学科在该地区工作的研究成果。参加本书撰写工作的有：高士钧(前言、第三、八、九、十章)、王清云(第一、二章)、宋惠珍(第四章,由高士钧整理)、曾心传、秦小军(第五章)、张伯崇(第六章)、曾心传、高士钧(第七章)。另外，参加本书工作的人员还有：陈永成、龚平、胡淑香、孙君秀、袁岩光、兰印刚、王清云、黄江、刘长义、马元春。

本书由高士钧汇总和统编。书中图件由于桦清绘。本书曾得到丁国瑜、谢广林、黄乃安、叶俊林和许春福等专家的热情帮助、指导，特别是学部委员马宗晋为本书作序，在此一并致谢。

高士钧
1992.5.9

目 录

第一章 三峡地区地质构造特征	(1)
第一节 三峡地区的大地构造单元	(1)
第二节 断裂	(4)
第三节 深部构造	(10)
第二章 构造应力场	(15)
第一节 构造应力场的演化	(15)
第二节 新构造应力场	(18)
第三节 现代构造应力场	(26)
第三章 地震	(33)
第一节 地震活动的空间分布与时间序列	(33)
第二节 地震活动图象	(36)
第三节 地震断层错动特征	(41)
第四节 地震活动与断裂构造关系	(45)
第五节 地震趋势	(46)
第四章 三峡地区构造应力场模拟	(48)
第一节 应力场数值模拟	(48)
第二节 应力场物理模拟	(75)
第五章 水库荷载应力场	(79)
第一节 引言	(79)
第二节 饱水弹性体固结方程的有限元离散化	(80)
第三节 介质常数选取和边界条件处理	(86)
第四节 计算结果及分析	(87)
第五节 蓄水对应力状态的影响	(111)
第六章 岩石力学试验与断层滑动准则	(115)
第一节 岩石的单轴压缩试验	(115)
第二节 岩石的摩擦性状和孔隙水压力的影响	(115)
第三节 岩石摩擦性状与断层滑动准则的讨论	(120)
第七章 水诱发地震应力场	(123)
第一节 概况	(123)
第二节 震级-断层破裂长度关系	(123)
第三节 水诱发地震的区域应力	(126)
第八章 诱发地震机制	(132)
第一节 库水应力理论	(132)
第二节 库水的应力作用分析	(133)
第三节 水诱发地震机制	(135)
第九章 水库诱发地震可能性评价	(138)

第一节	评价原则	(138)
第二节	诱发地震可能性条件	(138)
第三节	水库诱发地震可能性预测方法	(141)
第四节	水库诱发地震强度的预测方法	(143)
第十章	三峡水库诱发地震预测与讨论	(147)
第一节	三峡水库诱发地震的可能性	(147)
第二节	诱发地震场所的预测	(150)
第三节	三峡水库诱发地震强度预测	(153)
第四节	三峡水库诱发地震讨论	(154)

Contents

Chapter 1. Geotectonic Features of the Three Gorge Area	(1)
1. Tectonic unit of the Three Gorge area	(1)
2. Fracture	(4)
3. Deep tectonics	(10)
Chapter 2. Tectonic Stress Field	(15)
1. Evolution of tectonic stress	(15)
2. Neotectonic stress field	(18)
3. Contemporary tectonic stress field	(26)
Chapter 3. Earthquake	(33)
1. Spatial distribution and time sequence of seismic activity	(33)
2. Pattern of seismic activity	(36)
3. Characteristics of seismic fault dislocation	(41)
4. Relationship between seismic activity and fracture structure	(45)
5. Seismic tendency	(46)
Chapter 4. Stress Field Simulation	(48)
1. Numerical simulation of stress field	(48)
2. Physical simulation of stress field	(75)
Chapter 5. Stress Field Under the Load of Impounding Water	(79)
1. Introduction	(79)
2. Finite element discrete of the consolidation equations for saturated elastic medium	(80)
3. Choice of medium parameters and treatment of boundary conditions	(86)
4. Numerical calculation results and analysis	(87)
5. Influence of impounding water on stress state	(111)
Chapter 6. Experiment of Rock Mechanics and the Criterion of Fault Slip	(115)
1. Uniaxial compressive trial on rock	(115)
2. Friction character of rock and the influence of pore pressure	(115)
3. Discussion on the relationship between the friction character of rock and the slip criterion of fault	(120)
Chapter 7. Stress Field of Reservoir-induced Earthquake	(123)
1. General survey	(123)
2. Relationship between the ruptured length of fault and the magnitude of earthquake	(123)

3. Regional stress of reservoir –induced earthquake	(126)
Chapter 8. Mechanism of Reservoir–induced Earthquake	(132)
1. Theory of impounding load stress	(132)
2. Analysis of stress effect of impounding water	(133)
3. Mechanism of reservoir–induced earthquake	(135)
Chapter 9. Estimation on Possibility of Reservoir–induced Earthquake	(138)
1. Principles of estimation	(138)
2. Possible conditions of induced earthquake	(138)
3. Forecast methods of possibility of reservoir–induced earthquake	(141)
4. Forecast methods of strength of reservoir–induced earthquake	(143)
Chapter 10. Prediction and Discussion on Reservoir–induced	
Earthquake in the Three Gorge Area	(147)
1. Possibility of reservoir–induced earthquake in the Three Gorge area	(147)
2. Prediction for induced earthquake sites	(150)
3. Prediction on strength of reservoir–induced earthquake	
in the Three Gorge area	(153)
4. Discussion on reservoir–induced earthquake in the Three Gorge area	(154)

第一章 三峡地区地质构造特征

研究区包括鄂西、鄂中及其毗邻地区。自 30 年代以来,李四光、黄汲清、张文佑、陈国达等著名地质学家在其著作中运用不同学术观点先后对该区的大地构造特征进行过论述^[1,2,3,4]。近 30 年以来,大量地质工作者在该区应用了新技术、新方法进一步深入研究了区域地质、矿床地质及工程地质等,并不断涌现出一批新成果,为论述该区的地质构造特征提供了丰富的资料和扎实的基础。

第一节 三峡地区的大地构造单元

湖北省地矿局在综合各方面资料的基础上,运用多旋回观点提出三峡地区跨越两个大地构造单元(图 1-1)^[5],它以青峰断裂为界,北为秦岭褶皱系,南属扬子准地台。在地质历史发展演化过程中,两者既有密切联系又有明显的差异。

一、扬子准地台

研究区地台基底性质不均一,出露于黄陵、钟祥一带的基性、中性、酸性火山岩和沉积岩系组成的崆岭群,属优地槽型建造,遭受了中、深强度的变质作用和混合岩化作用,经大别运动褶皱隆起,成为本区最古老的结晶基底;出露于神农架、大洪山地区的扬子旋回结晶基底,早期以神农架群的碳酸盐岩类沉积为主,经过神农运动使其褶皱和遭受区域动力变质作用而固结,晚期以火山碎屑岩系的马槽园群、花山群沉积为主,花山运动使其轻微褶皱、变质;江汉平原地区的基底可能由高磁性岩浆杂岩和各种中、深变质岩组成^[5]。显然,扬子准地台内研究区域的基底由前震旦纪的中、深变质岩褶皱带组成,并经历大别、神农、花山三次主要构造运动的演化过程。

I 秦岭褶皱系: I₁ 南秦岭印支冒地槽褶皱带; I₁¹ 北大巴山复向斜; I₂ 武当复背斜; I₃ 襄樊断陷; II 扬子准地台: II₁ 上扬子台坪; II₁¹ 大巴山台缘褶皱带; II₁¹⁻¹ 青峰台褶皱带; II₁¹⁻² 大洪山台褶皱带; II₂ 鄂中断陷区; II₂¹ 神农架断穹; II₂²⁻² 巫山台褶皱带; II₂²⁻³ 秭归台褶皱带; II₂²⁻⁴ 黄陵断穹; II₂²⁻⁵ 远安台褶皱带; II₂²⁻⁶ 钟祥台褶皱带; II₃ 八面山台褶皱带; II₃¹ 恩施台褶皱带; II₃²⁻² 长阳台褶皱带; II₂ 两湖断坳; II₂ 江汉断陷

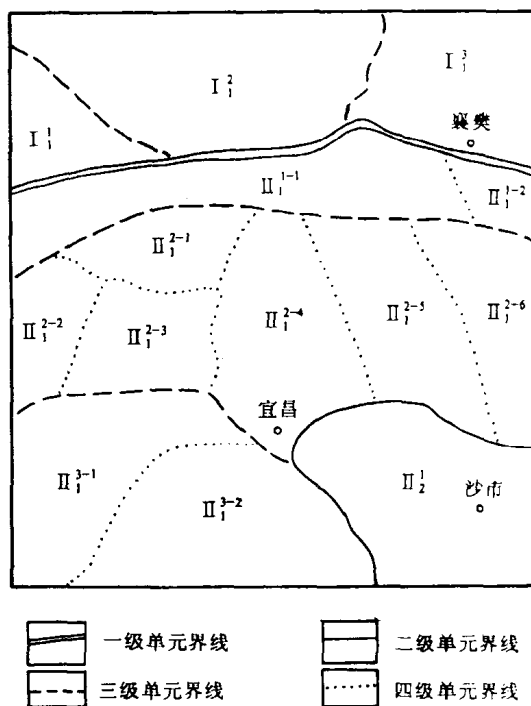


图 1-1 三峡地区大地构造分布图
(据湖北区域地质志改绘)

区域内沉积盖层发育，厚近 7000 米。震旦纪—中三迭世地台盖层沉积期间，发生多次构造运动，早期相对平静，晚期趋于频繁，且以隆起性质为主。中三迭世以后基本结束了海相沉积，并转为陆相沉积。其早期为河湖相含煤碎屑岩沉积，晚期为陆相碎屑岩沉积，并相继经历了燕山和喜马拉雅运动的改造。

本区分为上扬子台坪和两湖断坳两个二级构造单元。

1. 上扬子台坪

位于江汉盆地西侧地区，褶皱基底大面积出露，震旦系与其不整合覆盖，古生界—中三迭统海相盖层发育比较齐全。上三迭统和侏罗系在巴东、当阳、利川等地保存较完整，白垩系等红色建造受北北西向断陷盆地控制，厚达数千米。强烈的盖层褶皱始于印支运动，完成于燕山运动(侏罗纪晚期)。区内断裂发育。

1) 大巴山台缘褶皱带 界于阳日断裂和青峰断裂之间地区，走向东西。北部由震旦系至下三迭统的紧密线状褶皱及走向逆断层组成。变形强烈，褶皱轴向和逆断层面多向北倾。褶皱密集，向南倒转，断层呈迭瓦状密集排列。中部为三个复向斜组成不完整的复向斜带，并受青峰断裂带的改造。南部为一东西向复背斜，其核部由中元古界神农架群构成，呈椭圆状出露，两翼依次出露震旦系—志留系，北翼岩层倾角陡于南翼。

2) 鄂中断褶区 系指阳日断裂和天阳坪断裂之间的大片地区，东部延伸入江汉盆地。该区基底岩体广泛裸露，岩浆岩和中、新生代地层发育，断块活动特征明显。基底岩体主要出露于黄陵、神农架等地，元古界崆岭群、神农架群、马槽园群等变质岩系组成背斜及穹隆的核部，震旦系—三迭系覆盖在穹隆构造周缘，白垩—第三系堆积在受北北西向断裂控制的断陷盆地内。形成地堑、地垒相间的构造格局(图 1-2)。

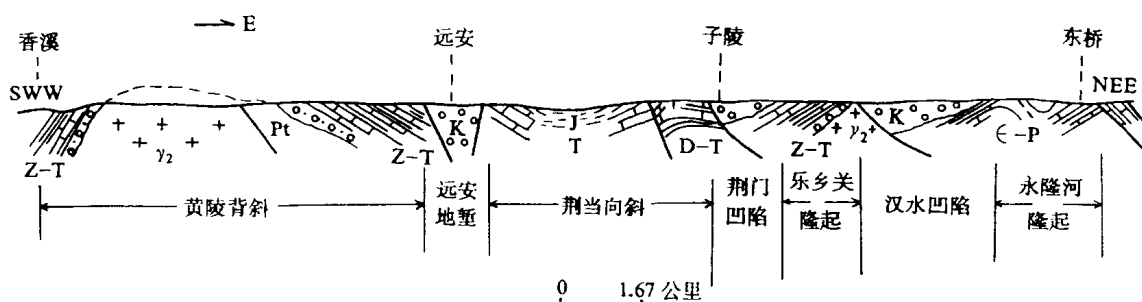


图 1-2 鄂中断褶区构造横剖面图(据湖北区域地质志, 1990 年)

3) 八面山台褶皱带 该带北接鄂中褶断区，西邻四川台坳，东延没于江汉盆地。区内基底埋藏较深，浅变质的褶皱基底岩体仅在走马坪一带零星出露。盖层发育齐全，未见岩浆岩分布。褶皱带自南而北由北东转至近东西向延伸，呈向北突出的弧形展布，由数个复背斜和复向斜组成，并伴生了一些走向断裂和北北东向斜交断裂。

2. 两湖断坳

两湖断坳跨越湘鄂两省，发育于扬子准地台印支—燕山褶皱带之上，为一陆内盆地。早白垩世晚期其西部和北部边缘开始沉积。晚白垩世沉积向东扩展，东西向的华容断隆将沉积区分为南北两个盆地，北为江汉盆地，南为洞庭盆地。早第三纪初期，南北两盆地在石首以

西连为一体，并接受了沙市组、新沟咀组等沉积。始新世至渐新世由于内部断裂活动的加强，将该区分割成凹陷、凸起相间的构造格局(图 1-3)，并在各凹陷内沉积了荆沙组、潜江组和荆河镇组。晚第三纪和第四纪时期这种凹、凸分割局面才渐趋统一。

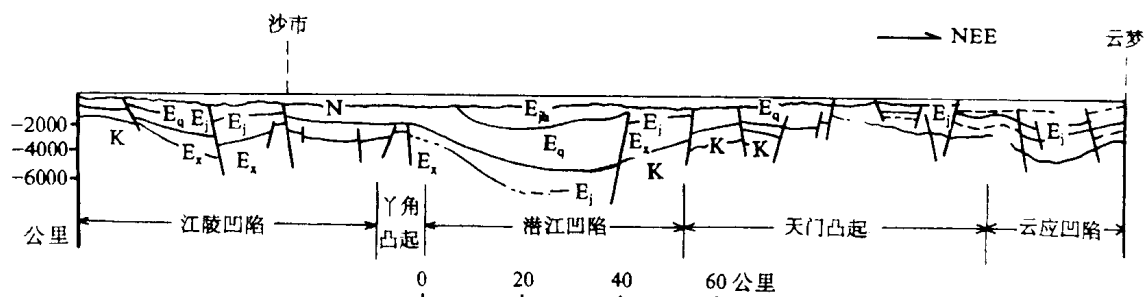


图 1-3 江汉断陷构造横剖面示意图(据湖北区域地质志, 1990 年)

二、秦岭褶皱系

秦岭褶皱系为一个结构比较复杂的多旋回褶皱系。本研究区只涉及到二级构造单元南秦岭印支冒地槽褶皱带的一部分，呈北西至北西西向展布于青峰断裂以北。它属于大陆地壳内部的再生地槽，是在前寒武纪地台的基础上产生的。大致分为两个三级构造单元。

1. 武当山复背斜

武当山复背斜旧称武当隆起，为一短轴复式穹状构造，核部为武当山群，四周有耀河岭群、上震旦统和古生界呈裙边形围绕。北部构造正常，南部被青峰断裂和竹山断裂切割，分别推覆于扬子准地台北缘台褶带和北大巴山褶皱束之上，构造形态被破坏。复背斜主要由两郧背斜、黄龙滩向斜、武当背斜和竹山褶皱束组成。广泛出露的前震旦纪变质岩系为其基底，经历了从地台转化为冒地槽的发展过程，直到印支地槽回返时，基底岩系同地槽沉积物一起褶皱回返组成印支褶皱带的一部分。

2. 北大巴山复向斜

位于青峰断裂和竹山断裂所夹的三角地带。由震旦系一志留系褶皱组成，自北西向南东延伸，接近青峰断裂时，褶皱轴向与断裂走向一致。褶皱呈紧密线状，且向东南方向倒转。断裂极为发育，多呈北西向，其次为近东西向。北西向的竹山断裂及其平行的主要断裂长达几十至上百公里，控制着第三纪宝丰盆地的发育。长几十公里东西向的竹溪断裂横切构造线，南盘东移的左行平移性质明显，断面陡倾，控制着狭长条带状第四纪竹溪盆地的发育。北大巴山复向斜在加里东运动后并没结束地槽状态，它继续经历了海西—印支旋回的构造发展，于印支旋回末期转化为褶皱带。并在印支—燕山运动期间，由于遭受近南北向水平挤压，形成明显的推覆构造。白垩纪以后断块活动显著，沿其边缘宝丰、房县等中、新生代断陷盆地受边界区域大断裂所控制。

第二节 断 裂

一、断裂系统的展布特征

研究区断裂按走向可分为四组，即北北西向断裂系统、北北东—北东向断裂系统、北西向断裂系统和近东西向断裂系统。北北西向断裂系统主要展布于鄂中断褶区、北北东—北东向断裂系统多分布在八面山台褶带、北西向断裂系统除集中于南秦岭印支冒地槽褶皱带外，还出现在黄陵穹隆的南北两侧、近东西向断裂系统绝大多数集中在大巴山台缘褶带。江汉盆地中北北西向和北东向两组断裂系统并存(图 1-4)。不同方向的断裂系统的展布有明显的区域性特征。

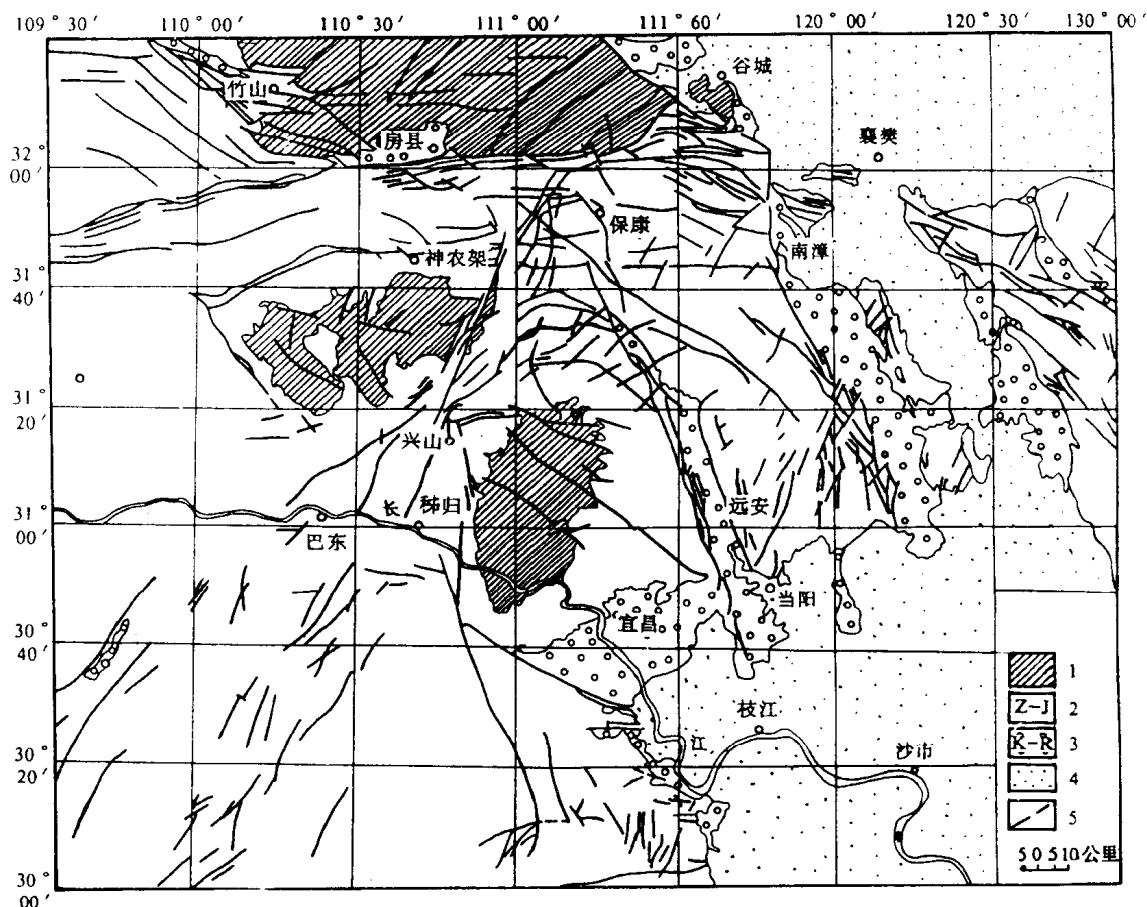


图 1-4 三峡地区地质构造略图

1. 前震旦系; 2. 震旦系—侏罗系; 3. 白垩系—第三系; 4. 第四系; 5. 断层

二、线性破裂影象特征

通过解译美国陆地资源卫星(ERTS-1.2)图象的 5 波段和 7 波段图象，结合地质资料分析，可以看出，区内线性影象清晰的有北北西向、北西向、北北东至北东向和近东西向四组(图 1-5)，尤以北北西向和北东向两组最为醒目。

1. 北西向线性破裂

北西向线性破裂在青峰断裂以北地区表现线性形迹明显，规模宏大，连续性好，基本上都与区域北西向大断裂相对应。而在青峰断裂以南地区有四条明显的北西向线性影象带，即房县马栏—南漳板桥—肖堰带、雾渡河带、天阳坪带和建始官店—五峰湾潭—石门磨市带。这些线性影象带呈等间距展布，走向 $290-310^\circ$ ，切割构造线，延展稳定。其中雾渡河带、天阳坪带分别与雾渡河断裂、天阳坪断裂的位置一致，并在局部地点可分辨出影象清晰的断层陡崖。房县马栏—南漳板桥—肖堰带的西北段与地表断裂一致，可见其明显地切错青峰断裂，使其产生右行错移达 2 公里。东南段影象显示较弱，野外考察结果只见局部地段为断裂外，大多数地段为破碎带或节理密集带。建始官店—五峰湾潭—石门磨市带线性影象比较宽，由一系列北西向线性构造组成，地表没有发现相应的区域断裂。

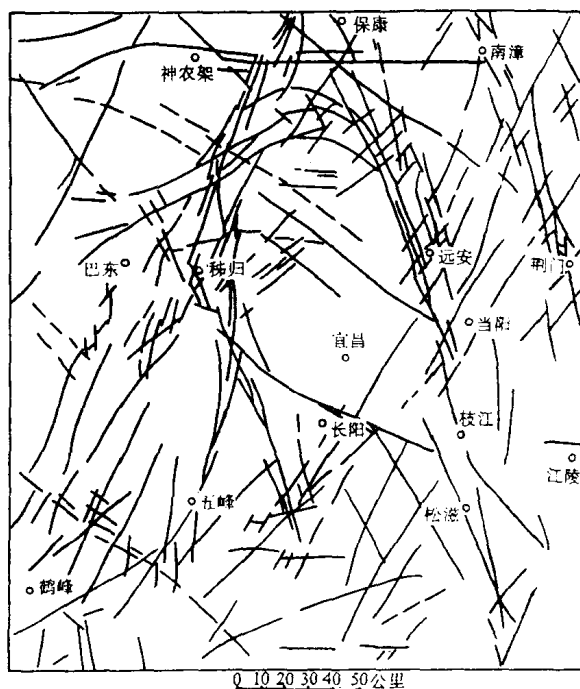


图 1-5 三峡地区卫片线性破裂解译图

2. 北北西向线性破裂

北北西向线性破裂主要见于黄陵穹隆西南侧和东侧，并且东侧较西南侧更为发育。每条线性破裂均由清晰的浅色调、线形平直的一组彼此相互靠近平行的线性影象条带组成。它们切穿不同地质体，延伸稳定，并与区域大断裂相对应，如仙女山断裂、远安断裂、通城河断裂等。在江汉盆地内部北北西向线性构造也有显示，其中老城—松滋—章庄铺一线的线性影象最为明显，控制着松滋河和一系列湖泊、沼泽地的分布。两侧色调差异明显，西侧色调较深，为丘陵阶地地形，东侧色调浅为河网密集区。

3. 北北东至北东向线性破裂

该组线性破裂在黄陵穹隆以西及八面山台褶带极为发育，线性影象特征清晰，保康—鹤峰北东向线性破裂带影象更为醒目。该带北起保康县城以西，在黄陵穹隆和神农架穹隆之间呈南南西方向延伸，其中马桥—古夫一段线性破裂形迹清晰地切割山体，构造地貌形态突出，3—4 条平行排列的线性破裂密集成带状，宽约 1 公里，控制香溪河上游河段流向。古夫以南线性破裂影象微弱，并逐渐撒开，以数条细色调线条通过秭归盆地。磨坪—鹤峰一带线性破裂影象又显清晰，一系列北北东向线性构造平行展布在鄂西南广大地区。其中榔坪和杨柳池一带以其控制的深切河谷表现最醒目，它们所经之处，岩层破碎，很难辨认地层走向。

黄陵穹隆以东地区的北北东至北东向线性破裂比较小且影象隐晦，渔关—土门带影象以浅色调条带切割长阳背斜和仁和坪向斜，总体走向 40° 左右。

4. 近东西向线性破裂

近东西向线性破裂主要分布在北大巴山台缘褶皱带，黄陵穹隆核部也显示其踪迹。这组线性影象带一般比较密集，但多数被北北西向和北北东至北东向线性构造所切割。

三、主要断裂及其新活动表现

三峡地区不同时期、不同规模、不同方向的断裂随地质演化、边界条件和构造运动方式的变化，其力学性质和活动程度也发生着变化。一些主要断裂的活动不同程度地控制着构造的变形，同时对该区的近代地貌和地震活动也有深刻影响。

1. 青峰断裂

该断裂西段沿北大巴山南缘达汉南地块，东段经房县、青峰等地入南襄盆地，全长 200 多公里，为分隔秦岭褶皱系与扬子准地台的区域大断裂。房县盆地以西呈北东东向，房县盆地一段为近东西向，以东渐转为南东东向，总体呈一微向北突出的“弓”形。断层倾向北，倾角 20° — 60° ，一般在 45° 左右。主断裂控制着南北两大构造单元的分界。西段北大巴山褶皱带以低角度 (20° — 45°) 平缓地向南逆掩于扬子准地台的台缘褶皱带之上，沿断裂带挤压破碎、柔皱现象明显，两侧发育了一系列北倾的平行逆断层。

在地球物理场方面，青峰断裂处于两个不同类型磁异常区急剧变化的梯度带上。重力场亦显示北部为负异常，南部为正异常。这些反映了断裂两侧基底性质与后期构造变动引起的均衡补偿是不一致的。重力上延拓 10—40 公里沿断裂带的重力梯度明显，且随延拓深度的增加其梯度带明显北移，表明该断裂深部平缓地向北倾斜^[5]，这与地表观测到的推覆构造结论相一致。

在漫长的地质历史发展中，青峰断裂具多期活动特征。从断裂南北两侧沉积建造和岩浆活动可以看出，扬子前期已具萌生，反映两侧地壳活动出现差异。扬子中期（即神农运动时期）已基本形成，扬子晚期随着断裂两侧地壳运动差异缩小，断裂活动相对减弱。进入加里东期后，断裂活动又因区域构造运动增强而活跃，两侧地壳活动差异性扩大，此时南侧相对处于稳定的地台之上，而北侧仍处于地槽深水的滞流环境，构造变形强烈，早期沉积的建造普遍受到动力热变质作用。从变形特征分析此时断裂带受到自北东至南西方向的水平挤压。海西—晚印支期，断裂活动为稳定阶段。晚印支—中燕山期发生的构造运动极为强烈，在强大的自北而南的水平挤压应力作用下，青峰断裂上盘向下盘逆掩推覆，造成其南侧扬子准地台台缘拗陷区强烈褶皱和断裂作用，形成一系列近东西走向的紧密倒转线状褶皱和一组与主断裂相平行的逆冲迭瓦状断层，至此青峰断裂基本定型。晚燕山期以后，区域构造应力场发生改变，地壳运动的性质也由块体之间的垂直差异活动为主代替了前期水平挤压，青峰断裂的活动性质亦由早期压性转变成以张性兼具左旋运动的力学性质。现今所见的青峰断裂，两侧地貌反差较大，南侧为海拔 1000 米以上的侵蚀中山地形，河流短促深切，裂点发育，北侧为海拔 500—800 米的剥蚀低山地形，河谷开阔、阶地发育。该断裂还控制着第三纪房县断陷盆地，并可见断层三角面山和断层崖连亘数十公里。在卫星影象上断裂两侧以明显的色调差异和不同的山体形态截然分野。

历史上沿断裂曾发生过 5.0 级地震。对断层泥进行电镜扫描断代，结果表明中更新世时，断裂活动明显。这些表明新构造时期，青峰断裂仍具较强的活动性。但从房县盆地内上第三系分布范围远小于下第三系分布范围，并且上第三系仅靠断裂北缘分布这一特征可以看

出，断裂两侧晚第三纪以来普遍上升，断裂活动强度已明显降低，并有从西向东逐渐减弱趋势。

2. 雾渡河断裂

断裂横切黄陵穹隆核部，从三阳经雾渡河至当阳峡口一带，为扬子准地台内规模较大的基底断裂。区域磁场上显示为正负异常的磁场突变带，将前震旦系基底分为两个磁性块体。雾渡河附近，断裂倾向北，倾角 60° — 80° ，动力变质作用明显，两侧的变质程度、混合岩化和岩浆杂岩的发育程度均有显著区别，褶皱的轴向也不一致。扬子期花岗岩及基性岩体沿断裂分布，表明该断裂形成于前震旦纪，断裂性质为压性或压剪性^[6]。中、新生代时，该断裂切割了盖层构造，至少有两期明显的错动，早燕山期以左旋张剪性^[6]。新构造期以来，断裂活动迹象不显著，虽然在王家坡、龙井沟、峡口等地的样品测年资料显示中新世—中更新世期间有活动，但沿断裂发育的谷地基本上属晚年期地貌形态，构造岩胶结坚硬。

3. 天阳坪断裂

位于长阳背斜北翼，为鄂中断褶区与八面山台褶带的分界。断裂主要发育在古生代地层中，由两条平行断裂和一系列小断层组成，宽 1—2 公里，长约 60 公里，走向 290° — 310° ，倾向南西，倾角 50° 左右。该断裂西段被仙女山断裂切断，东段经红花套后被第四系覆盖。据航磁、地震资料推测可能延至江汉平原的公安、监利一带。据推断建始、长阳、松滋一线的北西向高磁异常带可能是该断裂控制的扬子期岩浆岩体所致。扬子准地台的川中式和江南式结晶基底大致以此为界，故应视其为前震旦纪的基底断裂。中、新生代时该断裂活动明显，造成古生界推覆至白垩系石门组之上，该断裂不同地段的活动有所差异：周府口以西地段表现较明显，断层崖发育良好，两侧地貌反差达 150—200 米。在白玉观—旋岩子地段有一排整齐的上升泉沿断裂带分布；曾家咀、偏岩等地断层泥断代结果表明中更新世、下更新世和上新世均有不同程度的活动，以下更新世和上新世活动显著，活动方式为粘滑兼一定量蠕滑。该断裂在周府口以东地段自晚第三纪以来，活动逐渐减弱，两侧地貌反差不大，红花套附近的第四纪地层及长江阶地均未发现变动现象。历史上沿断裂未见强震记载，现今也很少记录到微震活动。

4. 新华断裂

位于黄陵穹隆和神农架穹隆之间，总体走向 20° ，倾向西，倾角 70° 左右。该断裂北与金斗—寺坪断裂、南与水田坝断裂相连，共同组成一条北北东向断裂带。断裂带两侧岩层挤压破碎，在经过坚硬的白云岩出露地段往往形成宽几十米的压碎岩带，在柔性地层出露地段挤压片理、劈理及柔性褶皱也成带分布，显示西盘向南斜冲的压剪性质。从金斗—寺坪一线的压剪破碎带中充填大量石英脉及方解石脉，水田坝断裂的断层呈波状弯曲，两盘牵引褶皱显示逆冲性质，而在 80 多厘米宽的泥化片理带中的片理构造显示的西盘正断下滑性质表明，该断裂带至少经历两期主要活动，早期为压剪，后期为张性。新构造时期，断裂在地貌上显示清楚，断裂负地形发育，沿断裂常形成断裂谷和长条状洼地，尤其是水田坝断裂沿线还发育着一排断层残山(图 1-6)。岩崩群和微震活动也呈线状展布，这些都说明现今该断裂带仍具一定的活动性。在秭归石潭湾和保康张家湾采取断层断代样品鉴定结果^{[6]①}亦证明在中更新世至晚更新世有较明显活动。

① 湖北地震局，1988年，保康寺坪水库坝址区地震烈度复核报告。