

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

六 水文地质 工程地质 第 8 号

长江三峡工程库首区地壳稳定性
评价与水库诱发地震预测

谭周地 陈景山 等著

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

六 水文地质工程地质 第8号

长江三峡工程库首区
地壳稳定性评价
与水库诱发地震预测

长春地质学院

谭周地 薄景山 等著

地质出版社

内 容 简 介

区域地壳稳定性与水库地震问题是长江三峡工程可行性论证中的重要课题之一。本书是长春地质学院于1983—1988年期间在这方面研究工作的总结。内容主要包括长江三峡地区构造应力场演化历史研究,三峡工程库首区断裂活动性研究,三峡地区地震危险区的模拟实验研究及三斗坪坝址地震危险性分析,地壳稳定性分区与评价,三峡水库诱震可能性研究,诱震危险性库段的预测及震强度的预测研究等。

本书论述了三峡工程区域地质构造特征和地震地质环境,采用新的技术方法和数学方法,对三峡工程地壳稳定性与水库诱发地震问题进行了较为深入的研究,对进一步研究三峡工程的地质、地震问题具有参考价值。

本书可供有关部门的生产、教学和科研人员参考使用。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报

六 水文地质工程地质 第8号

长江三峡工程库首区地壳稳定性评价与水库诱发地震预测

长春地质学院

谭周地 薄景山 等著

*

责任编辑:戴鸿麟

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: 8.5 插页: 2 页 字数: 187000

1991年4月北京第一版·1991年4月北京第一次印刷

印数: 1—650 册 国内定价: 8.20 元

ISBN 7-116-00819-5/P·701

前言

50年代中期至60年代中期,长江三峡工程地质勘查研究在地质矿产部、水利电力部和国家科委的组织领导下大规模展开。长春地质学院水文地质工程地质系师生由刘国昌教授率领,结合教学,也开始参加这项举世瞩目的伟大工程的地质勘查研究工作。这期间,我们主要是参加了原地质部三峡大队主持的近坝区水文地质工程地质测绘和岩溶调查研究工作。自70年代中后期以来,三峡工程的可行性研究又进入了新的阶段。我们在地质矿产部水文地质工程地质司、科学技术司和教育司的领导下,并得到水利电力部长江流域规划办公室(以下简称长办)和国家科学技术委员会工业司的支持与协助,正式开始了库首区(近坝区)地壳稳定性与水库诱发地震问题的研究。1977—1979年的调查研究成果,刘国昌教授已总结成“三峡坝区的区域稳定性”一文,刊于《全国首届工程地质学术讨论会论文选集》(科学出版社,1983)。该成果已被水电部1983年上报国务院的《长江三峡水利枢纽工程可行性研究报告》引用。1983年开始,我们在前阶段工作基础上继续进行研究,地质矿产部将其列为重点科研项目,予以大力支持,国家科委、水电部热情关心帮助,至1988年基本完成了这项研究。

这期间进行和完成的研究工作主要是:

1. 库首区断裂构造和构造应力场演化历史的调查研究(谭周地、薄景山、王成金、李广杰、贾永刚、李同录、汪发武、李新生、陈殿强、包惠明、凌兵建、刘传正等);
2. 库首区断裂活动性挥发性元素地球化学勘查研究(谭周地、刘树田、薄景山、李同录、贾永刚、汪发武、刘明辉);
3. 三峡地区现今构造应力场与地震危险区全息光弹模拟试验研究(谭周地、王成金、薄景山、张宝福、李广杰、贾永刚、汪发武等);
4. 三斗坪坝址地震危险性分析(谭周地、薄景山、张树林等);
5. 库首区地壳稳定性分区与评价(谭周地、薄景山、李同录);
6. 库首区水库诱发地震优势因素分析及优势地带图编制与最大优势地段预测研究(谭周地、刘传正、李广杰等);
7. 水库地震发震强度概率预测模型研究与三峡水库发震强度预测(谭周地、薄景山)。

除上述各专题组人员外,1983—1988届部分应届工程地质专业毕业生也参加了现场调查测试研究的部分工作。

应强调说明,1986—1988年期间水电部又重新进行了三峡工程的可行性研究。因此,上述研究后期工作是紧密结合三峡工程地质地震专题重新论证完成的。大部分成果曾分别在1987年8月地质地震专题论证专家组主持的“地壳稳定性与水库诱发地震专题论证会”和1988年6月长办主持的“三峡地区断层活动性讨论会”等会议上汇报交流,并且已被水电部再次编写的《三峡工程可行性研究报告》引用。无疑,这是我们最感欣慰的。

研究总结报告汇总了各项研究成果,由项目负责人谭周地、薄景山主编。

研究总结报告于1988年9月在北京由地质矿产部水文地质工程地质司(现环境地质管理

司)、科学技术司和教育司联合主持的评审会通过评审。会后,主编者根据评审委员会意见对送审稿再次进行了补充修改,成为本书。由于水平和时间所限,错误及不当之处在所难免,敬请使用、阅读者批评指正。

最后,对组织领导和支持这项研究工作的地质矿产部水文地质工程地质司、科学技术司和教育司表示衷心的感谢。对给予热情支持和指导的国家科学技术委员会工业司、水利电力部长江流域规划办公室和水利水电规划设计院也表示衷心的感谢。同时,对许多长期友好协作的单位:长办三峡区勘测大队、湖北省水文地质工程地质大队、四川地矿局南江水文地质工程地质大队、国家地震局地质研究所和地震研究所、湖北省科委岩崩滑坡研究所、地质矿产部环境地质中心和成都水文地质工程地质中心等给予的巨大帮助,也在此表示感谢。没有上级领导的支持、关怀和各兄弟单位的协作、帮助,这项研究是不可能完成的。这项研究的开创者刘国昌教授对我们继续进行的工作也始终给予亲切的指导。我们也谨对刘老师表示衷心的感谢和致以亲切的问候。

目 录

序言	1
第一篇 长江三峡工程库首区地壳稳定性研究	
第一章 区域构造格架、深部构造与构造应力场的演化历史	4
第一节 区域构造格架与深部构造	4
一、区域构造格架	4
二、深部构造	6
第二节 三峡库首区的地质构造特征	12
一、北西西向构造体系	13
二、早期北北东向构造体系	14
三、晚期北北东向构造体系	15
四、关于北北西向断裂带	16
第三节 构造应力场演化的初步探讨	17
第二章 库首区断裂活动性研究	25
第一节 三峡地区新构造期地壳活动特征	25
一、夷平面	25
二、阶地	26
三、溶洞及岩溶地貌	28
第二节 三峡工程库首区几条主要断裂的活动特征	30
一、远安断裂	30
二、仙女山断裂	31
三、九湾溪断裂	32
第三节 断裂活动性的挥发性元素地球化学研究	33
一、断裂带挥发性元素地球化学异常的形成	33
二、工作方法	34
三、库首区几条断裂的地球化学异常特征及其活动性分析	38
第四节 关于香溪变形带和狮子口线性影象问题的讨论	48
一、香溪变形带	48
二、狮子口线性影象带	48
第三章 地震活动规律及地震危险性分析	50
第一节 地震活动规律概述	50
第二节 地震危险区的模拟实验研究	52
一、全息光弹实验的原理	52
二、地震危险区的模拟	58
三、地震危险区的圈定	61
第三节 地震危险性分析	72
一、潜在震源区的划分	72

二、各潜在震源区地震活动性参数的确定	73
三、地震烈度衰减规律的确定	76
四、地震发生的概率模型	76
第四章 三峡地区地壳稳定性分区与评价	80
第一节 区域地壳稳定性评价指标的确定及稳定性级别划分	80
第二节 区域地壳稳定性的模糊综合评价与分区	82
一、各指标隶属函数的确定	82
二、评价模型	83
三、权值的分配	87
四、三峡库首区区域地壳稳定性分区评价	88
五、结语	89

第二篇 水库诱发地震问题的分析与预测

第五章 三峡水库诱震可能性研究	93
第一节 水库地震问题综述	93
一、认识过程	93
二、认识水平	93
第二节 三峡水库能否诱震问题的讨论	97
一、水库能否诱震的预测方法	97
二、三峡水库诱震可能性的预测	99
第六章 三峡水库诱发地震危险性库段的预测	102
第一节 诱震危险库段的编图预测	102
一、编图的理论基础	102
二、诱发地震优势地带图的编制	103
三、三峡工程库首区诱发地震优势因素分析	103
四、三峡工程库首区诱发地震优势地带图	106
第二节 地震地质及模拟实验分析	106
第七章 三峡水库诱发地震发震强度的预测	108
第一节 水库地震发震强度的预测方法	108
一、古哈估算法	108
二、利用综合影响参数推算水库地震震级	108
三、模糊综合评判	109
四、利用贝叶斯方法预测	109
第二节 三峡水库诱发地震可能发震水平的预测	113
一、利用古哈估算法	113
二、利用综合影响参数推算	113
三、利用贝叶斯方法预测	113
四、利用模糊综合评判	114
基本结论	116
主要参考文献	119
英文摘要	121

Content

Preface	1
Part I :Crustal Stability Study for the Front Region of the Supposed Reservoir in the Three-Gorges Project	
Chapter 1. Abysmal Structures, Regional Tectonic Pattern and Evolution History of the Tectonic Stress Field in the Region	4
1.1 Regional Tectonic Pattern and Abysmal Structures.....	4
1.1.1 Regional Tectonic Pattern	4
1.1.2 Abysmal Structures.....	6
1.2 Geological Structure Features in the Front Region of the Supposed Reservoir.....	12
1.2.1 NW Tectonic System.....	13
1.2.2 Early NNE Tectonic System	14
1.2.3 Late NNE Tectonic System.....	15
1.2.4 NW Fault Zone.....	16
1.3 Preliminary Study of the Evolution History of the Tecto- nic Stress Field.....	17
Chapter 2. Activity Studies of the Faults in the Front Region of the Reservoir	25
2.1 Crustal Activity Features in the Three-Gorges Area in Neoid Period.....	25
2.1.1 Planation Surface	25
2.1.2 Terrace	26
2.1.3 Karst Cave and Karst Geomorphology	28
2.2 The Activity Features of the Several Main Faults in the Front Region of the Supposed Reservoir	30
2.2.1 Yuanan Fault	30
2.2.2 Xiannushan Fault.....	31
2.2.3 Jiuwanxi Fault	32
2.3 Fault Activity Study by the Geochemistry Analyses of the Volatile Elements.....	33
2.3.1 Formation of the Geochemistry Anomaly of the Volatile Elements in the Fault Zones	33
2.3.2 Operation Process	34
2.3.3 The Analyses of Geochemistry Features and Activities of the Se- veral Faults in the Front Region of the Reservoir.....	38
2.4 Discussion about the problems of Xiangxi Deformation Zone	

and Shizikou Linear Appearance	48
2.4.1 Xiangxi Deformation Zone	48
2.4.2 Shizikou Linear Appearance	48
Chapter 3. Activity Regularity and Risk Analyses of the Earth-	
quakes in the Region	50
3.1 General Description of Activity Regularity of the Earthqua-	
kes	50
3.2 Laboratory Simulation Study of Earthquake Risk Regions	52
3.2.1 Principles of Holographic Photo elastic Test.....	52
3.2.2 Simulation Test of Earthquake Risk Regions	58
3.2.3 Delineation of Earthquake Risk Regions.....	61
3.3 The Risk Analyses of the Earthquakes.....	72
3.3.1 Zoning of Potential Earthquake Focus Areas.....	72
3.3.2 Determination of Earthquake Activity Parameters in Various Poten-	
tial Earthquake Focus Areas	73
3.3.3 Determination of Attenuation Rule for Earthquake Intensity	76
3.3.4 Probability Model of Earthquake Occurrences.....	76
Chapter 4. Stability Zonation and Evaluation for the Regional	
Crust in the Three-Gorges Area.....	80
4.1 Determination of Stability Evaluation Parameters and Sta-	
bility Classification for the Regional Crust.....	80
4.2 Fuzzy Comprehensive Evaluation and Zoning for Regional	
Crustal Stability	82
4.2.1 Determination of the Related Function of Every Parameter.....	82
4.2.2 Evaluation Model	83
4.2.3 Distribution of Weight Values	87
4.2.4 Zonation and Evaluation of the Regional Crustal Stability in the	
Front Region of the Supposed Reservoir	88
4.2.5 Conclusion and Suggestion	89
Part II: Analyses and Prediction of Reservoir Induced Ear-	
thquake Problems	
Chapter 5. Possibility Study for Reservoir Induced Earthquake in	
The Three-Gorges Area.....	93
5.1 General Description of Reservoir Induced Earthquake Pro-	
blems	93
5.1.1 Process of Knowledge	93
5.1.2 Level of Knowledge	93
5.2 Discussion on the Problem of the Possibility of the Three-	
Gorges Reservoir Induced Earthquake	97
5.2.1 Method to Predict Whether the Reservoir Will Induce Earthquakes	97

5.2.2 Possibility Prediction of the Three-Gorges Reservoir Induced Earthquake	99
Chapter 6. Prediction of Risk Regions of the Three-Gorges Reservoir Induced Earthquakes	102
6.1 The Prediction by Mapping	102
6.1.1 Theoretical Fundament of Mapping	102
6.1.2 Mapping of Predominant Zones for Induced Earthquakes	103
6.1.3 Predominant Factor Analyses for Induced Earthquake in Front Region of the Three-Gorges Reservoir	103
6.1.4 Predominant Zone Map for Induced Earthquake in Front Region of the Three-Gorges Reservoir	106
6.2 Earthquake Geology and Laboratory Simulation Analyses	106
Chapter 7. Intensity Prediction of the Three-Gorges Reservoir Induced Earthquake	108
7.1 Intensity Prediction Methods of Reservoir Induced Earthquakes	108
7.1.1 Guher Estimation Method	108
7.1.2 Calculation of Reservoir Earthquake Magnitude By Means of Comprehensive Influential Parameters	108
7.1.3 Fuzzy Comprehensive Evaluation	109
7.1.4 Bayes Method	109
7.2 Prediction of the Possible Reservoir Induced Earthquake Magnitude for the Three-Gorges Reservoir	113
7.2.1 Prediction by Means of Guher Estimation Method	113
7.2.2 Calculation By Means of Comprehensive Influential Parameters	113
7.2.3 Prediction by Means of Bayes Method	113
7.2.4 Prediction by Fuzzy Comprehensive Evaluation	114
Basical Conclusion	116
Main References	119
Abstract in English	121

序 言

区域地壳稳定性,可理解为一定地区主要在地球内因(现代地壳升降活动、断层活动、火山活动、特别是地震活动)及人工诱发地震活动作用下地壳及其表层的相对稳定程度。对大型工程建设来说,查明区域地壳稳定性是前期工程地质勘查研究的一项重要工作。

三峡工程区域地壳稳定性的研究始于50年代后期。1958年,国家科委成立三峡组,下设地质大组,开始组织、协调全国规模的三峡地质研究工作。区域地壳稳定性被列为重点研究课题之一。早期开展的工作主要包括以下几个方面:原地质部三峡队、原水电部部长办三峡区指挥部(现三峡区勘测大队)和北京、长春地质学院等院校共同进行的库、坝区地质调查,开始研究库坝区地质构造、新构造运动和断层活动性等;中科院地球物理所(现国家地震局地球物理所)1959年在三峡地区设立我国第一个专用于工程建设的微震监测台网,开始地震监测;长办1954年开始进行的三峡及外围地区周期性精密水准测量,研究现代地壳形变特征;1959、1961年中科院地球物理所、地质所(现国家地震局地球物理所、地质所)等单位两次对结晶岩坝址区基本烈度进行的研究鉴定(都定为Ⅵ度)等等。

60年代后期至70年代,该课题研究继续进行。完成的工作主要是:60年代末国家地震部门组织的豫西、鄂西、湘西(“三西”)地震调查;武汉地震大队(现国家地震局武汉地震所)进行的三峡水库区地震地质调查研究。1972年以后,长办专门成立地震地质队负责该专题研究,接管地球物理所所设六个地震台站,进行了调整,并增设了两个台站;同时,对黄陵背斜周缘几条主要断层进行了专门性调查和开始设置断层形变观测网点,定点跨断裂测量其位移。这期间,还应用全国性重力、航磁成果资料对三峡地区深部构造进行了分析。1979年,湖北省地震局再次对三斗坪坝址基本烈度进行了复核,仍鉴定为Ⅵ度。

水库诱发地震问题的专门研究则大致始于1976年。武汉地震研究所、湖北省地震局、湖北省水文地质工程地质大队等单位先后相继开始研究这一问题。我院从1977年正式开始对库首区地壳稳定性和水库诱发地震这一课题进行研究。

进入80年代,特别是在1983年国家计委审查和原则通过三峡工程可行性研究报告,1985年国家计委、国家科委委托地质矿产部(以下简称地矿部)主持召开三峡工程地质问题讨论会以后,三峡科研工作进一步深入。80年代中期完成的主要工作有:地矿部遥感中心进行的水库区黑白和彩红外航空摄影、坝区及库首区侧视雷达及相应的地质解译和现场校核;地矿部航空物探大队进行的坝区大比例尺航磁探测;中科院进行的与地壳形变有关的库首地段地面重力测量;长办进行的坝址区300m深孔地应力测量和中科院地质所、地矿部环境地质中心等单位进行的黄陵地块周缘主要断层活动年龄的测定以及1984年武汉地震所对三斗坪坝址区基本烈度的复核等。最近两年开始并在继续进行的工作尚有:坝区及外围深部构造的人工地震测深和重磁探测;主要断裂活动性的综合研究;近坝区800m、500m深孔水压致裂法地应力测量和孔隙水压力、岩体渗透性测试;区域地形变和地震强化观测及坝址区地震危险性分析等。我们的研究工作也是协同这些项目进行和完成的。

据长办统计,三十多年来,全国先后有二十多个单位,数百名地质、地震、工程地质工作者参加了这课题的研究。其中包括许多著名的专家学者,如盛莘夫、李善邦、谷德振、姜达权、戴广秀和刘国昌、贾福海、徐煜坚、肖楠森、李元亮、胡海涛、李坪、刘广润、夏其发等,都作出过巨大贡献。

三十多年来,提交的调查研究报告和发表的论文总计 130 多份。除原地质部三峡队、水电部长办三峡区勘测大队(505工地指挥部)等勘查单位提交的各阶段勘查总结报告外,较有代表性的研究报告和论文有:

- 1956年,地质部长江地质队,长江三峡水库地质概况;
- 1959年,中科院地理所,长江三峡发育史研究;
- 1959年,中科院地质所,长江三峡地区新构造调查初步报告;
- 1959年,中科院地球物理所,长江三峡水利工程地震活动性问题;
- 1960年,中科院地质所,从区域构造讨论坝区稳定问题;
- 1960年,中科院地理所,三峡坝区区域构造背景及新构造运动发育趋势的探讨;
- 1961年,长春地质学院,三峡水利枢纽三斗坪坝段水文地质研究报告;
- 1963年,中科院地球物理所,三峡地区地震活动性观测报告;
- 1970年,中南地震大队,豫西、鄂西、湘西地震区划丹江、三峡地区断裂构造研究小结;
- 1974年,地质部物探909队,长江三峡地区航空磁测结果报告;
- 1975年,湖北省水文工程地质大队,黄陵背斜西南缘几条主要断层的力学特性及其对评价区域稳定性的意义;
- 1976年,长办 505 工地地震地质队,九湾溪断层调查及其激发水库地震问题的讨论;
- 1977年,长办505工地地震地质队,黄陵背斜西南缘几条主要断层的力学特征及活动性对长江三峡水利枢纽稳定性问题的初步探讨;
- 1977年,武汉地震大队,论鄂西南地震地质条件;
- 1979年,长办505工地,长江三峡水利枢纽地震地质条件及地壳稳定性分析;
- 1979年,武汉地震研究所,峡东地区地震活动及地震活动强度的探讨;
- 1979年,长春地质学院,长江三峡坝区区域稳定性;
- 1980年,长办505工地,长江三峡黄陵地区地质构造及区域稳定性初步认识;
- 1981年,武汉地震研究所,长江峡东地区地震构造浅析;
- 1981年,武汉地震研究所,长江三峡库首区地震地质环境与水库诱发地震问题;
- 1983年,长办三峡勘测大队,长江三峡水利枢纽区域稳定性初步分析;
- 1983年,地科院地质力学所,长江三峡仙女山地区构造稳定性概述;
- 1985年,长办三峡勘测九队,长江三峡水利枢纽区域稳定性研究报告;
- 1985年,地矿部遥感中心,三峡遥感信息与坝区稳定性评价;
- 1985年,地科院地质力学所,长江三峡水利枢纽区域地壳稳定性及水库诱发地震问题的探讨;
- 1985年,水科院抗震所,关于长江三峡水利枢纽工程水库诱发地震的初步看法和今后工作意见;

1986年,中科院测地所,三峡(库首区)重力场研究报告;

1986年,水科院抗震所、长办三峡勘测大队,长江三峡水利枢纽工程水库诱发地震危险性初步评价报告;

1986年,长春地质学院,长江三峡库首区诱发地震的环境工程地质研究;

1987年,中科院地质所,长江三峡及邻区深断裂及地壳稳定性;

1987年,武汉地震所,三峡水库诱发地震的总结环境组合条件;

1987年,武汉地震所,三峡坝库区构造应力场、水压场与水库诱发地震。

可以看出,通过三十多年的调查研究,三峡工程在区域地质构造、地壳结构、深部构造、新构造运动、断层活动、地震活动和区域水文地质工程地质等方面获得的资料是全面的、丰富的、也是较可靠的。关于区域地壳稳定性和水库诱发地震问题的认识也越来越深入和全面。1965年,原地质部三峡队在《长江三峡水利枢纽初步设计阶段工程地质勘查中间性总结报告》中曾综合各单位研究资料得出如下基本结论:三峡工程所在鄂西山地的,新构造运动的特点是面积、整体式掀斜隆升,差异性运动不明显,地震活动不强烈,坝址区没有发现活动性断层,库、坝区地壳是稳定或基本稳定的。三斗坪坝址区基本烈度为Ⅵ度。而对水库诱发地震问题,许多研究单位在70年代后期即认为,从区域地震地质、水文地质条件和三峡工程规模分析,不能排除发生水库地震的可能性,应进一步进行研究。

1985年8月,由国家计委、国家科委委托地矿部主持召开的三峡工程地质问题讨论会曾着重讨论坝区稳定性、水库诱发地震、库岸稳定性和矿产资源开发利用与矿产淹没损失四个问题,交流了最新研究成果资料,初步制订了国家科委“七五”攻关课题。此后,即逐步落实和组织力量深入研究这些课题。如上所述,研究工作正在继续进行,有的并已取得初步成果。同时,1986—1988年期间,水电部又组织力量重新进行三峡工程的可行性论证。在地质地震专题论证中重点论证的也是区域及坝区地壳稳定性、水库诱发地震和库岸稳定性三个问题。地质地震专题论证专家组汇总最新研究成果,于1987年末编写了论证报告。其中,关于区域地壳稳定性的评价是:三斗坪坝区位于相对稳定的古老结晶岩地块内,没有发生中强地震的地质背景,具有较高的稳定性和安全度。国家地质部门1979年12月再次复核坝址区基本烈度为Ⅵ度是合适的。可以看出,尽管这二十多年来发现了许多新的情况,取得了许多新的资料,现今评价和1965年原地质部三峡队的有关结论基本是一致的。关于水库诱发地震问题的预测也有较明确的结论:除石灰岩库段可能发生岩溶型小震外,庙河—白帝城库段因有秭归—渔洋关、兴山—黔江两个构造地震带穿越,有发生较强水库地震的可能,估计最高震级为5.5级左右。白帝城以上川江库段,因主要由中生代砂页岩构成,发生水库诱发地震的可能性甚小。总的结论认为:“地震危险性和水库诱发地震问题不影响三峡工程宏观决策,也不影响水位“选择”。应该说,论证的资料依据是较充分和较可靠的。结论也较明确,具有较高的可信度。我们作为参加工作单位对此结论是赞同的。我们进行的工作,除了为分析、验证区域构造、区域构造应力场、断层活动性提供了地质观测、现场测试、室内模拟试验等新的研究资料外,同时运用了一些新的测试方法、技术和数学模型,研究、评价了地壳稳定性和预测水库诱发地震可能发生的库段及强度,使其向半定量或定量化方向发展推进了一步。

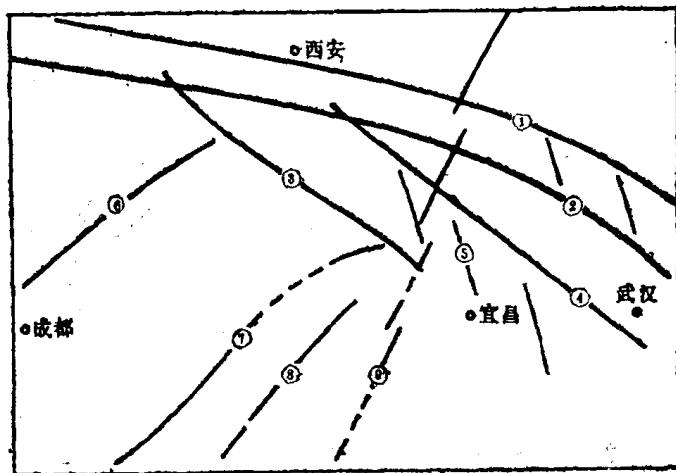
第一篇 长江三峡工程库首 区地壳稳定性研究

第一章 区域构造格架、深部构造 与构造应力场的演化历史

第一节 区域构造格架与深部构造

一、区域构造格架

三峡地区的区域性构造格架由几个构造体系构成。在空间展布上，它们交织成网，构成复杂的构造格局。在时间上，不同构造体系形成于不同时间，区域构造应力场经历了长期发展演化历史。特别是后期构造应力场对先存构造的改造和利用，使各构造体系的组成部分发生了显著的演变。那些被改造的部分，已改变了它们的原来面貌。对它们的归属，存在不同的看法。尽管如此，一些主要的构造事实大家还是公认的^[1]。现将它们简述如下。



I—1 三峡及邻近地区构造格架简图

①和②—东西向秦岭构造带东延部分走向变为北西西；③和④—分别为安康断裂和襄樊—广济断裂；⑤—为局部北北西向构造；⑥—龙门山断裂；⑦和⑧—早期新华夏系断裂带（齐岳山断裂带和建始断裂带）；⑨—晚期新华夏系秭归—榕江断裂带

Fig. 1—1 Schematic structural map of the Three-Gorges and nearby area

(1) 秦岭东西向构造带 它是本区北邻的最巨大的构造带。这个构造带由秦岭向东延伸部分走向变为北西西。从构造形态特征来看,早期主要为压性断裂带,并伴有强烈褶皱作用和动力变质作用。这个构造带开始活动的时间可能在晚元古代,之后又经过海西、印支、燕山和喜山构造运动的改造,力学性质和活动方式曾多次演变;晚期则以扭性为主,并切过早期的挤压带。活动方式的演变主要由后期各构造体系应力场作用而引起。如在华夏和新华夏系应力场作用下,它发生了显著的顺时针扭动。其表现有二:第一,新华夏系的多字型盆地在东西向构造带两侧南边的部分相对北边的部分发生了顺时针扭错;第二,华夏系和早期新华夏系在东西向构造带两侧走向转为北东或北东东。在本区还有一种特殊情况,除发生顺时针扭动的演变外,还发生过反时针扭动,特别是走向北西西的秦岭东延部分,在晚期新华夏系应力场的作用下借用为一组扭面,使其反时针扭动。由于这种反时针扭动而派生出一系列走向北北西向的局部构造^[2]。如图 I—1 中 断裂①和②之间的北北西向次一级构造。

(2) 北西西向构造带 是本区北部地区发育的第二个构造带,位于秦岭东西向构造带的南侧,大体与祁连山构造带延伸的方向一致。在它们和秦岭东西向构造带交汇的部位具穿切关系。尽管秦岭东西带东延部分走向也是北西西,但它们之间的走向还有很大的差别。特别是向南东延伸的部分超过淮阳山字型构造前弧,而向北西延伸的部分与东西向构造带斜接,实际上是一套独立的构造系统。可能它的一部分被淮阳山字型构造所利用。如图 I—1 中 断裂③和④。

北西西向构造带主要是由一系列的挤压带构成的,其中包括强烈褶皱和规模巨大的断裂。同时,伴有动力变质作用,形成走向北西西的动力变质带^[3],与祁连山北西西向构造带相连^[4,5]。这个独立的构造系统暂称为北西西向构造体系。它形成的时代较早,在古生代末期有强烈的活动,中、新生代以来发生了明显的演变。它被晚期华夏系列构造多次改造,特别是新华夏系利用了北西西向的先存断裂,使它们发生反时针的扭动,并在北西西向构造带中利用原来走向北北西的一组扭面使其叠加了局部挤压特征。见图 I—1 中 ⑤。北西西向断裂带构成了三峡地区一种特殊的边界条件,对本区现今活动断裂的活动规律具有控制作用。

(3) 华夏系列构造体系 它们在本区极为发育,其中包括走向北东向的华夏系和走向北北东向的新华夏系。规模较大的华夏系构造在西部邻区龙门山一带极为发育。见图 I—1 中 ⑥。北北东向构造被划分为两套,分别称为早期新华夏系和晚期新华夏系。它们都是燕山期以来形成的构造体系。北东向构造体系略早,发生在印支期。北北东向构造体系较晚,发生在燕山期。而其最新构造成分发生在晚近期,近年来被称为近华夏系,而列在早期、晚期新华夏系之后。它和中国东部地震的关系极为密切。早期新华夏系的走向北偏东的角度较大。特别是走向北北东的褶皱和挤压断裂带,在其两端和东西向构造相遇的部位,它们的走向转为北东和北东东,具有明显的“S”型的特点^[6],见图 I—1 中 ⑦和⑧。

晚期新华夏系的走向,北偏东的角度较小,构造变形以断裂为主,走向北北东的压性兼扭性断裂经常是以小角度的雁行或断续排列。如经过本区的秭归—榕江断裂带,在卫片上清楚地显示出这种特点^[7]。

晚期新华夏系的隆起带和沉降带在中国东部的发展过程可以继续到新生代,现存的构造特征是综合演化的结果,见图 I—1 中 ⑨。

华夏系列构造演变的特点是早期依次被改造。北东向的压性面在北北东向构造体系应力场的作用下发生顺扭,北偏东角度较大的早期新华夏系压性面,在晚期北北东向北偏东角度较小的主压应力场作用下也发生顺扭。同理,在近华夏应力场作用下,北东和北北东先存的断面都将发生顺扭。如果东西向、北东向和北北东向三组断裂,在晚近期应力场的作用下同步顺扭,则形成以三组断裂为边界的断陷盆地,在中国东部地区一级多字型盆地和二级断陷槽地都具有这种特征^[8]。它们都是晚近期乃至现今形成的;在三峡地区的断陷盆地也主要是晚近期在近华夏系应力场作用下形成的。

(4) 淮阳山字型构造 是展布在长江中下游地区的一个巨型构造体系。本区所涉及的仅是其西翼反射弧及其脊柱部分。组成西翼反射弧的构造主要为荆门褶皱束和南大巴山弧的一部分。构造线在襄樊、南漳一带为北西西向,至保康、神农架一带转为东西向。向西在鄂、川、陕交界处为北东东向,与大巴山弧重接或斜接复合。前弧以青峰断裂为界,整个反射弧顶由一套向南倒转的紧密褶皱和压性断裂组成。反射弧的脊柱是黄陵背斜,为一轴向近南北的短轴背斜。核部为前震旦系变质岩及岩浆岩,翼部为震旦系—古生界沉积盖层所组成。东西两侧为平缓开阔的当阳、秭归盆地,构成反射弧马蹄形盾地。东侧盾地内有远安,南漳—荆门等一系列北北西向断裂。

该构造经历了漫长的地质发展时期。它的某些构造成分可能在加里东期之前就有了雏形。中晚三叠纪以来,黄陵地区开始隆起,形成背斜雏形。其东西两侧的秭归盆地和当阳盆地相对沉降,接受侏罗系沉积。侏罗纪末期的燕山运动使其继续发展,加强而定型,使侏罗纪及其以前沉积岩层均发生强烈的褶皱和断裂活动,成为目前的状态。

(5) 大巴山弧形构造 该构造发育于川、陕、鄂三省接壤地带。构造形迹主要由一系列弧形褶皱和逆冲断裂组成,构成整个大巴山脉,总体呈向南凸出的弧形。震旦系至侏罗系地层全被卷入。在北西侧,早元古代酸性岩和基性、超基性杂岩及下古生界均呈北东向展布。弧形带内的下古生界至侏罗系地层组成近南北向紧密挤压的束状、羽状褶皱群,西段形迹较强,东段形迹较弱。该构造具有向南东撒开,向北西收敛的趋势。这种现象的出现,有可能是大巴山东侧受淮阳山字型构造西翼反射弧影响所致。此构造有与淮阳山字型构造大致相同的发展演化历史。

二、深部构造

1. 重力异常与地壳结构

布格重力异常所反映的是大地水准面以下,补偿基准面以上岩石圈质量的盈亏。莫霍面以下的岩石圈是由密度高,粘性大的物质组成的上地幔,其上为低密度的地壳。由于断裂切割或构造形变使地壳各层物质产生位错、破裂、倾斜和起伏等。因此,大区域布格重力异常带及梯度带可用来推测地壳深部结构。梯度带是断裂构造的反映^[9,10]。

纵贯我国东部的巨型重力梯度带沿三峡地区东部穿过(图 I—2●),其西部以保康以西,秭归、鹤丰、来凤、西阳为界;东界为襄樊、当阳、宜都、慈利、沅陵一线,宽度为70—150km,呈北东到北北东向展布。最大梯度值为1.1mGal/km,自东侧的—35mGal减小到西侧的—105mGal;相应莫霍面埋深自37km增加到41km(图 I—3),莫霍面最大坡角为西倾3.3°左右。该梯度带在华北经太行山前,梯度值很高,沿梯度带有切割莫霍面的

● 长办三峡大队地震队,长江三峡及其周缘地区区域重力场特征和深部构造,1983。

深断裂。在本区的梯度较华北平缓。在华北地区，莫霍面表现为沿深断裂的差异性升降。越过秦岭纬向构造带以后，受其阻隔，莫霍面过渡为向西缓倾伏状，深部不存在与梯度带相对应的深大断裂。梯度带东部的江汉平原地区，重力异常值高，但变化不大，自 -40 — -10mGal ；相应的莫霍面埋深浅，自 34.5 到 37km ，总体向西缓倾。在岳阳—沔阳—应山一线，存在一个莫霍的隆起带，常德附近也有一个局部隆起，是本区地壳厚度最小的地区。

梯度带西侧的鄂西高原地区重力异常值很低，地壳厚度大。以长江为界，南北西侧稍有不同。长江以南地区异常变化极为平缓，自 -120 — -105mGal ，地壳厚度自 41.50 — 42.3km ，异常带宽阔，呈北东向展布。在石柱—利川一带有一局部隆起，其东南侧相对凹陷。长江以北的重力梯度稍高，变化大，自 -145 — -115mGal ，重力异常等值线呈宽缓的椭圆形展布，轴向为南东向。莫霍面埋深，自南侧及东侧向北西加大，由 42km 增加到 44km 。

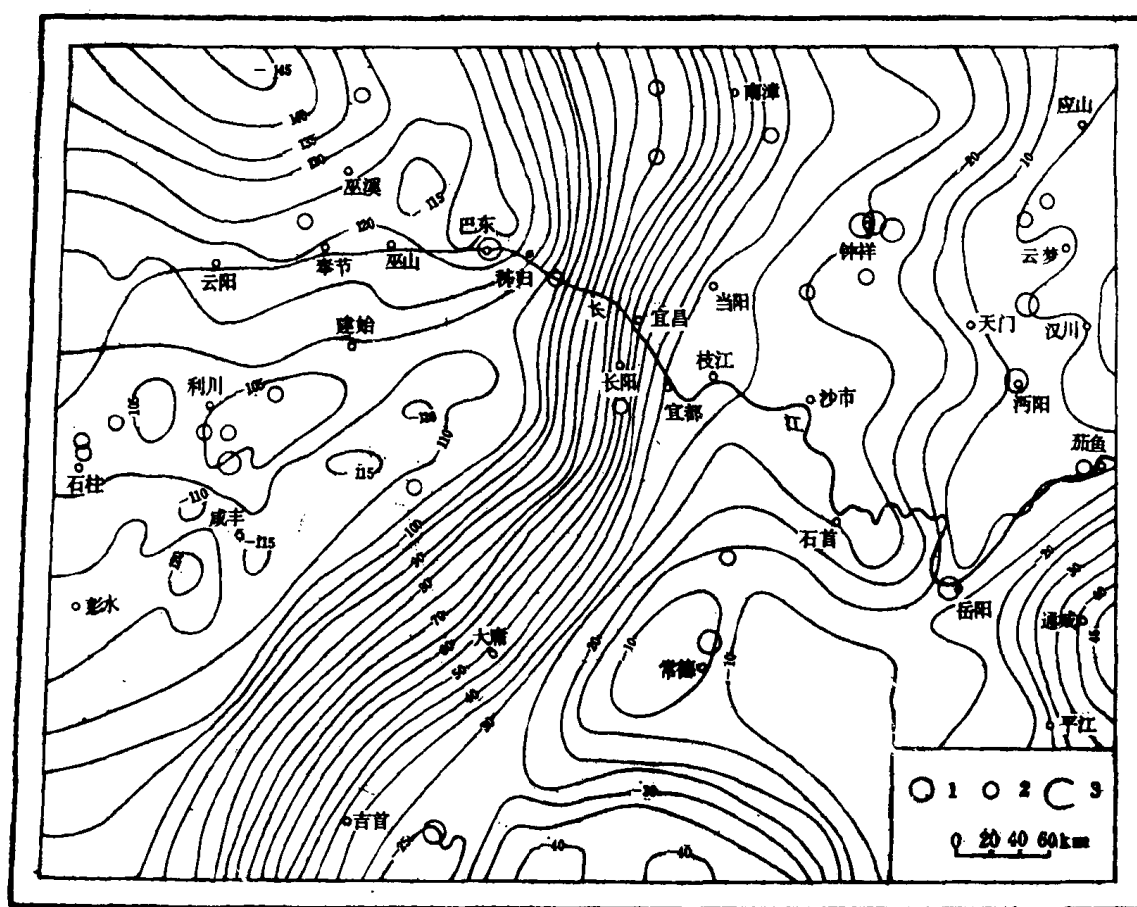


图 1-2 三峡地区重力异常等值线图

1—5级地震震中；2—3至5级地震震中；3—重力异常等值线

Fig. 1-2 Isomagnetic line of bouguer gravity anomaly in Three-Gorges area

上述表明，本区自莫霍面以上的一级结构单元（地壳）结构也较完整，无深断裂切割和破碎现象。莫霍面连续、完整，重力梯度带与地表断裂构造的展布无明显的相关性，一些强震也不在梯度带上。地壳厚度不均，自东部江汉平原到鄂西山地，地壳由薄变厚，莫霍面由东向西缓倾，中部倾伏大，两侧平缓，构成两个不同深度的台面。莫霍面局部隆起和转折的部位是孕育强震的场所。历史上5级及5级以上的地震多发生于这些部位，如1630