

清江流域地壳 稳定性工程 地质研究

中国地质大学

博士论文丛书 (5)

吴树仁著



中国地质大学出版社

吴树仁

PDG

中国地质大学校友奖励基金资助

清江流域地壳稳定性 工程地质研究

吴树仁 著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书在地质调查的基础上,运用动态的、发展演化的观点和多学科的理论方法,以构造稳定性研究为重点,研究区域构造发展演化规律、构造应力场的演化趋势和地质灾害程度在地壳稳定性评价过程中的作用。将构造地质与工程地质相结合、定性分析与定量计算相结合,详细论述了清江流域的区域地质背景、构造应力场、新构造活动、现今构造活动、地质灾害和工程地质条件,进而采用多层次、多种计算模型评价地壳稳定性。在空间上,分为区域和流域地壳稳定性评价两个层次;在内容上,分为构造稳定性和地面稳定性两个层次;在方法上,采用模糊数学综合评判和信息量计算两种模型。这种多层次分析与多模型计算相结合,相互交叉、验证补充的方法,提高了研究精度和可信度;在理论和方法上丰富了区域工程地质学的内容;在实践上,为清江流域大型水利枢纽规划和建设、合理开发利用水资源提供了重要的科学依据。

本书可供从事构造地质、区域工程地质和灾害地质等专业的生产、教学和科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

清江流域地壳稳定性工程地质研究/吴树仁著. —武汉:中国地质大学出版社,1995.5
ISBN 7-5625-1002-4

- I. 清…
- II. 吴…
- III. 清江流域-地壳稳定性-工程地质
- IV. P 642.2

出版发行 中国地质大学出版社 (武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 刘士东 责任校对 胡义珍

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 9.125 字数 240 千字 图版 2

1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月第 1 次印刷 印数 1—500 册

定价: 12.00 元

前言

区域地壳稳定性研究是工程地质学众多分支学科中与构造地质学关系较为密切的交叉学科之一,其研究内容既包括区域工程地质学的内涵,也涉及到新构造运动、现今地壳活动性和区域地质灾害研究的理论和方法。本书以地壳稳定性工程地质研究命名,主要是强调区域地壳稳定性研究的学科属性和工程地质意义。

清江流域地壳稳定性评价是清江干流梯级水电枢纽规划和建设所必须进行的区域工程地质研究和区域环境质量评价的重要组成部分;也是清江流域自然资源区划和区域经济发展规划所必须考虑的重要依据之一。清江发源于鄂西山区利川、恩施一带,从西向东流经巴东至长阳的宜都汇入长江,全长约 400km,大致与长江三峡河段平行(图 0-1),位于长江中游暴雨区,多年平均降雨量 1400mm/a,平均流量 440m³/s。清江干流径流量 135×10⁸m³/a,水资源理论蓄能达 25×10⁵kW,沿岸风景独特、秀丽,可与三峡媲美,只是由于交通不便,才未引起人们的重视。

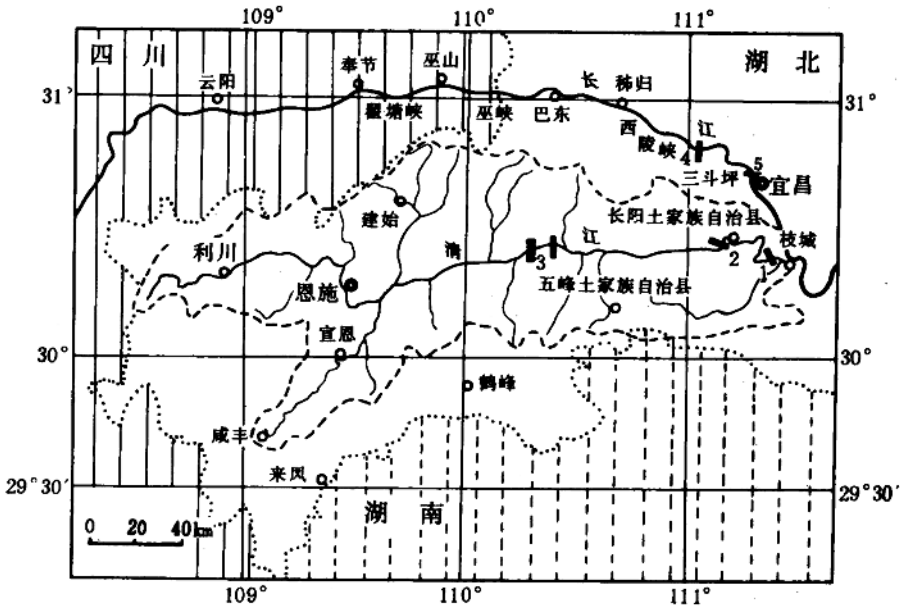


图 0-1 清江流域分布图

1. 高坝州拟建水电枢纽; 2. 隔河岩水电枢纽; 3. 水布垭、半峡比选坝址; 4. 长江三峡水电枢纽; 5. 葛洲坝水电枢纽

建国以来,湖北省政府和长江水利委员会一直在规划、勘查开发清江的水利枢纽建设。到了改革开放的 80 年代,随着现代化经济建设的飞速发展,以清江梯级水利枢纽建设为主体,合理开发利用清江流域自然资源,带动鄂西山区人民脱贫致富的区域规划,才被提到议事日程上来。于是清江开发总公司应运而生,担负起开发清江的历史重任。目前清江流域的 3 级

水电站规划已赋予实施。其中的骨干工程之一,清江下游隔河岩水利枢纽(设计坝高151m,总库容 $34\times 10^8\text{m}^3$,总装机容量 $12\times 10^5\text{kW}$),已于1993年完成第一期工程,1993年6月第一台机组正式并网发电;位于清江下游河口约8km处的高坝州水电站也处于即将动工兴建阶段;而另一重大水电工程——位于清江中上游的水布垭水利枢纽,也已进入对水布垭坝址和半峡坝址的最后比选论证阶段。总之随着清江干流大型水电工程建设的全面展开,迫切需要区域地壳稳定性研究方面的资料。正是在这种情况下,作者受长江水利委员会三峡区勘测大队委托,承担“清江流域地壳稳定性综合研究”科研项目,同时确定结合该项目做博士论文。因此这本专著是博士论文和该项目研究的共同成果。

清江流域和长江三峡的工程地质勘查工作进行了几十年,积累了丰富的资料。本书在广泛借鉴前人工作成果、特别是长江水利委员会勘测局和三峡勘测研究院前期资料的基础上,以作者近4年来在这一地区的工作为主体,运用系统工程的研究思路,以构造稳定性研究评价为重点,突出构造发展演化规律、构造应力场的演化趋势和地质灾害程度分析在地壳稳定性评价过程中的作用,将构造地质与工程地质相结合,定性分析与定量计算评价相结合,围绕清江流域大型梯级水利枢纽规划和建设中的地壳稳定性问题,进行大量卓有成效的研究工作,主要内容包括以下几方面:

1. 根据区域地壳稳定性分析和清江干流工程建设区地壳稳定性评价的需要,应考虑工程外围一定区域内构造环境和地震活动的影响。因此本书分析讨论及编图分为清江流域区域和清江干流工程区两个层次。其中区域范围以清江干流为中轴区,包括北纬 $28^{\circ}30'$ ~ 32° ,东经 108° ~ 113° ,面积约为 $17.5\times 10^4\text{km}^2$;清江干流工程区范围为北纬 $29^{\circ}50'$ ~ $30^{\circ}40'$,东经 109° ~ $113^{\circ}30'$,面积约为 $2.4\times 10^4\text{km}^2$ 。以区域范围作为背景分析,只进行构造稳定性评价,而在干流工程区则进行构造稳定性和地面稳定性两个层次的研究评价。

2. 在分析区域地质背景、深部构造和构造格架及其主要断层变形特征的基础上,重点解析清江干流工程区的仙女山断层、天阳坪断层、松园坪断层和龙王冲断层的变形结构、几何学、运动学和动力学特征。运用宏观与微观构造研究相结合的方法,分析其变形机制和环境,探讨区域构造演化序列,为区域构造应力场和现今构造活动性分析提供背景资料。

3. 构造应力场的定量反演和模拟计算,是地壳稳定性评价的关键依据之一。因此,本书利用多种方法较系统地定量反演中、新生代区域构造应力场,包括燕山主期、喜马拉雅主期和现今构造应力场,并结合有限元模拟计算,探讨应力场的区域分布规律和演化趋势,为区域新构造活动分析提供若干重要的动力学资料。

4. 由于现今构造活动性分析在地壳稳定性评价中具有至关重要的地位。因此,区域新构造活动研究分为新构造活动性和现今构造活动性两个层次。在新构造活动性研究中强调其基本特征、组合样式和变形方式;而在现今构造活动性分析过程中则强调其活动方式、强度和致灾程度。同时探讨两者的演化关系及发展趋势。

5. 进行地质灾害分析,将内动力地质灾害(地震和断层活动)与外动力地质灾害(滑坡、岩溶塌陷以及水库地震等灾害)的研究统一到地壳稳定性研究范畴。在大范围的相对稳定地块中,结合致灾程度分析和多种定性、定量指标的综合评判,圈出稳定性相对较差的地段,为地壳稳定性的分级、分区预测评价提供依据。

6. 地面稳定性工程地质研究,主要包括清江流域岩体稳定性、边坡稳定性和主要水利枢纽建设场地的稳定性条件分析。重点分析各坝址区的工程地质条件,为清江干流工程区地壳稳定性多层次预测评价提供资料。

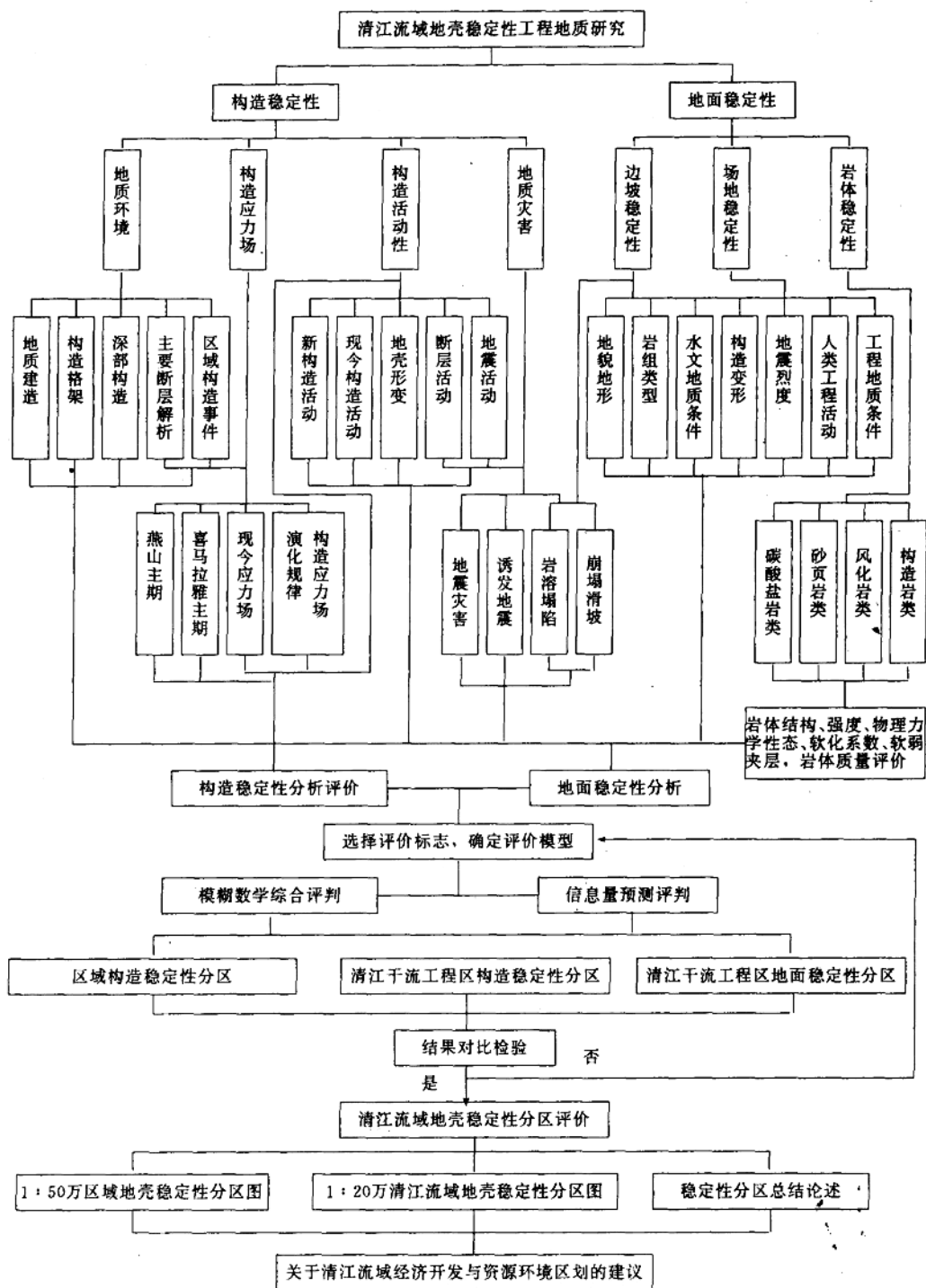


图 0-2 清江流域地壳稳定性工程地质研究流程图

7. 用系统论的观点, 综合分析上述内、外动力诸因素对地壳稳定性的影响程度, 筛选主要因素, 作为半定量一定量计算评价地壳稳定性的参数, 分别采用模糊数学综合评判模型和信息量预测模型, 对区域地壳稳定性进行多层次预测、评价和分区, 并通过两种评价模型的对比分析, 检验其分区、分段的可靠性, 进而论述不同层次地壳稳定程度的差异和区别, 为清江干流大型水电建设的科学规划、合理整治和开发利用自然资源、保证工程建筑物的安全及最大的经济效益提供科学依据。其研究流程概括如图 0-2。

8. 概要探讨清江流域地壳稳定性条件与区域资源、环境区划的关系, 试图将区域工程地质研究与区域资源环境区划或区域经济建设区划研究相结合。这是学科外延发展的需要, 也是时代的要求。这里仅起抛砖引玉的作用, 还有许多工作要做, 因此是作者今后一段时期的主攻方向。

9. 本书与国内外同类研究相比, 具有下述特点:

(1) 用发展演化的观点预测评价地壳稳定程度。大型水电工程建设使用周期一般为 100~200a, 必须用动态的观点分析各地质事件和灾害事件的联系和演化过程, 进而评价现今地壳稳定性, 预测未来同一地区地壳稳定程度的发展变异趋势。例如在强调现今应力场和现今构造活动性分析的同时, 注重燕山晚期以来应力场的演化规律和新构造运动以来的演化趋势分析。

(2) 强调地质灾害与地壳稳定性评价的内在联系。地壳稳定与否最主要的标准就是地质灾害的程度如何。因此本书始终将现今应力场和构造活动性研究分析与致灾程度相联系, 进而考虑其对地壳稳定状态的贡献。

(3) 用多层次定性分析和多种计算模型预测评价同一地区的地壳稳定性在国内尚不多见。作者在多年的构造应力场定量反演研究过程中, 体会到利用多种手段相互补充验证, 可取得较好的效果。因此将此法应用到地壳稳定性研究领域, 以期丰富完善地壳稳定性研究方法和增强地壳稳定性预测评价的可靠性。

(4) 将区域地壳稳定性研究与区域资源环境规划相联系, 探讨清江流域资源开发过程中应注意的若干环境问题。

10. 需要强调说明的是, 区域地壳稳定性工程地质研究是系统性、综合性很强的研究课题, 既涉及到多学科的基础理论, 又是实用性很强、具有重大社会效益和环境效益的研究领域。限于作者水平, 难免存在这样或那样的错误, 敬请同行学者批评指正。

本书在著述过程中始终得到导师晏同珍教授、孙叶教授的精心指导, 同时得到长江水利委员会三峡勘测研究院的经费资助, 以及徐瑞春总工、梅应堂院长的热情支持和帮助, 在此表示衷心的感谢! 长江水利委员会勘测局袁登维高工、姜本鸿、陈隆兴、喻可忠等同志和清江地质队各位同行及课题组成员: 石玲、刘子忠、简文星、李珍、谭成轩等人为本项研究提供资料和帮助; 全国不同单位、不同学科近 30 位知名专家: 如孙殿卿院士、陈庆宣院士、王思敬、崔政权、徐瑞春、王恭先、郭见扬、朱瑞赓、刘玉海、吴淦国、杨巍然、索书田教授等为论文撰写了详细评议意见, 他们对博士论文的高度评价和鼓励是本书顺利出版的关键, 中国地质大学出版社有关同志为本书的出版给予大力支持, 在此一并致谢。

作者 吴树仁
1995 年 1 月 30 日

目 录

第一章 地质环境	(1)
第一节 区域地质构造背景	(1)
一、区域地质建造概况	(1)
二、区域构造分析	(2)
第二节 深部构造特征	(14)
一、区域重力场特征	(14)
二、地壳层圈结构特征	(16)
三、深断层展布格架	(17)
第三节 区域构造演化序列	(21)
一、晋宁期——基底形成阶段 (D_1)	(21)
二、加里东—海西期——盖层形成阶段 (D_2)	(21)
三、印支期——地壳隆坳阶段 (D_3)	(21)
四、燕山期——盖层构造格架形成阶段 (D_4 、 D_5)	(21)
五、喜马拉雅主期——挤压变形阶段 (D_6)	(22)
六、新构造活动期——地壳间歇式隆坳阶段 (D_7)	(22)
第二章 区域构造应力场研究	(23)
第一节 区域构造应力场的分析原则和方法	(23)
一、脆性——小变形理论分析法	(23)
二、多种方法相互补充验证	(23)
三、构造应力场期次划分	(23)
四、有限元模拟计算	(24)
第二节 燕山主期构造应力场	(24)
一、应力方向的确定	(24)
二、古应力值的定量估算	(28)
三、燕山主期实测构造应力场信息图解	(30)
四、有限元模拟计算	(30)
五、燕山主期构造应力场的基本特征	(32)
第三节 喜马拉雅主期构造应力场	(34)
一、地质分析	(34)
二、有限元模拟计算	(34)
三、喜马拉雅主期构造应力场的基本特征	(40)
第四节 现今构造应力场	(40)
一、现代水系统统计分析	(40)
二、地壳形变测量	(40)
三、震源机制解	(40)
四、现今地应力测量	(42)

五、数字模拟	(42)
六、现今构造应力场的基本特征	(43)
第五节 区域构造应力场演化规律探讨	(44)
第三章 新构造活动及现今构造活动性分析	(46)
第一节 新构造活动的基本特征	(46)
一、新构造活动的主要标志	(46)
二、新构造活动的方式和特点	(50)
三、新构造活动强度	(52)
四、新构造应力场分析	(53)
第二节 主要断层活动性	(53)
一、近 E-W 向断层组	(53)
二、NW 向断层组	(58)
三、NNE 向断层组	(60)
第三节 现今构造活动特征	(62)
一、区域地壳形变	(62)
二、活动断层	(63)
三、区域地震活动特征	(66)
四、现今构造活动差异及分区	(69)
第四章 主要地质灾害分析	(72)
第一节 地震灾害评价	(72)
一、地震宏观影响场	(72)
二、潜在震源区划分	(73)
三、地震活动性参数的确定	(77)
四、地震危险性概率分析	(78)
第二节 水库诱发地震评述	(82)
一、概述	(82)
二、隔河岩水库诱发地震分析	(82)
三、半峡水库诱发地震的危险性概述	(84)
第三节 外动力地质灾害概述	(88)
一、清江流域滑坡灾害空间分布规律	(88)
二、其他地质灾害概述	(92)
第五章 区域地面稳定性工程地质研究	(93)
第一节 区域地貌概述	(93)
一、区域地貌格架	(93)
二、层状地貌	(93)
三、峡谷、陡崖地形	(93)
第二节 岩体稳定性工程地质研究	(94)
一、碳酸盐岩类	(94)
二、砂、页岩类	(96)
三、风化岩类	(97)

四、构造岩类	(97)
第三节 水文地质条件	(97)
一、地下水类型及其特征	(97)
二、岩溶发育特征及其分布规律概述	(98)
第四节 清江干流水利枢纽建设场地工程地质条件	(100)
一、水布垭坝址区	(100)
二、半峡坝址工程地质条件	(102)
三、隔河岩坝址工程地质条件概述	(104)
第六章 清江流域地壳稳定性评价与分区	(107)
第一节 地壳稳定性评价的基本原则和方法	(107)
一、地壳稳定性评价的主要思路与方法	(107)
二、地壳稳定性评价的主要因素	(107)
三、地壳稳定性评价等级和分区的基本原则	(108)
第二节 区域地壳稳定性综合评价与分区	(109)
一、区域地壳稳定性综合分析	(109)
二、区域稳定性模糊数学综合评判	(111)
三、区域地壳稳定性信息量预测	(112)
四、区域地壳稳定性分区及其综合说明	(114)
第三节 清江流域水利工程区地壳稳定性评价与分区	(115)
一、清江流域地壳稳定性模糊数学综合评判	(117)
二、清江流域地壳稳定性信息量计算	(120)
三、清江流域地壳稳定性分区及其综合说明	(120)
第四节 清江流域地壳稳定性评价与资源环境区划	(122)
一、清江流域地壳稳定性评价的若干结论	(126)
二、清江流域地壳稳定性评价与资源环境区划	(128)
主要参考文献	(129)
英文摘要	(131)
图版说明	(133)

CONTENTS

Chapter 1 Geological environment	(1)
1.1 Regional geological structure setting	(1)
1.1.1 Regional geological formation	(1)
1.1.2 Regional structure analysis	(2)
1.2 Deep structure features	(14)
1.2.1 Regional gravity anomaly	(14)
1.2.2 Crustal layer structure	(16)
1.2.3 Distributive outline of faults	(17)
1.3 Tectonic evolution sequence	(21)
1.3.1 The Jinning phase—basement formation (D_1)	(21)
1.3.2 The Caledonian—Hercynian phase—mantle formation (D_2)	(21)
1.3.3 The Indosinian phase—crust uplift and depression (D_3)	(21)
1.3.4 The Yanshanian phase—structure outline formation in mantle (D_4, D_5)	(21)
1.3.5 The main Himalayan phase—compression deformation (D_6)	(22)
1.3.6 The Neotectonic phase—crust intermittent uplift and depression (D_7)	(22)
Chapter 2 A study on regional structure stress fields	(23)
2.1 The analysis principles and methods of regional structure stress fields	(23)
2.1.1 The analysis method using brittle—small deformation theory	(23)
2.1.2 The supplement and inspection each other in terms of several methods	(23)
2.1.3 The phase dividing of structure stress fields	(23)
2.1.4 Finite element modelling	(24)
2.2 The structure stress field of main Yanshanian phase	(24)
2.2.1 The determination of stress directions	(24)
2.2.2 The estimation of paleotectonic stress magnitudes	(28)
2.2.3 Diagram of structure stress information of main Yanshanian phase	(30)
2.2.4 Finite element modelling	(30)
2.2.5 The basic character of structural stress field of main Yanshanian phase	(32)
2.3 Main Himalayan structure stress field	(34)
2.3.1 Geological analysis	(34)
2.3.2 Finite element modelling	(34)
2.3.3 The basic character of main Himalayan structure stress field	(40)
2.4 Present structure stress field	(40)
2.4.1 Statistical analysis of present water system	(40)
2.4.2 Crust deformation measurement	(40)
2.4.3 Mechanism analysis of earthquake focus	(40)
2.4.4 Present stress measurement	(42)

2.4.5	Finite element modelling	(42)
2.4.6	The basic character of present stress field	(43)
2.5	The study of evolution law of regional structure stress fields	(44)
Chapter 3	Neotectonic and present structure activity	(46)
3.1	The basic character of neotectonic movement	(46)
3.1.1	The major marking of neotectonic movement	(46)
3.1.2	Neotectonic active way and character	(50)
3.1.3	Neotectonic active strength	(52)
3.1.4	Neotectonic stress fields analysis	(53)
3.2	The main faults activity	(53)
3.2.1	E-W strike faults group	(53)
3.2.2	NW strike faults group	(58)
3.2.3	NE strike faults group	(60)
3.3	Present structure active feature	(62)
3.3.1	Regional crust deformation	(62)
3.3.2	Active faults	(63)
3.3.3	Regional earthquake active feature	(66)
3.3.4	The difference and regionalization of present structure activity	(69)
Chapter 4	Main geological hazards analysis	(72)
4.1	Earthquake hazards assessment	(72)
4.1.1	Earthquake macro-affection fields	(72)
4.1.2	The dividing of latent earthquake focus area	(73)
4.1.3	The determination of seismicity parameter	(77)
4.1.4	Earthquake dangerous probability analysis	(78)
4.2	The assessment of seism induced by reservoirs	(82)
4.2.1	General analysis	(82)
4.2.2	The analysis of seism induced by Geheyan reservoir	(82)
4.2.3	The dangerous analysis of seism induced by Banxia reservoir	(84)
4.3	The summarization of geological disasters formed by outer-power	(88)
4.3.1	The distributive law of landslides hazards in Qingjiang River basin	(88)
4.3.2	The summarization of other geological hazards	(92)
Chapter 5	A study of engineering geology on regional ground surface stability	(93)
5.1	Regional geomorphological summarization	(93)
5.1.1	Regional geomorphological outline	(93)
5.1.2	Layer geomorphology	(93)
5.1.3	The topography of gorges and klintar	(93)
5.2	A study of engineering geology on rock body stability	(94)
5.2.1	Carbonate rock	(94)
5.2.2	Sandstone and shale	(96)
5.2.3	Decomposed rock	(97)

5.2.4	Tectonite	(97)
5.3	Hydrogeologic conditions	(97)
5.3.1	The classification and their feature of ground water	(97)
5.3.2	The summarization of karst feature and its distribution law	(98)
5.4	The engineering geological conditions of hydro-juction construction sites in main stream of Qingjiang River	(100)
5.4.1	The engineering geological conditions of shuibuya dam site	(100)
5.4.2	The engineering geological conditions of Banxia dam site	(102)
5.4.3	The engineering geological conditions of Geheyan dam site	(104)
Chapter 6 Assessment and regionalization of crustal stability in Qingjiang River basin		(107)
6.1	The basic principles and methods of assessment of crustal stability	(107)
6.1.1	Main thinking and method of assessment of crustal stability	(107)
6.1.2	Main factors of assessment of crustal stability	(107)
6.1.3	The basic principles of assessment grade and regionalization of crustal stability	(108)
6.2	Assessment and regionalization of regional crust stability	(109)
6.2.1	The synthetic analysis of regional crust stability	(109)
6.2.2	Fuzzy mathematical judgement of regional crust stability	(111)
6.2.3	The information calculation of regional crust stability	(112)
6.2.4	The regionalization and synthetic illustration of regional crust stability	(114)
6.3	The assessment and regionalization of crustal stability in hydroelectric engineering site area of Qingjiang River basin	(115)
6.3.1	Fuzzy mathematical judgement of crust stability of Qingjiang River basin	(117)
6.3.2	The information calculation of crust stability of Qingjiang River basin	(120)
6.3.3	The regionalization and synthetic illustration of crustal stability of Qingjiang River basin	(120)
6.4	An assessment of crustal stability and resource enviromental program in Qingjiang River basin	(122)
6.4.1	Some conclusions on the assessment of crustal stability of Qingjian River basin	(126)
6.4.2	The assessment of crustal stability and resource enviromental program in Qingjiang River basin	(128)
References		(129)
Abstract		(131)
Photographs and their explanation		(133)

第一章 地质环境

本书研究的区域范围为北纬 $28^{\circ}30' \sim 32^{\circ}$ ，东经 $108^{\circ} \sim 113^{\circ}$ ，即北以青峰大断层为界，南抵武陵山、雪峰山一带；东起江汉平原腹地，西至四川盆地东缘，总面积约 $17.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其大地构造属于扬子准地台范畴，因此其地质建造系列中岩浆岩不发育，而以震旦系到三叠系沉积岩建造为主。区域构造变形则受多种构造体系的复合叠加改造，表现为相对复杂的组合形态和相对复杂的演化过程（图 1-1）。

第一节 区域地质构造背景

一、区域地质建造概况

地质建造系统，是指那些岩性相同或类似且具有成因联系的岩石组合。不同的地质建造系统是大地构造演化阶段中特定构造环境下的产物，同时又是后期构造运动的物质基础，对构造应力场的变迁有一定的控制作用。本区的地质建造系统受扬子准地台控制，除黄陵地块、神农架地块分布有地台形成前所形成的前震旦系变质岩、岩浆岩建造外，其余广大地区以沉积岩建造为主，分布有震旦系到第三系地层（图 1-1）。根据地质建造系统的涵义，并考虑岩石物性差异对地壳稳定性评价的影响，将清江流域区域地质建造系统划分为变质岩建造、岩浆岩建造、碳酸盐岩建造、薄层泥页岩建造、砂岩和砾岩建造等几种类型（图 1-2）。

1. 变质岩建造

系指前震旦系结晶基底的变质杂岩。本区北部分布有崆岭群（2300Ma 左右）、神农架群（1330~960Ma）的片岩、片麻岩、混合岩以及马槽圆群碳酸盐岩、碎屑岩夹火山岩建造和陆相磨拉石建造等；南部分布有冷家溪群（1400Ma）和板溪群（1000~800Ma）。前者为变质砂岩、板岩、千枚岩夹细碧岩构成的巨厚泥沙质复理石建造，后者为变质砂岩—砂质板岩夹凝灰岩等组成的陆相磨拉石建造（图 1-2）。这些变质岩都属于晋宁期（900~800Ma）构造热事件所形成的变质产物。

2. 岩浆岩建造

本区只在黄陵地块中南部分布一套晋宁期侵入岩，主要为由基性、超基性和中酸性岩体组成的杂岩体（915~700Ma）。

3. 碳酸盐岩建造

可分为薄层灰岩和厚层灰岩及白云岩、白云质灰岩，前者主要为震旦系上统、二叠系和三叠系下、中统大冶群及嘉陵江组；后者主要为寒武系、奥陶系。清江流域的碳酸盐岩建造分布最广泛，是岩石最完整的层位，因此其干流梯级水利枢纽坝址均选定在这些层位中（图 1-2）。

4. 薄层泥页岩建造

主要为志留系、泥盆系上统、石炭系和二叠系部分地层，其中夹有多层软弱泥岩，是易于发生山体滑坡、崩落及地面扰动的岩性组合。这套岩石在清江流域的分布仅次于灰岩（图 1-2），且常与灰岩呈夹层或互层分布。

5. 砂砾岩建造

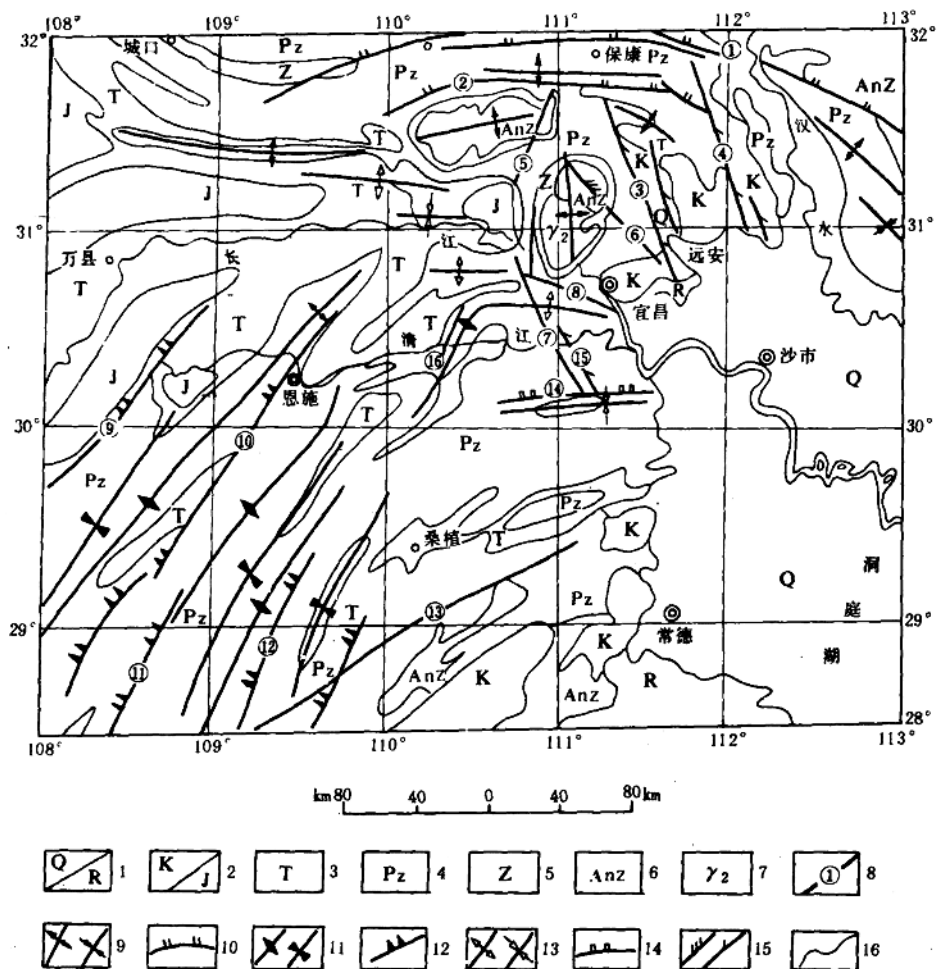


图 1-1 清江流域区域地质构造简图

1. 第四系和第三系；2. 白垩系和侏罗系；3. 三叠系；4. 古生界；5. 震旦系；6. 前震旦系；7. 晋宁期花岗岩；8. 断层编号；9、10. 山字型构造体系褶皱和断层；11、12. 新华夏系褶皱和断层；13、14. 区域 EW 向褶皱和断层；15. NW 向断层；16. 地质界线；①青峰断层；②阳日断层；③远安断层；④荆门断层；⑤新华断层；⑥雾渡河断层；⑦仙女山断层；⑧天阳坪断层；⑨齐岳山断层；⑩建始-恩施断层；⑪咸丰断层；⑫来凤断层；⑬大庸-保靖断层；⑭渔洋关断层；⑮松园坪断层；⑯龙王冲断层

(据 1:40 万构造体系图改编)

主要分布于晚三叠世、侏罗纪和白垩纪—第三纪形成的盆地之中，如秭归盆地、当阳盆地、恩施盆地、四川盆地、远安地堑、荆门地堑等（图 1-2）。

二、区域构造分析

（一）基本构造格架

区域构造格局主要受新华夏构造体系和淮阳山字型构造所控制，其区域性的 EW 向构造带也有一定影响（图 1-1）。

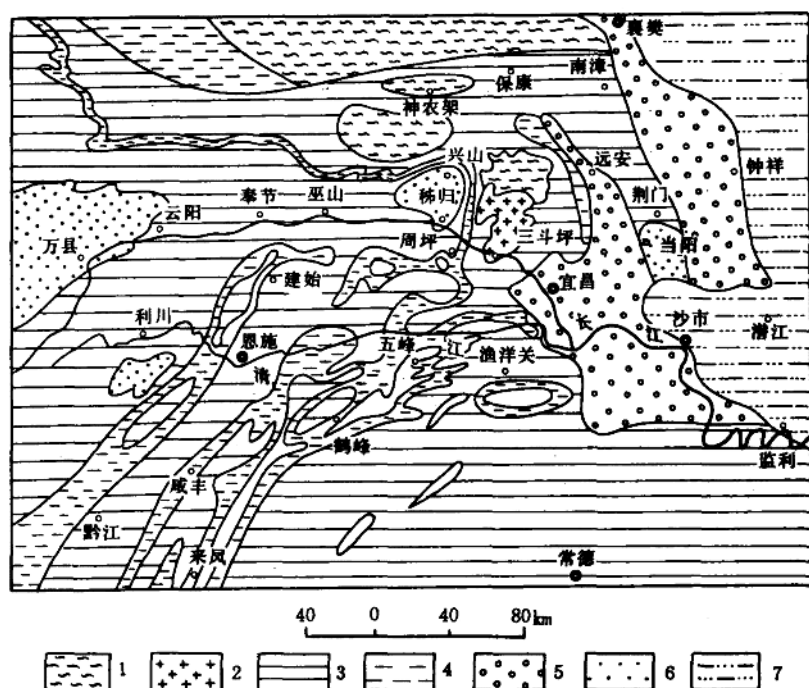


图 1-2 清江流域区域地质建造分布图

1. 变质岩建造；2. 岩浆岩建造；3. 灰岩建造；4. 薄层泥页岩建造；5. 砾岩建造；6. 砂岩建造；
7. 第四纪松散堆积建造

(据王瑞江, 1990)

1. 淮阳山字型构造

淮阳山字型构造展布于长江中下游流域，东西长约 1000km，南北宽为 300~400km。本区主要分布淮阳山字型西翼反射弧及其砥柱。西翼反射弧的北缘以青峰断层为界。青峰断层与阳日断层之间，古生界和中、下三叠统构成一系列重重相叠的弧形褶皱断层带；阳日断层以南弧形构造带内的褶皱、断层密度相对降低，表明反射弧带的变形从北向南逐渐减弱，直至过渡到马蹄形盾地和砥柱。西翼反射弧砥柱——黄陵背斜受晚期新华夏系改造，轴向为 $NE15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ，长短轴率为 2:1。它在燕山期隆起，核部出露元古界变质岩系和前震旦纪的中酸性岩体，古生界地层绕其周缘分布，东翼平缓，西翼较陡。黄陵背斜两侧，各有一个由上三叠统一侏罗系组成的向斜盆地。东侧为当阳盆地，西侧为秭归盆地，它们是反射弧马蹄形盾地的组成部分。

淮阳山字形构造定型于印支期，在燕山期得以发展完善，其西翼反射弧砥柱和马蹄形盾地主要是在燕山期形成。

2. 新华夏构造体系

新华夏构造是清江流域最重要、最壮观的构造体系。清江流域的东缘是江汉盆地，属于新华夏系第一级构造带的第二沉降带；其西北部是四川盆地东缘的川东褶皱带，属于新华夏系第三沉降带。清江流域的主体——鄂西隆起带，属于新华夏系一级构造单元的第三隆起带

的中南段,主要由 NNE 向局部 NE 向的弧形复式褶皱带及其相伴生的压性、压扭性断层带所组成。自西向东可分为 2 个相互平衡的二级构造带。

(1) 建始-恩施-咸丰褶断带,它由一系列 NNE 向褶皱、断层和断陷盆地由北向南雁行式斜列组成。如屯堡、白果坝、庆阳坝和咸丰 4 个背斜组合成比较完美的多字型构造,它们自北向南斜列;建始、恩施、来凤 3 个白垩—第三纪盆地及其控盆断层也作同一方向斜列(图 1-1)。NNE 向的齐岳山断层、郁江断层、黔江、咸丰、来凤断层等组合成区域西南部最强烈的构造变形带。

(2) 新华-鹤峰-桑植褶断带,北段以 NNE 向斜列的新华断层带为主体,南段由 NNE 向斜列的弧形褶皱及其伴生断层所组成。

新华夏系构造自印支期开始孕育,形成于燕山期,后又经喜马拉雅期改造,逐渐发展为本区占主导地位的巨大构造格架。其早期新华夏系发展时期为晚三叠世—晚侏罗世,以褶皱作用为主,形成区域上前白垩纪地层的一系列 NNE 向褶皱;晚期新华夏系活动时期为晚侏罗世—白垩纪,以断陷和隆起作用为主,形成江汉盆地和鄂西隆起带及其内部的断陷盆地等,构成了本区的基本构造格架。

3. E-W 向构造带

主要由长江三峡地段的 E-W 向复式褶皱带和长阳—五峰复式褶皱带组成。以褶皱为主,伴生有轴向断层,属于区域性构造带,是燕山早期变形的结果。

4. NW 向构造带

本区东北部分布有仙女山地堑、远安地堑和荆门地堑等 NNW 向白垩纪—第三纪断陷盆地,它们形成于燕山晚期,后经喜马拉雅期变形及新构造运动的改造,具有复杂的成因背景,其体系归属问题也复杂化。在燕山晚期,它们可能属于新华夏系大义山式张扭性配套断层带,控制白垩纪盆地的形成。

(二) 主要断层解析

区域性的主要断层有 20 多条,这里限于篇幅只解析其中对清江干流水利枢纽建设有明显影响的若干区域性断层的变形特征,例如仙女山断层带、松园坪断层带、天阳坪断层带、龙王冲断层带等。对于青峰断层、阳日断层、大庸-慈利断层等规模巨大但离清江干流较远的区域性大断层,将在第三章主要断层活动性中概要论述。

1. 仙女山断层带

仙女山断层位于清江中下游,东离隔河岩水利枢纽约 18km,总体走向 NW340°左右,北起长江南岸秭归县的荒口,南至五峰渔洋关,长达 80 多公里(图 1-1)。仙女山断层带规模大,构造变形复杂,现今构造活动明显,是清江流域重要的控震断层之一。这里仅根据实地调查资料,从宏观变形和微观构造分析概要论述其运动学和动力学方面的特征,进而探讨其变形机制和环境。

(1) 宏观变形特征概述:根据仙女山断层带从北向南宏观变形特征的不同,通常将其分为 3 段:北段为仙女山断层;中段为都镇湾断层;南段为桥沟断层。

北段:即所谓狭义仙女山断层。北起长江南岸风吹垭,南经周坪至庙包,长约 20km。走向 NW340°左右,倾向 SW,倾角 60°~80°。断面呈舒缓波状(图 1-3a),有两组擦痕。早期擦痕近水平,侧伏向 340°,侧伏角 3°~7°,指示右旋扭动;晚期擦痕近直立,指示西盘向上逆冲,使老地层逆冲到白垩系砂岩之上(图 1-3a)。断层破碎带一般宽约 10~50m,最宽可达 100m 左右。平面上沿走向时宽时窄,剖面上由多个断面组成双冲或叠冲(体)带,使老地层