

徐瑞春
谢广林
吴树仁 著

清江流域 断裂活动性 与地壳 稳定性研究

科学出版社

清江流域断裂活动性 与地壳稳定性研究

徐瑞春 谢广林 吴树仁 著

科学出版社

2000

内 容 简 介

清江是长江出三峡流入江汉平原后汇入的第一条一级支流,其水利资源的滚动开发在全国属于前列。本书概述了清江及其边缘地区的构造格架、岩相建造,系统地分析了流域内及周边地区的卫星影像信息、地面环境地质条件、新构造运动与地震活动;论述了区内 16 条主要断裂的活动性,分析了断裂的活动时代、活动强度、活动速率、活动的力学性质、活动方式与习性,并对流域内重大或潜在地质灾害体的规模和稳定性等进行了研究。全书以翔实的资料对清江流域及其周边地区的地壳稳定性以及它们对水利工程建筑的影响作了综合性评定。

本书对于从事地震地质、工程地质和水利、环境科学工作者及有关高等院校师生具有示范参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

清江流域断裂活动性与地壳稳定性研究/徐瑞春等著. —北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-008737-2

I. 清… II. ①徐… ②谢… ③吴… III. ①地壳块断运动—研究—清江流域②地壳—稳定—研究—清江流域 IV. P548—63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 41147 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2000 年 11 月第一次印刷 印张:14 插页:5

印数:1—600

字数:314 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

序

作为长江一级支流的清江,水利资源的滚动开发在全国属于前列,取得了显著成效,为全国大江、大河水利资源的梯级开发提供了示范,也为全国中小河流星光灿烂的小水电站开发提供了成型的经验。但是,效益的卓著并不是一蹴而就,而是蕴含着水利工作者、地质工作者、地震工作者数十年来的艰辛。因此,为了阐明科技工作者在此项工程勘测和研究中取得的宝贵经验和理论上的进步,特编写了本专著。

该专著在前期区域地质调查的基础上,应用 1:10 万的陆地卫星 TM 图像,剖析了清江流域及边缘地区的线性构造、活动断裂、盆地和环形构造,而且将清江流域划分为五个影像信息特征地段,这些在清江流域的卫星遥感研究中,其判识精度和系统完整性上具有突破性进展。该专著首次系统地论述了清江流域的新构造运动特征,分析了新构造运动的类型与应力场,评价了新构造运动的区域环境,论述全面、深入,研究思路和论点都有重要进展;同时系统地分析了清江流域及边缘地区的地震活动特点,探讨了潜在震源区、地震活动性参数与地震活动衰减关系,为工程抗震设计提供了满足规范要求的各项依据。

该专著的主题鲜明,重点突出。主要剖析了区域内 16 条断裂的活动性,应用新构造年代学、显微构造、卫星遥感信息、断裂的分形分维、地文期与构造地貌年代学、地震活动分析、形变测量分析等多种方法,研究了 16 条断裂的活动特征、活动分段、最新活动时代与错距、活动速率、活动的力学性质、活动方式等活动习性,这在清江流域断裂的研究进程中,是前所未有的。特别是对仙女山断裂的活动性研究,其方法、手段之多,分析之深入,在全国各省区的活动断裂研究中是比较突出的。根据新构造年龄测定、地文期、构造地貌位错、形变测量和地震活动,评定了 16 条断裂的最新活动时代、垂直错距、活动速率等,所取得的数据可信度较高,而且对断裂的最新活动时代,从上新世、早更新世、中更新世至全新世逐一厘定,这是难能可贵的。

随着清江流域水利水电梯级滚动开发的全面启动,属国家级工程的水布垭、隔河岩、高坝洲三大水利枢纽,还有各大支流的水利水电工程,如大龙潭、老渡口、晓溪口、马渡河、敞河溪、三背河等 20 余个地方工程的建设,都有较充分的前期勘察工作,并对清江流域的地面环境地质,特别对干、支流两岸的滑坡、危岩体、崩塌体等都作了深入的调查研究,这是评价清江流域地面稳定性的重要地质依据。

该专著根据内、外营力的地质作用,进行定性定量模拟计算,系统地分析与评价了清江流域的地壳稳定性,划分了不同地区的稳定级别;尔后应用模糊数学进行综合评判,论述不同稳定级别区对水利工程建设的影响,为清江流域水利梯级开发提供了重要依据,从而也为工程建设提供了综合稳定性评价的依据。

总之,该专著不仅在上述诸方面的研究取得了重大进展,具有较高的学术水平,而且对于清江水利梯级开发具有重要的应用价值和指导意义。祝愿该专著出版获得成功!

马宗晋

(中国科学院院士、中国地震局地质研究所研究员)

2000 年 5 月

前 言

清江发源于湖北齐岳山,经利川、恩施、鹤峰、宣恩、来凤、建始、巴东、五峰、长阳等县市,在宜都市汇入长江。全长 423km,总落差 1430m,流域面积 17000km²。清江流域位于湖北西南部。地处长江中游暴雨区,多年平均雨量 1400mm/a,多年平均流量 440m³/s,年径流总量 135 亿 m³,单位面积产水量相当于长江三峡以上河段的 2 倍。流域内水能资源丰富,水能资源理论蓄能达 2500MW。清江水资源开发具有发电、航运、防洪、水产、旅游等综合效益,且开发条件十分优越,80% 以上的水能力源集中在恩施市以下的干流河段。

1954 年以来,长江水利委员会对清江流域的水能资源开发作了大量勘察工作。1964 年完成了《清江流域规划报告》,1993 年完成了《清江流域规划报告》的修订本,1994 年 2 月通过国家与省级正式审查认定。开发的重点是清江干流恩施以下河段,并以三级开发最为有利。自下而上定为:高坝洲水利枢纽(设计蓄水位 80m,坝高 57m);隔河岩水利枢纽(设计蓄水位 200m,坝高 151m);水布垭水利枢纽(设计蓄水位 400m,坝高 233m)。

清江水利水电开发规划,除上述干流的三个国家级工程外,对清江上游及 25 条支流也作了部分规划。如干流上游河段的姚家坪水电站(坝高 187m),大龙潭水电站(坝高 53m);忠建河的龙洞水电站,洞坪水电站;马水河的晓溪口水电站,老渡口水电站;黑炭河、白炭河两河流域联合开发的马渡河水电站(坝高 140m)及两河口水电站(坝高 104m);招徕河的敝河溪水电站(坝高 110m);渔洋河的香客岩水电站,熊渡水电站,柴埠溪大坝水库(坝高 70m)等等。

从理论上分析,干流上电站的水资源是来自周围的支流,如果把支流的水在汇入干流前,首先进行开发,电力资源就可增加一倍。尽管这是理论值,但这些支流的电力开发已成了清江流域各县、市经济发展新的增长点。流域规划研究表明,清江干支流共可开发大、中、小型 500 余座水电站,水利水电事业前景广阔。当清江干流的三大水利枢纽建成,各支流的电站也必将相继建成,那时清江就像一颗巨大的圣诞树,整个流域将灿烂辉煌。

隔河岩工程自 1993 年建成发电以来收到了巨大的经济效益和社会效益。隔河岩水库未建前,1969 年清江发生了百年一遇的洪水,长阳县城以及沿江两岸遭到十分严重的洪水袭击,损失惨重;1997 年清江又发生了 150 年一遇的特大洪水,但由于隔河岩水库调蓄了特大洪水,致使长阳县城及沿江河段未受任何损失。特别是 1998 年长江流域的持续大洪水,清江的洪水多次与长江干流洪峰相遇,但由于隔河岩水库的科学论证与调度,将隔河岩水库超高 4m 蓄水,成功地使清江与长江干流洪峰错开通过荆江河段,避免了荆江分洪的重大损失。为此,湖北省特别嘉奖了隔河岩工程。如果整个流域梯级开发完毕,在防洪方面将会发挥更大的作用。

1996 年国务院正式批准清江流域作为我国水利水电滚动开发的试点。现在,清江的开发形势很好,隔河岩工程、高坝洲工程已相继建成,水布垭工程正在紧张而顺利地开展前期施工准备工作,清江梯级滚动开发已全面实施。

清江流域的三市七县,自 20 世纪 70 年代末期到 90 年代初期,先后建设了一大批径流式小水电站,这批小水电站对各县市工农业的发展起到了历史性的积极作用和贡献,可谓各县市电力事业发展的第一个辉煌时期。但是由于工农业的发展和人民生活水平的提高,这些县、市已深感当前供电状态日趋严重,特别是每年进入旱季以来缺电十分严重,已成为各县、市工农业能否持续发展的制约因素,所以清江流域各县、市都在寻求建设具有多年调解能力的水库,以改善现在的供电状态。如恩施市正在施工的大龙潭电站,准备建设的姚家坪水库、老渡口电站;建始县兴建的晓溪口水电站;长阳正在建设的敝河溪水电站和三背河水电站;巴东县准备建设的麻线坪水电站;宣恩县已建的龙洞电站和准备建设的洞坪电站;五峰准备建设的马渡河电站等等,都是具有多年调解能力的水库。这些水库的规划与勘探,说明清江流域中小水电事业即将进入第二个辉煌时期。

清江流域拥有丰富的水能、矿产和旅游资源,又具有良好的气候资源,为了全面开发清江流域的四大资源,要不断地拥有更多、更全面、更系统、更新的流域基础地质资料,特别是水利水电事业的全面开发,长江水利委员会综合勘测局拟定了系统的流域性基础地质科学研究项目,主要有:

- (1) 清江流域的断裂活动性与地壳稳定性研究;
- (2) 清江流域岩溶(喀斯特)研究;
- (3) 清江流域地质旅游资源的研究;
- (4) 清江的形成及其演化史;
- (5) 清江流域岩相古地理及矿产资源;
- (6) 清江流域河谷地貌研究;
- (7) 清江流域环境地质研究;
- (8) 鄂西南清江流域和水布垭坝区现今构造应力场模拟实验研究。

上述这些基础地质研究对流域四大资源的开发具有极其重要的意义。

清江流域干流、支流将逐渐建设数十座大、中型水库,这些水库大都不同程度地改变了原有的自然景观与状态,对地壳稳定性问题反应甚为敏感。在建设这些大坝与水库之前,必须对其所在地段(河段)作出地壳稳定性的综合评价,并预测这些水库在运行期间可能出现的有关地壳稳定性问题。显然,本专著的出版不仅具有很强的科学意义,同时对清江流域水能及其他资源的开发都具有十分明显的现实意义。长江水利委员会自 20 世纪 50 年代以来就对清江流域的水利水电资源的利用开发进行规划勘察与研究,并积累了大量的基础地质资料,特别是各大水利枢纽工程区的地质、工程地质与环境地质的研究都极其深入而细腻,很多工程场区进行了地应力测试。长江水利委员会还委托湖北省地震局对各大水利枢纽工程场地作了地震安全性评价;隔河岩与高坝洲工程还设有工程专用小孔径微震台网;恩施以下清江河段作了深部构造探测;很多断裂进行了活动年龄测试等。以上的大量基础地质资料的积累,为本专著的撰写和出版奠定了扎实的基础。

本专著在历时四年的研究工作中,从野外地质考察,到卫星遥感活动构造的信息提取与分析;从新构造岩的年代测定、微观测试鉴定,到室内模拟计算;从资料、数据的整理、分析,到活动断裂与地壳稳定性评价,都逐一进行深入的剖析,最终定稿完成。

本专著的进展和成果主要包括下列几方面:

(1) 系统地研究了清江流域的地质构造、中生代构造应力场,为研究清江流域的活断裂动与地壳稳定性奠定了基础。

(2) 系统研究了清江流域 16 条主要断裂对地壳稳定性的重要影响,对各条断裂的空间展布、规模、几何结构、变形结构、分段与分维、形成与发展演化进程,并从宏观到微观研究了 16 条断裂的特征、共性与差异性,从而为深入研究断裂的活动性提供了翔实的基础资料。

(3) “地壳稳定性”一词,本书的含义包含两个方面内容,即构造稳定性,如新构造运动、地震活动;外动力因素影响的地面稳定性,如滑坡、山体稳定(危岩体和不利地质结构的自然高边坡等)。后者的工程意义很重要,特别是在少震、弱震地区,尤为重要。本著作中有关工程场地稳定性的评价是由构造与地面稳定性综合作出的。如隔河岩水利枢纽与水布垭水利枢纽,如果仅从构造、地震角度评价,隔河岩工程的稳定性要差于水布垭枢纽工程。但将地面稳定因素考虑进去,则水布垭工程枢纽区的稳定性将差于前者,这是因为水布垭工程枢纽区的上、下游河段均有大规模的滑坡与危岩体存在,还有高边坡的问题,而隔河岩工程枢纽区基本不存在外动力形成的不稳定因素,所以最后评定水布垭枢纽工程的地壳稳定性稍差于隔河岩工程。

(4) 首次利用 TM 卫星遥感信息,制作 1:10 万 TM 卫星图像,编制 1:20 万清江流域活动构造卫星遥感解译图,将清江流域分为五个信息特征地段,标明了流域的各种活动构造的发育状况。

(5) 应用多种方法、多种手段系统研究了清江流域 16 条断裂的活动性,包括断裂新构造岩的年代测定与显微构造分析,断裂的分形分维值,断裂的构造地貌年代学,沿断裂的形变测量与地震活动,进一步探讨了断裂的活动习性、活动特点、活动强度、活动速率、活动分段、活动的时序变化、最新活动时代、活动方式与未来发生强震的潜在地段,从而为评价工程地质环境提供了重要依据。

(6) 在深入研究清江流域新构造运动、活动断裂、地震活动的基础上,结合构造地貌特征、外营力作用等因素,采用模糊数学、信息模型和对比分析,系统评价了区域地壳稳定性与场地稳定性,从而为清江流域梯级水利资源开发提供了重要的科学依据。

本专著由徐瑞春、吴树仁、谢广林完成,参加本专著研究与撰著的还有易顺华、孔繁健、梅应堂等。参加本专著研究工作和野外工作还有胡道功、于品清、简文星、汪华斌、薛宏蛟等。

徐瑞春

(长江水利委员会综合勘测局
教授级高级工程师)

2000 年 5 月

目 录

序

前言

第一篇 区域地质构造与地震活动	(1)
第一章 区域地质背景	(2)
第一节 区域地质建造概述	(2)
第二节 区域构造格架	(3)
第三节 地壳结构和深部构造	(4)
第四节 区域构造运动的演化进程	(9)
第二章 活动构造的遥感信息分析	(11)
第一节 卫星遥感信息的区域分析	(11)
第二节 活动断裂的影像标志	(13)
第三节 主要活动断裂(带)的影像信息分析	(15)
第四节 盆地的影像信息分析	(18)
第五节 环形构造的影像信息分析	(20)
第六节 活动构造影像信息的综合评价	(21)
第三章 新构造运动	(23)
第一节 新构造运动的形迹	(23)
第二节 新构造运动的主要类型	(29)
第三节 活动断裂概况	(32)
第四节 断陷盆地的活动特征	(34)
第五节 新构造应力场	(35)
第六节 新构造运动的基本特征	(37)
第七节 新构造环境的总体评价	(39)
第四章 地震活动及危险性分析	(41)
第一节 地震活动概况	(41)
第二节 地震活动空间分布特征	(43)
第三节 地震活动时间分布特征	(47)
第四节 地震形成机制	(48)
第五节 主要场址区的基本烈度	(51)
第六节 地震危险性分析	(53)
第二篇 主要断裂及其活动性分析	(61)
第一章 清江下游主要断裂的活动性分析	(62)
第一节 仙女山断裂带(F_1)	(62)
第二节 松园坪断裂(F_2)	(78)

第三节	天阳坪断裂带(F_3)	(83)
第四节	渔洋关断裂带(F_4)	(91)
第五节	西湾断裂(F_5)	(95)
第二章	清江中游主要断裂的活动性分析	(99)
第一节	龙王冲断裂(F_6)	(99)
第二节	杨柳池断裂(F_7)	(104)
第三节	刘家包断裂(F_8)	(109)
第四节	黑炭河断裂(F_9)	(113)
第三章	清江上游及邻区主要断裂的活动性分析	(120)
第一节	十里碑-大青山断裂(F_{10})	(120)
第二节	恩施断裂(F_{11})	(125)
第三节	建始断裂(F_{12})	(131)
第四节	咸丰断裂带(F_{13})	(135)
第五节	黔江断裂带(F_{14})	(139)
第六节	郁江断裂带(F_{15})	(145)
第七节	齐岳山断裂带(F_{16})	(150)
第四章	主要断裂活动性的对比分析	(156)
第一节	断裂规模、分段、分维的对比分析	(156)
第二节	主要断裂的活动性对比分析	(159)
第三篇	地壳稳定性评价与分区	(163)
第一章	区域构造稳定性评价	(165)
第一节	断裂组合格局与稳定性评价	(165)
第二节	区域构造稳定性模糊数学综合评判	(166)
第三节	区域构造稳定性信息量预测	(168)
第四节	区域构造稳定性分区及其综合说明	(171)
第二章	水利枢纽工程的地面稳定性评价	(173)
第一节	高坝洲枢纽工程地面稳定性评价	(174)
第二节	隔河岩枢纽工程地面稳定性评价	(175)
第三节	水布垭枢纽工程库坝区地面稳定性评价	(184)
第四节	一些支流水利水电工程的地面稳定性评价	(195)
第三章	清江流域地壳稳定性的综合评价	(201)
第一节	地壳稳定性模糊数学综合评判	(201)
第二节	地壳稳定性信息模型计算	(202)
第三节	地壳稳定性分区及其综合说明	(204)
结束语		(209)
参考文献		(211)
附录:卫星影像与地质相片		
附图:清江流域及周缘地区主要断裂与地震震中分布图		

第一篇 区域地质构造 与地震活动

清江流域规划表明^[1],流域内及边缘地区的地质构造、地震活动、活动断裂与地壳稳定性,对流域水利资源梯级开发具有重要的深远意义。

清江流域及其周缘地区,大地构造归属于扬子准地台的二级单元八面山台褶带^[2,3],该台褶带展布于鄂西南、湘西北地域,北部与鄂西—鄂中褶皱断块区相邻,西部与四川台坳盆地毗连,而清江流域的河口地段则展布在江汉盆地边缘。

根据构造体系划分,清江流域主要展布在新华夏系第三隆起带的中南段,只有河口地段展布在新华夏系第二沉降带的江汉沉降区边缘^[4]。流域内基本上展布在川东-鄂西南新华夏系北北东向构造带及其北延。中、下游地区,受其北侧黄陵地块阻挡,折转为近东西向构造,但与北北东向构造带同属新华夏系第三隆起带。东西向构造主要包括长阳复背斜、五峰背斜、渔洋向斜及与其匹配的天阳坪、渔洋关、仙女山、松园坪等断裂。中、上游地区,北北东向构造带主要由半峡大背斜、白果坝大背斜、齐岳山大背斜、四川境内的方斗山大背斜,以及它们之间的宽缓向斜所组成,并同生了一系列北北东向断裂,如齐岳山断裂、建始断裂、恩施断裂、杨柳池断裂、龙王冲断裂等。区域内褶皱属典型的“隔挡式”褶皱组合形态,即背斜紧闭,向斜平缓开阔。这种褶皱格局由地壳上部的盖层沿上地壳下部的基底滑动而形成,即整个地壳变动事件发生在岩石圈表部,是一种表层滑脱,与深部构造关系甚弱,因而有利于地壳的整体稳定性。

本篇在系统论述清江流域的地质环境之后,引入 TM 卫星遥感图像,提取活动构造信息。本篇对清江流域及其边缘的新构造运动、地震活动进行全面、系统的论述,而过去只对流域中的某些地段进行分析研究,因此对全流域进行系统论述可说尚属首次。

第一章 区域地质背景^{*}

本章讨论的清江流域及其边缘地区,其区域范围在北纬 $29^{\circ}30'$ ~ $31^{\circ}10'$ 和东经 $108^{\circ}30'$ ~ $111^{\circ}30'$ 之间,区域内以震旦系到三叠系的沉积岩建造为主,构造变形主要形成于燕山运动时期,但受黄陵地块抵制、干扰,局部应力场变化较大^[5],褶皱走向变化也较大。

第一节 区域地质建造概述

清江流域以沉积岩建造为主,分布有震旦系到下第三系地层,而在流域外东北边缘的黄陵地块可见到前震旦系变质岩、岩浆岩的出露。根据地质建造系统与构造环境变迁的组合关系,清江流域及其边缘大致可分为 3 个大的构造层:即前震旦纪结晶基底构造层,震旦纪-三叠纪构造层和中新界上叠构造层。每个构造层的地层岩性组合及其空间分布,记录了地质时期区域地质环境的变迁过程,并成为活动断裂及评价地壳稳定性的基础资料。另一方面,岩石物性差异对地壳稳定性评价也有一定影响,因此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 1-1-1)。

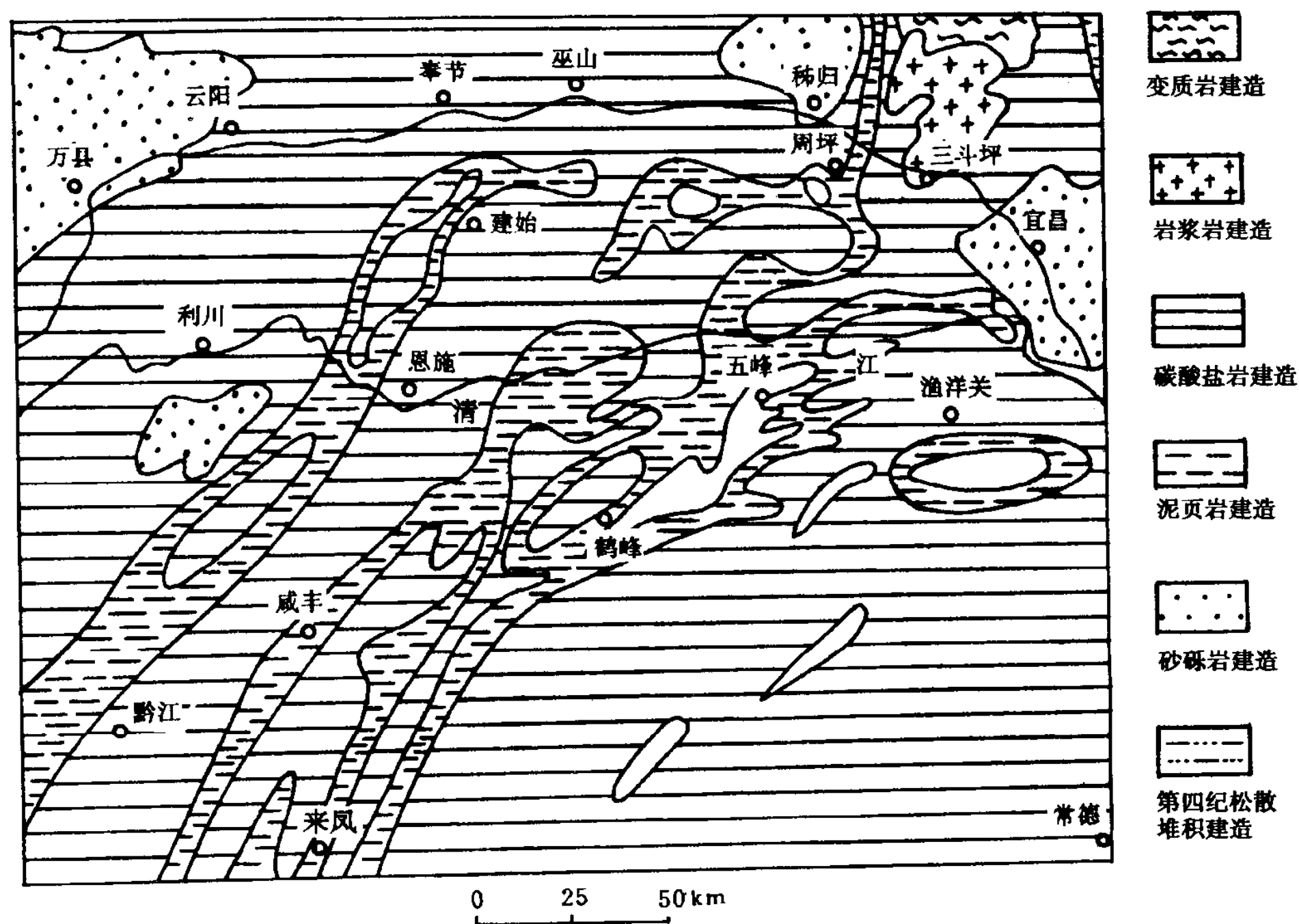


图 1-1-1 清江流域区域地质建造分布图

* 本章作者:徐瑞春,谢广林,吴树仁

1. 变质岩建造

为前震旦系结晶基底的崆岭群(2300Ma 左右)变质杂岩,出露于清江流域东北边缘之外,展布在黄陵地块,由斜长片麻岩、斜长角闪岩、含石墨片麻岩、片岩等组成,形成于晋宁期(900~800Ma),为地下深部地热作用所形成的变质岩。

2. 岩浆岩建造

出露于清江流域外的黄陵地块中南部,为晋宁期侵入岩,主要由基性、超基性和中酸性岩组成的杂岩体(915~700Ma)。

3. 碳酸盐岩建造

在清江流域内分布最广约占流域面积的 72%,可分为薄层灰岩、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、中统大冶群和嘉陵江组;后者主要为寒武系、奥陶系。清江中、上游除了局部地段出露寒武系、奥陶系之外,广泛出露着三叠系、二叠系;清江中、下游地区主要出露震旦系、寒武系和奥陶系。清江干流三个大的水利枢纽坝址所在的地层层位分别为:隔河岩坝址建于寒武系中统灰岩之上,高坝洲坝址建于寒武系中统灰岩之上,水布垭坝址建于二叠系下统灰岩之上。

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,为易于发生山体滑坡、崩落及地面扰动的岩性组合。这套岩层在清江流域的分布仅次于灰岩,且常与灰岩呈夹层或互层分布,主要出露在清江中、下游地区,清江中、上游地区在恩施盆地以西至屯堡一带分布较广,其他地段均呈狭长条带状展布。

5. 砂砾岩建造

主要出露在侏罗纪和白垩纪-早第三纪形成的盆地之中,如利川南侧的侏罗纪盆地、建始白垩纪盆地、恩施白垩纪盆地等,均展布在清江上游地区;河口地区则可见到下第三系砂砾岩出露,并与江汉盆地连成一片。

第二节 区域构造格架

清江流域沉积盖层的褶皱变形属于新华夏构造体系的组成部分,但受到其东北边缘黄陵地块的抵制,区域构造形迹的走向发生很大的扭动变形^[5],即有北北东向、北东向(含联合弧形)和东西向褶皱带(图 1-1-2)和相应的断裂系。

1. 北北东至北东向构造带

北北东至北东向构造为清江流域最重要的构造带,也是为清江流域构造格架的主体,属于新华夏系第三隆起带的中南段,主要由北北东向褶皱和断裂组成,部分由北东至北东向弧形复式褶皱带及相伴生的压性、压扭性断层带组成。由于北北东向褶皱带与东西

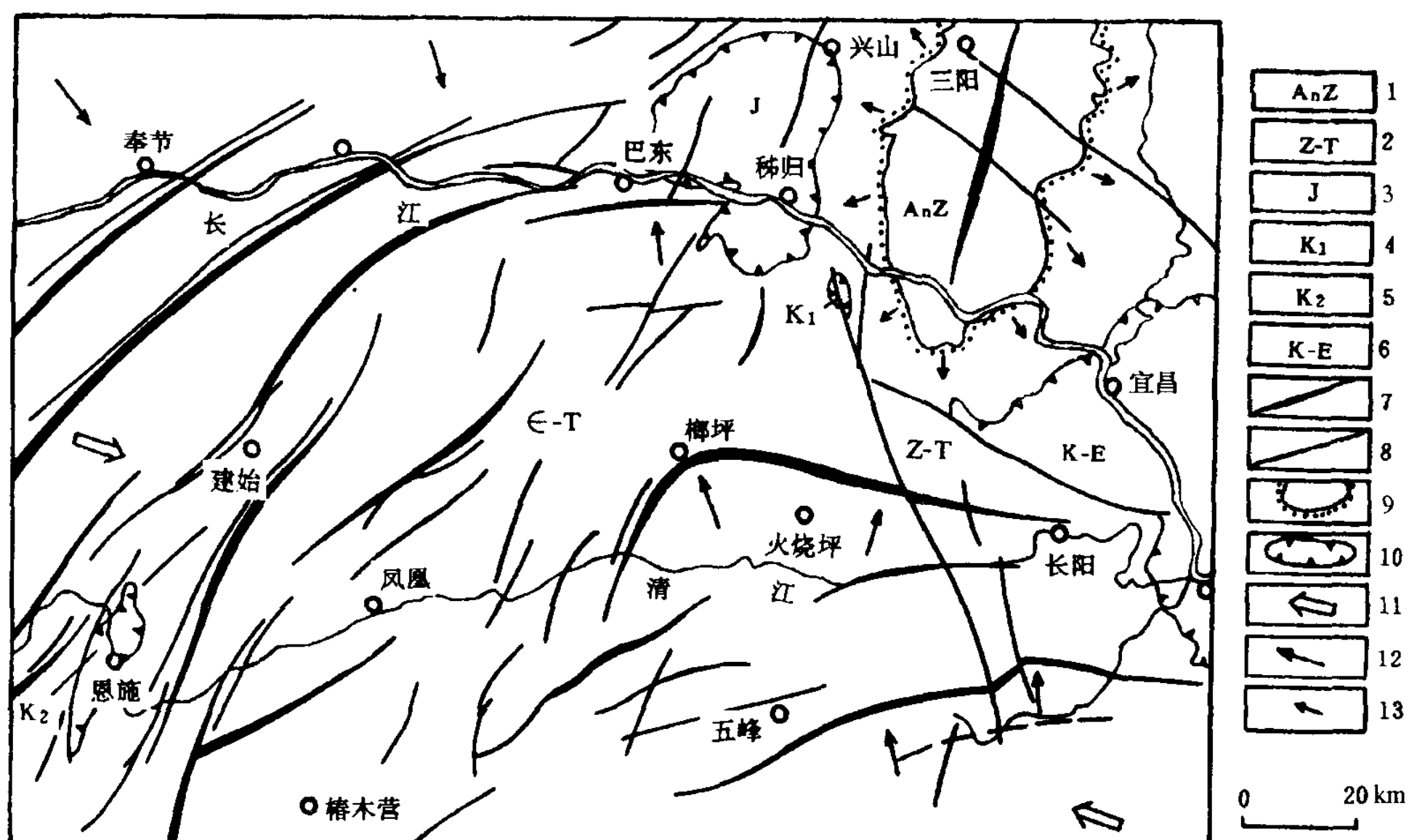


图 1-1-2 清江流域燕山运动的构造应力作用示意图

1. 前震旦系结晶岩;2. 震旦系-三叠系;3. 侏罗系;4. 下白垩统;5. 上白垩统;6. 白垩系-下第三系;
7. 背斜轴;8. 断裂;9. 结晶边界;10. 盆地边界;11. 区域应力作用方向;12. 局部应力作用方向;
13. 抵制反作用力和隆起派生侧应力作用方向

向褶皱带呈弧形过渡,故也称为新华夏联合弧或八面山弧形构造带^[4]。构造带的总体展布特征表现为:①从北向南北东向构造带呈“喇叭”状逐渐散开;②褶皱组合特征为比较典型的侏罗山式,背斜相对较紧闭、局部倒转并伴生有区域性的大断裂;向斜相对较平缓开阔,伴生断裂规模较小。根据背斜和区域性断裂的组合关系,北北东向构造自西向东可分为3个相互平行的二级构造带,即齐岳山褶断带、中央复式褶断带和新华-半峡-鹤峰褶断带。

2. 东西向构造带

近东西向构造带主要分布在清江下游的长阳-五峰一带,由东西向长阳复背斜、五峰复背斜和渔洋关断层等组成。它们本属于新华夏系的组成部分,但由于黄陵背斜的抵制与局部应力场的变化而扭转呈近东西向。

3. 北北西向断裂带

北北西向断裂带分布在流域东部,包括仙女山断层带、松园坪断层。这些断层带大致形成于燕山运动早期,但在燕山运动晚期均表现为伸展型张性断陷,而它们在后期的活动对清江大型水电工程建设有一定影响。

第三节 地壳结构和深部构造

根据有关地球物理研究资料和研究成果^[6,7],现将清江流域及其边缘地区的地壳层

圈结构、重力场异常和深部断裂特征综述于下：

一、地壳层圈结构特征

1. 层圈结构基本特征

人工地震测深、重力反演和航磁测量资料表明,区域地壳具有多层结构,成层性好。依据地壳波速差异可将其分为3 大层,即上地壳、中地壳和下地壳。

上地壳底面埋深 12.0~16.8km,包括结晶基底和上覆沉积盖层两个亚层。盖层底面埋深为 0~8.2km(图 1-1-3),层内波速纵向变化为 5.2~5.6km/s^[7]。结晶基底厚 7.2~14km,层内波速为 6.0~6.3km/s,平均波速为 6.13km/s;最厚处位于黄陵隆起,波速为 6.0km/s,略低于两侧波速。清江流域的大多数地震的震源深度位于基底层 6~10km 范围内,局部浅源地震位于基底顶面或盖层中。

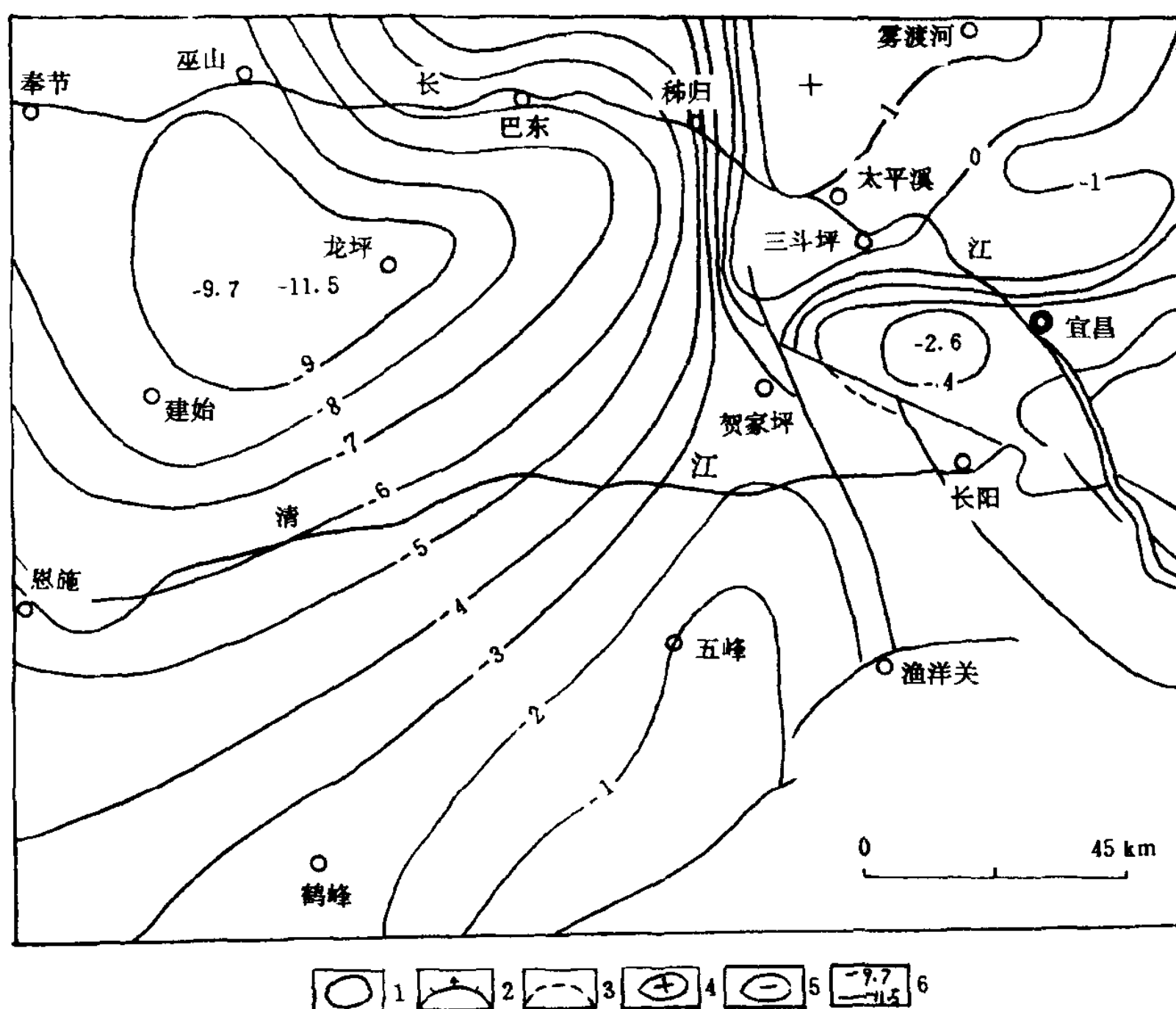


图 1-1-3 清江流域基底顶面等高线图

1. 基底埋深等标高线(km);2. 地表断层;3. 推测基底断层;
4. 基底隆起;5. 基底凹陷;6. 凹陷内最小埋深标高值(km)。

中地壳底面埋深 24~28.8km,东浅西深,平均波速为 6.25km/s,推测为闪长质岩层。中地壳厚度变化比上、下地壳厚度变化小得多。

下地壳的莫霍面埋深为 33.8~46.8km,东浅西深。下地壳平均波速为 6.70km/s,推测其为玄武质岩层。

2. 前震旦纪结晶基底

据航磁资料和人工地震测深剖面资料分析,结晶基底顶界面起伏变化较大,最大差值为 13.5km,并在区域内存在着 2 个凹陷和 2 个隆起即:①巴东-建始凹陷,其中心在建始-龙坪一带,走向近东西向,最大深度为 -11.5km,是区域上的最大凹陷;②枝江凹陷,走向北西西,最大深度为 -7.9km;③黄陵隆起,黄陵背斜走向北北东,出露地表 1km 左右,西南侧与建始-巴东凹陷相邻,东南侧与枝江凹陷相邻,坡度均较陡;④走马坪-五峰隆起,走向北北东,最小埋深为 -1km。

总之,前震旦系结晶基底在地壳演化中经历过强烈的变形,并对盖层构造的形成和发展具有重要的控制作用。

3. 莫霍面形态特征

根据重力反演得到本区地壳莫霍面埋深为 34~40km,其形态与布格异常相似(图 1-1-4),重力梯度呈幔坡带,不存在切壳断层。莫霍面由东向西下倾,东部为江汉平原幔隆区,西侧的巴东附近有一幔凹。莫霍面的总体形态与地面形态呈镜像关系,表明区域地壳基本处于均衡状态。

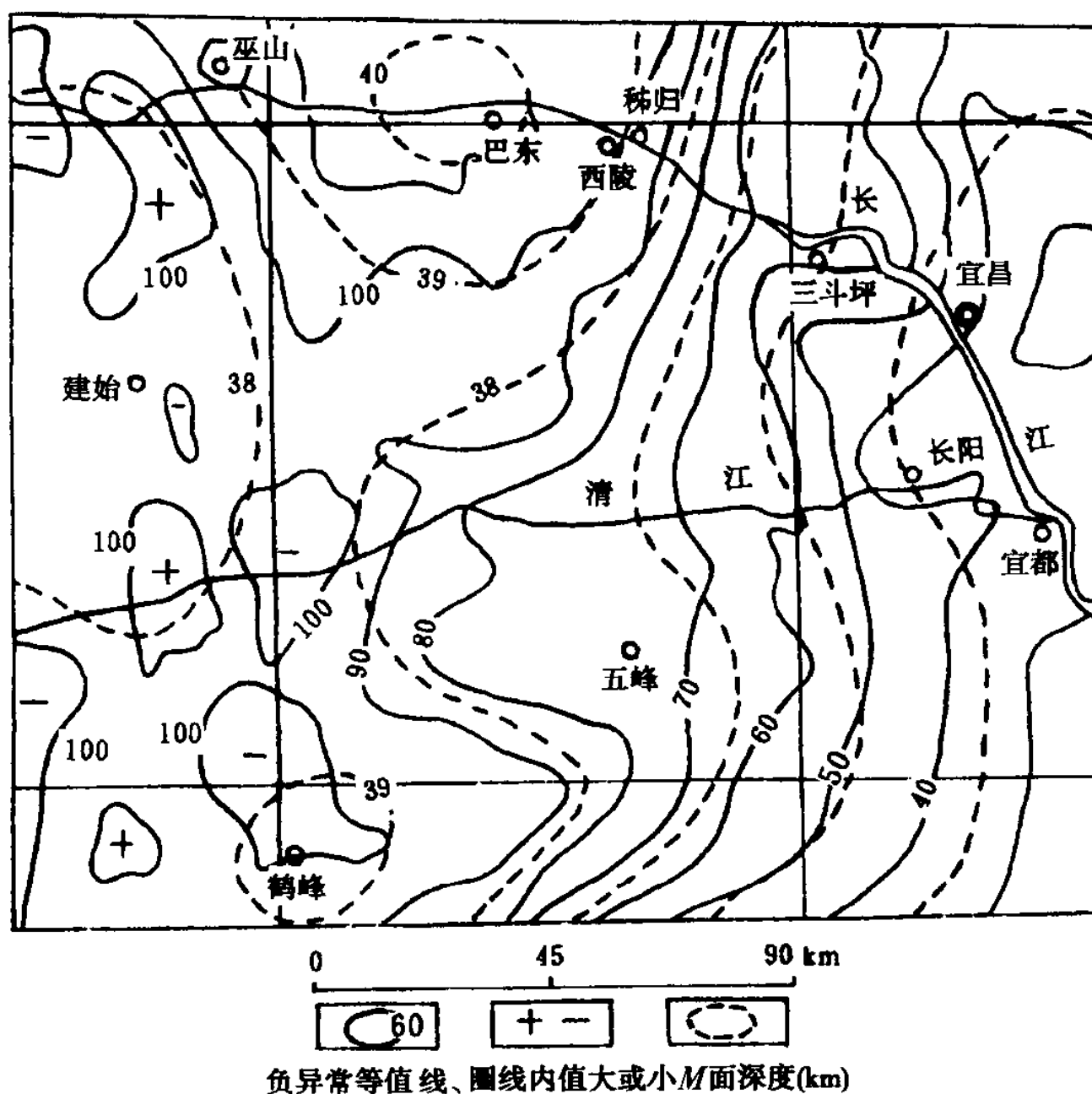


图 1-1-4 区域布格重力异常和 M 面深度分布图

二、区域重力场特征

1. 布格重力异常场

重力资料表明,区域范围内的布格重力异常值在 $-40 \times 10^{-5} \sim -120 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 范围内变化,由东向西,负异常值逐渐增大(图 1-1-4)。清江流域中下游布格重力异常梯度

坡比较陡,东界异常值为 $-40 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,西界为 $-90 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。梯度坡等值线北宽南窄。北部宽达196km,平均梯度为 $0.3 \times 10^{-5} \text{ m/(s}^2 \times \text{km)}$;南部最窄处仅48km,平均梯度为 $0.9 \times 10^{-5} \text{ m/(s}^2 \times \text{km)}$ 。布格重力异常梯度坡的形态与人工地震得到的莫霍面形态基本一致,也就是说,它主要反映了莫霍面的陡斜坡。

2. 均衡重力异常场

根据区域重力测量资料和地形高程资料所计算的均衡重力异常结果表明,区域均衡重力异常值在 $-20 \times 10^{-5} \sim +32 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间,流域内绝大多数地区的异常值处于 $-10 \times 10^{-5} \sim +24 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间(图1-1-5)。全区均衡异常平均值为 $2 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,表明本区地壳整体上已基本处于均衡状态。事实上区域均衡程度并不均一,正、负均衡异常分布具有条块特征。负异常区包括宜昌以东的负异常带,沿长江分布的北西西向负异常带以及建始—恩施北北东向负异常带。它们的异常值均在 $0 \sim -24 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间,且三个负异常带连成一个整体,中间为黄陵背斜正异常地块。正异常区位于长江以南、长阳—石门以西、建始—恩施以东的区域,几乎包括整个清江流域,其异常值在 $0 \sim +24 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 之间。

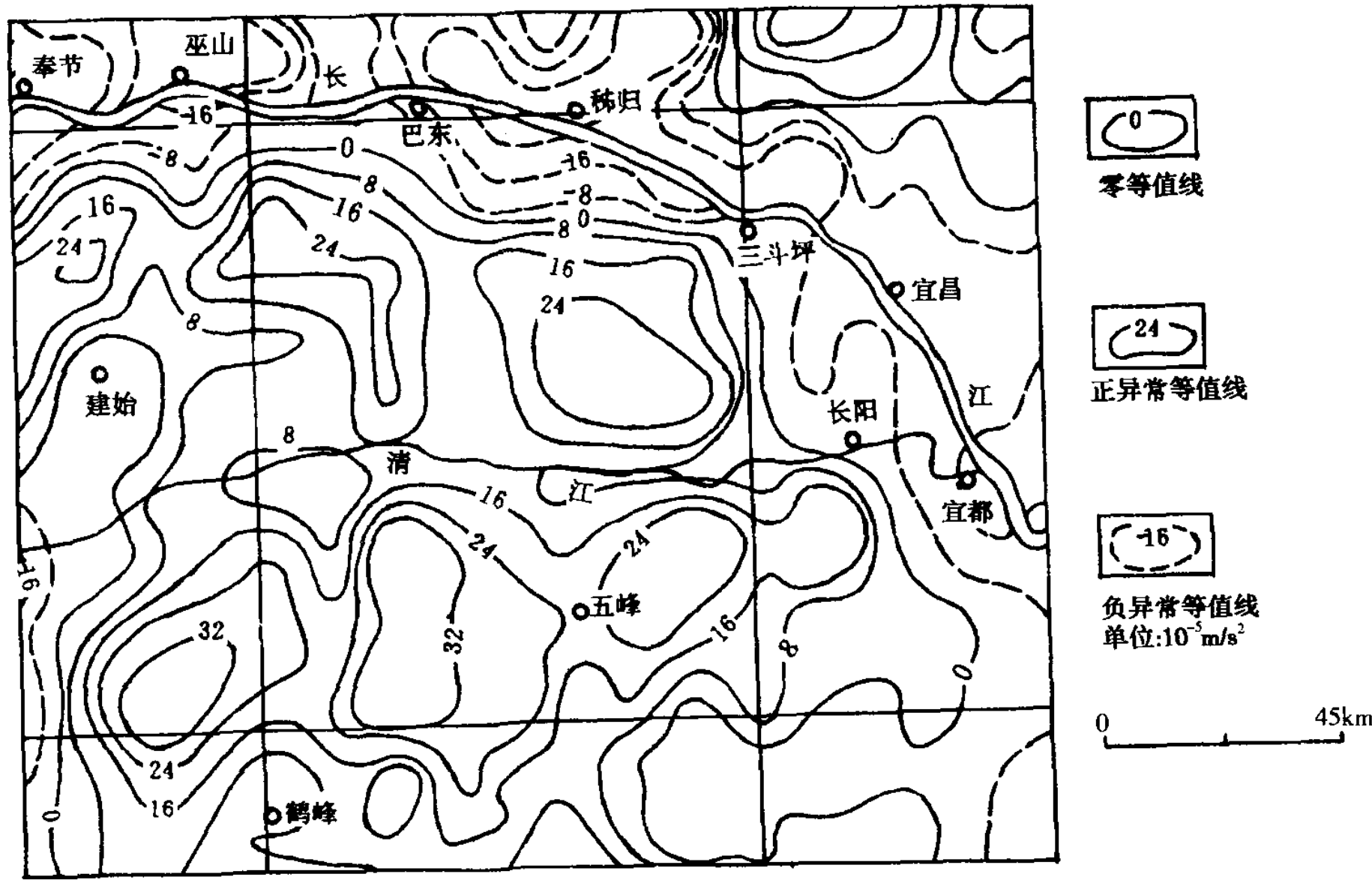


图 1-1-5 清江流域及外围重力均衡异常图

均衡重力异常分布与新构造运动有一定的关系,正异常区为新构造运动的隆起区,负异常区为新构造运动的沉降区或隆起区中的相对断陷、拗陷地区。活动断层的分布常与均衡正、负异常交接带和弱负异常区有关, $M_s \geq 5$ 级地震多数发生于正、负异常交接带附近。显然,区域均衡重力异常分布与活动断层和地震活动有较密切的关系。