

中国地质大学出版社

湖北省地震局
链子崖黄腊石工程
地震组著

长江三峡链子崖黄腊石地质灾害体的 地震危险性



长江三峡链子崖黄腊石 地质灾害体的地震危险性

湖北省地震局链子崖黄腊石工程地震组 著

撰写人员：李安然 秦小军 严尊国 王清云
韩晓光 陈步云 周明礼 薛宏交 等

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本专著围绕长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害体工程地震问题,系统地论述了区内地震活动、地球物理场和地质构造环境,详细研究了地质灾害体近场活动发震断层,并在此基础上完成了潜在震源区预测、地震基本烈度复核和地震危险性分析。

本书是从工程地震学角度研究地质灾害体的一种尝试。书中除为地质灾害防治提供必要的数据外,还对适合于该地区的一些工程地震研究方法进行了探讨。本书可供构造地质、地球物理、地震预测和工程地震等专业的研究人员及高校有关专业师生参阅。

长江三峡链子崖黄腊石 地质灾害体的地震危险性

湖北省地震局链子崖黄腊石工程地震组 著

责任编辑 程业彰 蒋良朴

责任校对 阳中沛

中国地质大学出版社出版

(武汉市·喻家山)

中国地质大学出版社微机排版

中国地质大学出版社印刷厂印刷 湖北省新华书店发行

开本 787×1092 1/16 印张 7.25 字数 170 千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数 1—500 册

ISBN 7-5625-0548-9/P·183 定价:5.95元

序 言

七百里长江三峡，山石崩滑成灾是举世闻名的。史载 11、16 世纪两次巨型崩滑，闭塞江流，舟楫不通。本世纪以来，崩滑灾害依旧绵延，险情不绝。新中国成立后，政府重视，人民努力，多经筹措，预测预防，抢险救灾，初见成效。1985 年，新滩大崩滑，震惊中外，虽滚石如潮，凌空飞泻，摧毁新滩镇，塞江三分有余，激起涌浪逆流顺水八十里，所向披靡，但因成功预报，人员伤亡无几，损失减至最轻，谱写了人类与崩滑灾害斗争之新篇。

时值“国际减轻自然灾害十年”活动伊始，以长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害防治为目标的工作相继展开，旨在消除隐患，变被动防御为主动防治，开创了与三峡崩滑灾害斗争的新纪元。

作为大型地质灾害体防治工程的先行——场址工程地震研究，《长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害体的地震危险性》一书集三峡地区多年工作之成果，综合运用地震地质、地球物理和工程地震等学科的最新理论和方法，科学地论述了链子崖、黄腊石地质灾害体场址地震基本烈度和一定时期内遭受的最大地震动，为防治工程实施提供了可靠抗震参数。本书资料丰富翔实，观点独到，论述新颖，尤以构造—地球物理之新论应用于强震总体构造环境，并地震活动性分析，对低应变背景的地震区带划分及潜在震源区判定值得借鉴。本书可供同行参考，亦是长江三峡地区地质、地震、工程和地质灾害研究和应用不可多得的基本参考资料。

地震基本烈度评定和地震危险性分析等工程地震研究在水库高坝、大桥、核电站、海洋平台等重大工程建设抗震设计中的应用，已为读者熟知，但在大型地质灾害体防治工程的应用，此属首例尝试。山崩滑坡与地震彼此伴生，山崩滑坡可形成崩塌地震、地震孕育及发生可次生崩滑灾害。地质灾害体防治工程的防震抗震、工程地震研究尚无可循之规。充分虑及两种灾害的因果律，有效防治，还需积更多的经验。

抗震防震是减轻地震灾害的主要手段之一。随国力增强，一切永久性工程、生命线工程和大水利枢纽、大交通枢纽、大城市等建设，都需经济合理抗震防震。工程地震研究的应用，正是以最小的投入而达到最有效的防震抗震、减轻地震灾害的目的。本书出版，亦寄冀能拓宽广大读者，尤其是工程、经济界人士的防震抗震、减灾意识。

朱煜城

1990 年 12 月 15 日

前 言

在举世闻名的长江三峡地区，由于特定的地质条件和构造作用，加之人类工程活动的影响，物理地质现象十分发育，山（岸）崩、滑坡（坍）时有发生，给沿岸居民带来严重的灾害。

链子崖崩塌危岩和黄腊石滑坡是长江三峡东段两处主要的地质灾害体。鉴于可能潜伏着严重的灾害威胁，各方面的防灾和减灾研究工作一直在进行中。地震作为一种突发性的快速地壳变动，无疑是影响变形危岩体产生崩滑的动力因素之一。因此，对这两个地质灾害体开展综合性的工程地震研究，包括场址的地震基本烈度和地震峰值加速度、速度以及加速度反应谱等参数在综合概率意义上的评定，是链子崖、黄腊石地质灾害防治工作不可缺少的。

近 20 年来，随着地震科学研究和经济建设的发展，链子崖、黄腊石地质灾害体所属的峡东地区地震研究工作不断深入，资料日渐丰富。尤其是近年来完成的三峡“七五”科技攻关项目、鄂西三峡地区新的地震区划图的编制以及长江三峡三斗坪、清江隔河岩等水利枢纽工程地震研究等，为在新的研究水平上复核链子崖、黄腊石地质灾害体场址地震基本烈度和进行场址地震危险性概率分析，提供了较厚实的基础。

长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害体的工程地震研究主要包括三部分工作：即区域潜在震源区、带划分；地震危险区与地震基本烈度鉴定；以及在此基础上对两场址进行地震危险性分析。为完成这些研究内容，各学科专题组在充分利用现有资料的基础上，分别开展了以下工作：

(1) 在新核定的历史地震资料和重新定位的仪器记录地震资料基础上，研究区域地震活动性及其在三维空间的分布规律，进一步划分地震小区带。同时，在黄腊石近场布设临时台网，进行了为期三个月的微震强化观测。

(2) 收集、补测研究区域重力、航磁资料，并进行统一归算，结合人工地震测深成果综合分析地壳深部构造条件。

(3) 分析区域中新世代大地构造发展及其演化，重新进行大地构造及新构造分区，研究区内断裂系统及其新活动。同时结合地震活动和地球物理场特点，探讨了工作区孕育地震的总体构造环境。

(4) 对链子崖、黄腊石两场址区分别进行了较为详细的野外地震地质考察，着重对可能危及地质灾害体的主要活断层，进行了诸如地质地貌、年代测定、甚低频（VLF）和气汞含量测量等综合性研究。

(5) 在以上工作基础上，采用多种方法预测潜在震源区和未来百年内的地震危险区。同时兼顾长期地震活动背景和中长期地震预报研究结果，利用多特征量综合评估的方法，合理确定各潜在震源的地震活动性参数，充分描述其空间上的非均匀性。

• 李安然执笔。

• V •

(6) 研究适合于工作区的地震烈度衰减关系和加速度、速度、加速度反应谱衰减关系,结合地震活动性研究,进行地震危险性概率分析和不确定性校正,并对链子崖、黄腊石场址进行了环境振动测量。结合可能适用于地质灾害体场址地震危险性超越概率标准的讨论,进行了实用性较强的地震危险性评定。

承担以上各专题的研究人员,涉及到地震、地质、地球物理、工程地震等多种学科共 40 多人,总课题由李安然负责。其中参加地震危险性分析的有秦小军、曾心传、张柯、黄江、胡坚;参加地震活动性分析工作的有严尊国、薛军容、李普丽;参加地球物理场与深部环境分析工作的有陈步云、申重阳、李胜乐;参加地震构造环境分析工作的有李安然、王清云、周明礼、徐孝文;参加链子崖、黄腊石近场区野外地质考察及活断层综合研究的两个小组分别是李安然、王清云、申重阳和韩小光、薛宏文、徐卓民;近场区活断层测试(量)人员有于品清、宋明英、胡淑香、廉新英、廖红滨;微震强化观测由湖北省地震局监测处承担;张飞飞、耿爱玲负责全部制图工作。

湖北省地震局对本项目十分重视,局长朱煜成、科研处副处长徐卓民直接指挥和组织了课题的实施。

本书是在《长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害体工程地震研究报告》的基础上写成的,它集中体现了湖北省地震局有关学科迄今为止在该地区的主要研究成果。参加撰写的人员主要有:李安然、秦小军、严尊国、王清云、韩小光、陈步云、周明礼、薛宏文、申重阳。初稿完成后,由李安然、秦小军和严尊国统汇全书并最终定稿。书中图件由张飞飞、耿爱玲清绘。

鉴于研究地区地震活动及其地震构造关系地区性特点^①显著,本书在为地质灾害体的防治提供必要的参数依据的同时,还探讨了一系列适合于本地区的工作思路和研究途径,诸如孕育地震的总体构造环境和中强地震的构造—地球物理标志、潜在震源区及其地震活动参数预测、地震烈度衰减和地震危险性分析等。由于笔者水平有限,特别是把工程地震用于地质灾害体防治研究尚缺乏经验,加之时间仓促,难免有不当和错误之处,敬请读者批评指正。

链子崖、黄腊石地质灾害体所处的长江三峡东段是我国重要的水电工程建设区,历年来许多兄弟单位和研究者围绕工程需要做了大量的地质、地震和地球物理探测工作,为本项目的研究打下了良好的基础。特别应当提到,在本项目研究工作中,得到了李珏、胡聿贤、陈达生、时振梁、张裕明、汪良谋、郇家全、卢寿德等专家的关怀和指导,刘锁旺、张玉岫、黄祖智、袁登维和李祖武也给予了热心帮助。此外,湖北省地震局领导、科研处以及第八研究室对此课题和撰写本书始终给予了支持和关心。在此一并表示感谢。

① 李安然等,1990,大陆板内中强地震构造环境研究的一种思路。

目 录

前 言

第一章 区域地震-构造环境	(1)
第一节 地震活动性	(1)
第二节 地质构造条件	(9)
第三节 地球物理场	(26)
第四节 地震构造总体环境与潜在地震活动性	(33)
第二章 近场地震地质条件	(35)
第一节 链子崖近场区	(35)
第二节 黄腊石近场区	(49)
第三章 潜在震源区及其地震活动性参数	(63)
第一节 地震小区(带)划分	(63)
第二节 潜在震源区(带)	(64)
第三节 地震活动性参数	(66)
第四章 场址地震基本烈度评定	(72)
第一节 地震影响场衰减特征	(72)
第二节 未来100年内地震活动趋势	(73)
第三节 地震危险区预测	(76)
第四节 场址地震基本烈度	(79)
第五章 场址地震危险性评定	(80)
第一节 地震动衰减关系	(81)
第二节 地震危险性分析	(89)
主要参考文献	(107)

Contents

Preface

Chapter 1. Regional Seismo — tectonic Environment	(1)
1. Seismicity	(1)
2. Geological Structure Condition	(9)
3. Geophysical Fields	(26)
4. Entire Seismotectonic Environment and Potentially Seismic Activity	(33)
Chapter 2. Near Field Seismogeological Condition	(35)
1. The Near Field of the Lianziya Rockfall	(35)
2. The Near Field of the Huanglashi Landslide	(49)
Chapter 3. Potentially Seismic Focus Areas and their Seismicity Parameters	(63)
1. Subdivision of Seismic Active Area (Belt)	(63)
2. Potential Earthquake Source Area (Belt)	(64)
3. Seismicity Parameters	(66)
Chapter 4. Seismic Basic Intensity of the Studied Sites	(72)
1. Attenuational Character of Earthquake Effect Field	(72)
2. Seismicity Trends in the 100 years to come	(73)
3. Prediction of Earthquake — risk Regions	(76)
4. Seismic Basic Intensity of the sites	(79)
Chapter 5. Seismic — Risk Evaluation of the Sites	(80)
1. Seismic motion Attenuation Relationship	(81)
2. Seismic Risk Analysis	(89)
References	(107)

第一章 区域地震-构造环境

长江三峡链子崖、黄腊石地质灾害体工程地震研究区的远场,是指以链子崖、黄腊石场址为中心、半径 200 余公里的区域,包括北纬 $29^{\circ}00'$ — $32^{\circ}50'$ 、东经 $108^{\circ}20'$ — $113^{\circ}00'$ 之间的长江中游和南秦岭地区,面积约 20 多万平方公里。下面拟通过地震活动性、地震构造和地球物理场的综合研究,分析地区蕴育和发生地震的总体构造环境条件。

第一节 地震活动性*

本节主要论述地震活动的区域性空间分布特点,为划分地震区、带和进一步确定潜在震源区提供地震活动性资料和依据。此外,还要确定具有统计单元的地震区(带),该区带既要反映出地震活动的区域性特点,又要保证含有一定数量的大小地震,使在此基础上论证的地震活动性参数具有稳定性和代表性。

为了正确反映区域性地震活动强度、频度的空间非均匀性,将适当展拓空间,在较大范围背景性认识的前提下具体阐述区域性地震活动特征。

一、大区域地震活动背景

以长江三峡链子崖、黄腊石为中心,半径为 200 余公里的范围,涉及到鄂西、川东、陕南和湘北的部分区域,是我国大陆华北、华南和西部地块交接地带,属于长江中下游地震区。

长江中下游地震区地震空间分布具有显著的网络图像(图 1-1),主要由呈北东和北西向分布的两组地震带构成。区内自东向西大体上可划分为三个网区,即江苏及邻近海域(东区),安徽及鄂东、豫东南(中区),鄂西及川东(西区)。三个网区受我国大陆东部统一的地壳应力场的作用,平均主压应力取向接近水平,为北东东—近东西向,平均主张应力方向为北北西向^[1]。本研究所隶属的西区可能受我国大陆西部地块的作用,相比长江区的其他两区区域应力场较为复杂,震源机制解主压应力轴取向的一致性较弱。三个网区的地震活动总体强度相近,具有准同步性时间涨落特征,网间地震活动没有明显的迁移规律^[2]。

长江中下游地震区地震活动时间进程具有约 320—350 年的周期性涨落特征。其中平静阶段(约 150 年),中强地震年均频次甚低,不发生 6 级以上地震;加速释放阶段(约 150 年),中强地震年均频次较高,有数个 6 级以上地震发生;大释放阶段(约 10 年),有多次 5.5 级以上地震发生,年均频次和释放应变远大于其他时段,并发生周期内最大地震;剩余释放阶段(约 10 余年),中强地震年均频次较高,仍有个别 6 级以上地震发生(表 1-1)。图 1-2 为长江中下游地震区的地震序列、应变释放曲线以及各阶段的平均年频次图。该区最近的一个周期约从 1653 年开始,目前处在加速释放阶段向大释放阶段的过渡时段,预计未来二、三十

* 严尊国执笔。

年可能是中强地震比较频发的时段，其后将转入只有少量中强地震活动的平静阶段。

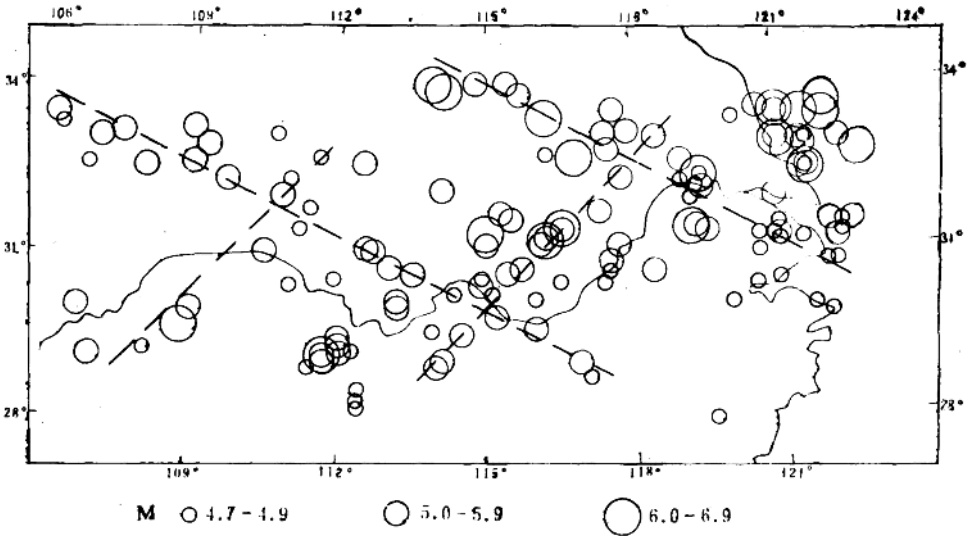


图 1-1 长江中下游地震区地震震中分布图
(1300—1989 年, $M \geq 4.7$)

表 1-1 长江中下游地震区地震活动周期和阶段

序号	阶段	起止年份	间隔 (年)	应变释放 ($\times 10^{5.6} (J)^{1/2}$)	年平均释放率 ($M > 5.5$)
01	平静阶段	(1334)—1480	(146)	0.41	0.02
	加速释放	1481—1623	142	1.59	0.06
	大释放	1624—1634	10	20.0	0.70
	剩余释放	1635—1652	17	4.90	0.10
02	平静阶段	1653—1819	166	0.73	0.03
	加速释放	1820—(1989)	(168)	2.58	0.08

长江中下游地震区自 1300 年以来大约经历了两个活动周期,根据现有记载的地震资料估算,两个周期的年均应变释放率分别为 $1.24 \times 10^{5.5}$ 和 $1.50 \times 10^{5.5} (J)^{1/2}/a$ 。考虑到第一周期地震资料的非完整程度和第二周期尚未结束等因素,粗略推算,至 1990 年可能尚存有待释放的剩余应变累积约 $1.5 \times 10^{7.5} (J)^{1/2}$, 相当于一次 7 级左右地震的释放应变。

长江中下游地震区的地震原地重复发生现象大体上分为两类:一类是 6 级以上地震跨周期的重现性,重现时间间隔约 300 年左右,如安徽霍山和河南许昌;另一类是 6 级以下中强震的重现性,重现时间间隔大多限定在同一周期内,时间尺度较小,涉及到本研究区的如湖北钟祥和陕西汉中等地。该区上述两类地震重现性仅表现在少数震区,大部分中强地震具有较强的“新生性”和“免疫性”。

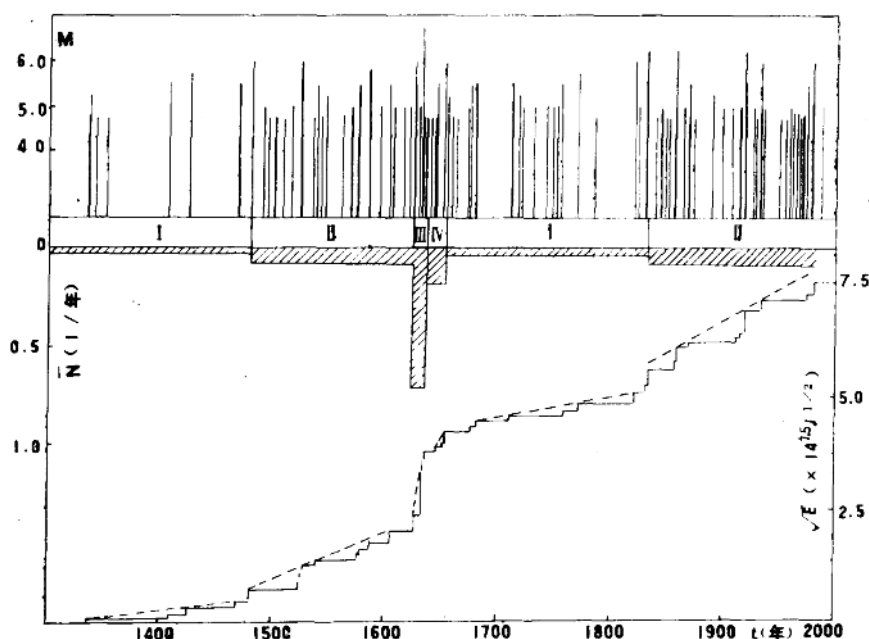


图 1-2 长江中下游地震区序列 ($M \geq 4.7$)、应变释放曲线和各阶段平均年频次 ($M \geq 5.5$) 图

此外,该区内 1300 年以来 $M \geq 4.7$ 级地震资料估算的震级-频次关系系数 b 值为 0.99 ± 0.08 。

上述大区域地震活动背景研究结果表明,链子崖、黄腊石远场区域地震环境研究具有统计功能的一级地震区范围,宜确定为长江中下游地震区之西区,大致为北纬 28° — 34° 、东经 106° — 114° 之间。根据这一研究范围内地震活动强度、频次的空间非均匀性可以进一步划分次一级的地震小区(带),其地震活动性参数的总体特征将受上述研究范围结果的约束。

二、研究区中强地震空间分布

经核定,研究区自公元前 143 年有地震史料记载以来共录有 65 次 $M \geq 4.7$ 级地震,地震目录见表 1-2,表中记“*”号者引自参考文献 [3],其余引自参考文献 [4],并补充了近期资料。图 1-3 为震中分布情况(由于记“*”号之震中误差甚大,图中没有标出)。考虑到该区历史上文化的发展,可以认为 1400 年明代以来中强地震记载才略完整,大体上能够反映出该区中强地震活动的基本特征。

图 1-3 震中呈现的北西和北东两组带状分布十分醒目,利用地震频次、应变释放和地震活动度等定量指标描述的空间分布也表现出类似特征。对照图 1-1,研究区内中强地震按其在网络中的部位,大致以北纬 32° 度线分为南北两部分,而南部又以东经 111° 度线分为东西两部。参考文献 [2] 根据地壳受力屈曲失稳的观点解释了该区地震网络特征及网络各部位存在的差异,并阐述了它们与地质构造的关系。这里进一步分述如下:

表 1-2 本区及邻区中强地震简目 ($M \geq 4.7$)

编 号	发震时刻			北 纬 (度)	东 经 (度)	震 级 M	参考地名
	年	月	日				
1	—143	6	10	32.4	110.1	5.	竹 山
2	46	10	23	33.0	112.5	6.5	南 阳
3*	778	0	0	28.1	111.4	5.75	湖南、湖北间
4	788	3	8	32.4	109.9	6.5	竹溪
5*	788	8	3	32.5	109.2	5	陕西、湖北
6*	999	8	23	29.0	112.0	5.5	湖南、湖北
7*	1310	7	0	31.2	112.2	6.	湖北
8*	1340	7	23	29.0	111.3	5.5	湖南、湖北
9	1351	8	22	30.6	111.9	4.75	枝江
10	1407	0	0	31.2	112.6	5.5	钟祥
11	1469	11	4	31.2	112.6	5.5	钟祥
12	1470	1	3	30.0	113.2	5.	嘉鱼、洪湖间
13	1509	0	0	28.6	112.4	4.75	宁乡、益阳间
14	1516	0	0	29.4	112.0	5.	安乡
15	1520	3	12	28.0	110.0	4.75	新化
16	1542	0	0	28.4	112.4	4.75	宁乡
17	1568	4	12	33.1	107.0	5.	汉中
18	1568	4	13	33.1	107.0	5.	汉中
19	1569	0	0	32.7	109.0	5.	安康
20	1575	3	16	29.0	114.1	5.5	修水、平江间
21	1575	6	9	32.7	112.5	5.25	唐河西
22	1603	5	30	31.2	112.6	5.5	钟祥
23	1605	6	8	30.8	113.0	5.	钟祥东南
24	1620	3	5	31.1	112.7	5.	钟祥、潜江间
25	1624	10	0	33.2	107.5	5.5	洋县
26	1626	10	8	26.0	109.7	5.	会同
27	1628	0	0	29.0	111.4	4.75	桃源
28	1630	10	14	30.2	113.2	5.	汉川
29	1630	10	14	30.2	113.2	5.	沔阳
30	1631	8	14	29.2	111.7	6.75	常德
31	1631	11	1	29.2	111.7	5.5	常德
32	1631	11	8	29.3	111.7	5.75	常德
33	1632	2	0	27.1	111.1	4.75	隆回
34	1632	0	0	32.4	109.7	5.0	竹溪
35	1631	6	25	30.3	113.1	5.25	潜江、沔阳间
36	1635	10	26	33.2	107.5	5.5	洋县

编 号	发震时刻			北 纬 (度)	东 经 (度)	震 级 M	参考地名
	年	月	日				
37	1639	4	15	28.3	112.4	4.75	益阳、长沙间
38	1679	12	11	33.3	109.0	5.5	西安、安康间
39	1710	4	16	27.8	111.3	5.5	新化
40	1717	7	6	29.5	112.0	5.25	安乡
41	1742	0	0	32.1	110.8	5.	房县西
42	1785	12	14	29.3	112.3	4.75	安乡
43	1823	8	0	32.6	108.0	5.	镇巴
44	1843	3	19	29.3	111.8	4.75	常德西北
45	1850	5	9	29.9	112.0	4.75	江陵
46	1854	12	24	29.1	107.0	5.5	南川
47	1855	0	0	29.3	108.1	4.75	彭水
48	1856	6	10	29.7	108.9	6.25	咸丰
49	1863	8	30	29.1	111.7	5.	通城东南
50	1887	0	0	32.4	111.0	4.75	武当山
51	1906	8	10	29.1	111.7	5.0	常德
52	1908	0	0	33.5	106.1	5.5	略阳北
53	1927	0	0	33.3	106.2	4.75	略阳
54	1931	7	1	30.0	109.0	5.	利川
55	1948	2	19	31.9	111.4	4.75	保康
56	1954	2	8	29.6	113.9	4.75	蒲圻
57	1959	9	28	33.0	109.3	5.	洵阳
58	1961	3	8	30.3	111.2	4.9	宜都
59	1964	9	5	33.1	110.7	4.9	郧县
60	1967	8	20	32.9	106.7	4.8	南郑西南
61	1969	1	2	31.5	111.4	4.8	保康
62	1973	11	29	32.8	111.6	4.7	浙川
63	1979	5	22	31.1	110.5	5.1	秭归
64	1989	11	20	30.0	106.7	5.2	重庆
65	1989	11	20	30.0	106.7	5.4	重庆

(1) 研究区内北纬 32 度以北, 从陕西汉中至湖北竹山、保康, 约 15 次 $M \geq 4.7$ 级地震构成了秦岭以南最为醒目的北西向地震条带, 最大地震为 788 年竹山 $M=6.5$ 级地震。

(2) 研究区内北纬 32 度以南, 东经 111 度以西, 从鄂西至川东是构成该区地震网络图象的一个北东向边带。虽然仅记载 7 次 $M \geq 4.7$ 级地震, 但均为 19 世纪中叶后的记载, 早期记载可能缺失, 并且带状展布清楚。最大地震为 1856 年咸丰 6.25 级地震。

(3) 研究区内北纬 32 度以南, 东经 111 度以东, 包括了江汉洞庭盆地及其周缘山前地带。这是地震网络图象中地壳应力分布较为特殊的区域, 除了包括构成网络交汇的北东和北西两条边带外 (地质构造上属隆起性质), 还包括网络交汇内侧的谷状凹陷区及边缘。这一区域局部受力状况和地震活动特征都有异于上述 (1)、(2) 单纯地震网络边带的情况, 地震分布不能简单地勾划出带状特征。15—17 世纪地震相对活跃, 1631 年常德 6.75 级地震是该区的最

大地震。

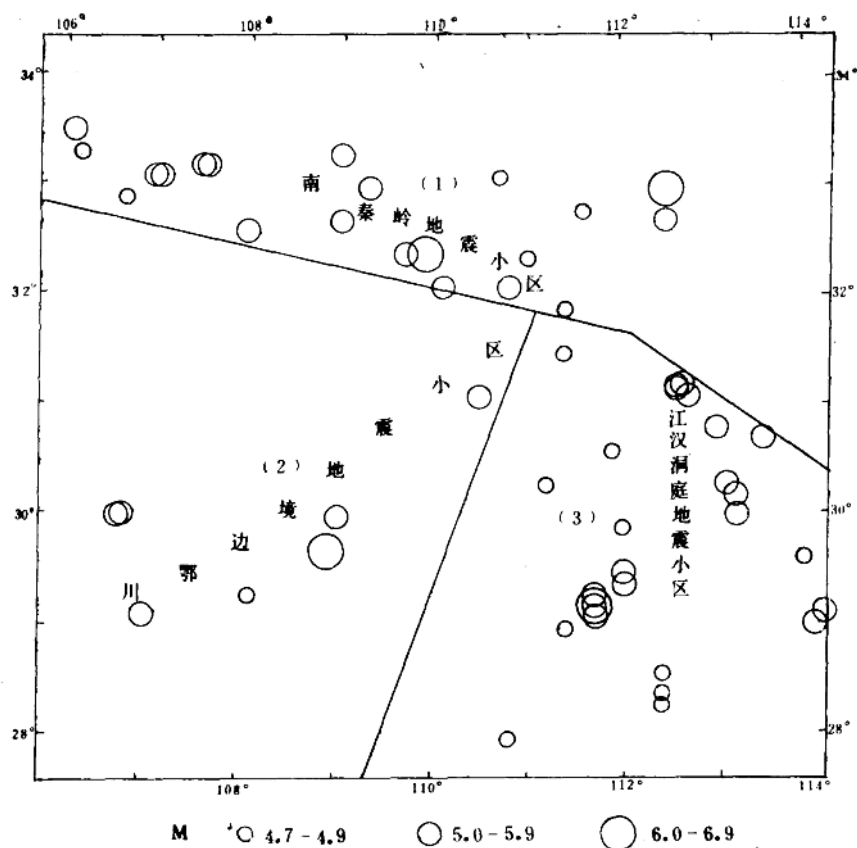


图 1-3 研究区中强地震震中分布图
(公元前 143—公元 1989 年, $M \geq 4.7$)

研究区内由地震网络图象划分为三个部分是区域性地震活动空间非均匀性的体现,也是区域性地震小区(带)划分和潜在震源区判定的基础。地震活动性和地质构造有着密切的关系,其详细论述见下述章节。

三、研究区中小地震空间分布

1959 年在研究区内三峡峡东地区建区域地震台网,基本能监控峡东宜昌附近 $M_L \geq 1.5$ 级地震。1970 年后鄂、湘、陕、川区域地震台网相继建设,监控能力逐步提高,迄今监控 $M_L \geq 2.5$ 级地震的能力可覆盖全区,大部分区域能监控 $M_L \geq 2.0$ 级地震。1970 年以来研究区共记录中小地震 2 千余次,其中 $M_L \geq 2.0$ 级地震近 1400 次,表 1-3 中列出了各震级间隔频次的统计结果。

表 1-3 1970—1989 年震级-频次统计表

ΔM_L	1.8—2.2	2.3—2.7	2.8—3.2	3.3—3.7	3.8—4.2	4.3—4.7	4.8—5.2	5.3—5.7
N	694	562	214	74	30	10	6	4

中小地震的发生具有一定的随机性,因此选择 $M_L \geq 3.0$ 级地震讨论其空间分布特征。图 1-4 示 1970 年—1989 年 $M_L \geq 3.0$ 级地震分布。图中可见,中小地震分布总体上与前节阐述

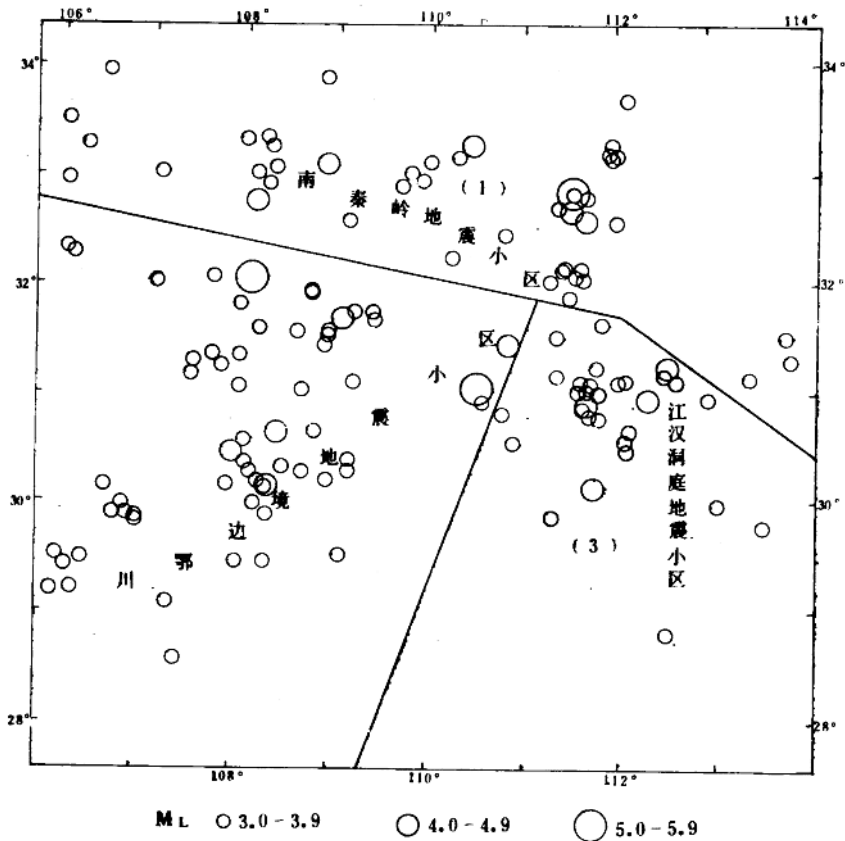


图 1-4 研究区地震震中分布图
(1970—1989, $M_L \geq 3.0$)

地震网络图象的三个部分一致,只不过将以中强地震构成的网络边带展拓为网络不同部位的小区域分布。近 20 年,中小地震发生较密集的地段有两处:一是黄陵背斜东翼、江汉洞庭盆地北西侧向鄂西山地的过渡地带,即当阳、远安和荆门附近;二是处在研究区地震网络图象另一个区的川东石柱、云阳和城口附近。需要指出的是近 20 年中小地震比较频发的地段并非历史中强震震发地点。虽然研究区中小地震活动是否预示着强震的孕育尚无经验借鉴,但区内中强地震明显表现出的“新生性”和“免疫性”,使得我们在研究判定潜在震源区及其参数和地震危险区时,必须充分考虑现今中小地震活动性的因素。

长江三峡峡东区域是区域地震台网监控能力较强的地区。利用计算机定位方法重新核定地震基本参数的研究表明,较高精度的震源空间位置大部分与该区的主要断裂带关系密切,如远安断裂带、新华断裂和仙女山断裂等;而震源深度较深的中小地震($h \geq 20\text{km}$)多分布在北西向的雾渡河断裂与巡检司断裂夹持的区域及天阳坪断裂以南,反映了该区地壳深部和浅部构造运动上的差异;但具有工程意义的地震多发生在上地壳的能干层,即 $h=15\text{km}$ 左右^①(图 1-5)。

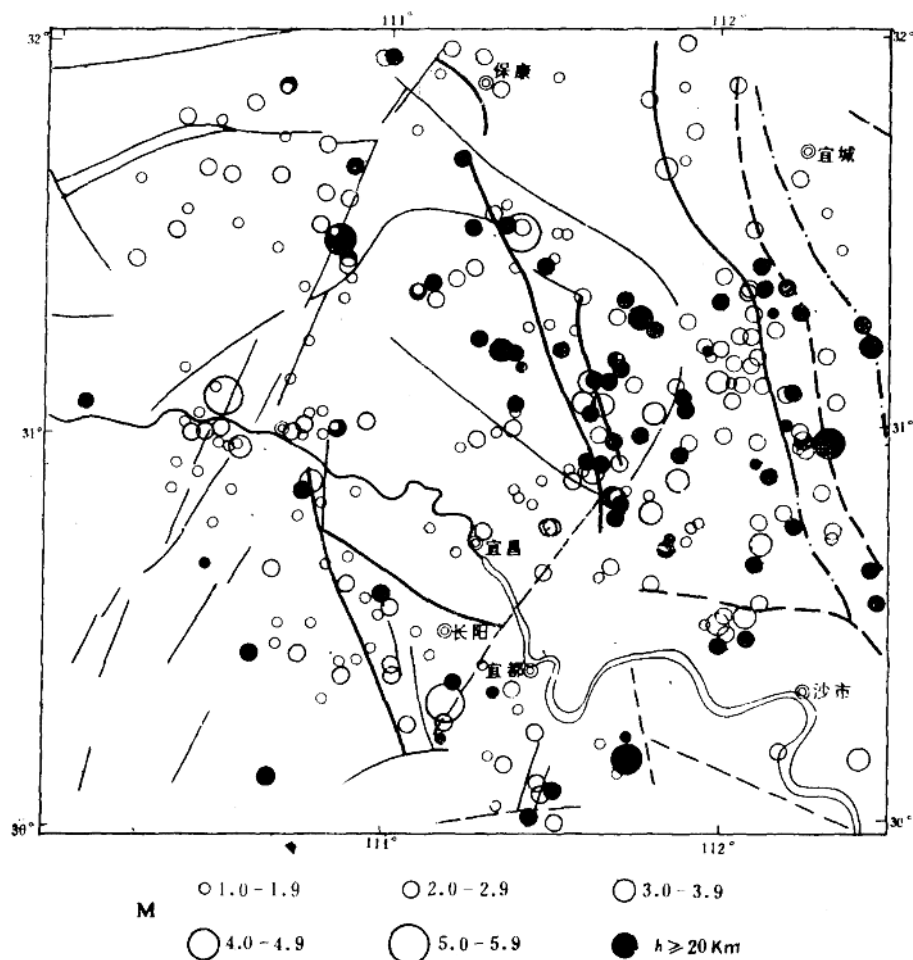


图 1-5 精确定位的地震震中分布图
(1959—1989 年)

① 严尊国等, 1989, 长江三峡地区地震基本参数研究。

四、区域地震应力场

研究区可求震源机制解的中小地震计有 39 次, 其中 1987 年以前的 31 次地震资料参见文献 [6]。图 1-6 (A) 为这些地震震源机制解主压应力轴取向的统计分布图, 图中没有显示出单一的优势取向, 北东向的约占 26%, 近东西和近南北向的分别占 23% 左右, 充分反映出该区处在不同构造块体 (单元) 交接的特殊位置所造成的局部地震应力场和发震构造的复杂性。该区根据地震网络图象所划分的三个部分分别统计结果, 同样表现出类似的特征。北纬 32 度以北的南秦岭区域 14 次地震震源机制解主压应力轴取向中, 近东西向的略占优势, 北东向次之 (图 1-6B); 北纬 32 度以南的江汉洞庭区域 22 次地震中, 北东向略占优势, 北北西—近南北向次之 (图 1-6C); 而川鄂边境区域的仅 3 次地震资料中, 有 2 次主压应力轴取向北东东, 另一次取向北北东。

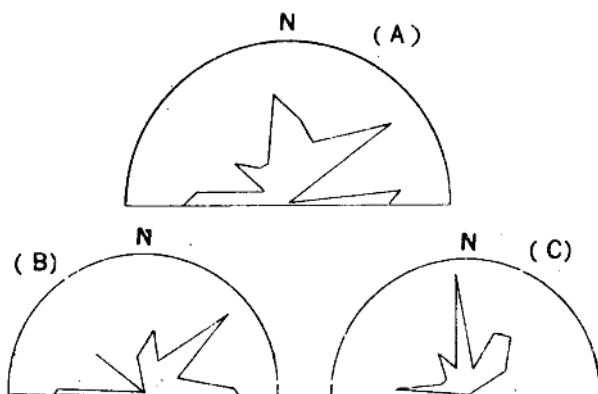


图 1-6 研究区震源机制解主压应力轴取向统计图

A. 全区; B. 南秦岭区域; C. 江汉洞庭区域

另一方面, 研究区震源机制解的主压应力轴和主张应力轴仰角大于 30 度的分别占 59% 和 64%, 大于 45 度的分别占 41% 和 44%, 体现出该区应力具有较大的垂直分量, 断裂错动有较大的倾滑成分。

区域地震应力场的复杂性和地壳主压应力仰角较大的特点决定了研究区地震活动总体强度不甚高, 并且中强地震频度较低的特征。

第二节 地质构造条件

一、大地构造性状及中生代发展*

研究区包括鄂中、鄂西, 并涉及豫、陕、川、湘边境地域。对于本区大地构造性状与构造单元划分研究者甚多, 见解亦不尽一致^[7-9]。从工程地震研究需要出发, 我们在划分构造单

* 李安然执笔。