



昆明高(超高)层建筑

中近场强震响应研究

Research on

Middle-to-Near-Field Strong Earthquake
Response of High-Rise (Ultra high) Buildings in Kunming

皇甫岗 王 彬 周光全 编著
夏平成 非明伦 毛 燕 谢英情



云南出版集团公司
云南科技出版社



KUNMING GAO (CHAOGAO) CENG JIANZHU ZHONGJINCHANG

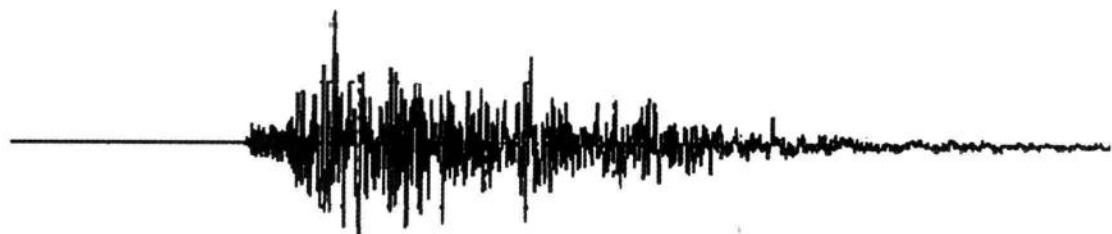
QIANGZHEN XIANGYING YANJIU

昆明高（超高）层建筑中近场
强震响应研究

皇甫岗 王 彬 周光全

编著

夏平成 非明伦 毛 燕 谢英情



云南出版集团公司

云南科技出版社

· 昆明 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

昆明高(超高)层建筑中近场强震响应研究/皇甫岗,
王彬,周光全主编. —昆明:云南科技出版社,2009.9
ISBN 978-7-5416-3406-2

I. 昆… II. ①皇甫…②王…③周… III. 高层建筑-大地震-地震反应分析-研究-昆明市 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 166780 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码: 650034)

云南国浩印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 36 字数: 832 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1 ~ 700 册 定价: 156.00 元

编委会

主 编：皇甫岗 王 彬 周光全
副主编：夏平成 非明伦 毛 燕 谢英情
编 委：张令心 丁海平 孙景江 戴君武 卢永坤
李 西 施伟华 张彦琪 崔建文 靳树才
工作组：皇甫岗 王 彬 乔 森 周光全 非明伦 毛 燕
谢英情 崔建文 金 星 薄景山 廖振鹏 袁一凡
张克绪 张令心 丁海平 孙景江 戴君武 卢永坤
施伟华 王锡才 解 丽 俞维贤 韩新民 王绍晋
曹娟娟 张彦琪 高 东 李世成 李 西 陈坤华
包一峰 曾祥凤 付正新 徐 硕 赵慈平 刘启方
黄 勇 孔 戈 江近仁 高 森 齐晓海 姚大庆
王 威 石宏彬 张向东 丁世文 刘洁平 石 磊
郭丰雨 王 涛 张敏政 孟庆利 陈惠敏 裴 强
白文婷 宋廷苏 王艳茹 占松梅 夏炳炎 吕露峰
何 福 林德全 李洪涛 王 颖 温瑞智 李山有
张尔齐 郑英杰 杨振钧 郭梦秋 吴伯黔 李 珊

前 言

云南地区位于青藏高原东南缘,由于印度板块向欧亚板块中国大陆北东向强烈挤压,构造复杂,介质破碎,地震活动极为频繁。云南地区山间盆地发育且多为活动断裂控制,沉积物巨厚,其中以云南省的省会所在地昆明盆地最为典型。有历史记载以来,昆明盆地内没有发生过6.5级以上地震,其潜在地震危险性主要来源于邻近地区尤其是小江断裂带地震活动的影响。小江断裂距离昆明市区仅30km余,1833年发生的高明8级地震造成昆明城区Ⅷ度破坏。由于盆地结构对地震波能量的多次反射产生的聚焦效应,以及湖相沉积软弱土层对地面运动加速度放大、持续时间延长的作用,近年来,一些现代化都市的高层建筑,尤其是第四系盆地软弱场地上的高层建筑,遭受中近场强震的严重破坏,造成了惨重的人员伤亡和经济损失。

随着经济建设的迅猛发展,昆明高层建筑日益增多。高层建筑造价昂贵,一旦邻近地区发生强烈地震,面临重大灾难的潜在危险。因此,有针对性地研究该地区近年来大量涌现的高层建筑物在盆地条件下的中近场地震反应问题,研究昆明市典型高层建筑的抗震性能及薄弱环节,对指导已有重要建(构)筑物采取相应的抗震加固措施,对昆明城市建设规划、制定城市抗震防灾对策具有重要意义。

目前,地震科学和结构工程学的认识水平、地震波动场的研究进展及高层建筑结构数值模拟和实验技术的发展水平已具备了解决盆地内高层建筑地震响应这一复杂问题的可能。基于对设定地震震源模型和地震波传播路径介质的了解,研究设定震源发生地震破裂时昆明盆地结构及上覆土层的地震响应、土—结构相互作用及其对地震动的影响,进而通过数值模拟分析、模型振动台实验研究可能发生的地震作用下昆明典型高层结构的抗震性能,结合实际观测和地震现场考察成果评价昆明高层建筑结构地震易损性,提出相应的防震减灾对策,有利于采取相应的抗震防灾措施,改进昆明地区高层结构的抗震设计,提高昆明高层建筑的抗震性能,为昆明长远发展提供地震安全保证。

本书共分9章,汇集了“昆明高(超高)层建筑中近场强震响应研究”项目的主要研究成果。项目属于云南省“十五”防震减灾重大项目的重要组成部分,云南省、昆明市两级人民政府高度重视并给予经费资助,发展与改革、财政、科技等部门大力扶持。在项目执行期间,云南省地震局项目组织部门计划财务处、主持部门应急救援处、承担

单位防灾研究所、“十五”项目协调办公室等相关人员组织协调工作；云南省地震局及项目合作单位诸多科技工作人员以高度的责任心、不懈的探索精神辛勤耕耘，付出了艰苦劳动和汗水，取得了丰硕的基础研究成果。本书编写过程中，得到了云南省地震局晏凤桐研究员、秦嘉政研究员等专家的指导和帮助，他们在百忙中挤时间审阅了全文，提出宝贵的修改意见。谨此表示衷心感谢。

对一个现代化大城市系统全面地开展设定地震、盆地地震动特征及相应的高层建筑地震响应等多方面研究工作，目前世界上尚不多见。希望本研究成果对读者有所启迪和帮助。

编 者

Preface

Yunnan area is located at the southeast margin of the Qinghai – Tibet plateau. The strong extrusion of the Indian plate against the Chinese continent in the Eurasian plate along the northeast direction leads to complex structures, media fragmentation, and high seismic activity. The mountain basins, with thick sediments and controlled by the active faults, developed well in Yunnan area. Among all these basins, the Kunming basin, located in Kunming, capital of Yunnan province, is the most typical one. Based on the historic records, there has been no earthquake with magnitude more than 6.5 ever occurred in Kunming basin. The potential seismic risk of the basin comes mainly from the impact of seismic activity in the neighboring areas, and the Xiaojiang fault zone in particular. The distance between the Xiaojiang fault and Kunming urban area is only a little more than 30 kilometers long, so the 1833 Songming M8 earthquake, which occurred on the fault, caused damages in Kunming city with intensity VIII. In recent years, some high – rise buildings in modern cities, especially those on the soft sites of the Quaternary basins, suffered serious damages by the middle – to – near – field strong earthquakes, and caused serious personnel casualty and economic losses, because of the focusing effects generated by the multiple reflections of seismic wave energies in the basin structures, the effects of ground motion amplification by the lacustrine deposits of soft soil, and the duration time extension of seismic waves.

The number of high – rise buildings in Kunming is increasing with the rapid development of economic construction. The costly high – rise buildings are at risk of serious disasters, once strong earthquakes occurred in the neighboring areas. Therefore, it is targeted to study the middle – to – near – field seismic responses under the basin conditions for many of the high – rise buildings constructed in recent years, and study anti – seismic performances and weak links of the typical high – rise buildings in Kunming city, for guiding the corresponding countermeasures for seismic reinforcement of the existing key buildings. This is important for the city planning, and the development of countermeasures for urban earthquake disaster prevention.

According to the current knowledge of seismology and structural engineering, progresses in seismic – wave field researches, numerical simulation of high – rise building structures, and development of experimental techniques, it is now possible to solve this complex problem. Based on the scenarios of the assumed seismic source model and the path media of seismic wave propagation, we study the responses of Kunming basin structure and the coer surface layer of soil when seismic rupture occurs from the assumed source, and the mutual action of soil structures and their affects to ground motions, study the anti – seismic performances of the typical high – rise struc-

tures in Kunming when the possible earthquake occurs by the methods of numerical simulation analysis and the model of shaking table experiment, assess the vulnerability of high – rise structures in Kunming combined with the results of actual observation and earthquake investigation on site, and put forward the relevant countermeasures for earthquake disaster prevention and mitigation, which are helpful to take the relevant measures for earthquake disaster prevention and mitigation, improve the anti – seismic design for high – rise structures in Kunming, and improve the anti – seismic performances for high – rise structures in Kunming, so as to ensure seismic safety to provide the long – term development of Kunming city.

This book is divided into 9 chapters, a collection of major research results from project “Research on middle – to – near – field strong earthquake response of high – rise (ultra high) buildings in Kunming”, one of the tenth 5 – year key projects for earthquake disaster prevention and mitigation in Yunnan province. People’s Governments of Yunnan province and Kunming city attached great importance and financially supported to this project. This project also obtained partial support from departments of development and reformation, finance, science and technology. During implementation, the project was organized and coordinated by the divisions of planning and finance, emergency response and rescue, disaster prevention research institute, and the coordination office for the tenth 5 – year projects in the Earthquake Administration of Yunnan Province (EAYP) and other relevant organizations. Many of the scientists and staff from EAYP and other cooperation organizations worked hard with a high sense of responsibility, and achieved fruitful results of basic researches. Preparation of this book was helped by Profs. YAN Fengtong, QIN Jia zheng and some other experts in EAYP. They went over the full text, and gave precious revision comments for corrections. Sincerely thanks went to them.

It is still rare in a modern metropolis to carry out a comprehensive study on scenarios of the assumed seismic sources, characteristics of ground motions in basins, and seismic responses for high – rise buildings. Hopefully readers of this book can find the results in this study are inspiring and helpful.

Editor

内容简介

本书是云南省“十五”重点项目“昆明高（超高）层建筑中近场强震响应研究”的专著。全书共分9章，在昆明盆地中近场强震预测的基础上，从震源参数、传播介质、盆地结构、土—结构相互作用体系，直到建筑结构，全面系统地介绍了高层建筑在中近场强震作用下地震效应的研究方法及应用研究成果，重点突出了设定地震、盆地地震效应、土—结构相互作用、建筑结构数值模拟和振动台试验研究方法的理论和实际应用。其中采用确定分析与概率分析相结合的方法综合判定地震并确定震源参数、建立盆地三维计算模型并模拟分析盆地结构对地震动的影响、高层建筑土—结构相互作用地震反应分析、根据结构弹性地震位移反应估计高层建筑弹塑性位移反应等研究成果具有创新性，体现了近年来设定地震研究和地震工程学前沿领域的研究进展。基于数值模拟分析和振动台试验研究成果，评价了昆明盆地高层建筑的地震易损性，结合昆明高层建筑的抗震性能研究成果提出了相应的防震减灾对策。

本书可供从事地震工程学、地震地质学、地震学、地震灾害学及其相关学科研究的工作者及大专院校相关专业的师生参考，对城市防震减灾管理决策者也有一定的参考价值。

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究目的和意义	(1)
第二节 研究思路及内容	(3)
第三节 本章小结	(3)
第二章 昆明中近场范围内设定地震研究	(4)
第一节 地震构造环境	(4)
第二节 地震活动性研究	(28)
第三节 研究区全新世断裂及强震活动特征	(43)
第四节 设定地震的确定性方法研究	(49)
第五节 设定地震的概率方法研究	(66)
第六节 设定地震的综合方法研究	(90)
第七节 本章小结	(99)
第三章 昆明盆地的场地特征	(102)
第一节 昆明盆地的起源及演化	(102)
第二节 昆明盆地的土层结构特征	(107)
第三节 昆明盆地历史地震震害	(136)
第四节 本章小结	(139)
第四章 昆明盆地土层的地震响应	(141)
第一节 盆地土层结构模型的模拟分析	(142)
第二节 昆明盆地土层地震响应的模拟研究	(150)
第三节 昆明盆地土层地震响应的波动有限元模拟	(166)
第四节 典型高层建筑场地土层地震反应分析	(237)
第五节 本章小结	(248)
第五章 昆明高层建筑现状	(251)
第一节 昆明高层建筑现状调查	(251)
第二节 高层建筑类型划分	(283)
第三节 昆明市典型高层建筑	(283)
第四节 本章小结	(286)
第六章 高层建筑土—结构相互作用研究	(287)
第一节 土—结构相互作用分析模型的建立	(287)
第二节 土—结构相互作用分析软件	(301)

第三节	数值计算分析	(307)
第四节	本章小结	(372)
第七章	高层建筑地震响应数值模拟研究	(377)
第一节	高层建筑地震响应数值模拟计算模型的建立	(377)
第二节	昆明高层及超高层建筑抗震性能研究	(390)
第三节	本章小结	(457)
第八章	典型高层建筑结构振动台试验	(459)
第一节	典型高层建筑结构动力特性的现场测试	(459)
第二节	原型与模型的相似及模型设计	(469)
第三节	结构模型材料	(476)
第四节	模型试验结果	(478)
第五节	本章小结	(545)
第九章	昆明高层建筑防震减灾对策	(549)
第一节	昆明典型高层建筑抗震性能评价	(549)
第二节	昆明高层建筑防震减灾对策原则	(550)
第三节	昆明高层建筑防震减灾的主要对策	(552)
第四节	昆明高层建筑防震减灾的主要措施	(555)
第五节	本章小结	(559)

第一章 绪论

第一节 研究目的和意义

作为云南省的政治、经济、文化中心和我国旅游、商贸、连接东南亚各国的重要城市，昆明市在国家西部大开发的战略中起着重要作用。随着经济建设的迅猛发展，近年来昆明兴建了大量的高（超高）层建筑，截止 2004 年 8 月的普查数据显示昆明市建成区内已有超过 400 栋的高层建筑。作为现代化城市标志的高（超高）层建筑，在拓展了人类活动空间的同时，也面临着一旦遭受地震破坏，有产生重大灾难的危险。

基于上述原因，必须开展昆明高（超高）层建筑中近场地震响应研究工作，以深入了解昆明高层建筑结构在未来可能发生的地震作用下的性能，以便采取相应的抗震防灾措施、改进今后昆明地区高层建筑结构的抗震设计、提高其抗震性能，为昆明长远发展提供地震安全保障。

一、世界高层建筑物震害的启示

近年来，一些现代化都市所遭受的地震破坏给我们提供了很多惨痛的例子。1985 年墨西哥地震，远在 400km 多以外的墨西哥城湖积区软弱场地上的高层建筑出现了严重的破坏现象，其重要原因就是软土层与结构的双重共振作用。地震波在墨西哥城的湖相沉积盆地内多次反射，软弱土层使得地面运动加速度放大、持续时间延长，周期约为 2 秒的近似于简谐振动的地面运动持续时间长达 180 秒左右，加速度峰值达 0.18g，使 10 至 15 层的建筑遭到了前所未有的严重破坏和倒塌。在 1994 年日本阪神地震中，高架公路出现了大范围倒塌，并且出现了偏移震中分布的高烈度长条区域，这一现象的产生也是由于盆地构造对地震波能量的聚焦效应。1999 年台湾集集地震，远离震中约 150km 的台北市高层建筑也遭受了巨大破坏。

这几次地震的震害现象无疑对于与这些城市具有相似软土盆地结构的昆明有着警示作用。

二、昆明盆地概况

昆明盆地位于金沙江、南盘江、红河三流域的分水岭地带，本身属金沙江流域，是云南省最大的山间盆地，南北长 70km，东西宽 15~23km，面积 1482km²，位于其中的滇池南北长 40km，东西最宽 12.9km，平均宽 7km，面积 300.7km²。总地势北高南低呈缓倾斜状。

昆明盆地是个典型的湖积相沉积盆地，盆地内特别是滇池周边区域分布着厚达 1200m 的沉积土层，基岩埋深不均匀。盆地内分布有软土、膨胀土、土洞、断层场地及液化场点等不良场地，浅层软土主要有湖相沉积、沼泽相沉积和河滩相沉积等三类，均是工程

建筑的不良地基,这样的地基在昆明盆地内分布较广。

在地质构造单元上,昆明盆地位于扬子准地台中康滇古隆起的东南侧,呈南北向展布的古生代拗陷中。经加里东和海西运动后,本区脱离海相沉积环境,其上叠置有晚三叠世到早第三纪的陆相小型拗陷,后经印支和燕山运动的改造,形成复杂的以南北向为主的褶皱和断裂,并伴有小规模岩浆活动。

昆明盆地是在区域断裂构造格架影响作用下发育和发展的,主要受断裂控制。断裂方向有南北、东西、北东、北西向,其中以南北向为主,普渡河—西山断裂,普吉—韩家村断裂,蛇山断裂、黑龙潭—官渡断裂、盘龙江断裂、白邑—横冲断裂等均由北向南进入盆地,它们控制了盆地的几何形态及发育过程,控制了主要基底构造和地层走向。

盆地对地震波的影响主要体现在:盆地边界将产生反射波和转换面波,地震能量聚焦,同时较厚的沉积层还会对长周期地震动幅值产生放大效应等,从而出现盆地内地震动强度分布不均匀现象。昆明盆地厚达 1200m 的沉积土层以及复杂的基岩形态等不良属性可能加深盆地对地震波的影响。

三、昆明盆地中近场强震危险性

昆明盆地内地震活动相对较弱,据历史资料记载,昆明盆地曾于 1507~1943 年期间共发生 $M \geq 5$ 级地震 6 次,近年来,盆地没有 5 级以上的地震发生,而昆明盆地的地震潜在危险性主要来源于外围地区尤其是小江断裂带地震活动的影响。小江断裂带是云南乃至全国最重要的强震构造带之一,距离昆明市区仅 30km 余,该断裂带在有历史记载以来分别于 1500 年、1733 年、1789 年和 1833 年发生过 4 次 7 级以上地震,最大地震为 1833 年嵩明 8 级地震,曾对昆明地区造成 VIII 度破坏。这次地震至今已有 170 余年,小江断裂再次发生强震的可能性日益增加。

四、我国以及昆明盆地高层建筑震害经验匮乏

高层及超高层建筑造价昂贵,一旦发生破坏将导致巨大损失。与国外相比,我国高层及超高层建筑的主要特点是以钢筋混凝土结构或混合结构为主(比例超过 90%)。在国外,地震区的结构超过一定高度后,一般均是钢结构。较高的钢筋混凝土或混合结构能否经受得起大地震的考验,目前还没有实际大地震检验经验,这是一个令人担心的问题,而处于盆地条件下的省会城市昆明刚好修建有大量此类结构的高层建筑。

至今为止,在昆明市经历过中近场强震作用的建筑物都在 5 层以下(高度小于 20m),也就是说,我们仅了解昆明市 5 层以下建筑物在中近场强震作用下的响应状况,对 5 层以上的建筑物,如果受到中近场强震的作用,目前并不了解将会产生什么样的破坏情况,自然也无法制定相应的减灾对策和应急措施,一旦遭到强震的冲击,将无法应对可能出现的严重灾难。

因此,有针对性地开展研究该地区建筑物尤其是近年来大量涌现的高层建筑物在盆地条件下的近场地震反应问题,对于进一步研究昆明市典型高层建筑的抗震性能及薄弱环节,对指导今后昆明市规划、制定城市及其附近的经济开发区的抗震防灾对策,及对已有重要建(构)筑物采取相应的抗震加固措施等,具有重要意义。

在现代化的城市中,像本课题这样全面开展设定地震、盆地地震动特征及相应的高层建筑地震响应等多方面研究工作,在世界上尚无先例。目前地震科学和结构工程学的

认识水平、地震波动场的研究进展及高层建筑结构数值模拟和实验技术的发展水平已具备了解决这一复杂问题的可能。这一课题的实施和完成,将进一步提高昆明市的防震减灾能力,为昆明市在新世纪中更快、更高的发展奠定了基础。

第二节 研究思路及内容

根据设定地震震源模型和对传播路径介质的了解,研究设定震源发生地震破裂时昆明盆地及上覆土层的地震响应;在此基础上研究盆地土—结构相互作用及其对高层建筑的影响;通过理论研究、模型实验、实际观测,分析研究昆明市典型高层建筑的地震响应,并提出相应的防震减灾对策,并建立数据库。

本项研究主要内容包括:昆明中近场强震危险性分析及设定地震研究、昆明中近场强震基岩输入地震动特征研究、天然地震观测和经验格林函数合成地震动、昆明盆地地震效应研究、昆明高(超高)层建筑地震响应研究、防震减灾对策研究及数据库建设。

昆明中近场强震危险性分析及设定地震研究:①地震地质资料收集;②地震地质背景研究;③昆明中近场地震活动性研究;④地震危险性分析及设定地震研究;⑤震源破裂模型研究。

昆明中近场强震基岩输入地震动特征研究:①研究区人工地震观测;②昆明市16栋高层建筑环境振动测试分析。

天然地震观测和经验格林函数合成地震动:①典型建筑结构的强震观测;②设计地震动特征研究。

昆明盆地地震效应研究:①断层破裂产生地震波的数值解法研究;②三维地震动场数值模拟并行计算系统的建立;③并行计算程序的编制;④昆明盆地三维计算模型的建立;⑤昆明盆地强地震动数值模拟研究。

昆明高(超高)层建筑地震响应研究:①土—结构相互作用对结构地震反应影响的研究;②昆明高(超高)层建筑地震响应数值模拟研究;③昆明高层建筑地震模拟实验研究。

防震减灾对策研究及数据库建设:①研究区场地条件及高层建筑结构的基础资料收集;②高层建筑防震减灾对策研究;③高层建筑数据库建设。

第三节 本章小结

本章从课题的研究目的、意义两个方面阐述了开展该研究工作的重要价值,对指导今后昆明市规划、制定城市及其附近的经济开发区的抗震防灾对策,及对已有重要建筑(构)筑物采取相应的抗震加固措施等,具有重要意义。课题分为昆明中近场强震危险性分析及设定地震研究、昆明中近场强震基岩输入地震动特征研究、天然地震观测和经验格林函数合成地震动、昆明盆地地震效应研究、昆明高(超高)层建筑地震响应研究、防震减灾对策研究及数据库建设6个专题进行研究,这一课题的实施和完成,将进一步提高昆明市的防震减灾能力,为昆明市在新世纪更快、更高的发展奠定基础。

第二章 昆明中近场范围内设定地震研究^①

根据云南即将进入下一个强震活跃期,首发强震($M \geq 7$)在小江地震带发生的可能性较大,结合昆明地区的地震构造背景,确定昆明中近场的研究区范围:以昆明市为中心,东至弥勒,西至易门;南到建水,北达东川。经纬度为:102°00'~103°30'E, 23°20'~26°40'N,面积约56000km²。

第四届国际地震区划大会上, Ishikawa (1991) 首次明确提出的设定地震 (Scenario Earthquake) 是指能够替代地震危险性概率分析结果的具体地震,它具有确定的震级、震中距及超越概率水平。Mc Guire (1995) 指出设定地震的确定应使其控制反应谱的整个频率;高孟潭 (1994, 1995) 推导、建立了确定设定地震期望震级和期望距离的方法;罗奇峰 (1996)、蔡长青 (1998)、沈建文 (1998) 强调设定地震与地震危险性分析结果的概率一致性;韩竹君 (1997) 在如何充分应用活动构造和特征地震资料,以精确确定设定地震的构造位置方面作了深入研究。20世纪90年代中期,设定地震广泛应用在国内外大、中城市的防震减灾工作中,如基多 (1994)、东京 (1995)、旧金山 (1996) 以及乌鲁木齐 (1996) 等,但大多采用确定性方法,如简单的构造类比、历史最大地震重演等 (雷建成等, 1999)。20世纪90年代中后期,中国地震局与相关省局在自贡 (1999)、合肥 (1999)、泉州 (1999) 等城市,开展了有关设定地震的示范研究。这些研究强调确定法与概率法的结合,并在构造发震能力评定、发震位置的精确确定、地震活动趋势预测以及概率性分析等方面进行了有益的探索。

本研究使用中国地震局在《大中城市防震减灾示范研究与应用工作大纲》中定义的设定地震,“是指未来50年内可能发生的、对本地区可能造成较大破坏的地震”。

第一节 地震构造环境

一、大地构造背景

(一) 活动板块

丁国瑜从活动构造和岩石圈动力学的角度,按板块构造的原则,将我国及邻区划分为8个活动亚板块和它们各自内部的18个活动构造块体(图2-1)。

活动亚板块与构造块体是在新构造时期至今仍在活动着的构造单元。亚板块对其所处的板块来说是次一级的,其内部还可进一步划分出构造块体(或简称块体)。它们都是具有构造活动统一性的构造实体。划分亚板块的主要依据为:①能够反映深部过程的活

① 谢英情(执笔)、俞维贤、曹娟娟、韩新民、王绍晋、毛燕等。

动断裂带；②地震活动带；③地球物理场的变异带；④亚板块内部构造活动的统一性。

由图 2-1 可知：研究区主体位于紧邻华南亚板块和东南亚亚板块的青—藏亚板块之川—滇块体东南部；中国及邻区各块体活动的动力源，主要来自印度板块平均每年 50mm 速度的北北东向推挤运动，川—滇块体以每年 8mm 速度向南东方向运动； $M \geq 7$ 级地震主要呈带状分布于活动板块、亚板块及块体边界。

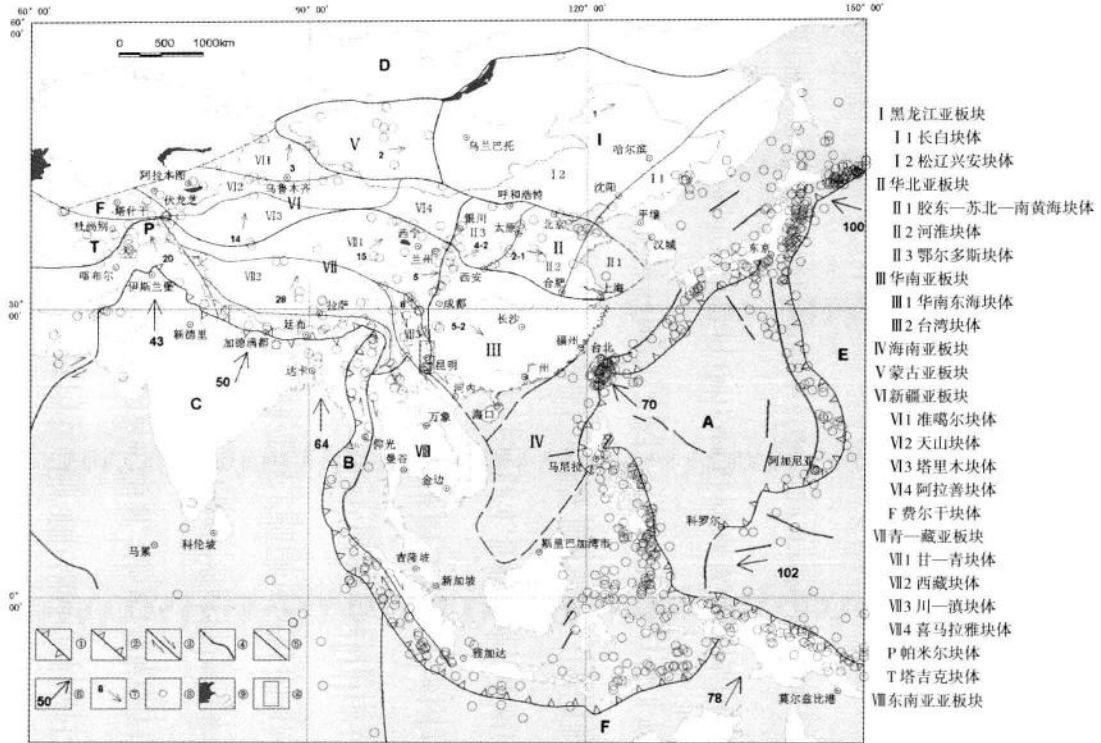


图 2-1 研究区及邻区活动板块、亚板块、块体划分图

- ① 板块碰撞边界 ② 板块俯冲边界 ③ 板块分离边界、扩张脊 ④ 走滑转换边界 ⑤ 亚板块、块体边界
⑥ 板块绝对运动方向和速率 (mm/a) ⑦ 亚板块、块体相对欧亚板块 (西伯利亚) 的运动方向和速率 (mm/a)
⑧ $M \geq 7$ 级地震 ⑨ 湖泊及河流 ⑩ 设定地震研究区

A. 菲律宾板块 B. 缅甸板块 C. 印度板块 D. 欧亚板块 E. 太平洋板块 F. 澳大利亚板块

(二) 川—滇块体 (川滇菱形块体)

李坪、阚荣举根据强震震源机制解和地震地表破裂带资料最早提出了“川 (康) 滇菱形块体”的概念，引起了地学界的关注。众多专家、学者对其进行了广泛的研究和探索。丁国瑜在对我国及邻区的活动板块、亚板块、块体进行划分时，简称为川—滇块体。目前代表性的意见，川—滇块体 (川滇菱形块体) 是指以鲜水河断裂 (指广义鲜水河断裂，包括甘孜—玉树断裂)、安宁河断裂、则木河断裂和小江断裂为东北边界，金沙江断裂、德钦—中甸断裂和红河断裂为西南边界所围限的活动块体，其内部以丽江—小金河断裂为界划分南、北两个次级块体：滇中次级块体和川西北次级块体 (或称雅江次级块体)。

本研究在地矿部门出版的 1:200 万云南和四川地质构造图基础上，根据李坪、阚荣举、丁国瑜、唐荣昌、宋方敏、魏顺民、徐锡伟等人资料编制了川—滇块体地震构造简

图(见图2-2)。

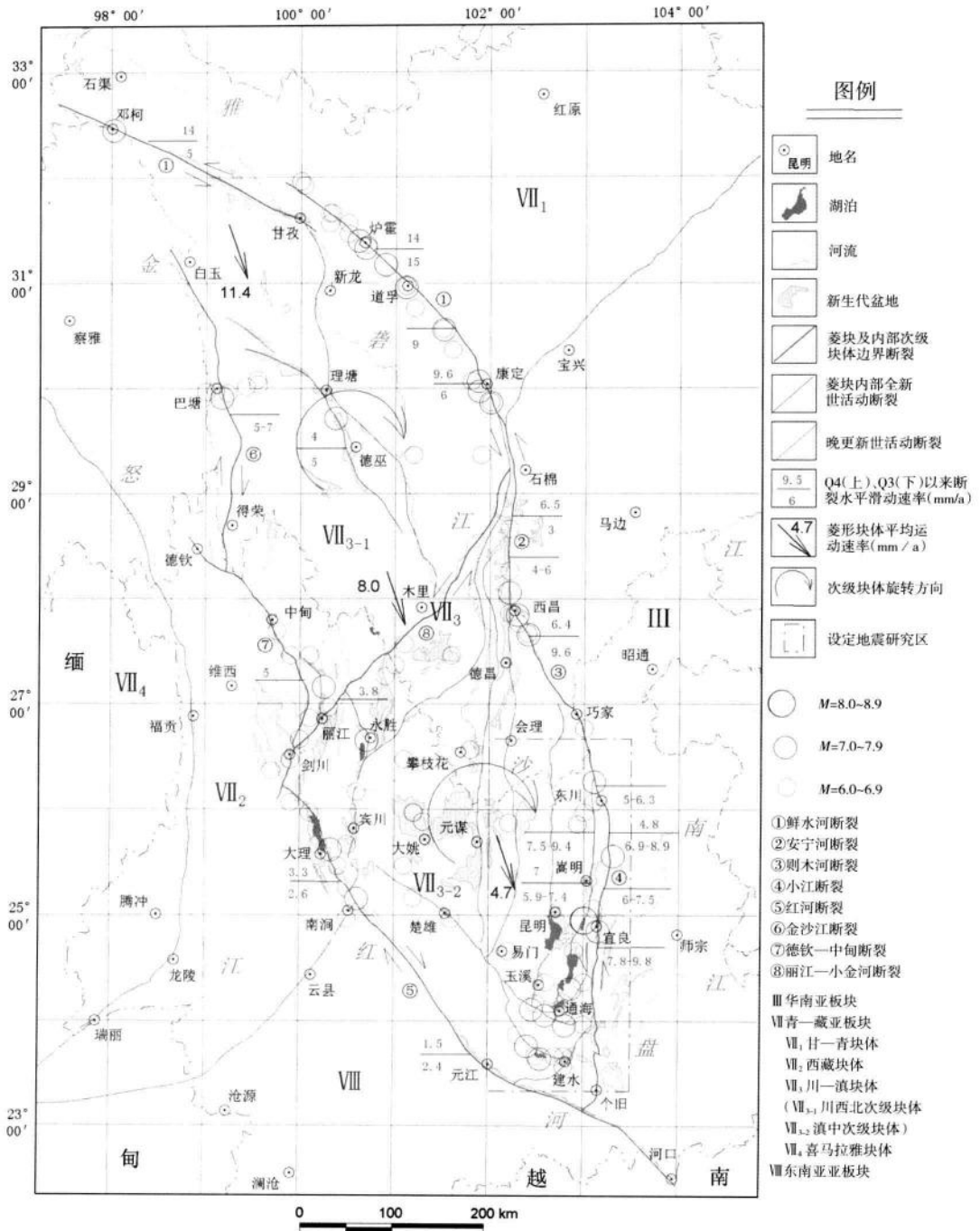


图2-2 川-滇块体地震构造简图