

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2018.01.003

国家川滇实验场地震地表破裂带分布图编制

吴熙彦¹⁾ 徐锡伟^{1,2)}* 于贵华¹⁾ 程佳³⁾
陈桂华¹⁾ 安艳芬¹⁾ 王启欣¹⁾

1) 中国地震局地质研究所, 活动构造与火山重点实验室, 北京 100029

2) 中国地震局地壳应力研究所, 北京, 100029

3) 中国地震台网中心, 北京 100045

摘 要 借鉴美国南加利福尼亚州地震中心(SCEC)地震监测和地震预报实验的经验, 中国地震局于 2014 年选择在地震活动频度高、强度大的川滇地区, 启动了川滇国家地震预报实验场, 力争将该实验场建成具有实验性、实践性和开放性的地震预报科学实验平台。为搭建和完善实验场区的地震动力学模型, 收集实验场区内地质构造、地震地质、地球物理、大地测量、地球化学等基础资料, 编制了《川滇地区地震地表破裂带分布图(1:500 000)》。

关键词 活动断层 活动构造 川滇实验场 地震地表破裂带

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4967(2018)01-0027-15

0 引言

中国受欧亚板块、印度洋板块和菲律宾海板块挤压, 构造活动强烈, 形成喜马拉雅地震带等地震高发带。地震造成的灾害巨大。因此, 中国有探索地震预测预报这一世界科学难题的迫切需求。然而, 地震孕育机理十分复杂, 需要通过长期的、多学科的综合观测与研究, 深刻认识孕震和地震破裂机制, 检验和探索地震前兆, 才能进一步接近地震预测预报解决方案。2014 年, 中国地震局借鉴美国南加利福尼亚州地震中心(SCEC)地震监测和地震预报实验的经验, 选择在地震活动频度高、强度大的川滇地区, 启动了川滇国家地震预报实验场, 力争将该实验场建成具有实验性、实践性和开放性的地震预报科学实验平台。为搭建和完善实验场区地震动力学模型, 收集场区内的地质构造、地震地质、地球物理、大地测量、地球化学等基础资料, 实验场启动了关键基础性图件编制的相关项目。《川滇地区现代地震地表破裂带分布图(1:500 000)》(实验场区)是这批首先启动的基础图件编制项目之一。针对图件用途和实用性, 本文遵循科学性、综合性、准确性和权威性的原则, 收集了权威的、具有高认可度的资料, 编制了图件。

1 川滇实验场概况

川滇实验场位于中国西南部, 范围 98.5°~104°E, 23°~32°N, 覆盖了四川南部、云南北

[收稿日期] 2017-11-02 收稿, 2018-01-8 改回。

[基金项目] 中国地震局川滇国家地震预报实验场项目(20150103, 20150102, 20150101)资助。

* 通讯作者: 徐锡伟, 男, 研究员, E-mail: xiweixu@vip.sina.com, xywu@ies.ac.cn。

部、西藏东部和贵州西部一角(图 1)。实验场西北区是青藏高原东南缘,为高原和山地,地势陡峻,海拔高度均在 3 000m 以上,沙鲁里山、大雪山、夹金山、龙门山等主要山脉海拔高度均在 4 000m 以上,其中与四川盆地相邻的贡嘎山最高峰达 7 556m。在贡嘎山南部相邻的高原前缘山地和四川盆地,海拔高度从 4 000m 下降到 1 000m 以下,在成都与重庆之间平均海拔高度仅约 300m 左右。实验场南部在华南块体和印度板块碰撞带上,同时受到青藏高原物质向 E 和向 S 挤出的影响,广泛分布大型山脉,海拔高度也均在 1 000m 以上,平均海拔高度达到约 2 000m。实验场及邻区的地势总体特点是西北高、东南低,向 SE 倾斜。

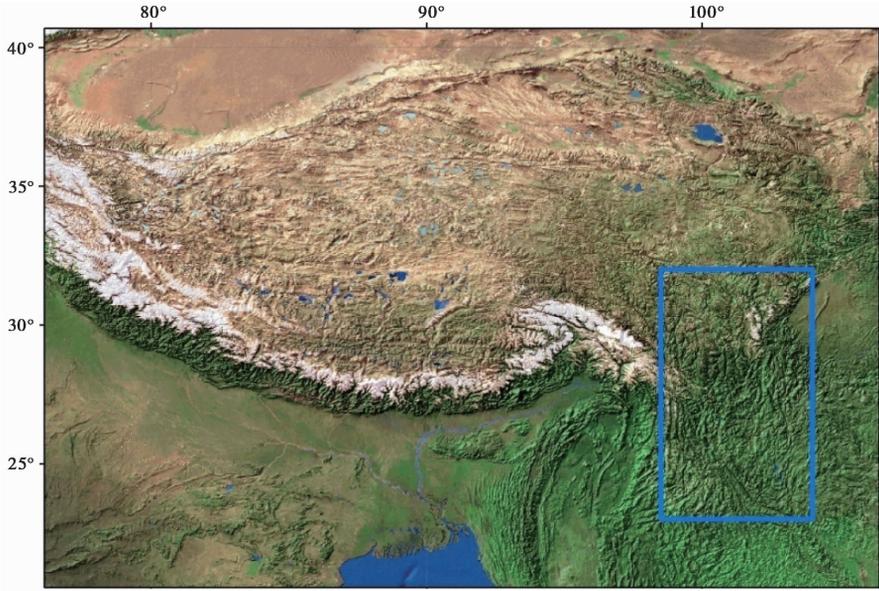


图 1 川滇国家地震监测预报实验场区域示意图

Fig. 1 Schematic map showing the national experimental field for earthquake monitoring and prediction in Sichuan and Yunnan Province.

蓝色框内为川滇国家地震预报实验场区

2 图件内容确定

《川滇地区地震地表破裂带分布图(1:500 000)》(实验场区)图面主要表达内容是现代强震和地震破裂带的空间分布情况。其次,为了说明地震地表破裂发生的背景,还应表达与地震和破裂带关系密切的地震地质背景。区域地震地质基本内容可以用地层分布和断裂带分布来表达。基于专题图应突出专题主要内容,专题图次要内容在图面中的比重不应超过主要内容原则,编制图件时对地震地质基本内容进行了简化。简化的方式有:1)突出专题图的主题,主要表达第四纪以来有过活动的断裂;2)对次要内容进行制图综合,合并地层和岩浆岩,使图面简洁,重点突出。最终确定的图面专题内容包括实验场区内的早一中更新世以来断裂、地层和岩浆岩分布、破坏性地震和地震地表破裂带。

3 地震目录编制

国内常用的地震目录有破坏性地震目录($M_s \geq 4.7$)和中国地震详目 2 种($M_L \geq 1.0$),图件

编制关注的主要为破坏性地震。国内常用破坏性地震目录一般始于公元前 23 世纪(汪素云, 2010), 主要是依据地震史料和有仪器记录以来至 1978 年的地震观测报告(国家地震局震害防御司, 1995; 中国地震局震害防御司, 1999), 以及自 1979 年起每年 1 册的《中国地震年报》编录(中国地震局地震台网中心, 2001)。本文收集了吕悦军等(2016a)编制的《中国及邻近地区破坏性地震震中分布图》、Cheng 等(2017)编译的中国大陆地震(M_w)目录和中国地震台网中心近年来通过网络发布的地震目录。这些资料也是依据上述地震史料、地震观测报告和《中国地震年报》等编制。

吕悦军等(2016a)的《中国及邻近地区破坏性地震震中分布图》是 GB18306-2015《中国震动参数区划图》的基础图件之一。该图的破坏性地震目录(公元前 23 世纪—2010 年底)中 1990 年底前的地震, 主要采用了《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)》和《中国近代地震目录(公元 1912—1990 年, $M_s \geq 4.7$)》, 并由各省(市、自治区)地震局对本行政区 1990 年前存疑地震的地震参数进行修订、新增和删除某些条目。该套目录中 1990 年以来的地震资料主要来源于《中国地震年报》、《中国地震详目》、《中国地震台网观测报告》和《中国震例》等, 其中主要以《中国地震年报》为基础。最终形成的地震目录时间完整范围是公元前 23 世纪—2010 年 12 月 31 日, 震级统一标志为“ M ”(吕悦军, 2016b)。

Cheng 等(2017)在全球 M_w 目录和中国大陆 M_s 目录基础上编译了 1 个统一的中国大陆 M_w 目录。对于 1900 年之前的地震事件, 主要采用了《中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)》。在 Cheng 等(2017)给出的中国 M_w 目录中, 1900 年之后发生的强震, M_w 震级主要由 ISC-GEM (ISC 为 International Seismological Centre, 即国际地震中心; GEM 为 Global Earthquake Model, 即全球地震模型)目录和全球质心矩张量解(Global Centroid Moment Tensor, Global CMT)目录给出。这套地震目录的时间完整范围是公元前 23 世纪—2015 年 12 月 31 日。

本文收集了 2011 年 1 月 1 日—2016 年 12 月 31 日的地震用于补充上述 2 套地震目录, 地震资料采用的是中国地震信息网(<http://www.csi.ac.cn/>)2017 年 1 月发布在数据共享板块的全国 5 级以上地震目录。

中国大陆地区一般情况下当地震震级 $M > 6.5$ 时才伴有地表破裂(邓起东等, 1992)。也有学者提出中小震级事件可以产生地表破裂(唐茂云, 2014), 但没有川滇实验场区内的震例。因此, 本文所采用的破坏性地震目录定位震级 $M \geq 6.5$ 。根据吕悦军等(2016a)编制的《中国及邻近地区破坏性地震震中分布图》的地震资料(公元前 23 世纪—2010 年底)和中国地震信息网发布的地震目录(2011—2016 年底)统计, 可能产生地表破裂带的地震($M \geq 6.5$)有 81 次。据 Cheng 等(2017 年)编制的地震目录(公元前 23 世纪—2015 年底)和中国地震信息网发布的地震目录(2016 年 1 月—2016 年底)统计, 可能产生地表破裂带的地震($M \geq 6.5$)有 57 次。其中 2016 年资料里没有 $M \geq 6.5$ 的地震, 因 Cheng 等(2017)的地震目录震级标志为 M_w , 因此, 震级标志可以统一为 M_w 。

经对比, 2 个目录中可能产生地表破裂的地震互有补充, 将 Cheng 等(2017)地震时间从世界时(GTM 时间)转为北京时(GTM+8), 整理得到可能产出地表破裂的地震 87 次(表 1)。这一地震目录综合了吕悦军等(2016a)、Cheng 等(2017 年)和中国地震台网中心的资料而形成。资料本身具有较高的准确性和完整性。资料之间互相补充, 令资料具有更好的完整性和可靠性。

表1 可能造成地表破裂的地震目录

Table 1 Earthquakes capable of producing surface ruptures

序号	来源	年-月-日	时:分:秒	纬度/(°)	经度/(°)	震级	深度/km	地点
1	五代区划图	624-08-18		27.9	102.2	≥6		四川西昌一带
2	五代区划图	814-04-06		27.9	102.2	7		四川西昌一带
3	五代区划图	1216-03-24		28.4	103.8	7		四川雷波马湖
4	五代区划图	1327-09		30.1	102.7	≥6		四川天全
5	五代区划图	1467-01-28		27.5	101.6	6.5		四川盐源一带
6	五代区划图	1489-01-15		27.8	102.3	6.75		四川西昌、越西一带
7	五代区划图	1500-01-13		24.9	103.1	≥7		云南宜良
8	五代区划图	1512-10-18.		25	98.5	6.75		云南腾冲东南
9	五代区划图	1515-06-27		26.7	100.7	7.75		云南永胜西北
10	五代区划图	1536-03-29		28.1	102.2	7.5		四川西昌北
11	五代区划图	1577-03-23		25	98.5	6.75		云南腾冲
12	五代区划图	1588-08-09		24	102.8	≥7		云南建水曲溪
13	五代区划图	1606-11-30		23.6	102.8	6.75		云南建水
14	五代区划图	1652-07-13		25.2	100.6	7		云南弥渡
15	五代区划图	1657-04-21		31.3	103.5	6.5		四川汶川
16	五代区划图	1680-09-09		25	101.6	6.75		云南楚雄
17	五代区划图	1713-02-26		25.6	103.3	6.75		云南寻甸
18	五代区划图	1713-09-04		32	103.7	7		四川茂县叠溪
19	五代区划图	1722		30	99.1	≥6		四川巴塘一带
20	五代区划图	1725-01-08		25.1	103.1	6.75		云南宜良、嵩明间
21	五代区划图	1725-08-01		30	101.9	7		四川康定
22	五代区划图	1732-01-29		27.7	102.4	6.75		四川西昌东南
23	五代区划图	1733-08-02		26.3	103.1	7.75		云南东川紫牛坡
24	五代区划图	1747-03		31.4	100.7	6.75		四川炉霍
25	五代区划图	1748-08-30		30.4	101.6	6.5		四川道孚乾宁东南
26	五代区划图	1751-05-25		26.5	99.9	6.75		云南剑川
27	五代区划图	1755-01-27		24.7	102.2	6.5		云南易门
28	五代区划图	1763-12-30		24.2	102.8	6.5		云南江海、通海间
29	五代区划图	1786-06-01		29.9	102	7.75		四川康定南
30	五代区划图	1786-06-02		29.9	102	≥6		四川康定南
31	五代区划图	1789-06-07		24.2	102.9	7		云南华宁
32	五代区划图	1792-09-07		30.8	101.2	6.75		四川道孚东南
33	五代区划图	1799-08-27		23.8	102.4	7		云南石屏宝秀
34	五代区划图	1811-09-27		31.7	100.3	6.75		四川炉霍朱倭
35	五代区划图	1816-12-08		31.4	100.7	7.5		四川炉霍
36	五代区划图	1833-09-06		25	103	8		云南嵩明
37	五代区划图	1850-09-12		27.7	102.4	7.5		四川西昌、普格间
38	Wen2003 M_w	1866		99.8	31.7	7.3		
39	五代区划图	1870-04-11		30	99.1	7.25		四川巴塘
40	五代区划图	1884-11-14		23.1	101	6.5		云南普洱
41	Xu2005 M_w	1886		30.2	100	7.1		
42	五代区划图	1887-12-16		23.7	102.5	7		云南石屏
43	Xu2005 M_w	1890		29.9	100.3	7.1		
44	五代区划图	1893-08-29		30.6	101.5	7		四川道孚乾宁

续表 1

序号	来源	年-月-日	时:分:秒	纬度/(°)	经度/(°)	震级	深度/km	地点
45	五代区划图	1901-02-15		26	100.1	6.5		云南邓川东西两湖间
46	五代区划图	1904-08-30	19:42	31	101.1	7		四川道孚
47	ISC-GEM1M _w	1908-02-09	2:09:18	29.28	100.66	6.69		
48	五代区划图	1913-12-21	23:37:38	24.15	102.45	7		云南峨山
49	ISC-GEM1M _w	1914-03-28	3:28:10	25	99	6.9		
50	五代区划图	1917-07-31	7:54:05	28	104	6.75		云南大关北
51	五代区划图	1923-03-24	20:40:06	31.5	101	7.3		四川炉霍、道孚间
52	五代区划图	1923-10-20	11:18:48	30	99	6.5		四川巴塘附近
53	五代区划图	1925-03-16	22:42:17	25.7	100.4	7		云南大理附近
54	五代区划图	1929-10-17	4:27:37	25.8	98.7	6.5		云南腾冲北
55	China&ISC-GEM1M _w	1930-09-21	9:21:23	25.81	98.61	6.88		
56	五代区划图	1933-08-25	15:50:30	31.9	103.4	7.5		四川茂汶北迭溪
57	五代区划图	1936-04-27	7:59:11	28.9	103.6	6.75		四川马边
58	五代区划图	1936-05-16	15:05:44	28.5	103.6	6.75		四川马边
59	五代区划图	1941-05-16	15:14:32	23.6	99.4	7		云南耿马附近
60	五代区划图	1942-02-01	1:30:47	23.1	100.3	6.75		云南思茅
61	五代区划图	1948-05-25		29.5	100.5	7.3		四川理塘
62	五代区划图	1952-09-30	20:52:02	28.3	102.2	6.75		四川冕宁、石龙一带
63	五代区划图	1955-04-14	9:29:02	30	101.8	7.5		四川康定折多塘一带
64	五代区划图	1955-09-23		26.6	101.8	6.75		云南永仁、四川会理一带
65	五代区划图	1966-02-05		26.1	103.1	6.5		云南东川
66	五代区划图	1967-08-30	12:22:03	31.6	100.3	6.8		四川炉霍西北
67	五代区划图	1970-01-05	00:37.0	24.2	102.68	7.8	13	云南通海
68	五代区划图	1971-04-28	32:01.4	23	101.1	6.7	15	云南普洱
69	五代区划图	1973-02-06	37:07.3	31.3	100.7	7.6	11	四川炉霍附近
70	五代区划图	1976-05-29	23:20.3	24.5	99	7.3	24	云南龙陵东
71	五代区划图	1976-05-29	00:19.0	24.6	98.7	7.4	21	云南龙陵
72	五代区划图	1976-05-31	08:29.0	24.3	98.7	6.5	17	云南潞西东南
73	五代区划图	1976-07-21	10:46.7	24.8	98.7	6.6	16	云南腾冲
74	五代区划图	1976-11-07	04:05.4	27.6	101.1	6.7	21	四川盐源西北
75	五代区划图	1979-03-15	20:52:26	23.2	101.1	6.8	10	云南普洱
76	五代区划图	1981-01-24	13:48.3	31.01	101.11	6.9	12	四川道孚附近
77	五代区划图	1988-11-06	15:44.3	23.16	99.55	7.2	16	云南耿马团结乡
78	五代区划图	1989-04-16	34:08.2	29.99	99.23	6.6	12	四川巴塘东南
79	五代区划图	1989-04-25	13:20.3	30.05	99.42	6.6	7	四川巴塘东
80	五代区划图	1989-09-22	25:50.4	31.58	102.51	6.5	12	四川小金北
81	五代区划图	1995-10-24	46:50.2	26.02	102.24	6.6	10	云南武定
82	五代区划图	1996-02-03	14:19.6	27.34	100.26	7	11	云南丽江
83	五代区划图	2007-06-03	34:56.0	23.08	101.13	6.7	6	云南普洱
84	五代区划图	2008-05-12	27:59.0	31.01	103.42	8	14	四川汶川
85	五代区划图	2013-04-20	8:02:48	30.3	103	7	17	四川芦山
86	五代区划图	2014-10-07	21:49:39	23.4	100.5	6.6	5	云南省普洱市景谷傣族彝族自治县
87	五代区划图	2014-08-03	16:30:10	27.1	103.3	6.5	12	云南省昭通市鲁甸县

注 五代区划图：资料来源于吕悦军等,2016a; Wen2003|M_w、Xu2005|M_w、ISC-GEM1M_w、China&ISC-GEM1M_w；资料来源于 Cheng *et al.*,2017。

将这些地震加载到川滇实验场区第四纪以来活动断层分布图上,对比川滇地区地块划分结果,可以发现大部分强震分布在块体边界带上,少量分布在块体内部的断裂带上。块体边界带地震聚集区按断裂带可以划分为龙门山断裂带、安宁河-则木河断裂带、小江断裂带、鲜水河断裂带、金沙江断裂带、红河断裂带、程海断裂带、石屏-建水断裂带、曲江断裂带、南汀河断裂带、丽江-小金河断裂、理塘断裂带。块体内部发生强震的断裂带有安宁河断裂、马边断裂、五莲峰断裂、昭通-鲁甸断裂、抚边河断裂、怒江-龙陵-瑞丽断裂带、岷江断裂带、无量山断裂、景谷断裂、南华-楚雄断裂(图2)。

4 地震地表破裂带编制

通常经过查阅文献(如县志)记载、影像解译圈划地震地表破裂带的大致范围,再进行实地考察、槽探、年代样品测试等多种方法综合确定。一次地震的地表破裂带的确定需要大量的工作和切实的地质证据,编绘在图上的破裂带除了确定某次地震产生了地表破裂带外,还应能确定破裂带的起始位置、终止位置、分布情况和大致长度。为了保证破裂带的完整性和准确度,本文针对上述87次地震逐个搜索公开出版论文、书籍、博士论文等具有高认可度文献中的破裂带资料;并且大部分地震都使用了多份资料,互相印证,具有较高的可靠性。若在上述文献和资料中描述或标绘了具体的地震地表破裂带起始位置、终止位置、分布情况和长度的,则根据文献标绘出此次地震的地表破裂带。同时,本文还收集了近年活动断层填图和地震应急考察的破裂带资料,补充了个别在上述文献未记载的地震地表破裂带。最后确定了26次地震的地表破裂带(表2)。除2014年鲁甸地震地表破裂带通过野外调查并结合遥感影像绘制外,其余均是根据文献记载,再结合断裂带地表迹线绘制的。本文所编的地震地表破裂带均根据近几十年来实地地质考察的资料绘制,未包含根据文献等其他资料推测或计算的地震地表破裂带。

5 断裂带编制

编制《川滇地区地震地表破裂带分布图(1:500 000)》所收集的断裂资料是GB18306-2015《中国地震动参数区划图》中《中国及邻近地区地震构造图》中的断层(徐锡伟等,2016)。该图件的断裂带主要基于影像解译结合野外实地调查编制,集成了2015年前的活动断层研究成果。这套断裂带数据同时应用于地震应急图件产品《区域地震构造图》,出图比例尺可达1:1 000 000。图件编者根据2015—2016年最新的研究成果,对《中国及邻近地区地震构造图》的断裂带进行了完善,编制了《川滇地区地震地表破裂带分布图(1:500 000)》的断裂带。本文选取了第四纪有过活动的断裂,编绘到图上,并将图上断裂根据断层活动年代,分为全新世断裂、晚更新世断裂和早一中更新世断裂。

6 地层和岩浆岩编制

为确定试验区内地层和岩浆岩的分布,编制人员借阅了国家地质资料数据中心《1:100万中国地质图》和《1:250万中国地质图》(MapGIS版)公开版的数据、1:20万纸质地质图,收集了《中国及邻近地区地震构造图》中的第四纪地层资料,进行地层和岩浆岩的编制。这些参考资料均来自国家数字地质资料馆或公开出版发行的资料,在业内具有权威性和准确性。

考虑到川滇地区构造环境的变化:经古生代和中生代造山运动形成联合古陆,后经历古近

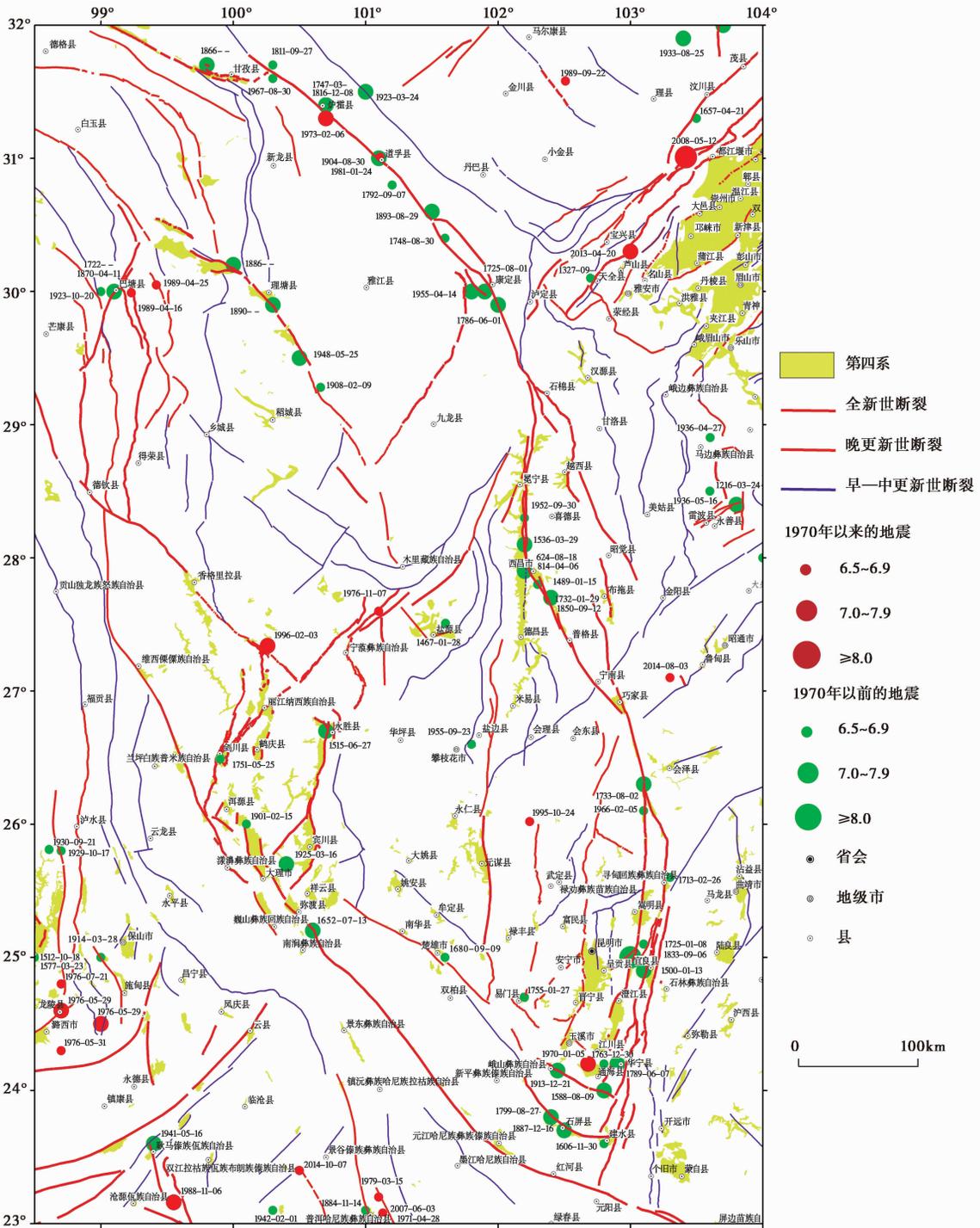


图 2 川滇国家地震预报实验场活动断裂与地震震中分布图

Fig. 2 Map showing active faults and seismic epicenters around the national experimental field for earthquake prediction in Sichuan and Yunnan Province.

表2 川滇实验场区地震地表破裂带

Table 2 Earthquake surface ruptures in the national experimental field for seismological monitoring and prediction in Sichuan and Yunnan Province

地震名称	形成年代	震级(M)	破裂位置	长度/km	最大宽度/m	参考文献
1854年甘孜	1854	7.3	甘孜-玉树断裂带东南段	65		闻学泽等,2003
1866年洛须	1866	7.7	甘孜-玉树断裂带中段	180		闻学泽等,2003
1725年康定	1725-08-01	7	鲜水河断裂带南段	35		王新民等,1998;李天昭等,1997
1786年磨西	1786-06-01	7 $\frac{3}{4}$	鲜水河断裂带南段	47		李天昭等,1997
1816年炉霍	1816-12-08	7 $\frac{1}{2}$	鲜水河断裂带北段	70		李天昭等,1997
1893年乾宁级	1893-08-29	7 $\frac{1}{4}$	鲜水河断裂带中段	35		四川省地震局,1986;李天昭等,1997
1923年道孚倡促	1923-03-24	7.3	鲜水河断裂带	55		四川省地震局,1986;李天昭等,1997;Wen <i>et al.</i> ,2008
1955年折多塘	1955-04-14	7.5	鲜水河断裂带南段	35		李天昭等,1997
1973年炉霍	1973-02-06	7.6	鲜水河断裂带北段	90		李天昭等,1997
1981年道孚	1981-01-24	6.9	鲜水河断裂带中段	44		四川省地震局,1986;李天昭等,1997
1733年东川	1733-08-02	7 $\frac{3}{4}$	小江断裂带北段	82		宋方敏等,1998
1713年云南寻甸	1713-02-26	6 $\frac{3}{4}$	小江东支断裂	60		宋方敏等,1998;Wen等,2008;汪一鹏等,2013
1500年宜良	1500-01-13	7	小江东支断裂中南段	81		俞维贤等,1995;曹忠权等,1996;宋方敏等,1998;汪一鹏等,2013
1833年崇明	1833-09-06	8	小江西支断裂中南段	126		俞维贤等,1996;宋方敏等,1998;汪一鹏等,2013
1925年大理	1925-03-16	7	红河断裂带	55		魏顺民等,2001
1988年耿马	1988-11-06	7.2	汗母坝断裂带	24		林邦慧等,1994
1988年澜沧	1988-11-06	7.4	汗母坝断裂带	50	20	俞维贤等,1991;林邦慧等,1994
1996年丽江	1996-02-03	7.0	大具-丽江断裂	30		张建国等,1997;王绍晋等,1997;云南省地震局等,1998
1515年永胜	1515-06-27	7 $\frac{3}{4}$	程海断裂带	42	8	魏顺民等,1988
1970年通海	1970-01-05	7.8	曲江断裂带	50		国家地震局地震测量队,1975;张四昌等,1978;刘玉权等,1984,1988
1948年理塘	1948-05-25	7.3	理塘断裂	40	10	黄彩权,1983;四川省地震局地震地质队,1988;徐锡伟等,2005
1886前理塘	1886	7.1	理塘断裂带	55		徐锡伟等,2005
1890年左右理塘	1890	7.1	理塘断裂带	50		徐锡伟等,2005
1850年西昌	1850-09-12	7 $\frac{1}{2}$	则木河断裂带	100		任金卫等,1993;俞维贤等,2001;闻学泽等,2007;四川省地震局则木河活动断裂带填图组,2013
2008年汶川	2008-05-21	8	龙门山断裂带	240	45	徐锡伟等,2008,2010;陈桂华等,2008;周庆等,2008
2014年鲁甸	2014-08-03	6.5	包谷垭-小河断裂	2		Xu等,2015

纪、新近纪和第四纪运动性质不同的造山运动(唐荣昌等, 1993), 本文将地层单元划分为第四系、新近系—古近系、中生界—古生界、前寒武系。基于简化地质背景, 突出专题内容的原则, 编者进行了制图综合, 将分布面积较小的地层和岩浆岩进行了合并。最终, 综合各资料制作了地层和岩浆岩图。制图区域内裸露的岩浆岩大部分在中生代—古生代时期形成。

实验场区的地层和岩浆岩在空间分布上显示了一定的规律性。实验场内除了四川盆地具有较好的沉积环境外, 其余区域高山耸立, 第四纪沉积物分布少。该区域第四系主要分布在东北部四川盆地, 沿龙门山脉都江堰市河流出口东南流向的水系形成大型冲积扇和冲积平原。安宁河、大渡河、卧落河、滇池等大型河流和湖泊沿岸以及盐源、宾川、保山等盆地也分布有河湖相和冲积相第四纪沉积物。新近系—古近系分布在沿鲁里山脉的 SN 向山谷间、绵绵山系南部、玉龙雪山山系南部、点仓山谷、景谷威远河谷等。该套地层主要以砾岩和砂岩为主, 中间夹粉砂岩、泥岩、煤、凝灰岩、岩屑砂岩等。实验场区内广泛分布中生代—古生代沉积岩, 覆盖区域内约 $\frac{1}{2}$ 的面积。该套地层形成于加里东运动—燕山运动早中期, 在此期间经历了板块形成阶段、联合古陆形成阶段和燕山运动早中期的联合古陆解体阶段, 成分复杂。在甘孜—理塘以东、九龙以北、康定—理县西北一带, 地层主要含变质砂岩和板岩。金沙江流域分布有千枚岩、板岩、变质砂岩, 并夹中酸—基性火山岩和凝灰岩。其余地区主要分布石灰岩、砂岩、泥岩、粉砂岩等。前寒武系主要分布在贡嘎山系、巴颜喀拉山系、岷山、大凉山、无量山等高山地区。该套地层主要为变质岩。在理塘沿断裂分布蛇绿岩; 沿金沙江分布片麻岩、斜长片麻岩、变粒岩、大理岩等; 沿北川映秀断裂、汶川—茂汶断裂分布前寒武花岗岩、基性、超基性岩; 龙门山断裂南段和鲜水河断裂会合处主要含变质岩; 沿大凉山断裂带地层主要成分为基性—酸性凝灰岩、熔岩、火山碎屑岩和砾岩; 安宁河南段及南部山区、昆明以南到曲江断裂、红河断裂西南侧、高黎贡山以南分布的前寒武岩呈现不同程度的变质。

岩浆岩(中生代—古生代为主)主要沿区域内的主断裂带广泛分布, 主要分布在金沙江断裂带、理塘断裂带、鲜水河—安宁河断裂带、龙门山断裂带、大凉山—小江断裂带上, 以 SN 向展布。该套地层主要形成于二叠纪—白垩纪时期: 从甘孜沿大型断裂到日窝主要形成于三叠纪; 德钦以南沿怒江断裂主要分布侏罗纪—白垩纪岩浆岩; 沿德钦、维西南的岩体主要形成于二叠纪—三叠纪; 马边、布拖、鲁甸一带和鹤庆一带主要为二叠纪玄武岩; 龙门山后山一带地层主要形成于奥陶纪、泥盆纪和二叠纪。

7 地理底图

本文采用了国家基础地理信息中心的小比例尺($<1:1\ 000\ 000$)地理底图, 要素类型包括水系和居民地, 坐标系统为 WGS 84 地理坐标系统。本文其他内容要素均编绘在此底图之上。

8 小结

《川滇地区地震地表破裂带分布图(1:500 000)》(图 3) 的地震、地震地表破裂带、断裂带、地层和岩浆岩、地理底图均来源可靠、完整, 将为川滇国家地质监测预报实验场未来的研究提供准确的地震地质基础资料, 有助于实验场地震动力学模型的建立。图件编制借鉴了地震行业活动断层探测标准, 制图流程和图面内容规范。本文给出了实验场区 87 次地震震中和 22 次地震地表破裂带, 具有较高可信度。然而, 仍有 65 次已知的地震没有确切的地震地表破

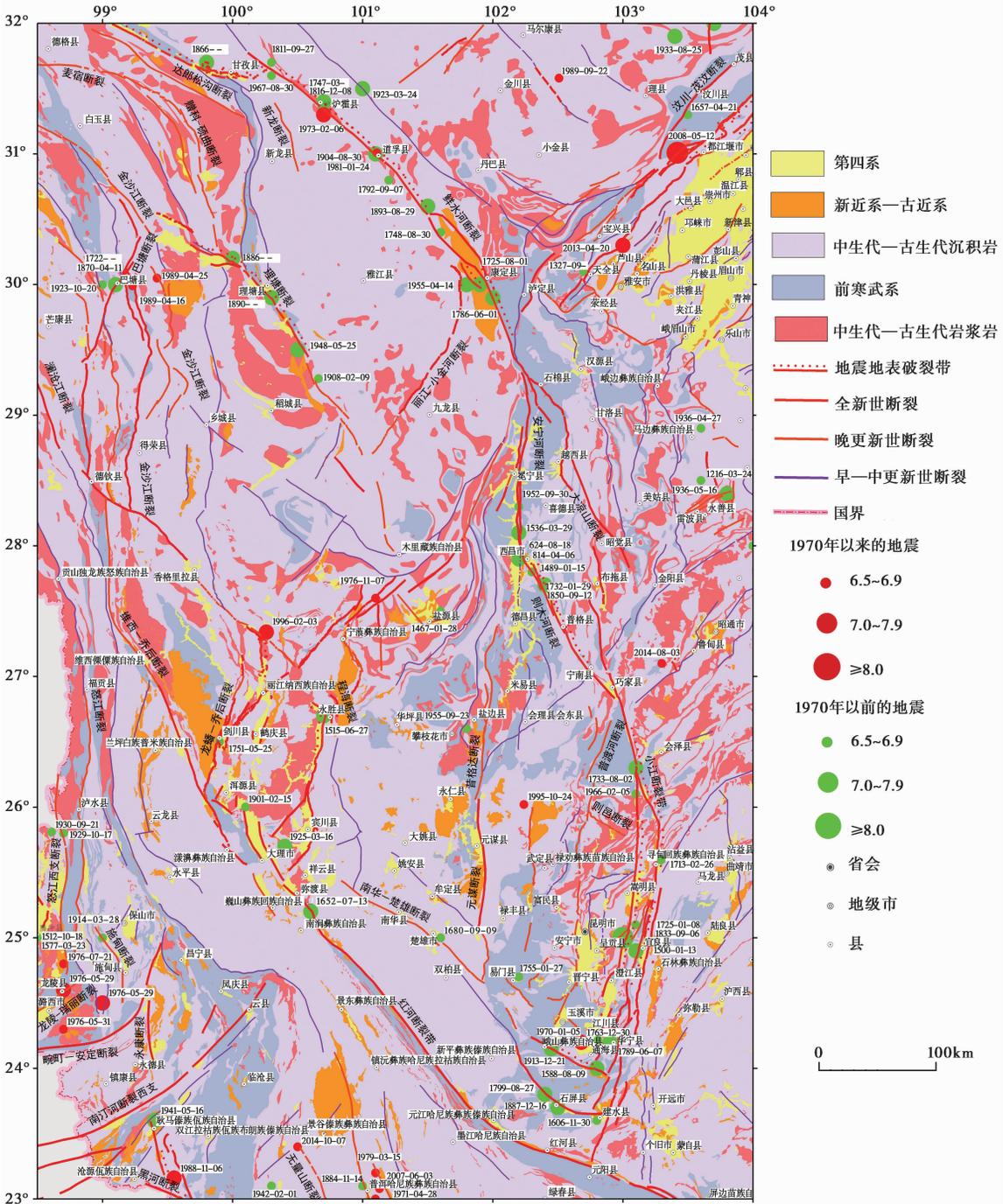


图3 川滇地区地震地表破裂带分布图

Fig. 3 Distribution of earthquake surface ruptures in Sichuan and Yunnan Province.

裂带位置和破裂长度,无法编绘在图上。该地区仍需要进一步的基础研究,获取更多准确的基础资料。相信随着实验场未来研究项目的开展,将获得更多成果,形成实验场深部和浅部地质

调查、地震构造、孕震环境相关数据和资料, 推进地震监测和预测的新技术、新方法的研究、试验和实践。

致谢 项目执行和文章撰写过程中, 得到了宋方敏研究员、闻学泽研究员、杨晓平研究员、吕悦军研究员、李涛特聘研究员、李康助理研究员的帮助, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 陈桂华, 徐锡伟, 郑荣章, 等. 2008. 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震地表破裂变形定量分析: 北川—映秀断裂地表破裂带 [J]. 地震地质, 30(3): 723—738.
- CHEN Gui-hua, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhong, *et al.* 2008. Quantitative analysis of the co-seismic surface rupture of the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China along the Beichuan-Yingxiu fault [J]. Seismology and Geology, 30(3): 723—738.
- 曹忠权, 申旭辉, 宋方敏, 等. 1996. 1500 年云南宜良地震的发震构造 [J]. 地震研究, 19(2): 184—191.
- CAO Zhong-quan, SHEN Xu-hui, SONG Fang-min, *et al.* 1996. Seismogenic structure of Yunnan Yiliang earthquake in 1500 [J]. Journal of Seismological Research, 19(2): 184—191 (in Chinese).
- 邓起东, 于贵华, 叶文华. 1992. 地震地表破裂参数与震级关系的研究 [G]// 国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(2). 北京: 地震出版社: 247—264.
- DENG Qi-dong, YU Gui-hua, YE Wen-hua. 1992. Relationship between earthquake magnitude and parameters of surface ruptures associated with historical earthquake [G]// Institute Geology, SSB (ed). Research of Active Fault (2). Seismological Press, Beijing. 247—264 (in Chinese).
- 国家地震局地震测量队. 1975. 1970 年云南省通海地震的地形变特征 [J]. 地球物理学报, 18(4): 240—245.
- The Geodetic Survey Brigade for Earthquake Research, State Seismological Bureau. 1975. The characteristics of the crustal deformation associated with the Tonghai earthquake, Yunnan, in January 1970 [J]. Acta Geophysica Sinica, 18(4): 240—245 (in Chinese).
- 国家地震局震害防御司. 1995. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年)[M]. 北京: 地震出版社.
- Disaster Prevention Department of State Seismological Bureau. 1995. Catalog of Strong Historical Earthquake of China (23rd Century B.C.—1911 A.D.) [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 虢顺民, 计凤桔, 向宏发, 等. 2001. 红河活动断裂带 [M]. 北京: 海洋出版社.
- GUO Shun-min, JI Feng-ju, XIANG Hong-fa, *et al.* 2001. Honghe Active Fault [M]. Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- 虢顺民, 向宏发, 张靖, 等. 1988. 1515 年云南永胜地震形变带和震级讨论 [J]. 地震研究, 11(2): 153—162.
- GUO Shun-min, XIANG Hong-fa, ZHANG Jing, *et al.* 1988. Discussion on the deformation band and magnitude of the 1515 Yongsheng earthquake in Yunnan Province [J]. Journal of Seismological Research, 11(2): 153—162 (in Chinese).
- 黄彩彬. 1983. 1948 年理塘 $7\frac{1}{4}$ 级地震的发震断裂及地震破裂带特征 [J]. 四川地震, (2): 1—3.
- HUANG Cai-quan. 1983. Characteristics of generating structure and macroscopic fracture belt of the 1948 $M_s = 7.3$ Litang earthquake, Sichuan [J]. Earthquake Research in Sichuan, (2): 1—3 (in Chinese).
- 李天福, 杜其方, 游泽李, 等. 1997. 鲜水河活动断裂带及强震危险性评估 [M]. 成都: 成都地图出版社.
- LI Tian-shao, DU Qi-fang, YOU Ze-li, *et al.* 1997. Strong Earthquake Risk Assessment of Xianshuihe Active fault [M]. Chengdu Map Press, Chengdu (in Chinese).
- 林邦慧, 李大鹏, 白武明, 等. 1994. 1988 年澜沧—耿马地震的震源特征及其有限元模拟 [J]. 地球物理学报,

37(5): 621—632.

- LIN Bang-hui, LI Da-peng, BAI Wu-ming, *et al.* 1994. The character of seismic source and FEM modelling for 1988 Lanchang-Gengma earthquake [J]. *Acta Geophysica Sinica*, 37(5): 621—632(in Chinese).
- 刘玉权, 黄震民, 杨来宝. 1984. 1970年通海地震的水平位移研究 [J]. *地震研究*, 7(2): 187—196.
- LIU Yu-quan, HUANG Zhen-min, YANG Lai-bao. 1984. Study of the horizontal displacement of the 1970 Tonghai earthquake [J]. *Journal of Seismological Research*, 7(2): 187—196(in Chinese).
- 刘玉权, 彭兴宽, 黄震民. 1988. 通海地震震后地形变研究 [J]. *地震研究*, 11(1): 369—376.
- LIU Yu-quan, PENG Xing-kuan, HUANG Zhen-min. 1988. A deformation study after Tonghai earthquake [J]. *Journal of Seismological Research*, 11(1): 369—376(in Chinese).
- 吕悦军. 2016b. 新一代地震区划图的破坏性地震目录修编及相关工作简介 [J]. *城市与减灾*, (3): 24—27.
- LÜ Yuan-jun. 2016b. An introduction of revision and related work of destructive earthquake catalog of new national seismic zoning map [J]. *City and Disaster Reduction*, (3): 24—27(in Chinese).
- 吕悦军, 王健, 汪素云, 等. 2016a. 中国及邻近地区破坏性地震震中分布图 [M]. 北京: 地震出版社.
- LÜ Yue-jun, WANG Jian, WANG Su-yun, *et al.* 2016a. Destructive Earthquake Map in China and Its Adjacent Regions [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 任金卫, 李坪. 1993. 四川西昌 1850年地震地表破裂特征研究 [J]. *地震地质*, 15(2): 97—106.
- REN Jin-wei, LI Ping. 1993. The characteristics of surface faulting of 1850 earthquake in Xichang, Sichuan [J]. *Seismology and Geology*, 15(2): 97—106(in Chinese).
- 四川省地震局. 1986. 1981年道孚地震 [M]. 北京: 地震出版社.
- Sichuan Provincial Seismological Bureau. 1986. The 1981 DaoFu Earthquake [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 四川省地震局地震地质队. 1988. 1948年理塘 7.3级地震 [J]. *四川地震*, (4): 26—31, 56.
- Seismogeological Team of Sichuan Seismological Bureau. 1988. The 1948 Litang $M7.3$ earthquake [J]. *Sichuan Earthquake*, (4): 26—31, 56(in Chinese).
- 四川省地震局地震队则木河活动断裂带填图组. 2013. 则木河活动断裂带地质图(1:50 000) [M]. 北京: 地震出版社.
- Zemuhe Active Fault Mapping Team, Seismic Crew for Seismology and Geology, Sichuan Provincial Seismological Bureau. 2013. Geological Map of Zemuhe Active Fault (1:50 000) [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 宋方敏, 汪一鹏, 俞维贤, 等. 1998. 小江活动断裂带 [M]. 北京: 地震出版社.
- SONG Fang-min, WANG Yi-peng, YU Wei-xian, *et al.* 1998. Xiaojiang Active Fault [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 唐茂云, 刘静, 邵延秀, 等. 2015. 中小震级事件产生地表破裂的震例分析 [J]. *地震地质*. 37(4): 1193—1214. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2015.04.020.
- TANG Mao-yun, LIU Jing, SHAO Yan-xiu, *et al.* 2015. Analysis about the minimum magnitude earthquake associated with surface ruptures [J]. *Seismology and Geology*. 37(4): 1193—1214.
- 唐荣昌, 韩渭宾. 1993. 四川活动断裂与地震 [M]. 北京: 地震出版社.
- TANG Rong-chang, HAN Wei-bin. 1993. Active fault and earthquakes in Sichuan Province. [M]. Seismological Press, Beijing(in Chinese).
- 王绍晋, 龙晓帆, 罗淑进. 1997. 丽江地震序列的震源机制、发震应力场和破裂特征 [J]. *地震研究*, 20(1): 26—34.
- WANG Shao-jin, LONG Xiao-fan, LUO Shu-jin. 1997. The focal mechanism, seismogenic stress field and rupture

- characteristics of the Lijiang earthquake sequence [J]. *Journal of Seismological Research*, 20(1): 26—34 (in Chinese).
- 汪素云, 高阿甲, 冯义钧, 等. 2010. 中国地震目录间的对比及标准化 [J]. *地震*, 30(2): 38—45.
- WANG Su-yun, GAO A-jia, FENG Yi-jun, *et al.* 2010. Comparison and standardization of the Chinese earthquake catalogs [J]. *Earthquake*, 30(2): 38—45 (in Chinese).
- 王新民, 裴锡瑜. 1998. 康定—泸定地区主要活断层与地震裂缝 [J]. *四川地震*, (1): 46—56.
- WANG Xin-min, PEI Xi-yu. 1998. Active faults and co-seismic cracks in the Kangding-Luding area [J]. *Earthquake Research in Sichuan*, (1): 46—56 (in Chinese).
- 汪一鹏, 宋方敏, 曹忠权, 等. 2013. 小江活动断裂带地质图(1:50 000) [M]. 北京: 地震出版社.
- WANG Yi-peng, SONG Fang-min, CAO Zhong-quan, *et al.* 2013. Geological Map of Xiaojiang Active Fault (1:50 000) [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 闻学泽, 马胜利, 雷兴林, 等. 2007. 安宁河—则木河断裂带过渡段及其附近新发现的历史大地震破裂遗迹 [J]. *地震地质*, 29(4): 826—833. doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2007.04.013.
- WEN Xue-ze, MA Sheng-li, LEI Xing-lin, *et al.* 2007. Newly found surface rupture remains of large historical earthquakes on and near the transition segment of the Anninghe and Zemuhe Fault zones, western Sichuan, China [J]. *Seismology and Geology*, 29(4): 826—833 (in Chinese).
- 闻学泽, 徐锡伟, 郑荣章, 等. 2003. 甘孜—玉树断裂的平均滑动速率与近代大地震破裂 [J]. *中国科学*, 33(增刊): 199—208.
- WEN Xu-ze, XU Xi-wei, ZHENG Rong-zhang, *et al.* 2003 Average slip-rate and recent large earthquake ruptures along the Garze—Yushu fault [J]. *Science in China (Ser D)*. 33(Suppl): 199—208 (in Chinese).
- 徐锡伟, 陈桂华, 于贵华, 等. 2010. 5·12 汶川地震地表破裂基本参数的再论证及其构造内涵分析 [J]. *地球物理学报*, 53(10): 2321—2336.
- XU Xi-wei, CHEN Gui-hua, YU Gui-hua, *et al.* 2010. Reevaluation of surface rupture parameters of the 5·12 Wenchuan earthquake and its tectonic implication for Tibetan uplift. *Chinese Journal of Geophysics*, 53(10): 2321—2336 (in Chinese).
- 徐锡伟, 韩竹军, 杨晓平, 等. 2016. 中国及邻近地区地震构造图 [M]. 北京: 地震出版社.
- XU Xi-wei, HAN Zhu-jun, YANG Xiao-ping, *et al.* 2016. Seismotectonic Map in China and Its Adjacent Regions [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).
- 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 2008. 汶川 M_s 8.0 地震地表破裂带及其发震构造 [J]. *地震地质*, 30(3): 597—629.
- XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YE Jian-qing, *et al.* 2008. The M_s 8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure. [J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 30(3): 597—629.
- 徐锡伟, 闻学泽, 于贵华, 等. 2005. 川西理塘断裂带平均滑动速率、地震破裂分段与复发特征 [J]. *中国科学*, 35(6): 540—551.
- XU Xi-wei, WEN Xue-ze, YU Gui-hua, *et al.* 2005. Average slip rate, earthquake rupturing segmentation and recurrence behavior on the Litang fault zone, western Sichuan Province [J]. *Science in China (Series D)*. 35(6): 540—551 (in Chinese).
- 俞维贤, 柴天俊, 侯学英. 1991. 澜沧 7.6 级地震形变带 [J]. *地震地质*, 13(4): 343—352.
- YU Wei-xian, CHAI Tian-jun, HOU Xue-ying. 1991. Deformation zone of $M = 7.6$ Lanchang earthquake [J]. *Seismology and Geology*, 13(4): 343—352 (in Chinese).
- 俞维贤, 李志祥, 侯学英, 等. 1995. 1500 年宜良地震地表形变带的考证 [J]. *地震研究*, 18(4): 405—411.
- YU Wei-xian, LI Zhi-xiang, HOU Xue-ying, *et al.* 1995. Textural research on surface deformation belt of Yiliang

earthquake in 1500 [J]. *Journal of Seismological Research*, 18(4): 405—411 (in Chinese).

俞维贤, 宋方敏, 闻学泽, 等. 2001. 1850年西昌地震地表破裂带的考察研究 [J]. *地震研究*, 24(4): 346—350.

YU Wei-xian, SONG Fang-min, WEN Xue-ze, *et al.* 2001. Study of the surface rupture zone of Xichang earthquake in 1850 [J]. *Journal of Seismological Research*, 24(4): 346—350 (in Chinese).

俞维贤, 汪一鹏, 宋方敏, 等. 1996. 1833年云南嵩明8级大地震地表破裂带的考察研究 [J]. *地震研究*, 19(4): 385—390.

YU Wei-xian, WANG Yi-peng, SONG Fang-min, *et al.* 1996. Survey study on surface rupture zone to Yunnan's Songming $M=8$ Earthquake in 1833 [J]. *Journal of Seismological Research*, 19(4): 385—390 (in Chinese).

云南省地震局, 滇西地震预报实验场. 1998. 一九九六年丽江地震 [M]. 北京: 地震出版社.

Sichuan Provincial Seismological Bureau, Earthquake Prediction Experimental Field in Western of Yunnan Province. 1998. Lijiang Earthquake in 1996 [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).

张建国, 周瑞琦, 吴伯黔, 等. 1997. 丽江7.0级地震地表破裂与形变特征 [J]. *地震研究*, 20(1): 58—65.

ZHANG Jian-guo, ZHOU Rui-qi, WU Bai-qian, *et al.* 1997. The characteristics of surface rupture and deformation for the $M7.0$ Lijiang earthquake [J]. *Journal of Seismological Research*, 20(1): 58—65.

张四昌, 刘百箴. 1978. 1970年通海地震的地震地质特征 [J]. *地质科学*, 13(4): 323—335.

ZHANG Si-chang, LIU Bai-chi. 1978. Seismic geological characteristics of Tonghai earthquake in 1970 [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 13(4): 323—335 (in Chinese).

中国地震局地震台网中心. 2001. 中国地震年报(1990—2000年) [M]. 北京: 地震出版社.

China Earthquake Networks Center, China Earthquake Administration. 2001. China Earthquake Annual Report (1990—2000) [M]. Seismological Press, Beijing (in Chinese).

中国地震局震害防御司. 1999. 中国近代地震目录(公元1912—1990年, $M_s \geq 4.7$) [M]. 北京: 中国科学技术出版社.

Department of Earthquake Disaster Prevention, China Earthquake Administration, State Seismological Bureau of Earthquake Defense Department. 1999. Chinese Modern History Earthquake Catalog (1912—1990, $M_s \geq 4.7$) [M]. Science and Technology of China Press, Beijing (in Chinese).

周庆, 徐锡伟, 于贵华, 等. 2008. 汶川8.0级地震地表破裂带宽度调查 [J]. *地震地质*, 30(3): 778—788.

ZHOU Qing, XU Xi-wei, YU Gui-hua, *et al.* 2008. Investigation on widths of surface rupture zones of the $M8.0$ Wenchuan earthquake, Sichuan Province, China [J]. *Seismology and Geology*, 30(3): 778—788 (in Chinese).

Cheng J, Rong Y F, Magistrale H, *et al.* 2017. An M_w -based historical earthquake catalog for mainland China [J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(5): 2490—2500.

Wen X Z, Ma S L, Xu X W, *et al.* 2008. Historical pattern and behavior of earthquake ruptures along the eastern boundary of the Sichuan-Yunnan faulted-block, southwestern China [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 168(1-2): 16—36.

Xu X W, Xu C, Yu G H, *et al.* 2015. Primary surface ruptures of the Ludian M_w 6.2 earthquake, Southeastern Tibetan plateau, China [J]. *Seismological Research Letters*, 86(6): 1622—1635.

MAP PREPARATION OF EARTHQUAKE SURFACE RUPTURES IN THE NATIONAL EXPERIMENTAL FIELD OF EARTHQUAKE MONITORING AND PREDICTION IN SICHUAN AND YUNNAN PROVINCE

WU Xi-yan¹⁾ XU Xi-wei^{1,2)} YU Gui-hua¹⁾ CHENG Jia³⁾
CHEN Gui-hua¹⁾ AN Yan-fen¹⁾ WANG Qi-xin¹⁾

1) *Key Laboratory of Active Tectonics and Volcano, Institute of Geology, Institute of Geology,
China Earthquake Administration, Beijing 100029, China*

2) *The Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*

3) *China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China*

Abstract

To establish an experimental, practical and open scientific experimental platform for earthquake monitoring and prediction, with reference to that of the southern California earthquake center (SCEC), China Earthquake Administration initiated a project for an experimental field in Sichuan and Yunnan Province in 2014. The chosen area is a seismically active region in the southeastern margin of the Tibetan plateau. A series of work compiling basic maps have been launched to collect fundamental data of this area including geologic structure, earthquake geology, geophysics, geodesy, and geochemistry. The map of earthquake surface ruptures in this region is one of these basic maps. This paper presents the compilation of this map. It includes earthquake epicenters, earthquake surface ruptures, faults, strata, magmatic rocks, and geographical data. This work summarized 87 destructive earthquakes, and 22 earthquake surface rupture zones, and analyzed the distribution characterization of earthquake epicenters, strata and magmatic rocks. The content in the map is reliable and integrated. This work will provide reliable earthquake-geology data for establishing geodynamics models and other future research of the national experimental field of earthquake monitoring and prediction in Sichuan and Yunnan Province.

Key words Active fault, Active tectonics, experimental field in Sichuan and Yunnan, earthquake surface rupture zone

[作者简介] 吴熙彦,女,1984年生,2010年在北京师范大学获硕士学位,工程师,主要从事GIS在活动构造研究方面的应用研究,电话:010-62009416, E-mail: xywu@ies.ac.cn。