

李玉森, 万波, 曲乐, 等. 辽宁省1:100万地震构造图编制与分析[J]. 华南地震, 2021, 41(1): 16–25. [LI Yusen, WAN Bo, QU Le, et al. Compilation and Analysis of 1: 1 Million Seismotectonic Map of Liaoning Province [J]. South China journal of seismology, 2021, 41(1): 16–25]

辽宁省1:100万地震构造图编制与分析

李玉森, 万波, 曲乐, 索锐, 李伟

(辽宁省地震局, 沈阳 110034)

摘要:《辽宁省1:100万数字地震构造图》以ArcGIS为平台,以《1:400万中国地震构造图》和《辽宁省1:50万地质图》为底图,结合近年来1:25万、1:20万、1:5万地质调查新成果和城市活断层探测等有关资料,采用新方法、新规范(GB/T 36072–2018、DB/T 73–2018、GB/T 985–2015)^[1–3]编制而成。图中对于辽宁地区地震活动性要素、地震构造基础条件、地层要素、主要构造要素进行了深入探讨,重点建立了42条活动断裂数据库,并增加了依兰—伊通断裂、密山—敦化断裂、金州断裂、鸭绿江断裂等研究新成果。为辽宁省地震构造研究及地震危险区划分提供参考依据。

关键词:地震;地震构造;数据库;新规范;辽宁省

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1001–8662(2021)01–0016–10

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.01.03

Compilation and Analysis of 1: 1 Million Seismotectonic Map of Liaoning Province

LI Yusen, WAN Bo, QU Le, SUO Rui, LI Wei

(Liaoning Earthquake Agency, Shenyang 110034, China)

Abstract: Based on ArcGIS, taking 《1: 4 million earthquake structural map of China》 and 《1: 500 000 geological map of Liaoning Province》 as references, collected the new geological survey results of different scales (1: 250 000, 1: 200 000, 1: 50 000) and the urban active fault detection in recent years, the paper used new methods and norms to draw up the 1: 1 million digital seismotectonic map of Liaoning Province. In the figure, seismicity elements, basic conditions of seismic structure, stratigraphic elements and main structural elements in Liaoning Province are deeply discussed. The paper focused on the establishment of 42 active fault databases, and added new research results such as Yilan–Yitong fault, Mishan–Dunhua fault, Jinzhou fault, Yalujiang fault, etc., which provide reference for seismotectonic research and seismic risk zone division in Liaoning Province.

Keywords: Earthquake; Seismo tectonics; Data base; New standard; Liaoning Province

收稿日期: 2020–05–10

基金项目: 郯庐断裂带三维地震构造分段模型与地震预测研究专项(TYZ20160110); 郯庐断裂带北延段(辽宁段) 1:25万地震构造图编制(LZ202019)

作者简介: 李玉森(1986–), 工程师, 主要从事地震构造研究、地球物理场探测等相关工作。E-mail: liyusend@163.com.

通信作者: 万波(1967–), 副研究员, 主要研究方向为活动断层和地震构造、地震地质灾害等。E-mail: wanbo333@126.com.

0 前言

“中国地震动参数区划图”(GB18306-2015)的正式出版诠释了地震行业的最新成果,同时对全国的防震减灾工作提出了更高的要求,以此为契机,按照新标准、结合地震地质新成果编制辽宁省 1:100 万数字地震构造图^[1-5],建立地震地质属性数据库,详细描述辽宁省地震构造特征。为辽宁省地震构造研究及地震危险区划分提供参考依据,为地震中长期预报、地震烈度区划、地震灾害评估、应急指挥、以及城乡建设、经济规划等提供背景资料。

1 编图及说明

以 ArcGIS 作为地震构造图编制平台,以 ArcCatalog 进行数据库建设和管理,主要参考(DB/T 65-2016)和城市活动断层探测技术系统技术规程中的各项参数指标^[4-5];通过 ArcToolbox 工具箱进行矢量化、拓扑检查、数据计算、符号表达、图像美化等应用。本图图幅范围为 118.6°~126.3°E, 38.7°~43.5°N,采用双纬线等角圆锥投影坐标系。图幅精度为 1:100 万。图中每一个要素单元中包括空间信息、属性信息、拓扑关系、制图信息等一系列内容,对各种地理、地质、地震、探测类数据进行标准化、专业化、规范化处理,构建多维空间数据格式,形成真正意义上的数字地震构造图,实现地震大数据的有效联动。

图面由基础地理信息数据和专题数据两部分组成,基础地理信息主要包括各级行政边界,各级居民点,河流、水库、湖泊等水体,山峰等,数据来源于辽宁省基础地理信息中心。专题数据核心要素主要包括三大类、地震、地层与岩体、断裂和构造盆地。地震数据细分为古地震(历史地震)、仪器记录地震。古地震(历史地震)主要参考了顾功叙(公元前 1831—公元 1969 年)、谢毓寿(1900—1980 年)、辽宁省地震局(公元 2—1989 年)等编制的地震目录^[6-11];仪器记录地震是指 1970 年地震监测台网运行以来仪器所记录到的地震,也称现代地震,源数据来自中国地震台网中心。根据地震地质研究的需要,本次编图录入的是 $M_s \geq 4.7$ 的破坏性地震(表 1)。断裂资料主要来源于辽宁省地震局近年来地震安全性评价和活断层探测工作的相关成果,从最新活动时间和活动性质等 8 个方面进行详细表述,如表 2,断裂数据

精度完全满足本次编图要求,其中营海岫等地区数据精度能达到 1:25 万。地层数据主要来源于 1:20 万纸质版区域地质图,地层的划分根据相关的编图规范和研究的需要,细化第四纪地层,淡化前第四纪地层,侵入岩根据构造旋回期来划分,具体在之后的地层要素章节中进行详细阐述。其他专题要素包括地形地貌,构造盆地边界,第四系等厚线,大地构造分区等相关信息。所有专题数据资料时间已更新至 2019 年 12 月。

将不同类型地震地质实体要素根据其自身特点分别用点、线、面来表示。在各要素之间建立拓扑关系和坐标系统来还原现实世界,通过属性数据库反映地震地质体的各种特征。为了方便数据的维护和管理,在数据库中建立三个要素集,分别为地震数据集、地质数据集、地理底

2 地震活动性要素

辽宁省地处环太平洋与地中海—喜马拉雅两大地震带的交汇处,区域构造活动相对频繁,具有中强地震的历史。资料显示,自公元 419 年的朝阳 5 ½ 级地震至今,共发生破坏性地震约 42 次(未包含大地震的余震),其中 4.7~4.9 级 18 次、5.0~5.9 级 19 次、6.0~6.9 级 4 次、7.0 级以上 1 次。最大地震是 1975 年海城 7.3 级地震。1999 年在岫岩地区连续发生 4~5 级中等地震震群。2012 年以来进入新的活跃阶段,先后经历了盖州 4 级显著震群、庄河近海 4.3 级地震、灯塔 5.1 级地震、科尔沁(阜蒙交界)5.3 级地震、海城 4.4 级地震等。从震源深度分布看,均为地下 5~15 km 的浅源地震。从空间分布看,破坏性地震主要沿营口—海城—沈阳一线大范围集中分布;在金州、普兰店地区,鸭绿江口地区小范围带状分布;在辽西呈零散分布,破坏性地震受郯庐断裂、海城河断裂、金州断裂和鸭绿江断裂等主要活动构造控制;另一方面,在断裂构造交汇部位(以 NE-NNE 向、NW 向居多)第四纪盆地发育,在构造盆地内部及其边缘地带地震活动较多,特别是 5 级左右的地震具有原地重复发生的特征。20 世纪以来该地区地震活动明显增强,地震频率渐趋频繁,中小震群较为活跃。目前地震活动主要集中在海城老震区、盖州—庄河地区、鸭绿江口、朝阳地区和辽蒙交界的科尔沁地区。

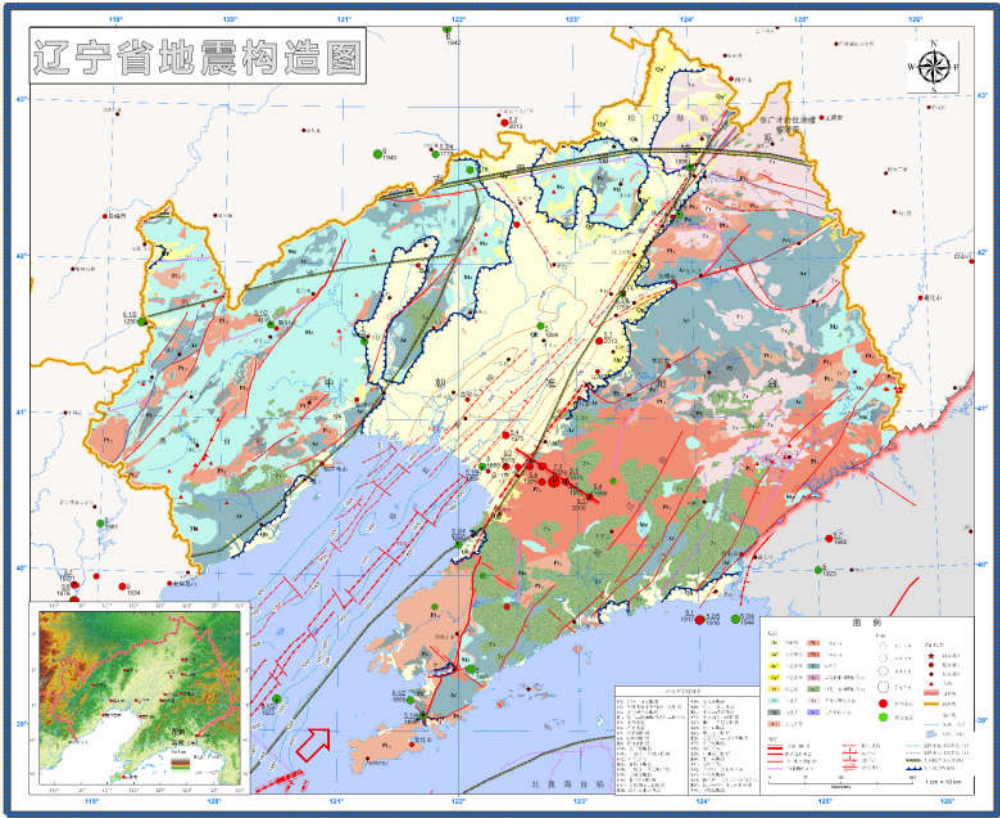


图 1 辽宁省地震构造图
Fig.1 Seismotectonic map of Liaoning Province

表 1 辽宁省地震目录 ($M_s \geq 4.7$, 419–2019.12.1)
Table 1 Earthquake catalogue of Liaoning Province ($M_s \geq 4.7$, 419–2019.12.1)

序号	发震时间 (年-月-日)	震中位置		震级/ M_s	地点
		纬度/(°)	经度/(°)		
1	419–	41.6	120.4	5 1/2	朝阳
2	1318-02-21	42.6	122.1	5	阜新
3	1493-01-27	40	122.2	4 3/4	熊岳
4	1494-05-06	39.2	121.2	5 1/2	辽东湾
5	1525-10-16	40.5	121.5	4 3/4	辽东湾
6	1552-11-06	41.7	123.5	4 3/4	沈阳东南
7	1594-10-16	42.6	124	4 3/4	开原北
8	1596–	42.6	124	5 1/2	开原北
9	1599-05-01	41.6	122.7	5	辽中
10	1618-10-01	40.6	123.3	4 3/4	海城东
11	1698–	41.5	121.2	5	义县
12	1765-03-15	41.8	123.4	5 1/2	沈阳东南
13	1775–	42.3	123.9	5 1/2	铁岭
14	1855-12-11	39.2	121.6	5 1/2	金州
15	18504-10	39.1	121.7	5 1/4	金州
16	1859-07-19	40.7	122.2	5 1/4	营口

(转下表)

(接表 1)

序号	发震时间 (年-月-日)	震中位置		震级/ M_s	地点
		纬度/(°)	经度/(°)		
17	1861-07-19	39.4	122.1	6	普兰店
18	1875-	42.6	124	4 3/4	开原北
19	1885-04-07	40.7	122.2	5 1/2	营口
20	1917-01-10	39.8	121.8	4 3/4	瓦房店
21	1916-11-24	39.7	124	5.4	鸭绿江口
22	1917-05-28	39.7	124	6.1	鸭绿江口
23	1922-09-29	39.2	120.5	6 1/2	渤海
24	1923-08-11	40	125	5	中朝边境
25	1934-02-18	39.1	121.7	4 3/4	金州
26	1940-08-05	40.2	122	5 3/4	熊岳
27	1941-12-15	42.3	124.5	4 3/4	铁岭东
28	1944-12-19	39.7	124.3	6 3/4	鸭绿江口
29	1972-04-14	40	122.5	4.8	盖县
30	1974-05-07	39.3	119.7	4 3/4	渤海湾
31	1974-12-12	41.3	123.6	4.8	辽阳参窝水库
32	1975-02-04	40.7	122.7	7.3	海城
33	1977-06-05	41.95	121.3	4.7	阜新
34	1978-05-18	40.7	122.5	5.9	大石桥
35	1981-05-18	40.7	122.7	4.7	大石桥
36	1988-02-25	42.2	122.5	4.8	彰武
37	1988-	40.8	122.7	4.9	大石桥
38	1989-	40.5	122.5	4.8	盖州
39	1994-	40.1	122	4.7	熊岳
40	1999-11-29	40.5	123	5.4	海岫交界
41	2000-01-12	40.5	123	5.1	海岫交界
42	2013-05-13	41.5	123.2	5.1	沈辽交界

3 地震构造基础条件

辽宁地区主要受太平洋板块 NWW 向的俯冲作用,太平洋岛弧俯冲到欧亚大陆边缘之下,辽东和辽北地区呈隆起之势,形成了区域 NE-NNE 向隆拗相间的主体构造框架。印度洋板块北移、青藏高原的东向运动对辽宁地区产生了一定的远程效应。区域横跨三个一级大地构造单元,南部为中朝准地台,北部属吉黑褶皱系和内蒙—大兴安岭褶皱系。中朝准地台是最古老的地台之一,其大地构造演化可分为地台形成、盖层发育和大陆边缘活动三个阶段,太古宙和早元古代变质岩系

构成了结晶基底,经鞍山运动、辽河运动变质和混合岩化作用,使基底固结而形成,其二级地质构造单元主要是胶辽台隆、华北断拗、内蒙地轴、北黄海断陷和燕山台褶带^[3]。

新构造运动主要以垂直差异升降运动为主,伴随断裂新活动,岩浆喷溢、地震活动和温泉等。山地表现为间歇上升,平原和海域持续下降,总体表现为东、西及北部低山丘陵向中部平原和海域倾斜的趋势,在下辽河—辽东湾—渤海区形成新生代裂谷系。主要划分大兴安岭上升隆起区、燕辽上升隆起区、松辽—下辽河—辽东湾沉降区、辽东—张广才岭上升隆起区、朝鲜北部强上升隆

起区和北黄海沉降区 6 个一级新构造运动单元, 构成现代地貌的基本格局^[14-15]。

4 地层要素

之前的编图工作主要参考 1986 版的《辽宁省区域地质志》, 本次编图工作融入了新一版《辽宁省区域地质志》研究成果^[16], 在采用新的地层划分方法的同时, 结合 1: 25 万、1: 20 万、1: 5 万等地质资料对部分地层信息进行修订和更正。地层的划分主要遵循以地质构造为基础, 按照时空演化规律, 强化、细化第四纪地层, 逐渐淡化、弱化前第四纪地层的原则, 本次编图的地层顺序如下: 第四系(Q)细化到统, 全新统 Qh, 更新统 Qp(Qp¹、Qp²、Qp³), 接下来是新近系(N)、古近系(E), 再接下来是中生界(Mz)、古生界(Pz)、上元古界(Pt₃)、中元古界(Pt₂)、下元古界(Pt₁)和太古宇(Ar)。

岩石主要有侵入岩和火山岩, 其中以侵入岩为主, 主要成分为花岗岩, 另外一些其他成分的

侵入岩面积微小, 分布凌乱, 经研究认为其与地震构造的相关性不大, 为了保证图幅的清晰整洁, 将其略去或者并入其他地层。火山岩面积较小, 零散分布在辽吉边界地区和辽西朝阳等地区, 考虑到如今对火山岩的探测和了解还不是特别充分, 资料的精度也有待考量, 因此本次编图并未显示火山岩等相关信息。侵入岩主要从动力学角度考量, 按照形成时间来划分, 具体分为 6 个构造旋回, 分别为喜马拉雅期侵入岩(简称喜山期侵入岩), 另有印支—燕山期侵入岩、华力西期侵入岩、加里东期侵入岩和元古宙、太古宙侵入岩。

5 主要构造要素

在编图过程中, 根据历史资料记载和新成果的汇总, 共列出辽宁地区具有一定规模的(长度大于 30 km)、活动性较强的断裂共 42 条, 包括对中强震有控制作用的 13 条主要地震构造, 主要有: 依兰—伊通断裂(辽宁段)、海城河断裂、金州断裂、下辽河平原断裂、鸭绿江断裂等等。区域水平构

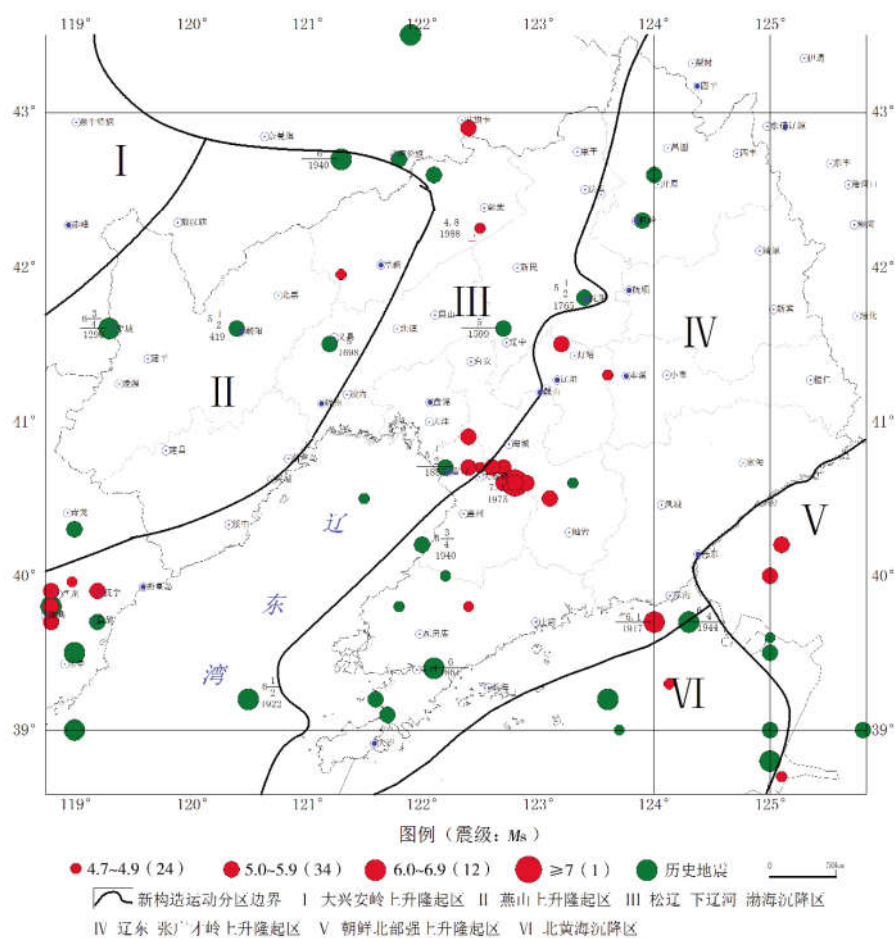


图 2 辽宁省新构造运动分区

Fig.2 Neotectonic movement division of Liaoning Province

造应力场主压方向为 NEE 向。

按照展布特征划分为近东西向、NE—NEE 向、NW 向和近南北向四组，NE—NEE 向断裂最为发育。从区域构造演化来看，近东西向断裂形成最早，是伴随结晶基底的褶皱回返过程而产生的，多为平行于褶皱轴的压性断裂，受后期错切或岩浆岩充填，完整性较差；NE—NEE 向断裂最为发育、延续性最好，对早期盖层分布有一定控制作用，中生代断陷盆地发育，压扭性挤压破裂带规模巨大，第四纪时期活动水平仍然较高，对区域地震活动具有控制作用；近南北向断裂形成较早，新生代以来活动不明显；NW 向断裂多数规模不大，但第四纪时期活动强烈，常常切割其它走向的构造，多中强震发生。如表 2：

表 2 辽宁省主要构造属性表

Table 2 Attribute table of main seismic structures of Liaoning Province

编号	断裂名称	长度/km	走向	倾向	倾角/(°)	最新活动性质	近地表状态	切割深度	最新活动年代
F1-1	赤峰—开原断裂	2000	近 EW	S	40°~60°	逆倾滑	出露、隐伏	超岩石圈	前第四纪 (龙潭—彰武为早—中更新世)
F1-2	清河断裂(赤峰—开原断裂东段延伸段)	70	NWW				出露	盖层	中更新世
F1-3	嵩山堡—王家小堡断裂(赤峰—开原断裂东段延伸段)	80	近 EW				出露	地壳	中更新世
F1-4	得胜台断裂(赤峰—开原断裂东段延伸段)	60	近 EW	S			出露、隐伏	盖层	前第四纪
F2-1	营潍断裂带(渤海—辽东湾段西支)	270	NE	SE	50°~70°	正倾滑	隐伏	岩石圈	早—中更新世
F2-2	营潍断裂带(渤海—辽东湾段东支)	270	NE	SE	50°~70°	正倾滑	隐伏	岩石圈	晚更新世
F3-1	牛居—油燕沟断裂(下辽河平原断裂)	135	NE	NW	70°~80°	左旋走滑兼正倾滑	隐伏	岩石圈	中更新世
F3-2	辽中断裂(下辽河平原断裂)	120	NE	SE	60°~70°	左旋走滑兼正倾滑	隐伏	岩石圈	早—中更新世
F3-3	台安断裂(下辽河平原断裂)	70	NE	NW	50°~60°	左旋走滑兼正倾滑	隐伏	地壳	早更新世
F4	依兰—伊通断裂(辽宁段)	220	NE	SE,NW	40°~60°	走滑兼正倾滑	出露、隐伏	超岩石圈	(沈阳—铁岭段为早—中更新世) (铁岭—开原段为晚更新世) (昌图—四平段为中更新世)
F5	金州断裂	280	NNE	NW	40°~80°	右旋走滑兼倾滑	出露、隐伏	岩石圈	晚更新世—全新世
F6	浑河断裂	200	NE	N	70°	正倾滑兼走滑	出露、隐伏	地壳	早—中更新世 (章党—南杂木段为晚更新世)
F7	太子河断裂	120	NE	NW	50°~85°	正倾滑兼走滑	出露	岩石圈	早—中更新世 (小岭—安平段为晚更新世)
F8	海城河断裂	70	NW	NE	80°~90°	左旋走滑兼正倾滑	隐伏	地壳	全新世
F9	鸭绿江断裂(辽宁段)	210	NE	SE	50°~80°	右旋走滑兼正倾滑	出露、隐伏	岩石圈	(集安—水丰段为中更新世) (水丰—东港(东支)为晚更新世) (水丰—东港(西支)为中更新世)

(转下表)

(接表 2)

编号	断裂名称	长度/km	走向	倾向	倾角/(°)	最新活动性质	近地表状态	切割深度	最新活动年代
F10	太平哨断裂	130	NNE	NW	60°~80°	右旋走滑兼正倾滑	出露	盖层	早—中更新世
F11	土城子—大楼房断裂	70	NNE	SE, NW			出露	盖层	前第四纪
F12	庄河断裂	85	NE	SE	60°~80°	右旋走滑兼逆倾滑	出露	基底	早—中更新世
F13	青堆子断裂	160	NE	NW	55°~66°	右旋走滑兼正倾滑	出露	基底	早—中更新世
F14	石城子—马道岭断裂	110	NNE	SE, NW	60°~80°	右旋走滑兼逆倾滑	出露	盖层	前第四纪
F15	毛甸子—老古沟断裂	80	NNE	SE	70°~75°	右旋走滑兼正倾滑	出露	盖层	中更新世
F16	普兰店湾断裂	40	EW	N	40°~60°	左旋走滑兼正倾滑	出露、隐伏	基底	前第四纪—早更新世
F17	大和尚山山前断裂	50	近 EW	SE	60°~80°	出露、隐伏	基底		中更新世
F18	朝阳—北票断裂	200	NNE	NW, SW	北段 25°~50° 南段 60°~80°	北段正倾(南段逆倾)兼走滑	出露	基底	朝阳以北段为晚更新世, 朝阳以南段为中更新世
F19	女儿河断裂	90	NE	NW		逆断层	出露	基底	中更新世
F20	石山—杏山断裂	90	NE	NW			出露	一般	早—中更新世
F21	北票—凌源断裂	800	近 EW	N	40°~75°	逆断层	出露、隐伏	岩石圈	前第四纪
F22	医巫闾山西侧断裂	130	NE	NW	40°~80°	正倾滑	出露	盖层	早—中更新世
F23	嫩江—八里罕断裂	1200	30°~35°	E		正倾滑	隐伏	岩石圈	晚更新世
F24	东台山断裂	50	NEE—近东西	近直立		逆倾滑	出露	盖层	前第四纪
F25	中三家子断裂	200	NNE	NW	60°~75°	左旋走滑逆断层	出露		早—中更新世
F26	张家营子—刀尔登断裂	180	NNE	NW		左旋走滑	出露		前第四纪
F27	苏子河断裂	200	NE 转 NW				出露、隐伏	基底	早—中更新世
F28	柳河断裂	100	NW			正倾滑	隐伏	盖层	早—中更新世
F29	红旗营子断裂	90	NE	NW	70°~85°	正倾滑兼走滑	出露	基底	中更新世
F30	栗子房断裂	60	NE	NW		右旋走滑兼正倾滑	出露	盖层	早—中更新世
F31	皮口断裂	65	NNE	NW	60°~70°	正倾滑	出露	基底	早更新世
F32	塔子岭—翁泉沟断裂	80	NE	NW		逆断层	出露	盖层	前第四纪
F33	碧流河断裂	55	近 EW			右旋走滑兼逆倾滑	出露	盖层	前第四纪
F34	普兰店—长海构造带	70	NW			左旋走滑兼倾滑	出露		早—中更新世
F35	熊岳—庄河构造带	120	NW			左旋走滑兼逆倾滑和正倾滑	出露		早—中更新世
F36	下哈达断裂	60	NE				出露		早—中更新世

在上一版地震构造图的基础上,本图录入的活动断裂增加至42条,录入的数据信息有断裂名称、长度、走向、倾向、最新活动性质、近地表状态、切割深度、活动年代等9项属性。随着省内活断层探测工作的不断深入,形成了大量的新认识和新观点,为了将新成果更好的展示,本图就活动断裂的长度、分段方法、活动性质、活动时代等进行了实时更新。如下:

(1)对部分活动断裂长度进行了更新,如F5金州断裂,北端由鞍山延伸到了辽阳县,对于是否延伸到辽阳市北还处于研究中,本图采用前者;再如F17大和尚山前断裂由起初测定的35 km延长至50 km。

(2)对部分活动断裂的分段节点进行了修正,如F5金州断裂,是辽东半岛最大的区域性断裂,前人在研究中采用两分法,以九寨节点,分为南、北段,为了进一步研究其构造特征,本图将其分为四段,分别为金州—普兰店段、普兰店—九寨段、九寨—盖州北段、盖州北—鞍山段。F9鸭绿江断裂以水丰为界,由原来的南、北两支修正为东、西两支。F18朝阳—北票断裂由原来的北、中、南三段修正为以朝阳为节点的南、北两段。

(3)对于活动时代进行了更加细化的研究,如F1赤峰—开原断裂最新活动时代为前第四纪,通过分段研究,获得了龙潭—彰武段为早—中更新世断裂的系列证据。再如F28柳河断裂最初认为其最新活动时代为中更新世,通过后续探测获得了早更新世的证据。再如F7太子河断裂、F6浑河断裂分别为前第四纪和早—中更新世断裂,经研究发现在两个断裂中分别存在小岭—安平段、章党—南杂木段的晚更新世断裂。

(4)新增断裂一条,F36:下哈达断裂。初步认为该断裂系赤峰—开原断裂东段延伸段,具体内容尚在研究中。表2为本图活动断层的属性信息,对于部分尚未明确的属性信息在后续探测工作会持续更新。

主要活动断裂简介:

(1)F2:营潍断裂带(渤中北—辽东湾段)。营潍断裂带渤中北—辽东湾段展布于辽东湾及渤海海域,由四条平行断裂组成,总长度约300 km,宽约50~100 km,主要划分为东、西两支,由许多次级断裂斜列组合而成,单段规模一般为25~30 km。断裂处在新构造下辽河—辽东湾沉降区内,断裂两侧差异性构造运动显著,重、磁异常明显,在NEE向近水平的挤压应力作用下,倾滑运动明

显,第四纪断陷幅度较大。资料显示东支断裂的活动时代较新,其最新活动时代应为晚更新世,西支断裂活动性较东支为弱,最新活动应在晚更新世以前。营潍断裂带渤中北—辽东湾段地震活动相对频繁,记载有1次6 $\frac{1}{2}$ 级左右地震和多次5级左右地震,小震活动较多,最大地震为1922年6 $\frac{1}{2}$ 级^[17-18]。

(2)F4:依兰—伊通断裂(辽宁段)。断裂南起苏家屯,北至辽吉边界,总长220 km,走向NE—NEE,主体由东、西两条近平行断裂组成。新近纪以来,断裂活动强烈,两侧差异升降运动明显。自SW向NE分为南(沈阳—铁岭段)、中(铁岭—开原北段)、北(昌图—四平段)三段,南段被晚更新世坡积、冲积物平整覆盖,北段完整出露,活动时期均为中更新世,历史记载1765年在沈阳发生过1次5 $\frac{1}{2}$ 级地震,其后未发生过5级以上的地震^[13,19-20]。中段对晚更新世堆积物分布具有控制作用,铁岭红光村实测剖面显示,断裂错动了晚更新世断面充填物,表明最新活动时期为晚更新世,该段1875年之前,共发生过4次5级左右地震,近期小震活动也较频繁,仪器所记录到的 $M_L \geq 1.8$ 级地震30多次,是活动性最高的一段。

(3)F5:金州断裂。金州断裂是纵贯辽东半岛的区域性大断裂,延北东走向由2~3条分支断裂组成,派生众多构造发育,全长280 km,控制着整个辽东半岛的新构造运动格局。金州断裂与多条NW向构造之间具有共轭破裂特征。资料显示,沿断裂发现多处未固结的断层泥,七里村基线场内最大断层泥宽3.4 m,鉴定结果显示,断裂各段在早更新世均有明显活动,中、晚更新世在部分地段有活动,因此判定该断裂最新活动时代为晚更新世^[21-23]。沿断裂有近10次4 $\frac{3}{4}$ ~6级中强地震发生,1975年海城7.3级地震也位于断裂附近,各段也都发生过5级以上的地震。金州断裂自南向北可划分为金州—普兰店段、普兰店—九寨段、九寨—盖州北段和盖州北—鞍山段等4个段落,每段规模一般为50~80 km,并由多条次级断裂斜列组合而成,九寨—盖州北段和盖州北—鞍山段活动程度比较强烈。

(4)F8:海城河断裂。海城河断裂长度约70 km,主要处于隐伏状态,由一系列近平行或斜列状的NW向断裂构成,宽度一般为几公里至十几公里,与NNE向的金州断裂、NE向的鸭绿江断裂等具共轭交叉的结构特征。在地貌上控制了海城河及SE侧的大洋河等河流的发育。海城河断裂

是 1975 年海城 7.3 级地震的发震断裂,属于全新世活动断裂,也是辽宁省及附近地区活动性最强的地震构造之一^[24-25]。沿海城河断裂的重力异常等值线在 NE-NNE 向突然发生强烈扭曲和畸变,呈 NE-NNE 向延伸的地壳等厚线在海城河断裂出现局部不均匀的转折变化,深部构造条件复杂。沿断裂地震分布极为密集,强度大,频度高,除了发生过 7.3 级地震外,还发生过多次 5 级以上强余震,近期小震活动十分频繁,形成密集的地震条带和团簇状分布,是区内地震活动水平最高的断裂构造。

(5)F9: 鸭绿江断裂(辽宁段)。鸭绿江断裂北起吉林临江,延鸭绿江经集安、丹东入海,陆域长度约 300 余公里,控制着鸭绿江的总体走向,沿江两侧盆地发育。破碎带规模大,沿沟谷凹地延伸,带宽 80~100 m。断裂经历了多期回旋演变,第四纪以来有过强烈运动,断层陡崖,碎裂岩、断层泥等清晰可见。在水丰以南,鸭绿江断裂分为东、西两支,东支断裂和西支断裂的东港以南段、水丰—东港段为主要的地震构造(段)。东支断裂以单断裂为主,地貌上线性特征明显,在下河口、古楼等地发现灰白色断层泥,测龄结果为中更新世活动提供了直接证据。西支以多支断裂为主,在东沟附近断层泥宽 20 m,测龄结果显示该段最新活动时期为晚更新世,断层两侧分布四级海蚀阶地,北西侧高于南东侧,存在 4 m 高差,最低阶地形成于晚更新世。1916、1917、1944 年在鸭绿江口分别发生 M_s 5.4、6.1、6 $\frac{3}{4}$ 级地震,沿断裂小震活动较多^[13,26-27]。

(6)F18: 朝阳—北票断裂。朝阳—北票断裂是辽西地区一条主要的 NNE 向区域性断裂,大致由 2~4 条近于平行、断续相接的走滑断裂组成,全长约 200 km。断裂线状影象清晰,地貌标志明显,断裂地表形迹清楚,断层泥发育。断裂朝阳以北段呈反 S 状弯曲,呈不规则的串珠状,朝阳以南段基本呈直线状延伸,北段的活动水平要明显地高于南段。断裂控制了沿线黄花营子、朝阳、冯杖子等小型第四纪沉积盆地的形成和发育。朝阳—大凌河剖面结果显示,晚更新世地层和老的断层泥之间呈平直新断面接触,并发育断层泥,测年结果显示朝阳—北票断裂最新活动时期为晚更新世^[13]。沿该段断裂曾发生过 419 年 M_s 5 $\frac{1}{2}$ 级地震和 1977 年 M_s 3.8 级矿震,2016 年在断裂附近发生朝阳 M_s 4.6 级双震和喀左 M_s 3.8 级地震,沿断裂微震密集成带分布。而在北票附近的地震多数为矿震。

断裂被辽宁地区也是第四纪盆地构造发育的地区,包括下辽河盆地、熊岳盆地、阜新一义县盆地、金州盆地、东港盆地、新义州盆地、庄河盆地、抚顺盆地、开原盆地、宁城—平庄盆地、松辽盆地和盖州盆地、辽阳盆地等。这些盆地往往受一组或多组断裂控制,长轴方向与区域构造线方向一致,各盆地的生成和发展与控盆断裂的活动特征密切相关,并与地震活动有着密切的关系。研究表明,这一地区的第四纪盆地一侧或两侧常发育走滑断层、逆冲断层和推覆体构造等。盆地及周围地区地震活动频度较高,强度较大,一些 5 级以上的地震多沿这些盆地的边缘分布。

4 主要地震构造的认识

通过本次编图工作,从大地构造、新构造运动、地球物理场(GPS、重力、跨断层水准)及其变化、中上地壳结构等地震构造环境的认知出发,进一步了解了辽宁地区断裂构造的活动性、运动方式、构造组合关系及其对盆地构造的控制、第四系发育差异性、历史地震(古地震)和仪器记录地震的三维空间分布、构造应力环境变化等,结合已有的地震构造研究成果,笔者初步认为辽宁地区金州断裂、依兰—伊通断裂(铁岭—开原)等 NE—NEE 向晚更新世—全新世断裂与北西向断裂的交汇部位、全新世海城河隐伏断裂的端点部位和鸭绿江断裂南西端黄海海域等几个区域为辽宁地区主要地震构造危险区。

5 结语

通过本次辽宁省 1:100 万地震构造图的编图工作,主要完成 2 项工作,一是基于 ArcGIS 的规范化制图和专题数据库的构建;二是介绍了辽宁地区主要地震构造环境。本次编图开展了大量的野外调查工作,搜集了丰富的地质、地震等相关历史记载和文献资料,但对于辽宁省及邻近地区的地震构造研究来说,目前在认识仍存在一些不足之处,比如对部分历史地震的考证、隐伏断裂的判断、地层的划分等问题。本图的编制仅仅代表当下最新野外探测工作成果,随着对辽宁省地震构造探测和研究工作的不断深入,本图也会持续编入新成果,形成真正意义上的数字地震构造图。

参考文献

- [1] 中国地震局. GB/T 36072-2018:活动断层探测[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [2] 中国地震局. GB/T 72-2018:活断层探察-图形符号[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
- [3] 中国地质调查局发展研究中心. GB/T 985-2015:区域地质图图例[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [4] 中国地震局. DBT 65-2016:1:50 000 活动断层填图数据库规范[S]. 北京:地震出版社,2017.
- [5] 辽宁省地矿局. 辽宁省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [6] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元 23 世纪至公元 1911 年)[M].北京:地震出版社,1995.
- [7] 吴戈,房贺岩,李志田,等. 东北地震史料辑览[M].北京:地震出版社,1992.
- [8] 李善邦. 中国地震目录[M].北京:地震出版社,1960.
- [9] 顾功叙. 中国地震目录(公元前 1831—公元 1969 年)[M].北京:地震出版社,1983.
- [10] 谢毓寿.《1900—1980 年中国 $M_s \geq 4.7$ 地震的均一震级目录》[M].北京:地震出版社,1989.
- [11] 辽宁省地震局.辽宁省地震目录(公元 2—1989 年)[M].沈阳:辽宁大学出版社,1995.
- [12] 王军,姜兰,牛宝贵.1:500 万国际亚洲地质图空间数据库[J].中国地质,2017,44(S1):25-41.
- [13] 雷清清,廖旭,董晓燕. 辽宁省地震构造研究[J].防震减灾学报,2008,24(4):1-10.
- [14] 万波,贾丽华,戴盈磊,等.辽东半岛中强地震活动及其与构造相关性[J].地震地质,2013,35(2):300-314.
- [15] 万波,钟以章. 东北地区的新构造运动特征分析及新构造运动分区[J].东北地震研究,1997,13(4):64-75.
- [16] 杨中柱,陈树良,董万德. 辽宁省地质系列图件编制与综合研究—新一代《辽宁省区域地质志》[J].地质志,2014,5(91):73-79.
- [17] 汤良杰,陈绪云,周心怀. 渤海海域郯庐断裂带构造解析[J].西南石油大学学报,2011,33(1):170-176.
- [18] 王长青,谢立民. 辽宁沿海地区构造活动性分析与评价[J].化工矿产地质[J].2008,30(1):35-40.
- [19] 万波,廖旭. 沈阳市(含抚顺)活断层探测与地震危险性评价[M].北京:地震出版社,2008.
- [20] 雷清清,王超,赵晓辉. 沈阳长白乡—观音阁断裂、抚顺浑河断裂的定位和活动性研究[J].震灾防御技术,2007,2(4):128-136.
- [21] 夏怀宽.辽宁金州活动断裂带特征与地震[J].华北地震科学,1991,9(2):1295-1306.21-28.
- [22] 张鹏,丰成君,孙炜峰. 金州断裂带北段深孔地应力测量及其活动性[J].中国地质大学学报,2014,10:1295-1306.
- [23] 万波,廖旭,翟文杰. 大连市活断层探测与地震危险性评价[M].大连:大连出版社,2010.
- [24] 朱凤鸣. 1975 年海城地震[M].北京:地震出版社,1980.
- [25] 江娃利. 辽宁海城 NW 向构造全新世活动特征及古地震研究[C]//地壳构造与地壳应力文集[M].北京:地震出版社,1999.
- [26] 夏怀宽,许东满. 鸭绿江断裂(南段)的特征,活动性与地震[J]. 地震研究,1993,16(4):391-400.
- [27] 高常波,钟以章. 东北输油管道场址断层活动性与地震危险性研究[M]. 北京:地震出版社,1998.