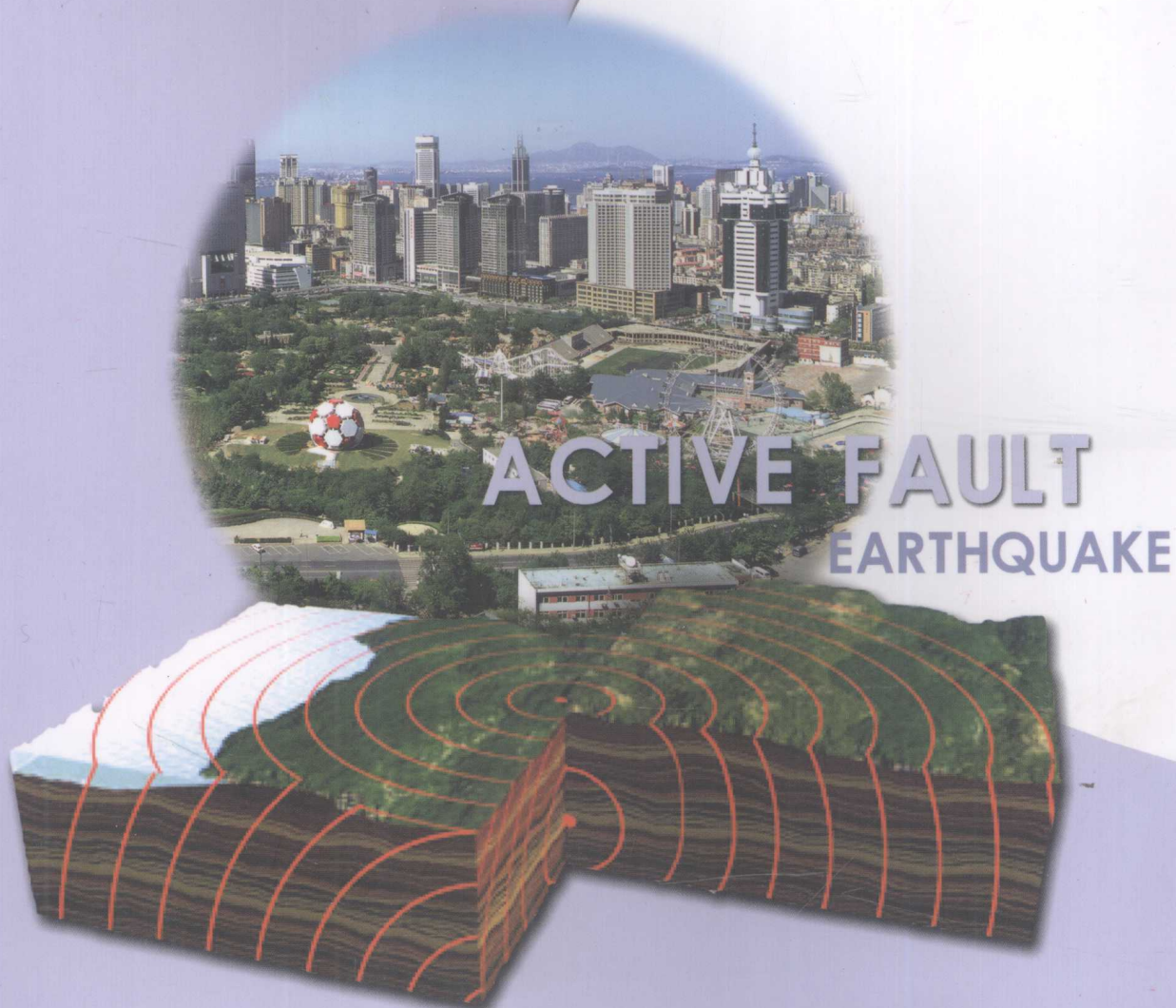


ACTIVE FAULT SURVEYING AND
EARTHQUAKE HAZARD EVALUATION
FOR DALIAN CITY

大连市活断层探测 与地震危险性评价

万波 廖旭 翟文杰 等/编著



 大连出版社
DALIAN PUBLISHING HOUSE

大连市活断层探测 与地震危险性评价

王 强 李 强 李 强 李 强



地质出版社

大连市活断层探测与地震危险性评价

万 波 廖 旭 翟文杰 等/编著

 大连出版社
DALIAN PUBLISHING HOUSE

© 万 波 廖 旭 翟文杰 2010

图书在版编目(CIP)数据

大连市活断层探测与地震危险性评价/万波,廖旭,翟文杰等编著.

—大连:大连出版社,2010.4

ISBN 978-7-80684-896-8

I. ①大… II. ①万… ②廖… ③翟… III. ①活动断层—探测—大连市
②地震活动性—研究—大连市 IV. ①P548.231.3②P315.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 068192 号

出 版 人:刘明辉

策划编辑:卢 锋

责任编辑:卢 锋

封面设计:林 洋

版式设计:刘振奎

责任校对:于孝锋

责任印制:刘振奎

出版发行者:大连出版社

地址:大连市西岗区长白街 10 号

邮编:116011

电话:0411-83624487 0411-83620941

传真:0411-83610391

http://www.dlcbs.com

E-mail:ly1199@sohu.com

印 刷 者:大连金华光彩色印刷有限公司

经 销 者:各地新华书店

幅 面 尺 寸:210 mm×285 mm

印 张:20

字 数:555 千字

出 版 时 间:2010 年 4 月第 1 版

印 刷 时 间:2010 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-80684-896-8

定 价:135.00 元

前 言

地震是一种突发性的自然灾害,它给人类社会带来了巨大灾难。地震活断层危害是地震灾害的一个重要方面,它不仅是产生地震的根源,而且也是使地震破坏加重的主要原因。随着经济的发展、城市化进程的加快,地震及地震活断层对城市的危害也愈来愈大,因此,通过开展城市活断层探测与地震危险性评价,查明活断层的分布,采取针对性强的防灾措施,对确保城市安全有重要作用,是减轻城市地震灾害的有效途径。

大连是我国重要的港口城市,是东北的主要出海口和开展国际经济技术交流与合作的窗口,也是辽宁省的经济发达区和独具特色的旅游城市,全市行政区划包括瓦房店市、普兰店市、庄河市、长海县和旅顺口、沙河口、西岗、中山、甘井子、金州 6 个区及大连经济技术开发区,总人口 580 多万。改革开放以来,大连经济发展迅速,2009 年国内生产总值突破 4400 亿元,处于东北三省第 1 位,在全国特大城市中,大连也占有很重要的地位。

大连市位于辽东半岛南端,东濒黄海,西临渤海。在大地构造上,该市处在中朝准地台东北部胶辽台隆的复州台陷上,西部以郯庐断裂北段为界,与下辽河—辽东湾断陷毗邻;东部以庄河断裂为界,与北黄海断陷相接。复州台陷的基底由太古宇鞍山群地层组成,早—中元古代时期处于剥蚀阶段,晚元古代时期发生凹陷,在金州—大连一带有震旦系、寒武系及中奥陶统的沉积,中奥陶世以后地壳上升,晚奥陶世至早石炭世地层普遍缺失,中、晚石炭世为海陆交互相沉积。中生代印支运动使古生代地层发生褶皱和断裂,燕山运动使原有的构造进一步复杂化,白垩纪时期沿一些断裂形成断陷盆地,同时有中、酸性火山岩喷发,新生代时期以抬升剥蚀为主,新的沉积物比较缺乏或者只有零星分布,第四纪沉积仅分布在一些山间或丘间谷地和河、海边,而且厚度不大,一般只有 10~20m。

大连地区断裂发育,主要有北东—北北东向、近东西向和北西向三组,主要的北东—北北东向断裂有金州断裂、皮口断裂和庄河断裂,主要的北西向断裂包括土城子盆地边界断裂、柞树岚—王家村断裂、北海断裂和苏家屯断裂,近东西向的断裂有普兰店湾断裂、大和尚山山前断裂等。大连地区处在郯庐地震带北段,地震构造背景复杂,地震活动较为频繁。大连地区最早的地震记载见于明洪武十一年,截止到 1969 年,共有 $M_s \geq 4$ 级地震 14 次,其中发生在陆域的 5 级左右地震有 5 次,最大地震为 1861 年的普兰店东 6 级地震。1970 年辽宁地震台网建立以来至 2008 年共记录到 $M_L \geq 1.8$ 级以上地震数百次,其中 $M_L \geq 3.0$ 级数十次,最大地震为 1971 年长海 $M_L 4.8$ 级地震。大连及附近地区有 4 个地震活动条带,北东方向的条带主要沿金州—普兰店—万家岭一线分布;北西向的地震活动条带有三个,自北而南为:熊岳—庄河带、东岗—普兰店—长山岛带和北海—龙王塘带。北西向地震活动带以中、小地震活动为主。金州断裂是纵贯辽东半岛地区的一条区域性构造,同时,又是对区域地震活动有控制作用的构造,沿断裂有 10 多次 5 级左右地震发生,属晚更新世活动断裂。大连地区第四纪断陷盆地也比较发育,在断陷盆地附近往往有中强地震发生,自北而南主要有普兰店泡子盆地、金州盆地和旅顺土城子盆地等,在盆地附近曾发生过 5~6 级左右的地震。

由于大连地区地震危险性较高,因此,分析该地区断裂的活动性和地震危险性,确定其准确位置,对确保人民生命财产安全是十分有意义的,其工作成果可以为城市规划、工程建设、土地利用和防震减灾工作提供依据,并为进一步促进大连经济的可持续发展提供保证。

“大连市活断层探测与地震危险性评价”项目于2004年即已开展,2008年9月全面实施,2009年8月完成。项目得到了辽宁省政府及大连市政府的重视和支持,被列入辽宁省“十五”计划,按照“大连市活断层探测与地震危险性评价施工设计”进行。工作经历了项目立项申请、施工设计编制和修改完善、项目全面实施和完成、成果报告和图件编制等几个阶段,包括初查与断层活动性初步鉴定、活断层详细探测与综合制图、活断层地震危险性评价等工作内容,共完成高分辨率遥感信息处理与解释、地球化学探测、多道直流电法探测、地震地质调查、1:25万工作区地震构造图编制、目标区目标断层分布图(1:5万)编制、控制性钻孔探测和第四纪地层划分、探地雷达初查与详细探测、浅层人工地震初查与详细探测、主要目标断层分布图(1:1万~1:2.5万)编制、目标断层地震危险性评价等专题报告。

1. 初查与断层活动性初步鉴定:通过对已有资料的收集、整理和分析,结合遥感资料的解释,进行目标断层地球化学、地球物理(浅层人工地震、电法和探地雷达等)方法的试验探测。初查主要是沿主要活动构造带开展地质、地貌调查,并有目的地进行浅层地震等探测工作,筛选具有高精度而且能有效鉴别断裂活动性的方法和手段。开展控制性钻孔探测,并结合相关资料,综合建立大连地区的第四系标准地层剖面,初步确定目标区内目标断裂的活动性。

2. 活断层详细探测与综合制图:在初查工作的基础上,选择大连市活动较明显或较重要的断裂进行高精度GPS定位,然后编制1:1万~1:2.5万主要目标断层分布图,将断裂准确的空间位置标示在图上。

3. 活断层地震危险性评价:在上述工作的基础上,在主要目标断裂上断点埋深较浅时,进行槽探工作,对断层破碎物或第四系各个分层进行系统取样,确定断裂的最新活动年代和活动习性,综合评价每条活动断裂的地震危险性,为城市建设、土地规划、重大工程选址和城市防震减灾提供依据。

“大连市活断层探测与地震危险性评价”项目由辽宁省地震研究所承担,同时由中国地震局地震预测研究所承担高分辨率遥感信息处理与解释工作,辽宁水文地质工程地质勘察院承担控制性钻孔探测工作,年代样品测试工作分别由中国地震局地质研究所和中国地震局地壳应力研究所完成。

“大连市活断层探测与地震危险性评价”项目负责人由廖旭担任,负责整个项目的管理工作;翟文杰负责项目后期的管理工作;项目技术负责人由万波担任,编制项目施工设计、各子课题施工设计,负责地震地质调查、目标区目标断层分布图(1:5万)编制、主要目标断层分布图(1:1万~1:2.5万)编制、目标断层地震危险性评价,统编项目报告;雷清清负责1:25万工作区地震构造图编制和区域地震构造环境;郑双成负责控制性钻孔探测和第四纪地层划分;李智负责浅层人工地震野外工作设计、浅层人工地震初查与详细探测;曲乐负责探地雷达初查与详细探测;王亚会负责多道直流电法探测;李振英负责地球化学探测;王晓青、万波负责高分辨率遥感信息处理与解释;赵晓辉、曲乐、陈方颖、王超负责计算机图件处理。参加工作的还有孔繁强、杨舒程、谷晓曦、李爱民、李东春、戚建勋、王永江、梁放、李子涛、袁景山、刘永强、孟琪、王辉、卢月、靳超宇、王中元、孙健、寇向超、臧石磊、铁镰等。

“大连市活断层探测与地震危险性评价”项目的完成能够大大促进大连市防震减灾工作的进步,随着城市化进程的加快和经济的发展,其效益也将愈来愈获得体现。开展这项工作有着多方面的效益,主要包括社会效益、经济效益和科技效益等。首先,通过探测工作确定了大连市未来一定时段内最大的地震危险性及其分布,为政府制定保障公共安全和城市防震减灾对策提供了依据;其次,工作成果对城市规划、土地利用、重大工程建设布局有着重要的指导作用,为重大建设工程的实施提供了保障;最后,大连市活断层探测是涉及多手段、多学科的系统工程,其科技效益是多方面的,它填补了大连地区地学研究中的某些空白,对断裂的位置、展布、几何特征、活动性及地震危险性作了评价,解决了大连地区地质构造的相关问题。

本项目的完成得到了大连市地震局等相关部门的大力协助,在此深表感谢!

目 录

前言	1
第一章 概述	1
1.1 工程目标	1
1.2 任务及完成情况	1
1.3 主要技术指标和要求	9
第二章 区域地震构造环境	10
2.1 前人工作成果的应用	10
2.2 区域地质构造和新构造运动	10
2.3 区域地球物理场和深部构造	16
2.4 区域主要活动断裂的基本特征	20
2.5 区域地震活动性分析	35
2.6 区域构造应力场分析	39
第三章 第四纪地质环境分析	44
3.1 目标和内容	44
3.2 区域第四纪地层划分与对比	45
3.3 控制性钻孔探测及其试验参数	47
3.4 目标区及附近地区第四纪地层剖面分析	50
3.5 辅助性钻孔与剖面地层年代的确定	56
3.6 目标区第四纪地质特征	56
3.7 目标区第四纪地层划分与对比	61
第四章 目标断裂探测与调查	64
4.1 高分辨率遥感信息处理与解释	64
4.2 地球化学探测	87
4.3 多道直流电法探测	99
4.4 探地雷达探测	113
4.5 浅层地震探测	144
4.6 地震地质调查	191

4.7 大连目标区主要目标断层的分布	246
第五章 目标断层地震危险性综合评价	250
5.1 工程目标	250
5.2 工作内容	250
5.3 工作量	251
5.4 目标断层活动性综合鉴定	251
5.5 地震活动断层鉴定	271
5.6 目标断层地震危险性评价	288
主要参考文献和资料	309
主要参考文献	309
主要参考资料	311
附件1 辽宁省防震减灾“十五”规划项目《大连市活断层探测与地震危险性评价》评审 验收意见	312
附件2 大连市活断层探测与地震危险性评价项目评审专家组名单	313

第一章 概 述

1.1 工程目标

分析大连目标区、旅顺目标区在区域地震构造环境、地震强度分布中所处的位置,分析目标区所处的现代构造应力条件,对目标区未来一定时段(50~200年)内的地震进行震级预测,利用目标区金州断裂金州—大连段(F1)、大和尚山山前断裂(F2)、北西向土城子盆地边界断裂(F3)、柞树岚—王家村断裂(F4)等各目标断层活动性的鉴定结果及目标断层调查、探测中所获得的各种定性、定量数据,查明大连市地震活断层(目标断层)的准确位置、规模、活动性,有针对性地提出大连目标区和旅顺目标区目标断层不同程度的地震危险性评价结果,并提供标绘在大比例尺(1:1万~1:2.5万)地形图上的活断层分布图,为城市建设、土地利用、城市发展规划和抗震防灾等提供依据,以提高政府防震减灾的决策效能。

1.2 任务及完成情况

1.2.1 工作区和目标区的确定

1. 工作区范围:工作区范围的确定考虑了以下两个方面的因素:(1)城市活断层工作大纲要求工作区不得小于 $150\text{km} \times 150\text{km}$ 的范围;(2)大连行政区域的范围,以及大连、旅顺的西、南两侧分别为渤海、黄海海域。基于上述考虑,工作区范围的确定侧重于包括大连现有行政区域的陆域范围,其东至栗子房,西到渤海,北至许屯,南到黄海,地理坐标为: $121^{\circ}00' \sim 123^{\circ}30'E$, $38^{\circ}20' \sim 40^{\circ}10'N$,陆域部分面积为 12600km^2 (图1.2.1-1)。

2. 目标区范围:目标区的确定主要是考虑到历史上金州附近曾发生过多级5级左右地震,且在金州、旅顺地区现今地震活动比较频繁。金州盆地、土城子盆地及两侧控制盆地的金州断裂、大和尚山山前断裂、土城子盆地边界断裂等断裂构造在第四纪以来有明显活动,构成地震活动条带。另外,按工作大纲的规定,目标区一般为城区及高新技术区、经济发展区、城市未来规划区,金州、大连经济技术开发区属大连市城区,旅顺口区也是城区的一部分。将大连市中心城区、金州区、大连经济技术开发区确定为第一目标区,称为大连目标区(图1.2.1-2);旅顺地区确定为第二目标区,称为旅顺目标区(图1.2.1-3)。大连目标区范围是:东至董家沟,西到辛寨子,北至九里庄,南含大连市中心城区,地理坐标为: $121^{\circ}28' \sim 121^{\circ}54'E$, $38^{\circ}50' \sim 39^{\circ}10'N$,面积约 1190km^2 ,其中陆域面积约 600km^2 ;旅顺目标区的范围是:东至付家村,西到山沟村,北至北海村,南至铁山,地理坐标为: $38^{\circ}42' \sim 38^{\circ}58'N$, $121^{\circ}07' \sim 121^{\circ}19'E$,面积约 390km^2 ,其中陆域面积约 340km^2 。

1.2.2 目标断裂的确定及其依据

辽宁省地质、地震部门曾在大连地区做过大量工作,对主要断裂的地质特征作过系统总结。1985年辽宁省地矿局区测绘队通过对大连地区地质构造的研究,认为断裂构造比较发育,据不完全统计,区内长度大于2km的断裂有100多条,结晶基底中发育有韧性断裂,盖层中广泛分布脆性断裂。断裂方向有东西向、北

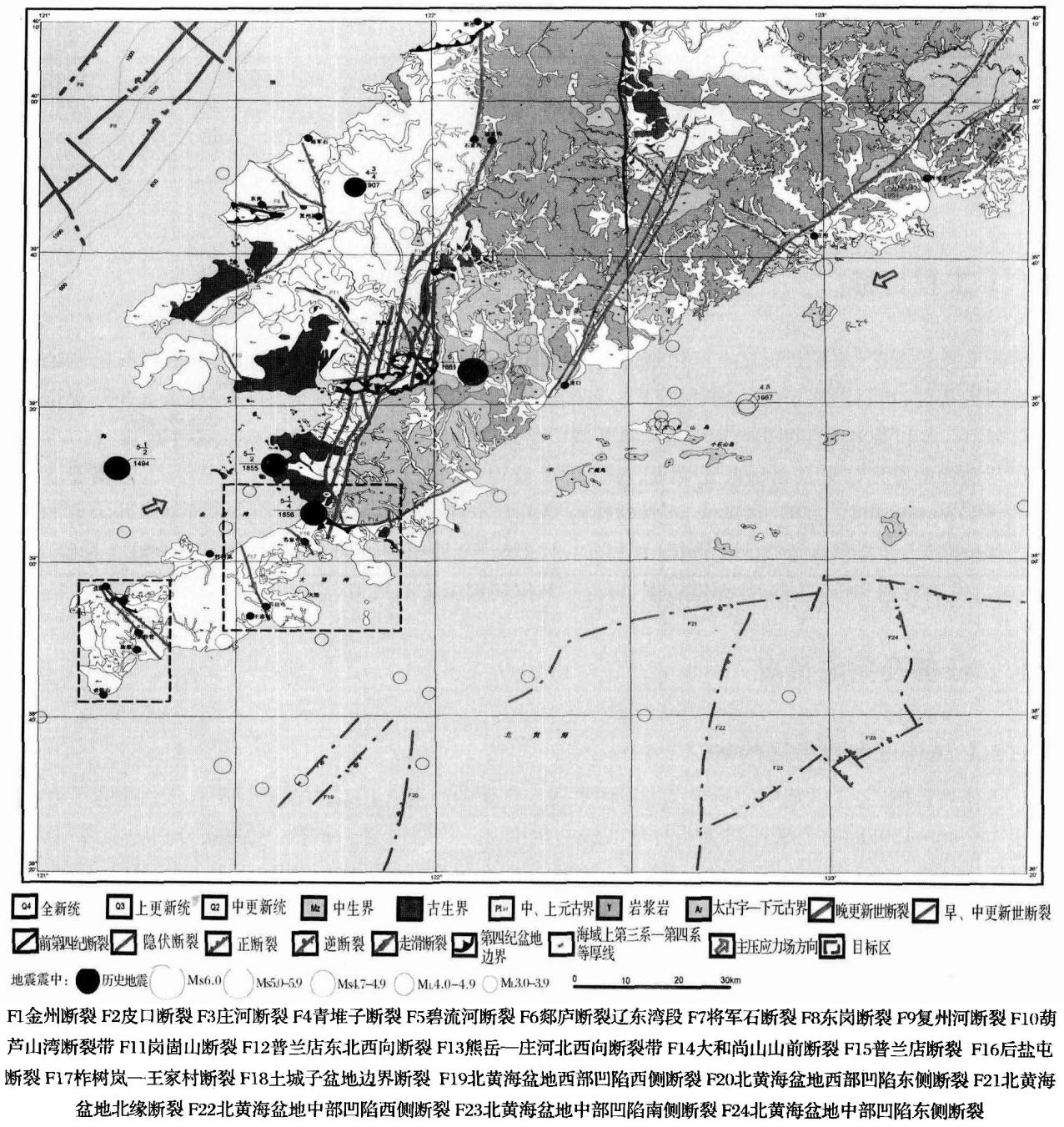


图 1.2.1-1 工作区地震构造图

西向与北东—北北东向三组,并有环状断裂。东西向断裂主要分布在两个地带,北带展布于金州—董家沟—曹家屯一线,主要是逆断层,南带位于市区沿海地带;北西向断裂集中分布于棋盘—老虎滩、大连市西北部、董家沟以及旅顺等地,以扭性断裂为主;北东—北北东向断裂分布较为广泛,规模较大而且连续性较好的北东向断裂有金州断裂以及南关岭—黑石礁地区和曹家屯—琼子湾地区的断裂等;环状断裂发育在大连市西部,为一套具有共生联系的断裂系统。

大连地区第四纪沉积发育较差,主要分布在丘间谷地、河谷两侧和沿海地带,一般厚度 10~20m,最大厚度也只有 50~60m。辽宁省地震研究所结合场地地震安全性评价工作曾对大连地区断裂与地震的关系作过

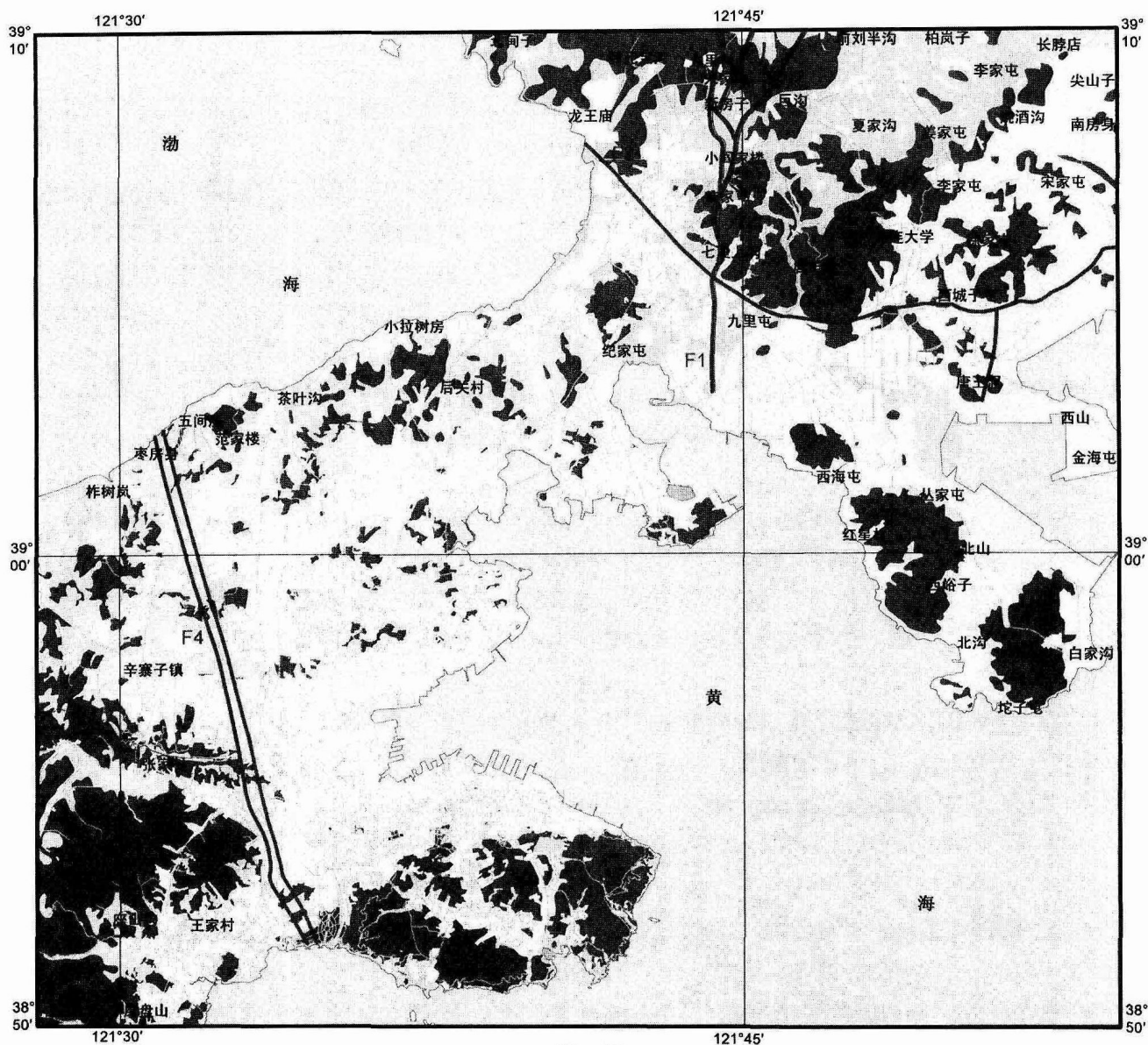


图 例
街区 绿地 早-中更新世断裂 晚更新世断裂
F1:金州断裂 F2:大和尚山山前断裂 F4:柞树岚—王家村断裂

图 1.2.1-2 大连目标区目标断裂分布图

一系列研究,发现微震分布具有明显的方向性,大连地区的地震活动主要与 NNE 向和 NW 向的断裂有关。

目标断裂是在综合上述断裂构造等资料的基础上确定的,并着重考虑了以下几个方面的因素:一是断裂规模比较大,因为从断裂的地震危险性考虑,只有具有一定规模的断裂才可能发生较强的地震;二是从已掌握的资料看,断裂的活动性较高;三是重点关注 NNE 向和 NW 向的断裂,因为它们与地震活动的关系可能比较密切。

根据上述认识与目标断裂的确定原则,首先确定金州断裂的金州—大连段(F1)、大和尚山山前断裂(F2)、北西向土城子盆地边界断裂(F3)等为目标断裂;另外柞树岚—王家村断裂(F4)位于大连市中心城区,且走向北西—北北西,断裂在第四纪有过活动,对大连市影响较大,因此也将其确定为目标断裂。

1.2.3 目标断裂的基本特征

1. 金州断裂(F1)

这是辽东半岛上主要的区域性构造,该断裂始于大连湾,经金州七里村、普兰店、熊岳一直延伸到鞍山以南,长度 200 多公里,走向 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$,倾向不定,倾角 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。

(1)通过对航、卫片的解译和一些地貌现象的观察,在盖州至万家岭一带,金州断裂两侧水系明显地受构造控制,东部山区的河流在邻近断裂时都向南突出,当穿过断裂到达西侧时,则向北弯曲,反映了金州断裂的顺时针扭动。在万家岭—普兰店段,由于后期隆起的阻隔,导致古安子河水系解体,使其成为断头河。在瓦房店以北的安子河水系反向流入复州河,形成倒钩状水系。在万家岭以西的刘家店一带,安子河水系第二次解体,复州河源头成为断头河。刘家店以北的河段被流经许家屯的河流袭夺而向北流。上述水系的变迁证实金州断裂有新的活动。在卫星图像上,金州断裂也有明显的反映,尤其在北沟—陈屯一带,平直的沟谷显示出线性影像,表现为陡崖地貌特征。断裂还控制了第四纪地层的发育,沿断裂有金州盆地发育,显示出明显活动的迹象。

(2)温泉一般被认为是新构造运动的一种标志,金州断裂控制了一系列温泉的分布,自南而北有安波、俭汤、龙门汤、黄哨、思拉堡、暖泉、汤池和汤岗子等温泉和热水点,它们沿金州断裂呈线状展布。

(3)金州断裂也是一条地震活动带,工作区内沿断裂有一次 6 级地震和多次 5 级以上破坏性地震发生。另外,盖州、熊岳、普兰店、万家岭等地是微震密集分布的部位。地震活动资料表明,金州断裂与地震活动有密切关系。

(4)地质观察是判断断裂是否活动的重要依据,在熊岳铭铁山一带见太古宙混合花岗岩逆冲于中更新统地层之上,说明断裂至少在中更新世以后有活动。

(5)从年代测定结果来看,在不同的段落上,断裂的活动年代有所不同,在大石桥市金山岭一带,断层泥的热释光(TL)年龄为 40 万年,虎庄以东断裂的热释光年龄为 (7.9 ± 0.39) 万年,盖州市西海断层泥的热释光年龄为 (10.2 ± 0.5) 万年。在普兰店市花儿山乡所采的断层泥年龄是用石英颗粒形貌分析法(SEM)测定的,结果表明断裂在晚更新世有活动,活动方式以蠕滑为主。在瓦房店市,用热释光法测得断层最后一次活动时间为 4 万年,金州石河乡断层泥年龄为 20 万年,金州七里村断层泥年龄为 30 万年。用石英颗粒形貌法分析金州断裂在普兰店以南的活动方式是蠕滑和黏滑兼而有之,普兰店以北断裂的活动方式则以蠕滑为主。

金州断裂的不同段落其活动性是有差别的。在金州至大连地区,断裂由 2~3 条大体平行的次级断裂组成,在七里村以南,断裂隐伏于第四系地层之下。在七里村以北,断裂在地貌上有所显示,断裂以东为低山、丘陵,以西为缓丘。在七里村的一个溶洞内见紫红色的黏土层(热释光年龄为 33 万年)为断裂切割,但其上覆的上更新统及全新统地层未被错切。在七里村北,断层泥的 ESR(电子自旋共振,下同)年龄为 (18.81 ± 5.64) 万年,断层的运动方式以蠕滑为主,伴随有黏滑。所以,金州断裂南段最后一次活动至少发生在中更新世晚期,但断裂往南是否穿过大连湾到达市区,则还需要进一步明确。

2. 大和尚山山前断裂(F2)

该断裂在开发区北面及金州附近通过,走向近东西,向南倾。该断裂在九里屯以西转为北西向经金州城入渤海,可称为西段;九里屯至小松岚一带表现为向南突出的弧形断裂,从小松岚向东经董家沟后沿北东方向延伸,直至大李家东北海域,称为东段,断裂总长约 50km。该断裂是在早期韧性断层带基础上发展起来的,印支期是主滑脱构造的形成时期,燕山运动早期以脆性滑脱构造发育为特征,燕山运动晚期形成了向南倾斜的逆断层。

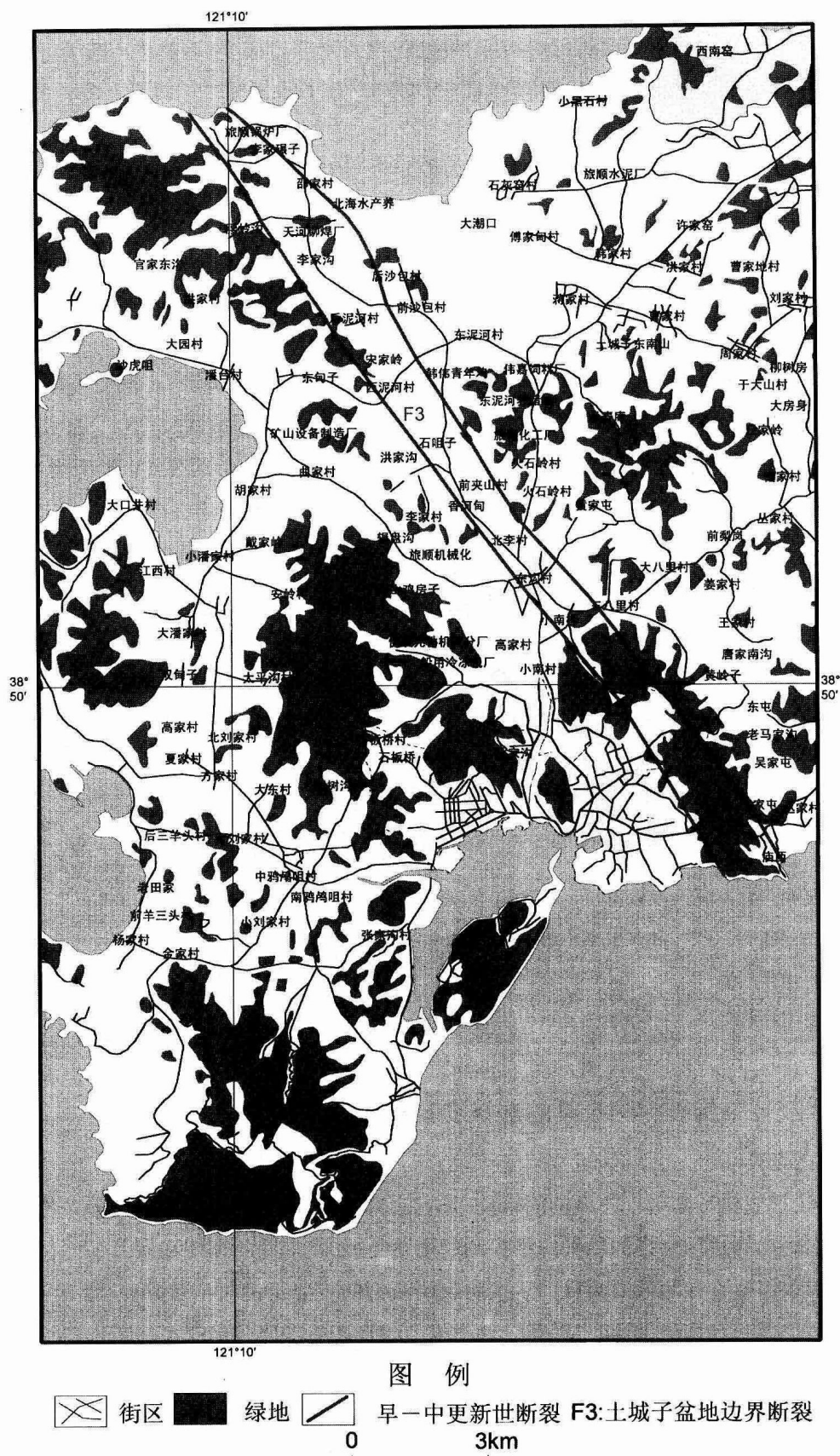


图 1.2.1-3 旅顺目标区目标断裂分布图

在大连经济技术开发区见断裂错切了中元古代以前的地层及中生代辉绿岩脉。它被北北西和北北东向的小断裂切成若干段,在大和尚山南麓的山前屯,可见震旦系南芬组板岩、石英岩中发育了由断裂破碎物和断层泥组成的断层破碎带,经用 ESR 方法测定,年龄约为 15 万年。该断裂未切割上覆的上更新统冲洪积砾石层。在董家沟附近,见断裂带宽数米,断层泥厚约 50cm。在小松岚也可以见到断裂露头,从已有的资料来看,该断裂的东段主要在中更新世时期有活动,其西段是金州第四纪断陷盆地的边界断裂。金州盆地是大连地区主要的构造盆地,而大和尚山山前断裂及金州断裂是该盆地的控制性断裂。

3. 土城子盆地西南边界断裂(F3)

该断裂位于旅顺口区,走向北西,北起北海村,南到旅顺,在陆地部分可延伸 20km,其两端可能分别延到黄海和渤海。沿该断裂有一系列相互平行的次级断裂发育,断裂在中生代时期明显活动,并控制了晚侏罗世土城子盆地的发育,在第四纪时期控制了土城子第四纪盆地的西界,从剖面上看,断裂从震旦系与上侏罗统火山碎屑岩之间穿过,断裂带上部覆盖有第四纪坡积层,在靠近侏罗系地层一侧发育有一次级断裂,内含有断层泥,利用石英颗粒形貌法测定断层在 Q₃ 时期可能活动,Q₂ 时期明显活动,运动方式以蠕滑为主。

4. 柞树岚—王家村断裂(F4)

该断裂位于大连市区西北部,南始于马栏河附近,经辽宁师范大学、革镇堡直到柞树岚以北入海,走向 330°,倾向不定,倾角 40°~80°,长约 20km。断裂穿切了上元古界地层,在辽师大附近见断裂破碎带宽约 9m,倾向北东,倾角 40°~45°,断裂上覆盖有厚 10m 左右的上更新统一全新统沉积层,断层泥的热释光年龄为 21 万年至 48 万年。由于断裂未错切上覆盖层,结合断层泥年代测定资料,确定是中更新世断裂。

以上目标断裂的地质特征及活动性鉴定初步结果见表 1.2.3。

表 1.2.3 目标断裂基本情况表

编号	断裂名称	走向	性质	第四系 厚度(m)	目标区内 长度(km)	隐伏段 长度(km)	裸露段 长度(km)	活动性 初步鉴定
F1	金州断裂金州—大连段	30°	倾滑为主,兼走滑	20~40	20	15	5	Q ₃
F2	大和尚山山前断裂	NW 转 NE	正倾滑	20~30	15	15	0	Q ₂ ~Q ₃
F3	土城子盆地边界断裂	330°	正倾滑	5~10	20	15	5	Q ₃
F4	柞树岚—王家村断裂	330°	倾滑	5~10	20	10	10	Q ₂

1.2.4 目标断裂隐伏段探测手段的选择及其依据

1. 探测手段的选择

探测手段的选择主要考虑两个方面的因素:一是方法的适用性,二是勘探区的环境条件。探测工作将遵循以高效率、高准确率和适用性强的原则选择探测的主要手段,在不同的环境和条件下拟选择一两种最合适的方法和手段,以取得最佳探测效果为目的。探测隐伏断裂的主要手段包括:地球化学探测、浅层人工地震勘探、多道直流电法探测和探地雷达法探测等,对出露地表或者覆盖层较薄区(一般小于 6m)的断裂采用地质地貌法和探槽揭露法。

辽宁省地震研究所在大连市区和经济技术开发区进行隐伏断裂探测和场地地震安全性评价工作所采用的方法有多道直流电法、浅层人工地震法和探地雷达法等,探测工作取得了较好的效果,积累了丰富的经验。在辽宁省曾用氡射气方法对隐伏断裂进行过探测,多数地区氡射气测量值在 2.2~3.1 贝克之间,在断裂带

上可发现高于 5 倍背景值的异常。从以往浅层地震探测结果来看,在城市噪音高、干扰大的条件下,对覆盖层不厚的地区,采用反射横波勘探方法还是比较有效的,该方法抗干扰能力较强,尤其对于压制纵向震动所带来的干扰有较好的效果,只要震源合适,可以有效追踪大连地区的基岩面和查找隐伏构造。从已有的时间剖面上看,大连地区可连续追踪的强相位波组有 4 组,T1 波组为杂填土、砂土底界面的反映,T2 波组反映了第四系底界面的存在,T3 波组代表基岩中的强风化底界面,T4 波组为新鲜基岩顶界面的反映。在有的测线上 T1、T3 和 T4 波缺失。S 波的叠加速度为 200 ~ 350m/s(第四纪盖层)和 370 ~ 680m/s(基岩区),P 波速度为 800 ~ 1800m/s。电法勘探结果表明,根据 Pk 曲线上的异常可以判别隐伏断裂的存在,准备采用比较先进的多道直流电法以了解不同层位、不同深度的电阻率和地层的电阻率结构,从而提高电法探测工作水平。近年来,辽宁省地震研究所在市区作过大量的探地雷达探测,取得了一定的效果,所选用的参数是:100MHz 天线,数据采样时间窗为 300ns 左右,采取率为 256 次/秒。

2. 探测工作可行性分析

根据以往的工作经验,认为地球化学测线最好布设在郊外田野上,观测时间尽量选在没有降水影响的时段,所以地球化学测线基本上都布设在市郊和田野上。电法和探地雷达法测线要尽量避开电磁场干扰,对覆盖层小于 15m 的地区,探地雷达法还是比较有效的。由于大连市第四纪沉积层厚度以 10m 左右的居多,所以这种方法完全适合于大连地区。浅层地震勘探中采用地震横波法或纵波法,根据勘探场地环境条件选择合适的勘探方法,以达到最佳的探测效果。在目标区内地形相对平坦、具有一定的第四纪沉积层厚度、环境噪音较低的线路上将重点选择浅层地震勘探手段。

1.2.5 设计工程内容

大连市属滨海丘陵城市,第四系覆盖层厚度不大,并有一定范围的基岩出露,所以大连市城市活断层的探测还将采用地貌、地质调查与综合物探、化探相结合的方法。对隐伏构造的探测所确定的基本工作思路是:从已知得到未知,从郊区到城区,由浅到深,由易到难,深浅结合,重点突破的原则,所选择的方法要实用、有效,测线布置将视具体条件灵活掌握。

大连市活断层探测与地震危险性评价工程设计包括初查与断层活动性初步鉴定、主要目标断层详细探测与综合制图、活断层地震危险性评价等 3 个方面的内容(表 1.2.5),归纳起来各阶段设计探测内容及工作量如下:

1. 区域地球化学试验探测 16km。
2. 浅层地震勘探 21km(初查 11km,详查 10km)。
3. 探地雷达探测 46km(初查 13km,详查 33m)。
4. 多道直流电法探测 20km。
5. 目标断层分布图(1:5 万),主要目标断层综合制图(1:1 万 ~ 1:2.5 万)。
6. 控制性钻孔 2 个,总进尺约 70m,年代样品 20 个,测井 2 口。
7. 探槽 300m³,各种年代样品 10 个。
8. 地震地质调查 4 条断层,目标断裂综合制图 940km²(1:5 万)。
9. 区域地震构造图 12600km²。
10. 遥感资料处理、解译。

表 1.2.5 大连市活断层探测与地震危险性评价具体内容与工作量

工程名称	具体内容与工作量	
一、初查与断层活动性初步鉴定	1. 信息资料收集、分析与处理	(1) 区域地质与地球物理资料收集、分析与整理
		(2) 1:25 万区域地震构造图编制 12600km ²
		(3) 地形、地质图数字化处理
		(4) 城市环境资料
		(5) 各类钻孔资料
	2. 高分辨率遥感信息处理与解译	高分辨率遥感资料购置、处理与解译
	3. 活断层初步探测	(1) 地球化学试验探测 16km
		(2) 浅层地震与探地雷达试验探测 ①浅层地震 11km ②探地雷达 13km ③多道直流电法探测 20km
		(3) 第四系标准钻孔剖面 2 个,深度分别为 40m 和 30m,20 个热释光年代样品
	4. 地震地质调查	①地震地质调查与 4 条断层活动性初步鉴定,4 条断层的地质地貌调查
		②编制 1:25 万目标断层分布图
二、主要目标断层详细探测与综合制图	1. 浅层人工地震探测	浅层人工地震详细探测剖面 10km
	2. 探地雷达探测	探地雷达探测剖面 33km
	3. 主要目标断层定位与综合制图	主要目标断层条带状 1:1 万~1:2.5 万活断层综合制图
三、活断层地震危险性评价	1. 探槽	探槽 300m ³ (3 个),测年样品 10 个
	2. 测井	2 口井
	3. 地震危险性评价与图件编制	地震危险性评价与图件编制

1.2.5.1 初查与断层活动性初步鉴定

通过对已有资料的收集、整理和分析,结合遥感资料的解释,进行活断层地球化学、地球物理(浅层地震、电法和探地雷达等)方法的试验探测。初查主要是沿主要活动构造带开展地质、地貌调查,并有目的地进行浅层地震等探测工作,筛选具有高精度而且能有效鉴别断裂活动性的方法和手段。开展控制性钻孔探测,并结合相关资料,综合建立大连地区的第四系标准地层剖面。初步确定目标区内目标断裂的活动性。

1.2.5.2 活断层详细探测与综合制图

在初查工作的基础上,选择大连市活动较明显或较重要的断裂进行详细调查和高精度 GPS 定位,编制 1:1 万~1:2.5 万主要目标断层分布图,将断层准确的空间位置标示在图上。

1.2.5.3 活断层地震危险性评价

在上述工作的基础上,在主要目标断裂上断点埋深较浅时,进行槽探,对断层破碎物或第四系各个分层

进行系统取样,确定断裂的最新活动年代和活动习性,综合评价每条活动断裂的地震危险性。为城市建设、土地规划、重大工程选址和城市防震减灾提供依据。

在实际工作中,各阶段的探测是按照上述步骤进行的,在报告编写时,则对各目标断裂多种方法的探测结果进行了归纳和综合。

1.3 主要技术指标和要求

各项工程的野外探测点、线定位精度 $\leq 5\text{m}$ 。

主要成果图件的成图比例尺如下:

1. 区域地震构造图(1:25 万)。
2. 大连目标区目标断裂分布图(1:5 万)。
3. 旅顺目标区目标断裂分布图(1:5 万)。
4. 主要目标断裂条带状分布图(1:1 万~1:2.5 万)。