

中国吉林红石蓄能电站 区域稳定性评价报告

辽宁省地震研究所
一九九七年九月

项目名称：中国吉林红石蓄能电站区域稳定性评价

发包方：日本国电源开发株式会社红石蓄能电站可行性调查团

承包方：中国辽宁省地震研究所

资质证书：震地安证甲字第007号

单位负责人：钟以章



项目负责人：高常波、钟以章



助理监理：金世长

审核人：马宗顺

目 录

前言	1
1. 区域稳定性评价	1
1.1. 区域地质构造	1
1.2. 区域新构造运动特征	4
1.3. 主要断裂的活动性分析	5
1.4. 区域地球物理场及深部构造	23
1.5. 区域地震活动性	27
1.6. 现代构造应力场及地震构造	31
1.7. 区域稳定性评价	34
2. 近区域稳定性评价	38
2.1. 地质构造概况	38
2.2. 地表断裂的活动性鉴定	41
2.3. 近区域地震活动	100
2.4. 近区域地壳稳定性评价	102
3. 场址区稳定性评价	104
3.1. 工程概况	104
3.2. 场址区地形、地貌	104
3.3. 地层和岩石	104
3.4. 地质构造	106
3.5. 场址区的地震活动	133
3.6. 白山水库的地震活动对场址影响分析	133
3.7. 其它潜在地质灾害危险性评估	137
4. 地震危险性分析	141
4.1. 潜在震源区划分	141
4.2. 地震活动性参数的确定	145
4.3. 地震动衰减关系	147
4.4. 地震危险性概率分析及地震动参数确定	148
结论	154
附件1	
附件2	
照片集	

前 言

受日本电源开发株式会社红石蓄能电站可行性调查团的委托，中国辽宁省地震研究所承担了吉林红石蓄能电站区域稳定性评价任务。

1997年5月，当合同书签订以后，辽宁省地震研究所根据合同书，标书的要求和中国有关稳定性评价工作规范的规定编写了工作设计。经双方协商，红石蓄能电站区域稳定性评价工作包括以下内容：

1. 区域地震、地球物理及地质有关的资料的收集及其整理、编辑等。
2. 根据区域的重力、磁力及其它地球物理资料绘制地壳深部地质构造图。
3. 根据区域第三纪后期的地质、地震、地球物理资料，绘制新构造活动图。
4. 近区域的断层调查和断层活动性评价。
5. 近区域的地震灾害、火山灾害、滑坡、崩塌、泥石流等与地震有关的潜在地质灾害的调查及预测。
6. 水库附近地区的断层调查和断层活动性评价。
7. 绘制区域地震震中分布图。
8. 编制近区域的微小地震震中分布图。
9. 地震危险性预测及有关地震动设计参数的计算。

工作过程中，根据以上工作内容和实际情况，对部分工作做了调整，由于与地震有关的地质灾害对场址的影响较大，关系比较密切，因此，对地质灾害的调查与研究集中在场址区。本报告所讨论的区域是指以场址为圆心，150km为半径画圆所包括的范围，即东经 $125^{\circ}-129^{\circ}$ ，北纬 $41^{\circ}-44^{\circ}20'$ 。近区域是指以场址为圆心，25km为半径画圆所包括的范围，即东经 $126^{\circ}55'-127^{\circ}35'$ ，北纬 $42^{\circ}30'-43^{\circ}00'$ 。场址区系指场址周围5km的范围。1997年6月3日至8月6日专题组分别在区域、近区域和场址区进行野外考察，8月7-8日由辽宁省地震局科技处和东北电业管理局发展部共同组织了以金世长高级工程师（项目助理监理）为组长的专家组，对野外工作进行了现场验收，在验收意见中提到，“野外工作满足了合同书，标书及中国有关规范规定的工作内容与深度要求，验收小组同意验收”。8月15日地震研究所正式向委托方提交了中间成果报告。

从1997年6月-9月，在东北电业管理局和辽宁省地震局的领导和支持下，经过专题组全体人员的努力，终于完成了吉林红石蓄能电站区域稳定性评价任务，本项工作所完成的工作量见下表：

项 目	单 位	数 量		
		区 域	近区域	场址区
地貌、地形剖面	M		2条, 100km	边坡5条, 总长500m
地质观察点	个	30	140	200
各种测年样品	个	TL20, ¹⁴ C5	TL106	T30, ¹⁴ C4
探槽	M ³		57个 2880	25个, 1000
地质雷达剖面	km			14条, 3.48
编绘大型图件	张	3	2	1
编绘插图	张	22	109	50
照片	张		90	100

参加本项工作的人员如下:

1. 项目负责人 高常波 (高级工程师)
钟以章 (研究员)

2. 项目组主要成员:

- 郑双成 (近区域断层研究, 高级工程师)
 万 波 (场址区断层及地质灾害研究, 硕士, 工程师)
 马宗顺 (区域地震构造研究, 高级工程师)
 赵宏学 (场址区断层研究, 高级工程师)
 吴明大 (地震危险性分析, 工程师)
 廖 旭 (地震危险性分析, 工程师)
 赵松戈 (地震危险性分析, 副研究员)
 韩绍欣 (地质雷达探测, 助理工程师)
 柯善明 (地质雷达探测, 工程师)
 高 静 (资料分析及整理, 工程师)
 孟 琪 (野外地质, 工程师)
 张海英 (绘图, 工程师)
 谷晓曦 (打字员)

参加报告编写的有: 高常波、钟以章、郑双成、万波、吴明大、廖旭, 整个报告由高常波、钟以章汇总、定稿。

1997年8月底报告初稿完成后, 经辽宁省地震局科学技术委员会审查通过 (附件1)。根据专家意见, 对送审稿作了修改后, 于1997年9月23日送交国家地震局地震烈度委员会审查通过 (附件2)。本报告最后按国家地震烈度委员会的专家意见作了修改。

最后, 我们对东北电业管理局金世长高级工程师的指导与帮助表示感谢。

1. 区域稳定性评价

1.1 区域地质构造

区域地质构造研究是在广泛收集前人资料基础上,对重点构造开展实地考察,后经综合分析而完成的,下面分述区域的地层及构造,并着重论述断裂的活动性问题。

1.1.1 地层

区域内除缺失三叠统之外,太古宇至第四系地层均有出露。北部属延边地层小区,早古生界为钙、碱性火山岩-沉积岩系列。晚元古界分布广泛,为海相碎屑岩,碳酸盐岩夹火山岩。晚侏罗世有大量火山碎屑沉积,局部形成含煤盆地。白垩系以红色陆相碎屑沉积为主,局部有油页岩。南部区属辽东地层小区,基底为太古宇和下元古界变质岩系,盖层为中、上元古界海相及海、陆交互沉积及中生界的内陆盆地沉积。中、新生代以来伴随着湖相堆积,一直有火山活动。现将区域内出露的新生界地层特征简述之。

1.1.1.1 第三系

下第三系桦甸组为砂页岩,油页岩夹煤系,厚1500m,时代属始新世-渐新世。甩湾子组玄武岩为气孔状,杏仁状玄武岩夹致密状玄武岩,厚100m。四方顶子组玄武岩为致密块状,板状橄榄玄武岩,厚600m,同位素年龄为28Ma(百万年,下同)左右,与四方顶子组玄武岩相当,属渐新世。

上第三系中新统下段马鞍山组岩性为砾石,砂或粉质粘土夹玄武岩。中新统下段甌峰玄武岩为玄武质集块岩,橄榄玄武岩及含沸石玄武岩,上段望天鹅玄武岩以气孔状,薄板状玄武岩为主,同位素年龄12.5-13Ma,上新统下段船底山组玄武岩是长白山地区规模较大的基性火山喷发岩,呈桌状或平台状广泛分布,以杏仁状玄武岩为主,夹有致密状橄榄玄武岩,同位素年龄值2.75-5.05Ma。上新统上段军舰山组主要岩性为黑色致密状橄榄玄武岩,广泛分布于IV、V级阶地上,地貌上构成玄武岩台地,同位素年龄为2.77-2.34Ma。

1.1.1.2 第四系

下更新统下段小椅子山组玄武岩在地貌上表现为波状熔岩台地，主要岩性为青灰色石榴石橄榄玄武岩，同位素年龄为1.49Ma。中更新统老黄土见于IV级阶地上或丘陵坡地上，主要为黄褐色黄土状亚粘土，厚度2-3m，与之相当的火山岩称大椅子山组，主要岩性为玄武质火山渣，含较多的橄榄岩包体，年代为0.34Ma，上更新统新黄土，零星分布于II级阶地或丘陵山坡上，最大厚度可达15m，上更新统下段南坪组为黑色斑状，或巨斑状橄榄玄武岩，同位素年龄为0.096-1.31Ma，上更新统上段金龙顶子组为多股岩流，呈多种奇特形态的岩舌，岩石为杂色气孔状、熔渣状、疙瘩状玄武岩。全新统为粗面质、碱流质火山碎屑岩和熔结凝灰岩，浮岩，火山灰等，分布在长白山火山口附近，在靖宇县以西，四海林场一带的玄武岩火山渣，呈岩席状散布，同位素年龄为1580年，属于全新世。

1.1.2 地质构造特征

地质构造上，区域跨越了两个大地构造单元。大体上，以开原-桦甸-和龙一线为界，南部属中朝地台区，北部属天山-兴安地槽。场址正处在两个大地构造单元相交接的部位，但偏于中朝地台一侧。中朝地台自太古宙以来，经历了褶皱基底形成，地台盖层发育和大陆边缘活动等三个阶段，中朝地台的基底属前中元古代，是由变质岩系组成的双层式褶皱基底，形成时间为太古宙和早元古代，即形成于阜平期，五台期和中条山期。基底由两套变质岩系组成，下部为斜长角闪片麻岩、浅粒岩等，上部为黑云片岩。盖层由中元古代-中三叠世的地台型沉积组成，早期为浅海相的碎屑岩和碳酸岩建造，晚期为海、陆交互的陆屑建造和含煤建造。印支、燕山和喜山运动期为陆缘活动期，经历了强烈的构造活化作用，由于断块构造活动，在区域上形成了隆、拗相间的构造格局。

天山-兴安地槽的构造则经历了地槽发育和陆缘活动两个发展阶段。在寒武纪-二叠纪时期经历了加里东期，华力西期和早印支期三次大的地壳构造运动后，于二叠纪末地槽褶皱回返。中生代以后，地槽同中朝地台一起共同进入了大陆边缘活动时期。

区域内断裂较为发育，有北北东向、北东向、北西向、近南北向和近东西向5组，主要的北东向断裂有：松江-集安断裂(鸭绿江断裂)，依兰-伊通断裂和敦化-密山断裂等，近东西向的断裂有开原-赤峰断裂和辽源-磐石断裂。北西向断裂有：丰满-二道甸子断裂(第二松花江断裂)，伊通-辉南断裂，桦甸-双河镇断裂；北北东向断裂有：红土崖-蛟河断裂，松辽盆地东缘断裂(长春-四平断裂)等(附图1、图1-1)。

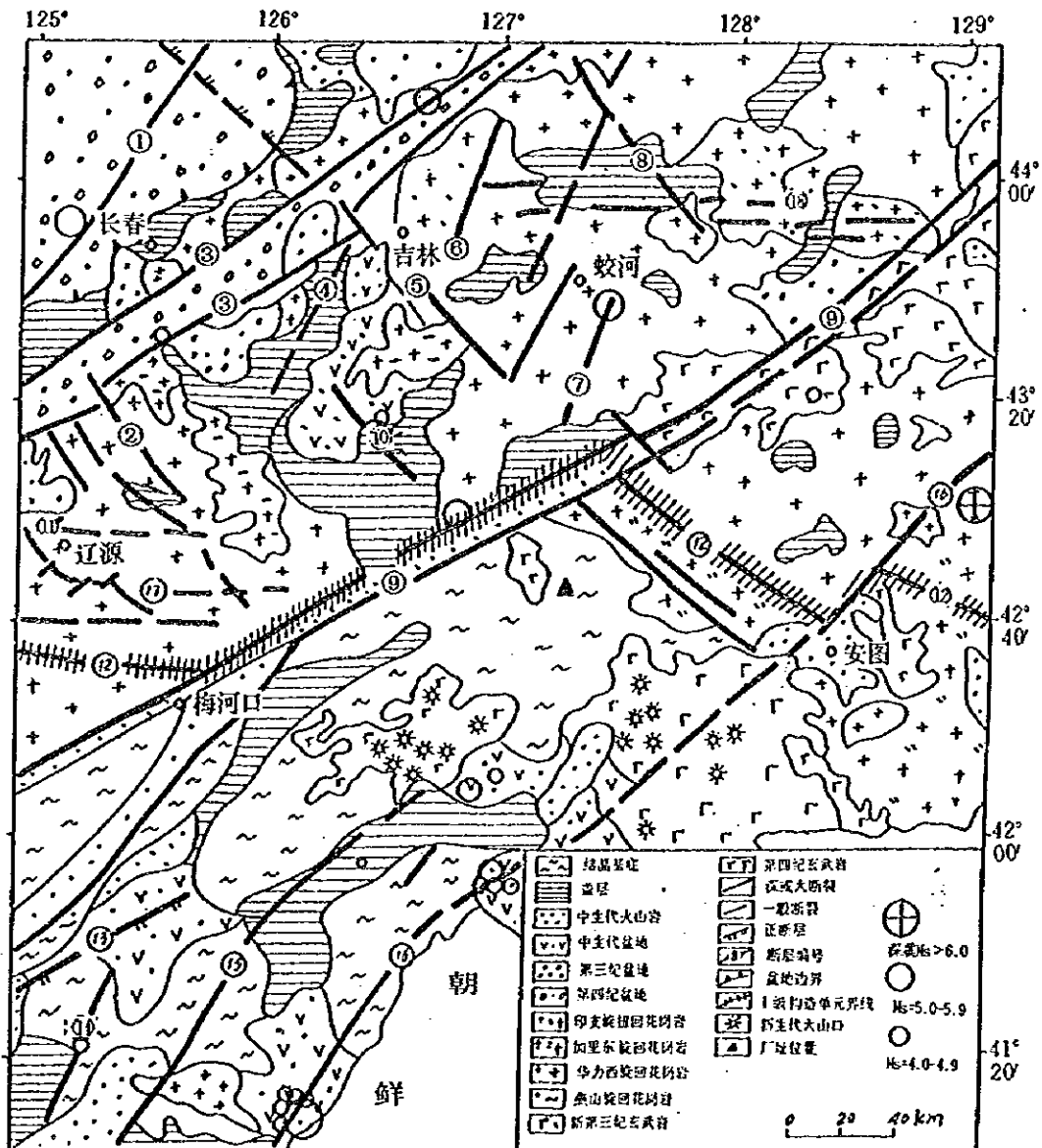


图1-1 吉林红石蓄能电站场址区域地震地质图

- ①长春-四平断裂 ②伊通-辉南断裂 ③依兰-伊通断裂 ④大岗子-大绥河断裂
 ⑤丰满-二道甸子断裂 ⑥蛟河-吉林断裂 ⑦红土崖-蛟河断裂 ⑧新安-梨树断裂 ⑨敦化-密山断裂
 ⑩桦甸-双河镇断裂 ⑪辽源-东丰断裂 ⑫赤峰-开原断裂 ⑬红庙-四棵树断裂 ⑭普乐堡-拐磨子断裂
 ⑮浑江-湾沟断裂 ⑯鸭绿江断裂 ⑰辽源-磐石断裂 ⑱天北-东站断裂

根据区域内基底形成时间，沉积建造、岩浆活动及断裂活动特征等因素，可将区域分成2个一级构造单元，2个二级构造单元(图1-2)，工程场址位于中朝地台的三级构造单元，即铁岭-靖宇台拱上。

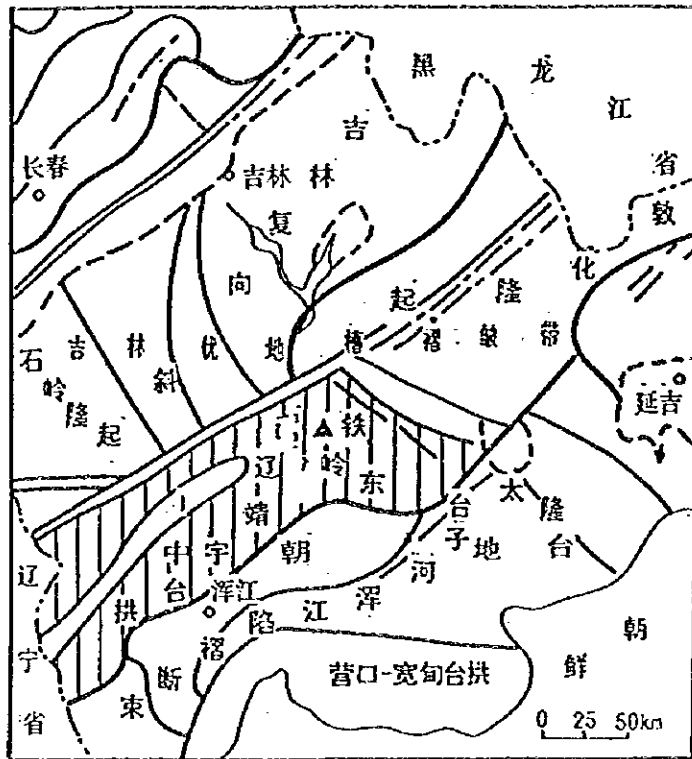


图1-2 区域地质构造单元划分图

1.2 区域新构造运动特征

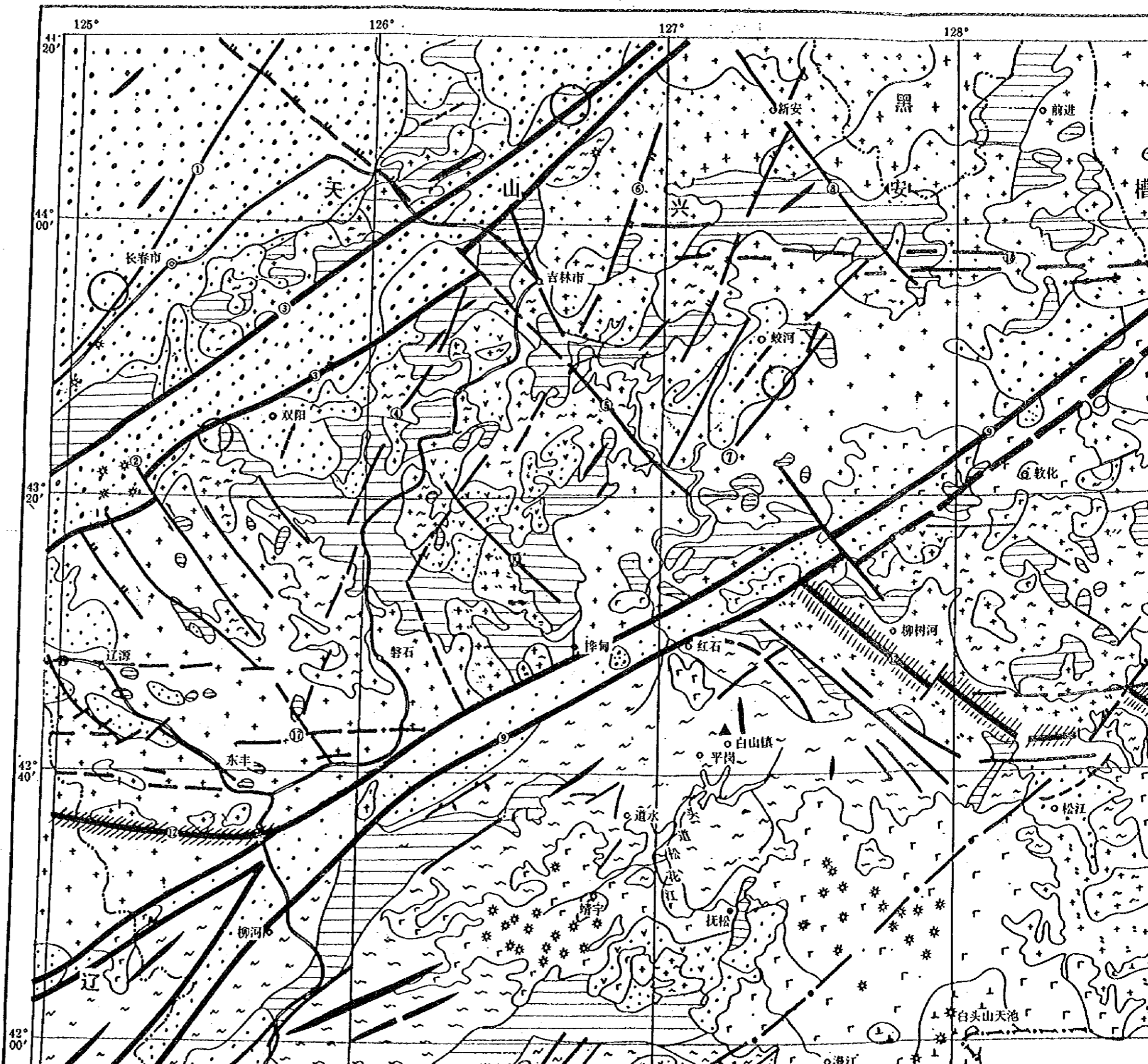
1.2.1 新构造运动的表现

新构造运动有多种表现形式，如断裂的活动、活动褶皱，区域性的隆起与沉降以及火山、地震、温泉等。

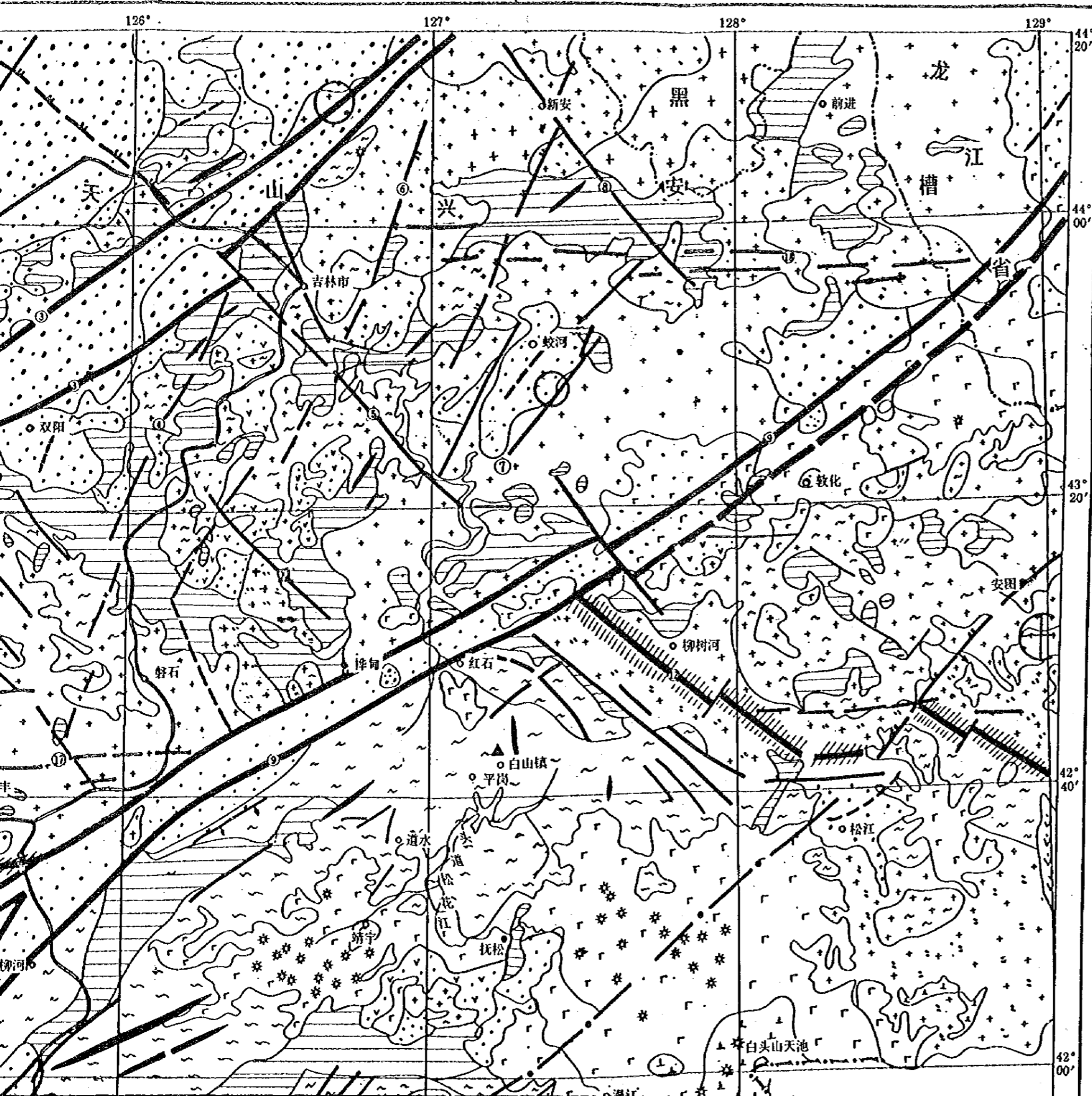
从区域地貌形态来看，大致以四平-长春一线为界，西部是以沉降为主的松辽平原区，东部是以上升为主的龙岗-长白山隆起区。东部山区的地势有自东南向西北逐渐下降的趋势，长白山、老岭为中山，海拔1000m以上，切割深度500m以上，有IV级阶地发育，龙岗山、张广才岭为低山，海拔1000m以下，切割深度200-500m，沿河谷发育有V级阶地。哈达岭、小黑山为丘陵，海拔400m，切割深度200m以下，有IV级阶地发育。伊通、舒兰盆地海拔200-300m，西部松辽平原海拔100-200m。地貌形态有规律的分布反映了新构造运动幅度的变

附图1































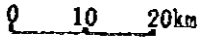
吉林红石抽水蓄能电站场址区域地震地质图

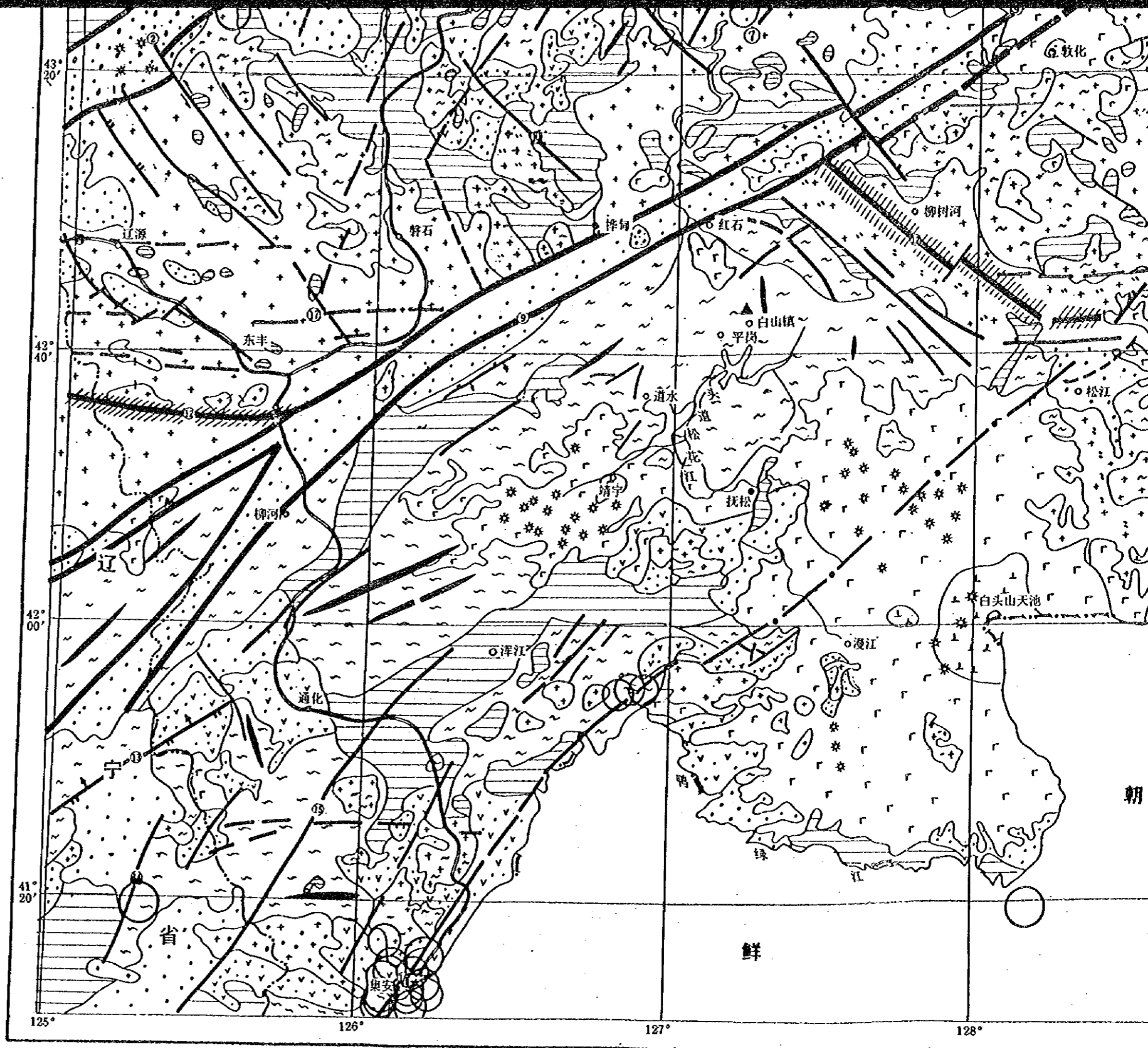


吉林红石抽水蓄能电站场址区域地震地质图



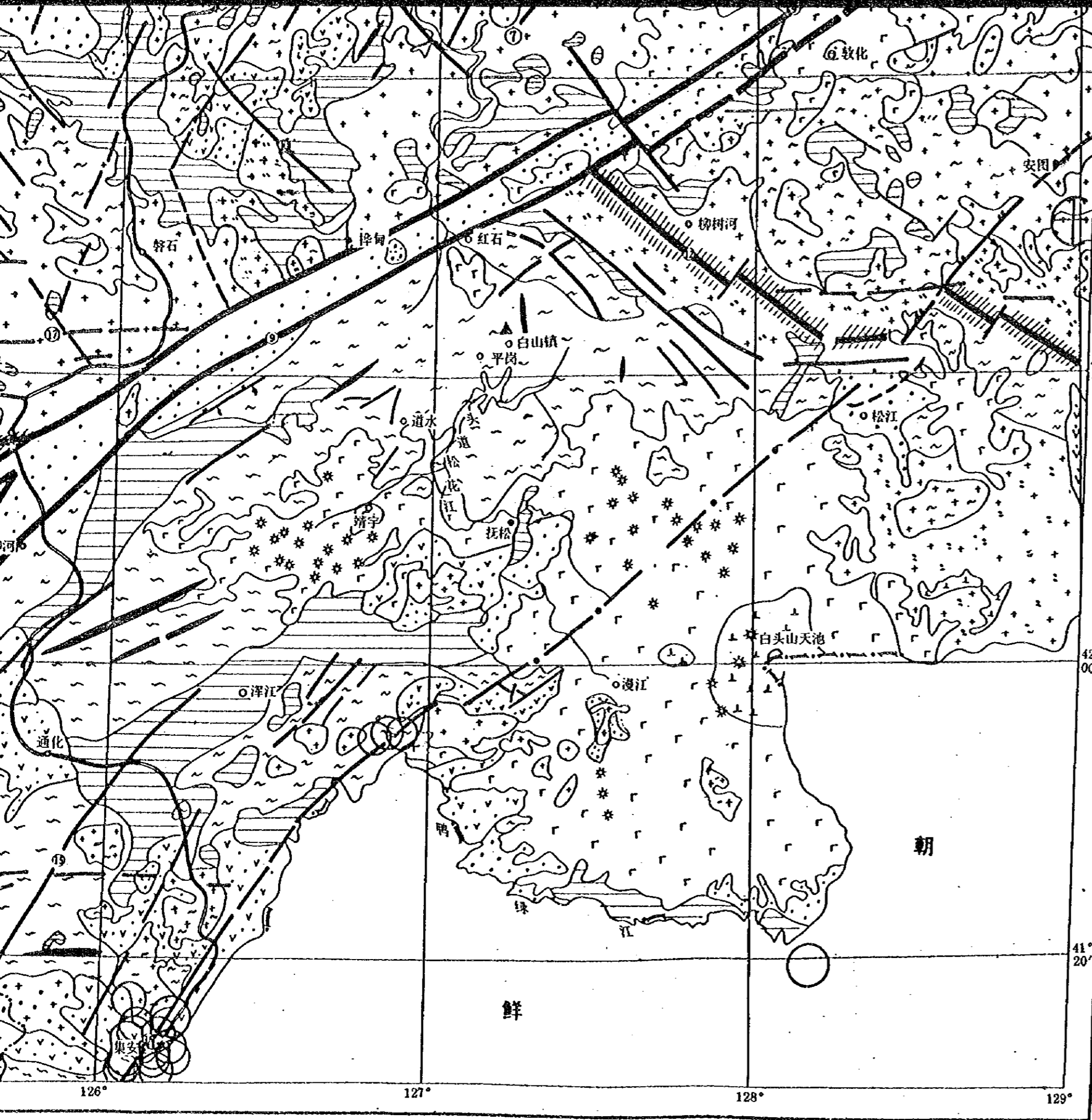
图例

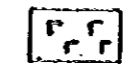
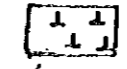


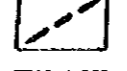

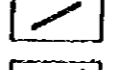
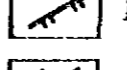


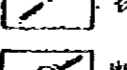

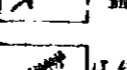
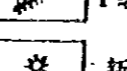
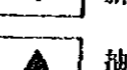
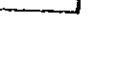

-  结晶基底
 -  盖层
 -  中生代沉积盆地
 -  第三纪沉积盆地
 -  第四纪沉积盆地
 -  中生代火山岩
 -  加里东旋回(花岗岩类)
 -  华力西旋回(花岗岩类)
 -  印支旋回(花岗岩类)
 -  燕山旋回(花岗岩类)
 -  新第三纪玄武岩类
 -  第四纪粗面岩
 -  第四纪玄武岩
 -  短轴背斜
 -  背斜
 -  向斜
 -  深大断裂
 -  一般断裂
 -  正断层
 -  逆断层
 -  平移断层
 -  物探遥感解释
 -  断裂编号
 -  盆地边界线
 -  1级断裂构造单元界线
 -  新生代火山口
 -  抽水蓄能电站场址
-  深震Ms > 6.0
 Ms: 5.0-5.9
 Ms: 4.0-4.9
-  0 10 20km




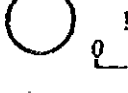
断裂编号: (1)长春-四平断裂 (2)伊通-辉南断裂 (3)依兰-伊通断裂 (4)大岗子-大绥河断裂 (5)丰满-二道甸子断裂 (6)柳河-吉林断裂
 (7)红土崖子-蛟河断裂 (8)新安-额穆断裂 (9)敦化-密山断裂 (10)桦甸-双河镇断裂 (11)辽源-东丰断裂 (12)东丰-开原断裂
 (13)约庙-四棚甸断裂 (14)桦甸-桦甸断裂 (15)浑江-湾沟断裂 (16)鸭绿江断裂 (17)辽源-辉石断裂 (18)天北-尔姑断裂

11.1



-  第四纪沉积岩
 -  第四纪玄武岩
 -  短轴背斜
 -  背斜
 -  向斜
 -  深大断裂
 -  一般断裂
 -  正断层
 -  逆断层
 -  平移断层
 -  物探遥感解释
 -  断裂编号
 -  盆地边界线
 -  I级断裂构造单元界线
 -  新生代火山口
 -  抽水蓄能电站站址
-  深震 Ms > 6.0

 Ms: 5.0-5.9

 Ms: 4.0-4.9

0 10 20km

项目名称	中国吉林红石蓄能电站区域稳定性评价		
图名	吉林红石抽水蓄能电站场址区域地震地质图		
项目负责人	高常波	钟以章	
编图	韩殿忠	审校	马宗顺
清绘	张海英		
承担单位	辽宁省地震研究所		
日期	1997年8月		

断裂编号: (1)长春-四平断裂 (2)伊通-辉南断裂 (3)依兰-伊通断裂 (4)大岗子-大绥河断裂 (5)丰满-二道甸子断裂 (6)柳河-吉林断裂
 (7)红土崖子-蛟河断裂 (8)新安-额穆断裂 (9)敦化-密山断裂 (10)桦甸-双河镇断裂 (11)辽源-东丰断裂 (12)赤峰-开原断裂
 (13)约庙-四棚甸断裂 (14)曾乐堡-拐磨子断裂 (15)浑江-湾沟断裂 (16)鸭绿江断裂 (17)辽源-辉石断裂 (18)天北-尔站断裂

化。原有断裂的重新复活以及活动褶皱的发育是新构造运动的重要表现形式，关于主要断裂的新活动，将在下面详细论述。在伊-舒盆地，蛟河以西有新第三系地层构成的向斜。双阳奢岭的新安堡向斜由下更新统和中更新统地层构成，轴向北北东向。这些现象证明有活动褶皱存在。

区域内自中新世到全新世的基性和碱性岩浆喷溢活动主要发生在龙岗山区和白头山。另外，还有缸窑、伊通、双辽、敦化等火山群。龙岗山、白头山的火山活动范围达12000km²，从新第三纪到第四纪至少有9个期次喷发，每期火山活动有4-6个甚至12个喷发旋回，全新世时期最新喷发的火山是金龙顶子火山，白头山天池火山，前者发生在公元415±70年或306±85年，后者发生在公元1215±15年，与火山活动相伴随的还有温泉。

西部盆地的沉降大致沿大安-科佐中旗一带分布，呈北北东向方向延伸，新第三纪沉积厚200m，第四系松散沉积分布不均匀，厚度50-150m，表明该盆地的沉降幅度不大。

区域内地震活动不太强烈，其活动特点将在后面论述。总之，新构造运动迹象在区域内普遍存在，并表现有明显的继承性和不均衡性。按不同地区新构造运动的特点，可将本区分为2个一级和7个二级新构造运动区。两个一级区分别称为松辽盆地沉降区和龙岗山-张广才岭中、低山隆起区。对前一个区可分出松辽盆地东缘沉降区(I₁)。后一个区可以进一步划分为6个二级区，它们是：景山-其塔木丘陵隆起区(II₁)，依兰-伊通盆地强烈沉降区(II₂)，辽源-蛟河低山微弱隆起区(II₃)，敦化-密山盆地强烈沉降区(IV₄)，龙岗中低山微弱隆起区(II₅)，白头山强烈隆起区(II₆)等(图1-3，附图2)。

1.3 主要断裂的活动性分析

前已论及，区域内的断裂按方向可分为5组，据不完全统计，长度大于50km的断裂大约有18条(表1-1)，下面简述主要断裂的地质特征及活动性。

1.3.1 依兰-伊通断裂

该断裂是一条规模巨大的新生代断陷带，它南自辽宁营口经沈阳、伊通、

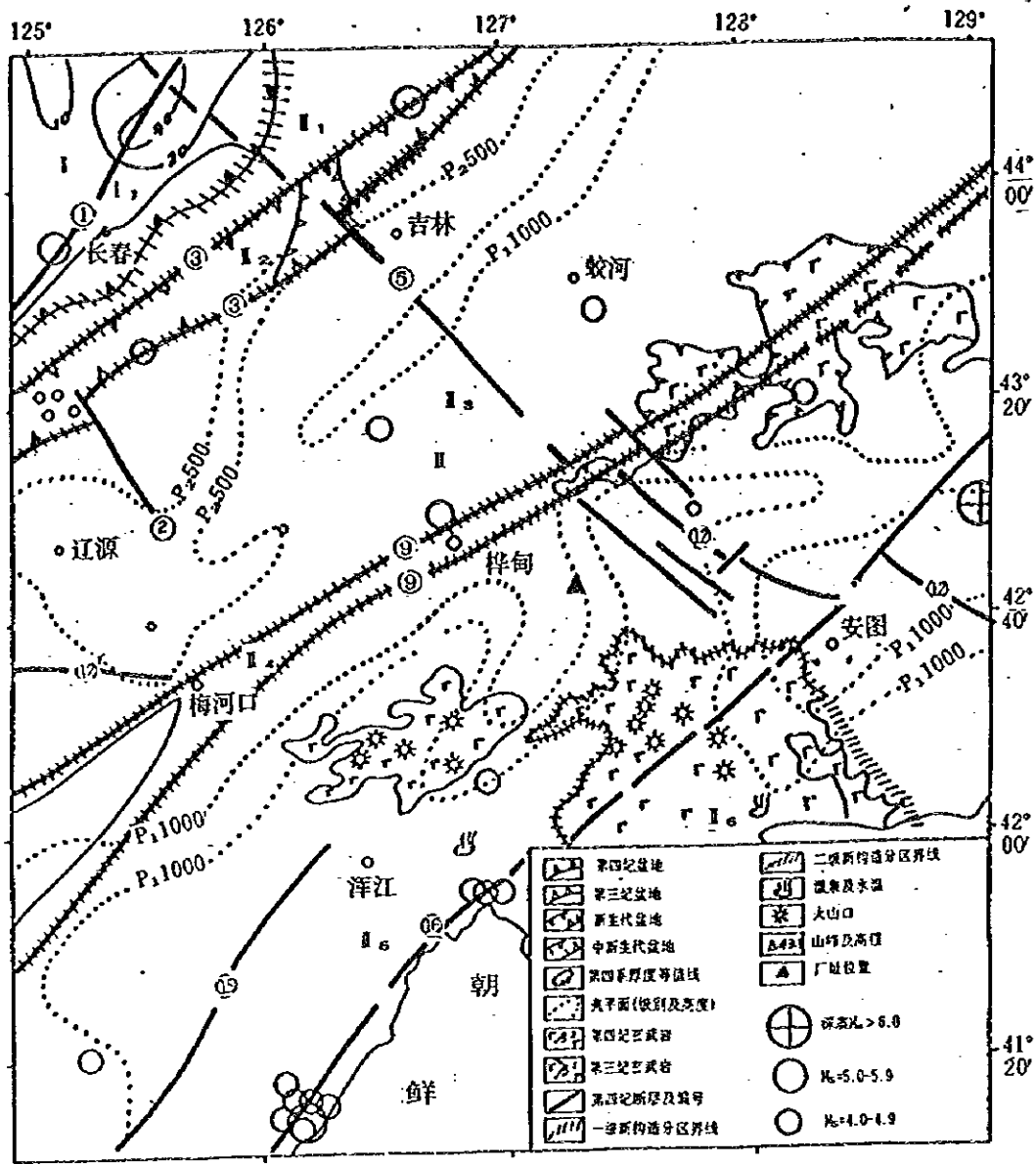


图1-3 吉林红石蓄能电站场址区域新构造运动图

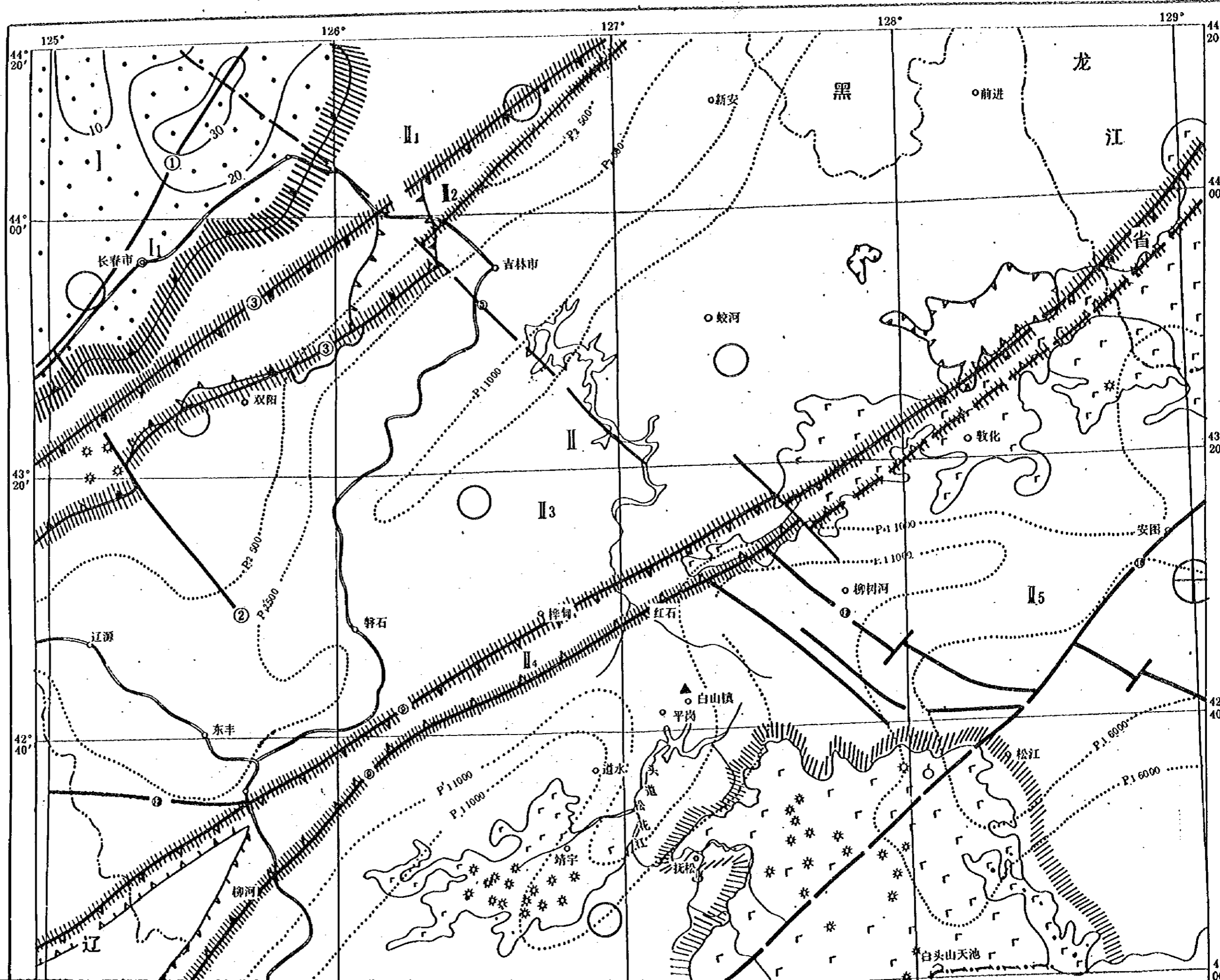
新构造分区：Ⅰ 松辽盆地沉降区：Ⅰ₁ 松辽盆地东缘沉降区 Ⅱ 张广才岭—龙岗隆起区；
 Ⅲ 景台—其塔木丘陵隆起区 Ⅳ 依兰—伊通盆地沉降区 Ⅴ 辽源—蛟河低山隆起区
 Ⅵ 敦化—密山盆地沉降区 Ⅶ 敦化—靖宇 中低山隆起区 Ⅷ 白头山隆起区

依兰一直延伸到俄罗斯境内，由东、西两支平行的断裂组成，构成地堑式构造，走向 50° — 55° ，在区域内的出露长度约200km，该断裂距工程场址约120km。

东、西两条支断裂尽管平行分布，但间距不等，自8km至20km，沿走向有明显变化。断裂上有向外倾斜，向内对冲的现象。断裂切割了晚白垩世以前的地层和岩体，并严格控制了第三纪沉积，自西而东形成了4个沉降中心，即伊通大孤山、双阳奢岭、永吉桦皮厂和舒兰水曲柳等，沉降幅度最大的可达3000m

附图2

吉林红石抽水蓄能电站场址区域新构造运动图



吉林红石抽水蓄能电站场址区域新构造运动图

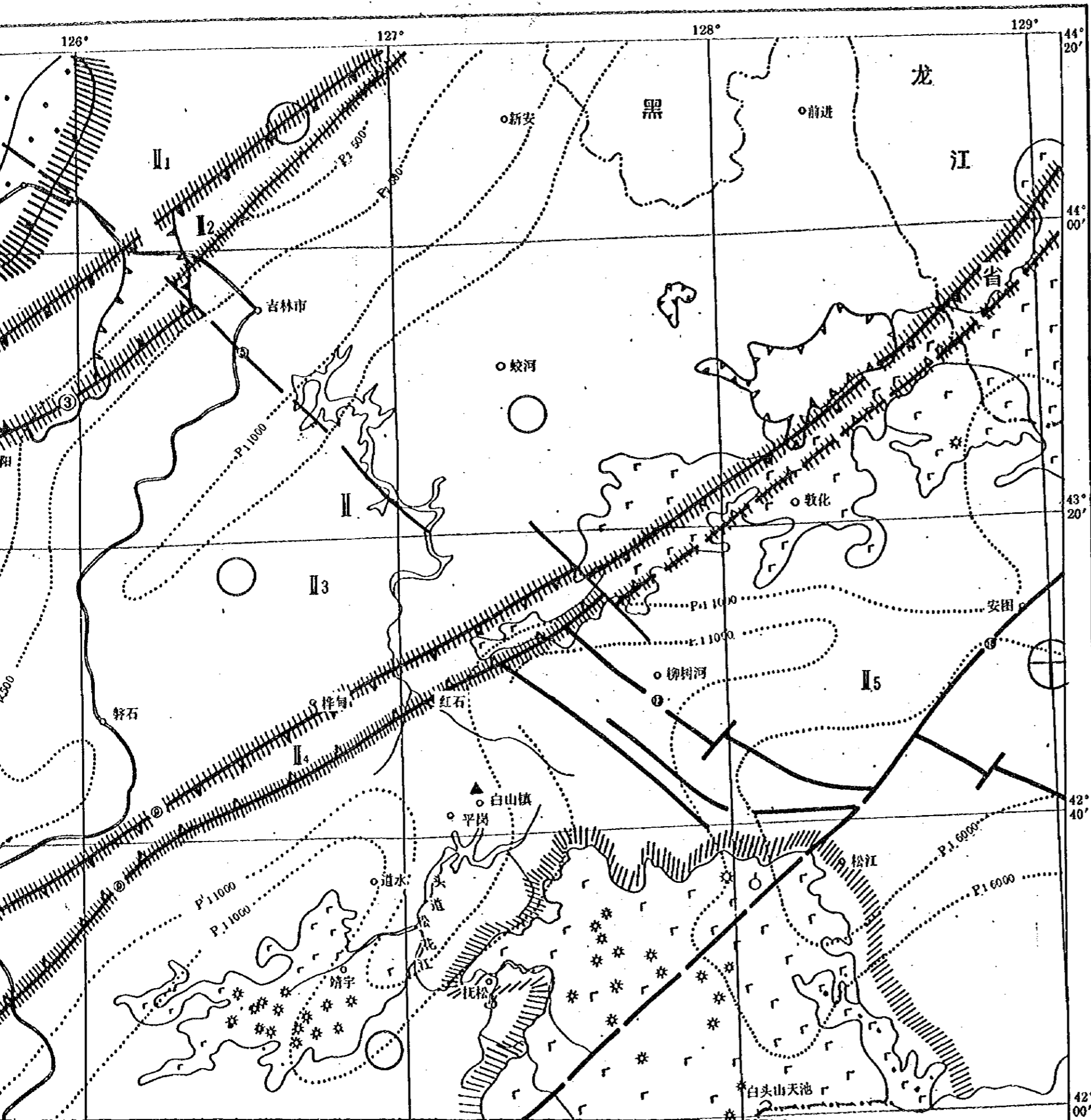


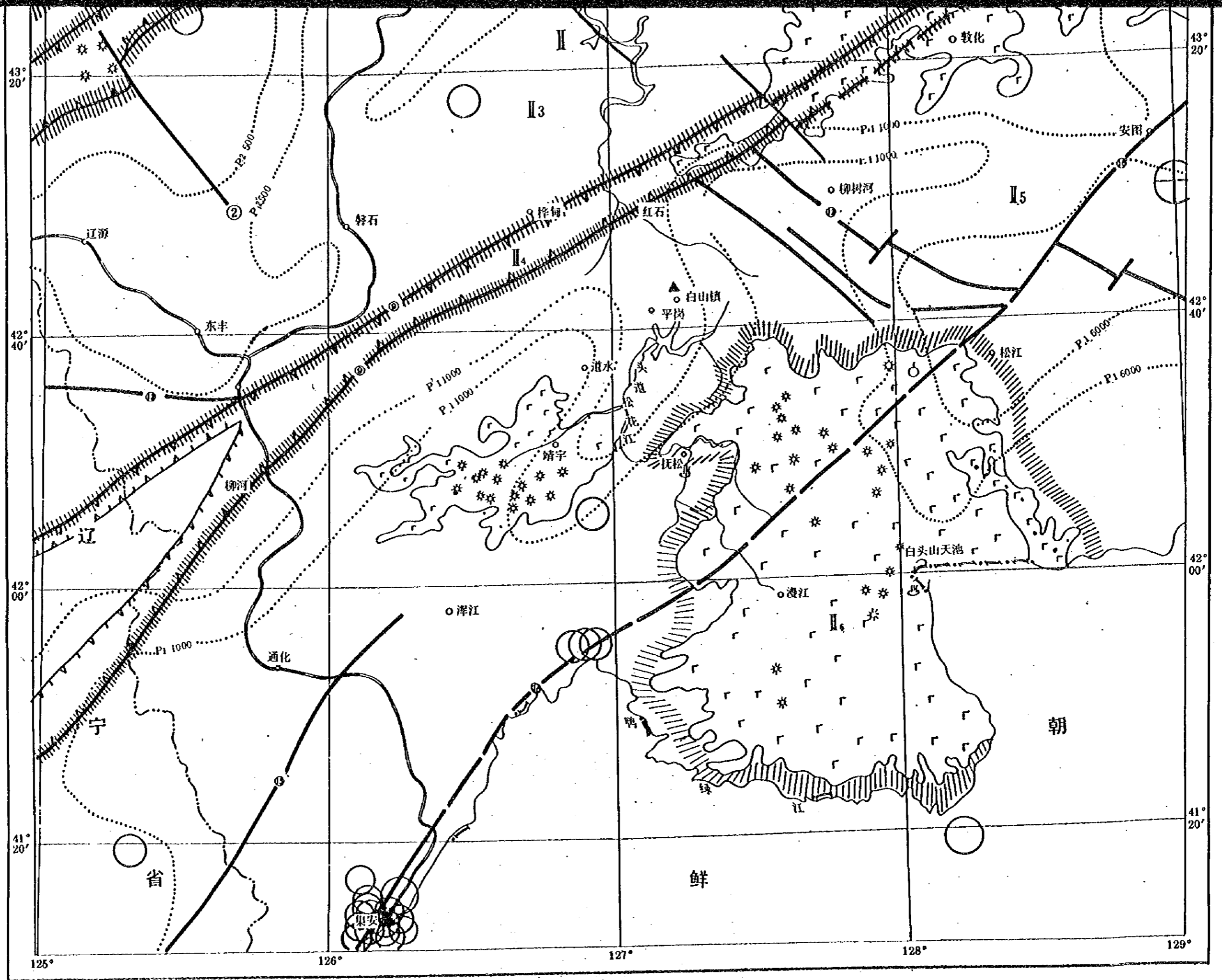
图 例





















- 新构造分区
- I 松辽盆地沉降区
 - I₁ 松辽盆地东缘沉降区
 - II 张广才岭-龙岗隆起区
 - II₁ 景台-其塔卡木丘陵隆起区
 - II₂ 依兰-伊通盆地沉降区
 - II₃ 辽源-蛟河低山隆起区
 - II₄ 密山-敦化盆地沉降区
 - II₅ 敦化-靖宇中低山隆起区
 - II₆ 白头山隆起区

- 第四纪盆地
- 第三纪盆地
- 新生代盆地
- 中生代盆地
- 第四系厚度等值线(m)
- 等平面(级别和海拔高度)(m)
- 第四系玄武岩
- 第三纪玄武岩
- 第四纪断层及编号
- 一级新构造分区界线
- 二级新构造分区界线
- 矿泉
- 温泉
- 火山口
- 厂址位置
- 山峰及高度(m)
- 深震Ma: 6.0-6.9
- Ma: 5.0-5.9
- Ma: 4.0-4.9

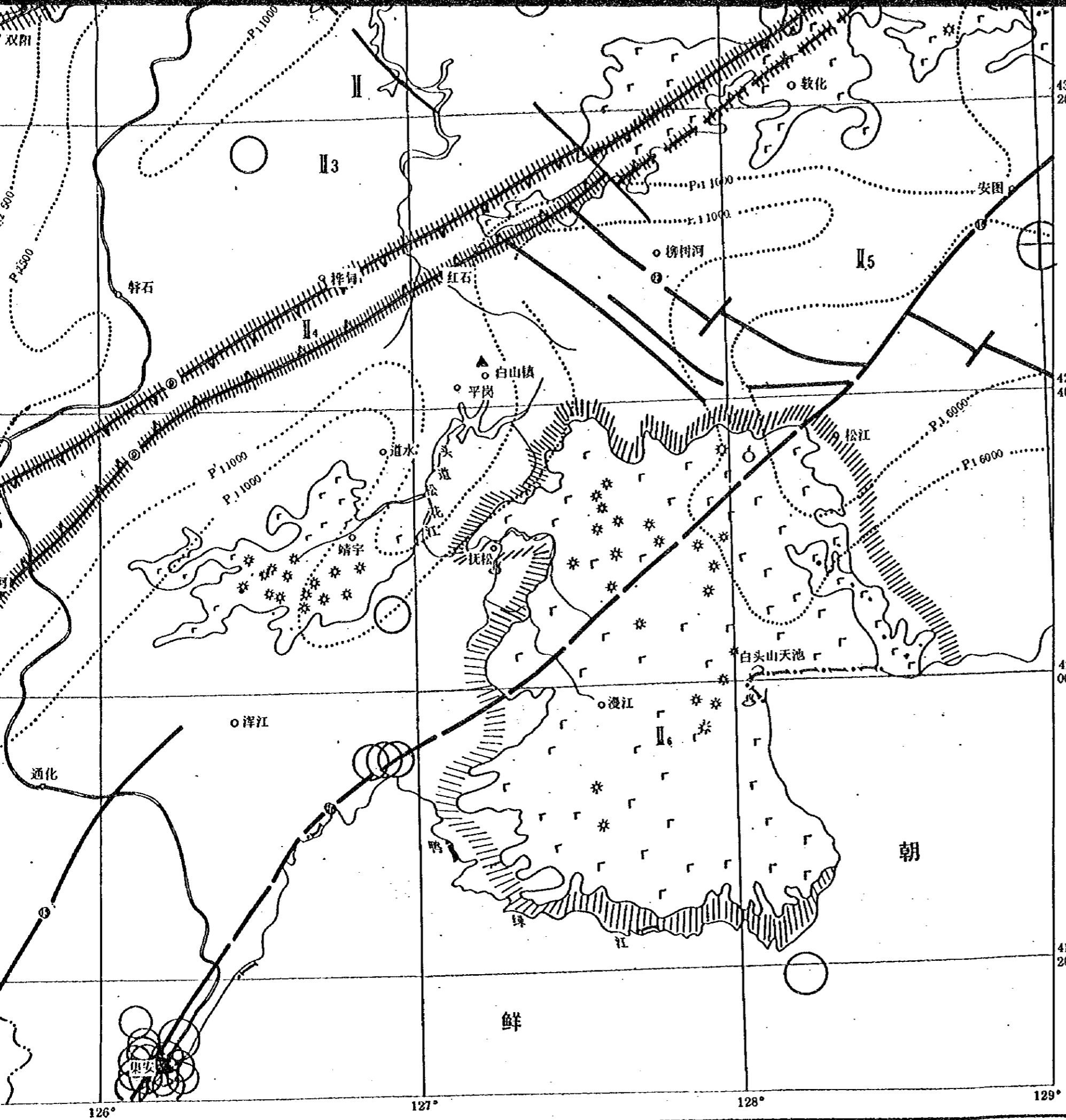
比例尺 1:100万

0 10 20km



-  P2500 庚午
-  第
-  第
-  第
-  第
-  一
-  二
-  三
-  四
-  五
-  六
-  七
-  八
-  九
-  十
-  十一
-  十二
-  十三
-  十四
-  十五

项目名称
图名
项目负责人
编图
清绘
承担单位
日期



- 第四系厚度等值线 (m)
- 等高线 (级别和海拔高度) (m)
- 第四系玄武岩
- 第三纪玄武岩
- 第四纪断层及编号
- 一级新构造分区界线
- 二级新构造分区界线
- 矿泉
- 温泉
- 火山口
- 厂址位置
- 山峰及高度 (m)
- 深震 Ms: 6.0-6.9
- Ms: 5.0-5.9
- Ms: 4.0-4.9

比例尺 1:100万

0 10 20km

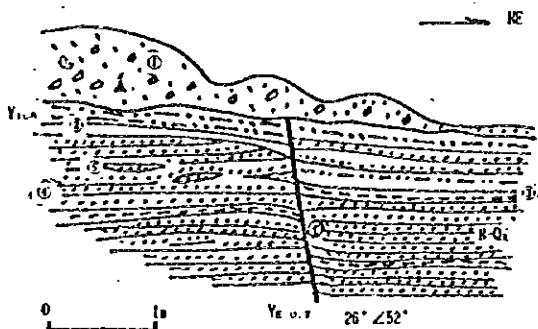
项目名称	中国吉林红石蓄能电站区域稳定性评价		
图名	吉林红石抽水蓄能电站场址区域新构造运动图		
项目负责人	高常波	钟以章	
编图	韩殿忠	审校	马宗顺
清绘	张海英		
承担单位	辽宁省地震研究所		
日期	1997年8月		

表1-1 区域断裂特征表

序号	断 裂 称 名	走 向	深 度	长 度	地 质 特 征
1	松辽盆地东缘(长春-四平)	25° - 30°	岩石圈断裂	360km	形成于侏罗纪初期, 新生代有活动, 沿断裂有第四纪玄武岩喷溢。
2	伊通—辉南	NW	壳断裂	90km	由三条压扭性断层和糜棱岩化带组成, 它生成于晚古生代, 中生代又有活动, 向西北切割依兰-伊通断裂。
3	依兰—伊通	50° - 55°	岩石圈断裂	900km	分东西两支, 又称依兰-伊通地堑, 形成于白垩纪末第三纪初。
4	大岗子—大绥河	25°	壳断裂	60km	断裂生成于晚古生代末, 中生代活动较强烈, 新生代仍有活动。
5	丰满—二道甸子	310°	壳断裂	110km	断裂切割由二迭系组成的北东向褶皱及中、新生代地层, 地球物理场反映明显。
6	柳河—吉林	20° - 25°	壳断裂	350km	由南、北两支断裂组成, 生成于元古代, 中生代继续活动。
7	红土崖—蛟河	NNE	壳断裂	400km	主要由压性、压扭性断裂及破碎带组成, 生成于晚古生代末, 中生代, 新生代有活动。
8	新安—额穆	310° - 320°	壳断裂	100km	由延伸长度不等的相互平行的多条压扭性断裂组成, 它生成中生代, 新生代有活动。
9	敦化—密山	45° - 50°	岩石圈断裂	1000km	分为东西两支, 形成于晚古生代, 后期经多次活动, 白垩纪末期断裂活动最为强烈。
10	桦甸—双河镇	NW	壳断裂	70km	形成于早古生代, 压性, 压扭性断层, 断裂多次活动。
11	辽源—东丰	NW	壳断裂	80km	由近平行的南带和北带两条断裂组成, 均控制和切割中生界, 它生成于华力西末期, 中新代活动较为强烈。
12	赤峰—开原	近EW	超岩石圈断裂	1000km	中朝地台和天山—兴蒙地槽的分界线, 规模巨大, 影响很深, 发育时间长久。
13	红庙—四棚店	60°	壳断裂	70km	形成于侏罗纪, 后经多次活动。
14	普乐堡—拐磨子	20°	壳断裂	60km	为压扭性断层, 生成于侏罗纪, 后经多次活动。
15	浑江—湾沟	50°	壳断裂	100km	由南、北两支断裂组成, 生成于元古宙, 在古生代, 中生代继续活动。
16	鸭绿江	45°	岩石圈断裂	300km	由多条平行展布的断层, 组成宽数百米, 挤压破碎强烈, 局部地段控制侏罗系和白垩系地层及上更新世玄武岩。
17	辽源—磐石	EW	壳断裂	100km	由南北两支断裂带组成, 始于华力西期, 燕山期有强烈的活动。
18	天北—尔站	近EW	壳断裂	140km	该断裂带可分为三支, 形成于古生代末, 中生代活动较强烈。

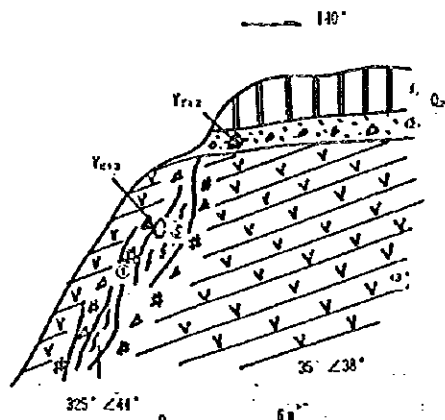
左右，同时伴随有基性岩浆喷溢活动，伊通火山岩为早更新世喷发的产物。

断裂形迹可以在多处见到，考察过程中在西支断裂上发现4个露头点，东支断裂的出露点有6个之多。位于西支断裂上的南甸子剖面表明，在新第三系，下更新统的砂砾石层中有规模不大的正断层，走向NNW，倾向60°，断裂在地貌上没有显示，破碎带规模小，上覆有0.2m-1m的第四系地层，断裂未错切第四系盖层(图1-4)，断裂破碎物的电子自旋共振(ESR)年龄为37.1万年，表明断裂在中更新世中期以来没有活动。在缸窑镇西北的土门岭，见到花岗岩中发育有10多米宽的破碎带，断裂走向NE，倾向SE，倾角70°，断层泥的ESR年龄为150万年(图1-5)。在东支断裂的九站剖面上，见断裂出露于侏罗系火山岩中，断层面走向35°，倾向NW，倾角44°，断裂由次级破裂面组成，排列成雁列式(图1-6)，破碎带宽数米，上覆第四系粘土和砂砾石层，砂砾石层的热释光年



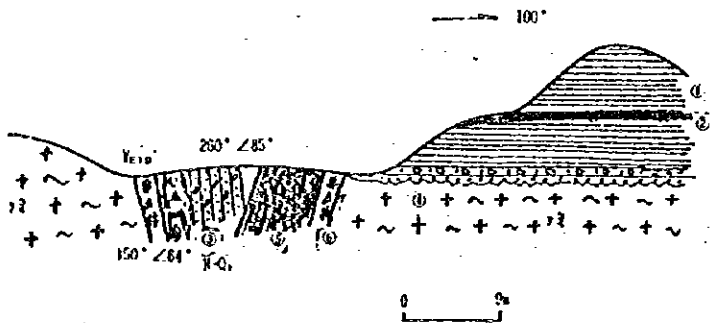
①砂砾石层 ②砂质粘土 ③粘土层 ④砂层 ⑤砂质泥岩 ⑥泥岩

图1-4 南甸子采砂场断层剖面



①褐色黄色粘土 ②黄色砂砾石层 ③侏罗系火山岩和安山质熔岩
④砂砾石层 ⑤泥岩 ⑥泥岩

图1-6 九站北东向断层剖面



①花岗岩 ②砂砾石层 ③砂质泥岩 ④泥岩 ⑤泥岩 ⑥泥岩 ⑦泥岩 ⑧泥岩 ⑨泥岩 ⑩泥岩

图1-5 土门岭断裂剖面

龄为48.1万年，断层泥的ESR年龄大于150万年，表明断裂在早更新世之后没有活动，综合多个剖面的观察和年代测定结果，认为依兰-伊通断裂的最新活动

发生在西支断裂，时间为距今 30 万年左右，再从地震资料分析，断裂上没有 5 级以上地震，最大地震是 1937 年发生在缸窑的 5.0 级地震。

1.3.2 赤峰-开原断裂

该断裂是中朝地台与天山-兴安地槽的分界线，它由内蒙赤峰经辽宁开原进入吉林海龙、桦甸，向东延伸至朝鲜境内，区域内的出露长度约 300km，宽 5-20km，距工程场址约 55km。走向近东西，由于受后期断裂的干扰、错切，使其走向在不同地段发生偏转和位移，形成折线状。该断裂形成较早，以后多次活动，它控制了太古宙至新生代的岩浆活动及两侧地质历史的发展与演化。断裂的规模较大，一般由多条次级断裂组成，在辽宁开原附近，断裂由清河断裂和嵩山堡-王家小堡断裂这两条次级构造构成，在虻牛岭一带见到了清河断裂的形迹，断层上盘为侏罗系砂、砾岩，下盘为安山岩，破碎带宽 3-4m，断层泥带厚 5cm，断层上覆厚约 2m 的灰黑色残、坡积粉质粘土层(图 1-7)，覆盖层的 ^{14}C 年龄为 1.6 万年，断层泥的热释光年龄为 68 万年，表明断裂中更新世有活动。嵩山堡-王家小堡断裂在老爷岭的分水岭处出露，断裂发育在混合花岗岩中，破碎带宽 6-7m，断层泥厚约 2cm(图 1-8)，经用热释光法测定，断层泥年龄为 21.7

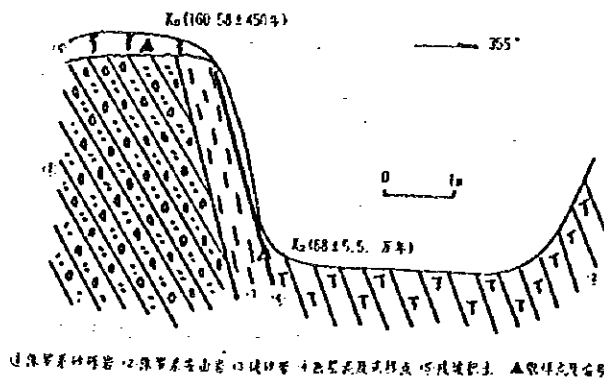


图1-7 石家小虻牛岭东西向断裂剖面

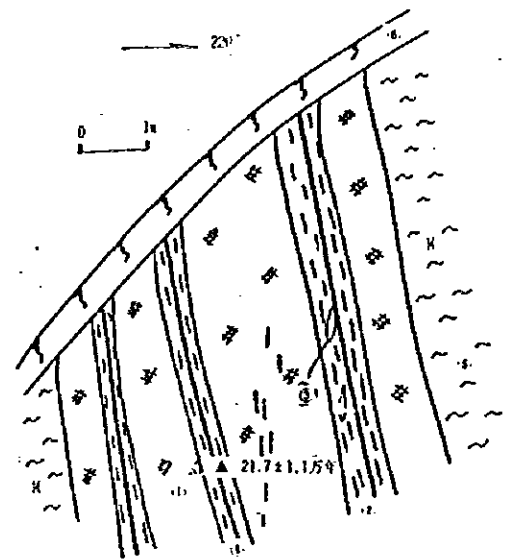


图1-8 老爷岭东西向断裂剖面

万年。另外，几处露头点上的断层泥年龄也是中更新世，综合上述资料，

认为赤峰-开原断裂最新活动发生在中更新世，晚更新世以来没有活动。也未在断裂附近发现有地震活动。

1.3.3 鸭绿江断裂

该断裂基本上沿鸭绿江展布，但它到底起始于何处，目前还没有定论，多数研究者认为，它始于吉林天桥岭一带，往西南经明月镇、松江、集安、辽宁丹东一直延伸入黄海，总体走向 $45^{\circ}-50^{\circ}$ ，它距场址60 km。该断裂可能形成于古生代，在不同的段落上切割了不同时代的地层，而且性质也不同。但总的特征是，它在中生代及其前中生代地层和岩浆岩中断续出露，性质为压性，局部地段控制了侏罗-白垩系地层的分布和上更新世船底山玄武岩的喷溢活动。该断裂在松江到临江一带断续出露，切割了中生代地层。临江至西江一带，断裂被大片玄武岩覆盖，断裂延至水丰，清城一带分为两支，东支位于鸭绿江东岸的朝鲜境内，它错切了太古宇、元古宇和中生界地层以及燕山期花岗岩，并控制了中生代断陷盆地的形成。西支断裂多表现为太古宙花岗岩，元古宇变质岩与侏罗系上统砂页岩的界限。无论是东支断裂还是西支断裂，破碎带的规模都比较大，其形态在各处也不一样，有时表现为单一的线状构造，有时则表现为由多条平行断裂组成的断裂带，它在多处被北西向的断裂截断。该断裂在长期的发育过程中，力学性质多次发生变化。海西-印支运动时期，断裂发生左旋逆冲运动，显示压扭性；中生代初期则变为拉张性质，形成了浪头、古楼子、集安和清水等地堑盆地。从朝鲜境内白垩系地层的位移特点来看，白垩纪末期断裂重新显示出压扭性。新生代时期，断裂南段再次发生拉张，在新义州、东港等地，形成了第四纪断陷盆地。总之，断裂在长期的发育过程中，显示其构造活动具有多旋回性。

该断裂的最新活动从地貌、地质、年代测定、地震活动等方面可以显示出来，在航空、卫星象片上，鸭绿江断裂的影象十分清晰，北东向成组出现的线性条带发育，连续性较好，而且方向稳定。在临江以南，断层露头点较多，如良民甸子，下套、长甸河、古楼子等地，在良民甸子的直沟岭一带，有一宽约10 km的破碎带从上侏罗统林子头组地层中穿过，东南盘为灰白色含砾凝灰岩，北西盘为酸性熔岩。碎裂岩带宽十几厘米，其热释光年龄为7.98万年，属晚更

新世(图1-9)。在下套屯以北500m处,鸭绿江II级阶地上见有10m宽的挤压破碎带,断层泥发育,有明显的错动迹象,上覆有1m多厚的第四纪沉积。断层泥和上覆盖层的热释光年龄分别为 (10.31 ± 0.80) 万年和 (1.98 ± 0.15) 万年(图1-9),在黄柏乡长川屯干沟子沟口见破碎带宽约50m,夹多层断层泥,断裂走向

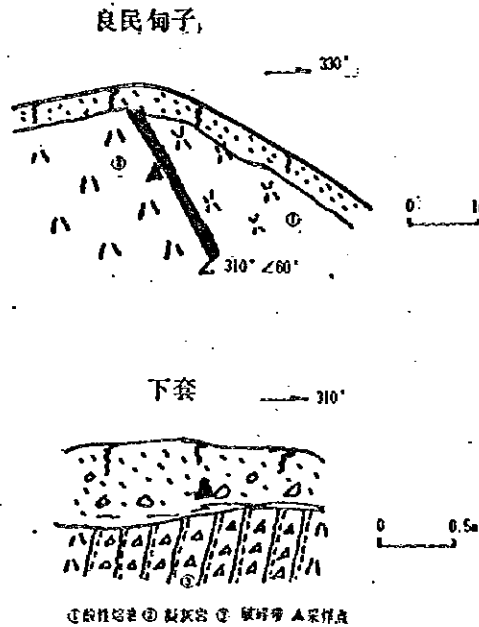


图1-9 鸭绿江断裂露头点素描图

在该处已变为 30° 。在古楼子村北,发现一规模较大的破碎带,宽度50m,断层泥宽度1m多,断层泥热释光年龄为 (13.5 ± 0.40) 万年。为研究鸭绿江断裂与地震活动的关系,统计了断裂两侧20km范围内的地震数,自公元502年至今,沿鸭绿江断裂共发生 $M_s > 1.0$ 级以上地震40多次,其中6级以上和5级以上的各2次,最大地震为1944年鸭绿江口的 $6\frac{3}{4}$ 级地震,鸭绿江口和集安附近是地震较为密集的地区,在集安附近历史上发生过10多次4级以上地震。

总的看来,鸭绿江断裂是发育历史较长的区域性大断裂,有过多次活动,第四纪时期以中更新世活动为主,晚更新世时期的活动只在个别地段见到,未发现全新世活动的迹象。在断裂南端的海域一带,地震活动较为强烈,有多次5级或6级地震发生,其它段落只有一些中等强度的地震发生。

1.3.4 第二松花江断裂(丰满-二道甸子断裂)

区域内北西向断裂相当发育,比较重要的是第二松花江断裂,该断裂北西起于莽卡,经吉林市九站,呈北西-南东方向展布,向北可能与扶余-其塔木

断裂相接，往南与富尔河断裂相联。断裂切割了由二叠系地层组成的东北向褶皱以及中、新生代地层，沿断裂有第四纪玄武岩浆溢出，它距场址70km。国家地震局地质研究所于1991年曾对该断裂的活动特征作了详细研究(图1-10)。

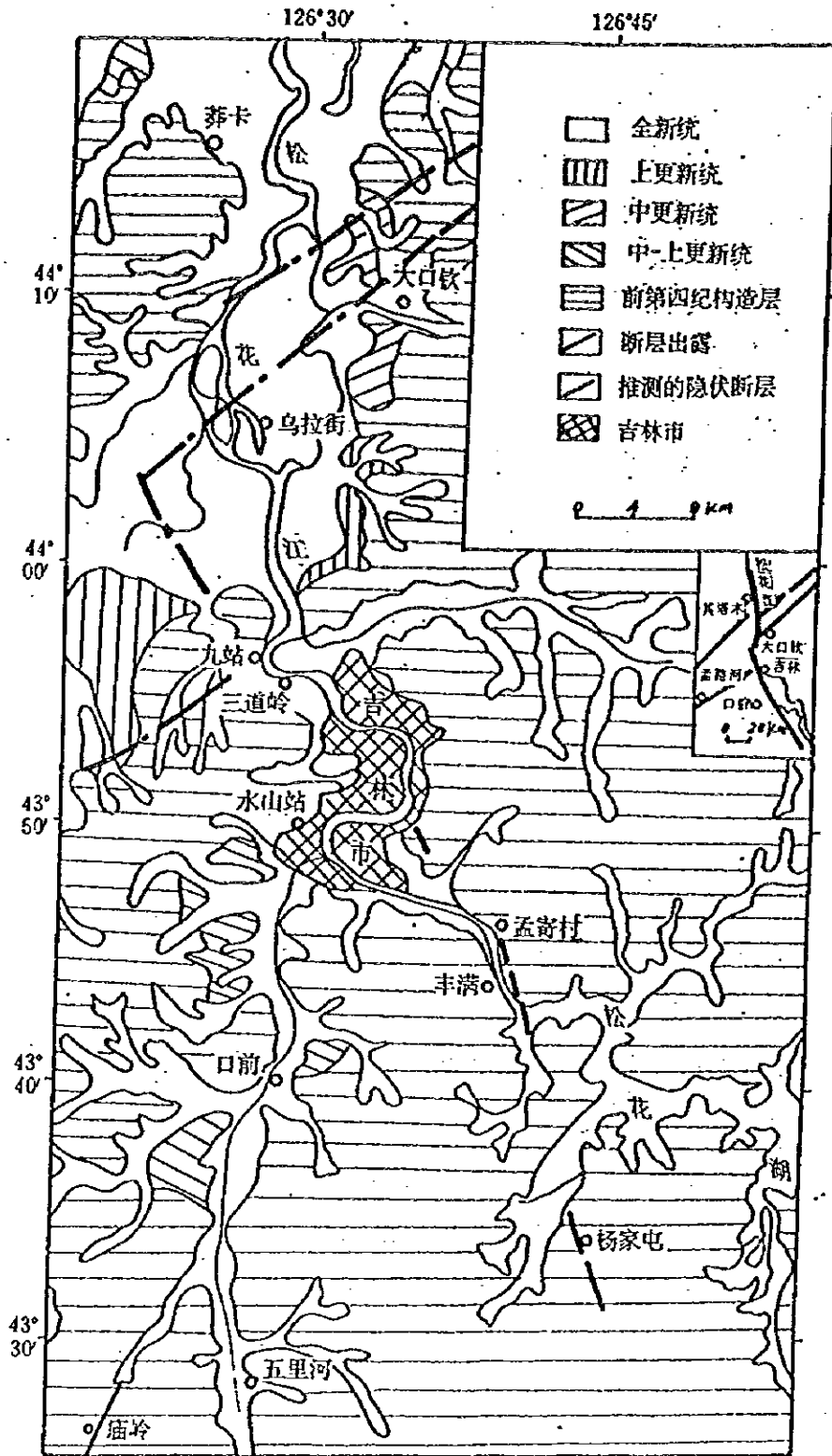


图1-10 第二松花江断裂构造带断层出露分布图(据文献10)

有关该断裂的论述直接引用了他们的资料。该断裂的几何形态，展布特征及其结构构造等表现出以下几个特点：

(1)、从整体上看，该断裂呈 $330-340^{\circ}$ 方向延伸，由若干断续延伸的断层组成，它们的组合呈斜列式或雁列式。

(2)、据统计，断裂走向主要有三组，一组 $310-315^{\circ}$ ，二组是 $325-330^{\circ}$ ；三组是 340° 。

(3)、单条断层规模一般不大，延长数百米至数公里。

(4)、断裂产状以高倾角为主，既具有正断层性质，又具有逆断层性质。

(5)、该断裂被北东向的舒兰-伊通地堑东支断裂和阿什-口前断裂分割成三段，其中以九站-阿什段(中段)最宽，可达7km。

该断裂的形成演化可分三个阶段，华力西晚期断裂业已形成，并且具有左旋走滑性质，表现在断裂东北侧的构造线显示出整体、同步地向西北方向错移，断裂对侏罗纪的火山岩分布有明显的控制作用。另外，它还控制了位于其两侧的伊舒地堑的活动，断裂西侧地堑较宽，而东北侧变窄，在喜山运动早期和中期，该断裂对伊舒地堑的沉积作用仍有影响。第四纪早期，沿断裂的局部段落有少量玄武质岩浆喷溢，以后，活动逐渐减弱。到了第四纪晚期基本停止了活动。对断裂在莽卡-旺起区间的活动，该成果报告作了详细研究，现将文献[10]的有关论述摘录如下：

“在莽卡-九站一带发现断层错开了白垩系地层，从舍岭北沟剖面上见到，断层未错断上覆第四系地层，经年代测定，第四系覆盖层年龄为9.39万年，断层破碎物质年龄为68.5万年，说明断裂在中更新世早期有过活动。

在九站-阿什区间共观察了8个剖面，除在吉林市炮台山西麓见到断层错切了上覆第四系地层外(图1-11)，其余剖面均未见到断层错切第四系地层的现象，断层泥的年龄在13万年至大于15.0万年之间，也说明断层只是在中更新世有活动。

阿什-旺起区间共有三条观察剖面，在孟家村砖瓦厂剖面见到断层将第四系砂层及砾石层错切，在丰满北见玄武岩覆盖在砂砾石层之上，表明沿松花江断裂有第四纪玄武岩岩浆喷溢活动和距今25-16万年有一次小的断错”。

总之，第二松花江断裂是一条在中更新世有过多期活动的断裂，近地表所

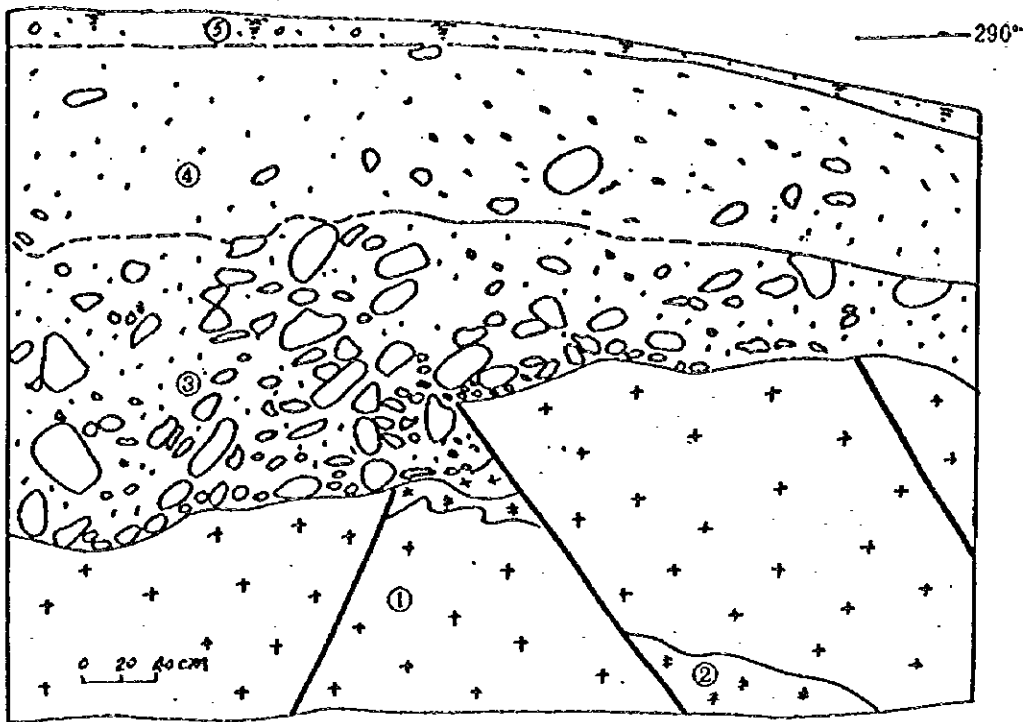


图1-11 吉林市火葬场东(炮台西麓)冲沟开挖剖面 (据文献10)

- ①半风化花岗岩 ②伟晶岩脉 ③桔红色粘土胶结的砾石层
- ④风化花岗岩砂土胶结的砾石 胶结土 表面染有巧克力色
- ⑤表层壤土 含砾块

见最大位移仅32cm, 最晚的活动时间距今13万年, 晚更新世以来没有活动, 历史上无 $M > 4 \frac{3}{4}$ 级地震记载, 现代也未记录到 $M > 2.0$ 级的地震, 因此, 文献10认为第二松花江断裂的莽卡-旺起段不是发震构造。

1.3.5. 敦化-密山断裂(9)

1.3.5.1. 展布特征

该断裂横贯辽宁、吉林、黑龙江三省, 西南始于沈阳苏家屯, 经辽宁抚顺、清原、吉林海龙、辉南、敦化, 循辉发河和黑龙江省的穆稜河向东北延伸至密山以北, 总体走向 50° , 全长1000km。离场址较近的是辉南-敦化段, 它距场址的距离是30km。

从总体上看, 敦化-密山断裂在辽宁地区的大部分地段主要由两条乃至多条平行的断裂组成, 清原县草市至抚顺段表现为由两条对冲型断裂构成的断陷带, 两条支断裂规模大, 连续性好, 多处可以见到韧性变形的糜棱岩及强烈的揉皱, 并严格控制了第三纪煤系地层。沿该带有数个中、新生代沉积盆地。在吉

林省范围内，所表现出的特征是断裂由两条高角度的逆断层构成，并相向对冲，倾角 30° - 80° ，两条断裂大体平行，距离10-20km，断裂控制了中、新生代断陷盆地，所控制的最老地层为晚侏罗统沉积岩，火山岩及火山碎屑岩。岩浆沿断裂的侵入和喷发活动也相当频繁，辉南一二道甸子间有燕山晚期花岗岩侵入。桦甸以东，第三纪、第四纪基性岩浆喷发强烈，构成带状玄武岩台地，俗称敦化火山岩带。它们由中新统土门子组，上新统船底山组，早更新统白金组和晚更新统马连河组构成。

该断裂往北东方向延伸在敦化以北地区，形成黑石 - 镜泊湖和高松树 - 敦化第三纪盆地，沉积有中新统土门子组地层，最厚达985m，该段火山活动频繁，从中新世到晚更新世共有5期玄武岩岩浆喷发。

1.3.5.2. 发育历史

敦化 - 密山断裂规模大，发育历史长，断裂西南部分的浑河段生成较早，推测在古生代早期形成，断裂的北东部分生成较晚，可能生成于古生代晚期。

该断裂在不同的地史时期，力学性质有所不同，早期活动表现为剪切性质。古生代以后整个断裂带表现为以挤压和剪切为主，中生代时期断裂的性质在晚侏罗世时期变为以拉张为主，两条断裂带之间的地质体发生大规模陷落。中生代末期，断裂再次受到强烈挤压，挤压力方向来自北西方向。新生代早期又变为拉张性质，新构造运动时期，升降运动表现为两头跳动的特点，若以敦化西南的张广才岭为支点，老第三纪时期，支点以南陷落，北段升起，新第三纪时期，北段陷落，南段升起，到了第四纪时期，反过来变为南部陷落，北部升起，新生代晚期，断裂带又以挤压为主，使断裂两侧地块向中心发生对冲，于是线性“地堑”构造显现得更为醒目。

1.3.5.3. 断裂活动性

工作中采用沿走向追索和横跨断裂观察相结合的办法重点对辉南 - 敦化间的断裂活动性作了鉴定，为了使人们对敦化 - 密山断裂的活动性有较全面的了解，下面先简略介绍断裂南段在辽宁地区活动的表现。

敦化 - 密山断裂在辽宁地区称为浑河断裂，长约160km。该断裂基本上沿浑河分布，在浑河两岸分布的阶地有四级，一级阶地高出河面3-6m，为堆积阶地；二级阶地为基座阶地，相对高度20-40m；三级阶地相对高度为65-80m；四级阶

地相对高度100-120m。这四级阶地的时代分别相当于全新世到早更新世，这些阶地形成之后，未发生明显的垂直错位，另外，也未观察到水系或沟谷的扭曲错位，以上事实至少可以说明，从地貌上分析，敦化-密山断裂浑河段在全新世时期没有明显的活动。不过，从玄武岩的分布来看，中更新世时期沿断裂有基性岩浆喷溢活动，再从热释光年代测定和石英颗粒形貌分析结果来看，浑河断裂各段的活动时代不一，抚顺市区的热释光年龄为26-69万年，石门岭一带为8万年，清原县北大岭和粘土矿一带为4-5万年。这些测年数据说明，浑河断裂的活动时代自西向东逐渐变新，即由中更新世早期到晚更新世中期。

下面介绍草市-敦化官地一带敦化-密山断裂的活动特征。

(1) 草市-辉南段

在该地段观察了一个地质剖面。辉南剖面位于辉南县城西，辉发河、统河、柳河和大沙河在此交汇，形成一宽阔的冲积平原，断裂所在的河谷平原内地貌反差不明显，两岸一级阶地基本对称，高度一致，无明显的高差。观察点北侧为由燕山期花岗岩和上侏罗统大沙滩组碎屑岩组成的低丘，断裂通过处为一高约30m的陡坎，在陡坎的开采面上可以看到断裂的形迹，断裂穿切了上侏罗统大沙滩组地层，该地层为一套碎屑岩建造，由砂岩，页岩及泥灰岩组成。断裂发育于泥灰岩中，破碎带宽约30m，有多条次级小断裂发育，断裂走向 50° ，倾向南东，倾角 70° （图1-12），破碎带的部分地段上覆有几十厘米厚的第四系

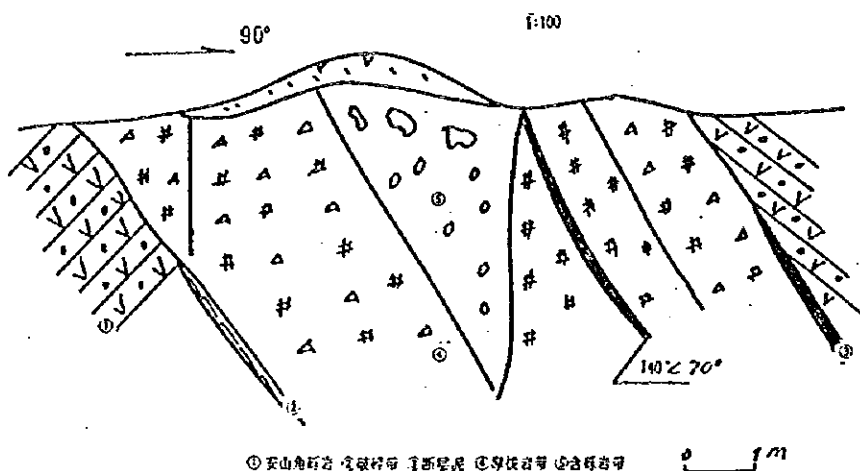


图1-12 辉南西北敦密断裂剖面

残积层，断层泥的热释光年龄为 (20.7 ± 1.24) 万年，说明断裂最新的活动发生

在中更新世。

(2) 桦甸 - 二道甸子段

自辉南至桦甸间，敦化 - 密山断裂以西北支出露较为连续，大体上沿中生界地层与石炭、二叠系地层或者华力西期，燕山早期花岗岩的界限展布。东南支出露较为零乱，断裂时而从白垩系地层中穿过，时而成为白垩系地层与燕山期花岗岩的界限。断裂的西北支在此段基本上沿辉发河两岸展布，东南支出露在丘陵地带。在该段观察了两个地质剖面。

① 四道沟剖面：断裂出露在四道沟屯西南小水库的东北端，这里出露有燕山早期花岗岩和上侏罗统大沙滩组砂岩，断裂从花岗岩和砂岩之间通过，在该剖面上可见到燕山期花岗岩与上侏罗统砂岩之间为断层接触(图1-13)，破碎带宽约4m，由挤压片理，透镜体和断层泥组成，断层走向 $50^{\circ} - 60^{\circ}$ ，倾向北西，断层泥的热释光年代为 (19.4 ± 1.16) 万年，表明敦化 - 密山断裂的西北支自晚更新世以来不曾有过活动。

② 大肚川剖面

敦化 - 密山断裂出露在一冲沟中，西侧为开阔的岗地，东侧为丘陵，该剖面显示上白垩统龙井组地层中有宽约1m的破碎带，走向 60° ，倾向北西，倾角 80° 。断裂上盘为灰白色细粒石英砂岩，下盘为紫红色含砾石英砂岩(图1-14)，

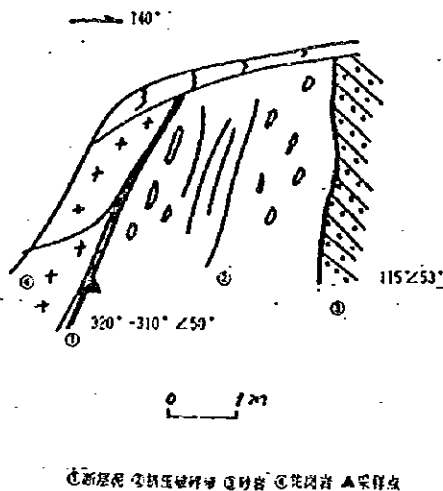


图1-13 桦甸四道沟断裂素描

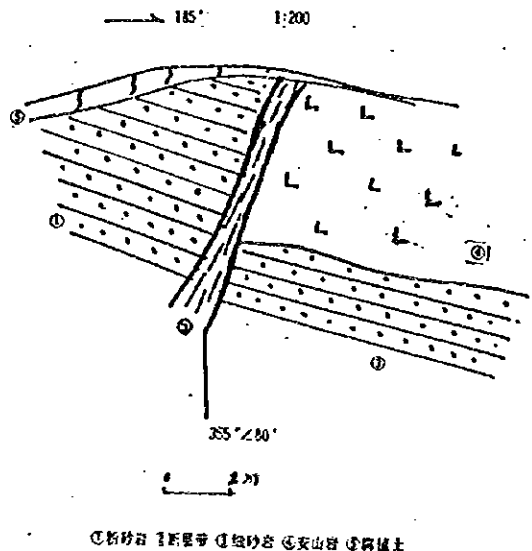


图1-14 桦甸大肚川断裂剖面

断层面上有斜向擦痕，从两盘相对运动方向判断，上盘向下滑动，显示正断层

性质，破碎带内多为胶结致密的角砾岩，从碎裂岩的胶结程度分析，断裂没有新的活动。

(3) 启新 - 清茶馆段

自桦甸往东至清茶馆一带，敦化 - 密山断裂带内的岩性变得较为复杂，大勃吉一带出露有早第三系梅河组含煤地层，该地层将上白垩纪盆地隔开，在鸡爪子岭一带，上新统船底山组玄武岩广泛出露，往东还有燕山晚期花岗岩。在该段也有两个剖面。

① 帽儿山北沟剖面

该剖面显示，断裂从上侏罗统长安组砂页岩、砾岩与华力西期花岗岩之间通过，破碎带宽2.5m，由挤压扁豆体及碎裂岩组成，花岗岩逆冲于上侏罗统砂砾岩之上(图1-15)，走向40-50°，倾向北西，倾角35°。在龙王庙以北见到断

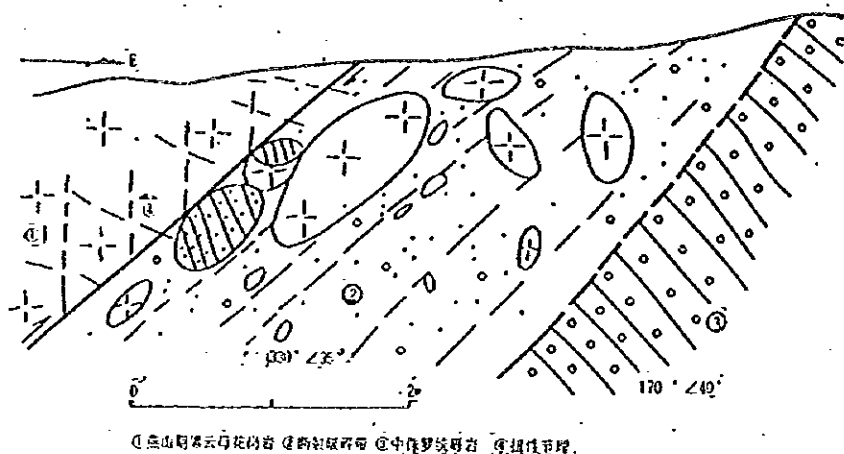


图1-15 北沟帽儿山断裂素描图

裂规模变大，破碎带可宽达20m，有挤压扁豆体和断层泥，断层北盘为花岗岩，南盘为侏罗系砂页岩。在剖面上还可以见到老的花岗岩逆冲于侏罗系砂页岩、泥灰岩之上，显示断裂具压扭性(图1-16)，所采样品的热释光年龄为18万年，表明是中更新世活动断裂。

② 清茶馆剖面

该剖面位于敦化 - 密山断裂的东南支，有的资料称为色洛河断裂，该断裂在地貌上表现为陡坎，发育在志留 - 泥盆系页岩中，宽约2m，破碎带的大部分已被红色长英质脉充填(图1-17)，仅在中部有宽约30cm的灰白色断层泥，并夹有角砾，砾径大小不一，为0.3-2cm，断裂走向65°，倾向北西，倾角70°。



图1-16 龙王庙北帽儿山断裂素描图

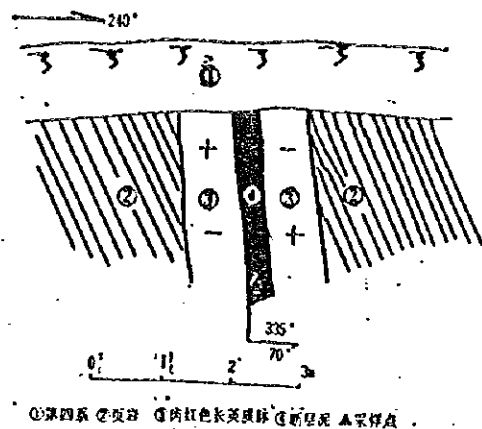


图1-17 色洛河断裂素描图

断裂上覆有0.5m厚的残坡积层，断裂未穿切上覆的第四系，断层泥的热释光年龄为18万年，为中更新世活动断层。

(4) 二道甸子 - 大山咀段

自桦甸二道甸子经敦化向东北至黑龙江省密山以远，敦化 - 密山断裂基本上沿牡丹江上游及穆棱河呈 60° 方向延伸，主要由两条平行的断裂组成，这一段有密山和二道甸子两个中生代盆地，新第三纪以后在黑石 - 镜泊和高松树 - 敦化形成了两个第三纪盆地，第三纪末发生强烈基性岩浆喷发，构成线状玄武岩台地，第四纪时期，地堑继续下陷，玄武岩浆沿沉降带喷溢，构成了以玄武岩为主体的北东向线性丘陵和谷地，在官地以西，由于玄武岩大面积覆盖，未见断裂出露，官地以东，断裂形迹比较明显。选择了两个观察剖面。

① 官地镇剖面

在官地镇南有个突出于玄武岩台地的孤立小山丘，岩性为奥陶 - 志留系青龙村群的大理岩和斜长角闪岩，断裂穿切了大理岩(图1-18)，断层面上有擦痕，显示断层具反扭性质，断层面大体平直，断裂破碎带宽约1m，其中挤压片理带和断层泥宽0.5m，断层破碎物已胶结，所取的热释光样品，未能测出年龄。

② 马鹿沟剖面

该剖面位于由下更新世白金玄武岩和上新世船底山玄武岩构成的丘陵地带，在20m宽的白金玄武岩露头中共发现有4条规模不大的 $60-65^\circ$ 方向的断裂(图1-19)，其中以 F_1 断裂的规模较大，断层面呈舒缓波状，破碎带宽约40cm，

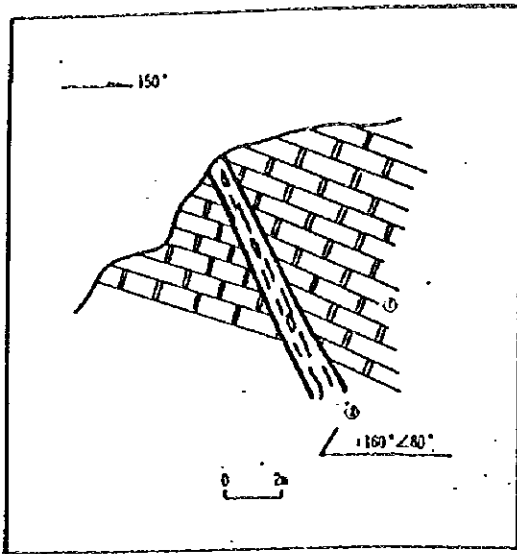


图1-18 官地镇南采石场 (D7) 断层剖面图

①奥陶-志留系大理岩 ②断层破碎带

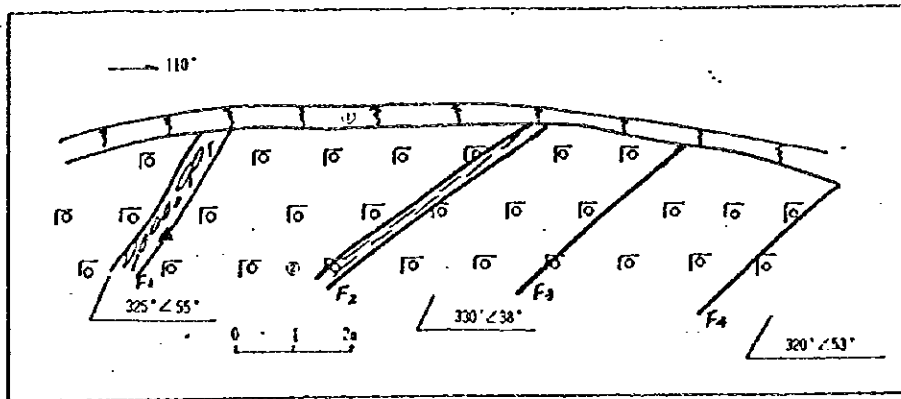


图1-19 马鹿沟(D4)断层剖面图

①残坡积层 ②下更新统白垩玄武岩 ▲ 采样点

由挤压扁豆体，片理组成，断层泥不太发育，断裂走向 60° ，倾向北西，倾角 35° ，其它三条断裂与 F_1 平行，只是宽度更小，它们都未穿切上覆的全新世残、坡积层，用 F_1 的破碎物作年代测定，其时代为10.7万年，另一条小断裂的热释光年龄为11.1万年，表明断裂最新的活动年代为中更新世晚期。

另外，沿沙河进行野外观察，可以看到，该处所有的断裂均未穿切上覆的晚更世马连河玄武岩，在官地岗子屯一带也未能发现反映有断裂存在的线性微地貌，所以，敦化-密山断裂在该段的最新活动，可能发生在晚更世马连河玄武岩喷发之前。

归纳以上几个剖面的现象，可以得到如下的认识：敦化-密山断裂在不同的地段发育特征有所不同，自草市至桦甸大勃吉以东，以中生代地层发育为特征，第四纪玄武岩零星分布，而自二道甸子以东，沿断裂有大量的第四纪基性岩浆喷溢活动。测年的结果表明，自辉南向东至大山咀，断裂的活动年代逐渐变新，即由20万年变为11万年左右，说明在我们所研究的地段，敦化-密山断裂的活动性自西向东有一定变化。

(4)地震活动性

据粗略估计，沿敦化-密山断裂及邻近地带发生的中、小地震约100余次，其中绝大部分是 $M_L = 1.8$ 至3.9级的小地震，4.0级以上的地震很少，据奉天通志记载，明孝宗9年(1496年)，五月东州堡地震，东洲堡即今抚顺县小东乡大东洲村，震级定为5.0级，这是迄今为止在敦化-密山断裂上所认定的最大地震，其次是1882年发生在吉林桦甸的 $4\frac{3}{4}$ 级地震，1972年以来在敦化官地记录到一次3.8级左右的地震。在断裂带及其附近地区未记录到6.0级以上的地震。

从震中的空间分布来看，这些中小地震主要集中在两个段落，西南段的清原-沈阳苏家屯一带和北东段的辉南-敦化一带。敦化大山咀以东和清原-海龙地区的地震活动很少，地震活动在空间上存在着高-低相交替的变化。总的来看，敦化-密山断裂以中、小地震活动为主，不是强震活动带。

1.3.5.5. 断裂在区域内的分段

自辽宁草市至吉林敦化大山咀一带属敦化-密山断裂的中间部分，长约320km，根据地质特点，与其它断裂的关系，地震活动性以及火山活动等几个标志，可初步将草市-大山咀区段内的敦化-密山断裂分为三段(图1-20)。

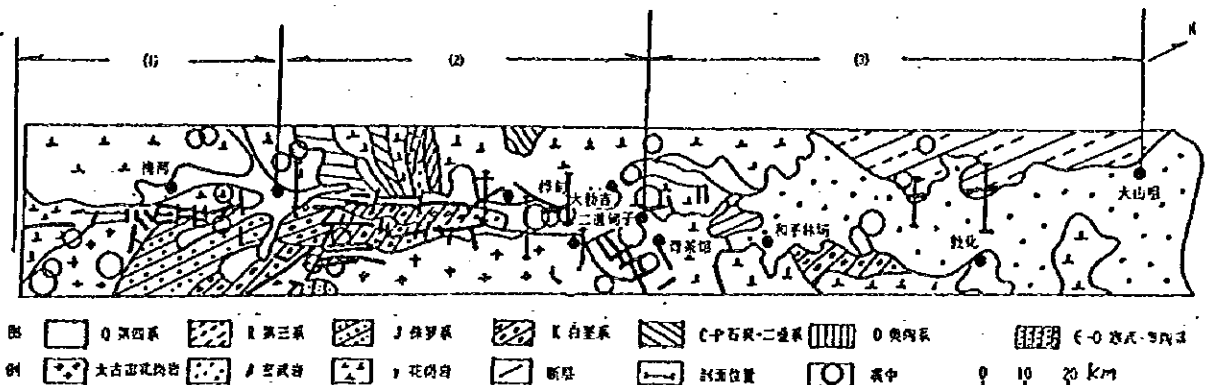


图1-20 敦化-密山断裂辉南-桦甸段地震地质图

(1)草市 - 辉南段

该段长约80km, 宽3-5km, 大致在辉南一带以北北东向的断裂为界与辉南 - 二道甸子段分开, 该段北西支断裂主要是太古宇地层、印支期花岗岩与上白垩统龙井组碎屑岩的界限。而断层东南支主要发生在龙井组地层与上侏罗统砬门子组火山岩之间, 在山城镇一带为第三纪断陷盆地、梅河口一带为白垩纪盆地。该段第四纪火山活动微弱, 仅在草市 - 山城镇之间有少量下更新世玄武岩喷发。断层泥的热释光年龄20多万年。

(2)辉南 - 二道甸子段

该段长90km, 宽8-20km, 大致以第二松花江断裂为界, 与二道甸子 - 大山咀段分开。断裂的北西支基本上是上侏罗统长安组含煤地层与不同时代岩层或者岩体的界限, 该段主要出露有白垩系地层, 多分布在白垩纪盆地, 上侏罗统长安组成为盆地西北缘的银边。断裂的东南支较为复杂, 出露很不连续, 时而是白垩系与古老岩层的界限, 时而是白垩系上统与下统的界限或者上白垩统与燕山期花岗岩的界限, 该段地震活动较为频繁, 有20多次2.0-3.9级地震发生, 最大地震为1882年桦甸 $4\frac{3}{4}$ 级地震, 不过, 该段没有第四纪火山活动, 断层泥的热释光年龄为18万年左右。

(3)二道甸子 - 大山咀段

该段长约160km, 实际上该段延至黑龙江宁安一带比较合理, 于是长度可以达到200余km。

该段的形迹不十分清楚, 早更新世白金玄武岩和晚更新世马连河玄武岩呈北东向条带状分布, 从这一现象可以宏观地确认敦化 - 密山断裂的存在, 该段以第四纪火山活动极其强烈为特征。该区段断层泥的热释光年龄为11万年左右。

总的看来, 敦化 - 密山断裂在研究区范围的基本特征可归纳如下:

①该段是侏罗纪晚期开始形成的狭长状地堑带, 白垩纪时期强烈下陷, 并伴随有花岗岩浆的侵入。第三纪时期活动减弱, 沉陷范围和幅度明显减小。第三纪末期, 有强烈的基性岩浆喷溢, 其喷溢中心分别在和平林场、新开岭林场和马鹿沟林场。早更新世时期的玄武岩喷发主要集中在镜泊湖 - 官地一带, 晚更新世的基性岩浆喷溢活动发生在敦化市附近, 断裂在第四纪时期的复活发生在中更新世, 根据断层泥的热释光年龄, 可以认为断裂最后一次活动发生在敦

化以东的官地地区，时间距今11万年左右。

②根据地质构造特征，与其它断裂的关系、火山活动和地震活动等项指标，区域内的敦化-密山断裂可分为三段，近代地震活动主要集中在辉南-二道甸子段，仪器记录到的最大地震只有4.0级左右，历史上发生的最大地震为4 $\frac{3}{4}$ 级，所以，敦化-密山断裂是一条以中、小地震为主的弱地震活动带。

1.4 区域地球物理场及深部构造

在广泛收集资料的基础上，将区域丰富的地球物理场和深部构造资料进行了系统的分析与研究，力求获取场址及其邻区地壳深部结构的基本特征，从而为工程场址的稳定性评价提供重要的依据。

1.4.1. 资料依据

本报告依据的地球物理资料主要有：

1.4.1.1. 1987年地质矿产部地球物理、地球化学勘察局编制的1:100万布格重力异常图，该图坐标采用1954年北京坐标系统，高程采用1985年国家高程基准，重力采用茨茨坦重力系统，正常重力值采用1901-1909年赫尔默特正常重力公式计算，中间层密度采用 $2.67 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，布格校正公式为

$$\delta_B = [0.3086(1 + 0.0007\cos 2\varphi) - 0.72 \times 10^{-7} - 0.0419 \delta(1 +$$

$$\left| \frac{a}{H} \right| - \sqrt{1 + \frac{a^2}{H^2}})] H \cdot 10^{-5} \text{m/s}^2$$

地改半径为0-116.7 km。

布格重力异常总精度： $(\pm 0.32 \sim \pm 0.75) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$

1.4.1.2. 1979年国家地质总局航空物探大队编制的1:100万航空磁力异常 ΔT_a 平面图，该图根据历史航空磁测资料，经控制网联测编制，地理底图使用总参测绘局1966~1970年出版的五十万分之一地形图缩制。等值线间距为50nT。

1.4.1.3. 1982年由辽宁省地震局编制的东北地区1:200万深部重力异常图，该图的处理过程及其意义是：布格重力异常是地壳中所有密度界面产生重力异常的“总和”。由于引起重力异常的内在因素相当复杂，而某些地区的浅部因素往往占据优势。从而掩盖着“康氏面”及“莫氏面”所引起的深部重力异常。

为突出深部重力异常和“压制”浅部地质体的影响，在二度空间内，对东北全区14条区域性长剖面的重力异常资料进行了数据处理，其处理过程为：用“剥皮法”先去除古老基底以上地质体的影响，而后用“解析延拓法”向上空间延拓10km的高度求其深部重力异常。而且就延拓高度与实际效果进行实验和比较，试验表明，地壳浅部15km以上具有相当规模的地质体所引起的异常一般可降低50%以上，从而突出了深部异常，获得了全区深部重力异常场的基本概念。

1.4.1.4. 1973年由辽宁省地震局编制的1:200万东北地区深部构造变异带分布图。该图的意义是：深部构造变异带是深部地球物理场、深、浅部地质构造、地貌特征及其与地震活动存在一定相关性地段的总称，简称变异带，它的主要标志为：

(1) 具有相当规模的深部重、磁力异常梯级带，特别是深部重磁异常梯级带发生扭曲，两组以上梯级带干扰、复合地段。

(2) 地壳厚度变化带及上地幔隆起的周边地段。

(3) 相邻地壳块体的分界线及其附近。

(4) 深大断裂的展布位置，特别是其转折、端点或两组以上断裂交叉或复合的地段。

(5) 地表地质及地貌特征存在显著差异的地区。

(6) 历史地震的分布及近期地震活动。

进行深部构造变异带的划分，其目的是力图从地壳深部着手，综合多种地球物理场及深部地壳结构特点，结合历史地震发生的规律，来圈定地壳深部的薄弱地带，寻找并发现孕育、发生地震的危险地段，为划分潜在震源区提供依据。

1.4.1.5. 1978年辽宁省地震局编制的1:200万东北地区地壳厚度图及1988年由吉林省地质矿产局编制的1:100万吉林省大地构造图(附地壳厚度图)。这两张图均采用地震测深所获地壳厚度作为标准点，而后应用重力资料求取地壳厚度的方法获得的。前、后两者分别应用区域性重力剖面及面上重力资料获取。它们都大体能分别反映东北地区或吉林地区的地壳厚度变化及深断裂的特征。

1.4.2. 地球物理场特征

1.4.2.1. 重力场特征：工程场址及其邻区布格重力异常场等值线总体呈北东或北北东向分布。吉林、磐石、新宾一带的重力值为 $-5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 左右，经场址区往东至长白山一带下降至 $-80 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，在由西往东重力值总体下降的背景上，呈现出部分局部正异常和负异常。它们反映了地壳物质或地壳厚度的局部变化。场址区的重力值一般在 -20×10^{-5} 至 $-25 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 左右。重力场变化较平稳，唯有在其附近的抚松以南一带及白山镇一带分别呈现出近东西向的负异常及正异常带，推测地壳厚度变化可能为其主要影响因素。深部重力异常反映由西部至东部，重力值由 $-20 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 逐渐变化至 $-40 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的北东向斜坡带，场值变化较平稳。

1.4.2.2. 航磁 ΔT_a 场特征：场址区一带航磁 ΔT_a 异常场呈北西向分布，以负异常为主，磁异常值变化平缓，一般 $-100 \sim -200 \text{nT}$ ，但在松花江以北地区有一北西向的航磁正异常穿切其中，场址区西北部有一显目宏伟的正负异常交替带，呈北东向展布，它主要反映了敦化-密山断裂带的存在。磁场的变化主要反映了岩石磁性的差异，场址区岩性的磁结构总体说来是比较稳定的。

1.4.3. 深部构造特征

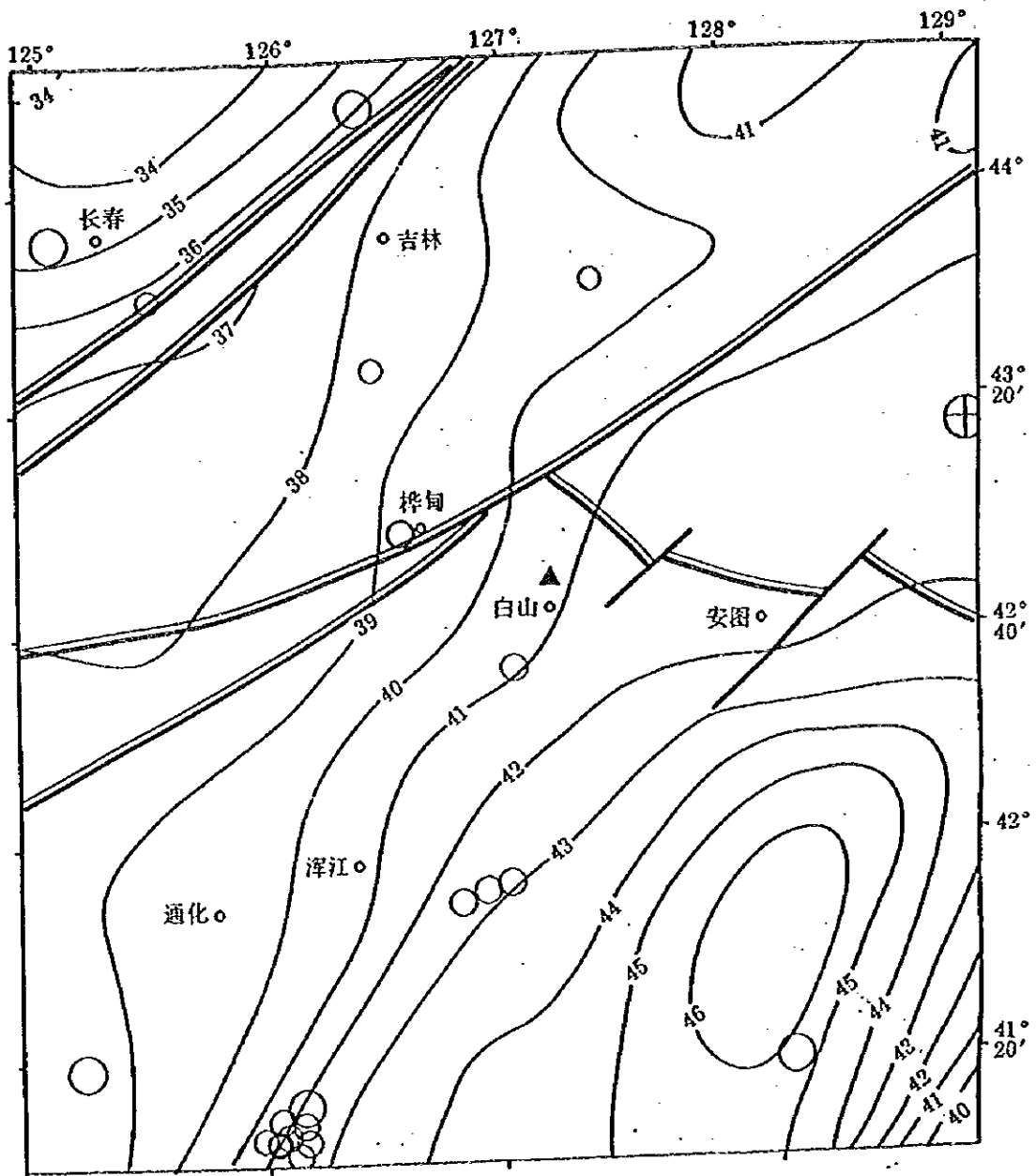
1.4.3.1. 区域地壳结构模型

根据东北地区的深地震测深及重力场资料求解地壳厚度的结果，东北地区的地壳由上层地壳，中层地壳和下层地壳组成，一般地壳厚度为 32km 至 45km ，总体轮廓表现为：整个东北地区是一个大规模的上地幔隆起区或上地幔地垒区。隆起两侧西陡东缓。即松辽盆地及下辽河盆地为上地幔隆起区，地壳厚度为 32km 至 34km ，而其西部的大兴安岭及东部的张广才岭、辽东半岛一带为上地幔凹陷区或斜坡带地区，地壳厚度为 35km 至 40km 以上(图1-21，附图3)。

1.4.3.2. 近区域及其邻近地区地壳深部构造特征

(1) 深部构造形态

由于在近区域没有开展深地震测深，缺少详细的深部构造资料，主要只能根据重力求解地壳厚度的结果及邻近地区地壳结构研究结果加以计算和研究。近区域及邻近地区位于东北地区上地幔东部斜坡带上，吉林省地矿局物探大队根据重力异常采用线性公式计算莫霍面等深度值，所得到的结果说明，这里的

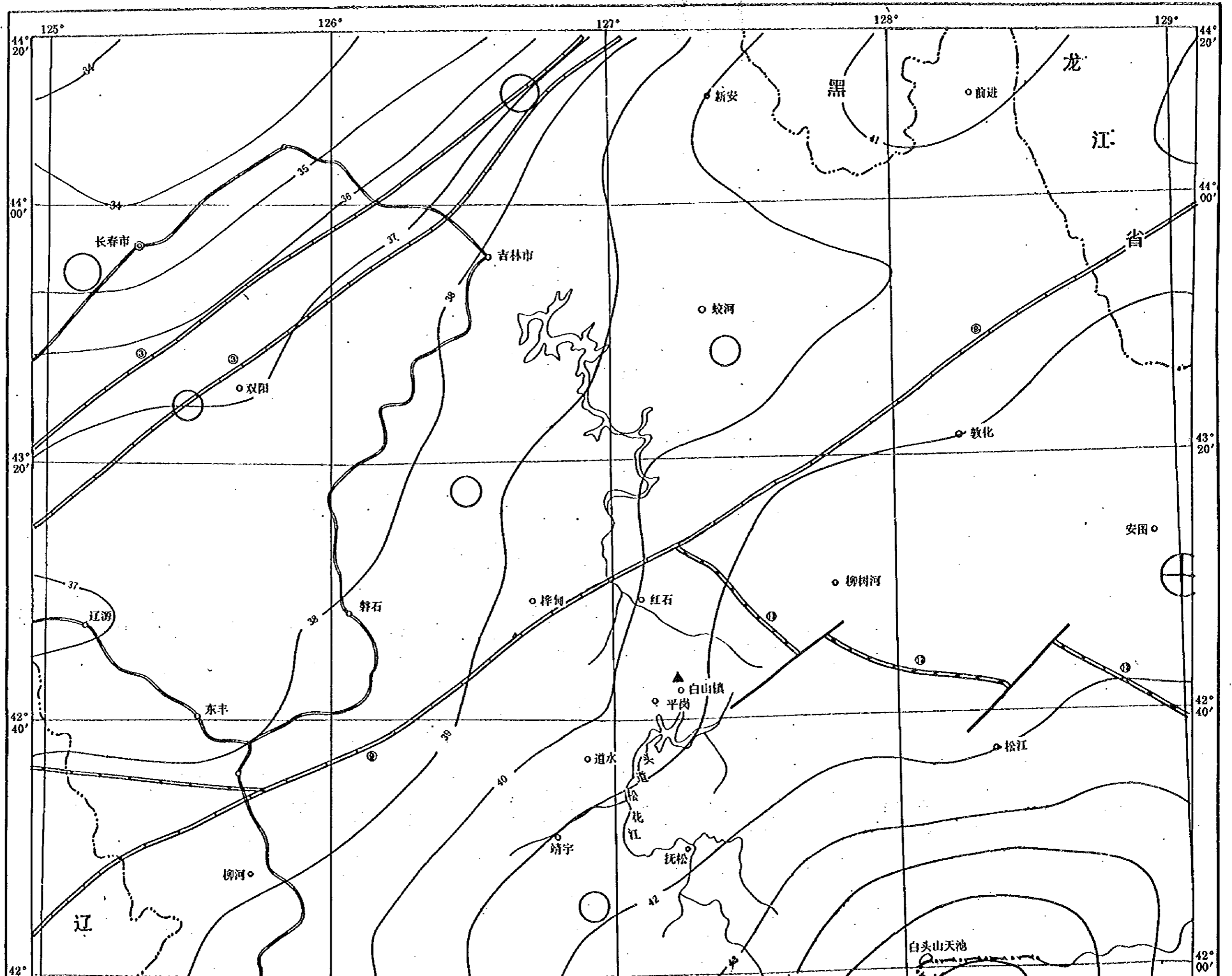


/ 莫霍面等深线及深度值 = 岩石圈及超岩石圈断裂 - - - 一般断裂 ▲ 场址位置
 ⊕ 深震 ○ 5.0-5.9 ○ 4.0-4.9 0 20 40km

图1-21 吉林红石蓄能电站区域深部构造图

附图 3

吉林红石抽水蓄能电站场址区域深部构造图



吉林红石抽水蓄能电站场址区域深部构造图

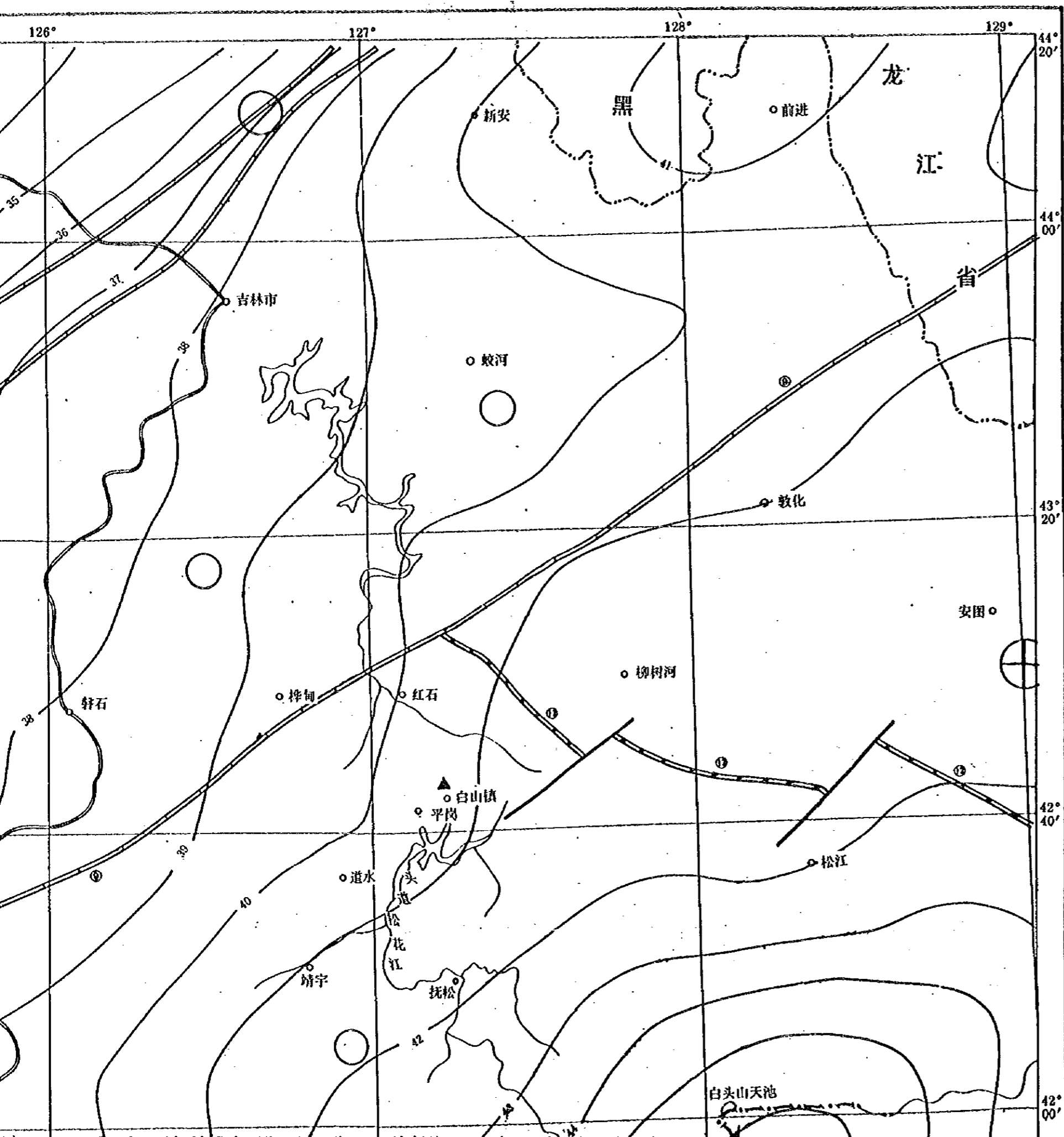








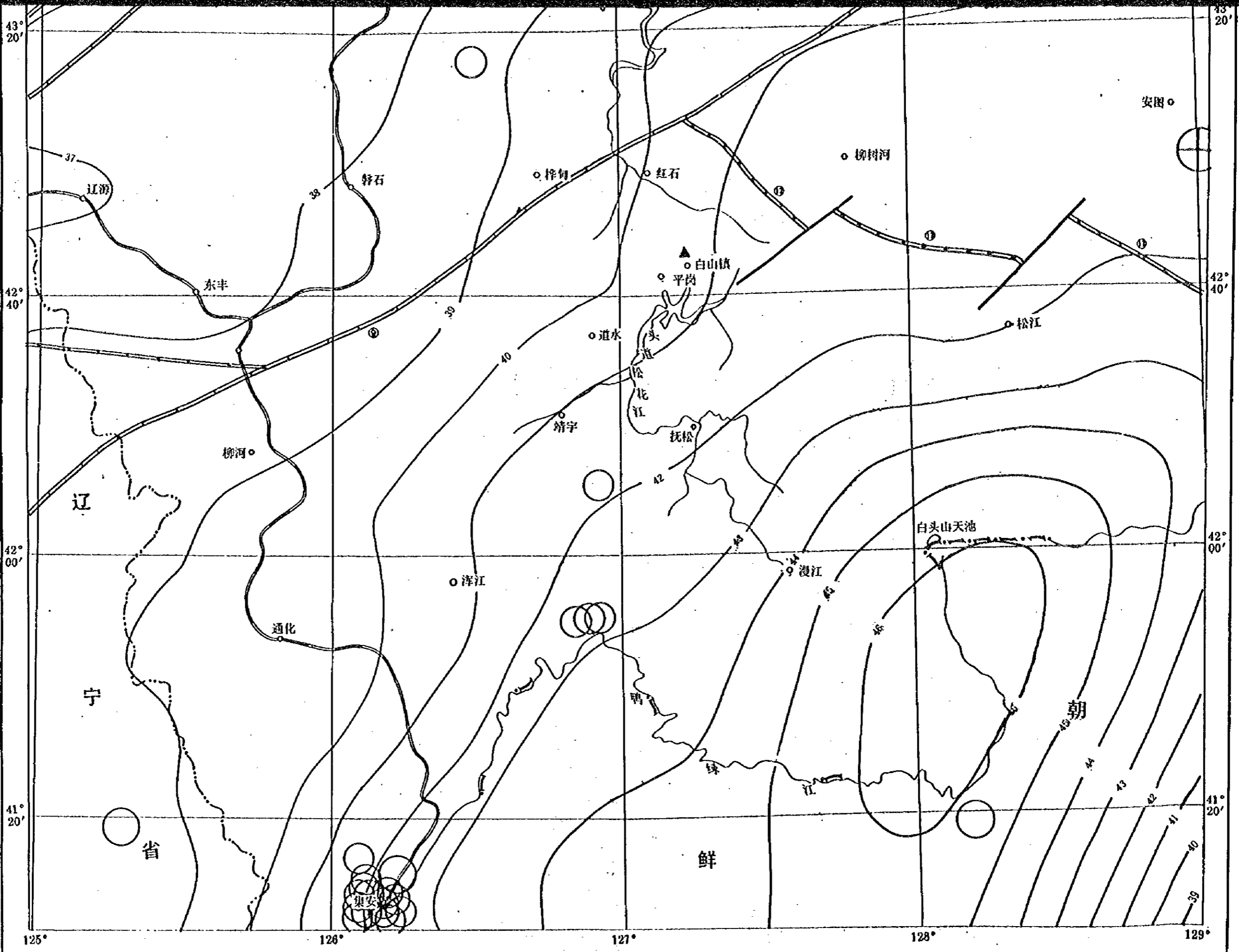


图 例

-  32 莫霍面等深线及深度值
-  超岩石圈断裂
-  岩石圈断裂
-  可靠和较可靠级别不同断裂
-  深震 Ms: 6.0-6.9
-  Ms: 5.0-5.9
-  Ms: 4.0-4.9
-  ▲ 场地位置

比例尺 1:100万

0 10 20km



图

- 莫拉面
- 超岩石
- 岩石区
- 可靠
- 深疑
- 莫: 5
- 莫: 4
- 场地

项目名称
图名
项目负责人
编图
清绘
承担单位
日期

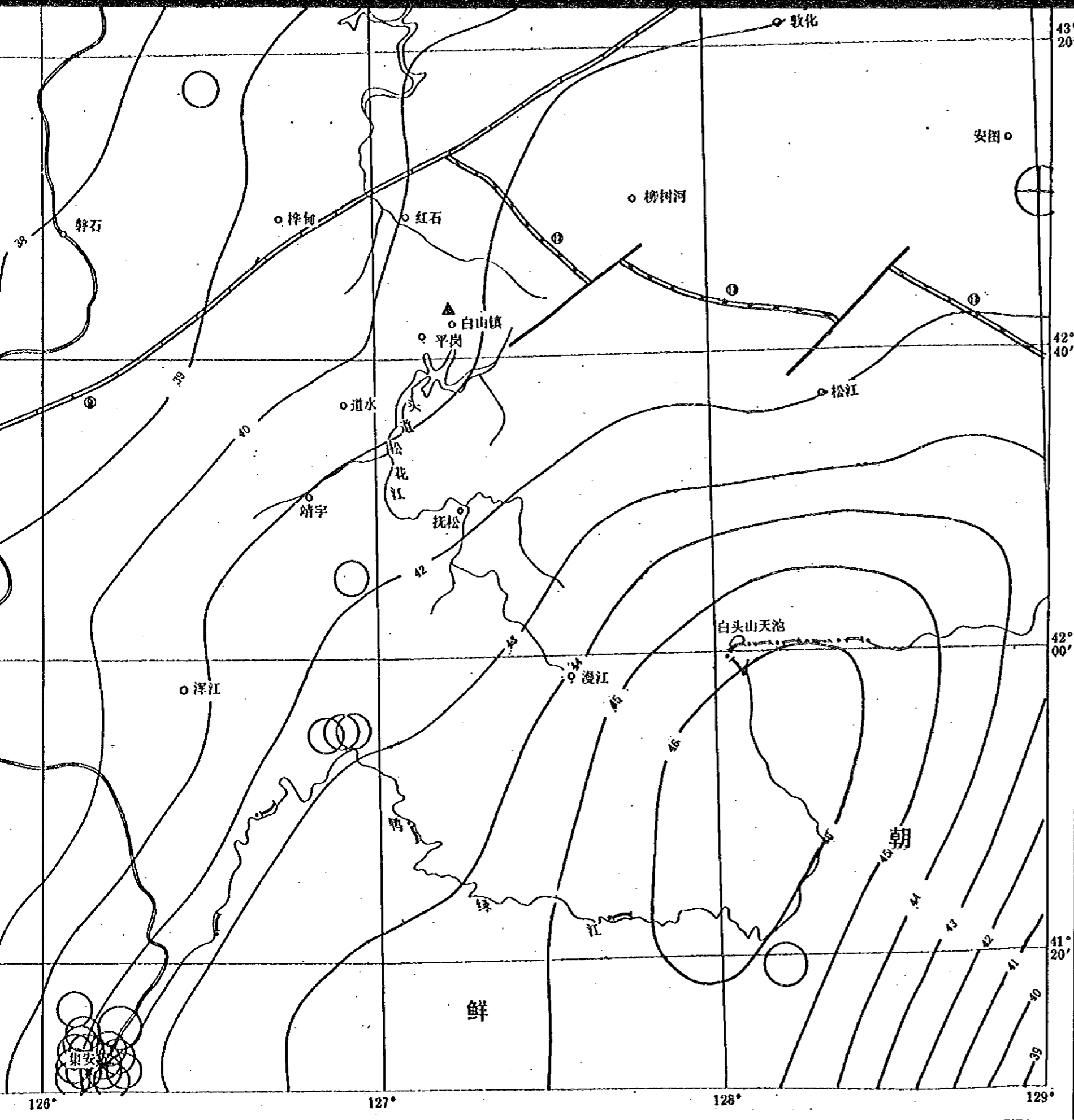





图 例

-  莫霍面等深线及深度值
-  超岩石圈断裂
-  岩石圈断裂
-  可靠和较可靠级别不同断裂
-  深震Ms: 6.0-6.9
-  Ms: 5.0-5.9
-  Ms: 4.0-4.9
-  场地位置

比例尺 1:100万
0 10 20km

项目名称	中国吉林红石蓄能电站区域稳定性评价		
图 名	吉林红石抽水蓄能电站场址区域深部构造图		
项目负责人	高常波	钟以章	
编 图	马宗顺	审 校	卢造勋
清 绘	张海英		
承担单位	辽宁省地震研究所		
日 期	1997年8月		

莫霍面深度为40km至42km，莫霍面等值线呈北东向分布，场址西部的磐石至东部惠山，地壳厚度由38km增至46km。除在白头山至惠山形成一个明显的上地幔凹陷外，基本上呈由东向西倾斜的上地幔缓斜坡形态。在白山镇一带，北东方向的莫霍面等值线由均匀分布开始“发散”，反映上地幔形态逐渐变平缓。在离场址更远的吉林至依兰一带，呈现醒目的北东向分布的莫霍面等值线密集带，反映了依兰-伊通断裂所形成的地壳厚度变化。

(2)深部断裂

根据地球物理资料研究，特别是对区域性深部构造剖面的研究结果，区域上切割岩石圈的深部断裂有：

赤峰-开原超岩石圈断裂：走向近东西，总体表现为破碎带，南盘上升，北盘下降，断距1-1.5km。

依兰-伊通岩石圈断裂：走向北东，倾向北西，东盘下降，根据重磁资料及深地震测深资料推测，断距为1.5-2.0 km。

敦化-密山岩石圈断裂：走向北东，倾向南东，西盘下降，根据重磁资料推测，断距为1.2-2.0 km。在近区域尚未发现深断裂的存在。

本区的破坏性地震虽然比较少，但是，从深部构造图上可以看出，深部构造对于 $4\frac{3}{4}$ 级以上的浅源地震有明显的控制作用，例如，1966年怀德5.2级地震发生在上地幔隆起向上地幔拗陷相过渡的地带，在依兰-伊通岩石圈断裂和敦化-密山岩石圈断裂上分别有5.0级和 $4\frac{3}{4}$ 级地震发生。

1.5 区域地震活动性

本报告所使用的地震目录是通过查阅有关历史资料和仪器记录而得到的，由于东北地区在历史上地处边陲，文化不发达，历史地震事件有许多被漏记。

本世纪初东北地区有了地震观测台，尤其是大连台和长春台的地震记录较为完整，所以，区域内1950年以前中强地震被漏记的可能性不大，1950年以后长春地震台的观测条件得到改善，区域内中等强度地震被漏记的可能性很小。1970年以来，东北三省地震台网相继建成，辽宁省、吉林省的地震台网可记录到全省范围内 $M_L > 2.0$ 级地震，厂址周围有长春、通化、敦化和磐石等地震台，完全可以监测到工程场址及附近地区的小震活动，总之，区域内1900年以

来的5级以上地震，1950年以来的4级以上地震和1970年以来的3级以上地震，基本上不会被遗漏，所以，根据以上资料所列的地震目录是较为完整而且是可信的。

1.5.1. 地震的空间分布

区域的绝大部分位于地震活动水平较低的东北地震区内，所以，地震数量很少，据统计，1900年以前，区内仅有3次 $4\frac{3}{4}$ 级以上的地震，即公元19年集安5.0级地震，1597年长白5.0级地震，1882年桦甸 $4\frac{3}{4}$ 级地震。有仪器记录以来的破坏性地震也只有3次。自公元2年以来至今共记到 $M_s > 3.0$ 级地震63次，

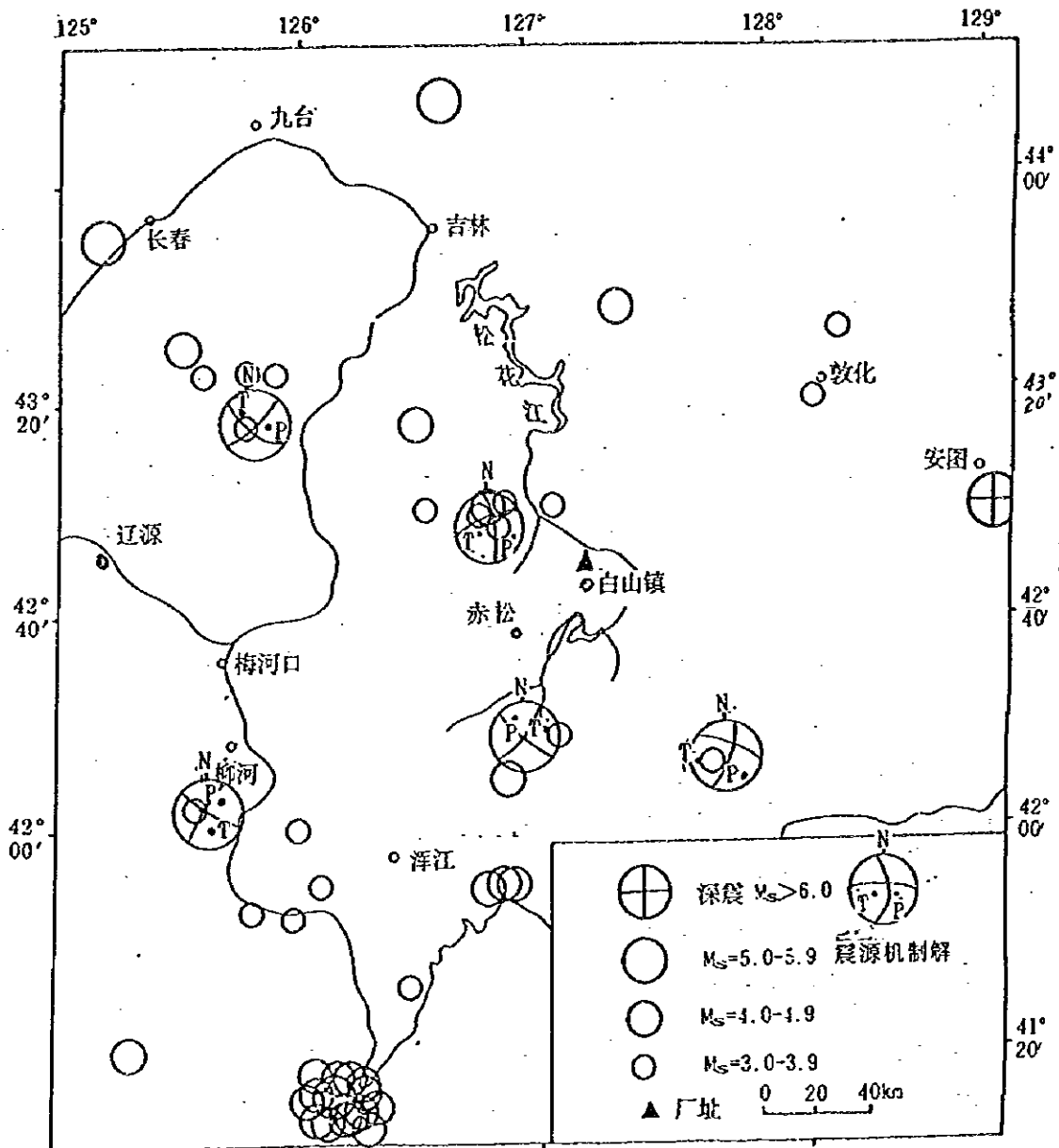


图1-22 吉林红石蓄能电站场址区域震中分布及震源机制图

其中包括深源地震一次, 4.0级以上地震27次(表1-2), 最大地震为1966年10月2日怀德范家屯5.2级地震(图1-22, 附图4)。区域内地震的空间分布是不均匀的, 从总体上看, 地震有呈条带状和簇丛状分布的特点, 这些地震条带包括:

(1)长春-榆树带, 该带大体上受松辽盆地东缘断裂和依兰-伊通断裂的控制, 呈北北东方向展布, 该带属郯庐地震带北段, 有3次5.0级以上地震发生, 为吉林省最强的地震活动带。

(2)辉南-敦化带: 该带呈北东向, 沿敦化-密山断裂展布, 以小震活动为主, 最大地震为1882年桦甸 $4\frac{3}{4}$ 级地震。

(3)通化-抚松带: 沿北东方向延伸, 该带有几十次2-3级的地震, 震中在浑江断裂北端集中分布, 一般呈簇丛状, 1994年1月25日大安屯 $M_L=4.7$ 级就发生在这个带上。

(4)长春-辉南带: 这是一条沿北西方向分布的地震活动带, 最大地震为4.0级。

除条带状分布外, 根据历史地震资料记载, 在集安附近有10多次4.0级左右的地震发生, 成簇丛状。从震源深度分布看, 区内大多数地震的震源深度为10-20km, 少数地震为5km左右。

1.5.2. 地震的时间分布

区域内 $4\frac{3}{4}$ 级以上的中、强地震很少, 加上历史地震记载遗漏很多, 很难研究强震活动的周期性。我们曾采用周期图法和熵谱分析方法研究过区域地

表1-2 吉林红石蓄能电站区域地震目录 ($M_S > 3.0$)
($125^\circ - 129^\circ, 41^\circ - 44^\circ 20'$)
公元2年—1995年12月

发震时间 年月日	震中位置		参考地点	震级 M_S	精度	资料来源*
	纬度	经度				
02 09 12	41.3°	125.3°	辽宁桓仁东	4 1/4**	不详	2
19 02	41.1°	126.2°	吉林集安	5	不详	4
118 03	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
124 12	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
142 10	41.2°	126.1°	集安西北	4 1/4	不详	4
147 12	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
154.01	41.1°	126.1°	吉林集安	4 1/4	不详	4
217 11	41.2°	126.2°	集安西北	4 1/4	不详	4
254 08	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
262 12	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
272 01	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4

续表2-1

288 10	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
292 10	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
300 01	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
300 02	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
386 01	41.1°	126.2°	吉林集安	4 1/4	不详	4
1597 10 07	41.3°	128.2°	吉林长白	5	Ⅲ	6
1882	43.0°	126.8°	吉林桦甸	4 3/4	Ⅲ	4
1885	43.0°	126.8°	吉林桦甸	3	不详	4
1905 08 25	43.0°	129°	吉林图们	6 3/4	不详	7 (深震)
1908 12	43.0°	126.9°	吉林浑江	3	不详	4
1918	41.8°	126.9°	吉林浑江	4	不详	4
1921	41.8°	126.9°	吉林浑江	3 1/2	不详	4
1925	41.8°	126.9°	吉林浑江	4 1/4	不详	4
1930 05	41.8°	126.9°	吉林浑江	3 1/2	不详	4
1933 05	41.8°	126.9°	吉林浑江	3 1/2	不详	4
1937 02 18	43.5°	125.5°	伊通	4	不详	5
1937 06 11	44.2°	126.6°	吉林市北	5.0	Ⅱ	4
1938	41.8°	126.9°	浑江东南	3 1/2	不详	4
1938	43.5°	126.5°	桦甸八道河	3	不详	4
1940 06	41.8°	126.9°	浑江东南	3	不详	5
1942-12	41.8°	126.9°	浑江东南	3 1/2	不详	4
1943 17	41.8°	126.9°	浑江东南	3	不详	4
1945	41.8°	126.9°	浑江东南	4	不详	4
1946 02	41.8°	126.9°	浑江东南	3 1/2	不详	4
1946 05	41.8°	126.9°	浑江东南	3 1/2	不详	4
1947	43.0°	126.8°	吉林桦甸	3	不详	4
1949 08	41.8°	126.1°	浑江闹枝沟	3 1/2	不详	4
1953 03	41.8°	126.9°	吉林临江	3	不详	5
1953 09	41.8°	126.9°	吉林临江	3	不详	5
1953 11-12	43.6°	127.4°	吉林蛟河	4 3/4	不详	5
1954 03	41.8°	126.9°	吉林临江	3	不详	5
1954 10	41.8°	126.9°	吉林临江	3 1/2	不详	5
1954	43.0°	127.1°	桦甸红石砬子	3	不详	5
1955 03 17	41.8°	126.9°	临江和平	3	不详	5
1955 11 26	42.9°	126.1°	吉林盘石	3	Ⅱ	5
1963 08 31	43.4°	125.8°	双阳太平	3.7	Ⅱ	5
1964 12 27	42.0°	126.0°	通化县光华	3.5	Ⅱ	5
1965 05 30	41.5°	126.5°	吉安县青石北	3.5	Ⅱ	1
1966 10 02	43° 50'	125° 07'	怀德县范家屯	5.2	Ⅰ	1
1968 01 07	41° 42'	126°	通化市	3.9	Ⅰ	6
1982 02 16	43° 15'	126° 30'	桦甸八道河子	4.0	不详	3
1982 04 06	43° 25'	125° 45'	双阳县太平	3.5	不详	3
1976 08 19	43° 20'	128° 16'	敦化县江东	3.5	不详	3
1976 11 05	43° 32'	128° 19'	敦化县黑石	3.3	不详	3
1977 06 04	42° 19'	127° 08'	靖宇县	3.1	不详	3
1986 07 15	41° 44'	125° 49'	通化快大茂	3.1	1	3
1986 08 22	42° 13'	127° 50'	抚松西土顶子	3.7	1	3
1989 08 20	43° 25'	125° 32'	双阳石溪	3.4	1	3
1990 10 21	43° 16'	125° 45'	盘石大旺	3.8	1	3
1991 10 07	42° 56'	125° 36'	柳河三源浦	3.7	1	3
1993 02 12	42° 04'	126° 56'	浑江大安屯	4.2	2	3
1994 01 25	42° 10'	126° 50'	桦甸二道河	3.0	2	3

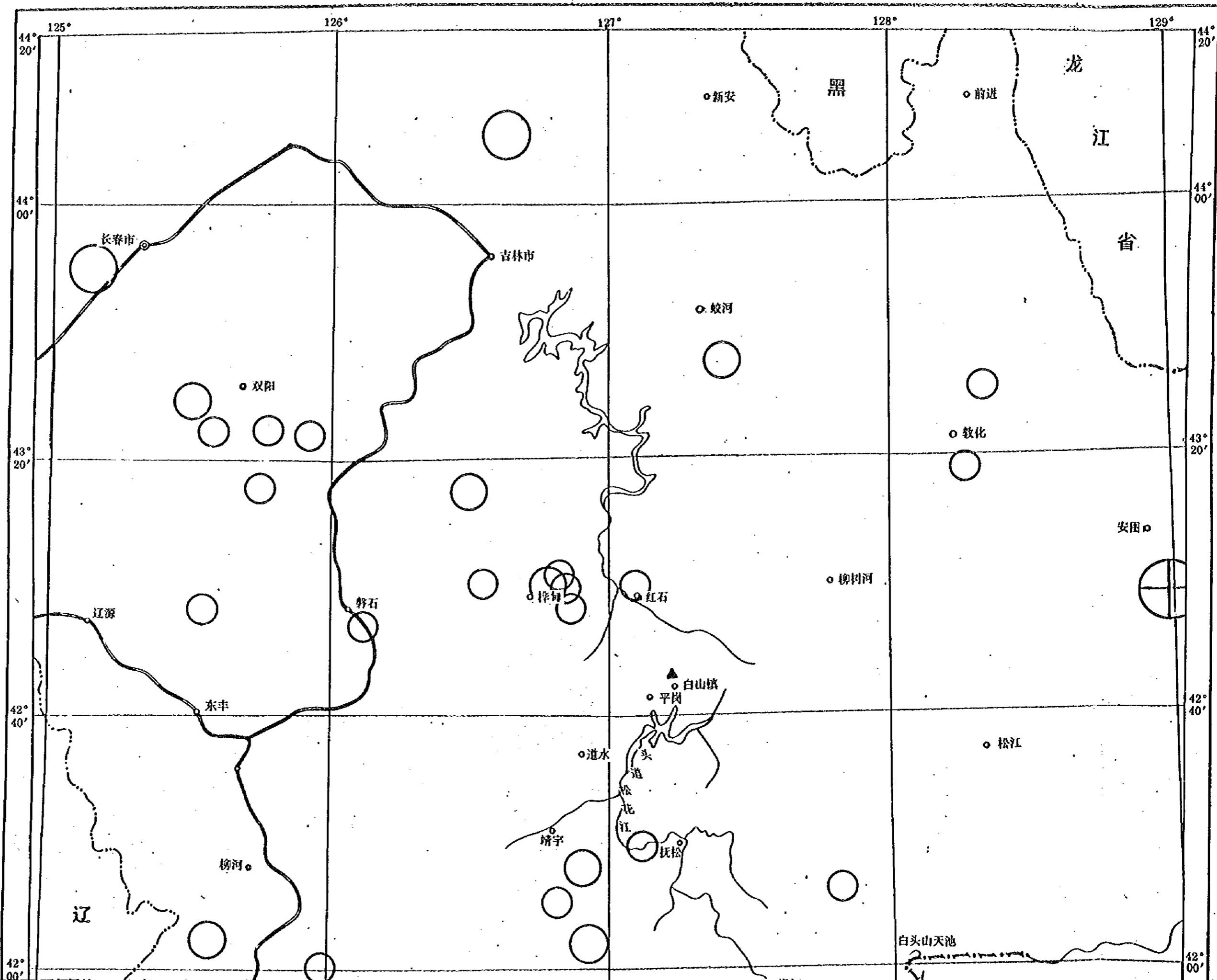
* 资料来源:

1. 顾功叙主编, 1983, 《中国地震目录》, 科学出版社
2. 辽宁省地震局, 1995, 辽宁省地震目录, 辽宁大学出版社
3. 吉林省地震局, 吉林省地震台网报告及地震目录
4. 吴戈等, 1994, 《东北大陆历史地震研究》, 成都地图出版社
5. 吴戈等, 1992, 东北地震史料辑览, 地震出版社
6. 朝鲜地震研究所, 1986, 朝鲜地震目录, 地震出版社
7. 谢毓寿等, 1989, 《1900-1980年中国M>4.7级地震的均一展
级目录》地震出版社

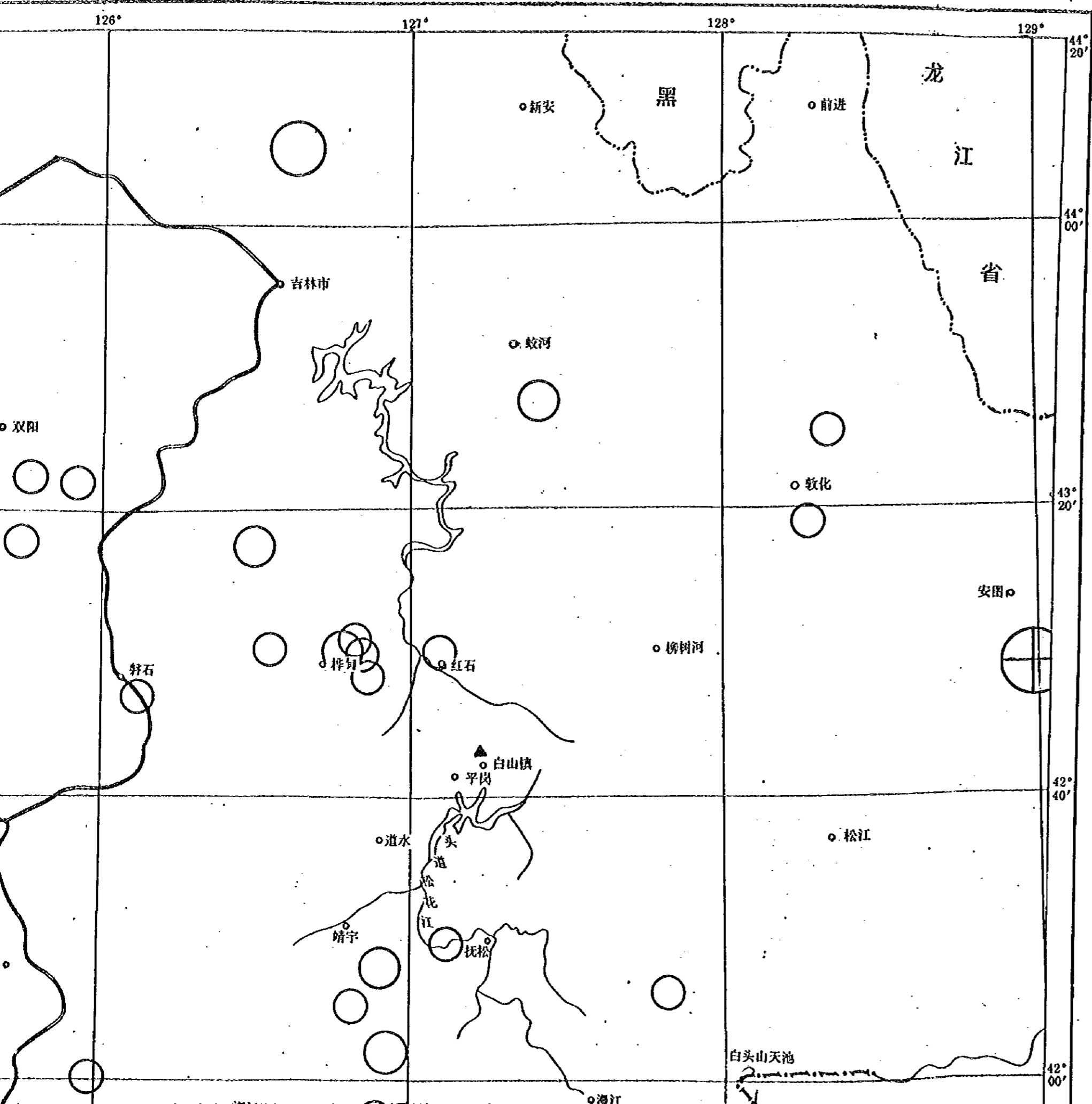
** 4 1/4 = 4 1/4

附图4






吉林红石抽水蓄能电站场址区域地震震中分布图



吉林红石抽水蓄能电站场址区域地震震中分布图



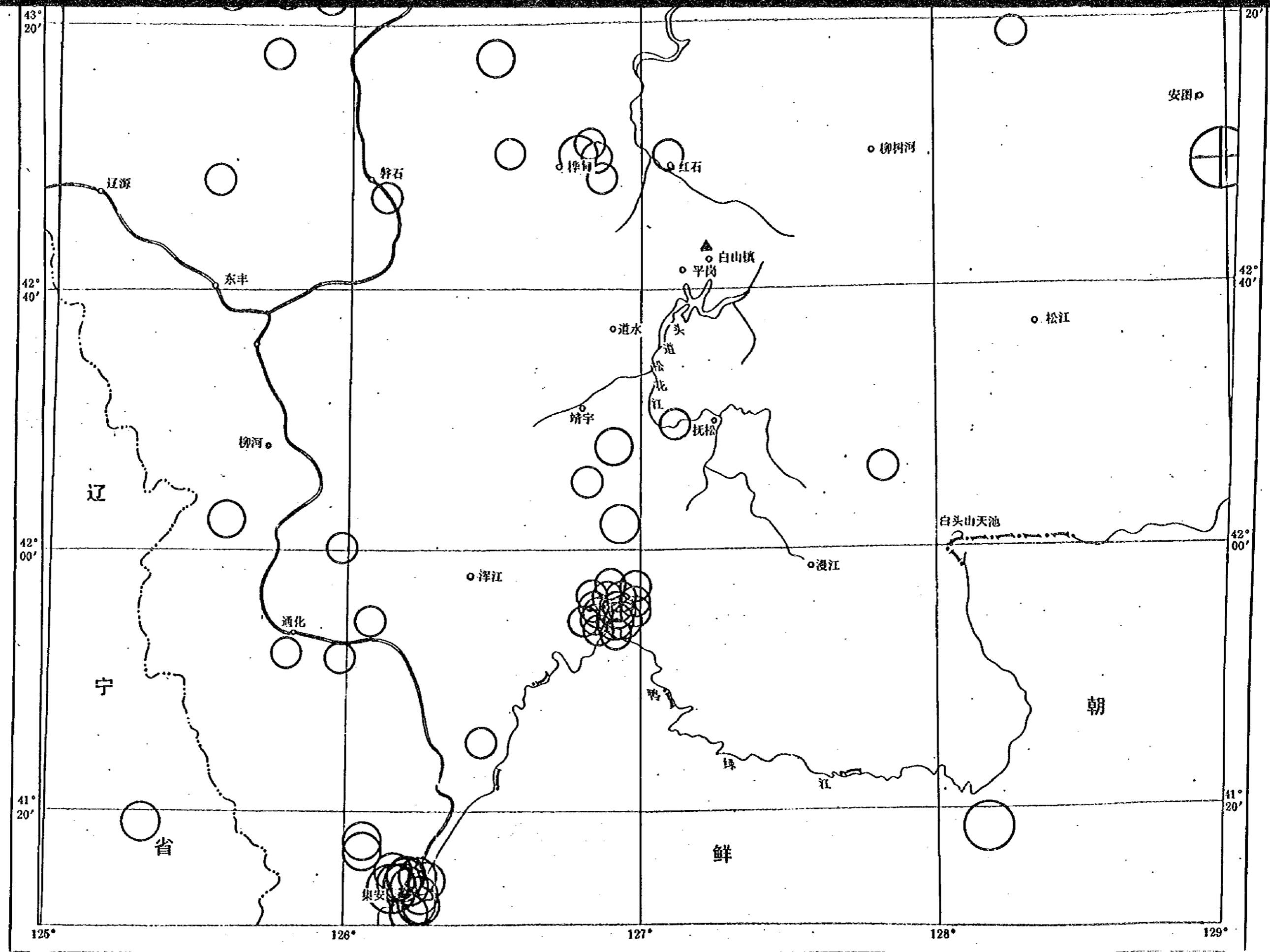
图例

-  Ms: 3.0-3.9
-  Ms: 4.0-4.9
-  Ms: 5.0-5.9
-  深震 Ms: 6.0-6.9
-  场地位置

比例尺 1:100万

0 10 20km

30'



项目
图
项目
编
清
承担
日

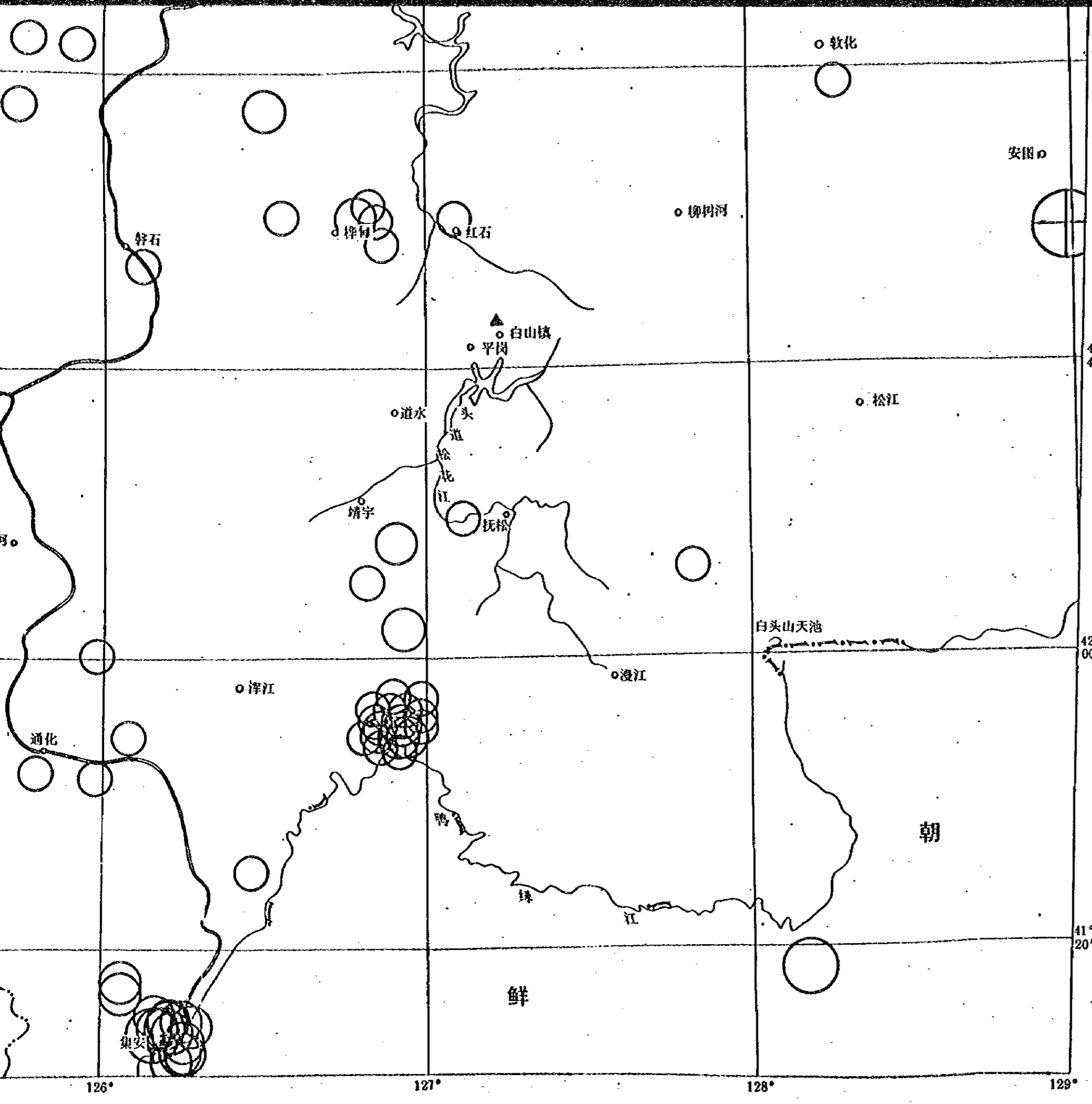








图 例

-  Ms: 3.0-3.9
-  Ms: 4.0-4.9
-  Ms: 5.0-5.9
-  深震 Ms: 6.0-6.9
-  场地位置

比例尺 1:100万


项目名称	中国吉林红石蓄能电站区域稳定性评价		
图 名	吉林红石抽水蓄能电站场址区域震中分布图		
项目负责人	高常波	钟以章	
编 图	高静	审 校	白云
清 绘	张海英		
承担单位	辽宁省地震研究所		
日 期	1997年8月		

震活动的周期性，但未得到满意的效果，地震的活跃期或平静期难以区别。如果将研究范围扩大到整个东北地区，则可以利用近百年的地震资料，按照地震活动的不均匀性粗略地划分出5个较完整的地震活跃时段和安静时段，活跃时段一般持续11年左右，平静时段在10年左右，每个活动周期约20年。

1.6. 现代构造应力场及地震构造

1.6.1. 现代构造应力场

目前研究地壳现代构造应力场的方法很多，利用震源机制解和等震线长轴方位等资料也可以研究现代构造应力场特征。

根据区域内几个强震和中、小地震宏观调查资料，对等震线长轴方位进行了统计(表1-3, 图1-23)，其结果表明，等震线长轴方位可分 $3^{\circ} - 55^{\circ}$ 和 $285^{\circ} - 354^{\circ}$ 两组，这两组方位代表的地震破裂面方向是北东向和北西向，表明区域主压应力场作用方向为近东西向。

区域内的震源机制解资料很少，我们除收集区域已有的震源机制资料以外，还对区域内几个3.5级以上地震做了震源机制解(表1-4)，综合这些资料可以看出，多数地震的断层面集中在北东和北西两个方向上，长轴仰角多数小于 28° 。总的看来，本区震源机制解的一致性较差，主压应力方向变化范围大，等震线长轴方向分布范围也比较大，优势方位不明显，但从多数地震的等震线长轴方位和震源机制解的资料来看，可以认为区域应力场的主压应力作用方向近于东西向。

表1-3 几个地震的等震线长轴方位

序号	时间	地点	震级	长轴方向
1	1937	缸窑	5.0	35°
2	1960	榆树(区域外)	5.8	3°
3	1966	怀德	5.2	48°
4	1976	敦化	3.4	38°
5	1978	大口钦	2.4	305°
6	1986	通化	3.0	32°
7	1986	抚松	3.7	55°
8	1989	双阳	3.9	313°
9	1990	磐石	3.9	328°

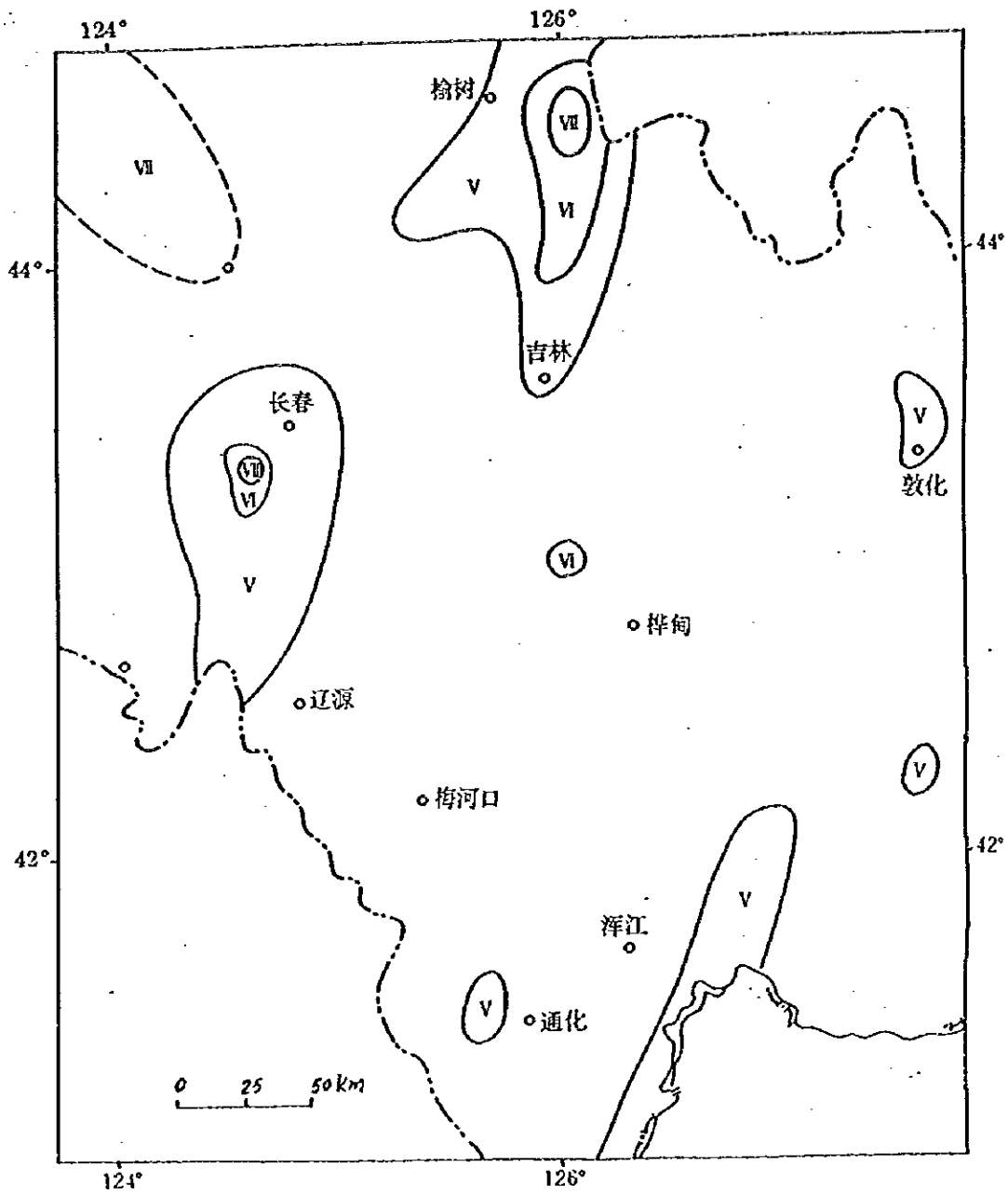


图1-23 区域地震综合等震线图

表1-4 吉林省震源机制解及小震综合断层面解

时间	地点	震级	A 节面			B 节面			P轴		T轴		备注
			走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	倾角	方位	倾角	
1966	怀德	5.2	42°	NT	64°	143°	NE	69°	271.5°	3°	3.5°	34.5°	抚松地震算出的结果不可靠仅供参考
1990	磐石	3.9	42°	NW	70°	146°	NE	55°	93°	10°	359°	41°	
1991	桦甸	3.1	70°	SE	50°	174°	SE	69°	12°	10°	218°	44°	
1993	柳河	3.7	26°	SE	70°	108°	NE	70°	67°	28°	152°	3°	
1994	浑江	4.2	36°	NW	80°	129°	NE	80°	352°	15°	82°	1°	
1986	抚松	3.8	36°	NW	67°	101°	NE	40°	150°	16°	259°	50°	
1973-77	吉林中东部	<3.0	40°			154°	SE		97°		7°		
1972-81	吉林东部	<3.4	42°			313°			86°		356°		

1.6.2. 地震构造

区域内 $4\frac{3}{4}$ 级以上的破坏性浅源地震只有6次，最大震级5.2级，根据已有资料分析，认为这些破坏性地震与以下构造条件有关。

1.6.2.1. 区域断块边界

区域内最明显的断块边界是松辽盆地东缘断裂，该断裂以西为松辽拗陷，东部为张广才岭隆起，地貌上表现为丘陵与平原的分界线，在这个升降差异明显的边界上，发生过5.2级地震。

1.6.2.2. 构造块体内的裂谷带

区域内最明显的裂谷带是依兰-伊通断裂带和敦化-密山断裂带，这两个裂谷带在地貌上表现为谷地，历史上分别有过5.0级和 $4\frac{3}{4}$ 级地震发生。

1.6.2.3. 晚更新世以来的活动断裂

鸭绿江断裂主要在中更新世活动，但在集安附近有晚更新世活动的段落，历史上在集安发生过1次5.0级和10多次4级地震。

1.6.2.5. 地震构造的分析

地震构造是指与孕育和发生破坏性地震有关的背景构造，根据本区的地震地质条件，可以确定以下断裂为区域地震构造。

(1) 松辽盆地东缘断裂范家屯-长春段

构造上位于西部沉降区与东部隆起的交界线上，在新立城水库西岸龙扒山，发现中更新世地层中有错动面，沿断裂多处有第三纪火山，航磁图上表现为沿断裂有线状异常带分布，现今有地震活动，最大震级5.2级。

(2) 依兰 - 伊通断裂的伊通 - 舒兰段。

该断裂表现为长条形裂谷, 控制了自白垩系以来的沉积, 厚度达几km, 另外, 对第三纪和第四纪早更新世的火山活动也有控制作用, 布格重力异常图上, 表现为一条负异常带, 航磁图显示出一条正磁异常带与一条负磁异常带平行展布, 现代地震活动明显, 伊通 - 双阳, 缸窑 - 大口钦为两个小震活动的复杂地段, 最大震级5.0级。该断裂往北东延伸在榆树一带发生的地震为5.8级。

(3) 敦化 - 密山断裂二道甸子 - 大勃吉段

为狭长的裂谷型槽地, 中、新生代时期有明显的活动, 对新生代火山活动有明显的控制作用, 仅第四纪就有多期玄武岩喷溢, 该断裂在深部有明显的反映, 根据重、磁资料推测, 莫氏面被错开, 断距1.2-2.0km, 近期小震活动频繁, 最大震级为 $4\frac{3}{4}$ 级。

(4) 鸭绿江断裂良民甸-黄柏乡段

该断裂在松江以北形迹不清楚, 被大片玄武岩覆盖, 松江以南可以找到其构造形迹, 该断裂的西南段, 尤其在鸭绿江口附近表现有较强的活动, 在集安一带显示有明显的活动, 表现在集安附近历史上多次发生4级以上地震, 最大震级为5级, 在良民甸一带发现断裂在晚更新世时期有活动。

综上所述, 尽管区域上存在发生破坏性地震的地质构造背景, 但是, 很少有晚更新世以来的活动断裂, 第四纪断裂活动的幅度不大, 新构造运动时期, 地壳运动的主要表现形式为大面积抬升和火山活动, 所以, 就地震活动而言, 本区是一个地震活动较弱的地区。

1.7. 区域稳定性评价

1.7.1. 稳定性评价的原则和方法

区域稳定性评价是可行性研究中必不可少的内容, 也是论证工程场址上能否成立的重要依据。它要求对场址的适宜性作明确答复, 稳定性评价一般要求回答有哪些因素对场址的稳定性有影响? 在诸多影响因素中哪些是主要的? 用什么方法评价场址的稳定性? 总之, 在作稳定性评价之前, 需要明确评价的原则和方法, 下面结合红石蓄能电站的实际就上述问题作论述。

工程场址是否稳定与多种因素有关，一般说来，有地质构造，新构造运动，地球物理场与深部构造，工程地质和水文地质条件，地震、火山活动以及场地条件等，这些因素当中有全局性的，也有局部的。由于工程性质不同，评价尺度也有所差别。例如，核电站场址不准许有10万年以来有活动的断裂存在，而对一般的电站，只要不是全新世活动断裂，场址就可以成立。所以，诸多因素中，哪一个或几个因素重要完全取决于工程的性质和场址所在的具体环境，就红石蓄能电站而言，我们首先按区域，近区域和场址区三种范围对可能影响场址的稳定性因素作分析，然后按实际情况选出主要的因素，研究它们对场址的影响。

从区域性的资料分析，活动断裂、深部构造、地震、新构造运动幅度和火山等都可以对场址的稳定性产生影响，因此，在区域稳定性评价中对各个影响因素作了分析。从近区域的资料来看，断裂的活动性和火山活动与场址的关系似乎更为密切，于是对这两种因素作了重点讨论，由于场址处在较为特殊的地貌部位，泥石流、滑坡和崩塌等灾害有可能成为一种不稳定因素，在评价场址稳定性时，侧重对上述因素的影响作了分析，因此，稳定性评价首先遵循了评价因子由多到少，由一般到特殊的原则。

对于不同的因素采用不同的评价指标和方法，是我们在场址稳定性评价中考虑的另一个原则，这是由评价指标的特殊性决定的。

根据我国的实际情况和研究程度，将晚更新世-全新世以来活动的断层称为活断层并认为今后仍将活动，其判别标志有：约10万年以来的年代学，地层学依据；古地震遗迹；7级以上的历史地震和地震断层；地震形变带的存在；全新世断层及相关的地貌标志；现代观测资料等，根据我们所研究区域的实际，主要选用的10万年以来的年代学、地层学依据，其它判别标志不存在或者不明显。所以，我们将年代学、地层学作主要依据的活断层，作为稳定性评价的重要标志，例如，场址区存在活断层，就认为是场址有颠覆性因素，在技术上不能成立。

对于地震危险性的评价，仍采用“历史地震重演”和“构造类比”这样两个原则，地震重演是指根据文献或仪器记录，认为过去曾发生过破坏性地震的地方，今后有可能重复发生震级相近的地震。构造类比是指地质构造条件相似

的地区，今后有可能发生震级相近的地震。这就是说，场址抗震设防标准的高低，很大程度上取决于地质构造条件和历史地震的影响。

火山灾害评价的一条基本原理也是“将古论今”、“火山灾害”是指给定地区，给定时间范围内将要受到潜在的破坏性火山作用或火山产物影响的可能性。一般说来，在火山区内的同一地区都要能受到与过去频率相同，类型相同，规模相同的未来喷发事件的影响。

我们的评价原则是，主要分析全新世火山对场址的影响，并假定同一类型的火山今后将在原地，以相同的规模重复发生，而且对场址产生同样的影响，从世界上众多的火山危害性评价工作来看，这种评价方法是适宜的。

对于白山水库诱发地震和场址区泥石流的可能性，主要采用一些带有经验性的指标，对这两种不稳定因素存在的可能性进行判别。在此基础上再进一步对灾害的规模和对场址的影响作定性或者定量评价。

由于场址位于切割较深的地区，地形复杂，地形坡度较大，存在滑坡和崩塌的可能性，于是，采用岩土工程勘察规范中的有关规定对场址的滑坡和崩塌的可能性作评价。

总之，一个工程场址的稳定性取决于多种因素，对于诸多因素的评价需要针对场地实际采用不同的方法，后面我们将按区域、近区域和场址区三个层次对场址的稳定性问题作讨论。

1.7.2. 区域稳定性评价

区域的稳定性问题可以从区域地质、深部地球物理场和地壳结构特征、构造变动强度及活动性、地震活动水平、火山活动、基底和盖层岩石性质等方面来加以论述。

从地球物理场和深部构造的资料来看，重、磁异常场等值线总体呈北东或北北东方向分布，异常值由西往东逐渐降低。重、磁场变化较为平稳，东北地区地壳总体轮廓表现为：东北地区是一个大规模上地幔隆起区，两侧为凹陷区。研究区的绝大部分在张广才岭地幔凹陷区内，地壳厚度35-40km，在红石蓄能电站附近，北东方向的莫氏面等值线由均匀分布开始“发散”，反映了上地幔形态是逐渐变缓的，区域上明显切穿岩石圈的深断裂有三条。即开原-赤峰断

裂、依兰-伊通断裂和敦化-密山断裂，这三条断裂将区域从深部分割成几个断块，由于断块间无明显的差异活动深部断裂未能改变地壳厚度平缓变化的总趋势，地壳处于较为稳定的状态。

区域地质资料确认有几条规模较大，延伸较长的断裂构造，但新的活动不明显，其最新活动时间绝大多数在中更新世，或者更早。仅在鸭绿江断裂的个别地段晚更新世有活动，全新世活动断裂仅在白头山5号碑界附近见到，该处全新世灰色粗面质浮岩中有走向 $50-60^\circ$ 的张性小断裂，长度和断距很小。区域上、晚更新世以来有活动的断裂极为少见；表明断裂新活动迹象不明显。

新第三纪以来差异升降运动虽然在区内普遍存在，但升降幅度不大，例如，东部山区的上升速率只有零点几毫米，从沉降区的下降幅度来看，松辽盆地新第三纪和第四纪的沉积总厚度只有300多m，而邻区的辽东山地同期上升速率达到 $1\text{mm}/\text{年}$ 以上，下辽河盆地在同一时期沉积厚度近2000m，两者相比较，说明本区的差异升降幅度不大，远小于辽东山地和下辽河盆地的差异运动幅度，新构造运动比较微弱。

区域的结晶基底主要是太古宇变质岩系和花岗岩类，上元古界至中生界的盖层不发育，新生界盖层的产状平缓，表明区域长期上升，自喜山运动以后，区域未再经历过褶皱变动。

火山活动在区域的分布比较广泛，在东南部有最新的火山喷发，它们离工程场址较远，约140-150km，即使今后有重复喷发活动，对场址不会有影响。除离场址60km的金龙顶子火山为全新世火山以外，其它火山的活动时间都较早，而且规模都不大，不会对场址的安全构成威胁。区域内的地震活动比较微弱，没有6.0级以上地震，自有史料记载以来的近2000年间， $4\frac{3}{4}$ 级以上浅源地震总共有6次，最大震级只有5.2级。所以，从地震活动的强度和频度分析，本区是一个弱震区。

综上所述，区域地壳厚度变化平稳，深部断块间无明显的差异运动，新构造运动以升降运动为主，且差异运动幅度不大，晚更新世以来的活动断裂极为少见，地震活动水平很低，新生代盖层产状平缓，没有新的褶皱变动，火山活动虽然普遍，但最新喷发的活动火山离工程场址较远，对场址安全没有影响，从总的方面来看，尤其是从断裂的活动性和地震活动方面分析，本区的构造运动比较平静，属于稳定性较好的区域。