

广东地下热水的 水文地质特征及勘查方法

广东省地质局 编著



35
27

地 质 出 版 社

广东地下热水的 水文地质特征及勘查方法

广东省地质局 编著

地质出版社

**广东地下热水的
水文地质特征及勘查方法**

广东省地质局 编著

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂·印张：5¹/₂·插页：1个·字数：149,000

1981年6月北京第一版·1981年6月北京第一次印刷

印数1—2,000册·定价0.90元

统一书号：15038·新625

前 言

地球是一个庞大的热库，蕴藏着巨大的热能。通过火山爆发、岩层的热传导、温泉或载热地下水的运动等途径，热能源源不断地送向地表。

用地下热水发电、供热等，是利用地热能的一种形式。它不仅可节省大量的煤炭、石油等天然燃料，同时还可减少环境污染，以利于环境保护。因此，地热利用越来越为人们所重视。

广东省地热资源丰富，几乎各县都有地下热水分布。一九五八年至一九六二年，在广州三元里进行了低温热水的勘探工作。从一九六〇年底开始，在全省范围内开展了地下热水的普查工作，除南海诸岛外，至一九六五年已调查热泉 233 处。根据勘查成果，在一些地区先后修建了温泉游泳池、温泉疗养院、矿泉饮料厂及开展了地下热水的其它利用项目。一九七〇年，广东地质局水文地质二队在中国地质科学院地质力学研究所的协助下，顺利地完成了邓屋地热田高温热水的勘探任务。同年十二月十二日，在邓屋地热田修建的我国第一座地热发电试验电站，首次发电试验成功。继邓屋地热田勘探后，省水文地质二队、水文地质一队、海南队又先后在丰溪、西江、新村、东山湖等地热田进行了勘查。

本书是我省进行地下热水勘查工作的技术总结。初稿在一九七二年初即已写成，以后曾几次易稿。先后参加编写的人员有广东省地质局王金玉、朱长生、李泽贵、张伟炎、曾祥廉、张洪、任康华、任大国、胡长霄、欧阳北生以及中山大学吴长生等同志。在修改过程中，从一九七三年六月至一九七四年六月，任康华、张洪、朱长生三人曾再次去粤西、海南、粤东实地调查和搜集资料，并对书稿进行了改写。最后由任康华同志对文字部分作

了全面的修改和补充，张洪同志对图表作了全部重新编绘。在编写、修改和定稿时，得到周仁沾工程师的指导及有关地质队的大力支持，地质力学研究所的同志们也提出了宝贵的修改意见。本书虽屡经修改，限于业务水平，书中的缺点和错误，谨请读者批评指正。

目 录

第一章 广东地下热水的分布和特征	1
第一节 地下热水的分布概况	1
第二节 地质构造对地下热水的控制	2
一、构造体系对温泉分布的控制	2
(一) 东西向构造带	2
(二) 新华夏构造带	2
二、温泉分布与火成岩体的关系	4
三、地震和温泉的关系	6
四、地热区的地质构造特征	6
(一) 温泉往往出现于构造复合部位	6
(二) 断裂构造对地下热水分布情况的控制	10
第三节 地热田的温度、分布特征和对地下水位的 影响	15
一、地热田温度的垂向变化	15
(一) 渐增直线型	15
(二) 水平径流型	16
(三) 指数函数型	16
(四) 温度逆转型	17
二、地热田等温线的形态特征	18
三、地热田内温度对地下水位的影响	22
第四节 地下热水的水化学特征	24
一、地下热水的水化学分带	24
(一) 氯化钠型热水带	24
(二) 硫酸盐型热水带	26
(三) 重碳酸盐型热水带	26
(四) 含碳酸较高的矿水带	28

二、地下热水中的标性化学组分	30
(一) 部分热泉具有较高的放射性	31
(二) 热泉中可溶SiO ₂ 的含量较高	31
(三) 热泉中普遍含有较多的氟	34
三、地热田内温度与水化学成分的关系	37
第五节 热岩溶蚀、热岩蚀变和热水沉淀	41
一、热岩溶蚀	41
二、热岩蚀变	44
(一) 绿泥石化	44
(二) 高岭土化	44
(三) 长石红化	45
三、热水沉淀	45
第六节 地下热水的动态特征	46
第二章 地下热水的勘查方法	52
第一节 地下热水的水文地质普查	52
一、如何寻找地下热水	52
(一) 查阅历史文献	53
(二) 调查地表地热异常现象	53
(三) 发动群众报“热”找“热”	53
(四) 开展测温普查	53
(五) 进行水化学调查	55
(六) 对地热地质的研究	57
二、如何选择地热勘探区	58
(一) 以利用热能为主要目的的地热勘探基地的选择 原则	58
(二) 以医疗为主要目的的地下热水勘探基地的选择 原则	60
第二节 地热田的勘探研究方法	60
一、对地热田地质构造的研究	61
二、对地热田温度异常的研究	64
(一) 测温勘探	64
(二) 地温异常的综合研究方法	68

三、地热区水文地球化学的研究	71
四、电法勘探圈定地热异常	74
(一) 地热电法勘探的物性	74
(二) 工作方法	76
(三) 电测成果的解释推断	76
五、地热田水文地质钻探工程的部署	85
(一) 水文地质钻孔的布置原则	86
(二) 水文地质勘探的网度	86
(三) 勘探钻孔的施工顺序	87
(四) 抽水试验工程的布置	87
(五) 勘探钻孔的深度	88
(六) 长期观测孔的布置	88
六、地下热水的钻探工作	89
(一) 热水勘探中需要解决的问题	89
(二) 地下热水钻探施工中的几项具体措施	89
(三) 辅助措施及其它	93
七、地热田钻孔简易水文地质观测	94
(一) 孔温观测	95
(二) 钻孔水位及孔口水压观测	106
(三) 钻孔岩心编录	108
八、热水钻孔的抽水试验	109
(一) 各观测孔的孔温观测	110
(二) 主孔热效应水位的观测和折算	111
(三) 抽水试验稳定要求的讨论	111
(四) 关于地热田抽水试验的水位降深	113
(五) 关于地下热水抽水试验的工具和抽水试验钻孔 的口径	113
(六) 关于热水钻孔抽水试验的资料整理与综合研究	116
九、关于地热田灌-抽水试验的讨论	121
(一) 丰溪地热田灌-抽水(自流)试验概况	121
(二) 对今后灌-抽水试验的一些想法	124
第三章 地下热水的储量评价	127

第一节 地下热水的水动力特征	127
一、地下热水的运动状态	127
二、地下热水的“弹性”驱动	129
三、地下热水的温度、粘滞系数与渗透系数的关系	131
第二节 计算参数的确定	132
一、水位（水压）的确定	133
（一）折算水柱压力法	135
（二）实测热效应静水位法	136
（三）推算热效应静水位法	136
二、渗透系数 K 值的计算	139
第三节 地下热水动储量的评价	140
一、“断面”法	143
二、“分层断面”法	143
（一）计算原理及公式	144
（二）折算压力时温度的推算	145
第四节 地下热水的合理开采问题	147
一、地下热水开采储量的评价	147
二、地下热水开采井的布置	148
三、地热田强化采热	150
（一）深孔爆破	151
（二）热岩冷爆法	151
第四章 热矿水的综合利用	152
一、热水发电	152
（一）降压扩容地热发电	152
（二）中间介质地热发电	154
（三）热水发电的设计、施工对勘探工作的要求	155
二、保健医疗	157
（一）放射性氡泉	157
（二）碳酸泉	158
（三）氯化钠泉（食盐泉）	159
三、热供水	160
四、农田灌溉	161

五、热水养鱼	162
(一) 对水温的要求	162
(二) 对水质的要求	162
六、提取化工原料	163
七、预测地震	163
附表 水的密度及单位重量的体积表	165

第一章 广东地下热水的分布和特征

第一节 地下热水的分布概况

根据一九六〇年以来的调查,广东省已发现热泉233处(南海诸岛尚未调查),几乎散布于全省各县。热泉在地理上的分布,大体看来,一是循东南沿海地区,近北东—南西向展布,二是沿南岭山脉,近东—西向展布。

广东省热泉温度以40—60℃的中温热泉居多,占热泉总数的50%;高于60℃的高温热泉次之,占热泉总数的35%;低于40℃的低温热泉较少,占热泉总数的14%(图1—1)。

热泉的温度大体是东南近海地区高,粤西北山区低。80℃以上的高温热泉多分布于龙川至电白一线的东南地区。粤西北山区,除个别热泉达80℃外,一般多在40—60℃之间。

地下热水的水质,除东南沿海的一些热泉为矿化度达1—9克/升的氯化钠型水及粤北山区局部地段为矿化度高于1克/升的硫酸盐型水外,其余均为矿化度低于1克/升的重碳酸盐型水。据部分地区热泉中氧含量的测定资料,大于110埃曼有显著疗效的放射性

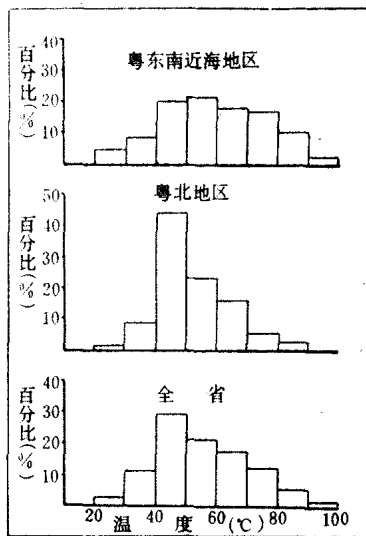


图 1—1 热泉温度频率分布图

泉有八处。此外，在龙川黎咀、河源蓝口沸湖、化州宝圩等地还发现含游离二氧化碳大于250毫克/升、可供医疗用的碳酸泉。这些具医疗价值的热泉，多分布在东南近海大断裂通过的花岗岩地区。

近些年来，已选择了邓屋等五个高温地下热水出露区进行了勘探，分别获得了高温自流水。此外，在东西向沉降带的海陆交替相的第三纪中新世至第四纪沉积层中，亦普遍赋存有30—50℃水质属重碳酸钙型的低矿化地下热水。

第二节 地质构造对地下热水的控制

一、构造体系对热泉分布的控制

广东地质构造复杂，综合已有资料，大致可划分为东西向、南北向、新华夏、华夏系或华夏式及山字型等构造体系。其中东西向及新华夏构造体系对地下热水分布的控制最为显著。

(一) 东西向构造带

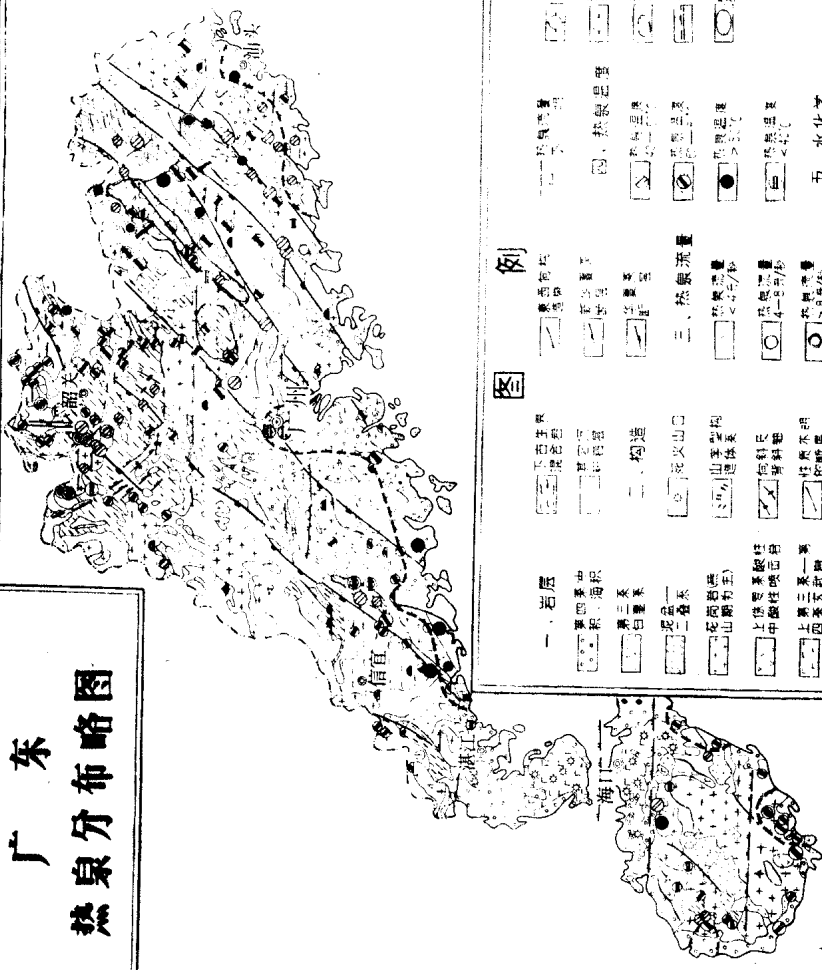
东西向构造带，主要见于广东北部及海南岛南部。前者位于河源、佛岗、四会、广宁及其以北的地区。热泉主要沿横贯东西的九峰、大东山—贵东—九连山、广宁—佛岗—河源等三个花岗岩的内外接触带分布（图1—2）。后者位于海南岛南部崖县一带，花岗岩体大致呈东西向展布，热泉主要分布在花岗岩中。

据粤北沿东西向构造分布的热泉统计，泉水平均温度为51.8℃，其中以40—60℃的热泉最多，占全区67.1%（图1—1），超过70℃的甚少，如九连南湖、龙门热水锅、澄江暖水、乌石下热泉、椰木桥、汤塘热泉等。但以澄江暖水热泉的温度为最高，达84℃。

(二) 新华夏构造带

新华夏构造在广东各地都有表现，而在和平、广州、肇庆、吴川一线东南的近海地区则更为突出，主要表现为一组规模巨大

广东 热泉分布略图



图例

一、岩层	二、构造	三、热泉流量	四、热泉温度	五、水化学
第四系冲积层、海积层	断裂带	热泉流量 > 500升/分	热泉温度 > 40℃	硫酸盐型
第三系	褶皱带	热泉流量 100-500升/分	热泉温度 30-40℃	氯化物型
白垩系	火山口	热泉流量 50-100升/分	热泉温度 20-30℃	硫酸盐型
二叠系	山字型构造	热泉流量 10-50升/分	热泉温度 10-20℃	硫酸盐型
石炭系	断裂带	热泉流量 1-10升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
三叠系	褶皱带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
泥盆系	断裂带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
石炭系	褶皱带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
二叠系	断裂带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
三叠系	褶皱带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
侏罗系	断裂带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
白垩系	褶皱带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
第三系	断裂带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
第四系	褶皱带	热泉流量 < 1升/分	热泉温度 < 10℃	硫酸盐型
热泉流量 > 500升/分	热泉流量 100-500升/分	热泉流量 50-100升/分	热泉流量 10-50升/分	热泉流量 < 10升/分
热泉温度 > 40℃	热泉温度 30-40℃	热泉温度 20-30℃	热泉温度 10-20℃	热泉温度 < 10℃
硫酸盐型	氯化物型	硫酸盐型	硫酸盐型	硫酸盐型

图 1-2 广东热泉分布略图

的北东向压扭性断裂和酸性岩浆的侵入和喷出，并控制了地下热泉的分布，见表 1—1，图 1—2。

与新华夏系主要断裂有关的热泉统计 表 1—1

断裂名称	热泉数	重要热泉地点
海丰—大浦	2	邓屋、丰溪、揭西县河婆汤浦
深圳—五华	3	五华县水寨、惠阳县汤仔
惠阳—紫金	7	博罗县热水宫、河源县黄村红十月
东江	11	龙川县黎咀、河源县热水、河源县沸湖
广州—从化	7	广州市三元里、从化县温泉
春湾—织篁	4	阳春县河西沙田、阳春县春湾拱桥头、阳江县儒洞福建村
吴川—四会	7	电白县观珠、阳春县圭岗热水
廉江	4	信宜县西江、化州市宝圩西

从这个地区热泉的分布情况来看，约在北纬 $23^{\circ}30'$ 以北，即粤北三个花岗岩带向东延伸的地区，热泉分布特别密集。这一现象说明这里热泉的分布不仅主要受新华夏系断裂带的控制，而且还可能与南岭东西向构造带有一定的内在联系。

东南近海地区受新华夏系断裂带控制的热泉，除沿东江断裂分布的九个含游离二氧化碳较高的热泉温度较低外，其它一些热泉往往具有较高的温度和较大的流量。此地区的热泉平均温度为 58.9°C ，较之粤北东西向构造带的热泉平均温度 (51.8°C) 高 7.1°C 。其中 $60-80^{\circ}\text{C}$ 的热泉占 35.1% ，高于 80°C 的占 10% (新洲热泉温度达 97°C)，低于 60°C 的热泉，占 54.9% ，较之粤北地区少，而高于 60°C 的热泉，较之粤北为多。

此外，在粤北受东西向断裂控制的热泉，流量几乎都小于 5 升/秒，而东南近海地区受新华夏断裂控制的热泉流量多大于 5 升/秒，丰溪、五经富、河田、九和、温泉市等热泉的流量则在 8 升/秒以上。

二、热泉分布与火成岩体的关系

广东省火成岩分布广泛，主要是花岗岩类。全省共有大小花

岗岩体 500 个以上，且多为复式岩体。其次是流纹岩、凝灰岩、英安斑岩及玄武岩等。在火成岩中出露的热泉，主要是沿花岗岩体的边缘地带出露，在其它火成岩中出露很少。

粤北南岭东西构造带的三个花岗岩带中，热泉出露有如下四种情况：

1. 热泉出露于岩体和沉积岩的直接接触界线上的断裂构造中。如大东山岩体周围的乳源县汤盆水热泉、连县星子上田热泉等。

2. 热泉出露于花岗岩体边缘的内、外接触带的断裂构造中。如大东山岩体的阳山县称架热泉、乳源县车干水热泉等。

3. 热泉出露于花岗岩体外接触带沉积岩中的断裂构造中。如大东山岩体的乳源县榔木桥热泉、曲江县樟市中心坝热泉等。

4. 个别热泉出露于火成岩体内的断裂带中。如大东山岩体的乳源县江湾热泉、九峰山岩体的陈欧热泉等。

由于火成岩的分布是受构造控制的，因而热泉出露与火成岩分布之间的密切关系，也是热泉分布受构造控制的一种表现。

如果按岩浆活动的时期来分，广东省的火成岩可大致划分为呈北东走向、大体平行的三个带。第一带是电白、阳春、广州、河源、龙川一线以东的地区，岩浆活动以燕山晚期花岗岩及燕山中晚期喷出岩为主。第二带是廉江、罗定、连山一线以东，第一带以西的地区，以印支期及燕山早—中期岩浆活动为主。第三带是廉江、罗定、连山一线以西地区，以印支、海西、加里东期及燕山早期的岩浆活动为主。总的看来，广东火成岩的分布，从西北到东南，时代是越来越新的。上述各带热泉温度的情况如下：

第一带，出露的热泉中，温度在 $60-80^{\circ}\text{C}$ 者占本带热泉的 38.8%，高于 80°C 者占 11.2%；

第二带，出露的热泉中，温度高于 60°C 者（包括高于 80°C 的）仅占本带热泉的 23.1%；

第三带，共出露热泉 7 处，其中高于 60°C 的 2 处，没有高于 80°C 的热泉。

以上统计可以看出,由西北到东南,火成岩的时代越新,热泉的温度越高,高于 80°C 的热泉也越多。

三、地震和热泉的关系

东南近海地区的新华夏断裂带,为近代地震较为频繁活动的地带。在地震强烈活动区,往往有高温热泉分布。如东山湖热泉、新洲热泉、红十月热泉等,都是六级地震震中地区。此外,据观测表明1972年3月30日在信宜附近发生一次三级构造地震,使西江热水钻孔孔底温度增高 4°C 。

四、地热区的地质构造特征

(一) 热泉往往出现于构造复合部位

广东各地热异常区,多赋存在北东向新华夏断裂和北西向、东西向压扭性断裂的复合地段,或压扭性断裂与其派生的张扭断裂的复合地段。在断裂构造复合地段,构造形迹错综复杂。早期的断裂因受后期构造运动而再次活动,以致原有的压扭断裂又具张扭性特征,或原有压性构造派生的张扭断裂又具有压扭性的特征。在构造复合地段,岩层断裂破碎十分强烈,从而有可能使地球深部的岩浆入侵,将热量向上传输,形成地热异常区(这种具有热异场的构造,以下简称为储热构造或储热断裂构造)。

例如,粤东的邓屋一窑前坝地热区,即位于北东向毛岭断裂(F1)与北西向压扭性断裂(F2)及东西向压性断裂的复合地段。F1走向 40° 左右,倾向南东,倾角 60° 左右。断裂北侧主要为上侏罗统兜岭群下段下部(J_3dl^{a-1})的流纹岩夹砂页岩、凝灰岩,以及下段上部(J_3dl^{a-2})的凝灰岩、凝灰质角砾熔岩间夹流纹岩等;南侧主要为晚侏罗世的中粒黑云母斑状花岗岩($\gamma_2^{(2)}$)和细粒花岗岩($\gamma_2^{(3)}$)等(图1—3)。断裂带上岩石受强烈挤压而糜棱岩化,并有石英脉贯入,形成几米、几十米以至上百米的硅质构造岩。F2为F1错开,它在F1以北的那段,走向 $330-340^{\circ}$,倾向北东,倾角 $70-80^{\circ}$,由于受后期的新华夏系横张力的作用,

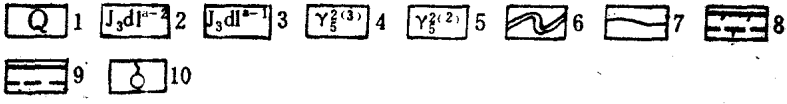
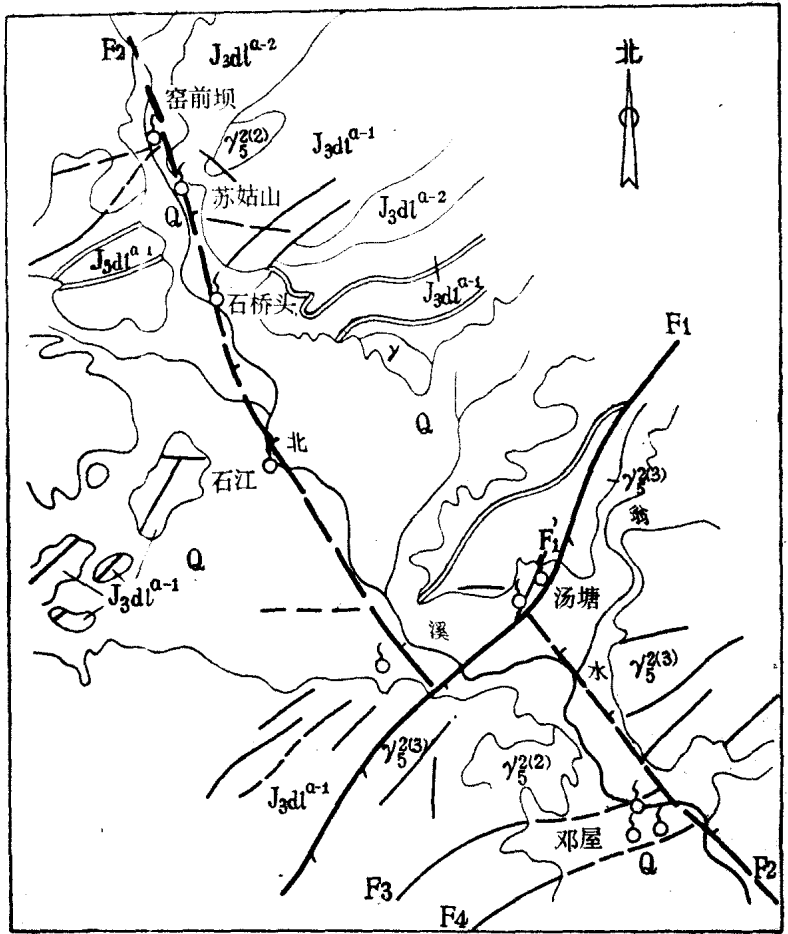


图 1—3 邓屋—窑前坝地区地质图

1—第四系；2—上侏罗统下段上部；3—上侏罗统下段下部；4—细粒花岗岩；
 5—中粒黑云母斑状花岗岩；6—砂页岩；7—地质界线；8—压扭性断裂及张
 扭性断裂；9—性质不明及推测断层；10—热泉；F1—毛岭断裂；F2—汾水—
 苏姑山断裂；F3—上长坑—邓屋断裂；F4—八角塘断裂