

中国地质科学院研究报告 0056

西藏羊八井 地热资源评价

水文地质工程地质研究所

1984 年

前 言

西藏是我国地热活动最强烈的地热带之一，地热资源相当丰富，但是以往的研究程度比较差。开展羊八井高温地热田的研究，不仅具有现实意义，而且具有理论意义。

西藏的能源十分缺乏，拉萨地区工业和民用供电紧张，自治区党委迫切要求开发羊八井地热资源，以解决拉萨的电力需要。

国家科委和地质矿产部决定对羊八井地热田进行地质勘探和开发利用。地质矿产部下达我所的主要科研任务，其内容是：地热田地质条件，流体地球化学特征及地热资源评价。

我所自1976年开始对羊八井地热田进行研究，至1979年按地质矿产部下达的任务计划而结束野外地质调查工作，自1980年进入室内试验和总结阶段。

本研究项目由水文地球化学研究室地热研究组承担。专题组长安可士、付组长姚足金。研究内容分工及主要作者，地热地质部份：姚足金；水文地球化学部份：安可士、张锡根；资源评价部份：郑灼华。参加本专题工作的还有：烟献军，主要完成泉华包体研究，编写了该部份报告；胡循森，参加了1976年科研工作，并撰写了有关汽化面位置方面的报告；何世春，参加了1978年野外地质调查，并参加了阶段报告的编写；王晋强、周世杰、赵梅英参加了野外化学分析工作。

本项目先后提交了如下研究成果：

- 1、1976年与西藏地热队共同编写了羊八井地热田地热勘探总体设计；
- 2、1976年与西藏地热队共同编写了年度地质报告；
- 3、1978年提交了《西藏羊八井地热资源初步评价》阶段性研究报告；
- 4、1978年提交了《羊八井地热田浅层热储流体物理状态和汽化面位置的推断分析》研究报告；
- 5、1980年与西藏地热队共同编写了《羊八井地热田浅层热储流体资源初步评价》研究报告；
- 6、1982年提交了《西藏羊八井地热资源评价》最终研究报告。

本报告着重对我所承担的三个方面的内容进行了总结。由于羊八井地热田的勘探工作尚在进行中，1979年以后的地质勘探资料、实验数据等未能全部取得；野外工作期间的井孔水文地质试验、井下采样等工作，因条件所限未能全部进行，一些参数无法取得；同时，野外采集的一些外检样品分析结果，至今尚未获得。这些情况对地热田有关内容的深入分析和资源评价等工作带来一定困难。因此，研究报告中的一些认识有待今后进一步充实和深化。

野外工作期间，得到西藏地质矿产局及地热地质大队、物探队、西藏地热工程处等单位大力支持与协作，在此一并致谢。

第一章 羊八井热田地质特征

我们在自己进行的比较广泛的野外地质测绘基础上,应用西藏地质局的物探、测井、钻探资料,和我所的岩矿、孢粉、水分析、同位素分析成果,借鉴国外某些理论和实验成果来进行地地热地质问题的探讨。有关羊八井热田近期和远期开发中的一些重大和基本的地热地质问题,有些是勘探初期就存在争论而至今没有解决,或者说没有可信解释,我们注意结合这些问题提出自己的认识。

本章对热田所处的区域地质背景提出了“裂谷”的认识,比较详细地研究了羊八井正在开采的浅层热储的第四纪地层和热田构造;对井温资料进行了比较全面合理的地质解释,比较详细地研究了热储重矿物蚀变地球化学特征、硅化现象以及热储中硅石层的产状;最后概括出热田“自由对流”传热机制的地质模型。该模型能比较合理地解释勘探开发中出现的许多问题,也能对热田进一步勘探和开发方面的问题,作出某种预测。

有关孢粉鉴定统计是由王丽娟同志完成,矿物鉴定,统计是由张玉芳同志完成。

一、热田区域地质

如果以地表水系作标志,羊八井盆地范围,北起青藏公路153道班拿多拉,南到吉达果,谷地面积约600平方公里(图1—1)。

热田附近的念青唐古拉山,在构造上是一比较平缓的背斜,主体是由前泥盆系(?)组成,主要为花岗片麻岩系,野外观察表明是属副片麻岩,下部为粗粒斑晶,向上变细、黑色矿物增多,是本区出露的最老地层。根据中科院在当雄采得的花岗片麻岩标本,同位素变质作用年龄值为22.1百万年。山脉两侧均为断陷盆地,西北侧为纳木湖断陷湖盆,东南侧为一总方向东北的锯齿状盆地。羊八井盆地边缘出露石炭—二叠纪黑色板岩、灰色变质粉砂岩、片岩、结晶灰岩等,这套浅变质岩系之上,不整合覆盖了白垩系。下白垩统为砂岩、粉砂岩、泥灰岩等,主要在盆地以外出露,上白垩统为陆相火山碎屑建造,包括安山粉岩、流纹斑岩、凝灰岩及砂、砾岩等在盆地内广泛出露。热田附近主要为英安质和流纹质熔结凝灰岩,含大量浆屑,大部分岩石都已脱玻化。

盆地东北端,扎嘎—拿多拉一带,出露一套火山岩系,上部为二层各厚10多米的紫灰色含白色斜长石斑晶的安山岩,上层安山岩,斑晶为长柱体沿流面成排定向排列;下层安山岩,斑晶为球粒状,直径约一公分,该两层之间及其下,均为紫灰色凝灰岩和红色陆源砂岩等碎屑岩,总厚度约130米。这套火山岩系覆盖在各种老地层之上,其上无其它地层堆积,本身无蚀变、硅化现象,能见到规模较小的断裂变位,从拿多拉到扎嘎西南,水平距离七公里,安山岩分布高程高差230米,这样大的高差,除了原生地形引起之外,还可能包括了成岩后的断距。我们根据这套火山岩系分布位置较集中而自成单元,

岩性、产状层位反映出的时代较新，把它从白垩—第三系中划分出来，定为第三系。

羊八井地区其它岩浆岩主要是花岗岩岩株，出露在盆地两侧，据热田附近雪古拉岩体同位素年龄值为37百万年，羊八井岩体为61—68百万年，我们分别定属喜山晚期（ γ^2 ）和喜山早期（ γ^1 ）。喜山分期，除了同位素年龄测定依据外，还有地质产状上的考虑。在盆地南部的查不龙，我们见到雪古拉花岗岩侵入白垩系紫灰色火山碎屑岩中，两侧并见接触变质绿岩化现象，分别宽达10米和30米，花岗岩为伟晶结构，受后期变动，中心部分已成白色糜棱岩，一侧已成糜棱片岩，有 $NE60^\circ S \angle 46^\circ$ 的劈理发育，附近不远地形上为一走向近南北、高差30多米、延续数公里的白垩系基岩组成的断层高台。考虑到本区花岗岩体同位素年龄值很小，不大能想像其上有过巨厚的地层覆盖，而这些地层已都在短短的地质时期中被剥蚀殆尽，结合其与白垩—第三纪火山岩的产状关系，我们提出本区花岗岩，是否有可能属于与火山岩同源异相的次火山花岗岩？花岗岩体有岩相变化，我们在嘎日桥北、念青唐古拉山麓尼弄，高程4900米处见到上部颗粒较细，并见与几十米厚的灰黑色角闪岩相接，角闪岩的上、下均为断层，确切厚度不详。热田20号孔4190米高程打到的闪长岩类，很可能属于该层位。

整个盆地从走向上可分二段，拿多拉到嘎日桥为北东向，嘎日桥往南为南北向。“北东段”发育在相对为老的地层中，西侧为前泥盆系（？）、东侧为石炭—二叠系；“南北段”则主要为时代较新的白垩系，岩浆岩时代也是同样情况，前者属喜山早期，后者属喜山晚期。从区域构造上说，盆地“北东段”发育在念青唐古拉—冈底斯构造系统，“南北段”发育在东西向展布的雅鲁藏布江构造系统。

纵贯盆地的断裂主要有三条：构成盆地西缘的念青唐古拉山麓大断裂，大致在盆地中部的中尼公路断裂及构成盆地东缘的马如果—挡果果断裂。其中以念青唐古拉山麓大断裂规模最大，在盆地西北缘山麓可以见到宽达500—2000米的构造破碎带和硅质岩带，由于构造变动剧烈和硅质交代彻底，原岩都已不能辨认，沿该断裂带多处能见到规模较小的、正在活动的硫质喷气孔和叶腊石等蚀变矿物。该断裂带在嘎日桥西，与另一区域性北北西向断裂相接，后者在中尼公路39公里处我们见到发育在雪古拉花岗岩体中，断裂带宽达140米，全部糜棱岩化，能见到成群的上冲扭裂面，产状 $NW300^\circ$ 向北倾，它构成盆地“南北段”的西缘，沿该北北西向断裂，虽有二处温度较高的温泉（吉达果和将应乡）出露，但从地面露头观察，构造变动规模相对较前者为弱。盆地中部的“中尼公路断裂”，被第四系覆盖，主要是按重、磁、电法资料和地面蚀变确定的，我们认为很难肯定它是连续的断裂线，而很可能是若干个破裂点。马如果—挡果果断裂，在地面、航片、重、磁场上都有显示，沿整个盆地能断续追索，连贯性较差，值得注意的是沿该断裂带，地面不见任何地热显示。

念青唐古拉山延伸数百公里，主脊线在当雄—羊八井以西，沿山脉东麓有一系列沸泉出露，从北往南：位于盆地外的谷露、郭尼、曲尊和位于盆地内的羊八井、嘎日桥、羊应乡，以及盆地外的尼木、郭郁直到雅鲁藏布江边的谢通门。这条山系在地质单元上是藏北地块与藏南的分界线，新生代地质上也是一条重要界线，其北，陆相第三系在高原面上广泛出露。可以设想，念青唐古拉山麓大断裂是一条长期活动的深断裂。为了进一步阐明羊八井盆地在地壳结构上的特点，下面引用一项地球物理研究成果。

1977年,中科院青藏高原科学考察队曾用湖中水下爆炸地震法,研究当雄—亚东的地壳和上地幔结构,得出各层速度分布剖面(图1—2A)。

从图中可看出莫霍面以上的低速层在高原上普遍存在,在藏北,低速层顶部埋深42—46公里,厚度约10公里,值得注意的是羊八井下面埋深最浅,向北则稍深,向南则很快变深,换言之,地壳中的低速层在羊八井地区出现向上隆起。低速层可视为地壳物质的部分熔融态,因此我们认为,念青唐古拉山麓的构造变动和地热异常,其形成的原因在于下地壳熔融物质的运动,可以设想,会有一些岩浆囊另星分布在羊八井地壳更浅些的部位。中法合作队进行的磁大地电流测深成果发现,在羊八井一曲水一带有二个低阻层,第一个低阻层埋深6—7公里以下,分布局限,在羊八井—拉萨之间地区,电阻率为1欧,温度相当于600°C,南北向各向异性较大,第二个低阻层分布较宽,在羊八井一曲水一带埋深20—35公里以下,其顶部呈锅底形,下限尚不清楚,电阻率1—10欧姆,温度可能达到1000—1200°C,这个低阻层可能是地壳内部局部重熔的岩浆所引起的。

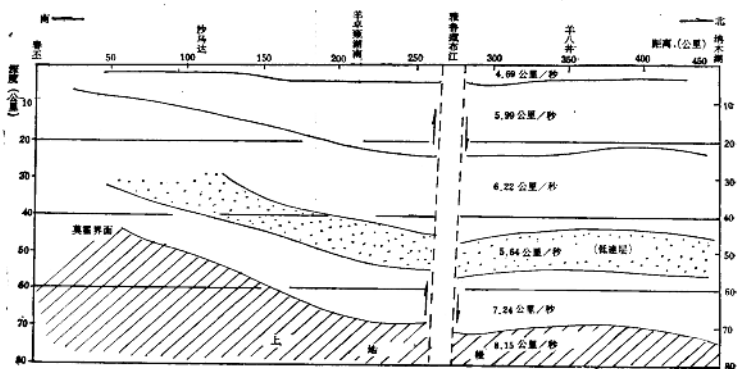


图1—2A 羊八井盆地地壳结构剖面

(据中科院地球物理所1981)

羊八井地区地貌形态与地质构造形态十分协调,除了盆地走向与区域构造线相符外,谷地两侧基岩山体,凸凹轮廓遥相对应,基本吻合。(图1—2B)根据地震震源机制分析,本区现代构造应力场为南北向压应力,念青唐古拉山麓大断裂为北东向左旋大断层。我们提出,羊八井盆地是南北向压应力作用下,沿剪力面位置出现引张应力形成的锯齿形裂谷;裂谷的深度很大,与下地壳的热状态有成因联系。

我们在盆地两侧边缘,从东北端开始到硫磺矿、王日错、中尼公路40公里山口等地,在基岩山体与第四系盆地交界部位上,断断续续见到许多上盘向盆地内下滑的张性断裂,但在盆地两侧的基岩山体中,却见到许多挤压性结构面:如羊八井转运站后沟,糜棱化花岗岩带宽达百米,上面提到的嘎日桥西中尼公路39公里的糜棱岩带,可能还应包

括念青唐古拉山前压溶性硅化带和白穷压溶性硅化带。这种“外紧内松”现象，正是张性裂谷的力学机制所决定的：两侧出现挤压，中心部位发生张断和低序次陷落。念青唐古拉山体高程大致为5500—6000米以上，而盆地高程大致为4300米，几公里水平距离内，高差达1公里以上，可以看出张扭性应力作用的同时，有急剧的垂向位移。

羊八井热田不是位于一般地堑盆地中，而是位于受深断裂控制、与下地壳热状态有成因联系的正在形成中的念青唐古拉裂谷中。

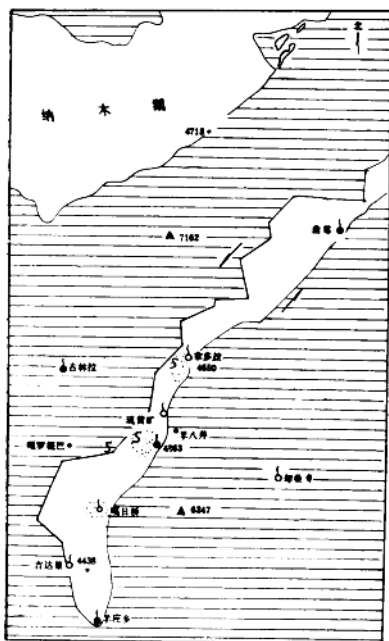
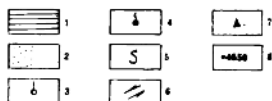


图 1—2B

羊八井盆地裂谷形态

1. 基岩山体；
2. 热点（？）
3. 温泉40—80°C；
4. 温泉>80°C；
5. 自然硫；
6. 张扭应力；
7. 山峰；
8. 高程。



二、热田地层和构造

到目前为止,羊八井热田开采的是赋存在第四系松散地层中的热流体,不言而喻,这些流体都是出自下伏基岩的构造裂隙,因此研究热田基底,以及其上的这套松散沉积的地层等问题,不仅仅是项基础性工作,同时亦是直接关系到热田开发效果的具体任务。

以往有几份报告涉及羊八井盆地第四纪地质,有的用流水沉积系列(冲积、洪积)来认识和划分这套松散沉积,相应地划分出若干级河流阶地,认为电站、生产井位于几级阶地之上等等;有的把硫磺矿水热蚀变岩性认作火山凝灰结构等。我们从研究热田地层结构和形成历史出发,对盆地第四系进行了比较广泛的地面测绘,找出了一些有意义的地质现象,并发现一处新石器时代古人类活动遗迹(图1—3)。我们在孢粉和岩性地层基础上,初步建立了一个地区标准的第四纪地层剖面,把第四纪地层落实到一个比较有根据的基础上,从而有可能对比热田地层、推测热田和盆地的形成历史以及对诸如热田基底是什么地层?硫磺矿区下面基岩可能的埋深等有很大生产意义的具体问题作出探索。

盆地中的第四系,主要为冰碛和冰水成因系列。在山麓能见到多层叠置洪积扇,在谷地为由冰水砂砾组成的平原和若干零星散布的冰碛砾石台地。台地一般高8米,现在的地热电厂和大部分生产井就位于这种冰碛台地上。藏布曲*河的时代很新,流水堆积仅限于河床两侧。流经羊八井区的雪古曲,由于地形条件适宜,发育了规模较大、形态完整的冲积锥,横拱在热田东北。盆地中的第四系厚度一般为300米,在山麓边缘不足200米,热田外圈的军马场一带,据物探资料推测最厚可达500多米。盆地基底地层,我们曾根据地面地质和少数岩屑录井资料预测:除了藏布曲附近可能会遇到一些附近地面已经出露的白垩纪火山岩地层外,盆地基底主要是由花岗岩构成。

由于露头条件限制,我们分别在三个地点取孢粉样进行古气候地层研究,综合成一个比较完整的第四系剖面(图1—4)。下面分层叙述其岩性和孢粉组成。

1、吉达果(下更新世)冰期 (Q_2^1)

吉达果之东,特穷乡一沟中,出露一套厚约200米的砂砾层,在其下为厚数十米的灰白色轻度成岩的粘土岩,粘土岩具薄层理,中夹十几层细砂、粉砂层,每层厚4—5公分,该层受过构造变动,产状为 $NE25^{\circ}S\angle 24^{\circ}$,直接覆盖在白垩纪火山岩上。我们在基岩面附近的粘土岩中取孢粉样。分析表明,它与所有其它样品不同,以乔木花粉占绝对优势,含量达总数(154粒)的83.1%,全部均为针叶树种,以云杉、冷杉和松属为主,草本花粉只占总数的12.3%,主要有禾本科,其次为藜科、蒿属和唐松草属等,蕨类只有少数水龙骨科。这样的孢粉组合反映了寒冷阴湿的自然景观,从区域对比上不可能是第三纪,宜定为早更新世冰水湖相沉积。这套地层的岩相变化和分布范围,由于工作程

*“曲”为藏语“河流”的音译,往往组合为汉语地名。

度关系,暂时我们还不清楚,不过可以肯定应有与之层位相当的大规模的冰碛泥砾堆积和覆盖其上的间冰期沉积。

2、下王日错(中更新世)冰期 (Q_2^g)

王日错地层剖面位硫磺矿西南一冰碛台地的天然陡壁上,剖面可见厚度107米,均由松散砂、砾层组成,剖面底部被最新沉积覆盖,但不远处即可追索到出露的基岩(石炭一二叠纪灰黑色板岩)。沿剖面自下而上以大致相近的间隔取孢粉样26件。

王日错剖面中更新统为青灰色砾石层,砾径大,直径大都为几十公分、分选差,砾石成分全为花岗岩和花岗片麻岩,砾石排列紧密,泥砂充填较少,砾石均已强烈风化,有的形成风化外壳,轻击即成粉末,可见厚度20多米。硫磺矿区见到本层,因后生条件不同,风化面为黄棕色,大多已遭 H_2S 等侵蚀,并在其下见到几米厚的鲜红色“粘泥包砾”,该“泥包砾”的砾石成份、大小和风化程度等与其上并无区别,鲜红色纯属赤铁矿染色所成。热田有些钻孔曾打到此层,厚度为140米。孢粉分析表明,以草原型的草本植物为主,其含量占孢粉总数的38.2—36.3%,主要有蒿属,其次有菊科、禾本科、豆科、石竹、繖形、唐松草、莎草以及其它双子叶草本,木本含量很少,仅占总数的11.8—13.3%,主要有蔷薇、虎耳草和松、栎、桦、漆树、五加、瑞香仅个别出现。沿剖面自下而上,孢粉数量逐渐减少,由180粒渐减为6—8粒。反映干凉的草原景观渐变为几乎草木不生的寒冻荒漠景观。

3、下王日错—上王日错(中更新世)间冰期 (Q_2^{fg})

王日错剖面为灰白色石英砂层,厚约15米,具层理,产状为 $NW354^{\circ}W\angle 13^{\circ}$ 硫磺矿区能见到相应沉积,为一套灰绿色具锈色斑纹及水平薄层理的砂层,厚十多米,下部夹有数层厚约20公分的红色粘土质条、块,露头中见一小断层错动。孢粉分析表明,木本占优势,为孢粉总数的63.6%,除见一粒云杉外,全部为灌木蔷薇科,草本占总数的36.4%,以石竹科为主,其次有龙胆、菊科、繖形、豆科等,为灌丛草甸植被景观,反映了气候较前转暖。

4、上王日错(上更新世)冰期 (Q_3^g)

王日错剖面为黄棕色砾石层,砾径一般为十几公分,砾间砂质充填较多,厚约30米。本层出露较广泛,地貌上常形成冰碛平台,局部受后期水系切割成孤立山丘,硫磺矿区见到本层局部砂层硅化后成坚硬砂岩。孢粉分析表明,草木占绝对优势,含量占总数的80.9—95.6%,主要有蒿属,其次有菊科、莎草、禾本、石竹、豆科、繖形、唇形、毛茛、唐松草、蓼科、荨麻、紫草、玄参、藜科、兰雪科和旱生小灌木麻黄以及双子叶草本等。木本花粉仅占4.4—17.5%,主要有松蔷薇,其次有栎、栗、桦、鹅耳枥、柏、铁杉、鼠李、瑞香、虎耳草、小蘗科等。蕨类孢子很少,只有少量的水龙骨科和紫萁等。反映干凉的草原景观。

5、上王日错(上更新世)间冰期 (Q_3^{fg})

下部为多层黄橙色砂层夹砾石,上部为青灰色砾石层,砾径大,无层理,充填少量砂质,厚45米。硫磺矿区与本层相当的为一具水平层理的黄砂层,厚20米。孢粉分析表明,木本花粉占优势,占孢粉总数的59.2%,主要为灌木蔷薇科,达木本总数的93.2%,其余为柏、松、胡桃。草本占总数的39.2%,主要为蒿属,其次为禾本、菊科等。反映

气候较前转暖。

6、全新世小冰期 (Q_2^1)

前人调查报告都认为青藏高原全新世小冰期仅发生在高山地带,冰川活动没有下降到高原面上,我们找到许多证据表明,羊八井盆地广大谷地全新世有过冰川活动,在有些泉胶砂岩上都找到惟有冰川才能解释的擦痕和磨光面,因为这问题涉及到热田地层结构和热田形成历史,我们将稍为广泛地来进行讨论。另外,有人把地热电厂和生产井所在的冰碛台地认为是藏布曲的“二级台地”,把广阔的冰水平原认为是它的“一级台地”这无论从地貌形态还是岩性结构来说,都是一种明显的误会,因为“阶地”并没有沿着河流延伸,宽度与河流规模不相称,两侧沉积物亦不具备河流相的二元结构。

藏布曲时代很新,仅形成河漫滩,谷地中广泛分布的是全新世早期的冰水沉积。在藏布曲水面附近可见一层青灰色粘土、粉土层,具水平微层理,其中夹几十厘米厚的硅藻土,该层在“热水湖”附近即相变为纯粘土。据钻探,厚度可达20多米,这是热田很重要的一层保温盖层。孢粉分析表明,草本花粉占绝对优势,含量达总数的70.4%,主要有蒿、莎草、禾木,其次有毛茛、藜科、豆科、菊科、十字花科、唐松草等。灌木花粉仅占总数的6.5%,主要有麻黄、蔷薇和鼠李等。乔木占总数的17.5%,其中以阔叶树种栎树含量较多,其次还有少量的桦、松、栗、朴、榆、桤木、云杉、铁杉、柏等,蕨类很少,有水龙骨科和三缝孢等。反映比较温和湿润的气候,由于麻黄花粉的出现,说明当时气候已有向干凉发展的趋势。硅藻土未作优势统计,但从部分硅藻生态来比较,应属全新世北方淡水小湖。

该粘土层之上,堆积了6米厚的泥砾层,顶面构成台地。砾石排列无序,能找到长轴直立的砾石。砾径一般为10公分,砾间充填砂质较多,未经胶结,应属冰碛成因。台地最上部为1.5米厚的冰水砾石层,它与下伏冰碛层以-10公分厚的微棕色古土壤相间隔,冰水层具层理,砾石成份中有粘土岩碎片、碳酸钙成分的疏松泉华块,显系冰川融化后就近搬运沉积。

盆地中部冰水平原上有零星散布的大漂砾,漂砾全为花岗岩及花岗片麻岩,我们在军马场东南见一花岗岩质漂砾,长近4米,高近2米,顶面有新鲜的带半月形压坑的刨蚀擦痕,方向为NE28°,这与藏布曲东岸山麓出露的白垩-第三纪火山岩成分的羊背石、鼓丘上所见擦痕方向完全相同,从军马场大漂砾到河东岸鼓丘,两者水平距离为七公里,中间隔着一道现在存在的藏布曲河,我们只有用全新世早期,有一条主冰川沿谷地运动才能解释,另外,军马场大漂砾顶面刨蚀擦痕的新鲜程度,也只有设想为全新世才为合理,因为我们在硫磺矿区山梁顶上见到的上更新世大漂砾,同样的岩性,但擦痕已被风化而消失。全新世小冰期冰碛砾石层在盆地有广泛分布,这可从地貌位置和岩性加以辨认,在山区它往往沿溪谷分布,台面平坦而完整。

全新世冰水沉积,岩性主要为砂及砂夹砾,具层理,在地热电厂施工基坑剖面中可见到冰冻挤压形成的表层折曲变形。热水湖与藏布曲之间地形稍高,为北东向排列的若干个砂垄分布,砂层可见厚度3米。下部砂层具明显的水成层理,胶结松散,上部1.5米为无层理的稍经胶结的黃砂,两者之间有40公分厚的褐黄色泥炭层,从分布的地貌位置和岩性来看,全属全新世冰水沉积。我们在下部砂层中找到比较精致的石器四件及许多

石片和红色夹砂粗陶碎片，据贾兰坡教授鉴定认为与中原的仰韶彩陶相当。石器为尖状器，灰色硅质岩打制成，破裂面上有半锥体，三边都有第二步加工，加工处都能看到清楚的打击点，可能是用了石器工具；其中一件破裂面左刃中部，有月牙形缺口的使用痕迹，与西藏其它地点出现的石器相比，似应为新石器时代的古人类遗迹。

在上述冰川、冰水堆积基础上，在谷地发育了现代流水堆积，山坡发育了冰缘地貌，石河、多边形土、分选砾石坡地等都能见到。由于气候转暖，全新世棕红色古风化壳（含白色硫酸盐菌丝体），在本区广泛分布，许多沟谷有较厚的泥炭堆积。流水堆积，按分布高程和形态可分出二期洪积扇和冲积扇。

为了研究第四纪地层的矿物特征，以便进行地层划分和对比，我们在作王日错孢粉样的同时，进行了重砂矿物分析。总的来说，矿物种类比较单一，共20多种。重矿物有磁铁矿、钛铁矿、角闪石、石榴石、绿帘石、褐铁矿、十字石、白钛石、磷灰石、金红石、锆石、榍石、符山石、锐钛矿、透闪石、尖晶石等，轻矿物有石英、长石、黑云母、白云母等。长英比值较高。按重矿物组合和风化特点，地层剖面自上而下可分三组：上组（ Q_3 ）磁铁矿等稳定矿物及重砂含量最高；中组（ Q_2 ）磷灰石等非稳定矿物含量较高，重砂含量中等；下组（ Q_1 ）矿物强烈风化，重砂含量最低。矿物强烈风化表现在磁铁矿几乎全部氧化为赤铁矿，角闪石颜色蓝绿、溶蚀明显，多数呈锯齿状，十字石具明显的溶蚀现象，表面粗糙，少数为蜂窝状。重砂矿物资料说明：（1）第四系沉积物具冰碛成因的特点—长英比值较高平均达138%（作为对照，我国东部河北平原更新世地层长英比为80—40）。（2）中更新统时代较老，堆积后矿物遭受过间冰期温湿气候的化学风化。（3）物质来源单一，新地层是老地层的再堆积，由于不断“淘选”致使稳定矿物、重砂含量随地层越新越高。（4）盆地的水热活动时代，从中更新世、上更新世就已存在，因为在上更新统（高程4512、4511米的二个样品）和中更新统（高程4466、4470米的二个样品）中，我们发现几粒鲜红色的雄黄（或雌黄？）矿物，结合地质环境来看，应属温泉成因，呈与沉积物同时的同生矿物。

综上所述可以看出：从孢粉分析得出的古气候变化周期，与岩性地层中通过层位、风化程度、粒度结构和颜色变化显示出的沉积周期，两者是一致的，而重砂矿物资料进一步揭示了这种一致性。

通过热田第四纪地层剖面的建立，我们认为经受强烈蚀变的硫磺矿地层，完全可与未受蚀变的王日错剖面进行对比，这里也就顺便解决了一个长期悬案，否定了硫磺矿地层中有火山凝灰岩。硫磺矿区的地层结构确立后，就可用来对与之相邻的热田地下层，作出有根据的推测。

如前所述，盆地内我们没有发现沉积的第三纪地层，下更新统也仅仅在盆地的“南北段”找到，再从热田周围的硫磺矿区、王日错等剖面考虑，我们认为热田的花岗岩基底上，主要为中更新统和上更新统冰碛、冰水松散沉积，仅厚度、岩相将与周边有所不同。

我们在热田许多钻孔（羊4、5、7、9、13、14、20）中发现了相当数量的宇宙尘，宇宙尘主要为铁质球粒陨石、碳硅石和基性玻璃。球粒陨石，黑褐色、金属光泽，粒径一般0.15—0.20毫米，个别0.40毫米。部分球粒表面有麻点，部分为空心球和呈熔融液滴状，经X光粉晶分析，为三种物相：磁铁矿、方铁矿和 α 铁。碳硅石，浅兰、浅绿

色，棱角状、贝壳断口，折光率 >1.8 。这是一种金属互化矿物，主要产于铁陨石和超基性岩体中，而羊八井及附近周围地面并无该类岩石出露。基性玻璃，黑褐色、棱角状，有气孔发育，未见脱玻化，大部分玻璃的折光率 >1.658 ，大大超出火山玻璃的数值。

从空心球粒陨石的结构脆弱易损、从其本身以及玻璃的新鲜程度来看，不可能是经搬运后的再沉积，宇宙尘在热田几乎所有钻孔中都有分布，据岩屑录井出现深度在有些孔中，从近地面连续到地下240米、个别为350米深处，考虑到地层的地质时代，不可能发生这样长的延续时间，因此可以推测，这是近地表的原样，被井液人为地带到不同深度的原故。每个钻孔如果把上述三者含量加在一起，一般可达该层位重砂总量的1%以上。

羊八井宇宙尘的发现，除了这是一次第四纪地质事件、具有常规的行星地质学、天文学上的意义外，我们认为在地热地球化学上有它的特殊意义。虽然目前还得出这次宇宙尘的分布面积和确切的数量评价，但它启示我们，在研究热水化学组份物质来源时，仅仅考虑围岩和深部岩浆来源是不够的，还存在第三种——星际物质来源，在进行热流体同位素地球化学研究时，这一认识的重要性可能更为突出。

以花岗岩为主体的盆地基底，物探和钻探资料表明，其顶面并不是平坦的，由于其上的沉积物时代很新，而本区构造活动又十分剧烈，因此可以设想，基底任何带方向性的延伸起伏，不大可能是单纯的侵蚀地形，而很可能是构造的反映。下面引用西藏地质局物探大队多年的工作成果，结合地面地质来讨论热田基底。

从航磁异常平面图（图1—5）和垂直磁力异常平面图（图1—6）可知，热田处在低负磁异常带。影响磁性异常的因素是多方面的，物探大队对羊八井岩石标本作过磁参数测定，未蚀变花岗岩、火山岩和片麻岩磁性较高，而蚀变后均失去磁性，硅质岩、硅化花岗岩、蚀变花岗岩、高岭土等均值为0；另一种因素是热田第四系厚度较大，而两侧均为磁性高的基岩山地。因此从图中可以看出盆地基岩的起伏轮廓。重力异常平面图（图1—6）亦得出与之相似的轮廓，热田处在盆地重力负异常背景中。值得注意的是中尼公路上有一闭合的正突起，无论在重力还是磁力图上，都对应得很好，物探解释它是一个接近圆柱形的基性岩株。对这一重磁异常，我们将在后面讨论中提出另外的解释。

我们根据物探队电测深资料，编制了基岩面等高线图，已把它附加在热田地质图中（图1—3）。在有钻孔资料的地方，我们就改用岩屑录井的基岩埋深数据，作为定性地了解基岩面的起伏，这些资料应该是可信的。从图中可见：（1）整个“基岩槽地”的东北部，在中尼公路一号道班已经收敛闭合。（2）整个“槽地”两头下陷，中间隆起，隆起范围大致可以3960米高程线为界，西北部与硫磺矿区相接，整体形成北西走向。（3）“隆起”是由起伏不等的小块拼成，重、磁异常解释的“基性岩体”，位置相当于图中闭合的4000米高程线处，它是北西向基底隆起的组成部份。（4）羊八井热田全部地热显示，都发育在这北西向的基底隆起上。

根据电法资料，隆起的基岩中分布大量断裂，这些断裂可能是以北西向的四条为主干，北东向的五条与之共轭。

热田周围第四系露头中经常能见到断裂构造，下面对构造现象比较集中的硫磺矿区

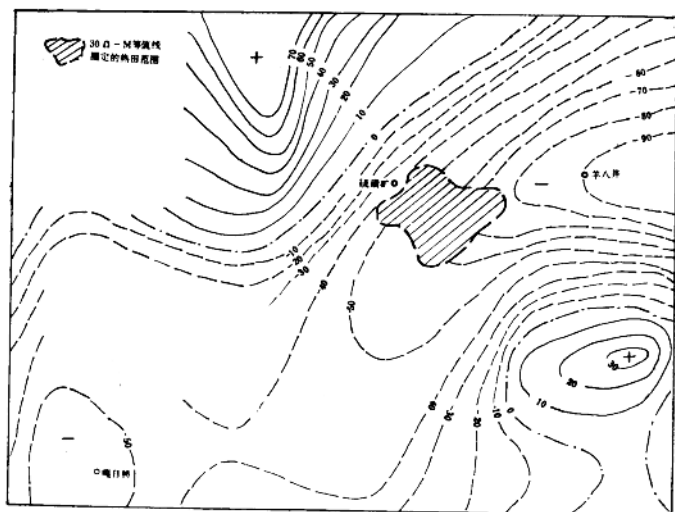


图 1—5 半八井地区航磁异常平面图 (据西藏地质局)

附近稍作叙述。

海龙沟口的山麓与谷地分界线上, 上更新统冰碛砾石层中发育走向南北的正断层, 断层面形成约 4 米高的陡壁, 近直立, 略向西倾, 断层下盘有大片方向向下方的擦痕, 从地形上看, 向西不远可能还有两条规模较小与之平行、性质相同的断层。溯沟向上游不到一公里, 同层位地层中见到产状 330° , $E\angle 54-67^{\circ}$ 的正断层, 下盘见有方向向下的擦痕, 沿断层上盘有硫化氢气溢出, 花岗岩质砾石层全部褪色为白色, 蚀变为高岭土、明矾石等。

海龙沟与热沟之间的山坡, 由高、低二平台组成, 分别为上更新统和全新统冰碛砾石层, 在两平台分界的陡坎线上, 见到三处砾石层有擦痕、错动的形迹, 三者联线为 $NE30^{\circ}$, 从擦痕看, 为正断层。值得注意的是该两平台面都向大山方向倾斜, 联系到砾石层中显出的层面也向山里倾斜 (视倾角有 4° 和 7°), 可以认识到盆地边缘受到张力挠起, 是上面提出的“外紧内松”现象的机制决定的。

位于西面的臭沟沟口和位于东面的海龙沟口, 上更新统冰碛砾石层中的砂岩夹层的产状分别为 $290^{\circ}W\angle 27^{\circ}$; $310^{\circ}E\angle 10^{\circ}$; 在位于该二沟之间的热沟, 见到沿沟有走向 325° 的张扭性结构面发育, 热沟地面放热最强烈, 个别地段 10 几米内, 地面温度烫手。综合这些现象可以设想, 热田地区存在一个轴向大致为 320° 的现代背斜隆起, 热沟处在隆起轴部, 从地面地层蚀变褪色现象的分布来看, 隆起轴的东南端可能向热田 2 号井附近延伸

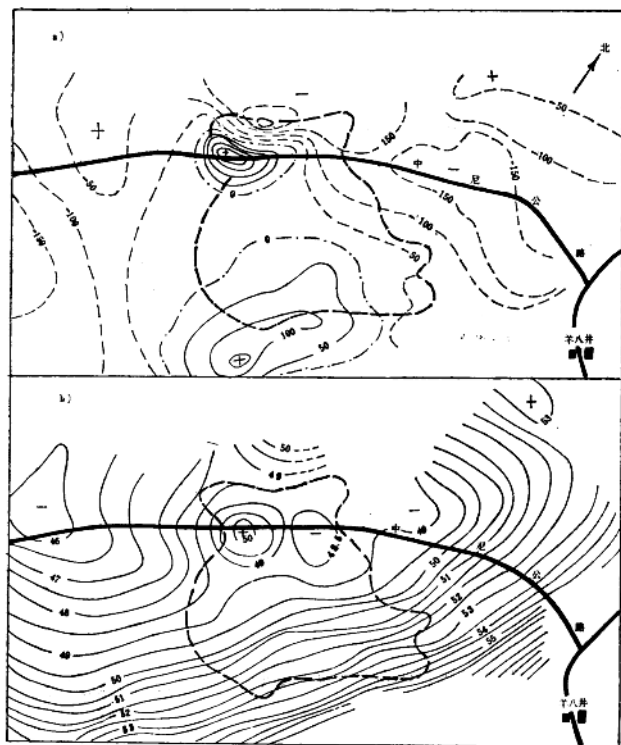


图1—6 羊八井热田垂直磁力异常 (a)及布伽重力异常 (b)平面图
粗虚线为 $30\Omega-M$ 等值线圈定的地热田范围(据西藏地质局1981)

直到藏布曲。从构造时代之新及地面所见几何规模不大,可推测地下未见部分,不可能有高差十分悬殊的变位。

第四系中的构造线方向与基岩所见者同,主要有三组: $NE30^\circ$, $NW320^\circ$ 和近南北。无疑这些断裂都是基底活动的反映。从涉及了包括全新统在内的全部第四系各统地层这一点来看,本区构造活动一直是在剧烈进行着的。

地热异常显示,发生在盆地内高差对比性强烈的基底隆起的地面上,除了羊八井外,嘎日桥亦是一例,该地地面有高温温泉,附近有古泉华堆和很大规模的硅化蚀变,据重力测量,该地处在—近乎东西向的基底隆起的北缘,向北、向南都为重力低值。物探工作

范围还未遍及盆地，盆地内高差对比性强的基底隆起，目前就这二处。

羊八井热田得以形成的地质条件，我们在第一节指出了，它不是一般的地堑盆地，而是与下地壳热状态相联系的裂谷，现在我们进一步提出，裂谷中也不可能到处都是热田，热田是出现在上隆的、发育了大量时代很新的张性断裂的条形基底上。

三、井温曲线解释

温度测井测得的是井温，由于地层和钻孔流体的影响，井温很少能直接代表地层温度。钻进过程中的干扰因素，可以由过一定时间间隔后的稳态测温来排除；流体动力学和地层结构方面的影响，会改变井温曲线的形态，有时歪曲地层的真实温度，这需要结合有关资料进行具体分析，才能从定性意义上加以排除。

综合热田现有26口井的全部井温曲线，可以发现其影响因素按性质的不同，可分四种类型（图1—7）为了便于叙述，我们把每条井温曲线，按其形态成因的不同，区分为上段、中段和下段。“上段”是指流体趋近地面时的“降温段”；“中段”是由流体热动力特性决定的；“下段”相当于地层正常增温段。

第一类型是指：上部含水层的水，流入下部含水层，从而形成中、下段温度不变的形态。在稳态测温前提下，井温应随深度增加而增加，几百米深度上井温基本不变，可能有二种情况，一种是钻孔正好处在热水上涌通道部位；另一种是发生了含水层间的混合，以羊14井为例，钻井过程表明，从深度130.98米开始，大量漏失循环液，除了181—185米短短的四米外，直到孔底426米，全部都为漏失，这就表现为井温曲线，大致从130米以下，温度不变。我们还可以反证这种解释的合理性，如果羊14井属于前一种情况——正好位于热水通道上，以至于井温曲线出现现在形态，那么，该井放喷时的井口温度应该较高（因为温度不变段为 170°C ），实际上放喷时的井口温度仅 131° ；在热田诸井中是属偏低的。但可以肯定，羊14井在下部某一深度上井温是达到了 170° 。我们在下面就会清楚，这是全热田最高的井温。

第二类型是地层中存在粘土隔热层，粘土隔热层如出现在地面附近，则使“上段”近乎垂直线，而不是正常的斜线；如出现在层间，则相应段出现“水平增温段”。前者如羊6井，后者如羊20井。

第三类型是闪蒸和附加汽化热形成的形态，表现为中段温度有一超过该点饱和蒸汽温度的峰值，如羊13井，沸腾出现了二次，第一次是在埋深100米左右，这从与饱和蒸汽压对应的沸点曲线上可以很清楚看出，第二次沸腾是出现在地面附近。在上、下沸点之间的井温曲线，高出该段沸点曲线的部份，是属于附加的汽化热。这里值得指出的是，该井最高温度为 171°C ，从它的出现形式不是一段，而仅是一个“点”，而且位置距“下沸点”很近，因此该温度并不反映真实的地层温度，也不代表该井流体温度，而是汽化热附加的结果。类似情况在热田其它井中也有存在，这也就是所以若干井的最高温度都是出现在深度150米左右的原因。

第四类型是出现负梯度，也就是井温随深度增加而减小。一种是流体存在非垂向流动；另一种是流体受热后发生“自由对流”造成的平衡态。羊八井井温曲线出现负梯度

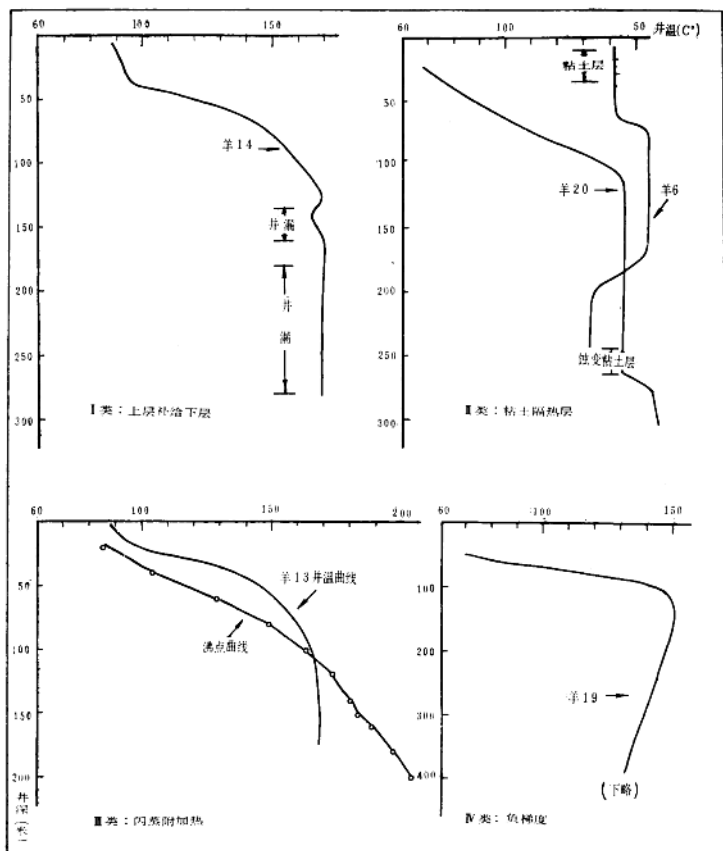


图 1-7 热田井温曲线类型区分。

图 1-7 羊八井热田典型井温曲线解释

十分普遍，我们将在后面详加讨论。在一些深孔中可以见到负梯度过后，井温又逐渐增温，羊19孔在深度大致800米以后，在花岗岩地层中以 $3^{\circ}/100$ 米的增温率增温。

确切地说，以上我们只是对影响羊八井井温曲线形态的因素，进行了逐一的阐述，很明显，对一个具体井来说，可以有一种以上的影响因素。有了这样分析，我们就有可能进

一步从井温曲线研究热储真实温度的分布；研究流体—地层体系中化学反应的温度条件。

四、水热蚀变

羊八井水热蚀变现象是明显的，位于热田西北的硫磺矿区，黄色自然硫可用土法露天开采，白色高岭土接近成矿品位，红色赤铁矿星星点点缀其间。在其东南，几十平方公里范围内到处是温泉、硅质泉华，并有少数沸泉，钻孔岩屑和某些地层露头，即使用肉眼观察都能觉察到经历了水热蚀变。

水热蚀变是指岩屑与热水、气和汽的相互作用，这是一个复杂的化学反应系列，包括岩石、矿物的再结晶、溶解、置换和沉淀。下面分二部分进行讨论。

1、热储的蚀变重矿物组合。

水热蚀变的最终产物，决定于许多因素，主要有：蚀变温度、压力、溶液成分、岩石原始组份、反应时间、流体（液、气、汽）流量、岩石渗透性。

对于泥漿钻进岩屑样品，不可能进行粘土矿物和盐类研究，虽然这是水热蚀变研究中十分关键的一部分工作。由于条件限制，我们仅对岩屑的重矿物部份进行了常规的矿物分析，没有使用X光结构分析，电子探针成份测定，这使我们不可能对矿物的结晶学特征有所了解，某些矿物的鉴定定名工作都遇到困难，很重要的造岩矿物长石类的分类鉴定完全没有涉及。我们是在用任何地质勘探现场都能开展的设备和方法进行工作，换一个角度来看，这样得出的一些认识，有可能具备广泛的再实践的机会。

岩屑样取自下列钻孔：羊20、羊8、羊6、羊3、羊4、羊5、羊7、羊9、羊13和羊14。分布于热田的西北到东南一片。前四个孔的取样间隔，基岩以上基本为20米，一般都取到基岩面为止，每孔样品数量8—13个不等。全部10个钻孔岩屑样共86个。把分析结果综合成图（图1—8a, b, c, d, e, f）。

这里有三点需要说明：带*的黄铁矿是定名没有把握的含铁矿物，暂时安排在该位置；菱铁矿中混有少量菱镁矿，未加区别；上面提到的宇宙尘，因为不是蚀变重矿物，图中未列入。

前面已经讨论，热田全新世粘土层（大致相当钻孔深度30米）以下，地层可与王日错剖面对比。从岩石学来说，这些第四纪砂、砾，不管属于什么更细的时代单位，都是就近花岗岩、花岗片麻岩和白垩—第三纪中、酸性火山岩的一再搬运和堆积，因此可以宏观地把王日错剖面上的26个样品作为一套原岩样，热田43个样品作为受水热作用的另一套样，两相进行比较。可以看出如下差别。

（1）“原岩”的矿物种类单一，鉴定出的重矿物为17种（见图1—4）“热田”的复杂，为28种（见图1—8）。

（2）“原岩”主要矿物为磁铁矿，约占总量的70%， “热田”的磁铁矿大大减少，增加了许多“原岩”没有的含铁矿物，形成全套含铁矿物系列，值得注意的是，含铁矿物的总和，平均仍占总量的70%以上。

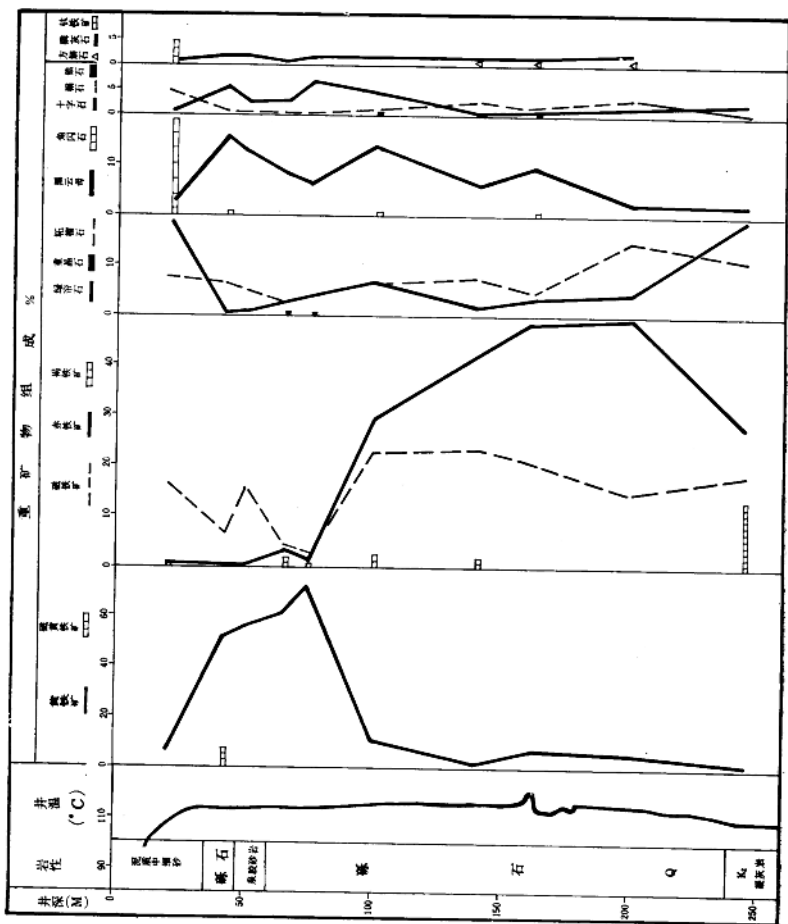


图1—8a 水热蚀变重矿物组成(羊3井)