

198

中国西藏 高温地热开发利用 国际研讨会论文选

中国能源研究会地热专业委员会

西藏自治区地热开发公司

任湘 刘时彬 顿主佳参 主编



3
1
?



地质出版社

中国西藏高温地热开发利用 国际研讨会论文选

中国能源研究会地热专业委员会

西藏自治区地热开发公司

任 湘 刘时彬 顿主佳参 主编

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本论文选是“中国西藏高温地热开发利用国际研讨会”的论文选编。文选荟萃了我国地热工作者多年来在西藏高温地热勘探、开发和利用等领域中所取得的最新科研成果；同时，还包括部分国际高温热田勘探的最新技术和研究成果。论文选反映了我国向高温地热领域进军的水平，体现了我国地热事业正朝着世界先进行列迈进。本书可供从事地热地质和地热利用部门的生产、科研人员和有关院校师生参考。

中国西藏高温地热开发利用国际研讨会论文选

中国能源研究会地热专业委员会

西藏自治区地热开发公司

任 湘 刘时彬 顿主佳参 主编

*

责任编辑：戴鸿麟

地质出版社出版发行

(北京和平里)

(北京师范大学印刷厂)印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：15.5 字数：375 000

1993 年12月北京第一版·1993 年12月北京第一次印刷

印数：1-1000册 定价：13.90元

ISBN 7-116-01554-X/P·1256

前 言

1992年8月在拉萨召开的中国西藏高温地热开发利用国际研讨会,是建国以来在我国首次召开的针对性强的国际性高温地热工作会议。在我国改革开放的大好形势下,在国家科委和西藏自治区人民政府的领导下,会议开得十分成功,并取得了圆满成功。

参加会议的正式代表107人。其中外宾15人(主要来自联合国开发计划署,以及美国、意大利、新西兰、日本等国),自治区外44人,区内48人。中外专家提交大会论文50余篇,荟萃了专家们近几年来对西藏地热资源勘探、开发、科研和生产的最新成果,促进了国际地热学界先进技术的交流。

研讨会针对西藏高温地热资源的地质背景和资源特征进行了讨论;结合羊八井北部高焓地热资源勘探性开发进行了深入的论证;围绕羊八井电站的完善、优化管理以及地热资源综合利用等课题进行了技术交流。与会代表中的绝大多数专家确认,加速羊八井北部深层地热的开发势在必行,这是扩大羊八井热田远景、解决西藏近期能源建设的重要途径之一,也标志着我国地热事业迈入高层次的新起点。

会议期间贯穿了学术交流与野外考察相结合的议程。代表们对西藏的地热工作所取得的成就感到十分鼓舞。在高原上施工条件非常困难的情况下,羊八井地热电站初具规模,并在拉萨电网中起了重要作用。在藏北重镇——那曲,海拔4500m的高原上正在兴建的、由联合国资助的1MW双循环地热电站,给中外专家留下了深刻印象,一致赞颂,西藏的地热能不愧为是世界屋脊上的一颗明珠。

这次会议自始至终贯彻以学术交流为基础,有针对性地把科学技术与西藏的经济发展、能源建设和引进技术与资金等有机地结合在一起。会议期间专门安排了多项小型谈判活动,联合国和意大利、美国、新西兰等国的代表以及所属机构,先后与西藏、云南、北京等省市自治区的代表进行了座谈,对进一步扩大技术交流、人才培养以及把西藏高温地热勘探工程列入联合国和意大利政府对西藏的第三期援助计划等进行了探讨,建立了合作的意向。在这次研讨会召开之际,正值西藏全面实施依靠科学技术进步,全方位对外开放的大好形势,所以会议内外格外活跃,打破了以往的纯学术研讨的范畴。

会议期间,中外代表还提出了很多好的建议,倡议在我国,首先是在西藏尽快建立起以地热勘查、开发和利用相配套的一条龙的经济实体,以适应当前大好形势的需要。必须逐步形成以地热发电为核心的、带动地方工农业、畜牧业发展的综合性开发基地,才有经济活力、竞争力。经济实体的建立,无疑将对西藏高原丰富地热资源的开发,解决数十个边远县城的能源短缺和经济发展具有十分重要的战略意义和示范意义。

这次国际研讨会的胜利召开,使我们认识到:在我国改革开放的新形势下,今后不论国际、国内的地热会议,都应该从单一的学术研讨,转向与我国地热开发、生产与环境保护密切结合的多向型会议,为我国地热事业做出新贡献。

论文选中的英译中部分,由张振国、佟伟教授,方志杰、沈敏子副教授翻译,英文摘要由沈敏子统审,全书插图由徐筠同志清绘,在此一并致以衷心地谢意。

中国能源研究会地热专业委员会
西藏自治区地热开发公司

目 录

西藏地热活动规律初探·····	夏抱本、张家诚 (1)
综合物探方法在西藏地热勘探中的应用·····	新宝福、程力军 (8)
羊八井地热田深部地热资源勘查的可行性及设想·····	余章尧 (15)
关于进一步开发羊八井地热田的建议·····	M. P. Hochstein (24)
羊八井地热田北部热流体的升流部位·····	梁廷立 (29)
西藏羊八井地热系统与地下水的深循环·····	张宏仁 (33)
关于羊八井地热田深部热储的剖析·····	任湘、唐宁华、刘时彬 (37)
西藏高温热储的物化探方法及其效果·····	邓伦友、吴钦 (45)
科学取芯钻进在美国 Valles 破火山口洪都拉斯 Platanares 以及危地马拉 Tecuamburro 火山区地热勘探中的应用·····	Sue Goff Fraser Goff Jamie N. Gardner (51)
羊八井地热田深部热源及热传递特征浅析·····	胡先才 (60)
地热流体中高含量 SiO_2 处理效果的分析·····	彭瑞林 (64)
羊八井地热田浅层热储的开发与保护·····	刘时彬、任湘 (70)
西藏羊八井地热田概念模型·····	康文华、李德禄 (79)
羊八井地热田开发效应初探·····	新宝福 (84)
羊八井水热系统的演变和热田模式·····	沈敏子 (95)
西藏羊八井地热田热储模式及南区深部热储开发方案·····	王自瑞 (99)
西藏羊八井地热田开发方案论述·····	卢润、安玉仙、梁廷立 (105)
西藏羊八井地热田物化探工作效果·····	邓伦友、吴钦 (115)
羊八井地热田的水热蚀变及其热田演化·····	朱梅湘、徐勇 (125)
西藏那曲地热田热储工程研究·····	Battistelli, A. Calore, C. Rossi, R. 吴方之 (134)
西藏朗久地热田热储结构特征及开发前景·····	贾疏源 (146)
羊八井地热田勘探工作方法的初步研究·····	梁廷立 (154)
水热蚀变概念模式研究·····	谭庆元 (160)
西藏那曲—尼木地热带土壤地球化学特征及其地热地质意义·····	吕文明 (164)
干热岩——一个高温地热概念·····	N. A. Tellier D. V. Duchane (173)
西藏羊八井地热田浅部热储资源评价·····	郑灼华 (179)
羊八井地热开发和展望·····	顿主佳参、曾毅、吴方之、蒋勋烈 (182)
地热生产井化学除垢技术·····	凌廷亮、唐令龙、刘尚贤 (189)
羊八井地热发电中存在的主要问题和解决措施·····	曾毅 (196)
西藏羊八井地热电厂废水回灌试验·····	韩升良、施廷州、刘志江、蒋祥军 (200)
让西藏地热资源产出的电力达到最大值·····	D. Rosing U. Kaplan A. Leshem (207)
中国西南的温泉·····	廖志杰 (215)
云南省腾冲地区地热资源概况·····	贾翥志 (221)
福建省高温地热资源·····	童永福、赵云华 (230)
油井和地热井的监测·····	Eddie Pruett 周晓冬 (235)

西藏地热活动规律初探

夏抱本 张家诚

(西藏地矿局地热地质大队)

西藏处于世界著名的古特提斯构造带东段,即青藏高原的主体部分,被喻为为世界第三极。青藏高原还是世界最年轻、最宏伟的隆起带,属最为活动的构造带。该区不仅分布有众多的金属矿产,还蕴藏着极为丰富的地热资源。本文试图从板块构造理论、活动构造观点出发,借助于时空观分析方法,对西藏地热活动规律作一初步的探讨。

一、区域地质构造背景

为探讨西藏地热活动规律,有必要首先对西藏的地质构造背景作一简单概述。

青藏高原是由若干个板片及板片间的构造带(缝合带)“焊接”起来的拼合体。自三叠纪以来,印度板块肢解的小板片分别经印支期、燕山期和喜山期依次向北俯冲、碰撞,直至“焊接”定位于欧亚板块,并形成三条规模宏大的东西向转北西向巨型断裂构造带。在仰冲板块之上,形成一定规模的火山岩浆弧,以及与之相伴的断裂、褶皱、变质、热液矿带(如厅宫、玉龙斑岩铜矿带)。这三条断裂构造带构成了青藏高原的主干断裂,从北而南依次为:

I. 拉竹龙—西金乌兰湖—金沙江断裂带(该带大部分在青海省境)。

II. 班公湖—怒江—澜沧江断裂带。

III. 雅鲁藏布江断裂带。

第三纪,尤其是中新世以来的重要地质事件有:印度板块向北持续挤压、俯冲,一方面沿西瓦里克构造带俯冲下插在此区域,形成大规模的逆冲断层,且使整个高原急剧隆升;另一方面,在相对“刚性”的冈底斯—念青唐古拉等广大地区形成了一系列近南北、北东、北西向的张性、张扭性活动构造带及与之相伴的地热、地震事件,且使上述老构造具不同程度(由北而南活动性增强)的走滑、斜冲运动^[1],在断裂带附近产生不同强度的逆冲断层^[2]。这一阶段的印度板块对特提斯造山带的持续挤压被称之为“超碰撞”阶段^[1]。在此阶段形成的每一活动构造带,实际上是由一系列隆起、断裂和断陷组成的复杂构造带。这些活动构造带自西向东依次为:

1. 曲松—札达—普兰活动构造带。

2. 拉木错—阿果错活动构造带。

3. 隆格尔活动构造带。

4. 塔惹错—吉隆活动构造带。

5. 当惹雍错活动构造带。

6. 昂仁活动构造带。

7. 申扎—谢通门—定结活动构造带。

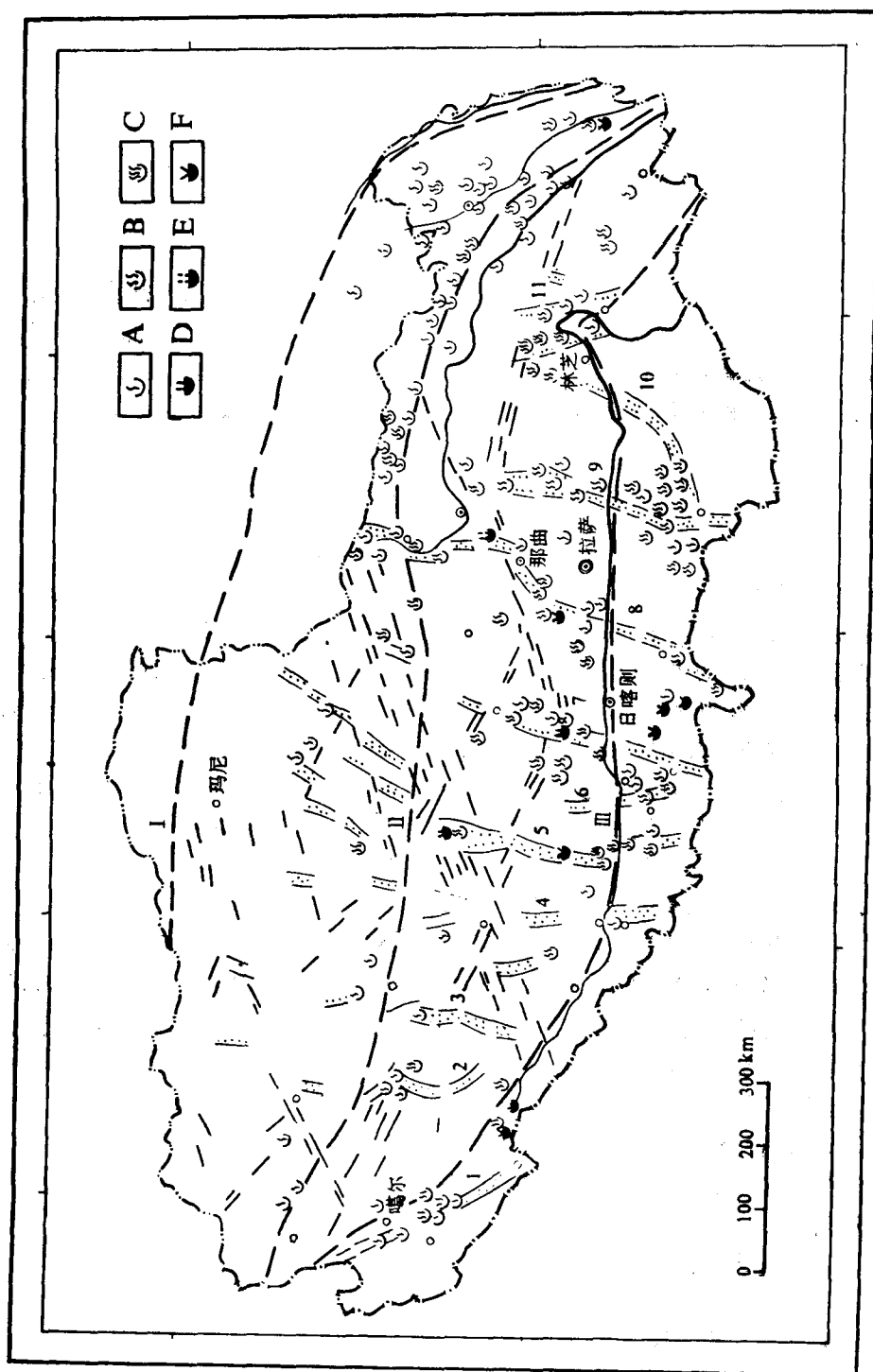


图 1-1 西藏构造及地热活动分布图

A—温泉; B—热水; C—沸泉; D—沸喷泉; E—间歇喷泉; F—水热爆炸; I-III—主干断裂带; 1-11—活动构造带

8. 那曲—尼木—普莫雍错活动构造带。
9. 桑日—错那活动构造带。
10. 林芝—朗县活动构造带。
11. 墨脱活动构造带。

青藏高原正是由上述“复活”的古板块构造带及近南北、北东和北西向活动构造带相互交叉、切割,才形成今日之菱块状构造体制(图 1-1)。

近几年的资料表明,活动构造带以班公湖—怒江构造带为界,其本身还具有南强北弱的特点。

以那曲—尼木—普莫雍错活动构造带为例,南北两段表现极为不同。北段有分支归并现象,规模小,断距在 500—1000 m 之间,新生代以来无火山活动。在那曲仅见有 2.07 m 厚的上新世铁质胶结砂砾石层, N_2-Q_4 地层厚仅 135.07 m^①。南段相对集中,断裂、断陷、断隆呈平行排列,或以首尾相连形式出现,断距大(1200—1700 m)。在羊易、羊八井、拉多岗分别见有喜山晚期的侵入岩或火山岩,年龄数据分别为 25.3 Ma、21.0—11.0 Ma、28.33 Ma。在羊易见有上新世(N_2)的一套河湖相砂砾石层,含云杉及松等孢子, N_2-Q_4 沉积厚度逾 861.95 m^②。综上所述可以看出,一是南段的断裂规模、活动强度强于北段;二是该活动构造带并非同时形成,而是大致在羊易、羊八井一带率先南北挤压,东西向引张,尔后渐次向北迁移的结果。在该带内,已发现有锯齿状断裂及一系列串珠状盆地,诸如自南向北的安岗、羊易、羊八井、宁中、桑雄等,可能就是该活动构造带由南而北渐次迁移时的“追踪”结果。

在曲松—扎达—普兰活动构造带亦具有类似特点。南、中部扎达群($N_1^{3-2}t-Q_1$)为含三趾马(*Hipparion*)及花粉(禾本粉属 *Graminidites*)等组合的半固结河湖相砂砾石层,古地磁年龄为 6.20—3.40—2.00 Ma。在普兰一带,见有该套地层的宽缓小型褶皱。在南部高喜马拉雅一带,纳木那尼群的变质年龄为 12.6 Ma(K-Ar 法),说明南部在 N_2-Q_1 时曾受到构造-热事件的影响。在北部曲松一带,无构造变形和大的热事件发生。

上述事实说明,活动构造带是在“超碰撞”的南北向挤压下,自南而北渐次迁移、动力传递渐次消失的结果;同时也说明:“超碰撞”对活动构造的不同程度的控制作用。

二、西藏地热活动的时空规律

青藏高原上有各种类型的地热显示,包括温泉、热泉、沸泉、沸喷泉、间歇喷泉、水热爆炸、喷汽孔、冒汽地面等,以及水热活动的遗迹——泉华。强烈的地热活动与高原上的活动构造和老构造“复活”有着极为密切的关系。

1. 地热活动的空间分布规律

现有资料表明,西藏境内的地热显示区(点)共计有 672 处。绝大多数显示区均出露在上述板块构造带及其附近,以及活动构造带附近(图 1-1)。受这些新老构造带控制,形成了与之相应的地热活动带。这些地热活动带,自西向东具有近等间距特征(一般为 150—170 km,次级构造带间距为 70—80 km)。每个地热带内的地热显示区的出露,也具有近等间距

① 余章尧、梁廷立等,1989,西藏自治区那曲县那曲地热田地质详查报告。

② 蔡德根、谭常燕等,1988,西藏自治区羊易地热田详查报告。

排列的特点。如那曲—尼木地热带中段,就分布有近等间距的羊易、羊八井、宁中等地热田或水热活动区。在地热带的交叉部位、地热带与其它不同方向的构造交汇部位,以及地热带本身的方向转换部位,其水热活动均极为强烈。说明了菱块状构造体系控制了地热活动带的分布,不同序次、不同等级的断裂控制了不同规模的地热田或地热显示区。

从古板块构造带总体而言,西藏境内的高温显示区多集中于雅鲁藏布江断裂两侧,班公湖—怒江构造带的地热显示强度次之;北带则更弱,仅有零星的低温温泉出露。

在活动构造带内,地热显示强度与构造活动的强弱规律基本吻合。活动构造带南段,显示类型多、强度大,诸如众多的沸泉、水热爆炸、喷汽孔等;而北段则以单调的中、低温温泉出露为主。那曲—尼木地热带南段的羊易、羊八井,已分别钻取到 200°C 以上的高温流体,而北段的那曲热田,仅钻取到 115°C 的中、低温流体。藏东的三江断裂带附近,由于应力极为集中,构造活动强,所以也有较强烈的地热显示。

2. 地史时期中地热活动的演化规律

前已述及,在地史时期,由于板块的相互运动,于仰冲板块之上形成与之相伴的火山岩岩浆弧及其构造-热事件,且由此导致一些热液矿床的产生。如位于雅鲁藏布江构造带以北的厅官成矿带,其成矿期在雅鲁藏布江断裂带缝合以后,为喜山中、晚期,属于中、低温热液型矿带。其包裹体均一温度为 $600-180^{\circ}\text{C}$,压力为 $50-2300$ 大气压,成矿深度达 3 km 左右。

我们曾借助于 G. Bunteberth 提出的球状侵入岩体冷却经验公式,对喜山期及以前的岩浆岩进行了计算。结果说明,中新世以前产生的岩浆岩,已经不能对现代地热活动产生影响。由板块运动而产生的古地热活动遗迹,在后期漫长的地质营力改造过程中已趋于消失。

自中新世以来,西藏南北地热活动相差极为悬殊,早期与现代的地热格局甚异。我们以班公湖—怒江构造带为界,将西藏划分为南、北两区,藏东三江断裂为东区。表 1-1 是 1988—1989 年进行西藏地热区划时对三大地热显示区的调查与分类 (不包括古地热活动遗迹)。

表 1-1 西藏高原地热显示分类分区统计

地热 类型 分区	温 泉	热 泉	间 喷 泉	沸 泉	冰 爆 炸	沸 喷 泉
藏 北 区	71	29	0	0	0	0
藏 南 区	63	110	2	15	6	1
东 区	60	40	0	0	0	0

从该统计表中可以看出,以班公湖—怒江构造带为界,南部地热显示类型多,高温热泉占绝对优势;而北部则比较单调,多为温泉,也有少量的热泉。地热活动古遗迹,诸如大面积的泉华沉积(包括泉华锥、泉华台地和泉华垒等)多集中分布于北部;南部虽有出露,但分布面积小而分散。上述现象说明,在“超碰撞”阶段早期,藏北也曾有过强烈的水热活动史,只是随着时间的消逝,由印度板块通过挤压青藏高原所传递的动力愈来愈弱,地热活动也随之由强盛渐变为衰弱。而南部地区,在“超碰撞”阶段始终持续受到南北挤压较强的应力,因此地热活动强于北部,古地热活动遗迹少于北部的格局就不难理解了。

需要说明一点,南部在“超碰撞”阶段早期的地热活动要比现在强烈。从拉多岗等水热区内古泉华被 Q_2 的冰碛物所覆盖来判断,上述理由是成立的。这也可能暗示,西藏高原在

中更新世以后,印度板块对青藏高原作用力逐渐减弱,预示着青藏高原的抬升可能将逐步趋于平衡和稳定。

藏东三江断裂带地区,自中新世以来,特提斯构造带在印度板块的挤压下,受到扬子板块的阻挡,因而应力较为集中,地热活动较强烈。

有专家认为,班公湖—怒江构造带是通过控制活动构造而实现对西藏地热活动的控制。据此及上述时空的分析,作者认为,西藏地热活动主要局限于喜马拉雅山弧与班公湖—怒江构造带之间,地热显示区受控于板块构造带与活动构造带,具有南强北弱,东强西弱的现代地热活动格局。

四、西藏地热活动的深部地质背景

综上所述,西藏地热活动有其独特的发生、发展规律,并出现当今之格局。那么,究竟是什么内在因素造成这种状态的产生呢?

1. 壳幔热结构南北不均一性是造成现代地热格局的主要原因。

从图 1-2 可以看出,高原北部具有厚幔-厚壳的结构特点,热流值低(一般 $<50 \text{ mW/m}^2$);高原南部具有厚壳-薄幔地热异常型结构,热流值高($>50 \text{ mW/m}^2$),和北部相差近一倍,而且变幅大^[4]。

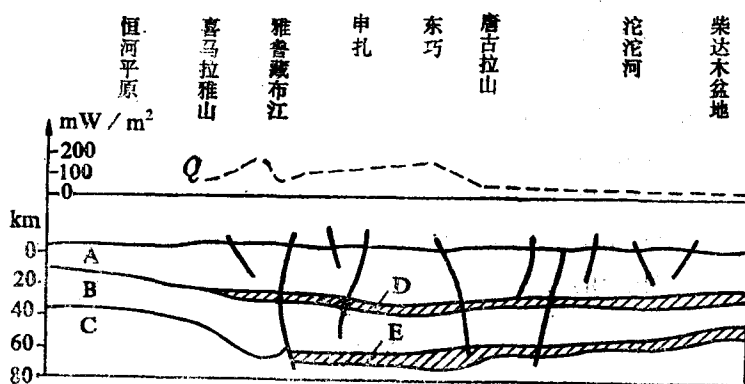


图 1-2 青藏高原大地热流及壳-幔结构剖面图

(据沈显杰、列增乾资料编绘)

A—上地壳;B—下地壳;C—上地幔;D—壳内低速层;

E—相转换层(壳幔过度层);Q—大地热流值

以雅鲁藏布江断裂为界,北部地壳厚 70—73 km,向北逐渐减薄,向南翘起(南部壳厚 68—46 km),南部的高梯度变化带说明,南部深层次物质构造变化强烈。

由图 1-2 中可以看出,青藏高原上的地壳厚度为 25—30 km,其底部普遍存在一个厚 5—7 km 的低速层或低阻层。藏南康马一带的低速层顶面埋深 15 km,厚 7 km(高恩源, 1984)。藏北朋错,低阻层厚 5 km,下界面深 27 km,向北至安多附近变深,向南至羊八井变浅(王式, 1984)。在雅鲁藏布江断裂以北,存在厚达 25 km、地震波速平均 7.4 km/s 的壳幔混合层,有人认为是相转换层,其顶面呈锯齿状,埋深 50—55 km,底面埋深 70 余公里。该

层是特殊构造环境下所形成的壳幔过渡层,可能是处于深部开放系统的垂向引张环境,使高原保持独特的活化构造特征。

2. “超碰撞”是形成地下熔融体、活动构造的主要因素,也是控制现代地热活动的根本原因。

“超碰撞”阶段,在南北向构造挤压下,地壳缩短增厚,也可能诱发“相转换层”,发生物质分异作用,使密度轻的熔浆上侵于地壳浅部。雅鲁藏布江断裂带,自中新世以来,其活动是连续的,板块俯冲带南移至西瓦里克构造带,雅鲁藏布江构造带仍是压应力主要集中地带,并可能继续发生相互作用、运动(地震震源深达 263 km),由此产生熔融体,并上侵至地壳浅处是很有可能。

活动构造和熔融体是同一应力场条件下的产物。南北向构造挤压、壳幔混合层的上拱产生活动构造,并使老构造活动。低阻层可能就是熔融体,一方面提供热源,另一方面也可能助长了活动构造的发展。可见,“超碰撞”是构造-热事件产生的根本因素。

五、结 论

综上所述,得出几点认识:

1. 青藏高原是由古板块构造带与活动构造带交织形成的菱块状构造体制。该体制控制了西藏地热活动的空间展布形态。

2. 活动构造带大致是在雅鲁藏布江以北的羊易、羊八井附近,率先活动、破裂,在南北挤压条件下,渐次向北迁移、发展,直至最终消失。

3. 在空间上,西藏地热活动严格受板块构造带和活动构造带控制,主要的地热活动局限于喜马拉雅山弧与班公湖-怒江构造带之间。在时间上,中新世以前,古板块构造带由北向南迁移,地热活动也随之迁移;中新世以后,活动构造带自南而北有渐次迁移并趋减弱、消失之势,板块构造带由南向北继承性活动减弱,三江断裂带应力继续集中,由此造成了现代地热活动的南强北弱、东强西弱的格局。

参 考 文 献

- [1] 周详、曹佑功等,1990,西藏板块构造-建造说明书,第 36—37 页,地质出版社。
- [2] 郭铁鹰、梁定益等,1991,西藏阿里地质,第 362—392 页,中国地质大学出版社。
- [3] 韩同林,1987,西藏活动构造,第 7 页,地质出版社。
- [4] 沈显杰、张文仁等,1990,青藏高原南北地体壳幔热结构差异的大地热流证据,中国地质科学院院报,(21)。

PRELIMINARY RESEARCH OF THE RULE OF GEOTHERMAL ACTIVITIES IN TIBET

Xia Baoben Zhang Jiacheng

*(Geothermal Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of
Tibet)*

Abstract

Tibetan Plateau is the creation of the northward subduction and collision of many microplates of Indian plate with Eurasian plate and overall lift since the end of the Cretaceous. These collisions produced many great fundamental fractures with E-W strike. Due to the collision of plates, tens of tension tension-torsion active fault with trends of north-south, northeast and northwest strikes have formed since the Tertiary. Owing to the criss-cross of newer and older tectonics, the current pattern prevails on the hydrothermal activities. Continental collision and development of active tectonics, formed of buried molten body, give direct and far-reaching inference on intensity in the duration of time and shows great divergence of the distribution of geothermal activities on time and space.

综合物探方法在西藏地热勘探中的应用

靳宝福 程力军

(西藏地矿局物探大队)

西藏地处祖国西南边陲。区内地热资源十分丰富, 现已发现的地热显示区就达 600 余处, 遍布西藏各地, 资源储量居全国之首。由于西藏气候恶劣, 海拔高度大, 交通条件差, 能源问题一直是困扰西藏经济发展的首要问题。开发利用区内得天独厚的地热资源, 是解决西藏能源困境的重要途径。

自 1974 年开始, 我队曾先后在羊八井、朗久、羊易、那曲等热田及拉多岗、宁中、续迈、谷露、董翁等地热显示区, 开展了以电阻率测深为主的综合物探工作。在圈定浅层孔隙型热储范围、探索基岩裂隙型热储的赋存构造等方面, 积累了一定的工作经验, 并取得较为显著的地质效果。本文仅就部分热田综合物探的工作成果, 阐述综合物探工作在地热勘探中的应用效果。

一、热田概况

西藏境内地热显示出露广泛, 且基本受喜马拉雅山、雅鲁藏布江近东西向构造带、念青唐古拉北东向构造带和青藏滇滇歹字型构造带等区域构造控制, 形成多条水热活动带。羊八井、羊易、那曲等地热田, 以及拉多岗等显示区均位于念青唐古拉北东向构造带所控制的尼木—当雄—那曲北东向地热活动带上, 该带是西藏地热远景储量最佳的水热活动带之一。其中, 羊八井、羊易热田地表显示强烈, 出露有沸泉、沸喷泉、喷汽孔、冒汽地面、水热爆炸等; 那曲和拉多岗则以热泉、温泉为主。羊八井地表最高温度 92°C , 超过当地的沸点温度; 羊易为 87°C ; 那曲只有 59°C ; 而拉多岗仅 40°C 。上述热田均受那曲—羊八井—多庆错活动构造带控制, 热田均出露于更新世所形成的断陷盆地之中。

朗久地热田位于雅鲁藏布江—狮泉河水热活动带东段。地表显示以热泉、温泉和热水沼泽为主, 泉口最高温度为 78°C , 是该带地热资源远景较好的热田之一。

上述热田分别与自治区首府——拉萨, 羌塘重镇——那曲, 边睡要塞——狮泉河相邻。地热资源的动力开发, 可以缓解以上城镇电力供应的紧张状况。

二、物探方法的选择及应用条件

西藏境内地热流体的矿化度均较高, 一般在 $1-3\text{ g/L}$ 之间。水化学成分也比较复杂, 可分为 8 个组分当量浓度^①, 即: CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 及 SO_4^{2-} 。其电阻率一

^① 万子益, 1989, 西藏自治区地热资源, 西藏地质(内刊), 第一期。

般都很低,给采用视电阻率法寻找地下热储提供了条件。各个热田的流体、岩石电阻率参数见表 2-1。

表 2-1 西藏部分热田地热流体与岩石电性参数

热田	电 阻 率 $\Omega \cdot m$	名称				
		地 热 流 体	地 表 冷 水	泉 华	含热水砂砾	花 岗 岩 类
羊 八 井		2.16—2.95	96.5	65.0	11.4—15.25	300—1500
朗 久		1.99—3.57	75.6—89.0	74.5	16.3	306—1310
羊 易		2.28—2.45	89.6—209	56.6	13.5—14.5	700—1000
那 曲		1.27—4.19	36.6—39.0	69.6	9.6—13.7	262—614
拉 多 岗		1.75—2.51	64.5—575	84.6	10.6—26.0	124—276

表中的数据表明,地热流体的电阻率均较低,一般都在 $3 \Omega \cdot m$ 左右,含热水砂砾也仅在 $10—20 \Omega \cdot m$ 之间。而地表冷水的电阻率则高于地热流体几十倍。其余岩石电阻率均比地热流体高出几十甚至数百倍。说明地热流体与其它岩石的电性差异明显,具备电法勘探的地球物理前提。

上述热田区及其围岩的岩性均比较复杂,各类岩石间磁性差异较明显。其中,花岗岩等酸性岩浆岩类岩石的磁化强度较弱,一般在 $30—292 \times 10^{-3} A/m$ 之间;而安山岩等火山岩类岩石磁化强度较大,一般在 $409—2490 \times 10^{-3} A/m$ 左右;沉积岩类岩石一般无磁性。上述岩石间的密度差异也很明显。花岗岩等侵入岩类岩石密度较大,而沉积岩类岩石密度较小。各类岩石间最大密度差达 $620 kg/m^3$ 。这说明,在热田区开展重力、磁法勘查是具备地球物理前提的。

根据上述地球物理特征,我们选择了以电阻率测深法为勘查热田的主要手段,以重力、磁法为勘查的辅助手段,并配以复合联合剖面法开展热田的综合物探普查。其中,电阻率测深用以圈定热田范围,定性和定量解释热储的赋存部位、空间形态、基岩埋深和储热层厚度等。同时,在部分地段敷设复合联合剖面,目的是确定热田区隐伏断裂的位置与倾向。重力工作用以了解热田区基底特征及区域构造特征。磁法工作的目的是划分岩相界线,推断基岩岩性。通过对重、磁、电异常的综合分析,推断热田区次一级断裂构造的分布特征,为寻找与热储有关的基岩断裂和热流体通道提供必要的物探依据。

三、综合物探工作应用效果

1. 电阻率测深

根据热储类型、赋存条件和周围介质的不同特点, $\rho_{s_{min}}$ (视电阻率极小值) 的分布特征也有所不同。利用电阻率测深 $\rho_{s_{min}}$ 的相应等值线范围所圈定的热田面积,经不同程度的工程勘探证实,与热储的实际范围基本吻合。

羊八井地热田和朗久热田是以浅层孔隙型热储为主的层状热储(包括第四系孔隙和岩石孔隙),采用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $30 \Omega \cdot m$ 圈定的热田范围与热田实际范围基本吻合。羊易热田和那

曲热田是以基岩裂隙型热储为主的地热田,采用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $10 \Omega \cdot m$ 和 $15 \Omega \cdot m$ 所圈定的热田范围比较合理。拉多岗显示区,虽然圈定了两处具一定范围的低阻区,但是 $\rho_{s_{min}}$ 最低值也在 $15 \Omega \cdot m$ 以上。经分析认为,其浅层不具备可供发电的中、高温热储的赋存条件。

电阻率法圈定热田范围是与流体的矿化度紧密相关的,其次才是流体温度高低的影响。我们在羊八井、朗久等热田对流体的温度与电阻率变化关系进行了试验,其结果表明,流体温度变化对电阻率的影响值较小。如羊八井的温泉水温变化了 $70^{\circ}C$,其电阻率仅变化 $7 \Omega \cdot m$ (图 2-1)。朗久的热水温度变化 $60^{\circ}C$,电阻率仅有 $2 \Omega \cdot m$ 的变化。上述事实充分证明了热储的矿化度高低,是引起视电阻率异常的主要因素。由此可以认为,高矿化度冷水和粘土、泥岩等低阻介质,是电阻率法圈定热田范围的主要干扰因素,将直接影响热田圈定的准确性。

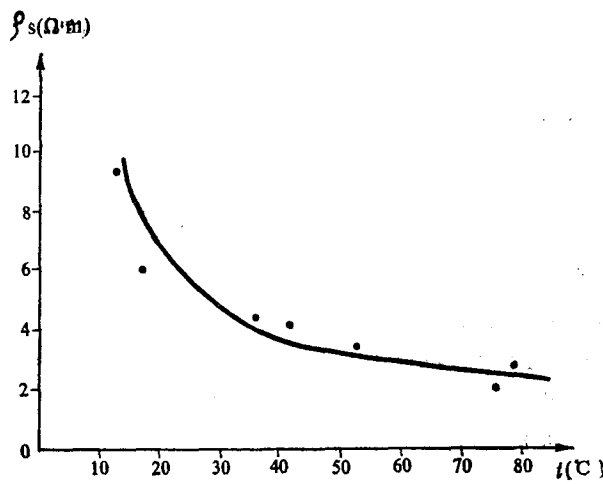


图 2-1 羊八井地热流体温度和电阻率的变化关系

羊八井热田,采用 $\rho_{s_{min}}$ $30 \Omega \cdot m$ 圈定的热田范围为 $14.2 km^2$,热田的实际面积为 $14.62 km^2$,只相差 $0.42 km^2$,范围基本相近,仅平面形态有较小差异。推断热储顶面埋深为 $4-40 m$,与实际埋深基本一致;推断热储层厚度一般在 $40-300 m$ 范围内,储热层实际厚度为 $46.32-345.5 m$;推断基底埋深为 $100-500 m$,与钻孔资料基本相近(图 2-2)。另外,可将羊八井地热田划分为以中尼公路为界的南、北两个热储区。这在电阻率测深断面图上反映得十分清楚(图 2-3)。图中剖面方向为 322° ,两异常中心分别对应热田南、北两区。

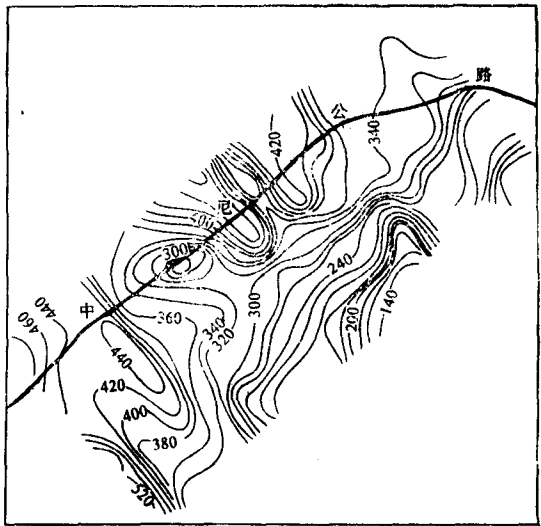


图 2-2 羊八井热田推断基岩埋深图(单位:m)

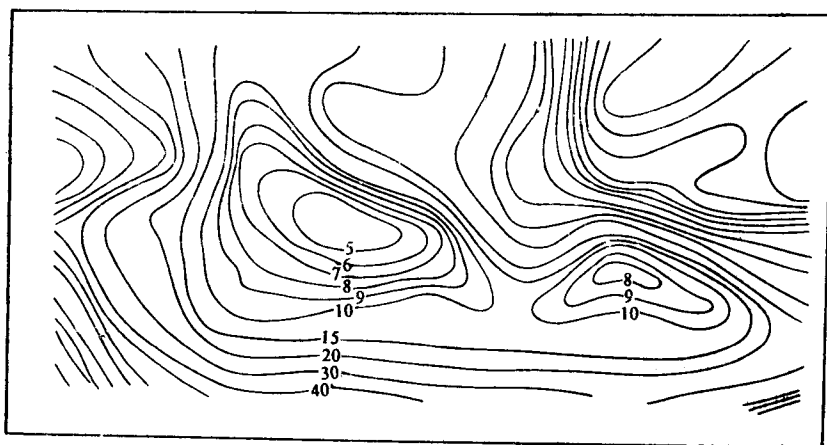


图 2-3 羊八井热田 112 线 ρ_s 等值线断面图(单位: $\Omega \cdot m$)

朗久热田与羊八井热田的热储形式相同。采用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $30 \Omega \cdot m$ 圈定的热田范围为 0.47 km^2 , 经钻探工程证实, 所圈定范围系浅层热储。其热储温度一般在 105°C 左右, 推断基底埋深在 $31\text{--}254 \text{ m}$ 之间, 浅层热储厚度约 $10\text{--}80 \text{ m}$, 与钻探成果基本相符。

羊易地热田, 采用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $10 \Omega \cdot m$ 圈定的热田范围为 4.8 km^2 (图 2-4), 经钻探工程圈定的热田面积约 5 km^2 。热储赋存于凝灰岩、蚀变安山岩及花岗岩裂隙中, 最高温度达 207°C , 岩石经热蚀变, 部分已高岭土化。

那曲地热田, 采用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $15 \Omega \cdot m$ 圈定的热储范围为 2.5 km^2 , 用 $20 \Omega \cdot m$ 圈定的范围为 16 km^2 。热田的实际面积为 10.1 km^2 (包括低温范围), 可供发电的中、低温热储面积约 0.6 km^2 。这一中、低温热储, 恰好处于 $15 \Omega \cdot m$ 范围之内。热储赋存于泥岩、细砂岩裂隙中, 推断基底埋深为 $1000\text{--}1200 \text{ m}$ 。由于目前最深钻孔深度只有 700 余米 (2k 1203), 所以尚未见到基底岩石。

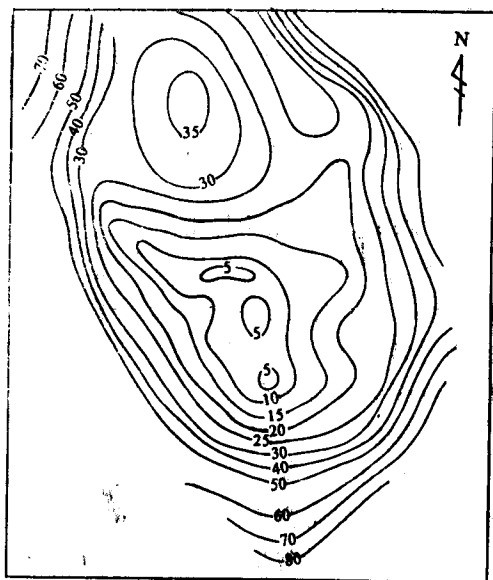


图 2-4 羊易地热田 $\rho_{s_{min}}$ 等值线平面图(单位: $\Omega \cdot m$)

拉多岗水热区经电测深等方法勘查, 未见明显的低阻异常, 所圈定的两个低阻区, 其 $\rho_{s_{min}}$ 的最低值也在 $15 \Omega \cdot m$ 以上。我们认为, 该区不具备浅部中、高温热储的赋存条件。拉多岗可能是一个古高温水热区, 现已衰退, 形成当今浅部低温热储。当然, 并不排除其深部有高温裂隙型热储赋存的可能, 只是有待于今后进一步的勘查。

由于热储的赋存状态不同, 周围介质的导电性能不同, 对各个热田电阻率测深成果的解释标准也自然不同, 没有一个具体的模式。如在西藏地区, 以浅层孔隙型热储为主的热田, 由于热储呈水平方向层状分布, 分布范围一般也都比较大, 且热储层内部流体的矿化度也较均匀, 因此, 利用 $\rho_{s_{min}}$ 为 $30 \Omega \cdot m$ 圈定浅层热储的范围是比较合理的。相反, 对裂隙型热