

中国地热学研究之进展

陈墨香 汪集旻 邓孝

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

摘 要 简要回顾我国地热研究的历程, 详细评述和归纳我国大地热流测试和其地质、地球物理的涵义, 以及地热资料分布特点和其形成机制研究的进展, 最后指出我国地热学的发展方向。

关键词 地热水, 大地热流, 地热资源, 发展方向, 中国。

中图分类号 P314

第一作者简介 陈墨香, 男, 研究员, 1932 年生, 1956 年毕业于北京地质学院水文地质工程地质系, 获硕士学位, 现主要从事地热地质方面的研究。

地热水是地球科学一个新兴的分支。地热水研究大体上包括两方面的内容: 理论上, 研究区域乃至全球地热水场的特点, 地壳的热状况, 岩石圈的热结构, 地壳的热历史, 以及由它们所反映的地质和地球物理过程。应用上, 研究地热资源的赋存状态和形成机制, 地热水系统的分布特点和资源评价; 研究矿区地温状况, 矿井致热因素和矿山热害的防治对策; 研究各种矿产特别是油气资源形成的地热水和古地温条件, 沉积盆地构造热演化特征, 为油气资源评价和远景预测提供地热水论据。

建国以来, 我国先后不同程度地开展了上述各个领域的研究。本文简要回顾我国地热研究的历程, 评述主要的进展和展望今后的地热水工作。

1 简要回顾

我国是地热水广布和利用地热水历史悠久的国家, 但系统性的有一定规模的地热水研究则起步较晚, 始于 70 年代初。其时由于地热水作为一种新能源在国际上兴起和我国著名地球科学家李四光教授的倡导, 加之国际上板块构造学说的建立, 大地热流测试研究是其有力的支柱之一, 因而促进了我国地热研究的开展。70 年代以来, 我国在 20 多个省区开展了地热水资源普查和考察研究, 累积了丰富的

资料, 其中尤以西藏高原地热水显示的考察最为系统、全面^[1], 为我国开发利用地热水的前期研究打下了基础。煤炭和金属矿山随着采掘深度的增加, 或因地质条件的特殊性, 某些矿井地热水害日益突出, 为此对全国矿井地热水害状况进行了普查, 并在我国东部一些重要的矿区开展地温测量、井下地热水调查和地热水害防治对策的研究^[2]。地热水条件对油气生成、迁移和富集过程中的作用, 也开始为人们所认识, 并初步在油田区开展地热水工作。在地热水基础研究方面, 建立岩石热物理性质的测试系统, 发表了我国第一批大地热流数据并对其作出相应的解释^[3]。

进入 80 年代, 我国地热水研究进一步开展: (1) 有计划地在有重要地热水意义的地区和地质构造单元进行研究。如对华北盆地^[4]和东南沿海地区的综合地热水研究^[5, 6], 攀西裂谷^[7]和配合我国岩石圈几条 GGT 断面综合研究中的大地热流测量^[8]。这些工作对了解我国地热水场的概貌和该区地壳热结构特点十分必要。再如将西藏高原的地热水考察扩展到横断山区^[9, 10], 从而对地中海地热水带的重要组成部分——喜马拉雅地热水带的水热活动特点有了一个较全面的了解。(2) 有重点地开展地热水资源的研究。如对京津两市、河北牛驼镇、福建福州和漳州以及广东阳江新洲等中低温地热水田, 对西藏羊八井、羊易和那曲等中高温地热水田作了重点勘探或补充勘探, 为我国地热水能的开发利用作出了贡献。在大

1995 年 3 月 16 日收稿。

量实际资料的基础上,剖析羊八井^[11]、漳州^[6]以及牛驼镇和宁晋—束鹿^[12]等典型地热田热水的赋存状态,建立成因模型探讨地热系统的形成机制等方面,得出一些较为符合实际的新认识。(3)地热研究地域由陆地向海洋扩展,如南海热流剖面的测量和渤海的地热研究。(4)矿山地热和油田地热工作进一步开展,矿山地热是我国颇具特色的一项工作,基于大量的实际资料和取得的工作经验,系统地论述矿山地热的基础理论和研究方法,矿山地温类型的划分和实例剖析,矿井热交换原理和矿井高温对策等问题^[13],对我国矿山地热工作具有指导意义。为稠油的开采和油气资源远景评价,在含油气盆地开展地热测试和古地温研究,分析和讨论了华北盆地^[14]和下辽河盆地^[15]的生油温度指标、生油深度和时间、新生代热演化历史特点和扩大油气资源远景等问题。有关塔里木、鄂尔多斯和柴达木等盆地以及南海北部大陆架的地热工作在进行中,含油气盆地地热成为近年我国地热研究一个十分活跃

的领域。

20年来,通过我国地质、水文地质、地热和地球物理工作者的共同努力,累积了丰富的地热地质资料并取得一批科研成果,对这些资料和成果很有必要加以汇总、分析和综合,从方法和理论上加以总结和提高。为此,近年编制了中国大地热流图^①、中国温泉分布图^[16]、中国沉积盆地地温图^[17]、中国地热系统类型图^②和青藏高原温泉、火山分布图^[18];撰写了专著,系统论述了地热系统的原理和研究方法^[19],我国地热资源形成特点及其潜力评估^[20],以及青藏高原热流和地体构造热演化问题^[21]。这些工作,可为我国地热能开发利用远景规划和地球科学的深化研究提供参考。

2 主要的进展

这里,根据公开发表的地热文献,限于篇幅,仅对我国理论地热学中的大地热流研究和应用地热学中有地热资源研究两方面作归纳和评述。

2.1 大地热流测试和其地质地球物理涵义的研究

(1)大地热流分布特点和地壳的热结构。迄今

① 汪集旸,黄少鹏,陈墨香.中国大陆地区大地热流图.见:袁学诚主编.中国地球物理图集.北京:地质出版社(印刷中)。

② 陈墨香,汪集旸,邓孝.中国地热系统类型图及其简要说明.地质科学(待刊)。

为止,我国大陆累积了441个热流数据,对其以 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬网格的方式成图和统计分析^{①[22]}表明,我国大陆地区热流值的变化幅度相当大,但主要在 $40 \sim 85 \text{ mW/m}^2$,平均值为 $63 \sim 68 \text{ mW/m}^2$,与全球大陆历次的统计结果相近。分析和统计也表明,我国大地热流具有“东南高($70 \pm 19 \text{ mW/m}^2$)、西北低($43 \pm 9 \text{ mW/m}^2$)、西南高($81 \pm 51 \text{ mW/m}^2$)、东北低($61 \pm 17 \text{ mW/m}^2$)”的分布格局,这是中、新生代以来我国东南部受菲律宾海板块和太平洋板块的影响,而西南部则受印度板块强烈作用的结果。至于包括鄂尔多斯盆地和四川盆地在内的中部构造区,目前得到的平均值($63 \pm 12 \text{ mW/m}^2$)高于根据该区构造稳定性特征所预期的热流值。据新近研究,四川盆地分布颇均匀的112个测点的平均值为 $52 \pm 12 \text{ mW/m}^2$,可能是整个中部构造区的期望值,因而中部地区为我国热流分布的过渡区。至于各大构造区中热流的分布、变化和地质、地球物理涵义,下面选取若干地区的研究结果作简要的分析和说明。

青藏高原是西南构造区的主体部分,从穿越青藏高原作NS向的大地热流剖面可见,以班公湖—怒江断裂为界,北部古老而稳定块体的热流值为 $40 \sim 47 \text{ mW/m}^2$,南部年青而又强烈活动块体的热流为 $61 \sim 319 \text{ mW/m}^2$,平均值 $\geq 100 \text{ mW/m}^2$ 。后者与壳源花岗岩的上侵活动有关,也与这个地区独特的地壳结构有关,并推论喜马拉雅地体和拉萨—冈底斯地体具有异常型壳幔热结构^[8]。喜马拉雅地体东端的滇西腾冲地区,6个热流测点的平均值为 85 mW/m^2 ,其中高值达 118 mW/m^2 ,亦为高热流区。该区处于印度板块和欧亚板块交汇的前缘,壳幔热结构的研究也表明,它具有典型构造活动区的特征。根据地温资料和少量热流测试结果判断,组成甘青块体核心部分的柴达木盆地和西北构造区中构造稳定的塔里木和准噶尔盆地,同属低温、低热流($< 50 \text{ mW/m}^2$)的冷盆。华北—东北构造区中包括下辽河盆地在内的整个华北中、新生代断陷盆地,165个热流数据(包括139个估算值)的平均值为 $62 \pm 13 \text{ mW/m}^2$,其中基底凸起区37个数据的平均值为 $78 \pm 14 \text{ mW/m}^2$,基底凹陷区61个数据的平均值为 $51 \pm 8 \text{ mW/m}^2$ 。热流分布和变化能很好反映基底构造形态和凸凹相间的构造格局。与华北盆地构造格局相类似的苏北盆地、松辽盆地、渭河盆地和雷琼盆地,热流分布和变化亦有相似的图式。东北

构造区最北部的兴安块体则以低热流值($<40\text{mW/m}^2$)为特点.华南构造区特别是东南沿海地区热流分布情况,以福建为例作说明.从总体上来看,以余姚—政和—大埔岩石圈断裂为界分为两块.西部为武夷—云开加里东断褶带.一般在 70mW/m^2 左右;东部沿海地区为海西—印支断褶带,能反映深部热状况的背景值为 $75\sim 80\text{mW/m}^2$.据江西石城—福建惠安剖面壳幔热结构的研究,上两地区地幔热流在地表热流所占比值分别为43%和54%,亦表明深部热活动由内陆向沿海地区略有增强^[5].与福建省隔台湾海峡相望的我国台湾岛,台湾地热同行汇总了94个热流数据,编制了一幅热流图^③.从此图可见,除了西部滨海平原热流值小于 80mW/m^2 ,在整体上,全岛以具有高热流为特点,一般大于 80mW/m^2 ,其中 $\geq 120\text{mW/m}^2$ 的异常高值虽为在高温水热区及其外围测得,但仍应是台湾块体既年青又活动强烈的一种反映,同时表明地壳是热的,暗示壳内有近期的岩浆侵入活动.

(2)地表热流和岩石生热率的线性关系.于60年代末由Birch提出在一定构造区域内存在 $q=q^*+DA$ 的经验关系式(式中 q 为地表热流, q^* 为深部热流或剩余热流, D 、 A 分别为放射性元素富集层的厚度和生热率),对确定“热流省”和研究地球深部热状况有重要作用,誉为理论地热学的三大发现之一.这一关系式是否到处都能成立,普遍适用,我们在攀西裂谷和东南地区对比作了检验性研究.攀西裂谷是一个海西—印支期的古裂谷,其最后一次主要的构造热事件发生于 $200\sim 250\text{Ma}$,地表热流的平均值为 $63\pm 15\text{mW/m}^2$,与全球晚古生代至中生代构造热事件所对应的热流值十分接近.地表热流和生热率的线性关系式为: $q=38.5+15.7A$ ^[23].此式表明,攀西古裂谷深部热流(q^*)相对高(38.5mW/m^2),占地表热流的61%,放射性富集层的厚度(D)较大(15.7km).大的 D 值说明攀西古裂谷的地壳分异程度低,这与海西期以来该区地质发展历史相一致;相对高的 q^* 值和其占地表热流较大的比例,则很可能是古裂谷热流构成的一般特点,而与现代裂谷更大的 q^* 值和深部热流主要来自上地幔有本质的区别.东南地区包括福建、江西和广东3省,地表热流和岩石生热率的关系,不论从行政区、大地构造区还是岩石生热率类型来分析,数据之间均不存在明

显的线性关系^④.国外学者对此线性关系的普遍性曾提出疑问,但始终未正式提出.看来它在地壳结构复杂的碰撞造山带地区是难以成立的.

(3)大地热流与其他地球物理参数的关系.国内外一些学者认为壳幔界面 P_n 波速度(V_{P_n})与大地热流(q)有密切的负相关性.根据我国大陆现有的实测资料对 $q\sim V_{P_n}$ 关系进行分析研究^[24],发现两者严重偏离预期的负相关关系,对 P_n 波速度和热流值分别进行压力和岩石生热率校正,两者的关系也未能得到明显的改善.在对国外报道资料进一步剖析的基础上,认为就大区域尺度而言,莫霍面温差并不是影响地震波速度的最重要因素, $q\sim V_{P_n}$ 关系中深部热状况的信息可能为众多的“噪音”所淹没.关于大地热流值与地壳厚度的关系,前人既有正相关,也有负相关的报道.对 $1^\circ\times 1^\circ$ 经纬网格平均热流值和地壳厚度作回归分析表明^[25],中国大陆作为一个整体,大地热流与地壳厚度之间存在良好的正相关关系,而在东经 110° 以东地区,特别是华北盆地,两者则呈显著负相关,并认为大地热流与地壳厚度关系的变化,是地壳岩石放射性生热率的贡献和来自深部的地幔热流在大地热流二元结构中所起的作用,在不同构造环境下有所不同的体现.华北盆地显著的负相关是这一地区裂谷活动的结果,表明深部的热活动仍然在很大程度上控制着这一地区的热状态.

2.2 地热资源及其形成机制的研究

(1)地下热水资源的量级.研究表明^[19],我国2200处温泉的放热量为 $10190\times 10^{13}\text{J/a}$.泉水每年携带出之热量折合标准煤为 $354\times 10^4\text{t}$.如加上一些地区其他地表热显示的放热量,则全国水热区的天然放热量折合标准煤为 $530\times 10^4\text{t}$.我国水热区每年可采热水之热能量折合标准煤最多不超过 $0.5\times 10^8\text{t}$.估算表明^[20],我国东中部10个大、中型盆地2000m深度内积存热量为 $628500\times 10^8\text{m}^3$,热水含热量折合标准煤为 $2500\times 10^8\text{t}$.可采热水热量折合标准煤为 $18.5\times 10^8\text{t}$.这些数字虽不是我国沉积盆地型热水资源的全部,但它囊括了我国最主要的有开发前景的热水盆地,基本上反映了我国大陆地区沉积盆地地下热水资源的量级.

(2)地热发电的潜力.高温地热田是特定构造

③ 李清瑞,郑文哲.台湾大地热流图,1984.

④ 赵平,汪集旻,朱炳泉.全球大陆热流省的研究.中国地球物理学会年刊,1994.182

部位的产物^[26]。我国适于发电的地热资源,主要分布于喜马拉雅和台湾两个地热带。喜马拉雅地热带属陆陆碰撞板缘非火山型地热带,该带有60多个高温($>150^{\circ}\text{C}$)地热系统,地热发电装机容量为1740 MW,其中藏南段为近1000 MW^[27],川西和滇西段分别为170 MW和570 MW^[28]。台湾地热带是环太平洋地热带的一部分,但无该带的典型意义,该带有8个高温水热系统,其中有两个属火山型。由于位于中央山脉区的6个非火山型高温地热系统储层的渗透率普遍偏低,该带地热发电装机总量恐难超过300 MW^[29]。

(3) 东南沿海地区地热系统的属性。中外学者对我国东南地区地热系统的属性有不同的认识,对该区构造—热背景的分析,以及对典型地热田的剖析说明:其一,该区不具备孕育高温地热系统必要的地质构造条件和高热背景。台湾岛虽属西太平洋岛弧的一环,在其演化历史中,现今大陆板块向东消减到海洋板块之下,而不是继承中生代古板块向西俯冲,在这种构造格局下,闽、粤、琼地区不可能出现现代岛弧系统那样的高温地热系统。在构造上,东南沿海地区处于板内地区,而不是板缘地带。区域大地热流测试也表明,其背景值为 75 mW/m^2 左右,热流值正常或略偏高,但远低于喜马拉雅和台湾两个板缘型高温地热带的热背景值($85\sim 120\text{ mW/m}^2$)。其二,热储温度不高且大多数为开启型地热系统。本区无沸泉分布,按地球化学温标测算地下热储的基准温度最高者仅为 140°C 。地热田的结构除少数几个外,绝大多数属缺乏盖层的开启型的地热系统。热水储为断裂所控制,获取温度更高的热水不在于钻井的深度,而是钻井是否钻遇导水断裂破碎带。目前钻遇破碎带的钻井最高温度为 121.5°C ,井口水温最高为 105°C 。因此,判定福建省漳州和福州、广东省东山湖和新洲等几个地热田为中温地热系统($>90^{\circ}\text{C}$),其余的绝大多数为低温地热系统($<90^{\circ}\text{C}$)。中温地热系统的形成与地下水的循环深度较大($3.5\sim 4\text{ km}$)有关,并非有高温岩浆热源的作用。

(4) 沉积盆地热水的赋存和开采条件。各类型盆地热水的赋存和开采条件以裂谷式断陷盆地为优。裂谷式的中、新生代断陷盆地由于受多组断裂的控制,形成一系列的断陷和断隆以及其次级构造——凸起和凹陷,从而表现为在新生界或中、新生

界掩盖下,古生界和前古生界基岩构造呈多凸多凹和凸凹相间带状分布的构造格局。在这种构造格局的控制之下,地热分布呈现高低相间带状展布的图式。当基岩隆起幅度和盖层厚度配置适当时,凸起区盖层地温梯度(G)一般大于 $4.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,热流值 p 大于 65 mW/m^2 ,形成局部的地热异常。这种热异常主要由地壳浅部岩石热性质在横向上和纵向上的不均一性所引起,是地壳深处较均一的热流在传导过程中于地壳表部再分配的结果。华北和苏北盆地数十片局部热异常区的总面积为 $2.53\times 10^4\text{ km}^2$ 。局部热异常区于 $700\sim 2000\text{ m}$ 的深度内有两个主要热水储层,上为第三系砂岩热储,下为古生界或中、上元古界碳酸盐岩热储,是沉积盆地中开发利用地下热水最优越的地段。

3 展望

根据当前国际地热学术动向和我国地热研究的现状,展望我国今后的地热工作。

大地热流测试是理论地热水研究的基础。我国大陆目前虽然累积了441个数据,但分布很不均匀。约75%的测点集中于东经 105° 以东地区,西部的测点则十分稀疏,并有大片空白。即使有数据覆盖的区域,大地热流测试研究程度,地区之间也有很大的差别。因此,今后很有必要加速这项工作的开展,以充实和深化我国大陆地区大地热流和岩石圈热状况“东南高、西北低、西南高、东北低”总的变化趋势的认识。同时,有重点地对板内热作用过程和板缘机制,包括板块碰撞汇聚带、碰撞造山带、陆缘扩张带、拉张盆地和克拉通盆地的构造热演化进行研究。

鉴于两带(喜马拉雅地热带和东南沿海地区地热带)、一大片(黄淮海平原)和两小片(渭河盆地和雷琼盆地)是我国大陆地区地热资源开发潜力最大的区域,应成为我国地热资源勘探研究和开发利用的重点区。至于我国对非热水型的地热资源的研究,目前几乎尚未涉及。我国在华北盆地和莺歌海盆地初步证实有异常高压带存在,有赋存地压地热水资源的希望,论证其存在,弄清其规模和赋存条件,在此基础上进而对我国其他盆地进行调研,实为一项有远见的基础工作。至于干热岩的研究,虽有诱人的前景,但耗资巨大。根据我国经济实力和

国情,不适宜也无法于近期开展,但应密切注视国际研究动向。

油田地热研究方面,除了继续配合稠油开采进行研究之外,含油气盆地热演化历史的研究和油气盆地数值模拟,应成为当代油田地热研究中一个前沿课题。从其内容来说,已从单纯的盆地热史模拟扩展到与油气生成运移直接有关的盆地生烃史、排烃史、油气运移聚采史的模拟;从方法上来看,已从一维、二维转向三维盆地模拟系统,使数值模拟更加符合实际。

地下热水由深部向地表运移过程中由于水-岩作用,热水与围岩发生强烈的物理化学反应,使某些矿物质富集于热水和围岩中,可形成浅成矿床,如某些放射性矿床、多金属矿床特别是金矿等。开展地球表层热状态和热水沉积成矿成岩作用的研究,应成为今后地热研究的一个重要领域,并可望对矿床学和地热学理论作出较大的贡献。

地热学与其他地球科学分支一样,是随着学科本身的发展和生产实践的要求而发展的。当今社会对能源和资源的需要日益增加,自然环境的保护和灾害的防测都提出新要求的情况下,地热研究面临一场深刻的变革。这里既有机遇,又有挑战;既有压力,又有希望。把握机遇,迎接挑战,抓理论,重实际,将我国地热研究向更深更广的领域拓展,有赖于全国地热同仁共襄此举,并寄厚望于中青年地热工作者。

参 考 文 献

- 1 佟伟,章铭陶编.西藏地热.北京:科学出版社,1981
- 2 中国科学院地质研究所地热组.矿山地热概论.北京:煤炭工业出版社,1981.224
- 3 中国科学院地质研究所地热组.中国第一批大地热流数据.地震学报,1979,1(1):91~107
- 4 陈墨香主编.华北地热.北京:科学出版社,1988.218
- 5 汪屹华,汪集旸.东南沿海地区岩石圈热结构与演化.见:李继亮主编.中国东南海陆岩石圈结构与演化.北京:中国科学技术出版社,1992.302~315
- 6 汪集旸,庞忠和,熊亮萍.漳州水热系统:关于成因的概念模型.新能源,1990,(11):41~43
- 7 汪集旸,黄少鹏,张文仁等.攀西古裂谷的大地热流.见:攀西裂谷文集编辑组.攀西裂谷文集.北京:地质出版社,1987.182~192
- 8 沈显杰,张文仁,管烨等.纵贯青藏的亚东-柴达木热流剖面.科学通报,1989,(17):1329~1330
- 9 佟伟,章铭陶编.腾冲地热.北京:科学出版社,1989.262
- 10 佟伟,章铭陶编.横断山区温泉志.北京:科学出版社,1994.326
- 11 沈显杰,王自瑞.西藏羊八井热田的热储模式分析.中国科学(B辑),1984,(10):941~949
- 12 邓孝,陈墨香.河北束鹿-宁晋地热田形成特征.新能源,1992,(12):24~30
- 13 余恒昌,邓孝,陈碧婉主编.矿山地热与热害治理.北京:煤炭工业出版社,1991.404
- 14 汪集旸.华北盆地地热与油气资源.见:陈墨香主编.华北地热.北京:科学出版社,1988.165~199
- 15 汪集旸,汪集旸,熊亮萍等.辽河断陷地热特征与油气资源.中国科学院地质研究所集刊,1992,(5):1~77
- 16 陈墨香.新编中国温泉分布图及其说明.地质科学,1992(增刊):322~332
- 17 王钧,黄尚瑶,黄歌山等.中国地温分布的基本特征.北京:地震出版社,1990.231
- 18 廖志杰.青藏高原温泉火山分布图.见:中国科学院青藏高原综合科学考察队编.青藏高原地图集.北京:科学出版社,1990.28~29
- 19 汪集旸,熊亮萍,庞忠和主编.中低温对流型地热系统.北京:科学出版社,1993.240
- 20 陈墨香,汪集旸,邓孝主编.中国地热资源——形成特点和潜力评估.北京:科学出版社,1994.260
- 21 沈显杰,张文仁,杨淑贞等.青藏热流和地体构造热演化.北京:地质出版社,1992.94
- 22 陈墨香,黄少鹏,汪集旸.中国地热场概貌.见:陈墨香,汪集旸,邓孝主编.中国地热资源——形成特点和潜力评估.北京:科学出版社,1994.8~16
- 23 Wang J Y, Huang S P. Linear relationship between heat flow and heat production in Panxi paleorift zone, SW, China. Geophys Res Lett, 1987,14(3):272~274
- 24 Huang S P, Wang J Y. On the relationship between heat flow and P_n velocity — a case study from the continental area of China. J Geodynamics, 1991,14(1):13~28
- 25 黄少鹏.中国大陆地区大地热流和地壳厚度的变化.地球物理学报,1992,35(4):441~450
- 26 王大纯.我国开发利用地热能中的若干问题.见:全国地热学术会议论文选集编辑组编.全国地热学术会议论文选集.北京:科学出版社,1981.25~28
- 27 沈显杰.喜马拉雅地热带地热资源量级估算方法探讨.地质科学,1992,(增刊):302~312
- 28 廖志杰.中国地热能未来.新能源,1992,14(6):37~41
- 29 陈肇夏.台湾的温泉和地热.地质,1989,(2):327~340

ADVANCES IN GEOTHERMICS IN CHINA

Chen Moxiang Wang Jiyang Deng Xiao

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

Abstract This paper briefly reviews geothermal study in China since 1949. The progress of terrestrial heat flow measurements and their geologic-geophysical implication as well as the distribution characteristics and the genetic mechanism of geothermal resources in China are reviewed and summarized in detail. Finally, the direction of further development of geothermics in China is pointed out by the authors.

Key words geothermics, terrestrial heat flow, geothermal resources, further development, China.

* * * * *

短 文

一个罕见的地质灾害现象

1990年4月19日参加“福建省福州市马尾地区区域稳定性评价及场地地震工程地质小区划报告”审查会的十余名代表在马尾经济开发区进行现场勘察时,登上了开发区中目前最高的建筑物——中国国际钢铁制品有限公司的十二层大厦楼顶阳台,顿时感到一种极为明显的微震般地晃动。

这一地质灾害现象孕育着两种可能的危险,威胁着该大厦的安全:一是如果长期如此摆动下去,有可能导致材料的疲劳,降低大厦结构的强度,从而最终产生永久变形甚至破坏的危险。二是当某一外部荷载突然施加到场地或大厦本身时,促使大厦摆动幅值加大,超过其设计摆动幅值的安全限值,则有产生倾颓的危险。而这种突发性外部荷载是完全有可能随机发生的,如超出设计强度的台风、风暴潮及地震等。

该大厦作为中国国际钢铁制品有限公司的办公大厦,正常使用超过两年后,于1990年1月19日首次触发了上述晃动现象,显然是在某种设计时未考虑到的外部荷载诱发下产生的。据福建省第二水文地质工程地质队观测资料,该厦建成后已发生不均匀沉降现象,大厦西南角已下沉6cm以上,而东南角仅下沉1cm左右,这种不均匀沉降是否仍

在发展,尚有待继续观测。

马尾经济开发区位于闽江下游福州市东部的河口平原上,海拔高程3~5m(高程采用罗零系,即黄海高程+2.179m),地势平坦,河叉密集,曲流发育。可资利用的场地除少数位于丘陵边缘的基岩坡地外,主要为第四系分布的河口平原区,其深部为起伏不平大致向闽江倾斜的埋藏侵蚀基岩面,上覆为残积物、泥质砂砾卵石、含泥砂土和粘性土,中部含厚度不等的淤泥层,上部为天然河口堆积砂层。解放后福建省渔业公司在场区南部闽江河道岸边吹砂造地,1985年为适应马尾经济开发区的建设,又在本区东部闽江北岸漫滩上人工吹填砂土2.6km²。马尾场区总体走向北东,北侧和低山区毗邻,西侧和丘陵区相接,东南侧和西南侧临江,面积7km²。场区中西部地势平坦,海拔高程3~4m,其上有北西向和北东向小河沟发育,这些小河沟以前和闽江相互连通,近期已受改造。表层岩性为河漫滩相黄色砂质粘土,局部地段有人工填土。西南端有海拔高程为31.0m的罗星塔孤丘,为马尾港的标志和景点之一。场区东部为人工吹填砂分布区,吹填砂厚度3~5m,地势略有起伏,海拔高程3~5m,局

(下转 377 页)