

青藏高原科学考察丛书

56.2465

02927

西藏地热

中国科学院青藏高原综合科学考察队



科学出版社

青藏高原综合科学考察丛书

西 藏 地 热

中国科学院青藏高原综合科学考察队

科 学 出 版 社

1981

内 容 简 介

本书是在野外实地考察和大量室内研究工作的基础上写成的一本区域性地热专著。全书分十章、两个附表和两张附图。作者从世界上比较罕见的水热爆炸和间歇喷泉两种现象入手,分析了200多个重要水热活动区泉水(部分为钻孔水)的地球化学特点,泉华、水热蚀变和水热成矿作用,探讨了地热活动和西藏盐湖某些物质组份的成因联系,从而提出了西藏地壳内部分地段存在近代岩浆活动的可能性,并通过某些水热区硫同位素的初步分析验证了这一推论。为了评价重要热田的开发潜力,作者们还进行了天然热流量的测算,并用地球化学温标估算了水热系统的地下温度。最后两章则从新生代的火山活动和板块构造的观点回答了青藏高原为什么出现如此强烈的水热活动。附表和附图则全面地保存了354个水热区的原始资料。书中还附有大量精美的照片。

本书实际资料充实,数据丰富,全书既突出了重点,又照顾了全面。它为研究青藏高原的地质发展史提供了重要资料。

本书可供地质工作者、地球物理工作者、地球化学工作者及大专院校有关专业师生参考。

青藏高原综合科学考察丛书

西 藏 地 热

中国科学院青藏高原综合科学考察队

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年3月第一版 开本:787×1092 1/16

1981年3月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:精1—810

插页:精21 平20

平1—960

字数:252,000

统一书号:13031·1476

本社书号:2033·13—18

定价:精装本 4.85 元
平装本 4.00 元

编 写 单 位

北 京 大 学 地 质 系
中国科学院自然资源综合考察委员会

作 者

佟 伟	章铭陶	张知非	廖志杰
由懋正	朱梅湘	过帼颖	刘时彬

序

号称“世界屋脊”的青藏高原，北起昆仑，南至喜马拉雅，西自喀喇昆仑，东抵横断山脉，幅员辽阔，地势高亢。其绝大部分位于我国境内，面积约为全国领土的四分之一。海拔一般超过四千米，比周围的平原、盆地高出三千米以上。这样一个举世无双，雄伟壮观的高原却又是地球上最年轻的；其最高耸的部分——喜马拉雅山地直至四千万年前的第三纪初期还是一片汪洋大海！是什么力量以如此惊人的速度把它抬升到了今天的高度？这个大高原经历了怎样的沧桑巨变？它的存在又对自然界和人类活动带来了什么样的影响？……这些自然界的奥秘，长期以来一直强烈地吸引着中外的科学家们。

青藏高原有着独特的自然条件和丰富的自然资源，是我们伟大祖国的一块宝地。几千年来，劳动生息在这里的藏族同胞和其他兄弟民族一起，通过生产实践，不断认识、利用和改造着这块土地，为中华民族文化的发展做出了贡献。公元641年文成公主进藏，进一步沟通了西藏与内地的文化交流，促进了青藏高原宝藏的开发和经济的发展。然而，近百年来由于中国反动统治阶级的腐败无能和帝国主义的侵略，富饶美丽的青藏高原也备受蹂躏，宝贵的资源任凭掠夺，任其荒芜。有多少爱国的科学家曾渴望着为认识和开发祖国的这块宝地贡献自己的一份力量！可是在旧中国，这个美好的愿望只能是空想而已，只有在社会主义的新中国，我国的科学家们才如愿以偿了。

解放之初，在西藏交通、供应还十分困难的情况下，国家就组织了科学家们去西藏考察。其后，在1956—1967年和1963—1972年两次国家科学发展规划中，都把青藏高原科学考察列为重点科研项目。中国科学院从五十年代到六十年代，先后组织了四次综合科学考察，取得了显著的成绩。但是，限于当时的条件，考察的地区和专业内容都比较局限。因此，到七十年代初，我们对这个高原的了解还是很不够的，不少地区在科学上仍处于空白状态。

为了适应青藏高原社会主义建设的需要，迅速改变这个地区科学考察的落后状况，遵照敬爱的周总理关于加强基础理论研究的指示，中国科学院于1972年专门制订了《青藏高原1973—1980年综合科学考察规划》，要求对整个高原进行比较全面的考察，积累基本科学资料，探讨有关高原形成、发展的若干基础理论问题，并结合青藏高原经济建设的需要，对当地自然资源的开发利用和自然灾害的防治提出科学依据。

1973年，“中国科学院青藏高原综合科学考察队”正式组成并开始了新阶段的考察工作。考察队员来自全国十四个省、市、自治区的五十六个科研、教学、生产单位。包括地球物理、地质、地理、生物、农林牧业等方面的五十多个专业共四百多科学工作者。至1976年，历时四年首先完成了西藏自治区范围内的野外考察（部分专业的考察到1977年结束）。广大的科学工作者胸怀为社会主义祖国争光，为中国人民争气的雄心壮志，在西藏各族人民和人民解放军的大力支持下，克服了山高氧缺、风雪严寒、交通不便等困难，跋山涉水，风餐露宿，艰苦奋斗，团结协作，终于胜利地完成了野外考察任务，搜集了大量的珍

• i •

贵科学资料。1977年开始,转入室内总结。参加资料分析、鉴定、整理、总结工作的单位又扩增到七十四个,组成了更大规模的社会主义大协作。

现在和读者见面的《青藏高原科学考察丛书》就是1973年至今七年多来参加西藏野外考察和室内工作的广大科学工作者的心血结晶。

本《丛书》包括西藏地球物理场与地壳深部结构、西藏地层、西藏古生物、西藏南部沉积岩、西藏岩浆活动与变质作用、西藏南部花岗岩地球化学、西藏第四纪地质、西藏地热、西藏地质构造、西藏自然地理、西藏气候、西藏地貌、西藏冰川、西藏泥石流、西藏河流与湖泊、西藏盐湖、西藏土壤、西藏植被、西藏森林、西藏草原、西藏作物、西藏野生大麦、西藏家畜、西藏农业地理、西藏植物志、西藏孢子植物、西藏哺乳类、西藏鸟类志、西藏昆虫、西藏鱼类、西藏水生无脊椎动物、西藏两栖和爬行动物等专著。至于青藏高原其它地区的综合科学考察工作,今后将陆续进行。

我们试图通过《丛书》比较系统地反映考察所得的资料和观点,希望《丛书》能够对我国的地学、生物科学的发展,对西藏的社会主义建设起到一点作用。同时,我们也殷切地希望读者对《丛书》的错误和缺点提出批评指正。我们深深感到,现在对青藏高原的考察研究仅仅是迈出了第一步,该做的工作还很多。我们愿意和更多的科学工作者一道为进一步揭开青藏高原的奥秘,为建设社会主义的新西藏而继续努力,争取对于人类做出较大的贡献!

中国科学院青藏高原综合科学考察队



西藏羊八井热田2号孔1975年10月14日怒喷时的情景，
汽、水柱喷高近50米，飘高近100米。

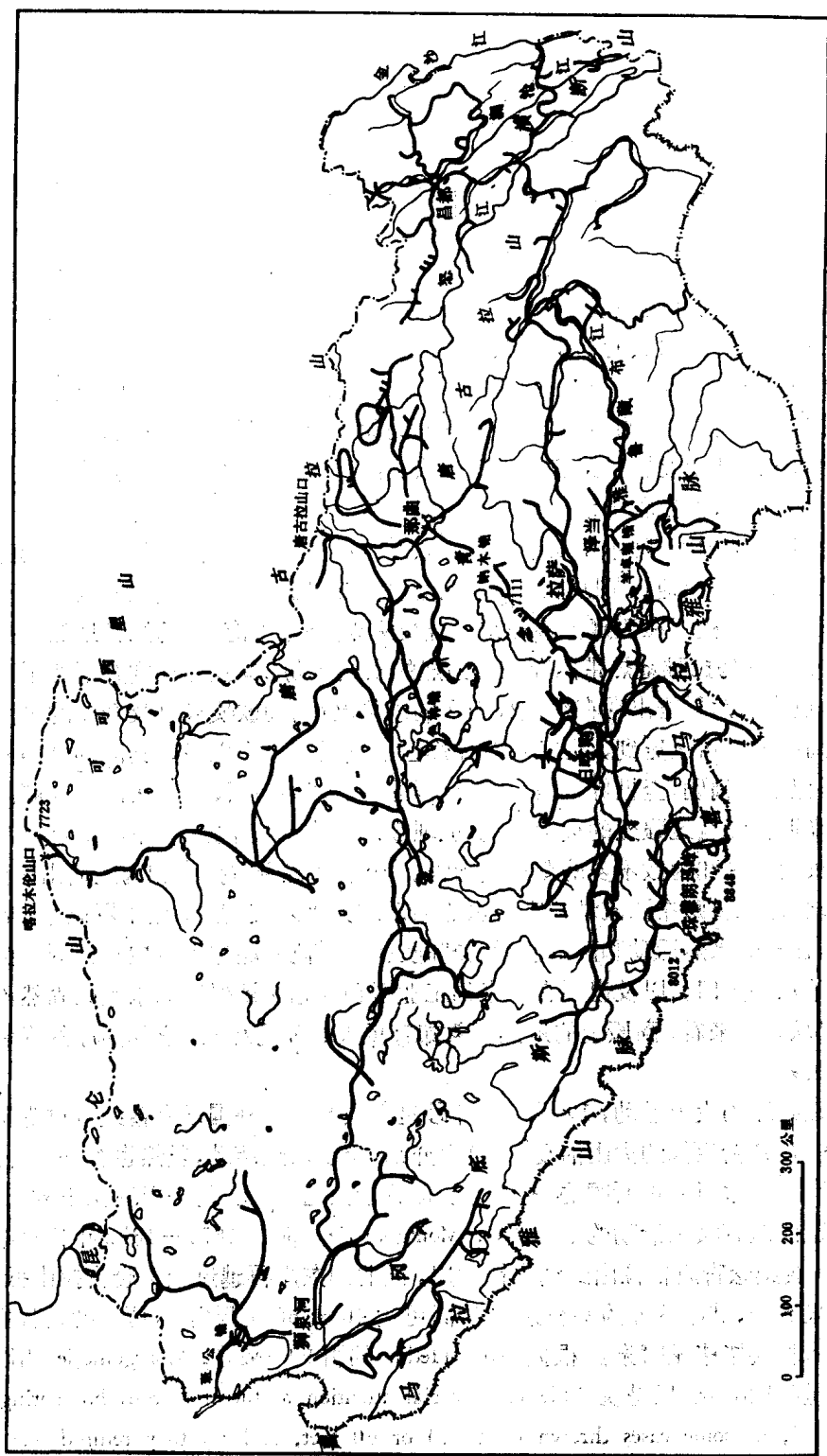
前 言

1973年至1976年,本队根据科学考察总体计划安排,对西藏高原的地热活动地表显示情况进行了全面的考察。考察的主要目的是从地热学的角度为研究青藏高原隆起机制提供科学资料;另外,也探讨了为西藏自治区的工农业发展提供地热资源的可能性。为此,我们在大面积普查的同时,还组织了一定的力量,对羊八井等热田进行了地热资源的初步评价。这两个目的都已经基本达到。本书就是四年来考察到的基本事实的归纳和总结,其中包括我们对这些事实的初步认识。

大量现象说明:西藏高原的南部存在一条活动强烈的地热带,即喜马拉雅地热带。它出现于喜马拉雅弧形褶皱带的后缘,北界为藏北高原的南沿,即冈底斯-拉萨-波密燕山褶皱带的南半部,冈底斯山北坡早第三纪大陆边缘火山岩分布区的北沿,南界为喜马拉雅山脉主脊线的北翼,即喜马拉雅山结晶轴的北缘的电气石花岗岩出露区,并囊括了整个西藏特提斯带,西侧与地中海-阿尔卑斯带相通。东北端沿那曲-九子拉断裂向东北延伸。直达怒江断裂的西北端,使地热带明显地向东北突出,东南端沿怒江断裂进入云南。喜马拉雅地热带呈东西方向横亘在西藏雅鲁藏布缝合线两侧,是地中海-喜马拉雅地热带极为重要的组成部分。喜马拉雅地热带内存在着强烈的水热活动,其强烈程度并不亚于近代或现代火山区,过去认为只能出现在现代火山区的水热爆炸、间歇喷泉以及众多的水汽两相显示现象在高原上都可以见到,现代水热爆炸区已发现有十处之多,其活动之强烈和频繁程度,时间记录之精确,全世界也极为罕见。然而在地热带内没有活火山。西藏高原在地质历史的晚近曾经有过强烈的火山活动,但现今却基本沉寂下来,留下的陈迹是广布高原上的斑斑火山岩区和为数不多的截顶火山锥。至于念青唐古拉山和冈底斯山以南,喜马拉雅山以北,即雅鲁藏布江流域一带的水热活动却方兴未艾,显示点星罗棋布,显示类型形形色色,强烈的水热活动和高耸蓝天的皑皑雪峰相辉映,堪称世界屋脊奇观。位于拉萨市附近的羊八井热田,以及出现在未来的工业区和其它城镇附近的水热区固然不乏热资源意义,但从总体来看,高原上的地热现象却有重大的理论意义,它和高原的隆起很可能存在因果关系。

关于青藏高原的火山活动,19世纪末叶涉足高原的一些外国学者曾经有过零星的报道,这些将在本书“新生代的火山活动”一章中介绍。至于水热活动,虽然也有许多外国“旅游者”、“探险家”谈过对所见所闻的一些感受,但见于报道而又值得一提者仅下列三人。

最早报道西藏有喷泉活动的是 T. G. Montgomerie, 他于1871—1872年自日喀则出发,经南木林县越念青唐古拉山到纳木错西岸,向北到东岸再越过念青唐古拉山抵拉萨。沿途共见热泉5处,其中两处为沸喷泉,“喷高可达40或60英尺”,这可能就是我们今日所见到的南木林县毕毕龙喷泉。根据 Sven Hedin 的引文^[4]来看, Montgomerie 当时并没有肯定它就是间歇喷泉,只是说 “He pays special attention to the numerous hot springs with sulphurous smell, in some cases thrown up to 40 or 60 feet, and say they remind one of the Geysers of Iceland.” 自此之后,西藏有间歇喷泉便屡见于外国文献之中^[13]。



本图上中国国界线系按照地图出版社1972年出版的《中华人民共和国地图》绘制
西藏高原地热考察路线图

S. Hedin 于 1906—1908 年两次到过西藏南部,八度穿越冈底斯山。他也曾经见到一些热泉,但自认为不如 Montgomerie 所见者壮观。特别值得提到的是, S. Hedin 到过玛旁雍错东南扎藏布江畔的“神泉”^[40],看来就是阿里地区普兰县的曲普一带,但既无温度报道,更没有提及我们今日所见到的大大小小的水热爆炸穴。是 S. Hedin 本人对此缺乏认识,还是当地当时尚未发生过水热爆炸?目前虽很难确定,但看来后者的可能性更大。

1928—1937 年,印度人 S. Pranavananda 三度考察藏南三条外流河河源^[62]的时候,也曾到玛旁雍错东南扎藏布江畔观察到 4 个泉群。其中的 Tomomopo 就是今日图上的丹果其萨,曲普是今日的牙门扎。藏语曲普指岩洞,和牙门扎的泉华洞穴是同一物,当时有喇嘛居于其中,我们这次考察也在其中宿营。Tagpotong 是今日图上的曲普。S. Pranavananda 还谈到玛旁雍错西北角齐吾贡巴的三处热泉,一个在安迦河道北,一在河南,一在河心,河心为沸泉,同时还提到朗钦藏布河畔的门士与曲龙。当他见到安迦河道河口(在玛旁雍错一角)隆冬无凌,水鸟嬉戏,猜测湖底也有温泉。可惜报道中缺乏温度数据,而且象 S. Hedin 一样,也没有提到曲普的水热爆炸穴。

上述三人的报道虽系三言两语,不免失之简浅,但对于今日认识高原上水热活动的历史变迁来说,仍然有一定参考价值。

西藏解放以后,我国科学工作者开始在西藏进行范围广泛的科学研究和地质调查,也陆续积累了一些地热资料,其中重要的有:

1951—1953 年中国科学院西藏工作队曾在西藏东部做过地质矿产调查。虽无地热显示的专门记载,但注意到了盐碱、自然硫和雄黄等矿产与温泉活动的关系。

1955 年 11 月至 1956 年 3 月,西藏工程地质勘探队沿雅鲁藏布江干流大竹至尼洋曲口段进行踏勘,也顺便记录了附近的 6 个热泉,并根据几年来地质普查结果编制了《西藏南部温泉分布图》,图上泉点有 40 多处,但都缺乏基本数据。

1958 年—1961 年,中国地质科学院地质矿产研究所和中国科学院西藏综合考察队对西藏的某些盐湖与温泉的关系进行了考察,分析了泉水的成分,提供了首批泉水化学数据,并在成果图上标出了某些泉点的位置。

七十年代开始,我国许多省市都开展了地下热水勘探和综合利用的试验工作,西藏高原上的某些水热区也开始引起人们的资源兴趣。1973 年,中国地质科学院地质力学研究所等单位对青藏和川藏公路沿线的羊八井、兹格塘错等 5 处泉群进行了踏查。同时,为了配合西藏的工程建设,成都地震地质大队和中国科学院兰州冰川冻土研究所等单位,沿青藏公路安多至拉萨段对地热与地震的关系,冻土层岛状融区等做过研究。1974 年西藏地质局开始在拉萨市钻探地下热水,西藏物探队在羊八井热田进行了电、磁普查工作等。

本队 1973 年的地热考察局限于雅鲁藏布江下游大拐弯段,并由水利资源组的章铭陶同志进行。

1974 年,本队开始增设地热专题组。考察范围包括拉萨市一部、山南地区东部和昌都地区一角。专题组成员除章铭陶外,还有武汉地质学院的朱立、肖树棠、许绍卓、吴龙林、宋鸿林和王新华等同志。

1975 年地热专题组兵分两路:一路考察整个日喀则地区、山南地区西部、拉萨市西北部和那曲地区一角;另一路受原水利电力部西藏工作组和西藏科委的委托,在羊八井热田从事地热资源评价工作,并配合西藏地质局第三地质队,对羊八井热田浅层热储开展了

试钻。调查与试钻证实：羊八井热田是一个开发潜力很大的湿蒸汽田，它的浅层增温梯度达到每米 3°C 左右。

1975 年度地热专题组的成员有：

中国科学院自然资源综合考察委员会：章铭陶、顾学再；

北京大学地质地理系地热科研组：佟伟、张知非、廖志杰、刘时彬；

北京大学地质地理系学生：王向民、王风桐、吕金财、姜常义和戴绍楠；

北京大学地质地理系地热科研组由懋正同志同年在参加原水利电力部西藏工作组期间，也和工作组吴方之同志一起，在羊八井热田进行了资源评价工作。

1976 年度地热考查工作分 4 组进行，组成人员是：

昌都组：北京大学由懋正、邓宝山，学生李修平和唐加品；

那曲组(包括羊八井)：北京大学佟伟、朱梅湘、王德新、过帼颖、刘时彬；学生杨少平、奚小环；

阿里组：自然资源综合考察委员会章铭陶，北京大学廖志杰，阿里地区水工队冯普元；

藏北高原组：北京大学张知非，学生陈百明。

四年来的普查使我们对西藏高原全境的地热显示情况有了较多的了解。根据初步统计，整个西藏出露的水热区大体有 600 多处，但由于时间紧迫、交通不便，我们仅实地调查了 350 多处，其中大多数都是属于“蜻蜓点水”式的一掠而过，但汽、水两相水热区除过于偏远者外，大多已经履及，工作也相对较细。

除羊八井热田以外，其余水热区的野外工作方法常规，手段一般，如观察和描述显示情况，测量其温度和流量，采集地热流体样品，采集水汽沉淀物和围岩样品，观察水热区周围的地质环境以及照相等。

室内工作包括野外资料归纳整理，编制相关图件，分析水、气和同位素样品以及鉴定岩石、泉华、水热蚀变类型和金属成矿现象等。

地热考察工作受到了西藏自治区党、政、军各级领导的大力支持和热情关怀，受到了藏族同胞的大力帮助。在各兄弟单位以及本队各兄弟专题组的大力协同下，使我们得以证实西藏南部的雅鲁藏布江南北是一个延伸上千公里的强烈地热活动带。这对考察青藏高原的地质演化具有较大意义，而靠近城镇的某些有开发潜力的水热活动区显然又具有资源意义。

分析工作方面得到了冶金工业部地质研究所、中国地质科学院水文地质工程地质研究所、地质矿产研究所，中国科学院青海盐湖研究所、中国科学院地质研究所、地理研究所、武汉地质学院以及北京大学化学系、电镜室、地质地理系地球化学教研室和自然地理教研室等单位的大力帮助。我们谨此表示深切的谢意。

如何把一百多万平方公里面积上的地热活动情况以及我们对这些情况的分析和认识归纳起来，变成读者面前的一本书，这对于我们来说是一大难题。如果按地理位置进行逐点描述，读者面前就将出现烦琐不堪和杂乱纷繁的景象，而且不可避免地会出现大同小异的印象，这样一本书的可读性必然很差，或者会变成一本“温泉志”；如果只写入一些奇特的显示现象，则虽然增加了可读性，但却很容易丧失相当大一部分实际资料，而后者是我们分析整个高原面貌必不可少的。为了协调这种矛盾，我们给自己立下了两条原则，一是重要现象用专门章节突出出来，二是用两个大表全面保存实际资料。我们认为保存全面

• x •

的实际资料十分重要,因为它不仅是本书的立论依据,而且也可以为不同专业的读者独立地分析问题,尤其是分析非地热专业课题(如高原地壳运动问题)提供地热方面的线索。

我们认为具有重要意义的课题都写成独立的章节,譬如显示类型中的水热爆炸、间歇泉和火山。水热爆炸是一种十分独特的水热活动,它不同于火山活动中的水汽爆炸,与岩浆上侵和喷出都没有直接联系,但是它的活动强度是如此猛烈,乃至采取爆炸的形式,因此,普遍认为只有浅部存在过热的地下水或蒸汽以及超压现象才有可能导致这种活动。间歇喷泉过去认为只出现在活火山或近代火山区,西藏高原有间歇泉活动的传闻已久,但都语焉不详,因此我们辟为独立一章,除了以正视听以外,对判断高原地热活动性质也至关重要。火山是地热活动最强烈的一种地表显示,也是强烈水热活动最重要的一种地质背景。高原腹地和强烈水热活动带虽然没有活火山,但地质历史的晚近却有过强烈的火山活动,另外,高原边缘的昆仑山中卡尔达西火山在1951年5月27日还喷发过。火山活动是地热学界和地球构造学界普遍关心的一个现象,因此我们也辟为一章予以介绍。

水热地球化学行为是地热活动的重要表现方面,它在一定程度上能够反映地热活动强度、热源地质体和热流体通道围岩的性质;在地热普查中,地球化学方法又是一种最基本和比较省钱省事的手段;另外,国际地热学界最近几年发展起来的地球化学温标方法,是在没有深部钻探的情况下,估算地下温度的唯一方法。还有硫同位素分析,硅华、钙华以及盐华等水热沉淀物质的分析和鉴定等。盐华物质的分析和鉴定目前还是一种尝试,我们之所以认为它是一个重要课题,是因为水热活动区地表的盐华为判断藏北高原盐湖物质成分来源提供了一个重要的线索,而藏北高原的某些盐湖又有可能是水热活动的一个演化阶段。

地表天然热流量是衡量水热系统活动强度的重要标志;天然热流量测量又是估算水热活动区开发潜力的重要方法。我们在野外考察中注意了这方面的工作,在羊八井热田还进行了直接测量,测算了热水湖、塘的水面温度与散热强度的关系,放热地面(包括冒汽地面)的地面温度与散热强度的关系等。这在国内也是一种尝试,试验结果也一并在专门章节中介绍。

最后,我们用一章的篇幅来专门探讨西藏地热活动的地质条件,包括热源形成机制的讨论。这是一个饶有兴味的课题。从目前迹象来看,西藏的地热活动和高原的隆起显然有因果关系,而高原的隆起又是南亚次大陆与欧亚大陆板块会聚过程的产物。这个过程比较复杂,解决它必须依靠多学科的大力协同,而地热学只能提供一个方面的证据。另外,我们缺乏高原上大地热流量的基本数据,使得问题的讨论产生很大的局限性。我们的讨论也涉及了其它一些学科,难免有一些“外行话”,好在本书是抛砖引玉,因而不揣冒昧,希望引起地学界更加广泛的讨论。

至于面上的情况,凡是和上述章节有关的地区和情节我们都尽量地揉合进专门章节里去,譬如水热爆炸泉区,由于现象如此重要,所以我们尽量在专门章节中作全面介绍,而一般沸泉、热泉、温泉,为了避免叙述上的烦琐而又不丢失原始资料,我们只好把它们列入总表之中。

本书在写作过程中,除文献目录所列资料以外,还引用过一些同志的工作资料;评审手稿时,傅承义、李春昱、王大纯、彭志忠、徐近之、张彭熹、滕吉文、魏斯禹、张立敏、尹集祥、邓万明、汪集旻、陈墨香、陈民扬、骆慕宾、李炳元、张青松、谢长芳、郑克棣、周文辅、张

锡根、胡循森、郑绵平和曲一华等同志都提出过许多宝贵意见,对此,我们也表示深切的谢意。

西藏高原地域辽阔,海拔很高,气候复杂多变,交通条件相当困难,加上学识水平的限制,使我们的实地考察工作很难做到详尽无遗。因此,本书所归纳的事实以及由此所作出的一些推论不可避免地会存在许多问题。为了改进今后的工作,作者热切欢迎读者随时不吝指正。

目 录

序.....	i
前言.....	vii
第一章 水热爆炸.....	1
一、典型水热爆炸区之一——玛旁雍热田	2
二、典型水热爆炸区之二——羊八井热田	5
三、西藏水热爆炸活动的特点和成因初探	12
第二章 间歇喷泉.....	14
一、搭各加间歇泉区	14
二、查布间歇泉区	16
三、谷露间歇泉区	17
四、羊八井的人造间歇泉塘	19
五、间歇泉活动的机制分析	20
第三章 水热地球化学.....	24
一、热水溶解的化学组分	24
二、热水中化学组分的来源问题	32
三、热水化学类型	33
四、热水硼丰度的地理分布	36
第四章 钙华、硅华和水热蚀变	39
一、钙华	39
二、硅华	44
三、矿化现象	47
四、水热蚀变	48
第五章 盐华及其地热地质意义.....	51
一、矿物成分	51
二、矿物组合及分布规律	56
三、盐华矿物组合与水热活动强度的关系	57
四、西藏的水热活动和盐湖的关系	59
第六章 水热区硫同位素的初步分析.....	64
一、水热区地面的自然硫	64
二、硫同位素	67
三、水热区硫同位素的初步分析	69
第七章 水热区的天然热流量.....	74
一、概述	74
二、热水水携带的热量	75
三、热水水面的散热量	76
四、冒汽地面和放热地面的热量排放	78

五、水下热泉和“渗眼”放出的热量	80
六、传导热流量	83
七、辐射热流量	84
八、一些结果	85
第八章 水热系统地下温度的估算	87
一、SiO ₂ 温标	88
二、Na-K 温标及 Na-K-Ca 温标	95
第九章 新生代的火山活动	98
一、冈底斯火山岩带	98
二、藏北高原火山岩带	98
三、藏北高原火山活动的地质意义	104
第十章 西藏地热活动的地质条件	107
一、西藏高原板块构造的模式	107
二、西藏高原的断裂构造与水热区的分布	111
三、西藏高原水热活动的热源问题和高原地壳热状态的推论	115
附表一 西藏水热活动区总表	119
附表二 西藏水热活动区水化学分析总表	133
参考文献	165
西藏水热活动区编号索引	168
照相图版	
附图一 西藏水热区和显示类型分布图 1:250 万	
附图二 西藏地热地质图 1:250 万	

THE SERIES OF THE COMPREHENSIVE SCIENTIFIC EXPEDITION
TO THE QINGHAI-XIZANG PLATEAU

**GEOTHERMALS BENEATH XIZANG
(TIBETAN) PLATEAU**

CONTENTS

Forewords	i
Preface	vii
1. Hydrothermal explosions	1
Case history I——Mapam Yumco geothermal field; Case history II——Yangbajain geothermal field; Preliminary discussion about the characteristics and origin of the Xizang hydrothermo-explosion activities	
2. Geysers	14
Tagejia geyser area; Chabu geyser area; Gulu geyser area; Yangbajing drilled geysering boiling pool; Discussion about the mechanism of the geysering activities	
3. Hydrothermal geochemistry	24
Dissolved chemical components in thermal waters; Origin of the dissolved chemicals in the thermal waters; Geographical distribution of the boron abundance in thermal waters	
4. Travertine, siliceous sinter and hydrothermal alteration	39
Travertine; Siliceous sinter; Hydrothermal mineralizations; Hydrothermal alteration	
5. Salt incrustations and its geothermo-geologic importance	51
Mineralographic components of the salt incrustation; Mineral assemblage and its distribution characteristics; The relationship between the salt-mineral assemblages and the intensity of hydrothermal activities; Cause-effect relationship between hydro- thermal activity and some salt lakes	
6. Preliminary analysis of the hydrothermal sulfur isotopes	64
Natural sulfur originated from hydrothermal activities; Sulfur isotopes; Preliminary analysis of the sulfur isotopes of Xizang hydrothermal areas	
7. Natural heat discharge of hydrothermal areas	74
Introduction; Heat amount transported by hot springs; Heat loss evaporated from the surface of the hot waters; Heat loss from underwater hot springs and seepages; Heat flow by conduction; Heat flow by radiation; Some results	
8. Estimation of underground temperature of the hydrothermal systems	87

Silica geothermometer; Na-K and Na-K-Ca geothermometer	
9. Cenozoic volcanism of the Xizang Plateau	98
Gangdise belt of volcanic rocks; Zangbei-Plateau belt of volcanic rocks; Geologic significance of the Zangbei-Plateau Volcanism	
10. Geologic settings of the Xizang geothermal activities	107
The model of the plate tectonics of Xizang Plateau; Rift structures and hydrothermal activities of the Xizang Plateau; Heat source of Xizang hydrothermal activities and postulation about thermal regime of the Plateau crust	
Comprehensive table of Xizang hydrothermal areas	119
Comprehensive table of hot-water chemistry of Xizang hydrothermal areas	133
Bibliography	165
Index of Xizang hydrothermal areas	168
Photographs	
Attached map I: Distribution of Xizang hydrothermal areas, 1:2500000	
Attached map II: Geothermo-geologic map, 1:2500000	