

地热专辑

第二辑

中国地质科学院地质力学研究所 主编

地质出版社

地 热 专 辑

第 二 辑

中国地质科学院地质力学研究所 主编

地 质 出 版 社

地 热 专 辑

第 二 辑

中国地质科学院地质力学研究所 主编

责任编辑：戴鸿麟

地质出版社出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：19.125 字数：450000

1989年9月北京第一版·1989年9月北京第一次印刷

印数：1—1140册 国内定价：8.30元

ISBN 7-116-00463-7/P·390

编 者 的 话

《地热专辑》第二辑所选论文共40余篇，汇总了各有关科研、生产和教学单位近年来在地热勘查与研究中所取得的成果，同时还搜集了冰岛联合国地热培训班及新西兰奥克兰大学地热学院学习进修人员撰写的部分论文。

本专辑的内容，主要包括：（1）地热活动分布与地质构造的关系及地热形成的深部地质背景；（2）地热资源及含碳酸热矿水资源的分布概况；（3）地温分布特征与地热资源远景；（4）油田地温与古地温；（5）地压地热资源；（6）水热活动与区域稳定性的关系；（7）热田勘查研究方法，包括地热地质、地球物理（电法、重力及井温测量等）、热水地球化学与同位素地球化学以及水-岩平衡的化学计算等研究；（8）地温场数学模拟及岩石热导率测定方法。

《地热专辑》第二辑内容较广，反映了地热工作的新成果、新进展。本书可供地质、水文地质及工程地质、油田地质、地球物理、地球化学、数学地质等学科从事地热科研、生产和教学的有关人员参阅。

本专辑由中国地质科学院地质力学研究所黄尚瑶、刘特音主编。本所袁志梅、马大乐，北京市地质局水文地质工程地质公司郑克棣及中国科学院地质研究所王钧参与了部分选编工作。绘图工作由本所周金法、胡青云、赵小荣、修敬华及李跃辉完成，乔子江及李国岐负责植字工作。

由于篇幅有限，对一些论文的文字、附图及参考文献均有较大的省略和删节，敬请作者谅解。

选编者

目 录

编者的话

大陆碰撞带的地热活动 (以喜马拉雅地热带为例)	廖志杰	朱梅湘	(1)
西藏地热异常带的划分及其构造控制	康文华	李德禄	白嘉启 (9)
台湾岛地热资源概况	王 钧	黄尚瑶	(16)
华北平原地热区形成的深部地质背景	汪集旸	汪辑安	王 钧 黄尚瑶 (43)
华北中新代沉积盆地的地热资源及其开发利用远景	王 钧	黄尚瑶	(48)
冀中地区地温预测	汪辑安	张文仁	(58)
华北北部地温和古地温与油气分布关系的初步探讨	汪辑安	冯 石	(67)
华北油田区新生代古地温资料报导	汪辑安	汪集旸	王永玲 张忠义 (77)
试论广东地热条件及找热方向	余 雅	陈宗泽	洪尚勤 (82)
广东断裂构造对地下热水的控制作用	朱长生		(87)
广东省的碳酸水资源	朱长生	洪尚勤	(95)
川西和云南地区地热资源分布规律及其与地质构造的关系	韩宗珊		(103)
湖北省地热资源及其综合利用概况	田斗丰		(110)
安徽省庐江县汤池热田简介	吴明生		(118)
羊八井地热田特征简析	刘连捷		(119)
羊八井地热田水化学特征	王自瑞		(122)
羊八井地热田侧向载热体的运移及其滞留时间的估算	杨期隆		(126)
地热井参数和发电潜力的快速估算 (以西藏自治区羊八井地热田羊 9 井及 羊 4 井为例)	杨期隆	叶永发	(129)
西藏古堆高温水热系统的地下状况	张知非	沈敏子	赵凤三 (134)
华北北部断陷盆地碳酸盐岩热储水化学研究	马大乐	夏 珍	(141)
北京小汤山热田地热地质条件探讨	徐学全		(148)
北京地热田及其外围地区天然水氢氧同位素组成特征	黄尚瑶	冯江华	郑克校 谢长芳 马大乐 (155)
北京地热田地下热水同位素研究的初步分析	郑克校	马大乐	谢长芳 黄尚瑶 冯江华 吴静淑 (163)
北京西八里庄一大郊亭剖面地温场的数学模拟结果分析	熊亮萍	高维安	(171)
天津地区地热异常的分布及其成因	李德禄	周治安	(180)
氡在天津地下水研究中的初步应用	王恒周		(186)
天津地下热水的化学组分与结垢、腐蚀现象的观察及其机理的探讨	李之鑫		(189)
四川甘孜盆地的地下热水	林化岭		(195)
我国某些热矿水中的氡	安可士		(196)
福建龙岩地下水的深部循环	王瑞久	袁志梅	(198)

水热活动与区域稳定性的关系.....	钟立勋 (204)
如何提高标定热敏电阻的感温精度.....	过桐颖 (212)
岩石热导率及其测试方法.....	沈显杰 杨淑贞 陆秀文 张文仁 (217)
海底热流分布的模式论证——大洋板块演化的地热证据.....	沈显杰 (227)
地压地热资源及其评价.....	彭大钧 (235)
后郝窑热田电测深资料的重新解释.....	郑于文 (241)
新西兰布罗德兰兹热田勘探工作与构造研究.....	万天丰 (249)
新西兰那法热田重力资料的地质意义.....	廖志杰 (259)
新西兰罗托鲁阿市库依洛公园热泉的成因分析.....	郑克校 (264)
冰岛两个地热田井温测量资料解释.....	周熙襄 (275)
地热系统水-岩平衡的水化学计算	姚足金 (281)
二氧化硅地热温标.....	姚足金 (288)
Na-K-Ca化学地热温标的镁校正法.....	[美] R. O. 福尔尼埃, R. W. 波特尔 (292)
水文地球化学在地热勘探中的应用	[美] R. O. 福尔尼埃 (294)

大陆碰撞带的地热活动

(以喜马拉雅地热带为例)

廖志杰 朱梅湘

(北京大学地质学系)

世界高温地热带, 有的出现于扩张型板块的边界, 有的沿聚敛型板块边缘分布, 有的则出露于大陆碰撞带内。它们彼此首尾相接, 形成环球地热活动带。如亚洲东部西太平洋岛弧的地热活动带, 从阿留申群岛经日本岛弧、菲律宾群岛, 在印尼岛弧与地中海—喜马拉雅地热带活动带相连接。

在西藏高原南部, 著名的印度河—雅鲁藏布缝合带与喜马拉雅山脉一起, 组成了世界上最为壮观、最具有代表性的大陆碰撞带。这里, 以印度河—雅鲁藏布江缝合带为中心, 分布着喜马拉雅地热带。

喜马拉雅地热带内的高温热水与世界许多著名地热田的热水, 具有同样的水化学类型, 即都是氯化物-钠质型水 (表 1)。其共同特征是: Cl、Na、Li、F、Si、B、S、CO₂、As 和 Sb 等含量较高, 而 Ca 和 Mg 含量相对较低。它们可能是由来自地下岩浆中的含 H₂O、CO₂、H₂S、碱金属卤化物、B、和 SiO₂ 等的高浓度和超临界状态的气体沿裂隙上升, 遇到向下循环的大气水而逐步演化形成的 (D. E. White, 1957)。这是板缘地热活动区地下热水所具有的共同特点。但是, 由于各地区地质发育历史的不同和地球化学背景的差异, 又显示出它们各自的特殊性。例如, 喜马拉雅地热带的地热流体以含硼特别高为其特征。在某些泉点, B 的含量甚至超过主要阴离子 Cl 的含量。喜马拉雅地热带地热流体高 B, 可能与新生代岩浆岩的富硼有关。如: 高 B 的喜马拉雅淡色电气石白云母花岗岩极其富硼, Api 山岩体的 B₂O₃ 含量为 0.64%, Badrinath 岩体的 B₂O₃ 含量为 0.22% (A. Gansser, 1964), 即分别达 6400 和 2200 ppm。

总之, 喜马拉雅地热带是属于板缘环球地热带的一环。它们都产出氯化物-钠质型地下热水。但是, 喜马拉雅地热带又以含硼高为其特征。

一、喜马拉雅地热带及其相邻地区的地热活动

我们把西藏南部地热活动强烈、地热区集中的狭长地带称为“喜马拉雅地热带”(佟伟等, 1978)。地热活动分带的依据, 主要是水热活动的强度, 同时考虑到水热流体的地球化学特征和水热蚀变程度的强弱。

1. 喜马拉雅地热带

在地理上, 此带位于喜马拉雅弧形山脉的后缘, 南起喜马拉雅主脊线, 北越冈底斯山脉, 西始克什米尔地区, 东止雅鲁藏布江的大拐弯处, 平均海拔为 4000 m 左右。在地质构

表 1 世界一些高温热田热水化

地 点	温度, °C	pH	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Na
西藏阿里噶尔县索多Ⅱ号	85.5	8.5	1560	75	303	83.2	1060
西藏昂仁县拉布朗	86.0	8.65	707.4	362.0	361.7	26.5	700
西藏当雄县羊八井	90.5	7.9	468	439	0	51.2	400
西藏当雄县谷露	85.0	8.8	899	1160	179.9	94.6	1050
西藏措美县茶卡	83.0	7.8	555	504	0	139	450
印度普加	83.5	7.6	373	860	0	161	630
印度玛里卡南	97.0	7—8	127	189	0	5	82
美国内华达汽艇泉	89.2	7.9	865	305	0	100	650
美国黄石公园诺里斯盆地	84.0	7.45	744	27	0	38	439
新西兰怀拉开4号孔	>100	8.6	1936	35	0	35	1130

造上,以雅鲁藏布缝合带为中心,囊括整个喜马拉雅褶皱带的西藏特提斯带和冈底斯-波密褶皱带的大部分(图1)。

地热带内的水热活动,强烈、密集而年轻。在我国境内,水热活动区共200余个,我们实际考察了180个。目前,在西藏所发现的汽水两相显示区,全部集中于此带,其中包括11个水热爆炸区,3个高温间歇喷泉和30余个沸泉。它们的温度一般在86℃左右,个别地热区达摄氏90余度。此外,在克什米尔地区也有若干沸泉(Gupta, M. L., 1975)。

地热流体的水化学类型以富硼的氯化钠型水为主,其中的阴、阳离子分别以Cl、Na占优势(表1)。有些地热区, HBO₂含量特别高,甚至超过Cl的含量,如噶尔县索多Ⅱ号和昂仁县拉布朗。其中, HBO₂含量分别为1917及1965ppm;热水中其它碱金属(Li、Rb、Cs)、As和F的含量也很高。索多Ⅱ号As含量高达125.6ppm,含Li高达50ppm;拉布朗含Cs量超过50ppm。

氯化钠型水受冷水掺合后变为Cl-HCO₃-Na型水,当进一步稀释时,又变为HCO₃-Cl-Na型水。它们的pH值是中性和弱碱性。当一些热泉和热水池排放不畅时,由于H₂S的氧化,形成酸性的SO₄-Cl-Na型水。

用电子计算机进行HBO₂趋势分析后,能消除掉各地HBO₂含量中的随机因素,从而反映出区域性的变化趋势。HBO₂含量高的地段,看来与喜马拉雅地热带范围十分吻合(佟伟等, 1981; 张知非等, 1982)。

根据地热流体的SiO₂温标及Na-K-Ca温标推算,该地热带内热储温度多在150℃以上(佟伟, 1981)。

一些高温水热区常常淀积硅华,其矿物成分为蛋白石、方英石、玉髓和β-鳞石英。硅华形态有泉华台地、泉华丘和脉状泉华三种。在新生的地热区硅华不太发育,可是盐华遍布。羊八井热田的硫磺矿一带,盐华多由复铝硫酸盐组成,如:明矾石-毛矾石-自然硫、明矾石-钾明矾、钠明矾-自然硫等组合;在地热流体的主要排泄区,出现石盐-章氏硼镁石-贫水硼砂组合。还有一些高温水热区出现铵明矾-石膏-自然硫组合,有的地方还有三方硼砂和多水硼镁石。含铝复硫酸盐,从本质上来说,它是高温水热流体与围岩之间相互作用的产物。高温水热区的水热蚀变现象,在地表表现为高岭石化、明矾石化和硅化。羊八井盆地内的松散砂砾层,由于水热蚀变的结果,变成固结的泉胶砂岩。

学成分表 (单位: mg/L)

K	Ca	Mg	Li	F	HBO ₂	SiO ₂	参考文献
120	9.86	1.50	50	16	1917	120	佟伟等, 1981
87	0	0	24	20	1965	147.3	佟伟等, 1981
45.5	13.8	4.18	9.75	14.2	175	170	佟伟等, 1981
117	13.7	54.1	25.2	0	205	123.5	佟伟等, 1981
63.5	34.5	5.85	18.75	9.0	458	176	佟伟等, 1981
76	19	10		11	580	95	M. L. Gupta, 1975
17	44	7		0.7	4	100	M. L. Gupta, 1975
71	5.0	0.8	7.6	1.8	196	293	D. E. White, 1957
74	5.8	0.2	8.4	4.9	46	529	D. E. White, 1957
146	26	<0.1	12.2	6.2	104.8	386	D. E. White, 1957

在一些正在变得衰老的地热区和低温地热区, 常常出现钙华。噶尔县门士热泉, 从泉华发育来看, 可以判断该地热区的水热活动曾经历过三个阶段。早期, 水热活动出露于拔河20m的阶地上。在阶地的斜坡上, 淀积一层坚硬的硅华, 标志着当时水热流体为高温; 随着温度的下降, 在二级阶地的阶地地面上, 出现十余座钙华锥。由于热泉水位的下降, 目前在阶地地面上已无任何水热流体外溢了, 热泉则往北迁移到拔河仅3m的钙华台地上。那里的泉口, 由于水花翻滚, 出现了许多由文石组成的“豆粒钙华”。

在地热带内的高温水热区内, 常有与水热活动相关的成矿现象; 有的甚至成为有经济价值的矿床 (如硫磺)。同时, 伴生有辉锑矿和辰砂脉, 这对研究低温热液矿床与水热活动的关系以及探讨一些低温矿床的矿液成因, 无疑有重大的理论与实际意义 (朱梅湘等, 1982)。

2. 藏北高原

紧邻喜马拉雅地热带的北缘, 就是藏北高原区, 海拔平均在5000m以上。地质构造包括昆仑华力西晚期褶皱带、可可西里—巴颜喀拉印支褶皱带的西段、藏北—昌都印支褶皱带的西段和冈底斯—波密燕山折皱带之北缘。藏北腹心地区, 在经历印支折皱之后, 实际成为一新地台, 堆积了巨厚的海相侏罗系。它们不整合覆于褶皱与变质的三叠系之上。

上新世时, 这个地区曾强烈发生过火山喷发, 并形成许多湖泊, 以后发展成盐湖。

尽管第三纪以来藏北高原火山活动强烈, 但水热活动并不发育, 可能是这些高钾的火山岩的岩浆来自上地幔, 并很少滞留于地壳浅处。地热露头以温泉为主, 有少量热泉。温度最高的热泉为藏北龙马耳 (72℃)。热泉的水化学类型为 HCO₃-Cl-Na 型; 温泉主要为 HCO₃-SO₄-Ca 型, 也有少量 HCO₃-SO₄-Na 型。HBO₂ 的含量异常低, 热泉为 20—30ppm, 温泉为 10ppm, 大大低于盐湖 (>100ppm)。

藏北高原盐华的常见矿物组合为天然碱—无水芒硝—石盐及少量硼砂, 与盐湖的矿物组合十分相似, 只是其中的硼酸盐没有盐湖的复杂, 且晶粒细小。尽管热泉的 HBO₂ 含量大大低于盐湖, 但在藏北地区属于内流水系的盐湖和咸水湖, 与水热活动形影相随。许多迹象证明, 盐湖中至少有一部分组分是由地热流体补给的。

在藏北高原没有发现硅华, 但钙华非常发育, 且规模巨大。有许多钙华区目前已无水热活动的露头, 是已经死亡的水热活动区。然而, 这一事实说明, 在新生代早期, 那里的

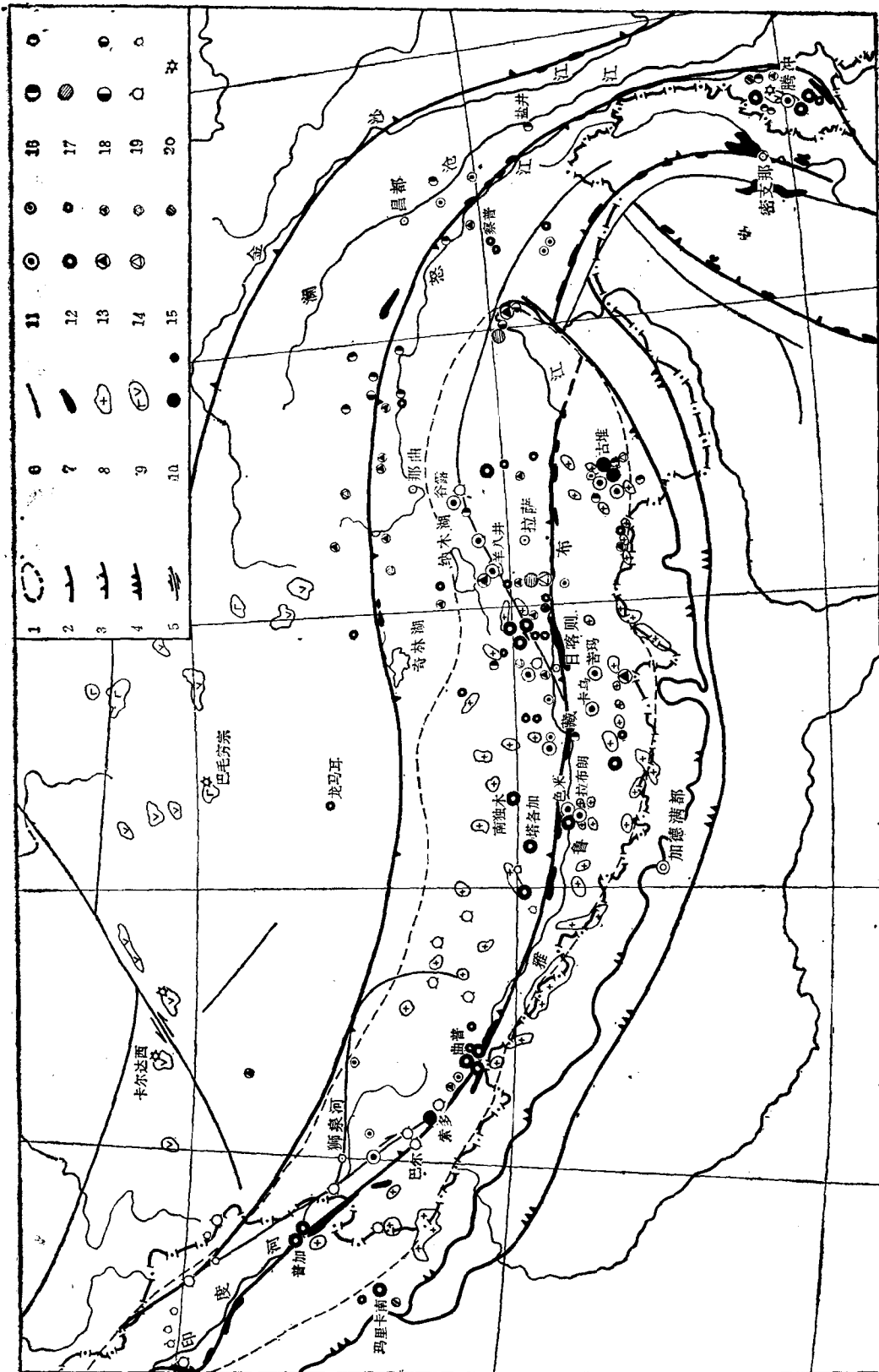


图 1 西藏及其邻近地区地热地质略图

1—喜马拉雅地槽的范围，2—印度河-雅鲁藏布缝合带，3—主中央冲断层，4—主边界大断层，5—平移断层，6—逆冲层，7—蛇绿岩套，8—中—上新世花岗岩，9—上新—全新世火山岩，10—热流体地球化学类型符号（大符号者为沸泉，小符号者为>60℃的热泉），11—Cl-HCO₃-Na型，12—HCO₃-Cl—Na型，13—HCO₃-SO₄-Na型，14—HCO₃-SO₄-Na型，15—HCO₃-Na型，16—HCO₃-Ca型，17—CO₂-SO₄-Na型，18—SO₄-HCO₃-Na型，19—缺乏实测资料的地热区（实线圆圈表示有温度资料），20—火山口

水热活动曾兴盛一时。

3. 藏东北地区

藏北高原以东就是本区。在地理上,包括那曲地区的东部及整个昌都地区。喜马拉雅山脉的东端终止于雅鲁藏布江河谷大拐弯处。昌都地区的区域构造线为北西向,形成驰名于世的横断山脉。在地质构造上,藏东北地区主要为藏北—昌都印支褶皱带的中段(那曲一带)及东段(昌都一带)和冈底斯—波密燕山褶皱带的东北部。藏东北地区的地热活动实际上是横断山地热带的北段。

藏东北地区的地势高,切割强烈,沟壑发育,再加上良好的气候条件,雨量达490—960mm。这里温泉总数达200个以上,但温度均不高。一些高温热泉(78.5℃)主要集中在怒江断裂附近;从该断裂带往东,温度显著下降。

地热流体的水化学类型与温度明显有关。为数极少的高温热泉水为Cl—Na型水(如盐井)和 $\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$ 型水(如察普、仲沙)。大多数热泉水为 $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Na}$ 型水,部分热泉和温度近40℃的温泉水为 $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca}$ 型水,而一些低温温泉则为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ (或Ca)型水。

藏东北地区的钙华也非常发育,差不多有一半的泉区都存在规模不一的泉华台地或泉华丘。盐华组分为天然碱、泻利盐、无水芒硝和水碱等,没有出现高温水热区的复铝硫酸盐。唯一特殊的是在78℃的察普,出现萤石—石英组合(朱梅湘等,1982)。

昌都地区出现一些特殊的盐泉,为NaCl型水。如盐井热泉,Cl含量为17329ppm,Na为11000ppm,但贫硼,显然是地热流体溶蚀侏罗系含盐地层所致。

4. 喜马拉雅山脉南坡

本区在地质构造上包括高喜马拉雅结晶轴和沉积喜马拉雅推覆带。从地理上可分三段:西段包括克什米尔的斯利那加地区、喜马偕尔邦和库茂恩地区;中段包括我国境内的樟木和亚东地区以及尼泊尔和锡金;东段包括不丹和我国德让宗圣瓦弄广大地区。

在西段,共有近40个地热区(M. L. Gupta, 1975; G. A. Waring, 1965)。其中,三分之二在37℃以下,高于45℃的热泉共14个。温度最高的是喜马偕尔邦的Marikaran,海拔1700m,温度近100℃;还有库茂恩地区的Jumnotri,温度达90℃。中段:在我国境内有温度略高于45℃的热泉;在尼泊尔境内,已报导的温泉数共15个(D. R., Bhattarai, 1980),其中沿主中央冲断层分布的共12个,温度约40℃,其余3个分布于主边界断层近侧,水温仅33—37℃。在锡金境内,报导有4个泉区(G. A. Waring, 1965),北部3个温度也在45℃左右,南侧的一个与印度大吉岭地区的两个都是温泉。东段目前尚无任何报导。从中、西两段泉的温度来看,自北而南温度逐渐下降。

地热流体的水化学类型,不同于喜马拉雅地热带。在Marikaran,热水虽为 $\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$ 型,但硼的含量非常低,仅0.5—2.0ppm(M. L. Gupta, 1975),喜马拉雅结晶轴带为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型;往南到尼泊尔境内,泉水中 SiO_2 含量极低。

二、大陆碰撞与地热活动

1. 缝合带两侧地热活动强度

大陆碰撞带地热活动的最大特点是,地热区分布于缝合带的两边。无论是扎格罗斯缝

合带，还是印度河—雅鲁藏布缝合带都是如此。只不过扎格罗斯缝合带还处于大陆碰撞的初始阶段 (M. N. Toksoz et al, 1977)，缝合带北侧的地热活动远不如缝合带南侧的强烈 (Z. Nejat, 1976)。

在喜马拉雅地热带内，过去是冷带的缝合带，目前是地热活动的中心地区。分析缝合带两边地热区的分布，可以看出下列特点：

(1) 活动性强烈的水热活动区，即水热爆炸区，在缝合带以南有6个，在缝合带以北有4个；

(2) 高温间歇泉及沸喷泉，均分布在雅鲁藏布缝合带以北；

(3) 一般沸泉区，在缝合带以南有13个，在缝合带以北有17个；

(4) 热泉与温泉在缝合带以南有55个，在缝合带以北有61个；

(5) 在缝合带南侧出现的钙华数量要比北侧少。

由上述可知，喜马拉雅地热带内，缝合带两侧的地热活动强度，并无质的差别。但是，往北越过冈底斯山脉及往南越过喜马拉雅山脉，地热活动的强度逐渐减弱。由此可见，喜马拉雅地热带的特点与大陆碰撞带的发育密切相关。

2. 大陆碰撞带的构造与发育

缝合带是西藏—喜马拉雅地区最深和最重要的构造单位(图2)。它是由构造变动强烈、陡倾斜的蛇绿混杂岩及时代为三叠—上白垩世的微弱变质的复理石层组成。蛇绿岩套的原始层序为超基性岩—席状岩墙群—枕状熔岩—蛇绿沉积岩或硅质岩。它们形成一系列叠瓦状的冲断块体(周云生等, 1982)。往北，它逆掩到第三系磨拉石砾岩层之上；往南逆掩到复理石层上。同时，它又被后期发育的南北向断层所交截。再南，复理石层逆掩到喜马拉雅北坡从奥陶到始新统的陆架沉积层之上。更南，出现一系列往南滑动的推覆构造，自北而南主要有高喜马拉雅基底滑脱面、主中央冲断层和主边界大断层。

西藏南部大陆碰撞带内虽然没有现代活火山，但是深成岩浆活动相当强烈，明显地呈现出三条各具特色的花岗岩带(涂光炽等, 1981)。

(1) 冈底斯中酸性侵入岩带，侵入时代为120—70Ma，并夹有许多50—10Ma的小花岗岩侵入体。锶同位素初始值为0.7033—0.7036。

(2) 拉轨冈日片麻状花岗岩带，时代为50—30Ma。锶同位素初始值为0.7186。

(3) 高喜马拉雅淡色白云母电气石花岗岩带，时代为20—10Ma。锶同位素初始值为0.7478。说明花岗岩时代由北而南变得年轻。冈底斯带的主要岩体，是在消减带上由洋壳及上面的陆源物质部分熔融而形成的；拉轨冈日及高喜马拉雅岩带是在两个大陆碰撞时由陆壳重熔而形成的。

缝合带及其南侧的推覆构造带与花岗岩带的发育是西藏南部两个大陆碰撞的结果，其发育历史大体如下：

(1) 白垩纪时，大洋板块消减于大陆岩石圈之下，并形成冈底斯北坡的火山弧及花岗岩闪长岩带。

(2) 始新世—渐新世之交，印度和亚洲大陆相碰，印度河—雅鲁藏布缝合带发育，但是印度大陆继续向北运移。由于大陆的浮力及岩石圈挠曲的阻抗，在缝合带南侧形成一系列低角度逆掩断层；在中新世时，主中央冲断层形成。

(3) 陆壳的消减作用沿主中央冲断层进行，直到浮力所产生的阻力变大为止。这时，

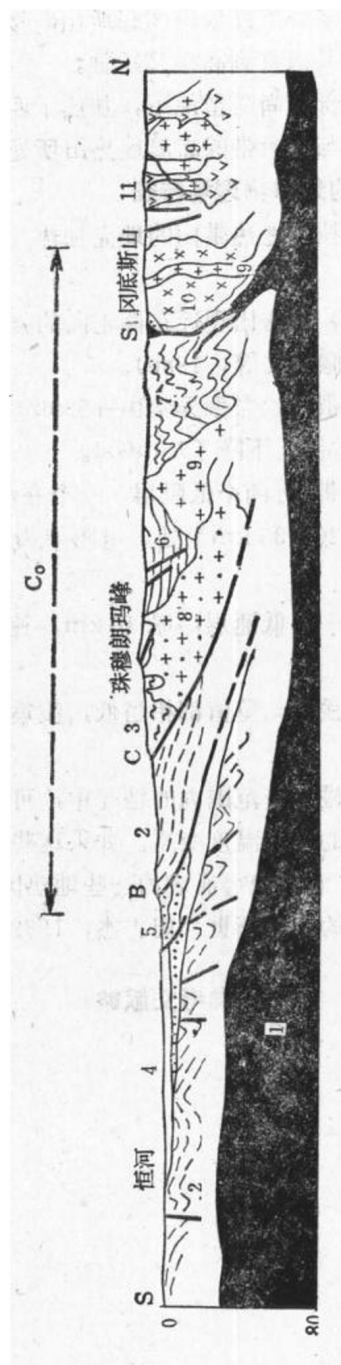


图 2 西藏南部大陆碰撞带地质剖面

1—洋壳及大陆地幔, 2—西姆拉板岩, 3—喜马拉雅结晶轴, 4—恒河平原第四系, 5—磨拉石沉积, 6—特提斯喜马拉雅南带陆架沉积, 7—三叠系—白垩系油积层, 8—高喜马拉雅淡色花岗岩, 9—花岗岩, 10—冈底斯花岗岩, 11—晚白垩系—始新统火山岩; B—主边界大断层, C—主中央冲断层, C₀—大陆碰撞带的范围

在主中央冲断层南侧形成主边界断层。

(4) 沿主边界断层, 聚敛过程仍在持续。

在陆壳消减过程中, 由于摩擦、升温, 并达到花岗岩的固相线, 形成花岗岩浆, 并向上侵位。随着陆壳消减及断层的不断南移, 岩浆岩前锋也随之南移。即当消减带由雅鲁藏布南移到主中央冲断层时, 岩浆岩前锋线由冈底斯山南移到拉轨冈日; 当今日主边界断层起消减带作用时, 岩浆岩前锋又南移到高喜马拉雅。

由陆壳重熔形成的花岗岩部分尚滞留地下, 加热了西藏南部地壳。在花岗岩前锋的后缘出现了喜马拉雅地热带。这与聚敛带的高温地热田所处的位置是完全一致的。

3. 大陆碰撞带地热活动的地球物理场特征

大陆碰撞的结果, 使喜马拉雅地热带内的地壳加热。西藏南部地壳高温的地球物理证据是:

(1) 沿雅鲁藏布缝合带, 航磁出现近东西走向的强正异常。等温居里面深度在谢通门为30km, 在加查为18km (滕吉文等, 1980)。

(2) 重力异常变化梯度很大, 布伽异常由-200mGal减小到-500mGal。如羊八井与拉萨相距仅90km, 布伽异常值就下降了70mGal。

(3) 在羊八井一曲水一带, 有两个低阻层: 一个在6—7km深处, 电阻率值为 $1\Omega\cdot m$, 温度相当于 $600^{\circ}C$, 另一个在20—35km深处, 电阻率为 $1-10\Omega\cdot m$, 温度可能达 $1000-1200^{\circ}C$ (李光岑, 1982)。

(4) 在下地壳中也存在一个低速层, 厚10km, 速度为5.64km/s (滕吉文等, 1980)。

(5) 无论中源地震还是浅震, Q值都相当低, 浅震的Q值为150, 中震为25 (张立敏等, 1979)。

这些迹象都表明, 在大陆碰撞带范围内的地壳中, 可能存在未凝固的岩浆囊。它们缓慢放热, 使喜马拉雅地热带内的地壳温度变高。如果这些侵入体侵入到地壳浅处5—6km深处, 温度现今还保持 $600^{\circ}C$, 它们就可能成为一些地热区的热源。这样的浅成侵入体, 其侵入时代有可能是在构造活跃的中更新世 (廖志杰, 1982)。

(参考文献略)

西藏地热异常带的划分及其构造控制

康文华 李德禄 白嘉启

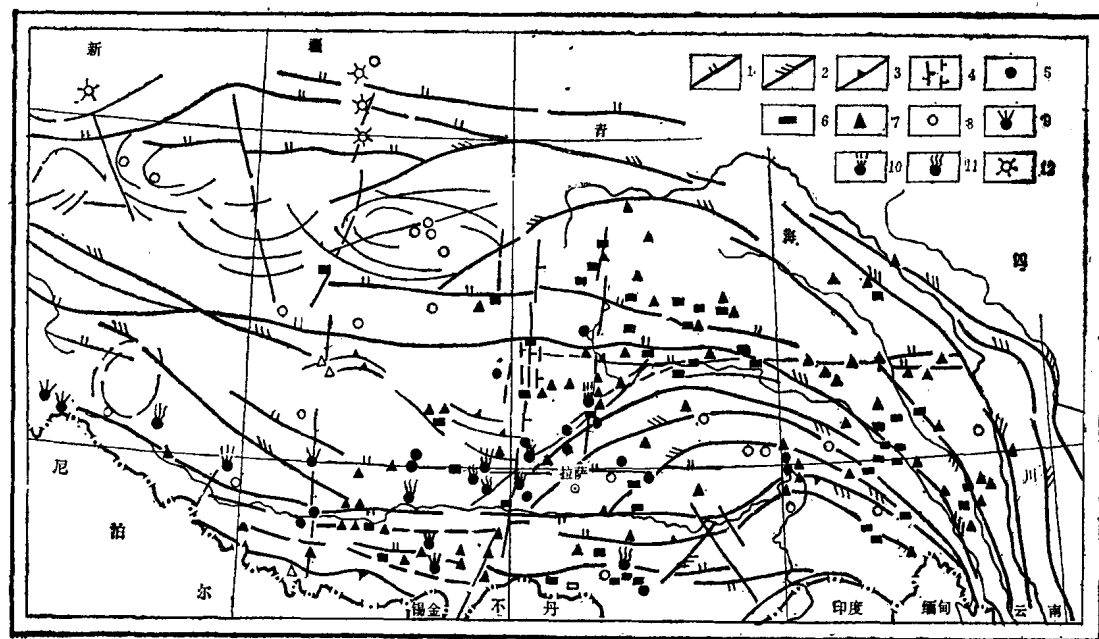
(中国地质科学院地质力学研究所)

地热异常与地壳运动密切相关。在地热异常带范围内,大地热流值比其周围地区明显增高;等温面隆起,等温面的间隔较小。在这种地带开发地热资源比较容易。

本文从地壳形变与地热异常相关的观点出发,对西藏地区地热异常带与地质构造的关系作一探讨。

一、地热异常带的划分

在西藏高原,储藏着极其丰富的地热资源。据不完全统计,全区地热显示约有340余处。其中,有温度资料的为210多处。它们在西藏高原上略呈东西向带状分布,主要集中于3个地带,即藏中地区、藏南地区及藏东地区(图1)。按成因及展布方向将地热异常带划分为下述几带:



本图上中国国界线系按地图出版社1980年出版的《中华人民共和国地图》绘制。

图1 西藏主要构造带与热泉分布图

1—区域东西向构造带; 2—歹字型构造带; 3—弧形构造带; 4—南北向构造带; 5—80℃以上的热泉; 6—60℃至80℃的热泉; 7—60℃以下的热泉; 8—温度不详的热泉; 9—水热爆炸区; 10—间歇喷泉; 11—沸泉; 12—火山口

1. 雅鲁藏布-冈底斯东西向地热异常带

该带出现在西藏南部冈底斯山系和雅鲁藏布江流域,由96处热泉构成。热泉的绝大部分集中分布在东西长1250km、南北最大宽度为200km左右范围内。这里有85处热泉出露。其中,温度在80℃以上者达25处之多。在该带南侧湖中测得146mW/m²和91mW/m²两组高热流值。

该带是西藏地区(乃至我国大陆)地热活动最强烈的地带。其特点是温度高、压力大。60℃以上的热泉占53%。地热显示类型繁多,有温泉、热泉、沸泉、间歇喷泉和水热爆炸等(表1)。

表 1 西藏地区热泉统计表

地热异常带名称	>80℃ (处)	60—80℃ (处)	<60℃ (处)	热喷泉(处)		沸 泉 (处)	水热爆炸 区(处)
				>80℃	<80℃		
雅鲁藏布—冈底斯东西向带	25	27	44	4		17	9
奇林湖—那曲东西向带	1	12	39				
扎林湖—纳木湖—念青唐古拉 弧形带	5	13	28	1		3	
藏东“三江”弧形带	2	10	35		4	2	

注: 1. 表内数字为截至1978年止有温度记录的温泉数。

2. 南北向带因与其它带复合,故未另行统计。

塔格加间歇喷泉是本带4处间歇喷泉中最大的一处,也是全国之首。它由4眼84—86℃间歇喷泉组成,座落在昂仁县西偏北约140km的冈底斯山南麓的拉喀藏布江源头,海拔约5000m。主喷泉的活动很不规则,喷发间隔长短不一,喷发时强时弱。按其水热活动的相对强度,大致一日可有4个周期,高潮出现无规律。其中最激烈一期是出现在午后,喷出的汽、水柱高度达20m(图2)。在相对低潮时期,汽、水柱喷射高度在3—5m。

水热爆炸现象是该带独特的地热显示,出现在该带中部的萨迦、岗巴地区(有5处^①)及西部普兰、玛法木错地区(有4处^②)。其中,普兰县曲普水热爆炸区的规模最大。它地处玛法木错以东4km左右的塔格藏布下游,海拔4600m以上。最大的3个爆炸穴呈北北东向排列。外围垣体相连,呈椭圆形,长轴约150m以上,最大穴口直径为80m左右。在垣体的东缘及东北角有两处沸泉群,水温为86.5℃。

2. 奇林湖—那曲东西向地热异常带

它分布在高原腹地内,主体在黑阿公路南北两侧至怒江上游的那曲流域。已发现的热泉,绝大部分出露在该带的东部,即奇林湖以东,丁青以西。该带由52处热泉组成。其特点是:①温度低,一般以中低温为主(表1)。到目前为止,在这一带仅发现一处温度达83℃的热泉,位于安多县S30°W约22km处错那错(红海湖)的东北角,海拔4570m。②水热活动强度较弱,全带上钙质、硅质泉华发育,形成各种奇异的地貌景观,如西部泽格

① 中国科学院青藏高原综合考察队,1976,《西藏南部的地热资源》。

② 中国科学院青藏高原综合考察队,1977,《西藏阿里地区的地热资源》。



图 2 塔格加间歇喷泉盛喷时景观

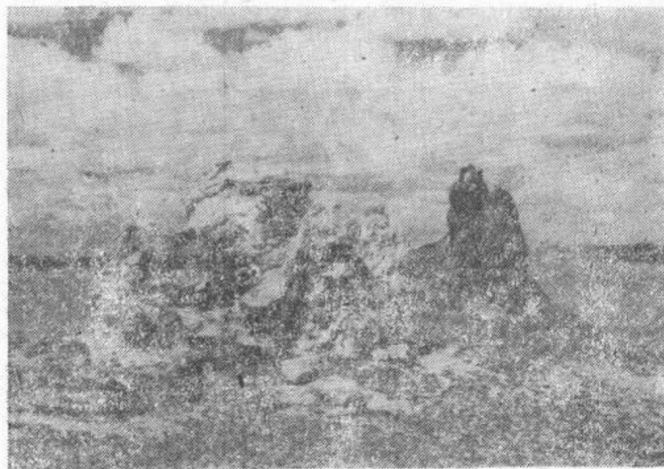


图 3 泽格当湖南岸由热泉泉华形成的天生桥和泉华锥

当湖南岸的泉华丘、泉华锥及天生桥（图3）等。又如东部下秋卡、比如地区的石蘑菇、石林和高度从几m至20m的台地等。③多数热泉处于自封闭阶段，泉水顺着泉华锥、泉华丘的中心颈管外涌。如在泽格当湖南岸海拔4600m的湖滩上，有51—56℃的热泉从高出地表40cm至3m不等的锥顶、丘顶喷汽、溢流（图4）。