

A New Type of Hydrothermal Deposit
—— Cesium-Bearing Geyserite in Tibet

水热成矿新类型

—— 西藏铯硅华矿床

郑绵平 等著



地质出版社

水 热 成 矿 新 类 型

——西藏铯硅华矿床

郑绵平 王秋霞 多 吉 著
刘 杰 平措旺杰 张苏春

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书首次报道了在我国青藏高原发现的一种水热成矿新类型——铯硅华矿床。该书重点介绍了青藏高原地区铯硅华矿床的地质特征和选矿研究新成果。其内容包括：含铯硅华产出的区域地质与地球化学背景；含铯地热水化学特征；矿床成矿特征与生成机制；主要铯硅华矿床实例；铯资源及其远景预测；重点含铯硅华区提铯、制取白炭黑和回收铷等试验新方法以及羊八井地热水提铯试验等。

本书可供从事矿床地质、地球化学、矿石工艺学的科研、生产人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水热成矿新类型：西藏铯硅华矿床 / 郑绵平等著.

—北京：地质出版社，1995. 12

ISBN 7-116-02082-9

I. 热… II. 郑… III. 地下热水-矿床-研究-西藏 IV. P641.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 00974 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑：渠洁瑜 江晓庆

北京市西城区康利胶印厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：7.75 铜版图：3 页 字数：186 千

1995 年 12 月第一版·1995 年 12 月第一次印刷

印数：1—200 册 定价：13.00 元

ISBN 7-116-02082-9

P·1565

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 西藏高原现代水热成矿的调查研究概述	(1)
第二节 铯的市场、生产工艺及矿床类型梗概	(3)
第三节 西藏自然地理及经济概况	(5)
第四节 西藏区域地质和水文地球化学概况	(6)
第二章 含铯硅华成矿特征及生成机制	(14)
第一节 含铯硅华的形态特征	(14)
第二节 含铯硅华的矿物组成及结构构造	(15)
第三节 铯的赋存状态	(18)
第四节 含铯硅华的形成时代	(20)
第五节 含铯硅华形成的构造-地球化学条件及其生成机制	(24)
第三章 重点含铯硅华区	(27)
第一节 谷露含铯硅华区	(27)
第二节 搭格架含铯硅华区	(32)
第三节 色米含铯硅华区	(39)
第四节 其他含铯地热显示区(点)	(43)
第四章 含铯地热田水化学特征	(48)
第一节 热水化学组分特征	(48)
第二节 热水水化学类型	(52)
第三节 地热水的氢氧稳定同位素特征	(52)
第五章 铯资源及其远景预测	(56)
第一节 若干含铯硅华区铯资源量计算	(56)
第二节 含矿热水资源	(56)
第三节 铯矿产资源预测	(60)
第六章 谷露 C1 号含铯硅华提铯及硅渣制取白炭黑试验研究	(63)
第一节 试验样品	(63)
第二节 试验方案选择	(63)
第三节 含铯硅华提铯试验	(66)
第四节 从萃余液中回收铯	(76)
第五节 从浸出渣制取白炭黑	(77)
第六节 谷露 C1 号含铯硅华提铯收益及成本估算	(80)
第七章 搭格架含铯硅华提铯试验研究	(82)
第一节 试验样品	(82)
第二节 试验方案选择	(83)
第三节 搭格架含铯硅华提铯试验	(86)

第四节	搭格架含铈硅华提铈收益及成本估算	(91)
第八章	谷露 C2 号含铈硅华提铈试验研究	(93)
第一节	试验样品	(93)
第二节	浸出试验及试验方案选择	(94)
第三节	谷露 C2 号含铈硅华提铈试验	(96)
第四节	谷露 C2 号含铈硅华提铈收益及成本估算	(99)
第九章	羊八井地热水提铈试验研究	(101)
第一节	概论	(101)
第二节	沸石提铈的机理及试验流程	(101)
第三节	吸附试验	(102)
第四节	洗脱试验	(104)
第五节	沸石提铈原材料消耗估算	(106)
结论		(107)
后记		(109)
参考文献		(110)
英文摘要		(112)
图版及说明		(114)

CONTENTS

Chapter 1 Introduction

- 1.1 General introduction of study on modern epithermal deposit in tibetan plateau
- 1.2 Marcket, technology and deposit types of Cesium
- 1.3 Physical geography and economic Situation
- 1.4 Regional Geology and hydrogeochemistry

Chapter 2 Formation mechanism and ore-forming characteristics of Cs-bearing geyselite

- 2.1 Morphology of Cs-bearing Geyserite
- 2.2 Mineral composition, texture and structure of Cs-geyserite
- 2.3 Hosting State of Cs in geyselite
- 2.4 The Forming time of Cs-geyserite
- 2.5 The Structure Geochemical Environment and the Forming Mechanism of Cs-bearing geyselite

Chapter 3 The Key Cs-bearing geyselite Field

- 3.1 Gulu Cs-bearing geyselite field
- 3.2 Targejia Cs-bearing geyselite field
- 3.3 Semi Ce-bearing Geyserite Field
- 3.4 Other Cs-bearing Geyserite Fields

Chapter 4 Hydrochemistry of the geothermal fields

- 4.1 Chemical composition of thermal water
- 4.2 The Hydrochemical Types of Thermal Water
- 4.3 The D, ^{18}O stable isotopic characteristics of thermal water

Chapter 5 Cesium resources and its prospective reserves

- 5.1 Cesium resources calculation of several geothermal fields
- 5.2 Thermal water deposit
- 5.3 Estimation of cesium resources

Chapter 6 Experimental study of extracting Cesium and making white carbon black from silica residue

- 6.1 Test sample
- 6.2 Selection of test scheme
- 6.3 Experiment of extracting Cesium from geyselite
- 6.4 Retrieve Rubidium from extracting remainder solution
- 6.5 Making white carbon black from leaching residue
- 6.6 Cost estimate of extracting Cesium from No C1 geyselite in Gulu

Chapter 7 Experimental study of extracting Cesium from geyserite in targjia

- 7.1 Test sample
- 7.2 Selection of test scheme
- 7.3 Test of extracting Cesium from geyserite in Targejia
- 7.4 Cost estimation and income of extraction Cesium from geyserite in Targjia

Chapter 8 Experimental study of extracting Cesium from No C2 geyserite in Gulu

- 8.1 Test sample
- 8.2 Leaching test and Selection of test scheme
- 8.3 Extraction and separation of Secium from leaching solution
- 8.4 Cost estimation and income of extracting Cesium from geyserite in Gulu

Chapter 9 Experimental study of extracting Cesium from geothermal water in Yangbajas

- 9.1 Introduction
- 9.2 Mechanism and test circuit of extracting Cesium with zeolite
- 9.3 Test of adsorption
- 9.4 Test of elution
- 9.5 Cost estimation for extracting Cesium with zeolite

Conclusions

Epilogue

References

Abstract

Photo and Caption

第一章 绪 论

第一节 西藏高原现代水热成矿的调查研究概述

西藏高原热泉广泛分布,地热水活动强烈,一向为国内外学者所瞩目。全区有资料可查的地热显示区(点)达672处,主要分布于雅鲁藏布—印度河、班公湖—怒江和龙木错—澜沧江地带;其中高温显示区($>80^{\circ}\text{C}$)有49处,主要分布于雅鲁藏布—印度河地带。这些广泛分布的地热显示区,已引起我国地质界和工业部门的重视;尤其在能源研究和利用领域,自70年代以来,我国地矿部、中国科学院、西藏科委及水电部等有关部门进行了大量的勘察研究工作,建立了羊八井、那曲和朗久等地热电站。然而,西藏高原地热带不仅是一种巨大的能源提供地,而且也是浅成水热矿床的远景区、现代盐湖物质来源区以及现代地壳流体成矿作用实验室。地热流体是地壳流体的重要组成部分,是成矿外部环境和成矿系统间的桥梁,也是地质成矿作用过程中最活跃的因素,目前越来越受到国际地质界的重视,因此对它的研究被视为建立地学新知识体系的重大课题。在现代洋中脊、岛弧、弧后盆地发现的黑烟囱式热流活动和硫化物矿床,被视为岩石圈与水圈物质和热交换的结果,从而对传统的金属成矿理论产生了重大影响。西藏高原地热带是具有陆内成矿流体系统的重要地区,在那里现代热流体的地质成矿作用正在进行,因而它可成为人们探讨陆地成矿环境、水—岩反应、脉动效应与成矿作用过程的重要窗口。本书主要介绍西藏高原广泛发育的一种水热矿床新类型——铯硅华矿床的发现过程、地质特征及选矿研究成果●。

国内最早在本区从事与水热矿床有关的地质工作者首推中国科学院西藏工作队地质组李朴等人●,他们于1951年调查了羊八井高岭土和自然硫等,并概查了那曲附近错马拉热泉型雄黄矿点。1956年以来,西藏地矿局、中国科学院综合考察队、中国地质科学院矿床地质研究所和地质力学研究所(简称地科院矿床所和力学所)等单位先后在西藏进行了大范围的与地热地质或地质矿床有关的调查研究,初步查明了西藏高原地热带的基础地质和水化学特征,发现雅鲁藏布地热带地热水富含B、Cs、Li、Rb等元素,为西藏地热资源的开发利用提供了重要的科学依据,也为发现和研究水热矿床(Hydrothermal deposit)提供了重要的线索和地质依据。从50年代中后期开始,郑绵平在青藏盐湖考察工作中已注意到青藏高原地热水与盐湖之间的成因联系^{〔1〕}。如他曾指出大柴旦盐湖硼

●郑绵平、王秋霞、多吉、刘杰、平措旺杰、张苏春,1992,西藏重点含铯硅华区成矿地质条件及提取试验研究报告。

●李朴、王大纯、曾鼎乾等,1959,西藏东部地质及矿产调查资料,科学出版社(内部资料)。

(锂) 与其北部温泉有关[●], 并提供了西藏首批地热水的水化学全分析数据^[2]; 他还指出该区盐湖与热水具有富硼(锂)的共同特征; 在80年代又指出, 盐湖中B、Li、Cs、As和F主要来自热水^{●●}^[3]——“深部来源对高原中南部特种盐湖物质来说具有决定性意义”。80年代初, 郑绵平基于水热成矿和胶体化学原理, 进一步推测在稀碱元素作为强电介质促进二氧化硅胶体凝结的同时, Cs、Rb、Li有可能富集于硅华中。1982年6月, 他在路过我国最大间歇泉西藏搭格架地热田时, 利用调查队在该区休息的时间, 采取了一个硅华剖面(I号)样品, 其分析结果证实, 新硅华含Cs竟达 9800×10^{-6} 。为了检验这个结果, 1984年他率队在搭格架硅华区实测了一个剖面(II号), 经分析发现, 上述结果重现性很好。此外, 还对矿物组分和铯赋存状态进行了研究并作了简要报道^[4, 5]。该报道指出: 该区含铯硅华为含铯的二氧化硅胶体, 称为含铯蛋白石, 与已知4种类型的铯矿床相比, “是一种不同的成矿类型, 很有希望成为一种新的工业铯矿床”, 并预测“沿雅鲁藏布高温地带有巨大潜在铯资源远景”。尔后他又对搭格架含铯硅华铯赋存状态、矿物学特征及其形成条件和远景作了专门论述, 首次指出西藏多处地点的地热水Cs、Li、Rb和B含量已达到单项综合利用指标, 并对这些潜在液体矿资源量作了初步估算^[5]。

在地科院和地质行业基金委员会的支持下, 1989年郑绵平在刘杰及曾庆高协助下, 开展了“西藏重点地区含铯硅华调查及提铯小型实验研究”。通过室内外工作, 发现了当雄县谷露和措美县布雄朗古两个含铯硅华区(后者含铯较高, 远景较大), 并通过公斤级浸取含铯硅华中铯的条件实验, 制备出少量氯化铯粗产品[●]。为了进一步对该区含铯硅华铯的成因和工业意义作出切实评价, 根据笔者建议, 在地科院和地矿部直管局和西藏地矿局的支持下, 设立了地矿部直管局定向研究项目“西藏重点含铯硅华区成矿地质条件及提取试验”(1990~1992)和“西藏地热田重点含铯硅华矿产地质勘查”(1990~1991)两个项目。研究队由地科院和地热地质大队联合组队。参加室内外工作的有郑绵平(负责人)、多吉、刘杰和平措旺杰等, 参加室内扩大实验工作的有王秋霞、李琦、张大维、张苏春等, 三方密切合作分别开展下列工作。

一、重点含铯硅华区矿产资源勘查和成矿地质条件研究

此项野外工作在1990年7~9月和1991年4月进行。

1. 地表地质调查 据西藏地热带发育的地质背景和交通经济条件, 按照点面结合的原则, 选择谷露、搭格架和色米作为重点解剖区, 开展路线区域地质勘查, 结合遥感资料和区域地质图研究其成矿地质构造背景, 在重点硅华区进行大比例尺地质地形图测量和大量剖面草测。如在谷露测制了1:1000硅华区地形图, 在搭格架实测硅华剖面6条等, 并系统采取各项测试样品。

2. 槽探和钻探 由于搭格架和色米有良好的含铯硅华天然剖面, 此两区除利用天然

●郑绵平, 1957, 青海柴达木盆地硼砂、钾矿调查报告; 郑绵平等, 1958、1957年柴达木盐湖科学调查报告。

●●郑绵平, 1959, 藏北东部硼矿调查初步报告。

●郑绵平等, 1974, 西藏盐湖硼矿研究报告。

●郑绵平、刘杰、刘淑琴、金秉慧、曾庆高等, 1990, 西藏重点地区含铯硅华调查及提铯实验报告。

剖面进行实测研究外,还着重对交通条件好、含铯硅华体出露不全的谷露区安排勘探工程,着重解剖Ⅲ号硅华体,施钻三口(总进尺 57.78m)和槽探 7 条(76m³)。通过上述剖面和勘探工作及室内测试,研究了三区硅华体产状和在纵向上 Cs 和 SiO₂ 等组分的变化特征。

3. 水文地球化学 对该区各类温泉进行了实测,调查了含铯热水产出条件,采取了有代表性的水质分析和稳定同位素样品,还采取了地区主要河流和冰雪水的代表性样品。

4. 采取加工样品 在 1990 年野外调查中,采取了搭格架 857 号、谷露 C1 号固体样品(均重 40kg)以及羊八井、色米热水提铯加工样品(均 100L)。1991 年 4 月还再赴谷露采取 C2 号加工固体大样(重 3.5t)。

5. 室内研究 在上述大量野外报告调查资料分析的基础上进行了含铯硅华地质储量和含 Cs、Li、Rb、B、K 液体矿(热水)资源量的预测,同时,补充进行了硅华矿物组分、年代学数据的测试等研究。

二、提取实验研究

于 1986 年和 1989 年曾用各种稀酸和稀碱进行浸取实验(刘素敏等,1986),后用 NH₄Cl 进行小试[●],探索了浸取含铯硅华中 Cs 的条件,包括各种浸取剂种类、浓度、浸取、温度、时间等,并制备出少量氯化铯粗产品(金秉慧等)。这些实验都说明含铯硅华中的 Cs 较易提取。本书仅介绍 1991~1992 年扩大实验成果。本研究包括两部分,重点是含铯硅华提铯工艺流程,包括 Cs 含量较高(Cs>0.25%)和 Cs 含量较低矿石提铯扩大试验;其次是探索地热水提铯可行性。试验研究是在国内外有关情况和现代调研及资料收集的基础上分析和选择试验方案的。首先进行含铯硅华矿石的硫酸浸出、矾盐结晶和溶解,溶剂萃取分离及反萃液体提取铯盐等试验,然后开展萃余液回收铷、浸出渣制取白炭黑的综合利用试验。为了研究出较适合新矿石的工艺流程,又进行了加盐焙烧-水浸-萃取等试验。在热水提铯试验方面,还开展了沸石提铯机理和试验流程研究。通过上述大量试验研究,并结合我国西藏经济技术条件,对固液态铯矿石作了初步资源经济评价。

第二节 铯的市场、生产工艺及矿床类型梗概

铯是 1860 年德国化学家 Bunsen 等首先发现,并从 Durkheim 矿泉水的残渣中用光谱确定的。铯具有优良的光电特性和强烈的化学活泼性,因此在各种技术领域中有很独特的用途,目前铯及其盐类主要用于军工和高科技领域。铯是光电倍增管最好的材料,也是红外技术必需的材料。其辐射能频率因具长时间稳定性而用于制造铯原子钟。铯的氯化物可作高能固体燃料。铯可用于制造人工铯离子云、铯离子加速器以及反作用系统材料和烟火材料。铯还用于优质催化剂、玻璃、陶瓷、医药、光学、原子能工业和冶金工业等领域。近年来,铯在离子技术、磁流体发电等方面的应用上有重要进展。铯和铷的性质有很

●郑绵平、刘杰、刘淑琴、金秉慧、曾庆高等,1990,西藏重点地区含铯硅华调查和提铯实验报告,地科院、西藏自治区地矿局。

多相似之处,但前者应用较广。据初步调查,国际市场上铯价格为:①工业级金属铯 606~6750 美元/kg (批量不同价格差别很大,下同),氯化铯 68.35 美元/kg;②高纯级金属铯 716.5~7000 美元/kg,氯化铯 154.30 美元/kg (美国 KBI 公司,1979)。最近价格:1g 高纯金属铯 (99.98%) 38.5 美元,而 100g 高纯金属铯同一公司售价为 505 美元,相当于 5.05 美元/g;另一公司按磅出售的高纯金属铯,每磅 310~355 美元,相当于 0.68~0.78 美元/g^①,而工业级氯化铯约 70 美元/kg。近几年,美国、日本等科技先进国家在铯及其化合物用量上有较大增长,西方世界目前年需铯盐量约 50t,其中美国近 30t,日本和欧洲共同体各约 10t。西方铯原料主要来自加拿大、津巴布韦和纳米比亚的铯沸石^②。我国氯化铯价格:工业级 (99.00%) 1500 元/kg,高纯级 (99.99%) 2600 元/kg。金属铯:工业级 7500 元/kg,高纯级 28 元/g。国内铯需求量较小,主要应用于军工和化工方面,年用量约数百公斤,产品主要来自阿勒泰铯沸石,其次是江西宜春的锂云母母液。据预测,随着铯新用途的不断开拓,其应用将会大幅度增加。

铯的生产工艺:国外主要以盐酸浸出-复盐沉淀-离子交换法及硫酸浸出-析矾-离子交换法从铯沸石提取铯;国内主要采用盐酸浸出-复盐沉淀-离子交换法从铯沸石中提铯,也有用酸化-复盐沉淀法和碳酸化-萃取法从混合碱中提铯等。此外,国外有人研究加盐焙烧水浸-沉矾-离子交换法工艺,但尚未见有应用于工业生产的报道。

国外已知氧化铯资源量约 18 万吨 ($Cs=16.98$ 万吨),绝大部分产于伟晶岩型铯矿床中 (铯沸石和含铯锂云母)。我国主要以江西含铯云母型为主,其次为铯沸石型 (新疆) 和盐湖型 (柴达木盐湖品位较低,但西藏某些盐湖卤水含量相当高)。

目前世界上已知铯矿床有四种类型:①含铯伟晶岩 (铯沸石或铯锂云母) 矿床:此类型矿床含铯较高,开发最多,占世界总开采量的 98%;②含铯盐类矿床:包括古代含铯光卤石和现代盐湖卤水,一般含 Cs 很低 (唯西藏扎布耶盐湖卤水含 Cs 最高,可达 50mg/L,居世界已知盐湖型之冠),但属水溶性,不宜用酸碱提取;③铯锰星叶石矿床:产于与碱性花岗岩有关的交代岩中,含 Cs 高达 10.8%,被认为是一种新类型矿床,但尚无开发利用的报道;④含铯温泉水和热卤水:在新西兰,已有提取温泉水中铯和铷试验的报道,Cs 含量一般为百万分之几,最高者在中国的西藏 (51.5mg/L)。

与上述类型相比,西藏很多地方的地热水中 Cs、Rb、Li 含量已达到单项和综合利用标准。如昂仁县色米地热显示区温泉中 Cs 含量达 51.5mg/L, Li 达 35mg/L, Rb 达 2.5mg/L,在搭格架、布雄朗古硅华体中,Cs 含量高于伟晶岩型铯矿床的工业品位^③,谷露硅华体的 Cs 含量也达到和超过工业品位。对 Cs 赋存状态的研究表明,Cs 主要赋存于硅华“羟基水”中 (详见第二章),通过小型和扩大提铯试验得知,此种状态的铯较传统铯矿石 (铯沸石) 易于提取 (详见本书第六、七、八章)。所述可认为铯硅华为一种新型的铯矿床。

●据美国 Department of the Interior Bureau of Mines, 1993, 矿产品概览。

●铯沸石原称铯榴石。

●《矿产工业要求参考手册》编写组,1986,矿产工业要求参考手册。地质出版社 (内部)。

第三节 西藏自然地理及经济概况

一、自然地理

西藏高原的宏观地貌格局，是由辽阔的高原面、高耸的山脉、星罗棋布的高原湖泊和众多的内外流水系等大的地貌单元在平面上排列组合而成的。其地势由西北向东南倾斜，海拔从平均 5000m 以上逐渐降到 3000m 左右。

西藏位于北纬 $26^{\circ}52' \sim 36^{\circ}32'$ ，处在孟加拉湾北西亚热带中低纬度地区；然而由于高原体积巨大，平均海拔 4000m 以上，因而西藏的气候有空气稀薄、太阳辐射强、日照充足、含尘量少等特点^[6, 7]。

研究区为色米-搭格架含铍中心区（位于北纬 $29^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，东经 $85^{\circ} \sim 87^{\circ}$ ）。色米海拔为 4300m 左右，而搭格架海拔高达 4970~5060m，均属西藏自治区昂仁县管辖（图 1）。该区处于冈底斯山脉南麓和喜马拉雅山之间，搭格架位于冈底斯山南坡高原面，而色米位于雅鲁藏布江中游峡谷地区。自南向北地势波状起伏，地形复杂，主要山脉延伸方向与地质构造线展布方向相一致。附近有数座海拔 5900m 以上的山峰，与喜马拉雅山主峰遥相呼应。色米地热显示区位于雅鲁藏布江中游（且嘎区与多白区峡谷之间）南北两岸。搭格架位于冈底斯山南坡打加错南岸。

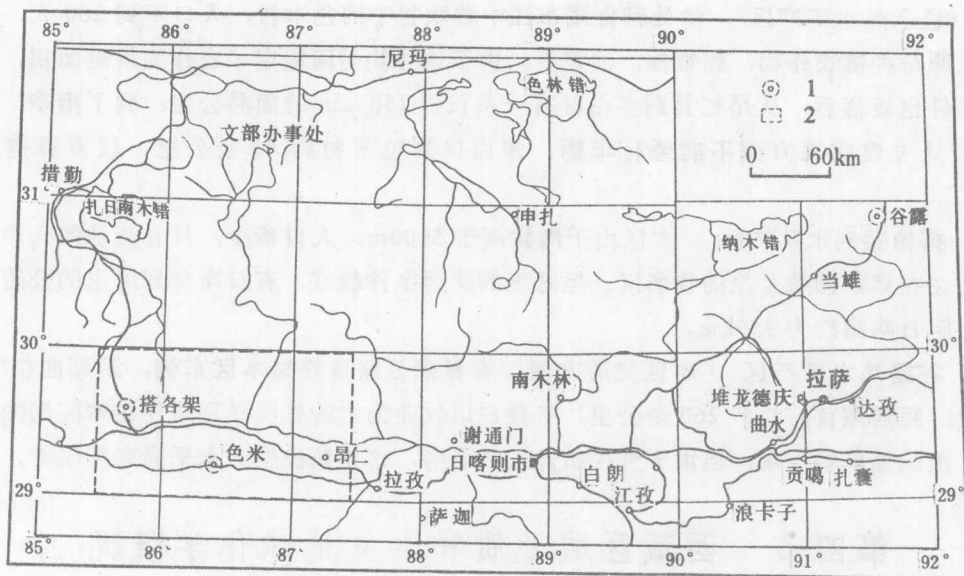


图 1 铍矿资源调查区交通位置及工作范围

Fig. 1 The location of geothermal fields and the investigation area

1—重点地热调查点；2—考察范围

本区位于喜马拉雅山北坡，输入的水气较少，气候较为干旱，属藏南高原温带半干旱

气候区；但搭格架的气温和降水量较色米为低。据色米附近的定日气象站资料，年降水量为 318.5mm，而年平均蒸发量为 2553.0mm，即年平均蒸发量远大于年降水量；年平均气温为 2.7℃，最热月份（七月）平均为 11.8℃，最冷月份（一月）平均为零下 7.4℃。搭格架地区无气象站，其北部海拔（4420m）较低的改则气象站（1973~1981 年观测资料），年降水量 192.6mm，年蒸发量 2269.1mm，年平均气温 -0.4℃，七月份平均气温 11.7℃，一月份平均气温 -13.4℃。搭格架海拔较改则高，年平均气温和最低气温均低于改则站。

重点区谷露含铂硅华区位于念青唐古拉南麓山间盆地中，属西藏那曲县境内的谷露区管辖。地理坐标为北纬 30°50′，东经 91°40′，海拔高程为 4700~4750m。据附近当雄气象站资料，本区年平均降水量为 480.9mm，年平均蒸发量为 1920.2mm，年平均气温为 1.3℃，最低气温为零下 40℃（1~2 月份），封冻期半年以上，冬春季多风，夏秋季多雷雨和冰雹，属那曲高原亚寒带半湿润气候区^[7]。拉萨河上游支流之一的桑曲由北向西南流入热振藏布。

二、经济概况

解放后西藏的国民经济有了巨大的发展，特别是近几年来农业、工业、交通和能源等方面发展迅速；但是由于自然地理条件的影响，各地区经济的发展有显著的差别。

本次调查工作的重点区为色米、搭格架和谷露地区，其经济条件及交通概况如下：

1. 色米热水矿产区 地处雅鲁藏布江中游峡谷中的色米村，人口不到 200 人，主要经济来源是种植农作物，如青稞、油菜等。由于地势陡峭而限制了农作物耕地面积。该区交通条件也较落后，从昂仁县到多白区有一条长约 150 km 的简易公路，到了雨季，由于沿途多处滑坡或塌方而不能通行车辆。多白区到色米村约 40 余公里，仅有驿道通行（图 1）。

2. 搭格架热水矿产区 本区由于海拔高于 5000m，人口稀少，只有流动的几户牧民临时居住在离本区数公里的牧场区。但这里的交通条件较好，有日喀则到阿里的公路通过本区，距日喀则约为 350km。

3. 谷露热水矿产区 本区交通方便，有青藏公路直接通本区东侧，距那曲仅有 70 余公里，距西藏首府拉萨 260 余公里。有数户以牧业为生的牧民零星居住在本区周围的草场区；虽此地草场广阔，但由于气候条件比较恶劣，这里牧民生活水平尚有待改善。

第四节 西藏区域地质和水文地球化学概况

一、西藏地热显示类型概述

西藏地热活动区是全球性强烈的地热异常区之一，也是近东西向新特提斯地热带的重要组成部分。其水热活动显示广泛，已知热泉点（群）达 600 余处，具有多种多样的地热显示类型（图 2），如水热爆炸、间歇泉、沸喷泉、泉华和水热蚀变岩体。兹扼要叙述如下：

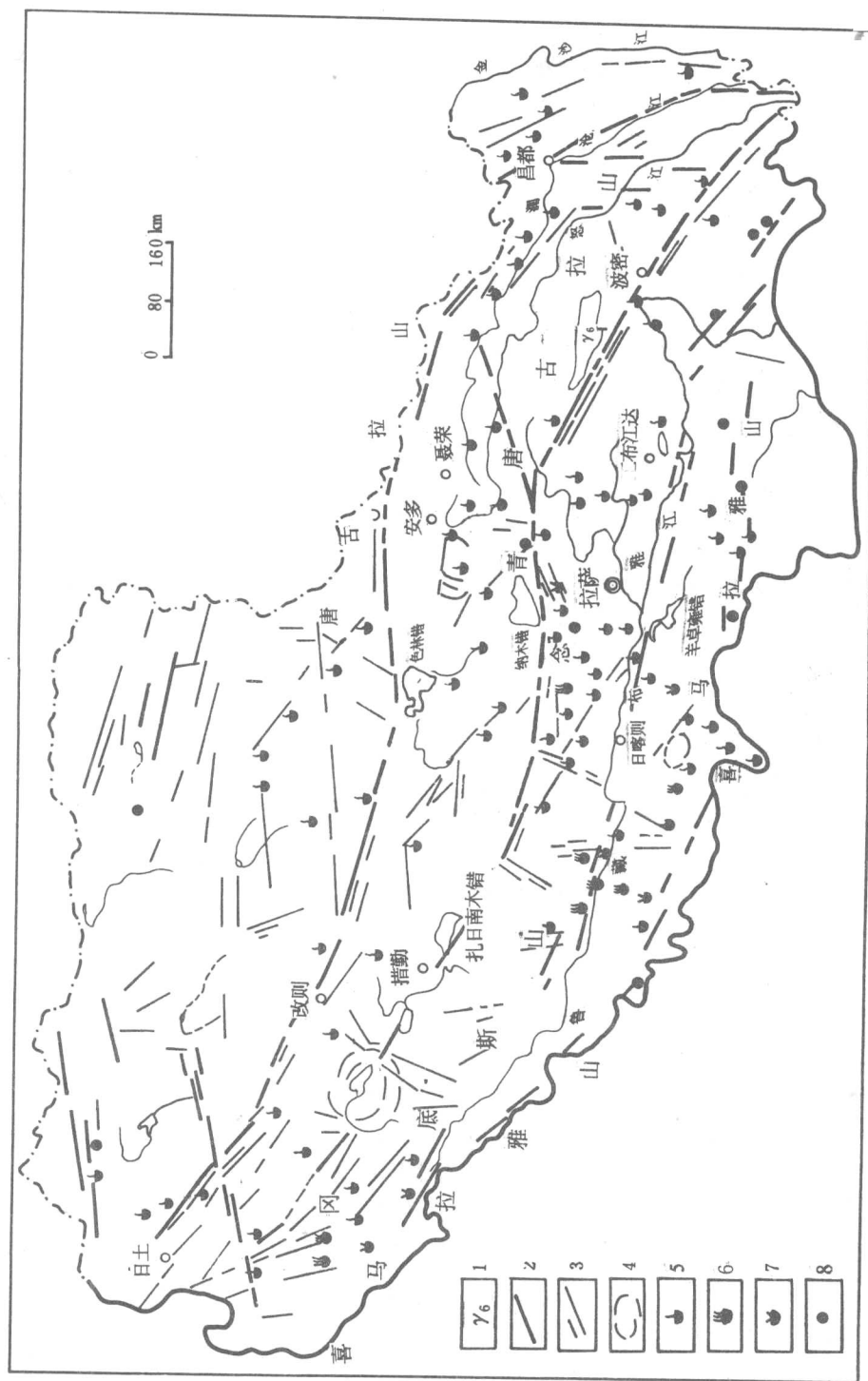


图 2 西藏地热地质略图

Fig. 2 The geological map of the geothermal activities in Tibet

1—喜马拉雅山期花岗岩类；2—活动构造带边界断裂；3—活动构造带；4—环状构造；5—沸泉和热泉；6—沸泉；7—间歇泉和水热爆炸；8—地震级别 $MS > 8.0$

1. 水热爆炸 这种地热显示主要出现在西藏南部高温水热活动区, 且是一种异常强烈的水热活动现象, 可形成角砾状硅华。

2. 间歇喷泉 这是一种特殊的水热活动类型, 往往形成硅华沉积, 与含铯硅华的形成关系密切。目前在我国已知的最大间歇喷泉是座落在西藏昂仁县境内的搭格架间歇喷泉。它位于冈底斯山南麓多雄藏布河源的一条北西向宽谷的右测, 海拔 5000m。热区内有水温高达 85~86℃ 的沸泉口近百个, 其中有三个间歇期不同、喷发形式各异的间歇喷泉。其它地区如谷露、谢通门的查布、措美县的古堆等地热田都有间歇喷泉。

3. 沸泉 主要出露在雅鲁藏布流域及以南地区, 是藏南高温水热活动区内的主要水热活动显示之一, 其泉水温度一般都高于当地沸点 4~5℃。此类型常见有硅华形成。

4. 泉华 在西藏高原, 泉华是分布最为广泛的一种地热显示类型, 根据物质成分可将泉华分为硅华、钙华、硫华及盐华等。

5. 水热蚀变岩体 此类型岩体在本区地热田中较常见, 尤其是在南部水热强烈活动地区更是如此。热田周围的岩石常呈明显的赭红—锈黄色或灰白色, 有由地表的硅化、高岭土化在地下深部递变为明矾石化、黄铁矿化以至绿泥石之趋势。在羊八井、色米已发现有水赤铁矿、辰砂、雄黄、辉锑矿, 此外羊八井还发现地表浸染状黄铁矿, 且往深部有更加富集的趋势^[2]。据地热地质大队覃昌龙同志介绍, 在深钻岩心中的黄铁矿中已有含金异常显示, 作者等在麦穷北热田亦检出硅化蚀变岩有含银异常。本区水热蚀变成矿作用的进一步研究急待进行。

以上是西藏主要的地热显示类型, 此外还有冒气地面、热水河、江心喷泉、沸泥泉和热水湖等, 在此不赘述。

二、地热活动的控制因素

1. 区域性活动构造

随着印度板块不断地向北俯冲, 西藏高原的活动构造得以进一步发展, 形成了各个方向的活动构造带以及局部的环形构造等, 构成现今西藏高原别具一格的地质构造格局。

西藏高原地质构造基本格局是由数条东西向的主干构造带及若干条南北向、北东向、北西向、北北东向、北北西向等高原内部不同期次、不同方向构造带相互复合所形成的菱块状构造体系(图 2)。东西向主干构造有龙木错—金沙江及班公湖—东巧—怒江构造带(缝合线)。其余方向构造主要为第三系以来形成的不同方向的活动构造, 它们主要集中分布于班公湖—怒江构造带以南地区, 局部穿过该构造带延伸至唐古拉山、昆仑山地区, 往南多处切越雅鲁藏布江而止于喜马拉雅山。活动构造的展布方向以北东、北西西、南北向三组为主。这三组方向的活动构造彼此交叉复合, 且在各活动构造带内又显示北东、北西、南北向线性构造的复合。南北向活动构造带是对西藏地热活动影响较大的一组构造, 其分布在南北方向上的差异性比较明显, 表现为南部密集而北部分散, 这与西藏地热活动南强北弱的现象十分吻合。

西藏的各种地热显示类型及分布特征表明, 水热活动强度最大的水热爆炸、间歇喷泉、沸泉、喷泉等类型几乎全部分布在活动构造带中。同时活动构造的发育密集程度或延伸规模都表现出南北之间的极大差异性, 从而在总体上反映活动构造具有南强北弱的特征, 而水热活动在空间上的分布及活动强度也都与活动构造的这种南强北弱特征相吻合。

位于北部的班公湖—怒江活动构造带是继承古缝合线发展起来的, 西起班公湖, 东至

聂荣转向南东出境。此活动带以北现代水热活动微弱,而以南则逐渐增强。该带内的丁青、察雅地区有众多的温泉出露,两侧水热活动则具明显的差异,所以班公湖-怒江活动构造带是西藏北部地热活动的控制构造。

位于西藏南部的高温水热活动区受雅鲁藏布江活动构造带控制。西藏大部分高温地热田出露在雅鲁藏布活动构造带内,如羊八井、羊易乡、谢通门、搭格架等。这些高温地热田或显示区往往出露在该带南北两侧南北向次一级断裂发育的地段,如措美县古堆热田就与南北向的断裂带有着密切的关系。又如搭格架热田也是出露在几组不同方向断裂的交汇处(详见第三章),其它地热田也有同样的规律。水热活动区的出露位置明显地受缝合线两侧斜向断裂及南北向断裂的控制,特别是在不同方向的断裂相交截的地段。

雅鲁藏布江活动构造带是由古板块缝合线发展而来的巨大活动构造带。现代的印度板块仍然以每年3~4cm的速度沿西瓦里克边界断裂向喜马拉雅山脉之下俯冲,产生南北向强大的主压应力及东西向引张力,致使雅鲁藏布江缝合线两侧的上下板片继续活动。1982年,中法队在普莫雍错和羊卓雍错测得平均热流为 $91\text{mW}/\text{m}^2$ (2.2HFU)●和 $146\text{mW}/\text{m}^2$ (3.5HFU)的高值。这两组平均热流值指示的地质意义就是“自大陆碰撞之后陆壳长期处于熔融状态”^[8]。如果这种熔融岩浆确实存在的话,不仅可为西藏水热活动提供巨大的热源,而且也可携出大量成矿物质。

2. 新生代岩浆活动与地热活动空间关系密切

西藏的水热活动与新生代岩浆活动有着密切的空间关系。在冈底斯岩带内,从西至东分布有朗久热田、巴尔沸喷泉、搭格架间歇喷泉等水热活动区。在雅鲁藏布中游河谷地段的岗来Ⅰ、岗来Ⅱ、色米、拉布朗和谢通门等处都有喜马拉雅期的电气石花岗岩体出露。从尼木到羊易乡、羊八井、曲才,向北至谷露等著名地热显示区内均见有燕山-喜马拉雅期的花岗岩。前人的研究表明,藏南异常高热流反映距今0.5~12.5Ma发生的最近一次花岗岩浆侵位事件,侵位深度10~12km^[9]。从岩浆热活动历史考虑,燕山一早喜马拉雅期岩浆的侵入对现代水热活动影响不大,而喜马拉雅期的 γ_6 及在近代(可能)侵位的岩浆囊与水热活动有着密切的关系。

3. 地震与水热活动

地震震中带往往也是地热活动集中的地区。如日喀则地区昂仁县一拉孜一带,曾经发生过多次地震,而这一带水热活动十分强烈。念青唐古拉山前北东向地堑一带是近代地震活动最强烈的地段之一,这一带的地热活动也是十分强烈的。察隅-然乌-易贡一线是著名的强地震带,这一带的地热显示也较多。

4. 热泉形成的地质年代

本区热泉形成时代较新, ^{14}C 和电子自旋共振法(ESR)测年数据及地层接触关系等表明,它们绝大部分形成于中更新世和晚更新世中、晚期。自那时以来,其水热活动具有南晚北早、南强北弱的特点。其成因很可能是在西藏高原陆-陆碰撞第四幕^[7]及在高原地壳冲断作用加剧和伴随地壳热膨胀的过程中,深部有大量地热流体沿碰撞带与其附近交切的断裂系统活动,并上涌至地表。

综上所述,西藏高原地热活动和世界上一些高温地热带相似,且往往与地震活动相伴

● HFU为生热单位, $1\text{HFU} = 1 \times 10^{-13} \text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。

生，特别是与板块构造活动带密切相关。西藏地热带与太平洋消减带或扩张型板缘地热带相比，有其不同的地热地质构造特征，即未见有现代和第四纪火山发育，地热活动强度也较低，而且在其深部（10~15km）可能存在岩浆房，属于陆-陆碰撞板缘型水热流体系统。

三、区域水文地球化学与地热带的划分^{〔5〕}

本区热水区域水文地球化学具有两个突出的特征。一是二氧化碳含量高，在众多热田区有大量二氧化碳逸出，并形成分布广泛的钙华堆积。其成因为壳内高应力导致深部二氧化碳流体的聚集，并沿断裂系统的上部扩散而成为全球重要的二氧化碳流体高出露区之一。二是本区热水为高硼、稀碱的中、弱碱性淡水流体，尤其在南部最为突出，也是世界上首屈一指的富铯热水活动区，并以重碳酸-氯化钠、氯化钠等水型为其重要特征。这种陆-陆碰撞型成矿流体，有别于现代海底洋中脊和岛弧型俯冲带富贱金属的酸性、强酸性热卤水的成矿流体。这是两种截然不同的地质成矿流体，反映两者有不同的壳幔地球化学背景和板缘界面的动力学过程。

据本区热水展布与区域活动构造带及其水文地球化学特征，特别是热泉群多沿近东西的新老缝合线展布，并在两组或两组以上断裂交叉部位出露的现象，将全区由南往北划分为三条地热带。

1. 狮泉河-雅鲁藏布地热带（I带）

此带为环球地热带的重要组成部分，呈北西西向，多位于雅鲁藏布缝合线附近。西端由狮泉河转为北西进入克什米尔与阿富汗、伊朗、土耳其地热带相连；东端折向南南东，经腾冲与缅甸地热带相接。由于一系列南北、北西和北东向活动断裂切穿该缝合线，使热泉沿缝合线向南北两侧散布。此带尤其是措美-墨竹卡一带以西，以其某些特殊水化学类型，高温，最富B、Li、Cs、As、Cl以及盛产硅华为特色。

（1）水化学类型 本带以重碳酸-氯化钠、富硼氯化钠和重碳酸硫酸钠水为主，其温泉数约占全带温泉总数的75%（表1）；地热研究者认为，此类型热水通常与岩浆活动有关^{〔2、8〕}。其它水型仅占25%。

表1 青藏高原I~Ⅲ地热带的水化学类型频率表（%）

Table 1 Frequency of hydrochemical types in I~Ⅲ geothermal zones of Qinghai-Xizang Plateau（%）

带号\水型	富硼氯化钠水	含硼氯化钠水	重碳酸氯化钠水	重碳酸硫酸钠水	重碳酸硫酸钙水	重碳酸钠水	重硫酸钙水	硫酸重碳酸盐水	硫酸氯化钠水	硫酸重碳酸钠水	重碳酸镁水	氯化物硫酸钠水
I	20.0	—	32.3	22.8	7.4	3.4	4.7	5.4	3.4	—	—	—
II	4.7	2.8	23.3	24.3	22.4	6.5	5.6	8.4	1.9	—	—	—
III	—	11.2	—	22.2	—	22.2	—	22.2	—	11.1	—	11.1

（2）水温 本带以高温和过热水为主（按如下标准划分：低温温泉小于20℃；低温热水20~40℃；中温热水40~60℃；高温热水60~85℃；过热水大于85℃，为沸泉），60~85℃及大于85℃者占总数的50%（表2）。与此相应出现较多的过热水形成的硅华沉积，并发现有大量含铯硅华。