

青藏高原 东部河流地球化学

秦建华 杜 谷 冉 敬 著



地质出版社

青藏高原东部河流地球化学

秦建华 杜 谷 冉 敬 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书对青藏高原东部长江、黄河和澜沧江河流河水主要离子地球化学进行了研究,并重点对长江河流地球化学和流域盆地陆地风化进行了研究。本书还对岷江流经四川盆地后河流主要离子水化学环境受人类活动影响情况进行了分析评估。它的出版将对于研究青藏高原隆升、陆地风化和气候变化起到积极作用,并对长江流水环境保护起到推动作用。

本书可供从事河流地球化学、环境地球化学、陆地风化与气候变化研究的专业技术人员、教学人员和从事环境保护的工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原东部河流地球化学/秦建华著. —北京:
地质出版社, 2009. 11

ISBN 978-7-116-06366-2

I. ①青… II. ①秦… III. ①青藏高原—河流—水文
化学: 地球化学—研究 IV. ①P342

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 199663 号

组稿编辑: 王大军 白 铁

责任编辑: 白 铁

责任校对: 李 玫

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京地大彩印厂

开 本: 787mm × 1092mm ¹/₁₆

印 张: 5

字 数: 150 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2009 年 11 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06366-2

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

青藏高原的形成是全球新生代构造演化的一个重要现象。它是现今地球上海拔最高、面积最大的高原，是我国三阶地势的最高阶，对全球气候变化、地球化学陆地-海洋循环和生态环境变化产生重要影响，是全球地球科学研究的重要地区。

陆地化学风化是全球地球化学循环的重要组成部分。青藏高原陆地风化研究是环境地球化学和全球气候变化研究的一项重要内容。河流物质主要来源于陆地风化，大河流溶质载荷主要离子搬运是实现全球地球化学陆地-海洋循环的一个重要环节。青藏高原孕育着许多河流，是亚洲“河流之父”；在高原东部发育着长江、黄河和澜沧江，对全球海洋化学溶质载荷、悬浮载荷和全球地球化学循环有着重要的影响。

本研究主要依托国土资源部国际合作与科技司资助的由成都地质矿产研究所承担的“青藏高原东部河流水化学和沉积地球化学研究”项目进行，研究内容主要包括：研究区河流地球化学的原始化学状态和基准线；流域内遭受地表化学风化作用的主要岩石类型及其风化产物的研究；青藏高原东部河流流域内现代地表化学风化通量、化学风化速率、化学风化摄取大气 CO_2 净消耗的计算；青藏高原东部现代地表化学风化速率和化学风化通量主要控制因素的研究；寻求研究区现代地表化学风化速率与构造运动（高原隆升）、气候的关系等。

本项研究工作自 1999 年 10 月正式启动，考虑到长江是我国第一大河，世界第三大河，在我国国民经济、生态环境保护和社会生活中占有重要地位，它对全球海洋化学溶质载荷、悬浮载荷和全球地球化学循环有着重要影响。我们在工作中，重点研究了青藏高原东部长江河流地球化学，同时兼顾开展对黄河和澜沧江河流地球化学的研究。

参加本项研究工作的人员主要包括秦建华研究员、杜谷教授级高级工程师和冉敬工程师。秦建华和杜谷进行了 2000 年野外取样工作，秦建华与冉敬

进行了2002年野外取样工作，秦建华、杜谷和冉敬进行了岷江水化学监测取样工作。杜谷、冉敬负责河流水化学样品阴离子分析测试的送样和阳离子测试分析工作；秦建华、冉敬负责悬浮载荷和床底载荷送样工作。

本书序言和第一、二、三、五、六、七、八章及结束语由秦建华执笔；第四章由秦建华、冉敬共同执笔；附录由杜谷执笔；图件和表格由秦建华和冉敬共同编制完成；英文简介由秦建华编译。全书由秦建华负责统稿。

国土资源部国际合作与科技司对本项研究工作提供了研究经费；成都地质矿产研究所对本项研究提供了全面的支持；美国麻省理工学院 John. M. Edmond 教授、韩国首尔大学 Youngsook Huh 博士对本项研究工作提供了帮助；刘宝珺院士、潘桂棠研究员和丁俊研究员对本项研究给予了指导和帮助。成都地质矿产研究所分析测试中心完成河水阳离子样品分析工作。阴离子、Sr 和 Si 由四川地矿局分析测试中心完成；河流床砂矿物分析鉴定由成都地质矿产研究所闵际坤副研究员完成。长江水利委员会上游水文水资源局（重庆）、长江水利委员会宜宾水文水资源勘测队、四川水文水资源勘测局和国家电力公司成都水利勘测设计院为本项目提供了部分水文资料。成都地质矿产研究所吴剑工程师为编制长江流域岩性图提供了大量帮助，计算中心为本书部分图件的绘制提供了帮助。在此一并表示感谢。

目 次

前言

第一章 国内外研究现状	(1)
第一节 陆地化学风化与全球气候变化研究现状	(1)
第二节 国内外研究现状	(7)
第三节 研究思路与研究方法	(7)
第二章 自然环境	(9)
第一节 地形地貌特征	(9)
第二节 地质构造单元划分和主要岩石地层特征	(11)
第三节 气候、土壤和水文	(13)
第三章 长江河流主要离子地球化学特征	(18)
第一节 长江河流河水主要离子地球化学特征	(18)
第二节 各次级流域主要离子水化学与岩石风化	(30)
第四章 岷江和大渡河河水溶质载荷主要离子地球化学监测	(41)
第一节 基本情况	(41)
第二节 河水地球化学分析数据一般特征	(42)
第三节 化学剥蚀通量与机械(物理)剥蚀通量	(44)
第四节 河水主要离子浓度与河流流量的关系	(48)
第五节 人类活动对河流水化学环境的影响	(48)
第五章 黄河河流主要离子地球化学特征	(54)
第一节 主要离子地球化学特征	(54)
第二节 黄河悬浮载荷粘土矿物及黄河床底载荷砂质矿物特征	(56)
第六章 澜沧江河流主要离子地球化学特征	(57)
第一节 主要离子地球化学特征	(57)
第二节 澜沧江悬浮载荷粘土矿物及澜沧江床底荷载砂质矿物特征	(58)
第七章 长江流域地表化学剥蚀通量、剥蚀速率和大气 CO ₂ 净消耗率	(59)
第一节 高原东部长江流域地表化学剥蚀通量和剥蚀速率	(59)
第二节 流域盆地地表化学风化大气 CO ₂ 净消耗率	(59)

第八章 长江流域地表化学剥蚀速率(CDR)的主要控制因素.....	(62)
第一节 国际上关于 CDR 主控因素的几种认识	(62)
第二节 青藏高原东部长江流域地表 CDR 的主要控制因素	(62)
第三节 高原东部长江流域地表 CDR 与构造、气候的关系	(64)
结束语	(65)
附录	(68)
英文摘要	(70)
参考文献	(72)

第一章 国内外研究现状

河流的主要物质来源于陆地风化作用。河流搬运是实现流域盆地风化作用海洋-陆地物质交换的重要环节（李晶莹等，2002）。对大河流域盆地的研究可为我们提供在区域尺度上的化学风化速率及其控制因素的信息（West 等，2005）。化学风化的主要元素不易受人类活动的影响，是河流溶质载荷的主要组成部分。通过对河流溶质载荷主要元素、痕量元素锶等营养元素地球化学的研究可以较好地反映流域盆地陆地化学风化作用，是研究陆地风化与全球气候变化的重要途径和天然实验室。

第一节 陆地化学风化与全球气候变化研究现状

陆地化学风化是全球地球化学循环的一个重要组成部分，在地质时间尺度上（ 10^6 年或更长）是大气 CO_2 一个重要的汇（Sink），影响着大气 CO_2 浓度水平并进而影响着全球气候变化。陆地风化与全球气候变化的研究已成为全球气候变化研究的一项重要内容。

一、气候变冷——新生代全球变化的一个重要现象

在新生代全球变化研究中，人们对全球新生代气候变化的研究是从 Miller 等人（Miller 等，1992）对深海底栖有孔虫 $\delta^{18}\text{O}$ 的测定，揭示出新生代全球气候变化自始新世（55 Ma）以来的逐渐变冷，这一重要现象的认识开始的。据研究，始新世时海水深水温度可能比现在高出 12°C ，而在 40 Ma 以前地球上多数地区比当今更加温暖、潮湿，雨水常年多为平均分布，常绿和温暖的落叶森林覆盖了地球多数地区；当今地球上多样的气候和植物在当时几乎是不存在的。由于缺乏强烈的季节性和年季干旱，因而在当时几乎没有草地和沙漠出现；现今覆盖北冰洋的海水在 40 Ma 以前极为少见；而像今日覆盖格陵兰这样巨大的冰川在当时就根本不存在。然而，上述景象自 40 Ma 以后，特别是自 15 Ma 以来，温暖而又潮湿的气候在地球上多数地区开始消失，取而代之的是开始出现较冷的气候，并在约 3 Ma 前，地球开始变得极度寒冷并出现周期性的冰期（Ruddiman 等，1991）。

同时，我们也知道，在全球新生代构造演化中，出现的一个重要现象就是在全世界许多地区，发生了山脉和高原的构造隆升。在欧洲和南亚地区，出现了阿尔卑斯-喜马拉雅造山带，形成了喜马拉雅山地-青藏高原，在美洲西部出现了科迪勒拉山系，特别是在南美西部形成了安第斯山脉和 Altiplano 高原（Miller 等，1992；Ruddiman 等，1991）。

20 世纪 80 年代末 90 年代初，美国学者 Raymo 和 Ruddiman 等将新生代全球构造抬升与地表化学风化、全球气候变化相联系（图 1-1），认为新生代构造抬升对造山带地区地表化学风化和全球气候变化产生了直接而重要的影响，并特别强调南亚喜马拉雅-青藏高原及南美安第斯山脉和 Altiplano 高原在新生代的抬升所引起的化学风化速率提高对全球

气候变化的影响。目前它已成为国际上比较流行的“抬升-侵蚀（气候）”理论的基础。在经过近 10 年的计算机大气环流模型（GCMs）数值模拟和野外研究后，该理论，特别是在新生代构造抬升对地表风化和全球气候变化影响方面已取得了许多新的进展。

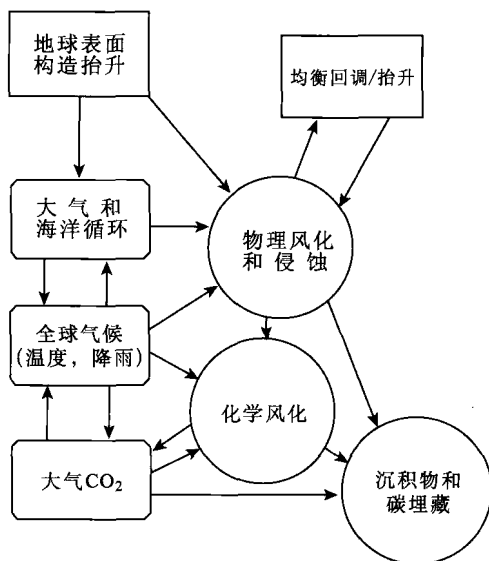


图 1-1 构造抬升与地表化学风化、全球气候变化关系示意图
(据 Ruddiman 等, 1997)

二、全球气候变化主要控制因素

近年来的研究表明，地球气候变化主要受两个因素控制：一是山脉和高原幕式抬升 (episodic uplift)；一是由地球轨道变化引起的太阳辐射季节分布的变化 (Prell 等, 1997)。利用 GCMs 进行的计算机模拟可以识别由上述两种因素分别引起的区域和全球气候变化 (Prell 等, 1992; Ruddiman 等, 1989)。Kutzbach 和 Prell (1997) 曾对由地球轨道变化 (米兰科维奇) 引起的周期性气候变化和由此形成的旋回沉积利用 GCMs 模型进行了数字模拟。近来他们又对由山脉和高原隆升与由地球轨道变化引起的太阳辐射变化的联合作用对气候变化产生的影响进行了计算机模拟 (Raymo 等, 1992)。在模式中，对由米兰科维奇驱动力和西藏喜马拉雅隆升对南亚、巴基斯坦—阿富汗地区和非洲东北部气候产生的联合影响，包括地表表面温度、降雨和地表径流等进行了模拟，并将其与其他研究结果进行了对比，取得了较好的效果。

三、陆地硅酸盐岩风化是造成新生代气候变冷的重要因素

据研究，高原和山脉隆升对气候的影响主要表现在两个方面，一是直接的物理影响 (图 1-2)，即通过对大气和海洋循环的影响来对气候变化产生作用；另一方面是间接的生物化学效应 (indirect biochemical effects)，即通过对地表硅酸盐岩石的化学风化造成大气 CO_2 变化和全球温度改变。换言之，陆地硅酸盐岩风化是通过消耗大气 CO_2 而对新生代全球气候的变冷产生重要的影响 (Ruddiman 等, 1997)。

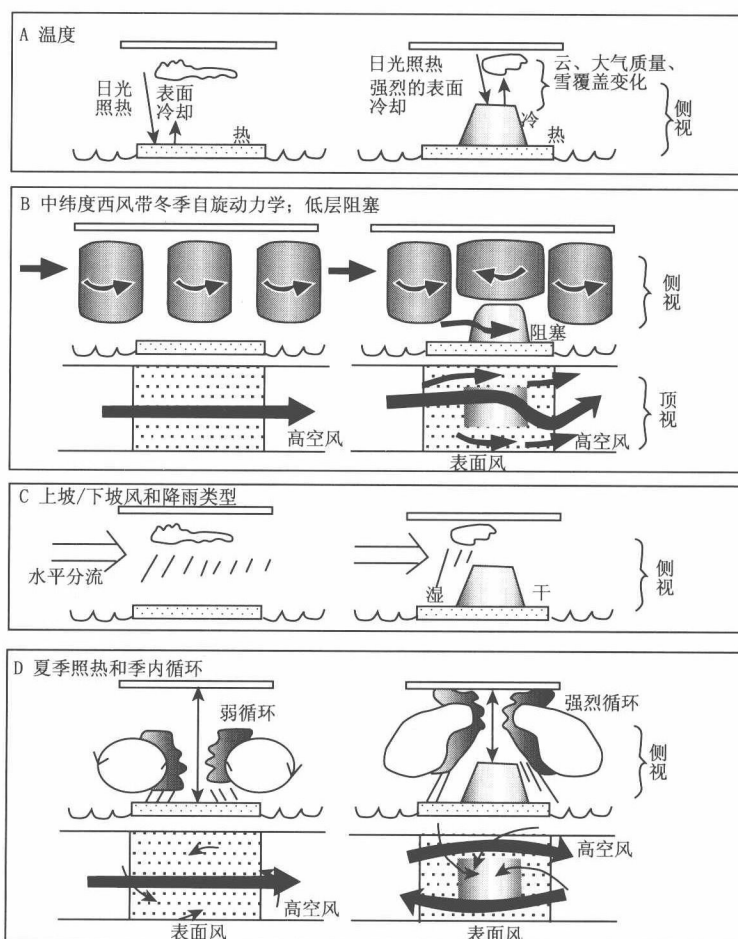


图 1-2 高原和山地抬升对气候的大尺度影响
(据 Ruddiman 等, 1997)

1. 大气 CO₂ 与全球气候变化

大气 CO₂ 是重要的温室气体。阿尼乌斯 (Arrhenius) 最先对大气 CO₂ 对全球气温在行星尺度上的“温室效应”进行了评估，并将全球新生代长期变冷归因于大气 CO₂ 浓度的降低。而新生代全球大气 CO₂ 的逐渐减少，已得到南极和北极冰川在逐渐扩大和宜寒极地植物发育这些事实的支持 (Ruddiman 等, 1997)。对全球最后一个冰期-间冰期旋回 Vostok 冰芯记录的研究，亦揭示出了大气温度与 CO₂ 浓度变化存在着直接的内在联系。而围绕着地质历史中的大气 CO₂ 浓度和气候变化，据研究 (Copeland, 1997; Jordan 等, 1997; Berner 等, 1983)，全球大气 CO₂ 水平在地质构造时间尺度上 (百万年或更长) 是与全球碳循环密切相关的，并主要受两个因素控制：一是大气 CO₂ 的输入速度，主要与俯冲带和洋中脊发生的火山作用和变质作用有关；一是大气 CO₂ 的输出速度，它主要由陆地表面硅酸盐岩石发生的化学风化速率控制 (图 1-3)。

当溶解在地下水中的大气 CO₂ 与硅酸盐或其他矿物作用时，就发生了化学风化，生

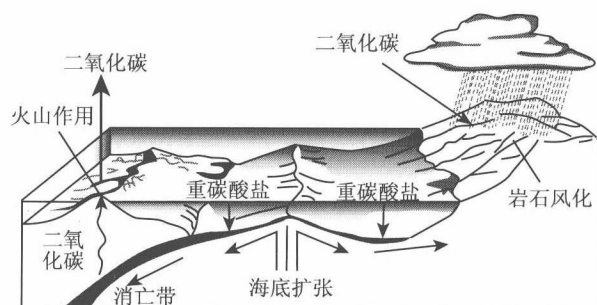
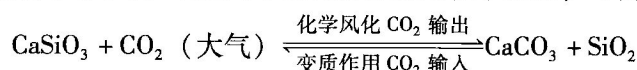
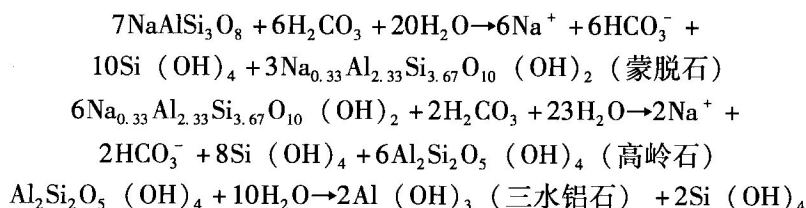


图 1-3 陆地化学风化和全球碳循环
(据 Ruddiman 等, 1991)

成的重碳酸盐流入海洋, 被海洋生物中的贝壳吸收。经过上亿年, 在俯冲旋回和海底扩张作用下, CO_2 将重新进入大气。上述两个过程所涉及的化学反应, 可简化为:



式中: CaSiO_3 是泛指地表硅酸盐岩石。若以地表铝硅酸盐钠长石的化学风化为例, 其化学反应式为 (Edmond 等, 1997):



事实上, 这一系列的化学反应代表了在地下高温不平衡条件下由淬火作用形成的火成岩和变质岩暴露在地表条件下为达到热力学平衡而发生的化学风化过程和由此造成的大气 CO_2 消耗。

目前看来, 大气 CO_2 温室气体效应强烈的影响着全球气候变化。由地表硅酸盐岩石的化学风化所造成的大气 CO_2 消耗才是引起大气 CO_2 浓度水平下降的主要原因。

2. 新生代构造抬升对陆地化学风化的影响

新生代构造抬升对地表化学风化的影响主要表现在它提高了造山带地区化学风化能力。事实上, 早在 1 个世纪前 Chamberlin 就提出了构造抬升促进造山带地区地表化学风化的提高这一假说, 但由于它涉及许多方面, 内容又比较复杂, 一些推测部分后来经证实又是错误的, 因而以后逐渐为人们所忽视 (Prell 等, 1992)。直到 20 世纪 80 年代末, Raymo 和 Ruddiman 等人 (1992) 才又独立地提出了类似的理论假说即抬升-风化模型。在经过近 10 年的野外实验研究后, 它又得到了进一步的完善和发展, 并已开始得到人们的普遍认同。

造山带地区发生强烈化学风化的关键证据主要来自于对亚马孙河的研究。这是因为源于安第斯山脉的亚马孙河中的溶质载荷占据了流入大西洋中溶质载荷的 70% ~ 80%, 而由亚马孙低地化学风化供应的溶质载荷则相对较小 (Prell 等, 1992)。另外, 源于喜马拉雅山地和青藏高原地区的 8 条大河, 虽然其流域面积仅占全球的 5% 左右, 但是由它们所

供应的溶质载荷在全球海洋中却占到了 25%（表 1-1）。这充分说明了在构造隆升地区发生了强烈化学风化作用。

表 1-1 源于喜马拉雅-青藏高原河流溶质通量

河流名称	溶质载荷 (10^{10} t/a)	流域面积 (10^6 km ²)
恒河/布拉马普特拉河	323.5	1.669
长 江	166	1.827
Si kiang	132	0.464
伊洛瓦底江 (Irrawaddy)	91	0.414
印度河	62	0.916
湄公河	60	0.849
黄 河	33.5	0.814

表中河流的总溶质载荷及总流域面积分别占全球的 25% 和 4.2%。

（据 Ruddiman 等，1989）

新生代山脉和高原隆升能够提高地表化学风化，是与山脉和高原地区存在的几种作用密切相关的（Ruddiman 等，1989）。体现在：①在造山带山脉地区发育着丰富的由被动边缘沉积形成的易风化的陆源碎屑岩石；②在抬升的高原和山脉地区边缘形成的强烈季风雨季和其他的山岳降雨，而水对于岩石溶解作用和水解反应来说都是最基本的要素；③抬升的高原和山脉边缘斜坡坡度较陡，有利于将机械风化和化学风化的产物带走，从而使岩石新鲜面不断暴露，有利于化学风化能力的提高这已得到实验和野外研究的证实。Blum 指出在岩石刚暴露时化学风化速率非常迅速，然后就呈指数衰减，在初始暴露 10^5 a 后其化学风化速率就已进行得非常缓慢了（Ruddiman 等，1997）。因此，构造活动及其所造成的地形起伏将新鲜岩石不断暴露于地表，这对于提高地表化学风化速率就显得十分重要。Blum 和 Kump 对冰岛和夏威夷地区玄武岩化学风化所进行的比较研究，也强调了岩石暴露在提高化学风化作用中的重要性（Ruddiman 等，1997）。由此，Raymo 等人（1988）就认为新生代正在抬升的高原和造山带，由于发生了岩石的不断暴露和降雨的增加，促进了这些地区化学风化速率的提高，引起了大气 CO_2 浓度的下降并最终导致全球新生代气候变冷。在 20 世纪 90 年代，人们利用 GCMs 模型进行了大量的计算机模拟，并同时进行了许多野外实验研究，从而使该理论得到进一步的完善和发展，并逐渐得到人们的普遍承认。另外，该理论还得到了地质演化事实的支持。在地质历史中，曾于 700 ~ 600 Ma 前出现的泛非事件形成的泛大陆和 320 ~ 241 Ma 前形成的 Pangea 联合古陆，均曾有过大规模的大陆碰撞和广泛的高原-山脉抬升，而这期间又无一例外的同时伴有大规模的冰川发育（Prell 等，1992）。

四、需要进一步研究的主要问题

概略起来，在陆地化学风化与全球气候变化研究中，需要进一步研究的问题主要有以下几个方面：

1. 关于陆地化学风化的主要控制因素

当前，国际上对全球尺度上控制陆地化学风化速率的主要因素是构造（地形）或气候（特别是温度）的认识存在较大分歧（Millot 等，2003）。在由 Walker 等人（1981）提

出后又为 Berner 等 (1983, 1994) 进一步发展的“温度—风化模型”(又称为“恒温模型”)中, 强调陆地风化作用主要是受气候(又主要是温度)的控制; 而在由 Raymo 等人 (1988, 1992) 提出的“抬升-侵蚀(气候)模型”中, 就认为构造抬升和地形起伏是控制地表化学风化的主要因素。Edmond 等 (1995, 1996) 和 Huh 等 (1998a, 1998b, 1999) 则是进一步认为陆地化学风化主要是受构造地形、岩石表面暴露和岩性的控制。

2. 关于海水 Sr 同位素是否可作为反映全球地表平均化学风化速率替代性标志的问题

关于海水 Sr 同位素是否可作为反映全球地表平均化学风化速率替代性标志的问题, 目前也存在争论。Raymo 等 (1992) 曾将海洋 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 自 40 Ma 以来的迅速提高(现为 0.7091) 归因于全球地表化学风化在新生代的构造隆升, 并认为海洋碳酸盐中的 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 同位素比率变化可作为全球地表硅酸盐化学风化的替代性标志。但, Edmond 和 Huh (1997) 则通过全球当代主要河流及其主要支流 Sr 同位素和冲积地球化学研究, 认为不存在全球平均地壳风化这种说法, 并认为晚新生代海洋 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 同位素变化与印度板块和欧亚板块发生碰撞印度板块基底发生变质活化这种特殊构造事件有关, 否定了将海洋 Sr 同位素记录作为全球地表化学风化变化的替代性指示。秦建华等 (2006) 对喜马拉雅中央结晶岩系河流 Sr 同位素异常及其源岩的研究表明, 中央结晶岩系片(麻)岩和花岗岩中的黑云母具有高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、低 $[\text{Sr}]$ 的特征而且 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 与 $[\text{Rb}]$ 成正比, 黑云母的易风化性为高喜马拉雅河流放射性 ^{87}Sr 提供了主要来源。

3. 关于在造山带中化学风化何处更为强烈的问题

在造山带中高海拔地带是斜坡坡度最大的地方, 岩石块体坡移 (mass wasting) 和机械风化较强烈, 致使岩石不断暴露和破碎; 而在中低斜坡地带, 降雨又比较集中; 在下斜坡, 其他因素如较高的气温和土壤中的碳酸盐等则有利于化学风化的进行。在低地洪泛平原和三角洲地区, 溢岸洪水、河道迁移引起的沉积物改造和海平面变化都将引起未风化沉积物的暴露和再暴露。因此, 关于在具体的造山带地区, 化学风化发生最大的位置则可能是与其具体的因素有关。

4. 关于气候变化的反馈机制

由构造抬升造成大气 CO_2 减少引起了气候变化, 并由此引起已有的山脉地区发生活化石侵蚀并将新鲜岩石不断暴露于地表, 从而加速 CO_2 消耗并进一步引起气候变冷、冰川作用和侵蚀发生。而地壳重力均衡回跳则可将未侵蚀的山峰又抬升到较高的海拔高度, 从而产生更为强烈的风化 (Ruddiman 等, 1997)。这个正反馈机制成功地解释了莫纳等关于山脉地区晚新生代抬升与全球气候变化“鸡与蛋”关系的问题 (Molnar 等, 1990)。

然而, 目前关于气候变化的负反馈机制, 则存在较大争论, 我们知道, 在地球上自太古宙以来就开始有了生命的演化, 全球平均气温可能大致在 $5 \sim 40^\circ\text{C}$ 范围摆动。那么, 相应于大气 CO_2 减少造成的气候变冷, 就需要有一种负反馈机制来调节, 以避免造成大气 CO_2 耗尽, 出现极端的气候变化。目前在关于气候负反馈机制方面, 主要存在两种观点: 一是最早由 Walker 等人提出的气候“恒温模型”(Walker 等, 1981)。温度-风化作用关系是其理论基础。它得到了 BLAG 模式的支持 (Berner 等, 1983; Berner, 1994)。该模式认为大气温度对地表化学风化有控制作用, 当大气 CO_2 浓度下降引起气候变冷, 那么反过来气候变冷又减缓地表硅酸盐风化, 减少了大气 CO_2 消耗率, 从而使大气 CO_2 维持在一个适宜人类生存的水平。而另一种观点是由 Raymo 等人 (1992) 提出的。Raymo 等在

明确拒绝了上述温度-风化负反馈机制 (temperature-weathering feedback) 后, 提出了3种负反馈机制来调节大气 CO_2 浓度和气候, 即有机碳亚循环变化、深海硅酸盐矿物沉淀和海底洋壳玄武岩风化作用。

5. 化学风化与物理风化关系的研究

陆地化学风化与物理风化的特征及其关系对于构建地球长期的气候演化模型和地貌演化模型具有重要意义 (Raymo 等, 1992; Clark 等, 2004)。而影响陆地化学风化与物理风化的因素不尽相同 (Summerfield 等, 1994)。当前, 国际上人们对流域盆地物理风化的研究很少, 因而, 在全球尺度上可用于研究陆地化学风化与物理风化关系的数据相当缺乏 (Millot 等, 2002)。

6. 人类活动对陆地化学风化影响的研究

全球陆地自然化学风化, 越来越受到不断加剧的人类活动的影响。虽然, 主要元素是河流溶质载荷的主要组成部分, 不易受人类活动影响, 但研究表明, 一些主要元素也逐渐受到了人类活动的污染 (Roy 等, 1999)。影响了人们对陆地—河流—海洋地球化学循环的研究。因此需要研究人类活动对陆地化学风化的影响来评估流域地表化学风化带入海洋的自然基准值 (Natural baseline)。

第二节 国内外研究现状

国际上虽然在全球尺度上已开展了对近北极、亚北极、热带、亚热带在不同地质构造背景 (如: 地盾、台地和碰撞带) 和气候条件下尚未经人类活动明显影响的主要大河及其主要支流流域沉积地球化学和河流地球化学的研究, 积累了一批可靠的科学数据 (Edmond 等, 1995, 1996; Huh 等, 1998a, 1998b; Stallard 等, 1983; Negrel 等, 1993; Lewis 等, 1987), 但这些河流均位于高纬度 (如西伯利亚 Lena 河、加拿大 Mackenzie 河) 和低纬度赤道附近 (如南美 Orinoco 河、Amazon 河、Caura 河, 非洲的刚果河), 而对中纬度地区源于造山带的尚未被人类污染河流开展的研究工作并不多见。对青藏高原大河流域盆地地表化学风化的研究, 也主要是开展了对喜马拉雅山地前缘恒河—布拉马普特拉河和印度河的研究 (Sarin 等, 1984, 1989; Karim 等, 2000), 对青藏高原东部河流的研究几乎为空白, 这影响了人们在全球尺度上对陆地化学风化与全球气候变化和对控制陆地化学风化速率主要因素认识的深化。

国内开展这项工作较少, 以往的工作主要是对长江和黄河河水和床砂元素地球化学的研究, 并主要集中在对黄河在兰州以下或长江在重庆以下及河口湾的研究上 (陈静生等, 1984, 1999, 2002; 夏星辉等, 2000; Zhang J 等, 1990; Zhang J 等, 1990; 赵继昌等, 2003)。无疑, 这些研究为我们项目的开展提供了一定的基础。

第三节 研究思路与研究方法

开展本项目的研究思路和研究方法是: 进行项目相关资料的收集和分析研究→野外地质观察研究→野外样品采取→室内分析测试→资料的综合分析并进行全球对比研究 (图 1-4)。

对流城区域进行进一步的划分, 然后进行分区研究。研究工作包括河流样品和相关岩

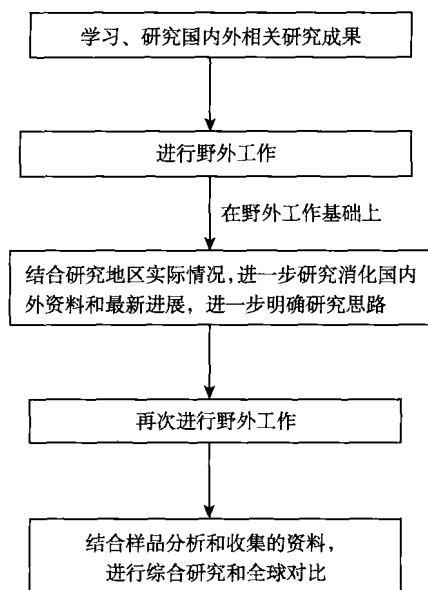


图 1-4 研究思路和研究方法

石样品野外采集（样品包括河水化学溶质载荷、悬浮载荷和床沙载荷等）和样品室内测试工作，在此基础上，结合青藏高原东部河流地质构造、岩性和地形以及土壤气候等特点，综合运用沉积学、地球化学、环境化学、水化学等多学科，对样品数据进行综合研究并开展全球对比和分析。

按照研究工作思路，我们分别于 2000 年和 2002 年开展了两次野外考察和取样工作。2000 年主要开展了长江源头和澜沧江的取样工作；2002 年主要开展了黄河上游和长江在横断山脉水系中的取样工作。同时，为研究岷江流域主要离子地球化学在时空上的变化特征和受人类活动影响情况，2001 年我们在岷江和大渡河流域建立了 4 个河水地球化学监测站，每个月进行了监测取样，取样周期一年。

第二章 自然环境

第一节 地形地貌特征

青藏高原地区平均海拔在 4000 m 以上, 号称“世界屋脊、地球第三极”。高原向南、向东、向西倾斜, 成为我国长江、黄河以及怒江、澜沧江、雅鲁藏布江、恒河等国际主要大江大河的发源地和分水岭。高原的东缘为龙门山与锦屏山, 它以 3000 m 的高差屹立于四川盆地之上。根据潘桂棠等 (1990) 对青藏高原地貌分区的方案, 按照青藏高原地貌发育的地质构造背景、各区域所受动力机制的差异并考虑到塑造高原表面形态的外部营力因素, 造成青藏高原内部各区域的地貌差异, 由此将青藏高原划分为三个二级地貌区 (图 2-1):

- (1) 北部山原盆地, 即内陆水系分布区;
- (2) 东部平行岭谷山地区, 即太平洋水系分布区;
- (3) 西南部高山深谷区, 即印度洋水系分布区。

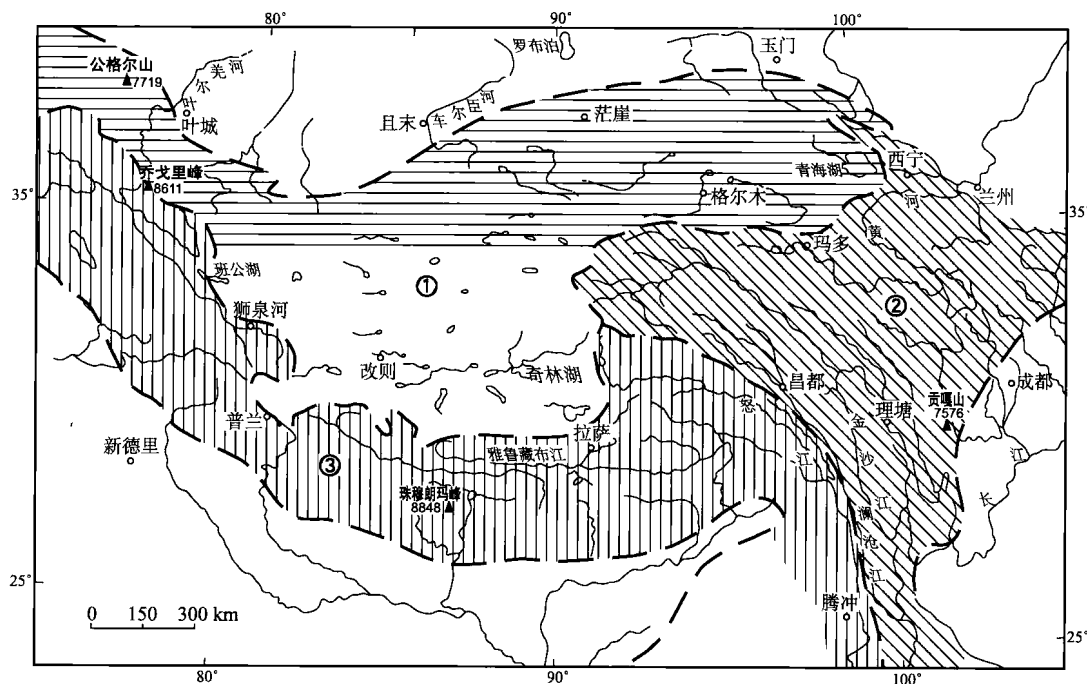


图 2-1 青藏高原地貌分区略图

(据潘桂棠等, 1990)

①北部山原盆地; ②东部平行岭谷山地区; ③西南部高山深谷区; ---地貌分区界线

研究区青藏高原东部地形地貌主要是以太平洋水系的黄河、长江和澜沧江切割成的深邃平行岭谷地貌为主要特征。从图 2-2 中可以看出, 高原东部地形地貌又可进一步划分为高原、黄土源、湿润流水作用的低山、中山和高山以及冰川冰缘作用的高山、极高山。在高原腹心区, 沿长江、黄河、澜沧江沿头河谷发育了冲积平原、洪积-冲积平原两种亚地貌。在河流源头均为宽阔的湖盆丘陵地貌, 河网密集, 湖泊、沼泽、草甸发育, 在源头尚保留了部分海拔 5000 m 的较为完整的原始高原面, 湖盆最低侵蚀面在 4400 m 左右。湖盆以下河曲发育, 逐步进入岭谷相间地段。

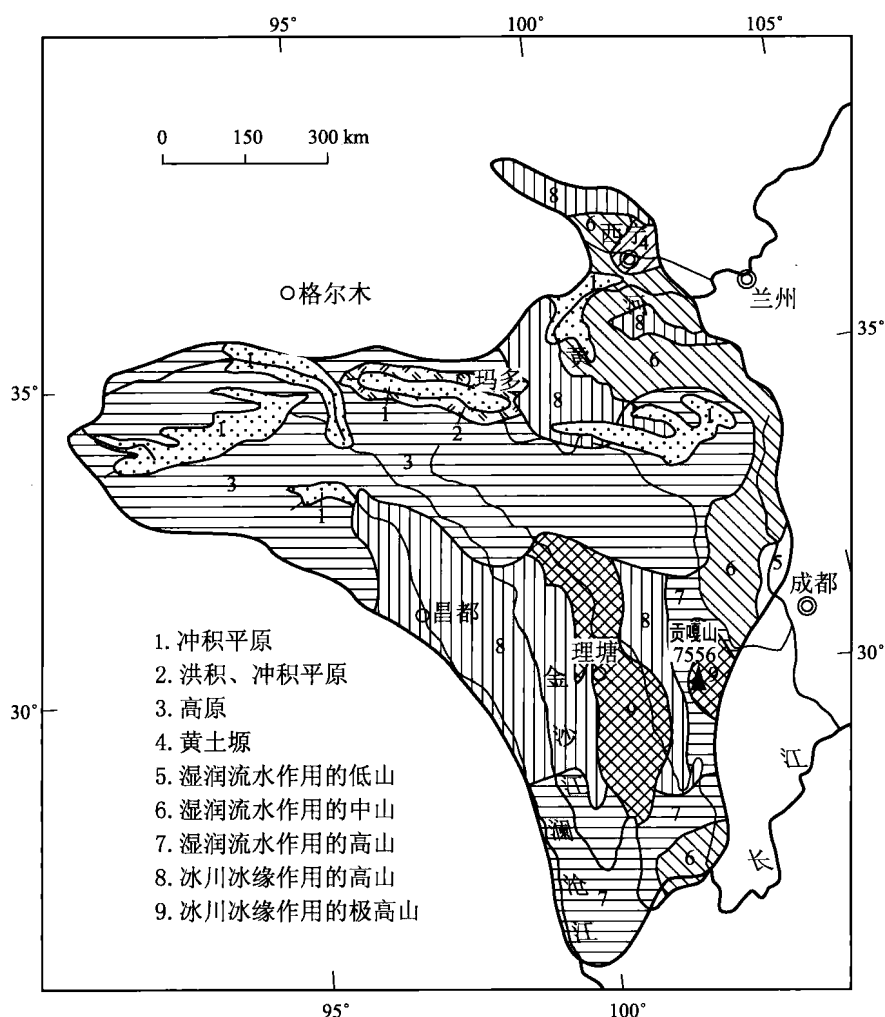


图 2-2 研究区青藏高原东部地形地貌

(据“中华人民共和国地图集”(1994)和“中国自然地理图集”(1998)综合编制)

在长江源头通天河流域的源区河曲发育, 如沱沱河、楚玛尔河、当曲, 支流呈叶脉状, 并与面积较小的淡水湖泊通连, 形成向东南宣泄的宽阔水网沼泽与丘陵相间的开口盆地, 盆地中心海拔 4500 m 左右, 其中丘陵起伏比差一般不超过 200 m。

澜沧江源头支流称扎曲和当曲, 形成了与通天河支流相似的地貌, 但面积小, 不存在湖泊, 海拔在 4500 m 以下。宁静山是澜沧江与长江源头的分水岭, 为低缓山岭。