

CCP



攀登丛书

青藏高原形成演化、 环境变迁与 生态系统研究

学术论文年刊(1994)

● 青藏项目专家委员会 编

● 科学出版社

攀登丛书

青藏高原形成演化、环境变迁 与生态系统研究

学术论文年刊(1994)

青藏项目专家委员会 编

科学出版社

1 9 9 5

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是“八五”国家攀登计划“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”项目 1994 年学术年会论文选集,所刊 41 篇论文反映了 1993 年该项目研究的主要成果。内容包括:冰芯分析,天然剖面研究,湖泊岩芯分析,环境变迁综合研究,岩石圈结构、演化和地球动力学研究,近代气候变化、趋势预测及对环境的影响的研究等,代表青藏高原研究中有关领域的最新进展。可供科研、教学及有关管理部门的科技人员参考。

攀 登 丛 书

青藏高原形成演化、环境变迁 与生态系统研究

学术论文年刊(1994)

青藏项目专家委员会 编

责任编辑 吴寅泰

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

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

*

1995 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1995 年 8 月第 一 次印刷 印张: 23

印数: 1 850 字数: 525 000

ISBN 7-03-004580-7/P·812

定 价: 38.00 元

甲
乙
甲
乙

青
藏
高
原
...
变
迁
与
生
态

“八五”国家攀登计划

青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究

青藏项目专家委员会

主 任： 孙鸿烈

副主任： 郑 度

委 员： 刘东生 施雅风 李吉均 张新时 李文华
潘裕生 孔祥儒 汤懋苍 陆亚洲

1994 年学术论文年刊编辑组

组 长： 李吉均

副组长： 汤懋苍

成 员： 潘裕生 张林源 周兴民 李世杰 冯雪华
何 兴

序

青藏高原以其强烈的隆升、独特的自然环境、丰富的自然资源和对周边地区气候的深刻影响,一直为科学界所瞩目。

50年代以来,中国科学院在青藏高原先后组织了十余次大规模的综合科学考察,特别是从1973年开始,中国科学院青藏高原综合科学考察队以“青藏高原的隆起及其对自然环境和人类活动的影响”为主题,对整个高原进行了全面、系统的多学科综合考察。1973至1992年为该考察工作的第一期,历时20年,先后完成对西藏自治区、横断山区、喀喇昆仑与昆仑山区、可可西里山区等四个地区的考察研究。这一期的工作是以路线调查为主,以积累科学资料为主要任务,同时也开展了一些理论研究,围绕当地资源开发和工农业发展问题的研究。1993年青藏高原的研究被纳入国家攀登计划,“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”被列为国家重大基础研究项目。从而青藏考察队的工作进入第二期。这一时期考察研究的主要任务是深入开展理论研究,同时更紧密结合生产,为当地社会经济发展服务。考察研究工作以专题研究为主要方式,与第一期工作相比,力求实现四个方面的转变:即从以定性为主的考察转入定量研究,从静态研究到动态研究,从单一学科研究到综合研究,从区域性研究拓宽到和全球变化相联系的研究。

“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”由五个紧密联系的课题组成:即青藏高原岩石圈结构、演化和地球动力学研究,青藏高原晚新生代以来环境变化的研究,青藏高原近代气候变化、趋势预测及对环境的影响的研究,青藏高原生态系统结构、功能与演化分异的研究,青藏高原隆起及其对资源、环境和人类活动影响的综合研究。参加研究的有中国科学院所属的16个研究所和3所大学,共200余人。这项研究预期五年完成。

为了及时总结阶段性研究成果,促进国内外的学术交流,项目专家委员会决定每年举行一次项目学术年会,并编辑出版论文年刊。我们衷心期望这一出版物能够对青藏高原的研究做出一些贡献,同时也热情希望得到学术界的批评指正,以便最后高质量地完成攀登计划规定的任务。

青藏高原研究项目首席科学家



1994年11月1日

前 言

“八五”国家攀登计划“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”项目在首席科学家孙鸿烈院士和专家委员会的领导下,经过 1993 年各课题、各专题全体人员的努力工作,已取得了可喜的成绩。1994 年 3 月在兰州召开了近百人参加的学术年会,收到 97 篇论文,对上一年研究成果进行了交流和总结。在此基础上,选出 41 篇论文汇编成本文集。内容包括:冰芯分析,天然剖面研究,湖泊岩芯分析,环境变迁综合研究,岩石圈结构、演化和地球动力学研究,近代气候变化、趋势预测及对环境影响的研究。其中前三部分的几项工作同时还得到国家自然科学基金重点项目的资助。

该文集内容新颖丰富,反映出对青藏高原各个方面的研究正向纵深发展,某些方面已初现突破性进展,为该项目的进一步研究创造了良好的开端。然而,文集所刊内容系阶段性研究成果,有些重要科学问题尚需进一步深入研究。因时间紧,文中纰漏之处在所难免,望同行及专家不吝指正。

本文集所刊论文是由各研究专题负责人审定选送,经编辑组人员审查,后又经施雅风、肖序常、李廷栋院士和邱占祥教授等分别审阅了部分论文,并提出宝贵的修改意见。《冰川冻土》编辑部梁博文、徐月珍、梁红、祝国存等同志参加了文集编辑和图件加工,在此表示衷心感谢!

李 吉 均

1994 年 10 月

目 录

序

前言

冰芯分析

- 古里雅冰芯中的主要阳离子与小冰期以来的环境变化 姚檀栋 秦大河 皇翠兰等 (1)
- 古里雅冰帽中的化学物质沉积特征和现代大气环境记录 李忠勤 姚檀栋 皇翠兰等 (11)
- 古里雅冰帽冰芯结构初步分析 黄茂桓 高向群 金正妹 (22)
- 古里雅冰帽雪坑中主要阳离子的季节变化及其来源 李月芳 姚檀栋 皇翠兰等 (30)
- Younger Dryas 以来气候变化的古里雅冰帽进退记录 焦克勤 姚檀栋 (34)

天然剖面研究

- 临夏盆地新生代地层古地磁年代与模式序列 李吉均 方小敏 朱俊杰等 (41)
- 临夏盆地约 30Ma 以来 CaCO_3 含量变化与气候演变 方小敏 李吉均 朱俊杰等 (55)
- 巴颜喀拉山地区的第四纪环境演变 周尚哲 (66)
- 临夏盆地石膏裂变径迹年龄的测定及形成时代探讨 陈怀录 方小敏 李吉均等 (73)
- 兰州地区黄河最高阶地与最老黄土沉积的发现及其古地磁年代学的研究 朱俊杰 曹继秀 钟 巍等 (77)
- 临夏地区第三纪红层生物地层学研究进展 谷祖纲 王四海 胡向阳等 (91)
- 末次间冰期陇西黄土记录的初步研究 陈发虎 李吉均 (96)
- 甘肃临夏塬堡黄土剖面 15 万年来的孢粉植物群发展及气候演变 马玉贞 曹继秀 李吉均 (103)
- 中部喜马拉雅山北坡晚新生代地层的初步研究 王富葆 申旭辉 李升峰等 (114)
- 青藏高原古岩溶研究的新进展 崔之久 洪 云 陈怀录 (120)
- 青藏高原昆仑山垭口盆地沉积构造史研究 葛道凯 崔之久 伍永秋等 (126)
- 昆仑山中、晚更新世三岔河组沉积相与环境 伍永秋 崔之久 刘耕年 (136)
- 晚更新世晚期昆仑山垭口区古人类活动与环境变迁 ... 刘耕年 崔之久 伍永秋 (146)
- 阿尔金山脉北麓东段约 15 万年来水系下切的深度和速率的研究 李玉龙 (151)

湖泊沉积分析

- 15 万年来 RH 孔沉积的古色素及其环境演化 薛 滨 潘红玺 王苏民等 (161)

黄河源区希门错湖泊沉积孔柱放射性核素分布及时标信息辨析	项 亮 夏威岚 王苏民 (168)
湖泊沉积物中有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 形成条件兼论若尔盖盆地中 $\delta^{13}\text{C}$ 所示古气候特征	吴敬禄 沈 吉 王苏民 (175)
若尔盖盆地 RH 孔湖泊沉积物的沉积旋回及其气候波动指示	吉 磊 王苏民 薛 滨等 (182)
若尔盖盆地 RH 孔沉积的矿物学研究及其环境演化解释	王云飞 王苏民 夏威岚 (189)
若尔盖盆地 RH 孔 150ka 以来的植被历史及其气候记录	刘光琇 沈永平 王苏民 (199)
若尔盖盆地 RH 孔沉积有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和氢指数 (I_{H}) 记录及其环境意义	张平中 王先彬 陈践发等 (209)
若尔盖盆地周围高山第四纪冰川演变历史	郑本兴 李世杰 王苏民 (218)
若尔盖盆地 3 万年来气候与环境变化的地质记录	李世杰 施雅风 王苏民 (227)
青藏高原东部 800ka 来古气候与古环境变迁的初步研究	王苏民 施雅风 沈 吉等 (236)

环境变迁综合研究

青藏高原及其亚洲邻区板块地貌效应初步分析	陈志明 (249)
羌塘高原北部湖泊演化的初步探讨	李炳元 (261)
青藏高原形成过程与我国新生代气候演变阶段的划分	张林源 (267)

岩石圈结构、演化和地球动力学研究

西藏申扎县永珠地区石炭纪浊积岩的发现及其意义	尹集祥 孙东立 邓万明等 (282)
青藏高原新生代岩浆活动与岩石圈演化	邓万明 (288)

近代气候变化、趋势预测及对环境影响的研究

青藏高原北部若干地点 10 年尺度气候变化的初步分析	高晓清 (297)
青藏高原地区地面有效辐射与云的关系	王可丽 钟 强 (304)
五道梁地区秋季地表辐射能收支的初步分析	江 灏 季国良 (314)
全球变暖与青藏高原气候变化	林振耀 汪志革 (322)
青藏高原积雪、冰川及湖冰卫星监测系统的若干问题	曾群柱 陈贤章 冯学智等 (328)
贡嘎山海螺沟冰川区水量-物质平衡的初步研究	谢自楚 苏 珍 曹真堂 (340)
唐古拉山小冬克玛底冰川物质平衡和零平衡线的变化	蒲健辰 张寅生 姚檀栋等 (347)

CONTENTS

Foreword

Preface

Ice Core Analyses

- The Main Cations and Environmental Changes in Guliya Ice Core Since the Little Ice Age *Yao Tandong, Qin Dahe, Huang Cuilan et al.* (1)
- Accumulation Characteristics of Chemical Constituents, and Modern Environmental Records in Guliya Ice Cap of Qinghai-Xizang Plateau
..... *Li Zhongqin, Yao Tandong, Huang Cuilan et al.* (11)
- Preliminary Analyses of Ice Texture on the Ice Core Extracted From the Guliya Ice Cap *Huang Maohuan, Gao Xiangqun and Jin Zhengmei* (22)
- Seasonal Variations and Sources of a Snowpit Major Cations in Guliya Ice Cap, West Kunlun Mountains
..... *Li Yuefang, Yao Tandong, Huang Cuilan et al.* (30)
- Variations of the Guliya Ice Cap and Climatic Record Since the Younger Dryas *Jiao Kegin and Yao Tandong* (34)

Research on Stratigraphical Exposures

- Paleomagnetic Chronology and Type Sequence of the Cenozoic Stratigraphy of the Linxia Basin in Gansu Province of China
..... *Li Jijun, Fang Xiaomin, Zhu Junjie et al.* (41)
- A 30 Million-Year Record of the Carbonate Content of the Linxia Basin and Its Climatic Implications *Fang Xiaomin, Li Jijun, Zhu Junjie et al.* (55)
- Quaternary Environmental Changes in the Bayan Har Mountains Area
..... *Zhou Shangzhe* (66)
- Fission Track Dating of the Gypsum in the Linxia Basin and Its Age
..... *Chen Huailu, Fang Xiaomin and Li Jijun et al.* (73)
- The Discovery of the Highest Terrace of the Huanghe River and the Oldest Loess of Lanzhou Region and Their Paleomagnetic Ages
..... *Zhu Junjie, Cao Jixiu, Zhong Wei et al.* (77)
- Research Progress on Biostratigraphy of Tertiary Red Beds in Linxia Basin, Gansu Province *Gu Zugang, Wang Sihai, Hu Xiangyang et al.* (91)
- The Preliminary Study on Climatic Record by Longxi Loess During the Last Interglacial Stage *Chen Fahu and Li Jijun* (96)
- The Development of Palynoflora and Climatic Changes in Yuanbu Loess Section,

- Linxia, Gansu Since 150 ka BP *Ma Yuzhen, Cao Jixiu and Li Jijun* (103)
- Preliminary Study on Late-Cenozoic Stratum at North Slope of the Middle Himalaya Mountains *Wang Fubao, Shen Xuhui, Li Shengfeng et al.* (114)
- The New Discovery of the Paleokarst Research on Qinghai-Xizang Plateau
..... *Cui Zhijiu, Hong Yun and Chen Huailu* (120)
- Study on Depositional and Tectonic Evolution of the Pass Basin of Kunlun Mountains, Northern Qinghai-Xizang Plateau
..... *Ge Daokai, Cui Zhijiu, Wu Yongqiu et al.* (126)
- Sedimentary Facies and Environment of Shancahe Formation, Eastern Kunlun Ranges *Wu Yongqiu, Cui Zhijiu and Liu Gengnian* (136)
- Ancient Man's Activities and Environmental Changes in Kunlun Mt. Pass Area in Late Stage of Late Pleistocene
..... *Liu Gengnian, Cui Zhijiu and Wu Yongqiu* (146)
- A Study on Carving-Down Depth and Rate of Water System Since About 150 ka in Eastern Part at Northern Foot of Altun Mountains *Li Yulong* (151)

Lacustrine Deposits Analyses

- Sedimentary Pigment and Environment Evolution From Core RH Since 150 ka BP *Xue Bin, Pan Hongxi, Wang Sumin et al.* (161)
- Radionuclide Distribution and Analysis of Dating Evidence Information in Core From Ximen Co in Waterhead Area of the Yellow River
..... *Xiang Liang, Xia Weilan and Wang Sumin* (168)
- Formation of the $\delta^{13}\text{C}$ Values of Organic Matter in Lacustrine Sediments and Paleoclimatic Characteristics Deduced From $\delta^{13}\text{C}$ of Sediments in Zoigê Basin *Wu Jinglu, Shen Ji and Wang Sumin* (175)
- Sedimentary Cycles of the Lacustrine Sediments in Core RH From Zoigê Basin and Their Indication to Climatic Fluctuation
..... *Ji Lei, Wang Sumin, Xue Bin et al.* (182)
- Sedimentary Mineralogy and Environmental Interpretation of Core RH From Zoigê Basin *Wang Yunfei, Wang Sumin and Xia Weilan* (189)
- The Vegetation History and Climatic Record During the Last 150 000 Years From Zoigê Pollen Data ... *Liu Guangxiu, Shen Yongping and Wang Sumin* (199)
- $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ Values and Hydrogen Index (I_{H}) Records of Sediment Organic Matter and Their Environmental Significance in RH Core of Zoigê Basin
..... *Zhang Pingzhong, Wang Xianbin, Chen Jianfa et al.* (209)
- Evolution of Quaternary Glacier on the Surrounding Mountains of the Zoigê Basin *Zheng Benxing, Li Shijie and Wang Sumin* (218)
- Geological Record of Climatic and Environmental Changes in Zoigê Basin During the Last 30 000 Years *Li Shijie, Shi Yafeng and Wang Sumin* (227)
- Preliminary Study on the Paleoclimate and Paleoenvironment Evolution of the East of Qinghai-Xizang Plateau Since 800ka BP
..... *Wang Sumin, Shi Yafeng, Shen Ji et al.* (236)

Comprehensive Research on Environment Changes

- A Preliminary Analysis on the Plate Geomorphic Effects of Qinghai-Xizang Plateau and Its Adjacent Areas in Asia *Chen Zhiming* (249)
- Evolution of the Lakes in the North Qiangtang Plateau *Li Bingyuan* (261)
- The Formation Process of Qinghai-Xizang Plateau and Stage Division of Cenozoic Climatic Evolution in China *Zhang Linyuan* (267)

Research on the Structure and Evolution of the Lithosphere and Geodynamics

- Discovery of the Carboniferous Turbidites From Yunzhug District of Xainza County in Xizang and its Significance *Yin Jixiang, Sun Dongli, Deng Wanming et al.* (282)
- Cenozoic Magmatic Activities and Lithospheric Evolution of the Qinghai-Xizang Plateau *Deng Wanning* (288)

Research on Climatic Change, Trend Forecast and Effect on Environment

- Preliminary Analysis of Climate Changes in Some Regions of North Part of Qinghai-Xizang Plateau in Decade-Year Scale *Gao Xiaoping* (297)
- Relationship Between Surface Effective Radiation and Cloud Over the Qinghai-Xizang Plateau *Wang Keli and Zhong Qiang* (304)
- The Analysis of Surface Radiation Budget in Autumn Over the Wudaoliang Region *Jiang Hao and Ji Guoliang* (314)
- Global Warming and Climatic Change on the Qinghai-Xizang Plateau *Lin Zhengyao and Wang Zhige* (322)
- Several Problems of Satellite Monitoring Snowcover, Lakeice and Glaciers on Qinghai-Xizang Plateau *Zeng Qunzhu, Chen Xianzhang, Feng Xuezhi et al.* (328)
- Water and Mass Balance in the Basin of Hailuoguo Glacier in the Gongga Mountain *Xie Zichu, Su Zhen and Cao Zhentang* (340)
- Variations of Mass Balance and Equilibrium Line of Xiaodongkemadi Glacier in the Tanggula Mountains *Pu Jianchen, Zhang Yinsheng, Yao Tandong et al.* (347)

冰 芯 分 析

古里雅冰芯中的主要阳离子与小冰期 以来的环境变化

姚檀栋 秦大河 皇翠兰 焦克勤 李月芳 谢 超

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 730000)

摘 要

本文通过对古里雅冰芯中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 四个阳离子的讨论, 阐述了古里雅冰芯所反映的小冰期以来的环境变化。在古里雅冰芯中, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要受陆源物质成分的控制, 因此可以通过对这几个阳离子变化的研究, 解释古里雅冰芯中所记录的环境变化。从本文所讨论的 1570 年算起, 古里雅冰芯中主要阳离子变化的特征是: 暖期内强度减弱, 冷期内强度增大; 在较短时间尺度内, 突变强度大, 在较长时间尺度内, 突变强度小。气候由暖变冷和由冷变暖的时期表现为环境不稳定期, 是古里雅冰芯所揭示的一个重要环境特征。这一特征和尘埃源区的改变、尘埃输送强度的改变和源区搬运强度的改变有密切联系。

关键词: 古里雅冰芯 阳离子 环境变化

作为地球第三极, 青藏高原科学研究领域至今有许多谜仍然未解或根本没有接触。环境演化之谜当是这些未解之谜中的一个。环境演化的许多指标和大气成分的演化密切相关。而我们对过去大气成分的认识则取决于我们对各种高分辨率过去环境记录的获取和解释。如同在地球的其它两极(南极和北极)所展示的那样, 青藏高原古大气圈演化的最有说服力的证据储存于高分辨率、大信息量、高保真性和沉积后不受其它生物过程扰动的冰川中。

古里雅冰芯是我们目前已获得的能反映过去大气圈变化的最好的冰芯。它不但因其冰温低而成为记录过去大气圈物质成分变化的最好载体(因温度低而不产生由淋溶等过程而导致的物质成分迁移), 而且因其面积广、深度大而具有提供长时间序列信息的潜力。更值得指出的是, 因其高度(冰帽顶部海拔 6 700m)插入对流层上部, 是大气圈物质成分变化的直接感应器(姚檀栋等, 1992, 1994)。

在本文中,我们将通过古里雅冰芯 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 四个阳离子的分析,详细论述小冰期以来的环境变化。

一、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的环境指示意义

在对冰芯记录中的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 元素进行环境(或大气圈)演化的解释之前,必须对各元素的形成、沉积机制进行深入研究,以揭示它们对现代环境变化的敏感性,这实际上也就是对现代过程进行研究。

从 1990 年开始,我们在青藏高原进行了大范围的研究,以确定包括 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在内的各化学元素的形成机制、物质来源及环境指示意义。

化学元素的空间变化特征是反映其物质来源的一个重要指标。古里雅冰帽面积较大,利用古里雅冰帽各元素的空间变化研究其环境指示意义是一种十分直接的办法。1990 年,我们沿一条从古里雅冰帽边缘向顶部的 9km 的剖面进行系统采样(图 1),以研究各种化学元素在该冰帽的变化特征。采样通过两种方式。其一是沿剖面采集所降新雪样(简称 Ts 样),其二是在每一采集新雪样品地点,用 PICO 钻钻取从表面向下 10cm 长的样品(简称 Tss 样)。采集间隔为每 500m 分别取一个 Ts 样和一个 Tss 样,共计采集样品 38 个。样品运回以后,马上进行了可溶性离子 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 $\delta^{18}O$ 的测量。详细结果已有专文讨论(李月芳,1993)。从整体测量结果看,无论是 Ts 样还是 Tss 样, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量的大小顺序都是 $Ca > Na > Mg > K$,这与它们在地壳中的含量大小顺序 $Ca > Na > K > Mg$ 相似,而与它们在海水中的含量大小顺序 $Na > Mg > Ca > K$ 不同。这一证据意味着古里雅冰帽 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要是受陆源物质控制的。

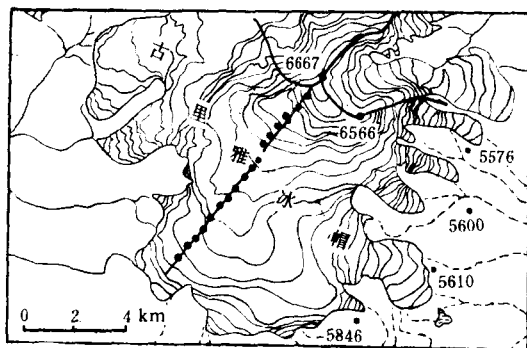


图 1 古里雅冰芯雪样采集剖面

从图 2 可以比较清楚地理解古里雅冰帽 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的空间变化特征。总的来看, Tss 样中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 随高度和距离的波动幅度没有 Ts 样大。换句话说,随着从冰帽顶部向冰帽边缘接近, Tss 样中的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量稳定地增加。 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 分别从冰帽顶部的 60×10^{-9} 、 145×10^{-9} 、 1207×10^{-9} 和 143×10^{-9} 增到冰帽边缘的 186×10^{-9} 、 619×10^{-9} 、 4204×10^{-9} 和 289×10^{-9} , 即分别增加了 3.1 倍、4.3 倍、3.5 倍和 2 倍。Ts 样中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的波动比较大,但总的趋势是从冰帽顶部

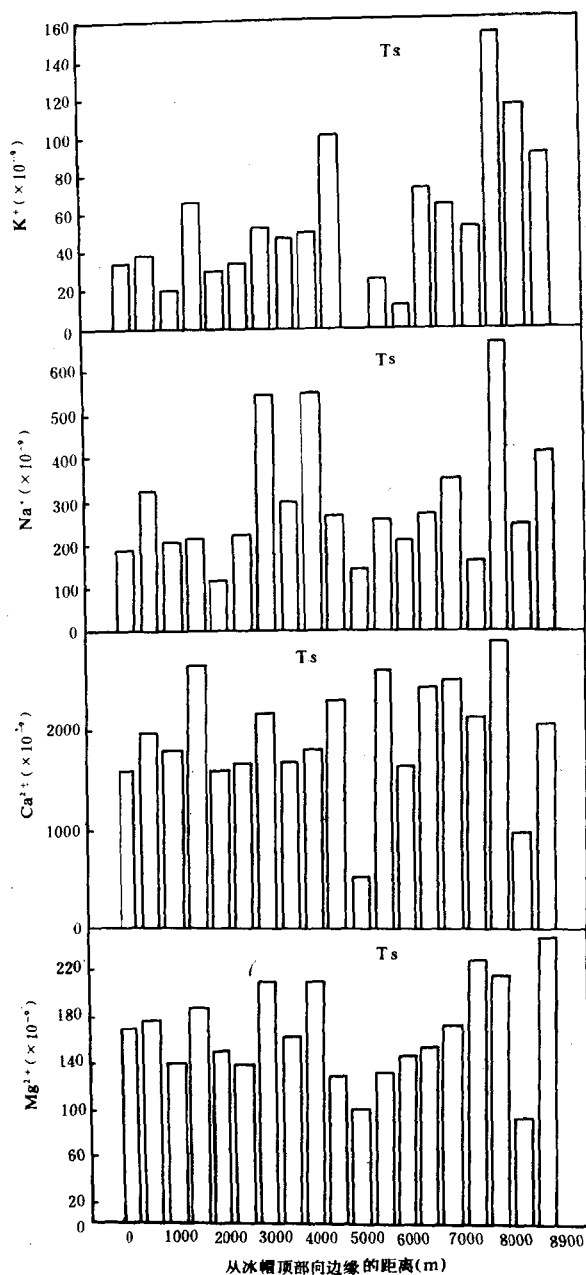


图2 古里雅冰芯 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 空间变化

向冰帽边缘增大,分别从顶部的 34×10^{-9} 、 184×10^{-9} 、 1573×10^{-9} 和 167×10^{-9} 增大到边缘的 90×10^{-9} 、 410×10^{-9} 、 2036×10^{-9} 和 243×10^{-9} ,即分别增加了 2.6 倍、2.2 倍、1.3 倍和 1.5 倍。由于古里雅冰帽顶部已位于对流层上部,所以漂浮在大气中的陆源物质,并不都能到达这个高度,一些粒径较大的物质在冰帽较低部位沉降。使得海拔较低部位有机会捕获更多的尘埃,造成冰帽顶部和边缘阳离子物质含量的差异。如果悬浮在大气中的是由气团从海洋带来的物质,那么在冰帽顶部的沉积和在冰帽边缘的沉积就不会如此之

大。此外,在冰帽边缘,捕获无冰裸露区陆源物质成分的机会也比冰帽顶部大。所以,从古里雅冰帽的空间变化看, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是陆源物质成分变化的最好指标。

那么, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是不是陆源物质成分变化的最好阳离子指标?还有其它更好的阳离子可作为陆源物质成分变化的指标吗?为了说明这个问题,我们建立了冰雪样品的离子平衡方程来进行计算(姚檀栋等,1993):

$$\Delta B = [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [H^+] - [Cl^-] - [NO_3^-] - [SO_4^{2-}] - [HCO_3^-]$$

计算结果表明(图3),在青藏高原冰雪中, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 四个阳离子和 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 三个阴离子就满足 $\Delta B=0$ 的条件。也就是说,这7个离子是青藏高原冰雪中物质成分的主要离子,其它离子是可以忽略不计的。这就是说,本文所讨论的四个阳离子可以说是青藏高原反映陆源物质成分变化的最好化学指标。

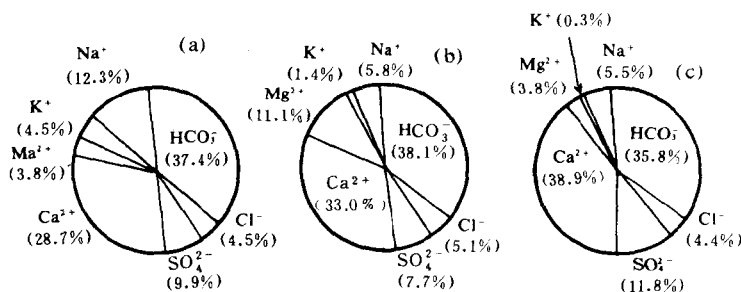


图3 青藏高原冰雪中化学元素的质量和离子
(a)藏东南则普地区;(b)唐古拉地区;(c)西大滩地区

二、小冰期以来陆源物质成分的变化

利用冰芯重建过去大气圈变化及其相应的环境事件,除了对所获取的信息指标要有足够的认识,还需建立合理的时间模型,使这些指标所显示的环境变化能合理有序地得到解释。古里雅冰帽小冰期以来的时间模型的建立已得到满意的解决^①。

根据图4中小冰期以来古里雅冰芯环境变化逐年记录,变化幅度是很大的。特别注明的是每隔一段时间,就会有一次极强的事件出现,而且这种事件的强度是从小冰期(以17世纪为中心)向现在和向更老时期逐渐减弱的。虽然 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 都出现极强事件记录,但各个离子所记录的极强事件的时间并不是完全一致的,按照事件强度从小冰期向现在和向更老时期依次递减的规律,各离子所反映的极强事件及时间如表1。可以看出, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 同时出现极强事件的时间是1991年、1627年、1595年和1582年,此外, Na^+ 和 Ca^{2+} 在1973年、 Na^+ 和 Mg^{2+} 在1700年和1848年也同时出现极强事件,也就是说,有些极强事件是在四种离子中同时表现出来的,有些极强事件只在某些离子中表现出来。那么,在某一离子表现的极强事件中,其它离子如何反应,也是应该阐明的一个

① 施维林,1993,古里雅冰帽冰芯的时代问题。

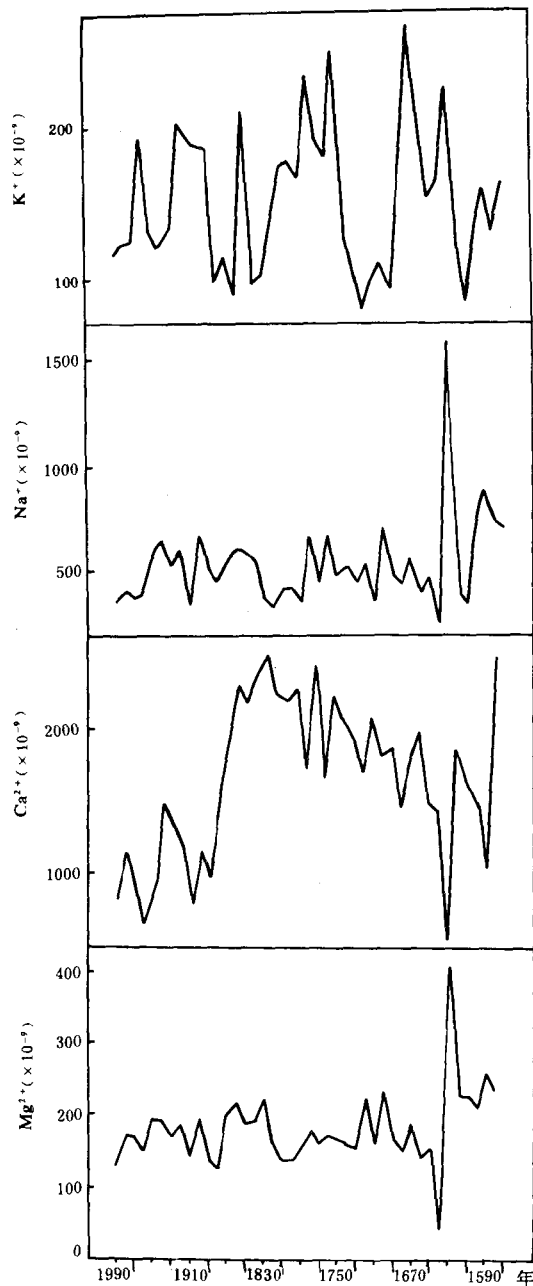


图4 古里雅冰芯小冰期以来 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 10 年平均变化

问题。因为某一离子的极强事件若在其它离子中没有反映,则可能意味着大气成分物质来源的改变。为了揭示这个问题,我们分别对某一离子出现极强事件时,其它阳离子的反应进行了分析。结果是,在 8 次极强钾离子事件中,除 1884 年外,其它离子都为高值事件;在 9 次极强钠离子事件中,其它离子均为高值事件;在 8 次极强钙离子事件中,除 1795 年钠离子为低值外,其它离子均为高值事件;在 10 次极强镁离子事件中,除 1969 年钾、