

XIZANG NAMUCUO DIQU DISIJI HUANJING YANBIAN

西藏纳木错地区第四纪 环境演变

朱大岗 孟宪刚 等著

地质出版社

国土资源大调查项目

项目原编号：DKD2001006

任务书编号：基〔2002〕023-01

子项目编号：200013000167

西藏纳木错地区第四纪 环境演变

朱大岗	孟宪刚	赵希涛	邵兆刚	著
冯向阳	杨朝斌	郑达兴	马志邦	
吴中海	王 津	王建平	臧文拴	

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书系国土资源大调查项目的研究成果。作者以翔实的第四纪地质、地貌、冰川资料为依据,综合应用区域地质构造背景、遥感影像解译、野外实测地层剖面、湖岸堤和湖岸阶地的水准仪测量、地貌学、沉积学、矿物学、地球化学、同位素年代学与微体古生物学分析等方法,将第四纪地质调查与沉积建造、生物地层、年代地层的定性与定量分析研究相结合,对藏北高原腹地纳木错地区晚更新世以来的湖泊演化、冰期划分、藏北高原古大湖变迁、古河流、古砾石层和经济地质等,及其环境生态效应与青藏高原隆升的关系等方面,进行了系统的分析与探讨,阐述了本区第四纪晚期以来环境演化的基本特征,建立了该区湖相地层的标准剖面,进行了冰期划分与对比,推测了在藏北高原存在一个晚更新世古大湖——古羌塘湖,提出了区域环境演化的基本规律、湖相沉积的研究方法和环境预测与评价的新思路。

本书是一部全面、系统介绍西藏纳木错地区第四纪湖泊演化、冰川发育和环境演变的专著,汇集了作者多年辛勤工作的研究成果,可供从事第四纪地质、地貌、冰川地质、环境预测方面学习与研究的地质或地理院校师生、科研人员和相关人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

西藏纳木错地区第四纪环境演变/朱大岗等著.-北京:地质出版社,2004.1
ISBN 7-116-03964-3

I. 西… II. 朱… III. 第四纪地质-区域环境演变-研究-西藏 IV. P562.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 111921 号

责任编辑:孙亚芸

责任校对:黄苏晔

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) 82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zhs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm $1/16$

印 张:20.75 彩色图版:12 面

字 数:500 千字

印 数:1—1300 册

版 次:2004 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价:78.00 元

ISBN 7-116-03964-3/P·2433

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

青藏高原是地球上最大最高的高原，具有相对较短的历史。第三纪以来至第四纪发生了显著的抬升过程，对于环境-气候的影响极为深远，被称为地球“第三级”。青藏高原位于中纬度地区，因而影响西风带，将西风急流一分为二，并使中国西北地区与印度洋的水汽交换被阻断，在中亚导致了几个沙漠形成并向东搬运堆积了巨量的黄土。与此同时，青藏高原的存在，形成并加强了西伯利亚高压与西太平洋高压间的联系，在东亚出现了特有的亚洲季风。而正是这些黄土和亚洲季风催生了灿烂的中华文明。由此可见，《西藏纳木错地区第四纪环境演变》的作者们将他们在青藏高原巨大的最高咸水内陆湖地区第四纪环境研究成果发表出来，不仅是为青藏高原本身的环境-气候演变系统对比研究建立了一个标准地点，而且可以说是为亚洲乃至全球的相关对比研究提供了一个参照系原点。

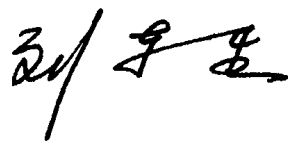
世界上许多干旱区的内陆湖区自晚更新世早期以来，总体都呈现收缩的趋势，但在千年尺度、万年尺度或更大尺度的气候波动影响下，湖面也会有短期的扩张。我们所关注的青藏高原上的内陆湖泊是水文上的封闭系统，它们的演化趋势反映着气候干湿的变化，又是高原隆升地质作用与地球大气圈、水圈耦合的结果。所以说研究高原内陆湖泊是重建高原古气候、古环境的一个重要手段。

本书作者通过三年的野外调查和室内研究，取得了一些可喜的进展。藏北高原腹地在气候上处于干旱、半干旱区，地势起伏较大，虽有高山冰川供给的水源，但由于蒸发量大于补给，所以大大小小的盆地或浅洼地中的积水都不能外泻，因而湖泊众多，星罗棋布。作者以遥感影像解译配合区域地质调查，了解了纳木错湖泊的分布现状、成因类型以及晚更新世以来的变迁。在此基础上，作者选取了纳木错湖岸阶地、湖相沉积、湖岸堤、湖滩岩和念青唐古拉山的第四纪冰碛物、冰水沉积、砾石统计等，做了详尽的分析研究。根据地貌和沉积物的证据，包括同位素测年数据、微体古生物鉴定结果，作者建立了纳木错自晚更新世以来不同时期的标准地层剖面。根据环纳木错的高位湖相沉积和藏北多处发现的高位湖相层，作者提出了在藏北高原存在一个面积达 10 万 km^2 以上的晚更新世古大湖。根据冰碛物相互关系和分布特征，作者对念青唐古拉山的冰期进行了划分与对比，并探讨了冰川发育与湖泊演化的关系及其环境生态效应。

内陆湖泊水深与水面的变化无疑是受区域性降水与蒸发量变化控制的。作者根据湖区水准仪实测的湖岸堤、湖相沉积、湖积阶地的拔湖高度，推算了距今 12 万年以来藏北高原晚更新世古大湖的分布范围，恢复了古大湖三个阶段的演化过程。作者还根据湖区第四纪沉积中发育的冰缘现象，划分出几个冰缘环境的冷期。这些冰缘环境与纳木错东南侧的念青唐古拉山脉发育的冰期相对应。将这些资料对比，作者发现本区的古气候演变是干和冷、湿和暖相组合的。作者还发现湖泊水系演变反映的气候信息，在本区以至邻区的其他环境要素变化中也能找到，如风沙的移动、黄土的堆积等。同时，青藏高原的湖泊演化还受高原快速隆升的影响，尤其是上新世以来，青藏高原一直处于持续的快速隆升阶段，高原的上升使纳木错及其邻区的气候更加干燥，湖泊收缩速度加快，环境日益恶化。

近年来，国内外常借助内陆湖泊变迁的信息来重构气候与其他环境要素变迁。在本书中，作者对湖泊演变过程中留下的沉积物进行了包括野外精密水准测量、分析化验直到微体古生物鉴定和同位素测年，也对研究区中的念青唐古拉山周边的冰碛物进行了多种测量与分析工作。所以说本书在处理丰富信息资料的方法上，已经是采用了较先进和完备的分析测试技术。此外，本书还将研究区纳入整个青藏高原背景下，对这里的地貌、土壤、矿产资源、生物资源、古人类文化遗迹都进行了调查和讨论分析。因此也是一项带有综合性质的国土资源大调查的成果，是一项以古湖泊、古冰川为中心的、堪称全面、系统的第四纪研究成果。

总之，本书在理论根据、资料收集与分析推理上，都有独到之处，相信它的出版对我国进一步深入研究内陆地区，特别是青藏高原湖泊与相关环境-气候变迁，会起到积极的促进作用。



2003.10.18

当雄—纳木错—班戈简易公路、德庆—保吉—班戈简易公路、德庆—申错—巴尔达简易公路等，但通行条件很差。

本区属高原大陆性气候，低温、干燥、空气稀薄、昼夜温差大、紫外线强。年平均气温为 $-1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，平均最低气温为 -4°C ；本区平均最高气温为 $15 \sim 17^{\circ}\text{C}$ 。6~8 月为雨季，2~4 月为风季。每年 4 月中旬~10 月中旬适合做野外地质调查，野外可工作时间约半年。

研究区岩石与地层露头良好，大部分地区为基岩出露区，湖泊周缘地区为第四系覆盖区。但由于存在东南部念青唐古拉山脉，其山势陡峻；研究区西部、北部为中低山区，山区通行条件差；环纳木错湖滨地区沼泽发育，车辆通行困难；因此，野外地质工作难度很大。

二、任务要求

中国地质科学院下达的任务书中规定了本项目的工作任务为：①测制、建立西藏纳木错地区第四系标准剖面，对比分析青藏高原腹地第四纪环境演化规律；②编制纳木错地区第四纪地质图（1:25 万）；③提供纳木错地区第四纪环境演化的高精度实测资料。

项目的工作内容为：①调查、鉴别第四纪地质事件，如系统调查、鉴别、筛分纳木错地区第四纪时期的地质事件，确定事件的发生年代及其古环境与古生态效应；②建立第四系标准地质剖面，即在纳木错地区选择发育较好的第四系地质剖面，做立典性的精细调查研究，精细分层、测年，建立第四系标准剖面；③测定第四纪古环境参数，即在实测剖面上进行系统取样，高精度测定样品的古环境参数；④剖析第四纪环境演化过程与机理，即研究纳木错地区第四纪环境变迁过程及其与高原隆升历史的关系，建立青藏高原腹地第四纪环境演化模式，剖析第四纪环境演化机理及其与过去全球变化的关系。

项目的预期成果为：①提交调查研究报告一部（项目完成后出版专著一部）；②在国内外核心刊物上发表 4~6 篇论文。

三、工作概况

地质力学研究所在接到中国地质科学院下达的项目任务书后，组织了精干的人员队伍，组成西藏项目组，具体承担《西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究》任务。按项目管理部门提出的要求，项目组认真贯彻落实“地质调查与科研相结合、科研与应用相结合、科研工作与人才培养相结合”的原则，完成的主要调查研究内容是：在研究西藏纳木错地区及其周缘地质背景基础上，完成了跨区的长距离路线地质调查，室内对数百张 1:10 万地形图、遥感图进行解译和解读，选择典型湖相地层剖面作重点解剖，并对湖滩岩、湖岸堤、湖蚀地貌等开展了水准仪测量，对湖相地层剖面样品进行了微体古生物、地球化学、矿物学、U 系法、 ^{14}C 法等同位素测年，提出在藏北高原东南部存在一个晚更新世古大湖，并建立了古大湖的演化序列。旨在运用第四纪地质的有关理论，在本区实践第四纪地质事件分析法，深入探讨对比区内的第四纪湖泊的环境演变规律，为在工作区找寻古大湖存在的地质证据，提供科学的思路 and 具体的技术路线。同时，在调查研究工作中还特别注重与该区正在进行的 1:25 万当雄幅区域地质调查工作紧密结合，将区域第四纪湖泊演变的阶段性研究成果，不失时机地向中国地质调查局、中国地质科学院等领导单位进行了汇报，把调查研究成果落到实处。

1. 项目分阶段工作情况

自立项以来,项目组全体成员发扬团结协作与艰苦奋斗的精神,克服了高原缺氧、交通条件差、气候环境恶劣、生活艰苦等困难,按照中国地质科学院下达的任务书进度要求和中国地质调查局青藏高原地质调查技术要求,在保证安全与工作质量的前提下,圆满超额完成了各项预定调查研究任务,在多方面取得了重要进展,在若干方面获突破性进展。调查研究工作分阶段实施,包括如下几个阶段。

(1) 第四纪地质调查准备阶段:落实人员组成与年度工作方案,收集必要的区域地质、第四纪地质与地质环境资料,组织项目组成员进行区域地质调查和第四纪地质工作方法专项培训,进行遥感图像处理 and 初步地质解译。

(2) 设计编制和审查阶段:在野外详细踏勘和路线观测基础上,编制了本区 1:25 万遥感第四纪地质解译图,完成了《西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究》项目设计,2000 年 4 月 1 日,通过项目设计初审;2000 年 11 月 11~14 日,通过中国地质科学院组织的项目设计审查;2001 年 3 月 13 日,通过中国地质科学院组织的年度设计审查,项目设计书最终质量评分为优秀;2001 年 7 月 13~20 日,通过了中国地质科学院组织的专家组对项目的野外现场检查,工作质量被评为优秀级;2002 年 6 月 4~5 日,通过了中国地质科学院组织的专家组对项目的年度设计审查,项目设计书最终质量评分为优秀。

(3) 野外第四纪地质调查阶段:三年来,项目组参加野外调查工作的人员朱大岗、赵希涛、孟宪刚、吴中海、邵兆刚、王建平、冯向阳、刘琦胜等,按照中国地质科学院有关规定和设计书要求,系统开展了全区野外第四纪地质调查、实测剖面、湖岸堤和湖相沉积的水准测量、遥感资料野外验证和综合研究工作,对研究区第四纪地质与地貌开展了全面的地质调查与系统的研究工作。

(4) 资料综合整理阶段:项目组人员朱大岗、孟宪刚、赵希涛、邵兆刚、王津、王建平、郑达兴、马志邦、冯向阳等,在室内工作中清绘地质剖面图,整理、登记各类标本、样品、照片,开展了岩矿鉴定、测试分析工作,编制了实际材料图、遥感解译图和第四纪地质图;开展了综合研究,撰写论文,编写最终调查研究报告。

2. 完成的主要实物工作量

由中国地质科学院地质力学研究所科研人员为主组成的项目组,在 2000~2002 年间,共进行了 3 次野外地质调查,在工作中与 1:25 万当雄幅区域地质调查项目相互配合,共同开展野外调查,共同研讨论证,按设计和合同要求,完成了本项目的野外调查、室内测试、分析和实验工作(表 1)。于 2002 年 12 月,完成了项目最终报告送审稿,按期、全面、超额完成了调查研究任务。

本专著是经过充分讨论、分工负责、集体编写而成的。前言、结语由朱大岗执笔,第一章由王建平、冯向阳、杨朝斌执笔,第二章由朱大岗、赵希涛执笔,第三章由朱大岗、王津执笔,第四章由郑达兴、邵兆刚执笔,第五章由马志邦执笔,第六章由赵希涛、邵兆刚执笔,第七章由朱大岗、赵希涛、吴中海执笔,第八章由朱大岗、邵兆刚执笔,第九章由孟宪刚执笔,第十章由赵希涛执笔,第十一章由朱大岗、邵兆刚执笔。“纳木错地区 1:25 万第四纪地质图”由赵希涛编绘,“纳木错地区第四纪湖相地层 ETM 影像解译图”由郑达兴编绘。书稿最后由朱大岗、孟宪刚、王建平汇总、统编、定稿。

表 1 纳木错第四纪环境演变调查研究项目的主要工作量一览表

Tab.1 Statistic of the main research works on the Quaternary environmental evolution of the Nam Co area, Tibet

工作内容		工作量	工作内容		工作量
野外地质调查	野外地质调查 3 次	8 个月	室内编制的主要图件	纳木错及其周缘第四纪地质图 (1:25 万)	1 张
	实地路线调查	1500 km		纳木错及其周缘遥感图 (1:25 万)	1 张
	野外水准仪测量	30 km		纳木错及其周缘遥感解译图 (1:25 万)	1 张
	野外剖面测量	5 条		藏北高原古大湖分布图	1 张
	湖滩岩等岩石标本	30 块		纳木错湖相地层剖面图	8 张
	野外采样	778 个		纳木错及其周缘湖岸堤实测图	16 张
	野外照相	100 卷		纳木错西岸第四纪地质图	1 张
室内测试分析	岩石薄片鉴定	10 片		雄曲—那曲谷地第四纪地质图	1 张
	U 系法测年	54 个		念青唐古拉山主峰地区第四纪地质图	1 张
	OSL、ESR 测年	5 个		念青唐古拉山主峰地区现代冰川图	1 张
	孢粉分析	103 个			
	微体古生物分析	71 个			
	碳酸盐测定	103 个	主要成果	提交研究报告	1 部
	粒度分析	103 个		公开发表论文 (SCI 期刊)	1 篇
	磁化率测定	103 个		公开发表论文 (核心期刊)	14 篇
	定量光谱分析	16 个		公开发表论文 (一般期刊)	1 篇
	¹⁴ C 同位素测年	15 个		培养人才 (已毕业博士)	2 人
	X 光衍射分析	9 个		培养人才 (在读博士生)	1 人
	扫描电镜	5 个			
	易溶盐、pH 值测定	34 个			
	人工重砂	14 个			

四、主要进展

研究区内第四纪沉积分布较广，当雄—羊八井盆地以冰川与冰水沉积、冲洪积、沼泽堆积为主，而纳木错沿岸以湖相沉积为主，但纳木错南岸则以冰川与冰水沉积为主。前人仅在本区开展过 1:100 万区域地质调查和局部第四纪调查工作，对第四纪地质总体调查研究不够深入。本项目组对纳木错及邻区的第四纪地层、地貌、湖相沉积和冰川与冰水沉积进行了系统、详细的调查研究，对藏北高原东南部晚更新世古大湖和纳木错湖泊演化进行了深入研究，取得了重要成果。经过三年的野外地质调查和室内的综合研究工作，研究区内第四纪地质调查与研究所取得的主要进展包括以下几个方面。

(一) 区域地质地貌与湖泊地质

通过野外对羊八井-当雄、当雄-纳木错-保吉、当雄-那曲-安多、纳木错-仁错-久如错-木纠错等几条总计长达 1500 多 km 的路线地质调查，全面了解纳木错地区及邻区的地质构

造、地质地貌、冰川遗迹（冰碛物、冰水沉积物等）、湖相沉积（湖相地层、湖岸堤、湖滩岩等）、湖成地貌（湖蚀洞、湖蚀凹槽、湖蚀崖等）、第四纪地质等的基本特征。

1. 地质构造背景与特征

纳木错及邻区位于雅鲁藏布江缝合带和班公错-怒江缝合带之间，是拉萨地块的重要组成部分。大地构造位置处于班公错—怒江带、冈底斯山脉与念青唐古拉山脉组成的三角区域内（图 0-1）。

本区地质历史复杂，经历了特提斯洋发展演化的多个不同阶段与多期陆-洋体制转换，不同时期处于不同的板块构造环境，形成不同类型的建造。古生代发育多期海相复理石建造，中生代发育海相火山-沉积建造，新生代以陆相河湖相沉积为主。前中生代地层经历了不同程度的变质作用，形成念青唐古拉山变质杂岩与石炭—二叠纪低级变质岩系。中生代中晚期与新生代早期，发育强烈的中酸性岩浆侵入事件，形成念青唐古拉山东部喜马拉雅期的雪古拉-羊八井-当雄花岗岩岩基，与燕山期的班戈-崩错-桑雄拉花岗岩岩基、念青唐古拉山西缘花岗岩岩基等不同规模的侵入体，尚发育白垩纪末期酸性火山喷发与第三纪早中期中基性火山喷发事件。区内发育复杂的构造变形历史，不同时期、不同类型的构造叠加在一起，形成复杂的区域构造格局。古生代晚期、中生代早期、中生代晚期与新生代早期，伴随着不同时期特提斯洋板块的俯冲与消减，青藏地区受到多期近南北向的强烈挤压，导致多期强烈的造山作用，形成不同的俯冲或碰撞构造带及不同程度的区域挤压构造变形。测区北缘近 EW 向展布的班公错-怒江缝合带（蛇绿岩带）与测区内部的嘉黎-九子拉断裂带、纳木错褶皱带，便是不同时期造山作用的产物。

新生代晚期，印度大陆向欧亚大陆快速俯冲，在青藏及邻区产生强烈的近南北向挤压作用，导致地壳在近南北方向巨量缩短、地壳增厚与青藏高原快速隆升；在近南北向构造动力的挤压背景下，发育了一系列 NE—NNE 向与 NE 向、近 SN 向裂陷盆地，如羊八井-当雄、谷露-桑雄拉、纳木错、崩错等盆地；同时在高原隆升、盆地裂陷、环境变迁之间存在大陆动力学上的成因联系。青藏高原第四纪环境变迁与相关的全球变化过程，在纳木错及周缘盆地保存有良好的沉积记录和地质地貌遗迹。同时，本区又是地震、新构造的频发地区，并由此产生了大面积分布的地热田。

2. 活动构造与地质灾害

纳木错及邻区是现代构造强烈活动的地区。在其周缘和内部都存在许多活动断层，是地震及其他次生地质灾害的多发地区。地震灾害主要沿不同方向的活动断裂分布。在羊八井-当雄-谷露裂谷系，地震密集，震级大，烈度高，历史上曾发生过多灾灾难性强烈地震，产生过严重的人员伤亡和财产损失。

由新构造活动断裂、地震引发的次生地质灾害有滑坡、滑塌及泥石流，主要分布于念青唐古拉山麓、乌鲁龙峡谷、羊八井藏布曲峡谷和热振藏布峡谷。其中羊八井峡谷段的滑坡和泥石流曾长期威胁青藏公路的安全，对建设中的青藏铁路也将产生不良影响。滑塌常发生于拉萨河各支流峡谷段及羊八井-当雄-谷露盆西边界活动断裂带，但规模小，影响局限。部分地区还发育土地沙漠化现象。

3. 第四纪冰川遗迹与冰期划分

本区冰川遗迹发育，主要分布在念青唐古拉山脉两侧。念青唐古拉山脉呈 NE 和近 EW 走向，其主脊海拔 6000 ~ 7000 余 m，第四纪冰川活动强烈。根据第四纪地层剖面、冰

磧物与冰水沉积、地层层序、地质地貌特征及其相互接触关系,在念青唐古拉山中段可清晰地划分出4期冰期,从新到老依次为:西布冰期和新冰期(Q_4);拉曲冰期(Q_3),其U系与OSL年龄约为0.07~0.03 MaB.P.;爬然冰期(Q_2^3),其U系与ESR年龄约为0.2~0.14 MaB.P.;宁中冰期(Q_2^1),其ESR年龄约为0.7~0.6 MaB.P.。每期冰期及间冰期沉积物中的砾石及其岩性、砾态、沉积厚度、风化程度等都有明显区别。另外,我们还对老冰期与冰磧层、各次间冰期和本区冰期与其他地区冰期进行了对比和讨论。

4. 湖岸阶地与湖相沉积

在纳木错沿岸,发育了拔湖1.5~8.3 m、8.3~15.6 m、14.0~19.9 m、18.7~25.8 m、26.0~37.3 m和38.3~47.6 m等6级湖岸阶地,以及拔湖48 m以上,最高至139.2 m的高位湖相沉积;在拔湖27 m以下,发育了多达8~30条的湖岸堤;而一条明显的湖蚀凹槽,集中出现在拔湖17.5~19.8 m的高度上,与纳木错和仁错的分水垭口的高度相当。

除由湖相沉积所构成的完整阶地面与阶地斜坡组成的6级阶地外,在纳木错沿岸若干基岩山丘的丘顶与坡麓,都可以发现高出湖面48~139.2 m的湖相沉积分布。而且在仁错一久如错分水岭上、纳木错与申错分水岭上都发现有湖相沉积,并在那曲南部、安多西部和扎日南木错、当惹雍错等地都发现了海拔4700~4800 m(现在内外流区分水岭的海拔高度为4695 m)的湖相地层。

5. 湖成地貌与湖面变化

在纳木错沿岸与湖心岛屿上,可以见到各种各样的湖蚀地形与湖成地貌,如湖蚀平台、湖蚀柱、浪蚀洞、湖蚀崖、浪蚀穴与湖蚀壁龛等。它们的拔湖高度多在30 m左右,构成第三级湖相阶地的后缘,其形成时期湖面曾保持较长时间的稳定。从地形图和遥感照片上,也可在纳木错南岸见到高出湖面30 m左右的湖蚀崖,侵蚀在冰川与冰水堆积物上,其先后次序和相对时代的确定尚需进行详细调查研究。

在对石灰岩溶洞和峰林地貌进行了研究后,发现其成因有二:一是喀斯特岩溶现象(如保吉地区的天门洞和地门洞等);二是湖蚀现象(如纳木错扎西多半岛沿岸,拔湖17~18 m高度上的湖蚀洞、湖蚀柱等)。

此外,在当雄县纳木错乡扎西多半岛上的多青与多穷两个石灰岩丘及班戈县保吉乡雄前附近,均有成层的喀斯特溶洞分布,它们的形成也可能与湖面的变化有关。

6. 湖相地层影像特征与湖面变化、古降水量的关系

通过遥感影像分析,确定了纳木错及其周缘的湖相沉积物的分布范围。根据不同的遥感技术方法,确定了现今纳木错湖水面的面积,划分出环纳木错的晚更新世、全新世不同时期的湖相沉积物,并精确地计算出它们的面积。其中纳木错现今湖水的面积为1984.45 km²,较20世纪70年代的1920 km²扩大了64 km²;晚更新世湖相沉积物的面积较现今湖面扩出984.45 km²,全新世湖相沉积物面积也较现今湖面扩出184.45 km²。

本专著还对流入纳木错河流水系变迁的重点地段进行了分析,从20世纪70年代以来,至少有四次河道变迁。念青唐古拉山冰川重点地段的遥感影像分析表明,自20世纪70年代以来,冰川退缩非常明显,仅在念青唐古拉山中段的羊八井地区,就退缩了24 km²,首次得到了纳木错及其周缘湖泊演化和气候变化的高精度数据。

根据全流域水量平衡原理,采用热量平衡方程、水热平衡方程以及气候和水文参数设置,我们计算了纳木错湖泊面积及古降水量变化。结果表明全新世以来本区降雨量稳定下

降,其中20世纪70年代降雨量计算结果与现今实际测量的410 mm降雨量计算结果基本相符,由波恩比变化同样反映出本区自晚更新世以来气候由湿润向干旱环境转变。

7. 湖滩岩的发现、命名与定义

在纳木错及其周缘,首次发现了一种与高原湖泊演化有关的湖相沉积岩石。根据野外观测、室内分析鉴定、矿物学研究、X射线衍射分析、U系法同位素测年等资料,结合沉积相、岩相组合等特征,我们把这种新的湖相沉积岩石类型命名为湖滩岩。

根据其产状、岩性及其地质特征,我们将“湖滩岩”(lacustrine beach rock)定义为“一种发育在湖滩带上拍岸浪和周期性湖水涨落影响区间石化了的湖相沉积物”。因此,湖滩岩的机械颗粒组分可以是多种多样的,从含火山岩、花岗岩、砂岩、变质岩岩屑,到全是碳酸盐岩碎屑;砂和砾都胶结很好,胶结物几乎全为微细粒碳酸盐物质。

湖滩岩主要分布在纳木错拔湖26 m以下,沿岸若干环湖的湖岸阶地、湖相沉积、湖蚀崖、基岩山丘与坡麓等地,呈阶地状沉积零星分布。这些湖滩岩的沉积特征很明显:均为含贝壳的粗砂细砾被碳酸盐胶结而成的块体,灰白—灰色,呈粗砂岩或砂砾岩状,其中可见水平层理,有的甚至有清晰的微层理,岩石多呈厚层状、填隙状,分布零散,现存的厚度在1~2 m至10~40 cm之间,愈向高处愈薄。该湖滩岩属典型湖相沉积岩系,覆盖在基岩或湖岸堤之上。

8. 纳木错及邻区的经济地质

其他第四纪沉积、地貌和经济地质等方面的调查研究表明:①纳木错及其周缘古高原面发育,根据它们的形态特征和分布规律,可将其分别称为山顶面和主夷平面;②古风化壳和古土壤大致分为三种类型;③考古发现人类至今1万~5万年之间已多次往返于藏北高原地区;④矿产资源(尤其是地热资源)和旅游资源均较丰富。在研究区的羊八井、宁中、曲申等地热田中,分布有较大面积、不同类型的温泉化学沉积,以钙质、硅质为主,局部泉华中含有较多的硫化物与自然硫。对该区今后的旅游资源开发和地区经济的可持续发展提供了基础资料。

(二) 湖泊发育与“藏北高原东南部古大湖”的发现

在连接纳木错与其西的仁错—久如错的雄曲—那曲谷地分水岭地段,发现了湖相沉积与湖岸阶地,确证了纳木错与其西的仁错—久如错在纳木错第三级与第四级湖岸阶地形成时期,确实是相互连通的大湖。而且仁错与其以西的木纠错(有河流流入与色林错盆地的错鄂湖)之间的分水岭宽谷(宽达8 km),海拔不到4700 m,仅高出仁错贡玛(海拔4650 m)不足50 m。故在纳木错的第三级阶地与第四级阶地形成时期,纳木错是与色林错连通的一个大湖,而不是通过河流相连的两个湖泊。因此,我们提出在藏北高原东南部存在一个晚更新世古大湖。从最高湖岸线的分布与湖相沉积物、湖成地貌等标志综合判定,古大湖的面积要比现代湖泊面积大数十倍,其总面积可达10万km²以上。

1. 纳木错地区科考与研究沿革

半个多世纪以来,我国科学家对纳木错进行过一系列科学考察(徐近之,1937;中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983,1984;韩同林,1983,1984;中国科学院地理研究所,1990;李炳元,1998)。他们发现了不同高度的3级湖积阶地、8~10条古湖岸堤,因而形成了中、晚更新世在西藏有一个“大水湖时期”的看法,认为藏北高原东南部的几个大中型湖泊,包括纳木错和色林错在内,曾有河道相连,且一度是怒江外流水系的一部

分。近年来, Zheng Mianping et al. (2000) 和李炳元 (2000), 进一步提出了青藏高原的 40~28/25 ka B.P. 时期为泛湖期 (pan-lake stage) 和“大湖期”的观点。

2. 湖相与湖滨相沉积物定年

纳木错沿岸 19 个剖面中的 12 个及邻近湖泊的 3 个富含碳酸盐的湖相或湖滨相沉积物, 其 U 系全溶样品的等时线年龄测定结果表明, 高位湖相沉积形成于 $(115.9 \pm 12.1) \sim (71.8 \pm 8.5)$ ka B.P. 的晚更新世早期 (末次间冰期), 第六、五、四、三和二级阶地, 分别形成于 (53.7 ± 4.2) ka B.P.、 $(41.2 \pm 4.7) \sim (39.5 \pm 3.0)$ ka B.P.、 (35.2 ± 3.0) ka B.P.、 (32.3 ± 4.4) ka B.P. 和 (28.2 ± 2.8) ka B.P. 的晚更新世中晚期, 而与湖蚀凹槽相当的湖滨相沉积则稍早于 (29.3 ± 2.7) ka B.P.。根据纳木错湖相沉积的 ^{14}C 法年代学的初步研究, T_1 — T_2 阶地湖相地层中的水草层 ^{14}C 测年结果为 2350~10390 a, 螺壳 ^{14}C 测年结果为 5290~9030 a, T_1 阶地中的淤泥 ^{14}C 法测年结果为 13820 a, 可以确定环纳木错的第一、二级湖积阶地的形成时代为全新世以来。

3. 纳木错群的建立

纳木错一带属班戈—八宿和措勤—申扎地层小区的交汇处, 本区出露的湖相沉积物, 具有完整的剖面、丰富的微体古生物、特征的岩相与古地理环境, 故有必要建立新的群 (组) 级岩石地层单位——纳木错群。我们将其定义为: 由湖水作用形成的一套灰色、灰白色、灰黄色、青灰色湖相沉积物, 不整合覆盖于茛丁空巴单元 (K_2l) 中细粒花岗闪长岩的棕红色残坡积物或爬然冰碛物之上。以纳木错沿岸出露的湖相沉积物为代表, 形成时代属晚更新世—全新世, 其中全新统最佳地点在扎弄淌, 上更新统出露最好地点在干玛弄。因此, 根据环纳木错沿岸实测第四系湖相地层剖面、 ^{14}C 、U 系等同位素测年、孢粉和介形类分析等资料, 结合沉积相、岩相组合等特征, 将该套湖相沉积地层命名为纳木错群 (Q_{3-4n})。纳木错群由上更新统干玛弄组 (Q_{3g}) 和全新统扎弄淌组 (Q_{4z}) 组成。

4. 藏北高原古大湖的发现

项目组成员于 2000 年 6~8 月和 2001 年 4~7 月间, 两次在纳木错沿岸进行了详细的野外地质调查与填图, 对若干湖岸阶地、湖岸堤与湖相沉积剖面进行了水准仪测量与剖面采样, 还对邻近的仁错、久如错、木纠错等湖泊, 以及远离纳木错的那曲、安多地区的藏北内流区与怒江水系的分水岭等地, 进行了路线地质调查和综合研究。根据在上述地区广泛出露的海拔 4700~4850 m 的高位湖相沉积, 提出在藏北高原东南部存在一个晚更新世古大湖, 我们称之为“古羌塘湖” (朱大岗等, 2001)。2001 年在野外不同区段, 通过水准仪 (自动安平水准仪的精度为毫米级) 测量和估算, 发现了 8 处高于现代纳木错湖面 100 m 以上的高位湖相层 (最高实测值高出湖水面达 139.2 m), 找到了藏北高原东南部古大湖存在的确凿证据。

5. 古大湖演化的时间序列

根据样品的 U 系年代学研究结果, 结合野外地质调查成果, 可将有关纳木错晚更新世湖泊发育与藏北高原东南部古大湖演化划分为 3 大阶段: ① 116~40 ka B.P. 前晚更新世早中期之“古大湖期”, 即古大湖的发育期; ② 40~30 ka B.P. 间的“外流湖期”, 即古大湖的分裂期; ③ 30~20 ka B.P. 晚更新世晚期以来的“纳木错期”, 即残留湖盆期。在古大湖阶段, 包括纳木错、色林错等藏北高原东南部的一大批现代大中型湖泊, 是互相连通的一个大湖, 而不是通过河道相连的若干个湖泊, 其范围可能超过了现代的内、外流水系

(怒江)的分水岭,可称为“古羌塘东湖”和“古羌塘西湖”。它们或许还与藏北高原中南部和西南部的其他古大湖相连,成为真正统一的藏北高原“古大湖”。

6. 古大湖演化的湖面变化证据

藏北高原古大湖演化的湖面变化证据,若以现在纳木错湖水面算起,可明显地分为3个大的波动期。根据纳木错沿岸拔湖18 m左右的古湖岸堤、湖相沉积、湖蚀岸、湖蚀柱、湖蚀洞、湖蚀凹槽等古湖岸线标志,结合野外19条湖岸堤和湖岸阶地水准仪测量结果,将藏北高原古大湖演化的湖泊水面高度,以高于现代纳木错湖水面的高度为基线划分为:古大湖期140~26 m,外流湖期为26~19 m,纳木错期<19 m。反映了藏北高原东南部晚更新世古大湖湖面稳定与稳定后的迅速下降共有3个大旋回,总体呈下降趋势,一级比一级平台低。

(三) 纳木错地区及邻区第四纪环境演变与青藏高原隆升的关系

通过野外和室内综合研究,对纳木错地区及邻区第四纪环境演变与青藏高原隆升的关系,我们建立了藏北高原东南部古大湖地区的区域环境演化系统的基本格架,认为晚更新世以来的湖泊发育与藏北高原古大湖演化阶段的地质事件,是本区环境变化作用的关键所在,并由此提出了反映青藏高原隆升的过程表现为以下几个方面。

1. 藏北高原东南部古大湖演化与环境变化

藏北高原东南部晚更新世“古大湖”是由“古羌塘东湖”、“古羌塘西湖”两大湖泊组成的,两湖之间的分水岭高度为4915 m,“古大湖”面积可达十万多 km^2 。古大湖分布于班公错—怒江带、冈底斯山脉与念青唐古拉山脉组成的三角形区域内,现今的纳木错、色林错、扎日南木错、当惹雍错等湖泊,都是古大湖萎缩后的残留湖盆。

在古大湖阶段,包括纳木错、色林错等藏北高原东南部的一大批现代大中型湖泊,是互相连通的一个大湖,而不是通过河道相连的若干个湖泊,其范围可能超过了现代的内、外流水系(怒江)的分水岭,可称为“古羌塘东湖”。它或许还与藏北高原中南部和西南部的其他古大湖相连,形成“古羌塘西湖”和“古羌塘南湖”。甚至在某个时段,“古羌塘东湖”、“古羌塘南湖”与“古羌塘西湖”也一度相通,成为统一的“古大湖”。

在外流湖期,古大湖水面急剧下降并发生局部解体,使纳木错、扎日南木错、色林错、当惹雍错等较大湖盆与残留的古大湖分离,形成藏北高原东南部以湖相沉积相连、且一个个相互分离的残留湖盆。

纳木错期以来,该古湖随青藏高原的隆升加剧和气候日渐干燥而收缩和分崩离析,各湖盆的水面日益退缩,逐渐演变成为现今的面貌。

2. 藏北高原古大湖演化与青藏高原隆升

藏北高原东南部古大湖最发育阶段。纳木错沿岸高位湖相沉积的发现及其U系法年龄测定结果(115.9~71.8 ka B.P.)表明,在晚更新世早期即末次间冰期时,纳木错已发育成为一个充满盆地的深水大湖。由于纳木错与邻近仁错—久如错和申错湖盆的分水岭,仅分别高于纳木错现今湖面20 m和52 m,故古纳木错必然通过各分水岭与其他湖盆连通成为一个统一的大湖,而不是通过河道相连的外流湖。

藏北高原古大湖分裂阶段。大约在40 ka B.P.和35 ka B.P.间,也就是末次冰期间冰段中期,随着青藏高原的隆升,藏北高原东南部古大湖湖面再次上升之时,湖水冲开了古大湖与怒江水系的分水岭而外泄,使古大湖湖面急剧下降,并局部解体,从而使充填纳木

错等盆地的古湖与残留的古大湖分离。

随着青藏高原快速隆升到接近现代的高度,成为南亚季风的屏障,末次冰期晚期特别是盛冰期的到来,藏北高原气候日渐干旱化,各湖湖水的补给赶不上蒸发,各湖湖面开始下降。当湖面下降到雄曲—那曲谷地的分水垭口后,湖水再也不能外泄了,现代纳木错得以形成。

3. 青藏高原第四纪环境演变

在藏北高原的纳木错第四纪湖相地层中,埋藏着不同类型的植物孢粉和介形类,它们能比较可靠地反映当时古植被的演替和古气候变化的情况。因此,通过对孢粉和介形类组合分析并将其与相邻地区进行对比,就可推测出化石所在的地层时代及其古地理环境。本书通过纳木错及其周缘不同湖相地层的孢粉和介形类分析,表明藏北高原植被带的分异在很大程度上取决于当时高原各部分隆升的高度及其相应的自然地理状况。因此,伴随着气候变冷,藏北高原植物所发生的变化,比起平原地带显然要大得多。

4. 青藏高原古湖泊的发育

通过对青藏高原遥感图、地质图的综合分析,我们推测:青藏高原自晚新生代以来,可能发育有一系列不同时期、不同分布范围、不同面积、不同演化特点的“古大湖”。目前,在藏南谷地、藏北地区、羌塘地区、昆仑地区、可可西里地区、祁连地区、柴达木盆地、青海湖盆地和甘南、滇西北、川西北等地,都发现了大面积分布的湖相沉积,其中很多湖相层分布较现今湖水面高出 200~400 m,说明古湖的范围之广大。

由于项目组在野外地质调查中找到了确凿证据,确认了青藏高原腹地晚更新世曾存在直径达数百公里、面积达 10 万 km^2 的古大湖,并推测了湖水的外泻通道,探讨了青藏高原隆升与环境演化问题,从而取得了突破性进展。该项调查研究成果得到了国土资源部、中国地质调查局、中国地质科学院的领导、专家及国内外地学界同行的极大关注,被列为中国地质调查局“地调科研 2001 年度的重大成果”之一:“在纳木错发现高出现代湖面 132.9 m 的巨型古高原湖,为研究青藏高原地质演化史及资源环境评价提供了新的基础资料”。与之有关的论文在国内核心期刊、SCI 期刊上公开发表,引起了轰动。

五、成果评审验收

中国地质科学院于 2003 年 6 月 30 日~7 月 1 日,在北京组织有关专家对“西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究”成果报告进行了评审验收。专家们听取了项目组的汇报、答辩,并对原始资料进行了抽查,经评审委员会讨论后形成评审意见如下。

本研究按设计任务要求的技术思路,在野外与室内、调查与研究、科研与生产紧密结合的基础上全面开展工作,结果超过了原设计要求,取得了以下主要成果:

(1) 通过湖积阶地、湖相沉积和湖成地貌等方面的综合研究,结合多种先进方法手段的应用,得出了量化的古拔湖高度和准确的定年数据。发现了青藏高原腹地晚更新世直径达数百公里以上的呈网格状分布的古大湖,确认了古大湖不同演化阶段的湖泊水面高度,并依据野外调查成果编绘了青藏高原腹地晚更新世古大湖分布图。这是研究团队多年来野外、室内工作的结晶,是青藏高原地质演化研究的重要成果。

(2) 完成了纳木错地区高分辨率的地层学研究。根据多条实测剖面,对湖相地层的岩性、沉积相、岩相组合和古生物进行精细研究,结合同位素年代(U 系法、 ^{14}C 法)的测

试结果,首次建立了藏北高原内流区晚更新世—全新世湖相地层剖面,为研究该区及邻区晚第四纪湖泊演化、气候变化、古地理变迁及第四纪地层划分、对比提供了新资料。

(3)通过地貌学、沉积学、环境地球化学、同位素年龄及微体古生物学研究,识别出西藏纳木错地区第四纪气候波动和相应的万年、千年、百年尺度的湖面变化;确定了纳木错 120~40 ka B.P. 极度干旱期湖面大幅度持续下降和湖水变咸、40 ka B.P. 以来湖面保持振动式升降变化的规律,说明自晚更新世以来,该区气候经历了多次冷暖与干湿波动。该成果大大提高了西藏第四纪气候学的研究水平。

(4)对念青唐古拉山地区的第四纪冰川作用和冰川与湖泊的发育关系进行了研究,划分了四次冰期,并通过冰碛物的成分和粒度分析,探讨了剥蚀作用与高原隆升的关系。

总之,该报告注重野外调查与实践,在运用多学科理论的基础上,采用多种技术手段对纳木错地区第四纪环境演变进行了深入的剖析,尤其是藏北高原晚更新世古大湖的发现,为研究青藏高原地质演化史及资源环境评价提供了新的基础资料,为青藏高原隆升及其环境生态响应和全球变化提供了进一步研究的依据。该报告资料丰富、基础扎实、手段新颖、内容翔实,按设计书要求全面超额完成了任务,在纳木错地区第四纪环境演变研究等方面取得了重要突破。

经评审委员会评审一致同意将该项科研成果评定等级为优秀级。

六、致谢

在项目进行过程中得到了国土资源部国际合作与科技司黄宗理司长、高平处长、高锦曦处长、白星碧处长、邹星高级工程师,中国地质调查局张洪涛副局长、王保良副总工程师、彭齐鸣主任、王瑞江主任、王平主任、庄育勋副主任、叶建良副主任、卢明杰处长、翟刚毅处长、刘凤山副处长、于庆文副处长,中国地质科学院副院长董树文研究员、中国地质科学院科技处处长李贵书研究员,地质力学研究所所长兼党委书记杨万来高级政工师、地质力学研究所副所长赵越研究员、副所长吴珍汉研究员等的全力支持,在此表示衷心感谢。

野外工作期间得到了西藏自治区地质矿产厅王保生厅长、杨朝斌处长、厅培训中心平错主任、中国地质调查局拉萨安全保障工作站负责人李全文、河南省地质勘查局区调院王建平院长、河南省区调队刘彦明队长等单位 and 同志们们的热情帮助和全力支持,以及地质力学研究所 1:25 万当雄幅填图项目组全体成员的大力协助,使该项调查研究工作得以顺利进行。

室内工作中曾得到中国地质大学校长吴淦国教授、中国地质大学副校长邓军教授、地质力学研究所科技处处长赵志中研究员、副处长雷伟志副研究员,以及孙殿卿院士、陈庆宣院士、崔盛芹教授、王小凤研究员、廖春庭研究员、刘晓春研究员、陈正乐研究员、吴树仁研究员、吕古贤研究员、陈柏林研究员、王连庆研究员、王平安研究员、王宗秀研究员、汪西海副研究员、白嘉启高级工程师、杨美玲副译审、张治国副研究员、乔子江副研究员等各位专家学者的帮助和指导。¹⁴C 测年由 中国地震局地质所尹金辉高级工程师和北京大学¹⁴C 实验室测定,U 系法测年由马志邦高级工程师测定,X 光衍射分析由中国地质大学(北京)X 光实验室陈荣秀教授测定,孢粉分析鉴定工作由中国地震局地质所严富华研究员、麦学舜研究员承担,介形类化石由田国强副研究员鉴定,易溶盐分析、pH 值测

定由茅文英高级工程师承担，粒度、碳酸盐和磁化率由刘科工程师测定，矿物成分、岩矿鉴定由河北区域地质调查研究所实验室张江满高级工程师承担，定量光谱分析由李广生高级工程师测定，人工重砂矿物成分由鞠燕工程师鉴定，扫描电镜由中国地质科学院地质研究所周慧工程师承担，图件由赵小荣工程师、田晓娟副研究员协助绘制。钱方研究员对本书初稿进行了全面审阅、并提出宝贵意见。在此，一并致以衷心的感谢。

中国科学院院士刘东生先生非常关注地阅读了本项目已公开发表的若干研究论文和重要研究成果，并在书稿付梓前于百忙之中热情地为本书作序。刘老先生作为世界公认的第四纪学术泰斗，2002年获“泰勒奖”。有幸得到他的鼓励，我们将会在第四纪地质的研究工作中，为全球环境-气候变化规律的深入认识，为人类社会的可持续发展，继续做出不懈的努力。