

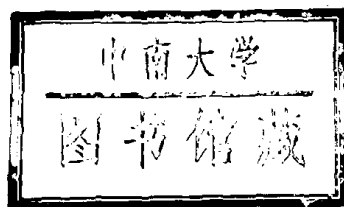


0952786

国家“九五”科技攻关三〇五项目研究成果

罗布泊盐湖钾盐资源

王弭力 刘成林 焦鹏程
韩蔚田 宋松山 陈永志
杨智琛 樊卫东 李廷祺 等著
李长华 冯金星 陈建忠
王新民 于志鸿 李亚文



地质出版社

· 北京 ·

谨以此书献给：

中国地质学会成立 80 周年

中国西部开拓者



内 容 简 介

罗布泊是位于新疆塔里木盆地东部的一个第四纪湖相盆地。本书是第一部系统论述罗布泊钾盐资源的科学研究专著。

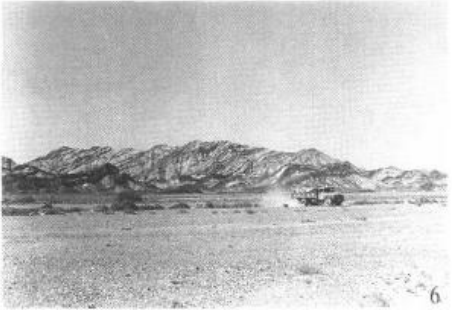
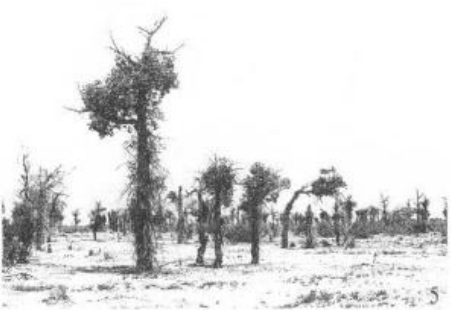
作者经过5年来团结协作、克服野外工作的艰辛,开展了大量野外调查、采样及室内分析测试与资料总结,对罗布泊(重点在罗北凹地)第四纪地质地层划分,古气候与环境,水文地质,水文地球化学,氢、氧、硫、锶稳定同位素,氟同位素,盐类矿物特征与盐湖沉积,钾盐矿床成因,钾矿特征及其资源评价,室内卤水蒸发实验与野外盐田提钾工艺试验及概略技术经济评价等进行深入研究,发现了资源量达超大型规模的卤水钾矿床,这是我国近年来找钾工作的重大突破。该钾盐矿床属一种新的类型,矿床可采性好,资源保证程度高。本书研究在第四纪地质、矿床水文地质、钾盐成矿理论与开发应用等方面获得不少新成果、新发现。

本书共分八章,内含大量图表和照片,资料翔实、数据丰富。可供从事第四纪气候变化、盐湖、钾盐、水文地球化学、水文地质、卤水制钾工艺等工作参考,也可用作相关专业的研究生和大专院校师生的参考书。

Brief Introduction

The Lop Nur is a Quaternary lacustrine basin located in the eastern part of the Tarim basin, Xinjiang.

Over the past five years the authors have coordinated their efforts and endured hardship in the field to carry out large quantities of field surveys, sample collection, indoor tests and analyses and data elaboration. They have made the stratigraphic division of the Quaternary and conducted intensive studies of the paleoclimate and paleoenvironment, hydrogeology, hydrogeochemistry, hydrogen, oxygen, sulfur and strontium stable isotopes and tritium isotopes, characteristics of saline minerals and saline lake sediments, origin and characteristics of potash deposits and potash resource evaluation, as well as indoor brine evaporation experiments and field potash extraction technological experiments in solar ponds and general technical and economic evaluation in the Lop Nur (mainly in the Luobei hollow). On that basis, a superlarge brine potash deposit has been found, which is a major breakthrough in China's potash prospecting in recent years. This potash deposit belongs to a new type and is characterized by good extractability and a high degree of resource guarantee.





序

我国是一个人口众多的农业大国,在有限的耕地面积上均衡施肥,是保障粮食和经济作物稳产、高质、高产的必要措施。国外的先进农业其氮、磷、钾三大肥料的施肥比,一般按照 $N:P_2O_5:K_2O=1:0.5:0.5$ 比例施肥。然而,我国在90年代末期的化肥生产中三者比例仅为 $1:0.3:0.0157$,加上进口钾肥目前用于农业的施肥比,也仅为 $1:0.46:0.205$ 。由此可见,我国与先进农业国相比钾肥的生产和施用远远不足。而且我国土壤普遍缺钾,特别是南方土壤严重缺钾。当前,我国农业结构调整中正在大规模实施“补钾工程”。1987年以来,联合国粮农组织开展了“平衡施肥,避免缺硫,提高产量”的研究项目,其中包括在我国15个省区的土壤含硫情况的调查,在这15个省区中发现有约1/3的土壤缺硫,而1/5则严重缺硫。硫是仅次于氮、磷、钾的一种农作物肥料,它是某些氨基酸因而也是蛋白质的组分,它有助于酶和维生素的合成,增进作物的抗旱和御寒能力,防止蔬菜中硝酸盐的积累,它同时还是叶绿素的结构物质。硫酸钾肥是烟草、柑桔、葡萄、马铃薯等忌氯作物所必需的肥料。

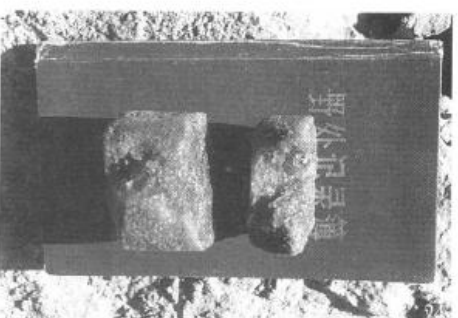
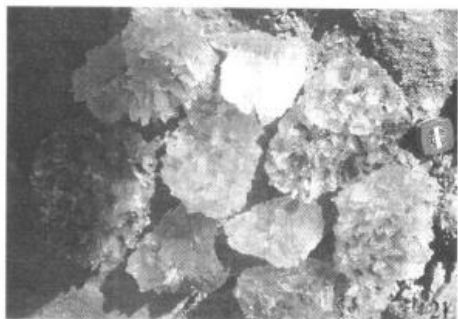
我国是钾资源紧缺的国家,从新中国成立以来地质矿产部一直把探查钾盐资源列为重点计划,多年来我国可溶性钾盐资源累积探明储量仅4亿多吨(KCl),其中97%的储量分布于柴达木盆地,大多数为第四纪盐湖卤水钾矿。长期以来除柴达木盆地外,钾盐找矿未获重大突破。

本书作者在参加柴达木盆地钾盐矿床研究攻关项目后,着手开展柴达木盆地与塔里木盆地对比研究,确认塔里木盆地的罗布泊地区第四纪构造沉积环境演化历史和成钾条件与柴达木盆地类似,并结合对前人在罗布泊地区获得的地质资料分析,认为罗布泊应是具

有成钾远景的大型第四纪盐湖沉积区。作者曾在原地质矿产部定向基金支持下,与新疆地矿局第三地质大队和部属遥感中心合作,对罗布泊东北部凹地“罗北凹地”进行了野外地质调查,发现了第四系盐层中的钾盐卤水矿,取得了近几年来找钾工作突破性进展。其后,本书作者承担了国家“九五”攻关305项目——罗布泊地区钾盐资源开发利用专题研究。本书是该专题的主要研究成果,该项研究成果为我国开辟第二个钾肥生产基地,特别是建立大型硫酸钾盐生产基地提供了重要依据。它对缓解我国可溶性钾资源短缺的现状,作出了重大贡献。

《罗布泊盐湖钾盐资源》一书,是5年来在大量野外地质调查勘探和大量室内测试分析研究基础上,所取得的丰硕成果。本专著在第四纪地质方面:作者通过孢粉组合研究揭示了罗布泊1.2Ma以来经历了7个气候变化期;沉积物磁化率与粒度反映出罗布泊地区曾经历过30次周期性气候波动,每次时间跨度近4万年,并首次在第四纪地层中发现有孔虫化石。在水文地质方面:作者采用水均衡法估算了罗北凹地潜卤层水资源;采用了人工放射性同位素技术研究了渗透流速的平面分布规律,计算了渗透系数等重要的水文地质参数;探讨了渗透流速与储卤层岩性的关系,研制出四坑四源示踪试验方法;野外示踪试验确定潜卤层给水度值。在卤水地球化学与沉积演化方面:阐述了罗北凹地卤水的浓缩中心和钾的分布规律;讨论了古湖水的主要来源,卤水硼、锂可能受火山期后热水活动影响;硫同位素研究表明湖水中硫酸根主要来自塔里木盆地西部及南天山的中生界古盐矿的风化产物,罗北凹地卤水长期以来接受“富钙水”的补给;氟同位素研究表明潜卤水表层有现代大气的补给。在盐湖沉积方面:第四纪早期罗布泊为统一的大湖区,中更新世中晚期该湖出现南、北部化学沉积分异,北部出现大量钙芒硝沉积;晚更新世以来,罗布泊北部抬升及罗北凹地形成,罗北凹地的盐类沉积以钙芒硝为主,其后出现杂卤石和石盐等沉积。在钾盐卤水加





工利用和资源评价研究方面: 通过卤水等温蒸发试验及野外盐田工艺试验证实, 可充分利用当地气候条件和卤水特征, 蒸发获得硫酸钾镁混盐原料, 利用转化法生产硫酸钾; 论述了钾盐卤水矿主要赋存于钙芒硝层, 氯化钾品位高、储层孔隙发育; 在工程控制范围内经概算得知该矿床为大型钾盐卤水矿床, 资源保证程度高, 作者提出罗北凹地钾矿的开发应“小型启动、滚动开发”。

作者在分析前人工作资料的基础上, 利用自己的研究经验和知识, 在渺无人烟的罗布泊地区奋战数年, 本专著是他们辛勤劳动的结晶, 书中很多资料尚属首次发表。新疆罗布泊罗北凹地大型钾矿的发现是近年来我国钾盐找矿工作的重大突破, 该项研究成果不仅具有重要的科学意义, 而且在实施西部大开发的今日, 作者的出色工作将对新疆自治区的经济发展作出积极的贡献。

中国科学院院士

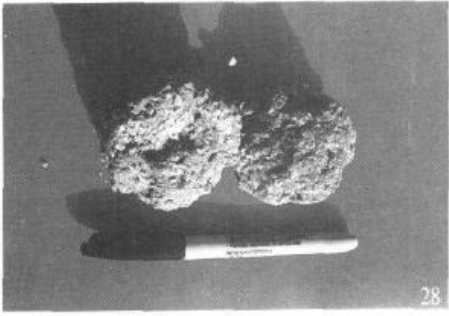
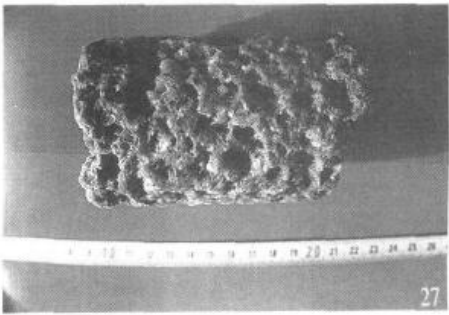
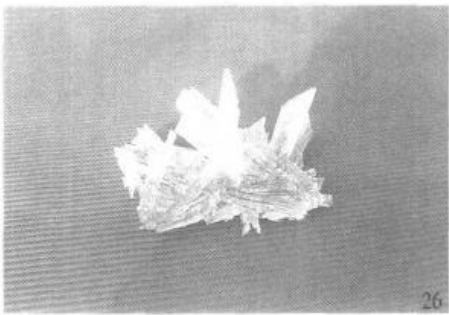
张彭志

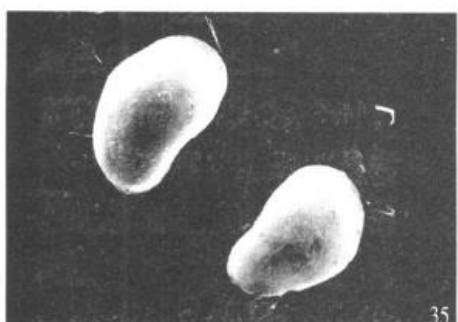
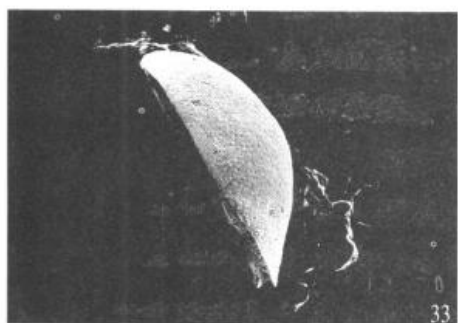
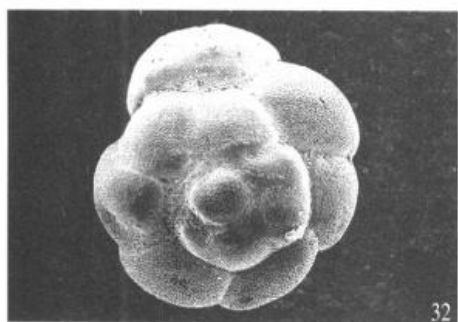
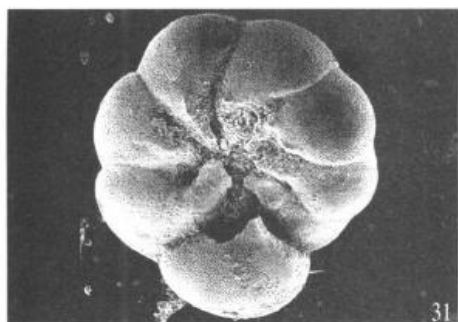
2001年8月30日

前言

我国钾资源严重不足，钾肥产量很有限。近年我国氯化钾产量虽已增至60万吨，但消费量已达500万吨，远远不能满足农业生产的需求。自“六五”计划以来连续几个五年计划期间，钾盐找矿与科研一直被列为国家和原地质矿产部重点攻关项目，但除了柴达木盆地外，较长时期以来此项工作一直未实现重大突破。通过几十年的钾盐找矿实践，一般认为我国仅在柴达木等第四纪盐湖才有良好的成钾条件。但是，柴达木盆地经过几轮找钾工作，其资源形势基本搞清，进一步开展找矿的空间很有限。因此，开辟新的找钾工区已成为钾盐工作者认真思索的问题。通过“七五”、“八五”期间在柴达木盆地开展钾盐矿床成因和形成条件研究，与塔里木盆地的对比研究，以及对前人有关资料分析，作者认为塔里木盆地的罗布泊地区第四纪构造沉积环境演化历史和成钾条件都与柴达木盆地相似，罗布泊大型盐湖沉积区有可能是另一个具有成钾潜力的找矿靶区。在罗布泊地区开展钾盐资源调查，不仅可能提交可供开发的、具大型规模的钾矿床，还可能继柴达木盆地之后，在西北地区欧亚大陆桥沿线建成我国第二个钾肥生产基地。这对于缓解我国钾盐紧缺状况，促进新疆盐化工业发展，加快国家西部战略计划的实施进程均具有重要的意义。

罗布泊是我国干旱地区著名的湖泊，古丝绸之路的灿烂文化和充满神秘色彩的罗布泊吸引了古今中外大批探险家、科学家到此探险考察。一百多年来，到罗布泊地区探险考察的国外学者有俄国的普尔热瓦尔斯基、瑞典的斯文赫定、美国的亨丁顿、英国的斯坦因、日本的大谷光瑞和桔瑞超等。我国在西汉以前(距今2000多年)对罗布泊就有了最初的了解，汉代的张骞和班超出使西域，东晋的法显，唐代的玄奘去印度拜佛求经，在探索罗布泊的历史上积累了较珍贵的资料(自然景观和人文状况)。清代以来对罗布泊的考察活动更加频繁，阿达年(1782年)、徐松(1812年)先后考察了罗布泊地区的水道，刘清和等人(1819年)考察了玉门关至若羌的古通道，黄文弼、陈宗器等于1930~1934年有组织地考察罗布泊地区，对该地区的历史、地理进行了深入研究。中华人民共和国



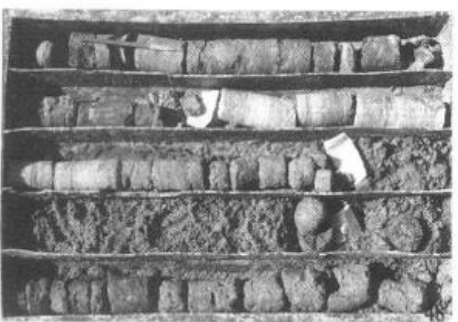
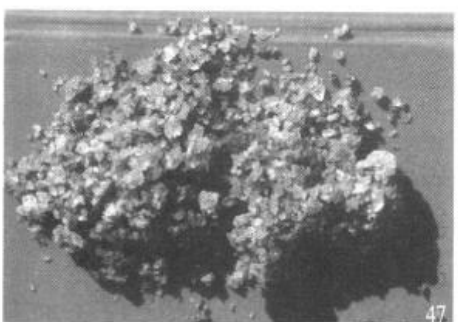
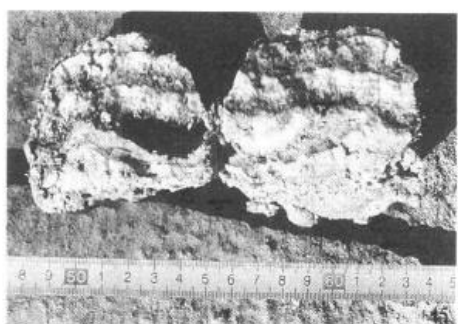


国成立以来,中国科学院、原地质矿产部等部门的有关单位对罗布泊地区进行了较深入系统地科学考察和地质调查研究,由于罗布泊地区自然条件极其恶劣,交通十分不便,这些科学调查及地质研究工作比较薄弱并存在空白区。以往的地质工作情况及主要成果简介如下:①1959年中国科学院新疆综合考察队从北穿过鲁克塔格山到罗布泊北部,对孔雀河三角洲和塔里木河下游台特马湖一带作了全面的考察,并分析了本世纪以来罗布泊水面的变化原因。②1960年,新疆地质局第一区域地质测量大队五分队对K-46-XXV幅(巴勒袞布拉克)进行了1:20万区域地质调查,该图幅已跨入作者工作区的北部,描述了一个盐点,并将地表盐壳定为 Q_1 。③1964年,《地质科学》(第三期)报道,罗布泊盐类沉积物含光卤石、石盐及芒硝等。④1980~1981年,中国科学院新疆分院罗布泊考察队对罗布泊南部“大耳朵”地区及新湖区进行了一次综合性科学考察,出版了题为《罗布泊科学考察与研究》的论文集,分析计算了地表盐壳中固体氧化钾资源量。⑤1988~1989年,新疆地矿局第一区调队三分队开展了K-46-XXXII幅(库木库都克)和K-46-XXVI幅(大平台)1:20万区域地质调查,在大洼地,采集9件固体样、8件卤水样;在铁矿湾,采集7件卤水样;在龟背山南,施工了9个探坑(深1.5~2.2m),取固体样7件,卤水样9件,控制面积230km²,分别计算了KCl固、液相资源量。⑥1989年,中国地质科学院矿床地质研究所盐湖组在“大耳朵”西部挖掘浅坑数个,对其沉积环境进行了研究。⑦1991年,原地质矿产部航空物探遥感中心承担305项目,对罗布泊进行1/50万航空 γ 能谱测量,在14400km²范围内圈出46个能谱(钾)异常。⑧1992年10~11月,新疆地矿局第三地质大队与巴州矿管局、自治区盐业公司及若羌县矿管局等单位联合组队,对91-10号等6个航空 γ 能谱异常进行地面查证。在91-10号异常的一个样坑中,测得深0~0.3m段盐壳的KCl含量为5.5%,深0.3~0.7m段的KCl含量为3.25%,并按91-10异常区面积初步计算了地表钾矿化带的KCl表外地质储量为32.7万吨。⑨1994年,新疆地矿局第二水文地质工程地质大队开展1:100万“新疆罗布泊-阿尔金-昆仑地区区域水文地质调查”,在91-10号异常西侧(“大耳朵”西北部)施工一个钻孔(K1孔),孔深100.20m。对该孔第四系地层作了初步划分,论

述了该区第四纪古气候、新构造运动及沉积环境。⑩ 1995 年，在原地质矿产部定向基金项目的支持下，主要作者（中国地质科学院矿床地质研究所）负责，新疆地矿局第三地质大队和原地质矿产部遥感中心合作的科研调查组，首次对罗布泊东北部凹地“罗北凹地”（此前该地无名称，为工作方便起见，作者将罗布泊东北部凹地命名为“罗北凹地”）进行野外地质调查，发现了埋藏于地下的第四系盐层中的卤水钾矿。调查组在罗北凹地施工钻探揭示了第一层卤水层，即潜卤水层，厚 6.54 ~ 14.84m，潜水位埋深 1.25m，储卤层岩性主要为石膏及钙芒硝，孔隙很发育，平均 28%。卤水样 KCl 含量平均 1.59 %。若按已控面积和厚度计算，罗北凹地第一卤水层(潜卤水层)KCl 储量达 4356 万吨。这一成果被认为是我国近年来找钾工作的重要突破。

1996 ~ 2000 年，由中国地质科学院矿床地质研究所负责，中国地质大学（北京）、新疆地质矿产局第三地质大队与中国地质科学院水文地质工程地质研究所等合作，共同承担国家科委 305 项目“罗布泊地区钾盐资源开发利用研究”专题研究和国家计委调查项目（后者由新疆地质矿产局第三地质大队负责），继续在罗北凹地开展钾盐科研和找矿，揭示出了潜卤层下部确实存在数个承压卤水矿层。浅部卤水矿层控制面积达 1300km²，厚度 3.8 ~ 24.98m，卤水 KCl 平均品位 1.37%；下伏数个承压卤水矿层，累计厚度 84.2m，孔隙也较发育，卤水 KCl 平均品位 1.45 %。按控制的面积、厚度和品位计算，罗北凹地揭示的卤水 KCl 资源量达 2.5 亿吨，属超大型规模。实践证实了作者的预见：罗布泊地区构造演化历史和成盐条件与柴达木盆地相似；已知柴达木盆地各钾盐矿区潜卤层之下都有厚度为 50 ~ 300 余米不等的承压卤水矿层，预计罗北凹地也有相当可观的承压卤水层，其远景储量可望达到超大型规模。此外，卤水中丰富的硼、锂等伴生有益元素可综合开发利用。这些成果的获得，也体现了科研指导生产，生产促进科研的方针的正确性。近 5 年来，专题组共出野外 5 次，在罗布泊工区工作时间累计近 14 个月，采取了上千件卤水样及固体样，作了大量室内分析测试。主要工作量为：①地质路线调查 6 条，300km；②观察编录钻孔岩心共 11 个，中深孔 4 个、浅孔 7 个，按 0.3 ~ 2m 间距系统采集样品，水样 100 余件，沉积物样 1000 余件，有的钻孔全部





取心; ③观察编录浅坑137个, 采集固、水样共计300余件; ④抽水试验(单孔稳定流, 协助第三地质大队)10次; ⑤放射性同位素测井29孔; ⑥地下水化学示踪试验20组; ⑦卤水化学分析常、微量元素, 361余件; ⑧固体化学分析常、微量元素, 460余件; ⑨卤水氢、氧同位素分析, 28组; ⑩卤水锶同位素分析4件; ⑪卤水、矿物硫同位素分析4件; ⑫卤水氟同位素分析30件; ⑬盐岩薄片鉴定360个; ⑭红外和X光分析分别为8和50个; ⑮铀系测年14个; ⑯沉积物 ^{14}C 、卤水 ^{14}C 测年分别为10及3个; ⑰热释光测年20个; ⑱沉积物磁化率509个; ⑲古地磁分析30个; ⑳沉积物粒度分析500个; ㉑孢粉分析200个; ㉒微体化石200件; ㉓孔隙度、渗透率测定各50个; ㉔扫描电镜30件; ㉕显微照相100张; ㉖计算机绘画100余张; ㉗遥感地质解译图4张; ㉘野外地质照相600张; ㉙室内卤水析盐蒸发试验8组, $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 等温实验及提钾工艺实验; ㉚野外盐田蒸发试验6组: 1996年9~10月1组, 1997年6~7月蒸发试验1组, 1998年底冷冻试验1组, 1999年4~10月提钾蒸发试验3组。通过上述工作, 对罗布泊第四纪地质、水文地质、水文地球化学、盐类沉积与钾矿成因、钾矿特征及其资源评价、室内卤水蒸发实验与野外盐田提钾工艺试验及概略技术经济评价等方面进行了深入研究。同时, 还在基础地质、成矿理论与开发应用等方面获得不少新成果、新发现。

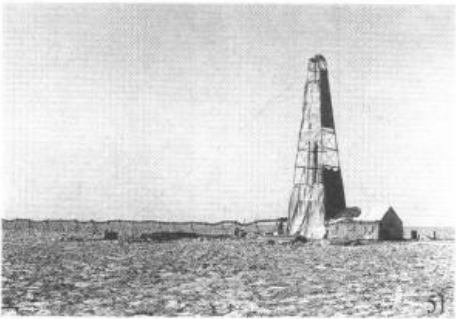
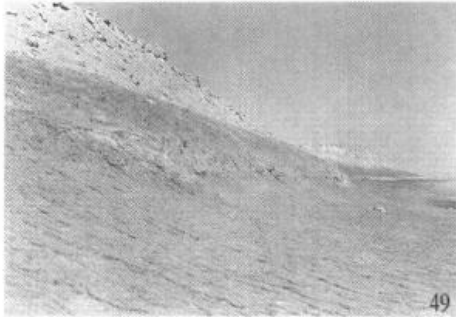
专题研究工作自始至终得到国家科委305办公室、国家计委、原地质矿产部、新疆维吾尔自治区地质矿产局、巴音郭楞蒙古自治州政府政协、国家地调局、中国地质科学院、新疆第三地质大队与若羌县政府及政协等领导的重视和支持, 巴州政府还成立了钾盐领导小组, 在组织上、经费上予以指导和支持。同时, 工作中得到新疆地矿局第二水文地质工程地质大队、石油天然气总公司物探四处等单位支持。这些关心与支持使本项研究得以顺利进行并圆满完成, 在此深表谢意。

参加专题研究人员是: 王弭力、刘成林、杨智琛、陈永志、李长华、黄兴根、浦庆余、于志鸿及刘中平等(中国地质科学院矿床地质研究所); 焦鹏程、齐继祥(中国地质科学院水文地质环境地质研究所); 韩蔚田、李亚文、许博等(中国地质大学(北京)); 宋松山、辛恒广、冯金星、樊卫东、陈明勇、陈建忠、王新民等

(新疆第三地质大队); 李廷祺 (原地质矿产部遥感中心); 周伟杰 (中国地质科学院郑州矿产资源综合利用研究所)。

本书凝集了全体专题成员的贡献。报告由王弭力研究员指导完成, 并对全文进行审阅、修改。各章节编写者如下。前言: 王弭力、刘成林、焦鹏程; 第一章: 焦鹏程、刘成林、于志鸿; 第二章: 刘成林、浦庆余、王弭力; 第三章: 刘成林、王弭力、杨智琛; 第四章: 焦鹏程、王弭力; 第五章: 刘成林、焦鹏程、王弭力; 第六章: 韩蔚田、陈永志、杨智琛、李亚文、刘成林; 第七章: 刘成林、王弭力、焦鹏程; 第八章: 杨智琛、刘成林、王弭力; 结论: 王弭力、刘成林、焦鹏程; 后记: 王弭力、刘成林。

蔡克勤教授和吴必豪研究员作为本专题顾问, 对本项研究及专著的编写提出宝贵意见, 刘东生院士、孙枢院士、陈毓川院士、郑绵平院士、王秉忱教授、张克仁教授、曲一华教授等对本专项研究给予关心和指导, 张之淦研究员、杜乃秋研究员、丁钟礼研究员、刘椿研究员、何希贤研究员、庞其清教授、杨谦高工、张幼勋高工、谷树起高工对研究工作亦给予了大力帮助, 费振璧研究员英译了详细摘要和目录, 付旭杰、贾秀敏制作了部分图件, 特约编辑邢瑞玲、王秋对本书稿做了精细的校对, 在此一并致谢。





目 录

序

前 言

第一章 自然地理、盆地演化及区域构造特征	1
第一节 自然地理	3
一、地形地貌	3
二、气候	4
三、水文	5
第二节 区域地质	8
一、地层	8
二、构造	12
三、侵入岩	14
四、卫星影像解译	15
第三节 塔里木盆地演化与罗布泊形成	20
一、第三纪时期	20
二、第四纪时期	22
第二章 第四纪地质与环境演化	25
第一节 第四纪地层划分	27
一、地层特征	27
二、磁性地层	28
三、地层年代	30
四、地层划分	31
第二节 地貌特征和新构造运动	36
一、地貌特征	36
二、新构造运动	36
三、罗布泊地区古纬度及其构造意义探讨	42
第三节 孢粉组合与古气候	44
一、“大耳朵”湖区 K1 孔孢粉	44
二、新湖区 ZK95-6 孔的孢粉	47
三、气候变化的分析	47
第四节 沉积环境标志分析	49
一、粘土矿物	49
二、粒度分析	51

三、磁化率分析 52

四、沉积物化学组成变化 55

五、微体化石 59

六、风暴尘沉积 64

七、罗布泊第四纪沉积环境演化 67

小 结 68

第三章 盐湖沉积特征 71

第一节 盐类矿物种类及其特征 73

一、盐类矿物种类 73

二、盐类矿物的分布特征 76

第二节 沉积物分类 78

一、分类原则 78

二、主要沉积物（岩） 78

第三节 盐类矿物沉积相 78

第四节 沉积韵律与沉积演化 83

一、Ⅲ级韵律 83

二、Ⅱ级韵律 85

三、Ⅰ级韵律 85

四、沉积环境 87

第四章 区域水文地质特征与矿床水文地质条件 89

第一节 区域水文地质特征 91

一、地下水系统的划分 91

二、地下水系统水文地质特征 92

三、罗布泊供水条件(区域水文地质)分析 96

第二节 矿床(罗北凹地)水文地质条件 96

第三节 罗北凹地潜卤层天然水资源评价 96

一、潜卤水的动态变化 96

二、潜卤层天然水资源评价 101

第四节 人工放射性同位素新方法研究潜卤水运动特征 105

一、单井稀释法测定渗透流速 105

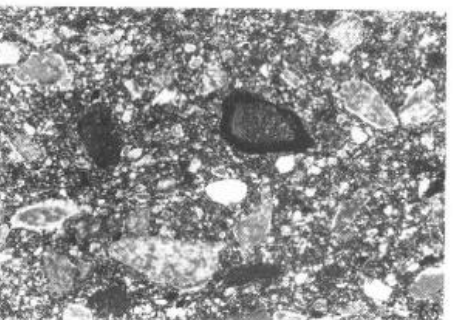
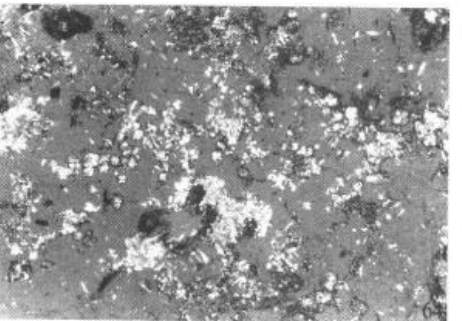
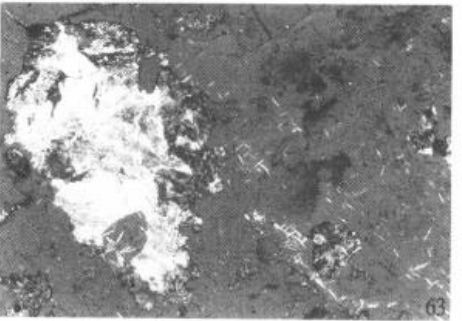
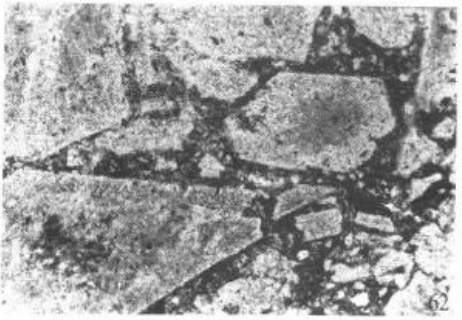
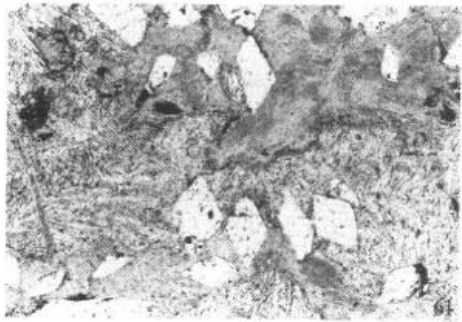
二、地下水流向测定 112

第五节 化学示踪法测定潜卤水流向、实际流速及给水度 115

一、化学示踪法测定表层潜卤水流向、实际流速 115

二、多井技术测定潜卤层的给水度 119

第六节 储卤层富水性研究 121





小 结 123

第五章 矿床水文地球化学 125

第一节 卤水地球化学一般特征 127

一、化学组成 127

二、水化学类型 129

三、密度及元素质量浓度变化特征 129

第二节 浅层卤水地球化学 132

第三节 稳定同位素地球化学 141

一、氢、氧同位素 141

二、锶同位素 143

三、硫同位素 143

第四节 氟同位素地球化学 145

一、大气降水中的氟及罗布泊降水氟含量的恢复 145

二、氟示踪数据的分析模型 146

三、罗北凹地潜卤水氟的分布特征 147

四、氟同位素测年 150

第五节 地下卤水 ^{14}C 年龄 151

一、样品采取与水样预处理 151

二、卤水 ^{14}C 年龄 151

第六节 湖水成因与演化 152

一、古湖水的成因 152

二、卤水化学组成的垂向变化 156

小 结 159

第六章 卤水蒸发试验、盐田工艺及综合利用研究 161

第一节 卤水等温蒸发试验 163

一、罗北凹地卤水化学组成特征 163

二、海水体系介稳相图中软钾镁矾和钾盐镁矾的相区 164

三、罗北凹地卤水等温蒸发试验 167

四、盐田工艺方法试验 172

第二节 野外盐田蒸发试验 175

一、冬季钾石盐生产工艺试验 175

二、春、夏、秋季硫酸钾镁混盐盐田生产工艺试验 179

三、盐田生产工艺控制的讨论 187

第三节 老卤锂、硼综合利用研究 191

一、盐湖卤水锂、硼提取研究概况 191

二、罗北凹地卤水硼、锂分布及其资源量 194

三、罗北凹地老卤硼、锂综合试验研究 195

小 结 197

第七章 钾盐矿床成因、资源评价与远景预测 199

第一节 卤水钾矿特征 201

一、储卤层特征 201

二、储卤层划分 202

三、储卤层含矿性及纯厚度 202

第二节 卤水钾盐资源远景评价 206

一、罗北凹地资源量计算 206

二、块段资源量计算 206

三、给水度资源量 208

第三节 固体钾盐特征、成因及成矿远景分析 209

一、可溶性固体钾矿物特征、成因 209

二、成矿远景分析 213

第四节 卤水钾矿成因 213

一、罗北凹地钾矿形成条件 213

二、成钾机理分析 215

第五节 新的钾盐成矿远景区分析 216

小 结 217

第八章 矿床地质技术经济概略评价 219

第一节 钾盐资源形势分析 221

一、钾盐资源 221

二、钾肥市场 221

第二节 卤水钾矿床地质评价 221

一、潜卤层 221

二、承压卤层 222

三、资源保证程度 222

第三节 矿床开发外部建设条件分析 222

一、交通运输 222

二、淡水供应、电力、燃料等 222

三、盐田修建材料及日晒蒸发条件 223

四、区域经济和社会环境 223

第四节 罗北凹地卤水钾矿床首采区段选择 223

一、首采区确定依据 223





二、开发规划	224
第五节 卤水钾矿加工工艺技术分析	226
一、国内外盐湖钾资源加工工艺流程简介	226
二、罗北凹地钾矿床卤水加工工艺流程的选取	226
第六节 矿床未来开发经济效益计算分析	227
一、潜在价值计算分析	227
二、静态总利润计算分析	227
三、类比同类矿山的评价分析	228
第七节 综合分析评价及建议	228
一、资源综合评估分析	228
二、建 议	229
结 语	231
参考文献	236
英文摘要	240
后 记	251
附 表	253
文前小照片说明	337
图版说明及图版	340

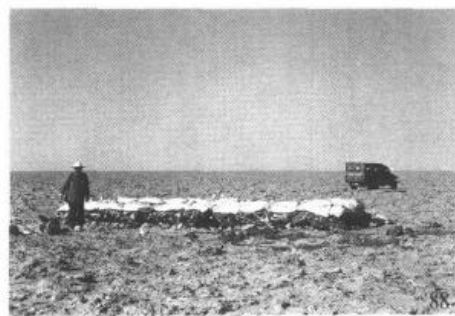
CONTENTS

Preface

Introduction

Chapter 1 Physical Geography, Regional Structure and

Basin Evolution	1
1.1 Physical Geography	3
1.1.1 Topography and Geomorphology	3
1.1.2 Climate	4
1.1.3 Hydrology	5
1.2 Regional Geology	8
1.2.1 Stratigraphy	8
1.2.2 Structure	12
1.2.3 Intrusive Rocks	14
1.2.4 Interpretation of Satellite Images	15
1.3 Evolution of the Tarim Basin and Formation of the Lop	
Nur	20
1.3.1 Tertiary	20
1.3.2 Quaternary	22



Chapter 2 Quaternary Geology and Environmental

Evolution	25
2.1 Stratigraphic Division of the Quaternary	27
2.1.1 Stratigraphic Characteristics	27
2.1.2 Magnetostratigraphy	28
2.1.3 Chronostratigraphy	30
2.1.4 Stratigraphic Division	31
2.2 Geomorphological Features and Neotectonic Movement	
.....	36
2.2.1 Geomorphological Features	36
2.2.2 Neotectonic Movement	36
2.2.3 Paleolatitudes of the Lop Nur and Their Tectonic	
Significance	42
2.3 Sporopollen Assemblages and Paleoclimate	44
2.3.1 Sporopollen from Well K1 in the Da' erduo Lake	
District	44
2.3.2 Sporopollen from Well K95-6 in the New Lake	
District	47
2.3.3 Analysis of Climatic Changes	47