



盐湖矿床开采

王方强 鲍永恩 编著
刘振湖 欧阳琴

学工业出版社

盐湖矿床开采

王方强、鲍永恩、刘振湖、欧阳琴 编著

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $13 \frac{3}{8}$ 插页 1 字数 378千字 印数1—1,200

1983年12月北京第1版1983年12月北京第1次印刷

统一书号15063·3540 定价1.70元

本书概述了我国盐湖矿床的形成和分布特征；矿床地质、水文地质和水化学特征。着重分析了盐湖固、液相矿床的特殊性及开采技术特点；对开采方法进行了分类；以国内盐湖矿床开采为主，吸收国外生产经验和研究成果，较详细地介绍了各种开采方法和典型工艺。对盐湖矿床开采中遇到的特殊问题：盐卤固液转化、兑卤析盐、地层和设备防结盐、设备防腐蚀、水质和水量的动态预测等，均作了适当介绍。

本书作者均系中国科学院青海盐湖研究所的研究人员。

本书可供从事盐湖生产、设计和科研的工程技术人员阅读，亦可供有关院校盐化专业的师生参考。

前 言

盐湖的盐类资源,是发展农业、化学工业、制盐工业和国防工业的基本原料。中华人民共和国成立以来,随着社会主义建设的发展和对无机盐需要量的增多,盐湖矿床的开发利用得以迅速发展。但总的来说,由于过去基础差,底子薄,我国盐湖矿床开采技术仍处于年轻的发展阶段。

为了适应盐湖采矿日益发展的形势,满足从事盐湖开采、设计、科研工作者的需要,促进盐湖采矿技术的发展,我们在多年研究工作的基础上,调查、收集、整理了国内已开发盐湖的开采历史和生产经验,吸收了国外盐湖开采研究成果,编撰出《盐湖矿床开采》这本专业技术书。

全书分盐湖矿床地质、盐湖固相矿床开采和盐湖液相矿床开采三篇,共十五章。

本书绪论、第四至第七章和第九、十章由王方强主笔;第一至第三章由刘振湖主笔;第八章由欧阳琴主笔;第十一至第十五章由鲍永恩主笔。全书由王方强编撰和统稿。

本书初稿完成后,盐湖研究所王敦华、张宗淳、白鹿堤作了全面审阅;青海省地质局王振燕、刘炳鑫和盐湖研究所陈克造、孙大鹏、于昇松审阅了第一篇;湖北建材工业学院非金属矿系采矿教研室、中南矿冶学院夏纪顺、孙盛湘、邹佩麟和盐湖研究所王绳祖、李寿令审阅了第二篇;化工部化工矿山设计研究院、青海省勘探设计院和盐湖研究所高仕扬、陈敬清、刘铸堂审阅了第三篇。以上单位和个人,均对书稿提出了宝贵修改意见,特在此表示衷心的感谢。

由于我们实践经验不足和水平所限,书中难免存在缺点和错误,恳望读者给予批评指正。

编 者

1980年8月于西宁

绪 论

我国是世界上多盐湖的国家之一。具有多、大、富、全的特点。

多，是指盐湖数量而言。我国有上千个盐湖。新疆境内，有“无百里之内无盐”之说；青海省柴达木盆地，有“盐的世界”之称；西藏自治区的盐湖，更是星罗棋布。其他如甘肃、内蒙、宁夏、陕西、山西及东北的黑龙江、吉林诸省、区，也均有盐湖分布。

大，是指盐湖面积和盐类矿产的储量而言。如柴达木盆地的察尔汉盐湖，总面积5800多平方公里，是目前我国最大的盐湖。以氯化物（食盐、氯化镁、氯化钾）为主的盐类有益矿物的储量达数百亿吨。

富、全，是指盐类矿物组分、伴生元素和盐湖类型而言。碳酸盐型、硫酸盐型和氯化物型盐湖，在我国均有分布。固相矿床中有食盐、芒硝、天然碱、石膏、光卤石、水氯镁石、硼酸盐等；液相矿床中含有钾、钠、钙、镁、硼、锂、溴、碘、铷、铯、锶、铀和重水等。

盐湖中赋存的有益矿物都是重要的矿产资源。它不仅直接关系到人们的日常生活，而且几乎涉及到国民经济的各个部门。

就日常生活而言，食盐是人们生活的必需品。其中，取自盐湖的食盐占一定的比例。随着我国交通运输事业、食品加工和制盐工业的发展，盐湖食盐的产量将会越来越大。

工农业方面，钾肥和硼、锂、镁等微量肥料，以及牲畜食用盐、一些农牧用药等，都可以从盐湖矿产中制取。尤其是三大肥料之一的钾肥，我国近期将主要从盐湖中提取。盐湖盐类矿产资源，除广泛地用于基本化学工业和制盐工业外，在油漆、玻璃、制药、食品、制革、冶金、建材、石油工业，以及日用化学品生产等都有应用。

盐湖盐类矿产资源，对国防工业也具有重要意义。例如，硼氢化物（硼烷、硼氢化铝、硼氢化锂等）可作为高能燃料，用于火箭、导弹和原子能工业；锂燃烧时具有温度高、速度快、火焰宽、排气快的

特点，它作为高能固体燃料，可使用在宇宙火箭、人造卫星、超声速飞机和潜艇上。

盐湖矿床，是第四纪后期，通过可溶盐份的集聚、矿化水的浓缩和盐类矿物的沉积而形成的现代矿床。不少盐湖，盐的形成和沉积作用现在仍在进行。由于固、液两相矿体共处在一个统一的地质体中，矿化水的浓缩，可溶盐类的浅部沉积，受气候、水文等因素的明显影响，决定了矿床具有易变性（液相矿床的水质、水量随时间变化；固相矿床的溶解和析出）。固相矿床的易变性受液相矿床控制，而且因卤水的存在使它的开采复杂化。开采技术突出地反映在对水的处理上。液相矿床的易变性，不仅使开采中水质、水量发生变化，而且兑卤析盐、地层溶解和结盐所引起的孔隙度的变化、设备结盐、腐蚀等都给液相矿床的开采带来技术困难。因此，盐湖固、液相矿床的开采，有必要作为采矿科学的一个独立分支加以研究。

我国盐湖矿床的开采具有悠久的历史，在世界盐湖采矿史上占有重要的地位。

古代，我国主要自盐湖矿床中开采食盐和部分硼砂。根据历史考证，解池（今山西运城盐湖）于公元前2255年（舜时期）就已经开采和交易食盐^①。我国西藏西部的劳动人民，几千年前，开始从世界屋脊的盐湖中开采天然硼砂，经由丝绸之路，运往古代的巴比伦，用于黄金的焊接。

战国末年，随着封建制生产关系的确立和发展，铁器工具的大量使用，盐湖矿床开采达到相当的规模。从《汉书·地理志》等文献记载可以看出，今陕西、宁夏、内蒙、青海、新疆等地的盐湖矿产，在汉代已广泛地开采。汉代以后的各朝代，盐湖矿床的开采，无论在规模上，还是在技术上都有不同程度的发展。

科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。我国古代劳动人民，在盐湖矿床的开采实践中，对开采方法和开采技术等方面，都作出过很大的贡献。

① 曹焕文，“运城盐池之研究”，《西北实业》，一卷第6期至四卷第3期，1946。

在开采方法和开采技术方面,南北朝时期前,一直是人工采捞盐湖天然形成之固相晶盐。劳动人民在开采实践中创造了不少手工工具,其中,有些工具一直延用到我国解放初期。盐的运输,由人背,肩抬发展到车运和船运。《战国策》有“服(驾)盐车而上太行”的记载;《梦溪笔谈》有“运盐之法,凡行百里,陆运斤四钱,船运斤一钱,以此为率”的记载。这些都说明了古代解池盐湖产出盐的水陆运销情况。

公元518年(南北朝时期)以前,我国古代劳动人民就在盐的溶解及其利用和防治方面积累了经验。《水经注》记载:“监盐县故城有盐池。……盐池紫色澄渟,浑而不流,水出石盐,自然印成,朝取夕复,终无减损。惟山水暴至,雨澍横淹奔洑,则盐池用耗,故公私共竭水径,防其淫滥”^①。《新唐书·地理志》载:会州会宁(今甘肃靖远县东北)“有河池,因雨生盐”^②。又《梦溪笔谈》载:“解州盐泽,方百二十里。久雨,四山之水悉注其中,未尝溢;大旱未尝涸。……唯中间有一泉,乃是甘泉,得此水然后可以聚。又其北有尧梢水(即今山西夏县的白沙河),亦谓之巫咸河。大卤之水,不得甘泉和之,不能成盐。唯巫咸水入,则盐不复结,故人谓之‘无咸河’,为盐泽之患,筑大堤以防之,甚于备寇盗”^③。可以认为,这种对自然的溶解与富集过程的认识和利用,是盐湖固相矿床溶解开采的最初实践和萌芽形态。清光绪六、七年间,山西解池创固相盐层凿井溶采法。井壁用四角形或六角形木支架加固。以两个(或几个)井为一组,自其中一个井注入低矿化卤水溶解地下盐层,从另一个井抽卤水并送至盐田晒盐。从而开创了人工控制下井溶开采盐湖固相矿床的技术先例。

盐湖卤水开采始于公元618年(唐初),那时治畦(即今日之盐田)浇灌卤水晒盐已在盐湖成功应用。最初,卤水取自天然湖水(地表卤水);直至1757年以后,用人工挖掘淳沱(相当于现今的渠式取水构筑

① 《水经注》作者酈道元,生卒于466~527年。所载水出石盐和防水护盐,应为公元五、六世纪前的纪实。

② 欧阳修(宋)著《新唐书》载“因雨生盐”,系唐开元年间(公元八世纪初)记载。

③ 《梦溪笔谈》作者沈括,生卒于1031~1095年。所载掺淡水(甘泉水)制盐和筑堤防水,应为公元十一世纪前的纪实。

物) 开采晶间卤水, 薄沱上大下小, 其底部有地下水源; 十九世纪八十年代创大口井开采我国盐湖晶间卤水的方法。

中华人民共和国成立后, 生产上经过了一系列的技术改革和基本建设, 经营管理上采取了很多改进措施, 使一些老的盐湖矿(场) 焕发了青春, 新的盐湖矿(场) 相继建设, 陆续投入生产。劳动条件有了显著改善, 劳动生产率有了很大提高。

国家还专门成立了盐湖专业勘探队, 从事盐湖矿床的普查和勘探工作。中国科学院、有关产业部门和部分省、市、自治区, 还成立了专门的盐湖研究机构, 从事盐湖地质、地球化学、采矿、资源综合利用等基础理论和应用技术方面的研究。一些高等院校、中等专业学校, 开设了盐湖、盐矿开采专业, 为盐湖开发培养着技术人材。

随着生产实践经验的积累和总结, 专业性研究成果的不断出现, 我国盐湖矿床的开发利用已呈现出新的局面。固相矿床开采方面, 不仅引用了相应矿山的一些先进开采机械; 而且, 还针对盐湖矿床本身的特点, 研制了各种型式的连续式铲装机、轨行式联合采盐机、绞吸式采盐船等专门采掘设备, 朝大功率、高效率方向发展。在一些盐湖, 如吉兰太盐湖、茶卡盐湖、雅布赖盐湖等, 剥离和采盐工艺基本上实现了综合机械化; 水采、水运和溶解开采, 为固相矿床的开采开辟了更为广阔的前景。液相矿床开采方面, 随着生产经验的积累和实验研究工作的开展, 防结盐措施的改进和完善, 固-液转化效应和兑卤析盐机理、设备防腐蚀问题的研究, 为盐湖卤水的大规模开采解决了技术难关。

展望未来, 我国盐湖矿产资源的开发利用, 无论是开采规模、开采方法和开采技术, 都将会有新的、更大的发展; 工艺过程的控制, 将会逐步实现自动控制和电子计算机控制; 产量将有大幅度增长。在农业、工业、国防和科学技术现代化进程中, 盐湖资源的利用范围将越来越广。

目 录

前 言 绪 论

第一篇 盐湖矿床地质

第一章 盐湖矿床的形成及分布特征	1
第一节 盐湖矿床的形成条件	1
第二节 盐湖矿床的分布特征	6
第二章 盐湖矿床地质特征	12
第一节 盐湖盐类矿物	12
第二节 盐湖卤水和盐岩石的物理力学性质	16
第三节 盐湖矿床地层特征	35
第四节 盐湖盐溶及泥垄、泥柱	42
第五节 盐湖液相矿床的水文地质条件及水化学特征	44
第三章 盐湖矿床按开采技术条件的分类	60
第一节 分类原则和指标	60
第二节 盐湖固相矿床的分类	61
第三节 盐湖液相矿床的分类	64
参考文献	66

第二篇 盐湖固相矿床开采

第四章 盐湖固相矿床开采总论	67
第一章 概述	67
第二节 盐湖固相矿床的开采特点	68
第三节 盐湖固相矿床开采的基本要素和术语	70
第四节 盐湖固相矿床疏干和防水	74
第五节 盐湖固相矿床开拓	80
第六节 覆盖层的剥离和排土	83
第七节 盐湖固相矿床开采方法和综合机械化方式	87
第五章 用推土机和铲装机开采盐湖固相矿床	93
第一节 概述	93
第二节 用推土机开采盐湖固相矿床	94
第三节 用单斗铲装机开采盐湖固相矿床	103

第四节	连续式铲装机开采盐湖固相矿床	109
第六章	用挖掘机开采盐湖固相矿床	123
第一节	挖掘机开采盐湖固相矿床的应用范围及挖掘机类型	123
第二节	单斗挖掘机开采盐湖固相矿床	126
第三节	多斗挖掘机开采盐湖固相矿床	142
第七章	轨道式联合采盐机开采盐湖固相矿床	146
第一节	概述	146
第二节	QY-100型联合采盐机的结构及其工作原理	148
第三节	联合采盐机开采实践	154
第四节	联合采盐机生产能力的确定及其提高措施	158
第五节	联合采盐机的适用范围	161
第八章	用采盐船开采盐湖固相矿床	163
第一节	概述	163
第二节	吸扬式采盐船的结构特点	166
第三节	采盐船的船体建筑	170
第四节	吸扬式采盐船的采掘装置	174
第五节	盐浆泵的结构特点及选型	183
第六节	吸扬式采盐船开采工艺	191
第九章	化学法开采盐湖固相矿床	206
第一节	概述	206
第二节	化学开采法的分类	209
第三节	溶解开采原理	211
第四节	盐湖固相矿床溶解开采实践	218
第五节	盐湖固相矿床溶解法开采的展望	226
第十章	盐湖固相矿床开采的运输工作	229
第一节	各种运输方式的应用	229
第二节	盐湖固相矿床开采的铁路运输	231
第三节	盐湖固相矿床开采的汽车和拖拉机运输	238
第四节	盐湖固相矿床开采中矿岩的水力管道运输	244
第五节	盐湖固相矿床开采的驳船运输	262
第六节	盐类矿石的堆坨	265
	参考文献	268

第三篇 盐湖液相矿床开采

第十一章	盐湖液相矿床开采总论	271
第一节	盐湖液相矿床开采意义	271

第二节	盐湖液相矿床开采特点	274
第三节	盐湖液相矿床开采方法分类	279
第十二章	液相矿床开采取卤构筑物	282
第一节	采区和取卤构筑物布置	282
第二节	管井开采取卤构筑物	291
第三节	大口井开采取卤构筑物	307
第四节	渠式开采取卤构筑物	316
第五节	盐湖地表卤水开采取卤构筑物	321
第六节	取卤构筑物防腐蚀	328
第十三章	液相矿床的抽取与输送工艺	332
第一节	液相矿床的抽取工艺	332
第二节	卤水输送工程及附属构筑物	345
第十四章	液相矿床开采中的固液转化	357
第一节	基本概念	357
第二节	固液转化在液相矿床开采中的作用	372
第三节	取卤构筑物及抽取、输卤设备防结盐	379
第四节	地层结盐与处理方法	388
第十五章	液相矿床开采中的预测和监测	392
第一节	水位、水量预测	393
第二节	水质动态预测	402
第三节	液相矿床开采中水质监测	409
参考文献		413

第一篇 盐湖矿床地质

第一章 盐湖矿床的形成及分布特征

第一节 盐湖矿床的形成条件

盐湖矿床，是第四纪以来可溶盐份集聚于成盐盆地，矿化水经过浓缩，盐类矿物逐渐沉积而形成的现代矿床。它不同于古代盐类矿床。大多数盐湖，盐类的形成和沉积作用现在仍在继续进行。

我国的现代盐湖矿床，就其成因类型而言，基本上属于陆相。其具体形成，应具备如下几个条件：

一、盐湖盐类物质来源

盐湖盐类物质来源，是盐湖矿床形成的基本条件之一。从我国现代盐湖的地理环境和中生代、新生代内陆盆地古地理条件，说明它们没有得到海水的补给，均属内陆盐湖。

盐类物质主要来源于风化结晶岩（包括岩浆岩和变质岩）、海相沉积岩和囚盐，以及火山喷出物、温泉等。岩石在机械力、化学力的作用下产生破坏，破坏产物中所含成盐元素，以物理化学方式迁移。物理化学迁移决定于元素同其它元素构成化合物和形成不同价电子的能力，以及被胶体吸着的能力。此外，天然水的酸度、碱度和温度等，也对成盐元素的迁移有影响。岩石中化学元素的迁移，是以离子的活动性进行的。活动性强的元素，首先被带入成盐盆地，并在那里集聚。

流入闭塞盆地中水的总含盐量，对盐湖矿床形成具有重要意义。若地表水流或地下水流中含盐量高，即使进入盆地的水流量小，也能严重影响湖水成分。根据一些盐湖地质勘探资料和中国科学院青海盐

湖研究所研究成矿规律的资料分析表明,盐湖卤水的水化学成分,与盆地汇水区域内各类岩石中所含成盐元素大体一致。

我国内陆盐湖盐类物质来源是多种多样的。因此,各盐湖盐类物质成分很不一致。即便是同一个盐湖,各区段也有所差异。它们可以形成天然碱矿床、石膏矿床、石盐和芒硝矿床、钾镁盐矿床、硼矿床等。不同类型的盐湖矿床,盐类物质的组成,受盐盆地的物质来源所控制。

二、成盐盆地条件

盐湖矿床的形成,还必须有蓄水负地形——成盐盆地。

成盐盆地,以地台上的拗陷、山间盆地及褶皱山脉的山前拗陷带为多,且规模较大;以河谷浸蚀洼地、丘陵间的低地、河床淤塞洼地、沙垄间的低地及风蚀洼地等为少,且规模也较小。一般成盐盆地都是非泄流封闭或半封闭的,成为水、盐的归宿地。

大型的盐湖盆地及其封闭条件,主要是构造运动造成的。一个大的成盐盆地,在成盐过程中,往往因新构造运动产生的局部隆起和拗陷,或大量碎屑沉积物等而造成分隔,形成许多小的盐湖盆地。盐湖矿床主要形成于这些次一级的盆地中,而且,盐湖及盐湖群的形成、演化,受继承性新构造运动的控制,使盐湖的排列和延伸方向,同盆地的构造线方向大体一致。例如,柴达木盆地的大多数盐湖,长轴方向均为北西西—南东东向,与本区的构造线(图1-1)方向一致。又如,阿拉善隆起高原沙漠盐湖区,在自然地理分布上,具有明显的分割。吉兰太新断陷北部山间盆地,略呈北东—南西向延伸,区内主要盐湖:吉兰太盐湖、和屯盐湖和果红布不隆芒硝湖等,也多沿此方向分布;吉兰太新断陷南部高原沙漠区,沙丘、沙垄间洼地湖泊星罗棋布(达35个之多),盐类沉积以芒硝为主,其次是石盐;雅布赖新断陷山间盆地,呈近东西向延伸,主要盐湖有中泉子石盐—芒硝湖、雅布赖石盐湖(图1-2)^[1]。

次一级成盐盆地中,形成不同的盐类矿床,除由于接受的物质来源不同外,新构造运动发生在不同的成盐时期,造成盐类沉积的分异,形成碱盆地、芒硝盆地、石盐盆地等。而受分割的Ⅰ级构造盆地,往

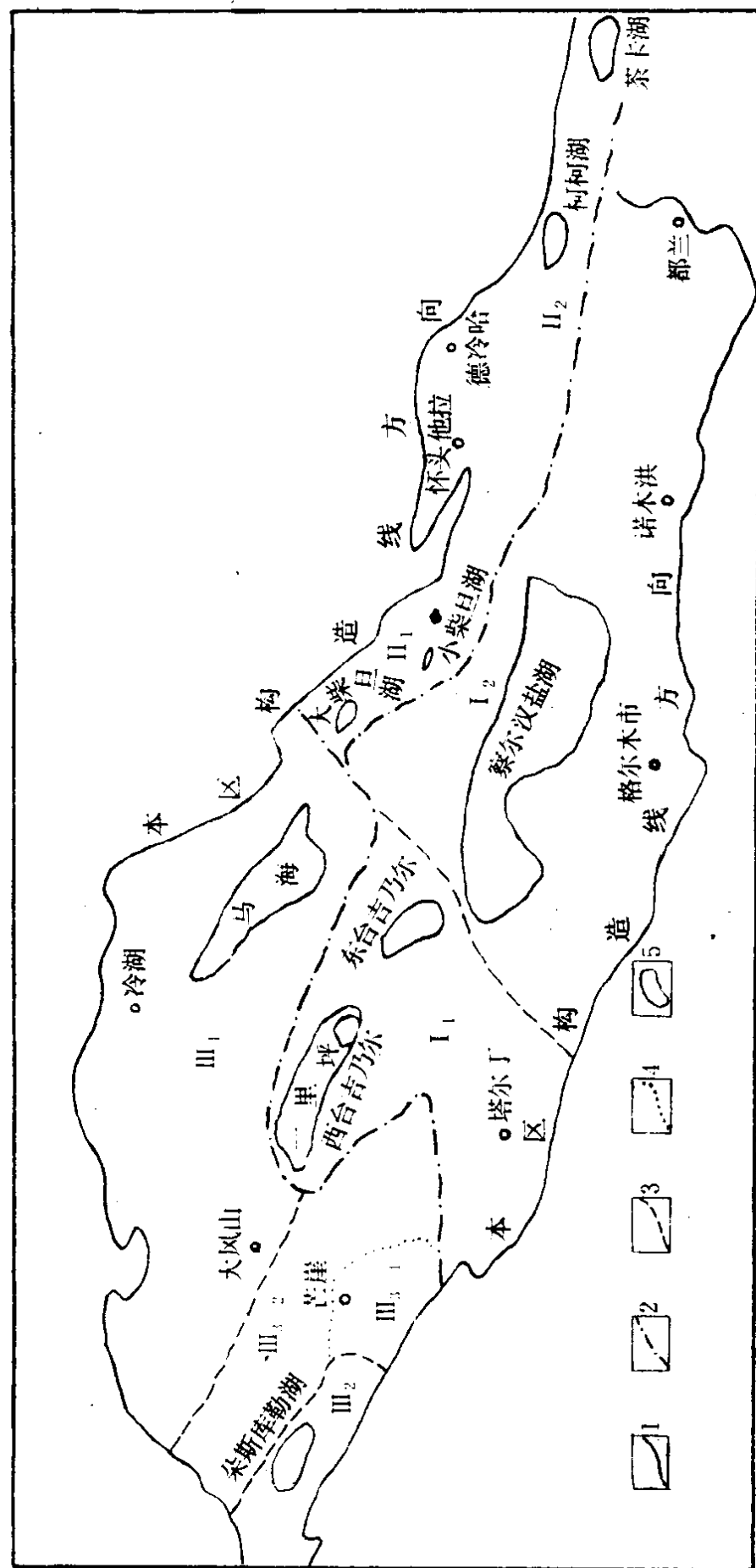


图 1-1 柴达木盆地盐湖分布规律示意图

1—盆地中部新生代拗陷带盐湖区；2—盆地东北部中新代拗陷带盐湖区；3—盆地西部第三系褶皱带盐湖区；
1——一级构造单元分界线；2——盐湖区分界线；3——盐湖区亚区分界线；4——盐湖区亚区分界线；5——盐湖区或湖区

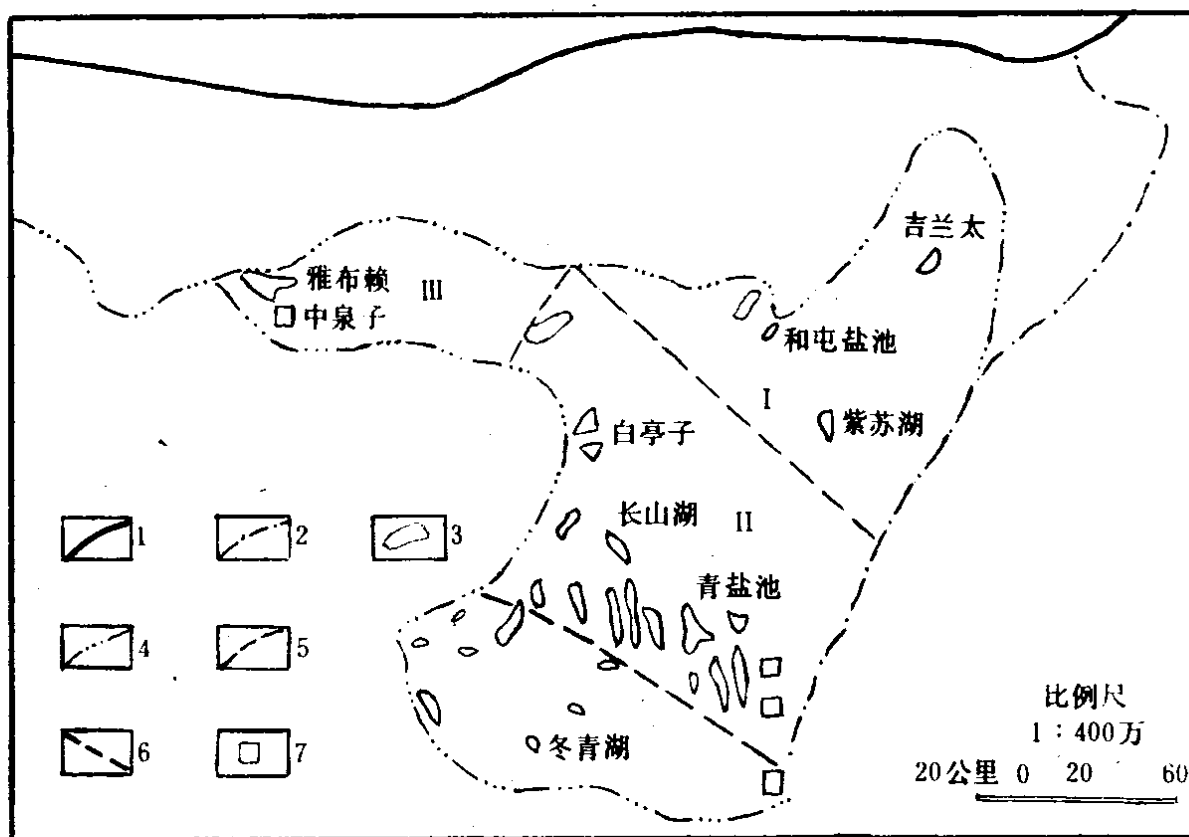


图 1-2 阿拉善隆起盐湖分布规律略图

I—吉兰太新断陷北部山间盆地石盐、芒硝湖亚区;

II—吉兰太新断陷南部高原沙漠芒硝、石盐湖亚区;

III—雅布赖新断陷山间盆地石盐、芒硝湖亚区;

1——、二级构造单元分界线; 2——二级构造单元分界线; 3——湖泊; 4——成矿大区分界线;

5——成矿亚区分界线; 6——深大断裂; 7——石盐晶体

往是起了预备盆地的作用。

三、盐湖矿床形成的水文条件

水作为成盐元素的搬运介质，是内陆盐湖矿床形成的必要条件之一。

水，包括地表水、地下水及地下水露头——泉水。它们携带着从岩石中淋滤出的盐类汇入湖内。

第四纪以来，曾出现过鄱阳冰期、大姑冰期、庐山冰期和两个间冰期。间冰期，大量冰雪融化，由高山向湖盆倾泄过程中，将大量的可溶盐带入湖盆地内。

地表水（长年和季节性河流）、地下水及泉水，在盐湖形成的年代

里，为盐湖搬运了大量成盐元素；就是现在，它们还在给盐湖搬运着盐类物质，对盐湖的发展仍起着重要的作用。例如西藏境内的郭加林湖，硼、锂的补给主要靠湖周的泉水和郭加林西北河。前者自白垩纪砂岩、灰岩及三迭纪海相灰岩中流出，含 B_2O_3 5 ~ 32毫克/升， $LiCl$ 44毫克/升；后者含 B_2O_3 9.8 ~ 42.6毫克/升， $LiCl$ 0.8毫克/升。

地表水、地下水及泉水向盐湖搬运盐类物质的情况，在各地湖区是不尽相同的。有的以地表水溶盐补给为主，有的则以地下水补给为主，或两者同时溶盐带入湖盆地。

地表水、地下水向现代盐湖搬运成盐元素往往具有继承性，即现代随水带入湖中的盐类元素，与盐湖形成阶段水中所含元素是一致的。

四、盐湖形成的古气候条件

适宜的古气候条件，是盐湖矿床形成的又一必要条件。

气候在很多情况下决定着盐湖的形成和演化特征。在干旱气候下，降水量小、气温高、蒸发量大、湖水蒸发浓缩、水相对地为一系列盐分所饱和，致使盐晶体析出。正因为如此，我国盐湖盆地多分布在处于不同演化阶段的冲积平原建造中。目前，这些冲积平原正处于草原、半沙漠、沙漠条件下，气候干燥，大气降水量小，蒸发作用强烈。例如柴达木盆地，自更新世晚期，古气候由潮湿急剧变为干燥，一直延续到现在（图1 3）。这就是柴达木盆地盐湖矿床能在那个时期形成。

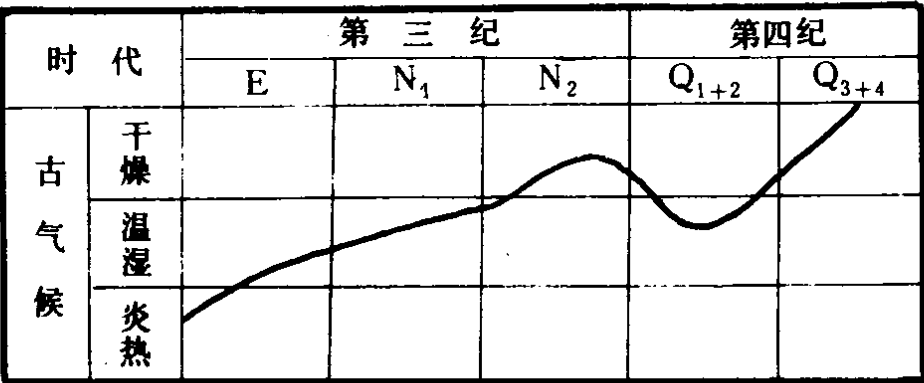


图 1 3 柴达木盆地新生代古气候演变示意图

并一直发展、保持至今的气候根据。

从古气候的演变来看，现在的气候是更新世晚期气候的延续。所以，目前盐湖区的气象资料，在某种程度上可以反映古气候。也正因为如此，盐湖矿床方能继续存在和发展。

第二节 盐湖矿床的分布特征

就世界范围来说，现代盐湖分布，按纬度分为两个带和一个区：北半球盐湖带、南半球盐湖带和赤道盐湖区。北半球盐湖带位于北纬 $12^{\circ}\sim 63^{\circ}$ 范围内，大多数集中在 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间；南半球盐湖带位于南纬 $10^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间；赤道盐湖区位于北纬 5° 到南纬 5° 范围内。我国现代盐湖的分布纬度，在北纬 $30^{\circ}\sim 49^{\circ}$ 之间，基本上和北半球盐湖带相吻合。图1-4所示，是我国一些主要盐湖的概略分布图（盐湖名称见中国盐湖分布略图附表）。