

盐湖卤水资源 开发利用

李武 董亚萍 宋彭生 等编著



化学工业出版社

盐湖卤水资源 开发利用

李武 董亚萍 宋彭生 等编著

Yanhu Lushui Ziyuan
Kaifa Liyong



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共分为六章，主要介绍了盐湖卤水资源利用的主要技术、盐湖卤水主要初级产品市场分析与预测、大柴旦盐湖资源的开发利用、南翼山油田水的综合利用、湿润地区卤水资源的开发利用等内容。

本书可供无机盐生产和销售人员，盐湖开发领域的技术人员、管理人员参考使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

盐湖卤水资源开发利用/李武，董亚萍，宋彭生等编著.
北京：化学工业出版社，2012.3
ISBN 978-7-122-13230-7

I. 盐… II. ①李…②董…③宋… III. ①盐湖卤水-资源开发②盐湖卤水-资源利用 IV. TS392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 004222 号

责任编辑：靳星瑞
责任校对：徐贞珍

文字编辑：荣世芳
装帧设计：韩 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司
装 订：三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 22 彩插 1 字数 338 千字 2012 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

前 言

2001年初,青海省科技厅高延林副厅长在一次座谈会上谈及青海省及全国锂的开发利用时谈到,为更好地开发我国锂资源,需要对国内外有关的情况有较深入的了解,并下达了“锂的开发利用”软课题。随后,在青海省科技厅、青海省经济委员会、国家“十一五”科技支撑计划项目及企业经费、技术攻关课题的支持下,中国科学院青海盐湖研究所相关课题组进行了国内外卤水资源利用的技术、市场和发展趋势等方面的研究。同时对柴达木盆地南翼山油田水、四川平落坝构造油田水的综合利用进行了技术攻关,取得了一系列初步成果。

应化学工业出版社之约,希望我们能写一部有关卤水资源开发利用的技术、产品和市场方面的专著,供有关人员参考。经过多次讨论,我们认为目前国内大部分专著以介绍过去成果为主,而对未来发展看法不足,因而,本书定位在对后续开发的设想上。根据前期工作及理论预测,提出部分尚未经过验证的发展思路供读者参考和商讨,并对卤水开发者提供建议。基于此,本书分为以下几个章节。

第一章,介绍国内外卤水资源状况。与以往多侧重介绍矿产资源不同,本章较多介绍了卤水资源的旅游、生态环境等特性。第二章,以卤水中重点资源元素的开发技术为对象,对不同环境条件下的开发技术进行了介绍。第三章,重点介绍了从盐湖卤水中生产的主要大宗产品和较具特色的高价值初级产品的市场状况。为避免篇幅过长,未对这些产品的衍生系列精细产品再做介绍。从第四章开始,用三章的篇幅,对我国不同环境下卤水资源开发提出了笔者的粗浅设想,本着因地制宜的原则,对目前尚未开发且准备开发的几类盐湖及地下卤水资源的开发提出了总体开发思路、工艺流程初步设计和需要进行技术攻关的方向。笔者认为,这是本书中最可能引起争议但又最有价值的地方,也是笔者抛砖引玉的目的所在。

全书由宋彭生研究员统稿。第一章由宋彭生主笔，李武完成部分工作；第二章由李武主笔，董亚萍、李海民、张志宏、叶秀深、孟庆芬、高丹丹、杨红军、李青海、乃学瑛、边绍菊、刘鑫、冯海涛等完成资料整理；第三章由魏明主笔，对国内外市场资料进行了编撰；第四章由董亚萍主笔，李武、孟庆芬、李海民等参加编写；第五章和第六章由李武主笔，董亚萍、张志宏等参与编写。书中主要数据来源于董亚萍、崔香梅、李青海、高丹丹、叶秀深、孟庆芬、刘鑫、杨红军等的研究工作。在全书的编写过程中，乔弘志提供了大量开发设计的思路，高延林、李华、左耀峰、胡玉青、何志等提出了宝贵意见，夏树屏、高延林、孙柏等分别审阅了书中部分章节并提供了修改意见。

由于时间仓促，加之作者水平有限，不足之处在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。

作者

2011年10月





目 录

第一章 卤水

1

- 第一节 卤水资源 2
- 第二节 盐湖矿产资源的开发及其最新进展 12
 - 一、盐湖矿产资源的特点 12
 - 二、盐湖矿产资源开发利用的概况 15
- 参考文献 45

第二章 卤水资源利用的主要技术

47

- 第一节 卤水中钾的利用技术 49
 - 一、氯化物型盐湖卤水钾资源的开发利用 49
 - 二、硫酸盐型盐湖卤水钾资源的开发利用技术 52
 - 三、碳酸盐型盐湖卤水钾资源的开发利用 57
- 第二节 盐湖卤水镁资源的开发利用技术 58
 - 一、以水氯镁石制取无水氯化镁 59
 - 二、氧化镁的生产 65
 - 三、氢氧化镁 68
 - 四、硫酸镁 75
 - 五、金属镁 76
- 第三节 主要盐湖卤水锂资源的开发利用技术 76
- 第四节 卤水溴素和碘素的主要生产技术 81
 - 一、卤水提溴的工艺 81
 - 二、卤水提碘的工艺 85
- 第五节 卤水中硼的主要提取技术 87
- 第六节 卤水中铷和铯的分离提取技术 91
- 参考文献 98

第一节	氯化钾	107
一、	产品性状与用途	107
二、	产量分析与预测	108
三、	需求量分析及预测	112
四、	供需平衡分析及预测	115
五、	近几年产品进出口情况	119
六、	国内拟建在建项目	119
第二节	硫酸钾	125
一、	产品性状与用途	125
二、	国内外生产现状	128
第三节	硼酸(硼砂)	136
一、	产品性状与用途	136
二、	产量分析与预测	137
三、	需求分析	142
四、	供需平衡分析及预测	145
五、	国内拟建在建项目	149
第四节	碳酸锂	150
一、	产品性状与用途	150
二、	产量分析与预测	151
三、	需求量分析与预测	154
四、	近几年产品进出口情况	157
五、	国内拟建在建项目	157
六、	价格分析	158
第五节	溴素	159
一、	产品性状与用途	159
二、	产量分析与预测	161
三、	需求量分析与预测	164
四、	供需平衡分析与预测	164
五、	近几年产品进出口情况	166
六、	价格分析	166
第六节	碘	167
一、	产品性状与用途	167

二、产量分析与预测	168
三、需求量分析与预测	169
四、供需平衡分析及预测	171
五、近几年产品进出口情况	172
六、国内拟建在建项目	172
七、价格分析	173
第七节 碳酸锶	174
一、产品性状与用途	174
二、产量分析与预测	175
三、行业发展分析	176
四、价格分析	179
第八节 铷、铯	180
一、铷和铯的性质、用途和价格	180
二、铷、铯资源	183
三、铷和铯应用展望	185
参考文献	185

第四章 大柴旦盐湖资源的开发利用

186

第一节 基本情况	186
一、自然环境	186
二、资源状况	188
三、前期工作基础	189
第二节 开发方案的设计	209
一、总体开发思路	209
二、开发的产品和技术方案	210
第三节 关键技术及解决方案	221
一、开发关键技术和难点	221
二、关键基础数据的补充、完善方案的初步设计	221
参考文献	222

第五章 南翼山油田水的综合利用

224

第一节 南翼山油田水的基本情况	224
-----------------------	-----

一、简介	224
二、前期工作	227
第二节 南翼山油田水综合利用的前期工作简介	229
一、南翼山油田水的室内蒸发试验结果	229
二、南翼山油田水室内蒸发析盐结晶段的确定	233
三、结晶段的理论计算与试验验证	243
四、油田卤水提取碘工艺研究	249
五、油田卤水提取溴工艺研究	262
六、扩大试验	271
七、青海省地质调查院的研究成果简介	275
第三节 总工艺流程设计	278
第四节 实现综合利用所需的关键技术	283
一、利用该油田水所需的关键技术	283
二、主要的攻关方向和技术难点	284
参考文献	294

第六章 湿润地区卤水资源的开发利用

295

第一节 平落坝构造海相沉积卤水的开发和综合利用	295
第二节 针对平落坝构造卤水的前期工作	303
一、基本摸清了卤水的基本特征	304
二、进行卤水试采的尝试	310
三、卤水综合利用工艺的研究	311
第三节 产业化的技术要求	319
一、关键技术内容	319
二、技术难题解决方案	320
第四节 川 25 井卤水综合利用的流程计算	335
第五节 江汉油田卤水的综合利用	336
参考文献	340

第一章 卤水

卤水是在自然界中存在的具有较高矿化度的多种盐类的混合溶液。究竟天然水中含盐量达到多少，才算作卤水，目前尚无严格的界定。卤水大量存在于盐湖之中。作为自然界中大量水体聚集的湖泊，根据其水中的含盐量，可以分为4种类型：淡水湖、半咸水湖、咸水湖和盐湖。它们的含盐量标准列在表1-1中。

表 1-1 湖泊的含盐量标准

单位：g/L

湖泊种类	含盐量	英文名称
淡水湖	0~1	Freshwater lake
半咸水湖	1~3.5	Brackish lake
咸水湖	3.5~50	Saline lake
盐湖	>50	Salt lake

对于盐湖含盐量的起始标准，不同学科的界定有所不同。例如从生物学角度来看，经常将高于海水盐度 35g/L 的含盐水体称为盐湖，这表示将表 1-1 中后两类湖泊合计在一起，当作盐湖看待。但从矿物资源开发的角度，大多将含盐量 >50g/L 的含盐水体称为盐湖。

我国是一个盐湖资源十分丰富的国家。北起黑龙江大兴安岭南端，向西南沿长城内外阴山山脉，经太行山、祁连山脉东端，秦岭以北至我国西南地区，涉及黑龙江、吉林、辽宁、宁夏、内蒙古、河北、山西、陕西、甘肃、青海、西藏等省、自治区，都有盐湖分布。有人曾统计过我国盐湖（表 1-1 中后两类）的分布情况，列在表 1-2 中供参考^[2]。

表 1-2 我国主要盐湖的个数和区域分布状况

盐 湖 区	钾镁盐湖	特种盐湖	普通盐湖	硝酸盐盐湖	合 计
青藏高原盐湖区	6	80	248		334
西北盐湖区	4	2	264	8	278
内蒙古东北盐湖区	2	4	302		308
东部分散盐湖区	—	—	64		64
合计	12	86	878	8	984

第一节 卤水资源

各种卤水（湖表卤水、晶间卤水、深层地下卤水、油气田卤水等）及蕴藏卤水的盐湖，拥有多方面的雄厚资源。除储量巨大的盐湖矿产资源外，还拥有盐湖生物资源、盐湖自然环境资源（盐湖生态资源、盐湖旅游资源）等，开发利用前景十分广阔。

我国卤水资源非常丰富，现代盐湖十分发育，青海、西藏、新疆、内蒙古是我国盐湖分布最集中的四大省区，有一千多个盐湖位于其中。其中尤以“世界屋脊”青藏高原分布最多，成为世界著名的盐湖分布区之一。除盐湖卤水外，很多盐湖湖滨还沉积大量盐类矿物。此外，在我国西南地区的四川、云南，西北地区的青海、新疆、陕西，中原地区的湖北、湖南、河南等地，发现了许多地下卤水、油田卤水。我国大陆海岸线长达 1.8 万千米，沿海地区分布许多海盐盐场。海水晒盐生产后剩余苦卤数量很大，也是重要的卤水资源。

我国盐湖以数量多、面积大、类型齐全、卤水稀有元素含量丰富而著称。盐湖一般按卤水的化学组成为三种化学类型：氯化物型、硫酸盐型、碳酸盐型。而硫酸盐型又分成硫酸镁亚型和硫酸钠亚型，因此也可划分为四种化学类型。这四种类型的盐湖在我国都有分布。在青海有氯化物型和硫酸镁亚型，西藏主要有碳酸盐型，新疆有硫酸镁亚型和硫酸钠亚型，内蒙古主要有碳酸盐型和硫酸钠亚型。每种类

型的盐湖卤水除主要成分氯化钠外，由于其他共存成分之差异或各成分浓度间比值的不同，可能共生的盐类矿物种类也不相同。这些差异一方面表明盐湖形成时主要物质来源的差异、盐湖的演化程度及其终结不同；另一方面，在开采利用这些盐类资源时，获得的初级产品和所使用的工艺过程也不相同。例如，由氯化物型盐湖卤水难以直接生产出硫酸钾，从碳酸盐型盐湖卤水中可以获得纯碱，而其他类型盐湖卤水则不能。我国青藏高原的盐湖卤水和许多地方的地下卤水含有的稀有成分硼、锂、溴、碘、铯等浓度特别高，更有开发利用价值，同时这些卤水的化学行为也具有新的特点。

盐湖卤水中含有的主要成分是碱金属、碱土金属、卤素及第一周期主族非金属等成盐元素。根据张彭熹、郑喜玉等人的研究结果，已从我国盐湖卤水中检测出 60 多种化学成分。除 Na、K、Ca、Mg、Cl、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 等主要化学成分外，还有重金属元素、稀有元素、放射性元素等。盐类矿物则主要有氯化物矿物、硫酸盐矿物、碳酸盐矿物、硼酸盐矿物和硝酸盐矿物。我国主要盐湖分布区盐湖卤水的化学成分列在表 1-3 中，同时给出海洋水的组成，以兹对照。表 1-4 则列出我国盐湖卤水次要组分与海洋水组分的比较。

表 1-3 我国盐湖卤水主要化学成分

单位：mg/L

湖 区	盐 湖 区					海洋水
	西藏	青海	内蒙古	新疆	其他	
项 目						
K	6646.0	6687.0	2638.24	1872.84	476.42	380.0
Na	61607.0	65638.0	971627.92	98483.83	26011.4	10500.0
Ca	158.7	3407.0	129.29	722.69	155.74	400.0
Mg	4658.0	28397.0	3961.0	9848.14	12545.6	1350.0
Cl	42290.0	195338.0	168640.0	133434.36	44435.94	19000.0
SO_4^{2-}	994.0	15255.0	35445.4	83363.35	45681.0	2967.0
HCO_3^-	948.0	336.0	4595.42	3871.71	3027.45	140.0
CO_3^{2-}	1197.0	498.0	25382.45	2044.87	16910.45	140.0
矿化度/(g/L)	204.24	340.75	288.32	287.85	224.83	35.00

表 1-4 我国盐湖卤水次要组分与海洋水组分比较

卤水化学组分										盐湖卤水与海洋水之比	
Th	Pb	Ra									数千倍
Li	U	Zn	Cs	Hg	Cr	Se					数百倍
Ga	Sm	Ce	Gd								
Mn	Ti	Mo	Rb	B	Ag	Al					数十倍
As	Fe	Cu	I	Co	Au	Cd					
La	Yb	Y									
F	Ni	Si	Sn	Sr	W	V					数倍
Ba	Zr	Sb	Eu	Ge							
P	Ta	Dy	Nb	Nd	Bi						相近
Br											低于海洋水

很早以前人们就认识到盐湖卤水中蕴藏大量有用的盐类，盐湖是含有多种无机盐类的宝藏，并将其加以开发利用，使其在国民经济中发挥应有的作用。例如，美国从 1918 年就开发西尔斯盐湖生产氯化钾，以后又生产碳酸钠、硫酸钠、硫酸钾、硼砂、碳酸锂等无机化工产品，在 20 世纪 40 年代供应了美国 40% 的钾肥和 97% 的工业氯化钾，对工农业生产贡献巨大。20 世纪 60 年代以后，以色列对死海的开发生产了上百万吨的钾肥，成为世界上钾肥生产的巨头之一。介绍盐湖矿产资源的开发利用是本书的目的，以后各章将会详加叙述，这里先给出世界主要盐湖矿产资源开发利用的概况于表 1-5 中。

表 1-5 世界主要盐湖矿产资源开发利用情况

盐湖名称	投产年代	生产工艺技术	产品种类和规模
西尔斯湖(美国)	1917	相分离技术、溶剂萃取	氯化钾 20 万吨；硫酸钾 10 万吨；碳酸钠 140 万吨；氯化钠 50 万吨；硫酸钠 50 万吨；硼砂 20 万吨
大盐湖(美国)	1932	相分离技术、盐田复分解转化	硫酸钾 40 万吨；水氯镁石 5 万~10 万吨；氯化钠 10 万吨；硫酸钠 15 万吨；金属镁 3.6 万吨
死海(以色列)	1930	相分离技术、盐田、浮选、热溶结晶、冷结晶	氯化钾 368 万吨；硫酸钾 10 万吨；溴 16.4 万吨；溴化合物 20 万吨；氧化镁 7 万吨；氯化镁 10 万吨；盐酸 7.5 万吨；硝酸钾 80 万吨
死海(约旦)	1956	盐田、冷分解、浮选、热溶结晶	氯化钾约 200 万吨；NPK 复合肥 30 万吨；工业盐 120 万吨；餐桌盐 3.2 万吨；氧化镁 5 万吨；氢氧化镁 1 万吨(产能)

续表

盐湖名称	投产年代	生产工艺技术	产品种类和规模
阿塔卡玛(智利)	1985	相分离技术、盐田浮选、复分解	SQM公司产品为:氯化钾 120 万吨;复合肥料 30 万吨;碳酸锂 6 万吨以上
察尔汗(中国)	1958	盐田、冷分解、浮选、冷结晶	氯化钾 330 万吨;硫酸钾镁肥 45 万吨(产能); 硼酸 3 万吨(产能)
罗布泊(中国)	2009	盐田工艺、相分离技术	硫酸钾一期工程 120 万吨,二期工程 300 万吨

盐湖除蕴藏重要的矿产资源外,还蕴藏大量重要的生物资源。盐湖生物资源包括盐湖植物资源和盐湖动物资源。

盐湖植物资源,主要是指生长在湖滨浅卤水中和盐湖盆地边缘及附近的耐盐碱植物。比如生长在卤水中的盐藻,湖边和周边的芦苇、胡杨、红柳等。盐藻类多数具有特殊的药用价值,其中螺旋藻最为人们所熟知。盐湖植物资源在国外已广泛开发利用,我国内蒙古的吉兰泰盐湖也已开发生产。

盐湖动物资源,包括水禽类和喜盐虫类。水禽类如斑头雁、野黄鸭、棕头鸥、赤麻鸭、灰麻鸭、灰天鹅等,皆属于旅游观赏性动物;喜盐虫类包括卤虫和嗜盐菌、轮虫等。卤虫也叫做丰年虫或卤虾,是饲养高档海鲜类的良好饵料,具有很高的经济价值,在我国盐湖中分布较为普遍,目前在青海的尕斯库勒湖和新疆的艾比湖皆有开发捕捞,发展前景很好。图 1-1 是显微镜下的卤虫照片,图 1-2 是不同年代美国

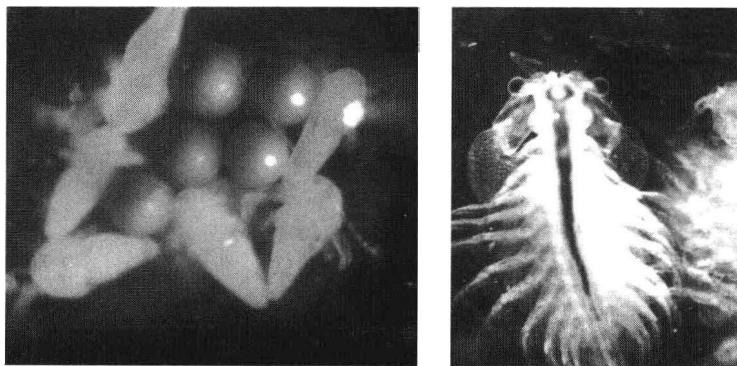


图 1-1 显微镜下的卤虫

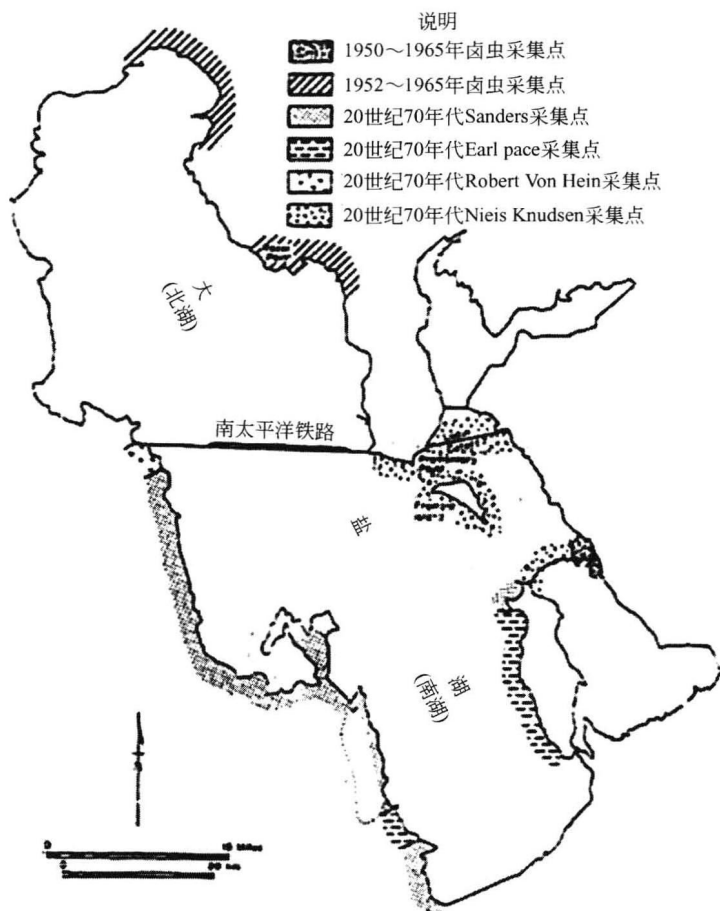


图 1-2 不同年代美国大盐湖岸的卤虫采集点

大盐湖岸的卤虫采集点图。

盐湖生物资源是具有特异生物活性和耐旱、耐盐碱等基因的资源，有可能成为人类未来蛋白质的重要来源，还能提供绿色纯净的食物色素或者其他有用材料。

盐湖卤水和湖底沉积的黑泥具有医疗保健作用，已被开发利用。特别是以色列在死海湖边开发利用湖泥资源，取得极大成功。他们开发出多种湖泥、湖水保健产品，行销世界各地。图 1-3~图 1-5 是一些湖泥产品的照片。