

中国科学院 盐湖研究六十年

中国科学院青海盐湖研究所 编著



科学出版社

中国科学院 盐湖研究六十年

中国科学院青海盐湖研究所 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书回顾了中国科学院研究我国盐湖的奋斗历程,汇集总结了在盐湖的基础研究、应用研究、资源分离提取技术和综合开发利用、有关精细化产品和无机材料以及重大产业化技术支撑等诸多方面所做的大量卓有成效的工作和取得的奖励成果,阐释了盐湖科技在国民经济发展和科技创新中的价值和作用。

本书可供盐湖地质、地球化学、分析化学、物理化学、化学工艺和工程、无机材料等学科的科技人员、管理人员以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国科学院盐湖研究六十年/中国科学院青海盐湖研究所编著. —北京:科学出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-03-046021-9

I. ①中… II. ①中… III. ①盐湖-中国-文集 IV. ①P942.078

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 246206 号

责任编辑:顾英利 宁 倩 / 责任校对:李 影

责任印制:肖 兴 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 7 月第一次印刷 印张:29 1/2 插页:2

字数:660 000

定价:160.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



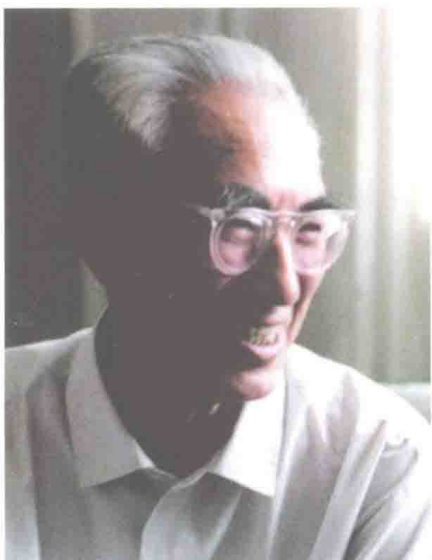
1993 年 5 月周光召院长视察青海盐湖研究所



2012年7月路甬祥院长视察青海盐湖研究所



2013年6月白春礼院长视察青海盐湖研究所



中国科学院院士(学部委员)柳大纲



中国科学院院士高世扬



中国科学院院士张彭熹



我国著名钾肥专家、
正高级工程师曹兆汉

《中国科学院盐湖研究六十年》

编辑委员会

顾问：张彭熹 倪嘉缵

主任：段东平

副主任：宋彭生 吴志坚

委员：（按姓氏汉语拼音为序）

陈大福	陈敬清	段东平	胡 丰
贾永忠	李 刚	李 武	李洪海
李丽娟	刘德江	刘铸唐	山发寿
宋彭生	王 敏	吴志坚	夏树屏
鄢如萍	于升松	翟宗玺	

执行主编：刘德江

执行副主编：鄢如萍 陈大福

前 言

弹指一挥间,转眼六十年。中国科学院开展盐湖研究始于20世纪50年代中期,迄今已经走过六十年的光辉历程。这是历尽艰辛、极不平凡的六十年,是盐湖科技事业不断求索开拓、创新发展的六十年,也是盐湖科技队伍成长壮大、人才辈出的六十年,为我国的经济建设、西部地区大开发和科技进步做出重要的历史性贡献的六十年。

从柳大纲、侯德封、袁见齐等老一辈科学家亲自调查青海柴达木盆地盐湖开始,经过中国科学院化学研究所、原地质矿产部、原化学工业部、青海省地质矿产局、盐务总局、有关高等院校以及中国科学院青海盐湖研究所(简称“青海盐湖所”)等多部门、多单位的几代人对盐湖进行考察勘探和综合研究,分工协作,艰苦创业,坚持不懈,攻坚克难,促进了盐湖科学技术及盐湖产业的蓬勃发展,取得了一系列的辉煌成果。成就来之不易,奉献尤为可贵。历史将书写他们的苦劳和功劳,他们用汗水、智慧、青春、热血乃至生命,浇灌着我国西部的盐湖资源之花,使之绚丽绽放,永不凋谢。

众所周知,我国是一个盐湖资源十分丰富的国家。盐湖主要分布于我国西、北部地区,面积涵盖了大半个中国,包括黑龙江、吉林、内蒙古、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、西藏和新疆等省、自治区。其数量之多、面积之大、分布之广、资源之富、类型之全,居世界前列,充分显示了我国盐湖的优势和特色。盐湖里蕴藏着极其丰富的盐类资源,不仅直接关系到人们的生活,而且涉及农业、工业和国防。我国农业所需的钾肥,主要是从盐湖里提取;盐湖资源除广泛用于基本化学工业和制盐工业以外,在纺织、制药、制革、玻璃、陶瓷、电子等轻工业以及建材、冶金、石油化工等行业也应用广泛;盐湖资源对国防工业也具有重要意义,盐湖丰产元素锂、硼等资源是国家重要的战略物资,可作为高能燃料用于火箭、导弹、宇航等。因此,开展盐湖资源的研究和开发是十分必要的。

但在旧中国的漫长岁月里,盐湖资源未能得到应有的重视和开发,盐湖科学研究基本上是空白。新中国成立后,我国盐湖资源的开发利用受到党和国家的重视,盐湖宝藏的奥秘逐步被揭开。为适应大力发展盐湖科学事业的需要,1965年,我国的盐湖科研专门机构——中国科学院青海盐湖研究所应运而生。自此以后,盐湖科学研究工作逐渐蓬勃发展起来,盐湖科技事业也得以快速发展。

《中国科学院盐湖研究六十年》就是以中国科学院牵头开展盐湖资源科学考察为起点,以青海盐湖所的科研发展轨迹为主线,本着对历史负责、对盐湖科技事业发展负责的态度,真实再现盐湖科技六十多年来取得的辉煌成就。特别是在不同的历史阶段,面对国家的重大战略需求,盐湖科技工作者薪火相传、无私奉献,为盐湖科技事业的发展做出的突出贡献和付出的心血,一方面激励为盐湖事业奋斗的青年人才坚定继续创新发展我国盐湖科技事业的理想和信念,另一方面也希望对未来盐湖科技事业的研究思路和发展方向产生一定的指导和借鉴。

事业无止境,浓墨书华章。青海盐湖所的发展折射出的是我国盐湖科技的发展。六

十个春秋,盐湖科学事业经过艰苦创业,现已奠定了纵深发展的基础。一代又一代盐湖人传递着手中的接力棒,始终坚持“艰苦奋斗、无私奉献、团结协作、开拓创新”的盐湖精神,在盐湖地球化学、盐湖化学、盐湖分析化学、无机化工材料、察尔汗及大柴旦盐湖资源开发利用、东台吉乃尔盐湖资源开发利用、盐湖资源综合利用及其系列产品开发以及科技成果产业化等方面进行了深入系统的研究,开拓和发展了中国的盐湖科技事业,取得了令人瞩目的成就,为促进盐湖资源的综合开发利用和国家经济的发展做出了重要贡献。

迄今,青海盐湖所依然是我国唯一专门从事盐湖研究的科研机构,定位于面向国家重大需求和国民经济主战场,立足世界盐湖科学和技术前沿,以解决盐湖资源形成、综合开发与持续利用的重大科技问题为主攻方向,引领我国盐湖应用基础研究和高新技术研究;针对制约国内外盐湖产业发展和盐类资源开发的关键技术,开展创新与集成,培养高端科技人才,推动盐湖产业的发展,在我国盐湖科技领域发挥不可替代的作用,未来将发展成国际一流的从事盐湖科技的综合性研究所。建所以来,盐湖工作者通过不断地改革、发展和创新,密切结合我国盐湖资源和特点,研究和开发综合利用盐湖钾、锂、镁、硼资源的关键技术和产业化系统工程,实现了盐湖资源产品的精细化、高值化,形成了中国盐湖资源综合利用和可持续发展的科学技术体系,开创了我国盐湖科技事业发展的新局面。

回首过去硕果累累,展望未来任重道远。当今世界已经进入一个大变革、大调整、大创新、大发展的新时期,科学技术正孕育着重大突破。如果说“创新 2020”为我们提供了提升创新能力、奉献国家、服务人民的大舞台,那么习近平总书记对中国科学院提出的“四个率先”要求,就为中国科学院乃至全国科技发展指明了方向。作为我国盐湖科技事业的主力军,我们必须坚持面向国际发展前沿和面向国家战略需求的有机统一,正确认识自身承担的责任和使命,深入推进“率先行动”计划和“一三五”规划,全面深化研究所改革,不断凝炼创新科技目标,加强重点学科领域的建设,推动重大科研产出,增强大局意识、机遇意识、责任意识和开放意识,才能从根本上解决长期影响和制约创新发展的一系列重大问题,才能在发挥自身优势、满足区域重大需求、发展特色学科等方面起到不可替代的作用,继续为盐湖科技事业的发展、为中国科学院和国家的发展做出贡献。

段东平

中国科学院青海盐湖研究所副所长(主持工作)

目 录

前言

第一部分 光辉历程篇

第一章 奠基与创业	3
1.1 盐湖科技事业的开创者、钾盐钾肥工业的奠基人——柳大纲	3
1.2 盐湖早期研究工作	11
参考文献	14
第二章 盐湖专业机构的组建与发展	15
2.1 中国科学院青海盐湖研究所的建立和发展	15
2.2 青海盐湖所进入知识创新工程后的工作进展	21
参考文献	23

第二部分 基础研究篇

第三章 我国盐湖资源	27
3.1 我国盐湖科考和盐湖资源概况	27
3.1.1 我国盐湖科考	27
3.1.2 我国盐湖资源	28
3.2 盐湖的分布	29
3.2.1 全球现代盐湖分布	30
3.2.2 中国盐湖的分布	32
3.3 青海盐湖	33
3.3.1 盐湖分布	33
3.3.2 盐湖卤水	34
3.3.3 成盐期	34
3.3.4 盐类矿物	35
3.3.5 盐湖矿产资源	35
3.4 新疆盐湖	38
3.4.1 盐湖概况	38
3.4.2 盐湖分布	38
3.4.3 盐湖物质成分	39
3.4.4 资源开发利用	40
3.5 西藏盐湖	41

3.5.1 盐湖分布	41
3.5.2 盐湖物质成分	44
3.5.3 盐湖资源的开发利用	45
3.6 内蒙古盐湖	46
3.6.1 内蒙古盐湖区概况	46
3.6.2 内蒙古盐湖的分布特征	47
3.6.3 内蒙古盐湖物质成分	48
3.6.4 内蒙古盐湖资源的开发利用	50
3.7 其他盐湖	51
3.8 地下卤水——以江汉盆地地下卤水为例	52
3.8.1 潜江凹陷潜江组卤水资源的分布特征	53
3.8.2 潜江凹陷潜江组卤水化学特征	54
3.8.3 卤水、盐、碘储量计算成果	55
3.8.4 卤水资源开采条件分区评价	55
3.8.5 卤水资源储量评价	59
参考文献	59
第四章 盐湖地球化学	61
4.1 盐湖沉积	61
4.1.1 湖表沉积物的易变性	61
4.1.2 粒度成分	61
4.1.3 黏土矿物	62
4.2 盐类矿物	63
4.2.1 沉积岩中的蒸发岩	63
4.2.2 现代陆相蒸发岩地理分布的广泛性	63
4.2.3 现代陆相蒸发岩的类型与种类	64
4.2.4 蒸发岩矿物沉积类型与卤水 pH、矿化度的关系	66
4.2.5 成盐机制	66
4.2.6 盐类矿物标型性及其地质意义	68
4.3 盐湖卤水水化学及水动态	69
4.3.1 盐湖卤水的化学成分	70
4.3.2 盐湖卤水的水化学分类	70
4.3.3 盐湖卤水的水化学及水动态	70
4.4 盐湖区天然水的氢氧同位素研究	80
4.4.1 盐湖卤水的氢氧同位素测定方法	80
4.4.2 柴达木盆地盐湖的氢氧同位素研究	81
4.4.3 西藏盐湖的氢氧同位素研究	82
4.4.4 新疆盐湖的氢氧同位素研究	83
4.4.5 内蒙古盐湖的氢氧同位素研究	83

4.5 盐湖卤水非传统稳定同位素地球化学研究	84
4.5.1 B和Cl同位素分馏理论研究	84
4.5.2 盐湖体系硼同位素地球化学研究	86
4.5.3 盐湖体系锂同位素地球化学研究	88
4.5.4 盐湖体系氯同位素地球化学特征	88
4.6 柴达木盆地盐湖演化与古气候波动	90
4.6.1 古气候与古环境变化标志的研究及其成果	90
4.6.2 盐湖沉积物的年代学研究	91
4.6.3 柴达木盆地盐湖演化与古气候波动特征	91
4.7 柴达木盆地盐湖锂矿床的成因	92
4.7.1 前期研究结果与问题	93
4.7.2 盐湖表卤和地下卤水中锂的分布特征	94
4.7.3 锂的物质来源	94
4.7.4 盐湖锂资源形成的主控因素和成矿过程	95
4.8 青海可可西里盐湖	96
4.8.1 可可西里盐湖	96
4.8.2 可可西里盐湖的主要化学组成	98
4.8.3 可可西里盐湖微量元素的分布	99
4.8.4 盐湖形成年代	100
4.9 青海湖古气候与古环境	100
4.9.1 青海湖的重要位置及研究历史	101
4.9.2 研究方法	101
4.9.3 研究成果	102
4.9.4 小结与展望	102
参考文献	103
第五章 浓盐溶液化学和相平衡	108
5.1 盐湖卤水蒸发结晶及其介稳相平衡	108
5.1.1 三大类型卤水的蒸发结晶	108
5.1.2 介稳相图及其理论基础	111
5.1.3 展望	112
5.2 水盐体系相平衡	112
5.2.1 盐酸水盐体系的相平衡研究	113
5.2.2 含硼锂盐湖卤水体系的相平衡研究	113
5.2.3 含有机溶剂的水盐体系	116
5.2.4 其他体系相平衡研究	119
5.3 盐湖卤水体系热力学性质研究	121
5.3.1 概况	121
5.3.2 建立热力学性质实验设备和方法	123

5.3.3	活度系数、渗透系数和水活度性质	125
5.3.4	热容和热焓性质	130
5.3.5	卤水体系的密度和体积性质	132
5.4	盐湖卤水体系热力学相平衡模型研究及应用	133
5.4.1	Pitzer 模型在海水体系的应用研究	134
5.4.2	含锂多组分盐湖卤水体系热力学相平衡模型及应用	135
5.4.3	含盐酸体系溶解度预测	143
5.4.4	含硝酸盐体系溶解度预测	143
5.5	盐卤硼酸盐化学	144
5.5.1	盐卤浓缩过程中硼酸盐的行为	145
5.5.2	确定共结硼酸盐新复盐的组成	146
5.5.3	含硼盐卤溶液中硼氧阴离子存在形式	146
5.5.4	多聚硼酸盐非平衡态的结晶动力学和热力学	148
5.5.5	多聚硼酸盐非平衡态溶解动力学和热力学	149
5.5.6	$\text{MgO}-n\text{B}_2\text{O}_3-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ 体系水合硼酸盐的非平衡态的相图	151
5.5.7	新的多聚硼酸盐制备和结构	153
5.6	浓盐溶液结构化学	155
5.6.1	研究方法及其探索	155
5.6.2	主要研究结果简述	157
5.6.3	典型研究结果简述——硼酸盐体系	158
5.6.4	展望	167
	参考文献	168
第六章	盐湖分析化学	185
6.1	化学分析法	186
6.1.1	盐卤分析的质量控制	186
6.1.2	称量分析法	187
6.1.3	滴定分析法	188
6.1.4	吸光光度分析法	192
6.2	温度滴定法	192
6.2.1	盐和卤水的成分分析	192
6.2.2	盐卤热化学测定与研究	194
6.3	原子光谱分析法	196
6.3.1	建所前原子光谱分析	196
6.3.2	摄谱和等离子体发射光谱法	196
6.3.3	火焰发射和原子吸收光谱法	196
6.3.4	火焰光谱的三维研究	199
6.4	离子选择电极分析法	201
6.4.1	ISE 的研制	201

6.4.2 ISE 的分析方法和应用研究	204
6.4.3 附录	206
6.5 同位素质谱分析	207
6.5.1 三代热电离同位素质谱计	207
6.5.2 石墨的非还原热离子发射特性	209
6.5.3 B 和 Cl 同位素标准参考物质的研制	209
6.5.4 硼同位素高精度正热电离质谱法测定	210
6.5.5 氯和溴同位素高精度正热电离质谱法测定	211
6.5.6 Li 同位素高精度正热电离质谱法测定	212
6.6 元素相对原子质量测定	212
参考文献	214

第三部分 应用研究篇

第七章 盐湖卤水及盐矿的开采方法	223
7.1 盐湖卤水开采方法	223
7.1.1 盐湖卤水特点	223
7.1.2 盐湖卤水开采方法	224
7.2 光卤石矿的采矿方法及设备	227
7.2.1 光卤石矿的采矿方法	227
7.2.2 光卤石矿的采矿设备	229
7.3 固体钾盐矿的开采方法	230
7.3.1 固体钾盐矿的开采	230
7.3.2 云南江城县勐野井钾石盐矿的采矿	230
7.3.3 老挝钾盐矿的开采	231
7.3.4 固体钾盐矿采空区回填技术方法	232
7.4 盐湖资源自动观测系统	234
7.4.1 盐湖卤水自动观测系统	234
7.4.2 卤水传感器的选择	236
7.4.3 卤水自动观测系统通信	240
7.4.4 仪器的可靠性设计	242
7.4.5 数据采集系统	243
7.4.6 中心站软件	245
参考文献	246
第八章 盐田日晒工艺及盐田结构试验	248
8.1 察尔汗盐湖卤水盐田日晒工艺及盐田结构试验	248
8.1.1 盐田工艺基础研究	248
8.1.2 盐田工艺试验研究	250
8.1.3 盐田结构试验	252

8.2 大柴旦盐湖卤水盐田日晒工艺及盐田结构试验	253
8.2.1 盐田日晒工艺	253
8.2.2 盐田结构试验	256
8.3 东台吉乃尔盐湖盐田日晒工艺及盐田结构试验	258
8.3.1 卤水综合利用盐田工艺研发阶段	258
8.3.2 盐田结构试验	261
8.3.3 盐田工艺调整和优化阶段	261
参考文献	265
第九章 分离提取技术试验研究	267
9.1 浮选技术	267
9.1.1 浮选概述	267
9.1.2 浮选法分离氯化钾	268
9.1.3 浮选法分离氯化钠研究	269
9.1.4 其他	270
9.2 萃取技术	271
9.2.1 前言	271
9.2.2 TBP-FeCl ₃ -200# 溶剂汽油萃取体系用于大柴旦盐湖高镁锂比卤水萃取锂	272
9.2.3 从云阳盐厂卤水萃取锂	272
9.2.4 从大柴旦盐湖脱硼卤水萃取锂的半工业试验	272
9.2.5 从大柴旦盐湖脱硼卤水萃取锂(50 t/a 无水氯化锂中试)	273
9.2.6 TBP 溶剂萃取法从青海察尔汗盐湖制钾老卤提取碳酸锂	273
9.2.7 锂的协同萃取体系研究	274
9.2.8 A-1416 萃取体系萃取法从一里坪盐湖回收硼酸	274
9.2.9 溶剂萃取法从青海察尔汗盐湖制钾老卤萃取硼酸的研究	274
9.2.10 ACQ-煤油萃取体系从大柴旦盐湖卤水酸法脱硼母液萃取硼酸	274
9.2.11 溶剂萃取法制取硫酸钾	275
9.2.12 小结	275
9.3 膜分离技术	275
9.3.1 离子交换膜	276
9.3.2 液态膜分离技术	282
9.3.3 气态膜	282
9.4 离子交换吸附技术	283
9.4.1 提锂	283
9.4.2 提铷、铯	285
9.4.3 提碘	285
9.4.4 提溴	286
9.4.5 提硼	286
9.4.6 其他	287

9.5 激光分离技术	288
参考文献	289
第十章 盐湖卤水资源的开发利用	295
10.1 盐湖资源开发利用的意义	295
10.2 国外主要盐湖资源开发利用现状	296
10.2.1 大盐湖的发展——目标是世界最大硫酸钾生产者	296
10.2.2 死海资源的开发	297
10.2.3 南美盐湖的开发利用	299
10.3 青海盐湖资源的开发利用	305
10.3.1 察尔汗盐湖	305
10.3.2 青海察尔汗盐湖铁路以东盐湖	305
10.3.3 马海盐湖	306
10.3.4 青海大浪滩盐湖	307
10.3.5 青海昆特依盐湖	307
10.3.6 青海台吉乃尔盐湖	307
10.3.7 青海大柴旦盐湖资源	311
10.3.8 青海一里坪盐湖	312
10.4 新疆盐湖资源的开发利用	312
10.4.1 新疆硫酸盐型盐湖资源的开发利用	313
10.4.2 新疆硝酸盐湖资源开发利用	315
10.5 西藏盐湖资源的开发利用	316
10.5.1 高海拔硫酸盐型盐湖卤水资源的利用——以西藏查波错为突破	317
10.5.2 碳酸盐型盐湖开发的代表——以扎布耶为例	318
10.5.3 碳酸盐-硫酸盐型盐湖卤水的耦合开发——以结则茶卡和龙木错为示范	319
10.6 内蒙古盐湖资源的开发利用	319
10.6.1 资源概况	319
10.6.2 内蒙古盐湖资源开发利用状况	320
10.7 地下卤水资源的开发利用	324
10.7.1 从地下卤水中分离制取氯化钠	325
10.7.2 从地下卤水中分离提取氯化钾和硼砂	325
10.7.3 从地下卤水中提取锂	326
10.7.4 从地下卤水中提溴	327
10.7.5 从地下卤水中提碘	327
10.7.6 从地下卤水中提取铷和铯	328
参考文献	328
第十一章 盐矿资源的开发利用	333
11.1 云南钾石盐矿的开发利用	333
11.1.1 钾资源分布及云南钾盐矿	333