



中国轻工业“十三五”规划教材

水盐体系相图及应用

邓天龙 周 桓 陈 侠 主编 ▶▶▶

**Salt-water System
Phase Diagrams
and Applications**

第二版



化学工业出版社



中国轻工业“十三五”规划教材

水盐体系相图及应用

邓天龙 周 桓 陈 侠 主编 ▶▶▶

**Salt-water System
Phase Diagrams
and Applications**

第二版



化学工业出版社

· 北 京 ·

内容提要

相图是研究和解决相平衡问题的重要工具,对海水、盐湖卤水、地下卤水和井矿盐等源开发利用具有十分重要的指导作用。本书系统地阐述了水盐体系相图原理,着重介绍了元至五元水盐体系相图标绘、相图认识、相图工艺过程解析、相图在卤水化工生产过程中的应用,并引入了水盐体系稳定和介稳相图实验研究方法、介稳相平衡、数字相图成图、溶解度理论预测等科技前沿成果。

本书可作为高等学校化学工程与工艺、应用化学、海洋资源开发技术等本科专业及化工工程与技术专业研究生用书,也可作为卤水化工相关专业科技人员的参考书和工具书。

图书在版编目(CIP)数据

水盐体系相图及应用/邓天龙,周桓,陈侠主编. —2版.
—北京:化学工业出版社,2020.4
中国轻工业“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-36136-3

I. ①水… II. ①邓… ②周… ③陈… III. ①无机化工-
土壤盐渍度-关系-土壤水-相图 IV. ①TQ115

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 021865 号

责任编辑:刘亚军

文字编辑:咎景岩

责任校对:边涛

装帧设计:史利平

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)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张22 字数540千字 2020年9月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

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: 58.00 元

版权所有 违者必究

《水盐体系相图及应用》是大学本科化工类和海洋类的一门专业基础课教材，适用于化学工程与工艺、应用化学、海洋技术、海洋资源开发技术、海洋资源与环境、材料化学等专业。本教材自 2013 年出版以来，在高校化学工程与工艺、应用化学、海洋资源开发技术等本科专业教学中广泛使用，取得了良好的教学效果；在科研院所和企事业单位化学、化学工程与技术、海洋化工、盐湖化工、盐科学与工程、材料科学与工程专业研究生和卤水化工相关专业科研人员和工程技术人员使用方面，也取得良好的社会反响，被列入中国轻工业“十三五”规划教材。

本书是在总结近年来课程改革和教材建设经验基础上，基于传承经典，引入最新成果（新理论、新概念和新方法），注重理论性、适用性和先进性相结合的原则进行了修订。优化课程内容结构，在保持原课程体系的基础上对各章的内容作了适当的调整、补充、删除和重组。具体修订情况如下：

1. 全书统一相图指数表达。二元体系、三元体系采用质量分数 ($w_B/\%$)；简单四元体系和简单五元体系为干基组成质量分数，分别为 Z_B 和 $Z_B'/(g/100g\ S)$ ；交互四元体系和交互五元体系，增加等摩尔效价概念，相图指数分别用干基组成耶涅克指数 J_B 和 J_B' 表示。

2. 加强水盐体系相图在海卤水化工生产中的相图分析与应用。结合我国海水资源、盐湖资源、地下卤水、油田卤水和盐矿资源开发利用，进一步加强水盐体系相图在卤水化工生产中的应用实例。第五章，增加以芒硝和氯化钾为原料，二段转化生产硫酸钾的相图理论及应用；第六章增加罗布泊盐湖卤水制取氯化钾、硫酸钾工艺过程的设计和计算。

3. 增加了水盐体系数字相图成图、水盐体系溶解度数据库和量热学介绍。鉴于计算机绘图工具和化工热力学数据库已成为水盐体系相图绘制、研究和开发的有效工具，第八章新增加了水盐体系数字相图计算机成图（第五节）、水盐体系溶解度数据库（第六节）。此外，还更新了量热法最新进展，增加了差示扫描量热技术和滴定量热最新技术介绍。

4. 丰富和完善了附录内容。新增部分含锂盐类矿物的物化性质、盐矿物光学性质数据，对每章的习题和答案作部分的修改和增删。

本书修订过程中得到了中国轻工业联合会和天津科技大学等单位领导给予的大力支持、关心和指导。本书承蒙郑绵平院士、韩布兴院士、张锁江院士审阅，并提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中，参考和引用了无机化工、轻工工程、盐科学与工程、盐湖化工和盐湖化学相关的教材、论著和文献资料，在此一并表示衷心的感谢。

本书由邓天龙、周恒、陈侠主编。具体参加编写的有：郭亚飞、陈侠、崔琬晶（第一章、

第二章), 余晓平、胡小进、崔琬晶 (第三章), 胡佳音、周桓、陈尚清 (第四章、第五章), 王士强、郭亚飞、赵凯宇 (第六章、第七章), 王士强、邓天龙 (第八章、第九章), 李琰、孙康瑞、袁菲、张思思 (习题、参考答案、附录和相图绘制), 全书由邓天龙统定稿。

限于编者水平所限, 书中仍会有疏漏之处, 诚请批评指正。

编者

2020 年 1 月

第一版前言

水盐体系相图是研究、表达和应用盐类在水中溶解度及固液相平衡规律的一门学科，是无机化工的重要理论基础。水盐体系相图是表达水盐体系中相的数目、种类、组成、存在条件和各相关系的几何图形，可预测体系中盐类的析出、溶解等相转化规律，探索化工生产过程，确定最佳生产条件、制定最优工艺流程、获得最佳产率等，可广泛应用于以海水、盐湖卤水、矿盐及地下卤水为原料生产系列盐化工产品及其过程，也被广泛应用于海洋化学、环境化学和地球化学等学科领域。

20 世纪 50 年代，天津科技大学（原天津轻工业学院）开始收集整理资料开设水盐体系相图课程，先后形成了系列讲义和教材。近年来，随着电解质溶液热力学理论的发展、科学研究的不断深入、图形软件工具和计算机的广泛应用，以及相图应用领域的不断扩展，水盐相图的研究与应用呈现了新的特色。为了传承经典，引入新的概念和最新成果，编写了本书。

本书系统地讲述了水盐体系相图原理及其应用。其中，第一至第六章，系统介绍了二元至五元水盐体系相图的结构特征、绘制方法、分析认识、典型过程的相图分析、相图计算，并给出大量生产应用实例。考虑到水盐体系存在的介稳现象及其规律的特殊性，本书在重点介绍稳定平衡相图的基础上，在第七章介绍了介稳相图及其应用。考虑到在特定生产条件和领域，可能会出现迄今尚未研究和测定的相平衡数据，本书第八章介绍了水盐体系稳定溶解平衡和介稳平衡的实验研究方法。鉴于热力学模型计算相平衡数据已成为过程研究与开发的有效工具，本书第九章介绍了基于电解质溶液理论模型的水盐体系相图的计算方法。作为教材，本书在各章末有习题、书末有习题答案；作为研究与应用的参考本书，本书附录收列了海水、盐湖、地下卤水和井矿盐相关的盐类矿物的物化性质、盐矿物光学性质、常见天然盐及其离子标准化学位、水盐电解质溶液模型参数和二元至五元海水体系多温溶解度数据。

本书的编写得到了教育部教师出版专项基金的资助，同时得到了全国高校教材学术著作出版审定委员会、化学工业出版社和天津科技大学等单位领导给予的大力支持、关心和指导。本书由中国地质科学院矿产资源利用研究所中国工程院郑绵平院士、中国科学院青海盐湖研究所宋彭生研究员和天津科技大学王学魁教授审阅，并提出了许多宝贵意见。此外，袁建军教授、沙作良教授、唐娜教授、陈丽芳教授、姚燕研究员、房春晖研究员、房艳研究员、孙柏研究员、高章洪研究员和阎树旺教授等给予了编者热忱的帮助；魏浩教授、刘文岭教授、焦志勇教授、刘宪斌教授、王昶教授等给予了大力支持。在本书的编写过程中，还参考和引用了轻化工、盐化工、无机化工和盐湖化学相关的教材、专著和文献资料内容，在此一并表示衷心的感谢。

本书由邓天龙、周桓、陈侠主编。参加本书编写的有：邓天龙（第一章），陈侠、郭亚飞（第二章），邓天龙、余晓平、胡小进（第三章），周桓（第四章、第五章），王彦飞（第六章），王士强、郭亚飞（第七章），王士强、邓天龙（第八章、第九章），高道林、郭亚飞、胡

小进（习题、答案、附录和相图绘制），全书由邓天龙统稿。

本书可作为化学工程与工艺、应用化学、海洋科学、环境科学与工程、地球化学等本科专业教材，也可作为化学工程、化学工艺、海洋化学、物理化学专业研究生和科技人员的参考书和工具书。

限于编者水平有限，缺点和错误在所难免，诚恳欢迎读者批评指正。

编者
2013 年 3 月

第一章 绪论	1
第一节 水盐体系	1
一、体系与系统	1
二、系统的组成及其表示方法	2
第二节 相律	4
一、相	4
二、独立组分数	4
三、自由度	8
四、相律	9
五、相图研究中的其他原理和规则	11
第三节 水盐体系稳定相图和介稳相图	13
一、溶解度和稳定相图	13
二、介稳溶解度和介稳相图	17
第四节 相图的产生、作用和学习方法	18
一、水盐体系相图的研究现状和发展趋势	18
二、水盐体系相图的作用	21
三、相图的学习目的和方法	22
习题一	23
第二章 二元水盐体系相图	25
第一节 相图表示方法	25
一、相律特征与坐标系	25
二、相图标绘	26
第二节 简单二元水盐体系相图	28
一、点线区的意义	28
二、直线规则	29
三、杠杆规则	30
四、等温蒸发与冷却结晶过程分析	31
第三节 复杂二元水盐体系相图	33
一、稳定水合物与不稳定水合物	33
二、复杂二元相图的标绘	36
三、稳定水合物相图认识	38

四、不稳定水合物的转溶现象	40
五、具有多晶转变的相图	41
第四节 二元水盐体系相图物料计算方法	43
一、杠杆规则法	43
二、未析出组分法	44
三、物料平衡法	45
第五节 二元水盐体系相图的应用	46
一、海盐生产的相图分析	46
二、氯化镁生产的相图分析	47
习题二	49
第三章 三元水盐体系相图	53
第一节 图形表示法	53
一、相律特征	53
二、图形表示法	53
三、空间立体图	56
四、立体图的等温截面图	58
第二节 三元水盐体系等温相图	63
一、三元水盐体系等温相图分类	63
二、三元水盐体系等温相图的认识	68
三、用碱性物及酸性物表示的等温相图	70
第三节 直线规则和杠杆规则在等温相图中的应用	73
一、直线规则和杠杆规则证明	74
二、直线规则和杠杆规则的应用	75
三、直线规则和杠杆规则引申	76
第四节 三元体系相图分析	77
一、等温蒸发过程分析	77
二、盐析过程分析	83
三、变温过程分析	84
四、零变点研究	86
第五节 三元体系相图的应用	87
一、钾石盐矿的分离提取	87
二、粗光卤石分解制取氯化钾	89
三、硝酸钠和硝酸钾的分离提取	94
习题三	97
第四章 四元水盐体系相图	101
第一节 四元水盐体系	101
一、四元水盐体系的分类	101
二、相律特征	101
三、组分间的关系	101
四、干基三角形和干基正方形	104
第二节 四元体系的相图基础	106

一、干基平面相图	106
二、棱锥立体相图	107
三、棱柱立体相图	109
四、等温立体图	110
五、等温立体相图的投影	114
六、多温相图	117
第三节 四元水盐体系相图的标绘	118
一、相图标绘的依据	118
二、干基三角形相图和水图的标绘	118
三、干基正方形相图和水图的标绘	120
第四节 四元体系相图的分析	123
一、过程向量法	123
二、直线规则与杠杆规则	125
三、相图的认识	127
四、等温蒸发过程分析	129
五、多温过程的相图分析	131
习题四	133
第五章 四元水盐体系相图的应用	136
第一节 典型工业过程的相图分析	136
一、察尔汗盐湖卤水滩晒光卤石	136
二、海水制盐	137
三、完全转化法生产硝酸钾	138
四、部分转化法生产硫酸钾	140
第二节 相图计算	142
一、图解计算法	142
二、物料衡算法	145
第三节 光卤石分解洗涤过程的相图分析与计算	147
一、等温蒸发的析盐规律	147
二、相图分析与计算	149
第四节 芒硝转化法生产硫酸钾的相图分析与计算	155
一、常温直接转化	155
二、常温间接转化	157
三、多温二段转化	158
习题五	160
第六章 五元水盐体系相图	164
第一节 五元水盐体系	164
一、五元水盐体系的分类	164
二、相律特征	164
三、组分间的关系	165
四、组成的表示方法	166
第二节 五元体系的相图基础	168

一、简单五元体系图形表示法	168
二、交互五元体系图形表示法	171
第三节 五元体系相图分析	180
一、过程向量法的运用	180
二、蒸发析盐规律分析	182
三、相平衡界限点及状态的确定	185
四、量的计算方法	191
第四节 五元体系相图的应用	194
一、罗布泊罗北凹地含钾卤水生产氯化钾工艺	194
二、罗布泊罗北凹地含钾卤水生产硫酸钾工艺	198
习题六	201
第七章 介稳平衡相图	202
第一节 介稳相平衡	202
一、介稳相平衡	202
二、过饱和溶液	204
第二节 二元和三元体系介稳相图	205
一、二元体系介稳相图	205
二、三元体系介稳相图	206
第三节 四元体系介稳相图	208
第四节 五元体系介稳相图	210
一、海水体系在 25℃ 的介稳相图	210
二、海水体系在 15℃ 和 35℃ 的介稳相图	212
三、含锂体系多温介稳相图	214
第五节 非平衡态相图	216
一、硼酸盐体系非平衡态相图	216
二、沸腾蒸发非平衡态相图	217
习题七	218
第八章 水盐体系相平衡实验研究方法	219
第一节 水盐体系稳定相平衡	219
一、等温溶解平衡法	219
二、变温法	223
第二节 水盐体系介稳相平衡	224
一、等温蒸发结晶法	225
二、实验研究方法与实验装置	225
第三节 固相鉴定	225
一、湿固相法	226
二、解析法	226
三、晶体光学法	227
四、其他方法	229
第四节 电解质溶液热力学性质研究方法	230
一、等压法	230

二、电势法	232
三、量热法	233
第五节 水盐体系数字相图计算机成图	235
一、常见的绘图软件简介	235
二、Origin 软件在水盐体系相图中应用	235
第六节 水盐体系溶解度数据库	240
一、国外化工热力学数据库	240
二、国内化工热力学数据库	241
三、水盐体系溶解度数据库	242
习题八	243
第九章 水盐体系电解质溶液理论及应用	244
第一节 电解质溶液理论发展概况	244
一、经典电解质溶液理论	244
二、半经验模型	245
三、统计热力学模型	246
第二节 Pitzer 电解质溶液理论	246
一、单组分电解质的 Pitzer 计算公式	247
二、混合电解质的 Pitzer 计算公式	249
三、Pitzer 模型的拓展	254
第三节 电解质 Pitzer 参数	254
一、Pitzer 参数	254
二、Pitzer 参数的获得	255
第四节 水盐体系固液平衡	259
一、盐的溶解平衡常数	259
二、水盐体系中盐溶解度的理论计算	261
第五节 Pitzer 电解质溶液理论进行水盐体系计算程序	264
习题九	275
习题参考答案	276
附录	287
附录一 矿物盐中英文名称、缩写符号和密度	287
附录二 相图计算常用数据	289
附录三 水合盐与复盐的组成	291
附录四 化合物与离子间的换算关系	293
附录五 常见天然盐类及其离子的标准化学位	294
附录六 常见电解质 Pitzer 参数	295
附录七 盐类矿物光性鉴定表	300
附录八 海水体系稳定相平衡数据	303
参考文献	339

水盐体系相图及应用

Salt-water System
Phase Diagrams
and Applications

第二版

ISBN 978-7-122-36136-3



9 787122 361363 >

销售分类建议：化学工业/无机化工

定价：58.00元