

宁夏大学优秀学术著作



SOLID-LIQUID PHASE EQUILIBRIA
FOR THE RECIPROCAL QUINARY
SYSTEM AND ITS APPLICATION

五元交互水盐体系

$\text{Na}^+, \text{K}^+ // \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$

相平衡及其应用

任永胜 蔡超 段潇潇 © 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

宁夏大学优秀学术著作



SOLID-LIQUID PHASE EQUILIBRIA
FOR THE RECIPROCAL QUINARY
SYSTEM AND ITS APPLICATION

五元交互水盐体系

$\text{Na}^+, \text{K}^+ // \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$

相平衡及其应用

任永胜 蔡超 段潇潇 © 著



黄河出版传媒集团
宁夏人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

五元交互水盐体系 $\text{Na}^+, \text{K}^+//\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$ — H_2O 相平衡及其应用 / 任永胜, 蔡超, 段潇潇著. -- 银川: 宁夏人民教育出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5544-1971-7

I. ①五… II. ①任… ②蔡… ③段… 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(2017)第 096471 号

五元交互水盐体系 $\text{Na}^+, \text{K}^+//$

$\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$ — H_2O 相平衡及其应用

任永胜 蔡超 段潇潇 著

责任编辑 王宁

封面设计 狄多强

责任印制 殷戈



黄河出版传媒集团 出版发行
宁夏人民教育出版社

地址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)

网址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 jiaoyushe@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014284

经销 全国新华书店

印刷装订 宁夏凤鸣彩印广告有限公司

印刷委托书号 (宁) 0005177

开本 720 mm×980 mm 1/16

印张 20.75 字数 400 千字

版次 2017 年 5 月第 1 版

印次 2017 年 6 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5544-1971-7

定价 35.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

水盐体系相图是研究、表达和应用盐类在水中溶解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。水盐体系相平衡作为一种基础研究,为盐业化工生产过程中盐类析出、溶解等相转化规律的探索,最佳生产条件、最优工艺流程、最佳产率等的确定提供理论依据,有助于分析、改进、解决生产工艺中的相关问题,具有现实指导意义。

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。为优化溶剂萃取法制备磷酸二氢钾结晶过程、高盐水分级结晶工艺、转化法生产硫酸钾工艺等,本书重点研究交互五元体系 $\text{Na}^+, \text{K}^+//\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 及其子体系的固液相平衡。以相平衡数据、水盐相图为理论基础,分析盐类析出、溶解等相转化规律,探索最佳生产条件、最优工艺流程,指导相关体系结晶过程及相关热力学模型的开发利用。

本书系统地研究了交互五元体系 $\text{Na}^+, \text{K}^+//\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 及其子体系的固液相平衡,钾盐、钠盐在混合溶液中的溶解度及物性参数。其中,第三章至第七章系统研究了 298.15K, 313.15K 下三元和四元水盐体系的固液相平衡和物性参数,并与已报导的实验结果进行详细对比;第八章至第十章研究了 NaH_2PO_4 在 $\text{H}_3\text{PO}_4, \text{NaCl}$ 及其混合溶液中溶解度及物性参数, KH_2PO_4 在无机酸、有机溶剂溶液中的溶解度及物性参数,对溶解度和物性参数的变化规律进行详细讨论;第十一章和第十二章对三元和四元

目 录

第一章 水盐体系相平衡	001
1.1 水盐体系相图应用	001
1.2 水盐体系相平衡研究现状	002
1.2.1 水盐体系相平衡研究现状	002
1.2.2 介稳相平衡研究现状	003
1.3 电解质溶液理论	005
1.3.1 经典电解质溶液理论	005
1.3.2 半经验模型	005
1.3.3 统计热力学模型	009
1.4 相关体系研究现状	010
1.4.1 钾盐体系相平衡研究现状	010
1.4.2 磷酸盐体系相平衡研究现状	011
1.4.3 钠盐体系相平衡研究现状	012
1.4.4 本课题体系研究现状	013
1.5 磷酸盐工业的发展	015
1.6 不确定度	016
1.6.1 测量不确定度的应用范围	016
1.6.2 不确定度的定义	016
1.6.3 不确定度的发展	017
1.6.4 不确定度的来源	019

1.6.5	不确定度的分类	020
1.6.6	误差和不确定度	022
1.6.7	不确定度的评估过程	022
1.7	研究内容、目的及意义	024
1.7.1	研究目的及意义	024
1.7.2	课题的研究内容	025
第二章	实验研究方法	028
2.1	实验试剂及仪器	028
2.2	实验方法	030
2.3	分析方法	031
2.3.1	液相和湿渣组成的化学分析方法	031
2.3.2	平衡液相物性参数研究方法	042
2.3.3	平衡固相组成的鉴定方法	042
2.4	不确定度的计算	042
2.4.1	标准不确定度	042
2.4.2	合成标准不确定度	043
2.4.3	扩展不确定度	046
第三章	$\text{Na}^+//\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 体系子体系相平衡研究	048
3.1	$\text{Na}^+//\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 体系三元子体系研究现状	048
3.2	$\text{Na}^+//\text{Cl}^-, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 体系 298.15K, 313.15K 相平衡研究	048
3.2.1	相平衡测定结果与讨论	048
3.2.2	物化性质测定结果	053
3.2.3	平衡液相密度和折光率的关联	057
3.3	$\text{Na}^+//\text{SO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 体系 313.15K 相平衡研究	059

11.3	本章小结	281
第十二章	溶剂萃取法生产磷酸二氢钠结晶工序的工艺分析	283
12.1	溶剂萃取法制备磷酸二氢钠	284
12.2	$\text{Na}^+ // \text{Cl}^- , \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 三元体系相图分析	286
12.2.1	等温蒸发过程分析	286
12.2.2	盐析过程分析	288
12.3	$\text{Na}^+ // \text{Cl}^- , \text{SO}_4^{2-} , \text{H}_2\text{PO}_4^- - \text{H}_2\text{O}$ 四元体系相图分析	289
12.4	本章小结	293
	参考文献	294
	附录	318

第一章 水盐体系相平衡

水盐体系相图是用几何学表示,也即用图形的方法研究盐类在水中溶解度的变化规律或盐类与水形成的各种物相之间相互联系和转化的规律^[1]。作为物理化学相平衡的一部分,水盐体系相图适用于无机盐、化学肥料、地质、冶金、三废处理、石油、材料、化工等^[2,3,4]科学技术领域,广泛应用于以海水、地下卤水、盐湖资源等为原料生产无机盐系列化工产品及其过程,是无机化工的重要理论基础^[5]。

1.1 水盐体系相图应用

水盐体系相图是研究水盐体系相变规律的科学,借助相图可以了解体系中相的变化情况,有助于分析、改进、解决生产工艺中的相关问题,具有现实指导意义。水盐体系相平衡作为一种基础研究,为盐业化工生产过程中盐类析出、溶解等相转化规律的探索,最佳生产条件、最优工艺流程、最佳产率等的确定提供理论依据^[6]。通过利用相图的相关原理和方法,在化工生产中,只采用蒸发、升温、降温等简单的单元操作就可经济有效的应用于化工产品的生产,其中包括食盐、芒硝、硝酸盐、碳铵及各种钾肥等^[7]。

李晋斌等^[8]借助 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} // \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ 五元水盐体系不同温度下的相图分析结果,选择采用高低温结合的方法来生产光卤石,并且副产

