

[苏联] IO.K.捷里马夫斯基 著

沈时英 译

离子熔体化学

冶金工业出版社

离子熔体化学

[苏联] IO.K.捷里马夫斯基 著

沈 时 英 译

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书译自苏联1980年出版的《Химия ионных расплавов》。
作者为苏联著名学者Ю.К.捷里马尔斯基。

本书概述了离子熔体化学方面的文献资料及作者本人的研究成果,包括离子熔体的结构、物理-化学性质、热力学、金属-熔盐平衡、分解电位、电动势与电极电位、电化学动力学、络合物生成、酸碱平衡、电解与离子熔体中的化学反应。

本书可供对离子熔体化学问题感兴趣的科研人员、工程技术人员、高校教师、研究生和大学生之用。

离子熔体化学

〔苏联〕Ю.К.捷里马尔斯基 著

沈 时 英 译

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 10 7/8 字数 285千字

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷

印数00,001~2,220册

统一书号: 15062·4307 定价2.70元

译 序

苏联学者捷里马尔斯基 (Ю.К.Делимарский) 继 1960 年出版“熔盐电化学”(Электрохимия расплавленных солей, 有中译本) 之后, 又单独或与别人合作在离子熔体方面连续出版了几本专著 (见本书参考文献 [23]~[30])。在此基础上, 1980 年出版了本书——离子熔体化学 (Химия ионных расплавов, Изд-во «Наукова Думка»)。这是一本带有总结性的新作。

本书主要叙述捷里马尔基本人及其学派的工作, 也部分地引用了国内外其他学者的一些研究成果。

由于本书是在作者已发表的一系列专著及大量文章基础上写成的, 因此, 在叙述上更加概括和简炼。读者如欲深入了解某一方面的内容, 可能还需要按所列文献进一步查找有关资料。

在译述过程中译者发现原书有多处印刷错误, 这些地方经按原出处核对后, 一一做了改正。

限于译者水平, 漏误之处定所难免, 尚希读者不吝指正。

沈 时 英

一九八三年十二月于东北工学院

原 序

随着液体的物理学与化学的发展，以及实际应用范围的扩大，近年来对于离子熔体的兴趣大大增加。全世界每年发表有关离子熔体方面的文献在本世纪三十年代不超过 80 篇，现在已为 600 篇左右了。

离子熔体的实际应用范围，是非常广泛和多样的。其中包括：金属的制取与精炼（不仅有轻金属与化学活泼的其他金属，也有重金属）、非金属的制取、电镀与扩散防腐涂层、金属表面处理、熔剂与除气剂、电渣熔炼、电焊、高温化学电源、玻璃熔接、单晶生长、离子熔体用作无机和有机反应的介质、工业废气中有毒杂质的净化、工业离子熔体的高温直接分析（电流滴定、极谱与计时电位测定等）。离子熔体的特殊应用领域是原子能方面。最后，作为离子熔体之一的炉渣，在火法冶金过程中起着重要的作用。

离子熔体的广泛应用，是由于它具有很高的导热与导电性能。在这类介质中，化学与电化学反应进行得非常快，因此，没有因相应过程的动力学原因所引起的能量损失。比如，离子熔体电解可以在电流密度达 10 安培/厘米^2 下进行。对水溶液来说，此值不超过 0.03 安培/厘米^2 。

在许多情况下，采用离子熔体是实现某些过程的唯一方法。利用热还原或电化学方法制取许多金属（碱金属与碱土金属、镁、铝、铍、镧系元素、钛、锆、钨与钼等）与非金属（硼、硅），即是这些过程之例。

除了基于应用离子熔体的现有工艺之外，以离子熔体为反应介质在工业规模内实现化学反应（无机反应与有机反应），也是非常前途的。

本书的内容在很大程度上是基于我们自己的研究。除第一章

外，所有各章都是这样。在第一章中，我们介绍了离子熔体化学问题的发展现状，既包括国内的，也包括国外的。在这一章内，对我们没有研究过的问题，叙述得更详细些；反之，对那些我们做出了一定贡献的部分，阐述得稍简略些，因为在后边介绍我们自己的研究时还要重新提起。

在本书中对许多问题只做很概括的讨论，详细情况在我们的其他书籍中有所叙述。

对于本书提出的所有批评意见，著者预先表示谢意。

目 录

译 序

原 序

第一章 离子熔体问题的现状	1
§ 1. 简史	1
§ 2. 国外在离子熔体化学方面的研究状况	5
§ 3. 离子熔体化学问题综述	14
§ 4. 离子熔体的结构性质	16
§ 5. 折射测量	17
§ 6. X射线照像与中子照像	18
§ 7. 电子光谱	22
§ 8. 振动光谱	23
§ 9. γ 射线和超声波对离子熔体的作用, 磁化率	25
§ 10. 离子熔体热力学 (概述)	27
§ 11. 模型概念	36
§ 12. 离子熔体的物理-化学性质	39
§ 13. 电动势与电极电位	43
§ 14. 金属-离子熔体的平衡, 金属在离子熔体中的溶解度	50
§ 15. 离子熔体中的电极过程动力学	56
§ 16. 极谱	62
§ 17. 电解	63
§ 18. 离子熔体中的化学过程	64
第二章 离子熔体的物理-化学性质	67
§ 1. 研究离子熔体物理-化学性质的目的	67
§ 2. 离子熔体的电导	67
§ 3. 离子熔体中的迁移数	77
§ 4. 新的物理化学分析方法	79
§ 5. 离子熔体振动光谱方面的研究	82
结论	89
第三章 离子熔体的热力学性质与热力学	92

§ 1. 离子熔体热力学方面的一般研究任务	92
§ 2. 高温相分析	92
§ 3. 离子熔体的物理-化学(热力学)性质	98
§ 4. 由氯化物组成的熔融体系的热力学性质	102
§ 5. 溶解在熔融偏磷酸钠中的金属氧化物的热力学性质	108
§ 6. 二氧化硅同苛性钠熔体相互作用的热力学	112
结论	112
第四章 离子熔体的分解电位	115
§ 1. 分解电位总述	115
§ 2. 分解电位测定方法	116
§ 3. 研究对象	118
§ 4. 熔融氟化物的分解电位	118
§ 5. 熔融氯化物的分解电位	120
§ 6. 熔融溴化物与碘化物的分解电位	124
§ 7. 某些氧化物的分解电位	124
§ 8. 离子熔体分解电位的某些特点	125
§ 9. 分解电位研究的主要结果	131
第五章 金属-离子熔体平衡	135
§ 1. 金属-离子熔体体系中的平衡总述	135
§ 2. 金属在熔盐中的溶解度	135
§ 3. 对偶互换反应	138
§ 4. 试验研究	139
结论	140
第六章 电极电位	142
§ 1. 离子熔体中电极电位的物理意义	142
§ 2. 参比电极	143
§ 3. 离子熔体的零电极	145
§ 4. 电极电位的求值	146
§ 5. 电极电位变化的基本规律	149
结论	152
第七章 离子熔体中的电化学动力学	154
§ 1. 离子熔体中电化学动力学的发展	154

§ 2. 电化学生动力学研究方法	154
§ 3. 双电层与金属的零电点	160
§ 4. 利用伏安特性研究电化学生动力学	164
§ 5. 交流测量	169
§ 6. 与交流电流测量有关的新现象	175
§ 7. 采用交流测量的研究结果	180
§ 8. 活化极化	188
§ 9. 计时电位法	191
§ 10. 在电化学生动力学方面的主要研究结果	200
第八章 离子熔体极谱	202
§ 1. 滴电极	202
§ 2. 在固体电极上离子熔体极谱的理论问题	203
§ 3. 极谱图的分析	206
§ 4. 离子熔体极谱方法的改进	209
§ 5. 普通极谱方面的研究	212
§ 6. 对流极谱方面的研究	223
§ 7. 示波极谱方面的研究	227
§ 8. 交流极谱方面的研究	228
§ 9. 化学分析测定	229
§ 10. 电化学生动力学中的极谱方法	229
§ 11. 在采用极谱方法的基础上解决某些任务	239
§ 12. 极谱研究的主要结果	241
第九章 离子熔体中的酸碱平衡	243
§ 1. 酸碱平衡总述	243
§ 2. 酸碱反应的电位测量研究	244
§ 3. 在酸碱平衡条件下离子还原动力学的计时电位法研究	246
§ 4. 在有酸碱平衡存在时的极谱研究	248
§ 5. 在有 O^{2-} 离子参加的酸碱平衡存在时电极过程的极谱研究	250
§ 6. 离子熔体中酸碱平衡研究的主要结果	256
第十章 研究离子熔体中络合物生成的电化学方法	257
§ 1. 离子熔体中的络合物生成	257
§ 2. 分解电位与离子熔体各组元间的化学相互作用	257

§ 3. 化学电池的研究	258
§ 4. 浓差电池的研究	259
§ 5. 络合物生成的极谱研究与计时电位法研究	264
§ 6. 络合物生成对电化学动力学的影响	266
§ 7. 离子熔体中络合物生成研究的主要结果	268
第十一章 离子熔体电解	269
§ 1. 离子熔体电解的任务	269
§ 2. 关于制取与精炼易熔重金属的总评	269
§ 3. 金属在离子熔体中溶解度方面的研究	270
§ 4. 金属间化合物过程与金属由阴极向阳极的转移	273
§ 5. 离子熔体中电极过程的某些特点	277
§ 6. 铅的制取与精炼	280
§ 7. 铋的制取与精炼	286
§ 8. 锡	289
§ 9. 重金属: 铜、银、铈	290
§ 10. 难熔金属	291
§ 11. 非金属	292
§ 12. 金属腐蚀	295
§ 13. 镀铝	295
§ 14. 镀锡	297
§ 15. 其他各种电镀	299
§ 16. 金属表面的电化学处理	300
结论	301
第十二章 离子熔体中的化学反应	303
§ 1. 离子熔体中化学反应的分类	303
§ 2. 金属同离子熔体的相互作用	303
§ 3. 金属氧化物同离子熔体的相互作用	304
§ 4. 络合物的热分析与热分解	307
§ 5. 某些其他化学反应	307
结论	308
参考文献	310

第一章 离子熔体问题的现状

§ 1. 简 史

离子熔体是一种包含除离子之外还有离子缔合体与一定的自由体积的高温液体。实际上,在离子熔体中包括熔盐(金属卤化物与含氧熔盐)、碱、氧化物、硫族化物以及由这些成分构成的体系。

离子熔体理论在如下几个方向上得到了发展: 1) 电化学研究; 2) 高温相分析; 3) 物理性质研究; 4) 离子熔体热力学; 5) 离子熔体中的化学反应。

最先的研究是在电化学性质方面。这些研究的兴起,是与戴维(H. Davy)的名字分不开的^[1],他在1807年首次记述了熔融碱(NaOH与KOH)的电解。在戴维之后不久,俄国化学家弗拉索夫(С.П. Власов)利用同样的方法得到了碱金属^[2]。

著名的M. 法拉第离子熔体电解试验开始于1833年^[3]。法拉第在玻璃弯管中熔化盐类并采用铂电极向熔体通入直流电。法拉第用这种方法电解了熔融碘化钾、氯化铅、碘化铅、氯化银、碘化锡。此外,他还研究了某些熔融氧化物(氧化铅,氧化铋)、硫化物与含氧盐(比如,硼砂)的电解。

法拉第最先把熔盐的分解电压概念引入科学。

1852年, R. 本生研究成功了熔盐电解制取碱土金属的方法。时隔三年, A. 马蒂森研究了熔融氯化物的电解并同本生一起创立了电解制镁法。这两位学者最先由熔融氯化物中析出了锂。

1854年, 森·克列尔·戴维里为制取铝而研究了熔融 $\text{NaCl}-\text{AlCl}_3$ 系的电解。在上一世纪的九十年代, 波尔赫斯与列勃研究出了基于电解含有铍化合物的熔融体系而制取铍的方法。

电解氧化铝-冰晶石($\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_3\text{AlF}_6$)熔体以制取铝,是

与 P. 埃鲁和 C. 霍尔的名字联系在一起的。如所周知, 这种方法获得了工业价值 (1890 年)。为了在工业上由熔融氢氧化钠制取金属钠, 最初提出了金属热还原法; 而后, 在 1891 年, 卡斯特奈尔研究成功了电解法。上一世纪后半段在熔盐电化学方面所进行的研究工作, 已在文献[4]中做了简要叙述。

在完成离子熔体电解的过程中, 产生过许多新的问题。电流效率极低, 发生所谓的阳极效应, 获得的阴极沉积物质量低劣等, 所有这些问题都很难解释。因此, 迫切地需要深入地从理论上对熔盐进行研究。

在本世纪末, 在法国由 L. 彭加勒, 德国由 R. 罗林茨开始了对于离子熔体的最基础而又最广泛的研究。彭加勒学派主要是从事熔盐电导与某些物理-化学性质的研究。这些工作见文献[5]。罗林茨学派在离子熔体电化学与物理化学方面做了广泛的研究。其中包括: 电解、分解电压、电池、金属在熔盐中的溶解, 以及离子熔体的物理-化学性质 (电导、粘度、密度)。1905 年, 罗林茨出版了三卷巨著《熔盐电解》[6], 这部著作到目前为止仍然没有失去其意义。罗林茨的工作广泛地被收集在耶格尔 (G. Eger) 阐述熔盐电解的专著[7]中。

而后, 德国的 P. 德罗斯巴赫建立了新的高温电化学学派; 这一学派的主要方向是研究熔盐电解时所发生的电极过程。德罗斯巴赫的专著《熔盐电化学》, 负有盛名[8]。

在苏联, 如果不考虑重复戴维试验的弗拉索夫的工作, 那么, 在离子熔体化学方面最先进行研究的, 要算 A. A. 别凯托夫 (Бекетов)[9]。他第一次建立了离子熔体中金属的电化学次序, 他称之为“金属的置换次序”。别凯托夫的工作给深入研究热法制取金属奠定了基础。B. И. 拉普申 (Лапшин)[10] 与 A. 鲍果罗德斯基 (Богородский)[11] 的工作有一定意义。前者研究了某些熔融氧化物与硫化物 (ZnO , B_2O_3 , Sb_2S_3 等) 的电解, 后者研究了熔融碱金属硝酸盐的电解与电导。在离子熔体电化学方面的基础研究, 要属 П. П. 费道切夫 (Федотьев)[12], 他建立了由冰晶

石-氧化铝熔体电解制铝的理论与实验基础。

费道切夫是离子熔体电化学方面列宁格勒学派的奠基人,对这个学派来说,电冶金方向是非常突出的。这一学派的代表(П.Ф.安蒂平,Г.А.阿布拉莫夫,В.М.古席科夫,И.И.那雷什金,Х.Л.斯特雷列茨,А.Ф.阿拉贝舍夫,Ю.В.巴伊马科夫,М.М.维丘科夫,А.А.科斯丘科夫,В.П.马绍维茨,А.Г.穆拉切夫斯基),在发展离子熔体电化学方面做出了重大贡献,并且在这个范围内编写了一系列有重要价值的专著〔13~18〕。这方面的研究,目前在以А.Ф.阿拉贝舍夫,А.Г.穆拉切夫斯基,М.М.维丘科夫为首的教研室进行。在全苏铝镁与电极工业设计研究院(ВАМИ),在Н.А.卡鲁什斯基与А.А.科斯丘科夫领导下,主要从事较为实际的研究。

按历史顺序,第二个中心是基辅。远在1911年,В.А.伊兹别科夫在这里开始了离子熔体的电化学研究。这些研究载于著作〔10,19~21〕中。В.А.伊兹别科夫所创立的学派(Ю.К.捷里马尔斯基,Е.М.斯科别茨,И.Г.乔夫内克,Б.Ф.马尔科夫,А.В.格罗第斯基,А.А.维里堪诺夫,О.Г.扎鲁毕茨基,В.И.沙鲍瓦尔等)发展了电极过程热力学和动力学,熔融电解质的物理化学,离子熔体的极谱与电解方面的研究。基辅学派还在离子熔体电化学方面拥有一系列专著〔22~30〕。

莫斯科学者(Е.А.乌科什,А.И.别略耶夫,Е.А.热姆丘仁娜,Л.А.费尔散诺娃,И.Т.古里金,А.Б.苏赤科夫,В.Б.布西-马楚卡斯,К.Я.格拉切夫)的研究,对于离子熔体电化学的发展具有重大影响。乌科什的主要工作是在离子熔体的双电层结构以及此介质中的阻抗测量方面。晚近,乌科什从事固体电解质的研究〔31〕。在这个领域内,其他莫斯科科学家的研究是在高温电冶金方面。有关这方面的专著〔15,32~37〕值得予以注意。稍后,在斯维尔德洛夫斯克出现一个大的高温电化学学派。它的主要奠基人是И.Г.塞尔巴科夫与С.В.卡尔帕切夫。这个学派的具有特色的科学方向是:离子熔体的电化学热力学,离子熔体电极过程

的机构、电结晶与物理-化学性质。这一学派的代表 (М.В.斯米尔诺夫, С.И.林别里, А.Н.巴拉鲍什金, Л.Е.伊万诺夫斯基, Н.Г.伊留申克, И.Ф.尼赤科夫, С.П.拉斯鲍宁, В.П.科切尔金等) 对离子熔体电化学有很重大的贡献^[38, 39]。

在斯维尔德洛夫斯克还有第二个在离子熔体电化学与物理化学方面的独创的流派。它的奠基人是О.А.叶新。叶新及其学生的主要研究目标是熔融氧化物与硫族化物体系。这一学派的代表 (П.В.盖尔德, Н.А.瓦托林, Б.М.列宾斯基赫, С.И.鲍别里, И.Т.斯雷瓦林, П.М.叔雷金, Г.А.托普里晓夫, Ю.Н.尼基琴, А.И.曼那科夫等) 在发展熔渣与熔铈的物理化学与电化学上有巨大贡献。概括这一学派工作的最大的专著, 要算书^[40]。

物理化学分析 (绘制组成-性质图), 特别是高温相分析, 是离子熔体化学方面的一个重要流派。

А.列-沙捷里最先研究了无水盐系的状态图。而后, Б.罗泽鲍姆, Г.汤曼, Е.印年科等做了详细的工作。物理化学分析的历史, 在书^[41]中有出色的叙述。

但是, 公正地说, 在广泛理解这一科学分支方面, Н.С.库尔纳科夫^[42]应是物理化学分析的奠基人。物理化学分析原理, 在重要专著^[43, 44]中有所叙述。物理化学分析的近代状况, 载于书^[44, 45]中。由Н.К.沃斯克列辛斯卡娅主编写出了盐系熔度图手册^[46]。除了库尔纳科夫之外, С.Ф.热姆楚什内, В.Я.阿诺索夫, В.П.拉吉谢夫, Н.К.沃斯克列辛斯卡娅, Н.П.鲁什娜, В.И.鲍谢巴伊科等在这方面也有很大贡献。顿河罗斯托夫 (А.Г.别尔格曼, И.Н.别略耶夫, Г.А.布哈罗娃, П.И.普罗琴克等) 在熔盐与氧化物体系的物理化学分析方面, 也进行了许多研究。

离子熔体物理-化学性质的研究, 是离子熔体化学的重要方向之一。此项研究可分为如下几部分: а) 热力学性质; б) 传输性质; в) 光学性质。在研究电化学性质的同时, 照例要研究热力学性质与传输性质。这些研究远在上一个世纪的下半叶就已经开始并延续至今。这个问题的状况, 在离子熔体化学发展的不同历史阶段,

专著〔5~7,13,22,29,33,40,41,47,48〕做了阐述。

离子熔体光学性质的研究,起步很晚。这些研究的目的是企图了解离子熔体的结构。首批评述文章,出现在1964年〔49~51〕。在苏联,早在五十年代就开始了离子熔体的X射线研究,而在七十年代,开始了电子光谱研究。目前,这些研究在斯维尔德罗夫斯克由M.B.斯米尔诺夫,在基辅由C.B.沃罗科夫与B.Д.普里夏什内进行。关于这个问题的总结,包括在专著〔52〕中。

最初在离子熔体热力学方面的研究,是与高温相分析分不开的。G.汤曼与J.F.史列德尔的工作就属于这方面。由J.海尔德布兰德完成的进一步研究,是在测定热力学函数与发展离子熔体的活度理论方面。有关离子熔体热力学方面的总结性专著,是A.布洛克-鲍尔泰因与J.拉姆斯登〔54〕写出的。在苏联,热力学方面的基础研究,是在基辅(Б.Ф.马尔科夫),克拉斯诺达尔(И.Т.斯雷瓦林)与斯维尔德罗夫斯克(M.B.斯米尔诺夫)进行的。马尔科夫及其学生的工作反映在专著〔55〕中。

离子熔体中化学反应的研究开始较晚。这个问题的状况,在综述文章〔56〕中有所反映。

§ 2. 国外在离子熔体化学方面的研究状况

由五十年代开始,在**英国**,在离子熔体化学方面,进行了最紧张的研究。这项研究的中心是帝国学院(伦敦)。在这里,发展了两个大的流派:热力学派与电化学派。第一个流派由A.阿布洛德领导。这一派的研究特点是考查盐系的熔化过程与确定离子熔体的热力学性质与结构之间的关系〔57〕。阿布洛德死后,由七十年代开始,这方面的研究在很大程度上缩减了,尽管还在继续着(L.布德柯克, E.罗德)。电化学流派是由J.鲍克里斯建立起来的。

鲍克里斯学派从事研究的主要问题是:离子熔体的结构,离子熔体的试验技术,离子熔体中的电化学动力学〔58~60〕。在高温电化学方面,鲍克里斯学派是世界上最好的学派之一。这一学派

的代表 (G.海尔斯, D.音曼, K.江森, J.托姆林申, J.马肯兹等) 以自己在离子熔体物理化学方面的研究而为大家所熟知。

鲍克里斯到美国之后, 在英国仍然保留如下几个从事离子熔体电化学方面研究工作的中心。

1. 伦敦, 帝国学院 (D.音曼, D.罗维林格)。
2. 布里斯特尔, 帝国熔炼公司 (J.拉姆斯登)。
3. 骚桑普敦, 大学 (G.海尔斯)。
4. 莱塞海德, 电工研究所 (A.哈尔特)。
5. 捷拉克劳斯, 英国铝业公司研究所 (R.兰斯莱等)。
6. 格拉斯哥, 科技学院 (E.泰勒, H.贝尔等)。
7. 剑桥, 大学 (L.维德柯克)。
8. 阿贝丁, 大学 (M.音格莱姆)。

最大规模的研究工作是在G.海尔斯与D.音曼的试验室中进行的^[61]。

挪威 很久以来挪威就以自己在离子熔体物理化学方面的研究而驰名于世。H.福路德 (Flood) 是高温电化学家挪威学派的奠基人。福路德及其学生 (K.格洛泰姆, T.佛兰德, J.科罗-莫伊, S.维奈斯, A.缪恩, J.通斯塔, R.屠诺尔德, H.鄂耶等) 已为专业工作者所熟知。他们的研究包罗了离子熔体化学问题的广泛范围 (热力学, 电池电动势, 离子熔体结构, 离子熔体电解, 电冶铝等)。这些方面以及H.福路德本人的工作反映在专集〔62〕中。研究工作主要是在特隆海姆 (工业大学) 与奥斯陆 (大学) 进行的。

瑞典 在这个国家, 离子熔体化学方面的研究主要是在耶特堡 (大学) 在A.林敦领导下进行的。他的工作是与离子在熔盐中的迁移和移动有关。

荷兰 在这个国家, 在离子熔体物理化学方面建立起一个大的学派, 它的基地是阿姆斯特丹大学。学派的领导人A.卡切拉尔和他的许多学生, 以自己在熔盐热力学、物理化学与电化学方面的研究而为大家所熟知 (S.米海尔孙, R.罗林茨)。

比利时 在比利时，关于离子熔体化学方面的研究进行得较早。近来，在这方面最有名的学者是R.维南德和A.冯塔那。主要的工作是在电化学动力学和参比电极的选择方面。

法国 这个国家以自己在离子熔体化学方面的广泛研究而著称。关于彭加勒及其学派的工作，上边已经谈过。最近，最大的学派是在格勒诺布尔由C.安德列建立起来的。研究熔盐体系电解，是这一学派的特点。用这种方法析出了许多金属与非金属。M.杜捷罗，M.安德列-巴尔别，M.谢姆拉，F.兰泰姆都属于这一学派。在进行离子化学研究的其他大学中心里，要提到巴黎大学，在这里工作的有：E.达尔米亚，C.莫兰，M.荷拉基科，C.蒲济，P.麦尔哥，C.沙罗，B.特列明，M.谢姆拉，F.兰泰姆。

达尔米亚，莫兰与赫拉基科的工作，主要是在离子熔体传输性质与在此种介质中的电化学动力学方面。这些工作均载于专著〔5〕中。蒲济的研究是在离子熔体的冰点下降测量方面〔63〕。

麦尔哥从事离子熔体电解时的阳极效应与阴极效应的研究。

沙罗与特列明在离子熔体中的化学平衡与化学反应问题上，完成了大量研究工作。他们的主要结果在专著〔64〕中有所阐述。

谢姆拉与兰泰姆主要是利用放射性同位素研究离子熔体的传输性质。

在斯特拉斯堡（大学），在C.布林奈尔的领导下正在研究用于建立高温电源的熔融电解质的物理-化学性质与电化学性质。除大学外，在法国的许多科学研究中心也在进行着离子熔体化学方面的研究。其中最大并且多方面的研究工作是在萨克尔的原子中心（A.科里乌，M.邵彭，C.捷拉留等）与彼斯涅-库尔曼公司的科学中心（M.罗林，M.雷伊，C.丹涅尔等）进行的。

离子熔体热力学方面的研究，在马赛的热力学研究所（A.泰特）进行。离子熔体结构方面的研究工作（采用光谱方法），由德申霍宾研究中心的E.扎尔瑞茨基等在进行。