

曾昭掄主編

元素有机化学

第三分冊

有机硼化合物化学

科学出版社

曾昭掄 主编

元素有机化学

第三分册 有机硼化合物化学

董世华 编著

黄耀曾 审阅
高振衡

科学出版社

1965

内 容 简 介

本书主要供科学研究工作者参考,也可供教学工作参考。

全书共分六篇,分六册出版:(一)通论,(二)有机氟,(三)有机硼,(四)有机磷,(五)有机硅,(六)金属有机化合物。

本册共分十七章,比较全面地总结了有机硼化学方面的研究工作,国内外文献引用到1964年底。本册内容包括基本理论和基本化学反应,对于一些典型的重要化合物附有具体的实验操作方法,对我国科学工作者在有机硼化学方面的研究工作也扼要地作了介绍。

元 素 有 机 化 学

第三分册 有机硼化合物化学

曾 昭 掄 主 编

董 世 华 编 著

黄 耀 曾 审 阅
高 振 衡

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1965 年 11 月第 一 版

开本: 850×1168 1/32

1965 年 11 月第一次印刷

印张: 14 7/16

精装: 0001—1,720

插页: 3

平装: 0001—1,930

字数: 385,000

统一书号: 13031·2194

本社书号: 3339·13—4

定价: [科六] 精装本 2.70 元
平装本 2.20 元

目 录

第一章 绪论	1
第一节 有机硼化合物化学的发展简史	1
第二节 有机硼化合物化学的文献简介	4
第三节 有机硼化学的展望	5
第四节 有机硼化合物的分类及命名	6
第五节 有机硼化合物的分析	6
参考文献	7
附录: 关于有机硼化学及硼烷的一些综论	8
第二章 单质硼及与有机硼化合物有关的一些无机硼化合物	11
第一节 硼的重要性	11
第二节 硼的资源	11
第三节 硼的提炼	12
第四节 硼的电子结构与化学键	13
第五节 单质硼的性质	18
第六节 硼的同位素	19
第七节 金属硼氢化合物	20
第八节 硼的卤化物以及它们与有机化合物的络合物	23
第九节 氧化硼	29
第十节 硼酸及有关化合物	30
第十一节 金属硼化物	33
参考文献	35
第三章 硼氢化合物(硼烷)及其烷基衍生物	37
第一节 硼烷	37

第二节 羟基硼烷	67
第三节 硼烷的主要用途	78
第四节 硼烷的生理性质	79
第五节 制备和使用硼烷时应注意的事项	80
参考文献	80
第四章 硼酸酯	84
第一节 正硼酸酯	84
第二节 多元醇的正硼酸酯和螯形的正硼酸酯	98
第三节 非对称硼酸酯和正硼酸酐基酯	99
第四节 偏硼酸酯及有机硼过氧化物	102
第五节 卤硼酸酯	106
参考文献	112
第五章 三烷基硼	116
第一节 三烷基硼的制备方法	116
第二节 三烷基硼的性质	123
第三节 用三烷基硼引发聚合反应	139
第四节 四配位价硼化合物	140
第五节 联硼烷及乙撑二硼烷衍生物; 偶硼苯	141
参考文献	143
第六章 羟基硼酸及其衍生物	147
第一节 羟基硼酸的制备方法	147
第二节 羟基硼酸的性质	153
第三节 羟基硼酸酯的制备方法	167
第四节 羟基硼酸酯的性质	169
第五节 羟基硼酸酐的制备和性质	184
第六节 次烷基二硼酸	191
参考文献	195
第七章 烷基卤硼烷	201
第一节 烷基卤硼烷的制备方法	201
第二节 烷基卤硼烷的性质	207
参考文献	217
第八章 烷基卤硼酸酯	221

第一节	烷基卤硼酸酯的制备方法	221
第二节	烷基卤硼酸酯的性质	222
	参考文献	227
第九章	氨基(胺基)硼烷及其衍生物	228
第一节	一氨基(胺基)硼烷及其衍生物	228
第二节	二氨基(胺基)硼烷及其衍生物	235
第三节	三氨基(胺基)硼烷及其衍生物	238
第四节	四胺基联硼烷	241
	参考文献	242
第十章	胺基卤硼烷	244
	参考文献	248
第十一章	硼氮环及其衍生物	249
第一节	硼氮六环的制备方法及性质	249
第二节	B-卤代硼氮六环	254
第三节	烷基取代的硼氮六环	257
第四节	硼氮八环及硼氮四环衍生物	267
	参考文献	269
第十二章	硼杂环	272
第一节	硼杂环的合成方法	273
第二节	含有硼杂环的化合物的物理常数	295
	参考文献	324
第十三章	含硫、硒的有机硼化合物	327
第一节	硫代硼酸酯	327
第二节	烷基硫代硼酸酯	330
第三节	硼硫六环	336
第四节	硼硒杂环	337
	参考文献	337
第十四章	含磷、砷的有机硼化合物	339
	参考文献	346
第十五章	笼形硼化合物	348
第一节	笼形硼氢阴离子及其衍生物	348
第二节	卡硼烷	354

参考文献	392
第十六章 有机硼高分子化合物	395
第一节 主链为 C—C 链, 侧链含硼的高分子	395
第二节 主链为含硼杂链的高分子	399
第三节 含有卡十硼烷基团的高分子	434
参考文献	437
第十七章 测定硼化合物结构的物理方法	443
第一节 有机硼化合物的克分子折射度	443
第二节 硼化合物的红外光谱及核磁共振	444
参考文献	448
附: 实验索引	7
实验 3-1 有机硼化合物的定量分析	7
实验 3-2 正硼酸三正丁酯的制备	86
实验 3-3 三正丁基硼的制备	118
实验 3-4 正丙基-二正丁基硼的制备	120
实验 3-5 三正己基硼的制备	121
实验 3-6 正丁基硼酸正丁酯的制备	168
实验 3-7 正丙基苯硼酸异丁酯的合成	168
实验 3-8 二正丁基氯硼烷的制备	206
实验 3-9 B-三对氯苯基硼氮六环的制备	259
实验 3-10 B-三异丙基硼氮六环的制备	262
作者索引	450
内容索引	452

第 一 章

緒 論

第一节 有机硼化合物化学的发展简史

(一) 有机硼化合物化学的发展简史

早在 1846 年埃勃曼(Ebelman)和波格(Bouquet)就曾合成了有机硼化合物^[1,2],但当时由于技术设备的限制没有得到纯的物质,因而对它们的系统研究受到了阻碍。直到 1921 年斯塔克(A. Stock)解决了低温真空分馏后^[3],才得到了纯净的有机硼化合物。由于近代工农业发展的需要,以及尖端科学技术新的特殊要求(如需要耐高温、吸收中子辐射及具有高机械强度的材料),有机硼化合物的化学(简称有机硼化学)得到了迅速的发展。近年来,新的合成方法及基本理论的研究工作正在迅速展开,有机硼化学已渐渐发展成为有机化学中一个独立的学科。这也充分证明了工农业生产实践的需要是真正推动科学事业发展的主要动力。

有机硼化学虽已有一百多年的历史,但主要在近十年来才有迅速的发展。它的发展大体上可划分为三个阶段: 第一阶段是 1921 年以前,只是一些零星的工作;第二阶段是 1921—1955 年,是有机硼化学开始打下基础的阶段;第三阶段是从 1956 年到现在,是有机硼化学迅速发展的阶段。兹列成年表如表 3-1。

(二) 有机硼化合物的应用

有机硼化合物的研究有助于发展有机化学的基本理论,同时

表 3-1 有机硼化学发展的阶段

年 份	科 学 家	重 要 贡 献
第 一 阶 段		
1846	法,埃勃曼 (Ebelman) 和波格 (Bouquet)	第一次合成了广义的有机硼化合物,他们利用三氯化硼和醇的作用合成了正硼酸酯
1856	罗瑟 (H. Rose)	找到用硼砂合成正硼酸酯的新方法
1859	英,佛朗克兰 (E. Frankland) 和都拔 (B. F. Duppa)	第一次合成了 B—C 键的有机硼化合物。他们用有机锌化合物合成三烷基硼,同时比较系统地研究了它们的化学性质,并且第一次由三烷基硼的氧化得到第一个一烷基硼酸 $[RB(OH)_2]$
1867	德,息夫 (H. Schiff)	找到了用氧化硼和醇的作用直接合成正硼酸酯的新方法和通过酯交换反应制取高级硼酸酯的反应,为合成有机硼化合物创造了条件
1880	德,米哈艾利斯 (A. Michaelis) 和贝克尔 (P. Becker)	首先利用金属有机化合物 (二芳基汞)合成芳基卤硼烷
1881	琼斯 (Jonse)	发现硼氢化合物(硼烷)
1894	加赛林 (V. Gasselin)	从三氯化硼与正硼酸酯合成含氟的有机硼化合物
1909	俄,哈钦斯基 (E. Хотинский) 和麦拉麦德 (M. Меламед)	第一次用格氏试剂合成有机硼化合物
第 二 阶 段		
1921—1936	德,斯塔克	第一个合成四硼烷,并且创立了低温真空蒸馏技术,因而得到了一系列的硼烷,并开始对有机硼化合物作系统的研究工作
1921—1932	德,克劳斯 (E. Krause)	系统地研究了有机硼化合物,为有机硼化学奠定了基础
1931—1959	美,希来辛格尔 (H. I. Schlesinger)	研究了无机及有机硼化合物
1931—1962	美,维勃 (E. Wiberg) (第二次大战后在西德)	对有机硼化合物的合成方法及物理性质进行了系统的研究

(續) 表 3-1

年 份	科 学 家	重 要 贡 献
1936 至现在 1942—1947	美, 伯格 (A. B. Burg) 美, 勃朗 (H. C. Brown)	系统研究了有机硼化合物 从三甲基硼与胺所成配位络合物的研究, 利用挥发性的三烷基硼系统地研究了诱导效应及空间效应对配位络合物稳定性的影响, 提出了空间张力的观念
1945—1961	美, 赫德 (D. T. Hurd)	研究有机硼化学, 于 1954 年发现硼氢化反应
1950 至现在 1951 至现在	英, 柯兹 (G. E. Coates) 英, 拉佩特 (M. F. Lappert) 英, 哲拉德 (G. Gerrard)	关于有机硼化合物的系统研究 同 上 同 上
1954	瑞典, 托尔赛尔 (K. Torssell)	第一次将锂试剂应用到有机硼化合物的合成

第 三 阶 段

1954 至现在	苏, 米哈依洛夫 (B. M. Михайлов)	对有机硼化合物进行系统的研究, 合成了许多新型有机硼化合物, 广泛地用锂试剂合成不对称的硼化合物, 并提出它们的反应机理
1957	西德, 居斯特 (R. Köster)	用三烷基铝合成三烷基硼
1957	苏, 柯列斯尼柯夫 (Г. С. Колесников)	发现三烷基硼是不饱和烯烃的聚合催化剂
1958	美, 勃朗	用硼氢化反应进行合成
1959	英, 保恩 (C. E. H. Bawn)	提出了三烷基硼引发甲基丙烯酸甲酯聚合的机理
1958 至现在	英, 狄瓦 (M. J. S. Dewar) (现在美国)	系统地研究硼杂环
1958 至现在 1960 至现在	英, 霍利兑 (A. K. Holliday) 美, 勃朗	关于有机硼化合物的系统研究 系统地研究硼氢化反应, 提出了四中心反应机理的观念, 并将硼氢化反应应用在立体化学的研究上
1960	苏, 涅斯米扬诺夫 (A. H. Несмеянов)	合成了第一个带有二茂铁基的硼化合物, 并将它应用在二茂铁基的其他金属有机化合物的合成
1961	美, 威廉姆斯 (R. E. Williams) 等	让五硼烷-9 与乙炔通过静电放电装置, 得到由硼和碳组成的笼形结构的化合物, 卡硼烷
1963	苏, 查哈尔金 (Л. И. Захаркин) 等	发现卡十硼烷

它是在与国民经济的需要紧密联系下发展起来的学科。有机硼化合物主要用途有以下各方面:

(1) 有机硼高分子可用以制造模塑粉、封接剂及清漆涂料等,例如聚乙烯醇的硼酸酯。硼酸与羟基化天然橡胶的反应物用作制造层压塑料、封接剂及涂料的原料。

(2) 有机硼高分子有可能用作耐高温、吸收中子辐射及高机械性能的合成材料。

(3) 含硼同位素 B^{10} 的有机化合物可用为肿瘤治疗剂。

(4) 含富 B^{10} 的有机硼化合物可用作记录中子的液体萤光闪烁体^[4,5]。

(5) 硼烷和它们的烃基衍生物可用作高能燃料。

(6) 取代烃基硼酸可用作杀菌剂和植物刺激剂^[20],例如含硼杂环化合物及芳基硼酸类型的有些化合物据称有杀菌性能(例如苯基硼酸、 α -萘硼酸等)。

(7) 三烷基硼,特别是三正丁基硼是一种相当好的聚合催化剂。

第二节 有机硼化合物化学的文献简介

关于有机硼化合物的文献,从1956年起才开始突然多起来,这方面的专门著作基本上都是最近几年才出版的。1961年以来,关于有机硼化合物化学,先后出版有哲拉德^[6]、涅斯米扬诺夫和索柯里克(P. A. Соколик)^[7]及斯坦因伯格(H. Steinberg)^[8]等的三部曲,另外在柯兹的:“金属有机化合物”^[9]一书中有扼要的总结。更专门些的书籍有勃朗的:“硼氢化反应”^[10](另外还有一本这方面的论文集^[12]),利普斯孔(W. N. Lipscomb)的:“硼氢化合物”^[11],戈尔德主编的:“硼氮化合物”^[13],和尼滕齐(K. Niedenzu)等编的:“硼氮化合物”^[13a],从1964年起,还出版有“硼化学的进展”^[14]丛刊。

关于有机硼化学的一些发展较快的方面以及硼烷,近年来在

国内外期刊、丛刊以及年刊上出现了一些综论,从这里面选出一部分重要的,作为附录,列于本章之末¹⁾。

第三节 有机硼化学的展望

虽然有机硼化学还是一门年轻的学科,但根据最近情况瞻望前途,无疑地它将会有更大的发展。这方面的发展必然会有利于工农业的生产,同时也会使科学理论得到提高。现在根据我们所见到的资料和体会作如下不全面的初步估计。

1. 有机硼化合物的合成 有机硼化合物中一般都是不太稳定的化合物,近年来借引入给电子基团的原子使在化合物内形成共价配键或在分子间形成共价配键的方法,来增加有机硼化合物的稳定性。从硼杂环最近的研究看来,合成的这类具有大 π 共轭的硼杂环是一类具有芳香性的化合物,它们一般都具有较高的稳定性。看来合成具有芳香性的硼杂环将是制备更稳定的硼化合物的一个重要途径。同时,在这类化合物中有可能找到有用的肿瘤治疗剂。

2. 有机硼高分子化合物的合成 过去合成的有机硼高分子多数是含 B—O 键的缩聚物,一般对水解稳定性较差。最近几年来侧重在主链中引入硼氮六环的高聚物,在这方面已经取得了一定的成绩。特别是取代硼氮六环与含其他杂原子(如磷、硅)单体或不合其他杂原子的单体共缩聚来制得耐高温和对水稳定的聚合物是一条重要的途径。为了得到耐更高温度的高分子化合物和吸收中子的材料,用含硼单体与其他单体缩聚合成在主链中带有芳香性的硼杂环是今后进一步研究的方向。聚硼杂咪唑啉的合成以及它的高度热稳定性正是这方面一个重要的例子。这个类型的化合物可期望是一种闪烁体材料。发展带有卡十硼烷基团的高分子似有广阔前途。

3. 硼氢化反应的应用^[10,16] 利用硼氢化反应来合成有机硼化

1) 关于有机硼化学的若干新进展,1961年曾有一篇报导^[17]。

合物和一般有机化合物，以及将这个反应应用在立体化学研究方面，仍然是今后发展有机硼化学的方向。此外，对于寻找新的合成方法还有不少工作可做。

第四节 有机硼化合物的分类及命名

有机硼化合物是按照化合物中所含的功能基来分类的，按此可分成烷基硼烷、烷基卤硼烷、烷基硼酸、烷基硼酸酯、烷基卤硼酸酯、硼酸酯、卤硼酸酯、烷基硫硼酸酯、氨基（或胺基）硼烷、烷基氨基（或胺基）硼烷、取代硼氮环、硼杂环，等等；它们也可以按照硼原子上所带的烷基的种类分成脂肪族和芳香族两大类，二者都包括饱和的及不饱和的两类化合物。

关于有机硼化合物的命名方法主要是以硼酸或硼烷为母体，然后在它们前面加上取代基团的名称。详细的命名原则参看本书第一分册，第 69 页。

第五节 有机硼化合物的分析^[7,17,18]

1. 定性分析 有机硼化合物的定性分析中有两种常用的方法。

(i) 焰色反应：将有机硼化合物样品在铂丝上于空气中直接燃烧，则呈绿色火焰。这个方法只适用于易挥发性的有机硼化合物，对于不挥发的化合物则不明显。

(ii) 姜黄试纸反应：将有机硼化合物用三角瓶燃烧法（或称氧瓶法）分解后，用水吸收，取吸收液加入酸酸化，将它滴于姜黄试纸上，烘干呈棕红色。再加碱则试纸由棕色变为绿黑色。

2. 定量分析¹⁾ 有机硼化合物的定量分析一般多采用微量或半微量分析。首先将有机硼化合物分解成硼酸或硼酸盐，然后再

1) 关于有机硼的定量分析在涅斯米扬诺夫的著作^[7]中已概括地总结了到 1961 年底的文献。

测定硼酸根离子。有机硼化合物的分解方法有：(1) 过氧化氢存在下的湿法氧化^[19]；(2) 与过氧化钠或高氯酸钠在一起的熔化解法；(3) 氧瓶法^[18]。这三种方法中以氧瓶法为最简便，也是目前普遍采用的。其原理是将有机硼化合物在铂丝上于氧气中燃烧，生成了氧化硼，它被吸收液吸收生成硼酸。对于样品燃烧后的硼酸根离子的测定有重量法、容量法和比色法等，其中以容量法为最简便。

[实验 3-1]

有机硼化合物的定量分析 用薄壁安瓿瓶称取 3—5 毫克样品（固体可以直接称在无灰滤纸中），然后用滤纸包好，缠在 500 毫升石英燃烧瓶的铂丝上，瓶内加入 10 毫升水作为吸收液，通入氧气直到充满燃烧瓶为止，点燃包样品的滤纸头（若为液体样品，需在点燃前小心打破安瓿瓶）插入瓶内。压紧瓶塞，慢慢倒转瓶子，使吸收液将瓶塞封住，样品在上部空间燃烧。燃烧完毕，摇动 15 分钟，使分解所产生的气体被全部吸收。将吸收液转入 50 毫升的三角瓶（锥形）中，以蒸馏水洗滌燃烧瓶和瓶塞，最后总体积约为 25 毫升左右。加入 0.25 毫升 3N 的盐酸酸化，使溶液 $\text{pH} = 2-3$ （如样品中含有铁时，需加入 3N 的氢氧化钠，在 $\text{pH} = 11$ 时滤去氢氧化铁的沉淀后，再加盐酸酸化使达到 $\text{pH} = 2-3$ ），通入氮气 30 分钟以除去溶于溶液中的二氧化碳，加入 0.1% 的甲基红 5 滴作指示剂，用稀氢氧化钠和稀硫酸调节到溶液 $\text{pH} \approx 5.5$ 左右，此时甲基红由红色变成黄色。加入 3 克甘露醇，并加 2 滴 1% 酚酞作指示剂，用 0.01—0.05N 的氢氧化钠滴定到酚酞呈粉红色。结果按下式计算：

$$\%B = \frac{0.01082 \times (V_1 - V_2)N}{w} \times 100\%$$

式中： V_1 = 滴定样品所用的 NaOH 的毫升数，

V_2 = 空白实验所用的 NaOH 的毫升数，

N = NaOH 的当量浓度，

w = 样品的重量，以克计，

0.01082 = 硼的毫克当量。

参 考 文 献

- [1] Ebelman and Bouquet, *Ann. Chim. (phys.)* (3), 17, 54 (1846).
- [2] Ebelman and Bouquet, *Ann.*, 60, 251 (1846).
- [3] A. Stock, *Ber.*, 54A, 142 (1921).

- [4] A. Н. Никитина, М. А. Таланая, Б. М. Аронович, Т. А. Щеголева и Б. М. Михайлов, *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **22**, 12 (1958).
- [5] E. Levens and R. M. Washburn, 美国专利, 2,875,236 (1959).
- [6] W. Gerrard: "The Organic Chemistry of Boron", Academic Press, New York, 1961.
- [7] А. Н. Несмеянов и Р. А. Соколик, *Методы элементо-органической химии. бор, алюминий, галлий, индий, таллий*. Москва, Издательство «Наука», 1964.
- [8] H. Steinberg, "Organoboron Chemistry", 3, Vols., Interscience Publishers, New York, 1964.
- [9] G. E. Coates: "Organo-Metallic Compounds", 2nd. Ed., Methuen, London, 1960 (88—126 页讨论有机硼化合物).
- [10] H. C. Brown: "Hydroboration", W. A. Benjamin, New York, 1962.
- [11] W. N. Lipscomb: "Boron Hydrides", W. J. Benjamin, New York, 1963.
- [12] 施来辛格等著, 彭庆勋等译: "硼氢化合物化学", 科学出版社, 1965.
- [13] R. F. Gould (Ed.): "Boron-Nitrogen Compounds", *Advances in Chemistry Series*, No. 42, Am. Chem. Soc., Washington D. C., 1963.
- [13a] K. Niedenzu and J. W. Dawson: "Boron-Nitrogen Compounds" Springer, 1965.
- [14] "Progress in Boron Chemistry", Edited by H. Steinberg and A. L. McClosky, Pergamon Press, London, 1964.
- [15] *Proc. Chem. Soc.*, **1961**, 194—6.
- [16] 张 政, 化学通报, **1962** (12), 710—716; 黄耀曾, 化学通报, **1964** (1), 4—6.
- [17] 汪葆藩等编: "分析化学", 上册, 人民教育出版社, 1962, 264—5.
- [18] 胡振元, 化学通报, **1959** (7), 319.
- [19] J. R. Johnson and M. G. van Campen, Jr., *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 121 (1964).
- [20] K. Torsell, *Arkiv Kemi.*, **10**, 529 (1957).

附录: 关于有机硼化学及硼烷的一些综论

一、较全面的综述

- M. F. Lappert, *Chem. Rev.*, **56**, 959—1064 (1950).
- Б. М. Михайлов, *Усп. хим.*, **28**, 1450—1487 (1959).
- R. M. Adams, in "Metal-Organic Compounds" (*Advances in Chemistry Series*, No. 23), Am. Chem. Soc., Washington D. C., 1959, 87—101.

二、硼烷

- 林克峯: "硼烷化学", 化学通报, **1960** (1), 11—19.
- Б. М. Михайлов, *Усп. хим.*, **31**, 417—451 (1962).
- 黄 梁: "硼烷的烃基化", 化学通报, **1962** (5), 257—264.
- R. 马丁 (Martin): "硼烷燃料的发展", 化学通报, **1961** (2), 89—96.
- R. A. 卡宴特 (Carpenter): "硼化学工艺的发展", 化学通报, **1959** (8), 358—364.
- W. N. Lipscomb, in "Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry",

- Vol. 1, Academic Press, New York, 1959, 117—221.
- F. G. A. Stone, *Quart. Rev.*, **9**, 174 (1955); *Chem. Rev.*, **58**, 101 (1958).
- F. G. A. Stone, in "Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry", Vol. 2, Academic Press, New York, 1960, 279—313.
- G. W. Campbell, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 167—201 (1964).
- M. F. Hawthorne, in: "Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry", Vol. 5, Academic Press, New York, 1963, 307—345. (十硼烷-14 和它的衍生物).

三、硼氢化反应¹⁾

张 政, 化学通报, **1962** (12), 710—716.

四、四卤化二硼及其他含有 B—B 键的有关化合物

- A. K. Holliday and A. G. Massey, *Chem. Rev.*, **62**, 303—318 (1962).
- R. J. Brotherlon, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 1—81 (1964).

五、三氯化硼与有机化合物的作用

W. Gerrard and M. F. Lappert, *Chem. Rev.*, **58**, 1081—1111 (1958).

六、硼化合物所成的配位化合物

- D. R. Martin, *Chem. Rev.*, **34**, 461—473 (1944); **42**, 581—599 (1948) (与有机化合物).
- T. D. Coyle and F. G. A. Stone, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 83—166 (1964) (与无机或有机化合物).

七、硼酸酯

R. M. Washburn, *et al.*, in "Metal-Organic Compounds", Am. Chem. Soc., 1959, 129—157.

八、有机硼的过氧化物

A. G. Davies, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 265—288 (1964).

九、重氮烷与硼化合物的作用

C. E. H. Bawn and A. Ledwith, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 345—368 (1964).

十、烃基硼酸

- K. Torssel, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. 1, 369—415 (1964).
- R. M. Washburn, *et al.*, in "Metal-Organic Compounds", Am. Chem. Soc., 1959, 102—158. (苯基硼酸的制备、性质及用途).

十一、硼氮六环衍生物

J. D. Commerford, *et al.*, in "Metal-Organic Compounds", Am. Chem. Soc., 1959, 158—162. (三甲氧基硼氮六环).

1) 另外在国外期刊上还发表过若干篇这方面的综论。

十二、氨基硼烷及其衍生物

K. Niedenzu, *Angew. Chem.*, **76**, 168—175 (1964).

十三、硼杂环

P. M. Maitis, *Chem. Rev.*, **62**, 223—245 (1962).

R. Köster, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. **1**, 289—344 (1964).

M. J. S. Dewar, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. **1**, 235—263 (1965).
(芳香性的硼杂环).

十四、硼氮六环

吴永仁, 化学通报, **1960** (6), 312—321.

Б. М. Михайлов, *Усп. хим.*, **29**, 972—992 (1960).

E. K. Mellon, Jr., and I. J. Lagowski, in "Advances in Inorganic Chemistry and Radiochemistry", Vol. **5**, Academic Press, New York, 1963, 259—305.

十五、卡硼烷

田尔琇, 化学通报, **1964** (10), 598—605, 586.

Angew. Chem., **76**, No. 5 (*Nachr. Chem. Techn.*, **12**, 95—96) (1964).

十六、不饱和有机硼化合物

A. В. Топчиев, А. А. Прохорова и М. В. Курашев, *Усп. хим.*, **33**, 1033—1050 (1964),

十七、有机硼高聚物

W. Gerrard, *J. Oil & Colour Chemist's Assoc.*, **42**, 625 (1959).

В. А. Замяткина и Н. К. Бекосова *Усп. хим.*, **30**, 48 (1961).

沈宏康, 化学通报, **1962** (9), 530—543, 571.

沈宏康, 河北大学学报(自然科学版), **1963** (2), 59—79; **1964** (3), 91—127.

十八、硼化合物用于治疗癌症

A. H. Soloway, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. **1**, 203—234 (1964).

十九、硼化合物的核磁共振

R. Schaeffer, in "Progress in Boron Chemistry", Vol. **1**, 417—462 (1962).