

# 高等分析化学

W. 瓦格奈尔等著

科学出版社



5416  
159

# 高等分析化学

W. 瓦格奈尔等著

刘少陵 田笠卿 译

科学出版社

WALTER WAGNER, CLARENCE J. HULL AND  
GERALD E. MARKLE  
ADVANCED ANALYTICAL CHEMISTRY  
Reinhold Publishing Corporation, New York  
1956

DL75/15  
內容簡介

本书首先叙述了分析化学上的重要理论及仪器分析方法,包括有机试剂、气体分析、比色法、极谱分析、色层分析、热解重量分析、放射化学、统计学,其次是按照周期系排列的次序,叙述了69种元素的重要的、经典的和最新的分析方法,包括分离、鉴定和测定,可供分析化学专业的师生以及从事化学分析的工作者及研究人员参考之用。

## 高等分析化学

W. 瓦格奈尔 等著  
刘步陵 田笠卿 译

\*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街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 新华书店总经销

\*

1960年9月第一版 书号:2281 字数:255,000  
1960年9月第一次印刷 开本:787×1092 1/27  
(京)00001—14,900 印张:10 24/27 插页:8

定价:1.30元

## 序 言

在許多大学,例如 Detroit 大学,化学系新的研究生为取得科学硕士学位需要在四个主要化学领域中滿足某些規定的要求。为了滿足分析化学的要求,要开一个两学期的高等分析化学課程。在某些情形下,高等分析化学課程的第一个学期或前一半可用一学期的“仪器分析”課程来代替。这样做显然是妥当的。只要留意一下近年来物理和物理化学方法在分析工作中的大量应用,就会認識到对新的研究生在这一方面进行一些訓練是极有价值的。此外那些非主修分析化学的学生至少也应该对这些技术有最低限度的訓練,因此这一代替能够适合各組学生的基本需要。

学生在完成一般大学化学課程后,在分析化学上已經有过两到三学期的工作。这已使他們在这一領域具有一般知識并能进行基本操作。

但是,在研究院学习时,他們很快就会感觉到,还需要更多的訓練,特别是在这一領域的較新的技术方面。大学的一般分析化学課程已有很多优良的教科书,但是对于高一級学习的教科书还很缺乏。手册不能滿足新研究生的需要。在分析化学的各个專門領域中,也有些卓越的教科书,能获得它們当然是很好的,但是这样做需要相当多的錢,特别是想把它們收集得齐全些。因之,本书是在新研究生的水平上写的,以弥补現有分析化学文献的不足。作者等現在提供的这本教科书不仅綜述許多較新的理論发展和仪器分析方法,而且也討論元素的分析方法。这样的写法就使理論和仪器分析的探討与元素分析二者相当完全的描述結合起来。

本书的第一部分叙述重要理論和仪器分析方法。但是,这既然不是一本仪器分析教科书,因此所描述的仅是那些为一般化学家可能要用到的方法。希望学生能从所列出的文献很容易找到他所感兴趣的任何技术的詳細叙述。

本书第二部分包括按周期系排列的各元素的分析化学。在每

一元素的描述中,包括它的物理性质、定性方法(对比较不常见的元素)、定量分析以及与其他元素的分离方法。除那些在基础分析课程中一般讨论的元素之外,很多其他元素的分析也包括在内。本书叙述了一般的经典方法并包括许多参考文献和物理化学方法的描述。差不多对每种元素都有一个详细的经典定量分析法。

企图写一本百科全书式的教科书几乎是不可能的事,而且这样做将不能达到本书的目的。所以本书对比较旧的参考文献的列举是有限制的。许多最近的文献找到1954年7月1日为止。这不是一本实验教程,所以对某一特殊问题还需要学生或教师自己去补充材料或补足参考文献。在另一方面本书也有它的局限性。它只论及无机分析,而将有机分析留给专修这部分分析化学的学生去研究。

作者等对 F. L. Bates 和 H. Whitaker 分别在阅读原稿和打字上所给予宝贵的帮助表示感谢。

Walter Wagner  
Clarence J. Hull  
Gerald E. Markle.

January 1956

# 目 录

序言.....

## 第一部分 分析技术

第一章	有机试剂.....	1
第二章	气体分析.....	22
第三章	比色法和分光光度法.....	41
第四章	极谱分析和电流滴定.....	57
第五章	色层分析和离子交换技术.....	65
第六章	热解重量分析.....	72
第七章	放射化学.....	77
第八章	统计学.....	82

## 第二部分 元素的分析化学

第九章	第一族(Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Cu, Ag, Au).....	101
第十章	第二族(Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Hg).....	121
第十一章	第三族 (B, Al, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ga, In, Tl).....	139
第十二章	第四族(C, Si, Ti, Zr, Hf, Th, Ge, Sn, Pb).....	157
第十三章	第五族 (N, P, V, Nb, Ta, Pa, As, Sb, Bi).....	176
第十四章	第六族 (O, S, Cr, Mo, W, U, Se, Te, Po).....	199
第十五章	第七族(F, Cl, Mn, Tc, Re, Br, I).....	226
第十六章	第八族 (Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt).....	247
索引.....		272

# 第一部分 分析技术

## 第一章 有机试剂

虽然几乎很早的时候,在无机分析中就用到有机试剂,但仅在最近二十五年中,这种分析方法才占有显要的地位,它的可能性才被认识。近年来,在发展新的有机试剂和探索它们在无机微量分析、重量法、滴定法、比色法、点滴试验等重要应用方面进行了很多的研究。关于有机试剂在检出和测定无机离子或化合物的应用方面的一般述评,可查阅 Feigl<sup>[26]</sup> 和 Sarver<sup>[69]</sup>, 以及最近 Feigl<sup>[27]</sup>, Yoe<sup>[86]</sup>, Jonckers<sup>[47]</sup>, West<sup>[83]</sup>, Gillis<sup>[36]</sup> 的述评。这一方面有代表性的书籍有 Feigl<sup>[28]</sup>, Flagg<sup>[33]</sup>, Hopkin 和 Williams 研究室的研究人员<sup>[40]</sup>, Mellan<sup>[57]</sup>, Prodinger<sup>[64]</sup>, 和 Yoe 与 Sarver<sup>[89]</sup> 的著作。应该特别提到的是 Welcher<sup>[82]</sup> 的不朽的著作,他综述了在 1952 年以前文献中所报导过的、用于分析无机物质的所有的化合物。

用于无机分析的千种以上的有机化合物可分为两大类。第一类是用作溶剂、提取剂、浮选剂、絮凝剂、洗液、缓冲剂和保护胶体的物质,或用作指示剂、初级标准的物质。本章仅概略地提一下这类有机试剂。第二类包括那些有机化合物,它们是确能与被测定的无机离子或化合物反应的真正试剂,生成能被分离和称量的沉淀,或产生可用比色法测定的有色化合物等。这一类有机试剂在本章中将作详细的讨论。

一种由没食子提出液做成的有机试剂,自古以来就用于检出醋中的铁。但是直到大家都知道有机物可用作形成金属螯合物的络合剂之后,人们才组织力量去寻找对个别金属离子有高度选择性的化合物。一个特效试剂只对一个物质或一个金属离子起反应的理想,是不会实现的。最多能希望有一个选择性试剂,只对少数物质或金属离子起反应。在后一情况中,用调节溶液的 pH, 或用

絡合剂、或用掩蔽剂与那些可能干扰测定的离子反应的方法，常能改进它的选择性。酒石酸盐、檸檬酸盐和磺基水楊酸都是典型的掩蔽剂。

首先提出的有机試剂，有在1905年 Tschugaev<sup>[74-76]</sup> 报告的用于鎳的二甲基乙二醛肟；1906年 Grossmann<sup>[37]</sup> 介绍用来测定銅和鎳的胍基甲酰胺；1912年 Baudisch<sup>[5-7]</sup> 研究的亚硝基代苯肼；和在1915年 Atack<sup>[1]</sup> 介绍的作为检出和比色测定鋁用的茜素。

从此以后，有机化合物在分析测定中有愈来愈多的应用。

我們所要討論的試剂类型在結構上和反应上是各不相同的。它們都有与金属离子生成电价鍵、共价鍵或配价鍵化合物的能力，使生成的化合物可用通常的重量法、滴定法、比色法或其他方法测定。以下将分成两大类型試剂来討論。它們是：(a)形成正盐的試剂和(b)形成螯合盐的試剂。

### 形成正盐的試剂

形成正盐的試剂是有机酸或有机碱，它們与无机离子形成电价鍵的盐。包括在这一类中的化合物是用来調节溶液 pH 的有机酸和有机碱。常用的醋酸鈉-醋酸組合就是一个熟知的例子。其他由苯甲酸和苯乙酸所衍生的酸-盐組合也属于这一类，Speakman 与 Smith<sup>[73]</sup> 曾討論过用它們来配制用作 pH 标准的高度緩冲的溶液。

还应提到，有很多有机分子可作为指示剂，或作为酸量法、氧化定量法的标准物质。很多指示剂已经是熟知的，所以勿需在此再一一罗列。水楊酸<sup>[51]</sup>、苯二甲酸氫鉀、邻氯苯甲酸<sup>[61]</sup>、草酸、苯甲酸、对称二苯胍<sup>[11]</sup> 和很多其他化合物可作为酸量法标准物质的一些特殊例子。Nutton<sup>[62]</sup> 曾建議用硫酸丙烯二胺亚鉄作氧化定量法的初級标准。

这一类型的其他有机化合物形成不溶的正盐，它們可以直接称量，或灼烧成金属氧化物后再称量，或在适当的情形下溶解而滴定。



## 阳离子沉淀剂

**羧酸** 文献上提出过很多用作各种金属离子沉淀剂的有机酸,如醋酸、苯甲酸、肉桂酸、香兰酸 (vanilic acid)、间甲苯氧基乙酸、苦味酸、樟脑酸、糠酸 (furoic acid)、焦性没食子酸、间羟基苯甲酸、琥珀酸和己二酸。

Venkatarmaniah 与 Rao<sup>[77,79]</sup> 研究过用二苯乙醇酸、水杨酸和苯氧基乙酸作为定量测定锆的有机试剂,用樟脑酸、茴香酸、琥珀酸、己二酸、苯甲酸、间甲苯氧基乙酸作钪的试剂。锆曾用苯乙醇酸测定过。锆沉淀为不溶的苯乙醇酸锆后,在 85°C 陈化 4 至 5 小时,洗涤,灰化,在 1100° 烧到恒重,以氧化物形式称量。钪不干扰。

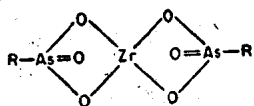
Kolthoff<sup>[49]</sup> 建议用苯甲酸铵沉淀钪、铝和铬,以与周期表的第三族的其他阳离子以及碱土金属离子分离。

Jewsbury 与 Osborn<sup>[45]</sup> 近来把同一试剂用于第四族的元素。钪 (IV)、钪、锆和钪能定量地沉淀,然后再灼烧成氧化物。锆的其他选择性试剂有苯二甲酸<sup>[61]</sup>(除钪、钒、铬以外,大多数阳离子不干扰)、磷酸乙酯<sup>[61]</sup>和较不常用的试剂羧基辅酶,它也可与钪生成不溶的盐<sup>[9]</sup>。

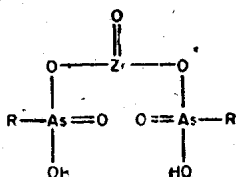
肌醇六磷酸酯或植酸<sup>[8]</sup> 与钪生成特别难溶的盐,化学式是  $\text{Sc}_6\text{C}_6\text{H}_6\text{P}_6\text{O}_{27} \cdot 36\text{H}_2\text{O}$ 。它在稀酸中的溶解度可与硫酸钪相比。因为这一方法易于掌握,而且沉淀有高的分子量和有利的换算因数,所以对微量分析有特别的意义。本法曾用来测定尿、乳、血、肝和脑组织中少量的钪。

近来发现,在以上所提到的酸中,己二酸是测定汞的特别有价值的选择性试剂。己二酸是化学式为  $\text{HO}_2\text{C}(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$  的二元酸。在 25°, 己二酸汞的溶度积是  $4.30 \times 10^{-12}$ 。在 pH 2—3 时进行沉淀,汞以氯络合物的形式提取而与其他沉淀的氢氧化物或己二酸盐分离。用硫化氢饱和使络合物分解并使汞成硫化物沉淀,过滤除去。在煮沸除去全部硫化氢后的滤液中含有释出的己二酸,可用标准氢氧化钠滴定。

肿酸 在用肿酸为选择性沉淀剂方面已有大量材料发表<sup>[30,67]</sup>。有机肿酸与周期表中第四族的四价金属离子反应生成沉淀。沉淀中每个金属原子与两个肿酸分子结合。因为已知四价锆至少在溶液中有  $ZrO^{++}$  存在，沉淀结构可为下列两种之一。但是，这一点并不特别重要，因为并不是称量沉淀，而是最后灼烧成氧化物称量的。

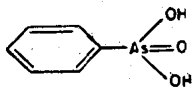


I



II

在 I 或 II 式中，R 可以是脂肪族的或芳香族的。用肿酸测定的元素有锆、钪、铋、钽、铁和锡。已有很多种肿酸被制备和研究过。它们在分子中与砷相联的有机基上有改变。它们主要是在灵敏性和选择性上有差别。



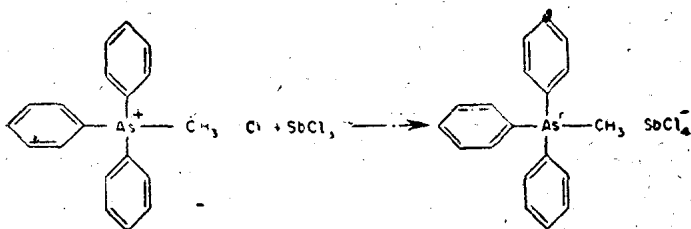
III

苯肿酸

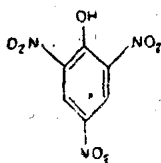
苯肿酸(式 III)<sup>[67]</sup> 曾用来由强酸性溶液中沉淀锆和钪。Majumder 与 Sarma<sup>[53]</sup> 曾用这个试剂在 pH 2—3 的硝酸溶液中沉淀铋，使与锆、锰、镍、钴、碱金属和碱土金属分离。另一方面，在醋酸铵与醋酸的缓冲溶液中铋能沉淀，可与碱金属、碱土金属、铅、汞、锰和铈分离。

卤化砷 Duyer<sup>[20-22]</sup> 与 Figgis<sup>[32]</sup> 介绍用卤化砷，特别是氯化或碘化三苯甲基砷来测定铋、锑和镉。少到 1—10 微克的镉在有锌存在时可以测定。少量可用散射浊度法测定，较大的可用重量法测定。氯化三苯甲基砷与三氯化锑反应生成四氯锑酸三苯甲

基砷(III)的反应,可做这类反应的例子。

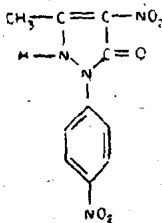


**酸性硝基化合物** 除刚讨论过的羧酸和砷的化合物外,尚有与金属离子形成正盐的第三类化合物,即酸性硝基化合物。它们包括熟知的试剂如苦味酸(式IV)、苦酮酸(式V)和二苦胺(式VI)。



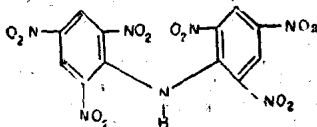
IV

苦味酸



V

苦酮酸



VI

二苦胺

苦味酸是一元酸,生成不溶的钾盐,它在分析中已有应用<sup>[34]</sup>。其他金属的苦味酸盐是不溶的,它们很多是不稳定的,在干燥或加热时,可猛烈地分解,特别是重金属盐,这种性质更为显著。苦味酸已被推荐用来测定铁、铋、硅和锆以及作为酸量法和碘量法的标准。

钙、铅和钍的苦酮酸盐适合作重量分析用。其他不溶的苦酮酸盐有镁、锰、钨和铈的盐。不溶盐的沉淀是在酸性溶液中进行的。这种可做分析用的沉淀能风干和直接称量<sup>[19]</sup>。

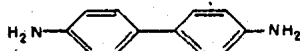
二苦胺(式VI)与许多金属生成不溶的正盐(电价的),但主要是用于钾的测定<sup>[49]</sup>。它也被推荐用于铍、铈、铅、汞、钷、锆和铈的检出。二苦胺溶于稀氢氧化钠溶液中,生成深橙色溶液。加入钾

离子即生成橙紅色的鉀盐沉淀。

苦味酸、苦酮酸和二苦胺三个試剂并非高选择性的,但它們是优良的金屬沉淀剂,例如用重量法測定鉀一般是有困难的。此外,苦酮酸可使碱金属与碱土金属分离,而二苦胺則可使鉀与鈉以及所有的碱土金属分离。

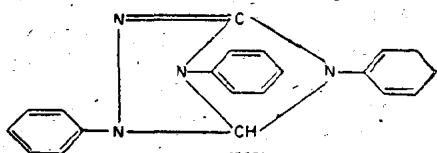
### 阴离子沉淀剂

阳离子沉淀剂是酸性的化合物,而阴离子沉淀剂則是碱性的。一些比較熟知的阴离子沉淀剂有联苯胺(式 VII)、硝酸試剂(式 VIII)、氯化四苯砷(式 IX)和氯化三苯錫(式 X)。



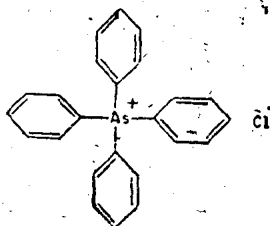
VII

联苯胺



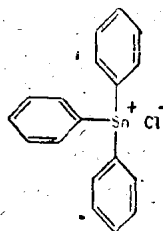
VIII

硝酸試剂



IX

氯化四苯砷

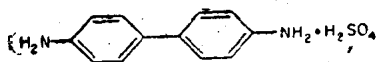


X

氯化三苯錫

**联苯胺** 联苯胺已用于測定氰化物、鉄氰化物、亚鉄氰化物、氟化物、亚硝酸盐、磷酸盐、硒酸盐、硫酸盐、磷酸盐和錳酸盐<sup>[66]</sup>。联苯胺也和許多金属生成金属螯合物。

用冷的盐酸联苯胺水溶液,可从含氧化剂的硫酸盐的酸性溶液中将硫酸盐沉淀为硫酸联苯胺(式 XI)。沉淀不如常用的硫酸鋇法完全,但它的优点是較为迅速。



XI

硫酸联苯胺

**硝酸试剂** 硝酸试剂或 1,4-二苯-3,5-苯亚氨基-4,5-二氢-1,2,4-三氮杂茂已用于硼、硝酸盐<sup>[83]</sup>、氯酸盐、高氯酸盐、高铈酸盐<sup>[35]</sup>和钨酸盐<sup>[81]</sup>的测定。硝酸试剂也与其他阴离子如溴根、亚硝酸根、铬酸根、硫氰酸根和碘根生成沉淀，所以如果不预先把它们除去，会干扰以上的测定。在测定硝酸盐、高铈酸盐和高氯酸盐时硝酸试剂特别有用。在这些情况下，沉淀可以很简单地过滤分开，干燥和称量。

**氯化四苯钾** 氯化四苯钾已用于氯酸盐、碘酸盐、高氯酸盐、高碘酸盐、高锰酸盐和高铈酸盐的测定。铋、汞(II)、锰、锡(IV)、镉等的卤络合物也可以测定(参看前面卤化三苯甲基钾的讨论)。这个方法受到很多元素的干扰，因而限制了它的应用。

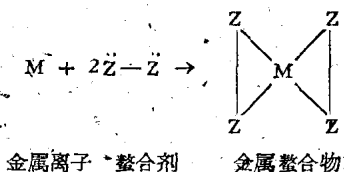
**氯化三苯锡** 氯化三苯锡主要用于氟化物的检出和测定。生成的沉淀是不溶的氟化三苯锡 $(C_6H_5)_3SnF$ ，当它分离后，可干燥和称量<sup>[2]</sup>。

## 形成螯合盐的试剂

在金属与有机分子之间不生成电价的正盐的那些反应中，金属离子与有机分子之间至少会形成一个共价键或配位-共价键。配位-共价键的形成需要有一个共用电子对的给予体或碱性原子，和一个具有未填满的电子轨道的接受体原子。除了要有这种接受体和给予体原子外，至少还有四种控制这种配价键的形成和决定它的稳定性的其他因素。这些因素是：给予体电子的可用性，接受体原子能与额外的一对或几对电子配位的难易，金属螯合物中共振的可能性，以及空间排列的因素。金属阳离子与电子给予体相互作用的产物叫做配位化合物。一种环形的重要类型的配位化合物称为螯合物。杂环性质是这类螯合物的特征。它们是在含有

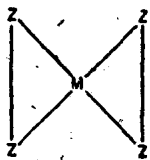
两个或更多给予体基的分子与金属化合生成一个或更多的环时形成的。稳定的螯合物一般限于4—7原子的环，最普通的是5—6原子的环。螯合物这一名词是在1920年由Morgan和Drew<sup>[60]</sup>最先提出的。Diehl<sup>[18]</sup>曾写过卓越的螯合物的述评，其中文献查到1937年，也应参考Martell和Calvin<sup>[54]</sup>新近所著的关于金属螯合物化学的书上所列的文献。

金属离子与螯合剂相互作用可用下式表示，在式中假定所讨论的金属的配位数是4：

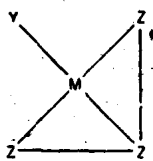


Werner 的观点认为金属螯合物是有机试剂和金属以共价或配位-共价结合的络合物。它们可进一步分为二螯化合物、三螯化合物、四螯化合物等，每个络合剂或螯合剂含2,3,4等给予体基。这些在以下先用配位数为4的金属来说明。

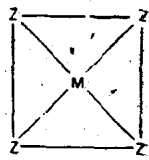
配位数 4



二螯化合物

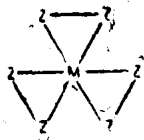


三螯化合物

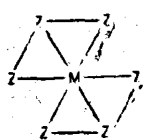


四螯化合物

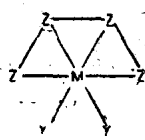
配位数 6



二螯化合物



三螯化合物



四螯化合物

Dwyer, Gill, Gyarfos 和 Lions<sup>[23]</sup>最近研究了钴与含硫的二胺

类化合物生成的六噻络合物。

金属螯合物有一些突出的特性，这些特性决定了它们能在分析化学中得到应用。一般说来，金属螯合物不溶于水，但溶于非极性溶剂中，所以它们适用于沉淀和溶剂提取。在“述评季刊”(Quarterly Reviews)<sup>[42]</sup>上刊载有 Irving 新近所作的关于溶剂提取和它在无机分析上的应用的述评。

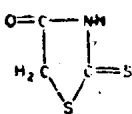
螯合物常是极稳定的、适用于比色分析的有色化合物。很多螯合剂有一时曾被认为是特效试剂，但是控制特效性及选择性的因素是异常复杂的，大概所能希望的至多是有高度选择性的而特效性差些的试剂。Irving 和 Williams<sup>[41]</sup>在 1952 年“分析者”(Analyst)杂志上发表的论文中讨论了控制选择性的因素。

即使通常用到的是一些选择性试剂，但是与金属离子反应生成的螯合物彼此常有相当大的差别，使能作许多困难的分离。此外，试剂的选择性常可借控制 pH 和应用掩蔽剂来改进。螯合物的有机部分常可氧化，所以可用容量分析的氧化法分析所含的阳离子。目前螯合剂已用于滴定分析中，此时络合剂在氧化还原体系中产生电位改变或引起 pH 改变，因而可用比色法或电位滴定法测定。

在分析工作所用的有机试剂中，最常碰到的反应基是亚氨基、肟基、羟基、巯基和羧基。以下将讨论含有这些基或同时含有几种基的一些特效试剂。

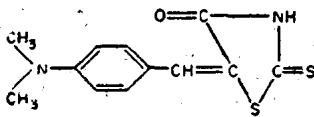
## 罗丹宁

罗丹宁(式 XII)和 5-(对二甲氨基苯亚甲基)罗丹宁(式 XIII)曾用以检出和测定银<sup>[25]</sup>。带黄色的罗丹宁银盐(式 XIV)不溶于稀酸，



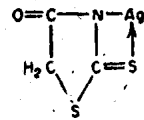
XII

罗丹宁



XIII

5-(对二甲氨基苯亚甲基)罗丹宁



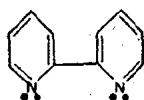
XIV

罗丹宁银螯合物

且比氯化銀更为难溶。5-(对二甲氨基苯亚甲基)罗丹宁与銀形成不溶的紅紫色盐。

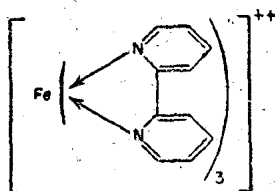
## 2,2'-联氮苯

2,2'-联氮苯(式 XV)已用于鎳和鉄<sup>[15]</sup>的測定。在已用无机酸酸化的溶液中,亚鉄盐可反应生成含鉄絡合物(式 XVI)的深紅色溶液。在这种条件下,鉄盐无反应。亚銅盐干扰。显色时溶液的 pH 应为 3.5—8.5。用与标准系列比較的方法比色測定鉄,所得結果可精确至百分之十。



XV

2,2'-联氮苯

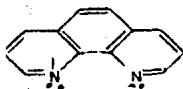


XVI

联氮苯鉄(II)螯合物

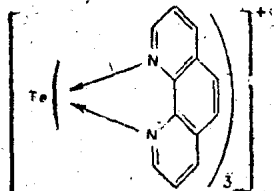
## 1,10-二氮菲

1,10-二氮菲(式 XVII)是与 2,2'-联氮苯密切有关的化合物,它已应用在銅、鉄和鎳的測定中。它与鉄(II)生成带紅色的可溶螯合物(式 XVIII),同样也可与鎳、鈷、銅、鎳、鋅和鎘这类元素作用。



XVII

1,10-二氮菲



XVIII

二氮菲鉄(II)螯合物

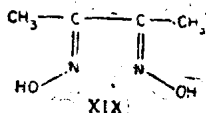
如显色溶液的 pH 在 2.5 至 9 之間,所产生顏色强度直接与鉄的量有关。絡合物是稳定的,不易被空气氧化。Ryan 和 Fainer<sup>[6]</sup>也曾用 1,10-二氮菲来做鈮的重量法測定。鈮絡合物在 1—20% 的



盐酸溶液中沉淀,在110°干燥。其他铂族金属稍有共沉淀的倾向。

## 二甲基乙二醛肟

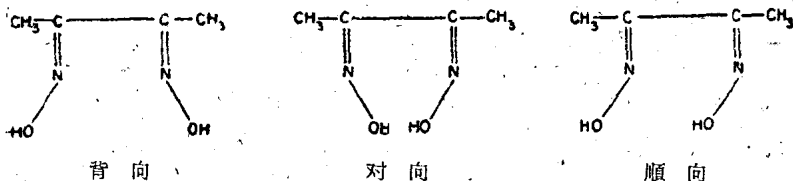
最先由 Tschugaeff<sup>[82]</sup> 在 1905 年记述作为镍试剂的二甲基乙二醛肟(式ⅩⅨ) 仍广泛地应用着, 但已研究过的这类试剂并不只这一个。



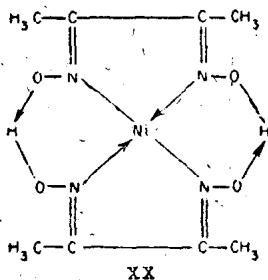
二甲基乙二醛肟

随便查阅一下文献, 会看到很多分析化学家已研究了大量的  $\alpha$ -二肟化合物。这些包括  $\alpha$ -联苯酰二肟、1,2-环己二酮二肟(Nio-xime)、 $\alpha$ -联糠肟、苯甲酰甲基乙二醛肟以及很多其他的化合物<sup>[80]</sup>。

因分子内的转动受限制, 二肟的几何异构体可能有三种, 并且在很多情况下, 所有这三种可能的形式都已制备出来。二甲基乙二醛肟的三种形式为背向( $\alpha$ )、对向( $\beta$ )、顺向( $\gamma$ ), 用式表示如下:



只有二肟的背向几何构型对镍有较好的选择作用。Brody 和 Mue-  
rs<sup>[17]</sup> 指出红色不溶的镍盐结构式(式ⅩⅩ)如下:



$\alpha$ -二甲基乙二醛肟镍整合物