

7/009
H. S. BOOTH, 主编

无机合成

第一卷

科学出版社

序

美国化学会于 1933 年 9 月在芝加哥召开的会议中，一些无机化学家认为迫切地需要编出一套详细的和经过检验的无机化合物合成方法的书籍。由于化学期刊的篇幅有限，迫使发表的文章内容过于简短，以至于使关于完成一项合成工作的详细要点往往被略去。这样就造成了一种结果，研究人企图使用一篇发表了的合成文献时，他就需要重新去探索完成这个合成工作的条件。

为了满足这种要求，这些化学家们选举了 L. F. Audrieth, Harold S. Booth, W. Conard Fernelius, Warren C. Johnson 和 Raymond E. Kirk 等人组成了编辑委员会，并要求 Harold S. Booth 作为总编辑以便开始工作。后来，编辑委员会又选 John C. Bailar Jr. 参加了编委会。

本书中的每一项合成都曾经在实验室中仔细地复核过，往往复核工作是在提出该合成的实验室以外的另一实验室中进行的。全部的实验指导和操作手续都曾经编委会的成员批判地编写过，期能避免错误之处。读者们如能指出本书中的任何错误和遗漏，编者将表示诚挚的感谢。

有些合成方法是新的，但有許多合成方法则是旧方法的改进。当编者认为有必要时，在合成之前会对已知的诸方法作一批判性的探讨，而在合成之后则殿以所合成实物的最常用的性质的评述，借以指导本合成方法的使用人。所引的文献则并未包罗全貌。

为了使用上的便利，本书中的章次是按照门捷列夫周期表的族次而编排的。在这套丛书的以后诸卷中也将采用这种编排办法。我们计划在每卷的第九章中编入一些对化学家们为有用的材料和技术。编委会希望这一类的文章将能有人投稿。

俄亥俄州哥布伦市俄亥俄州立大学的 W. Conard Fernelius 教

授被編委会选为“无机合成”第二卷的总編輯。第二卷中諸合成的收集和复核工作正在进行中，投来的稿件應該直接寄給 Fernelius 教授。編委会要求投稿人按照第一卷中文章的格式来編写，并将手稿和图表复写三份。

編者愿对第一卷中諸項合成的投稿人与复核人表示謝意，并要求他們繼續合作。編者并愿借此机会向 Roger Adams 博士表示謝意，感謝他的不断的鼓励和关注以及他为本书所撰写的前言。

总編輯并愿对所有助理人員們在編輯本书中的无限热誠和不懈劳动表示感謝。

H. S. B.
Cleveland, Ohio
1939 年 3 月

前 言

敘述各种无机化合物合成方法的书籍目前之能定期出版使所有的化学家都感到十分滿意。虽然无机化学的領域不似有机化学那样广闊，但是对于碳以外諸元素的代表性化合物制备法的可靠資料的著作，却是有同等需要的。这个需要現在得到了滿足。

本书的目的是提供每項制备的詳細要点，以便使一位具有一般經驗的化学家在第一次試做时就能获得成功。每一个合成在发表之前都在提出入的實驗室以外的至少一个實驗室中复核过，这样就使有可能得到良好的实验步驟。

第一卷将能保証使这种努力获得成功。所提供的許多制备法乃属于每个實驗室中都有需要的类型的实验，并且这些合成都是那些不能找到詳細敘述的制备方法。

“有机合成”一套丛书是从 1921 年开始出版的，并从那时起每年出版一卷。它們所受到的广泛欢迎說明它們是有用的，并充分地証明了这种劳动是有益的。“无机合成”无疑地也会获得同样的成功。“有机合成”的过去的和現在的編者們和其他化学家在一起，对无机合成这个新工作表示欢迎。

Roger Adams

依立諾州大学化学系主任

1939 年 3 月

目 录

序	i
前言	iii

第 一 章

1. 碳酸鋰的提純	1
2. 銀殘渣的提純	2

第 二 章

3. 汞齊的制备	4
4. 鈉汞齊	8
5. 鋇汞齊	9
A. 电解法	9
B. 取代法	11
6. 鐳、釷和鈾的汞齊	12
7. 紅色碲化汞	15

第 三 章

8. 三氟化硼	17
9. 氟硼化鉀	20
10. 三氯化鎂	22
11. 无水的希土氯化物	23

第 四 章

12. 四氟化碳	29
13. 三草酸基絡盐	30
A. 三草酸基三价鉍酸鉀	31
B. 三草酸基三价鉄酸鉀	31

C. 三草酸基三价钴酸钾	32
D. 三草酸基三价铬酸钾	32
14. 硅溴仿(三溴代甲硅烷)	33
15. 硅的高元氯化物	36
16. 二氧化铅	39
17. 四醋酸铅	40
18. 无水四溴化锆	42
19. 无水溴化钆	44

第五章

20. 氯化亚硝酰	47
21. 一氯代氨	50
22. 二溴代氨	53
23. 三氯化氮	56
24. 硝胺	58
A. 硝基氨基甲酸乙酯的铵盐	59
B. 硝基氨基甲酸钾	60
C. 硝胺	61
25. 氨基钠	63
26. 迭氮化氢的水溶液与乙醚溶液	66
A. 氢迭氮酸(迭氮化氢的水溶液)	66
B. 迭氮化氢的无水乙醚溶液	67
27. 迭氮化钾(碱金属与碱土金属的迭氮化物)	68
28. 迭氮二硫代碳酸(迭氮硫代甲酸)与迭氮二硫化碳	70
A. 迭氮二硫代碳酸(HSCN_2)的制备	70
B. 迭氮二硫化碳 $[(\text{SCSN})_2]$ 的制备	71
29. 硫氰溶液	72
30. 羟氨	74
31. 硝酸联氨	77
32. 将联氨基残余物回收为二盐酸联氨或硫酸联氨	78
33. 硝酸胍	80
A. 熔融硝酸铵与二氯二胺以制备硝酸胍	81
B. 从氰化钙和硝酸铵制备硝酸胍	82

34. 五氯化磷	84
35. 结晶状正磷酸	86
36. 三碘化砷	88
37. 三碘化锑	89
38. 二氧化二钒与三氯氧化钒	90
A. 二氧化二钒	91
B. 三氯氧化钒	91

第六章

39. 氟化氧	93
40. 液态硫化氢	95
41. 溴化亚砷酐	97
42. 氯化砷酐	98
43. 二氧化硒	100
A. 在二氧化氮与氧气中燃烧硒	101
B. 用硝酸氧化元素硒	102
44. 六氟化砷、六氟化硒与六氟化碲	103
45. 醋酸亚砷	105
46. 氯化亚砷	107
47. 硅钼酸	109
48. 硅钨酸	111
49. 磷钨酸	113

第七章

50. 无水氟化氢	116
51. 氟	118
A. 高温电解法制备氟	119
B. 中温电解法制备氟	123
52. 氯化氢	126
53. 溴化氢	129
A. 四氢苯的溴化以制备溴化氢	130
B. 在铂化硅胶的存在下借直接化合以制备溴化氢(氢溴酸)	131
C. 恒沸氢溴酸	133

54. 氢碘酸	135
A. 以碘作用于硫化氢	135
B. 氢与碘的催化化合	136
55. 用作基准试剂的碘化钾	139
56. 一氯化碘	141
57. 三氯化碘	143
58. 钠、钾与银的高碘酸盐	144
A. 仲高碘酸钠, 氯法	144
B. 仲高碘酸钠, 过硫酸钾法	145
59. 高碘酸	147
60. 金属铈	149
A. 还原高铈酸钾制备金属铈	150
B. 还原高铈酸铵制备金属铈	151
61. 氯铈酸钾	152
62. 五氯化铈	153
63. 三氯化铈	155

第 八 章

64. 氯化四吡啶合亚铁(黄色盐)	157
65. 一水合 γ -氧化铁与 γ -氧化铁	158
66. 溴化一溴五氨合三价钴	159

第 九 章

67. 一种实验室用的粘結剂	162
物名索引	163

第一章

1. 碳酸鋰的提純

提出人: E. R. CALEY¹⁾ 与 P. J. ELVING¹⁾

复核人: WILLIAM D. STILLWELL²⁾

由于市面上能购到的鋰盐,尽管是所謂的“C. P.”或“試剂級”的制品,往往含有总量約达 1% 的杂质,需要有一个方法能将这些盐制得为合理的純淨状态。下面敘述的提純 C. P. 或試剂級碳酸鋰的簡易步驟便提供了一种这样的方法,因为所得的純碳酸鋰可以用一种适宜的酸来处理使之轉化为所需的任何一种鋰盐。这个操作步驟是以如下性質为基础的,即碳酸鋰和所含杂质盐的性質不同,碳酸鋰在热水中的溶解度小于在冷水中的溶解度³⁾。换言之,在这个方法中应用了簡單的重結晶作用,但过程是按相反的方向进行的。

操 作 手 續

在室温下将 25 克碳酸鋰放在一只 3 升烧杯中,溶解在 2 升的水中。如果用一个电动攪拌器进行攪拌时,这个操作約需半小时。将溶液过滤以除去悬浮杂质和任何少量未溶解的碳酸盐殘渣,最好通过一张大的多摺滤紙进行过滤。将滤液装在一只有磨痕的烧杯中,逐漸加热至几近于沸騰,連續地进行猛烈地攪拌以防止沉淀出来的碳酸鋰粘附在容器的壁上。当沉淀达于完全时,立即将

1) Princeton University, Princeton, N. J.

2) Harshaw Chemical Company, Cleveland, Ohio.

3) 在 20°C 时, 1.33 克碳酸鋰可以溶解在 100 克水中; 而达到 100°C 时, 溶解度降低到 0.72 克。

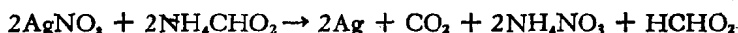
此热的混合物过滤，最好用一只玻璃砂过滤坩埚或漏斗来进行过滤，用少量的沸水将碳酸锂洗涤二或三次。

按所用碳酸锂的量来计算，产率约为 40%。从第二次过滤所得的滤液，当冷却后，可以再饱和以碳酸锂来制得第二次产品，其纯度约和第一次产品差不多。这样，总产率就大大地提高了。

当为特殊用途而需要更高纯度的产物时，可以从热水中进行二次重结晶；但在这个情况下，产率自然要大大地降低。

从一种含 SO_4 根 0.78% 和其他碱金属（计算为 Na）0.54% 的粗碳酸锂中，可以获得三份纯化过的碳酸锂，各含 0.03, 0.08 和 0.07% 的其他碱金属和仅痕跡量的硫酸盐。第三份产品是从前一次处理的滤液中重结晶碳酸锂而获得的。

2. 銀殘渣的提純



提出人：R. N. MAXSON¹⁾

复核人：H. S. BOOTH²⁾ 与 C. V. HERRMANN³⁾

用王水处理干燥的銀殘渣（小心！通风橱！）。当作用停止后，通过玻璃毛将溶液过滤，用水洗涤殘渣以除去任何可溶物³⁾。这个处理应能除去铅、汞、以及其他的常見金属。然后将氯化銀沉淀溶解在最可能的少量浓氢氧化铵中（比重 0.90）。将溶液过滤以除去不溶杂质，小心地用 6N 稀硝酸来处理，直到溶液显有肯定的酸性，并加热使氯化銀沉淀凝聚起来。用沉降法洗涤沉淀直到洗液对石蕊呈显中性反应。

将氯化銀轉移到一只有柄皿中，用浓盐酸將殘渣完全遮盖起来，并加入高纯度的鋅棒以便將銀还原为元素状态。用水彻底地洗涤所得金属，直到最后的洗涤不再显有氯离子的反应。

1) University of Kentucky, Lexington, Ky.

2) Western Reserve University, Cleveland, Ohio.

3) 如果含銀殘渣所含杂质不多的話，可将干燥的原料用氨水处理并过滤。滤液用硝酸酸化，沉淀出来的氯化銀則按照操作手續中所規定的步驟进行处理。

将所得金属溶解在稀硝酸中(1 体积浓酸对 1 体积水)。加入大量的蒸馏水,令溶液放置至少 12 小时。如果溶液中含有锡、锑和铋的话,都将在这里沉淀掉。

将溶液过滤,在溶液中加入略过量的浓盐酸使银再度沉淀。放在热水锅上小心地加热之后,将清液澄掉。在残渣中加入盐酸(6N),将混合物充分地搅拌。令沉淀物沉降,再将清液澄掉,重复这样操作若干次,最后将氯化银滤出并用水洗涤,直到最后的洗液检查不出氯离子¹⁾。再用浓盐酸和锌来处理残渣。用水洗涤金属银直到洗净氯离子,并趁仍湿时称重。

将银溶解在稀(7.5N)硝酸中。用甲酸来还原银²⁾,取用量要比计算量超过 20%,用略过量的氢氧化铵将它中和,并将所得溶液一滴一滴地加到热的硝酸银溶液中。用热水洗涤颗粒状沉淀的银并用吸滤法或放在两张滤纸间使之干燥。

1) 洗液应该也不显 Cu^{++} 离子的反应。

2) 在还原过程中,溶液中必须有确定过量的硝酸存在。

第二章

3. 汞齊的制备

著者 L. F. AUDRIETH¹⁾

引 論

汞齊可以定义作为一种液态的或固态的合金，其中的一个组分是汞。汞齊可以是金属在汞中的液态溶液或固溶体，也可以是确定的金属互化物，例如 LiHg ， NaHg_2 ， CsHg_4 。^[1] 各种金属形成汞齊的本領是有很大的不同的。元素在化学性質上与汞相似的以及在週期表中离汞很近的都很容易形成汞齊。高熔点的元素則难于形成汞齊。此外，如果一种金属不能被汞所沾湿，那么它和汞結合成汞齊的可能性就很小，除非是使汞和在活化状态下的金属相接触来改变这种性質。

在附表中罗列了在 18°C 时各种金属在汞中的溶解度。饱和汞齊进行濃縮时往往得到溶質汞化物的沉淀，很少是自由金属的形式。應該記住的是那些化学性質和物理性質与汞类似的金属都在汞中有着特征的高溶解度。在門捷列夫週期表中离汞愈远的金属在汞中的溶解度就愈小。实际上除了鉍之外，所有的金属在汞中的溶解度都不大；因此，制备汞齊的諸种方法总是导致生成具有不均匀性的产物。在糊状或半固体的汞齊的情况中，通过沙磨革进行过滤可以很容易地将晶状物和金属在液态汞中的饱和溶液分离开来。在許多情况中，可以在減压下将汞齊加热来濃縮它們的金属含量。事实上，曾經发现用高温真空蒸餾可能从汞齊中将汞

1) University of Illinois, Urbana, Ill.

完全抽除。这个方法曾成功地被应用于制备鋇、铊、镧、和铈^[2]。

金属在汞中的溶解度 (18°C)^[3]

(表示为重量百分数)

Li	0.09	Mg	0.24	Sn	0.62
Na	0.68	Ca	0.30	Bi	1.4
K	0.80	Ba	0.33	Cr	3.1×10^{-11}
Rb	1.54	Zn	2.15	Mn	2.5×10^{-4}
Cs	4.34	Cd	4.92	Fe	1.0×10^{-17}
Cu	3.2×10^{-3}	Tl	42.8	Ni	5.9×10^{-4}
Ag	4.2×10^{-2}	Pb	1.3	Co	1.7×10^{-1}
Au	1.3×10^{-1}				

有好几种方法曾被用来制备汞齐^[4]。每种方法都有一定的优点,并且每一种可以在某一定情况下特别适用。这些方法可以分为四大类:

1. 直接結合。
2. 电解一种含金属离子的溶液,用汞作为阴极,电解液是
 - a. 水溶液,或
 - b. 非水溶液。
3. 在水溶液或非水溶液中用一种較活泼的汞齐来取代一种离子。
4. 包括如下类型作用的取代反应:
 - a. 一种活泼金属对一种汞盐溶液的取代反应。
 - b. 汞对一种較惰性金属盐的溶液的取代作用。

前面三种方法可以用下述的几个合成作为特殊的例子来加以說明。鈉汞齐(合成 4)可以很容易地借金属和汞的直接結合来制备(說明第 1 法)。鋇汞齐(合成 5)可以容易地借电解氯化鋇饱和水溶液,以汞为阴极来制备(說明第 2a 法)。鋇汞齐也可以容易地借鈉汞齐对浓的氯化鋇水溶液的作用来制备(說明第 3 法)。

如欲汞齐化的金属是很容易获得的話,直接結合的方法就特別适用。一般地是需将这两种組份在一起加热使发生溶解作用和反应。如果原料金属或产物是具有活泼性的話,制备程序可以在

惰性溶剂中进行、在氩气或氮气中进行，或在真空下在一支封闭的玻璃管或金属弹筒中进行。

许多金属可以在汞阴极上放电，由于它具有很高的氢超电压。因此电解法制备汞齐便被广泛地应用和特别便利，因为在这个方法中可以促使放电的金属和汞产生紧密的接触。我们可以假定在这种情况下汞齐化过程是一种迅速进行的过程，因为金属从离子的形式进行放电的瞬间是处于活泼的原子状态。在使用电解法时，一般需用较浓的溶液以便汞齐被溶剂分解的逆反应过程可以压减到最低度。此外，不应该采用含有易被还原的阴离子的盐，例如硝酸盐。

如果欲汞齐化的金属是不易获得的，或是这些金属过于活泼而不便于采用直接结合法时，电解法就特别有用。钾、铷、铯的汞齐可从它们相应的氢氧化物来制备；铜和银的汞齐则可从它们的氯化物溶液来制备。

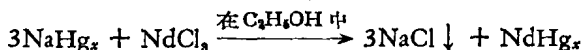
电解法也曾应用于若干由于金属熔点过高而不很容易直接结合的情况中。铬汞齐曾借电解以盐酸强度酸化的氯化铬浓水溶液而制得；钼汞齐则借电解其三氧化物的酸溶液来制备。这个方法也应用于制备一些常见金属如锌、铅、镉、锡、铋和锰的汞齐。铝、钙、镁和铍的汞齐却未曾用电解水溶液的方法制得过。

有一个改进的电解法，包括电解一同时含有金属离子和汞离子的溶液。这个方法应该可能在阴极上沉积出可变组成的汞齐，不过关于这一类工作的广泛研究还没有过什么报导。铋和铜的汞齐曾用这种方法来制备。

在某些情况中，用非水溶剂可以是很便利的，对于在非水溶剂中电解沉积汞齐的例证曾有过很多的报导^[5]。在汞阴极上电解希土金属氯化物水溶液可以生成汞齐，但在同时会沉淀出大量的碱式盐，这种碱式盐是难于分离的。虽然氯化希土的酒精溶液对电流有很高的电阻，但可以从它们无困难地制得汞齐。四甲基铍^[6]和它的高级同类物的汞齐也能借电解相应氯化物在 -34°C 的酒精溶液来制备。曾有人提及用汞阴极电解硫氰化铍在丙酮中的溶

液可以生成鉍汞齐^[7]。有人声称电解碘化鉍在吡啶中的溶液^[8]可以制得一种很高浓度的鉍汞齐,最高可达到 30% 的鉍。

如果不需很绝对的纯度的話,可以借一种活泼汞齐,例如鈉汞齐,对一种金属盐的水溶液或非水溶液的作用来制备相应的汞齐。用这种方法往往不容易获得很完全的反应,最后的产品一定将含有痕跡量的作用汞齐(参考 11 頁附表)。这个方法是一个很簡單的方法,特别是由于鈉汞齐很容易制备。鉍、鋇、錒和釷的汞齐是用这种方法来制备的。近来希土金属的汞齐曾借鈉汞齐对希土氯化物的酒精溶液的作用来制备^[9]。在水溶液中这个反应不会发生。或許是由于氯化鈉不溶于酒精能从溶液中沉淀出来而加速了这个反应,因为它导使反应趋向于完成:



第 4 个方法只有有限的用途,虽然把金属浸入于汞盐溶液中时很容易制得汞齐化的金属表面。汞化銀(Ag_2Hg_3)的制备法可以用来說明汞对較惰性金属盐溶液的作用^[10]。将一滴汞加入于硝酸銀溶液中即生成这个金属互化物的晶体。

参 考 文 献

- [1] Biltz: *Z. anorg. allgem. Chem.*, **219**, 119 (1934).
- [2] Audrieth: *Metallwirtschaft*, **14**, 3 (1935).
- [3] Tammann and Hinnüber: *Z. anorg. allgem. Chem.*, **160**, 249 (1927).
- [4] 对于汞齐的一般性論述可以参閱 (a) Friend: "A Textbook of Inorganic Chemistry", Vol. III, Part II, p. 215, Charles Griffin & Company, Ltd., London, 1926; (b) Mellor: "A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry", Vol. IV, pp. 1005—1048, Longmans, Green & Company, London, 1923.
- [5] Audrieth and Nelson: *Chem. Rev.*, **8**, 335 (1931).
- [6] McCoy and Moore: *J. Am. Chem. Soc.*, **33**, 273 (1911).
- [7] Laszynski and Gorski: *Z. Elektrochem.*, **4**, 292 (1897).
- [8] Hevesy: *Z. Elektrochem.*, **16**, 672 (1910).
- [9] West and Hopkins: *J. Am. Chem. Soc.*, **57**, 2185 (1935).
- [10] Weryha: *Z. Krist.*, **86**, 335 (1935).

4. 鈉 汞 齊

提出人: S. H. BABCOCK, Jr.¹⁾

复核人: H. P. LANKELMA²⁾ 与 E. VOPICKA²⁾

鈉汞齊可以用下列諸方法来制备: 将小块小块的鈉加入到汞中, 用汞阴极电解鈉盐, 或将汞加入到在惰性液体如石蜡油下的熔融的鈉中。上面所述的方法是 Vanstone 提出的^[1], 它的优点是既迅速而又简单。

操 作 手 續

在一只 18 厘米的搪瓷蒸发皿中放入 60 克新切出的金属鈉和足够的石蜡油使之盖在鈉上約有 1 厘米厚的一层。将蒸发皿放在电热板上加热使鈉熔化。在用手不断地搅拌下, 通过一只滴液漏斗向其中加入 1940 克的汞, 加入的方式是虽然最初加得慢些, 但全部汞的加入过程要在 3 或 4 分钟之内完成³⁾。然后将大部的石蜡油澄出。随着汞齊的冷却过程, 用一支重的研杵加以搅拌直到它开始固結(約在 250°C)。在这个温度时迅速地研磨可以得到所需的任何小的顆粒度。冷却后用石油醚或苯加以洗滌, 干燥, 并装在密封的容器中。

所选定的鈉和汞的量是为了制备 2 公斤 3% 的汞齊。这个加入量可以加以改变以便生产別样数量的汞齊(不超过 4 公斤)或不同百分組成的汞齊。

参 考 文 献

[1] Vanstone: *Chem. News*, 103, 181 (1911).

- 1) Branch of the College of Agriculture, University of California, Davis, Calif.
- 2) Western Reserve University, Cleveland, Ohio.
- 3) 如果汞不是很快地加入的, 则会生成一种熔点为 360°C 的 6% 汞齊。这个产物仅能很慢地和剩余的汞构成汞齊。借迅速地加入汞, 有大量的热放出足以保持作用物处于熔化状态。在另一方面, 最初的 10 毫升汞必須一滴一滴地加入, 否则会发生猛烈的反应。随着鈉的迸濺声的逐渐消逝, 加入的速度即可加快。

5. 鋇 汞 齊

(鋇 汞 齊)

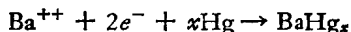
提出人: B. C. MARKLEIN¹⁾, D. H. WEST¹⁾ 与 L. F. AUDRIETH¹⁾

复核人: P. A. VAN DER MEULEN²⁾

常用来制备鋇汞齐的方法有两个:(1)鈉汞齐(或鉀汞齐)对鋇盐溶液的作用;(2)用汞阴极电解鋇盐溶液。前一方法是 Böttger^[1]首先使用的,他制备了鋇汞齐和鋇汞齐。Böttger 声称,当将一种含有 1 份鈉对 100 份汞的汞齐加入到饱和氯化鋇溶液中时,可以很容易地轉化为鋇汞齐,轉化过程中只放出很少量的气体。第二个方法是使鋇在汞阴极上放电,这个方法曾成为一个很詳細探討和研究的題材^[2-3]。这是一个最简单的方法,可生成較純的产物,它是比取代法为更好的一种方法。在操作手續 A 中所提出的方法主要是根据 G. McPhail Smith 与 A. C. Bennett^[9] 所获得的结果而提出的,这个方法在于电解饱和氯化鋇溶液,用汞作为阴极。取代法則提供作为可选择的方法。

操 作 手 續

A. 电 解 法



在一只 250 毫升烧杯中装入 100 毫升的氯化鋇饱和溶液,并加入 250 克純汞。将一根鉑絲封在一支玻璃管的一端,使之和汞相接触以作为阴极。将一片鉑片(5 至 10 平方厘米)弯成直角状,但与汞阴极平行,作为阳极。

将这个溶液电解 120 至 140 分钟,电流强度为 1.75 至 2.5 安培。調节内阻和外阻使电池的电位降为 6 至 7 伏特。如果电解为

1) University of Illinois, Urbana, Ill.

2) Rutgers University, New Brunswick, N. J.