

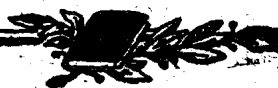
高等学校教学用书

硝酸工 学

B. И. 阿托罗申科 著
C. И. 卡 尔 金

高等教育出版社

高等学校教学用书



硝 酸 工 学

B. И. 阿托罗申科 著
C. И. 卡尔金
周 家 鹏 译

高等教育出版社

本書系根据苏联國立化学科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的阿托罗申科 (В. И. Атрошенко) 和卡尔金 (С. Н. Каргин) 合著“硝酸工学” (Технология азотной кислоты) 1949 年版譯出。原書經苏联高等教育部審定为高等工業学校教学参考書。

本書闡明了关于氮的氧化和由氮的氧化物制造稀硝酸、濃硝酸、以及含氮的鹽類等的原理和技术。本書除可作为高等工業学校的教材;也可作为化学工業中的技術人員們的指導手冊。

本書由周家驪翻譯。

本書於 1954 年 2 月初版。原由商务印書館出版。自 1956 年 8 月起改由本社出版。

硝 酸 工 学

В. И. 阿托罗申科等著

周家驪譯

高等教育出版社出版 (北京宣武門內承恩寺 7 号)

(北京市书刊出版業主管部門登記出字第 051 号)

商务印書館上海厂印刷 新华书店发行

統一書号 15010·215 开本 890×1168 1/32 印張 13 6/16

字數 344,000 印數 1,801~7,300 定价 (10) 元 2.00

1954 年 2 月商務初版 (共印 5,000)

1956 年 8 月新 1 版 1959 年 1 月上海第 4 次印刷

原 序

在過去十年中，在合成硝酸的製造工業方面進行了很多科學性的研究。在增加稀硝酸的生產方面獲得了很大的成就。創造了並在工業中推行了一些製造濃硝酸的新的方法。

這些工作的大部份都已在定期刊物中發表出來了。但是，關於硝酸工學的教學用書，還是早在 10—15 年前出版的一種，該書已經很舊並且也不適合高等學校的需要，也不能解決工廠中技術人員的問題。

戰後，在蘇聯人民面前擺着巨大的任務，要完成這個任務必需盡量的利用科學和技術上的最新的成就、並且要保證化學工業、尤其是硝酸製造工業的更進一步的發展。我們的祖國需要掌握了新的技術、並且將這種技術向前推進的幹部。

這樣就促使我們編寫一本硝酸工學的新書，這本新書應該適宜作工業大學學生和工科學生的教材，並且也要能夠作為化學工業中的工作人員的實際指導手冊。在本書中有各基本操作的計算，同時由於在各雜誌中，關於製造濃硝酸的計算的報導較少，所以在本書中對於這個問題有非常詳細的論述。

本書中的第五、第六、第七和第九等四章，以及製造濃硝酸的計算都是由 С. И. 卡爾金寫成。其餘各章則由 В. И. 阿托羅先科寫成。

А. Я. 克拉以寧(А. Я. Крайней)對本書選擇了一系列的材料，並在原稿的準備上曾予協助，特在此致以謝意。教授 Д. А. 愛普希金(Д. А. Эпштейн)、В. П. 馬爾科夫(В. П. Марков)及 Е. И. 波姆希金(Е. И. Бомштейн)對本書內容曾提供很多寶貴的意見和建議，特在此一並致以深深的謝意。

著者。

目 錄

原序

緒論	1
----------	---

硝酸在國民經濟中的作用和意義	1
----------------------	---

硝酸的製造方法	4
---------------	---

第一章 氮的接觸氧化	14
------------------	----

1. 氮氧化的一般情況和作用機構	14
------------------------	----

2. 接觸劑	21
--------------	----

3. 用鉑接觸劑時氮氧化的溫度條件	27
-------------------------	----

4. 氮空氣混合氣中氮的最宜含量	31
------------------------	----

5. 氮氧化的反應速度	34
-------------------	----

6. 氮氧混合氣的着火及防止其爆炸的方法	42
----------------------------	----

7. 接觸劑的損失和減少損失的方法	46
-------------------------	----

8. 接觸劑的中毒和重生，氣體的淨製	53
--------------------------	----

9. 最宜溫度條件的保持方法	57
----------------------	----

10. 當混合氣中氮和氧的含量增高時的接觸氧化	58
-------------------------------	----

11. 氮在加壓下的氧化	61
--------------------	----

12. 氮在有水蒸汽及其它氣體存在時用氧的氧化	62
-------------------------------	----

13. 氮氧化時的附反應及其防止方法	65
--------------------------	----

14. 氮與空氣的混合	68
-------------------	----

15. 接觸氧化部份的設備	69
---------------------	----

第二章 一氧化氮的氧化	72
-------------------	----

16. 氮的高級氧化物的生成	72
----------------------	----

17. 一氧化氮的性質	73
-------------------	----

18. 一氧化氮氧化反應的速度和平衡	74
--------------------------	----

19. 四氧化二氮的生成和分解	89
-----------------------	----

20. 三氧化二氮的生成	97
--------------------	----

21. 五氧化二氮	104
-----------------	-----

第三章 由氮的氧化物製造稀硝酸	106
-----------------------	-----

22. 用水吸收氮的氧化物時所發生的反應	106
----------------------------	-----

23. 二氧化氮與水相互作用的反應之平衡	112
24. 氮的氧化物的吸收速度和氮的生成速度	126
25. 硝酸水溶液的物理性質	126
26. 含氮的氧化物氣體的濃度及硝酸的濃度在吸收塔中的變化	131
27. 吸收氮的氧化物時的溫度條件	184
28. 循環酸量	137
29. 吸收裝置的體積	139
30. 壓力對吸收氮的氧化物的影響	141
第四章 殘餘的氮的氧化物的回收和鹽類的製備	145
31. 在酸液吸收後用鹼溶液來回收殘餘的氮的氧化物的合理性	145
32. 氮的氧化物被鹼溶液吸收的速度	146
33. 一氧化氮的氧化速度與氮的氧化物被鹼溶液吸收的速度的關係	156
34. 鹼液吸收塔中的填充物和鹼液的流量強度	159
35. 氣體的直線速度和壓力對氮的氧化物的吸收速度的影響	161
36. 亞硝酸鹽溶液的轉化	163
37. 硝酸和硝酸肥料的聯合生產	168
38. 製造高濃度的亞硝酸鹽溶液和硝酸鹽溶液的條件	171
39. 亞硝酸鈉的製造	174
第五章 稀硝酸的製造方法	176
40. 常壓操作系統	176
41. 稀硝酸車間的設備	186
42. 常壓操作系統的開工和停工	196
43. 加壓操作系統	197
44. 硝酸加壓製造車間的設備	203
45. 加壓操作系統的開工和停工	211
46. 製造硝酸的聯合方法	212
47. 各種系統的比較	216
第六章 硝酸的濃縮	219
48. 稀硝酸預濃縮的條件	219
49. 硝酸用脫水劑的濃縮	221
50. 硫酸脫硝的條件	224
51. 稀硝酸濃縮的工業流程	224
52. 硝酸濃縮裝置中的各項設備	230

53. 硝酸濃縮裝置的開工	235
54. 廢硫酸的濃縮	235
第七章 由氮的氧化物直接製造濃硝酸	241
55. 由氮的氧化物製造濃硝酸概說	241
56. 一氧化氮用硝酸的氧化	246
57. 液態的氮的氧化物的製備條件	248
58. 藉濃硝酸將四氧化二氮溶解而將它由含氮的氧化物氣體中分出的方法	253
59. 氮的氧化物自其硝酸溶液中蒸餾出來的速度	256
60. 液態的氮的氧化物與水相互作用的速度	260
61. 由常壓下製成的含氮的氧化物氣體來製造濃硝酸	266
62. 濃硝酸直接製造裝置的設備及其操作標準	271
63. 用加壓下製成的含氮的氧化物氣體來製造濃硝酸	281
64. 用轉化氣製造濃硝酸	283
65. 用氨氣水蒸汽的混合氣製造濃硝酸	288
66. 濃硝酸與稀硝酸的同時製造	291
67. 濃硝酸的各種製造方法的比較	294
第八章 計算方法	296
68. 接觸氧化部份的計算方法	296
69. 吸收部份的計算方法	303
70. 鹼液吸收塔的計算方法	319
71. 硝酸濃縮塔的計算方法	323
72. 濃硝酸直接製造裝置的計算方法	332
第九章 生產的控制	388
73. 接觸度的檢定	383
74. 廢氣中一氧化氮含量和氧含量的測定	391
75. 送去轉化的鹼液的分析	394
76. 硝酸的分析	397
77. 硫酸的分析	400
參考文獻	403
附錄	404
I. 20°C 時硝酸的水溶液的各種濃度單位的對照表	404
II. 硝酸的水溶液在各種溫度下的密度	405

III. 硝酸的水溶液液面上的硝酸蒸氣的分壓(p_{HNO_3})、水蒸汽的分壓($p_{\text{H}_2\text{O}}$)和蒸氣的總壓(P)。	407
IV. 硝酸水溶液的比熱	410
V. 在氮的氧化物的無水硝酸溶液液面上的總蒸氣壓力($p_{\text{NO}_2} + p_{\text{N}_2\text{O}_4} + p_{\text{HNO}_3}$)	410
VI. 氮的氧化物的無水硝酸溶液的密度	411
VII. 氮的氧化物的 19 N 和 16 N 的硝酸溶液的密度	411
VIII. 氮的氧化物的硝酸溶液的熱含量	412
IX. 各種氣體的熱含量	413
X. 在氮的氧化物的硝酸溶液液面上的飽和蒸氣的熱含量	414
XI. 在 730 毫米水銀柱的壓力下時空氣的密度(d)、空氣中的水份含量($C_{\text{H}_2\text{O}}$)和水蒸汽的蒸汽壓力($p_{\text{H}_2\text{O}}$)	414
XII. 飽和水蒸汽的性質	415
XIII. 在常壓和各種溫度下幾種氣體的熱導(導熱係數)	415
XIV. 在常壓和各種溫度下幾種氣體的黏度	416
XV. 硝酸生產設備之製造材料	416

結 論

硝酸在國民經濟中的作用和意義

在各種酸類中，按產量的規模來看，硝酸僅次於硫酸而居第二位。硝酸的大規模的生產是由於：硝酸和它的鹽類在國民經濟中已具有極其重大的意義。硝酸工業的產品的最主要的消費者，是農業和炸藥工業。農業中用硝酸的鹽類作土壤的肥料，而在炸藥工業中則用硝酸的鹽類及直接用硝酸來作為基本的原料。

人所皆知，除了其它的因素而外，土壤中有氮的化合物存在與否，對農作物的收成量是有影響的。各種植物的收成，每年要自每 1 俄畝的土壤中吸去 30 到 50 公斤的氮量。被植物吸去的氮，只有不多的一部分再回到土壤中來。由於硝酸鹽類被水冲刷以及因細菌作用而使之分解生成元素氮的結果，土壤便不斷地失去氮的化合物。

氮是構成蛋白質的成份，而蛋白質則在植物和動物的生命中起着非常重要的作用。沒有氮，植物便不能合成蛋白質。要提高農作物的收成，便需要經常的向土壤中施用氮肥。

現代在農業中正廣泛利用在豆科植物的球根上培養氮菌(根瘤菌)而將氮固定的生物學方法。向土壤中施用高濃度的含氮的礦物性肥料，是與氮的生物學固定方法同樣具有重大的意義。必須指出，硝酸鹽狀的氮(нитратный азот)很容易被植物吸收，並且很快的便在農業中產生功效。因此硝酸鹽狀的氮是一種比氨狀的氮(аммиачный азот)更有價值的肥料。現代在所有各種用作肥料的硝酸鹽的生產中，都是用硝酸作為原料。

在炸藥工業中用濃硝酸來將甲苯、酚及環六次甲基四胺（優洛托品）硝化以製成三硝基甲苯、苦味酸及環形三次甲基三硝基胺。同時濃硝酸也用來製造硝化纖維、硝化甘油和雷汞。

還有大量的硝酸用來將苯、萘、蒽和其它芳香族化合物硝化，這些化合物的硝基衍生物是製造各種有機性染料時的半成品。硝酸也用來製造照相用藥劑和醫藥用藥劑。在硫酸的硝化法（нитрозный способ）生產中，也消耗大量的硝酸或氮的氧化物。此外，在工業的很多其它極其重要的部門中，也都要應用硝酸。

生產出來的硝酸的主要部份都用來製造硝酸鹽類。現代，在各規模巨大的工廠中所生產的硝酸鹽類，便有近 20 種不同的名稱。在這些硝酸鹽中，以硝酸銨、硝酸鈉、硝酸鉀和硝酸鈣佔主要的地位。而硝酸銨的產量最大。

現代，硝酸的生產隨着合成氨生產的發展而發展起來。

表 1. 中所載便是各國固定氮的生產量數字。

表 1. 固定氮的世界產量（不包括蘇聯）

以 1000 噸作單位

年 份	天 然 氮 (作硝酸鹽狀)	由煤中製得的 氮(作氨狀)	合 成 氮			總 計
			電弧法	氮氮基化鈣法	由元素合成	
1903	239.1	112.9	—	—	—	352.0
1906	290.3	149.7	—	0.1	—	440.1
1909	335.1	190.0	1.6	2.3	—	530.0
1912	413.2	252.0	8.9	25.7	—	699.8
1914	394.6	257.9	15.9	41.5	11.0	720.9
1918	455.9	365.8	28.6	89.1	127.5	1066.9
1923	208.9	324.4	29.2	102.2	218.8	981.6
1925	408.3	365.2	33.9	167.4	422.5	1397.3
1929	529.2	440.5	16.8	254.1	1121.8	2362.4
1932	71.0	495.0	—	168.0	1130.0	1664.0
1936	206.0	480.0	—	285.0	2200.0	3171.0
1940	242.0	550.0	—	835.0	3765.0	4892.0

在現代，在生產出來的固定氮的總量中，僅約5%是由開採天然資源而得到的。這是由於只是在智利有大量的天然硝石出產，而其他各國則都致力於保證自己不依靠這種原料的來源而獨立生產硝酸，這樣就使將空氣中的氮固定的合成方法發展起來了。也因此這個方法便在所有各國中得到了廣泛的利用。這個方法首先是製造合成氨，合成氨是製造硝酸的主要原料，在固定氮的總生產量中，合成氨所佔的比例約為3/4。

表2. 中所載是世界各國在戰後的固定氮產量及對固定氮的需要量數字。

表2. 世界各國在戰後的固定氮產量及對其需要量(蘇聯除外)

單位: 1000 噸

國 名		1946/1947 年	1947/1948 年			
		需 要 量	產 量	需 要 量	進 口	出 口
英 國		226	310	240	4	74
法 國		200	170	229	59	—
比 利 時		98	161	93	2	70
荷 蘭		108	65	103	40	—
挪 威		22	97	22	—	75
意 大 利		80	130	137	7	—
歐洲其他各國		516	417	743	350	24
美 國		963	1197	1071	162	288
加 拿 大		32	170	45	1	126
日 本		260	240	365	125	—
智 利		10	260	10	—	250
非歐洲其他各國		199	43	200	157	—
總 計		2710	3260	3260	907	907

在斯大林五年計劃的年代裏，蘇聯的氮工業以巨大的化學工業的一個部門的姿態出現了。工業和農業的社會主義的改建，要求創立一個現代化的巨大的氮工業。最後，終於使氨和硝酸的生產，完全擺脫了對外國的依賴。

這段時期中修建了下列巨大的氮工廠：斯大林諾高爾（Сталиногорский），比里斯尼可夫（Березниковский），第尼泊德色而然（Днепро-дзержинский），哥爾羅夫（Горловский），凱密諾夫（Кемеровский），其爾其克（Чирчикский）。各硝酸工廠所用設備，都是在蘇聯的工廠中製成。

生產氮肥以應農業的需要是氮工業的主要任務之一。

在蘇聯是按蘇聯國家標準（ГОСТ）中所定的規格而生產下面兩種硝酸：（1）稀硝酸（其規格見 ГОСТ 15374—39），（2）濃硝酸（其規格見 ГОСТ 701—41）。

稀硝酸又再分成兩種，這兩種稀硝酸所含水份及固體殘渣的量均不相同：

	品種 A	品種 B
HNO_3 含量，以重量%計，應不低於……	49	60
經炙燒後的固體殘渣，以重量%計，應不大於……	0.07	0.05
硝酸應無色或微呈淺黃色；並應不含有沉澱。		

在夏季中——由五月起至九月底止——可以允許品種 A 中的 HNO_3 含量不低於 47%，品種 B 中 HNO_3 的含量不低於 57%。

濃硝酸也按 HNO_3 和雜質的含量而分成下面兩種：

	1 號品種	2 號品種
HNO_3 含量的重量%不低於……	98	96
氮的氧化物的含量（算成 N_2O_4 的重量%）不大於……	0.3	0.4
固體殘渣的重量%不大於……	0.05	0.07
H_2SO_4 含量的重量%不大於……	0.1	0.2

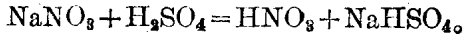
如果濃硝酸在製造時並不應用硫酸，則 H_2SO_4 含量的規定便沒有必要了。

硝酸的製造方法

硝酸在很久以前便為人們所知道了。由十七世紀開始，人們使用

蒸餾硝石和硫酸的混合物的方法製造硝酸。一直到二十世紀開始以前，天然硝石都是製造硝酸的唯一的原料。

這個製造方法是基於下面這個反應的：



如果硫酸的用量較少因而使反應只能進行到生成硫酸鈉，而不是進行到生成硫酸氫鈉，則是不適宜的，因為在這種情況下由於硫酸鈉的熔點很高，便會造成大量的硝酸損失。

那時是將天然硝石置於鑄鐵製的曲頸甌中，用硫酸來將其分解，甌外用爐氣加熱。將蒸發出來的硝酸於冷卻器中冷凝後再收集於鋼筒中。在應用濃度 95—97% 的硫酸和純度 96% 的硝石時，都得到了濃硝酸（濃度達 96—98% HNO_3 ）。而其餘的分解產物則使之通過一系列的鋼筒，鋼筒中盛有水或石灰乳以將氮的氧化物吸收。當硝酸被蒸出後，便將液態的硫酸氫鈉自曲頸甌中傾出。

在這些硝酸的製造方法當中，曾有一個比較最完善的方法，就是在減壓（650 毫米水柱以下）下用硫酸來將硝石分解。這樣硝石的分解溫度降低到了 80—160°，而將硝酸完全蒸出的時間也縮短成了 6 小時，並且硝酸的收率也達到與理論收率相近。燃料的耗量為 120 公斤/噸 HNO_3 。

這種硝酸製造方法完全依賴智利硝石的進口，在將氮加以接觸氧化而製造硝酸的方法被研究出來和推行之後，這種方法便被淘汰了。

在二十世紀初葉，大氣氮的固定這個極其重要的問題獲得了解決，這給予人類一個製造氮化合物的原料的新的取之不盡的來源。人所皆知，在每一平方公里地面上的空氣中，含有 750 萬噸的氮。經過很多科學家的相繼努力，終於解決了將這些無用的（惰性的）氮轉化成化學活潑的氮的問題。1901 年由於利用了電弧火焰（電弧法），而奠定了將空氣氮固定的開端。1906 年在工廠規模上應用了將空氣氮固定的氰氨基化鈣法。氰氨基化鈣是一種優良的肥料，並且可以用作製造氮的原

料。最後，1913年由元素來合成氨的生產終於在經過了很多工作的基礎上被創設起來了，後來合成氨的生產更得到了突飛猛進的發展，而現在合成氨的生產已在固定氮的生產中佔據了主要的地位。同時，由氨來製造硝酸的問題也得到了解決。

就這樣的在一個相當短的時間中，研究出了兩種製造硝酸的方法：一是用電弧法將空氣的氮直接固定成為一氧化氮，然後將一氧化氮製成硝酸；另一是氨的接觸氧化法，按照這個方法是使氮先與氫化合，然後將得到的氨氧化成一氧化氮，而這時氨中的氫便同時燃燒成水。

電弧法製造硝酸之所以引人注意者，是因為用這個方法時不需任何原料，並且它的設備也很簡單。但是用這個方法卻要消耗大量的電力。

空氣中的氮在高溫下的氧化是按下面的反應式進行的：



當空氣的氮氧化時，一氧化氮的平衡濃度的數值如下：

絕對溫度，K.....1810 1850 2000 2050 2200 2400 2550 2700 3000

NO的濃度，體積%...0.37 0.42 0.59 0.64 0.98 1.50 2.05 2.31 3.57

當體積不變時此反應的等體公式(уравнение изохоры)如下：

$$\log K = -\frac{9452}{T} + 1.0884, \quad (1)$$

式中 K — 平衡常數；

T — 絕對溫度。

一氧化氮的平衡濃度可用下式求定：

$$K = \frac{C_{\text{NO}}^2}{C_{\text{N}_2} \times C_{\text{O}_2}} = \frac{x^2}{(79.2 - 0.5x)(20.8 - 0.5x)} \approx \frac{x^2}{1646}, \quad (2)$$

式中 x — 一氧化氮的濃度，以體積%計算；79.2 和 20.8 — 空氣中氮和氧的含量，均以體積%計算

將公式(1)及(2)合併，便可以得到下面的公式，按這個公式可以

近似的去將隨溫度變化的空氣中的一氧化氮的平衡濃度求出：

$$\log x = -\frac{4726}{T} + 2.152。$$

由上述各點必然得出，就是一氧化氮的製備必須在高溫之下進行。

按照生成一氧化氮的反應式來看，原料氣應含有 50% 的氮和 50% 的氧。這樣的成份可以保證有獲得一氧化氮的最大收率和最大的反應速度的可能。

但是在氮和氧變成一氧化氮的轉化度不大的情形下，應用加富了氧的空氣都已證明是不適宜的。實際上都是應用了空氣來製造一氧化氮。

研究業已證明，氮的氧化速度隨溫度的增加而迅速增大。例如，要生成數量為平衡濃度的 50% 的一氧化氮，所需要的時間在 1230° 時為 30 小時，在 1630° 時便為 124 秒，而在 2630° 時則僅為 3.4×10^{-5} 秒。

由於此反應是服從一個二級動力學公式，所以此反應的速度可按下式來求定：

$$\frac{dx}{d\tau} = k_1(C_{N_2} - 0.5x)(C_{O_2} - 0.5x) - k_2x^2, \quad (3)$$

式中 C_{N_2} 和 C_{O_2} — 氣體中氮和氧的初濃度，以體積%表示；

x — 在時間 τ 時的一氧化氮的濃度，以體積%計算

k_1 和 k_2 — 順向反應和逆向反應的速度常數。

逆向反應（一氧化氮分解）的速度常數的數值，可用下式按其與溫度的關係來求定：

$$\log k_2 = -10.897 + 5.371 \times 10^{-3} T。$$

在知道了平衡常數 K 和一氧化氮分解的速度常數 k_2 之後，便可以按下式求得一氧化氮生成的速度常數：

$$k_1 = k_2 \times K。$$

在低溫下一氧化氮分解的速度甚小，因此，雖然在這些溫度下一氧

化氮在熱力學上是不穩定的，但是並沒有顯著的分解現象發生。例如，要使純的一氧化氮的 50% 分解，所必需的時間在 1230° 時為 197 秒，而在 2630° 時則為 2×10^{-6} 秒。因此，應爭取在可以得到較高的一氧化氮產量的高溫下來進行空氣的氮的氧化。同時，為了避免由於一氧化氮分解致使一氧化氮的濃度降低到相當於一個較低溫度時的平衡狀態下的濃度的現象，必須將氣體迅速冷卻。在 3000° 時一氧化氮的平衡濃度為 4.6%，並且差不多一瞬間便可達到這個平衡濃度，但是事實上由於氣體的冷卻以及這時平衡迅速向左移動的結果，這個濃度只有約 2—1.5%。

如果所加的全部能量都能用於下面這個反應上：



則每用 1 瓩小時的電力便應該獲得 2500 克的硝酸。但實際上每用 1 瓩小時的電力只能獲得 55 到 80 克的硝酸。

從前都廣泛應用電爐來使氮氧化，在電爐中電弧為電磁鐵吸向爐盤（диск）並沿電極的方向伸長。爐盤的直徑達 3 米。電爐的能量為 300—1000 瓩，其電壓當頻率每秒內為 50 時是 5000 伏特。

那時將得到的一氧化氮再繼續製成硝酸時所用的方法，與現在將氮接觸氧化而得到的一氧化氮再製成硝酸時所用的方法差不多相同。

俄國科學家 А. Е. 哥爾波夫 (А. Е. Горбов) 和 В. Ф. 米特凱維奇 (В. Ф. Миткевич) 曾設計出一種效率特別高的電爐。這種爐子的突出的特點，是電爐中的電弧的火燄作了漏斗形狀。此電爐係與冷卻器直接相連，而冷卻器則是用水來冷卻。被加工的空氣是由漏斗中通過後再進入冷卻器中，當空氣流動時它將電弧引入了漏斗中，於是在這裏空氣和電弧火燄發生緊密的接觸，然後空氣再進入冷卻器中迅速冷卻。這使得我們祖國的人們能夠得到一個曾達 2.5% 的較高的一氧化氮濃度。但是由於沙皇時代的官僚們的保守，哥爾波夫和米特凱維奇的方法沒有能夠在我國得到廣泛的應用。В. Н. 卡拉任 (В. Н. Каразин)

的利用電力來製造硝石的建議，同樣也沒有得到注意，他早在 1818 年便已提出這個建議了。

由表 1. 中可以看出，氮固定的電弧法在 1925 年達到了最大的發展，在這一年用這個方法所製成的固定氮為 339000 噸。到 1932 年製造硝酸的電弧法，便完全的為合成氮的接觸氧化法所完全代替了，這個方法(指後者)在發展的最初期便已充分的顯示出了它的優點。

製備氫和氮，再合成氨，然後再將氨氧化製成硝酸總共消耗的電力如以燃料(按理論量)計算，每 1 噸固定氮約需 6—8 噸煤，而在用電弧法時則需 64 噸煤。於是由固定在氮中的氮來製造硝酸的間接方法，便要比使空氣的氮與氧相固定的直接方法更為經濟。

但是在現代關於使氮與氧直接化合的研究仍舊在繼續進行着，這種研究並不是沒有利益的。現在正進行着在高壓下使氮與氧結合的試驗，在高壓下可以得到的電弧溫度較高，因此可以得到的一氧化氮的濃度，比到目前為止以前所得到過的都高。

在可燃性氣體——甲烷、氫和一氧化碳——的存在下用氧來使氮發生爆炸氧化的試驗，得到了引人注意的結果。在半工廠規模上所進行的這些試驗，證明了當焦煤氣在空氣中燃燒時可產生一個約 2000° 的溫度，並且在這種情況下是能夠製得一氧化氮含量達 1.5—1.6% 的含氮的氧化物氣體。如果將可燃性氣體的熱量加以利用，則這種含氮的氧化物氣體便可用作製造硝酸和它的鹽類的原料。

Л. Б. 塞爾多維奇(Л. Б. Зельдович)、П. Я. 沙多弗尼科夫(П. Я. Садовников)和 Д. А. 法蘭克·卡明尼茨基(Д. А. Франк-Каменецкий)在他們對燃燒時氮的氧化的研究工作中，曾研究了過程的動力學和反應機構。他們用證明否定了燃料的化學性質對一氧化氮的生成發生影響的說法。在各種不同的可燃性氣體存在下燃燒和爆炸時的一氧化氮的濃度，都只與當時所產生的那個溫度有關，也就是說只與爆炸性混合物的發熱量有關。這就是說空氣的氮在可燃性混合氣中氧化時，一氧