

高等学校教学用书



磷肥工艺学

A. A. 索科洛夫斯基著

B. П. 卡姆左耳金主编

42

高等教育出版社

高等学校教学用书



磷 肥 工 艺 学

普通过磷酸钙和双料过磷酸钙的 生产原理及计算

A. A. 索科洛夫斯基著

B. II. 卡姆左耳金主编

赵九生 朱淳礼译

C 43730

高等教育出版社

本書系根据苏联全苏函授多科性工学院 (Всесоюзный заочный политехнический институт) 1954 年出版的 А. А. 索科洛夫斯基 (Соколовский) 副教授著并由 В. П. 卡姆左耳金 (Камзолкин) 教授主編的“磷肥工艺学” (Технология фосфорных удобрений) 一書譯出。原書为苏联高等函授学校無机物工学專業学生學習磷肥工艺学所用的教学参考書。

本書簡單而扼要地講述了磷矿石原料、磷酸鈣肥料制造的理論以及普通通过磷酸鈣、磷酸和双料过磷酸鈣的生产原理及計算。

本書可作为化工高等学校無机物工学專業学生的补充参考書，也可供磷肥工業的研究、設計人員及工厂技術人員参考。

本書由天津大学化工系無机物工学教研室赵九生和朱淳礼翻譯。

磷 肥 工 艺 学

普通通过磷酸鈣和双料过磷酸鈣的生产原理及計算

А. А. 索科洛夫斯基著 В. П. 卡姆左耳金主編

赵九生 朱淳礼譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京華印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·641 開本 850×1168 1/32 印張 3 13/16 字數 88,000 印數 4,001—8,000

1958 年 5 月第 1 版 1958 年 11 月北京第 2 次印刷 定價 (10) ¥ 0.60

序

本教学参考書供函授生學習無機物工学課程的磷肥部分时采用。本参考書不能代替磷肥工艺的系統教材，而只是补充教材。本書的主要任务是使学生熟悉主要的工艺計算的方法。在學習本参考書以前，学生应已从專業課教本(見主要参考書刊 1, 2, 3)充分了解磷肥生产的工艺学。

在本書中簡單地敘述了磷矿石原料。由于磷肥方面的理論散見于許多的杂志文章及書本中[4-12],使在应用它們时感到困难,因此本書对生产的物理化学原理的敘述非常注意。

此外，我們力求在本書中指明对生产的物理化学原理进行研究的实际意义，指明理論对深入了解工艺过程以及对普通和顆粒狀过磷酸鈣生产、硫酸法制取磷酸及双料过磷酸鈣生产等各种工艺計算方法的意义。

目 录

序

I. 苏联磷肥生产的发展

II. 磷矿石原料簡論

III. 用硫酸分解天然磷矿石法制造磷酸鈣肥料的理論基础

CaO—P ₂ O ₅ —H ₂ O 系統的平衡	12	MgO—P ₂ O ₅ —H ₂ O 系統的平衡	24
磷酸鈣鹽水解的計算	19	磷酸的中和率	25
鹽类結晶的計算	22	硫酸鈣在磷酸中的溶解度	29

IV. 普通过磷酸鈣的生产

生产过程的理論	33	化成室生产能力的計算	53
过程的第一阶段	34	間歇式化成室	53
过程的第二阶段	39	連續式化成室	56
磷矿石在倉庫內的再分解	47	过磷酸鈣的粒化	57
过磷酸鈣生产的工艺計算	49	制造顆粒狀过磷酸鈣的流程	58
物料計算	49	粒化过程的物料平衡計算	60
消耗系数	52		

V. 硫酸法生产磷酸

过程的理論与工艺学基础	66	浸取槽容积的計算	84
磷矿石的分解	66	固相与液相的分离	86
分解速度	70	連續式真空过滤器上的过滤及逆流	
硫酸鈣的結晶	71	洗滌的計算	87
硫酸分解磷矿石过程的物料衡算	80	在增稠器內傾析与逆流洗滌的計算	94
硫酸定額	81	沉淀表面积的計算	99
稀釋液的用量	81	主要工艺指标的計算	103
料漿循环次数的計算	82		

VI 双料过磷酸鈣的生产

工艺过程的理論基础	106	生产的物料計算	111
磷酸定額	106	原始数据	112
生产的工艺条件	109	消耗系数	114

主要参考書刊	117
--------	-----

I. 苏联磷肥生产的發展

在偉大的十月社会主义革命以前，俄国的磷肥生产还只是处在萌芽阶段；纖維磷灰石的开采量不大，并且是在手工業的装备中粉碎成磷矿粉的；有一些簡陋的过磷酸鈣工厂，但主要是处理国外入口的纖維磷灰石。骨粉和冶金工厂的托馬斯爐渣的利用量也不大。对天然磷矿石矿藏未进行过有計劃的和广泛的勘探，因此在当时并不知道俄国蘊藏着丰富的磷矿石。

在沙皇制度下，無机肥料工業也和其他化学生产一样，不可能获得应有的發展，只有在偉大十月社会革命以后，才扫清了一切妨碍化学工業成長的障碍，并为化学工業巨大的發展創造了有利条件。

苏联差不多是从头开始地把磷肥工業建立了起来。这一巨大的工作从苏維埃政权建立的第一年起就开始逐步地进行了。1918年就在黑嘴化学工厂（Чернореченский химический завод）中开始建立了生产过磷酸鈣的車間。1919年建立了肥料研究所（現在的肥料及杀虫剂研究所 НИУИФ）。研究所的建立者和第一批的領導者有 Я. В. 薩莫依洛夫（Самойлов）教授（研究所就以他的名字命名），Д. Н. 普略尼施尼可夫（Прянишников）院士，Э. В. 布利茨凱（Брицке）院士，В. П. 康佐尔金（Камзолкин）教授，А. В. 卡查柯夫（Казаков）教授及 С. И. 沃里福科維奇（Вольфкович）院士等。

在研究所里成長的苏联科学工作者們研究了原料資源、制造工艺学和農業化学等問題，促进了苏联無机肥料（其中包括磷肥）工業的建立。

1922年組成了“磷肥”托拉斯，集中力量以建立磷肥工業。为

了調查原料資源，進行了大量的地質勘探工作，結果發現蘇聯磷礦的儲藏量在世界各國中居首位。

蘇維埃制度下科學和實際相結合的光輝典範就是 A. E. 費爾斯曼 (Ферсман) 院士在 1926 年發現的希賓磷灰石礦區。

由肥料及殺蟲劑研究所 [М. И. 菲威格 (Фивег) 等] 詳細勘探的這一礦區，實際上已成為磷肥生產的取之不尽的磷礦源泉。由於 С. М. 基洛夫 (Киров) 的經常的關懷和頑強的工作，希賓變成了巨大的化學中心和地質中心。

在肥料及殺蟲劑研究所成立的最初年代里，除了該所勘探和研究了許多纖維核磷灰石礦藏以外（如耶戈列夫斯克，維亞特，阿克秋賓斯克，波爾平，希格雷，克羅列維茨克等），還在 1936 年，在中亞細亞（卡拉套）發現了世界上蘊藏量最大的纖維核磷灰石礦區。

在 Д. В. 布利茨凱院士、В. П. 康佐爾金教授和 С. И. 沃里福科維奇院士的領導下，很多科學工作者對本國磷礦石原料的工藝加工方法進行了科學研究工作，這些方法已成為過磷酸鈣及其他磷肥的大型工廠內生產過程組織的依據。

蘇聯至 1930 年已經完全停止了從外國（摩洛哥）部分進口纖維核磷灰石。在第一個五年計劃的年代里，蘇聯的磷肥工業已獲得了飛快的、大規模的發展。在 1931 年蘇聯過磷酸鈣工業產品已為革命前的二十倍。建立了大型的過磷酸鈣工廠，並且重建和大大地擴建了舊工廠。在基洛夫城開始建立了世界上最大的磷灰石礦區，在那里還建立了巨大的浮選工廠以洗選霞石-磷灰石礦。附有機械化初選裝備的大型磷灰石礦區開始了工作；建立了生產磷礦粉的工廠。

在偉大衛國戰爭勝利結束後，蘇維埃國家在短期內不僅恢復了戰爭中被毀壞的企業，同時還保證了它的進一步的發展。

蘇聯戰後第一個五年計劃（1946—1950 年）勝利完成的結果，

使化学工業产品超过战前水平 80%；其中磷肥生产增加了 90%。

第十九次党代表大会关于 1951—1955 年發展苏联第五个五年计划的指示中規定：

保証在化学工業中以最高速度發展無机肥料的生产；增大氨、硫酸、無机肥料(特別是顆粒肥料)和消灭农作物病虫害的化学品方面的生产能力。

規定要在爱沙尼亞苏維埃社会主义共和国建立过磷酸鈣的生产部門，并在立陶宛苏維埃社会主义共和国建立过磷酸鈣工厂。在無机肥料工厂的建造中創造积累，以保証無机肥料生产在以后年分的必要發展，充分利用磷酸鹽矿渣作田地的肥料。

第五个五年計劃中規定工業生产总值提高 70%，而其中無机肥料生产則提高 88%。

在 1953 年 9 月 7 日召开的苏联共产党中央委员会全体會議，在“进一步發展苏联农業的措施”的決議中，制定了迅速提高农業各部門的措施綱要，这些措施在二三年內便可保証提高对苏联人民粮食商品的供应量。

苏联共产党中央委员会全体會議認為，在苏联許多地区谷类作物及其他农作物收获量較低的主要原因之一，就是土壤內有机肥料和無机肥料施肥不足。

为了进一步增加农業产品，中央委员会九月全会責令苏联化学工業和冶金工業，到 1959 年时，要使無机肥料的生产能力提高到 1650—1750 万吨，到 1964 年提高到 2800—3000 万吨(均換算为特定的單位)。

并且提出了生产顆粒狀过磷酸鈣的具体任务，1955 年顆粒肥料应占过磷酸鈣总量的 45%，而 1958 年則应达到 60%。

中央委员会全体會議的一个重要决定，就是規定了关于广泛利用希宾磷灰石以及地方纖核磷灰石以应农業需要問題的研究任

务。

根据十九次党代表大会以及中央委员会九月全会的决议认为，对苏联磷肥生产中的科学技术最新成就的研究具有特殊重要的意义。要完成这一提给磷肥工业工作者的任务，就必须对苏联学者们所提出的工艺学的理论基础，进行深入而全面的研究。

II. 磷矿石原料簡論

制造磷肥的原料为天然磷矿石——磷灰石矿和纖維核磷灰石。这些天然磷矿石所含的磷酸鹽矿物主要是氟磷酸鈣。

磷灰石型复合物的通式为 $3Me_3(PO_4)_2 \cdot CaX_2$ 。磷酸鹽中的陽离子大多为 Ca，但已經知道也可能是 Sr、Mg、Ba、Mn、Fe；X 主要为氟，但有时可能为氯，少数情况 X 为 OH^- 及 CO_3^{2-} 。

在自然界中遇到的主要为氟磷酸鈣。地球上氟磷灰石最大的蘊藏处是在苏联境内的产地——希宾苔原(科拉半島)。希宾磷灰石的結構可以下列分子式表示：



这种氟磷灰石含 55.51% CaO、42.25% P_2O_5 及 3.77% F。

在科拉半島所采得之磷灰石矿，除含有晶狀氟磷灰石外，还含有許多其它的矿物：

霞石— $(K, Na)_2Al_2Si_2O_8 \cdot nSiO_2$ ——它在矿石中的含量最大；易于被酸分解。

故当用酸处理时，磷灰石矿中的霞石極為有害。

鈦磁鉄矿— $FeTiO_3 \cdot Fe_3 \cdot Fe_3O_4$ ①

鈍鈉輝石— $Na_2Fe_2Si_4O_{12}$

榍石— $CaTiSiO_5$

在矿石中的含量很少。
在酸中难于分解。*

除上述矿物外，在磷灰石矿中还含有少量的長石、黑云母、异性石等。

为了除去矿中的無用雜質，用浮选方法来选矿。

根据苏联国定全苏标准(ГОСТ 3277-46)，浮选后之磷灰石精矿应具有如下的組成： P_2O_5 不少于 39.4%，水分不大于 1%，在 1

① 此处分子式疑为 $FeTiO_3 \cdot Fe_3O_4$ 之誤——譯者注。

厘米² 上有 1600 篩孔的篩網上(篩網綫徑 0.15 毫米)殘留物不多于 11%。

磷灰石矿是由融熔的岩漿冷却和結晶而形成的。

第二种类型的磷矿石原料——纖維磷灰石——則是沉积生成的。纖維磷灰石主要是由海水中的磷酸鈣沉积而形成的。

纖維磷灰石中的磷酸鹽主要也是氟磷灰石，但处于高度分散状态。纖維磷灰石矿除含有磷酸鹽矿物外，还含有不同量的無用矿物，例如：

海綠石— $[(R_2O + RO) \cdot R_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O]$ 型的水合硅酸鹽式中 R_2O 可能代表 K_2O 、 Na_2O ；
 $RO—MgO$ 、 CaO 、 FeO ； $R_2O_3—Fe_2O_3$ 及 Al_2O_3 } 易被酸分解。

褐鉄矿— $Fe_2(OH)_6 \cdot Fe_2O_3$

方解石— $CaCO_3$

白云石— $CaCO_3 \cdot MgCO_3$

高嶺土— $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$

黄鉄矿— FeS_2

} 难被酸分解。

纖維磷灰石中还可能含有石英、長石、花崗石等几不为酸所分解的硅酸鹽及有机物。

磷肥生产中最有害的雜質是易被酸所分解的含鉄矿物(海綠石、褐鉄矿)。

由于矿床性質不同，纖維磷灰石又可分为兩类：層狀的和結核狀的。

層矿纖維磷灰石成大片狀的磷酸鹽矿，与其他的矿石(碳酸鹽、硅酸鹽、弱亞磷酸鹽)共存。苏联最大的層矿纖維磷灰石蘊藏在哈薩克斯坦的卡拉套山。

層矿纖維磷灰石的特点是有較高的 P_2O_5 含量，約为 26—36%，倍半氧化物 $(Al, Fe)_2O_3$ 等雜質不大于 2—3% 及 MgO 高于

2%。

結核纖維磷灰石以不規則的結核狀存在于砂及粘土中，有时与石灰、粘土等膠結成結核。在苏联結核纖維磷灰石主要可分为三类：

1) 砂質的，2) 海綠石型的，3) 粘土型的。

砂質的纖維磷灰石的蘊藏量占目前已知的纖維磷灰石总量的60%。蘊藏在西哈薩克斯坦、庫爾斯克、布良斯克、卡盧加、斯摩棱斯克等省的广大地区中。

砂質纖維磷灰石以結核狀与石英-海綠石砂共存(哈薩克斯坦)；有的与石灰砂共存(布良斯克、日茲德拉)；在有些地区結核物形成坚固的石板(庫爾斯克、哈薩克斯坦)。

纖維磷灰石的結核是由石英-海綠石砂与纖維磷灰石膠結而成；有的含有方解石、黃鐵矿的結晶；也發現有石膏及水合氧化鐵。

砂質纖維磷灰石的化学組成的特点是 P_2O_5 含量較低(最典型的是 12—16%，阿克秋賓斯克及布克列耶夫的纖維磷灰石中 P_2O_5 的最大含量为 19.5—20%)；不溶性雜質含量較高(30—50%)，倍半氧化物的含量較低(5—6%以下)。

海綠石型纖維磷灰石与砂質纖維磷灰石不同之处，就在于它所含的非磷酸鹽矿物中主要是海綠石以及少量的長石。

在海綠石型纖維磷灰石中， P_2O_5 含量达到 24% (一般为 18—20%)，且不溶性雜質的含量較低。这种矿中倍半氧化物含量極高，在結核狀或層狀矿中为 12—15%，在風化矿中則达 20%。这是本类纖維磷灰石的缺点。

典型的海綠石型纖維磷灰石矿是耶戈列夫斯克矿(里亞贊地区)。

粘土型纖維磷灰石的特点是 P_2O_5 含量相当高(24—28%)。这种磷灰石在苏联境内分布不多(約占原料总量的 1.6%)。

粘土型纖維核磷灰石最大产地为維亞特-卡姆及耶戈列夫斯克(波特蘭区)。

粘土型纖維核磷灰石的化学組成的特点是: 不溶性杂质含量較低(3—9%); 由于含有方解石, 故 CaO 与 CO_2 含量較高; 碱及倍半氧化物含量較海綠石型为低(倍半氧化物含量达 8%)。

在纖維核磷灰石中几乎总是存在着分布不均匀的粘土类物質, 并可以發現海綠石顆粒、黄鉄矿結晶及石英。

由于結核矿中存在着大量杂质, 在很多情况下就必须进行选矿。选取纖維核磷灰石可以应用簡單的方法: 篩析(干法或湿法)及洗滌——这称为初选; 要更完全的將磷酸鹽矿与無用矿物分离, 則需將初选后的精矿加以第二次較复杂的精选(主要是用浮选方法)。

在表 1 中列出了适用于化学加工成磷肥的磷矿石原料組成的詳細数据。此表可供生产上工艺計算的参考。

表 1. 磷矿石原料的化学组成①

组 成 部 分	磷灰石精矿	卡拉套山 磷灰石 (楚拉克区)	洗滌后阿克 秋宾斯磷 灰石 (新烏克 蘭區)	浮选后阿克 秋宾斯磷 灰石 (波格丹 諾夫區)	洗滌后維亞 特維核磷灰 石	浮选后維亞 特維核磷灰 石精矿	耶戈列 夫斯磷灰 石精矿	布瓦斯 磷灰石 精矿	希格 維核磷 灰石初 选精矿
P_2O_5	39.4	28.8	9.1	25.0-25.8	23.5-25.0	28.0-28.2	28.5	17.1	16.1
不溶性杂质	0.2-1.5	8.7	32.7	11.0-13.0	15.6	4.3-6.4	5.0	37.6	45.8
CaO	52.0	46.6	31.5	40.5-41.8	36.1-39.5	43.9-45.1	43.2	29.4	26.2
Fe_2O_3	0.1-0.8	1.0	2.7	2.4-2.6	3.8-5.5	3.1-3.4	4.0	1.8	2.9
Al_2O_3	0.5-0.9	1.5	1.2	1.0-1.4	2.8-3.5	0.6-1.1	1.5	1.0	0.03
CO_2	—	5.0-7.0	4.1	4.5-4.9	4.4-5.0	5.7-6.8	5.0	5.2	3.1
MgO	0.1-0.2	2.2	0.6	無数据	0.8	無数据	無数据	0.5	0.6
SO_2	—	2.9	1.4	無数据	1.4	無数据	無数据	1.5	0.9
FeS_2	—	無数据	無数据	無数据	1.6-2.8	無数据	無数据	0.1	0.3
K_2O	0.2	無数据	0.4	無数据	1.05	無数据	無数据	0.5	0.16
Na_2O	0.9	無数据	0.7	無数据	0.8-1.4	無数据	無数据	1.0	0.34
F	2.8-3.1	2.7	2.5	2.9-3.2	2.5-3.0	2.2-3.2	2.9	2.1	1.9
煅烧损失	—	無数据	2.9	無数据	4.0-4.8	無数据	無数据	3.1	2.8
比值×000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$Fe_2O_3:P_2O_5$	0.25-0.75	3.5	14.2	9.4-10.4	15.0-23.0	11.0-12.2	14.9	10.5	18.2
$Al_2O_3:P_2O_5$	1.3-2.3	5.2	6.3	3.9-5.6	11.0-15.0	2.1-3.9	5.3	6.0	—
$CaO:P_2O_5$	132.0	162.0	165.0	162.0	156.0	158.0	152.0	172.0	163.0
$F:P_2O_5$	7.5	9.4	13.1	12.0	11.4	9.6	12.0	12.3	11.8

① 部分数据摘自 А. М. Дубовицкий и А. И. Шеремевский: "Технология минеральных удобрений", Госхимиздат, 1947 г.

III. 用硫酸分解天然磷矿石法制造 磷酸鈣肥料的理論基础

三元的正磷酸 H_3PO_4 可以生成以下三种鹽类：

MeH_2PO_4 —磷酸二氫鹽

Me_2HPO_4 —磷酸氫鹽

Me_3PO_4 —磷酸鹽

鈣与磷酸可以生成下列各鹽：

磷酸二氫鈣

無水鹽 $Ca(H_2PO_4)_2$

一水合物 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$

磷酸氫鈣

無水鹽 $CaHPO_4$

二水合物 $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$

磷酸鈣

無水鹽 $Ca_3(PO_4)_2$

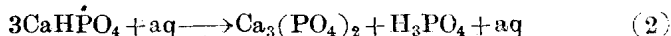
一水合物 $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$

磷酸鈣鹽(以及游离磷酸)是磷肥中主要的有用組分。同时已經知道：磷酸鈣鹽在水中的溶解度随其中鈣的相对含量之减少而增大。

譬如，磷酸鈣，特别是其复合物——氟磷灰石，实际上不溶于水，且难溶于弱有机酸溶液。

磷酸氫鈣难溶于水，但相当完全地溶解在檸檬酸的氨溶液中(即所謂檸檬酸溶液)，这也就是植物可以吸收这类鹽的标识。磷酸二氫鈣是最容易溶解的鹽，因而也最容易为植物所吸收。

必須注意：磷酸鈣鹽在水溶液中即分解為磷酸及鹼性較強的磷酸鹽：



分解率決定於鹽量及水量之比。這一現象在以後還要解釋。

細粉狀的天然纖維核磷灰石（纖維核磷礦粉）可以用作慢效肥料；對酸性灰化土、退化黑土、淋溶黑鈣土、灰林土特別有效。磷灰石精礦由於其不易被吸收，故完全不宜用作直接肥料。

天然磷礦石化學加工的主要任務是把不溶或難溶的磷酸鈣鹽轉變為較易溶的、易為植物所吸收的形式。

為此，就需要用無機酸來處理天然磷礦石，使磷酸鈣中部分或全部的鈣與無機酸結合。

普通通過磷酸鈣的生產原理的基礎，就是使磷酸鈣與一定量的硫酸相互作用，此硫酸用量必須能使之按下列反應式生成磷酸二氫鈣：



雙料過磷酸鈣的生產則分為兩個步驟：首先是磷酸鈣與一定量的硫酸作用，使按下式生成游離磷酸：



將硫酸鈣結晶與磷酸分離。第二步則是用磷酸將另一批新的磷酸鈣分解生成磷酸二氫鈣：



根據上述制取過磷酸鈣的過程可以看出：用硫酸處理天然磷礦石的結果在很大程度上決定於磷酸鈣與硫酸鈣在磷酸水溶液中的共同溶解度，也即決定於 $\text{P}_2\text{O}_5-\text{CaO}-\text{SO}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系統的平衡。

研究這一系統是了解製造過磷酸鈣理論的必要條件。

卡拉套纖維核磷灰石中含有較大量的鎂化合物。用硫酸來分解

含有大量鎂化合物雜質的天然磷酸鈣礦的方法則另有其特點。

磷酸與氧化鎂會生成與磷酸鈣化合物相類似的一系列的鹽類：

磷酸二氫鎂

無水鹽 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

二水合物 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

四水合物 $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

磷酸氫鎂

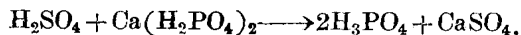
三水合物 $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。

無水磷酸二氫鎂及鹼性較強的磷酸鎂存在的條件還未精確肯定。

要研究含大量鎂化合物的天然磷酸鈣的酸分解過程的物理-化學基礎，還應該先熟悉一下對三元系統 $\text{MgO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ 的研究。

$\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ 系統的平衡

蘇聯學者 А. П. 別洛波爾斯基 (Белопольский) 及 А. А. 塔別洛娃 (Таперова) 的研究 [4] 証明：即使在高溫下，任何濃度的磷酸都不能分解硫酸鈣，即下述反應只能向生成磷酸及硫酸鈣的方向進行。



由此可以得出：游離硫酸不可能與磷酸鈣鹽處於平衡。當硫酸量足以與磷酸鈣鹽中之全部鈣結合，且有足夠的時間以達到平衡時，則磷酸鈣鹽就全部分解，生成當量的磷酸及硫酸鈣。大部分硫酸鈣，由於其在磷酸中的溶解度很小，將呈固相存在。

在硫酸量較少時，則生成當量的硫酸鈣（大部分為固相）及分出磷酸，所生成的磷酸又與磷酸鈣相互作用。下列各組分之間即