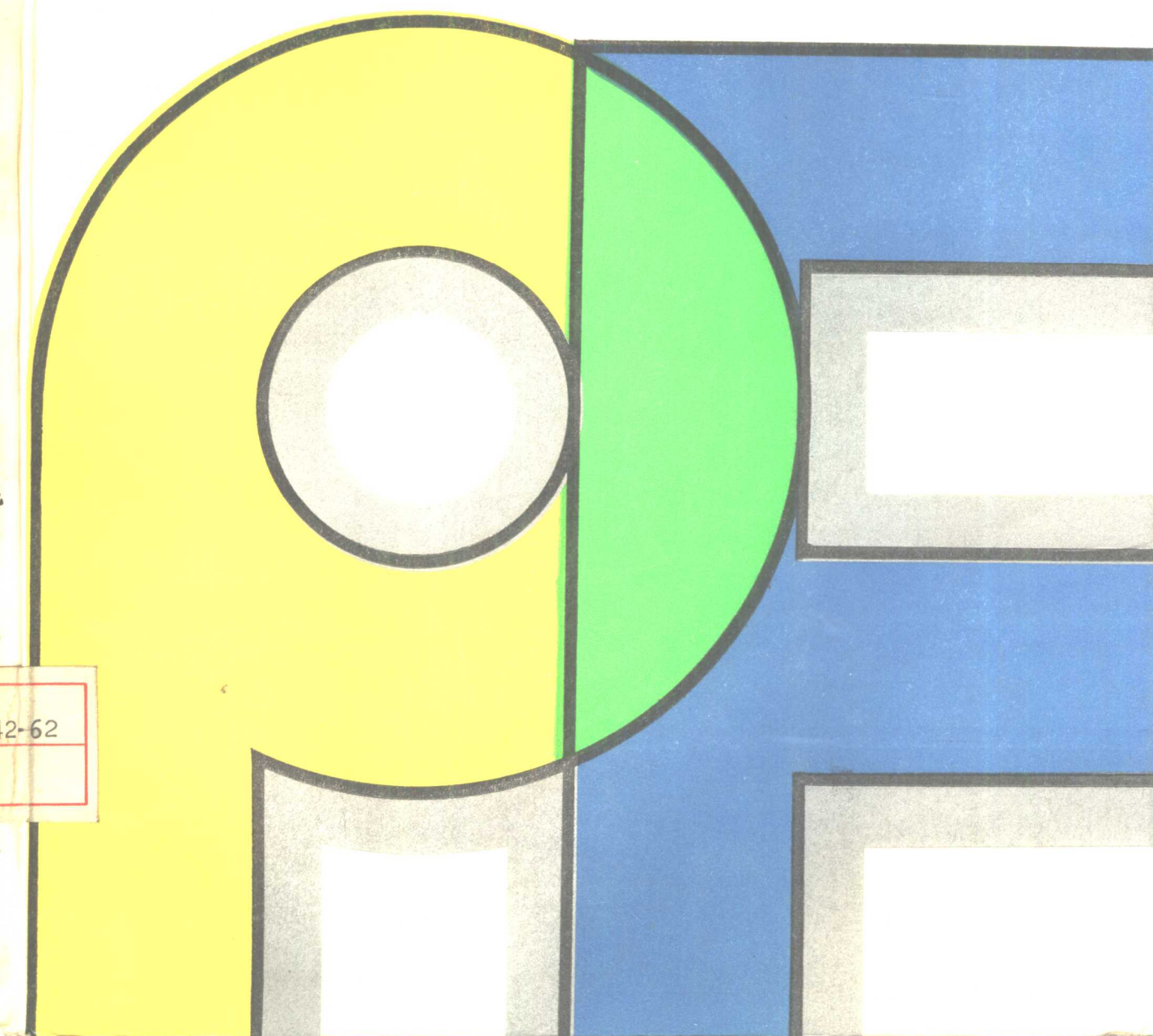


磷肥手册

● [苏联] B.H. 科契考夫 编著

● 化学工业出版社

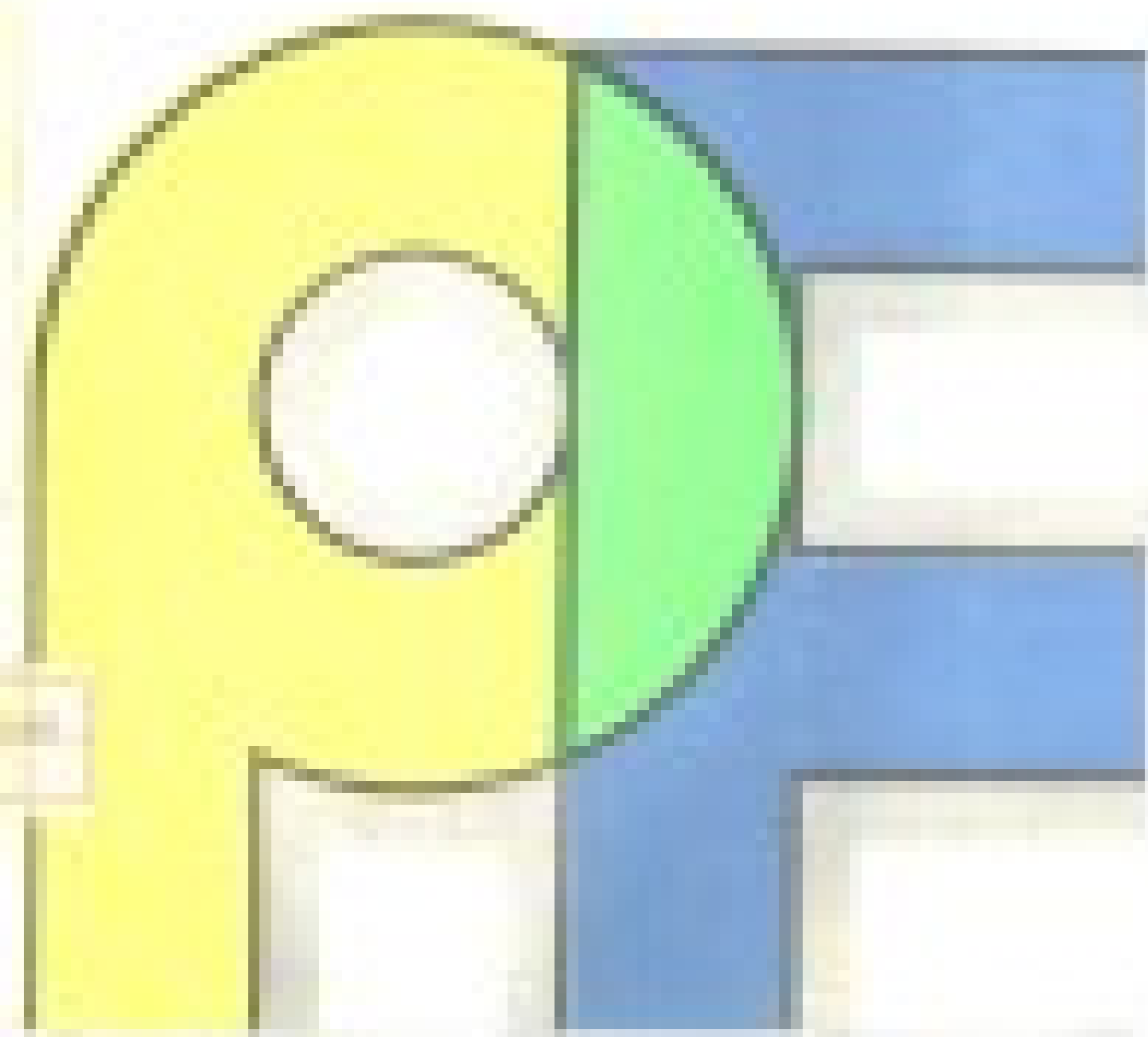
2-62



磷肥手册

● 主编：王德成、王德成、王德成、王德成

● 副主编：王德成、王德成、王德成、王德成



磷 肥 手 册

〔苏联〕 B. H. 科契考夫 编著

陈嘉桢 译

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书系根据苏联B. H. 科契考夫编著《磷肥手册》1982年第一版译出。

书中阐述了各种磷肥、复合肥料的生产过程、反应机理、相平衡、主要工艺参数和三废处理等,以及生产过程中有关料浆、溶液、熔体和成品的性质、组成,并对主要生产设备作了介绍。附有大量的数据和图表,并引用了许多文献。

本书可供从事化肥生产和科研、设计的技术人员和农业科技人员阅读,也可供有关大专院校师生参考。



В. Н. Кочетков

Фосфорсодержащие Удобрения Справочник

Издательство «Химия», 1982

磷 肥 手 册

陈嘉桢 译

责任编辑:王士君

封面设计:任 辉

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₁₆印张22¹/₄字数562千字印数1—3,500

1988年3月北京第1版1988年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-0054-5/TQ·16定价5.00元

前 言

发展农业生产的最重要的因素之一是农业化学化，首先是广泛而有效地使用无机肥料。

根据苏共第26届代表大会决议将进一步发展无机肥料，计划到1985年产量将增加到1.5~1.55亿吨（按标准单位计）。其中磷肥占有很重要的地位。随着磷肥生产的飞跃发展，必然给基本化学工业带来质的变化，即各条工艺生产线的能力增大，新技术、新工艺、高效设备、自动化装置和新型结构材料的广泛应用，具有不同化学组成和营养元素比例的肥料品种显著增多，肥料的物化性质和农化性质不断改善，以及愈来愈多的低品位磷矿得到加工利用等等。

由于磷肥生产的高速发展和质的变化，要求我们将这一领域中所积累的实践经验和理论研究结果总结出来。

本手册系统搜集了大量的文献资料，取材于现有生产装置的操作、新项目的设计、科学研究和试验工作、无机物工艺学技术人员的培训等。来源可靠，实用性强。

各种磷肥是按照氮、磷、钾组分和加工方法分类叙述的。

内容包括所有的磷肥品种，尽可能详尽地论述了它们的生产基础、工艺技术、各生产环节中溶液、料浆、熔体和成品的性质，以及计算盐的组成、化学组成和查阅其它指标用的相图、曲线图和方程。关于磷钾、硝多磷铵、磷酸尿、尿磷铵、尿多磷铵和多磷酸钙等肥料的综合报道尚属首次。

专门有一章篇幅介绍了磷肥和复合肥料主要生产设备的简明特性。设备系按其各工段中的用途和操作原理分类的，以方便读者迅速查到所需的质量指标和操作条件。

某些常见的术语一律采取缩写形式，如“磷灰石精矿”写作ап. конц., “磷块岩”写作фос., “颗粒状”写作гран., “游离酸度”写作своб. кисл., “氨态”写作амм., “水溶性”写作вод., “有效性”写作усв., “总”写作общ. 等。

读者对象为工矿企业、科研单位、设计院所、其它化工机构以及农业部门的技术人员，对研究无机物工艺者也不无裨益。希望本书可置于读者案头，作为日常工作中查找数据用的工具。

欢迎对本书内容提出宝贵意见。

作者

目 录

第一章 磷肥的分类、品种和性质	1
磷肥的分类.....	1
肥料组成、产量和库存量表示法.....	1
磷肥品种.....	2
肥料的物理-化学性质	4
物质的热力学性质.....	14
无机肥料的可燃性和热稳定性.....	16
参考文献	18
第二章 磷肥	20
1. 磷矿粉肥	22
磷矿粉肥的性质	22
磷矿粉肥的生产	22
2. 普通过磷酸钙	24
生产过程的物理-化学基础.....	25
普通过磷酸钙的生产	37
3. 重过磷酸钙和富过磷酸钙	42
生产过程的物理-化学基础.....	42
重过磷酸钙的生产	51
富过磷酸钙	63
4. 沉淀磷酸钙	64
生产过程的物理-化学基础.....	65
沉淀磷酸钙的生产	67
5. 热法磷肥	68
生产过程的物理-化学基础.....	69
脱氟磷肥的生产	73
其它热法磷肥的生产	77
6. 多磷酸钙	78
多磷酸钙的性质	78
多磷酸钙的生产	78
7. 磷肥生产中废气的特性和处理	81
参考文献.....	86
第三章 磷酸钾和磷钾二元肥料	89
1. 磷酸钾	89
磷酸钾的性质	89

正磷酸钾和多磷酸钾生产过程的物理-化学基础	92
磷酸钾的生产	94
2. 磷钾二元肥料	96
参考文献	98
第四章 磷酸铵类肥料	100
磷酸铵的性质	100
1. 正磷酸铵	107
生产过程的物理-化学基础	107
正磷酸铵的生产	109
2. 磷酸铵	112
生产过程的物理-化学基础	112
磷酸铵的生产	121
3. 磷酸二铵	138
4. 多磷酸铵	140
多磷酸铵的性质	140
生产过程的物理-化学基础	151
多磷酸铵的生产	157
参考文献	160
第五章 磷酸尿和尿磷铵类肥料	163
1. 磷酸尿	163
生产过程的物理-化学基础	163
磷酸尿的生产	168
2. 尿磷铵	170
尿磷铵类肥料生产过程的物理-化学基础	171
尿磷铵类肥料的生产	187
3. 尿多磷铵	190
参考文献	192
第六章 硝磷铵类肥料	194
1. 硝磷铵和硝磷铵钾	194
硝磷铵类肥料生产过程的物理-化学基础	194
硝磷铵类肥料的生产	209
2. 硝多磷铵和硝多磷铵钾	217
硝多磷铵类肥料生产过程的物理-化学基础	220
硝多磷铵类肥料的生产	228
参考文献	228
第七章 硝酸磷肥	230
硝酸分解磷矿原料的物理-化学基础	230
由硝酸溶液脱除钙离子的物理-化学基础	237
硝酸萃取液加工过程的物理-化学基础	246
氟的相分配	252

硝酸磷肥的生产.....	256
参考文献.....	269
第八章 掺混肥料	271
掺混肥料的物理-化学性质	271
对掺混肥料和原始组分的要求	274
掺混肥料的生产.....	278
参考文献.....	280
第九章 液体复合肥料	281
清液复合肥料和悬浮液复合肥料的物理-化学性质	281
清液复合肥料和悬浮液复合肥料生产过程的物理-化学基础	289
清液复合肥料和悬浮液复合肥料的生产	303
参考文献.....	314
第十章 磷肥生产中的主要设备	315
液体和散粒体计量器.....	315
液体和散粒体混合器.....	317
磷矿的酸分解反应器.....	318
过滤机.....	320
酸和溶液中和器.....	322
酸和料浆分配器.....	325
造粒设备.....	326
破碎机和筛子.....	333
干燥器和冷却器.....	336
其它设备.....	337
参考文献.....	340
附录	342

第一章 磷肥的分类、品种和性质

磷肥的分类

按化学组成分类，无机肥料，特别是磷肥可分为单一肥料和复合肥料。单一肥料只含一种有效物质，单一的磷肥只含有磷。复合肥料含有两种或者更多的基本有效物质，并相应地称为二元或三元肥料。三元肥料的组成包括氮、磷和钾；二元肥料的组成包括氮和磷、氮和钾或磷和钾。磷肥不仅可含基本有效物质，还可含有硼、铜、锌、锰等微量元素，甚至还可添加植物生长剂和农药等。

按可溶性和被植物吸收性分类，磷肥有三种类型。(1)水溶性磷肥，其中大部分含磷化合物可溶于水，它们如普通磷酸钙、重过磷酸钙、磷酸铵、硝磷铵类和尿磷铵类等；(2)柠檬酸铵溶性肥料，其中含磷化合物溶于柠檬酸铵（枸橼酸铵）的氨溶液，它们如磷酸二钙和碳酸硝磷钾等；(3)柠檬酸溶性肥料，其中含磷化合物不溶于水和柠檬酸铵的氨溶液，而只溶于2%柠檬酸（枸橼酸）溶液，它们如脱氟磷肥、钢渣磷肥和部分磷矿粉等。

按生产方法分类，磷肥可分为复合肥料、复混肥料和混合肥料。(1)复合肥料是对原料通过一次化学加工而制得的；(2)复混颗粒肥料是由粉状肥料组分添加液态组分（氨络物、各种酸、氨溶液和含磷溶液）以及气氨、水蒸汽和水，用湿法混合而成的；(3)混合肥料是将各种粉状或颗粒肥料组分用机械掺混而成的。

按有效物质浓度分类，规定将磷肥分为低浓度（单一磷肥）——有效组分含量20~25%、中浓度——30~60%、高浓度——>60%和超高浓度——>100%。

肥料组成、产量和库存量表示法

为了醒目起见，各种品级的复合肥料规定用一组由短横隔开的数字来指示有效组分的含量。第一个数字代表氮（N）、第二个数字代表五氧化二磷（ P_2O_5 ）、第三个数字代表氧化钾（ K_2O ）的百分含量。如果该肥料缺少上述某一有效组分，就用一个零表示。如果该肥料还含有微量元素，则在它们后面加第四个符号，例如17-17-17-2(B)。三元复合肥料组成中的有效物质用NPK表示，二元复合肥料用NP、NK和PK表示。

复合肥料中的有效物质比例也用一组数字表示，此时将氮含量取作1。对于上述配比的肥料，记作1:1:1。

苏联采用三种方法来表示无机肥料产量和库存量。

(1)以实物重量计。这种方式用来计算肥料的各种运输量和贮存量；

(2)以有效物质（营养元素）计。将氮肥（或肥料的含氮组分）折合成氮（N）；将磷肥折合成五氧化二磷（ P_2O_5 ）；将钾肥折合成氧化钾（ K_2O ）。这种方式用来计算在土壤中的施肥量，以及对比生产发展速度和施肥水平。

为了将无机肥料折合成100%含量的有效物质，只需将其有效物质的百分含量乘以实物重量，再除以100就可以了。

(3)以标准单位计。这种方式用来计划和统计肥料的产量、销售量和库存量。作为计算肥料数量的标准单位，将各有效物质的含量规定如下：氮肥——20.5% N；磷肥——18.7% P_2O_5 ；磷矿肥粉——19% P_2O_5 和钾肥——41.6% K_2O 。

将产量和销售量换算到标准单位的方法是先测定有效物质的真实含量（例如：99.4% $\text{NH}_3 \rightarrow 82\% \text{N}$ ），再除以它们的标准含量。然后将这样求得的换算系数乘以该肥料的实物重量。

肥料、土壤和植物中的有效物质含量也可以按照元素计算。以下为由氧化物（ P_2O_5 、 K_2O 等）至元素（P、K等）的换算系数：

$$\begin{aligned} 1\text{P}_2\text{O}_5 &= 0.4361\text{P} & 1\text{P} &= 2.2911\text{P}_2\text{O}_5 \\ 1\text{K}_2\text{O} &= 0.8301\text{K} & 1\text{K} &= 1.2046\text{K}_2\text{O} \\ 1\text{CaO} &= 0.7147\text{Ca} & 1\text{Ca} &= 1.3992\text{CaO} \\ 1\text{CaCO}_3 &= 0.4004\text{Ca} & 1\text{Ca} &= 2.4972\text{CaCO}_3 \\ 1\text{MgO} &= 0.63061\text{Mg} & 1\text{Mg} &= 1.6579\text{MgO} \end{aligned}$$

磷肥品种

苏联生产的肥料具有各种组成、有效物质含量、 P_2O_5 形态（水溶性、柠檬酸铵溶性和柠檬酸溶性）、配比、聚集体组成、粒度组成、物理化学性质、机械性质和其它一些指标。各种磷肥品种分别列于表 I-1~I-3。

表 I-1 水溶性磷肥的品种⁽¹⁾

肥 料	P_2O_5 含量, %			水分 $\leq$	苏联国定标准ГОСТ或技术条件ТУ
	有效 $\geq$	水溶性 $\geq$	游离 $\leq$		
粉状普通过磷酸钙由磷灰石精矿制得的	20 $\pm$ 1	无规定	5	12	ТУ6-08-277-73
粒状普通过磷酸钙由磷灰石精矿制得中和	20 $\pm$ 1	无规定	1~2.5	4	ГОСТ5956-78
粉状普通过磷酸钙, 由磷灰石精矿制得的	20 $\pm$ 1	无规定	2.5	5	ТУ6-08-310-74
粒状					
重过磷酸钙					
A级	49 $\pm$ 1	42	2.5	4	ГОСТ16306-75
B级	43 $\pm$ 1	37	5.0	5	ТУ6-08-289-74
粉状重过磷酸钙, 由金吉谢普浮选精矿	42 $\pm$ 1	38 $\pm$ 1	5	9	ГОСТ17790-78
(КИНГИСЕПСК)制得					
氯化粒状过磷酸钙(1.5~2.5%N), 由	15 $\pm$ 1	无规定	—	3	ГОСТ17790-78
卡拉塔乌磷块岩制得					
氯化粉状过磷酸钙(1.5~2.5%N), 由	15 $\pm$ 1	无规定	—	3	ТУ6-08-327-75
卡拉塔乌磷块岩制得					
粒状含硼重过磷酸钙(0.4 $\pm$ 0.05B)	43 $\pm$ 1	36.0	—	—	ТУ6-08-316-74
含锰普通过磷酸钙(1~2%Mn)	20 $\pm$ 1	无规定	—	—	ТУ6-08-30-287-74

表 I-2 非水溶性磷肥的品种⁽¹⁾

肥 料	P_2O_5 含量 % $\geq$	水 分 % $\leq$	苏联国定标准ГОСТ 或 技术条件ТУ
沉淀磷酸钙	22	—	MPTV 95-56-66
沉淀磷肥	38	8	ТУ 6-17-765-76
磷矿粉肥			ГОСТ 5716-74
I 级	29 $\pm$ 1	1.5	
II 级	23 $\pm$ 1	1.5	
III 级	20 $\pm$ 1	1.5	
平炉钢渣磷肥	10	2.0	ТУ 14-11-47-71

表 I-3 复合肥料品种⁽¹⁾

肥 料	含量, %≥					水 分 % ≤	苏联国定标准 ГОСТ或技术条 件ТУ
	N+P ₂ O ₅ + K ₂ O	N	P ₂ O ₅		K ₂ O		
			有 效	水溶性			
复 合 肥 料							
粒状磷酸铵							ГОСТ 18918-79
特级	61±1	11	50±1	47	—	1	
一级	61±1	11	50±1	46	—	1	
二级	57±1	11	46±1	34	—	1	
粉状磷酸铵							ТУ 6-08-293-74
一级	61±1	11	50±1	47	—	1	
二级	57±1	11	46±1	37	—	1	
磷酸铵, 由卡拉塔乌磷块岩制造							ТУ 6-08-362-76
特级	54	10	44	35	—	1	
粒状	51	9	42	34	—	1	
粉状	51	9	42	36	—	1	
肥料用磷酸铵(Аммофос удобрит)							ТУ 95-255-74
一 级	51±1	12	39±1	29±0.5	—	1	
二 级	47.2	11.7	35.5	26.5	—	1	
粒状磷酸二铵	68.0	19	49	48	—	1	ТУ 6-08-191-71
粒状硝酸铵(Нитроаммофос гран)							ТУ 6-08-433-79
一 级	46	23	23	22	—	1.5	
二 级	40	16	24	23	—	1.5	
三 级	45	25	20	19	—	1.5	
硝酸铵钾(Нитроаммофоска)							ГОСТ 19691-74
品级А (1:1:1)	51	17±1	17±1	15	17±1	1	
品级В (1:1.5:1.5)	51	13±1	19±1	16	19±1	1	
粒状硝酸(Нитрофосгран)							ОСТ 95-11-77
一 级	40.5	23.5	17	17	—	1.5	
二 级	38	24	14	6	—	1.5	
平衡级	44±1	22±1	22±1	18	—	1.5	
硝酸-硫酸法硝酸钾(Нитрофоска)							
磷灰石精矿制造	32	11	10	5.5	11	1.5	ГОСТ 11365-75
科夫多尔斯基(ковдор)	30	10	10	5.5	10	1.5	ТУ 6-02-372-77
磷灰石精矿制造							
复 混 肥 料 和 混 合 肥 料							
粒状肥料							ОСТ 6-08-3-76
品 级 1:1:1	30~33	10~11	10~11	8.5	10~11	1	
品 级 0:1:1	26~28	—	13~14	11.0	13~14	1	
品 级 1:1:1.5	32~35	9~10	9~10	8	14~15	1	ОСТ 6-08-3-76
品 级 1:1.5:1	25~28	7~8	11~12	9	7~8	1	
品 级 1:1.5:0	25~27	10~11	15~16	12	—	1	
辊压造粒肥料							
品 级 0:1:1	28	0	14	—	14	3	ТУ 6-08-336-75
清 液 复 合 肥 料 和 悬 浮 液 复 合 肥 料							
悬浮液复合肥料1:1:1	27	9	9	—	9	—	ТУ МСХ1-5-66 (立陶宛苏维埃共和国)
悬浮液复合肥料1:3:1	27	7	20	—	—	—	ТУ 6-08-383-77
清液复合肥料	44±2	10±1	34±1	—	0	—	ТУ 6-08-414-78

肥料的物理-化学性质^[1-3]

表征肥料性质的基本指标包括：吸水性、结块性、粒度组成（级分）、平均粒径、颗粒强度、自然休止角、湿容量、真密度、堆密度、混合肥料组成的均一性、分离性、分散性、盐组成、结晶结构、溶解性、蒸气压、热力学性质等等。

吸水性

吸水性是指物质从空气中吸收水分的能力。评价吸水性的常用方法是测定吸湿点 (h)，以%表示^[2]。水溶性盐的吸湿点 (h) 是由给定温度下饱和盐溶液的水蒸汽分压 (P_a) 与同样温度下空气的饱和水蒸汽分压 (P) 之比求得的：

$$h = (P_a/P) \cdot 100$$

吸湿点相当于物质既不吸收水分又不失去水分时的相对湿度，即所谓平衡相对湿度。在最大容许含水量的条件下，肥料吸湿点不得高于空气的全年平均相对湿度。

物质的吸水性可以利用吸水系数 $K_{\text{吸水}}$ 来评价。它是在给定的相对湿度和温度下 $K_1 W_m$ 的乘积，其中 K_1 为由实验求得的动力学常数^[3]， W_m 为样品的最大临界含水率。当 $\varphi_{\text{相对}} = 81\%$ 时，吸水等级与吸水系数 ($K_{\text{吸水}}$) 之间存在如下关系^[1,3]：

$K_{\text{吸水}} 10^{-3}$ 摩尔/(克·时)	≤ 1	1~3	3~5	5~10
吸水程度	基本不吸水	少量吸水	吸水	强烈吸水

表 I-4~I-7 列举了各种肥料在苏联不同地区的吸水性等级和指标。

表 I-4 肥料吸水性等级及其应用^[2]

吸水等级	收湿点 %	吸水程度	在苏联肥料平均每年吸收水分的地区	贮存时所需的包装形式
10~9	40~45或更低	极强烈吸水	全国范围	全封闭包装 (聚乙烯袋)
8~9	45~50	极强烈吸水	全国范围	全封闭包装 (聚乙烯袋)
8~7	50~55	强烈吸水	全国范围	全封闭包装 (聚乙烯袋)
7~6	55~60	强烈吸水	全国范围	全封闭包装 (聚乙烯袋)
6~5	60~65	吸水	除大部分中亚细亚地区外，全国各地	封闭包装 (浸沥青纸袋或聚乙烯袋)
5~4	65~70	吸水	除大部分中亚细亚地区外，全国各地	封闭包装 (浸沥青纸袋或聚乙烯袋)
4~3	70~75	少量吸水	除中亚细亚地区外，全国各地	封闭包装 (浸沥青纸袋或聚乙烯袋)。苏联欧洲部分和中亚细亚可用非浸渍纸袋
3~2	75~80	轻度吸水	西北地区	除西北地区外允许散装
2~1	80~85	基本不吸水	无	允许散装
1~0	85~90或更高	几乎不吸水	无	允许散装

表 I-5 25℃ 下无机肥料的吸水性^[1,2-21]

肥 料	含水量, %	收湿点, %	吸水等级
氮 肥			
结晶硫酸铵	0.76	57.5	6.6
	2.0	79.0	2.2
工业级氯化铵	2.0	71.0~76.9	3.8~2.6
粒状硝酸铵	0.1	43.5	9.3
	0.25	65.0	5

续表

肥 料	含水量, %	收湿点, %	吸水等级
硝酸钠	2.0	73.7	3.3
工业级硝酸钙	2.0	42.7~48.0	9.5~8.4
尿 素			
颗 粒	0.3	72.0	3.6
结 晶	2.0	65.5	4.7
磷 肥			
普通过磷酸钙			
粉状, 由磷灰石精矿制造 (游离酸5.1~5.8% P_2O_5)	10.0	64.5	5.1
	8.2	60.5	5.9
粒状, 由磷灰石精矿制造 (游离酸1.6% P_2O_5)	11.2~12.2	71.5~69.5	3.7~4.1
粉状, 由卡拉塔乌磷块岩制造 (游离酸5.5% P_2O_5)	15.0	62.5~65.0	5.5~5
	9~12	50.0~55.0	8~7
石灰石中和 (游离酸0.4~0.6% P_2O_5)	10~11.4	72.0~75.5	3.6~2.9
粒状重过磷酸钙			
连续法	8.5~10.0	62.5~66.5	5.5~4.7
化成法	6.8~8.0	68.0~69.0	4.4~4.2
沉淀磷酸钙	7.5	84.0	1.2
钾 肥			
氯化钾			
粗 晶	0.3	68.0	4.4
细 晶	2.0	72.0~74.0	3.6~3.2
工业级硫酸钾	2.0	89.0~91.7	0.2~0.0
混合钾盐 (40%)	2.0	79.0	3.4
复 合 肥 料			
磷酸铵			
以磷灰石精矿为原料	0.3	68.0	4.4
以卡拉塔乌磷块岩为原料	0.8	63.0	4.2
工业级磷酸二铵	—	76.2	2.8
普通过磷酸钙			
氨化, 由磷灰石精矿制造	8.1	87.0	0.6
氨化, 由卡拉塔乌磷块岩制造	3.5	75.0~80.0	3~2
氨化, 由磷灰石精矿制造	7.8	85.6	0.9
硝磷铵, 由磷灰石精矿制造	1.5	56.0	6.8
硝磷, 由卡拉塔乌磷块岩制造	2.3~2.7	36.0~39.0	10
尿磷铵	0.1~0.6	57.0~67.0	6.4~4.4
工业级硝酸钾	2.0	68.5	4.3
硝酸铵钾	2.0	70.0	4.0
硝磷铵钾	0.2~0.9	49.6~54.0	8.1~7.2
硫酸法硝磷钾	1.1~1.4	59.0~62.0	6.2~5.6
二铵硝磷钾	1.0~1.3	54.5	7.1
尿磷铵钾	0.1~0.2	59.0~60.0	6.2~6.0
氨化多聚过磷酸钙, 由卡拉塔乌磷块岩制造	2~2.5	26.8	10
掺 混 肥 料			
氨化过磷酸钙+硝酸铵+氯化钾	1.0	38	10
氨化过磷酸钙+尿素	1.0	45	9
磷酸铵+硝酸铵+氯化钾	1.0	47.5~53.0	8.3~7.4
磷酸铵+尿素	1.0	58.5	6.3

表 I-6 某些肥料的吸水性^[3,20]

肥 料	初始含水量 %	贮存 6 个月后 含水量 %	$\varphi_{\text{相对}}=81\%$ 时的吸水系数 10 摩尔/(克·时)	临界含水量 10 ⁻³ 摩尔/克	临界吸 湿点 %	佩斯托夫 (Пестров) 吸湿点 %
普通磷酸钙						
粒状(游离酸1.4%P ₂ O ₅)	4.7	3.6	4.0	—	61	63
氨 化	2.6	3.2	1.8	—	77	80
重过磷酸钙, 粒状(游离酸3.4%P ₂ O ₅)	2.7	4.2	2.2	4.5	74	64.5
磷酸铵						
以磷灰石精矿为原料	0.4	0.3	1.2	2.8	80	68
以卡拉塔乌磷块岩为原料	0.2	0.4	3.5	1.9	69	63
硝磷铵钾	0.2	2.7	5.8	2.6	58	49.6
碳酸钾 ^①						
煅 烧	—	—	33	9.7	42	—
含1½结晶水	—	—	25	0.77	42	42.5
碳酸氢钾	—	—	4.2	1.2	78	81

① 粒度0.3~0.44毫米。

表 I-7 由NH₄NO₃+NH₄H₂PO₄+KCl制造的NPK复混肥料的吸水性随贮存时间的变化^[19]

N:P ₂ O ₅ :K ₂ O 比例	吸水系数, 10 ⁻³ 摩尔/(克·时)		
	初 始 值	1 月 后	2 月 后
1:1:0	9.3	7.5	4.0
1:1:0.5	15.0	13.2	9.0
1:1:1	16.8	13.5	11.2
1:1:1.5	10.0	7.2	6.8
1:1.5:1	12.7	11.7	8.9
1:1.5:1.5	7.6	7.2	4.9
1:0.5:0.5	13.0	11.7	11.0

结块性^[1,7~11]

结块性是指分散性物质在一定的外界条件下形成不同大小和强度的团块的性质。它用在严格的标准试验条件下求得的团块强度来表征。

通过造粒、降低含水量、提高颗粒强度、在包装或进仓库前将产品冷却、加调理剂、采用密封包装和保持必要的贮存条件等措施,可以减小水溶性无机肥料的结块性。肥料结块性的等级和分类情况分别列于表 I-8 和 I-9。

表 I-8 肥料结块性的标准等级^[2]

结 块 性 等 级	表 现 特 征	
	结 块 程 度	强度 (破坏力), 10 ³ 帕
I	略微结块	≤98.1
II	轻度结块	98.1~196.2
III	中轻度结块	196.2~392.4
IV	中度结块	392.4~686.7
V	高度结块	686.7~981.0
VI	严重结块	981~1471.5
VII	极严重结块	>1471.5

表 I-9 复合肥料结块性的分类情况

结块性的分类	强度(破坏力) 10 ³ 帕	允许含水量 %	肥 料
严重结块	98.1	0.5	硝酸铵钾、硝酸磷、硝酸钾、由热法磷酸制造的磷酸二铵、硝酸二铵钾、尿 磷铵钾、硝酸-尿素复混肥料、过磷酸钙系三元混合肥料
轻度结块	9.8~98.1	0.5~1.0	粉状磷酸铵 由热法磷酸制造的多磷酸铵、颗粒状磷酸铵和硝酸铵系1:1:1 三元混合肥料
能被压实	0.0~9.8	≤1	由卡拉塔乌磷块岩制造的颗粒磷酸铵
不结块	0	≥1	颗粒重过磷酸钙系和普通过磷酸钙系磷钾混肥

分散性^[11,22-31] 分散性是指肥料加到施肥机的计量装置和撒布装置内并均匀分布在土壤表面的能力。肥料进入撒布装置的均匀程度取决于它们的松散性(流动性)。现代施肥机进行表施的均匀性与肥料的粒度组成(级分)有关。肥料的分散性等级见表 I-10, 它们的结块性和分散性对照见表 I-11。

表 I-10 肥料分散性等级^[2]

等 级	分散性程度	等 级	分散性程度
12~8	优	5~4	尚可
8~7	良	4~3	差
7~6	中	3~2	劣
6~5	可	2~0	极劣

表 I-11 单一肥料的结块性和分散性^[7-9, 13, 14, 21, 22]

肥 料	结 块 性		分 散 性	
	含水量 %	结块程度	含水量 %	等 级
细晶硫酸铵	0.9	Ⅲ	—	—
硫酸铵	0.5	Ⅱ	0.5	2
	—	—	0.3	3.3
	—	—	0.2	4
氯化铵	—	Ⅱ	—	7~6
硝酸铵	0.2~0.6	Ⅱ~Ⅳ	0.15~0.4	11~7.5
硝酸钠	—	Ⅱ	干态	7~6
四水硝酸钙				
粒 状	—	I	—	7~6
片 状	—	—	—	3~2
尿 素				
级分1~3毫米	0.3	I~Ⅱ	干态	8~7
级分0.2~1毫米	—	Ⅶ	湿态	3~2
普通过磷酸钙				
粉状, 由磷灰石精矿制造(游离酸2~6%P ₂ O ₅)	—	—	11~12	2
由磷灰石精矿和卡拉塔乌磷块岩制造(游离酸1~2.5%P ₂ O ₅)	—	—	≤4	8
粉状, 由卡拉塔乌磷块岩制造(游离酸5%P ₂ O ₅)	—	Ⅶ	—	—
粒状, 氨化	—	Ⅵ	—	—
粒状重过磷酸钙	—	—	3~4	9.5~9.4

肥 料	结 块 性		分 散 性	
	含水量 %	结块程度	含水量 %	等 级
沉淀磷酸钙	—	—	8~10	8~7
磷矿粉肥	—	—	1.5~2.5	1.2~0.8
氯化钾				
粗 晶	1.0	I	—	—
细 晶	1.0	VI	干态	8~7
硫酸钾	≤2.0	I	≤2.0	8~7
硫酸钾-硫酸镁	≤5.0	I	≤5.0	8~7
钾石盐	≤2.0	VI	≤2.0	8~7
(40%)混合钾盐	≤2.0	IV	2.0	2.3
	—	—	0.1	11
电解氯化钾	—	I	—	8~7
钾盐镁矾	—	IV	—	7~6

平均粒径^[2] 当颗粒的粒径相近时, 平均粒径由下式求得

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

式中 D ——平均粒径;

D_1 ——能通过所有物料的筛孔直径;

D_2 ——颗粒通不过的筛孔直径。

当颗粒之间粒径相差悬殊时平均粒径为

$$D = 0.8 \frac{(D_1^5 - D_2^5)P_1 + (D_2^5 - D_3^5)P_2 + (D_3^5 - D_4^5)P_3 \dots}{(D_1^4 - D_2^4)P_1 + (D_2^4 - D_3^4)P_2 + (D_3^4 - D_4^4)P_3 \dots}$$

式中 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 ——筛孔直径;

P_1 、 P_2 、 P_3 ——相应级分的百分含量。

表 I-12 肥料颗粒强度^[7-10, 13, 14, 16, 21, 22-25]

肥 料	粒径 毫米	含水量 %	颗 粒 强 度	
			对每一颗粒的负荷牛顿 (公斤力/颗粒)	10 ⁶ 帕 (公斤力/厘米 ²)
不含添加剂的硝酸铵	1.5	—	3.3~3.6(0.330~0.360)	1.8~2.0(18.7~20)
	2.0	—	6.0(0.600)	1.9(19.1)
	2.5	—	3.8(0.385)	0.8(7.8)
含下述添加剂的硝酸铵				
磷灰石溶液(РАП)	1~3	0.38	5.1(0.510)	1.6(16.2)
硫酸铵	1~3	0.23	6.1(0.615)	1.9(19.6)
白云石 (ДЛМ)	1~3	0.47	5.0(0.506)	1.5(15)
硝酸镁	2	—	7.5(0.750)	2.4(23.9)
尿 素	1	0.30	1.2(0.120)	1.5(15.3)
	2	0.30	3.0(0.300)	0.9(9.5)
	2	0.20	2.5(0.250)	0.8(8.0)
	1.5	—	4.5(0.450)	2.5(25.5)
	2.5	—	4.5~4.9(0.455~0.495)	9.0~10.0

续表

肥 料	粒径 毫米	含水量 %	颗 粒 强 度	
			对每一颗粒的负 荷牛顿 (公斤力 /颗粒)	10°帕 (公斤力/厘米 ²)
尿 素	1~2	0.25	2.27(0.227)	1.3(12.8)
	1~2	0.20	2.1(0.218)	1.2(12.3)
	1~2	0.18	2.9(0.290)	1.6(16.4)
	1~2	0.15	3.6(0.363)	2.0(20.5)
普通过磷酸钙				
极限指标	标准	—	—	1.0~2.0(10~20)
粒状, 由磷灰石精矿制造	1~4	6	—	0.4~0.6(4~6)
	1~4	3~3.5	—	1.2~1.8(12~18)
氨化 (极限指标)	标准	—	—	3.5~6.0(35~60)
氨化, 由卡拉塔乌磷块岩制造	1~4	3	—	5.5~6.0(55~60)
重过磷酸钙				
极限指标	标准	—	—	1.5~2.5(15~25)
连续法 (由磷灰石精矿制得的湿法磷酸分解金吉谢普浮 选精矿)	1~4	≤4	—	2.0(20)
化成法 (由磷灰石精矿制得的浓缩湿法磷酸与硫酸混 合分解磷灰石精矿)	1~4	≤3	—	2.0(20)
化成法 (由磷灰石精矿制得的半水法湿法磷酸分解磷灰 石精矿)	1~4	≤2	—	2.0(20)
化成连续法 (由磷灰石精矿制得的浓缩湿法磷酸分解金 吉谢普浮选磷块岩)	1~4	≤4	—	2.0(20)
磷酸铵 (安福粉)				
极限指标	标准	—	—	3.0~10.0(30~100)
由磷灰石精矿制造 (滚动造粒)	1~3.2	1	—	1.8~2.0(18~20)
由卡拉塔乌磷块岩制造 (滚动造粒)	1~3.2	1	—	≤5.5(≤55)
由磷灰石精矿制造 (转鼓造粒干燥器或喷雾-沸腾床 造粒机造粒)	1~3.2	1	—	8.0~10.0(80~100)
二安福粉 (Диаммофос)	—	0.2	5.3(0.530)	—
硝磷铵, 喷淋造粒	1	1.5	1.1(0.110)	1.4(14.0)
	2	1.5	4.0(0.40)	1.3(12.9)
	3	1.5	8.8(0.88)	1.2(12.5)
硝磷铵钾, 极限指标	标准	—	—	6.0~8.0(60~80)
硝磷铵钾				
转鼓造粒	1	0.2	8.2(0.82)	10.4(104.5)
	2	0.2	35.0(3.50)	11.1(111.5)
	3	0.2	77.0(7.70)	10.9(109.0)
	2	0.3	32.0(3.20)	10.1(101.8)
	3	0.3	65.0(6.50)	9.2(92.0)
	2~3	0.5~0.9	—	9.8(98.0)
喷淋造粒	1~4	0.9~1.7	—	4.5(45.0)
辊压造粒	1~4	0.6~0.8	—	1.0(10.0)
硝磷二铵钾	1~4	1.0~1.3	15.1(1.51)	1.6~2.0(16~20)
硝磷, 由卡拉塔乌磷块岩制造	2~3	2.3~2.7	14.7(1.47)	3.0(30.0)
硝磷钾				
极限指标	标准	—	—	6.0~8.0(60~80)
用硫酸法由磷灰石精矿制造	1~3	2.0	—	8.0(80.0)
	1~3	3.0	—	6.0(60.0)
	1~3	3.6	—	5.0(50.0)