

小氮肥生产基本知识

北京化工学院无机化工专业组编



人民教育出版社

小氮肥生产基本知识

北京化工学院无机化工专业组编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1975年7月第1版 1975年10月第1次印刷

书号 15012·09 定价 1.10 元

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1-1 小氮肥生产流程概述	2
§ 1-2 物质的组成和性质	4
第二章 锅 炉	13
§ 2-1 压 力	13
§ 2-2 锅炉的工艺流程及运行特性	17
§ 2-3 传热过程	19
§ 2-4 快装锅炉的结构和特点	23
§ 2-5 锅炉的操作要点	31
§ 2-6 给水处理	31
习 题	36
第三章 造 气	37
§ 3-1 概述	37
§ 3-2 造气炉及造气过程	44
§ 3-3 正常操作管理	55
§ 3-4 操作条件的分析	59
§ 3-5 利用各种原料造气	66
§ 3-6 简单机械	70
§ 3-7 气柜、水封及自动机	80
§ 3-8 其他主要设备	105
§ 3-9 造气工段的简单物料衡算	108
习 题	113
第四章 脱 硫	117
§ 4-1 氨水中和法脱硫	118
§ 4-2 氨水液相催化法脱硫	129

§ 4-3	二次脱硫	137
§ 4-4	溶液及其浓度	138
§ 4-5	理想气体状态方程	143
习 题		157
第五章 变 换		159
§ 5-1	变换工段的任务	159
§ 5-2	变换工段的工艺流程及主要设备	160
§ 5-3	变换过程的理论基础及生产操作条件的选择	169
§ 5-4	变换的操作要点	184
§ 5-5	变换工段的热平衡知识	195
习 题		208
第六章 碳 化		209
§ 6-1	碳化工段的任务和原则流程	209
§ 6-2	碳化工段生产操作基本原理	211
§ 6-3	碳化工段工艺流程及设备	226
§ 6-4	碳化操作条件的确定	232
§ 6-5	正常操作要点	236
§ 6-6	浮球液面计 浮力定律	242
习 题		247
第七章 压 缩		248
§ 7-1	压缩机的工作原理	248
§ 7-2	压缩工段的生产流程及其主要设备	250
§ 7-3	压缩机的功与示功图	256
§ 7-4	压缩工段的操作要点	260
第八章 铜 洗		273
§ 8-1	醋酸铜氨液的组成、性质和作用	274
§ 8-2	铜氨液吸收过程原理	277
§ 8-3	铜氨液的再生过程原理	283
§ 8-4	工艺流程及主要设备	285
§ 8-5	铜液吸收操作要点	295
§ 8-6	铜液再生操作要点	298

§ 8-7 铜洗生产中的几个问题.....	301
§ 8-8 铜液的制备和废铜液的回收.....	306
§ 8-9 物体的热胀冷缩.....	310
习 题.....	315
第九章 氨的合成	316
§ 9-1 合成工段工艺流程.....	316
§ 9-2 合成过程原理及设备.....	318
§ 9-3 合成气的冷凝和分离.....	329
§ 9-4 气体的冷量回收.....	339
§ 9-5 合成工段的生产操作及常见事故的分析 and 处理.....	340
§ 9-6 氨净值提高和合成工段的简单计算.....	347
§ 9-7 冷冻工段.....	351
习 题.....	356

第一章 绪 论

小氮肥厂是我国化肥工业中的新生事物,它是在两个阶级、两条道路、两条路线的激烈斗争中产生、发展和壮大起来的。一九五八年,伟大领袖毛主席制定了“鼓足干劲,力争上游,多快好省地建设社会主义”的总路线和一系列两条腿走路的方针,号召全国人民“自力更生,艰苦奋斗,破除迷信,解放思想”,走我国自己发展工业的道路。广大工人、革命技术人员和革命干部,热烈响应毛主席的号召,树雄心,立壮志,敢想、敢干、敢革命,打破洋框框,创造出我国独特的小氮肥厂的新流程,有力地促进了我国氮肥工业的发展。但是,刘少奇一伙宣扬“洋奴哲学”、“爬行主义”极力对此进行阻挠和破坏,妄图把这一新生事物扼杀在摇篮里。“思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。”经过无产阶级文化大革命和批林批孔运动,摧毁了刘少奇、林彪两个资产阶级司令部,粉碎了他们复辟资本主义的反革命修正主义路线,巩固了无产阶级专政,促进了我国社会主义建设的发展。在毛主席革命路线指引下,遵照以农业为基础、工业为主导发展国民经济的总方针,全国各地掀起了大办小氮肥的群众运动。小氮肥厂如雨后春笋般地涌现出来,突飞猛进地向前发展,目前建厂数字已达文化大革命前的十几倍之多,产量占我国氮肥总产量的百分之五十以上。当前,战斗在化肥战线上的广大工人、干部和革命技术人员以无产阶级专政的理论为武器,抓大事,促大干,高举“鞍钢宪法”的旗帜,深入开展工业学大庆的群众运动,为在本世纪内把我国建设成为现代化的社会主义强国而努力奋战,以夺取革命和生产的更大胜利。

§ 1-1 小氮肥生产流程概述

氮肥的生产,一般包括如下几个基本步骤:

(一) 原料气的制备

利用无烟煤或其他燃料,空气及水蒸汽为原料,制取合成氨所需的原料气。

(二) 原料气的净化

除去原料气中含有的硫化氢、一氧化碳、二氧化碳、氧等有害物质。

(三) 氨的合成

在一定温度、压力及催化剂的作用下,将氮和氢合成为氨。

(四) 氨的加工

将合成的氨加工制成碳酸氢铵或硝酸铵、尿素等氮肥。

小氮肥厂广泛采用的是生产碳酸氢铵的流程。

碳酸氢铵的生产,为完成上述几个基本步骤,在整个生产过程中设有: 锅炉、造气、脱硫、变换、碳化、压缩、铜洗、合成等工段。各工段的基本任务是:

(一) 锅炉: 产生水蒸汽供造气、变换、铜洗等工段使用。

(二) 造气: 以煤、空气和水蒸汽为原料,制成半水煤气。

(三) 脱硫: 用稀氨水将半水煤气中的硫化氢除去。

(四) 变换: 将半水煤气中的一氧化碳,用水蒸汽在催化剂作用下转化成有用的氢气及二氧化碳。

(五) 碳化: 将合成的气氨制成浓氨水,用浓氨水把原料气中的二氧化碳吸收除去,同时制成碳酸氢铵。所以,碳化工段同时完成原料气中二氧化碳的清除,和把氨加工制成碳酸氢铵两个任务。

(六) 压缩: 将原料气压缩到高压,送往铜洗、合成等工段使

用。

(七) 铜洗：用醋酸铜氨液进一步吸收除去原料气中残剩的一氧化碳、二氧化碳、硫化氢及氧等有害气体，使原料气达到合成氨所要求的纯度。

(八) 合成：将纯净的氮、氢气合成为氨。

图 1-1 为双加压(加压变换、加压碳化)的小氮肥生产流程示意图。

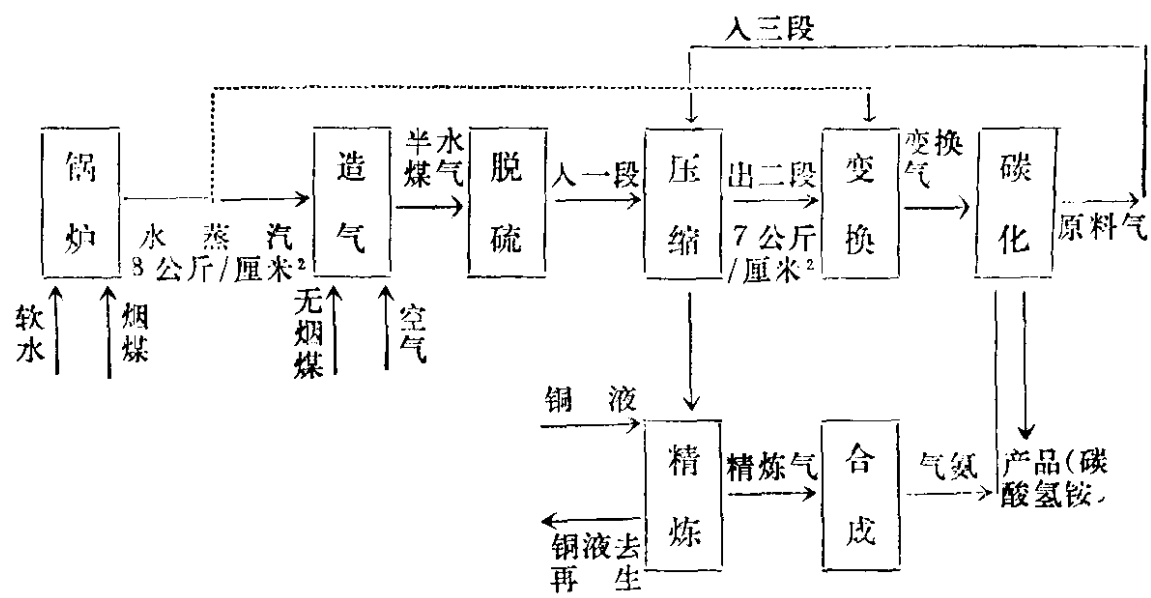


图 1-1 小氮肥生产流程示意图

小氮肥生产采用的这种流程，叫做碳化法合成氨工艺流程。它由于碳化工段既起清除原料气中二氧化碳的作用，又起氨加工制氮肥的作用，可以省去其他方法中需要的氨加工工序，具有流程短，设备少，投资省，建厂快，原料综合利用程度高，便于各地方兴办等优点。

为什么用煤、空气和水蒸汽这三种物质，经过一系列的处理，就能够变成氨及碳酸氢铵这样的东西呢？这是因为在生产过程中发生了一系列化学变化。那么，什么叫化学变化，物质为什么会发生各种各样的化学变化呢？这就需要了解物质的组成和性质。

§ 1-2 物质的组成和性质

一、分子和原子

如果将碳酸氢铵颗粒进行不断地分割，直到肉眼看不见的最小“粒子”，这种粒子仍保持该物质的性质。这类保持原物质性质的最小“粒子”，称为分子。

毛主席教导我们：“事物都是一分为二的。”“对立统一规律是宇宙的根本规律。”一分为二，这是个普遍的现象，这就是辩证法。如果承认有一个事物是不可分析的，就是形而上学。世界是无限的，在时间上和空间上都是无穷无尽的。物质可以分为分子，分子也可以再分下去，分成更小的微粒，称为原子。如氢分子由两个氢原子组成；氨分子由一个氮原子和三个氢原子组成；碳酸氢铵分子由一个碳原子、一个氮原子、五个氢原子和三个氧原子组成等等。原子虽然很小，但仍能再分，分为质子、中子、电子……，而这些粒子还可以无限分割下去。不过，原子与分子相比，已不再具有原物质的性质了。

化学就是通过实践，研究分子和原子的运动规律，来认识物质的性质及其变化，并用这些认识来能动地改造世界。

二、化学反应

几种物质的分子相互作用，旧的物质分子被破坏，分子中的原子重新结合生成新的物质分子的变化过程，叫做化学变化或化学反应。

化学反应是客观存在的，它的发生与进行，决定于各物质分子的组成和性质。化学反应的种类很多，基本的有：

（一）化合

如：氮气+氢气 $\longrightarrow$ 氨

这就是氨的合成反应。这类由两种或两种以上物质生成一种新物质的反应，叫做化合。

（二）分解

如：碳酸氢铵 $\longrightarrow$ 氨+二氧化碳+水

这种由一种物质分成几种简单物质的反应，叫做分解。

化合与分解是一对矛盾，不同的条件下会向不同的方面转化。例如，在一定条件下，碳酸氢铵会发生分解，说明它性质不稳定，所以，在使用和保存这种化肥时，需要防止它的分解损失。但是，在另外的条件下，氨、二氧化碳和水又可以化合为碳酸氢铵，而这正是碳化工段的主要反应。

（三）中和

如：氢氧化铵+硫化氢 $\longrightarrow$ 硫氢化铵+水，这是脱硫工段的主要反应。这种酸与碱之间的化学反应叫做中和反应。酸、碱是互相对立的物质，常见的酸有硫酸、硝酸、盐酸等；常见的碱有氢氧化钠(烧碱)等。上例中的氢氧化铵是一种弱碱，硫化氢是一种弱酸。

（四）氧化-还原

凡是与氧化合的反应叫做氧化，生成的化合物就是氧化物；凡是与氢反应或是失去氧的反应叫做还原。如：

碳+氧 $\longrightarrow$ 二氧化碳

一氧化碳+水 $\longrightarrow$ 二氧化碳+氢

上面第一个反应中，碳氧化了，第二个反应中，一氧化碳氧化了，而水由于其中氧原子与一氧化碳结合，所以被称为还原。

氧化还原是同时发生的，在一个化学反应中有氧化必有还原。

在氧化-还原反应中，得到氧的物质叫做还原剂，失去氧的物质叫做氧化剂。上面两例中的碳、一氧化碳是还原剂，而氧、水则是氧化剂。

上面两个反应是造气工段的主要反应，而后一个反应也是变换工段的主要反应。

以上的分类是相对的。此外，在小氮肥生产中还有其他种类的反应，如络合反应(见第八章铜洗)。

三、元素和元素符号

氢分子含有氢原子，氨分子也含有氢原子，这些氢原子的大小、重量和其他性质都是相同的。同类原子称为元素。氢原子总称为氢元素，氮原子总称为氮元素。因此，可以说，氨由氮、氢两元素组成；碳酸氢铵由碳、氢、氮、氧四元素组成。由此可见，合成氨的原料只需氮和氢。空气中有氮，水中含有氢元素，只要从空气中取得氮，水中取得氢，而将其他成分除去，就制得合成氨的原料气了。碳酸氢铵所含的四种元素，分别存在于煤、空气和水这三种原料中，所以，从氮肥生产的角度看，碳酸氢铵这一氮肥品种，原料的综合利用比较好。

到目前为止，已经发现的元素有一百余种，世界上各种东西都是由这些元素组成的。

在化学上，为方便起见，各种元素都用一定符号来表示。例如，氢元素用“H”表示；氮元素用“N”表示；氧元素用“O”表示；碳元素用“C”表示等等。

元素符号表示三种意义：

1. 表示一种元素；
2. 表示该元素的一个原子；
3. 表示该元素的原子量。

现将常见元素及其符号列于表 1。

四、分子式

元素可用元素符号表示，物质是由元素组成的，因此，物质分

表 1-1 常见元素的名称、符号和原子量

元素名称	符号	原 子 量	元素名称	符号	原 子 量
氢	H	1.008	钙	Ca	40.08
氧	O	15.999	镁	Mg	24.31
氮	N	14.01	铝	Al	26.98
氯	Cl	35.45	铁	Fe	55.85
碳	C	12.01	铅	Pb	207.20
磷	P	30.97	铜	Cu	63.55
硫	S	32.06	汞	Hg	200.59
硅	Si	28.09	银	Ag	107.87
钾	K	39.10	金	Au	196.97
钠	Na	22.99	氩	Ar	39.95

子的组成也可以用元素符号来表示,这种式子叫分子式。

同种元素组成的气态物质的分子,一般是由两个原子组成的,所以,氢、氮、氧的分子式可用下式表示:氢 (H_2), 氮 (N_2), 氧 (O_2)。这种由同种元素的原子组成的物质,称为单质。而由不同元素的原子组成的物质叫化合物。

化合物的分子式是通过精确的实验确定的,它表示化合物的组成。例如:

水的分子式为 H_2O ;

氨的分子式为 NH_3 ;

二氧化碳的分子式为 CO_2 , 等等。

在水的分子式中,一个氧原子与两个氢原子结合;在氨分子中,一个氮原子与三个氢原子结合;在二氧化碳分子中,一个碳原子与两个氧原子结合,这说明在构成化合物时,各种元素的原子是按照一定的比例化合的,一旦比例发生变化,即组成改变了,则化合物的种类和性质也就改变了,例如,一个碳原子若不是与两个氧原子化合,而是与一个氧原子化合,则生成的是与二氧化碳 (CO_2)

性质很不相同的另一种化合物一氧化碳(CO)了。

五、化合价

元素的原子按一定比例数化合的这种性质，叫做元素的化合价。

如果定氢元素的化合价为1，则水(H_2O)中氧元素的化合价为2，氨(NH_3)中氮元素的化合价为3。因此，与某元素一个原子相化合的氢原子数就是该元素的化合价。

元素的化合价除了数值上的差异外，还有正负之分。实验研究表明，化合物可以分为带正电部分和带负电部分，而整个化合物是不带电的，所以，在两个元素组成的化合物中，一个元素显正价，另一个元素就显负价。一般金属元素显正价，氢由于它的性质有些象金属，通常显+1价。这样，在 H_2O 中氧显-2价；在 NH_3 中，氮显-3价。

另外，同一元素在不同情况下可以表现出不同的化合价，例如，二氧化碳(CO_2)中，碳显+4价，而一氧化碳(CO)中的碳则显+2价；又如，硫化氢(H_2S)中硫显-2价，而硫酸(H_2SO_4)中的硫显+6价。

从上面的分析，可以得出：

1. 化合价是组成化合物时各元素的原子所表现出来的一种特性，它的数量关系是以氢元素的化合价为1作基准的。

2. 元素的化合价有正负之分。每一化合物中，各元素正价总数等于负价总数。

3. 某些元素在不同条件下可以表现出不同的化合价。

但是，并非所有的化合物都是由简单的原子组成的，例如碳酸氢铵 NH_4HCO_3 ，实际上是由一个带正电的部分(NH_4)和一个带负电的部分(HCO_3)组成的。(NH_4 与 HCO_3)这种由几种元素的

原子结合在一起的组合,叫做原子团或根。如 NH_4 叫铵根, HCO_3 叫碳酸氢根。在参加化学反应时,原子团中各原子通常并不分开,好象一个原子一样。原子团也有化合价,它等于组成原子团的各原子的化合价的代数和,如 NH_4 为+1价,常记作 NH_4^+ , HCO_3 为-1价,常记作 HCO_3^- 。表1-2为一些元素及原子团的常见化合价。

表 1-2 一些元素及原子团的常见化合价

元 素	化 合 价	原子团	化 合 价
氢	+1	氢氧根 (OH^-)	-1
氮	-3, +4, +6	铵 根 (NH_4^+)	+1
氧	-2	碳酸根 (CO_3^{2-})	-2
碳	+2, +4	碳酸氢根 (HCO_3^-)	-1
硫	-2, +4, +6	醋酸根 (Ac^-)	-1
氯	-1	硝酸根 (NO_3^-)	-1
钠	+1	硫酸根 (SO_4^{2-})	-2
铜	+1, +2		
铁	+2, +3		

毛主席指出:“胸中有‘数’。这是说,对情况和问题一定要注意到它们的数量方面,要有基本的数量的分析。”在氮肥生产过程中,要做到高产、低消耗,就要掌握原料的消耗量,工段的生产率,计算产品的产量等。而要解决这些问题,先要了解物质的数量特征及化学反应的计量单位。

六、原子量和分子量

原子、分子虽然很小,但都具有一定的大小和重量。例如,一

一个碳原子的重量是 0.000,000,000,000,000,000,01993 克 (即 1.993×10^{-23} 克)。可见, 用克为单位来表示一个原子或分子的重量, 十分不方便。为此, 化学上采用一个特殊小的重量单位——“碳单位”来表示原子及分子的重量, 一个“碳单位”约等于碳原子重量的 $\frac{1}{12}$ 。用“碳单位”来表示的一个原子的重量, 叫做原子量, 例如:

碳的原子量为 12.01 碳单位;

氧的原子量为 15.999 碳单位;

氢的原子量为 1.008 碳单位, 等等。

为简便起见, 常略去“碳单位”三字。常见元素的原子量见表 1。

同理, 分子量就是用碳单位来表示的一个分子的重量, 它等于该分子中各原子原子量的总和。根据分子式可以计算出分子量。例如:

$$\text{H}_2\text{O 的分子量} = 2 \times 1 + 16 = 18$$

$$\text{NH}_3 \text{ 的分子量} = 14 + 3 \times 1 = 17$$

$$\text{NH}_4\text{HCO}_3 \text{ 的分子量} = 14 + 5 \times 1 + 12 + 3 \times 16 = 79$$

七、克原子和克分子

在化学、化工中, 为要计算经过一个化学反应所要消耗的原料量和生成的产品量, 采用碳单位这样小的重量单位显然是不合适的。因此, 又规定了另一类特殊的重量单位, 这就是所谓的“克原子”和“克分子”。

克原子是以克来计算的重量单位, 数值上等于元素的原子量。例如:

碳的原子量为 12.01, 1 克原子碳是 12.01 克

氧的原子量为 15.999, 1 克原子氧是 15.999 克

氢的原子量为 1.008, 1 克原子氢是 1.008 克

克分子的意义与克原子相似, 它是以克来计算的重量单位, 数值上等于物质的分子量。例如:

H_2O 的分子量为 18, 1 克分子 H_2O 是 18 克

NH_3 的分子量为 17 1 克分子 NH_3 是 17 克

NH_4HCO_3 分子量为 79, 1 克分子 NH_4HCO_3 是 79 克

为什么要采用克原子和克分子这样的重量单位, 它们有什么特性呢? 可以通过下面的推导阐明。

1 个碳单位 = 0.000,000,000,000,000,000,000,

00166 克 = 1.66×10^{-24} 克

或 1 克 = $6.02 \times 100,000,000,000,000,000,000,000$

= 6.02×10^{23} 碳单位

$$1 \text{ 克原子的原子个数} = \frac{\text{克原子}}{1 \text{ 个原子的重量}}$$

例如:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 克原子 C 的原子个数} &= \frac{12.01 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 碳单位}}{12.01 \text{ 碳单位}} \\ &= 6.02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 克原子 O 的原子个数} &= \frac{15.999 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 碳单位}}{15.999 \text{ 碳单位}} \\ &= 6.02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 克原子 H 的原子个数} &= \frac{1.008 \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 碳单位}}{1.008 \text{ 碳单位}} \\ &= 6.02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

由上面推导可以看出, 1 克原子任何元素所含的原子个数均相同, 约等于 6.02×10^{23} 个原子。因此, 1 克原子也就是用克来计算时, 6.02×10^{23} 个某种元素原子的总重量。

同样, 可以推导出, 1 克分子任何物质所含的分子个数均相同, 约等于 6.02×10^{23} 个分子。因此, 1 克分子也就是用克来计算时, 6.02×10^{23} 个某物质分子的总重量。

正因为克原子和克分子具有这样的特性, 在化学反应的计算中, 使用起来就十分方便。例如, 1 个分子 N_2 和 3 个分子 H_2 , 反应生成 2 个分子的 NH_3 。现在, 也可以说, 1 克分子 N_2 和 3 克分子 H_2 , 反应生成 2 克分子 NH_3 。

克原子和克分子在化学的计算中是十分重要的, 而在化工计算中, 由于量大, 则更常用公斤原子和公斤分子的概念, 它们的意义与克原子和克分子是一样的, 只不过用公斤代替克来计算, 数值上大 1000 倍。

例 1-1 半水煤气中含 N_2 21.5% (体积), 如果其中的 N_2 全部用以合成氨, 问生产 1 吨氨至少需多少标准米³ 的半水煤气。现实际消耗半水煤气 3400 标准米³, 求半水煤气的利用率。已知 1 克分子气体标准体积^① 为 22.4 升。

解: 1 吨氨 = 1000 公斤 氨 = $\frac{1000}{17} = 58.8$ 公斤分子氨,

$$\text{需要 } N_2 = \frac{58.8}{2} = 29.4 \text{ 公斤分子}$$

由于 1 克分子气体体积 = 22.4 标准升, 而

$$\text{公斤分子} = 1000 \text{ 克分子}, 1 \text{ 米}^3 = 1000 \text{ 升}$$

所以

$$\text{需要氮气体积} = 29.4 \times 22.4 = 660 \text{ 标准米}^3$$

$$\text{需要半水煤气体积} = \frac{660}{0.215} = 3060 \text{ 标准米}^3$$

$$\text{半水煤气利用率} = \frac{3060}{3400} \times 100\% = 90\%$$

①标准体积指气体压强为一大气压、温度为 0°C 时的体积, 常用标准米³、标准升等表示, 详见第四章 § 4-5。