▶19

技　术

从本章开始，我们研究厂商的行为。首先考察厂商行为的约束条件。一家厂商在作选择时，往往面临着许多约束条件，这些约束条件是它的客户、竞争对手和自然条件等施加的。在本章，我们将研究这些约束条件中的自然条件。受制于自然条件，只有某些可行的方式才能将投入转化为产品，即只有某些种类的技术才可用来进行生产。这里，我们将研究经济学家是如何描述这些技术约束的。

如果你了解消费者理论，生产理论就会非常容易理解，因为它们采用相同的研究工具。事实上，由于生产过程的产出通常可以直接观察到，而消费的"产出"(效用)不能直接观察到，所以，生产理论比消费理论更简单。

19.1　投入和产出

生产的投入称作*生产要素*。生产要素一般划分为以下几大类：土地、劳动、资本和原材料。土地、劳动、原材料的含义十分明显，但资本却是一个全新的概念。*资本物品*指的是那些本身就是制成品的生产投入。基本上，资本物品就是各种各样的机器设备：卡车、建筑物、计算机或其他东西。

有时，资本也用来表示开办企业或维持经营所需要的货币，我们总是用*金融资本*来表示这种概念，而用*资本物品*或*物质资本*来表示本身就是制成品的生产要素。

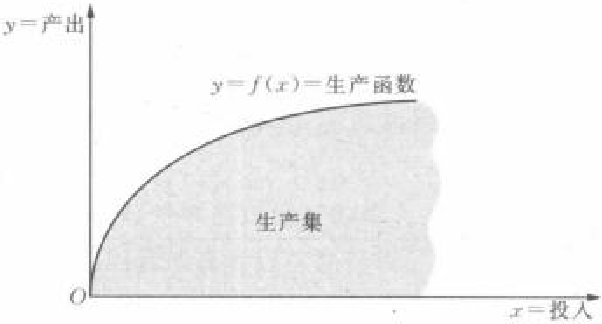
通常，我们设想投入与产出是用流量单位计量的，例如：每周一定量的劳动和一定量的机器工作时数生产出一定量的产品。

我们发现，频繁地使用上述分类方法是没有必要的。我们将要讨论的有关技术的大部分内容可以不必考虑投入和产出的类别，这里，仅仅考虑投入和产出的数量就足够了。

19.2　描述技术约束

自然条件对厂商施加的是*技术约束*：只有某些投入组合才有可能生产出既定的产量，因此，厂商的生产计划必然要受到技术可行性的限制。

描述可行性生产计划的最简单的方法就是把它们列示出来，也就是说，我们把技术上可行的所有投入和产出的组合列示出来。构成技术上可行的生产方法的所有投入和产出组合的集合称作*生产集*。



这是生产集的一种可能的形状。

图 19.1 生产集

例如，假定我们只使用一种投入，用 x 度量，并且，只生产一种产品，用 y 度量。那么，生产集就有可能具有图 19.1 所示的形状。如果某点 (x, y) 处在生产集内，那么，这就意味着如果你所拥有的投入的数量为 x，生产出数量为 y 的产出在技术上就是可能的。生产集表示厂商所面临的可能的技术选择。

只要厂商的投入品具有成本，那么，我们只考察在既定投入水平下的最大可能的产出就是有意义的。这就是图 19.1 所示的生产集的边界。描述这个生产集边界的函数称作*生产函数*。它衡量的是由一定量的投入可能得到的最大可能的产出。

当然，即使存在几种投入，生产函数的概念也同样适用。例如，如果我们考察两种投入的情况，那么，生产函数 $f(x_1, x_2)$ 衡量的是当我们投入 x_1 单位的要素 1 和 x_2 单位的要素 2 时，我们可能获得的最大产量 y。

在两种投入的情况下，一种可以用来表示生产关系的简便工具称作*等产量线*。等产量线表示的是恰好足够生产某一既定数量产出的投入 1 和投入 2 的所有可能的组合。

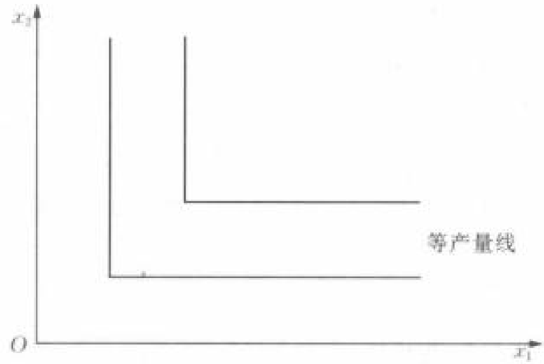
等产量线类似于无差异曲线。如前文所述，一条无差异曲线表示恰好能够提供既定效用水平的不同的消费组合。但是，无差异曲线与等产量线之间存在一个重要的差异：等产量线旁标记的是可能生产出的产量，而不是效用水平。因此，等产量线的标记由技术决定，而效用的标记却具有任意性。

19.3 技术的例子

由于我们已经对无差异曲线非常熟悉，因此，要理解如何运用等产量线并不困难。接下来，我们考察几个有关技术和等产量线的例子。

固定比例

假定我们要挖几个洞，并且挖成一个洞的唯一方法是一个人使用一把铁锹。多余的铁锹无济于事，多余的人也毫无价值。因此，能够挖成的洞的数量就是人数和铁锹数中较小的那个值。我们可以把生产函数记为 $f(x_1, x_2) = \min\{x_1, x_2\}$。这种等产量线具有图 19.2 所



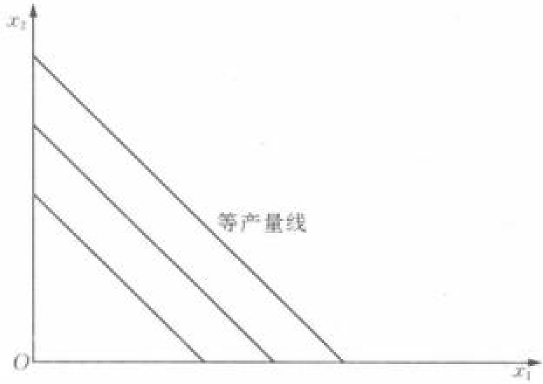
固定比例情况下的等产量线。

图 19.2 固定比例

示的形状，注意，它与消费者理论中的完全互补品的无差异曲线非常相似。

完全替代

现在，假定我们正在做家庭作业，投入品是红铅笔和蓝铅笔。这里，所完成的家庭作业量仅仅取决于铅笔的总数。这样，生产函数就可以记为 $f(x_1, x_2) = x_1 + x_2$，相应的等产量线如图 19.3 所示 。它与消费者理论中的完全替代品的无差异曲线非常相似。



完全替代情况下的等产量线。

图 19.3 完全替代

柯布-道格拉斯生产函数

如果生产函数的形式为 $f(x_1, x_2) = Ax_1^a x_2^b$，我们就称这种生产函数为柯布-道格拉斯生产函数。它与我们前面讨论的柯布-道格拉斯偏好的函数形式相似。效用函数的取值大小并不重要，因此，我们通常取 $A=1$，$a+b=1$。但生产函数的取值的大小却至关重要，所以我们只能让这些参数取任意值。大体上，参数 A 代表生产规模，即表示当每种投入都使用一单位时产量将是多少。参数 a 和 b 衡量的是产量是如何随着投入品的变动而变动的。在下文，我们将深入地考察这种影响。在某些例子中，我们选择 $A=1$ 以简化计算。

柯布-道格拉斯等产量线具有与柯布-道格拉斯无差异曲线相同的性状良好的形状，如同效用函数的情况，柯布-道格拉斯生产函数是性状良好的等产量线的最为简单的例子。

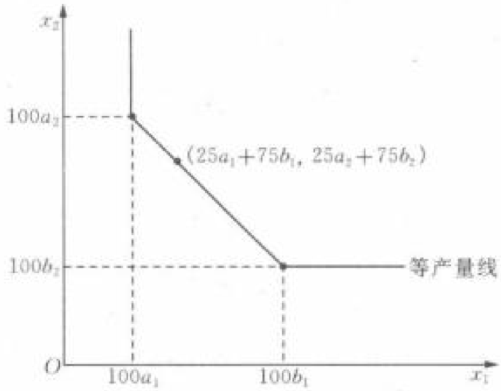
19.4 技术的特征

如同研究消费者时的情况，通常，我们也假定技术具有某些特性。首先，我们一般假定技术具有单调性：如果增加至少一种投入的数量，那么，你就能生产出至少与原先数量相同的产量。如果厂商能够不费成本地处置任何投入，那么多余的投入就不会产生损失，所以有时又把这种单调性称作自由处置的特征。

第二，我们通常假定技术是凸的。这意味着如果存在两种投入组合 (x_1, x_2) 和 (z_1, z_2) 能够生产出 y 单位的产量，那么，它们的加权平均值能生产出至少 y 单位的产量。

下面是一个有关凸技术的论点。假定采用一种生产方法投入 a_1 单位的要素 1 和 a_2 单位的要素 2 生产出 1 单位的产量，同时，采用另一种生产方法投入 b_1 单位的要素 1 和 b_2 单位的要素 2 也能生产出 1 单位的产量，我们把这两种生产方法称作生产技术。

此外，我们假定可以按任意比例增加产量，使得 $(100a_1, 100a_2)$ 和 $(100b_1, 100b_2)$ 可以生产 100 个单位的产量。但注意，如果你投入 $25a_1+75b_1$ 单位的要素 1 和 $25a_2+75b_2$ 单位的要素 2，你仍然可以生产出 100 个单位的产量：使用“a”技术生产 25 单位产量，使用



如果你能独立操作生产活动,那么生产计划的加权平均值也将是可行的。因此等产量线呈现凸性。

图 19.4　凸性

"b"技术生产 75 单位产量。

图 19.4 显示的就是这种情况。通过选定每一种投入的使用量,你能用各种不同的方法生产出既定数量的产出。具体来说,在连接($100a_1$, $100a_2$)和($100b_1$, $100b_2$)的线段上,任意一种投入组合都是生产 100 单位产量的一种可行方法。

在这种技术条件下,可以很容易地按比例扩大或缩小生产规模,并且,各个分离的生产过程之间互不干扰,因此,凸性是一个非常合乎逻辑的假定。

19.5　边际产品

假定我们在等产量线上的某一点(x_1, x_2)进行生产,现在,考虑稍微增加要素 1 的使用量,同时保持要素 2 的使用量不变。增加 1 单位要素 1 将会增加多少产量?我们必须考察每单位要素 1 的变动所引起的产量变动

$$\frac{\Delta y}{\Delta x_1}=\frac{f(x_1+\Delta x_1,\ x_2)-f(x_1,\ x_2)}{\Delta x_1}$$

我们把该比率称作要素 1 的边际产品。要素 2 的边际产品可以用同样的方式来定义。令 $MP_1(x_1,\ x_2)$和 $MP_2(x_1,\ x_2)$分别表示这两种要素的边际产品。

有时,我们可能会曲解边际产品的定义,把它看作增加 1 单位要素 1 的投入而获得的额外产量。只要增加的这"1"单位要素 1 与我们正使用的要素 1 的总量相比显得很小,那么,这种表述仍然是令人满意的。但是,我们应该记住,边际产品是一种比率:相对于每一单位额外投入的额外产量。

除了效用的序数性质之外,边际产品的概念与我们在消费者理论中讨论的边际效用概念完全相似。这里我们考察的是实物产量:一种要素的边际产品是一个具体的数字,原则上,它是能够观察到的。

19.6　技术替代率

假定我们在某一点(x_1, x_2)处进行生产,并考虑减少一点要素 1 的使用量,同时增加足够多的要素 2 以生产与原先数量相同的产出 y。如果我们放弃一点要素 1,即 Δx_1,我们需要增加多少要素 2,即 Δx_2 为多少?这恰好是等产量线的斜率,我们称它为技术替代率(technical rate of substitution, TRS),表示为 TRS(x_1, x_2)。

技术替代率度量生产中两种投入之间的替代关系。它度量厂商为保持产量不变必须以一种投入替代另一种投入的比率。

为了推导出技术替代率公式，我们可以运用我们用来确定无差异曲线斜率的相同想法。考虑改变要素 1 和要素 2 的使用量并使产量水平保持不变，那么，我们有

$$\Delta y = MP_1(x_1, x_2)\Delta x_1 + MP_2(x_1, x_2)\Delta x_2 = 0$$

求解这个方程，可以得到

$$\text{TRS}\,(x_1, x_2) = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = -\frac{MP_1(x_1, x_2)}{MP_2(x_1, x_2)}$$

注意技术替代率与边际替代率定义的相似性。

19.7　边际产品递减

在生产过程中，假定我们投入一定数量的要素 1 和要素 2，现在，考虑保持要素 2 的投入量不变，并增加要素 1 的投入量，那么，要素 1 的边际产品会如何变化？

只要技术具有单调性，那么当要素 1 的投入量增加时，总产量也会增加。但很自然地，可以预期总产量将按某个递减的比率增加。让我们来考察一个农业上的具体例子。

一个人在一英亩耕地上可能会生产出 100 蒲式耳的谷物，如果增加一个人，耕地还是一英亩，此时，可能会收获 200 蒲式耳谷物。在这种情况下，增加一个劳动力的边际产品就是 100 蒲式耳谷物。现在，在这一英亩耕地上继续追加劳动投入。每增加一个人可能会生产出更多的产量。但最终，每增加一个劳动力而增加的谷物产量会少于 100 蒲式耳。在增加了 4 到 5 个劳动力以后，增加的每个劳动力所导致的产量的增加将下降到 90、80、70……或者甚至更少的蒲式耳。如果在这块土地上集中了数百个劳动力，那么，劳动力的增加甚至可能会引起产量下降。这和烹制肉汤一样，厨师多了反而可能使烹制出来的肉汤走味。

一般地，我们可以认为一种要素的边际产品会随着该要素使用数量的增加而递减，我们把这种现象称作*边际产品递减规律*。实际上，这并不是一个“规律”，而是大多数生产过程所具有的共同特征。

边际产品递减规律仅适用于所有其他投入都保持不变的情况，强调这一点很重要，在上述农业的例子中，我们只考虑劳动投入变化的情况，而假定土地和原材料的投入都保持不变。

19.8　技术替代率递减

与技术密切相关的另一个假定是*技术替代率递减*。这个假定指的是，当增加要素 1 的投入量并相应调整要素 2 的投入量以保持产量不变时，技术替代率会变小。大体上，技术替代率递减意味着当我们沿等产量线增加 x_1 的投入量时，等产量线的斜率的绝对值肯定会变小，相反地，沿等产量线增加 x_2 的投入量时，等产量线的斜率的绝对值肯定会增大。这就是说，等产量线与性状良好的无差异曲线一样呈现凸性。

技术替代率递减与边际产品递减这两个假定具有密切的联系，但两者并不完全相同。边际产品递减涉及的是当我们增加一种投入的数量并保持其他投入不变时，边际产品会

怎样变化;技术替代率递减则是指当增加一种投入的数量并减少另一种投入的数量以使产量保持不变时,边际产品的比率或等产量线的斜率会怎样变化。

19.9 长期和短期

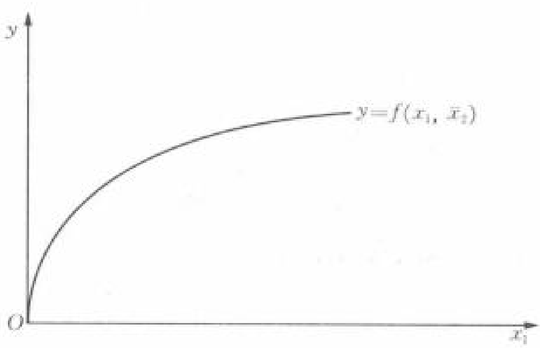
现在让我们回到把技术作为一组可行的生产计划这个最初的思路上来。我们需要对立即可行和以后可行的生产计划作出区别。

在短期内有某些生产要素固定在预定的水平上。在上述的例子中,如果土地是农场主所能获得的全部投入,那么他可能仅考虑包括固定数量土地的生产计划。当然,如果他有更多的土地,他会生产出更多的谷物。但在短期中他所能获得的谷物数量受到他拥有的土地数量的限制。

另一方面,在长期中,农场主可以任意购买更多土地或出售他现在所拥有的土地。他可以调整土地投入的数量以达到利润最大化。

经济学家对长期和短期所作的区分如下:在短期内某些生产要素是固定的,譬如固定的土地数量,固定的工厂规模,固定的机器设备等等;在长期内所有生产要素都是可以变动的。

这种区分并不意味着具体的时间长短。长期和短期要视我们所考察的是哪种选择而定。在短期内至少有某些生产要素被固定在既定的水平上,但在长期内这些生产要素的使用量都是可以变动的。



这是短期生产函数可能有的一种形状。

图 19.5 生产函数

假定短期内生产要素 2 的投入量固定在 $\bar{x}_2$ 上,那么相应的短期生产函数就是 $f(x_1, \bar{x}_2)$。我们可以把产出与投入 x_1 之间的函数关系以图 19.5 表示。

注意,随着要素 1 的投入量增加,我们所画出的短期生产函数显得越来越平坦。这再一次证明边际产品递减规律在起作用。当然边际收益最初有一个递增的区域这种情况也极易发生。在这一区域内增加要素 1 的投入量,其边际产品会出现递增。以农业劳动力的投入增加为例,最初增加几个劳动力可能会使产量递增,因为他们可以进行有效的分工。但在土地投入量既定的条件下,劳动投入的边际产品最终会下降。

19.10 规模报酬

现在考察另一类实验。增加生产函数中所有投入的数量而不是只增加一种投入并使其他投入保持不变。换言之,使所有投入都按某个固定比例增加,譬如令要素 1 和要素 2 都增加一倍。

如果把每种要素都增加一倍,产量会增加多少?最有可能出现的结果是产量也增加

一倍。这种情形叫做*不变的规模报酬*，用生产函数来表达就是每种投入增加一倍使产出也增加一倍。若有两种投入，这种关系用数学可表述为

$$2f(x_1, x_2)=f(2x_1, 2x_2)$$

一般来说，如果我们把所有投入都变成原来的 t 倍，那么不变的规模报酬就意味着我们将得到 t 倍的产量：

$$tf(x_1, x_2)=f(tx_1, tx_2)$$

我们说有可能出现这种结果是基于下述理由：典型的情况是厂商可能会复制正在进行的生产方式，如果厂商的每种投入增加为原来的两倍，那它就能同时建造两座工厂，使产量也增加为原来的两倍。若每种投入变成原来的三倍，那它就能建造三座工厂，如此等等。

注意，一种生产技术既显示出规模报酬不变又显示出每种生产要素的边际产品递减是完全可能的。因为*规模报酬*阐述的是增加所有投入时产量将怎样变动，而边际产品递减指的是增加一种投入，而使其他投入固定不变时产量将怎样变化。

根据复制的论点，规模报酬不变是最"自然"的现象。但这并不等于说其他情况不可能发生。例如，当我们把所有投入都按比例增加为原来的 t 倍时，得到的产量大于原先产量的 t 倍的情形也可能发生。我们把这叫做*规模报酬递增*。规模报酬递增用数学可表述为

$$f(tx_1, tx_2)>tf(x_1, x_2)，对所有的\ t>1$$

规模报酬递增的生产技术有哪些例子呢？输油管是一个极好的例子。如果把一根输油管的直径增加一倍，所需的材料也增加一倍，但是输油管的截面却扩大成原先的四倍，这样油管的输油量就可能大于原先的两倍。

（当然我们不能把这个例子引申得太远，因为我们继续扩大油管的直径最终会使得油管被自身的重量压塌，规模报酬递增通常在一定的产量范围内适用。）

另一种需要考察的情形是*规模报酬递减*，即

$$f(tx_1, tx_2)<tf(x_1, x_2)，对所有的\ t>1$$

这种情形比较罕见。因为如果每种投入增加为原来的两倍只得到少于两倍的产量，那么这样扩大生产规模肯定存在着问题。至少我们可以按复制方式扩大生产规模来使得规模报酬不变。

发生规模报酬递减的情况通常是由于我们忘记了把某些投入考虑在内。如果我们把除了一种投入以外的所有投入都增加一倍，我们就无法复制原先的生产方式进行生产，因而没有理由非要得到两倍于原先的产量。规模报酬递减只有在某些投入固定不变时才可能发生，因此它实际上是一种短期现象。

当然，一种生产技术在不同的生产水平上会显示出不同的规模报酬。在产量较低时，它很可能会显示出规模报酬递增，即所有投入增加为原来的 t 倍时，产量增加成大于原先的 t 倍。然后，在产量较高时，投入增加为原来的 t 倍时，产量很可能恰好也增加为原先的

t 倍。

例子:数据中心

数据中心是容纳处理类似网页访问任务的上千台计算机的大型建筑物。像谷歌、雅虎、微软、亚马逊等互联网公司都在世界各地建立了数千个数据中心。

典型的数据中心是由安置像台式计算机主板那样的计算机主板的数百个机柜构成的。这些系统一般被设计成很容易改变规模,从而通过增加或减少计算机的机柜数量就能扩大或缩小数据中心的计算能力。

这一复制方法意味着计算服务的生产函数实际上具有规模报酬不变的性质:为使得产量翻倍,只要简单地增加一倍的投入就可以了。

例子:精确复制

英特尔运营着几十家成型加工、组装、分拣、测试高级计算机芯片的“晶圆厂”。芯片的成型加工是一个非常复杂的过程,以至于英特尔发现在不同的生产环境中难以控制芯片的质量。像清洁规程或冷却管道长度等工厂设计的微小变化都能对晶圆生产过程中的产品质量产生极大的影响。

为处理这些极为复杂的影响芯片生产质量的因素,英特尔采用了精确复制工厂的做法。依据英特尔的精确复制的正式指令,“除非没有物理可能性或存在进行改变的巨大竞争利益,对可能影响生产过程或工厂运营的每个部分都从微小细节开始复制”。

这就意味着英特尔的各个工厂之间非常相似,而且英特尔也是故意这样做的。这一精确复制主张表明,英特尔扩大生产规模的最简单方法是尽可能地完全复制现行的生产运营程序。

小 结

1. 厂商的技术约束可通过生产集来描述。生产集表示所有技术上可行的投入和产出的组合,通过生产函数,它给出和既定量投入相对应的最大产量。
2. 描述厂商面临的技术约束的另一个方法是利用等产量线。这条曲线给出了所有能够生产出既定产量水平的投入组合。
3. 通常我们假定等产量线是凸的和单调的,就像性状良好的偏好一样。
4. 边际产品度量的是在所有其他投入保持不变的情况下,一种投入每增加 1 单位所取得的产出增量。我们一般假定,随着我们对某种投入使用量的增加,这种投入的边际产品递减。
5. 技术替代率(TRS)度量的是等产量线的斜率。我们通常假定,当我们沿等产量线向外移动的时候,技术替代率递减——等产量线呈凸性的另一种说法。
6. 在短期内某些投入是固定的,而在长期内,所有的投入都是可变的。
7. 规模报酬指的是当我们改变生产规模时产量变动的方式。如果我们使所有的投入都按某个数量为 t 的比例上升,而产量也上升相同的倍数,那么我们就有规模报酬不变。如果产量按高于 t 的比例上升,我们就有规模报酬递增。如果产量按低于 t 的比例上升,我们就有规模报酬递减。

复习题

1. 假定生产函数为 $f(x_1, x_2)=x_1^2x_2^2$，则该生产函数所显示的是规模报酬不变、递增还是递减？

2. 假定一生产函数为 $f(x_1, x_2)=4x_1^{\frac{1}{2}}x_2^{\frac{1}{3}}$，则该生产函数所显示的是规模报酬不变、递增还是递减？

3. 柯布-道格拉斯生产函数为 $f(x_1, x_2)=Ax_1^ax_2^b$。其规模报酬的情况取决于 $a+b$ 的大小。问与不同规模报酬相对应的 $a+b$ 值分别是多少？

4. 要素 x_2 和 x_1 之间的技术替代率为 -4。如果你希望所生产的产量保持不变，但 x_1 的使用量又要减少 3 个单位，请问你需要增加多少个单位的 x_2？

5. 如果边际产品递减规律不成立的话，世界食品的供给就可通过盆栽方式进行？这句话对还是错？

6. 生产过程中是否会发生一种投入的边际产品递减而同时规模报酬递增的情况？