

附录二： 测算方案

一、工业互联网对我国 GDP 产出贡献测算

本方案将工业互联网产业对 GDP 的产出贡献分为两个部分：第一部分是与工业互联网直接相关的产业创造的价值称为直接产业增加值 Z^{direct} ，第二部分是工业互联网产业作为中间投入对其他产业间接创造的价值称为渗透产业增加值 $Z^{indirect}$ 。将两部分价值加总作为工业互联网的整体贡献值 Z 。

（一）直接产业增加值的测算

对于直接产业增加值的测算，首先理清工业互联网的概念和边界，采用专家打分、企业调研和定性-定量相结合的方法，确定工业互联网行业与各个子行业³的相关系数，以此作为工业互联网产业对经济增长贡献测算的基础和输入。由于 2017 年我国首次提出工业互联网发展战略，投入产出表中的行业门类与工业互联网直接相关的行业主要包括计算机、通信设备、软件服务等 11 个子行业。工业互联网产业对于与之直接相关的行业的经济影响参数值经聘请相关领域专家打分和企业调研等方式，而后根据模糊综合评价法得出相应数值。

针对 2017 年投入产出表中 149 个细分子行业的分析，根据 11 个相关子行业与工业互联网产业的相关系数，分别乘以各个行业的净产出，再加总可以获得工业互联网直接产业增加值。其中，各个行业的净产出为该行业的总投入 X_k 和中间总投入 M_k 的差，这里 k 指 11 个相关子行业中的某一个。令 S_k 为相关系数， Z_{2017}^{direct} 为工业互联网产业对我国经济增长的直接贡献值（也即直接产业增加值），计算公式为：

$$Z_{2017}^{direct} = \sum_k S_k (X_k - M_k)$$

³ 子行业指国家统计局公布的投入产出表中的 149 个行业

由于 11 个相关子行业只来自于制造业，信息传输、软件和信息技术服务业两个行业大类⁴，工业互联网的直接产业增加值仅来自于这两个行业。通过对子行业的归类和各行业大类的增加值，可分别计算工业互联网对各行业大类增加值的直接贡献率。

对于 2018-2021 年部分的测算，由于没有 2018-2021 年投入产出表的数据，基于中国统计年鉴中 19 个行业大类历年增加值进行测算。对于缺失的数据，通过线性外推法进行估算。由工业互联网产业对各个大类增加值的直接贡献率和各行业大类增加值，可测算得各年份工业互联网直接产业增加值 Z_n^{direct} 。

（二）渗透产业增加值的测算

对于渗透产业增加值的测算，通过投入产出法可以得到 2017 年工业互联网产业对各个行业大类增加值的贡献及贡献率，进而加总得到 2017 年渗透产业增加值 $Z_{2017}^{indirect}$ 。由于技术的进步，工业互联网行业在各个渗透行业的贡献率并不是一成不变的。通过生产函数法可以计算技术进步对贡献率的影响，即技术进步年度乘子。2018 年及以后渗透行业的贡献率均由年度乘子调整得到。通过渗透行业的贡献率与每年行业大类增加值，可计算得 2018-2021 年渗透产业增加值，记第 n 年渗透产业增加值为 $Z_n^{indirect}$ 。

1. 投入产出法

在投入产出表中，包含了每个子行业对其他子行业的中间投入。事实上，在国民经济行业的运行中，各个行业之间的投入产出关系并不仅仅是线性的一次投入产出的关系，也包含行业之间不断的相互作用和相互影响。例如，工业互联网产业作为中间投入，会显著影响制造业的产出，而制造业的产出中，部分产品作为中间产品又会反哺工业互联网产业。并

⁴ 中国统计年鉴中对 19 个行业大类划分

且以上的过程每时每刻都在国民经济的运行中发生，周而复始。为了刻画以上产业间相互影响的过程，产业经济学中的 **Leontief** 逆矩阵为测算产业间的相互影响提供了思路和技术路线。

首先定义中间消耗系数矩阵 A ，该矩阵中第 ij 个元素（记为 a_{ij} ）反映的是，行业 j 每有一单位产出，所对应的产业 i 的中间消耗，具体计算如下：

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$$

这里， x_{ij} 是投入产出表“中间产出与消耗矩阵”里面第 i 行和第 j 列的值， X_j 是第 j 个行业的总产出。则该投入产出表的 **Leontief** 逆矩阵 C 可计算为：

$$C = (I - A)^{-1}$$

其中 I 为单位矩阵，计算出的矩阵 C 的第 i 行和第 j 列的元素记为 C_{ij} 。 C_{ij} 称为 **Leontief** 逆系数。它表明第 j 个产品部门增加一个单位最终使用时，对第 i 个产品部门的完全需要量。

以上和工业互联网产业直接相关的行业，通过中间产出相互作用的关系，对其他行业的增加值形成影响。为此，分别计算以上各个工业互联网直接行业对其他行业的增加值。令 $k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_m$ 为 m 个和工业互联网相关的行业（这里是 m 为 11）。但由于相关系数的存在，使得这些行业中部分为工业互联网直接的行业，部分为工业互联网渗透的行业。由此，我们在投入产出表中增加 m 行和 m 列，命名为虚拟的工业互联网子行业，以期方便对间接价值的计算。通过矩阵增广，对应的第 k_i 个工业互联网行业，在增广矩阵之后对应的行或列是 $149 + i$ ，其中 $i \in [1, m]$ 。

矩阵增广的过程，将工业互联网子行业全部单独提出来，设置成 11 个虚拟的纯工业互联网行业，而原始的矩阵全部为非工业互联网行业的

部分。进一步，根据 Leontief 逆矩阵理论，其测算方法如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_1 \\ \Delta Y_2 \\ \vdots \\ \Delta Y_{149} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1,150} \\ C_{2,150} \\ \vdots \\ C_{149,150} \end{bmatrix} \frac{\Delta X_{150}}{C_{150,150}} + \begin{bmatrix} C_{1,151} \\ C_{2,151} \\ \vdots \\ C_{149,151} \end{bmatrix} \frac{\Delta X_{151}}{C_{151,151}} + \cdots + \begin{bmatrix} C_{1,160} \\ C_{2,160} \\ \vdots \\ C_{149,160} \end{bmatrix} \frac{\Delta X_{160}}{C_{160,160}}$$

这里， $\Delta X_{150}, \Delta X_{151}, \cdots, \Delta X_{160}$ 为 11 个工业互联网行业的投入，具体为：

$$\Delta X_{149+j} = X_{k_j} S_{k_j}, j = 1, 2, \cdots, 11$$

以上公式算得了工业互联网直接行业总投入对其他行业总产出的贡献，即由于工业互联网直接行业的投入，其他行业的生产量为 ΔY_i 。这个贡献值除以各个行业的总产出，就得到了对其他行业的定向贡献比，记为 λ_i 。根据算得的 λ_i 可以求出对其他行业的增加值贡献 dz_i ，具体为： $dz_i = \lambda_i(X_i - M_i)$ 。将以上所有行业对应的指标 i 求和，即可得到工业互联网产业的渗透行业的增加值 $Z_{2017}^{indirect}$ 。

2. 生产函数模型

生产函数理论反映了一定条件下要素投入与产出的数量关系。其中，柯布-道格拉斯生产函数最具有普遍性，得到广泛应用。索洛在柯布-道格拉斯生产函数的基础上，增加技术进步对生产的影响，并将其使用范围扩展到对整个宏观经济的研究中，建立了古典经济增长模型。同时，索洛创立“余值法”，以对公式进行微分的方式测算技术进步、资本和劳动的要素贡献率，进一步揭示要素投入与产出的关系，为研究各产业生产规律以及生产要素贡献率提供了方法指导。新古典经济增长模型为：

$$Y = AK^\alpha L^\beta$$