

# 面向高校内部的平行两阶段运营效率评价模型

刘 润, 尤建新, 俞安愚

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

**摘要:** 提出了一种高校内部组织绩效的数据包络分析(DEA)估计方法. 将高校运营效率的转化过程分为运营与社会化两个阶段, 并进一步细分社会化过程中教育与科研的转化效率, 将其看作是平行子系统的效率. 最后, 依据中国某 985 高校的内部学院数据, 论证了该方法的合理性和实际意义. 该方法为高校运营状况改善提供了具体、有效的管理决策建议.

**关键词:** 绩效评价; 高校运营效率; 数据包络分析(DEA); 平行系统; 两阶段网络模型

**中图分类号:** F223

**文献标志码:** A

## Parallel Two-stage Operational Efficiency Evaluation Model for Inner University

LIU Run, YOU Jianxin, YU Anyu

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** An efficiency evaluation of inner structure for universities was proposed based on data envelopment analysis (DEA). The operational efficiency of the universities was divided into operational stage and profitability stage. The efficiency of the profitability stage was decomposed into educational and research efficiencies. Both efficiencies were estimated for parallel structure system. To prove the rationality and effectiveness, the case study of a specific 985-project university was investigated based on the data of its inner colleges. The method provides more effective operational management suggestions for the universities.

**Key words:** efficiency evaluation; university operational efficiency; data envelopment analysis (DEA); parallel system; two-stage network model

(DEA)估计方法与科研创新的重点研究领域. 在实际高校运营中, 该评估可以涉及到学院内部各个组织与机构的运营活动, 即只有通过提高高校内部各组织的运营绩效, 才能提高高校的整体绩效. 高校的内部运营绩效可以定义为考虑投入与产出关联的转化效率<sup>[1]</sup>, 绩效评价是提升高校内部资源配置、加强运营管理的重要内容<sup>[2]</sup>.

现有的 DEA 研究中, 有很多关于高校内部绩效的应用. Kao 等<sup>[3]</sup>研究了高校学术部门的有关效率, 该研究依托 DEA 估计方法得到了众多拓展<sup>[2, 4-9]</sup>.

传统的 DEA 估计方法, 将 DEA 的决策单元(DMU)认作黑箱, 并估计了黑箱的整体运作效率. 然而, 该估计方法忽视了效率转化的内部过程, 从而失去了数据转化中的很多信息. 近年来, 分析生产系统中内部子系统效率的 DEA 估计方法也得到了广泛关注, 如被广泛采用的 DEA 网络分析. 该估计方法由 Fare 等<sup>[10]</sup>提出, 主要将效率转化系统转变为基于子阶段的分系统, 从而细化效率估计的研究内容. 网络模型的研究也于近年来广泛应用于高校的运营与科研效率分析<sup>[11-12]</sup>.

对于高校运营效率系统运作的内部结构, 传统 DEA 黑箱研究存在不足. 在实际高校运营的子过程中, 运营目标并非单一的, 而往往具有科研与教育两类主要业务<sup>[13]</sup>, 可以认为是一个平行的运营过程. 因此, 通过分解高校运营的黑箱过程, 探索高校运营过程中科研与教育效率, 可以有效地拓展当前高校绩效评估的研究内容. 另一方面, 高校内部绩效还存在着不同学科的差异性. 为了提出合理的改进建议, 不同学科的绩效问题与无效性评估也需要进一步探究. 工科类学科建设是中国作为制造业大国的有力支撑. 中国于 2010 年启动了以“卓越工程师教育培养计划”为标志的工程教育教学改革<sup>[14]</sup>, 2016 年中国正式成为工程教育“华盛顿协议”的第

作为国家教育与科研的重要基地, 高等院校(下文简称高校)的运营绩效评估一直是数据包络分析

收稿日期: 2018-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(71671125); 教育部人文社会科学专项任务项目(12JJDGC021)

第一作者: 刘 润(1980—), 男, 副教授, 博士生, 主要研究方向为管理科学与工程. E-mail: liurun@tongji.edu.cn

通信作者: 俞安愚(1990—), 男, 博士生, 主要研究方向为绩效分析与资源管理. E-mail: yuanyu1990yy@163.com

18 个成员国<sup>[15]</sup>. 上述中国工程教育的国际化改革, 对评价中国工程教育现状与管理决策建议提出了更高的要求. 本文考虑学科间的差异性, 对高校工科教育提出具体的绩效评价与无效性分析.

提出了一个调整后的平行网络 SBM(slacks-based model)模型, 用以分析高校科研与教育业务的社会化效率与无效原因. 同时, 引入两阶段网络结构设定, 有效地细分了高校投入与产出转化的具体过程. 最后, 选用一家中国高等院校的数据实例, 进一步分析了本文方法的有效性, 并以工科学院教育为例具体分析了高校内部学院的运营效率差异.

## 1 方法

为了描述高校的运营过程, 假设存在  $n$  个相互独立的高校内部组织系统, 又可称为决策单元. 在传统的网络 DEA 模型中, 该组织结构可以由两个子系统结构转化组成, 具体如图 1 所示.

从图 1 可以发现, 高校内部的运营过程可以细分为运营与社会化两个子系统. 首先, 通过人力(教师)、设备与科研资金投入, 获得科研产出与授课. 该

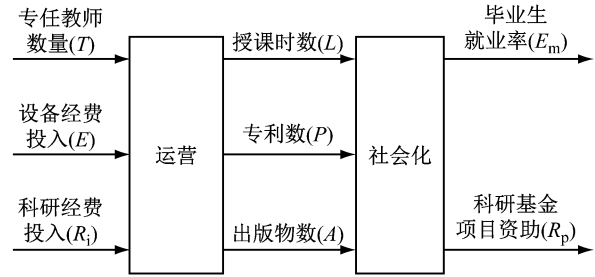


图 1 高校内部两阶段系统效率转化过程

Fig. 1 Efficiency conversion for two-stage system of inner university

阶段转化可以认为是高校运营的具体过程. 随后, 依托科研产出与授课, 高校获得国家与社会的认同, 进而获得学生就业以及国家研发项目资金的支持. 该过程可以认为是使高校获益的社会化过程. 运营与获益分离的思想得到了高校有关研究的支持<sup>[16]</sup>. 在社会化获益阶段, 则将运营阶段的产出作为社会化的投入, 通过国家评估与市场招聘, 产生反映高校运营成果的科研基金项目资助与毕业生就业率两项指标.

基于两阶段网络 DEA 模型的现有研究<sup>[17]</sup>, 传统的高校两阶段运营效率的评估模型如下所示:

$$\begin{aligned} \theta_i = \min & \frac{\omega_1 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \right) + \omega_2}{\omega_1 \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) \right) + \omega_2 \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \right) \right)} \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j T_j + s_T^- = T_i, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j E_j + s_E^- = E_i, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j R_{ij} + s_{R_i}^- = R_{ii}, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j P_j - s_P^+ = P_i, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j A_j - s_A^+ = A_i, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j - s_L^+ = L_i, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j = \sum_{j=1}^n \eta_j L_j, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j P_j = \sum_{j=1}^n \eta_j P_j, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j A_j = \sum_{j=1}^n \eta_j A_j, \\ & L_i = \sum_{j=1}^n \eta_j L_j, \quad \sum_{j=1}^n \eta_j R_{pj} - s_{R_p}^+ = R_{pi}, \quad P_i = \sum_{j=1}^n \eta_j P_j, \\ & A_i = \sum_{j=1}^n \eta_j A_j, \quad \sum_{j=1}^n \eta_j E_{mj} - s_{E_m}^+ = E_{mi}, \quad \sum_{j=1}^n \eta_j = 1, \\ & \lambda_j, \eta_j, s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+ \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $s_T^-$ 、 $s_E^-$ 、 $s_{R_i}^-$ 、 $s_P^+$ 、 $s_A^+$ 、 $s_L^+$ 、 $s_{E_m}^+$ 、 $s_{R_p}^+$  分别表示专任教师数量、设备经费投入、科研经费投入、专利数、出版物数、授课时数、毕业生就业率与科研基金项目资助的松弛变量;  $\lambda_j$ 、 $\eta_j$  分别表示第一和第二阶段各个决策单元参与最优投入产出目标构建的程度变量;  $i$  表示被评估的 DMU;  $\omega_1$  和  $\omega_2$  表示两阶段目标的权重系数, 本文中将两阶段效率看作一个整体, 其效率的取值范围为  $[0, 1]$ , 因此两权重系数之和需满足约束  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ , 以符合整体效率的取值要求. 两阶段

子效率也分别符合  $[0, 1]$  的取值范围. 式(1)中,

$\frac{1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right)}{1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right)}$  表示第一阶段运营效率的结

果,  $\frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left( \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \right)}$  表示第二阶段社会化转化效率的

结果.

需要说明的是, 第一阶段的效率估计是规模报

酬不变模型,即在考虑纯技术效率的基础上同时考虑规模效率,这是由于在高校运营阶段中需要考虑设备经费等投入的规模效应;在社会化获益阶段中则采用规模报酬可变模型,即只考虑效率转化的纯技术效率,因社会化过程中的资本投入较少,或已囊括在第一阶段中,主要强调人力活动参与,在模型中由  $\sum_{j=1}^n \eta_j = 1$  约束体现。

模型(1)是一个两阶段效率评估模型,其中  $P_j$ 、 $A_j$  和  $L_j$  是两阶段的中间变量。由于中间变量是由高校运营产生并转化为社会化产出,因此本文中用等号约束来构建各个中间变量的关联约束,如  $\sum_{j=1}^n \lambda_j L_j = \sum_{j=1}^n \eta_j L_j$ ,该约束认为第一阶段的期望产

$$\theta_i = \min \left( \omega_1 \left( t - \frac{1}{3} \left( \frac{S_T^-}{T_i} + \frac{S_E^-}{E_i} + \frac{S_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \right) + t \omega_2 \right)$$

$$\text{s. t. } \omega_1 \left( t + \frac{1}{3} \left( \frac{S_P^+}{P_i} + \frac{S_A^+}{A_i} + \frac{S_L^+}{L_i} \right) \right) + \omega_2 \left( t + \frac{1}{2} \left( \frac{S_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{S_{R_p}^+}{R_{pi}} \right) \right) = 1$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda'_j T_j + S_T^- = t T_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j E_j + S_E^- = t E_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j R_{ij} + S_{R_i}^- = t R_{ii},$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda'_j P_j - S_P^+ = t P_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j A_j - S_A^+ = t A_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j L_j - S_L^+ = t L_i,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda'_j L_j = \sum_{j=1}^n \eta'_j L_j, \sum_{j=1}^n \lambda'_j P_j = \sum_{j=1}^n \eta'_j P_j, \sum_{j=1}^n \lambda'_j A_j = \sum_{j=1}^n \eta'_j A_j,$$

$$t L_i = \sum_{j=1}^n \eta'_j L_j, \sum_{j=1}^n \eta'_j R_{pj} - S_{R_p}^+ = t R_{pi}, P_i = \sum_{j=1}^n \eta'_j P_j,$$

$$t A_i = \sum_{j=1}^n \eta'_j A_j, \sum_{j=1}^n \eta'_j E_{mj} - S_{E_m}^+ = t E_{mi}, \sum_{j=1}^n \eta'_j = t,$$

$$\lambda'_j, \eta'_j, S_T^-, S_E^-, S_{R_i}^-, S_P^+, S_A^+, S_L^+, S_{E_m}^+, S_{R_p}^+ \geq 0, t \text{ 无取值约束}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

模型(1)和模型(2)分析了运营与社会化获益过程的阶段效率,但将教育与科研两个子系统认为是一个整体,无法进一步分析高校运营过程中教育与科研的绩效状况,不利于针对业务进一步分析效率无效性。因此,该网络模型的进一步拓展也被提出。

在高校的实际运营中,授课与科研两者共同构成了高校的主要业务活动,因此可将授课和科研认为是在高校评价系统中同等重要的子系统。考虑到授课与科研在高校的日常运营中处于同时进展的状态,因此本文将上述两种业务系统作为平行的社会化子系统进行处理,具体的转化过程可以如图2所示。

如图2所示,将第二阶段的社会化效率转化过程细分为科研与授课两个子系统,并进一步分析子系统效率及其对整体运营效率的影响,从而研究在整体投入的基础上科研与授课各自的社会化获益能

出对于第二阶段的期望投入而言是客观存在的,如授课课时数。

值得一提的是,模型(1)是一个非线性模型,会对求解带来较大的难度,因此本文中将其转化为一个线性形式。通过引入变量  $t$  来产生下述松弛变量转化:  $ts_T^- = S_T^-$ ,  $ts_E^- = S_E^-$ ,  $ts_{R_i}^- = S_{R_i}^-$ ,  $ts_P^+ = S_P^+$ ,  $ts_A^+ = S_A^+$ ,  $ts_L^+ = S_L^+$ ,  $ts_{E_m}^+ = S_{E_m}^+$ ,  $ts_{R_p}^+ = S_{R_p}^+$ , 从而使得约束

$$\omega_1 \left( t + \frac{1}{3} \left( \frac{S_P^+}{P_i} + \frac{S_A^+}{A_i} + \frac{S_L^+}{L_i} \right) \right) +$$

$$\omega_2 \left( t + \frac{1}{2} \left( \frac{S_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{S_{R_p}^+}{R_{pi}} \right) \right) = 1$$

成立,并将非线性目标函数转变为线性模式,如下所示:

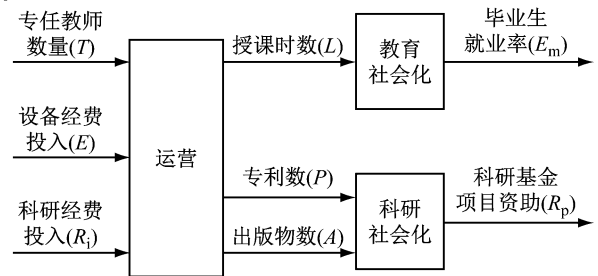


图2 高校内部平行系统效率转化过程

Fig.2 Efficiency conversion for parallel system of inner university

力。其中,专利数和出版物数( $P_j$  和  $A_j$ )作为科研产出受到国家的评估,从而为高校下一阶段的科研提供科研项目经费,可以认为是高校科研的社会化转化过程;通过指导学生产生授课课时数( $L_j$ )从而促进学生就业,可以认为是高校教育的社会化转化过程。

为了评价整体系统及各子系统效率,结合平行

子系统与两阶段网络分析模型,效率估计模型如下 所示:

$$\begin{aligned} \theta_i = \min & \frac{\omega_1 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \right) + \omega_2 + \omega_3}{\omega_1 \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) \right) + \omega_2 \left( 1 + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} \right) + \omega_3 \left( 1 + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \right)} \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j T_j + s_T^- = T_i, \sum_{j=1}^n \lambda_j E_j + s_E^- = E_i, \sum_{j=1}^n \lambda_j R_{ij} + s_{R_i}^- = R_{ii}, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j P_j - s_P^+ = P_i, \sum_{j=1}^n \lambda_j A_j - s_A^+ = A_i, \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j - s_L^+ = L_i, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j L_j = \sum_{j=1}^n \mu_j L_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j P_j = \sum_{j=1}^n \gamma_j P_j, \sum_{j=1}^n \lambda_j A_j = \sum_{j=1}^n \gamma_j A_j, \\ & L_i = \sum_{j=1}^n \mu_j L_j, \sum_{j=1}^n \mu_j E_{mj} - s_{E_m}^+ = E_{mi}, \sum_{j=1}^n \mu_j = 1, \\ & P_i = \sum_{j=1}^n \gamma_j P_j, A_i = \sum_{j=1}^n \gamma_j A_j, \sum_{j=1}^n \gamma_j R_{pj} - s_{R_p}^+ = R_{pi}, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \\ & \lambda_j, \mu_j, \gamma_j, s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+ \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  分别表示第一阶段、第二阶段教育与科研的效率权重系数,  $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ;  $\lambda_j, \mu_j, \gamma_j$  分别表示第一阶段、第二阶段教育与科研的效率估计的参与程度. 相较于模型(1), 模型(3)的主要特点在于第二阶段平行子系统效率(科研与授课获益效率)的

估计. 在模型(3)的目标函数中,  $1/\left(1 + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}}\right)$  和  $1/\left(1 + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}}\right)$  分别代表授课与科研在社会化转化过程中的效率.

类似于模型(2), 模型(3)也可以转变为如下线性形式:

$$\begin{aligned} \theta_i = \min & \left( \omega_1 t - \frac{\omega_1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) + \omega_2 t + \omega_3 t \right) \\ \text{s. t. } & \omega_1 t + \frac{\omega_1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) + \omega_2 t + \omega_2 \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \omega_3 t + \omega_3 \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} = 1 \\ & \sum_{j=1}^n \lambda'_j T_j + s_T^- = t T_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j E_j + s_E^- = t E_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j R_{ij} + s_{R_i}^- = t R_{ii}, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda'_j P_j - s_P^+ = t P_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j A_j - s_A^+ = t A_i, \sum_{j=1}^n \lambda'_j L_j - s_L^+ = t L_i, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda'_j L_j = \sum_{j=1}^n \mu'_j L_j, \sum_{j=1}^n \lambda'_j P_j = \sum_{j=1}^n \gamma'_j P_j, \sum_{j=1}^n \lambda'_j A_j = \sum_{j=1}^n \gamma'_j A_j, \\ & t L_i = \sum_{j=1}^n \mu'_j L_j, \sum_{j=1}^n \mu'_j E_{mj} - s_{E_m}^+ = t E_{mi}, \sum_{j=1}^n \mu'_j = t, \\ & t P_i = \sum_{j=1}^n \gamma'_j P_j, t A_i = \sum_{j=1}^n \gamma'_j A_j, \sum_{j=1}^n \gamma'_j R_{pj} - s_{R_p}^+ = t R_{pi}, \sum_{j=1}^n \gamma'_j = t, \\ & \lambda'_j, \mu'_j, \gamma'_j, s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+ \geq 0, t \text{ 无取值约束}, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

基于模型(4), 通过求解模型中的松弛变量  $s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+$  与参与程度变量  $\lambda'_j, \mu'_j, \gamma'_j$  以及  $t$ , 可以得出高校内第  $i$  个学院的最优绩效, 如下所示:

$$\begin{aligned} E_{pi} &= \frac{1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right)}{1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right)} \\ E_{ei} &= \frac{1}{1 + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}}} \end{aligned}$$

$$E_{ri} = \frac{1}{1 + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}}}$$

$$E_{oi} = \frac{\omega_1 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \right) + \omega_2 + \omega_3}{\omega_1 \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) \right) + \omega_2 \left( 1 + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} \right) + \omega_3 \left( 1 + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \right)}$$

式中:  $E_{pi}$ 、 $E_{ei}$ 、 $E_{ri}$  和  $E_{oi}$  分别表示运营阶段、教育过程、研发过程与整体运营的效率。有子系统绩效有效时成立。

**证明** 模型(3)中的目标函数

**定理 1** 生产决策单元的整体绩效有效, 仅当所

$$\frac{\omega_1 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \right) + \omega_2 + \omega_3}{\omega_1 \left( 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) \right) + \omega_2 \left( 1 + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} \right) + \omega_3 \left( 1 + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \right)}$$

可进一步转化为

$$\frac{1 - \frac{\omega_1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right)}{1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}}}$$

因为  $s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+, \omega_1 \geq 0$ , 故

$$\frac{\omega_1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right) \geq 0,$$

$$\frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}} \geq 0$$

因此可得

$$\frac{1 - \frac{\omega_1}{3} \left( \frac{s_T^-}{T_i} + \frac{s_E^-}{E_i} + \frac{s_{R_i}^-}{R_{ii}} \right)}{1 + \frac{1}{3} \left( \frac{s_P^+}{P_i} + \frac{s_A^+}{A_i} + \frac{s_L^+}{L_i} \right) + \frac{s_{E_m}^+}{E_{mi}} + \frac{s_{R_p}^+}{R_{pi}}} \leq 1$$

当且仅当  $s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+, s_{E_m}^+, s_{R_p}^+ = 0$  时,  $E_{oi} = 1$ 。同理, 当且仅当  $s_T^-, s_E^-, s_{R_i}^-, s_P^+, s_A^+, s_L^+ = 0$  时,  $E_{pi} = 1$ ; 当  $s_{E_m}^+ = 0$  时,  $E_{ei} = 1$ ; 当  $s_{R_p}^+ = 0$  时,  $E_{ri} = 1$ 。因此, 仅有当  $E_{ei} = 1, E_{ri} = 1, E_{pi} = 1$  时, 即所有子阶段效率有效时, 整体效率有效, 定理得证。模型(2)证明同理。

## 2 高校学院运营效率分析

为了验证本文方法在高校运营评估中的有效性, 选择中国某 985 工科院校进行实例分析。所选择的具体投入变量有专任教师数量( $T$ )、设备经费投入( $E$ )、科研经费投入( $R_i$ ), 第一阶段的产出变量有授课时数( $L$ )、专利数( $P$ )和出版物数( $A$ ) (本文中选取 SCI/SSCI/A&HCI 三大检索的论文数量), 第二阶段的产出变量有毕业生就业率( $E_m$ )和科研基金项目资助  $R_p$  (本文中选取自然科学基金资助)。国际期刊

检索论文与专利主要用来衡量工科教育的科研产出。数据主要来自于该高校的统计资料汇编与办学质量白皮书, 时间为 2014 年。由于各学院毕业生就业率的结果较为接近, 为了更好地辨识毕业生就业率差异, 对毕业生就业率指标进行了标准化处理。

值得一提的是, 科研产出与教学授课转化为科研基金项目资助与实际就业具有时间上的滞后性, 一般可认为滞后时间为 1~2 年。因此, 选择的专利数( $P$ )、出版物数( $A$ )和毕业生就业率( $E_m$ )变量数据是基于 2015—2016 年(后续 2 年)数据的平均值, 以此体现科研与就业的滞后性。此外, 由于自然科学基金项目一般是跨年累计数值, 因此选择 2015—2016 年的自然科学基金项目合同资助额来体现科研的社会化成果。授课时数与专利数是由学校评估部门进行量化打分获得。本案例数据的描述性统计结果如表 1 所示。

基于所获数据进一步估计高校内部各学院的效率。为了进一步分析所述方法的合理性, 基于模型(2)和模型(4)分别估计了高校内部学院的子阶段效率, 如表 2 所示。模型(2)中, 两阶段效率的权重分别设定为 0.5, 以体现运营与社会化转化的同等重要性; 模型(3)中, 运营、教育与科研阶段则分别赋予 1/3 的目标权重, 表述其同等重要性。

表 2 中:  $E_o$  表示整个学院运作过程的效率结果, 在两阶段效率模型(下文简称 DS-SBM)中,  $E_1$  表示第一阶段运营的效率结果,  $E_2$  表示第二阶段社会化的效率结果; 在两阶段平行效率模型(下文简称 PS-SBM)中,  $E_{2e}$  和  $E_{2r}$  分别表示教育社会化与科研社会化的效率结果。纵观表 2 的整体效率结果, 在 DS-SBM 中, 有 9 个学院整体效率是有效的, 而在 PS-SBM 中, 有 5 个学院的整体效率是有效的。

表 1 描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics

子阶段	投入与产出指标	最大值	最小值	平均值	标准差
运营阶段	专任教师数量/人	276.00	32.00	98.70	67.10
	设备经费投入/万元	4 530.64	131.22	1 543.61	1 233.40
	科研经费投入/万元	20 742.95	183.68	3 945.37	4 650.23
关联阶段	专利数(打分值)	2.000	0.001	0.510	0.620
	出版物数/篇	862.50	1.50	165.80	199.81
	授课时数(打分值)	202.60	14.18	69.76	50.77
社会化阶段	毕业生就业率/%	1.00	0.10	0.79	0.20
	科研基金项目资助/万元	12 883.84	23.70	3 138.60	3 315.54

表 2 高校内部阶段效率

Tab.2 Efficiencies for inner stages of the university

学院编号	DS-SBM			PS-SBM			
	$E_o$	$E_1$	$E_2$	$E_o$	$E_1$	$E_{2e}$	$E_{2r}$
1	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.345 1	1.000 0	0.267 4	0.253 0
2	0.635 9	0.386 0	0.847 8	0.465 7	0.386 0	0.448 6	0.528 0
3	0.562 2	0.739 5	0.477 5	0.254 5	0.739 5	0.164 8	0.270 6
4	0.604 9	0.209 7	1.000 0	0.736 6	0.209 7	1.000 0	1.000 0
5	0.679 1	0.388 4	0.957 4	0.317 8	0.388 4	0.275 8	0.346 2
6	0.708 4	1.000 0	0.548 5	0.365 9	1.000 0	0.359 3	0.226 4
7	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.964 5	1.000 0	0.961 2	0.934 5
8	0.612 1	1.000 0	0.441 0	0.242 0	1.000 0	0.187 8	0.164 7
9	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
10	0.665 9	0.622 4	0.696 1	0.427 3	0.622 4	0.341 6	0.452 7
11	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
12	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.881 7	1.000 0	0.847 3	0.818 2
13	0.708 7	0.417 5	1.000 0	0.513 3	0.417 5	0.526 5	0.552 4
14	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
15	0.670 3	0.340 6	1.000 0	0.332 0	0.340 6	0.299 8	0.368 5
16	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
17	0.792 9	0.585 8	1.000 0	0.537 0	0.585 8	0.790 6	0.392 1
18	0.852 3	0.704 6	1.000 0	0.398 5	0.704 6	0.290 3	0.426 9
19	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.115 1	1.000 0	0.068 8	0.094 9
20	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0

比较 PS-SBM 与 DS-SBM 的效率结果可以发现,两个模型的整体效率  $E_o$  具有较大的差异, Pearson 相关系数检验显示两者在 1% 的置信度水平上显著不相关. DS-SBM 的平均效率(0.824 6)显著高于 PS-SBM(0.594 9),而两者的  $E_1$  则完全相同. 由于 PS-SBM 中效率的构建细分了科研与教育效率,使得 PS-SBM 的平均效率降低,扩大了决策单元间效率差异(DS-SBM 的第二阶段效率中有效决策单元偏多,有 16 个,不利于分析效率差异),PS-SBM 较低的教育与科研效率拉低了学院的整体效率. 此外,通过子阶段效率与整体效率的关系发现,当子阶段效率结果为 1.000 0 时,整体效率的结果也必然有效,如 DS-SBM 的学院 1 和 7 与 PS-SBM 模型的学院 9 和 11,该结论进一步证明了定理 1 的合理性.

同时也可观察到部分子阶段效率有效的情况,如 PS-SBM 的学院 6 在第一阶段运营效率结果有

效,而其第二阶段的子效率均无效,分别为 0.359 3 和 0.226 4. 因此,PS-SBM 在 DS-SBM 的基础上,能更进一步地凸显高校效率的无效性,并将无效的原因具体归纳到教育与科研方面. 在 PS-SBM 中,授课与科研的平均效率体现出相似的平均效率结果(分别为 0.591 5 和 0.591 5).

值得一提的是,在 PS-SBM 中,学院 4、9、11、14、16 和 20 在科研与教育效率上均体现出显著的效率结果,可以认为该类学院在科研的社会化转化表现上要明显好于其他学院.

考虑到学院各阶段的效率估计受到其权重的显著影响,为了进一步保证估计结果的合理性,基于不同权重再次估计了 PS-SBM 结果,如表 3 所示.

表 3 中,第 2~5 列表示运营、教育、科研子系统权重为 0.50、0.25、0.25 的效率结果,而第 6~9 列则表示运营、教育、科研子系统权重为 0.2、0.4、0.4 的效率结果. 可以发现,三种权重影响下(包含表 1)

表3 基于不同权重的高校内部阶段效率

Tab.3 Efficiencies for inner stages of the university with different weights

学院编号	PS-SBM(0.50,0.25,0.25)				PS-SBM(0.2,0.4,0.4)			
	$E_o$	$E_1$	$E_{2e}$	$E_{2r}$	$E_o$	$E_1$	$E_{2e}$	$E_{2r}$
1	0.345 1	1.000 0	0.177 4	0.253 0	0.345 1	1.000 0	0.358 3	0.253 0
2	0.405 8	0.386 0	0.340 5	0.528 0	0.513 7	0.386 0	0.533 2	0.528 0
3	0.357 7	0.739 5	0.192 5	0.395 1	0.177 4	0.739 5	0.135 2	0.183 1
4	0.604 9	0.209 7	1.000 0	1.000 0	0.841 9	0.209 7	1.000 0	1.000 0
5	0.348 7	0.388 4	0.273 0	0.434 7	0.342 2	0.388 4	0.338 5	0.338 2
6	0.365 9	1.000 0	0.221 4	0.226 4	0.365 9	1.000 0	0.521 8	0.226 4
7	0.982 8	1.000 0	0.981 2	0.951 6	0.924 1	1.000 0	0.917 4	0.896 5
8	0.524 0	1.000 0	0.357 7	0.352 3	0.169 2	1.000 0	0.177 9	0.115 5
9	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
10	0.516 4	0.622 4	0.387 8	0.586 5	0.331 4	0.622 4	0.287 8	0.333 4
11	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
12	0.951 6	1.000 0	0.936 0	0.880 9	0.576 5	1.000 0	0.503 3	0.540 6
13	0.451 5	0.417 5	0.405 0	0.552 4	0.562 8	0.417 5	0.619 4	0.552 4
14	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
15	0.350 2	0.340 6	0.290 5	0.451 6	0.369 4	0.340 6	0.375 8	0.368 5
16	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
17	0.792 9	0.585 8	1.000 0	1.000 0	0.421 0	0.585 8	0.659 6	0.291 5
18	0.527 3	0.704 6	0.359 1	0.595 0	0.326 9	0.704 6	0.268 7	0.336 3
19	0.115 1	1.000 0	0.045 0	0.094 9	0.115 1	1.000 0	0.093 6	0.094 9
20	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0

的效率体现出较为相似的结果. 为了进一步分析三种赋权的结果差异, 将  $1/3, 1/3, 1/3$  定义为赋权 1, 将  $0.50, 0.25, 0.25$  和  $0.2, 0.4, 0.4$  分别定义为赋权 2 和 3. 基于上述三种赋权的综合效率结果, 通过 Mann-Whitney 检验和 Pearson 相关性检验, 得到的结果如表 4 所示.

表4 不同赋权效率结果比较

Tab.4 Comparison of efficiencies with different weights

赋权	Mann-Whitney 检验		Pearson 相关性检验	
	是否显著	P 值(双侧)	是否显著	P 值(双侧)
赋权 1~2	否	0.549	是	0.000***a
赋权 2~3	否	0.398	是	0.000***
赋权 1~3	否	0.827	是	0.000***

注: a 表示 1% 的显著性水平.

通过表 4 可以发现: 三种赋权的结果在 Mann-Whitney 检验中均不显著, 不同赋权间不存在显著的效率差异; 三种赋权结果在 Pearson 相关性检验中结果显著, 可以认为三种结果存在显著的相关性. 因此, 本文所述的整体效率结果不易随赋权结果调整发生显著变化, 具有较强的稳健性.

综上所述, 本文所提出的两阶段平行效率估计方法, 可以有效地计算高校内部学院的效率, 能够客观地评价高校运营效率转化各环节中的效率问题, 并具体分析教育与科研的分效率, 从而为高校运营状况的改善提出合理的建议.

### 3 结语

针对高校运营过程中存在阶段性、教育与科研业务存在并行性的特点, 构筑了两阶段网络的效率评估模型. 将平行子系统的效率估计结合到传统的两阶段 DEA 模型中, 并首次应用于高校内部各组织运营效率的估计, 从而细分了高校整体效率中运营与社会化过程的效率. 随后, 高校社会化过程效率还可进一步细分为科研与教育的社会化转化效率. 本文基于中国某 985 高校的学院实际数据, 通过实例论证了结果的有效性.

本文中所述高校内部子系统绩效估计, 以整体效率与子系统效率一致性为前提, 可以具体地分析运营绩效中的各无效性部分. 该模型设定还可以进一步推广到存在并行两阶段结构的其他运营系统估计中, 从而拓展当前绩效分析的研究内容.

本文的局限主要在于, 实例分析数据考虑的是单一高校, 更多的高校数据可以带来更加丰富的估计结果. 在赋权影响上, 本文研究讨论了部分可能性, 如何依据实际情况, 合理定义各阶段效率权重, 分析其对效率产生的影响, 也值得进一步探究. 此外, 本文模型并未考虑非期望产出的存在, 考虑非期望产出的高校绩效估计也是未来的研究内容.

## 参考文献:

- [1] CUI Q, LI Y. An empirical study on the influencing factors of transportation carbon efficiency: evidences from fifteen countries [J]. *Applied Energy*, 2015, 141: 209.
- [2] 魏一鸣,冯向前. 基于 DEA 模型的高等学校二级学院绩效评价实证研究:以 N 大学为例[J]. *高校教育管理*, 2014, 8(6): 66.  
WEI Yiming, FENG Xiangqian. A DEA-based study of the evaluation of the performance of the secondary college in institutions of higher learning: taking the case of N university [J]. *Journal of Higher Education Management*, 2014, 8(6): 66.
- [3] KAO C, HUNG H T. Efficiency analysis of university departments: an empirical study [J]. *Omega*, 2008, 36: 653.
- [4] 查勇,梁樑. 基于 DEA 模型的高等院校院系投入产出效率评估[J]. *科技进步与对策*, 2004(1): 102.  
ZHA Yong, LIANG Liang. The efficiency evaluation of input-output of colleagues and universities based on DEA[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2004(1): 102.
- [5] 骆正清,张召刚. 高等学校内部各学院办学效益的相对有效性评价[J]. *技术经济与管理研究*, 2006(1): 62.  
LUO Zhengqing, ZHANG Zhaogang. Comparable evaluation for the schooling efficiency of inner colleagues of the university [J]. *Technoeconomics & Management Research*, 2006(1): 62.
- [6] 殷俊明,王平心. 基于 DEA 的高等学校内部院系绩效评价[J]. *管理评论*, 2011, 23(7): 108.  
YIN Junming, WANG Pingxin. College performance evaluation in higher education institutions based on data envelopment analysis [J]. *Management Review*, 2011, 23(7): 108.
- [7] 王莹,刘延平. 基于 DEA 方法的高校管理学院科研效率评价实证研究[J]. *北京交通大学学报:社会科学版*, 2007, 6(4): 43.  
WANG Ying, LIU Yanping. Study on the evaluation of eight management colleges' efficiency of scientific research based on data envelopment analysis [J]. *Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition*, 2007, 6(4): 43.
- [8] 张大伟,薛惠锋,吴介军. 基于 DEA 方法的高校学院科研管理效率评价研究[J]. *科技管理研究*, 2009(3): 134.
- [9] 刘利,贺向前,李建平,等. 数据包络分析方法在高校院系绩效评价中的应用[J]. *西南大学学报:自然科学版*, 2012, 34(3): 122.  
LIU Li, HE Xiangqian, LI Jianping, *et al.* Application of DEA to performance evaluation of colleges/departments in colleges in universities [J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2012, 34(3): 122.
- [10] FARE R, GROSSKOPF S. Network DEA [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2000, 34(1): 35.
- [11] YANF G, FUKUYAMA H, SONG Y. Measuring the inefficiency of Chinese research universities based on a two-stage network DEA model [J]. *Journal of Informetrics*, 2018, 12: 10.
- [12] LEE B L, WORTHINGTON A C. A network DEA quantity and quality-orientated production model: an application to Australian university research services [J]. *Omega*, 2016, 60: 26.
- [13] GUIRONNET J P, PEYPOCH N. The geographical efficiency of education and research: the ranking of U. S. universities [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, 62: 44.
- [14] 林健. 基于工程教育认证的“卓越工程师教育培养计划”质量评价探析[J]. *高等工程教育研究*, 2014(5): 35.  
LIN Jian. “A plan for educating and training outstanding engineers” quality evaluation based on engineering education accreditation [J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2014(5): 35.
- [15] 瞿振元. 推动高等工程教育向更高水平迈进[J]. *高等工程教育研究*, 2017(1): 12.  
QU Zhenyuan. To promote China's higher engineering education to a higher level [J]. *Research in Higher Education of Engineering*, 2017(1): 12.
- [16] LIANG L, LI Z Q, COOK W D, *et al.* Data envelopment analysis efficiency in two-stage networks with feedback [J]. *IIE Transactions*, 2011, 43: 309.
- [17] ZHA Y, LIANG N, WU M, *et al.* Efficiency evaluation of banks in China: a dynamic two-stage slacks-based measure approach [J]. *Omega*, 2016, 60: 60.