

技术学习与生产规模扩张:风电投资成本下降的来源

陈春华^{1,2},路正南²

(1.南京航空航天大学 经济与管理学院,江苏南京 210016;2.江苏大学 工商管理学院,江苏镇江 210213)

摘要:通过构建学习曲线模型,分析了风电技术学习与风电生产规模对风电投资成本下降的影响。实证分析表明:“研究中学”对风电投资成本下降的影响效果优于“干中学”,但“干中学”是现阶段风电投资成本下降的主要原因;如果风电累计装机容量保持平稳增长,那么“干中学”将难以更有效地降低我国风电投资成本,而“研究中学”及风电生产规模扩张则是有效途径。我国应逐步摆脱对“干中学”的依赖,通过“研究中学”与风电生产规模扩张等途径,实现风电投资成本的下降。

关键词:学习曲线;风电投资成本;干中学;研究中学;生产规模

DOI:10.6049/kjbydc.2011030980

中图分类号:F416.2

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2012)08-0058-03

0 引言

当前,学习曲线模型在可再生能源领域的应用日益受到关注。Söderholm^[1]认为,可再生能源技术的投资成本随其所占市场份额的提高而快速下降,因而,可再生能源的技术学习能力与传统能源技术相比更具优势。Berglund^[2]利用经典学习曲线模型分析能源技术变化,认为“干中学”引起的能源技术进步导致能源技术成本下降。而 Gillingham^[3]则认为,R&D投资增长引致的技术进步也将导致能源技术成本下降。Kristina^[4]认为,“干中学”和“研究中学”所引起的技术进步是欧洲风电投资成本下降的主要原因,但是,如果忽略了风电生产规模效应,那么“干中学”和“研究中学”的学习率估计将不可避免发生偏差。在国内,学习曲线模型在可再生能源领域应用的研究成果鲜见报道。郑照宁^[5]利用经典的学习曲线模型分析我国风电投资成本变化,认为风电累积装机容量大幅增长导致我国风电投资成本下降。显然,他认为“干中学”是风电投资成本下降的原因,但该研究不涉及其它因素的影响。本文借鉴 Kristina 的研究成果,分析“干中学”、“研究中学”以及风电生产规模等因素对我国风电投资成本下降的影响。

1 学习曲线模型

模型 1:经典的学习曲线模型,可表示为:

$$C' = \delta_0 W^{\delta_w} \quad (1)$$

其中, W 为风电累计装机容量, C' 为单位风电投资成本(不变价), δ_0 为单位风电累计装机容量的投资成本, δ_w 为风电累计装机容量的弹性系数。

模型 2:修正的学习曲线模型。考虑 R&D 投资的影响,则学习曲线模型可修改为:

$$C' = \delta_0 W^{\delta_w} K^{\delta_k} \quad (2)$$

其中, δ_k 为 R&D 投资存量的弹性系数, K 为 R&D 投资存量。

根据石岩然^[6]的研究成果,R&D 投资存量的表达式为:

$$K_t = (1 - \gamma) K_{t-1} + \sum_{n=1}^N \alpha_n RD_{t-n} \quad (3)$$

其中, γ 为 R&D 投资折旧率, α_n 为贴现系数, n 为滞后期数, RD 为 R&D 投资。

由式(2)得到“干中学”和“研究中学”的学习率分别为:

$$LR_1 = 1 - 2^{\delta_w} \text{ 和 } LR_2 = 1 - 2^{\delta_k} \quad (4)$$

由式(4)可得到估计式:

$$\ln C' = \ln \delta_0 + \delta_w \ln W + \delta_k \ln K + \epsilon \quad (5)$$

其中, ϵ 为误差扰动项。

模型 3:风电学习曲线模型。考虑到风电生产规模的影响,借鉴 Kristina(2010)的研究成果,本文利用柯布-道格拉斯成本函数改进风电学习曲线。此时,单位风电投资成本(现价)可表示为:

收稿日期:2011-05-23

基金项目:教育部人文社科基金项目(09YJA630052);江苏高校哲学社会科学重点研究基地重大项目(2010-2-09);江苏省博士后基金项目(1001072C)

作者简介:陈春华(1976—),男,福建漳州人,南京航空航天大学经济与管理学院博士后,研究方向为区域经济系统;路正南(1960—),男,江苏常州人,江苏大学工商管理学院教授、博士生导师,研究方向为区域经济。

$$C' = \frac{1}{Q} \times (kQ^{1/r} \prod_{i=1}^N P_i^{\delta_i/r}) = kQ^{(1-r)/r} \prod_{i=1}^N P_i^{\delta_i/r} \quad (6)$$

其中, $k = r(A \prod_{i=1}^N \delta_i^{\delta_i})^{-1/r}$, Q 为并网风电的发电量, P_i 为风电场各项投入要素所对应的价格, $r = \sum_{i=1}^N \delta_i$ 为规模报酬系数, A 为风电技术进步。

假设风电技术进步表示为 $A = W^{\delta_w} K^{\delta_k}$, 则式(6)可进一步写成:

$$C' = k W^{\delta_w/r} K^{\delta_k/r} Q^{(1-r)/r} \prod_{i=1}^N P_i^{\delta_i/r}, k' = r(\prod_{i=1}^N \delta_i^{\delta_i})^{-1/r} \quad (7)$$

令 $\beta_0 = \ln k'$, $\beta_1 = \delta_w/r$, $\beta_2 = \delta_k/r$, $\beta_3 = (1-r)/r$, $\alpha_i = \delta_i/r$

式(7)的计量表达式可写成:

$$\ln C = \beta_0 + \beta_1 \ln W + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln Q + \sum_{i=1}^N \alpha_i \ln P_i + \varepsilon \quad (8)$$

其中,约束条件为 $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$ 。

特别地,如果设 $\ln P = \sum_{i=1}^N \alpha_i \ln P_i$, 则式(8)可表示为:

$$\ln C' = \beta_0 + \beta_1 \ln W + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln Q + \varepsilon \quad (9)$$

其中, $C' = C/P$ 为经过 GDP 平减指数处理过的单位风电投资成本(不变价)。

显然,如果考虑风电生产规模,那么“干中学”和“研究中学”的学习率估算将受影响:①如果 $r = 1$, 则有 $\beta_3 = 0$, 式(9)就退化为式(5);②如果 $r > 1$, 则有 $\beta_3 < 0$, 与式(9)相比,式(5)将高估学习率;③如果 $r < 1$, 则有 $\beta_3 > 0$, 与式(9)相比,式(5)将低估学习率。

2 实证分析

本文采用式(9)探讨我国风电投资成本下降的原因,样本数据时限为 1998—2008 年,数据如表 1 所示,有关数据说明如下。

(1)现价风电投资成本(C),采用迟远英^[7]整理的的数据,单位为千元/kW。

(2)风电累积装机容量(W),采用李俊峰^[8]整理的的数据,单位为万 kW。

(3)风电生产规模(Q),用并网风电发电量表征,数据来源于《2010 年风电行业风险报告》^[9],单位为万 kW·h。

(4)R&D 投资存量(K),1998—2006 年的数据直接采用石岩然^[7]的研究成果,2007 和 2008 年的数据按其提供的测算方法补齐。

(5)风电投资成本主要由风电机组、风电场基础以及风电并网投资等方面构成,因此,本文的 GDP 平减指数(P)采用以 1998 年为基期的固定资产投资价格指数和工业品出厂价格指数,按 0.5:0.5 加权折算。

表 1 1998—2008 年风电投资相关数据

年份	现价风电投资成本(千元/kW)	R&D 投资存量(亿元)	风电累积装机容量(万 kW)	风电生产规模(万 kW·h)	GDP 平减指数
1998	10.020	130.20	22.425	2 000	1.000 0
1999	9.842	162.90	26.825	6 000	0.986 0
2000	9.414	200.40	34.624	10 000	1.005 0
2001	8.831	268.80	40.200	20 000	1.000 5
2002	8.600	362.69	46.842	50 000	0.991 0
2003	8.413	463.47	56.702	70 000	1.013 5
2004	8.393	568.82	76.437	110 000	1.072 0
2005	8.100	687.72	126.590	150 000	1.107 0
2006	7.931	800.26	259.880	270 000	1.131 5
2007	7.022	914.21	590.640	560 000	1.171 0
2008	6.433	10 342.76	1 215.300	1 280 000	1.264 0

注:数据来源于《中国统计年鉴》

表 2 描述了不同学习曲线模型的参数估计结果。从该表可知,3 个模型的调整 R² 分别为 0.979 008、0.988 191 和 0.999 843,拟合效果很好;F 统计量表明各模型的整体解释能力很强;模型各参数均通过显著性 5% 的 t 检验。因此,3 个模型可以作为下一步分析的依据。

模型 1 是经典学习曲线模型。从该模型可以发现:①该模型计算得出“干中学”的学习率为 10.555%,比郑照宁^[5]得出的结论小 2.5 个百分点;②本研究以 1998—2008 年的数据为样本计算得到“干中学”的技术进步率为 89.45%,而郑照宁以 1996—2000 年的数据为样本得到“干中学”的技术进步率为 82.4%,小于前

者 7.05 个百分点。显然,2003 年后,我国风电累积装机容量爆发式增长导致风电技术大幅提升,是该时期“干中学”的学习率与前阶段相比有所下降的主要原因。

模型 2 则考虑了 R&D 投资存量的影响。从该模型可发现:①模型 2 计算得出“干中学”的学习率为 8.180 3%,比模型 1 得出的结论小 2.4 个百分点,显然,如果不考虑 R&D 投资存量的影响,则经典学习曲线模型将高估“干中学”的学习率;②模型 2 的参数 $\beta_1 = -0.123 125$, $\beta_2 = -0.044 933$,表明风电累积装机容量增长对风电投资成本下降的影响大于 R&D 投资存量增长,即“干中学”是当前风电投资成本下降的主要

原因;③模型 2 计算得出“研究中学”的学习率为 2.066 5%。就“干中学”和“研究中学”两者的学习率比较而言,前者大于后者,表明“研究中学”对风电投资成本下降的影响效果优于“干中学”。因此,风电累计装机容量如果保持平稳增长,那么“干中学”的作用必然受限,而通过“研究中学”的途径也可有效降低风电投资成本。

模型 3 则进一步考虑了风电生产规模的影响。从该模型可发现:①模型 3 计算得出“干中学”的学习率为 7.414 6%,比模型 2 得出的结论小 0.8 个百分点,但风电生产规模对“研究中学”的学习率没什么影响。显然,如果没有考虑风电生产规模的影响,则模型 2 仍将高估“干中学”的学习率;②模型 3 的参数 $\beta_1 = -0.111\ 144, \beta_2 = -0.029\ 936, \beta_3 = -0.019\ 161$,表明风电技术学习与风电生产规模均对风电投资成本下降产生影响,但“干中学”的影响较大,“研究中学”与风电生产规模的影响都较小;③与模型 2 相比,就“干中学”和“研究中学”的学习率比较而言,前者大于后者,表明“研究中学”对风电投资成本下降的影响效果优于“干中学”。因此,风电累计装机容量如果保持平稳增长,那么“干中学”将难于更有效降低风电投资成本,而通过“研究中学”以及风电生产规模扩张的途径可有效降低风电投资成本。

表 2 不同学习曲线模型的参数估计

	模型 1	模型 2	模型 3
β_0	2.792 392** (79.956 95)	2.901 306** (62.292 25)	2.962 703** (125.597 4)
β_1	-0.160 927** (-21.618 91)	-0.123 125** (-8.499 818)	-0.111 144** (-12.650 12)
β_2	-	-0.044 933* (-2.828 080)	-0.029 936* (-2.965 711)
β_3	-	-	-0.019 161** (-5.057 038)
Adjusted R-squared	0.979 008	0.988 191	0.999 843
F-statistic	467.377 2	419.394 4	21 214.70
“干中学”的学习率	10.555%	8.180 3%	7.414 6%
“研究中学”的学习率		2.066 5%	2.053 6%

注:**为显著性水平为 1%,*为显著性水平为 5%,()中的数据为 t 检验值

3 结论

综上分析,本文得到以下两点结论:

(1)在考虑风电生产规模影响的情景下,“干中学”仍然是降低我国风电投资成本的主要途径,但“研究中学”对风电投资成本下降的影响效果优于“干中学”。

(2)如果风电累计装机容量保持平稳增长,那么“干中学”将难以更有效地降低我国风电投资成本。而“研究中学”以及风电生产规模扩张有利于我国风电投资成本下降,是我国现阶段实现风电投资成本下降的可行途径。

参考文献:

- [1] SÖDERHOLM P, SUNDQVIST T. Empirical challenges in the use of learning curves for assessing the economic prospects of renewable energy technologies[J]. Renewable Energy, 2007(32): 2 559-2 578.
- [2] BERGLUND C, SÖDERHOLM P. Modelling technical change in energy system analysis: analyzing the introduction of learning-by-doing in bottom-up energy models[J]. Energy Policy, 2006(34): 1 344-1 356.
- [3] GILLINGHAM K, NEWELL R G, PIZER W A. Modeling endogenous technological change for climate policy analysis[J]. Energy Economics, 2008, 30(6): 2 734-2 753.
- [4] KRISTINA EK, PATRIK SÖDERHOLM. Technology learning in the presence of public R&D: the case of European wind power[J]. Ecological Economics, 2010(69): 2 356-2 362.
- [5] 郑照宁, 刘德顺. 中国风电投资成本预测[J]. 中国电力, 2004(7): 77-79.
- [6] 石岩然, 赵顺龙. R&D 资本存量与我国高技术产业若干指标的相关性分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2010(1): 107-111.
- [7] 迟远英. 基于低碳经济视角的中国风电产业发展研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [8] 李俊峰, 施鹏飞, 高虎. 中国风电发展报告(2008)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [9] 北京世经未来投资咨询有限公司. 2010 年风电行业风险报告[R]. 中国经济导报社, 2010.

(责任编辑: 郑兴华)