

DOI:10.13216/j.cnki.upcjess.2015.02.0001

基于 Entropy-Topsis 模型的石油企业 自主创新能力评价研究

——以胜利油田为例

范秋芳, 崔 珊, 刘兰廷, 苑兆洁

(中国石油大学 经济管理学院, 山东 青岛 266580)

[摘 要] 资源约束限制了中国的石油生产,石油供需缺口的增大以及对外依存度的提高,使得石油供需矛盾成为中国经济发展的制约因素,提升石油企业的自主创新能力是解决供求矛盾的唯一出路。以胜利油田为例,从投入能力、研发能力、生产能力和持续支撑能力四个方面构建石油企业自主创新能力评价指标体系,运用 Entropy-Topsis 模型对胜利油田近年来的自主创新能力进行了实证分析。实证研究表明,石油企业应采取推进人才强企战略、拓宽融资渠道、建立产业技术创新联盟等措施,以提升自主创新能力。

[关键词] 资源短缺;胜利油田;自主创新能力;Entropy-Topsis 模型

[中图分类号] F237.1; F407.22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-5595(2015)02-0001-05

一、引言

中国石油资源总量丰富,2014 年全国原油产量 2.1 亿吨,同比增长 0.7%,但是人均占有量与美日等发达国家相比较少,加之新产区产量不足,老产区产量递减,中国石油生产出现了青黄不接的现象。2012 年国家能源局出台了我国第一部能源科技规划《国家能源科技“十二五”规划(2011—2015)》,指出要以增强自主创新能力为着力点,用无限的科技潜力解决有限的资源约束,满足能源的可持续发展。2014 年的全国能源工作会议报告以及“十二五”国家自主创新能力建设规划指出,要加快推进能源产业的自主创新,鼓励引进消化吸收再创新,提高能源技术创新能力。

胜利油田位于山东省东营市,是中国第二大油气田,从 20 世纪六七十年代起,以巨大的扩散效应、极化效应和辐射作用推动了地区经济发展。截至 2014 年底,胜利油田已探明油气田 81 个,累积探明石油地质储量 54.08 亿吨;累积生产原油 11.02 亿

吨,天然气 563.65 亿立方米,年生产能力达到 2 700 万吨。然而,50 多年的开发利用使得胜利油田资源渐趋枯竭,原有油区产能下降,新开发的区块地质条件复杂,在油田勘探开发上面临着严峻的资源约束问题。因此,胜利油田需要对自主创新能力进行评价,用科技的力量解决其资源约束困境,促进油田可持续发展。

从所查文献看,国外学者对石油企业自主创新的研究较少,伊诺思首次对石油加工业的发明和创新情况进行了研究和分析,从行为集合的角度明确了技术创新的定义^[1];Santos Silvestre 以巴西 10 个油气公司为例,分析了技术创新为当地油田提供高技术的产品和服务,使该地区的油气产量大幅度提升,来说明技术创新对于石油企业发展的重要性。^[2]国内的研究中,康大臣从石油地质理论创新、关键技术突破和石油科技攻关模式三方面,分析了中国石油科技自主创新的必要性与紧迫性,提出了石油科技自主创新的对策与措施^[3];张森林认为石

[收稿日期] 2014-09-28

[基金项目] 山东省社会科学规划项目(12CJJJ13);山东省自然科学基金项目(ZR2012GL07);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(14CX06046B);青岛市软科学项目(14-4-3-1-(45)-zhc);山东高校人文社科项目(J13WF58)

[作者简介] 范秋芳(1965-),女,山东昌邑人,中国石油大学(华东)经济管理学院教授,博士,研究方向为能源经济与管理、产业经济与区域发展。

油企业可以进行跨地区和跨行业联盟,逐步实现联盟内部技术的规模性创新,这有利于加快中国石油工业技术创新体系的形成^[4];易忠指出石油工业的可持续发展要解决资源制约问题,并借助技术创新完成由传统石油工业向综合性石油工业的跨越。^[5]从国内外有关文献看,对石油企业自主创新能力的研究多是定性研究,定量方面的研究相对较少。本文以胜利油田为例,采用 Entropy-Topsis 模型对石油企业自主创新能力进行定量分析评价,提出优化石油企业自主创新能力的对策,以促进油田企业可持续发展。

二、胜利油田自主创新现状

中国学者普遍认为自主创新包括原始创新、集成创新和引进技术的再创新,企业作为自主创新的主体,主要体现在后两方面,即技术创新。^[6]胜利油田在 50 多年的发展过程中,紧抓科技攻关,先后经历了快速增储建产阶段(1961—1980)、高速高产稳产阶段(1981—1995)、持续稳定发展阶段(1996 年至今)。胜利油田比较重视自主创新,特别是近几年来,其坚持以科技进步为动力推动油田整体发展,在研发经费、科研人员和科研成果方面取得了一些自主创新成果,具体见表 1。

表 1 胜利油田近五年的研发经费、科研
人员与科研成果

年份	研发经费		科研人员		科研成果	
	研发投入 (亿元)	占收入 比重 (%)	科研人员 (人)	占员工 比重 (%)	专利 授权量 (件)	新增可 采储量 (万吨)
2009	3.36	0.218	9 113	4.59	136	1 150
2010	4.94	0.513	9 127	6.34	215	1 286
2011	5.81	0.454	9 175	6.35	210	1 771
2012	5.66	0.331	9 840	6.61	140	1 806
2013	6.62	0.363	9 820	6.59	122	2 180

数据来源:2009—2013 年胜利油田科技工作报告。

由表 1 可以看出,胜利油田在 2009—2013 年的研发经费投入总量不断增加,5 年提高了 97.6%。但是 2010—2012 年,研发投入占企业年收入的比重呈明显下降趋势,与大庆油田相比差距较大(大庆油田 2013 年研发投入为 23.45 亿元,占年收入比重 1.157%);科研人员数量虽有轻微波动,但整体上呈缓慢递增趋势,2010 年比 2009 年科研人员占全体员工数的比例有较大提高,其余年份变化不大,说明胜利油田较重视科研人才队伍建设,在积极推进科研人才强企战略的同时,提升幅度还需提高;在科研成果方面,专利授权量呈现先增后减的趋势,依靠科技新增油气

可采储量在 5 年间持续增长,说明胜利油田在自主创新科研成果上取得了一定的成绩,在推动油田健康持续发展的同时,未来还有较大的进步空间。

三、评价指标体系构建和指标筛选

(一)中国石油企业自主创新能力评价指标体系构建

石油企业具有独特的行业性质,所选的评价指标体系应该反映石油企业特点。本文依照评价指标体系构架的可操作性原则、综合性原则、系统性原则和定性与定量相结合的原则,从投入能力、研发能力、产出能力和持续支撑能力四个方面构建中国石油企业自主创新能力评价指标体系,其中包括 4 个二级指标、17 个三级指标^[7],具体指标选取如表 2 所示。

表 2 石油企业自主创新能力评价指标体系

二级指标	三级指标	指标性质
自主创 新投入 能力 A	科研活动人员 A ₁	定量
	R&D 经费投入 A ₂	定量
	R&D 经费占销售收入比例 A ₃	定量
	总投资 A ₄	定量
自主创 新研发 能力 B	专利申请量 B ₁	定量
	专利授权量 B ₂	定量
	科技奖励数 B ₃	定量
	科研项目数 B ₄	定量
自主创 新生产 能力 C	依靠科技新增可采储量 C ₁	定量
	依靠科技新增原油 C ₂	定量
	原油产量 C ₃	定量
	企业增加值 C ₄	定量
	利润总额 C ₅	定量
自主创 新持续 支撑能 力 D	科研经费国家投入比例 D ₁	定量
	科研经费银行贷款投入比例 D ₂	定量
	科研经费企业投入比例 D ₃	定量
	固定资产总额 D ₄	定量

1. 自主创新投入能力

投入能力指标是自主创新能力评价指标体系的重要组成部分,可从人员投入和资金投入两个方面衡量石油企业具有的自主创新能力。石油企业自主创新能力的提升需要依靠科研人员结构优化和素质的提高;R&D 经费投入和 R&D 经费占销售收入比例是资金投入在石油企业自主创新能力方面的体现,分别从绝对量和相对量上衡量石油企业的资金投入情况;总投资则是衡量石油企业自主创新环境的硬实力。

2. 自主创新研发能力

研发能力指标包括 4 个具体指标。其中,专利申请量和授权量反映石油企业在自主创新过程中产生的知识产权,组织实施科研项目数和科技奖励数从外部评价石油企业的自主创新能力。

3. 自主创新生产能力

生产能力指标是衡量石油企业新增的石油产量以及石油企业的利润增加值的指标,是最具有石油特色的指标。石油开采面临着复杂的地质条件,引进新技术可以增加石油可采储量和原油产量;企业增加值以及利润总额反映石油企业自主创新的最终成果。本文利用采收率预测法计算新增可采储量,即新增可采储量=地质储量×采收率。

4. 自主创新持续支撑能力

持续支撑能力指标反映中国石油企业进行自主创新的持续动力,从科研经费来源以及固定资产总额方面进行评价。中国石油企业科研经费主要来源于三部分,即企业自身资金、银行贷款以及国家财政投入,每部分资金所占比例反映经费来源对石油企业科研经费的贡献率。固定资产总额是石油企业自主创新的持续支撑力量。

(二) 基于 Entropy 模型的评价指标筛选

根据构建的石油企业自主创新能力评价指标体系,需要对所选指标赋予权重。一般的主观评分法受个人偏好影响较大,而熵值法(又称 Entropy 模型)是用来描述指标分布均衡度的方法,数值越大表明测量指标分布越集中。^[8] 本文采用熵值系数法对变量进行客观赋权,根据权重筛选出对石油企业自主创新能力影响较大的指标,在保留较多的原始信息基础上,用较少的变量来解释原始变量,使指标体系更科学、更有代表性。

通过查阅《胜利油田科技工作报告》以及对胜利油田实地调查,整理出胜利油田近 5 年在自主创新方面的相关数据,运用 EXCEL2010 软件将数据进行标准化处理,通过计算得出第 i 年第 j 项指标的比重 $Y_{ij}=X_{ij}/\sum_{i=1}^5 X_{ij}$, 指标信息熵 $H_j=-k\sum_{i=1}^5 (Y_{ij}\times \ln Y_{ij})$, 信息熵冗余度 $d_j=1-H_j$, 因此可得各个指标权重 $W_j=d_j/\sum_{j=1}^{17} d_j$ 。其中, X_{ij} 表示第 i 年第 j 项指标值, $i=1,2,3,4,5, j=1,2,3,\cdots,17; k=1/\ln 5$ 。计算得到的具体指标权重见表 3。

表 3 所示的指标权重表示该指标对油田企业自主创新能力的影 响程度。根据计算得到的权重大小以及胜利油田的实际情况,本文选取科研活动人员数(A_1)、R&D 经费投入(A_2)、R&D 经费占销售收入比例(A_3)、专利申请量(B_1)、专利授权量(B_2)、科技奖励数(B_3)和依靠科技新增可采储量(C_1)作为评价指标,运用 Topsis 方法对胜利油田 2007—2013 年的自主创新能力进行评价。

表 3 胜利油田自主创新能力指标权重

评价指标	权重	H_j	d_j	W_j
科研活动人员 A_1	0.116 3	0.547 8	0.452 2	0.116 3
R&D 经费投入 A_2	0.066 3	0.841 9	0.158 1	0.066 3
R&D 经费占销售收入的比例 A_3	0.082 1	0.819 5	0.180 5	0.082 1
总投资 A_4	0.047 5	0.815 2	0.184 8	0.047 5
专利申请量 B_1	0.127 6	0.503 9	0.496 1	0.127 6
专利授权量 B_2	0.086 5	0.663 7	0.336 3	0.086 5
科技奖励数 B_3	0.070 4	0.726 2	0.273 8	0.070 4
科研项目数 B_4	0.039 2	0.847 6	0.152 4	0.039 2
依靠科技新增可采储量 C_1	0.061 3	0.761 8	0.238 2	0.061 3
依靠科技新增原油 C_2	0.039 1	0.847 8	0.152 2	0.039 1
原油产量 C_3	0.044 2	0.750 3	0.249 7	0.044 2
企业增加值 C_4	0.052 5	0.795 7	0.204 3	0.052 5
利润总额 C_5	0.045 0	0.825 2	0.174 8	0.045 0
科研经费国家投入比例 D_1	0.040 2	0.843 7	0.156 3	0.040 2
科研经费银行贷款投入比例 D_2	0.034 2	0.867 0	0.133 0	0.034 2
科研经费企业投入比例 D_3	0.037 3	0.855 0	0.145 0	0.037 3
固定资产总额 D_4	0.053 3	0.792 8	0.207 2	0.053 3

四、基于 Topsis 模型的实证分析

(一) Topsis 模型基本原理

Topsis 模型又称为理想解法,以理想解和负理想解为标准,通过度量指标值与其相对距离进行排序,理想解和负理想解分别是指各个评价指标的最优值与最劣解。^[9] 本文构建的石油企业自主创新能力评价指标体系中,通过度量 17 个指标值与理想解和负理想解的距离来排序,定量表述石油企业自主创新能力的大小。

假设所要评价的问题有 m 个评价对象 n 个评价指标,则所构成的原始决策矩阵为 $A=(x_{ij})_{m\times n}, i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n$,对矩阵 A 中的数据进行规范化处理得到矩阵 B 。参照标准权重向量 W 构建加权规范化决策矩阵 $Z=B\times W$,其中 $W=(w_1,w_2,\cdots,w_n)^T$,从而确定理想解 S^* 和负理想解 S^0 。同时,依据式(3)、(4)、(5)计算出欧式距离 d_i^* 以及各评价对象与最优解的接近度 C_i^* 。

$$S^* = \{z_j^* \mid j=1,2,\cdots,n\} = \max(z_{ij}), i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

$$S^0 = \{z_j^0 \mid j=1,2,\cdots,n\} = \min(z_{ij}), i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n \tag{2}$$

$$d_i^* = [\sum_{j=1}^n (z_{ij}-z_j^*)^2]^{1/2}, i=1,2,\cdots,m \tag{3}$$

$$d_i^0 = [\sum_{j=1}^n (z_{ij}-z_j^0)^2]^{1/2}, i=1,2,\cdots,m \tag{4}$$

$$C_i^* = d_i^0/(d_i^*+d_i^0), i=1,2,\cdots,m \tag{5}$$

C_i^* 值越大,表明对评价对象的综合评价越好,以此判断评价对象的排序。^[10]

(二)胜利油田自主创新能力实证分析

权规范化决策矩阵 Z ,见表 4、表 5。

对搜集的数据经过整理之后得到原始数据和加

表 4 胜利油田自主创新能力相关数据

年份	科研活动人员 (人)	R&D 经费 投入(亿元)	R&D 经费占销售 收入比重(%)	专利申请量 (件)	专利授权量 (件)	科技奖励数 (个)	依靠科技新增 可采储量(万吨)
2007	7 062	3. 35	1. 094 6	210	170	409	1 512
2008	8 655	3. 19	1. 086 5	201	162	309	1 207
2009	9 113	3. 36	0. 217 6	146	136	302	1 150
2010	9 127	4. 94	0. 513 0	228	215	246	1 286
2011	9 175	5. 81	0. 454 3	236	210	239	1 771
2012	9 840	5. 66	0. 331 0	156	140	235	1 806
2013	9 820	6. 62	0. 363 3	644	122	207	2 180

数据来源:2009—2013 年胜利油田科技工作报告。

表 5 转换指标值的 Z 矩阵

年份	科研活动人员 (人)	R&D 经费 投入(亿元)	R&D 经费占销售 收入比重(%)	专利申请量 (件)	专利授权量 (件)	科技奖励数 (个)	依靠科技新增 可采储量(万吨)
2007	0. 296 2	0. 259 5	0. 618 0	0. 260 1	0. 376 2	0. 541 9	0. 357 7
2008	0. 363 0	0. 247 1	0. 613 4	0. 248 9	0. 358 5	0. 409 4	0. 285 5
2009	0. 382 2	0. 260 2	0. 122 8	0. 180 8	0. 301 0	0. 400 1	0. 272 0
2010	0. 382 8	0. 382 6	0. 289 7	0. 281 1	0. 504 5	0. 325 9	0. 304 2
2011	0. 384 8	0. 450 0	0. 256 5	0. 292 3	0. 464 7	0. 316 7	0. 418 9
2012	0. 412 7	0. 438 4	0. 186 9	0. 193 2	0. 309 8	0. 311 4	0. 427 2
2013	0. 411 8	0. 512 7	0. 205 1	0. 797 5	0. 270 0	0. 274 3	0. 515 7

根据 Topsis 模型的基本原理,对上述数据按照式(1)和(2)进行计算,得到各个指标的理想解 S^* 与负理想解 S^0 :

$$S^*=(0.412\,7,0.512\,7,0.618\,0,0.797\,5,0.504\,5,0.515\,7,0.541\,9)$$

$$S^0=(0.296\,2,0.247\,1,0.122\,8,0.180\,8,0.270\,0,0.272\,0,0.274\,3)$$

依据式(3)和式(5),计算欧式距离 d_i^* 和指标与最优解之间的相对接近度 C_i^* ,依据数值 C_i^* 的大小对胜利油田不同年份自主创新能力进行排序,见表 6。

表 6 排序结果

年份	d_i^*	d_i^0	C_i^*	排序结果
2007	0. 638 7	0. 584 7	0. 477 9	2
2008	0. 682 5	0. 525 4	0. 435 0	3
2009	0. 900 6	0. 156 1	0. 147 7	7
2010	0. 695 5	0. 349 9	0. 334 8	5
2011	0. 672 6	0. 375 0	0. 357 9	4
2012	0. 809 6	0. 285 4	0. 260 6	6
2013	0. 545 1	0. 728 3	0. 571 9	1

(三)评价结果分析

由表 6 中可以看出,胜利油田不同年份自主创新能力相对水平波动幅度较大,并未呈现逐年递增的趋势。其中,2013 年的自主创新能力评价结果最优,2007 年次之,之后依次为 2008 年、2011 年、2010 年、2012 年,2009 年评价结果最差。经过具体分析可知:(1)胜利油田 2013 年自主创新能力最优,主要缘于 2013 年的专利申请量较往年提升了 2~3

倍,增幅巨大。同时 R&D 经费投入和依靠科技新增可采储量均达到历史最高水平,科研人员数量比前几年有明显增加,R&D 经费占销售收入的比重在持续几年下降之后有逆转上升的趋势,专利授权量虽有所下降但降幅不大。(2)胜利油田 2009 年自主创新能力评价结果最差,主要是由其科研投入强度(R&D 经费投入占销售收入比重)大幅度降低引起的。2009 年前后胜利石油管理局、胜利油田分公司合二为一,且国内油价居高不下,使得胜利油田总体收入大幅上涨,而 R&D 经费投入较往年仅有小幅上升,进而导致科研投入强度较 2007 年和 2008 年有大幅下降,仅为 0.217 6%。同时,2009 年的专利申请量、专利授权量、新增探明可采储量和科技奖励数总体都有所下降,这些因素共同导致了胜利油田自主创新能力整体不高。

五、提升石油企业自主创新能力的建议

(一)优化科研人员配置,推进人才强企战略

中国石油企业应注重高质量的人才引进和高效率的人才使用。在人才引进方面,建议设立特聘专家岗位,依托石油企业“高层次人才引进计划”、国家“千人计划”等工程,大力引进海内外高层次人才服务于油田发展;另外积极开展学术交流以及课题研究,聘请专家院士为油田提供高端技术指导。在人才使用方面,首先明确各自的职责任务,健全完善经营管理、专业技术、技能操作三方面人才培养机制;其次推荐优秀人才参与特色评选活动,设立有差

别的人才薪酬标准,在荣誉和薪酬上实行人才激励战略;最后定期进行人才再教育培养,为技术创新储备高精尖人才,保证人才紧跟科研最前沿。

(二)拓宽企业融资渠道,提高创新资金配置效率

能源科技创新具有系统性、公共性、战略性和前瞻性等特点,发达国家之所以在能源科技创新中占据领先地位,是因为科研资金投入大,且政府投入比例高。中国石油企业科研经费来源于三部分:企业自身投入、金融贷款和政府财政支持。目前,主要依靠企业自身资金投入,政府资金支持无论是从资金总量还是投入强度上都偏小,与发达国家存在较大差距。因此,应加强中国地方政府在科技创新体系建设中的主导作用,做大做强已有的石油工业集群,鼓励、扶持石油企业进行科技创新,为自主创新能力的提升创造规模经济效应和集群优势。在科研融资渠道上,三方主体应充分发挥优势,最终形成以企业投入为主,政府、金融积极支持的多元化投入机制。

(三)以石油企业为主导,建立产业技术创新联盟

石油企业在创新过程中应加强协同作用,加强相关企业、行业协会之间的联合,石油企业应与高等院校、科研院所共建研发组织,建设石油产业关键技术创新平台。一是加强石油企业之间的跨地区、跨行业、跨所有制的联合。通过建立技术创新联盟,减少单个石油企业由于各自单干研发所导致的行业范围内的资源浪费和重复劳动,从而实现技术资源的合理分工、协同开发、优势互补和技术成果共享,推进技术成果产业化,加快石油企业技术创新体系的形成。二是探索石油企业与石油院校以及科研院所

之间产学研相结合的有效模式。中国的科研成果和专利主要来源于高等院校和重点科研机构,石油企业要加强与高校之间的联盟,充分利用石油院校在石油勘探、开采、储运等方面的智力优势,推动石油企业的科技进步,促进科研成果向生产力的转化。

[参考文献]

[1] Enos J L. Petroleum Progress and Profits[J]. A History of Process Innovation, 1962(8):150-156.

[2] Santos Silvestre. Geographical Proximity and Innovation: Evidences From the Campos Basin Oil and Gas Industrial Agglomeration——Brazil [J]. Technovation, 2009(8): 114-121.

[3] 康大臣. 论中国石油科技自主创新——以石油地质理论创新为例[J]. 国际石油经济, 2007(2):32-37.

[4] 张森林,陈光玖,张斌. 产学研联盟自主创新模式的机理及实证研究——以中国石油产业为例[J]. 湖北社会科学, 2010(4):90-92.

[5] 易忠. 石油工业的可持续发展[J]. 油气田地面工程, 2012(1):15-20.

[6] 欧阳春花. 循环经济视角下的企业自主创新能力评价指标研究[J]. 科学管理研究, 2008, 26(4):21-24.

[7] 罗东坤,闫娜. 基于非参数估计的石油企业 R&D 投资决策研究[J]. 科技管理研究, 2009(11):471-476.

[8] 孙斐,黄卉,辛江龙. 我国自主创新能力影响因素的实证研究[J]. 科技进步与对策, 2010, 27(4):12-16.

[9] 胡勇,蒲蓉蓉. 油气田公司科技政策效应分析——以中国石油西南油气田公司为例[J]. 天然气工业, 2012, 32(11):99-102.

[10] 尹航,石光,李柏洲. 基于 Entropy-Topsis 模型的军工企业自主创新能力分析与测评[J]. 运筹与管理, 2013, 22(3):139-145.

[责任编辑:张岩林]

Entropy-Topsis Model-based Evaluation of Petroleum Enterprises' Independent Innovation Ability: Taking Shengli Oilfield for Example

FAN Qiufang, CUI Shan, LIU Lanting, YUAN Zhaojie

(School of Economics and Management, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

Abstract: Oil production in China is affected by resource constraints, which lead to the oil gap and improvement of external dependency. Oil shortage is gradually becoming the key factor to restrict China's economic development, and enhancing the independent innovation ability of petroleum enterprises is the only way to resolve the contradiction between supply and demand. Taking Shengli Oilfield for example, this paper makes up evaluation index system in four areas, like input capacity, research and development capacity, production capacity, and continued ability to support. Then it makes empirical analysis of the independent innovation capacity in recent years based on Entropy-Topsis model. In order to improve its independent innovation ability, petroleum enterprises should adopt talent thriving enterprise strategies, broaden the financing channels, and establish industry technology innovation alliance.

Key words: resources shortage; Shengli Oilfield; independent innovation ability; Entropy-Topsis model