

基于专利信息的海上风电技术趋势分析

兰志刚¹, 兰 滢², 孙洋洲¹, 郭雪飞¹

(1. 中海油研究总院, 北京 100028; 2. 帝国理工学院, 英国 伦敦 SW7 2AZ)

摘要: 基于德温特数据库中的专利信息, 通过对比海上风电和其他海洋主要可再生能源的年专利信息, 结合海上风电专利数量与碳减排压力以及年新增装机数量之间的相关性分析, 对海上风电技术发展做了分析, 归纳了海上风电的重点技术领域; 构建了海上风电技术成熟度预测分析模型。分析结果表明, 海上风电技术发展迅速, 目前整体的技术成熟度已达到 0.87, 已从成熟期进入饱和期。浮式风电作为一种具有替代性特征的新兴技术, 也得到了快速的发展, 目前的技术成熟度已达到 0.54, 从技术成长期进入技术成熟期。

关键词: 海上风电; 技术成熟度; 专利分析

中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)03-0071-06

DOI: 10.11759/hyxx20200630003

气候变暖对人类生存环境带来了严重威胁。在此背景下, 碳排放约束日益成为能源结构转型的重要驱动力, 也带动了可再生能源的迅猛发展。海上风能是海洋可再生能源的重要组成部分, 也是海洋可再生能源中技术最成熟、最具规模化开发条件和商业化应用前景的能种, 发展潜力巨大。国际能源署(International Energy Agency, IEA)采用地理空间分析技术, 按国家评估了海上风电技术潜力。分析结果显示, 最好的近岸海上风电场每年可提供全球近 36 000 TWh 的电力, 几乎相当于 2040 年的全球电力需求^[1]。

但根据 IEA 的分析, 海上风电技术的发展还需要进一步加快, 方能满足可持续发展情景(Sustainable Development Scenario)对海上风电技术进步的要求^[1]。海上风电的发展有必要对海上风电的关键技术进行梳理分析, 对其技术成熟度进行分析和研判, 以便对海上风电的未来发展进行科学的预判和把握。专利是科技创新的风向标, 专利分析也理所当然地成为了技术分析和预测的重要手段。20 世纪 80 年代, G.S.Altshuller 成功将专利分析技术用于技术成熟度评估。他在对大量专利数据进行分析后发现, 专利数量、专利等级和产品性能等变量与技术的发展进化有着密切的关联, 可用于技术分析和预测^[2]。Young Gil Kim 等^[3]从目标技术领域的专利文献中提取的关键词, 采用 k-均值算法对专利文献进行聚类, 构建了可视化的技术分析方法。杨良选^[4]研究了技术发展与技术专利文献间的关系, 提出了多维技术成熟度

预测的方法和模型。王兴旺通过研究基于专利信息的技术预测方法, 进一步证实了利用专利信息进行技术预测的科学性和有效性^[5]。

德温特创新平台(Derwent Innovation)是一个涵盖来自 50 多个专利授权机构及 2 个防御性公开的非专利文献的全球性科技文献数据库。其中的专利记录始于 1900 年, 时间跨度大, 数据量大, 为开展对各项技术的评价提供了翔实的基础信息来源。本文将利用德温特创新平台数据库和其他科技文献获得的信息, 构建海上风电技术成熟度预测模型, 结合专利分析技术中的核心专利分析方法, 对海上风电的关键技术和整体技术成熟度进行分析。

1 海上风电技术专利统计和变化趋势分析

海上风电作为一种资源量丰富的绿色可再生能源, 其技术发展异常迅猛。表 1 是由德温特创新平台专利信息数据库中查得的海上风电、海洋温差能、波浪能以及潮流能四种海洋可再生能种 2000—2019 年年申请专利数量。从表中数据中可以看出, 自 2009 年起,

收稿日期: 2020-06-30; 修回日期: 2020-11-17

[基金项目: 中国海洋石油集团公司综合科研项目 and 中海油研究总院基础前瞻及新能源技术探索研究项目]

[Foundation: Comprehensive Scientific Research Project of CNOOC and Basic Prospective and New Energy Technology Research Project of CNOOC Research Institute]

作者简介: 兰志刚, 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为新能源和海洋工程, E-mail: lanzhg@cnooc.com.cn

海上风电异军突起,其年申请专利数量激增,远远超过其他海洋可再生能源,从而反映出了其技术发展的速度在各海洋可再生能源中也遥遥领先。海上风电的年申请专利数量在 2012 年达到阶段性顶峰。2012 年后,数量虽然有所下降,但与其他海洋可再

生能种相比,依然处于高位,发展优势明显。

表 2 是从德温特创新平台专利信息数据库中查得的海上风电领域的年公开专利数量以及国际能源署网站公布的全球发电二氧化碳排放指数及全球海上风电的年新增装机量^[8]。

表 1 各类主要海洋可再生能源年申请专利数量

Tab. 1 Annual quantity of patent applications for various ocean renewable energies

年份	温差能	波浪能	潮流能/件	海上风电	年份	温差能	波浪能	潮流能/件	海上风电
2000	15	3	6	57	2010	130	119	25	534
2001	7	13	5	43	2011	100	149	75	721
2002	5	24	1	70	2012	109	155	81	906
2003	5	13	3	69	2013	103	136	122	754
2004	5	24	7	98	2014	80	114	136	696
2005	14	34	8	82	2015	77	72	112	532
2006	7	80	10	82	2016	49	126	116	662
2007	43	90	35	105	2017	30	83	96	728
2008	78	77	10	165	2018	14	56	101	752
2009	70	117	32	290	2019	17	37	33	392

表 2 海上风电年公开专利数量

Tab. 2 Annual quantity of published patents for offshore wind

年份	年公开专利数	发电二氧化碳排放指数	年新增装机量/MW	年份	年公开专利数	发电二氧化碳排放指数	年新增装机量/MW
1999	1			2010	244	137.1	922
2000	13	100		2011	355	143.6	720
2001	33	102.5	9	2012	603	146.8	1558
2002	32	104.3	164	2013	755	149.9	1837
2003	57	110.1	271	2014	793	149.7	1321
2004	56	114.5	85	2015	757	147.9	3225
2005	47	119.3	90	2016	753	147.5	2624
2006	85	124.1	198	2017	742	149.9	4495
2007	91	130.3	211	2018	946		4792
2008	77	130.6	348	2019	1120		4680
2009	129	128.8	691				922

图 1 是海上风电技术领域的年公开专利数量和发电二氧化碳排放量指数走势的对比图,从该图中可以看出,两者之间的变化趋势有着很高的相似度。

对两者进行相关性分析,可以算出两组数据的决定系数 R^2 为 0.937,表明海上风电技术的发展速度与碳减排压力之间具有很强的相关性(参见图 2),而且年公开专利数量随发电二氧化碳排放量指数(即碳排放量)的增加,呈指数增长趋势,说明在全球气候变暖的背景下,碳减排压力成为驱动海上风电技术发展的重要因素之一。特别是 2009 年哥本哈根联合国

气候变化大会之后,欧洲率先开展减排行动的落实,由此带来了海上风电领域的迅速发展。而巴黎协定的签署,则标志着在世界范围内对碳减排的紧迫性达成了更广泛的共识。由此,海上风电也迎来了更大规模的快速发展。从图 1 海上风电领域专利技术的大幅增加上也可清楚地看出上述关联趋势。另据国际能源署发布的世界海上风电展望 2019 预测,在未来 20 年,海上风电规模的增加,可以为全球电力部门减少 50 亿吨至 70 亿吨的二氧化碳的排放^[1],这进一步印证了碳减排和海上风电发展之间存在的内在逻辑。

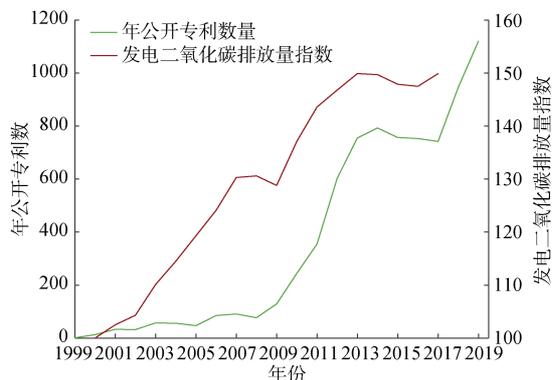


图1 海上风电年公开专利量以及全球发电二氧化碳排放量指数的年变化曲线对比

Fig. 1 Comparison of annual published patents for offshore wind and annual index variation of global carbon dioxide emissions from electricity generation

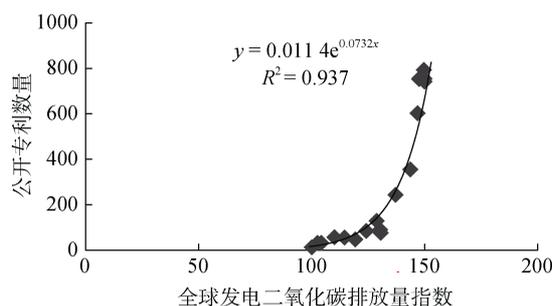


图2 海上风电年公开专利量与发电二氧化碳排放量指数之间的关系拟合曲线

Fig. 2 Relationship between annual published patents for offshore wind and index of global carbon dioxide emissions from electricity generation

对表 2 中的海上风电的年公开专利数量和年新增装机数量进行对比,也可以看出两者有明显的正相关性(参见图 3),说明海上风电的技术进步促进了海上风电领域的投资,反过来海上风电领域的投资也进一步驱动了海上风电技术发展。

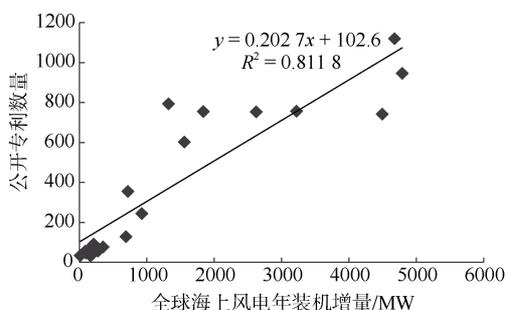


图3 海上风电年公开专利量与年新增装机数量之间的关系拟合曲线

Fig. 3 Relationship between annual published patents and annual new installed capacity for offshore wind

2 海上风电的重点技术领域分布

将上述专利按国际专利分类(International Patent Classification, IPC)所涉猎技术方向进行分类并选出公开专利数量最多的 8 个领域,可以发现其主要涉及风机、基础、施工方法及装备、供配电系统、塔筒、信息处理、电缆及铺设、综合利用等技术。详见图 4。

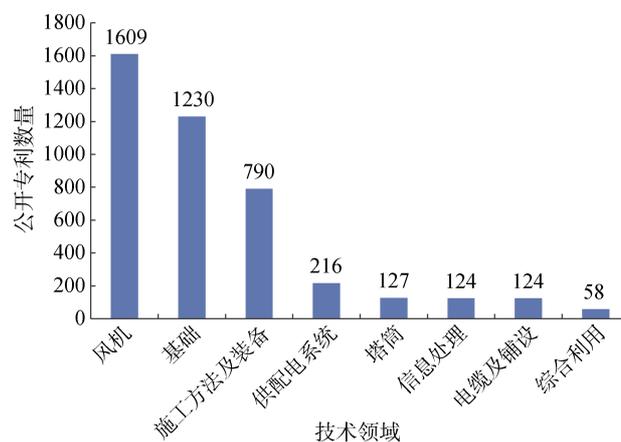


图4 公开专利数量最多的海上风电技术领域分布

Fig. 4 Technical field distribution of published patents for offshore wind

新版德温特数据库专利信息中增加了专利中综合专利影响力字段,对从德温特数据库中查得的海上风电公开专利中综合专利影响力系数大于 7(范围 1~10)的专利进行搜索,检出专利信息共计 124 条。对上述专利的技术领域进行统计可以看出,在综合专利影响力大的专利中,涉及施工方法与装备技术领域的专利数量最多,共计 36 项;涉及风机领域的专利共计 29 项,其中涉及风轮和叶片技术以及风机控制技术的各有 7 项,涉及冷却系统技术的有 6 项,涉及浮式风机技术的有 4 项,涉及发电机技术和减振技术的各有 2 项,涉及齿轮箱技术的有 1 项;涉及风机基础领域的专利共计 19 项,其中涉及单桩和多桩基础的专利各有 3 项,涉及浮式基础的有 13 项;涉及塔筒方面的专利有 15 项;涉及包括风机、基础等综合整体的专利有 10 项,其中涉及浮式技术的有 3 项;其他综合专利影响力系数大于 7 的海上风电专利涉及的技术领域还有变压变电、电缆、选址、风电场系统控制以及综合利用等,详见表 3。

综合以上专利数据分析,可以看出风机、基础、施工方法及装备、供配电系统、塔筒等是海上风电的核心技术。

表 3 综合专利影响力系数大于 7 的海上风电专利的技术领域统计

Tab. 3 Statistics of offshore wind power patent technology fields with comprehensive patent influence coefficient greater than seven

技术领域	子项	数量	数量
风机	风轮/叶片	7	29
	冷却系统	6	
	齿轮箱	1	
	发电机	2	
	风机控制	7	
	浮式	4	
	减振	2	
基础	单桩	3	19
	多桩	3	
	浮式	13	
	塔筒	15	
	变压/变电	4	
	电缆	5	
整机	常规	7	10
	浮式	3	
	施工方法与装备	36	
	风电场系统控制及方法	2	
	选址	2	
	综合利用	2	
	合计	124	

另外值得关注的是,近年来随着近岸海上风电场开发规模的快速增长以及近岸用海日趋紧张,近岸海上风电场场址资源越来越少,而深远海区域风速更大、更稳定,且受限制减少,因此走向深远海(40~80 m)已成为海上风电产业发展的必然趋势。由于传统固定式基础结构,随着水深怎加造价将大幅增加,已明显不适应深海风电的开发,为此海上浮式风电技术应运而生。相关专利技术也呈现快速成长的态势。表 4 是由德温特数据库查得的海上浮式风电年度申请专利数量,从中可以看出,2011 年之后,浮式风电技术专利增长较为迅速,上升为 3 位数。浮式风电也已成为海上风电关注的热点。从表 2 中也可以看出,在综合专利影响力系数大于 7 的 124 项海上风电专利技术领域中,涉及海上浮式风电有 20 项,占比 16%,已成为目前海上风电技术研发的主要热点。

表 4 海上浮式风电年申请专利数量

Tab. 4 Annual quantity of patent applications for floating offshore wind

年份	年申请专利数	年份	年申请专利数
2001	6	2011	100
2002	10	2012	146
2003	11	2013	178
2004	11	2014	237
2005	12	2015	269
2006	12	2016	302
2007	13	2017	323
2008	33	2018	368
2009	43	2019	402
2010	75		

3 技术成熟度分析

目前国内外机构主要以技术成熟度作为技术评估最常用的方法。常见的技术成熟度评价方法有四种,分别为技术文献计量法 TBM、技术专利分析法 TPA、技术性能测量法 TCM 和技术就绪水平评价法 TRL。其中技术专利分析法来源于 TRIZ(发明问题解决理论)的创建者——前苏联发明家、教育家 G.S.Altshuller,他通过对大量专利数据进行分析,发现在整个技术生命周期内,技术的成长规律与生物进化模式相似,总体过程呈现出 S 型曲线的形状^[2]。

常用的 S 型曲线为 Logistic 增长模型,它是一种广义线性回归模型,其数学表达式为:

$$Y = \frac{L}{1 + e^{-k(t-\tau)}} \quad (1)$$

式中, Y 为技术成熟度表征量; L 为 Logistic 曲线的饱和值,即技术成熟度表征量的理论上限; t 为时间; k 为 Logistic 曲线的形状参数,是该曲线的斜率; τ 为 Logistic 曲线的位置参数。

令 $y = \frac{Y}{L}$,对公式(1)作归一化处理,可得到归一化的 Logistic 回归模型,即:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-k(t-\tau)}} \quad (2)$$

式中 y 为归一化的技术成熟度表征量。利用该式,可以构建技术专利统计量和发展时段的关系模型,评价该技术目前所处的发展阶段,预测该技术发展关键时间节点。

利用公式(2)对德温特数据库查得的海上风电年累计申请专利数量以及海上浮式风电年累计申请专利数量做 Logistic 曲线拟合, 分别得到公式(3)所示的海上风电技术成熟度 S 曲线和公式(4)所示的海上浮式风电技术成熟度 S 曲线:

$$y_1 = \frac{1}{\left(1 + e^{-0.362(t-17.83)}\right)} \quad (3)$$

$$y_2 = \frac{1}{\left(1 + e^{-0.274(t-17.59)}\right)} \quad (4)$$

图 5 是海上风电和海上浮式风电技术成熟度比较图, 其中黑色曲线是拟合得到的海上风电技术成熟度曲线, 红色曲线是拟合得到的海上浮式风电技术成熟度曲线。由图可以看出, 海上风电自 1997 年申请第一项专利以来发展很快, 尤其是 2008 年以后发展更为迅速, 并在 2011 年前后进入技术成长期, 2016 年前后进入技术成熟期。目前海上风电技术的成熟度已达到 0.87, 已临近饱和, 逐渐达到一种暂态平衡。特别是对于近岸海上风电而言, 其技术发展速度与前几年相比, 会有所放缓, 未来的技术发展方向将以现有技术的改进和替代为主。这一发展轨迹在全球海上风电的发展历程中也得到了充分体现。丹麦 Ørsted 公司(原 DONG Energy)于 20 世纪 90 年代在近岸建成的世界第一个海上风电场 Vindeby 时, 仅有 11 台 450 kW 的风机组成。随着越来越多的欧洲国家步入海上风电领域, 海上风电技术不断进步, 风机的性能和额定输出的快速提高, 降低了运行和维护成本, 海上风电从试验阶段步入快速发展阶段。2001 年至 2010 年, 海上风电技术的发展逐渐加速, 平准化成本进一步降低, 海上风电的发展逐渐进入规模化商业发展阶段。2010—2018 年, 得益于技术的高速发展和全球能源转型的迫切需求, 全球海上风电市场年均增长近 30%, 新项目的年容量系数从 38% 增加到 43%^[1], 甚至能够与某些燃煤发电厂相当。截止到 2019 年, 仅 Ørsted 公司的海上风电运行规模就达到了 3 GW。海上风电已从规模化商业发展阶段进入了大规模成熟应用阶段。近年来, 随着深远海风电开发需求越来越迫切, 浮式风电作为一种具有替代性特征的新兴技术, 得到了快速的发展, 并为整个海上风电技术的发展注入了新的动能。特别是在 2011 年之后, 发展态势更为强劲, 2017 年挪威国家石油公司和 Masdar 公司合作在距离苏格兰东海岸 25 公里处建成了全球首个漂浮式风电场项目

Hywind, 装机规模为 30MW。2018 年又安装了多个示范项目, 包括法国 Ideol 公司的 Floatgen(2 MW)和日本的 Hibiki(3 MW)等。此外, 欧洲至少还有 10 个达到商业化前期规模的漂浮式风电新项目正在筹备中^[1]。从本文的数据分析结果看, 目前漂浮式风电技术成熟度已达到 0.54, 即刚刚从技术成长期进入技术成熟期, 预计将在 2023 年左右达到完全成熟状态并进入技术饱和期, 可以预期海上浮式风电技术未来对海上风电产业的拉动作用将愈加凸显。

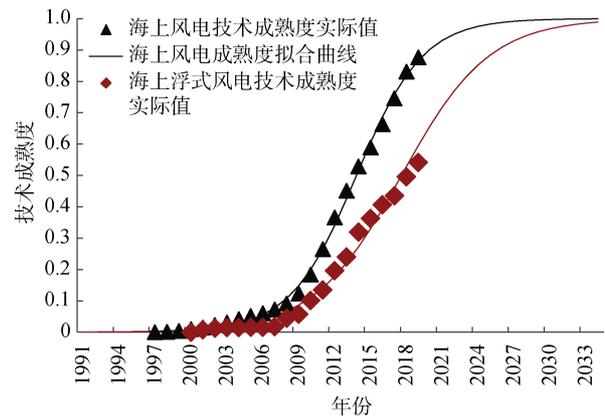


图 5 海上风电和海上浮式风电技术成熟度比较

Fig. 5 Comparison of technology maturity of offshore wind and floating offshore wind

4 结论

基于德温特数据库中的海上风电专利信息, 利用专利分析技术, 结合技术成熟度模型预测, 对海上风电的技术发展趋势和重点技术领域进行有效分析。海上风电与其他主要海洋可再生能源的年专利申请数量相比, 海上风电技术发展优势明显; 海上风电技术的发展速度与碳减排压力之间具有很强的相关性, 而且年公开专利数量随发电二氧化碳排放量指数(即碳排放量)的增加, 呈指数增长趋势, 说明在全球气候变暖的背景下, 碳减排压力成为驱动海上风电技术发展的重要因素之一; 海上风电的年公开专利数量和年新增装机数量之间也存在明显的正相关性, 说明海上风电的技术进步促进了海上风电领域的投资, 反过来海上风电领域的投资也进一步驱动了海上风电技术发展; 对海上风电专利(特别是综合专利影响力较大的专利)所涉及的技术领域进行分析, 可以看出海上风电的重点技术领域主要有风机(包括风轮/叶片、冷却系统、风机控制系统等)、基础、施工方法及装备、供配电系统、塔筒、信息

处理、电缆及铺设、综合利用等,特别是随着海上风电由近岸向深远海发展,浮式风电技术已成为目前海上风电技术研发的主要热点;本文还在专利信息分析的基础上,构建了海上风电技术成熟度预测分析模型,分析结果表明,海上风电技术发展迅速,在2011年前后进入技术成长期,2016年前后进入技术成熟期,从整体上看,目前海上风电技术的成熟度已达到0.87。浮式风电作为一种具有替代性特征的高新技术,也得到了快速的发展,目前的技术成熟度已达到0.54,刚刚从技术成长期进入技术成熟期,并将在2023年左右达到完全成熟状态并进入技术饱和期。

参考文献:

- [1] IEA. Offshore Wind Outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.
- [2] Altshuller G S. Creativity as an Extra Science[M]. New York: Corden and Breach Science Publishers Inc, 1984.
- [3] Young Gil Kim, Jong Hwan Suh, Sang Chan Park. Visualization of patent analysis for emerging technology[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(3): 1804-1812.
- [4] 杨良选. 技术成熟度多维评估模型研究[J]. 国防科技, 2017, 38(3): 26-33.
Yang Liangxuan. Research on multi-dimensional evaluation model of technology maturity[J]. National defense science & technology, 2017, 38(3): 26-33.
- [5] 王兴旺, 汤琰洁. 基于专利地图的技术预测体系构建及其实证研究[J]. 情报理论与实践, 2013, 36(3): 51-55.
Wang Xingwang, Tang Yanjie. Research on technology forecasting system and case study based on patent map[J]. Information Studies: Theory & Application, 2013, 36(3): 51-55.
- [6] IRENA. Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050 (Edition: 2020), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.
- [7] Global Carbon Project (2019) Carbon budget and trends 2019. [www.globalcarbonproject.org/carbonbudget] published on 4 December 2019, along with any other original peer-reviewed papers and data sources as appropriate.
- [8] International Energy Agency. Data and statistics [EB/OL]. [2020-05-13]. <https://www.iea.org/data-and-statistics/>

Analysis of offshore wind technology based on patent information

LAN Zhi-gang¹, LAN Ying², SUN Yang-zhou¹, GUO Xue-fei¹

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China; 2. Imperial College London, London SW7 2AZ, UK)

Received: Jun. 30, 2020

Key words: offshore wind; technology maturity; patent analysis

Abstract: Based on the patent information collected from the Derwent Innovation Database, this paper analyzes the annual patent information of offshore wind and other major ocean renewable energies. The correlation between the number of patents for offshore wind, the pressure of carbon emission reduction, and the number of new installed capacity per year are also evaluated. The development of offshore wind power technology is explored and the key technological fields of offshore wind power are summarized. This study proposes a prediction and analysis model of offshore wind technology based on the patent information analysis. The results reveal a rapid development of the offshore wind power technology reaching a technology maturity of 0.87. This signifies that it has entered the saturation stage from the mature stage. As a new alternative technology, floating offshore wind has also been developed rapidly with maturity reaching up to 0.54. This implies that it has just entered the mature stage from the technology expansion stage. This research shows that the patent analysis technology and technology maturity prediction can be effectively used to analyze the key technology fields of offshore wind power and predict its technology maturity.

(本文编辑: 康亦兼)