

# 南方五省区分布式电源对电网的影响分析

刘利平<sup>1</sup>, 郭文骏<sup>1</sup>, 刘泽鑫<sup>2</sup>

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广州 501623; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 分布式电源以其环保、高效及灵活的优点逐渐渗透到电网当中, 也给输电网与配电网的发展规划带来一定的影响。从输电网规划建设、配电网的供电可靠性及继电保护等方面讨论了南方电网中分布式电源接入对电网的影响, 为南方电网未来分布式电源的快速发展提供了重要的参考。

**关键词:** 分布式电源; 南方电网; 输电网; 配电网; 影响分析

中图分类号: TM727

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)01-0011-06

## Impact Analysis of Distributed Generation on Power Network in China Southern Five Provinces

LIU Liping<sup>1</sup>, GUO Wenjun<sup>1</sup>, LIU Zexin<sup>2</sup>

(1. China Southern Power Grid Company Co., Ltd., Guangzhou 510623, China;

2. Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Energy Engineering Group, Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** Distributed Generation (DG) gradually infiltrates into the power grid with the advantages of environmental protection, high efficiency and agility, but also brings certain impact on the development planning of power transmission network and distribution network. This paper discusses the impact of DG integrating into the South China Power Grid in the construction planning of power transmission network, power supply reliability of distribution network, relay protection and so on. The research results provide important references and suggestions for the rapid development of DG in China Southern China Power Grid.

**Key words:** distributed generation; China Southern Power Grid; transmission network; distribution network; impact analysis

分布式电源 (Distributed Generation, 简称 DG) 是指在用户所在场地或附近建设安装、运行方式以用户端自发自用为主、多余电量上网, 且在配电网系统平衡调节为特征的发电设施或有电力输出的能量综合梯级利用多联供设施。当前, 南方电网处于能源结构调整的大环境下, DG 以其经济、环保、安全可靠及灵活的优势获得大规模的发展<sup>[1]</sup>, 在推进资源优化配置的同时, 也对电网的结构、规划建设及运行可靠性等产生一系列的影响。

为了充分发挥南方电网 DG 的综合效益, 研究南方五省区 DG 对电网的影响具有十分重要的意义。本文首先根据分布式电源的相关规划, 在对比西方发达国家的发展情况的基础上, 提出南方五省

区 DG 的发展情景规模设想, 重点分析了 DG 的接入对电网产生的影响, 包括电网规划建设、配电网的供电可靠性、继电保护以及经济、环保效益等方面。此外对 DG 渗透率的分析, 将为并网项目中不同接入点的最大接入容量的计算提供了指导。因此, 通过研究 DG 对电网各方面的影响, 更能充分发挥 DG 的优势, 并为南方电网分布式电源的长远发展提供重要的参考意见。

### 1 南方五省区分布式电源的发展情景规模设想

#### 1.1 燃气发电情景规模

从不同国家分布式电源装机比例来看, 北欧国家往往会占 50% 甚至更高, 欧美发达国家占 15% ~ 25%, 东亚国家占 3% ~ 5%, 以此不同地区的装机比例对南方五省进行分析, 发达及条件好的省份对应于装机比例高的地区, 欠发达及条件差的省份对

收稿日期: 2014-11-13

作者简介: 刘利平(1976), 男, 湖南邵阳人, 工程师, 硕士, 主要从事配电网规划研究 (e-mail) liulp@csg.cn。

应于比例低的地区。另外,从我国燃气分布式电源规划层面看,结合南方五省(广东、广西、云南、贵州和海南)的能源规划、分布式电源规划以及近期项目开展工作,设想南方五省燃气发电情景规模如表1所示。

表1 南方五省燃气发电情景规模表

情景类型	2020	2030	2050
情景 A(保守型)	2.7	5.4	9.55
情景 B(稳健型)	6.3	11.6	17.4
情景 C(发展型)	10.5	21.0	32.0
情景 D(乐观型)	21.0	41.0	78.5

## 1.2 光伏发电情景规模

从光伏发电的情景规模来看,全国及各个省份均制定了相关中长期新能源利用规划,南方五省主要以分布式光伏发电为主。结合南方电源发展情况,以高方案为基准,低方案为参照,光伏发电情景规模见表2。

表2 南方五省光伏发电情景规模表

方案	2013	2020	2030
低方案(1)	0.284	3.13	6.05
高方案(2)	0.284	5.55	10.71

## 2 分布式电源对电网的影响

### 2.1 不同情景下分布式电源对主网规划建设影响

根据南方五省区各类发展情景规模设想,结合各省高峰负荷的分布特性,以广东省为例,分析和计算不同情景下DG对南方电网规划和建设的影响,见表3。

根据分析计算,DG的建设将有利于南方电网总投资的减少,对电网的规划也会带来较大影响。

在建设条件上,南方五省的电源条件、电网特性存在较大差异,且主力机组的标杆电价不同,各个省区不同情景下DG对电网建设的影响有所差异。在未来五省区DG规模越来越大的情况下,对电网规划建设、电力供应的影响越来越大,因此在

DG充分发展的同时做好与电网企业规划建设的协调工作,则能避免社会资源重复,达到高效利用能源资源的目标,真正发挥分布式电源的作用。

表3 分布式电源对电网影响表(广东省)

Table 3 Influence Table of Distributed Power on the Grid (Guangdong Province)

电网投资的减少情景	年份	总负荷 /%	电量供应 /%	变电容量/(10 <sup>4</sup> kVA)		输电线路/km	
				500 kV	220 kV	500 kV	220 kV
情景 A-1	2020	1.1	1	255	323	156	147
	2030	1.8	1.7	510	646	311	295
情景 B-2	2020	2.9	2.8	645	817	394	373
	2030	4.6	4.4	1 260	1 596	796	728
情景 C-2	2020	4.1	4.1	915	1159	559	529
	2030	6.5	6.7	1 800	2 280	1 099	1 040
情景 D-2	2020	7.1	7.6	1 590	2 014	971	919
	2030	11.4	12.4	3 150	3 990	1 923	1 820

### 2.2 对配电网规划的影响

随着大量的分布式电源接入配电网,传统的配电网规划已很难适应,配电系统结构和运行也产生很大的影响,主要表现在以下几方面:

1)部分DG与传统电厂相比,其输出受气候等自然条件影响经常波动且无法调节,具有明显的随机特性,有必要研究此类DG并建立相应模型。

2)由于大量用户安装并使用DG,加大了负荷增长的预测难度。

3)DG发电机节点的增加,使得寻找最优网络布置方案更加困难。

4)DG位置(位于负荷或变电站节点上)的不同,会影响线路的负载能力。

5)随着DG容量的逐渐增加,会影响整个系统的潮流分布,甚至出现逆向潮流。

6)由于DG机组类型及能源的多样化,配电网中难以确定合理的电源结构。

随着新时期电力工业的发展,DG并网趋向明显,传统配电网规划面临新的挑战和要求,因此在规划最优配电网方案时需考虑DG并网带来的影响。文献[2]通过协调因子来影响和指导DG的合理布局,提出了一种促进DG与配电网协调规划的新模式,在保障DG投资商与供电公司一定利益前提下,实现了社会效益的最大化。

### 2.3 对继电保护的影响

DG的接入改变了配电网的故障电流大小、分

布和原有继电保护装置的基础条件,必然对配电网继电保护造成影响。

1)对传统电流保护的影响。DG不同的接入容量及位置会对配电网保护装置产生不同的影响。随着DG接入容量的增大,上游保护流经的短路电流逐渐减小,保护范围缩小;而对下游保护起助增作用,DG容量越大作用越明显,下游保护范围增大。因此,有必要对配电网保护装置进行整定和协调,使DG与之配合和适应。文献[3]从两个层面给出了DG并网点、并网后配电线路的保护原理和算法,提出了含DG并网的配电线路新型保护整定和配置原则,构建了DG与配电网协调配合的保护体系架构。

2)对低压脱扣的影响。当DG接入配电网时,其投入、退出和运行均可能导致公共连接点附近的电压波动,同时也会增加电压暂降事件发生的概率,导致低压脱扣装置经常动作,从而造成负荷的损失。对于DG的突然退出运行而使系统电压波动的情况,文献[4]首先利用禁忌搜索法对电容器组进行优化组合,其投入可以抑制系统电压的波动。

#### 2.4 对供电可靠性的影响

DG不同运行方式会对配电网供电可靠性带来不同的影响,视具体情况而定:

1)若DG作为备用电源接入,可部分消除电网的过负荷和堵塞,提高电网的输电裕度。当DG具有低电压穿越能力,则在系统发生故障时还能继续运行,并起到缓解电压骤降的作用,提高系统对电压的调节性能。

2)若DG并网运行,则有可能降低系统的供电可靠性。当DG不具备低电压穿越能力,系统发生故障时要求切除该DG,当其所接线路故障重合时,不但不能起到电压支持的作用,反而加重电压跌落;且若DG没及时跳闸脱网,造成的非同期重合会引起保护误动、设备受损,线路无法及时恢复运行,反而增加了停电时间。

要使DG并网能够提高配电网供电可靠性,则需考虑新的因素,如孤岛的出现。文献[5]提出配电网孤岛划分策略,建立了含DG的新型配电网供电可靠性评估模型,通过算例验证了DG的接入能使配电网的供电可靠性大大提高。

#### 2.5 区域内分布式电源渗透率分析

当中低压配电网中分布式能源容量达到较高的

比例<sup>[6]</sup>时,要实现配电网的功率平衡与安全运行,并保证用户的供电可靠性和电能质量有很大困难,因此在实际的DG并网项目中,需预先计算好不同接入点的最大接入容量。本文以分布式光伏接入为例,考虑电压质量约束和短路电流限制,对DG接入的渗透率指标 $P_i$ 进行分析。

##### 2.5.1 典型城市电网

选取南方某一线城市供电配网(每个配网网格含 $N$ 组“三供一备”接线),对每回辐射型接线的渗透率指标进行仿真分析。为了反映该城市电网的实际情况,仿真过程中外部110 kV系统的系统容量定为2 127.218 MVA,从而确保变电站低压侧母线短路电流控制在18 kA左右。另外,光伏发电按线路额定容量的最大装机容量为7.638 MVA,变压器容量为63 MVA。

##### 2.5.1.1 考虑电压质量约束

DG注入的无功和有功会对配网电压产生影响,就地负荷投入越多,接入点电压降低越多。为了有效考核DG对接入点电压的影响,在线路载流量不越限和本地负荷为零的情况下,需通过潮流计算确定接入点电压不超标下的DG渗透率指标。

该城市供电网络覆盖区域内,110 kV主变低压侧母线的出线数为16回,多回线接入时,如图1所示,接入点分布得越均匀,对各级母线电压抬升的影响越小。

以考虑线路载流量不越限时光伏最大接入容量为基准,每降低5%进行一次计算,获得不同容量下接入点的电压,与标准电压10 kV比较(电压偏差为标称电压的 $\pm 7\%$ )。结果表明,在A点处接入的DG容量为该回线路额定容量的70%时,接入点的电压偏差正好满足要求,若B点再接入DG,则会导致A点母线处的电压偏差超标,若将DG均匀分布到16回线上,经过仿真分析,当每回线上接入的DG容量均为1.312 MVA时,各级母线的电压偏差均符合要求,此时主变台区的渗透率最大值 $P_{t_{\max}}(v) = 1.312 \times 16 / 63 = 33.3\%$ 。

##### 2.5.1.2 考虑短路电流限制

确保电缆线路输送容量不越限,逐一分析不同容量的光伏接入10 kV用户侧母线和变电站10 kV母线时的各级母线短路电流值,并与所规定的母线电流水平比较(110 kV、10 kV母线短路电流不超过40 kA、20 kA),确定光伏接入容量的

限制。

通过分析,单回线接入时各级母线短路电流均不超标,渗透率最大值达到 100%。若 16 回线均接入 DG,考虑到所有出线 DG 提供短路电流,采用等值合并处理方式,将接入到变电站低压侧的其他线路和光伏电源归并,其模型如图 2 所示。

结果表明,在光伏总装机容量不超过主变容量的前提下,各级母线的短路电流水平均不超标,可见对于光伏电源接入,在只考虑各级母线短路电流限制下,主变台区的渗透率最大值  $P_{t,max}(s) = 100\%$ 。

2.5.2 微网

图 3 是光伏接入农网 400 V 配网侧示意图,接

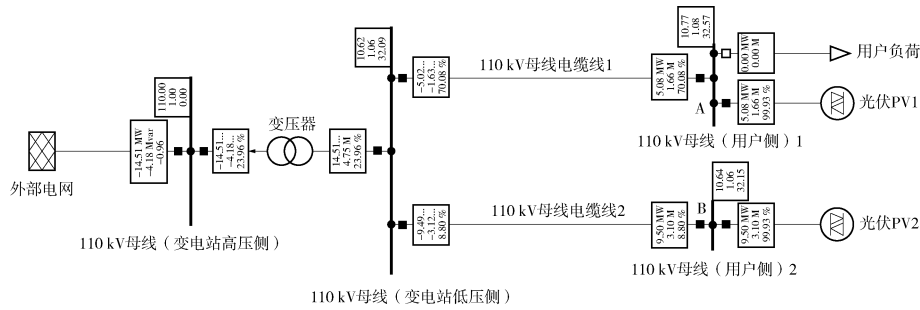


图 1 考虑电压质量约束的多回线接入仿真模型

Fig. 1 Multi Loop Access Simulation Model Considering the Constraint of Voltage Quality

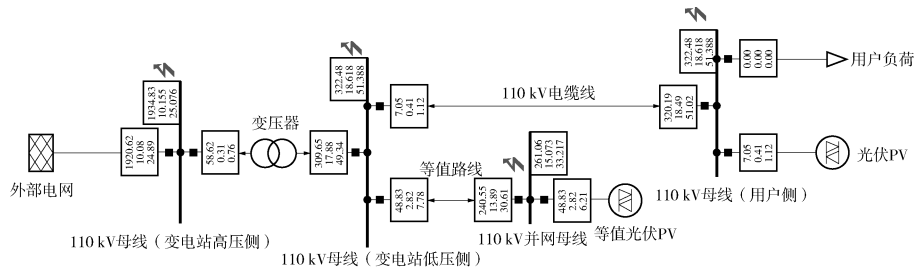


图 2 考虑短路电流限制的多回线接入仿真模型

Fig. 2 Multi Loop Access Simulation Model Considering the Restriction of Short Circuit Current

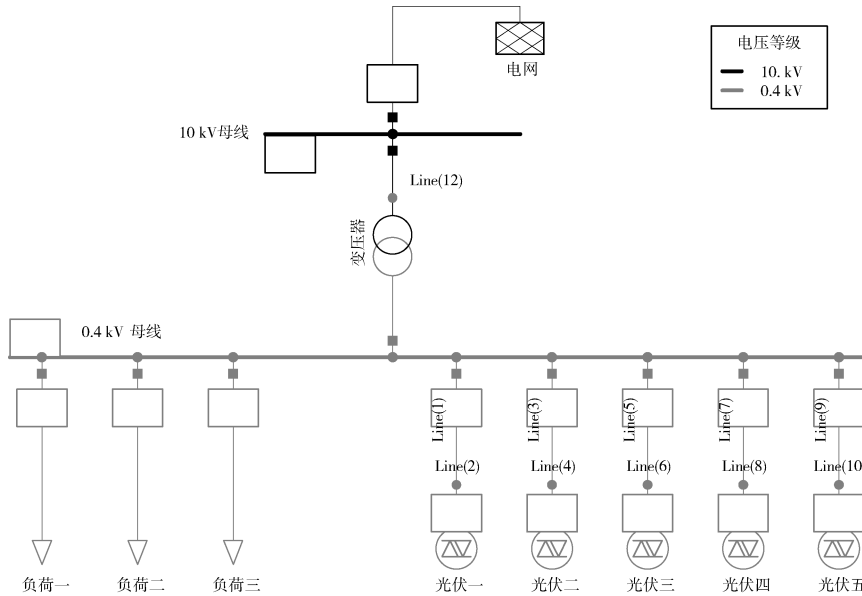


图 3 光伏设备及储能设备配合接线示意图

Fig. 3 Wiring Diagram of Photovoltaic Device and Storage Device

入点近区负荷规模为 600 kW, 10 kV/0.4 kV 变压器容量为 1.25 MW。

系统配置 5 台额定功率为 250 kW 的光伏设备, 在 3 s、6 s、9 s、12 s、15 s 时刻并网, 对应总出力分别为 0.25 MW、0.50 MW、0.75 MW、1.00 MW、1.25 MW。仿真过程中, 接入点电压变化曲线如图 4 所示。

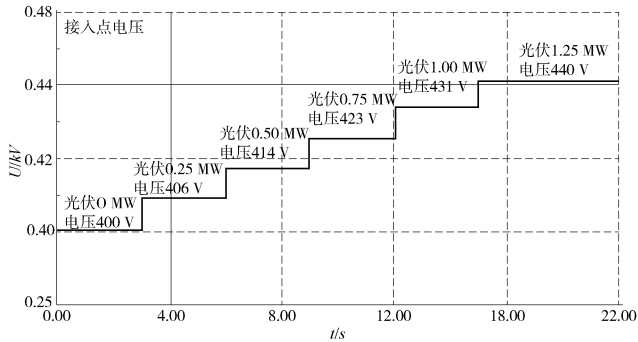


图 4 光伏并网接入点电压变化曲线

Fig. 4 Voltage Curve of Grid-connected Point of Photovoltaic

由仿真曲线可知, 当光伏总出力增至 1 MW, 母线电压越限, 即光伏电源渗透率大于 80% 将会引起接入点电压越限。

### 3 分布式电源对经济及环保的影响

#### 3.1 不同情景下对电力成本的影响

目前 DG 单位容量的投资比常规发电机组高很多, 同时气价较高, 因此分布式发电仍不具有成本优势, 推行分布式电源即使充分考虑电网建设成本的减少, 仍会提高南方五省区用户的电力使用成本。

图 5 是南方各省煤电标杆电价, 以此为基准, 增加考虑以预测电价进行估计, 对南方五省区分布式能源各类发展情景下电力成本的增加进行计算, 结果见表 4。

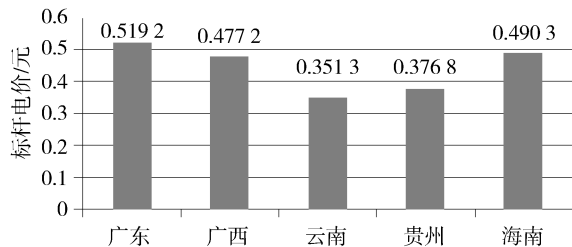


图 5 南方五省区煤电标杆电价

Fig. 5 Benchmarking Coal Electricity Price of the Southern Five Provinces

表 4 不同情景下电力成本影响表

Table 4 Effecton Table of the Electricity Cost Under

		Different Scenarios				亿元
电价	年份	情景 A-1	情景 B-2	情景 C-2	情景 D-2	
标杆 电价	2020	59.0	129.4	190.7	357.3	
	2030	119.7	255.5	378.2	692.3	
预测 电价	2020	66.3	149.4	226.2	435.9	
	2030	161.8	359.3	556.4	1 049.8	

从电网公司角度来看, 同时考虑售电收益减少、入网费用以及电网投资的减少, DG 建设将对电网的经济效益产生不利影响, 为确保电网公司合理收益水平, 需将成本转嫁给 DG, 这将为分布式能源实现合理的综合经济效益水平造成较大压力。因此分布式能源建设需要电网企业来主导, 积极主动与能源供应商、政府部门等进行规划建设协调工作, 以取得更多社会资源的有效整合和相关电价政策, 实现电网公司以及分布式电源的整体经济效益。

#### 3.2 不同情景下对节能减排的影响

分布式能源采用可再生能源及高效能源利用形式, 在节约资源, 降低排放能起到积极的作用。在计算分布式能源的综合效益时, 还必须考虑环境效益, 对南方五省区各类发展情景下的能源利用效率及 CO<sub>2</sub> 排放的减少进行计算, 结果见表 5。

表 5 不同情景下节能减排影响表

Table 5 Effecton Table of Energy Saving and Emission Reduction

		Under Different Scenarios				10 <sup>4</sup> t
减排型	年份	情景 A-1	情景 B-2	情景 C-2	情景 D-2	
CO <sub>2</sub> 排放 减少量	2020	59.0	129.4	190.7	357.3	
	2030	119.7	255.5	378.2	692.3	
标准煤 减少量	2020	66.3	149.4	226.2	435.9	
	2030	161.8	359.3	556.4	1 049.8	

### 4 结语

在南方电网能源结构调整, 电网发展模式改变的情况下, 未来 DG 快速发展将成为必然趋势。DG 以其巨大的潜力不断进入电网的规划建设中, 在提供先进的能源配置形式、提高供电可靠性和实现节能减排的同时, 也不可避免的给传统电网带来了一定的冲击和影响。

因此, 本文从南方电网 DG 不同发展规模的角

度出发,分析总结了DG的接入对电网各方面的影响,对南方电网DG的长远发展提出以下建议:

1)DG的快速发展可减少未来输电网及高压配电网的建设规模,应建立DG规划协调机制,与电网及电力系统规划相兼顾和协调,实现能源资源的高效利用。

2)在配电网层面上,高渗透率的DG接入后,对电能质量、短路电流等会带来一定的问题,建议对短路电流进行校核,DG渗透率一般不超过70%。

3)从经济上看,DG在现行能源价格及补贴机制下面临着较大的生存压力,同时对电网的经营效益也将带来负面影响。应在燃料价格、电价机制、电网经营等方面出台有利政策,积极支持DG的发展。

#### 参考文献:

- [1] 雷金勇,李战鹰,卢泽汉,等.分布式发电技术及其对电力系统影响研究综述[J].南方电网技术,2011,5(4):46-50.  
LEI Jinyong, LI Zhanying, LU Zehan, et al. Review on the Research of Distributed Generation Technology and Its Impacts on Electric Power Systems [J]. Southern Power System Technology, 2011, 5(4): 46-50.
- [2] 高军彦,麻秀范.计及分布式发电的配电网规划新模式[J].现代电力,2009,26(1):83-87.

GAO Junyan, MA Xiufan. Novel Mode of Distribution Network Network Planning Including Distributed Generation [J]. Modern Electric Power, 2009, 26(1): 83-87.

- [3] 何凯,曹卫国,韩伶霞.分布式电源并网影响研究及保护配置方案探讨[J].中国电机:技术版,2014,(3):11-14.  
HE Kai, CAO Weiguo, HAN Lingxia. Research of Distributed Power Grid Influence and Discussion of Protection Configuration Scheme [J]. China Electric Power: Technology Edition, 2014, (3): 11-14.
- [4] Mori H. Sakatani Y. Application of Probabilistic (N-1) Security Assessment Technique to Distribution Systems with Distribution Generation [C]//Proc. of IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, Asia Pacific, 2002: 739-744.
- [5] 施伟国,宋平,刘传铨.计及分布式电源的配电网供电可靠性研究[J].华东电力,2007,35(7):37-41.  
SHI Weiguo, SONG Pin, LIU Chuanquan. Power Supply Reliability of Distribution Network Including Distributed Generation [J]. East China Electric Power, 2007, 35(7): 37-41.
- [6] 王江海,邵能灵,宋凯.考虑继电保护动作的分布式电源在配电网中的准入容量研究[J].中国电机工程学报,2010,30(22):37-43.  
WANG Jianghai, TAI Nengling, SONG Kai, et al. Penetration Level Permission of for DG in Distributed Network Considering Relay Protection [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 37-43.

(责任编辑 黄肇和)

## 《南方能源建设》获得批准国际期刊刊名代码(CODEN)

2015年1月12日,《南方能源建设》收到国际CODEN服务部Sharon Cardwell博士的回复,获悉《南方能源建设》被分配的CODEN为NFNYJK。本刊将从2015年第2卷第1期起始,将CODEN码按规定固定刊印在期刊封面右上角。

CODEN码(Code Number)是由美国ASTM(American Society for Testing and Materials,美国试验材料学会)制定的科技期刊代码系统,为国际公认并具唯一性,广泛用于文献数据库和检索系统。与国际标准刊号(ISSN)不同,CODEN码是一种以期刊刊名的缩写为基础的代码形式。CODEN码由6位英文字母及数字码组成,其中前4位为基本码(取值范围A-Z),通常为刊名缩写,取英文期刊名称每个实词词头,中文期刊则按其汉语拼音刊名给出码,不足4个实词时,用其它词补充;第5位为查重码,第6位为校验码。美国《化学文摘》(CA)、《工程索引》(各种版本)、《国际药学文摘》(IPA)、《乌利希期刊指南》(Ulrich's IPD)等国际数据库采用,以及各国图书馆收藏部门均采用CODEN码进行文献/期刊识别。因此,国际期刊刊名代码——CODEN码目前正受到我国期刊界和情报界的关注和重视,国内一些大型文献数据库也将CODEN码列为数据库记录中的重要字段。因此,CODEN码NFNYJK的成功获得使《南方能源建设》在国内、外检索和引用中又增加了一个重要标识,向创建精品能源科技类期刊、走向期刊国际化迈出了重要的一步。

(责任编辑 郑文棠)