

文章编号: 1005 - 6548(2007)01 - 0009 - 06

# 高压输电线路工频电磁环境<sup>\*</sup>

许 杨, 张小青, 杨大晟  
(北京交通大学电气工程学院, 北京 100044)

## Power Frequency Electromagnetic Enviroment of High Voltage Transmission Line

XU Yang, ZHANG Xiao-qing, YANG Da-sheng  
(College of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**摘 要:** 针对目前日益突出的输电线路电磁环境问题,研究了输电线工频电、磁场的产生,分析方法,影响因素,限值以及降低工频电、磁场的措施,并提出了缓解因输变电工程电磁环境所引起的环保问题的对策。

**关键词:** 输电线路;工频电场;频磁场;电磁环境  
**中图分类号:** X123; TM81 **文献标识码:** A

**Abstract:** According to increasingly noticeable electromagnetic enviroment problems of power transmission line, the paper makes a research on the reason of transmission line power frequency electromagnetic field, analyse way, impact factors, limitation value and measures of reduces power frequency electromagnetic field, at the same time, and introduces countermeasures against electromagnetic enviroment problems of electronic project.

**Key Words:** power transmission lines; poewr frequency; electric field; magnetic field

随电网规模的不断扩大和输电电压等级的不断提高,输电线路的电磁环境影响越来越受到关注。交流输电线路对环境的影响从电磁角度分析,主要有工频电、磁场,无线电干扰,电晕噪声等,城

市建设规划和环保执法中对工频电磁场尤其关注。

### 1 备受关注的输电线路电磁环境问题

近年来,由输变电工程电磁环境引发的问题越来越突出,在全国各地不断有居民上访、阻挠施工、到供电部门静坐等情况出现。究其原因主要有以下几方面: 缺乏强制性的国家标准。高压输变电工程电、磁场问题(特别是工频电磁场)的国家标准的研究工作正在进行,目前针对高压线路电、磁场书面的、公开颁布的行业规范是《500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T24 - 1998),《110 ~ 500 kV 架空送电线路设计技术规范》(DL/T 5092 - 1999)中也有关于工频电场限值的规定; 电力建设规划与城市建设规划的不同步。电力建设从规划到建成需要较长一段时间,当 1 个电力建设项目完成规划、设计、审批后,在建设过程中,由于城市建设规划的改变,一些原来建于城市周边的高压线等电力设施周围也开始进行开发,导致新的问题; 由于人们对电磁场或电磁波的特性不了解,尤其对输变电工程产生的工频电、磁场的误解,把高压输电线与电磁“辐射”甚至与核辐射联系起来<sup>[1]</sup>; 生活小区的不规范建设。

### 2 输电线路工频电场

#### 2.1 输电线路工频电磁场的产生

\* 收稿日期: 2006 - 11 - 26 修回日期: 2006 - 12 - 10

作者简介: 许 杨(1983 - ),男,山西晋城人,硕士研究生,电力系统电磁场;  
张小青(1957 - ),男,安徽合肥人,教授,博士生导师,电力系统高电压技术、电磁暂态研究;  
杨大晟(1980 - ),男,陕西西安人,硕士研究生,电力系统过电压保护。

高压输电线路作为带电导体,周围存在的电场是电准静态场,仅由电荷(电压)产生。高压输电线路路上流过电流,周围存在的磁场是磁准静态场,仅由电流产生,所以在讨论工频电磁场时,电场和磁场是分开的。按照麦克斯韦理论,电场与磁场应有3个分量,分别包含有正比于  $1/r^3$ 、 $1/r^2$ 、 $1/r$  的项( $r$ 为场源至考察点的距离)。当  $r \leq \frac{\lambda}{2}$  (即近场条件,为波长)时,正比于  $1/r^3$  的项起主要作用,即在近区起主要作用的是“感应场”,而不是“辐射场”,即工频电、磁场是“感应场”,不存在辐射问题。

## 2.2 输电线路工频电场的分析方法

常用的对电场的分析方法有理论计算法和试验法2大类。计算法便于对电场的分布规律以及影响因素进行较为全面的研究,在工程投运前可以用于对电磁环境进行预测。试验法可以用于理论计算较为困难的复杂的电磁环境(如变电站)。

常用的理论计算法有等效电荷法<sup>[2]</sup>、模拟电荷法<sup>[3-5]</sup>、有限元法<sup>[6-7]</sup>、矩量法<sup>[8]</sup>。等效电荷法是以静电场的镜像法为基础的,属于解析解法,是国际大电网会议第36.01工作组推荐的方法,也是最为基本的计算方法,适用于对未畸变的输电线的工频电场计算,尤其是计算靠近地面的电场强度。模拟电荷法、有限元法、矩量法都是数值解法。模拟电荷法可计算输电线附近有避雷线或建筑物时的电场分布情况,以及输电线路铁塔附近的电场分布。在模拟电荷法的基础上进行优化,还可计算复杂地势下的电场分布。通过建立二维有限元模型可以计算输电线表面的场强,应用三维有限元法计算电场分布时,采用的模型可以考虑输电线附近实际建筑物的结构(如建筑物墙壁、楼层间钢筋等)。通过矩量法求解电位积分方程,可以计算考虑导线弧垂情况下的电场分布,使计算精度比将导线简化成直线时有所提高。以上每种计算方法都有其各自的适用条件、优缺点和计算精度,选择哪一种方法要视具体问题而决定。计算时,考虑的实际因素越多,计算模型越复杂,计算方法就越复杂。需要指出的是,由于计算方法的局限性和实际测量现场诸多因素的影响,对于较为复杂的计算模型,电、磁理论计算与实测结果往往存在较大误差。

模拟试验法<sup>[9-10]</sup>和实地测量<sup>[11]</sup>法是2种常用的试验类方法。对于一些比较难以理论计算的复

杂电磁环境或是还未投运的输变电工程,在对线路的电场环境进行预测时可以使用模拟试验法和实地测量法,同时实地测量法经常用来验证理论计算的精度和确定实际工程的电磁环境。

## 2.3 输电线路工频电场水平

图1为500 kV水平排列导线下方距地面1.5 m处电场强度分布,线路距地面高度为14 m,相间距离为13 m,导线为4×LGJQ-400。计算时采用等效电荷法<sup>[2]</sup>,所有计算及数据处理均用Matlab软件完成。从图中可看出,最大场强出现在边相导线投影外侧约1.5 m处,数值上和垂直分量差别不大。

对于三相输电线路,空间每1点的合成电场都是1个旋转的椭圆场。在地面2 m以内的区域,电场强度的垂直分量基本是均匀的,水平分量可以忽略不计。从目前国内的实测数据看,500 kV线路下方的最大工频电场不超过9 kV/m。表1为某500 kV同杆双回路附近工频电场水平<sup>[1]</sup>。

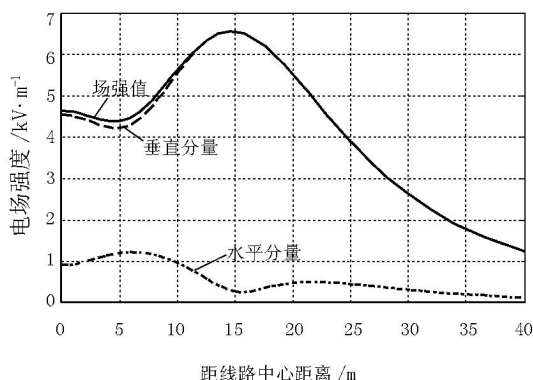


图1 水平排列单回500 kV线路距地面1.5 m场强分布

表1 某500 kV同杆双回路附近工频电场水平

	线路中心下	边导线下	边导线外2 m	边导线外5 m	边导线外10 m
电场强度/kV·m <sup>-1</sup>	4.22	4.90	5.10	4.55	3.19

## 2.4 影响输电线下工频电场强度分布的主要因素

由镜像法原理可知在输电线附近的电场强度的大小除和所加电压有关外,还和导线的布置形式、几何位置及其尺寸等有关,通过计算分析可知主要体现在以下几方面。

a. 导线对地高度的影响。电场强度随着导线对地距离的增加,开始时减小显著,以后减小程度逐渐缓慢。增加线路高度对降低场强是比较有效的,代价是需要增加投资。

b. 相间距离的影响。减小相间距离,其场强横

向覆盖的范围相应要减小,即可以使场强降低,但效果不如增加对地高度好,因为相间距要受线路外绝缘要求的限制。

c. 导线布置方式的影响。导线垂直分布时场强横向分布的极值最大,水平布置时高场强区的覆盖范围最大,倒三角布置时场强的最大值和高场强区的覆盖范围均最小。与正三角形排列相比,倒三角形排列时场强降低效果明显。

d. 同塔双回。为了节省线路走廊和费用以及增加单位走廊宽度的输电容量,输电线路越来越多地采用同塔双回。双回同相序布置时场强最大,逆向序布置时场强最小,一回运行一回停运时场强介于两者之间。所以在采用双回路输电时,可以考虑采用逆序排列方式以降低地面附近场强。

e. 分裂导线结构以及尺寸的影响。分裂导线对线下场强的影响主要取决于导线的等效半径。由等效半径的计算公式可知,等效半径的大小主要取决于分裂间距、分裂根数和各分裂导线的半径。分裂间距、分裂根数和各分裂导线的半径是由线路的电晕起始电压以及负荷电流等技术经济因素决定的,减少分裂导线的根数虽能降低线下场强,但效果不明显,同时会增加可听噪声和无线电干扰水平。正如文献[12]所述,即使将等效半径缩小到原来的  $3/4$ ,场强变化也较小。

f. 高低压同杆并架。高低压输电线路同杆并架同时采用合适的相序时的电场强度较只有高压输电线时有明显降低。

无论是理论计算还是实地测量都表明架空线路附近的房屋会改变其周围空间电场的分布,同时会对其内部的工频电场有一定的屏蔽作用,屏蔽作用的大小和房屋结构有关。在英国,一些房屋位于输电线下,一系列的测量数据说明,在室内(用砖盖成,瓦和沥青盖做屋顶)的电场强度降低到无房屋时的  $1/10 \sim 1/20$ 。

## 2.5 工频电场的生态效应

工频电场的生态效应,可分为短时影响和长期影响(有的文献只将长期影响称为生态效应)。

短时影响主要是指人体对电击和电场的直接感受。较高的工频电场会使人有不舒服的感觉,这种不舒服的感觉在瞬态放电时尤为明显。1 个绝缘体(它有 1 个“悬浮”电位)与另 1 个接地的或是与带电设备有电气联系的物体,在稳定接触前的一瞬

间,若电位差足够大,就会产生 1 个小电火花,此时电流比稳态时高很多。在高压、超高压输电线下,对地绝缘的人接触接地设备、接地的人接触绝缘的设备等情况,如接触汽车、晾晒衣服的铁丝、雨伞等金属物体,这种暂态放电的现象较易发生,同时会伴有不同程度的刺痛感。这种暂态放电对人体造成的不舒服程度除了和人与物之间的电位差有关外,还与接触的部位、面积以及个人的心理、生理因素有关。相比于持续时间大于几毫秒的电流通过生物的影响已有相当准确的数据而言,国内外对持续时间短的脉冲电流通过生物的影响的研究则十分有限,虽有一些试验结果,但很难得到较为统一的数据与研究结论。武汉高压研究所进行的触摸尖顶金属伞杆的感受试验结果见表 2。一般认为,在  $3 \text{ kV/m}$  场强下,暂态电击是可以接受的。需要指出的是,虽然在超高压输电线路地面附近有可能存在每米几千伏的电场强度,因为人体内感应电流很小(微安数量级),而且人体内部电阻较低(几百欧姆),所以人体内部电场强度很少超过外部电场强度的百万分之一。

表 2 尖顶金属伞感受试验结果

电场强度/ $\text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$		3	5	9
无感受		46	17	4
感受程度(占总人数的百分数/%)	有感但不担心	54	0	0
	有轻微刺痛感	0	83	0
	有烦恼刺痛感	0	0	96

长期影响是指从生物学和病理学的角度来研究人或动物甚至植物长期经常性的在高场强区的反应,如行为表现、血象、生化指标、脏器病理变化等。近 30 a,国际上关于工频电场的生物效应(尤其是长期影响)研究非常热烈,研究方法主要是基于流行病学、动物实验和暴露量统计分析,所得出的结论存在很大的非一致性。由于缺乏对工频电磁场如何影响人体健康的基本机理的明确认识,尤其是微观机理尚不清楚,至今还未得出确定性结论。

## 2.6 工频电(磁)场限值

2002 年 10 月通过的《中华人民共和国环境影响评价法》,其中《建设项目环境保护管理办法》规定,500 kV 以下输变电工程在敏感区要编制环境影响报告书,500 kV 及以上,在非敏感区也要编制环境影响报告表。关于高压送变电设备的工频电、磁场限值目前尚无国家标准,但国家标准的研究工作

正在进行,且已经制订了“国标意见稿”。《500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/ T24 - 1998)推荐以 4 kV/m 作为居民区工频电场评价标准,推荐应用国际辐射保护协会制定的对公众全天辐射时的工频限值 0.1 mT 作为磁感应强度的评价标准。《110 ~ 500 kV 架空送电线路设计技术规范》(DL/ T 5092 - 1999)第 16.0.5 条规定:500 kV 送电线路跨越非长期住人的建筑物或邻近民房时房屋所在位置离地 1 m 处最大未畸变电场不得超过 4 kV/m。到目前为止,还没有工频电

磁场暴露限值的 IEC 标准或其它国际标准,只有国际非电离辐射防护委员会(ICNIPRP)向世界各国推荐了 1 个电磁场限值的导则。许多国家都有自己的工频电磁场暴露(包括职业暴露与公众暴露)标准,一些国际组织也建立了自己的导则作为各国确定标准的建议。应该指出,ICNIPRP 的限值既考虑了工频电磁场的短时效应也考虑了长期效应,是在进行了充分实验的前提下提出的阈值,也是目前世界上认可度比较高的限值标准。ICNIPRP 和一些先进工业国家的工频电磁场暴露限值见表 3。

表 3 有关国际组织和一些国家的工频电磁场暴露限值

标准	频率/ Hz	电场强度/ kV · m <sup>-1</sup>		磁感应强度/ μT	
		职业暴露	公众暴露	职业暴露	公众暴露
ICNIPRP(1998)	50	10	5	500	100
	60	8.3	4.2	420	83
美国 ACGIH(2005)	50/ 60	25	-	1 000	-
欧盟(1999)	50	10	5	500	100
德国(1996)	50	-	5	-	100
英国 NRPB(1993)	50	12	12	1 600	1 600
澳大利亚(1989)	50/ 60	10	5	500	100
日本 METI(1976)	50	3	3	-	-
中国国标意见稿(2002)	50	6	4	78	22

对于工频电磁场的测量,应严格按照《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》(DL/ T 998 - 2006)进行,在解决由电磁环境问题引发的纠纷时,这一点尤其重要。

## 2.7 降低工频电场强度的措施

从目前我国行业规范以及现场实测数据看,出于环保等原因,在某些情况下降低输电线路下方的工频电场是必须的。除了本文 2.4 中所述的选择合适的线路对地距离、相间距离以及相序等措施可以降低电场强度外,当线路投入运行后,可以采用在各相导线与地面之间架设屏蔽线的方法。需要指出的是屏蔽线根数的增加与场强的减小并不成比例,解决实际问题时,可以先用等效电荷法或模拟电荷法计算屏蔽效果,再从技术、经济和施工难度等多方面综合考虑,选择合适的屏蔽线的位置与数量。文献<sup>[13]</sup>的试验表明,在房顶采取架设接地围栏的方法也可以降低局部场强。

## 3 输电线路工频磁场

### 3.1 输电线路工频磁场的计算

输电线路工频磁场的精确计算需要用卡尔逊公

式来估算大地的不良导电效应,并且与导线所处高度相比这些镜像导线位于地下很深的距离。但在一般情况下,只考虑处于空间的导线不考虑它的镜像已足够精确。此时,电流为  $I$  的单根输电线产生的磁感应强度及其水平和垂直分量为:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} = \frac{\mu_0 I}{2\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}};$$

$$B_x = B \cos \theta = B \frac{y_1 - y}{r} = \frac{\mu_0 I (y_1 - y)}{2r^2};$$

$$B_y = B \sin \theta = B \frac{x - x_1}{r} = \frac{\mu_0 I (x - x_1)}{2r^2}。$$

上式中, $x_1$ 、 $y_1$  为导线的横坐标和纵坐标, $x$ 、 $y$  为计算点的横坐标和纵坐标, $\mu_0$  为空气磁导率, $r$  为导线与计算点的距离。

对三相导线,因相位不同,所形成的磁感应强度水平和垂直分量都必须分别考虑电流间的相角来合成。一般来说,合成矢量对时间的轨迹是 1 个椭圆。

### 3.2 输电线路工频磁场水平

图 2 为 500 kV 水平排列导线下方距地面 1.5 m 处磁感应强度分布,线路距地面高度为 14 m,相间距

为 13 m,导线为 4 ×LGJQ - 400,负荷电流为 1000 A。所有的计算以及数据处理均用 Matlab 软件完成。从图中可以看出磁感应强度的最大值出现在中心相导线的正下方。磁感应强度由水平和垂直分量共同决定,在一段区域内水平分量起主要作用,在另一段区域内垂直分量起主要作用。

从目前国内的实测数据看,500 kV 线路下方的最大工频磁感应强度不超过 10 μT,表 4 为某 500 kV 同杆双回线路附近工频磁场水平<sup>[1]</sup>。

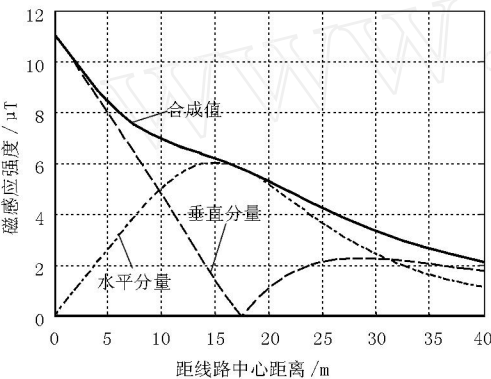


图 2 水平排列单回 500 kV 线路距地面 1.5 m 磁感应强度分布

表 4 500 kV 同杆双回线路附近工频磁场水平

	线路中心下	边导线下	边导线外 2 m	边导线外 5 m	边导线外 10 m
磁感应强度/μT	1.63	2.18	2.13	1.81	1.15

3.3 影响输电线下工频磁场强度的主要因素

输电线下空间磁感应强度的大小除与线路负荷电流大小有关外,还和导线的布置形式、几何位置等因素有关。在满足绝缘和无线电干扰水平的前提下,适当增加导线对地高度、采用适当的导线布置形式、减小相间距离、同塔两回时采用适当的相序等均能降低输电线下磁场强度。其中增加导线对地高度效果最为明显。

3.4 工频磁场的生态效应

从 20 世纪 60 年代,通过对从事电力系统工作的职业人群特别是变电站职工的调查,发现他们中失眠、头痛、呼吸道疾病比普通人群高,从而提出了工频电磁场健康影响的课题,国际上 20 多个国家先后组织了研究小组对工频磁场的生物效应进行研究。由于研究对象的工频磁场暴露量的不确定性,同时工频磁场的生物效应机理尚只有感应电流、瞬变效应等多种假设等原因,使得近几十年来对工频磁场的生物效应一直没有定论。从表 3 可知,与工

频电场限值相比,表中所列的国际组织和国家的工频磁场暴露限值的 inconsistency 更明显,这也体现出在工频磁场的生态效应这一问题上世界各国还存在很大分歧。目前学术界关于工频磁场流行病学研究的争论主要集中在工频磁场是否会增加癌症(特别是职业人群以及儿童)几率这一问题上。

3.5 降低工频磁场的措施

从目前的行业规范以及现场实测数据看,工频磁场的环保指标比输电线下实际情况有较大裕度,很少需要采取专门的措施降低磁场强度。为减小输电线路附近的工频磁场,可以在输电线路附近架设平行于输电线路的架空屏蔽导线,关于屏蔽效果的计算,文献[14]有详细的论述。

4 缓解因输变电工程电磁环境所引起的环保问题的对策

a. 输变电工程在规划、设计、建设和运行的各个阶段应严格按照相关法规、行业规范进行,并认真履行有关的环保程序,从而尽量避免因电磁环境问题而引起的纠纷并减小电力建设规划与城市建设规划的不同步性。

b. 规范测量手段,严格按照《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》(DL/T 998 - 2006)测量,对于确实超过有关环保标准或是行业标准的情况,应积极采取相应屏蔽措施。

c. 针对公众对输变电工程产生的电磁场的误解,电力部门和其他有关单位应加强科普宣传,正确引导公众理解工频电、磁场,尤其是与高频电磁辐射的区别,消除公众的担忧甚至恐慌。

参考文献:

[1] 国家电网公司基建部. 电网建设新技术[M]. 北京:中国电力出版社,2005.  
[2] 邵方殷译. 输电系统产生的电场和磁场[M]. 北京:水利电力出版社,1984.  
[3] 孙朋,张晓冬. 高压线工频电场数学模型及仿真[J]. 电力建设,2005,26(4):39 - 42,50.  
[4] 卢铁兵,肖刊,张波等. 超高压输电线路铁塔附近的三维工频电场计算[J]. 高电压技术,2001,27(3):24 - 26.  
[5] 俞集辉,周超. 复杂地势下超高压输电线路的工频电场[J]. 高电压技术,2006,32(1):18 - 20,44.  
[6] 甘艳,阮江军,郭雄. 有限元法分析高压架空线路附近电场分布[J]. 高电压技术,2006,32(8):52 - 55.  
[7] 黄道春,阮江军,余世锋等. 特高压紧凑型输电线路工

- 频电场强度计算[J]. 高电压技术, 2006, 32(7): 69 - 71.
- [8] 张家利, 姜震, 王德忠. 高压架空输电线下工频电场的数学模型[J]. 高电压技术, 2001, 27(3): 20 - 21.
- [9] 万保权, 关焕梅, 张广州. 500 kV 线路跨越三峡船闸的电场安全[J]. 高电压技术, 2001, 27(3): 17 - 18.
- [10] 王勤, 杨敬梅, 张欣等. 西北 750 kV 输电线路工频电场模拟试验研究[J]. 高电压技术, 2005, 31(5): 34 - 36.
- [11] 孙涛, 万保权. 500 kV 变电站电磁环境参数测量[J]. 高电压技术, 2006, 32(6): 51 - 55.
- [12] 陈仕姜, 林韩, 焦景惠等. 500 kV 超高压输电线路工频电场分布及控制研究[J]. 福建电力与电工, 2005, 25(3): 11 - 14.
- [13] 蒋红, 焦景惠, 林志和等. 超高压线路工频电场超限值对策的研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(8): 56 - 58, 65.
- [14] 王洪新, 贺景亮. 电力系统电磁兼容[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [责任编辑: 任云丽]

(上接第 4 页) 不小于 0.5 时, 说明该企业的可持续发展能力更接近理想水平, 反之当评价对象的综合评价价值小于 0.5, 则说明该电网企业的可持续发展能力更接近非理想水平。为此, 也可以这么认为, 可持续发展能力综合评价价值在 0.5 之上的电网企业处在可持续发展水平上, 可持续发展能力综合评价价值在 0.5 之下的电网企业处在不可可持续发展水平上。

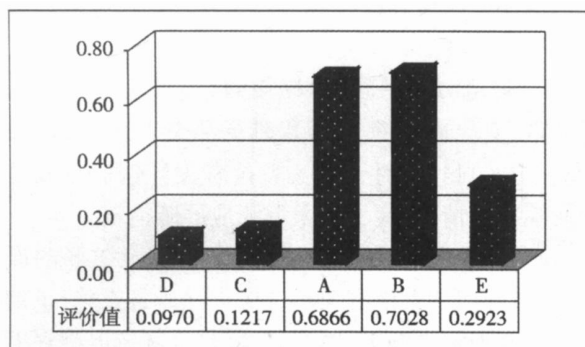


图 1 5 大电网企业可持续发展综合评价对比

上述 5 家电网企业, 只有 B、A 电力公司处在可持续发展水平上, 其它 3 家电网企业都处在不可可持续发展水平上, 需进一步做好可持续发展工作。

#### 4 结论

衡量电网企业可持续发展能力最直接的办法就是构建可持续发展指标评价体系, 运用正确的评价模型对实际数据进行分析推理, 可以指出电网企业是否处在可持续发展水平之上。算例证明, 本文所设计的可持续发展指标评价体系能够对电网

公司的可持续发展能力进行合理的评估, 对电网公司可持续发展战略的制定有重要的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] Shan Feng, Li D. Xu. Decision support for fuzzy comprehensive evaluation of urban development [J]. Fuzzy sets and systems, Fuzzy Sets and Systems, 1999, 105(1): 1 - 120.
- [2] 郭亚军. 现代综合评价方法理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 姜晔, 褚志宇. 层次熵评价决策模型在航道网规划综合评价方面的应用[J]. 水运工程, 2001(6): 30 - 34.
- [4] 宫长亮. 基于熵权多级模糊综合评价的虚拟企业风险研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2005.
- [5] Belton, V., T. Gear. On a short - coming of Saaty's method of analytic hierarchies [J]. Omega (11): 228 - 230.
- [6] Thomas L. Saaty. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/ network processes [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 168(2): 557 - 570.
- [7] 郑健超. 中国实现可持续能源供应的战略选择[J]. 中国电力, 2005, 38(9): 1 - 5.
- [8] 王志轩, 叶雷. 发展循环经济 促进电力工业可持续发展[J]. 中国电力, 2004, 37(11): 1 - 5.
- [9] 胡兆光. 电力可持续发展的基准限研究[J]. 中国电力, 2004, (4): 1 - 4.
- [10] 叶雷. 2020 年中国电力可持续发展战略研究[J]. 中国电力, 2003, 36(10): 1 - 72.

[责任编辑: 王 琨]