

# Research on Reliability Growth Models Based on Polynomial of Power Supply System

Bin Zhao<sup>1</sup>, Qing Shi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Grid Shanghai Shibei Electric Power Supply Company, Shanghai

<sup>2</sup>State Grid Shanghai Maintenance Company, Shanghai

Email: 422190079@qq.com

Received: Sep. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2018; published: Sep. 25<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

This paper proposes a reliability growth model and verification method based on polynomial for power system reliability. The statistical formula of the power supply reliability rate of the power supply system and the calculation formula of the customer interruption coefficient are introduced. We applying polynomial fitting modeling and fitting test method to establish a polynomial-based power supply reliability rate and customer interruption coefficient growth models for power supply system. Based on the analysis of power supply reliability statistics, the column graph is used to analyze the year-on-year change trend of power supply reliability rate for State Grid and its subordinate regional power grid city 10 kV power supply system. The calculation results of the customer interruption coefficient for State Grid and its subordinate regional power grid city 10 kV power supply system, and the pending parameter calculation and fitting test results for power supply reliability rate and customer interruption coefficient growth model are given in this paper. The results show that the power failure factor of users in urban 10 kV power supply system is decreasing, and the reliability of power supply is increasing. The variation law of power supply reliability rate and customer interruption coefficient is in accordance with the reliability growth model based on polynomial.

## Keywords

Power Supply System, Reliability, Power Supply Reliability, Reliability Growth Model

---

# 基于多项式的供电系统可靠性增长模型研究

赵彬<sup>1</sup>, 史清<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网上海市电力公司市北供电公司, 上海

<sup>2</sup>国网上海市电力公司检修公司, 上海

Email: 422190079@qq.com

收稿日期: 2018年9月5日; 录用日期: 2018年9月18日; 发布日期: 2018年9月25日

## 摘要

本文提出了供电系统可靠性基于多项式的可靠性增长模型和验证方法, 介绍了供电系统用户供电可靠率的统计公式和用户停电系数的计算公式; 应用多项式拟合建模以及拟合检验方法, 建立供电系统的基于多项式的供电可靠率以及用户停电系数的增长模型; 在分析供电可靠率统计数据基础上, 采用柱形图分析了全国城市10 kV与国家电网公司及其下属区域电网城市10 kV供电系统的供电可靠率的逐年变化趋势; 给出了全国城市10 kV与国家电网公司及其下属区域电网城市10 kV供电系统的用户停电系数的计算结果以及供电可靠率和用户停电系数增长模型待定参数计算与拟合检验结果。结果表明, 城市10 kV供电系统的用户停电系数呈下降趋势、供电可靠率呈增长趋势, 全国城市10 kV与国家电网公司及其下属区域电网城市10 kV的供电可靠率与用户停电系数的变化规律符合基于多项式的可靠性增长模型。

## 关键词

供电系统, 可靠性, 供电可靠率, 可靠性增长模型

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

供电系统是电力系统中从输电系统向电力用户传送电能的重要组成部分, 供电系统的用户供电可靠性, 直接体现供电系统对用户持续供电的能力。供电系统用户供电可靠性的统计和评价, 是电力可靠性管理的一项重要工作。

在供电系统可靠性的统计和评价方面, 1980年, 美国电气与电子工程师学会 IEEE 制定了第一个供电系统可靠性的行业推荐标准 IEEEstd-493-1980《可靠的工业与商用电力系统设计的推荐措施》[1], 以后大约5年修订一次。美国有几千家供电公司, IEEEstd-493的发布为各公司制定供电系统可靠性准则提供了理论方法和基础数据。2000年, 美国电力研究院 EPRI (Electric Power Research Institute)发布了供电系统可靠性研究报告, 给出了基于设备端和用户端统计供电系统可靠性指标的定义和方法[2]。2012年, IEEE颁布的标准 IEEE std 1366TM-2012《IEEE 配电系统可靠性指标导则》[3], 应用于供电系统可靠性的统计和评价。

我国从1994年起, 电力可靠性管理中心每年召开新闻发布会, 定期发布上一年度全国用户供电可靠性指标, 有关供电系统用户供电可靠性指标的统计结果列入“中国电力可靠性年报”[4]。2003年, 电力可靠性管理中心制定了 DL/T836《供电系统用户供电可靠性评价规程》[5], 应用于供电系统可靠性的统计和评价。电力可靠性管理中心每年统计并发布用户供电可靠性指标, 各区域电网和主要城市都面临可靠性不断增长的需求。在供电系统的可靠性的统计和评价方面, 国内侧重于停电原因分析, 提出可靠性提升措施, 以促进供电系统用户供电可靠性增长。但是, 在供电系统用户供电可靠性分析方面, 缺少量化的可靠性增长模型。

供电系统可靠性管理的重要目标之一, 就是促进供电系统的可靠性增长。国家标准 GB/T2900.13《电术术语可信性与服务质量》[6]中给出了可靠性(Reliability Growth)增长的定义为: “以产品的可靠性量度随时间逐步提供为特征的一种过程”。表示供电系统可靠性增长的数学模型称为可靠性增长模型(reliability growth model)。对供电系统用户供电可靠性进行目标管理, 急需开展供电系统用户供电可靠性增长模型和验证方法研究。通过研究供电系统用户供电可靠性的增长模型和验证方法, 分析供电系统用户供电可靠性的变化趋势, 对于提高供电系统用户供电可靠性水平具有十分重要的意义, 值得深入研究。

## 2. 供电系统可靠性的统计和评价指标

### 2.1. 供电可靠率的计算公式

根据 DL/T836-2012《供电系统用户供电可靠性评价规程》[5], 对供电系统可靠性进行衡量和评价的主要评价指标为供电可靠率  $R_{SI}$ , 其计算公式为。

$$R_{SI} = 1 - \frac{t_{AIHCl}}{t_{PH}} \quad (1)$$

式中,  $t_{AIHCl}$  为用户平均停电时间,  $t_{PH}$  为计期间小时数。

### 2.2. 供电系统用户停电系数的计算公式

将计算供电可靠率的计算公式(1)表示为

$$R_{SI} = \frac{t_{PH} - t_{AIHCl}}{(t_{PH} - t_{AIHCl}) + t_{AIHCl}} = \frac{1}{1 + \rho_{R1}} \quad (2)$$

式(2)中,  $\rho_{R1}$  的计算公式为

$$\rho_{R1} = \frac{t_{AIHCl}}{t_{PH} - t_{AIHCl}} = \frac{1 - R_{SI}}{R_{SI}} \quad (3)$$

借鉴输变电设施检修系数的概念, 把  $\rho_{R1}$  称为供电系统的用户停电系数, 其计算公式的分子  $t_{AIHCl}$  为供电系统用户平均停电时间, 分母  $(t_{PH} - t_{AIHCl})$  可以理解为供电系统的用户平均供电时间。用户停电系数  $\rho_{R1}$  物理意义明确, 表示供电系统的用户平均停电时间占供电系统平均供电时间的比例,  $\rho_{R1}$  数值越小则表明供电系统用户可靠性越高,  $\rho_{R1}$  呈减小趋势表示供电系统用户可靠性呈增长趋势。

在供电可靠性有所改进的情况下, 供电可靠率  $R_{SI}$  以及相应的用户停电系数  $\rho_{R1}$ , 可以处理为时间  $t$  的函数。时间为第  $t$  年时, 用户停电系数  $\rho_{R1}(t)$  可表达为以下公式

$$\rho_{R1}(t) = \frac{1 - R_{SI}(t)}{R_{SI}(t)} \quad (4)$$

式中,  $R_{SI}(t)$  为第  $t$  年  $R_{SI}$  的统计值。

## 3. 供电系统可靠性基于多项式的数学建模

### 3.1. 基于多项式的可靠性增长模型

供电系统可靠性通常是连续函数, 而任一连续函数都可用多项式来逼近。在实际问题中, 不论变量  $y$  与其它变量的关系如何, 在相当宽的范围内, 总可以用多项式来拟合[7]。采用多项式表示供电系统可靠性的增长模型, 其特点可以拟合复杂数据变化曲线。采用  $y$  表示供电系统的供电可靠率  $R_{SI}$  或用户停电系数  $\rho_{R1}$ , 得出供电系统可靠性增长模型的 5 次多项式为

$$y = C_5x^5 + C_4x^4 + C_3x^3 + C_2x^2 + C_1x + C_0 \quad (5)$$

$$x = t \quad (6)$$

式中,  $y$  为某一年份  $t$  的可靠性数据,  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  和  $C_5$  为待定系数。应用 Excel 办公软件, 进行一元 5 次多项式回归分析, 可以确定 5 次多项式数学模型的待定参数  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  和  $C_5$ 。

### 3.2. 多项式可靠性增长模型的拟合检验方法

在工程应用领域, 通常使用相关指数  $R^2$  来衡量可靠性增长模型拟合可靠性统计数据的优劣[8]。 $R^2$  越接近 1, 所建可靠性增长模型拟合可靠性统计数据的效果越好, 拟合精度越高。相关指数  $R^2$  定义为

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_j)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (7)$$

式中,  $y_i$  为不同年份可靠性数据的统计值,  $\bar{y}$  为不同年份可靠性数据的统计值的平均值,  $y_j$  按照可靠性增长模型得到的计算值。

### 3.3. 供电可靠率基于多项式的增长模型

根据式(5), 令  $y = R_{S1}(t)$ ,  $x = t$ , 得出供电可靠率  $R_{S1}$  基于 5 次多项式的可靠性增长模型为

$$R_{S1}(t) = C_5t^5 + C_4t^4 + C_3t^3 + C_2t^2 + C_1t + C_0 \quad (8)$$

式中,  $R_{S1}(t)$  为某一年份  $t$  供电可靠率的数值。

### 3.4. 用户停电系数基于多项式的增长模型

参照式(5), 令  $y = \rho_{R1}(t)$ ,  $x = t$ , 得出供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于 5 次多项式的可靠性增长模型为

$$\rho_{R1}(t) = c_5t^5 + c_4t^4 + c_3t^3 + c_2t^2 + c_1t + c_0 \quad (9)$$

式中,  $\rho_{R1}(t)$  为某一年份  $t$  用户停电系数  $\rho_{R1}$  的数值,  $c_0, c_1, c_2, c_3, c_4$  和  $c_5$  为待定系数。

### 3.5. 用户停电系数为多项式的供电可靠率的计算公式

把供电系统用户停电系数基于多项式增长模型式(9)代入式(2), 得出供电系统供电可靠率  $R_{S1}(t)$  的计算公式为

$$R_{S1}(t) = \frac{1}{1 + \rho_{R1}(t)} = \frac{1}{1 + c_5t^5 + c_4t^4 + c_3t^3 + c_2t^2 + c_1t + c_0} \quad (10)$$

## 4. 全国城市 10 kV 用户供电可靠性为多项式增长模型的验证

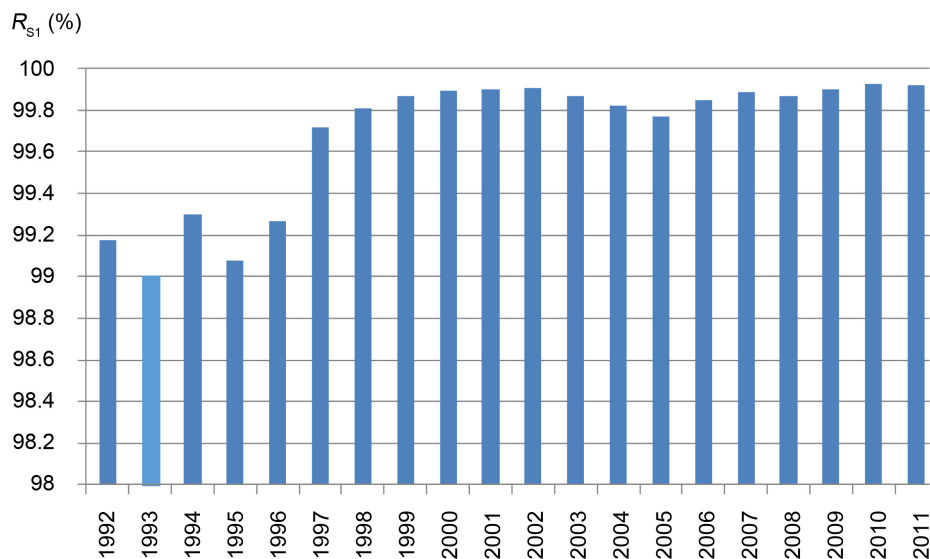
### 4.1. 全国城市 10 kV 供电可靠率的统计结果

在对供电系统可靠性统计数据跟踪与调研的基础上, 根据文献[4]中发布的电力可靠性指标, 得出全国城市用户的供电可靠性指标的统计结果。表 1 给出了 1992~2011 年全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$ 。

利用表 1 数据, 得出 1999~2011 年全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  逐年变化的柱形图, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, 全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  呈增长趋势。

**Table 1.** Statistical results of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of Chinese cities  
**表 1.** 全国城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的统计结果

序号	年份	$R_{S1}$ (%)	序号	年份	$R_{S1}$ (%)
1	1992	99.177	11	2002	99.907
2	1993	99.006	12	2003	99.866
3	1994	99.299	13	2004	99.820
4	1995	99.075	14	2005	99.766
5	1996	99.264	15	2006	99.849
6	1997	99.717	16	2007	99.882
7	1998	99.810	17	2008	99.863
8	1999	99.863	18	2009	99.896
9	2000	99.889	19	2010	99.923
10	2001	99.897	20	2011	99.920



**Figure 1.** Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of Chinese cities  
**图 1.** 全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势

#### 4.2. 全国城市 10 kV 供电可靠率基于多项式增长模型的验证结果

应用本文建立的供电可靠率基于多项式的可靠性增长模型以及拟合检验方法, 定量分析表 1 给出的全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势。1992 年至 2008 年以及 1992 年至 2011 年的供电可靠率  $R_{S1}$  基于多项式的增长模型的验证结果分别列于表 2。由于  $R^2 > 0.9$ , 表明全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的变化规律符合式(8)表示的可靠性增长模型。

#### 4.3. 全国城市 10 kV 用户停电系数的计算结果

依据表 1 给出的全国城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的统计结果, 应用式(4), 可以得出全国城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的计算结果列于表 3。由表 3 可以看出, 从 1992 年至 2011 年, 我国城市 10 kV 用户的供电系统用户停电系数  $\rho_{R1}$  从 0.00830 下降到 0.00080, 全国城市 10 kV 用户的  $\rho_{R1}$  呈下

**Table 2.** Verification results of growth model of service reliability  $R_{S1}$  based on polynomial for customers with 10 kV of Chinese cities**表 2.** 全国城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  基于多项式增长模型的验证结果

年份范围	1992~2008	1992~2011
$C_0$	0.9966690158	0.9960802178
$C_1$	-0.0067586000	-0.0060451212
$C_2$	0.0022993763	0.0020502011
$C_3$	-0.0002710117	-0.0002358350
$C_4$	0.0000135820	0.0000114418
$C_5$	-0.0000002467	-0.0000002001
$R^2$	0.93	0.94

**Table 3.** Calculation results of customer interruption coefficient  $\rho_{R1}$  for power supply system with 10 kV of Chinese cities**表 3.** 全国城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的计算结果

序号	年份	$\rho_{R1}$	序号	年份	$\rho_{R1}$
1	1992	0.00830	11	2002	0.00093
2	1993	0.01004	12	2003	0.00134
3	1994	0.00706	13	2004	0.00180
4	1995	0.00934	14	2005	0.00235
5	1996	0.00741	15	2006	0.00151
6	1997	0.00284	16	2007	0.00118
7	1998	0.00190	17	2008	0.00137
8	1999	0.00137	18	2009	0.00104
9	2000	0.00111	19	2010	0.00077
10	2001	0.00103	20	2011	0.00080

降趋势, 表明供电系统的供电可靠率  $R_{S1}$  呈增长趋势。

#### 4.4. 全国城市 10 kV 用户停电系数基于多项式增长模型的验证结果

应用本文建立的供电可靠性基于多项式的可靠性增长模型以及拟合检验方法, 定量分析表 3 给出的全国城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的变化趋势。1992 年至 2008 年以及 1992 年至 2011 年的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于多项式的可靠性增长模型的验证结果分别列于表 4 和表 5。由于  $R^2 > 0.9$ , 表明全国城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的变化规律符合式(9)表示的可靠性增长模型。

### 5. 国家电网城市 10 kV 用户供电可靠性为多项式增长模型的验证

#### 5.1. 国家电网城市 10 kV 供电可靠率的统计结果

在对供电系统可靠性统计数据跟踪与调研的基础上, 根据文献[4]中发布的电力可靠性指标, 得出国家电网用户供电可靠性指标的统计结果。表 5 给出了 2005~2012 年国家电网公司及其下属区域电网城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的统计结果。

利用表 5 数据, 得出 2005~2012 年国家电网公司及其下属区域电网城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$

**Table 4.** Verification results of growth model of customer interruption coefficient  $\rho_{R1}$  based on polynomial for power supply system with 10 kV of Chinese cities**表 4.** 全国城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于多项式增长模型的验证结果

年份范围	1992~2008	1992~2011
$c_0$	0.0033468696	0.0039541444
$c_1$	0.0068373910	0.0061011089
$c_2$	-0.0023273574	-0.0020700253
$c_3$	0.0002745210	0.0002381611
$c_4$	-0.0000137707	-0.0000115564
$c_5$	0.0000002504	0.0000002021
$R^2$	0.93	0.94

**Table 5.** Statistical results of service reliability  $R_{S1}$  (%) for customers with 10 kV of State Grid cities**表 5.** 国家电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  (%) 的统计结果

年份	国家电网公司	华北区域电网	东北区域电网	华东区域电网	华中区域电网	西北区域电网
2005	99.763	99.802	99.851	99.836	99.597	99.684
2006	99.839	99.848	99.845	99.902	99.817	99.720
2007	99.881	99.890	99.870	99.926	99.853	99.769
2008	99.867	99.905	99.889	99.929	99.744	99.805
2009	99.903	99.937	99.910	99.937	99.900	99.833
2010	99.933	99.950	99.915	99.948	99.929	99.870
2011	99.921	99.957	99.925	99.957	99.940	99.905
2012	99.956	99.966	99.936	99.973	99.946	99.921

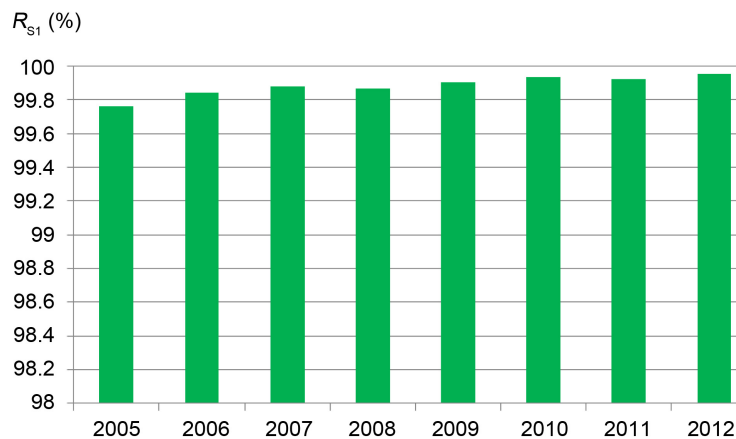
逐年变化的柱形图, 如图 2~7 所示。从图 2~7 可以看出, 国家电网公司及其下属区域电网 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的可靠性呈增长趋势。

## 5.2. 国家电网城市 10 kV 供电可靠率基于多项式增长模型的验证结果

应用本文建立的供电可靠率基于多项式的可靠性增长模型以及拟合检验方法, 定量分析表 5 给出的国家电网公司及其下属区域电网的城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势。2005 年至 2010 年以及 2005 年至 2012 年的供电可靠率  $R_{S1}$  基于多项式的增长模型的验证结果分别列于表 6 和表 7。由于  $R^2 > 0.9$ , 表明国家电网公司及其下属区域电网的国家电网公司及其下属区域电网的城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化规律符合式(8)表示的可靠性增长模型。

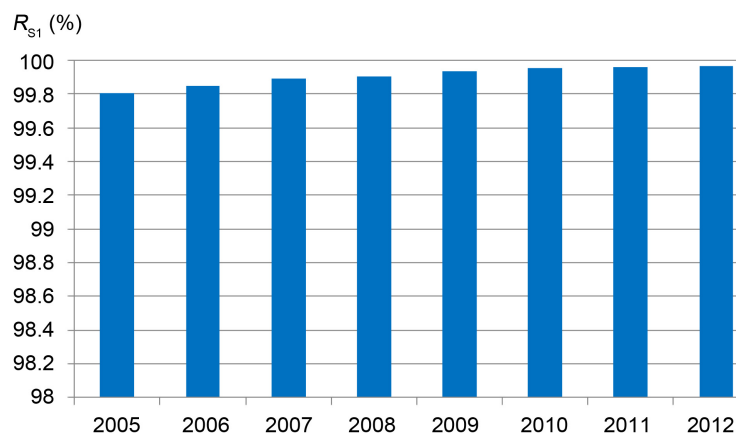
## 5.3. 国家电网城市 10 kV 用户停电系数的计算结果

依据表 5 给出的国家电网公司及其下属区域电网城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  的统计结果, 应用式(4), 可以得出国家电网公司及其下属区域电网城市 10 kV 用户供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的计算结果列于表 8。由表 8 可知, 从 2005 年至 2012 年, 国家电网公司及其下属区域电网的供电系统用户停电系数  $\rho_{R1}$  不断减小, 国家电网和区域电网城市 10 kV 用户的  $\rho_{R1}$  呈下降趋势, 表明供电系统的供电可靠率  $R_{S1}$  呈增长趋势。



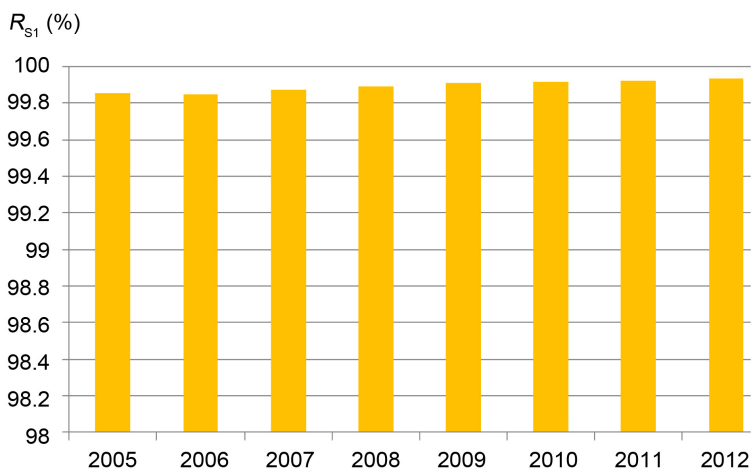
**Figure 2.** Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of State Grid cities

**图 2.** 国家电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势



**Figure 3.** Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of North China Grid cities

**图 3.** 华北区域电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势



**Figure 4.** Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of North-east China Grid cities

**图 4.** 东北区域电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势



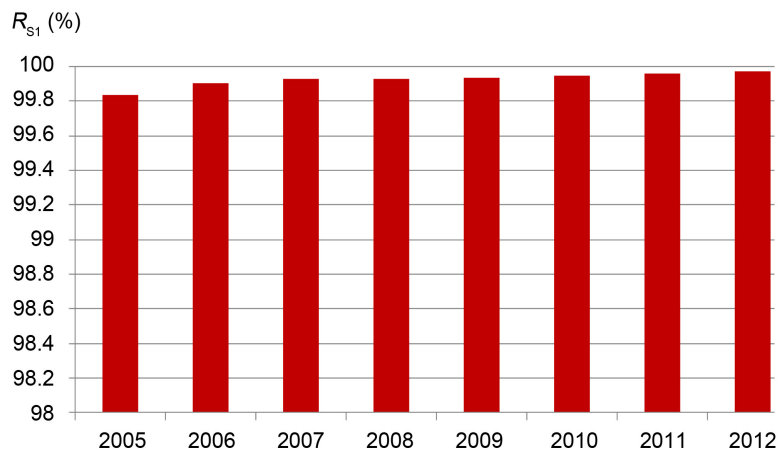


Figure 5. Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of East China Grid cities

图 5. 华东区域电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势

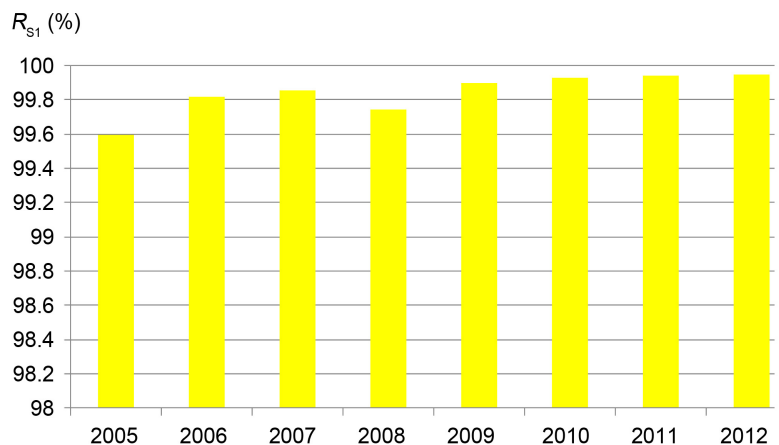


Figure 6. Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10 kV of Central China Grid cities

图 6. 华中区域电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势

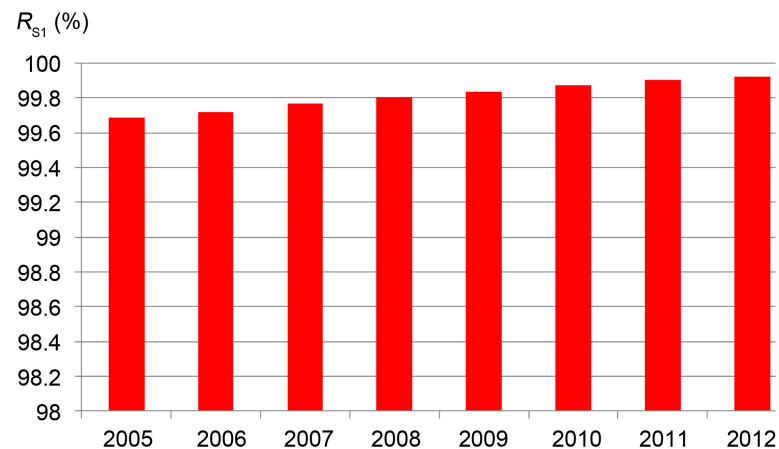


Figure 7. Trend of service reliability  $R_{S1}$  for customers with 10kV of Northwest China Grid cities

图 7. 西北区域电网城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  的变化趋势

**Table 6.** Verification results of growth model of service reliability  $R_{S1}$  based on polynomial for customers with 10 kV of State Grid cities from 2005 to 2010**表 6.** 2005 年至 2010 年国家电网城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  基于多项式增长模型的验证结果

单位	国家电网	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域
$C_0$	1.0009299999	0.9998899999	1.0004100000	0.9974500000	1.0069800000	0.9973700000
$C_1$	-0.0084216660	-0.0046540000	-0.0037620000	0.0008173333	-0.0288376667	-0.0013913333
$C_2$	0.0073541667	0.0039433334	0.0025125000	0.0002716667	0.0260941667	0.0011333333
$C_3$	-0.0026241667	-0.0013587500	-0.0007520833	-0.0002195833	-0.0097895833	-0.0003070833
$C_4$	0.0004158333	0.0002116667	0.0001075000	0.0000433333	0.0016208333	0.0000366667
$C_5$	-0.0000241667	-0.0000122500	-0.0000059167	-0.0000027500	-0.0000977500	-0.0000015833
$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

**Table 7.** Verification results of growth model of service reliability  $R_{S1}$  based on polynomial for customers with 10 kV of State Grid cities from 2005 to 2012**表 7.** 2005 年至 2012 年国家电网城市 10 kV 用户的供电可靠率  $R_{S1}$  基于多项式增长模型的验证结果

单位	国家电网	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域
$C_0$	0.9944275001	0.9971225000	0.9993375000	0.9966400000	0.9840900000	0.9972200000
$C_1$	0.0051922861	0.0012202780	-0.0014545484	0.0025123403	0.0199545408	-0.0011112926
$C_2$	-0.0025466040	-0.0004094682	0.0007719100	-0.0009601748	-0.0102653380	0.0009639423
$C_3$	0.0006049170	0.0000918400	-0.0001604414	0.0001818473	0.0024044376	-0.0002649752
$C_4$	-0.0000675102	-0.0000104618	0.0000150714	-0.0000167016	-0.0002586131	0.0000324854
$C_5$	0.0000028494	0.0000004519	-0.0000005288	0.0000006026	0.0000104038	-0.0000014712
$R^2$	0.97	0.99	0.99	0.99	0.93	0.99

**Table 8.** Calculation results of customer interruption coefficient  $\rho_{R1}$  for power supply system with 10 kV of State Grid cities**表 8.** 国家电网城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的计算结果

年份	国家电网公司	华北区域电网	东北区域电网	华东区域电网	华中区域电网	西北区域电网
2005	0.00238	0.00198	0.00149	0.00164	0.00405	0.00317
2006	0.00161	0.00152	0.00155	0.00098	0.00183	0.00281
2007	0.00119	0.00110	0.00130	0.00074	0.00147	0.00232
2008	0.00133	0.00095	0.00111	0.00071	0.00257	0.00195
2009	0.00097	0.00063	0.00090	0.00063	0.00100	0.00167
2010	0.00067	0.00050	0.00085	0.00052	0.00071	0.00130
2011	0.00079	0.00043	0.00075	0.00043	0.00060	0.00095
2012	0.00044	0.00034	0.00064	0.00027	0.00054	0.00079

#### 5.4. 国家电网城市 10 kV 用户停电系数基于多项式增长模型的验证结果

应用本文建立的用户停电系数基于多项式的增长模型以及拟合检验方法, 定量分析表 8 给出的国家电网公司及其下属区域电网的城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的变化趋势。2005 年至 2010 年以及 2005 年至 2012 年的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于多项式的增长模型的验证结果分别列于表 9 和表 10。由于

**Table 9.** Verification results of growth model of customer interruption coefficient  $\rho_{R1}$  based on polynomial for power supply system with 10 kV of State Grid cities from 2005 to 2010**表 9.** 2005 年至 2010 年国家电网城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于多项式增长模型的验证结果

单位	国家电网	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域
$c_0$	-0.0009281742	0.0001116694	-0.0004132697	0.0025572496	-0.0069822590	0.0026370627
$c_1$	0.0084353677	0.0046612476	0.0037728128	-0.0008239476	0.0289067835	0.0013996076
$c_2$	-0.0073688265	-0.0039505198	-0.0025196442	-0.0002692337	-0.0261709045	-0.0011405106
$c_3$	0.0026298025	0.0013613305	0.0007541855	0.0002191832	0.0098208324	0.0003092058
$c_4$	-0.0004167612	-0.0002120731	-0.0001077934	-0.0000433071	-0.0016262293	-0.0000369451
$c_5$	0.0000242219	0.0000122736	0.0000059324	0.0000027497	0.0000980836	0.0000015969
$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99

**Table 10.** Verification results of growth model of customer interruption coefficient  $\rho_{R1}$  based on polynomial for power supply system with 10 kV of State Grid cities from 2005 to 2012**表 10.** 2005 年至 2012 年国家电网城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  基于多项式增长模型的验证结果

单位	国家电网	华北区域	东北区域	华东区域	华中区域	西北区域
$c_0$	0.0055886449	0.0028844277	0.0006620884	0.0033676470	0.0159874213	0.0027895448
$c_1$	-0.0052087406	-0.0012241881	0.0014592663	-0.0025198012	-0.0200557216	0.0011145117
$c_2$	0.0025540527	0.0004105461	-0.0007745098	0.0009632380	0.0103159511	-0.0009675861
$c_3$	-0.0006065599	-0.0000920123	0.0001610186	-0.0001824586	-0.0024160659	0.0002660000
$c_4$	0.0000676828	0.0000104767	-0.0000151296	0.0000167604	0.0002598519	-0.0000326084
$c_5$	-0.0000028563	-0.0000004525	0.0000005311	-0.0000006047	-0.0000104535	0.0000014766
$R^2$	0.97	0.99	0.99	0.99	0.93	0.99

$R^2 > 0.9$ , 表明国家电网城市 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的变化规律符合式(9)表示的可靠性增长模型。

## 6. 结论

1) 采用柱形图表示的全国城市 10 kV 与国家电网公司及其下属区域电网的城市 10 kV 用户供电可靠率  $R_{S1}$  变化趋势, 表明全国城市与国家电网城市 10 kV 用户停电系数  $\rho_{R1}$  呈下降趋势、供电可靠率  $R_{S1}$  呈增长趋势。

2) 全国城市 10 kV 与国家电网公司及其下属区域电网城市 10 kV 供电可靠率增长模型的定量分析和验证结果, 表明供电系统的供电可靠率变化规律符合文中所建的供电可靠率基于多项式的可靠性增长模型。

3) 全国城市 10 kV 与国家电网公司及其下属区域电网 10 kV 供电系统的用户停电系数  $\rho_{R1}$  的多项式建模和拟合检验结果, 表明供电系统的用户停电系数变化规律符合本文建立的用户停电系数基于多项式的增长模型。

4) 文中所建供电系统的供电可靠率  $R_{S1}$  和用户停电系数  $\rho_{R1}$  分别为多项式的增长模型, 可以表征全国城市 10 kV 与国家电网公司及其下属区域电网的城市 10 kV 用户供电系统的供电可靠性的变化趋势和可靠性增长规律。

## 参考文献

- [1] IEEE Transmission and Distribution Committee (1997) IEEEStd-493-1980. Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Standards Association, New York.
- [2] Samotyj, M. (2006) Guideline for Reliability Assessment and Reliability Planning-Evaluation of Tools for Reliability Planning. EPRI, California.
- [3] IEEE Transmission and Distribution Committee (2012) IEEE Std 1366TM-2012. IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. IEEE Standards Association, New York.
- [4] 电力可靠性管理中心. 中国电力可靠性管理年报[R]. 北京: 中国电力企业联合会, 2006.
- [5] 国家能源局. DL/T836-2012 供电系统用户供电可靠性评价规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T2900.13-2008/IEC60050(191): 1990. 电工术语可信性与服务质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [7] 同济大学数学教研室. 线性代数(第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [8] 方开泰, 全辉, 陈庆云. 实用回归分析[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 22-151.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)