

# 基于有向聚类的输变电工程造价 风险因素分析

李国文<sup>1</sup> 刘迪<sup>1</sup> 罗海红<sup>2</sup>

(1. 国网江苏省电力公司, 南京 210000;  
2. 江苏科能电力工程咨询有限公司, 南京 210000)

**摘要** 识别输变电工程项目造价风险的关键因素是有效控制其潜在风险损失的前提。当前输变电工程项目造价控制中存在诸多风险, 且风险对项目造价的影响程度不尽相同。为了更好地对输变电工程项目造价风险进行有效控制, 本文以问卷调查的形式收集数据, 运用有向聚类分析方法, 通过实证分析对输变电工程造价的各种风险因素进行聚类, 归纳总结出了相对突出的风险因素。对这些风险因素的提炼, 有助于输变电工程造价人员理解, 并缓解造价的风险。

**关键词:** 输变电工程; 造价风险; 有向聚类分析; 关键风险

## The directed cluster analysis of cost risk on power transmission project

*Li Guowen<sup>1</sup> Liu Di<sup>1</sup> Luo Haihong<sup>2</sup>*

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210000;  
2. Jiangsu Keneng to Power Engineering Consulting Co., Ltd, Nanjing 210000)

**Abstract** Identifying the key factor in power transmission project cost risk is a prerequisite for effective control of their potential risk of loss. There are many risks in current power transmission project cost control, and the degree of impact on the project cost risk is not same. In order to make more effective control of power transmission project risk cost, using questionnaire and directed cluster analysis method, through the empirical analysis to clustering various risk factors of transmission project cost, summarized the risk factors which are relative prominence. Refining these risk factors will help the cost staff of power transmission project to understand and mitigate the risk of cost.

**Keywords:** power transmission project; cost risk; directed cluster analysis; key risk

输变电工程建设<sup>[1]</sup>是一项关系国计民生的基础性建设工程, 近些年, 得到了国家的高度重视和有关部门的大力支持, 输变电工程建设也显示出了前所未有的大好形势。2016年, 全国发电装机容量达到16.5亿kW, 发电量达到5.99万亿kW·h, 电网220kV及以上线路回路长度达到64.2万km, 220kV及以上变电容量达到34.2亿kVA, 电网规模和发电能力位列世界第一。随着“一带一路”战略的推进实施, 国家将在公路、铁路、油气管道、跨界桥梁、输电线路、光缆传输等领域进行大量投资建设。“一带一路”必将大幅度推动国家电力基础设施建设, 给国内电力企业带来强劲增长点。

电网建设的突飞迅猛发展也凸显了当前电网建

设过程中存在一些问题, 即输变电工程建设过程呈现出投资规模大、建设工期长、线路跨越地域广、装备和设备技术水平高、社会影响面大等特点, 导致项目规划方案产生多样化<sup>[2]</sup>, 造价管理面临复杂多变的环境和各种各样的不确定因素。因此, 对于输变电工程的造价风险研究具有非常重要的理论和实践意义。

## 1 文献综述

针对电网项目发展过程中的风险影响因素, 国内学者郭玥<sup>[3]</sup>对电网公司EMC项目运作中的潜在风险进行系统分类, 构建了一个项目风险管理框架; 沈鑫<sup>[4]</sup>提出动态稳定风险评估模型, 试图分析电网

项目风险发生的概率和量化电网项目风险发生后的后果；刘秋华<sup>[5]</sup>采用层次分析法对城市配电网运行的风险现状进行了量化评估。

在众多的风险之中，电网建设项目的造价风险隐匿其中却不容忽视。目前国内都针对造价风险做了相关的研究。国内学者张宇清<sup>[6]</sup>对电网建设项目造价存在的各类风险做了模拟仿真分析并阐述了在工程造价的各个阶段对风险进行控制的措施；刘琦<sup>[7]</sup>对 11 个电网项目竣工决算进行研究，发现其中存在的问题，并提出了关于造价控制的初步设想。国外学者 Tummala. V.M. Rao<sup>[8]</sup>等运用结构化的方法识别、评估超高压输变电工程的造价风险，并对造价风险控制措施进行了相关研究；Zhai, Huijuan<sup>[9]</sup>基于输变电工程的整个过程、所有元素、所有风险、所有团队进行分析，建立了输变电工程造价控制体系。

综上所述，国内外学者都从理论上运用各种分析方法，分析了输变电工程造价存在的问题，提出了许多风险因素，但对各风险因素进行聚类，分析其对于输变电工程造价的影响程度研究较少。为了使造价人员在造价工作中取得成功，需要重点解决造价工作中的影响较大的风险因素。为此，本文在对识别多种风险因素的基础上，借助调查问卷，利用聚类分析方法，对输变电工程造价风险因素的重要性进行分类。

## 2 样本数据与研究模型

### 2.1 样本数据

通过问卷调查的方式获得分析数据，为了使所设计的问卷的内容更加全面，结构更加合理，并具有较高的可信度，问卷调查之前，作者整理并归纳了大量从刊物上检索到的关于输变电工程造价风险的文章，并从中归纳出各种典型的造价风险因素。以此为基础，问卷先从 9 个维度讨论了输变电工程造价风险，包括政策风险、技术风险、设计风险、市场风险、变更风险等；再对每一风险维度的指标进行具体化处理，处理后的最终结果包含 32 个子因素，如政策风险可划分为价格政策、税费政策、土地政策、费率政策。采用 5 分制 Likert 量表测量其对输变电工程造价风险的影响程度，从 1 分至 5 分，分别表示“最不重要”至“最重要”。

样本选取的规则主要包括两个方面：①被调查单位业务必须包含输变电工程建设；②调查对象涉

及各个层面的员工，这有利于从整体上理解输变电工程造价过程中的各种因素。问卷来源途径主要有：①作者为电力系统工作人员，长期开展输变电工程，能够直接接触到大量输变电工程造价人员；②在电力系统工作会议期间，邀请与会专家填写调查问卷。最后借助 SPSS 软件对问卷的调查内容进行统计分析。

### 2.2 描述性统计

本次关于输变电工程造价风险的调查总共发出问卷 200 份，收回问卷 174 份，经过筛选处理，最终保留有效问卷数量为 140 份。对问卷的数据结果进行描述性统计，可以得到以下几点信息。

1) 调查对象任职所在单位情况。被调查人员中 20 人任职于江苏省电力设计单位，45 位任职于江苏省电力经济研究单位，45 位在输变电工程建设单位工作，另有 30 位为江苏省内电力行业或高校专家。调查对象几乎涵盖了输变电工程建设过程中所有单位，其中电力经济研究单位、电力工程建设单位、电力工程设计院人员数量所占比重较大，基本上符合参与输变电工程造价工作的人员结构。

2) 调查对象的业务掌握情况。由于样本的选择没有局限输变电工程造价人员，所以有效问卷中人员业务分布广，既有造价工程师、施工工程师、设计工程师、监理工程师，又有政府审计单位人员。在对各自企业的输变电工程造价能力进行评价时，65 人认为企业的输变电工程造价能力强，33 人觉得能力非常强，17 人认为能力一般，25 人认为能力弱。认为自己单位输变电工程造价能力为强和非常强的人数达到了总数的 70% 以上。

同时，在问到关于输变电工程造价风险调查中所作出的判断是基于何种依据时，84 人是基于自身多年的输变电工程建设工作经验做出的判断，56 人则是综合自身在电力行业的工作经历和了解到的输变电工程造价失败案例。

因此，问卷调查所获得的关于输变电工程造价风险的数据反映的情况符合客观事实，可信度较高，具有普遍参考意义。

3) 32 个输变电工程造价风险因素重要性情况。32 个风险因素对输变电工程造价风险影响的总体情况，调查人员的意见不具有统一性，具体情况见表 1。

如表 1 所示，政策风险、自然风险、变更风险的标准差在 0.7 以上，远高于其他造价风险因素的标准差。可以知道输变电工程各参与方对这 3 个风

险因素的评价存在重大分歧，这可能与参与方的工作性质相关。此外，所列出的风险因素中只有经济风险的平均值在 2 以下，可以看出其对于输变电工程的造价影响较小。

表 1 输变电工程造价风险因素的总体情况

Variable	N	Mean	Std Dev	Minimun	Maximum
政策风险	140	2.9375	0.7675	1.0	5.0
经济风险	140	1.7518	0.6419	1.0	5.0
自然风险	140	2.2785	0.8121	1.0	5.0
技术风险	140	3.3893	0.5145	1.0	5.0
市场风险	140	2.9571	0.6089	1.0	5.0
管理风险	140	3.3643	0.5374	1.0	5.0
设计风险	140	3.5732	0.4887	1.0	5.0
变更风险	140	3.4268	0.7190	1.0	5.0
人为风险	140	3.6464	0.5374	1.0	5.0

### 2.3 研究模型

反向聚类即对有序样本进行聚类研究时<sup>[10]</sup>，将样本数据按一定顺序进行排序分成若干类别，设  $\{\alpha_{ij}, i=1, 2, \dots, r; j=1, 2, \dots, c\}$  是  $R \times C$  的双因素列表，其中  $\alpha_{ij}$  为  $Y_j$  因素在  $C_i$  水平下的观测频数，而且  $\sum_{i=1}^r \alpha_{ij} = n_j$ ,  $\sum_{j=1}^c \alpha_{ij} = n_i$ ,  $\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \alpha_{ij} = n$ 。具体分析步骤如下：

1) 计算因素  $X$  在水平  $C_i$  下的区间宽度的秩权及加权秩和。

$X$  表示有序的因素，该因素包含不同的水平， $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。因素  $Y$  表示研究的对象。 $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ 。用  $X'_i=(\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im})$ ,  $i=(1, 2, \dots, n)$  表示有序因素  $X$  为  $C_i$  时，得到的  $m$  个因素出现的频数值，定义其位于一个特定的取值区间，将其称为秩区间。把第  $i$  个区间内的频数合计， $\sum_{j=1}^m \alpha_{ji} = p$ ,

叫做第  $i$  个区间的宽度，把在这个区间内所取得的值称为秩。用  $Y'_j=(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{mj})$ ,  $j=(1, 2, \dots, m)$ ，表示  $Y_j$  因素各水平的频数值。

第  $i$  个区间秩权重为

$$R_i = i \sum_{j=1}^m \alpha_{ji} \quad i=(1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$R=(R_1, R_2, \dots, R_n) \quad (2)$$

式中， $R_j$  表示因素  $Y_j$  相对于有序因素  $X$  的加权秩和：

$$R_j = Y'_j R \quad j=(1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

2) 对  $Y$  因素进行分类。

(1) 对  $Y$  因素进行聚类的原则是依据加权秩和平均值标准进行分类。将  $R_j = Y'_j R$ ,  $j=(1, 2, \dots, m)$  看成一大类  $G_1$ ，计算  $\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j$ ，以  $\bar{R}_j$  为标准进行划分，以某一特定值作为判断聚类终止的终止临界点，将  $G_1$  分为  $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 。在进行聚类分析时，需要结合实际，设定一个阀值  $R^*$ ，若加权秩和的权差值  $(R_i - R_j)$  小于  $R^*$ ，则停止聚类。

(2) 将  $G_{11}$  列表下的聚类因素继续计算加权秩和平均值，根据平均值  $\bar{R}$  和阀值  $R^*$ ，将  $G_{11}$  分为  $G_{21}$ 、 $G_{22}$  等。同理，将  $G_{12}$  分为  $G_{23}$ 、 $G_{24}$  等，依次进行下去，直至阀值临界点为止。

### 3 输变电工程造价风险因素的实证分析

#### 3.1 调查对象对各风险因素的评价（见表 2）

电缆终端的安装工艺不当可能会引起绝缘油受潮，如一些电缆附件公司在安装附件时没有对附件抽真空。因此在湿度较高的安装环境下，水分可能凝结在终端套管内壁并进入绝缘油中，使得绝缘油受潮。

表 2 造价受各风险因素影响的频数分布

因素 $Y$	因素 $X$				
	1	2	3	4	5
1 价格政策	5	19	28	63	25
2 税收政策	4	23	74	32	7
3 土地政策	12	21	68	26	13
4 费率政策	18	31	53	26	12
5 利率风险	104	16	12	8	0
6 融资风险	21	73	28	16	2
7 汇率风险	99	26	9	5	1
8 关税风险	75	34	21	7	3
9 地质风险	34	53	33	17	3
10 气候风险	19	83	23	13	2
11 技术水平	8	25	29	46	32
12 技术方案	6	5	22	43	64
13 技术规范	24	28	34	31	23
14 技术可行性	13	19	26	47	35
15 通货膨胀	6	45	48	36	5

(续)

因素 Y	因素 X				
	1	2	3	4	5
16 价格上涨	6	16	35	63	20
17 供需不足	34	42	38	24	2
18 管理者素质	4	12	31	69	24
19 组织协调能力	14	28	36	33	15
20 施工管理水平	9	27	56	33	15
21 质量管理水平	5	11	25	76	23
22 安全管理水平	11	36	45	34	14
23 设计标准的把控	8	31	43	37	21
24 设计方案可行性	1	16	21	67	35
25 设计图纸规范性	6	5	22	43	64
26 设计图纸准确性	7	18	37	33	45
27 设计图纸变更	11	15	22	68	24
28 技术变更	12	23	37	45	23
29 材料变更	21	31	46	34	8
30 设备变更	8	24	27	58	23
31 造价人员能力	10	11	31	48	40
32 造价人员特质	5	19	28	63	25
因素 X	1	2	3	4	5
区间宽度	650	894	1105	1208	623
秩权	1-650	651-1544	1545-2649	2650-3857	3858-4480
平均秩次	325.5	1097.5	2097.0	3253.5	4169.0

通过表 1 可以计算出因素 Y 的每一个相对于有序因素 X 的秩和, 即秩效应为  $R_j = Y'_j R$ ,  $j=(1,2,\cdots,m)$ , 将其排序(见表 3)。为分析方便对数据进行处理, 将秩效应值保留两位整数部。

表 3 排序后的秩效应

秩效应 极差	秩效应 极差	序号	因素水平 Y	秩效应 ( $R_i/10000$ )	$R_i - \bar{R}$
$G_1$ 36.02	$G_{11}$ 18.99	1	7 汇率风险	10.01	-21.36
		2	5 利率风险	10.26	-21.11
		3	8 关税风险	14.10	-17.27
		4	10 气候风险	19.61	-11.76
		5	6 融资风险	20.61	-10.76
		6	9 地质风险	20.63	-10.74
		7	17 供需不足	22.33	-9.04
		8	1 价格政策	26.69	-4.68

秩效应 极差	秩效应 极差	序号	因素水平 Y	秩效应 ( $R_i/10000$ )	$R_i - \bar{R}$
$G_1$ 36.02	$G_{11}$ 18.99	9	29 材料变更	28.13	-3.24
		10	4 费率政策	28.56	-2.81
		11	15 通货膨胀	29.00	-2.37
	$G_{12}$ 1.35	12	22 安全管理水平	30.64	-0.73
		13	13 技术规范	30.66	-0.71
		14	3 土地政策	30.83	-0.54
		15	2 税收政策	31.50	0.13
		16	20 施工管理水平	31.99	0.62
$G_1$ 36.02	$G_{13}$ 12.56	17	23 设计标准的把控	33.47	2.10
		18	19 组织协调能力	33.90	2.53
		19	28 技术变更	34.90	3.53
		20	30 设备变更	37.02	5.65
		21	11 技术水平	37.39	6.02
		22	14 技术可行性	37.84	6.47
		23	12 技术方案	38.02	6.65
		24	16 价格上涨	38.13	6.76
	$G_{13}$ 12.56	25	25 设计图纸规范性	38.75	7.38
		26	32 造价人员特质	39.04	7.67
		27	26 设计图纸准确性	39.46	8.09
		28	31 造价人员能力	40.33	8.96
		29	18 管理者素质	40.40	9.03
		30	21 质量管理水平	40.93	9.56
		31	24 设计方案可行性	42.58	11.21
		32	27 设计图纸变更	46.03	14.66
第一大类 $G_1$ 的平均秩效应 $\bar{R}_1$					31.37

由表 3 可知, 在输变电工程造价过程中, 风险因素水平<sup>[27]</sup>设计图样变更影响最大, 秩效应值为 46.03, 依次到风险因素水平<sup>[7]</sup>汇率风险影响最小, 秩效应值只为 10.01。

### 3.2 聚类分析

将  $G_1$  分为 3 类, 即  $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{13}$ 。 $G_{11}$  的秩效应极差为 18.99;  $G_{12}$  的秩效应极差为 1.35;  $G_{12}$  的秩效应极差为 12.56。如果取阀值为 11, 那么  $G_{11}$ 、 $G_{13}$  的极差均大于阀值, 下一步将  $G_{11}$ 、 $G_{13}$  进行再分类。分别见表 4 与表 5。

表4 对 $G_{11}$ 风险因素的分类结果

秩效应 极差	秩效应 极差	序号	因素水平 $Y$ ( $R_i/10000$ )	秩效应 $R_i - \bar{R}$	
$G_{11}$ 18.99	10.62	1	7 汇率风险	10.01	-10.89
		2	5 利率风险	10.26	-10.64
		3	8 关税风险	14.10	-6.80
		4	10 气候风险	19.61	-1.29
		5	6 融资风险	20.61	-0.29
		6	9 地质风险	20.63	-0.27
	6.67	7	17 供需不足	22.33	1.43
		8	1 价格政策	26.69	5.79
		9	29 材料变更	28.13	7.23
		10	4 费率政策	28.56	7.66
		11	15 通货膨胀	29.00	8.10
第二大类 $G_{11}$ 的平均秩效应 $\bar{R}_{11}$				20.90	

表5 对 $G_{13}$ 的分类结果

秩效应 极差	秩效应 极差	序号	因素水平 $Y$ ( $R_i/10000$ )	秩效应 $R_i - \bar{R}$	
$G_{13}$ 4.65	4.65	1	23 设计标准的把控	33.47	-5.17
		2	19 组织协调能力	33.90	-4.74
		3	28 技术变更	34.90	-3.74
		4	30 设备变更	37.02	-1.62
		5	11 技术水平	37.39	-1.25
		6	14 技术可行性	37.84	-0.80
		7	12 技术方案	38.02	-0.62
		8	16 价格上涨	38.13	-0.51
	7.28	9	25 设计图纸规范性	38.75	0.11
		10	32 造价人员特质	39.04	0.40
		11	26 设计图纸准确性	39.46	0.82
		12	31 造价人员能力	40.33	1.69
		13	18 管理者素质	40.40	1.76
		14	21 质量管理水平	40.93	2.29
		15	24 设计方案可行性	42.58	3.94
		16	27 设计图纸变更	46.03	7.39
第二大类 $G_{13}$ 的平均秩效应 $\bar{R}_{13}$				38.64	

根据有向聚类分析, 将输变电工程造价的风险因素分为5类, 包括高风险、较高风险、一般风险、较低风险、低风险。按影响大小的程度排序, 结果见表6。

表6 风险因素聚类分析结果

	高风险	较高风险	一般风险	较低风险	低风险
风险因素	[18]	[11]			
	[21]	[12]	[2]	[1]	[2]
	[24]	[14]	[3]	[4]	[5]
	[25]	[16]	[13]	[15]	[6]
	[26]	[19]	[20]	[17]	[8]
	[27]	[23]	[22]	[29]	[9]
	[31]	[28]			[10]
	[32]	[30]			
	平均秩效应	40.94	36.33	31.13	26.94
	秩效应极差	7.28	4.65	1.35	6.67
					10.62

#### 4 实证分析结果

我们分析时是按“没有影响→影响最大”顺序排列, 即秩效应值越大, 表明因素水平对输变电工程造价的影响越大。

通过以上计算可以得到结论:

1) 第一类与第二类所包含的输变电工程造价影响程度明显高于平均水平, 而且影响程度较高, 说明输变电工程设计阶段的方案详细程度、技术可行性与造价管理人员的素质对于输变电工程造价的影响最大。

2) 第三类包括安全管理水、技术规范、土地政策、税收政策、施工管理水平, 这类可以概括为施工管理水平与政策风险, 这对输变电工程的造价的影响与平均水平没有显著差异。

3) 第四类与第五类包含的输变电工程造价影响因素均低于平均水平。第四类包括供需不足、通货膨胀、价格政策等因素, 说明这类因素对于输变电工程的造价具有一定影响。第五类包括汇率风险、利率风险、关税风险、气候风险、地质风险等, 可概括为两类, 即自然环境和经济环境, 说明自然与经济环境对于输变电工程的造价影响较小。

#### 5 结论

本文在对近些年关于输变电工程造价风险研究的基础上, 归纳出影响输变电工程造价的9类风险和32个风险子因素; 然后通过问卷调查展开实证分析, 综合运用有向聚类分析, 将输变电工程造价风险影响因素按重要程度分成5类。研究的结论对于指导电力企业应该从哪些方面控制输变电工程造价具有一定的参考价值。但本文的研究也存在一定的不足,

(下转第99页)