

A Brief Analysis of UHV Project Cost

Jianming Fu¹, Huali Xia¹, Yuan Li², Liang Liang³, Zhenchao Xu³

¹State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou Zhejiang

²College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang

³Economy Research Institute of State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou Zhejiang

Email: 99698@163.com

Received: Nov. 24th, 2016; accepted: Dec. 9th, 2016; published: Dec. 12th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

UHV project has the characteristics of large-scale construction, high voltage level and complicated design. Quantitative analysis of UHV project cost will help to enhance the cost control and construction management level of construction organizations and management departments and improve economic efficiency. First, the cost analysis of UHV project is carried out and a volatility index is established by numerical characteristics. Then, the relative cost of UHV project is analyzed by the cost proportion. The characteristics of UHV substation project and 500 kV substation project are compared and analyzed. Then, the principal component analysis method is used to analyze the cost of the UHV project and to establish the evaluation coefficient to select the cost control object. Finally, a quantitative conclusion is given by quantitative analysis and comparison of UHV substation project and converter station project.

Keywords

UHV, Management Level, Project Cost, Converter Station Project

特高压工程造价浅析

傅剑鸣¹, 夏华丽¹, 李媛², 梁樑³, 徐振超³

¹国网浙江省电力公司, 浙江 杭州

²浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州

³国网浙江省电力公司经济技术研究院, 浙江 杭州

Email: 99698@163.com

文章引用: 傅剑鸣, 夏华丽, 李媛, 梁樑, 徐振超. 特高压工程造价浅析[J]. 智能电网, 2016, 6(6): 384-393.

<http://dx.doi.org/10.12677/sg.2016.66042>

收稿日期：2016年11月24日；录用日期：2016年12月9日；发布日期：2016年12月12日

摘要

特高压工程具有建设规模大、电压等级高、设计复杂等特点。对特高压工程造价进行定量分析有助于增强各施工单位和管理部门成本控制和施工管理水平，提高经济效益。首先，对特高压工程造价进行了费用分析并利用其数字特征构建波动率指标。然后，通过费用占比对特高压工程相对造价进行了分析。将特高压变电工程与500 kV变电工程数据进行对比，分析了各自的特点。接着，用主成分分析法对特高压工程造价费用进行分析，构建评估系数筛选造价管控对象。最后，通过特高压变电工程和换流站工程分析结果的对比，给出一定定量结论。

关键词

特高压，管理水平，工程造价，换流站工程

1. 引言

在我国，特高压工程指交流电压等级在 1000 kV 及以上或直流电压等级在 ± 800 kV 及以上。特高压工程具有建设规模大、电压等级高、输电距离长、输送容量大、线路损耗低的特点，特高压电网是坚强智能电网的重要组成部分。自上世纪七八十年代开始，为解决急剧增长的用电负荷，国外已开始进行特高压交流变电工程和直流换流站工程的论证和建设。我国的特高压研究起于 20 世纪末期，随着国民经济的飞速发展和用电需求的急剧增长，特高压输变电技术迅速发展。

发展特高压工程具有重要意义：特高压输变电能大幅提高我国电网的功率输送能力，有效缓解我国因自然资源分布不均衡导致的电力产、需不平衡问题，有利于能源和电力的跨区域大规模输送问题。然而，由于特高压工程的电压等级高、输电距离长，从而导致其造价远高于超高压等常规输变电工程。因此，有必要对特高压工程进行合理造价分析，以增强各施工单位和管理部门成本控制和施工管理水平，提高经济效益。

相对于常规输变电工程，特高压工程具有建设周期更长、投资更大、设计更复杂、技术工艺要求更高等特点，表现在工程造价管理上则为工程项目的建设阶段性、费用动态性、施工复杂性、利益关系多主体性等显著特征。目前特高压工程造价的管理和优化方面的研究较为缺乏。国内对特高压工程的研究，大多从发展前景、技术可行性论证、主要设备研究、技术应用、造价定性分析等角度进行研究。文献[1]从施工成本、投标报价及工程结算等方面对国内首条特高压交流线路工程的和常规线路工程的进行对比分析，并给出一些建议和对策。文献[2]结合特高压线路工程建设实际，分析和阐述了特高压线路工程的造价管理措施。文献[3]指出了一些特高压工程施工企业中存在的问题，并给出了一些决策对策。

综上所述，由于我国特高压工程建设处于发展初期，各研究单位及施工管理企业尚未在特高压工程造价研究方面开展相关实践探索。国内特高压工程造价管理的研究，大都是针对工程造价的某一因素、某一方面的定性分析，给出一定建设性意见，缺少对实际工程的定量分析。目前，还未有文献基于真实工程数据分析特高压工程造价的组成情况。因此本文根据真实的历史工程造价，对特高压工程造价组成进行定量分析，探讨其造价结构与组成，并与常规 500 kV 交流输变电工程对比，分析其造价差异。

2. 特高压交流变电工程造价分析

2.1. 变电工程造价费用分析

根据[4], 特高压变电工程造价可分为建筑工程费、安装工程费、设备购置费和其他费用四类费用。整理历史工程数据得变电工程造价, 如表 1 所示。由于其他费用中的建设场地征用费差异极大, 小至几千万多达数亿元, 因此在本文的分析中, 其他费用均已去除建设场地征用费。

表 1 中 A1 到 A10 代表历史工程; 各工程数据单位为元/伏安; 极差是一个用数据变化的幅度来表征其分散状况的统计量, 为工程造价的最大值与最小值之差; 波动率为同一费用类别造价的标准差与几何均值之比。工程造价的几何均值反映了工程造价的水平和集中程度, 标准差反映了工程造价的分散程度, 而工程造价的标准差与几何均值之比则反映出工程造价分散程度和波动程度的相对大小。波动率的计算如(1)

$$\lambda = \frac{\sigma}{g} \quad (1)$$

式中, 标准差 $\sigma = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (c_i - \mu)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$, c_i 为某类费用的工程造价, μ 为这组费用的造价算术平均值, $g = \sqrt{c_1 c_2 \cdots c_n}$ 为几何均值。

由表 1 可见, 特高压变电工程的设备购置费 > 建筑工程费 > 安装工程费。且设备购置费要远远大于建筑工程费和安装工程费。其他费用比较特殊, 一般在建筑工程费和安装工程费之和附近变化。四类费用的极差都较大都接近于对应类别的某个工程的造价值, 表明特高压变电工程建设中造价的波动很大。考查各子工程的波动率易见特高压变电工程造价的波动都接近 1/3, 且造价最高的设备购置费的造价波动最大, 其他费用的波动最小。

2.2. 变电工程造价占比分析

表 1 真实地反映了变电工程造价的绝对变化特性和部分统计特点, 但具有一定的局限性, 无法体现造价大小的相对特性。为了达到造价相对大小的分析, 计算各子工程的占比造价数据如表 2。

Table 1. Cost analysis of UHV substation project

表 1. 特高压变电工程造价费用分析

项目	建筑工程费	安装工程费	设备购置费	其他费用
A1	30.627	10.510	272.475	36.587
A2	28.483	10.974	287.585	39.895
A3	27.166	10.868	224.404	32.016
A4	41.381	19.054	183.685	55.533
A5	50.173	23.859	467.138	52.103
A6	25.417	13.859	263.531	25.783
A7	55.555	24.126	494.795	43.994
A8	19.978	9.139	222.570	22.373
A9	31.937	20.638	510.403	46.656
A10	25.437	14.603	230.175	55.598
标准差	11.025	5.417	118.342	11.262
极差	35.576	14.987	326.719	33.225
波动率	0.344	0.365	0.400	0.286

Table 2. Cost proportion analysis of UHV substation project
表 2. 特高压变电工程造价占比分析

项目	建筑工程费	安装工程费	设备购置费	其他费用
A1	0.087	0.030	0.778	0.104
A2	0.078	0.030	0.784	0.109
A3	0.092	0.037	0.762	0.109
A4	0.138	0.064	0.613	0.185
A5	0.085	0.040	0.787	0.088
A6	0.077	0.042	0.802	0.078
A7	0.090	0.039	0.800	0.071
A8	0.073	0.033	0.812	0.082
A9	0.052	0.034	0.837	0.077
A10	0.078	0.045	0.706	0.171
标准差	0.021	0.009	0.061	0.038
极差	0.086	0.034	0.224	0.114
波动率	0.250	0.243	0.080	0.371

由表 2 可见, 采用占比分析后, 标准差和极差与费用分析的特性相比几乎无显著变化, 最明显的变化体现在波动率上。设备购置费的波动率最小, 其他费用的波动率最大, 这表明设备购置费占变电工程总造价的比重相对固定, 而其他费用相对于变电工程总造价变化很大, 超过其他任一子工程的费用占比波动。

由于不同变电工程的造价值不同且存在较大差异, 根据表 2 作出变电工程的费用比例饼图, 如图 1 所示。由图可见, 设备购置费特高压变电工程造价的主要组成部分, 占总造价的四分之三左右, 其他费用、建筑工程费和安装工程费的比例近似为 3:2:1。

2.3. 与 500 kV 变电工程造价对比分析

通过整理已有 500 kV 变电工程历史数据, 用类似的费用分析和占比分析, 可得 500 kV 变电工程造价综合分析结果如表 3, 根据表 3 作出 500 kV 变电站造价饼图如图 2。

表 3 中费用分析的数值单位均为元/伏安, 单位不同是由于数据编制体系造成的。由表 3 可见, 500 kV 变电工程的波动率与特高压变电工程波动率有很大区别。从费用分析波动率来说, 500 kV 工程明显小于特高压工程, 且都是设备购置费波动率最大; 从占比分析来说, 500 kV 变电安装工程费和其他费用的波动率显然低于特高压变电工程, 但建筑工程费和设备购置费波动率大于特高压工程。这一结果的原因是特高压工程造价费用较高, 且设备购置费的主要成分变压器设备费规格单一、费用相对固定, 所以造成特高压工程设备费的造价变化幅度较小。

根据历史数据作出 500 kV 变电站的造价饼图, 如图 2。对比图 1 和图 2 可见, 特高压工程造价比例与常规工程有很大不同: 特高压工程的设备购置费比例几乎为其余三项费用之和的 3 倍, 而 500 kV 变电工程的设备费与其余三项费用之和相当, 这正体现了特高压工程的主要特点, 即设备费在工程造价中的比例最大, 且远大于其余费用之和。

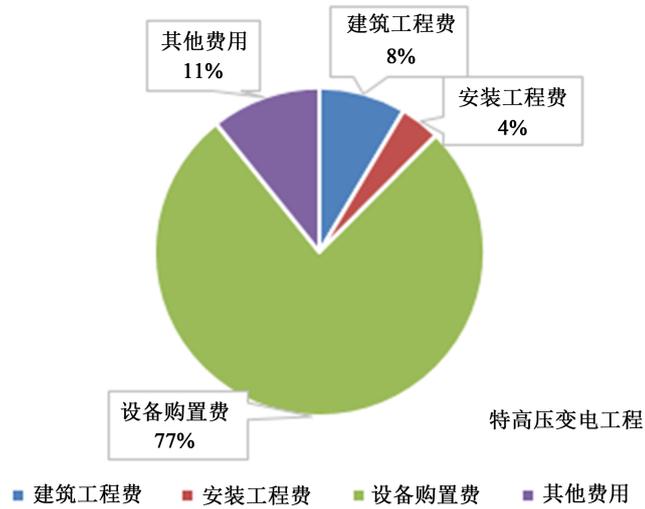


Figure 1. Pie chart of cost of UHV substation project
图 1. 特高压变电工程造价饼图

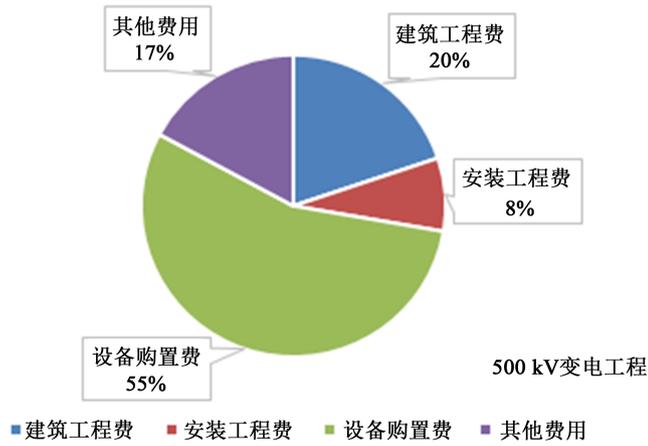


Figure 2. Pie chart of cost of 500 kV substation project
图 2. 500 kV 变电工程造价饼图

Table 3. Comprehensive cost analysis of 500 kV substation project
表 3. 500 kV 变电工程造价综合分析

类型	项目	标准差	极差	波动率
费用分析	建筑工程费	12.979	27.279	0.223
	安装工程费	3.572	8.578	0.149
	设备购置费	53.891	125.712	0.321
	其他费用	12.748	29.658	0.243
占比分析	建筑工程费	0.070	0.146	0.368
	安装工程费	0.011	0.023	0.135
	设备购置费	0.081	0.169	0.148
	其他费用	0.019	0.040	0.110

2.4. 特高压变电工程造价综合评估

由 2.2 与 2.3 的分析可知特高压工程造价四类费用的费用波动率较大,除去设备购置费外的其余费用占比波动率也都较大,为进一步探究特高压工程造价各类费用的综合变化大小,达到为实际工程的管理决策和管控水平提供指导和支撑的目的,本文用主成分分析法评估特高压工程造价中各类费用的综合变化情况。主成分分析法能够通过得到的主成分方差贡献率占比和主成分载荷矩阵计算出各指标的贡献度,从而反映出工程造价中各类费用的综合变化情况。主成分分析的基本原理见文献[5]。

本文将主成分分析法应用于特高压工程造价综合评估的主要步骤如下:

①根据建筑工程费、安装工程费、设备购置费和其他费用这四类费用的相关系数矩阵,可求得主成分载荷矩阵。根据主成分载荷矩阵可将主成分表示为

$$F_i = \sum_{j=1}^4 a_{ij} S_j, i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

式中, F_i , $i=1,2,\dots,n$, 代表第 i 个主成分; S_j , $j=1,2,3,4$ 分别代表建筑工程费,安装工程费,设备购置费,其他费用; a_{ij} 为第 i 个主成分第 j 类费用的载荷系数。

②设 F_i 的初始特征值为 λ_i , 方差百分比为 σ_i , 则可将载荷系数标准化, 即

$$F_i' = \sum_{j=1}^4 \frac{a_{ij}}{\sqrt{\lambda_i}} S_j, i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

③方差百分比 σ_i 越大则该主成分的重要性越强。因此, 方差百分比可以看成是不同主成分的权重。由于四类费用可以用 n 个主成分代替, 评估系数 K_j 可以看成是以这 n 个主成分方差贡献率为权重, 对指标在这 n 个主成分线性组合中的系数做加权平均。如下式:

$$K_j = \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij} \sigma_i}{\sqrt{\lambda_i} \sum_{i=1}^n \sigma_i}, j=1,2,3,4 \quad (4)$$

由于考虑了各主成分的方差百分比, 因此综合评估系数在一定程度上也反映了各类费用的波动程度。

④将评估系数 K_j 归一化。

$$K_j^* = \frac{K_j}{\sum_{j=1}^4 K_j} \quad (5)$$

根据以上步骤, 用 SPSS 软件可求得载荷矩阵如表 4。

主成分 F_1 , F_2 的初始特征值和方差百分比为分别为:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 2.917, \lambda_2 = 0.725 \\ \sigma_1 &= 72.935, \sigma_2 = 18.136 \end{aligned}$$

Table 4. Principal component matrix of UHV substation project
表 4. 特高压变电工程主成分载荷矩阵

费用类别	F_1	F_2
建筑工程费	0.914	-0.032
安装工程费	0.973	-0.028
设备购置费	0.793	-0.527
其他费用	0.711	0.667

可求得归一化评估系数如表 5。

可见，与费用分析和占比分析的结果不同，综合评估结果显示，其他费用的评估系数较高，表明在特高压工程造价中，其他费用的综合变化较大。建筑工程费和安装工程费的造价综合变化居中，设备购置费的造价综合变化较小。如上所述，反映综合变化程度的评估系数在一定程度上也反映了各类费用的波动程度。其他费用和安装工程费的综合评估系数最大，表明其在特高压工程造价的综合变化较大，因此在进行特高压工程造价管理和管控中，应首先关注其他费用和安装工程费的变化情况。

3. 特高压直流换流站工程造价分析

3.1. 换流站工程造价费用分析

根据[6]，特高压换流站工程造价可分为建筑工程费、安装工程费、设备购置费和其他费用四类费用。如表 6 所示为根据历史工程数据得到的换流站工程的费用分析结果。

表 6 中的 D1 到 D8 代表历史工程数据，就工程造价而言，设备购置费 > 建筑工程 > 安装工程费，其他费用和建筑工程费大体相当。换流站工程的极差较小，小于对应费用的最小造价值。从波动率来看，换流站工程的建筑工程费波动率最小，说明建筑工程费的费用变化不大。安装工程费、设备购置费和其他费用的波动率近似持平。

Table 5. Evaluation coefficient of UHV substation project

表 5. 特高压变电工程综合评估系数

费用类别	评估系数
建筑工程费	0.262
安装工程费	0.280
设备购置费	0.155
其他费用	0.304

Table 6. Cost analysis of converter station project

表 6. 换流站工程造价费用分析

项目	建筑工程费	安装工程费	设备购置费	其他费用
D1	59.613	17.437	684.045	56.294
D2	48.184	18.349	626.416	51.366
D3	50.836	20.257	546.554	56.093
D4	58.016	24.074	518.842	60.191
D5	50.490	21.179	460.380	38.371
D6	52.813	28.059	540.463	43.226
D7	55.556	19.541	447.526	33.324
D8	61.870	26.063	465.343	50.437
标准差	4.554	3.558	78.307	8.857
极差	13.686	10.622	236.519	26.866
波动率	0.084	0.165	0.148	0.185

3.2. 换流站工程造价占比分析

由于费用分析不能体现造价相对比重，故和 1.2 类似对换流站工程进行占比分析。

表 7 结果表明，换流站工程标准差的占比分析结果与费用分析的特性相比无显著变化。占比分析的极差依然不超过对应费用的最小造价值，其中设备购置费的极差相对较小，说明换流站工程的设备费比例变化很小。波动率方面，设备费波动率最小，说明设备费的费用占比基本固定不变，其余费用波动率较大，说明这些费用的费用占比波动较大，

根据表 7 作换流站工程的造价饼图如图 3。

由图 3 可见，换流站工程的设备购置费约占工程总造价的 4/5，建筑工程费、安装工程费和其他费用之比接近 2:1:2。

由于国内尚无 ± 800 kV 以下的常规换流站工程，因此无法做类似变电工程的对比分析。

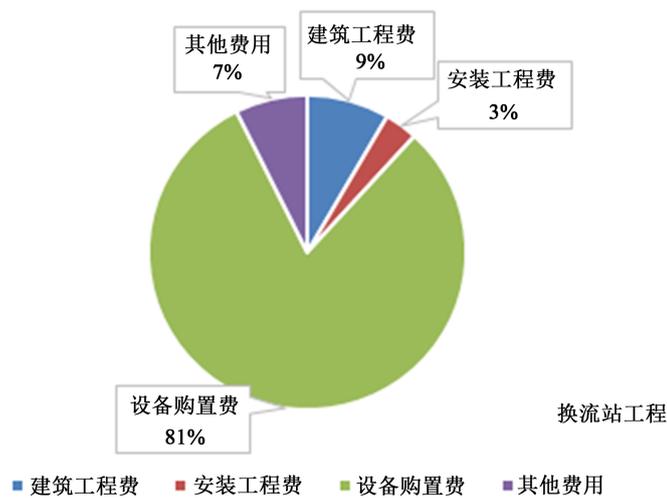


Figure 3. Pie chart of cost of converter station project

图 3. 换流站工程造价饼图

Table 7. Cost proportion analysis of converter station project

表 7. 换流站工程造价占比分析

项目	建筑工程费	安装工程费	设备购置费	其他费用
D1	0.073	0.021	0.837	0.069
D2	0.065	0.025	0.842	0.069
D3	0.075	0.030	0.811	0.083
D4	0.088	0.036	0.785	0.091
D5	0.089	0.037	0.807	0.067
D6	0.079	0.042	0.813	0.065
D7	0.100	0.035	0.805	0.060
D8	0.102	0.043	0.771	0.084
标准差	0.012	0.007	0.022	0.010
极差	0.038	0.022	0.071	0.031
波动率	0.149	0.223	0.027	0.141

3.3. 特高压换流站工程造价综合评估

根据 2.4 所述步骤, 用 SPSS 软件可求得换流站工程各费用的载荷矩阵如表 8。

主成分 F_1 , F_2 , F_3 的初始特征值和方差百分比为分别为:

$$\lambda_1 = 1.776, \lambda_2 = 1.341, \lambda_3 = 0.620$$

$$\sigma_1 = 44.391, \sigma_2 = 33.523, \sigma_3 = 15.499$$

可求得归一化评估系数如表 9。

由表 9 可见, 特高压换流站工程的其他费用和设备购置费的造价综合评估系数远大于建筑工程费和安装工程费的综合评估系数。表明换流站工程的其他费用和设备购置费综合变化程度较大, 建筑工程费和安装工程费的综合变化程度较小, 因此在特高压换流站工程的造价管理和决策中应重点管控其他费用和设备购置费。

4. 变电工程与换流站工程对比

根据以上分析数据和结果, 进一步对比特高压变电工程和换流站工程的造价如下:

(1) 费用方面。换流站工程的建筑工程费、安装工程费和设备购置费总体上均高于变电工程对应费用。换流站工程与变电工程的其他费用大体相当。根据数据对比结果可知特高压换流站工程造价远大于特高压变电工程造价。

(2) 费用占比方面。变电工程与换流站工程的设备购置费占总造价的比重均较大。相对而言换流站工程的设备费占比更大。两种工程的建筑工程费均大于安装工程费。

(3) 波动率方面。在费用方面, 变电工程所有费用的波动率均大于换流站工程; 在占比方面, 两种工程的设备费波动均最小, 反映出设备费占总造价的比重相对固定, 也从侧面反映了设备费高昂从而特高压工程造价投资较大。

(4) 造价管控方面, 特高压变电工程应着重关注其他费用、建筑工程费和安装工程费; 而换流站工程应着重关注其他费用和设备购置费。可见两类工程的其他费用均应被重点管控。

Table 8. Principal component matrix of converter station project

表 8. 换流站工程主成分载荷矩阵

费用类别	F_1	F_2	F_3
建筑工程费	-0.074	0.847	-0.52
安装工程费	-0.631	0.553	0.514
设备购置费	0.927	0.008	0.095
其他费用	0.716	0.564	0.276

Table 9. Evaluation coefficient of converter station project

表 9. 换流站工程综合评估系数

费用类别	评估系数
建筑工程费	0.127
安装工程费	0.055
设备购置费	0.353
其他费用	0.488

5. 结语

本文通过特高压变电工程、换流站工程的历史数据对其进行了造价费用分析和费用占比分析, 然后分别讨论了这两种特高压工程的费用特点, 并且用主成分分析法分别考查了两类工程造价管理和管控的重点对象。通过将特高压变电工程与 500 kV 变电工程对比。特高压变电工程与换流站工程的对比, 得出结论: 与常规变电工程相比, 特高压变电工程设备购置费占比较大达四分之三以上, 大于常规工程的二分之一; 特高压变电工程与换流站工程的费用占比大体相似, 且设备购置费的比重均在四分之三以上。通过构建综合评估系数, 表明特高压变电工程应着重管控其他费用、建筑工程费和安装工程费; 而换流站工程应着重管控其他费用和设备购置费。

参考文献 (References)

- [1] 国维, 王静. 特高压与常规输电线路工程成本费用与造价管理对比分析[J]. 价值工程, 2014(22): 94-95.
- [2] 张庆. 特高压输电线路工程造价管理措施分析[J]. 中国外资, 2012(19): 228.
- [3] 贾士安. 浅谈施工企业特高压工程造价分析及控制[J]. 经营管理者, 2011(5): 284-285.
- [4] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用造价 1000 kV 输变电工程分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [5] 张鹏. 基于主成分分析的综合评价研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2004.
- [6] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用造价±800 kV 直流输电工程分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: sg@hanspub.org