

Analysis and Research on the Comprehensive Selection of Wire Based on Grey Correlation Method

Bohui Zhao, Bin Song

School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan Hubei
Email: 1003110990@qq.com

Received: Mar. 12th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

Along with the load increasing, the transmission capacity is growing, the economic loss caused by line loss is getting much higher. So a higher demand is asked for the wire capacity, energy saving. In this paper, the basic index of wire selection is divided into cost and benefit index. The gray relation analysis method in gray theory is applied to the selection of wire. Then we use the gray correlation analysis method to evaluate and compare the cost index with benefit index, while the economic performance of the wire is analyzed and discussed synthetically. Finally, the optimal scheme of wire selection is obtained. The results show that the gray relation analysis method is applied correctly and validly to the wire selection.

Keywords

Wire Selection, Cost Index, Efficiency Index, Gray Correlation Method

基于灰色关联法的导线综合选型分析研究

赵博辉, 宋 斌

武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉
Email: 1003110990@qq.com

收稿日期: 2017年3月12日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘 要

随着用电负荷不断增高, 输送容量越来越大, 线损带来的经济损失越来越高, 对于导线的增容、节能有了更高要求。本文首先将导线选型的基本指标分为成本型和效益型指标, 在此基础上, 简述如何将灰色

理论中的灰色关联分析方法应用于导线选型之中, 然后具体运用灰色关联分析方法对导线的成本型指标和效益型指标进行了评价和比较, 并结合导线的经济性能进行综合的分析与讨论, 最后得出导线选型的最优方案。结果表明灰色关联分析方法应用于导线选型中的正确性和有效性。

关键词

导线选型, 成本性指标, 效益性指标, 灰色关联法

Copyright © 2017 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

导线是输电线路最主要的部分之一, 作为电能的主要载体, 除了要安全稳定地传输电能外, 还要满足环境保护的规定[1]。随着国民经济的发展, 用电负荷逐年增长, 传统钢芯铝绞线的输送容量难以满足大负荷用电需求, 如何研制大容量节能导线, 在提高导线输送容量的同时减少线路损耗, 从而提高我国电力输送的技术水平成为了电网追求的目标。近年来, 随着导线性能的进一步提高, 各种导线开发与选型方法受到越来越多的关注。文献[2] [3] [4] [5]对试点应用的节能导线进行技术经济比较来选型。文献[6]对一次投资成本引入宏观经济参数修正, 对运行维护成本提出了估算公式, 并提出退役成本的估算公式, 最后提出通过特高压直流输电线路导线选择的目标函数进行选型。文献[7] [8] [9]从导线材料、载流量、电气性能、机械特性及经济性等多方面对各备选导线进行了详细的技术经济比较和论证。文献[8]主要从电能损耗和载流量、弧垂、过载能力、杆塔荷载及摇摆角等多个方面, 结合工程应用进行详细技术比较, 参考通用设计, 杆塔利用等因素, 推荐节能导线的选型情况。在以往导线选型的试验中, 电气性能、机械性能和经济性能常常被作为比较的因素[10], 这些因素不仅繁多而且很复杂, 如何将这些因素结合并简化分析过程极为重要。

对导线选型的基本方法过去采用的主要是数理统计中的回归分析、方差分析、主成分分析等[11]。虽然这些是较通用方法, 但大都只用于少因素的、线性的。而导线综合选型中, 往往影响导线性能的原因是多因素的, 而灰色关联分析方法作为一种系统分析方法, 弥补了这些数理统计方法的不足, 既能将多方面的因素结合考虑, 还能大量简化运算步骤, 有效的避免了因程序繁琐带来的误差。本文在分析各种导线的性能并将其分为成本型指标和效益型指标的基础上, 应用灰色关联分析法, 将最优的标准数列选出, 结合成本型指标, 效益型指标的数据序列进行比较, 将多种影响因素的选择问题转化成为对灰色关联度的比较[12], 另外再结合经济指标的比较结果, 最终得出各种导线选型的最优方案。

2. 导线选型指标

一般情况下, 在导线方案选择时, 主要是对不同导线型式进行线路电气性能和机械性能的计算比较。电气性能包括电场效应、可听噪声、无线电干扰和电晕损失等环境影响, 机械性能包括机械特性、负荷特性等, 最后通过综合技术经济比较确定。本文将综合评价指标分为成本型指标和效益型指标, 如图 1 所示。

成本型指标包括导线弧垂水平荷载, 垂直荷载, 纵向荷载, 直流电阻, 交流电阻以及电阻损耗。

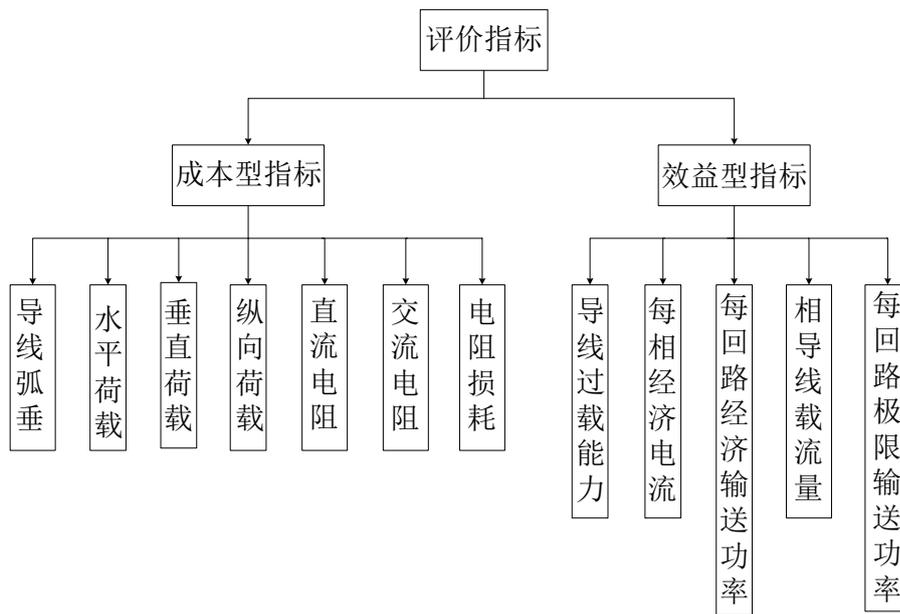


Figure 1. Integrated evaluation index
图 1. 综合评价指标

效益型指标包括导线过载能力，每相经济电流，每回路经济输送功率，相导线载流量，每回路极限输送功率。本文导线选型指标主要基于这 12 个指标(7 个成本型与 5 个效益型)。

3. 灰色关联分析法简介

灰色关联分析的目的是寻求系统各因素之间的重要关系，而灰色关联度是灰色关联分析的基础，是描述事物间在发展过程中，因素间相对变化的大小、方向和速度等。其算法基本思想是根据行为序列曲线几何形状的相似性来确定序列之间联系[13]的紧密型。

3.1. 构造参考序列及被比较序列

设参考序列[14]为：

$$x_0 = \{x_0(k)\} = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}, k = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

被比序列为：

$$x_i = \{x_i(k)\} = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}, k = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

3.2. 数据规范化处理

本文中采用的归一化方法[14]为“最小 - 最大标准化”，是对原始数据进行线性变换，其计算公式如式(3)：

$$\text{标准化数据} = \frac{\text{原始数据} - \text{最小值}}{\text{最大值} - \text{最小值}} \tag{3}$$

3.3. 关联系数的计算

关联系数[14]的定义为：

$$\xi_{oi}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \rho\Delta_{\max}} \quad (4)$$

该式表示曲线 x_0 与曲线 x_i 在第 k 点的关联系数。式中 $\Delta_{oi}(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$ 是参考序列 x' 与被比较序列 x'_i 在第 k 个元素处的绝对差； $\Delta_{\min} = \min_i \min_k |x'_0(k) - x'_i(k)|$ 为两级最小差， $\Delta_{\max} = \max_i \max_k |x'_0(k) - x'_i(k)|$ 其意义与最小差相同； ρ 为分辨系数，取 0.5。

3.4. 关联度计算

关联度是作为衡量指标序列相似程度的测度且关联度越接近 1，序列与参考序列的相似程度越大，关联度计算公式如下[14]：

$$r_{oi} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{oi}(k) \quad (5)$$

3.5. 灰色关联度在选型中的应用

一般来说，成本型指标为越小越好，效益型指标越大越好，故对于导线的成本型指标取所有数据中的最小值作为标准序列，而对于效益型指标取所有数据中的最大值为标准序列[3]。由此得到 12 个指标的标准序列 x_0 。运用灰色关联分析方法，可以得到每种导线与标准序列的关联度大小，通过比较关联度的大小，关联度越大说明与标准序列越接近，导线性能越好。灰色关联分析方法通过将 12 个性能指标结合为一个数据指标，比较关联度大小来简化分析过程。

4. 导线选型实证分析

由图 1 可知成本型指标依次包括 7 个因素，分别为 k_i ($i = 1, 2, \dots, 7$)

效益型指标依次包括 5 个因素，分别为 k_i ($i = 8, 9, \dots, 12$)

本文选取了 13 种导线进行实证分析具体数据由表 1 和表 2 所示。

Table 1. The comparison of cost type indicator

表 1. 成本型指标比较

导线	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
x_0	15.819	36.86	116.97	208	0.04126	0.04349	64.85
x_1	28.029	36.92	122.11	229	0.0459	0.04749	71.2
x_2	28.07	36.92	122.09	228	0.0445	0.0461	69.12
x_3	29.492	36.86	116.97	208	0.0458	0.04739	71
x_4	24.783	36.86	116.97	246	0.0448	0.04763	69.77
x_5	21.348	36.86	121.98	299	0.0441	0.04577	68.62
x_6	18.157	36.86	121.68	344	0.04445	0.04611	69.14
x_7	15.819	36.86	121.68	390	0.04509	0.04675	70.09
x_8	28.988	36.86	117.14	212	0.04546	0.04738	71.04
x_9	27.546	36.86	117.11	223	0.04573	0.04765	71.44
x_{10}	26.864	36.86	117.09	228	0.04592	0.04784	71.72
x_{11}	25.354	36.86	117.05	243	0.04126	0.04349	64.85
x_{12}	20.842	36.86	117.05	272	0.04158	0.04381	65.59
x_{13}	18.006	36.86	117.05	335	0.04219	0.04441	66.22

Table 2. The comparison of benefit type indicator
表 2. 效益型指标比较

导线	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
x_0	41.27	2425.4	2100.4	4558.09	3868
x_1	36.99	2268	1964.1	4348.78	3691
x_2	36.99	2265.8	1962.2	4413.83	3746
x_3	36.29	2425.4	2100.4	4393.87	3729
x_4	37.28	2425.4	2100.4	4393.87	3729
x_5	38.41	2265.8	1962.2	4428.39	3758
x_6	39.8	2265.8	1962.2	4411.7	3744
x_7	41.27	2265.8	1962.2	4381.64	3719
x_8	36.31	2425.4	2100.4	4354.34	3696
x_9	36.54	2425.4	2100.4	4342.14	3685
x_{10}	36.66	2425.4	2100.4	4333.62	3678
x_{11}	36.75	2425.4	2100.4	4558.09	3868
x_{12}	38.05	2425.4	2100.4	4541.36	3854
x_{13}	39.28	2425.4	2100.4	4510.66	3828

灰色关联分析方法在导线选型上的应用步骤如下:

1) 选取标准序列: 通过式(1)可知, 标准序列命名为 x_0 , $x_0 = \{15.819, 36.86, 116.97, 208, 0.04126, 0.04349, 64.85, 41.27, 2425.4, 2100.4, 4558.09, 3868\}$ ($k = n = 12$, 为元素数)。

2) 选取被比序列: 本文选取十三组导线种类, 比较序列命名为 $x_1 \sim x_{13}$, 通过式(2)可知 $x_1 \sim x_{13}$ 。

3) 数据标准化: 对导线的数据进行按式(3)“最小-最大标准化”处理, 得到各指标的标准化数据。

4) 计算关联系数: 根据式(4)计算得到第一组比较序列与标准序列的关联系数 $\xi_{0i(1)} - \xi_{0i(12)}$, 同理得到第 2~13 导线组的关联系数 $\xi_{0i(k)}$ 。

5) 计算关联度大小: 由式(5)得到关联度大小 γ_{0i} 。关联度越接近于 1, 序列与参考序列的相似程度越大, 说明导线的性能就越好。

4.1. 成本型指标数据分析

以导线 x_1 的成本型指标为例:

1) 由表 1 得到 x_1 的成本型指标为 $x_1 = \{28.029, 36.92, 122.11, 229, 0.0459, 0.04749, 71.2\}$

2) 将表 1 数据按式(3)标准化后, 得到: $x_1 = \{0.893, 1, 1, 0.11536, 0.99571, 0.91954, 0.92431\}$

3) 按式(4)求得关联系数: $\xi_{0i(1)} = \{0.35817, 0.333, 0.3333, 0.8125, 0.33429, 0.35223, 0.35105\}$ 并列于表 3

4) 再按式(5)得到关联度大小 γ_{0i} (成本), 结果为: γ_{0i} (成本) = 0.41081

其他导线同理, 得到数据如表 3 所示。

4.2. 效益型指标数据分析

与成本型指标计算步骤同理, 得到数据如表 4 所示。

Table 3. Comparison of correlation coefficient of cost index
表 3. 成本型指标关联系数比较

导线	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	γ_{0i} (成本)
x_0	1	1	1	1	1	1	1	1
x_1	0.35894	0.333	0.3333	0.8125	0.33429	0.35223	0.35105	0.41081
x_2	0.35817	0.333	0.3342	0.81982	0.418312	0.45455	0.44581	0.45203
x_3	0.33333	1	1	1	0.339156	0.35802	0.35837	0.62698
x_4	0.43268	1	1	0.70543	0.396934	0.34442	0.41113	0.61294
x_5	0.55287	1	0.3391	0.5	0.450677	0.48822	0.47675	0.54394
x_6	0.74516	1	0.353	0.40088	0.422101	0.4536	0.44466	0.54563
x_7	1	1	0.353	0.33333	0.378247	0.40018	0.39597	0.55154
x_8	0.34173	1	0.938	0.95789	0.356815	0.35862	0.35688	0.6157
x_9	0.36828	1	0.9483	0.85849	0.342647	0.34333	0.34264	0.60053
x_{10}	0.38232	1	0.9554	0.81982	0.333333	0.33333	0.33333	0.59393
x_{11}	0.41759	1	0.9698	0.72222	1	1	1	0.8728
x_{12}	0.57646	1	0.9698	0.5871	0.879245	0.87174	0.82275	0.8153
x_{13}	0.75763	1	0.9698	0.41743	0.714724	0.70275	0.71488	0.75389

Table 4. Comparison of correlation coefficient of benefit index
表 4. 效益型指标关联系数比较

导线	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	γ_{0i} (效益)
x_0	1	1	1	1	1	1
x_1	0.3677991	0.336425	0.33642	0.349049	0.3493	0.347791
x_2	0.3677991	0.3333333	0.33333	0.437572	0.4378	0.381965
x_3	0.3333333	1	1	0.405979	0.406	0.629059
x_4	0.3842593	1	1	0.405979	0.406	0.639244
x_5	0.4654206	0.3333333	0.33333	0.463906	0.4634	0.411881
x_6	0.6287879	0.3333333	0.33333	0.433968	0.4338	0.432643
x_7	1	0.3333333	0.33333	0.38878	0.3893	0.488958
x_8	0.3342282	1	1	0.355191	0.3558	0.609045
x_9	0.3448753	1	1	0.341987	0.3417	0.605718
x_{10}	0.3507042	1	1	0.333333	0.3333	0.603474
x_{11}	0.3552068	1	1	1	1	0.871041
x_{12}	0.4360771	1	1	0.870275	0.8716	0.835582
x_{13}	0.5558036	1	1	0.702941	0.7037	0.79249

4.3. 基于灰色关联法对导线指标的综合评价

由式(5)得到总的关联度 γ_{0i} ($i = 1, 2, \dots, 13$)大小。
 结果如表 5 所示。

Table 5. The result of grey connection analysis
表 5. 灰色关联法计算结果

导线序列	灰色关联度	导线序列	灰色关联度
标准数列	1	γ_{07}	0.5255
γ_{01}	0.38455	γ_{08}	0.61293
γ_{02}	0.42283	γ_{09}	0.60269
γ_{03}	0.62785	γ_{10}	0.59791
γ_{04}	0.6239	γ_{11}	0.87207
γ_{05}	0.48891	γ_{12}	0.82375
γ_{06}	0.49855	γ_{13}	0.76997

通过表中数据比较, $\gamma_{11} > \gamma_{12} > \gamma_{13} > \gamma_{03} > \gamma_{04} > \gamma_{08} > \gamma_{09} > \gamma_{10} > \gamma_{07} > \gamma_{06} > \gamma_{05} > \gamma_{02} > \gamma_{01}$ 。新型钢芯高导电率铝绞线 $x_5 \sim x_7$ (JL/GG1A4-630/45, JL/GG1A2-630/45, JL/GG1A1-630/45)、新型铝合金芯铝绞线 $x_8 \sim x_{10}$ (JL/GQLHA4-600/75, JL/GQLHA2-600/75, JL/GQLHA1-600/75)、新型全铝合金线 $x_{11} \sim x_{13}$ (GQLHA4-675, GQLHA2-675, GQLHA1-675)与标准序列的关联度更接近于 1。比传统钢芯铝绞线 x_1 (JL/G1A-630/45)关联度要高, 可见新型增容、节能导线与传统钢芯铝绞线相比, 其成本型指标有了明显下降, 效益型指标得到了明显提升。

4.4 导线选型结论

相较于传统导线, 新型钢芯高电导率铝绞线、新型铝合金芯铝绞线与新型全铝合金线的成本型指标明显变小, 效益型指标明显提升。新配节能导线在机械和电气性能上均占有一定优势, 若价格合适均可以采用, 但采用的导线及型号还需根据导线的中标价格参照经济指标最终确定。在其他外部条件相同情况下, 新型全铝合金绞线最经济实惠。所以综合考虑, 新型全铝合金绞线的各方面性能最优。

5. 结果与讨论

针对影响导线选型的各种因素, 本文提出了一种基于灰色关联分析法的导线选型方法, 并将各种导线性能的分析结果应用于导线的选型中。即首先将导线性能分为成本型和效益型指标, 用灰色关联分析法对每个导线序列的关联度进行计算分析, 综合评价得出新型高导全铝合金绞线导电性能为最优。新型高导全铝合金绞线与传统钢芯铝绞线相比总体的电气与机械性能指标有了改善, 成本型指标有了明显降低, 效益型指标有了明显提高, 与标准序列的关联度也最高, 使导线在最经济的情况下发挥最好的效益, 同时也证明了灰色关联法用于指标计算的准确性和简化性。

本文提出的基于灰色关联法进行导线选型的方法既简化了导线选型的过程, 又能更好地满足对导线增容、节能的高要求, 具有较高的实用价值, 值得继续研究并应用于实际导线选型中。在实际应用中, 基于灰色关联法对成本型、效益型指标的关联度进行分析的同时, 更要对经济性能等综合指标进行全方面的分析和比较。本文对于经济型指标的计算没有过多讨论, 在今后的试验中可以加入对经济型指标的讨论, 使导线选型更加全面。

参考文献 (References)

- [1] 陈彦焰. 浅谈关注节能效益的导线选型应用[J]. 工业 c, 2015(39): 269.
- [2] 潘春平, 廖民传, 麻闽政. 输电线路增容改造工程导线选型的技术经济性分析[J]. 南方电网技术, 2014, 8(3):

109-113.

- [3] 孙宏丽, 徐恒. 各种新型导线的特点及经济选型方法[J]. 内蒙古石油化工, 2010, 36(1): 35-36.
- [4] 秦君, 杜欣慧. 新型节能导线在 500 kV 输电线路设计中的选型方法[J]. 现代工业经济和信息化, 2014, 4(16): 66-68.
- [5] 陈彦焰. 浅谈关注节能效益的导线选型应用[J]. 工业 c, 2015(39): 269.
- [6] 赵建宇, 张颖. 节能导线选型应用[J]. 电气应用, 2013(S1): 384-390.
- [7] 刘汉生, 刘剑, 李俊娥, 等. 基于全寿命周期成本评估的特高压直流输电线路导线选型[J]. 高电压技术, 2012, 38(2): 310-315.
- [8] 林锐, 张礼朝, 张培勇, 等. 1000kV 特高压交流输电线路大跨越导线选型[J]. 电力建设, 2015, 36(5): 91-98.
- [9] Khalil, T.M. and Gorpinich, A.V. (2012) Optimal Conductor Selection and Capacitor Placement for Loss Reduction of Radial Distribution Systems by Selective Particle Swarm Optimization. *Seventh International Conference on Computer Engineering & Systems*, Cairo, 27-29 November 2012, 215-220. <https://doi.org/10.1109/icces.2012.6408516>
- [10] 贾福东. 关于 110~500kV 架空输电线路导线选型的实例分析[J]. 低碳世界, 2016(15): 18-19.
- [11] 任姝彤, 张滨. 数理统计方法在海浪灾害特征分析中的应用[J]. 海洋预报, 2015, 32(4): 90-94.
- [12] 罗毅, 李昱龙. 基于熵权法和灰色关联分析法的输电网规划方案综合决策[J]. 电网技术, 2013, 37(1): 77-81.
- [13] 杨仪, 王修勇, 钟桔. 优化的灰色关联分析初值法及其应用[J]. 湖南工程学院学报(自科版), 2013, 23(3): 75-77.
- [14] 陈鲤江, 景程, 吴姚鑫, 等. 数学表达式的归一化方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2012, 40(2): 229-232.

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: tdet@hanspub.org