

文章编号:1008-1534(2020)01-0027-07

基于总成本费用模型的经济电流密度 计算方法研究

樊 浩, 王永生, 陈金辉

(国网冀北电力有限公司技能培训中心, 河北保定 071051)

摘 要:传统的计算方法未考虑线路检修费用、线路退役费用、电价、导线价格等重要参变量的时间价值,导致电流密度取值较大,为此,提出基于总成本费用综合评价模型的经济电流密度计算方法。将线路的总成本费用分为初次投入成本、运行人工及维护成本等成本模块,每个模块分别表示为与线路截面、时间等因素相关联的表达式,从而推导出输电线路总成本费用的经济电流密度表达式。通过总成本费用模型对一条已建成的线路进行了验证,证明了方法的合理性和可行性。改进的计算方法对实际工程选型方案的确定有一定的参考价值。

关键词:输配电工程;经济电流密度;总成本费用;截面;评价模型

中图分类号:TM71 文献标识码:A doi: 10.7535/hbgykj.2020yx01006

Computing method for economic current density based on total cost expense model

FAN Hao, WANG Yongsheng, CHEN Jinhui

(Skills Training Center, Northern Hebei Province and Power Company Limited, Baoding, Hebei 071051, China)

Abstract: The traditional calculation method doesn't takes into account the time value of important parameters such as line maintenance costs, line decommissioning costs, electricity prices, conductor prices, etc., resulting in a big calculated current density, so an economic current density calculation method based on total cost comprehensive evaluation model is proposed. The total cost of the line is divided into cost modules such as initial input costs, operating labor and maintenance costs. Each module is expressed as an expression related to factors such as line cross-section, time, etc., thereby deriving an economic current density expression of the total cost of the transmission line. The total cost model is used to verify an established line, and the rationality and feasibility of the method are proved. It provides reference for the practical engineering type-selecting scheme.

Keywords: transmission and distribution engineering; the economic current density; total cost; section; evaluation model

收稿日期:2019-06-15;修回日期:2019-11-15;责任编辑:冯 民

第一作者简介:樊 浩(1983—),男,河北保定人,讲师,硕士,主要从事新能源发电、电力系统及其自动化等方面的研究。

E-mail: 2758847522@qq.com

樊浩,王永生,陈金辉.基于总成本费用模型的经济电流密度计算方法研究[J].河北工业科技,2020,37(1):27-33.

FAN Hao, WANG Yongsheng, CHEN Jinhui. Computing method for economic current density based on total cost expense model[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2020, 37(1): 27-33.

中国架空导线截面主要是按照经济电流密度进行选择,然后按照发热条件、环保条件、无线电干扰、可听噪声等进行验算。新中国成立初期,国家资金紧张,电流密度取值较大以减少建设投资。当前的经济状况、材料价格已有很大变化,需要对经济电流密度进行修改。另外中国目前颁布的经济电流密度值选择标准只反映了负荷性质这个变量,而更重要的与不同时期密切相关的导线价格和电能单价等动态参数无法得到体现,因此建立科学全面的经济电流密度计算模型也有着十分重要的经济价值。对于一般架空输电线路,总成本费用涵盖其具体的前期规划、中期设计以及施工和后期的运行等各个方面^[1-2]。根据帕莱托原理^[3],在规划设计阶段考虑线路的总成本费用以降低工程总成本。迄今为止,总成本费用管理在变电站的大型设备选型以及设计方案评估等多个方面应用广泛。对于输电线路,虽然同样以典型造价作为依据,并且对电力系统的总成本费用方面进行了相应管理,但还没有构建线路的总成本费用模型^[3-4]。电力系统输电线路的投资比例较大,因此,研究其总成本费用模型具有重要意义。

1 输电线路总成本费用综合评价基础

1.1 总成本费用综合评价模型结构

国内外电力系统的生命周期内成本三维模型已较为成熟^[5]。针对输电线路的自身特点,输电线路总成本费用综合评价模型三维结构模型如图 1 所示。

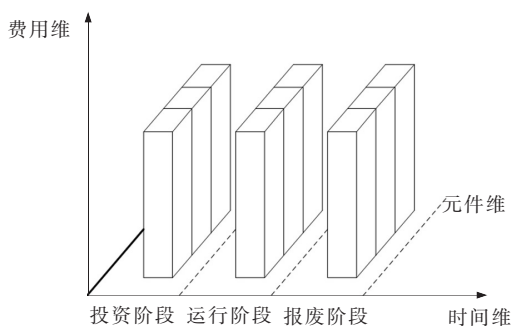


图 1 输电线路总成本三维结构模型

Fig.1 Transmission line total cost three-dimensional structure model

时间维、元件维、费用维分别从时间、空间、成本的角度出发,包含了输电线路从投运至退役的所有成本。建立输电线路的总成本费用综合评价模型,进而计算线路在整个规划、设计、施工、运行周期内所产生的费用,用于指导线路的规划和建设。在具

体元件维度上,主要考虑导线、杆塔、附件等元件的成本。在费用维度上,将输电线路成本分解为系统级成本和设备级成本。定义各单个设备所产生的相关费用为设备级成本,多个设备对整体输电线路产生的费用为系统级成本。系统级建立在设备级之上,需要依据各设备的相应计算数据。由于总成本费用综合评价模型的计算涉及输电线路的整个生命周期,在时间维度上将生命周期分为输电线路投资阶段、运行阶段和报废阶段。

1.2 输电线路生命周期各阶段成本构成

输电线路生命周期内总成本可分为初始投资成本、运行人工及维护成本、运行损耗成本、检修成本、备件仓储成本、故障停电损失、退役处置成本^[6-7]。

总成本模型公式如下:

$$L = C_1 + C_O + C_M + C_L + C_F + C_D + C_S, \quad (1)$$

式中: C_1 为输电线路初始投资成本; C_O 为输电线路的运行人工及维护成本; C_M 为输电线路的检修成本; C_L 为输电线路的运行损耗成本; C_F 为输电线路的故障停电损失; C_D 为输电线路的退役处置成本; C_S 为备件仓储成本。

1.2.1 初始投资成本

输电线路的初始投资成本是输电线路正式投运前的成本支出,将初始投资成本分为基础工程、杆塔工程、接地工程、架线工程、附件安装工程、辅助工程、特殊情况附加成本。

$$C_1 = M_b + M_t + M_g + M_a + M_f + M_s. \quad (2)$$

1.2.2 运行人工及维护成本

运行及人工维护成本是输电线路正式运行时的运行人工费用及维护支出,将运行人工及维护成本分为巡视人工费用、其他维护费用、融资带来的贷款利息、线路保险费。

$$C_D = C_{PAH} + C_{PAM} + C_{INT} + C_{ASS}, \quad (3)$$

式中: C_{PAH} 为输电线路巡视人工费用; C_{PAM} 为输电线路其他维护费用; C_{INT} 为输电线路融资带来的贷款利息; C_{ASS} 为输电线路保险费。

1.2.3 检修成本

检修成本分为因输电线路失效而引起的检修成本和定期检修成本,依据设备的失效程度分为临检成本和大修成本^[8-9]。

$$C_M = C_{tr} + C_{hr}, \quad (4)$$

式中: C_{tr} 为大修成本, C_{hr} 为日常检修成本。

1.2.4 运行损耗成本

运行损耗成本为

$$C_L = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{8760Q^2 l_N^2(t) R p_A(t)}{1000U^2(1+\delta)^t}, \quad (5)$$

式中: Q 表示线路的额定输送容量; $l_N(t)$ 表示第 t

年的最高负载率; R 表示输电线率的总电阻; $p_A(t)$ 表示第 t 年的平均购电价; U 为线路电压; δ 为预计残值率。

预计投运初期负载率最低,之后总体来说随年递增,直到第 t_N 年达到最大负载率,并保持到退役,假设第 1 年负载率为 $l_{M,\min}$, 负荷增长率为 a , 则:

$$l_M(t) = \begin{cases} l_{M,\min} + a(t-1), & t=1,2,\dots,t_N, \\ l_{M,\max}, & t_N < t < t_D. \end{cases} \quad (6)$$

在不同的电源类型,不同电网运行方式时,线路的负荷曲线都会有所变化。式(6)中最小负载率、负荷增长率和达到最大负载率的时间需根据具体情况下的线路负荷曲线给出经验值。

输电线路总交流电阻 R 为

$$R = \frac{3N_P \rho_{20} B [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)] L}{N_c S}, \quad (7)$$

式中: N_P 为线路回路数; ρ_{20} 为导线材料的直流电阻率; S 为截面积, mm^2 ; N_c 为导线分裂数; L 为导线长度, km ; B 为集肤效应系数; α_{20} 为导线 20°C 的电阻温度系数, $\alpha_{20} = 0.0036\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; θ_m 为导体温度, $^\circ\text{C}$ 。

根据过去几十年里购电价随机波动却稳步增长的趋势,则:

$$p_A(t) = \delta_A \left[\frac{t-1}{\Delta t_{PA}} \right] + p_A, \quad (8)$$

式中: p_A 为投运第 1 年的平均购电价; σ_A 为增长值; Δt_{PA} 为增长周期。根据收集的资料,对电价进行线性回归分析,判定系数 $r = 0.91$, 统计值 $F = 52.68$,

$$\begin{aligned} \text{LCC} = & C_1 + \sum_{t=1}^{t_D} C_O \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^t + \sum_{t=1}^{t_D} C_M \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^t + \sum_{t=1}^{t_D} \frac{8760Q^2 l_N^2(t) R p_A(t)}{1000U^2 (1+\delta)^t} + \\ & \sum_{t=1}^{t_D} \frac{C_{\text{ware}}(t)}{(1+\delta)^t} + \sum_{t=1}^{t_D} (C_{\text{DP}} + C_{\text{FX}} + C_{\text{PN}}) \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^t + \frac{C_R + C_V - C_{\text{NS}}}{(1+\delta)^{t_D}}. \end{aligned} \quad (12)$$

2 经济电流密度计算方法

基于总成本费用综合评价模型的经济电流密度计算主要分为初始投资成本获取与计算、运行损耗成本计算与经济电流密度计算三步进行。

2.1 初始投资成本计算

正常情况下各电压等级单/双回路初始投资表达式:

$$C_1 = 3N_P N_c \rho S L \alpha + \sum_{i=1} M_i, \quad (13)$$

式中: N_P 为线路回路数; N_c 为导线分裂数; ρ 为导线密度, g/cm^3 ; S 为线路截面积, mm^2 ; L 为线路长度, km ; α 为单位重量导线的价格, $\text{元}/\text{kg}$; $\sum_{i=1} M_i$ 为基础工程、杆塔工程、架线工程中除去导线成本外的部分、接地工程、附件工程、辅助工程和其他

自由度 $d_f = 5$, 认为电价符合线性增长规律。通过回归分析得到 $p_A = 0.3223$ 元, $\sigma_A = 0.01172$ 元, 这里取 $\Delta t_{PA} = 1$ 年。

1.2.5 故障停电损失

以年非计划停电量来衡量故障停电惩罚成本, 主要由 3 部分构成: 抢修线路故障的修复成本、故障引起的停电损失、故障停电后供电企业赔偿给用户的成本(简称为惩罚性成本)^[10-11]。其数学模型为

$$C_{CF} = \sum_{t=1}^{t_D} (C_{\text{DP}} + C_{\text{FX}} + C_{\text{PN}}) \left(\frac{1}{1+\sigma} \right)^t. \quad (9)$$

1.2.6 退役处置成本

退役处置成本包括线路退役清理成本, 线路提前退役导致的线路价值损失, 以及线路的回收残值。表达式如下:

$$C_D = \frac{C_R + C_V - C_{\text{NS}}}{(1+\delta)^{t_D}}, \quad (10)$$

式中: C_R 表示线路在退役时候的清理成本; C_V 表示提前退役线路的价值损失; C_{NS} 表示回收的残值; T 表示正常的寿命周期; δ 表示预计残值率, $0 \leq \delta \leq 1$ 。

1.2.7 备件仓储成本

备件仓储成本主要是指保管线路投运当年配备备件的投资^[12-13]。

$$C_{\text{SP}} = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{C_{\text{ware}}(t)}{(1+\delta)^t}, \quad (11)$$

式中 $C_{\text{ware}}(t)$ 表示第 t 年的备件仓储成本。

从式(1)~式(11)可得到架空输电线路的总成本模型, 见式(12)。

费用。

2.2 运行损耗成本计算

采用 π 型等值电路模型对线路的损耗情况进行分析^[14-15]。假设电压及功率流动方向如图 2 所示。

设首端电压为 \dot{U}_1 , 末端电压为 \dot{U}_2 , 末端功率为 $\tilde{S}_2 = P_2 + jQ_2$, 此时线路中的阻抗之路功率损耗为 $\Delta \tilde{S}_z$, 有功功率损耗为 ΔP_z , 无功功率损耗为 ΔQ_q , 导纳支路的功率损耗为 $\Delta \tilde{S}_y$, 根据潮流计算知识, 可以得到:

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{S} = & -j\Delta Q_{y2} + \Delta P_z + j\Delta Q_z - j\Delta Q_{y1} = \\ & \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} R - j \left(\frac{B}{2} U_1^2 + \frac{B}{2} U_2^2 - \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} X \right). \end{aligned} \quad (14)$$

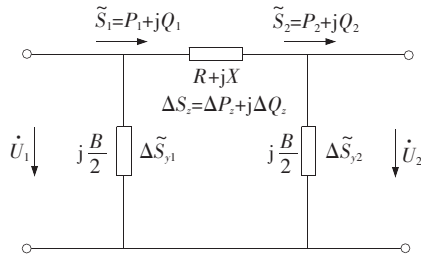


图 2 线路网损等值电路

Fig.2 Network loss equivalent circuit

一年内线路某一端电压或线路上的电流和无功、有功功率的变化规律已知,就可计算出线路的电能损耗。而在这些更短时间内,线路某一端电压、功率以及线路电流设为不变。从而得到

$$\begin{aligned} \Delta W_z &= \Delta W_{z_1} + \Delta W_{z_2} + \Delta W_{z_3} + \cdots + \Delta W_{z_n} = \\ & I_1^2 R t_1 + I_2^2 R t_2 + I_3^2 R t_3 + \cdots + I_n^2 R t_n = \\ & \sum_{k=1}^n I_k^2 R t_k = \sum_{k=1}^n \left(\frac{P_k^2 + Q_k^2}{U_k} \right) R t_k, \end{aligned} \quad (15)$$

式中: ΔW_z 表示全年电能损耗; ΔW_{z_k} 表示每个时间段内电能损耗; I_k 表示每个时间段内线路电流; P_k , Q_k , U_k 表示每个时间段内线路某一段有功功率、无功功率和电压。另外,可从相关手册查到各个行业的最大负荷利用小时数,以此求得年负荷率。最大负荷利用小时数 T_{\max} 指一年中负荷消费的电能 W 除以一年中最大负荷 P_{\max} , 即 $T_{\max} = W/P_{\max}$ 。例如,钢铁工业的 T_{\max} 为 6 500 h, 食品工业为 4 500 h, 等等。所谓年负荷率则指一年中负荷消费的电能 W 除以年最大负荷 P_{\max} 与一年 8 760 h 的乘积, 即年负荷率 $l_N = W/(8\ 760 P_{\max})$ 。从而

$$l_N = \frac{W}{8\ 760 P_{\max}} = \frac{P_{\max} T_{\max}}{8\ 760 P_{\max}} = \frac{T_{\max}}{8\ 760}, \quad (16)$$

式(16)中的运行损耗模型采用了负载率的计算方法,流密度往往用于工程规划设计阶段,为了简化计算,对该式进行下述改变。

$$C_L = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{3\tau_{\max} I^2 R p_A(t)}{(1+\delta)^t}, \quad (17)$$

式中: τ_{\max} 表示最大负荷损耗小时数; I 表示线路计算电流; R 表示输电线率的总电阻; $p_A(t)$ 表示第 t 年的平均购电价。

2.3 经济电流密度计算

根据上面建立的输电线路总成本费用模型,可以将总成本费用转化为关于截面 S 的表达式:

$$f(s) = f_1(s) + f_P(s) + f_M(s) + f_{SP}(s) + f_N(s) + f_D(s) + f_{CF}(s), \quad (18)$$

对 $f(s)$ 求导。令:

$$\begin{aligned} df(s)/ds &= df_1(s)/ds + df_P(s)/ds + \\ & df_M(s)/ds + df_{SP}(s)/ds + df_N(s)/ds + df_D(s)/ds + \\ & df_{CF}(s)/ds, \end{aligned} \quad (19)$$

求出当 $f(s)$ 即总成本费用最小时,截面 S 的表达式。

最后根据经济电流密度与截面的关系 $J = I/S$ 推导得:

$$J = \sqrt{\frac{[1.07 + 1/(1+\delta)^T] N_c k_2 \times 10^3}{3m\tau_{\max} P N_P \rho_{20} [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}}, \quad (20)$$

式中: δ 为折现率,取 8%; T 为线路寿命周期,取 30 年; k_2 为初始投资成本截面相关系数; m 为所需年金现值系数,

$$m = [(1+\delta)^T - 1]/[\delta(1+\delta)^T], \quad (21)$$

式中: τ_{\max} 为最大负荷损耗小时数; P 为国家发改委批复上网电价, 0.284 元/kW·h; N_P 为线路回路数; ρ_{20} 为导线材料的直流电阻率, 铝为 $31.5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$; S 为导线截面积, mm^2 ; N_c 为导线分裂数目; L 为导线长度, km; B 为集肤效应的系数,一般为 1; α_{20} 为导线 20 °C 的电阻温度系数, $\alpha_{20} = 0.0036 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; θ_m 为导体温度, °C。

根据经济电流密度的表达式,可以得到经济电流密度与各参量的关系。然后根据市场的变化,调整经济电流密度的大小,选择合适输电线使工程总费用成本最小。

3 算例分析与验证

本文针对佛山市实际设计线路,依据给定的工况,基于总成本费用综合评价模型的确定经济电流密度从而得到新的截面,然后计算生命周期内的总成本。本文计算得到线路故障率,并依据 110 kV 和 220 kV 具有代表性的故障曲线(见图 3 和图 4),给出平均故障次数,计算得到线路的故障停电损失。得到各个成本后,计算与实际设计线路的差距。对本文所计算的经济电流密度曲线进行实例验证。

3.1 线路规划要求

最大负荷利用小时数为 5 000 h,功率因数为 0.95。采用 1987 年标准,经济电流密度 J_1 取 1.2。经济电流密度 J_2 取 0.6。规划期内第 1 年半小时最大电流值为 $I = 275 \text{ A}$, 每年递增,至第 30 年达到最大值 550 A。

线路的经济截面计算公式:

$$S = I/J, \quad (22)$$

由式(22)可以计算出,传统的线路截面为

$$S_1 = I/J_1 = 275/1.2 = 229.17.$$

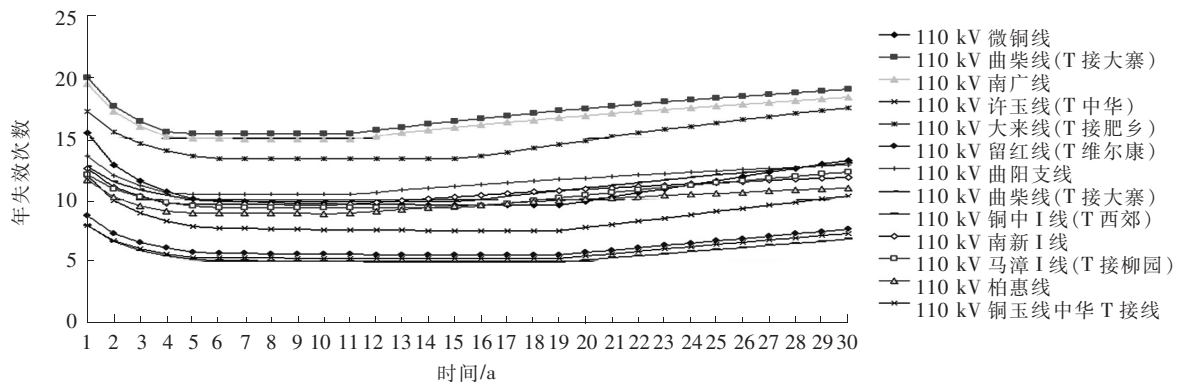


图 3 最具代表性 110 kV 线路拟合的失效曲线

Fig.3 Most representative fitting failure curve of 110 kV line

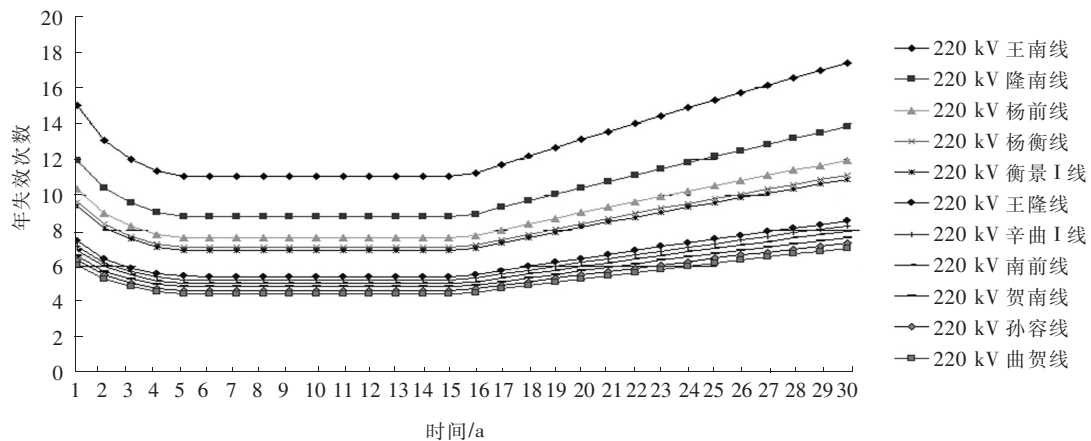


图 4 最具代表性 220 kV 线路拟合的失效曲线

Fig.4 Most representative fitting failure curve of 220 kV line

采用 1987 年的经济电流密度曲线,线路的截面选取为 240 mm^2 。

本文所提方法所选线路截面为

$$S_2 = I/J_2 = 275/0.6 = 458.33。$$

3.2 工程概况

本工程新建单回架空线路 13,622 km,导线型号: 1XJL/G1A-240/30,地线型号:两根 LBGJ-100-27AC。

新立铁塔 43 基,其中直线塔 27 基,耐张塔 16 基;地形划分:平地 45%,丘陵 55%;基础型为掏挖桩、大板式、灌注桩基础。

3.3 总成本计算

3.3.1 初始投资成本

初始投资成本见表 1 和表 2。

表 1 110 kV-240 导线初始投资成本

Tab.1 110 kV-240 wire initial investment cost

费用名称	基础工程/元	杆塔工程/元	接地工程/元	架线工程/元	附件安装工程/元	辅助工程/元	合计/元	单位投资/(元·km ⁻¹)
直接费用	1 556 702	2 420 868	69 258	1 106 373	521 078	135 083	5 809 362	426 469.09
间接费用	481 701	147 341	23 910	117 603	75 200	76 722	922 477	67 719.64
利润	101 919	128 411	4 658	61 199	29 814	10 590	336 591	24 709.37
税金	74 268	93 573	3 395	44 595	21 725	7 717	245 273	18 005.65
合计	2 214 590	2 790 193	101 221	1 329 770	647 817	230 112	7 313 703	536 903.76
占比/%	30.3	38.1	1.4	18.2	8.9	3.1	100	

表 2 110kV-400 导线初始投资成本

Tab.2 110kV-400 wire initial investment cost

费用名称	基础工程/元	杆塔工程/元	接地工程/元	架线工程/元	附件安装工程/元	辅助工程/元	合计/元	单位投资/(元·km ⁻¹)
直接费用	1 830 976	2 673 737	68 746	1 445 509	489 867	135 083	6 643 918	487 734.4
间接费用	560 031	161 621	23 758	136 811	60 731	76 722	1 019 674	74 854.94
利润	119 550	141 768	4 625	79 117	27 530	10 590	383 180	28 129.5
税金	87 116	103 307	3 370	57 652	20 061	7 717	279 223	20 497.94
合计	2 597 673	3 080 433	100 499	1 719 089	598 189	230 112	8 325 995	611 216.78
占比/%	31	37	1	21	7	3	100	

依据式(9) 计算得:

1) 截面 240 导线的初始投资成本为 $C_{11} = 1\ 067$ 万元,单位投资为 77 万元 /km;

2) 截面 400 导线的初始投资成本为 $C_{12} = 1\ 204$ 万元,单位投资为 87 万元 /km。

3.3.2 运行人工及维护成本

依据式(10) 计算得:

1) 截面 240 导线的运行人工及维护成本为

$$C_o = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{5\% \times C_1}{(1+\delta)^t} = \sum_{t=1}^{30} \frac{5\% \times 1\ 067}{(1+8\%)^{30}} = 600.603\ 6 \text{ 万元。}$$

2) 截面 400 导线的运行人工及维护成本为

$$C_o = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{5\% \times C_1}{(1+\delta)^t} = \sum_{t=1}^{30} \frac{5\% \times 1\ 024}{(1+8\%)^{30}} = 677.719\ 6 \text{ 万元。}$$

3.3.3 检修成本

表 3 为南网不同电压等级线路的检修费用标准。

表 3 不同电压等级检修费用标准

Tab.3 Different voltage rating maintenance costs standards

电压等级	单位长度标准/(元·km ⁻¹)
35 kV 架空输电线路	3 637
110 kV 架空输电线路	4 704
220 kV 架空输电线路	5 406
500 kV 架空输电线路	5 472
750 kV 架空输电线路	6 001

由于所选电路均是 110 kV 单回路,因此二者的检修费用相同。依据式(11) 计算如下:

$$C_M = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{C_{Mav}L}{(1+\delta)^t} = \sum_{t=1}^{30} \frac{4\ 702 \times 10^{-4} \times 13.622}{(1+8\%)^{30}} = 72.137\ 5 \text{ 万元。}$$

3.3.4 运行损耗成本

由最大负荷利用小时数 5 000 h 和功率因数 0.95 可查得最大负荷损耗小时数为 3 200 h。

1) 截面 240 导线电阻值 $R = 0.140\ 7 \Omega/\text{km}$,由式(12) 计算可得:

$$C_L = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{3\tau_{\max} I^2 R p_A(t)}{(1+\delta)^t} = \sum_{t=1}^{30} \frac{3 \times 3\ 200 \times (275 \times (1+(t-1) \times 0.033\ 3))^2 \times 0.140\ 7 \times 13.622 \times [0.011\ 72(t-1) + 0.322\ 3] \times 10^{-7}}{(1+0.08)^t} = 1\ 293.88 \text{ 万元。}$$

2) 截面 400 导线电阻值 $R = 0.084\ 4 \Omega/\text{km}$,由式(12) 计算可得:

$$C_L = \sum_{t=1}^{t_D} \frac{3\tau_{\max} I^2 R p_A(t)}{(1+\delta)^t} = \sum_{t=1}^{30} \frac{3 \times 3\ 200 \times (275 \times (1+(t-1) \times 0.033\ 3))^2 \times 0.084\ 4 \times 13.622 \times [0.011\ 72(t-1) + 0.322\ 3] \times 10^{-7}}{(1+0.08)^t} = 776.14 \text{ 万元。}$$

3.3.5 故障停电损失成本

故障停电损失与当地的输送电量、线路的故障概率以及售电价有关,而这些因素对于不同截面的线路值是相同的,即故障停电损失与线路选型关联

很弱,近似认为二者停电损失相同。110 kV 输送容量为 264.0 MW。

平均故障次数表达式:

$$\lambda = \lambda_i N + \lambda_l L, \quad (23)$$

式中: λ_l 为杆塔缺陷参数; λ_w 为导线缺陷参数; N 为杆塔基数; L 为线路长度。

3.4 总成本计算

240 导线故障率:

$$\lambda_{240} = 0.0874 \times 43 + 0.0031 \times 13.622 =$$

$$3.7582 + 0.0422 \approx 3.80 \text{ 次。}$$

400 导线故障率:

$$\lambda_{400} = 0.0976 \times 43 + 0.0111 \times 13.622 =$$

$$4.1986 + 0.1512 \approx 4.35 \text{ 次。}$$

通过计算不同截面的各个经济成本可得表 4。

表 4 不同截面的经济成本对比表

Tab.4 Economic cost comparison chart for different sections

导线种类	初始投资	运行人工及维护	检修成本	运行损耗成本	故障停电损失	总成本
240 mm ²	1 067	600.60	72.14	1 293.88	410.96	3 444.58
400 mm ²	1 204	677.72	72.14	776.14	423.67	3 153.67

从表 4 可知,线路截面增加,导致初始投资成本、运行人工及维护成本、故障停电损失、退役成本都相应增加;但是,线路截面的增大,使得线路电阻减小,线路损耗降低,而这一收益在 30 年内超过了上述几个成本的增加的总和,在整个运行周期内总成本可减少 300 万元。

4 结 语

本文主要研究了经济电流密度计算方法,并提出了一种基于总成本费用综合评价模型的经济电流密度计算模型,相比于传统的利用电能损耗以及年最大负荷计算经济电流密度,采用该方法不仅使得计算更加可靠与准确,而且可在规划设计阶段考虑线路的总成本费用以降低工程总成本。最后通过总成本费用模型对一条已建成的线路进行了验证,证明了本方法的合理性和可行性。

从一般性规律来看,本文建立的经济电流密度计算模型,由于选用了更高规格的输电线,因此在长尺度经济性分析中其结果通常优于低规格线路,但是在工程实际中受工程预算以及电网规划滞后的影响,有些线路仍采用保守的工程选型方案。在后续研究中将考虑经济电流密度计算的综合因素,继续对本文模型加以完善。

参考文献/References:

[1] 李涛,马薇,黄晓蓓. 基于全生命周期成本理论的变电设备管理[J]. 电网技术, 2008, 32(11): 50-53.
LI Tao, MA Wei, HUANG Xiaobei. Power transformation equipment management based on life cycle cost theory[J]. Power System Technology, 2008, 32(11): 50-53.

[2] 李泓泽,郎斌. 全生命周期造价管理在电力工程造价管理中的应用研究[J]. 华北电力大学学报, 2008(1): 7-11.
LI Hongze, LANG Bin. The application of the whole life cycle engineering cost management on the electricity engineering field[J]. Journal of North China Electric Power University, 2008(1): 7-11.

[3] KHAN F N, LAU A P T, LI Z H, et al. Statistical analysis of optical signal-to-noise ratio monitoring using delay-tap sampling[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2010, 22(3): 149-151.

[4] HINOW M, MEVISSSEN M. Substation maintenance strategy adaptation for life-cycle cost reduction using genetic algorithm[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 2011, 26(1): 197-204.

[5] NILSSON J, BERTLING L. Maintenance management of wind power system using condition monitoring systems-life cycle cost analysis for two case studies[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2007, 22(1): 223-229.

[6] 詹清华,陈邦发. 输电线路总成本费用计算模型研究[J]. 时代经贸, 2016(24): 73-75.

[7] 徐子智,李敬如,李显鑫,等. 国家电网公司输电线路工程典型造价的编制依据及使用[J]. 电力建设, 2007, 28(3): 62-65.
XU Zizhi, LI Jingru, LI Xianxin, et al. Basis and usage of typical engineering cost of SGCC transmission line projects[J]. Electric Power Construction, 2007, 28(3): 62-65.

[8] 郭立伟,赫素敏. 电力系统线路电压降与电压损失的精确表达式[J]. 河北工业科技, 2000, 17(1): 36-37.
GUO Liwei, HE Sumin. Accurate expressions of voltage drop and voltage loss on power system[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2000, 17(1): 36-37.

[9] 葛维平. 电网建设项目应用全生命周期成本控制分析[J]. 电力建设, 2009, 30(7): 92-94.
GE Weiping. Discussion about full-life cycle cost control for power grid construction project[J]. Electric Power Construction, 2009, 30(7): 92-94.

[10] 沈京京. 电网企业资产全生命周期成本管理探索[J]. 华东电力, 2008, 36(12): 122-124.
SHEN Jingjing. Exploration of assets life cycle management for grid enterprises[J]. East China Electric Power, 2008, 36(12): 122-124.

[11] 魏喆. 作业成本法(ABC)在工程项目成本管理中的应用[J]. 河北工业科技, 2005, 22(6): 344-346.
WEI Zhe. Application of activity-based costing (ABC) in project cost management[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2005, 22(6): 344-346.

[12] KISHK M, AL-HAJJ A. A fuzzy approach to model subjectivity in life cycle costing[EB/OL]. <https://www.researchgate.net/publication/297431088>, 2019-11-01.

[13] FLANGAGAN R. Life Cycle Costing: Theory and Practice[M]. Oxford: BSP Professional Books, 1989.

[14] 曾庆禹. 1 000 kV 特高压输电系统输电能力研究[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 1-6.
ZENG Qingyu. Study on power transmission capability of 1 000 kV ultra high voltage transmission system[J]. Power System Technology, 2012, 36(2): 1-6.

[15] 丁伟,胡兆光. 特高压输电经济性比较研究[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 7-13.
DING Wei, HU Zhaoguang. The research on the economy comparison of ultra high voltage[J]. Power System Technology, 2006, 30(19): 7-13.