

文章编号: 1007- 2985(2009) 06- 0074- 04

基于经济电流密度和经济截面的电缆截面设计^{*}

林 庆¹, 杨艳玲²

(1. 柳州市建筑设计科学研究院, 广西 柳州 545001; 2. 柳州职业技术学院, 广西 柳州 545005)

摘 要: 阐述了按经济电流选择中低压电力电缆截面的经济选型方法, 通过案例分析, 阐述了利用经济电流和经济截面进行电力电缆截面选择及相关问题, 得出了按经济电流选择电力电缆截面的方法, 从而可起到节约能源、保护环境的作用。

关键词: 节能环保; 供配电系统节能; 电力电缆经济选型; 经济电流; 经济截面

中图分类号: T M 246⁺. 2

文献标识码: A

人口、资源和环境是当今世界各国普遍关注的重大问题, 关系到人类社会经济的可持续发展, 而其中的资源和环境及电能有效利用的关系最为密切。电力供配电线路在电力供配电系统中, 既是传输电能的介质、又是消耗电能的设备。中国在两网改造之前, 农村电网的线路损耗达 20% ~ 30%, 城市线损也在 10% 以上。目前, 全国装机容量已超过 3×10^8 kW, 也就是说, 电厂发出的电能有数千万千瓦白白地消耗在各级电网中。根据中国国情, 如能全面推行按经济电流选择电线、电缆截面的方法, 将可减少 35% ~ 42% 的线路损耗, 节能效果、经济效益明显。同时该方法有效的实施, 将大大地减少 CO₂ 的年排放量, 利于环境保护, 其环境、社会效益显著。笔者从中低压电力电缆截面经济选型的角度, 论述了电气节能设计中一种基本而易被忽视的按经济电流选择电力电缆截面方法。

1 低压电缆截面选择的技术与经济条件

1.1 低压电缆截面选择的技术条件

电力电缆截面的选择, 是供配电系统设计的主要内容之一, 传统的电缆截面选择方法多按技术条件进行选择。为便于对低压电缆截面选择有个系统地认识, 有必要对其简述。《低压配电设计规范 GB50054—1995》的第 2.2.2 条, 明确规定了电力电缆截面选择应满足的技术条件: (1) 电缆的线芯温升不超过其绝缘材料允许的长期工作温度; (2) 线路的电压损失应满足用电设备正常工作及起动时端电压的要求; (3) 导体通过短路电流时, 其动热稳定性应满足要求; (4) 线芯最小截面应满足机械强度的要求; (5) 导体满足过负荷保护的同时, 满足 TN 系统接地故障保护的灵敏性要求。

1.2 低压电缆截面选择的经济条件

《电力工程电缆设计规范 GB50217—2007》的第 3.7.1.4 条, 规定了电缆截面选择的经济条件: 10 kV 及以下电力电缆截面除应符合上述 1~3 款的要求外, 尚宜按电缆的初始投资与使用寿命期间的运行费用综合经济的原则选择。10 kV 及以下电力电缆经济电流截面选用方法宜符合本规范附录 B 的规定。而原《电力工程电缆设计规范 GB50217—1994》的第 3.7.1.4 条局限于高压线路, 中低压线路不适用, 新规范条文的规定比原废止规范更为合理。根据统计, 中国实际使用的 35 kV 及以下的电缆约占电缆总用量的 85%。显然, 针对 15% 的电缆进行经济核算选型, 必将是舍本求末。其次, 原条文的可操作性不强, 年运行费用的计算涉及诸多因素, 各类资料中又没有提供这些基础计算数据, 实际上是无法进行计算的。

* 收稿日期: 2009- 08- 15

作者简介: 林 庆(1971-), 男, 浙江宁波人, 柳州市建筑设计科学研究院电气工程师, 主要从事供配电技术研究。

《低压配电设计规范- 200X》征求意见稿的第 3. 3. 3 条, 也规定了电缆截面选择的经济条件: 当电缆用于长期稳定的负荷或必要时, 经技术经济比较合理时, 宜按经济电流密度选择导体截面. 该条文适用于低压电力电缆配电线路, 补充了低压电力电缆按经济条件选择的要求. 其编入的出发点在于响应国家提出的节能减排的号召, 按经济电流(寿命期内, 投资和导体消耗费用之和最小的适用截面所对应的工作电流)选择电缆截面, 逐步与先进的国际标准《电力电缆截面的经济最佳化》IEC287- 3- 2/1995 等同或等效, 逐步与国际接轨、消除中国成为 WTO 成员之后的行业技术壁垒.

以上 2 个规范条文的编入为设计人员经济合理地选择电力电缆截面提供了有力的设计依据, 笔者将就其原理和方法、工程实例进行论述.

2 低压电力电缆截面经济电流选择的原理和方法

2.1 总费用(TOC)最小法则

TOC 最小法则为

$$C_T(\text{总费用}) = C_I(\text{初始投资费用}) + C_J(\text{运行损耗费用}). \quad (1)$$

由(1)式不难看出, C_I 与 C_J 是存在矛盾的 2 个方面, 寻找二者之间的平衡点, 使 C_T 最小, 其平衡点就是经济截面, 它是一个截面区间. 经济电流也有一定电流范围, 在经济截面的范围内, 可选择较小截面, 设

$$C_J = I_{\max}^2 \cdot R_L \cdot F, \quad (2)$$

$$F = N_c \cdot N_p \cdot (\tau \cdot P + D) \cdot \psi / (1 + i/100), \quad (3)$$

$$\psi = (1 - r^N) / (1 - r), \quad (4)$$

$$r = [(1 + a/100)^2 \cdot (1 + b/100)] / (1 + i/100). \quad (5)$$

其中: I_{\max} 为第 1 年的最大负载电流; R_L 为考虑各种因素(如集肤效应、邻近效应、护层电流、温度、长度等)后的实际交流电阻值, 单位为 Ω ; F 为综合系数, 它包含 8 个方面的内容: (1) 回路数 N_c 和导体的数量 N_p ; (2) 年最大负荷损耗小时 τ 当 $\cos \varphi = 0.9$ 时, 单班制约为 1 400 h, 2 班制约为 2 400 h, 3 班制约为 4 500 h; (3) 电价 P , 按中国区域分布, 大致分为 3 个电价区域; (4) 附加发电成本 $D = 252$ 元/(kW · a), 是由于线路损耗而导致额外供电容量的成本; (5) 负荷增长率 a , 可忽略不计; (6) 能源增长成本 b , 一般为 2%; (7) 贴现率 i , 即损耗是投产后直至电缆经济寿命终了之间逐年产生的费用, 都必须根据银行利率等因素折算到当前的“现值”, $i = 10\%$; (8) 经济寿命 N , 根据国家电力公司动力经济研究中心的建议, $N = 30 a$.

2.2 经济电流范围

在一定的敷设条件下, 每一线芯截面都有一个经济电流范围(如表 1), IEC 287- 3- 2/1995 提供了这一范围上、下限值的计算公式:

$$I_{ec1} = \sqrt{(C_I - C_{I1}) / F \cdot L(R_1 - R)}, \quad (6)$$

$$I_{ec2} = \sqrt{(C_{I2} - C_I) / F \cdot L(R - R_2)}. \quad (7)$$

其中: C_I 为某一截面电缆的总投资(包括了主材、附件及施工费); C_{I1} 为比 C_I 小 1 级截面电缆的总投资; C_{I2} 为比 C_I 大 1 级截面电缆的总投资; F 为综合系数; L 为电缆长度, 单位为 km; R 为 C_I 对应截面电缆单位长度的交流电阻, 单位为 Ω/km ; R_1 为 C_{I1} 对应截面电缆单位长度的交流电阻, 单位为 Ω/km ; R_2 为 C_{I2} 对应截面电缆单位长度的交流电阻, 单位为 Ω/km .

表 1 0.6/1.0 kV 低压电力电缆经济电流范围表

芯线材料	主线芯经济截面/ mm^2	低电价区(西北、西南) $P = 0.3$ 元/kWh			中电价区(华北华中东北) $P = 0.4$ 元/kWh			高电价区(华东、华南) $P = 0.5$ 元/kWh		
		一班制	二班制	三班制	一班制	二班制	三班制	一班制	二班制	三班制
	70	147 ~ 202	111 ~ 153	86 ~ 119	135 ~ 186	99 ~ 137	76 ~ 105	126 ~ 173	91 ~ 125	69 ~ 95
铜芯	95	202 ~ 265	153 ~ 200	119 ~ 156	186 ~ 244	137 ~ 179	105 ~ 138	173 ~ 227	125 ~ 163	95 ~ 125
	120	265 ~ 333	200 ~ 251	156 ~ 196	244 ~ 307	179 ~ 225	138 ~ 173	227 ~ 285	163 ~ 205	125 ~ 156

注 表中数据节选自参考文献[4], 且 $T_{\max} = 2\,000, 4\,000, 6\,000$ h

以上公式适用于中低压电力电缆经济选型,其中经济电流 I_{ec1} 、 I_{ec2} 可通过文献[4]提供的专业软件进行便捷的计算。

3 低压电力电缆截面经济电流选择的工程案例

3.1 选择电缆截面的案例

设某一负荷计算电流 $I_c = 140$ A, 最大负荷利用小时数 $T_{max} = 2\ 000, 4\ 000, 6\ 000$ h, 当地电价 $P = 0.5$ 元/kWh. 4 根电缆无间距并排在有孔托盘电缆桥架上敷设, 环境温度 $\theta_n = 40$ °C. 选用 VV 低压电缆, 求电缆截面。

(1) 按载流量求截面, 由参考文献[4]可知: 并列载流量校正系数为 0.79, 其 $I = 140/0.79 = 177$ A; 当 $\theta_n = 40$ °C 时, 70 mm^2 截面的铜芯电缆载流量为 188 A. 所以, 按载流量求得的截面为 70 mm^2 。

(2) 按经济电流求截面. 经济截面的选择可通过电缆的经济电流范围表或电缆的经济电流密度曲线查得, 其中, 前者适用于电价限定于 3 种电价 ($P = 0.3, 0.4, 0.5$ 元/kWh)、最大负荷利用小时数 T_{max} 为 3 类 (2 000, 4 000, 6 000 h) 的情况; 后者适用于 P 和 T_{max} 连续变化的情况 ($P = 0.2 \sim 1$ 元/kWh, $T_{max} = 0 \sim 8\ 760$ h). 介于上例 P 和 T_{max} 满足采用经济电流范围表选择经济截面条件, 本例采用前种方法. 由表 1 可知: 当 $I_c = 140$ A, $T_{max} = 2\ 000$ h, $P = 0.5$ 元/kWh 时, 得 $S_e = 70\text{ mm}^2$; 当 $I_c = 140$ A, $T_{max} = 4\ 000$ h, $P = 0.5$ 元/kWh 时, 得 $S_e = 95\text{ mm}^2$; 当 $I_c = 140$ A, $T_{max} = 6\ 000$ h, $P = 0.5$ 元/kWh 时, 得 $S_e = 120\text{ mm}^2$ 。

(3) 鉴于篇幅所限, 按电压损失、短路热稳定、保护灵敏性、机械强度等技术条件选择电缆截面从略. 最终的电缆截面应取满足上述 6 个技术经济条件的最大值。

3.2 投资回收年限

由于按经济电流选择电缆截面时, 截面较大, 使初期投资增加, 那么增加的投资要多少年才能收回, 这是项目投资运营方非常关心的问题, 现举例说明。

某一负载 $I_n = 90$ A, 选用 VV-3 芯电缆供电, 电缆长 100 m, 当地电价 0.5 元/kWh. 经计算, 按载流量选择截面为 $3 \times 25\text{ mm}^2$; 按经济电流选择截面分别为一班制 ($3 \times 50\text{ mm}^2$)、二班制 ($3 \times 70\text{ mm}^2$)、三班制 ($3 \times 95\text{ mm}^2$)。逐年总费用及投资回收年限比较如表 2 所示。

表 2 逐年总费用(TOC)及投资回收年限比较

项目	一班制		二班制		三班制	
	截面类型	发热截面	截面类型	发热截面	截面类型	发热截面
电缆截面/ mm^2	3×25	3×50	3×25	3×70	3×25	3×95
初始投资/元	4 236	7 499	4 236	10 109	4 236	13 372
第 1 年 TOC/元	5 854	8 228	7 239	11 077	9 084	14 522
第 3 年 TOC/元	8 745	9 531	12 604	12 807	17 749	16 577
第 5 年 TOC/元	11 232	10 651	17 218	14 294	25 198	18 345
第 30 年 TOC/元	24 173	16 483	41 233	22 035	63 977	27 544
投资回收年限/a	3.68		2.81		2.36	

注 表中数据摘录自国际铜业协会的技术文献

由表 2 可知, 对应的回收年限分别为 3.68, 2.81, 2.36 a. 从而可知: T_{max} 愈大, 回收年限愈短; 在回收年限之后, 每年都有节约, 节约的数字逐年加大, 经济效益十分明显. 如果预计工程的使用年份小于回收年限 (如临时过渡项目), 则不必按经济电流来选择电缆截面, 以免增加的投资不能回收。

4 结语

(1) 线芯截面选择时, 技术和经济是相互依存的 2 个方面. 通常按经济条件选择大于按技术条件选择

的截面 1~2 级,但有时按短路热稳定等技术条件选择的截面大的情况,因此应该同时满足经济条件和技术条件,取两者截面较大者。

(2) 最大负荷利用小时数 T_{\max} 越大,经济电流值越小,选择的经济截面越大, T_{\max} 越小,经济电流值越大,选择的经济截面越小。工程设计中,就选择电缆的经济截面而言, T_{\max} 对其选择结果影响不大, T_{\max} 毋须采用精确数值,仅采用行业的统计数据即可满足要求。

(3) 按经济电流选择电缆截面,通常会大于按载流量所选的截面。初始投资费用会增大;但运行损耗费用和总费用支出会很小,而且增加的初期投资一般仅需 2~4 a 即可收回。

(4) 大力推广按经济电流选择电缆截面,有利于节省总费用、节约能源、环境保护,有明显的经济、社会和环境效益。

参考文献:

- [1] 中机中电设计研究院. GB50054—1995 低压配电设计规范 [S]. 北京:中国计划出版社出版,1996.
- [2] 中国电力工程顾问集团西南电力设计院. GB50217—2007 电力工程电缆设计规范 [S]. 北京:中国计划出版社出版,2007.
- [3] 西南电力设计院. GB50217—1994 电力工程电缆设计规范 [S]. 北京:中国计划出版社出版,1994.
- [4] 中国航空工业规划设计研究院组. 工业与民用配电设计手册 [M]. 北京:中国电力出版社出版,2005.
- [5] 中机中电设计研究院. GB50054—200X. 低压配电设计规范(征求意见稿) [S]. 北京:中国计划出版社,2000.

Choosing Cross Section of Cable According to Economic Current Density and Economic Cross Section

LIN Qing¹, YANG Yarr ling²

(1. Architectural Design Research Institute of Liuzhou, Liuzhou 545001, Guangxi China; 2. Vocational Technical Institute of Liuzhou, Liuzhou 545005, Guangxi China)

Abstract: Economic selection method of choosing medium and low coltage power cable cross-section according to economic current is described. Through case studies, the authors explain how to take advantage of economic currents and economic cross-section. Approach of choosing the power cable cross-section is put forward, according to the economic currents, which can save energy and protect the environment.

Key words: energy-saving and environmental protection; energy-saving power supply system; economic selection of power cables; economic current; economic cross-section

(责任编辑 陈炳权)