

5 芯等截面电缆最大允许长度简析

张瑶 万洁芸

中国汽车工业工程有限公司 300113

【摘要】工厂配电设计中经常遇到大面积的厂房,由低压柜至配电箱的距离很长,实际选用电缆时除了考虑载流量等参数,还需要核算短路电流保护是否满足要求,此研究将各动作电流下各电缆规格可敷设的最大长度整理成表格,根据表格结果,可直接判断某回路特定长度、特定电缆规格下可整定的动作电流倍数,或者特定整定电流倍数和长度下应选择的电缆规格,省去设计过程中每个回路的重复计算。本课题相较于19DX101-1《电气常用数据》表4.31,采用了不同的计算方法,并在其基础上扩充了适用范围,增加了单芯电缆及五芯等截面电缆的计算结果。

【关键词】5芯等截面; 电缆; 最大允许长度

Analysis of the Maximum Permissible Length for 5-Core Equal Cross-Section Cables

Zhang Yao Wan Jieyun

China Automotive Industry Engineering Co., Ltd. 300113

【Abstract】In factory power distribution design, large-scale workshops are often encountered, where the distance from low-voltage cabinets to distribution boxes is considerable. When selecting cables, in addition to considering parameters such as current-carrying capacity, it is also necessary to verify whether the short-circuit current protection meets the requirements. This study compiles the maximum allowable lengths for various cable specifications under different operating currents into a table. Based on the table results, one can directly determine the operating current multiple that can be set for a specific circuit length and cable specification, or the cable specification to be selected for a specific operating current multiple and length, thereby eliminating the need for repeated calculations for each circuit during the design process. Compared with Table 4.31 of the "Common Electrical Data"(19DX101-1), this study adopts a different calculation method and expands its applicability by adding calculation results for single-core cables and five-core equal cross-section cables.

【Key words】5-core cable, equal cross-section, maximum allowable length

1. 计算过程

1.1 计算原则

目前国内短路电流计算方法有两种:一种方法,见GB/T15544《三相交流系统短路电流计算》;另一种为实用算法,见DL/T5153-2014《火力发电厂厂用电设计规程》和DL/T5222-2021《导体和电器选择设计技术规程》。国内设计多采用实用法,本课题遵从原有设计习惯采用实用法来计算低压网络短路电路。低压网络短路电流计算的假设条件:

1) 用户配电变压器容量远小于电力系统容量,即系统容量为无限大,短路电流周期分量不衰减。

2) 忽略系统侧阻抗。

3) 计入短路回路各元件的有效电阻,但忽略短路点电弧电阻,导线连接点及开关设备和电器的接触电阻等。

4) 低压配电线路末端发生短路,因线路电阻较大,短路电流非周期分量衰减较快,故忽略非周期分量的影响。

5) 单位长度的有效电阻的计算温度不同,在计算三相短路电流时,导体计算温度取为20℃;在计算单相短路电流时,假设的计算温度升高,电阻值增大,其值一般为20℃时电阻的1.5倍。

1) 计算过程采用有名单位制,电压用V,电流用kA,容量用kVA,电阻用mΩ。

2) 计算220/380V网络单相接地故障时,计算电压系数取1.0。

3) 计算单相短路电流时,由于短路点远离发电机,因此可以认为所有元件的负序阻抗等于正序阻抗。TN接地系统低压网络的零序阻抗等于相线的零序阻抗与3倍PE线的零序阻抗之和,即:

$$Z_{(0)} = Z_{(0)ph} + 3Z_{(0)p}$$

$$R_{(0)} = R_{(0)ph} + 3R_{(0)p}$$

$$X_{(0)} = X_{(0)ph} + 3X_{(0)p}$$

TN接地系统低压网络的相阻抗与各相序阻抗的关系:

$$Z_{ph-p} = (Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}) / 3$$

$$R_{ph-p} = (R_{(1)} + R_{(2)} + R_{(0)}) / 3 = (2R_{(1)} + R_{(0)}) / 3$$

$$X_{ph-p} = (X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)}) / 3 = (2X_{(1)} + X_{(0)}) / 3$$

1.2 10/0.4kV 三相双绕组变压器的阻抗

配电变压器的正序阻抗可按下面工时间计算:

$$R_T = (P_{kT}) / (3I_{NT}^2) \times 10^{-3}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

$$Z_T = \frac{u_{kN}\%}{100} * \frac{U_N^2}{S_{NT}}$$

当电阻可忽略不计时: $X_T = \frac{u_{kN}\%}{100} * \frac{U_N^2}{S_{NT}}$

变压器的负序阻抗等于正序阻抗。变压器各参数由制造厂通过测试提供。《工业与民用供配电设计手册》(第四版)列出了各种型号变压器的阻抗平均值。实际工程设计中,低压网络中10/0.4kV变压器绝大部分情况采用Dyn11连接组别,所以本课题直接引用手册表4.6-13中的数据作为计算依据。表格数据见下:

表 1

SCB11 型 10/0.4kV 干式变压器, Uk%=6							
容量	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
负载损耗 (W)	5960	6960	8430	9690	11730	14450	17170
正负序电阻 (mΩ)	2.4	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44
零序电阻 (mΩ)	2.4	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44
相保电阻 (mΩ)	2.4	1.74	1.3	0.9	0.73	0.58	0.44
正负序电抗 (mΩ)	15	11.8	9.5	7.6	5.96	4.77	3.81
零序电抗 (mΩ)	13.9	11	8.9	7.2	5.74	4.67	3.81
相保电抗 (mΩ)	14.6	11.6	9.3	7.4	5.88	4.73	3.81

1.3 低压配电线路的阻抗

低压配电电缆的阻抗计算公式如下:

$$Z(1) = R_L + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{d}{r_L} \right), \quad d = \sqrt[3]{d_{L1L2} d_{L2L3} d_{L3L1}}$$

$$Z(2) = Z(1)$$

$$Z(0) = Z(0)_{ph} + 3Z(0)_p, \text{ 计算 } Z(0)_{ph} \text{ 和 } Z(0)_p$$

的公式同 Z(1), 但算零序阻抗时, $d = \sqrt[3]{d_{L1p} d_{L2p} d_{L3p}}$

线路相保阻抗的计算公式如下:

$$R_{php} = (R(1) + R(2) + R(0)) / 3 = (R(1) + R(2)$$

$$+ R(0)_{ph} + 3R(0)_p) = R_{ph} + R_p$$

$$X_{php} = (X(1) + X(2) + X(0)) / 3 = (X(1) + X(2)$$

$$+ X(0)_{ph} + 3X(0)_p) = X_{ph} + X_p$$

$$Z_{php} = \sqrt{R_{php}^2 + X_{php}^2}$$

实际计算过程很繁杂,《工业与民用供配电设计手册》(第四版)列出了各种规格的电缆的电气参数。平时设计过程中最常采用 YJV 型电缆,本次课题直接采用了表 4.2-30 YJV-0.6/1kV 4 芯单芯电缆(铜芯)电气参数及表 4.2-46 YJV-0.6/1kV 4 芯(非等截面)电缆(铜芯)电气参数作为计算依据,按照计算原则 1.1 条第 5 款的原则及上述相保阻抗的计算公式,计算出对应单芯及多芯电缆的相保阻抗。具体表格计算数据如下:

表 2

截面	4 单芯, 矩形排列 (基础数据)						标准 4+1 相保 (计算数据)	
	正序电阻 R(1) (Ω/km)	正序电抗 X(1) (Ω/km)	零序电阻 R(0) (Ω/km)	零序电抗 X(0) (Ω/km)	R'(0) NE	X'(0) NE	R _{ph.p} = (R(1) _{ph} + R(1) _p) * 1.5	X _{ph.p} = X(1) _{ph} + X(1) _p
10	1.8519	0.1134	7.4076	0.4537	2.6504	1.8903	5.5557	0.2268
16	1.1574	0.106	4.6296	0.424	2.0939	1.5464	3.4722	0.2120
25	0.7407	0.1023	2.9628	0.1091	1.6793	1.1504	2.8472	0.2083
35	0.5291	0.0977	2.1164	0.391	1.3803	0.8726	2.5298	0.2037
50	0.3704	0.0948	1.4816	0.3794	1.0712	0.6487	1.6667	0.1971
70	0.2646	0.0919	1.0584	0.3674	0.815	0.5063	1.1906	0.1896
95	0.1949	0.0897	0.7796	0.3589	0.622	0.4256	0.8480	0.1845
120	0.1543	0.088	0.6172	0.3518	0.5015	0.3843	0.6284	0.1799
150	0.1235	0.0882	0.494	0.353	0.4054	0.3626	0.5822	0.1801
185	0.1001	0.0872	0.4004	0.348	0.3311	0.3448	0.4425	0.1769
240	0.0772	0.086	0.3088	0.3438	0.2574	0.3295	0.3473	0.1740

表 3

截面	多芯, 4 芯非等截面 (基础数据) 3+2				标准 4+1 相保 (计算数据)		5 芯等截面相保 (计算数据)	
	正序电阻 R(1)	正序电抗 X(1)	零序电阻 R(0)	零序电抗 X(0)	R _{ph.p} = (R(1) _{ph} + R(1) _p) * 1.5	X _{ph.p} = X(1) _{ph} + X(1) _p	R _{ph.p} = (R(1) _{ph} + R(1) _p) * 1.5	X _{ph.p} = X(1) _{ph} + X(1) _p
10	1.8576	0.0869	7.4304	0.3476	5.5728	0.1738	5.5728	0.1738
16	1.161	0.083	4.644	0.3319	3.4830	0.1660	3.4830	0.1660
25	0.743	0.0833	2.972	0.3333	2.8560	0.1663	2.2290	0.1666
35	0.5307	0.0808	2.1228	0.3231	1.9106	0.1638	1.5921	0.1616
50	0.3715	0.0801	1.486	0.3203	1.6718	0.1634	1.1145	0.1602
70	0.2654	0.079	1.0616	0.3162	1.1942	0.1598	0.7962	0.1580
95	0.1955	0.0773	0.782	0.3093	0.8505	0.1574	0.5865	0.1546
120	0.1548	0.0772	0.6192	0.3089	0.6303	0.1562	0.4644	0.1544
150	0.1238	0.0779	0.4952	0.3115	0.5838	0.1569	0.3714	0.1558
185	0.1004	0.078	0.4016	0.312	0.4439	0.1553	0.3012	0.1560
240	0.0774	0.0773	0.3096	0.309	0.3483	0.1545	0.2322	0.1546

1.4 线路单相接地短路电流的计算

单相接地短路电流计算公式如下：

$$I_{k1} = c * U_m * \sqrt{3} / \sqrt{(R_{Tphp} + R_{Lphp})^2 + (X_{Tphp} + X_{Lphp})^2}$$

其中 c 取 1.0, U_m 取 380V。

根据以上公式, 并代入表 1~3 的数据, 即可求出某回路单相接地短路电流。

2. 结论及分析

本研究将以上数据及公式导入 EXCEL, 方便设计时根据实际情况计算短路电流。同时, 为进一步提高设计效率,

本课题通过 EXCEL 的规划求解功能, 经过大量计算, 列出了设计过程中常用的断路器等级在不同瞬动及短延时动作电流值时对应不同电缆规格可敷设的最长允许长度, 方便设计时直接借用计算结果。

根据规范《低压配电设计规范 GB50054-2011》6.2.4 条, 被保护线路末端的短路电流不应小于断路器瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的 1.3 倍, 在计算最长允许长度时, 已考虑此系数; 且为简化计算过程, 变压器的相保阻抗均采用容量为 2500kVA 时的数据, 以保证计算结果可以满足所有情况。计算结果见表 4。

表 4

断路器长延时	拼数	S-导线截面		断路器瞬动/短延时动作电流												
		Sph	Spe	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250
50	1	10	10	151.6	121.2	94.2	75.7	60.5	54	48	43.2					
63	1	16	16		193.8	151.4	121	96.8	86.4	76.7	69	60.4	55.1			
80	1	25	16			184.5	147.5	117.9	105.2	93.5	84.1	73.5	67.2	58.7	52.4	
	1	25	25			236.1	188.7	150.9	134.7	119.6	107.6	94.1	86	75.1	67	
100	1	35	16				165.9	132.6	118.4	105.2	94.6	82.7	75.6	66.1	58.9	52.8
	1	35	35				263.5	210.6	188	167	150.2	131.3	120	104.9	93.5	83.7
125	1	50	25					200.7	179.1	159.1	143.1	125.1	114.3	99.9	89.1	79.8
	1	50	50					299.2	267	237.1	213.3	186.4	170.3	148.8	132.7	118.7
160	1	70	35						249.5	221.7	199.4	174.3	159.2	139.1	124.1	111
	1	70	70						369.9	328.6	295.5	258.2	235.9	206.1	183.7	164.3
200	1	95	50									242.4	221.4	193.5	172.5	154.3
	1	95	95									345	315.1	275.2	245.3	219.4
250	1	120	70											257.2	229.3	205
	1	120	120											340.4	303.3	271.2
300	1	150	70													220.1
	1	150	150													328.6
315	1	150	70													220.1
	1	150	150													328.6
315/ 350	2	70	35													222
		70	70													328.6

表 4 续表 1

断路器长延时	拼数	S-导线截面		断路器瞬动/短延时动作电流												
		Sph	Spe	1400	1600	2000	2500	3200	3500	4000	5000	6300	8000	10000	12500	16000
350	1	185	95	251.2	219	174	137.9	106.3	96.6							
	1	185	185	346.2	301.6	239.2	189.2	145.4	131.9							
	1	240	120	309.2	269.3	213.7	169.1	130.1	118.2							
	1	240	240	419.2	365	289	228.3	175	158.7							
400	1	240	120		269.3	213.7	169.1	130.1	118.2	102.2						
	1	240	240		365	289	228.3	175	158.7	136.9						
	2	95	50		240	191	151.8	117.5	106.9	92.8						
		95	95		345	271.2	215.2	166.2	151.1	131.1						

500	2	120	70			253.6	201.2	155.4	141.4	122.6	96.3							
		120	120			334.6	265.4	204.6	186	161.1	126.2							
630	2	185	95				275.8	212.6	193.2	167.3	131	100.8						
		185	185				378.4	290.8	263.8	228	177.7	136						
	2	150	70				215.8	166.6	151.6	131.4	103.1	79.6						
		150	150				320.6	246.8	224.1	193.9	151.5	116.3						
	4 (2xYJV-1x150) +1 (1xYJV-1x150)						209	160.7	145.9	126.2	98.42	75.4						
800	2	240	120					260.2	236.4	204.4	159.6	122.4	91.8					
		240	240					350	217.4	273.8	212.8	162.2	120.5					
	3	120	70					233.1	212.1	184	144.5	111.6	84.5					
		120	120					306.9	279	241.6	189.3	145.7	109.8					
	4 (2xYJV-1x185) +1 (1xYJV-1x185)								188.5	171	147.7	114.9	87.8	65.4				
	4 (2xYJV-1x185) +1 (2xYJV-1x185)								282.7	256.5	221.5	172.4	131.7	98.1				
1000	4 (4xYJV-1x120) +1 (2xYJV-1x120)									211.1	165.1	126.9	95.4	71.7				
1250	4 (4xYJV-1x150) +1 (2xYJV-1x150)										196.8	150.8	112.8	84.4	61.1			
1600	4 (4xYJV-1x240) +1 (1xYJV-1x240)											124.4	92.2	68.1	48.5	30.9		
	4 (4xYJV-1x240) +1 (2xYJV-1x240)											207.3	153.7	113.5	80.9	51.6		
2000	4 (5xYJV-1x240) +1 (2xYJV-1x240)												164.6	121.6	86.7	55.2		
	4 (5xYJV-1x240) +1 (3xYJV-1x240)												216.1	159.6	113.7	72.5		
2500	4 (6xYJV-1x240) +1 (2xYJV-1x240)													127.7	91	58		
	4 (6xYJV-1x240) +1 (3xYJV-1x240)													170.3	121.3	77.3		
3150	4 (8xYJV-1x240) +1 (2xYJV-1x240)													136.2	97.1	61.9		
	4 (8xYJV-1x240) +1 (4xYJV-1x240)													227	161.8	103.1		

表4的计算结果相较于19DX101-1《电气常用数据》表4.31, 偏差很小, 而且在其基础上增加了单芯电缆、五芯等截面电缆及双拼电缆的计算结果, 更贴近平时设计中的使用习惯。由计算结果可知, 当短路电流无法满足短路保护要求时, 优先调整断路器瞬动电流及短延时动作电流, 更节约成本; 采用五芯等截面电缆基本可以取代放大一级电缆截面的效果, 节约电缆造价。

本研究基于实用短路电流计算法, 系统分析了不同断路器长延时整定值及动作电流下, 各类电缆规格的最大允许敷

设长度, 并制成便于查阅的表格。相较于现有参考数据, 本研究不仅验证了计算结果的准确性, 还扩展了单芯电缆、五芯等截面电缆及并联电缆的计算范围, 更贴合实际工程选用习惯。结果表明, 当末端短路电流无法满足保护灵敏度要求时, 优先调整断路器瞬动或短延时整定值比盲目增大电缆截面更具经济性; 同时, 采用五芯等截面电缆可在多数情况下达到与放大一级截面相近的电气性能, 有利于节约电缆投资。本研究提供的计算表格与结论可为工厂配电设计中长距离回路的电缆与断路器选型提供直接、实用的参考。

参考文献

- [1]中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供配电设计手册(第四版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [2]住房和城乡建设部. 《低压配电设计规范》GB 50054-2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [3]中国建筑标准设计研究院. 《低压配电设计与安装》19DX101-1[M]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [4]国家能源局. 《导体和电器选择设计技术规程》DL/T 5222-2021[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [5]国家能源局. 《火力发电厂厂用电设计规程》DL/T 5153-2014[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [6]全国电线电缆标准化技术委员会. 《额定电压 1kV (Um=1.2kV) 到 35kV (Um=40.5kV) 挤包绝缘电力电缆及附件》GB/T 12706-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [7]李志坚, 刘建华. 低压电缆短路热稳定与截面选择探讨[J]. 建筑电气, 2022, 41(3): 28-32.
- [8]IEC 60364-5-54: 2011, Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors[S].
- [9]郭谋发, 陈静. 基于相保阻抗的低压配电系统单相接地短路计算[J]. 电气应用, 2021, 40(6): 50-54.
- [10]王磊, 孙志强. 工业厂房长距离配电线路保护整定与电缆选型优化[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(2): 145-150.