

10 kV 直线水泥双杆间隙圆校验分析

陈立 郝文斌 覃建南

(国网成都供电公司经济技术研究所 四川 成都 610041)

摘要:以山区 10 kV 直线水泥双杆为背景,对直线水泥双杆铁部件进行电气设计及校验。利用 MathCAD 软件编写计算程序,考虑不同气象区、不同海拔地区、不同截面导线、不同类型的悬垂绝缘子串等多种条件,通过验算调整 K_p 值,计算 10 kV 直线水泥双杆的绝缘子串摇摆角,绘制间隙圆图,确定 10 kV 直线水泥双杆横担尺寸和斜撑的电气位置,为横担和斜撑的结构设计提供必要的电气条件。

关键词:直线水泥双杆;安全距离; K_p 值;摇摆角;间隙圆

Abstract: Taking 10 kV straight dual concrete pole in mountainous area as the background, the electrical design and verification for ironwork of straight dual concrete pole are carried out. MathCAD software is used to write the calculation programs. Considering different meteorological district, different altitude area, different cross-section conductor, different suspension insulator string and other conditions, the K_p value is adjusted, the swing angle of insulator string of straight dual concrete pole is calculated, the diagram of gap circle is drawn, and the size of cross arm and the electrical location of diagonal bracing are determined for 10 kV straight dual concrete pole, which provides the necessary electrical conditions for the structure design of cross arm and diagonal bracing.

Key words: straight dual concrete pole; safe distance; K_p value; swing angle; gap circle

中图分类号: TM753 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)04-0065-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.04.014

本次国家电网典型设计中极其重要的一部分。

0 引言

为满足中国丘陵、山区等地形条件复杂地区的用电要求,考虑 10 kV 线路直面大跨越情况,国家电网公司配电网工程典型设计(架空线路分册 2016 版)修编增补适用于 A、B、C 3 个气象区的单回路 10 kV 水泥双杆,填补 10 kV 配电线路高海拔大跨越工况下的技术空缺。其中,10 kV 直线水泥双杆使用数量最多,档距要求最大,其设计直接影响到工程预算的数额,而间隙圆校验直接决定了直线水泥双杆横担等铁部件的尺寸。为了满足工程设计的技术性和经济性,针对直线水泥双杆间隙圆的电气校验是

1 设计基本条件

山区单回路 10 kV 水泥双杆导线排列形式为水平排列,全线线路不考虑架设架空地线,无通讯光缆。直线水泥双杆的使用档距为 250 m,设计水平档距为 250 m,设计垂直档距为 350 m。本次设计不考虑直线水泥双杆作为直线转角杆,不考虑横担、绝缘子串上拔问题。

1) 直线水泥双杆考虑到 A、B、C 3 个气象区条件^[1](见表 1、表 2 和表 3)。

表 1 A 气象区资料

气象名称	高温	低温	覆冰	大风	安装	外过	内过	年平均
大气温度/°C	40	-10	-5	10	0	15	20	20
风速/(m·s ⁻¹)	0	0	10	35	10	15	17.5	0
覆冰厚度/mm	0	0	5	0	0	0	0	0

表2 B气象区资料

气象名称	高温	低温	覆冰	大风	安装	外过	内过	年平均
大气温度/°C	40	-20	-5	-5	-10	15	10	10
风速/(m·s ⁻¹)	0	0	10	25	10	10	15	15
覆冰厚度/mm	0	0	10	0	0	0	0	0

表3 C气象区资料

气象名称	高温	低温	覆冰	大风	安装	外过	内过	年平均
大气温度/°C	40	-40	-5	-5	-5	10	-5	-5
风速/(m·s ⁻¹)	0	0	10	30	10	10	15	15
覆冰厚度/mm	0	0	10	0	0	0	0	0

表4 海拔分区

海拔高度/m	1 000 以下	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 4 000
气象区	A/B/C	A/B/C	A/B/C	B/C

备注: A 气象区 35 m/s 风速与山区高海拔地区不同时存在,故 A 气象区间隙圆校验不考虑海拔高于 2 500 m 山丘地区。

表5 悬垂绝缘子串

导线截面	50/70		95/120/150		185/240	
名称	金具图册型号	数量	标称高度/mm			质量/kg
UB 挂板	UB-1080	1	80	80	80	1.1
球头挂环	QP-0750	1	50	50	50	0.3
瓷绝缘子	-	1	146	146	146	5.0
复合绝缘子	-	1	310	310	310	1.5
碗头挂板	W-0770	1	70	70	70	0.8
悬垂线夹	XGU-2	1	82	-	-	1.8
悬垂线夹	XGU-3	1	-	102	-	2.0
悬垂线夹	XGU-4	1	-	-	110	2.2
预绞丝质量/kg	JKLYJ10	1	0.2/0.3	0.6/0.8/1.2	2.0/2.2	

A 气象区条件考虑 1 000 m 以下、1 000 ~ 2 000 m 和 2 000 ~ 2 500 m 三种海拔山丘地区, B、C 气象区条件考虑 1 000 m 及以下、1 000 ~ 2 500 m 和 2 500 ~ 4 000 m 三种海拔山丘地区, 具体见表 4。

2) 导线截面

直线水泥双杆所选导线全为裸导线, 导线型号为 JL/G1A 钢芯铝绞线, 选取 JL/G1A-50/8、JL/G1A-70/10、JL/G1A-95/15、JL/G1A-120/20、JL/G1A-150/20、JL/G1A-185/25 及 JL/G1A-240/30 共 7 种截面导线^[1]。

3) 绝缘子金具串

海拔 2 500 m 及以下地区使用盘型悬式瓷绝缘子串(2 片盘型瓷绝缘子), 海拔 2 500 m 以上地区使用盘型悬式瓷绝缘子串(3 片盘型瓷绝缘子)。另

外, 棒型悬式复合绝缘子串(1 根复合绝缘子棒) 仅用于海拔 1 000 m 以下地区^[2]。悬垂绝缘子串具体数据见表 5, 示例图见图 1。

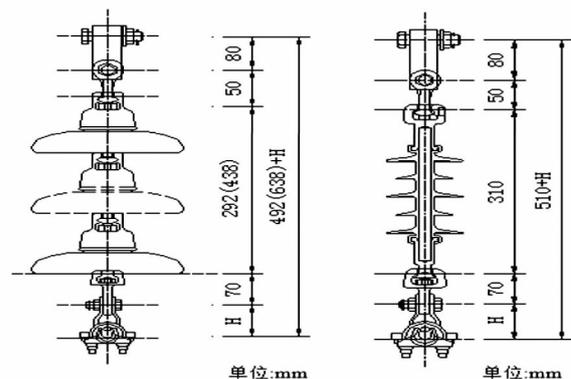


图1 悬垂绝缘子串

2 直线水泥双杆横担长度设计

直线水泥双杆的横担长度可根据导线水平间距和最小空气间隙并考虑带电作业的要求来确定。当悬垂绝缘子串长度、摇摆角和最小空气间隙确定后,即可确定横担长度。

2.1 空气间隙设计

2.1.1 确定带电部分与杆头最小空气间隙

海拔在1 000 m以下地区,10 kV架空输电线路导线带电部分与杆塔构件(包括拉线、脚钉等)的最小间隙为0.2 m^[3]。海拔在1 000 m及以上地区,其最小间隙必须进行海拔修正,即乘以空气放电电压海拔修正系数 K_a ^[4],其公式如式(1)。

$$K_a = e^{\frac{mH}{8150}} \quad (1)$$

式中: H 为海拔高度,m; m 为海拔修正因子,工频、雷电电压修正因子 $m=1.0$,操作过电压修正因子 $m=0.8$ 。

高海拔地区,10 kV架空电力线路的导线与杆塔构件(包括拉线、脚钉)的最小间隙应符合表6的规定。

表6 10 kV带电部分与杆塔构件最小间隙

海拔高度 /m	<1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 4 000
工频电压空气间隙 R_1 /m	0.200	0.256	0.271	0.327
操作过电压空气间隙 R_2 /m	0.200	0.205	0.217	0.262
雷电过电压空气间隙 R_{21} /m	0.200	0.256	0.271	0.327

2.1.2 确定带电作业空气间隙

根据现行规程^[3],10 kV水泥双杆需要考虑带电作业所需要的安全空气间隙距离。带电作业应在天气良好的条件下进行,雷电时应停止工作。校验带电作业空气间隙时,计算条件为:气温15℃,风速10 m/s。

直线杆塔带电作业方式一般有如下3种^[5]:

1) 地电位作业方式:即人站在杆塔上(处于地电位),用绝缘工具对带电体进行操作。

2) 等电位作业方式:即人与大地绝缘,处于与带电体相同电位进行操作。

3) 中间电位作业方式:即用绝缘梯或吊篮等,使人处于带电体与地(或杆塔)之间的某一中间电

位,然后用绝缘工具对带电体进行作业。

10 kV直线水泥双杆,由于杆头间隙较小,一般采用地电位作业方式或中间电位作业方式。

GB 50061-2010^[3]规定了1 000 m以下海拔地区带电作业所需的间隙距离,而海拔高度为1 000 m及以上的地区,海拔高度每增高100 m,运行电压的最小间隙应按规定数值增加1%;对操作人员需要停留工作的部位应增加0.3~0.5 m;考虑脚钉、杆身厚度等条件,应增加结构预留间隙0.15 m,具体见表7。

表7 带电作业安全距离

海拔高度 /m	<1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 4 000
最小间隙 R_3 /m	0.40	0.44	0.46	0.52
人体活动范围 /m	0.50	0.50	0.50	0.50
预留间隙 /m	0.15	0.15	0.15	0.15
间隙半径 (安全距离) /m	1.05	1.09	1.11	1.17

由表7可知,在海拔1 000 m以下地区,带电作业间隙半径为1.05 m;海拔1 000~2 000 m,安全距离为1.09 m;海拔2 000~2 500 m,安全距离为1.11 m;海拔2 500~4 000 m,安全距离为1.17 m。

2.2 悬垂绝缘子串摇摆角计算

通过确定运行(工频)电压、操作过电压及雷电过电压下绝缘子片数及塔头空气间隙数值,并指出这种空气间隙数值是指在规定的风速下,绝缘子串相应风偏后带电体对杆头构件所应保持的最小距离。因此,为了最终确定直线水泥双杆杆头间隙尺寸,尚须对绝缘子串的摇摆大小进行计算。绝缘子串的摇摆大小用其所产生的摇摆角大小来表示。

导线和悬垂绝缘子串在风荷载作用下,使悬垂绝缘子串偏离一定角度,称为悬垂绝缘子串摇摆角,用符号 φ 表示。本次设计计算悬垂绝缘子串摇摆角,将悬垂绝缘子串视为均匀荷载的刚性直棒,设悬垂绝缘子串的垂直荷载为 G_{JD} ,横向水平风荷载为 P_{JD} ,导线风荷载为 P_D ,导线垂直荷载为 G_D 。对绝缘子串中点 A 的力矩平衡方程式为

$$\sum M_A = 0 \quad (2)$$

$$\left(\frac{G_{JD}}{2} + G_D\right) \lambda \sin\varphi - \left(\frac{P_{JD}}{2} + G_D\right) \lambda \cos\varphi = 0 \quad (3)$$

经整理得到:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{P_D + \frac{P_{JD}}{2}}{G_D + \frac{G_{JD}}{2}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_4 AL_h + \frac{P_{JD}}{2}}{\gamma_1 AL_v + \frac{G_{JD}}{2}} \right) \quad (4)$$

式中: P_D 为导线风荷载; G_D 为导线垂直荷载; P_{JD} 为悬垂绝缘子串风荷载; G_{JD} 为悬垂绝缘子串垂直荷载; γ_1 、 γ_2 分别为导线自重比载和风压比载; L_h 、 L_v 分别为水平档距和垂直档距。

计算直线水泥双杆摇摆角时,计算方法如下:

1) 根据 A、B、C 3 个不同气象条件(表 1、表 2、表 3),计算工频电压、操作过电压或雷电过电压 3 种工况下 7 种不同截面导线的导线风压比载、导线风荷载和悬垂绝缘子串风荷载。

2) 根据不同工况条件下,计算不同截面导线的垂直比载。

3) 悬垂绝缘子串有悬垂盘型悬式瓷绝缘子串(2 片或 3 片)和悬垂棒形悬式复合绝缘子串,不同类型悬垂绝缘子串,其质量、迎风面积取值异同。所以根据悬垂绝缘子串表(表 5)计算绝缘子串垂直荷载。

4) 本次设计用 L_v 及 L_h 来确定摇摆角,其数值的选取可依据经验来确定。将垂直档距 L_v 与水平档距 L_h 的比值,定义为 K_v 值。从杆塔定位验证来看 K_v 值的取值,平地一般取 0.75 左右,丘陵及低山地一般取 0.65~0.75,山地及大山地一般取 0.55~0.65。确定水平档距值及 K_v 值,计算垂直档距。

5) 调整 K_v 值要考虑到:工频电压下满足带电作业安全距离,大风、操作过电压工况下满足间隙圆与横担、间隙圆与斜撑之间的预留间隙至少为 105 mm。

6) 通过直线水泥双杆需严格控制 K_v 值取值,各气象区、各种规格导线最小 K_v 值取值见表 8 至表 10。

7) 利用 MathCAD 软件,编制程序计算工频、操作或雷电条件下直线水泥双杆摇摆角。

2.3 间隙圆的绘制

绘制直线杆塔间隙圆图,以最终确定直线水泥双杆杆头尺寸,绘制条件如下:

1) 确定导线挂线点的悬挂方式、悬垂绝缘子串长度(表 5)。

表 8 A 气象区最小 K_v 值取值表

海拔高度/m	1 000 以下		1 000~2 000	2 000~2 500
绝缘子串导线型号	棒型悬式复合绝缘子串(1 根)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)
JL/GIA-50/8	1.10	1.05	1.50	1.65
JL/GIA-70/10	0.90	0.90	1.30	1.40
JL/GIA-95/15	0.75	0.75	1.05	1.15
JL/GIA-120/20	0.7	0.70	0.95	1.05
JL/GIA-150/20	0.65	0.65	0.90	1.00
JL/GIA-185/25	0.60	0.60	0.75	0.80
JL/GIA-240/30	0.60	0.60	0.65	0.70

表 9 B 气象区最小 K_v 值取值表

海拔高度/m	1 000 以下		1 000~2 500	2 500~4 000
绝缘子串导线型号	棒型悬式复合绝缘子串(1 根)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2 片)
JL/GIA-50/8	0.65	0.60	1.00	0.85
JL/GIA-70/10	0.60	0.60	0.85	0.75
JL/GIA-95/15	0.60	0.60	0.70	0.60
JL/GIA-120/20	0.60	0.60	0.65	0.60
JL/GIA-150/20	0.60	0.60	0.60	0.60
JL/GIA-185/25	0.60	0.60	0.60	0.60
JL/GIA-240/30	0.60	0.60	0.60	0.60

表10 C气象区最小 K_v 值取值表

海拔高度/m	1 000 以下		2 000 ~ 2 500	2 500 ~ 4 000
绝缘子串导线型号	棒型悬式复合绝缘子串(1根)	盘型悬式瓷绝缘子串(2片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2片)	盘型悬式瓷绝缘子串(2片)
JL/GIA-50/8	0.80	0.75	1.20	1.05
JL/GIA-70/10	0.70	0.65	1.00	0.90
JL/GIA-95/15	0.60	0.60	0.90	0.75
JL/GIA-120/20	0.60	0.60	0.75	0.70
JL/GIA-150/20	0.60	0.60	0.70	0.65
JL/GIA-185/25	0.60	0.60	0.60	0.60
JL/GIA-240/30	0.60	0.60	0.60	0.60

2) 确定运行(工频)电压、操作过电压、雷电过电压所需空气间隙距离 R_1 、 R_2 、 R_{21} (表6)。考虑直线水泥双杆横担边线与间隙圆垂直距离、斜撑边线与间隙圆垂直距离的结构预留间隙至少为105 mm。

3) 工频工况下,考虑带电作业安全距离 R_3 ,具体数据见表7。

4) 不同截面导线对应的绝缘子串,计算摇摆角绘制间隙圆图。

5) 塔头厚度的影响。绘制间隙圆图时,应考虑横担宽度的影响,在导线处增加垂直下偏量(即小弧垂,大小为50 mm)和水平下偏量(50 mm),然后在此基础上绘制间隙圆。

6) 间隙圆样图。以盘型悬式瓷绝缘子串(3片) JL/GIA-150/20 导线为例,如图2、图3所示。

通过绘制间隙圆图,校验横担、斜撑尺寸及拉线位置满足电气要求,确定直线水泥双杆横担尺寸和斜撑位置。

2.4 导线水平线间距离校验

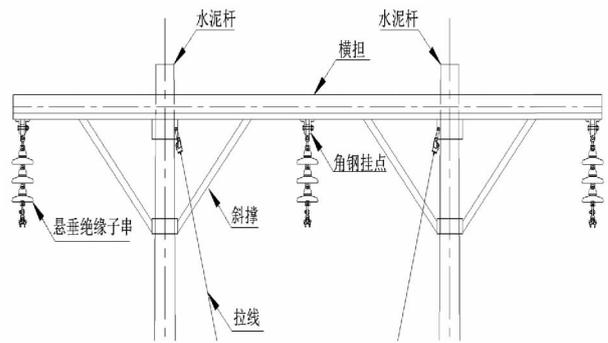


图2 间隙圆样图 I

根据 GB 50061-2010^[3] 规定:架空电力线路导线的线间距离,应结合运行经验确定。对1 000 m以下档距,水平线间距可按式(5)确定:

$$D_m = 0.4\lambda + \frac{U}{110} + 0.65 \sqrt{f_{\max}} \quad (5)$$

式中: D_m 为导线水平间距, m; λ 为悬垂绝缘子串长度, m; U 为线路电压等级, kV; f_{\max} 为导线最大弧垂, m。

由表5查得最长绝缘子串长度为0.789 m;电压等级为10 kV;导线最大弧垂为8.14 m。计算水平线间距离为2.261 m,横担总长度至少为4.522 m

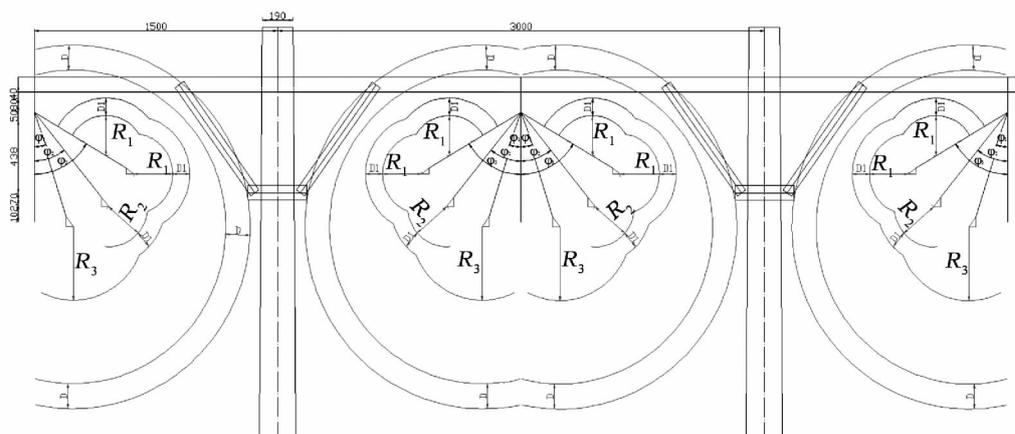


图3 间隙圆样图 II

(下转第94页)

Hz 延时 1 s 切除往子沟机组 仿真结果电压最大值为 1.264 p. u.; 当系统频率超过 52.5 Hz 延时 0.8 s 切除往子沟机组 仿真结果电压最大值为 1.28 p. u.。

其次是过压保护设置系统电压超过 1.2 p. u. , 延时 0.3 s 以内切除往子沟机组 仿真结果电压最大值为 1.28 p. u.。

第三是卡瓦变电站主变压器低压侧开关过电压等保护动作延时要确保晚于往子沟电站切机 否则就相当于提前切除了低压电抗器。

2.3.4 流域汇集站配置低压电抗器的考虑

往子沟电站解决自励磁风险最直接的方案是在本站增加低压电抗器 但该流域支沟小电站较多 如果每个小电站都增加会导致低压电抗器配置过多 影响电压质量 增加管理难度 降低经济性。东义河流域是同一业主开发 具备在汇集站统一进行补偿的条件 经济性更好。应加强汇集站低压电抗器的运行管理 避免运行中低压电抗器无意中退出运行 对低压电抗器的退出必须考虑特殊运行方式的自励磁风险。随着流域开发推进 中、上游电站可以参考同样的补偿方式 在中、上游干流汇集电站增加低压电抗器以避免

.....

(上接第 69 页)

时 导线线间距满足要求。

设计初步定横担长度为 6.3 m。导线挂点到水泥杆准线距离为 1.5 m 水泥双杆准线间距为 3 m。

3 结 论

1) K_v 值取值校验: 各种工况下 三类海拔地区对应悬垂绝缘子串都满足间隙圆与横担、间隙圆和斜撑之间的预留距离 105 mm 的校验条件。

2) 10 kV 直线水泥双杆不允许使用的截面导线: K_v 值大于 0.9 的截面导线均不允许使用 如需使用 请根据当地条件自行校验。

3) 斜撑与水泥杆夹角为 45° 斜撑上部连接点距离水泥杆中心的长度为 605 mm 斜撑高为 605 mm 满足间隙圆校验条件。

4) 横担长度为 6.3 m 水泥杆准线距离导线挂线点 1.5 m 整个横担成对称结构 满足间隙圆校验条件。

中、上游支沟电站的自励磁风险。

3 结 语

随着水电开发不断推进偏远地区 特殊运行方式下末端小水电并网引起的自励磁问题日渐突显 基于施工电源电站后期并网带来的自励磁风险做出了专项分析并提出了应对措施。除此之外 大型水电站的生态流量机组也同样存在特殊方式下自励磁的问题 需要引起从业者的注意。

参考文献

- [1] 黄家裕 周贵兴 岑文辉 等. 电力系统自励磁电压计算[J]. 上海交通大学学报, 1984, 18(4): 34-45.
- [2] 张华 李旻 丁理杰. 对地方电网小水电自励磁判断方法的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(20): 112-117.
- [3] 丁理杰 李旻 张华 等. 抑制小水电机组自励磁的非常规措施研究[J]. 华东电力, 2013, 41(3): 661-664.
- [4] DL/T 5429-2009 电力系统设计技术规程[S].

(收稿日期: 2017-04-06)

5) 工频电压条件下 直线水泥双杆仅杆身满足带电作业安全距离。严禁操作人员在斜撑、横担部分位置进行带电作业。

参考文献

- [1] 刘振亚. 国家电网公司配电网工程典型设计: 10 kV 架空线路分册(2013版) [M]. 北京: 中国电力出版社 2014.
- [2] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计: 10 kV 及 35 kV 配电线路金具图册(2013版) [M]. 北京: 中国电力出版社 2013.
- [3] GB 50061-2010 66 kV 及以下架空输电线路设计规范[S].
- [4] Q/GDW 13001-2014 高海拔外绝缘配置技术规范[S].
- [5] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

作者简介:

覃建南(1986) 硕士、助理工程师 从事输电线路设计研究。
(收稿日期: 2017-02-27)