

# “V”型悬垂绝缘子串设计研究

刘 然

(四川电力设计咨询有限责任公司, 四川 成都 610016)

**摘要:**系统地分析了“V”型悬垂串设计中应考虑的技术问题,从“V”串夹角、受力分析、电压分布、间隙取值、塔头尺寸、金具设计等多方面入手,在“V”串受压及预防球头脱落两方面归纳出较为重要的结论,使“V”型悬垂串的设计更加科学合理。

**关键词:**“V”型串;设计研究;受压;防脱落

**Abstract:** The technical problems which should be considered in the design of V-shaped suspension insulator string are analyzed systematically. As viewed from the V-shaped string angle, force analysis, voltage distribution, the gap value, tower head size and fittings design, a more important conclusion is summarized in the V-shaped string compression and avoiding the ball dropping, which makes the design of V-shaped suspension insulator string more scientific and reasonable.

**Key words:** V-shaped insulator string; design and research; compression; avoiding dropping

**中图分类号:** TM855 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0050-03

随着中国经济持续高速发展,电力建设与城镇规划的矛盾不断显现,尤其在经济发达平原地区,线路走廊问题显得尤为突出。如何减少高压线路通道宽度,降低环境影响,是线路设计的主要责任。因此多回路紧凑型、紧缩型线路的研究显得非常重要,而“V”型串技术作为紧凑型线路中的一项关键技术,更值得深入学习和探讨。

紧凑型和紧缩型输电线路采用“V”型绝缘子串可以有效限制导线摆动幅度,从而减小塔头尺寸及走廊动态宽度,由于三相导线距离较近,线路自然输送功率及电磁环境均优于普通线路。下面就“V”型串在本公司 500 kV 的设计应用作一总结。

## 1 “V”型绝缘子串的夹角选择

“V”型绝缘子串的夹角大小直接影响塔头尺寸和绝缘子串的受力情况。根据收集的大量国内外研究和设计资料,“V”型串的夹角基本处在  $70^{\circ}\sim 120^{\circ}$  之间。夹角小时,塔头中相下部尺寸增大,且在不大的风荷时,背风肢绝缘子串即处于受压。夹角大时,塔头中相上部尺寸增大,绝缘子串所受拉力增大,但背风肢绝缘子串在较大风荷时才处于受压状态。为避免最大风偏时,绝缘子串过度受压导致绝缘子损伤或脱落,“V”型绝缘子串的夹角之半宜大于或等于最

大风偏角。常规的“V”型串设计为了避免绝缘子承受压载荷,往往采用较大的“V”型夹角。根据西南电力设计院与武汉高电压研究所进行的“V”型绝缘子串受压试验研究的成果,当迎风肢绝缘子最大偏移角在  $9^{\circ}\sim 11^{\circ}$  时,钢脚应力值与“V”型串夹角有关,夹角  $110^{\circ}$  时应力大,夹角  $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$  时应力小(此时最大水平荷载仅为  $110^{\circ}$  时的 50% 左右)。对于盘形悬式绝缘子当 V 串夹角  $110^{\circ}$  时,考虑到钢脚安全系数不宜小于 2.5,建议其迎风肢绝缘子串的最大偏移增大角控制在  $7^{\circ}$  以内;对于夹角  $90^{\circ}\sim 70^{\circ}$  的“V”型串,其迎风肢绝缘子串的最大偏移增大角可以增大  $9^{\circ}\sim 11^{\circ}$ 。考虑到绝缘子受压出现频率、冲击效应和电气间隙减小等问题,在保证导线摆动幅度以及受压绝缘子的最大应力限制在允许范围内的前提下,实际工程设计中可减小“V”型串的夹角  $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ;从而进一步缩小塔头尺寸和走廊宽度。例如,500 kV 绵德线最大设计风速为  $30\text{ m/s}$  在 kV 系数为  $0.8\sim 0.72$  时,对应风偏角为  $53^{\circ}\sim 58^{\circ}$ ;如不考虑“V”型串受压,则夹角将超过  $110^{\circ}$ ,荷载将明显增大,不但需要加大绝缘子的使用型号,而且增大绝缘子的劣化率。经综合考虑后,该线路最终全部采用合成绝缘子,并按受压  $8^{\circ}$  设计,夹角取  $90^{\circ}\sim 100^{\circ}$ ,不但确保了线路安全,而且具有较好的技术经济性。

## 2 “V”型绝缘子串的荷载分析

“V”型绝缘子串的荷载复杂,不但与垂直荷重有关外,还与“V”型串的夹角、水平荷重和纵向荷重有关。“V”型绝缘子串的夹角越大,垂直、水平、纵向荷重越大。根据国外运行经验,通常在杆塔设计时,要使“V”型串挺直,即承受的最小垂直荷载 $\geq 5$  kN,且 2 个绝缘子分支的交角不小于  $90^\circ$ 。过去一般认为“V”型串背风肢绝缘子串不宜受压,以免绝缘子在无拉力状态下球头会在钢帽碗口脱出而造成掉串。但从实际运行和实验情况来看,是允许其中一串绝缘子受压的,其弯曲不导致绝缘子盘体之间的危险接近或破碎为条件,弯曲达  $1/10$  是可接受的。实际运行中,绝缘子多数时间是处于无风或风速不大的环境中,所以“V”型串比悬垂串的运行荷载小,其绝缘子的劣化率也有所降低,虽然“V”型串的绝缘子数量比悬垂串增加一倍,但整串绝缘子的劣化量与悬垂绝缘子持平。据四川地区运行部门反映,采用“V”型串后,绝缘子的劣化片数并未明显增加,这与国外的运行经验是一致的。

## 3 “V”型绝缘子串放电特性和间隙取值

### 3.1 “V”型绝缘子串的电电压分布

“V”型串的两绝缘子串系倾斜布置,受铁塔横担和塔身的影响明显增强。相对于悬垂串而言,靠导线头几片绝缘子上的电压降很大,电压分布更不均匀,可采用安装均压环的措施进行改善。对于最末几片绝缘子,由于其对铁塔横担和塔身的对地电容增大,改善了这几片绝缘子的电压分布,电压分布相对较均匀。另外,由于另一绝缘子串的存在,对塔头空间的电场分布及该绝缘子串的电电压分布都有影响。总体而言,“V”型串倾斜布置有利于绝缘子串的电电压分布。

### 3.2 “V”型绝缘子串的空气间隙取值

由于“V”串工频电压统计配合系数(I串 1.4, V串 1.5)及操作过电压统计配合系数(I串 1.1, V串 1.25)均大于 I串,因此 V串工频、操作间隙值大于 I串,但因“V”串限制了导线风偏摆动,塔头尺寸仍然是明显优于 I串。例如,500 kV 绵德线,海拔 500~700 m,各工况间隙值见表 1。

根据间隙取值,规划的 ZMVA41、ZMVA42 直线塔间隙圆及塔头尺寸见图 1 和图 2。

表 1 工况间隙值

工况(单回)	雷电过电	操作过电	工频电压	带电作业
I串空气间隙 /m	3.30	2.70	1.30	3.20
V串空气间隙 /m	3.30	3.00	1.40	3.50
同时风速 /( $m \cdot s$ ) <sup>-1</sup>	10	15	30	10

注:带电作业间隙,对操作人员需要停留的工作部位,还应再考虑人体活动范围 0.3~0.5 m。

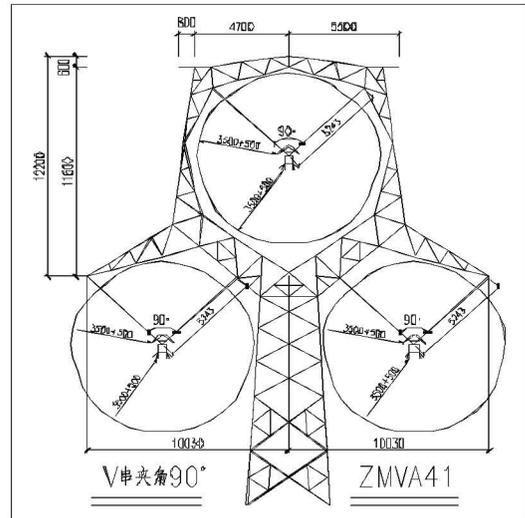


图 1 ZMVA41 间隙圆及塔头尺寸

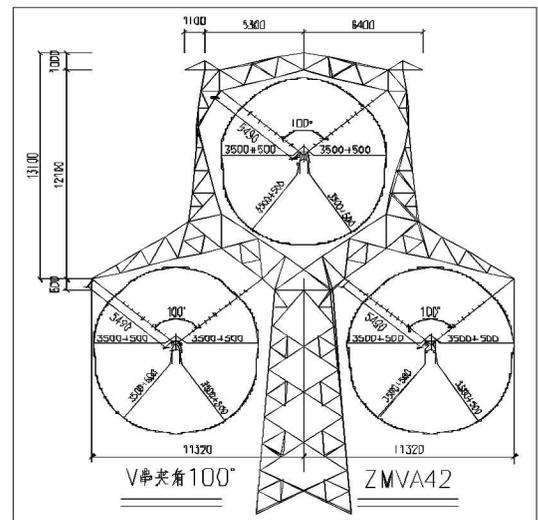


图 2 ZMVA42 间隙圆及塔头尺寸

## 4 “V”型绝缘子串金具设计

(1)力求各部件受力合理,特别是“V”型串与铁塔接点及绝缘子两头连接金具的设计应合理。

(2)连接要紧凑,绝缘子串长与总长之比最好大于 0.85。若下部金具太长,将增大塔头尺寸并降低绝缘子串的闪络电压,其上部金具要考虑施工运行中调节方便。

(3)力求改善导线侧绝缘子电压分布,抑制无线

电干扰。

(4)适应带电检修的要求。

对于“V”型串而言,合成绝缘子与盘型绝缘子的链接不同,合成绝缘子上没有铰接点,刚性容易显现,两端球头与碗头连接处容易形成球头与 R 销的挤压,造成 R 销变形,导致绝缘子脱落。目前采取的防球头脱落措施虽然在一定程度上限制了“V”型合成绝缘子串脱落,但仍存在缺陷。若从根本上解决导线合成绝缘子“V”型串球头脱落问题,必须取消合成绝缘子上的球头、碗头联结结构,换以环、环联结形式,消除球头对 R 销的挤压问题。如果将合成绝缘子的导线侧端部修改为环,或采用单板碗头,通过两个 U 型环与联板连接,增加铰接点,使其不受弯矩影响,从根本上杜绝球头局部应力集中疲劳断裂事故。对于双联和多联绝缘子,由于导线联板和绝缘子球头间有多个铰接点不存在单联球碗联接的问题,不用进行改动,按常规设计即可。

两方案各有优缺点,修改绝缘子导线侧端部,将球头改为环形结构,其优点是不增加连接环节,“V”

型串的串长不增加,因此塔头尺寸不增加,但是合成绝缘子厂家需重新进行金具设计;在不改动绝缘子的情况下,增加铰接点,也可从受力上解决受压问题,但是需要增加绝缘子串的长度,以 210 kN 绝缘子串为例,“V”绝缘子串单肢长度需增加 220 mm,但对于超、特高压铁杆塔尺寸来说,影响很小。

### 5 结 论

综上所述,在同等条件下,输电线路采用“V”型串悬挂方式,铁塔结构尺寸紧凑,“V”型串受力科学合理,开角稳定,防雷性能优良,可有效防止绝缘子串污闪、冰闪、雨闪等事故,还具有节约土地资源、减少房屋拆迁、降低林木砍伐量,减少水土流失等经济效益、环境效益和社会效益。超、特高压输电线路采用“V”型串悬挂方式既体现了国网公司建设“两型三新”输电线路的设计理念,又符合节约型社会发展的需求。

(收稿日期: 2010—03—10)

(上接第 2 页)

### 3 讨论与结语

就工程应用而言,接地体暂态特性应注意以下几个方面。

(1)接地体散流作用应视为接地阻抗,只有在特殊条件下,如低频电流作用(工频、直流)下可将其视为接地阻抗。此外,一些学者采用瞬时接地电阻或动态接地电阻概率描述接地全暂态特性是不太合适的,因为它隐藏了接地装置的本质参数阻抗的作用。采用冲击系数概念表述冲击接地电阻的方法于工程应用是十分有效的,它既避免了现场工程应用人员去测量复杂且难以准确测量的接地阻抗,又能大概了解雷电流作用下,接地体最大电位升。

(2)接地装置等电位电路模型只适用于低频电流作用情况下散流特性分析,高频电流情况下,波传播过程及由接地体电感、电阻引起的电位降将对接地电位分布造成很大影响。

(3)接地体暂态电流作用下,接地体将呈有效散流区域,如高土壤电阻率地区采用埋设伸长接地体以降低接地电阻,这一措施对降低工频接地电阻很有效,但对降低冲击接地电阻效果甚微。因此,工程设

计时应计算接地体暂态电流作用时有效散流区域,以降低不必要的材料浪费。

### 参考文献

- [1] Silverio Visacro A Comprehensive Approach to the Grounding Response to Lightning Currents[J]. IEEE Transactions On Power Delivery, 2007, 22(1).
- [2] A. M. Mousa The Soil Ionization Gradient Associated with Discharge of High Currents into Concentrated Electrodes [J]. IEEE Trans Power Del, 1994, 9(3); 1669—1677.
- [3] A. C. Liew and M. Darveniza Dynamic Model of Impulse Characteristic of Concentrated Earths[J]. Proc Inst Elect Eng, 1974, 121(2); 123—135.
- [4] S. Visacro and C. Portela Soil Permittivity and Conductivity Behavior on Frequency Range of Transient Phenomena in Electric Power Systems[C]. the Symp High Voltage Engineering Braunschweig Germany 1987.
- [5] S. Visacro and C. Portela Modeling of Earthing Systems for Lightning Protection Applications Including Propagation Affects[C]. in Proc Int Conf Lightning Protection Berlin Germany 1992; 129 - 132.
- [6] 杨琳, 李建明. 冲击接地电阻测量装置的研制 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(11); 93—96.
- [7] 张宝平, 何金良, 康鹏, 等. 冻土冲击特性的试验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16); 143—147.

(收稿日期: 2010—01—26)