

极端天气变化对变电站的影响及防止对策

黄德建

(四川水利职业技术学院,四川 都江堰 611830)

摘要:由于温室效应不断积累、温度上升导致全球气候变暖,气候变暖后其蒸发量加大、水循环速率加快,导致极端天气出现的频率与强度增加。特别是极端天气变化下雷电对变电站的危害很大,而变电站是电力系统的枢纽,担负着电网供电的重要任务,若其一旦发生雷电事故,就有可能造成设备损坏事故进而造成大面积停电,给工、农业生产带来重大的损失,其后果十分严重。为此,研究极端天气变化对变电站的影响及防止对策十分必要。

关键词:极端天气;雷击;避雷针;避雷器;反击;保护范围;保护措施

中图分类号:TV7;TV735;TV737

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)05-0162-05

1 概述

极端天气是指天气状态严重偏离其平均态,在统计意义上属于不易发生的事件,一般系指50 a及以上一遇的小概率事件,如强台风、强降水、高温干旱、低温冷害、强雷电、强对流灾害性天气等。近年来,这些极端天气发生的频率和强度、持续时间、地点和范围都呈现不断增多、增强的趋势,预计今后这种极端事件的出现将更加频繁。目前极端天气频繁发生的主要原因是:由于全球变暖后蒸发量加大、水循环速率加快等,大气中能量分布会发生变化,从而造成极端事件偏多。据物理学家组织网近日报道,以色列特拉维夫大学的研究人员预测,地球平均每升温1℃,雷电活动将会增加约10%。因此,研究极端天气变化下雷电对变电站的影响、加强对变电站的防雷保护,提高变电站防雷措施标准是我们目前必须面临的问题。据了解,全国某些地区的某些变电站已经遭到强雷电的危害,严重影响到这些变电站的正常运行,造成了很大的损失。

2 正常防雷保护措施已经不能防护的案例及原因分析

(1)四川省攀枝花市YB县SY110 kV变电站地处雅鲁江边,在二滩水电站未建成之前,几乎没有发生过雷击事故;当二滩水电站建成之后,水库蓄水使水位大大抬高,该变电站周围的水域面积加大,加之攀枝花市气温很高,周围为高山,从而造成变电站周围气温高、湿度大,为强雷电创造了

条件,其结果是该变电站经常遭到强雷电的损坏,自从二滩水电站建成之后发生过多起雷击事故,严重的一次是当线路上落雷时,雷电侵入波沿着线路向变电站袭来,首先将母线避雷器击穿、碎裂,雷电再继续将变压器的绝缘击穿,导致主变压器严重损坏而造成该变电站停电时间很长,损失很大;另外,该变电站还多次发生过这种形式的雷击事故——在避雷针保护范围内,雷电击穿保护范围到地面的现象。经检查,该变电站的防雷设施及防雷接地电阻等均符合标准,其主要原因是局部的雷电太强大,按照正常的防雷保护标准已经保护不了变电站的设备,因此,必须要改进防护设施,提高防雷保护标准。

(2)近年来,宁波电网也发生过多起雷击高压开关事故,如2004年8月宁波淞浦变镇松2304开关C相被击穿,2005年8月宁波潘桥变天桥4478开关C相被击穿。两起雷击均引起开关失灵保护动作,跳开所连母线上的其它220 kV开关。其原因是开关遭连续雷击。开关第一次雷击跳闸,线路侧与母线避雷器失去连接,在开关自动重合之前,线路再次遭受雷击,雷电波侵入变电站,由于此时开关线路侧失去了避雷器的保护,侵入雷电波在开关断口处发生全反射,雷电幅值加倍,大大超出开关设备的雷电冲击耐受水平标准,从而导致开关断口击穿。这些事例说明,受强雷电的影响,对于按正常的防雷保护标准已经不能完善的保护设备,应该考虑改进防雷防护措施,提高防雷保护标准。

收稿日期:2018-03-08

据了解,近年来重庆市夏天的雷电非常强,雷电流幅值超过 200 kA 的情况发生过多。而我们在正常分析计算时,一般取雷电流幅值为 150 kA,这显然是不够的。随着全球气候变暖,气温继续提高,局部地区的雷电必然会继续加大。因此,应该考虑改进防雷保护设施,提高防雷保护标准,加强对变电站的防雷保护,提高变电站的防雷标准。

3 在强雷电作用下变电站防雷保护措施存在不足

3.1 避雷针的高度和防止反击距离存在不足

为了防止雷直击于变电站,一般采用避雷针或避雷线进行保护,并且避雷针(线)与被保护物(包括各种电气设备、高大建筑、贮油罐等)之间的距离应满足以下两个基本原则:

(1)应将发电厂、变电站内的所有被保护设备置于避雷针(线)的保护范围以内,以免其遭受直接雷击。从上述案例 1 雷电击穿保护范围到地面的现象可以看出:在强雷电作用下,正常的保护范围还需要扩大,以抵抗强雷电的击穿。

(2)防止雷击避雷针引起的反击事故。避雷针与附近金属导体间必须有一定距离,从而使绝缘介质闪络电压大于反击电压。但是,在强雷电的作用下其反击距离应该加大。具体分析如下:图 1 中避雷针上距该设施最近的 A 点的电位 u_k :

$$u_k = L \frac{di_L}{dt} + i_L R_{ch}$$

式中 R_{ch} 为独立避雷针的冲击接地电阻; L 为避雷针的等效电感; i_L 和 $\frac{di_L}{dt}$ 分别为流经避雷针的雷电流和雷电流平均上升速度。

取雷电流值 i_L 的幅值为 150 kA,波头形状为斜角波头, $\tau = 2.6 \mu s$,于是 $\frac{di_L}{dt} = 150 \text{ kA} / 2.6 \mu s = 57.7 \text{ kA} / \mu s$,避雷针电感取 $1.3 \mu H / m$,得 $L = 1.3 h$ (h 是 A 点的高度),于是:

$$u_k = 150 R_{ch} + 1.3 h \times 57.7 = 150 R_{ch} + 75 h$$

由于电位的电感分量 $\frac{di_L}{dt}$ 只存在于斜角波的 $2.6 \mu s$ 之内,而电阻分量 $i_L R_{ch}$ 却存在于雷电波的整个持续时间,约几十微秒,所以二者对空气的绝缘作用有所不同。对于前者,可取空气的平均耐

压强度 $750 \text{ kV} / m$,后者取 $500 \text{ kV} / m$,由此可以求出不发生避雷针而被保护物反击的空气距离 S_k 为:

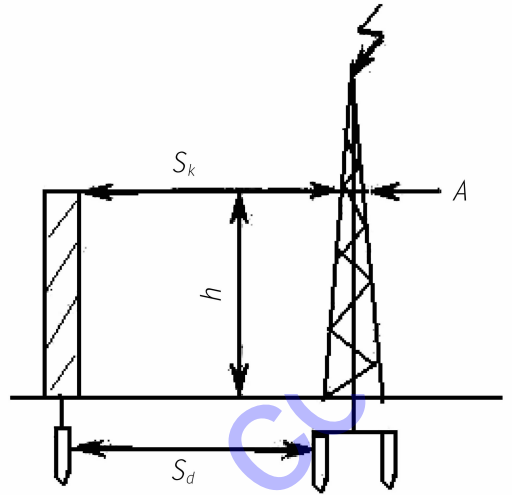


图 1 独立避雷针与附近设施的最小距离示意图

$$S_k \geq \frac{150}{500} R_{ch} + \frac{75}{750} h = 0.3 R_{ch} + 0.1 h$$

正常情况下,当防雷接地电阻 R_{ch} 取 10Ω 时,

$$S_k \geq 0.3 \times 10 + 0.1 h = 3 + 0.1 h$$

一般情况下, S_k 不应小于 5 m,亦可以算出 S_d 不应小于 3 m。在条件许可时,该距离还可以适当增大。

当极端天气出现时,雷电流值 i_L 的幅值不是 150 kA,而是超过了 200 kA,空气的耐压强度亦受周围电场分布、海拔、气压、湿度、温度等各种因素的影响,可能不再是 $750 \text{ kV} / m$ 和 $500 \text{ kV} / m$,亦有可能减小。

按雷电流值 i_L 的幅值为 200 kA,其他因素不变,对其进行计算:

$$u_k = 200 R_{ch} + 1.3 h \times \frac{200}{2.6} = 200 R_{ch} + 100 h$$

$$S_k \geq \frac{200}{500} R_{ch} + \frac{100}{750} h = 0.4 R_{ch} + 0.13 h$$

强雷电情况下,当防雷接地电阻 R_{ch} 取 10Ω 时,

$$S_k \geq 0.4 \times 10 + 0.13 h = 4 + 0.13 h$$

S_k 要比原来雷电流情况下大 1 m 多。

因此,在强雷电作用下,为了降低避雷针承受雷电流时所造成的感应过电压的影响,对于避雷针(线)与被保护设备的距离若仍采用原标准: S_k 不应小于 5 m, S_d 不应小于 3 m,显然是不够的。

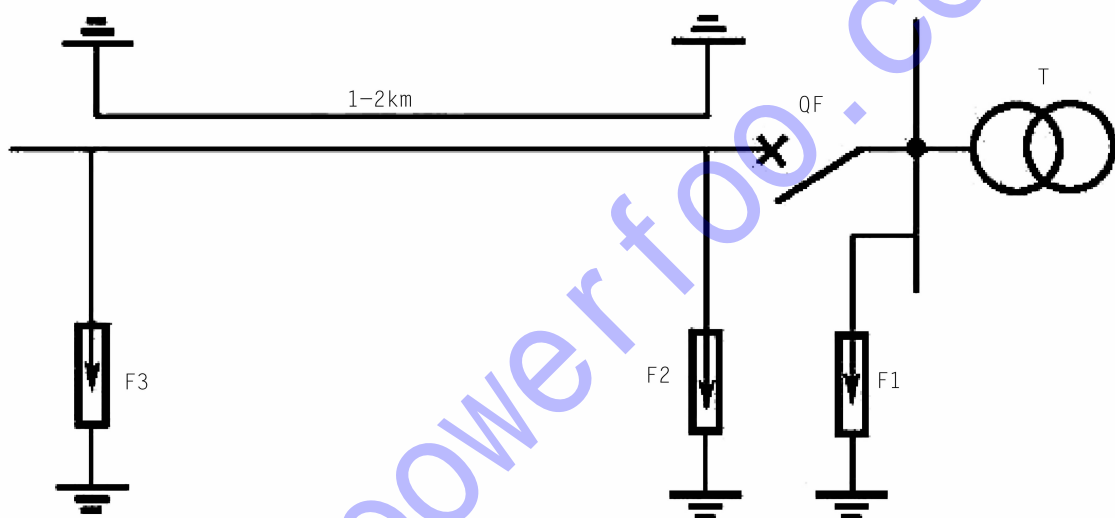
3.2 装设避雷器

利用避雷器限制雷电侵入波过电压的数值是变电站采取的防雷保护的基本措施之一。变电站有很多电气设备,一般将避雷器装在母线上,对有可能分段运行的母线在每个母线分段上均应装设避雷器,并希望母线上的避雷器能保护接到母线上所有的电气设备。在强雷电的影响下,变电站的一些设备经常遭到破坏。因此,是否可以增加设置避雷器的地点和数量呢?

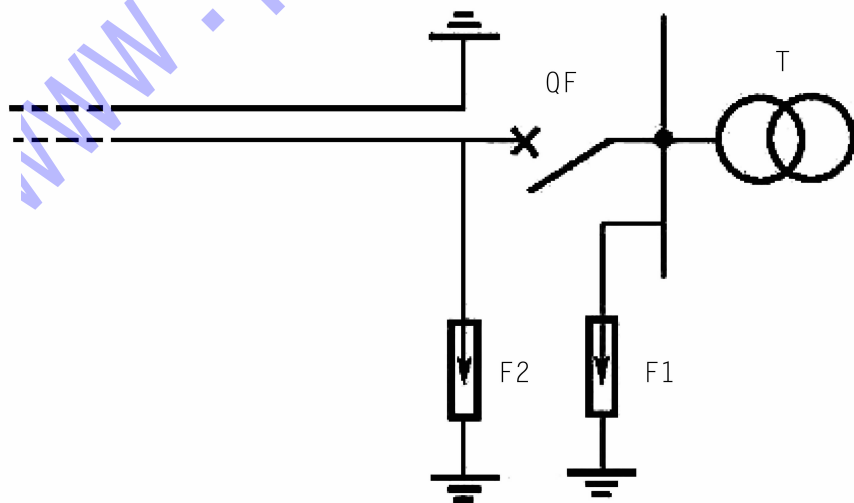
3.3 进线段保护存在不足

除了直击雷防护以外,当线路上落雷时,雷电进行波会沿着线路向变电站袭来。由于线路的绝缘水平很高,侵入变电站的侵入波幅值往往很高,

极有可能使主变压器和其它电气设备发生绝缘损坏事故。如果是终端变电站,则雷电波到达变电站时其电压还会因反射而升高,其危险性更大。此外,由于变电站和线路直接相连,线路分布广,长度大,遭到雷击的机会很多,而进线段保护的作用就是为了限制沿线路侵入变电站的雷电流幅值不超过 5 kA,陡度不超过允许值。进线段保护的接线情况见图 2。在强雷电的影响下,进线段是否还能够达到限制沿线路侵入变电站的雷电流幅值不超过 5 kA、陡度不超过允许值就不一定了。从案例 1 可以看出,侵入波过电压经过进线段后仍将避雷器和主变压器损坏,其侵入变电站的雷电流很大。



(a) 未装设避雷线的变电站进线保护接线



(b) 全线有避雷线的变电站进线保护接线

图 2 35 kV 及以上变电站进线段保护接线示意图

目前变电所(站)进线段的标准保护接线为:在木杆或钢筋混凝土杆木横担线路进线保护段首端应装设一组管式避雷器 F3(图2),其工频接地电阻一般不大于 $10\ \Omega$;铁塔和钢筋混凝土杆铁横担线路以及全线以避雷线保护的线路,其进线保护段首端不需装设管式避雷器 F3。35 ~ 110 kV 变电所(站)进出线的隔离开关或断路器在雷雨季节中可能经常断开,其线路侧带有电压时,必须在变电所(站)进口处装设一组避雷器 F2,并应尽量靠近被保护设备。对于避雷器 F2 的设置,目前常常采用管型避雷器,设置的原则是:只有在断路器或隔离开关处于开路状态、线路侧又有工频电源时才需装设;F2 的外间隙整定值应使其在断路器开路时能可靠地动作,以保护断路器或隔离开关;而在断路器闭合时不应动作,即此时应在变电站阀型避雷器保护范围之内。在强雷电的影响下,如前述宁波电网发生多起雷击高压开关事故,避雷器 F2 是必须设置的。

4 改进后的变电站防雷保护措施

在强雷电的影响下,目前变电站的防雷保护措施是不完善的,应该考虑改进防雷防护设施并提高防雷保护标准,加强对变电站的防雷保护,提

高变电站的防雷措施。笔者建议:

(1) 适当增加避雷针的高度,扩大避雷针的保护范围。

适当增加避雷针的高度,扩大避雷针的保护范围,使被保护设备或物体的边缘距离避雷针的保护范围边缘要有适当的距离,严重的地区可以让避雷针的保护范围边缘高出被保护设备边缘 5 m 以上,雷击保护范围的可能性就会大大降低。

另外,为了防止反击事故,通过前面的分析可知:建于强雷电地区的变电站,建议 S_k 不应小于 6 m, S_d 不应小于 4 m。在条件许可时,该距离还可以根据具体情况适当增加一些。

(2) 采用在进线段加电缆进出线、再加避雷器的方式进行保护。

在强雷电的影响下,为了限制沿线路侵入变电站侵入波过电压的危害,采用在进线段加电缆、进出线再加避雷器的保护方式(图3)。图3(a)为采用进线段加三芯电缆进出线、再加避雷器的保护接线。图3(b)为单芯电缆,将架空线与电缆连接处的金属护套接地,另一端的金属护套需经保护器或间隙[图3(b)中的 FV]接地。

首先,利用进线段的保护作用限制沿线路侵

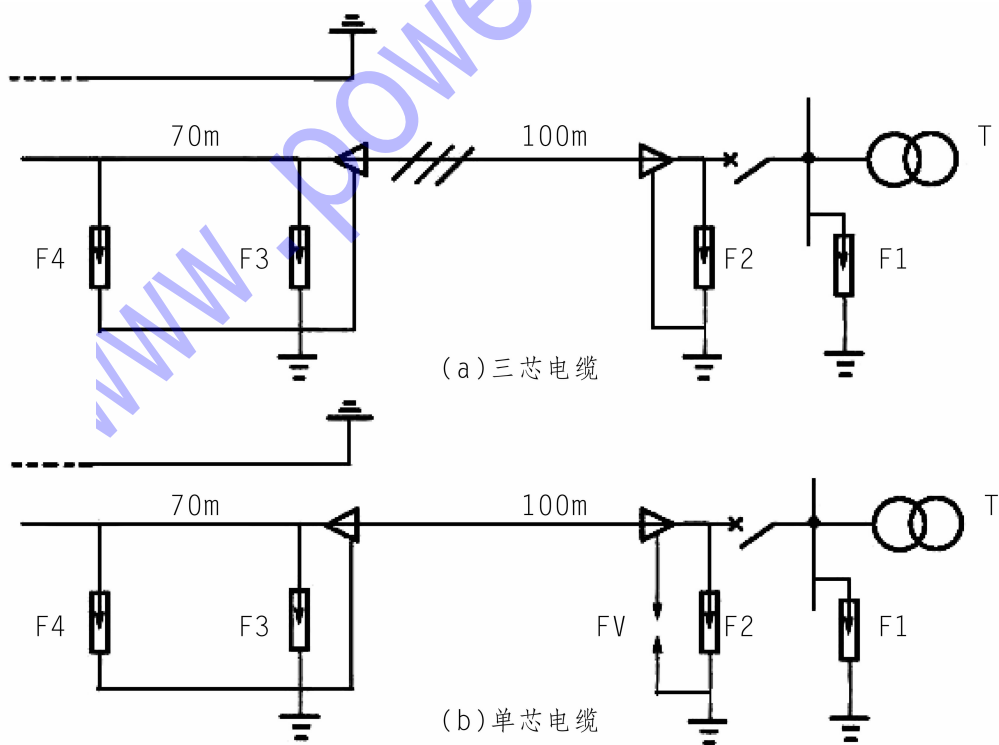


图3 采用在进线段加电缆、进出线再加避雷器的保护措施示意图

入变电站侵入波过电压的幅值和陡度,尽量减小其危害,当雷电波入侵时,避雷器 F4 或 F3 动作,电缆芯线和电缆外皮经避雷器 F3 短接在一起,雷电流流过避雷器 F3 和接地电阻 R(F3 处)所形成的电压降同时作用在电缆芯线和电缆外皮上,沿电缆芯和电缆外皮分两路流向变压器侧,由于流过电缆外皮所产生的磁通全部与电缆芯交链(由于电缆芯被电缆外皮所包围),在芯线上感应出接近等量的反电势阻止芯线中电流流向变压器侧,进而大大地减小了流向变压器侧的雷电流,亦减小了流过避雷器 F1 的雷电流。由上述分析可以看出,这段电缆的限流作用完全依靠避雷器 F3 动作。由于电缆的对地电容比架空线的电容大得多,从架空线入侵的雷电波遇到电缆时的电压立即降低,可以使避雷器 F3 难以动作。为了保证避雷器 F3 可靠动作,发挥电缆外皮的作用,在距离避雷器 F3 前 70 m 的地方安装避雷器 F4,避雷器 F4 的接地线平行架设在导线下方,并与电缆首端的金属外皮和装设避雷器 F3 的接地线连接在一起后接地。由于避雷器 F4 距电缆有一段距离,不至于因电缆的电容作用而影响其动作,所以,当雷电波到达避雷器 F4 时其已经动作,而雷电流经过伸长地线产生了很大的压降,该压降加在避雷器

F3 两端迫使避雷器 F3 动作。F2 的作用与前面类似。

5 结 语

随着全球气候的变暖,极端天气必然增加,雷电活动必然增强,强雷电对变电站的影响越来越大,为此,我们应当考虑改进防雷保护设施,提高防雷保护标准,加强对变电站的防雷保护。雷电现象是一种长期的自然现象,在长期的防治雷电过程中,我们应当不断研究总结出更好的防雷方法,不断创新更好的防雷技术。笔者提出了具体的看法,其中一些细节还需要不断进行研究,不足之处望指正。谢谢!

参考文献:

- [1] 苏景军,薛婉瑜.安全用电[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 周泽存.高电压技术[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [3] 武汉水利电力学院编写组.过电压及保护[M].北京:水利电力出版社,1977.
- [4] 水利电力部西北电力设计院,编.电力工程电气设计手册[M].北京:水利电力出版社,1989.
- [5] 中国机械工业联合会,建筑物防雷设计规范[M].北京:中国建设出版社,2008.

作者简介:

黄德建(1964-),男,四川新都人,副教授,高级工程师,学士,从事水电行业教学及工程建设技术工作。

(责任编辑:李燕辉)

中国水电十局施工技术交流会在西昌召开

2018年8月28~30日,中国水电十局施工技术交流会在西昌召开。出席会议的有来自十局各单位的技术负责人与技术人员110余人。在29日召开的学术交流会上,局副总工程师兼工程部主任苏小明主持会议,介绍了主席台就座的领导与会议议程。十局总经理陈勇在会上做了重要讲话,强调了技术进步的重要性与转型的意义,希望全局职工引起重视。来自局属各单位的13名技术人员先后在会上进行了学术交流,深入浅出,受到与会者的热烈欢迎。学术交流期间,各分局总工程师介绍了本单位技术工作和科技工作的开展情况,局工程部主任徐应中副主任也在会上介绍了局科技工作开展情况及计划。水电十局副总经理兼总工程师陈茂在会议结束时做了总结发言,对全局技术人员提出了具体的要求与期望,希望取得更大的成就。会议期间,与会代表实地考察了由六分局承建的西昌阳光学校及天王山项目,对其成功转型所取得的成绩给予了高度赞赏,并对六分局为此次会议付出的辛勤劳动表示感谢!

四川省水力发电工程学会水电七局分会主办的2018年 技术交流会暨工程信息技术竞赛表彰会在彭山召开

8月23~24日,由四川省水力发电工程学会水电七局分会主办的2018年技术交流会暨工程信息技术竞赛表彰会在彭山召开。会议对近几年水电七局在自动化、智能化、信息化建设方面所取得的成绩和应用经验进行了交流探讨并组织到现场观摩,为水电七局建设“智慧企业”提供经验与技术支撑。四川省水力发电工程学会秘书长朱永国,水电七局副总经理吴越建、总工程师向建及局属各单位项目总工程师等百余人出席会议,七家单位结合经典案例,就“智慧企业”关键技术、建设经验、管理模式等做了主题报告。“我们建立了管片生产发运信息动态数据库,实时反映每片管片的动态信息,实行对管片生产、发运、质量管理、成本控制等进行统一的集约化管理,同时达到既满足前方盾构需要,又降低库存、减少资金占用的目的,实施超市式的订单配送。”在现场观摩电建成都混凝土制品有限公司新津管片厂厂区时,与会专家实地感受了管片生产工艺流程以及其自动化程度高带来的效益,体验了VR安全体验馆等,受益匪浅。水电七局相关负责人表示,当前消费升级对建筑品质的需求、生态环境与社会发展的要求以及BIM技术、云计算、大数据、物联网、移动互联网、人工智能等数字技术的发展与成熟,使建筑业转型升级成为大势所趋。水电七局审时度势,提出了建设“智慧企业”,并根据自身的目标,结合现状和需求,分阶段、有节奏地推进。当然,“智慧企业”的实施是自上而下规划、自下而上实现的,政策开道和技术支撑互补,形成有效闭环,尚需不断总结与发展。此外,会议还对2018年度工程项目信息技术竞赛获胜选手进行了现场表彰。在完成了预定的议程后会议圆满结束。