

提高 10kV 环网柜电缆室抗内部燃弧能力的措施分析

林蔚

(广东正超电气有限公司 广东 汕头 515041)

摘要: 针对 10kV 环网柜 (以下简称环网柜) 电缆室抗内部燃弧能力不足问题, 结合设计和试验验证结果, 从提高环网柜电缆室耐受内部燃弧破坏能力和加快释放燃弧能量速度两方面详细介绍了如何提高环网柜电缆室抗燃弧能力的措施。这些措施易于实现, 效果明显, 对环网柜的设计具有重要的参考价值和指导意义。

关键词: 环网柜; 电缆室; 内部燃弧

0 引言

随着我国经济的不断发展, 我国电力系统规模持续扩大, 环网柜是我国配电网系统中运用比较广泛的一款产品。其质量的优劣不仅影响到配电系统的安全稳定还直接威胁到运维人员的人身安全。在近期由中国电力出版社出版的《新型电力系统发展蓝皮书》中也明确提出电力行业要为社会经济快速发展和人民美好生活用电需求提供坚强的电力保障^[1], 对电力系统、电力设备的安全性提出了更高的要求。因此, 如何提高环网柜, 尤其是环网柜电缆室的抗内部燃弧能力是电力设备设计者的重要课题。

1 环网柜电缆室抗内部燃弧能力不足的问题

环网柜的一次回路 (主开关、母线) 都密封在不锈钢气箱中, 通过电缆插头与系统电缆连接。电缆室位置如图 1 所示, 电缆室为可开门的结构, 相对于由不锈钢做为外壳而且完全密封的开关室、母线室来说, 电缆室是环网柜各个隔室中抗燃弧能力最为薄弱的, 也是最容易造成人身事故的隔室。业内普遍厂商更多的是考虑电缆室门与接地开关的联锁问题和现场运维时开关门的操作方便性问题, 对本应该就必须具备的抗燃弧能力关注度不足。因此, 环网柜电缆室抗燃弧能力不足是一个在业内较为普遍存在的问题。

2 内部燃弧对环网柜的破坏情况分析

发生内部电弧故障时, 在毫秒级极短的时间内和处于相对密闭的环境下, 电弧的内能没有辐射、对流和热传导的热交换形式, 因此, 其巨大的能量释放过程



图 1 电缆室位置

是以气体爆炸方式表现的^[2]。爆炸产生的冲击波对环网柜造成第一波的破坏冲击, 如设计不当的环网柜将被炸裂甚至整个电缆室门被炸飞。引弧产生几千度的高温, 使附近金属熔化, 熔化的金属流随着冲击波在空间极速膨胀; 随着燃弧时间的延长, 电弧的高温区扩展到更大的区域, 更大区域的金属或非金属熔化或燃烧。熔融的金属液滴随着冲击波向环网柜的外壳飞溅, 这种金属液滴有上千度的高温。这将对环网柜造成第二波的破坏, 如设计不当的环网柜外壳将被直接击穿或是烧穿。

3 提高环网柜电缆室抗燃弧能力的措施

3.1 提高环网柜电缆室“抗炸”能力的措施

针对以上内部电弧故障对环网柜的破坏情况, 从“抗

炸”和“耐烧”两个方面采取有效的措施提高环网柜的抗燃弧能力。如前文所述,环网柜的各个隔室中,电缆室最为薄弱,也是最容易造成人身安全事故的。因此,以环网柜电缆室为例,着重阐述如何提高环网柜电缆室抗燃弧能力的措施方案。

空气中开放性的电弧能量 W 按式 (1) [3] 计算:

$$W = \int_0^{t_1} I_m \sin(\omega t + \theta) \cdot u_a dt \quad (1)$$

从公式 (1) 可得出,在特定的绝缘结构不变的条件限制下弧压降 u_a 是相对固定的,电弧能量的大小主要由燃弧时间 t_1 、电弧电流的幅值 I_m 决定。额定电弧故障电流 I_A 和额定电弧故障持续时间 t_A [4] 是对环网柜的性能的基本要求,通常也是相对固定。因此,电缆室内燃弧的能量也是相对固定的。提高环网柜电缆室的强度是提高其“抗炸”能力的直接有效措施。

根据试验经验总结,环网柜电缆室下列的这几处结构较为薄弱,最容易被燃弧爆炸破坏。电缆室门板的紧固钉(钩)被冲击波撕裂断裂,门板整体脱落或敞开,指示器被点燃;电缆室立柱强度不足,被炸变形后,火焰从立柱与门板间的间隙窜出,点燃指示器;电缆室门板上的观察窗被炸碎或是被炸飞。针对这些薄弱环节,采取针对性的改进措施,具体措施如下:

环网柜电缆室门的紧固方式采用葫芦形槽孔+销钉的方案(图2、图3)。根据电缆室的高度,在电缆室门左右布置4~6个销钉,间距控制在100mm左右。电缆室门关闭时,门框上的销钉的钉帽位于葫芦形槽孔的最下端;当发生燃弧故障时,销钉的钉帽不能纵向越过葫芦形槽孔的下段,每个销钉与电缆室门之间形成可靠的连接点,连接点多,受力均匀,每个销钉等同于传统结构的一根螺栓,避免电缆室门被炸开 [5]。

行业内普遍采用板厚为2mm的覆铝锌板制作除气箱外的环网柜柜体板件。受到板材厚度限制,环网柜电缆室立柱强度不足是环网柜的一个通病。环网柜电缆室立柱可采用重复折边的方案能有效提高立柱的强度(图4)。该方案在没有改变板材厚度的情况下大大提高了立柱的强度,该结构类似于KYN28中置柜立柱的结构,加工工艺稍微复杂,但是效果非常明显。

调整环网柜电缆室观察窗的位置、形状,并加金属盖板(图5)。受到电缆室结构、空间的限制,电缆室燃弧试验的引弧点离电缆室门的距离很近,大概200mm。观察窗位置图如图6所示,观察窗正对着一次电缆端子(引弧点),在爆炸的第一波冲击波就把观察

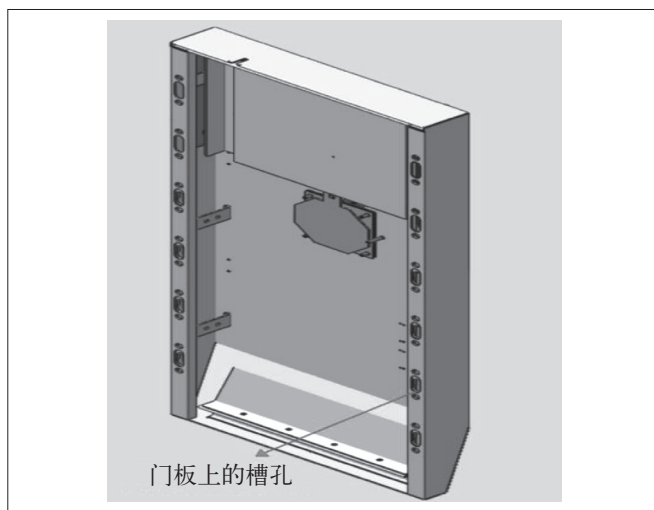


图2 电缆室门结构

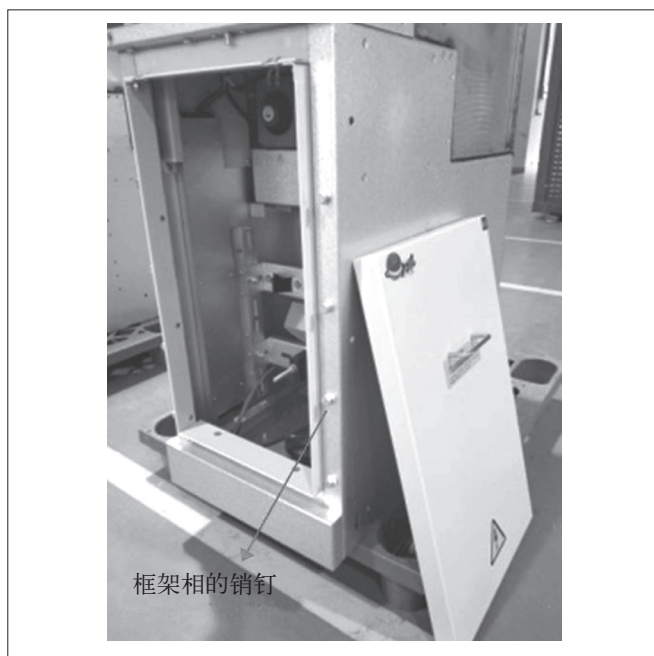


图3 电缆室框架结构

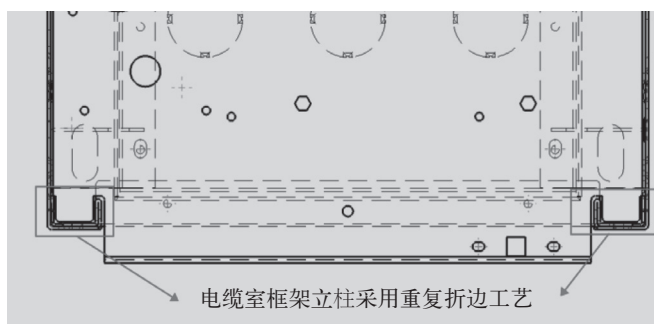


图4 电缆室立柱加工工艺

窗炸开。因此,在设计观察窗时,尽量错开与引弧点的位置,加大与引弧点之间的距离。在观察窗形状方面,在满足客户要求的前提下,把门板做为格栅。

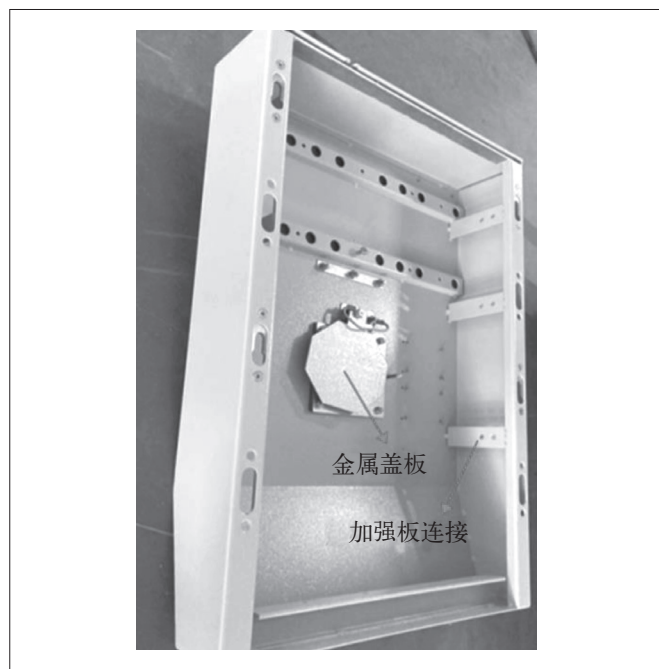


图5 观察窗盖板图

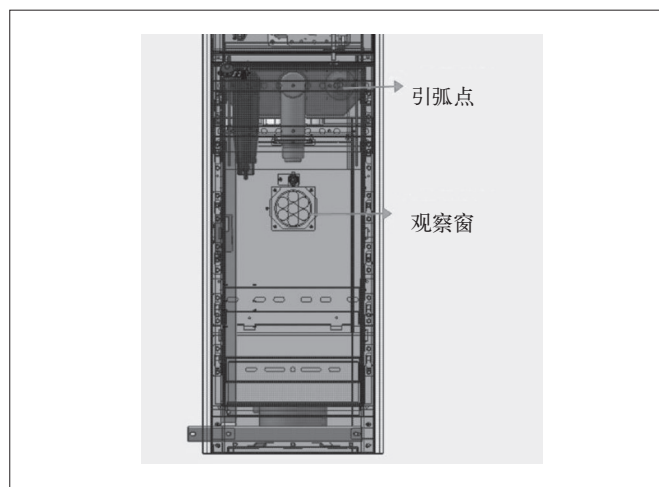


图6 观察窗位置图

3.2 提高环网柜电缆室“耐烧”能力的措施

内部燃弧试验,最理想的情况是短路电弧只局限于不同相之间燃烧。但是,受到环网柜电缆室空间狭小的限制,往往会出现相对地起弧燃烧,相对地起弧燃烧的“地”点,不能出现在电缆室(含电缆室门板)的外壁,薄板类的外壁不能承受电弧的直接烧蚀,大概率被烧穿。根据试验经验总结环网柜下列的这几处位置最容易被烧损。

环网柜的电缆室侧板离引弧点的垂直距离只有80mm左右,是距离最近的接地点,电弧直接烧到电缆室侧板上,板厚为2mm的覆铝锌板很不耐烧,瞬间被烧穿,即使在侧板的外侧增加由2mm冷轧钢板制作的

边屏,也是扛不住电弧的烧蚀,最终被烧穿(图7)。



图7 侧板烧损情况图

高温高压的气流从操作机构与电缆室门板联锁的间隙窜到机构室,点燃烧穿机构面板上的透明的盖板,或是直接从机构操作孔窜出,点燃指示器。

电缆室门板上的观察窗除了被冲击波炸飞,还存在被高温炙烤后玻璃爆裂的情况。针对这些易烧损的薄弱环节,采取针对性的改进措施,具体措施如下:

在电缆室侧板对应电缆插头的位置增加一块金属隔板,隔板不要紧贴着侧板,留有20mm以上的距离,该隔板的作用就是做为相对地燃弧的“地”点让电弧烧蚀的,使电弧不会直接烧到电缆室侧板。

在电缆室与机构室之间增加金属隔板,隔板可采用“迷宫式”的方案,既干涉机构室与电缆室门的联锁,又能阻挡、阻隔电缆室燃弧产生的夹杂着高温金属液滴的高压气流窜到机构室,大的金属液滴撞击到迷宫通道时会被打散和冷却。

在观察窗后面再增加一块金属挡板,能阻挡爆炸冲击波对观察窗的直接冲击和阻挡火焰对观察窗玻璃的直接炙烤。需要观察时,可在电缆室门外面通过旋钮打开挡板,不会影响到从电缆室外面观察电缆头的情况。

3.3 关键部件的设计

根据环网柜电缆室内部燃弧试验经验总结,内部燃弧对电缆室的破坏,电缆室门首当其冲,电缆室门被炸裂脱落,被烧穿烧损等。因此,电缆室门抗燃弧功能的合理设计,是保证电缆室整体抗燃弧能力的关键。

电缆室(含门板)外壁的设计原则是不能让电弧直接烧蚀到外壁的板件。因此,在外壁附近人为地增加“地”点,来保护外壁不被烧穿是有效的措施。

电缆室门板,从外到里材料的分布依次是:金属板、空气、绝缘板、空气、金属板。最里层的金属板是作为“地”点起弧用的,也就是说把电弧引到这里来烧的。中间的空气、绝缘板、空气是为了阻隔电弧烧到外壁的金属板。该结构中,空气层的设计是关键,在绝缘板的里外两面都增加了空气层,会浪费一些空间,使最里层的金属板与环网柜出线套管(起弧点)的距离更近了,但是能有效阻隔电弧和被电弧熔融的高温金属液滴对外壁金属板的冲击。通过高速摄像机可观察到,最里层金属板燃烧时,绝缘板与金属板之间隔着空气,没有和熔融的高温金属液接触,不会与金属板同时燃烧,但仍然会被喷溅的高温金属液滴点燃。绝缘板燃烧时,外壁的金属板没有与燃烧的绝缘板接触,不会被点燃。经过绝缘板的阻拦后,也没有高温金属液滴向外壁的金属板喷溅。因此,电缆室门板外壁的金属板只是受到高温空气的炙烤、燃烧绝缘板的烟熏、爆炸气浪的冲击,出现了稍微的变形,但不会被炸裂或是烧穿。

环网柜的电缆室门通常设计为外凸型的形状。该形状的电缆室门板还有一个较为薄弱的结构,门板的“深度”太深,侧面折边的长度太长,受到爆炸冲击变形后会放大第二折边的变形,容易造成门板脱落。针对该问题,可在门板本体和第二折边之间用加强板连接的改进措施。

4 提高快速释放燃弧能量的措施

为了通过内部燃弧试验,在“堵”的同时还要有“疏”,也就是快速、高效地把燃弧的能量通过泄压通道排到柜外,以减少环网柜电缆室所承受的压力。根据《3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备》(GB/T 3906-2020)和国家电网、南方电网公司相关技术规范书的要求,环网柜为IAC级开关和控制设备,可触及的类别为AFLR。因此,环网柜电缆室燃弧只能向下泄压,不能向环网柜后面泄压。环网柜电缆室底部泄压通道要最大化,泄压孔在满足环网柜整体强度的前提下,泄压孔的面积尽量大。根据试验经验总结,泄压板不能设计为一整块或是前后两大块,大面积的泄压板在进出线电缆的干涉下,很难整体从环网柜底部脱落。泄压板的脱落过程,并不是完全垂直于环网柜底板方向的,在冲击波的作用下,泄压板会扭曲和

变形,泄压板就会卡到泄压孔的边缘,造成泄压通道不顺畅。因此,泄压板要设计为“碎片化”,虽然“碎片化”的泄压板制造工艺更加复杂,装配也更加繁琐,但这是使泄压通道顺畅的有效措施。

要充分利用环网柜整个底座的空间来吸收燃弧的能量。环网柜的底座通常设计为前后两部分,中间有隔板隔开,防止环网柜开关室(母线室)燃弧对电缆室的影响。隔板隔开,电缆室的空间变小了,并不利于电缆室的燃弧试验。因此,隔板设计为单向开启的方式更为合适,从底座的前面(电缆室)可向后打开,而从后面无法向前面打开,并且也设计为“碎片化”有利迅速开启的方案。当开关室发生燃弧故障时,隔板能阻挡燃弧对电缆室的影响,而当电缆室发生燃弧故障时,利用环网柜底座后部的空间吸收燃弧的能量,并且可利用开关室的泄压通道泄压。开关室、电缆室双泄压通道共同泄压,可更快地释放燃弧能量。

5 结语

环网柜电缆室抗内部燃弧能力除了与上述因素有关,还与环网柜器件(部件)的质量、整柜加工和装配工艺等有关。因此,在环网柜电缆室设计过程中,需从环网柜的结构、制造工艺、安装质量等方面综合考虑,预留有足够的裕度,确保能够抗得住内部燃弧故障,保证人身、设备安全。

参考文献:

- [1]《新型电力系统发展蓝皮书》编写组.新型电力系统发展蓝皮书[M].北京:中国电力出版社,2023.
- [2]熊泰昌.内部电弧故障试验情况下中压开关柜强度计算[J].高压电器,2002,38(4):42-44.
- [3]徐国政.高压断路器原理和应用[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [4]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备:GB/T 3906-2020[S].北京:中国质检出版社,2020.
- [5]吴厚烽,吴汉榕,林则蓝,等.环网柜电缆室门抗燃弧安装结构:CN110994434B[P].2021-05-07.

作者简介:林蔚(1979.06-),男,汉族,广东汕头人,本科,工程师,研究方向:电力设备的设计、研发。