

采用并联真空开断技术的 创新型无六氟化硫开关

作者 Christophe Preve
François Trichon
Romain Maladen
Daniel Piccoz

摘要

全球安装的超过3000万套中压开关柜使用的是强效的温室气体六氟化硫(SF₆)。六氟化硫的替代使用是电气开关设备朝着更加安全和环保迈出的重要一步。一种创新的无六氟化硫技术经济高效地将真空灭弧(VI)和空气绝缘结合起来，同时保持了传统气体绝缘开关柜占地面积小的优势，为现有技术提供了一种前景广阔的替代方案。

引言

减少温室气体排放已成为全球公司的当务之急。为此需要提出新的解决方案，使电气设备更加环保。本白皮书介绍了一种创新的紧凑型无六氟化硫开关，将真空灭弧室和空气隔离开关结合起来，空气是一种比未经证实的替代气体更加安全和理想的解决方案。

自1970年代以来，六氟化硫作为一种无毒性且不具可燃性问题的气体，被广泛用于高压和中压电气设备作为绝缘和/或开断介质。尽管具备优异的电气性能，但是六氟化硫会加剧温室效应，其全球变暖潜能值(GWP)为23,500，这表示1千克六氟化硫与23,500千克二氧化碳具有相同的影响力。

一些氟化气体被认为可替代六氟化硫充当中压电气设备的灭弧气体。¹²³尽管其中一些替代气体的全球变暖潜能值较低，但从相关设备安装到生命周期结束，都需要经过培训的工作人员的谨慎处理。

这些气体固然具有介电性能和开断能力，但围绕这些替代气体的健康风险和潜在毒性，以及它们潜在的致癌性、致突变性和生殖毒性，存在一些担忧。氟化气体不能被释放到大气中，必须在其生命周期结束时进行回收。

一种更加安全和理想的使用空气作为绝缘介质的无六氟化硫解决方案被设计出来用于中压二次配电开关柜（环网柜）中的负荷开关，不在气体中开断。

该解决方案的优势包括：

- 环境友好
- 人身安全
- 操作简便
- 与六氟化硫解决方案相同或相近的紧凑尺寸
- 可与当前六氟化硫开关柜互换（空气绝缘环网柜）
- 无需回收废气
- 预期寿命长

1 S.KOSSE, P.G.NIKOLIC, G. KALCHELRIESS, 对当今六氟化硫替代提案绩效的整体评估, 第24届国际供电会议(CIRED 2017)第0819号论文, 英国格拉斯哥, 2017年6月.

2 C. PREVE, D. PICCOZ, R. MALADEN, 潜在六氟化硫替代品验证方案(法国里昂, 2015年11月).

3 A. BEROUAL, A HADDAD, 关于寻求对环境影响小的新绝缘气体以替代高压电网中应用的六氟化硫气体的最新进展, MDPI – Energies 2017, 1à,2017年8月.

在气体或空气中开断

对于三工位开关而言，在气体中开断可能是一种经济高效的解决方案。但是，某些氟化替代气体会产生剧毒性副产物，尤其是在开断试验过程中会产生大量的一氧化碳。

由于中压开关柜在公共场所使用，在考虑六氟化硫替代品时，健康和安全性是最受关注的问题。气体意外泄漏给公众带来的风险太大，因此不宜考虑使用六氟化硫替代气体作为开断气体。

干燥空气介电性能虽不及氟化气体，却具有安全、易处理的强大优势，并且可以在使用寿命结束时被释放到大气中。

氮气的介电性能低于干燥空气，但具有防氧化的优点。二氧化碳的介电性能差于空气和氮气。它像干燥空气和氮气一样安全，可以被释放到大气中。这些气体的介电性能会随着压力的增加而增加，从而使开关柜能够保持六氟化硫开关柜的尺寸。

另一方面，干燥空气和氮气的开断能力较弱，而二氧化碳的开断能力优于干燥空气和氮气，但不及六氟化硫。与氟化替代气体相比，这些天然气体易于获得。

因此，最佳解决方案是使用干燥空气作为绝缘介质，并使用真空灭弧室作为开断装置。该解决方案可以避免使用替代气体在开断后产生的有毒副产物，并杜绝气体意外释放导致的人身安全风险。

无六氟化硫开关柜解决方案：空气+真空

这种无六氟化硫空气绝缘开关柜解决方案在环氧树脂气包中充入干燥空气，12kV开关柜的相对压力为0.4bar，24kV开关柜的相对压力为1.5bar。三工位开关基于真空开断、空气隔离和气包内接地。操作方式与传统的六氟化硫三工位开关相同：一次操作实现开断/隔离，第二次操作实现接地。结合采用不同的开关部件及其设计架构，设计出了一种紧凑型解决方案，其尺寸与传统的六氟化硫三工位开关相同。因此，在传统的二次配电空气绝缘开关柜中，该环氧树脂气包可与六氟化硫气包完全互换。

真空灭弧室开断与三工位隔离开关串联

使用真空灭弧室进行开断的传统方案由真空灭弧室与三工位隔离开关串联（图1）构成。该解决方案已应用于六氟化硫环网柜中的真空断路器。对于负荷开关的应用，真空灭弧室应确保短路关合能力、承受电动力、短时电流耐受能力（包括其峰值耐受能力）和持续电流耐受能力。两种类型的真空灭弧室之间的唯一区别是开断能力。在这

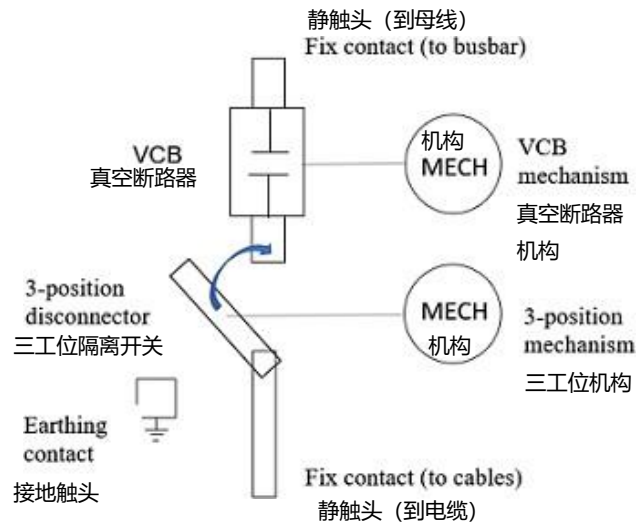
种情况下，用于负荷开关的真空灭弧室与用于真空断路器的真空灭弧室尺寸相同且成本相近。

这种解决方案可靠且为业界熟知。但是，它具有两个主要缺点：

- 其操作方式与六氟化硫三工位开关不同。通过两个操作机构动作：一个用于断路器，另一个用于三工位隔离开关。分闸/隔离需要进行两次操作。
- 该解决方案成本高昂。

图1

“传统”的负荷开关解决方案将真空灭弧室和三工位隔离开关串联



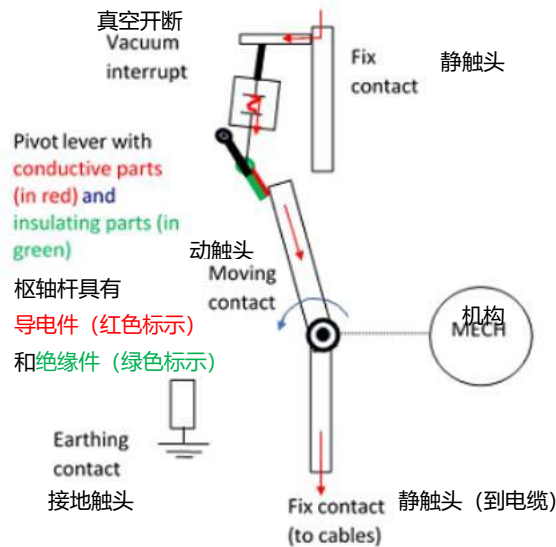
并联真空开断 (SVI)技术

这种新方案由真空灭弧室和空气中的隔离开关组成，从而减少零件数量、降低成本，实现常规的三工位开关操作（图2）。

真空灭弧室与隔离开关并联。隔离开关的刀片通过枢轴杆驱动真空灭弧室的开断。在此配置中，真空灭弧室仅在开断阶段工作。它必须承受开断时的瞬态恢复电压 (TRV)，但不必须具备短路关合能力、短时电流耐受能力和持续电流耐受能力。刀片可以确保短路关合。在合闸阶段，电流不会通过真空灭弧室。实际上，在开断阶段，电流通过真空灭弧室的时间仅有几毫秒。**这降低了该真空灭弧室的成本和尺寸。**

图2

采用并联真空开断(SVI)
技术的创新型解决方案



分闸与隔离阶段描述

主触头是闭合的 (图3) , 因此电流仅穿过主触头, 不穿过处于闭合位置的真空灭弧室。

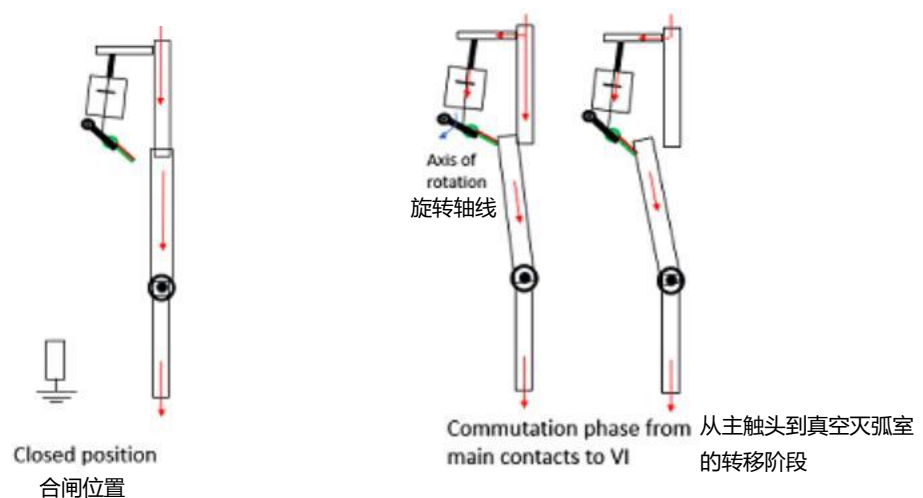
当动触头开始移动时, 存在一个电流转移阶段 (图4) : 动触头连接到枢轴杆的导电线, 并且仍然与静触头相连接。然后, 电流在两个电路之间共通: 主触头和真空灭弧室 (仍处于闭合位置)。在动触头和静触头分离瞬间, 因为触头处于同电位, 所以不会产生电弧。

图3

合闸位置

图4

转移阶段



转移阶段结束后, 电流通过仍处于合闸位置的真空灭弧室。然后, 在动触头的推动下, 枢轴杆旋转并驱使真空灭弧室开断。当电流初次过零点时, 真空灭弧室开断电流 (图5) 。

电流开断完成后，动触头释放枢轴杆，并使其继续旋转至隔离位置（图6）。缓冲弹簧驱使枢轴杆返回其初始位置，从而闭合真空灭弧室。

图5
真空灭弧室开断阶段

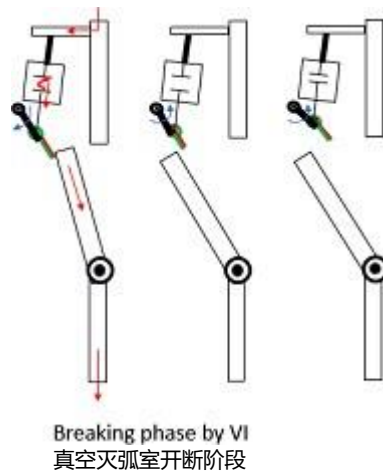


图6
隔离位置



接地阶段描述

接地阶段与六氟化硫三工位开关类似。真空灭弧室处于闭合位置时，并联电路不起任何作用。

图7
接地阶段

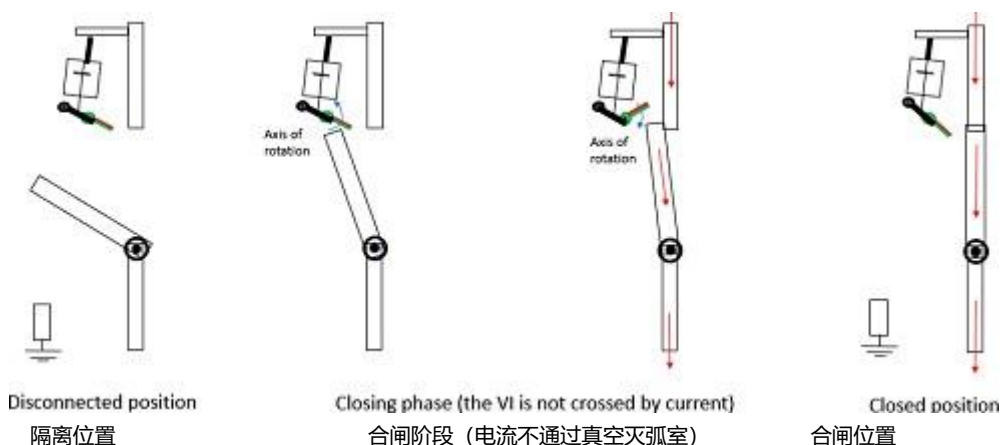


合闸阶段描述

如图2所示，动触头与枢轴杆的绝缘面接触并推动其旋转，从而使该动触头合闸到静触头。合闸/电流关合由主触头完成。在此阶段，电流绝不会通过真空灭弧室。一旦主触头到达合闸位置，枢轴杆便会被释放并返回其初始位置，准备好再次开断电流。

图8

合闸阶段



方案优势

本设计提供了一种经济高效的紧凑型解决方案，其尺寸与六氟化硫解决方案相同。该系统能够开断额定电流、转移电流和交接电流。它适用于线路投切以及变压器保护熔断器保护。

本方案安装在充满干燥空气的环氧树脂气包中，12kV的相对压力为0.4bar，24kV的相对压力为1.5bar，并且可与SM6系列二次配电空气绝缘开关柜中充满六氟化硫的环氧树脂气包完全互换。由于母线铜排和电缆接头的高度保持不变，能够很容易实现改装。

图9

采用六氟化硫开断及采用无六氟化硫空气绝缘并联合真空灭弧技术的SM6开关柜



操作方式与当前使用的六氟化硫三工位开关相同：一次操作实现开断/隔离，第二次操作实现接地。这种可互换性允许在同一配电盘上混合使用不同技术，并在同一柜子中将六氟化硫开关替换为无六氟化硫开关。该无六氟化硫空气绝缘开关柜已遵循IEC标准成功通过测试。该解决方案也可以很好地适应气体绝缘环网柜的设计。

结语

中压开关柜在公共场所使用，因此采用毒性未经证实的气体是不可接受的。此外，开断后产生剧毒性副产物也是不可接受的。这两种情况下，如发生意外的气体泄漏，公众的健康和安全无法得到保障。

唯一的解决方案是使用真空灭弧室进行开断，这是一种已经证实的可靠技术。当前使用的解决方案由真空灭弧室与隔离开关串联构成，成本高且占地面积大。此外，其操作方式也不同于传统的六氟化硫开关。

这种新发明的解决方案将真空灭弧室与主触头并排放置。这种采用空气绝缘和并联真空开断技术的三工位开关提供了一种经济高效的紧凑型解决方案。它对环境完全无害，对人安全，无需回收报废气体，并使用与现有开关相同的操作方式。它还具有较长的预期寿命、相同的占地面积，并且可与当前使用的六氟化硫开关完全互换。它非常适用于空气绝缘开关柜和气体绝缘开关柜产品，可以满足线路切换和变压器保护的需要。