符合 IEC 标准的面向东南亚市场的高压真空断路器（12 kV、24 kV）

IEC Standard Compliant Vacuum Circuit-Breaker (12 kV, 24 kV) for Southeast Asian Markets

冈崎　贵幸 OKAZAKI, Takayuki　　菊地　征范 KIKUCHI, Masanori　　德永　圭秀 TOKUNAGA, Yoshihide

向稳定发展的东南亚地区推广高压真空断路器（VCB），必须满足 IEC 标准的要求。此次面向东南亚市场，富士电机新开发了符合 IEC 标准的 12 kV 和 24 kV 额定产品。为符合 IEC 标准，追加了作业人员可从开关装置外部推进抽出 VCB 的机构。12kV VCB 为保护施加高压的主电路部产品，配备了接地金属制活门等，提升了安全性和功能，并实现了小型轻量化。24 kV VCB 则采用固体绝缘方式，容积比旧型产品缩小 40%，实现了小型化。

As Southeast Asia continues to experience steady growth, the vacuum circuit-breakers (VCBs) for markets there are required to be compliant with IEC standards. We have recently expanded our line-up of products to include 12-kV and 24-kV IEC standard compliant products for Southeast Asian markets. As a feature supporting IEC standard compliance, the products come with a mechanism that enables operators to insert/draw out a VCB into/from the outside of the switchgear. The 12-kV VCB has achieved a compact and lightweight design while improving safety and functionality through features such as a grounded metal shutter that covers the main circuit to which high voltage is applied. The 24-kV VCB adopts a solid insulation design that has enabled miniaturization of about 40% in volume compared with previous products.

1　引言

在稳定发展的东南亚地区推广高压真空断路器（VCB：Vacuum Circuit-Breaker）时，必须满足各国的配电电压要求和国际标准 IEC 62271 系列的要求。

此次，在过去以日本国内市场为中心开发的 VCB “HS 系列”中新增了面向东南亚地区、符合 IEC 标准的 12 kV 和 24 kV 额定的 VCB（**图 1**）。

为满足重视安全性的 IEC 标准的要求，此次新增加了在维护时，作业人员可从开关装置外部推进抽出 VCB 的机构，同时，为保护施加高压的主电路载流部件，采用了接地金属活门，提升了安全性。

另外，24 kV VCB 采用固体绝缘方式，相比过去的空气绝缘方式，容积缩小 40%，实现了小型化。

2　满足 IEC 标准

IEC 62271 系列包括，规定了 VCB 主机的标准 IEC 62271-100 和收纳 VCB 的开关装置的标准 IEC 62271-200。该 VCB 在满足主机标准的基础上，还须采用符合开关装置标准的结构。

IEC 62271-200，如**图 2** 所示，为确保万一发生内部电弧事故，周围的作业人员不会被烫伤或受到致命伤害，要求采用影响不会波及到开关装置外部的结构。另外，为避免内部电弧事故的发生，还要采用高级联锁机构。

因此，富士电机从操作性的观点出发，采用了在开关装置门关闭的状态下，通过转动操作手柄就能使 VCB 在运行位置和试验位置间推进抽出的方式（柜面拉出方式）（**图 3**）。

此外，用于防止误操作的主要联锁如下所示（**图 4**）。

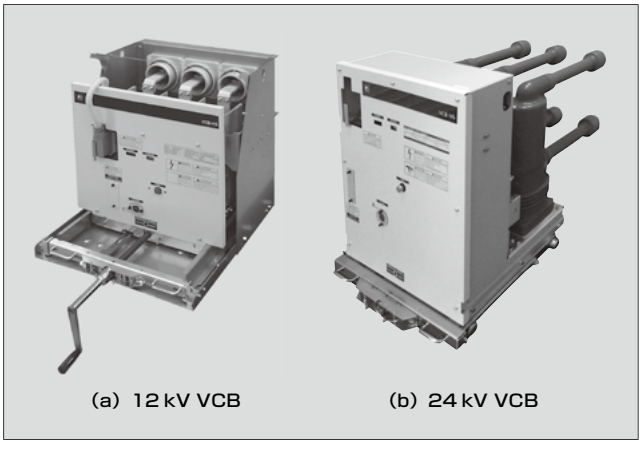

图 1　高压真空断路器的外观

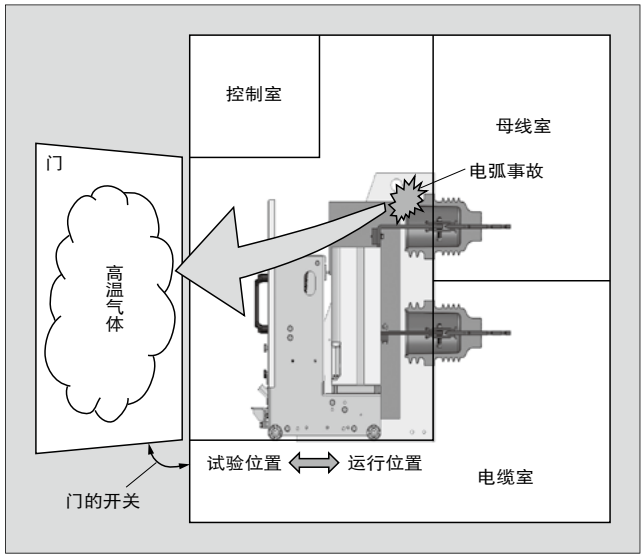

图 2　内部电弧事故（开关装置侧面模式图）

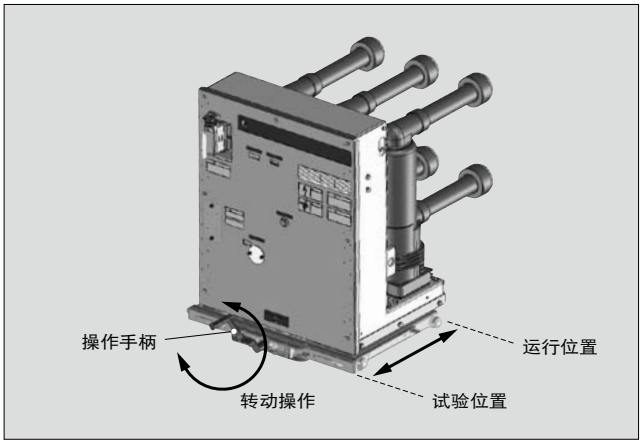

图 3　柜面拉出方式（24 kV VCB）

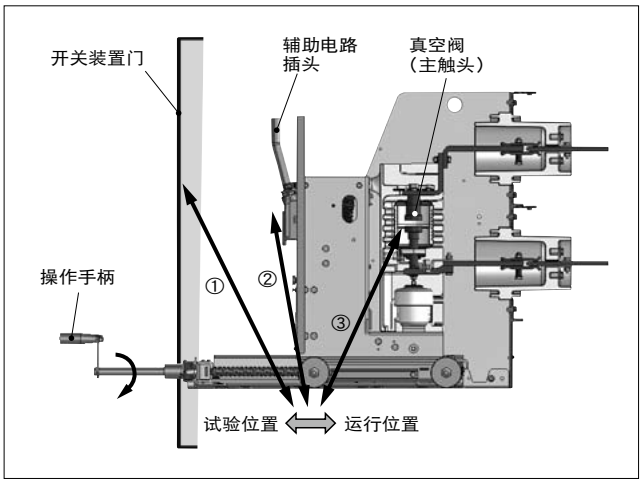

图 4　联锁①②③的关系（开关装置侧面）

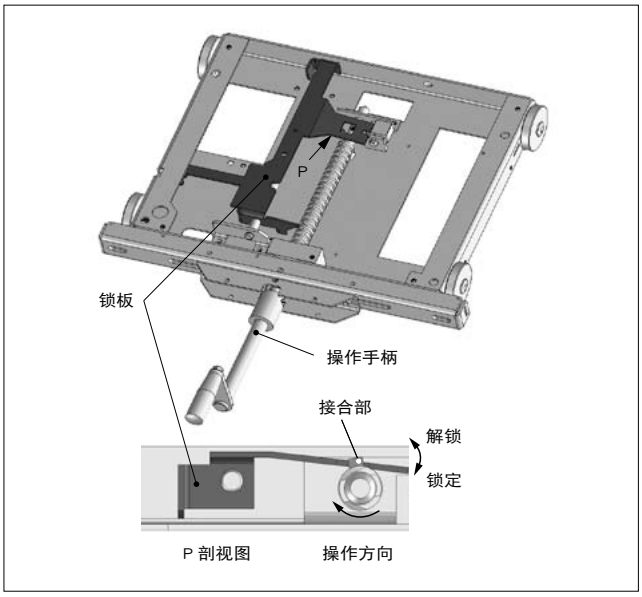

图 5　锁定机构（仅台车部）

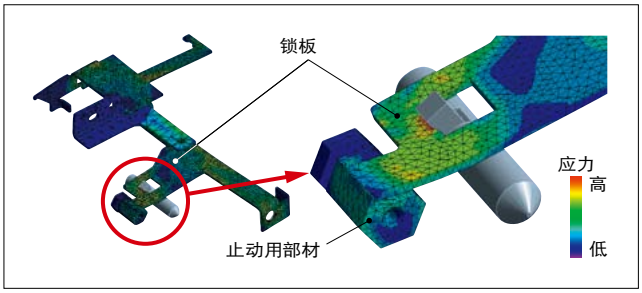

图 6　变形分析例

(1)　开关装置的门和 VCB 的推进抽出（**图 4** ①）

在开关装置门打开的状态下，不能进行推进抽出操作。另外，VCB 在推进抽出的中途位置和运行位置上时，开关装置的门不能打开。

(2)　辅助电路插头和 VBC 的推进抽出（**图 4** ②）

插头未插好时，不能进行推进抽出 VCB 的操作。另外，在推进抽出 VCB 的中途，不能拔下辅助电路插头。

(3)　VCB 的开关和 VCB 的推进抽出（**图 4** ③）

在 VCB 关闭的状态下，不能进行推进抽出操作。另外，在推进抽出 VCB 的中途，不能进行 VCB 的开关操作。

这些联锁通过转动操作手柄，形成了可锁定推进抽出操作机构的结构（**图 5**）。根据辅助电路插头和真空阀主触头的状态，锁板上下动作，锁板卡住操作轴的接合部后，转动动作就会被阻止。

最新的 IEC 标准要求锁定结构必须能承受规定载荷 750N 的操作负载。这个条件非常严苛，约是 150N 的实际推进抽出操作负载的 5 倍。富士电机考虑了配置空间和零部件的加工性，除锁板单体外，为确保锁定机构整体强度，还为现有构件追加了止动功能。如**图 6** 所示，实施了变形分析，针对规定负载，确认了不会发生破坏机构的变形。

3　12kV VCB

3.1　规格

此次开发的 12 kV VCB 的基本规格如**表 1** 所示。柜面拉出式的产品外观如**图 7** 所示。

表 1　12 kV VCB 的基本规格

项目		规格
额定电压		12 kV
额定电流		630 A，1250 A
额定分断电流		25 kA
额定短时耐受电流（3 s）		25 kA
额定短路关合电流（峰值）		63 kA（50 Hz） 65 kA（60 Hz）
额定短时工频耐压		28 kV
额定雷电冲击耐压		75 kV
额定频率		50/60 Hz
安装方式		○柜面拉出式 ○拉出式 ○固定式
质量	VCB	94 kg
	支架	67 kg（柜面拉出式）
标准		IEC 62271-100（2012）

图 7　12 kV VCB 的外观（安装方式：柜面拉出式）

3. 2　小型和轻量化

12 kV VCB 通过调整绝缘结构，抑制了因为追加联锁结构部导致的尺寸增大，与不带联锁机构部的旧型产品保持了相同尺寸，实现了业界最小型和最轻量级。

3. 3　主电路绝缘结构的变更

旧型产品与 6 kV VCB 共用绝缘框架，因此，配备了确保主电路相间绝缘距离的绝缘屏障，将主电路导体分配到了各相（**图 8**）。

而新开发产品，为优先确保结构的小型、轻量化，去掉了绝缘屏障，设计了 12 kV VCB 专用绝缘框架，节省了主电路导体中铜的使用量。专用绝缘框架的相间距从 130 mm 增大到 165 mm，因此，绝缘框架的外形尺寸也会增加。但富士电机在抑制绝缘框架体积增加的同时调整了安装结构，从而使施加到绝缘框架上的应力相比旧产品降低 16%，实现了绝缘框架的轻量化。**图 9** 中展示了绝缘框架的应力分析例。

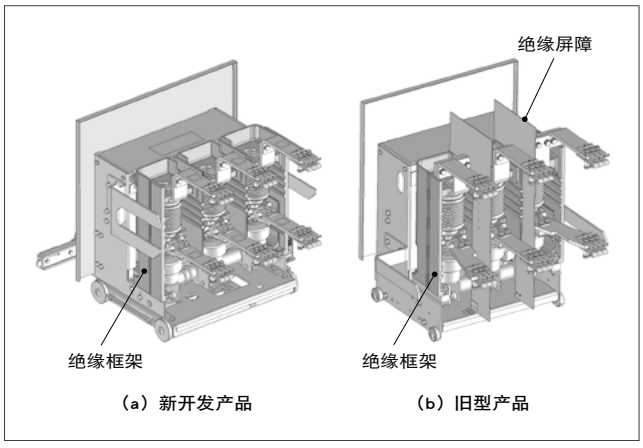

图 8　主电路结构

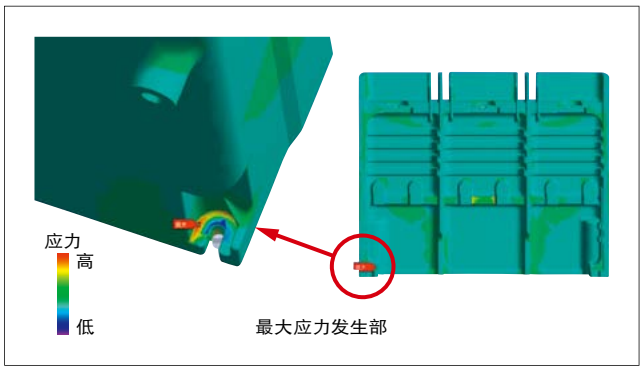

图 9　绝缘框架的应力分析例（模拟接通状态）

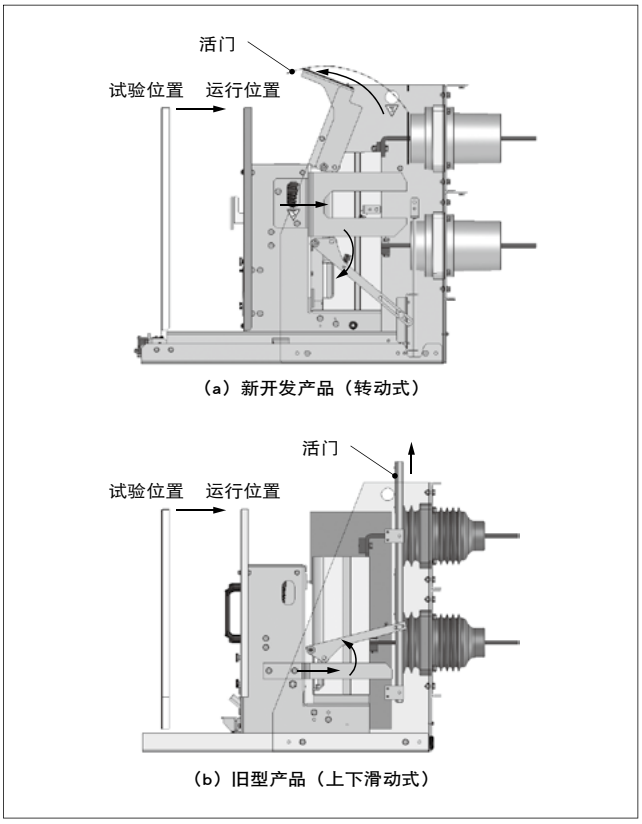

图 10　活门机构

3. 4　金属活门的采用

支架侧的主电路导体，要求采用维护时其通电部不外露的活门结构。为了保证即使触摸也不会受到电击，活门材质没有使用绝缘材料，而是采用了接地的金属活门，提升了安全性。金属制活门和插入到运行位置的 VCB 主电路载流部件间的绝缘距离，必须大于绝缘材料制活门。**图 10** 中展示了活门机构。如**图 10**(b)所示，如果采用和活门板上下滑动的旧型产品相同的结构，为确保绝缘距离，就必须保证动作量达到绝缘材料制活门的 1.4 倍。这样会导致活门向上方突出，支架高度比旧型产品高 45 mm。

因此，如**图 10**(a)所示，新开发产品为降低支架高度，活门动作采用了转动方式。富士电机考虑了动作时机和操作负载，通过抑制活门板的突出量，降低了高度尺寸，使支架高度比旧型产品低 45 mm，实现了小型化。

4　24kV VCB

4. 1　规格

此次开发的 24 kV VCB 的基本规格如**表 2** 所示。外观

表 2　24 kV VCB 的基本规格

项目	规格
额定电压	24 kV
额定电流	630 A，1250 A
额定分断电流	25 kA
额定短时耐受电流（3 s）	25 kA
额定短路关合电流（峰值）	63 kA（50 Hz） 65 kA（60 Hz）
额定短时工频耐压	50 kV
额定雷电冲击耐压	125 kV
额定频率	50/60 Hz
安装方式（符号）	仅柜面拉出式主机（F）
质量（主机）	170 kg
标准	IEC 62271-100（2012）

如**图 3** 所示。

4. 2　固体绝缘方式的主电路

旧型产品采用的空气绝缘方式，随着电压等级的增大等，须确保的绝缘距离也会变大，在小型化方面受到限制。

因此，24 kV VCB 采用了固体绝缘方式。环氧树脂的绝缘破坏电场强度是空气绝缘方式的 10 倍以上，因此，富士电机利用真空加压凝胶法，用环氧树脂包覆包括真空阀在内的主电路导体，从而大幅削减了主电路的极间尺寸（**图 11**）。

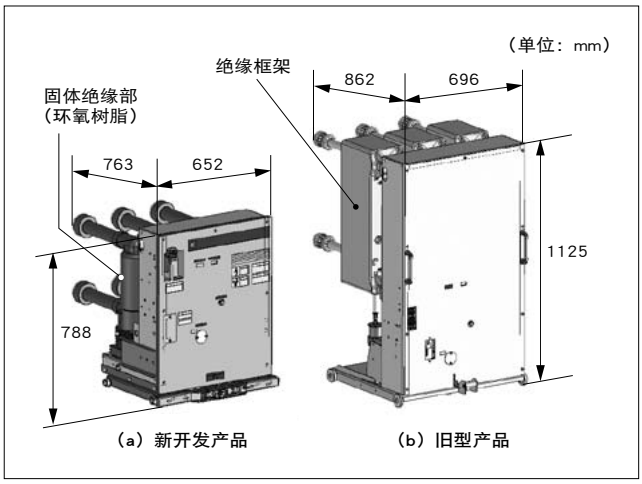

图 11　24 kV VCB 的外形比较

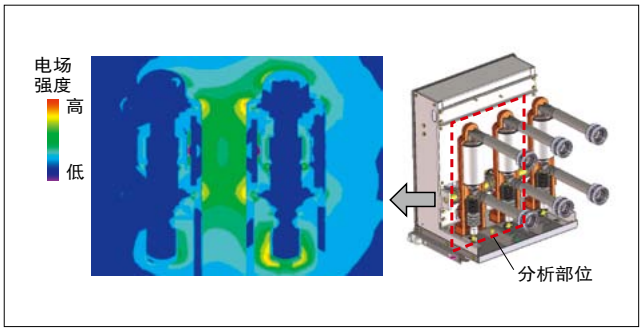

图 12　固体绝缘极柱部的电场分析例（相间施加）

衬套、绝缘子等环氧树脂成形品内置了电极，受其界面状态和孔隙的影响，会发生局部放电，可能引发绝缘劣化。为抑制局部放电，富士电机对新开发产品实施了三维电场分析，设计成可降低最大电场强度的结构。同时，使用以此为基础设计的实机进行了局部放电试验，确认了相对于运行电压的裕度，并确认到环氧树脂成形品的品质良好。**图 12** 中展示了固体绝缘极柱部的电解分析例。

4. 3　连接结构的变更

VCB 在连接操作机构和主电路侧时，为妥善维持开关特性，必须设置调整机构。**图 13** 中展示了连接结构。旧型产品如**图 13**（b）所示，调整部设置在真空阀的正下方，但新开发产品如**图 13**（a）所示，通过转换杆，将调整部配置在了正面侧，从而相比旧型产品缩小了高度尺寸。

追加转换杆会使可动部分的质量增加，导致操作能量增大。富士电机考虑了开关动作特性和对机械强度的影响，结合机构动态分析和应力分析，降低了应力，实现了轻量化。**图 14** 中展示了开关轴部的应力分析例。零部件的轻量化使操作能量得到控制，从而抑制了作为能量源的弹簧类和电动

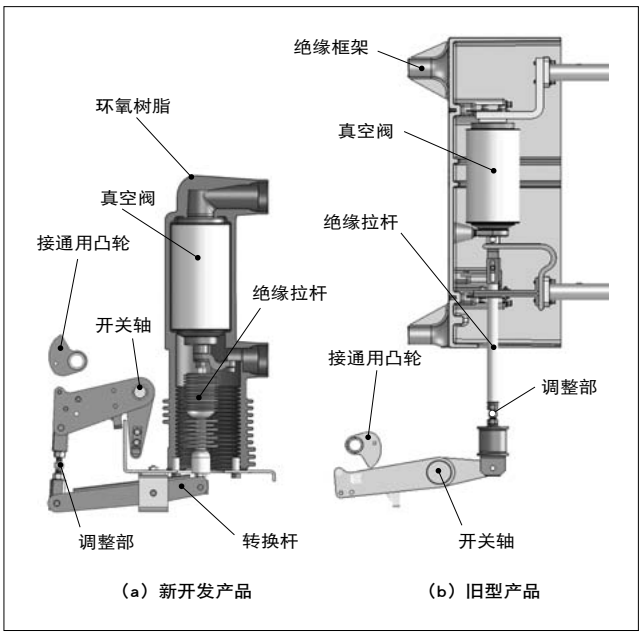

图 13　连接结构

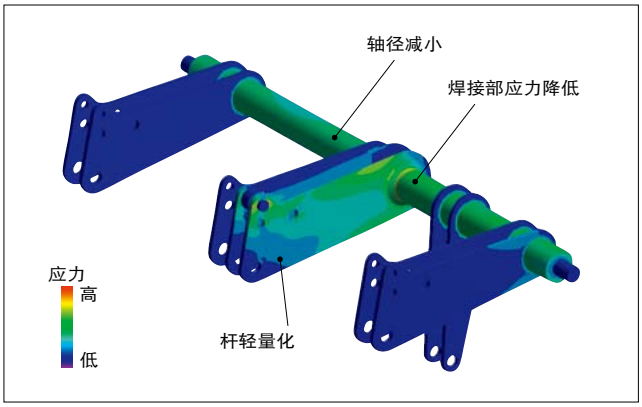

图 14　开关轴部的应力分析例

机等电装品的大型化，有助于小型化，同时，实现了与旧型产品在同等电源容量下动作。

凭借环氧树脂浇注的固体绝缘方式和连接结构的调整，容积比旧型产品缩小 40%，实现了小型化。

5 后记

本文对符合 IEC 标准的面向东南亚地区的高压真空断路器（12 kV、24 kV）进行了介绍。

今后，富士电机也将从全球化视角出发来满足客户的要求，推进进一步提升可靠性和安全性的产品开发。

冈崎　贵幸

从事高压受配电设备的开发设计。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部课长。电气学会会员。

菊地　征范

从事高压受配电设备的开发设计。现为富士电机机器制御株式会社开发本部受配电开发部课长助理。电气学会会员。

德永　圭秀

从事高压受配电设备的开发设计。现就职于富士电机机器制御株式会社生产本部吹上工厂制造部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。