具备耐受高过电流性能的密封型高压接触器“SVE135”

“SVE135” Sealed High-Voltage Contactor Having High Overcurrent Withstand Capability

中　康弘 NAKA, Yasuhiro　　柴　雄二 SHIBA, Yuji　　櫻井　裕也 SAKURAI, Yuya

搭载有大容量电池的环保汽车逐渐普及，其快速充电用电路就需要配备可预想到事故、具备耐受高过电流性能的接触器。为满足这一要求，促进提升环保汽车的安全性，富士电机开发了采用独创触头结构的密封型高压接触器“SVE135”。凭借独创的触头结构，可在不增大触头接触压力的情况下，抵消短路电流流过时产生的大部分电磁斥力，确保设备小型、轻量，并实现 2 倍于旧型产品的 20kA 的耐高过电流。

The spread of environmentally friendly vehicles mounted with large-capacity batteries has required that quick charging circuits be equipped with contactors capable of high overcurrent withstand capability during times of failure or accident. In response to this demand, Fuji Electric has developed the “SVE135” sealed high-voltage contactor as a unit that adopts a unique contact structure that contributes to improving the safety of environmentally friendly vehicles. This unique contact structure makes it possible to cancel out most of the electromagnetic repulsive force generated at the time of short-circuit current flow without increasing the contact pressure of the contact. As a result, this compact and lightweight unit has achieved a high overcurrent withstand capability of 20kA, which is more than twice as high as the previous model.

1　引言

近年来为防止全球变暖，世界各国都在积极向低碳社会转变。在发电领域和配电领域，建设大规模太阳能发电设备等，利用可再生能源的直流配电系统不断普及。另外，在汽车领域，由于美国的 ZEV 政策和欧洲 CO_2 排放量规定，使用大容量电池的环保汽车预计将进一步加快普及[1]。在这样的背景下，开关控制设备领域，可安全控制高压直流的设备受到关注。

特别是汽车领域，要求提高充电效率、缩短充电时间的电池高压化趋势日益凸显，支持 DC400 V 以上高压的小型、安全性高的直流接触器的需求不断增长。

本文将对富士电机 2017 年 4 月发售的密封型高压接触器“SVE135”进行介绍。

2　开发背景和规格

车载用支持高压的直流接触器，与过去触头暴露在外面的开放型不同，将触头部分配置在密封容器内的密封型正成为主流。理由主要有以下三点。

(a)　通过将密封容器内部打造为适合分断的环境，可提高分断性能，实现产品的小型化。

(b)　可避免异物从外部侵入，因此，接触可靠性高。

(c)　分断时的电弧对外部造成的损伤少。

图 1 中展示了一般电动汽车（EV）的高压电路结构。搭载并连接了电动机、变频器、大容量电池的电路中，配备了适用于各种用途的密封型接触器。其中，图中③所示的快速充电用接触器，主要负责快速为电池充电用电路的开关和保护。

EV 普及所面临的最大课题之一就是怎样缩短充电时间和延长续航距离。现在，主流的锂离子二次电池内部电阻比其他二次电池小，能量密度高，因此适合高输出、大容量化，

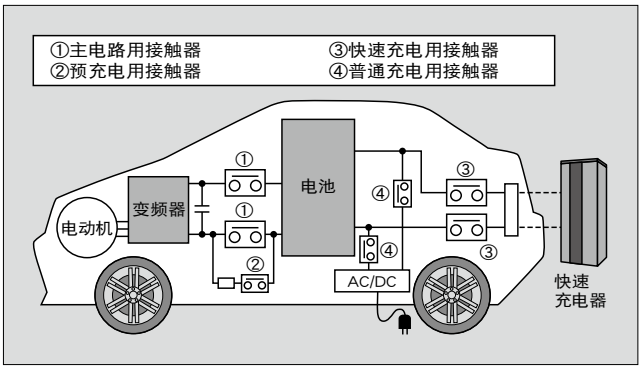

图 1　电动汽车的高压电路结构

各国都在推进相关研究[2]。但随着电池性能的提升，接触器所面临的问题就是预想事故情况下的耐过电流能力。

万一发生短路事故，在用于安全断开电路的保险丝熔断前，接触器必须能承受短路电路。但如果大电流流过接触器，接触器触头接触部分产生的电磁斥力会使 ON 状态无法维持，触头弹起，触头间产生电弧。产生的电弧导致温度上升，最终使得密封型接触器的密封容器内内压异常升高，有破裂、起火等损坏的可能性。

而决定了接触器可承受的最大电流和通电时间的就是耐过电流能力。电池越是高输出、大容量化，事故时流过的短路电流就越大，接触器所需要的耐过电流能力也会变大。

为满足这一要求，富士电机开发了具备耐高过电流的密封型高压接触器（HVC：High Voltage Contactor）“SVE135”（**图 2**）。**表 1** 中展示了代表性规格。

其主要特点如下所示。

(1)　凭借独创触头结构实现耐高过电流

(2)　凭借触头部分的密封结构实现小型化和高接触可靠性

(3)　主电路 ± 无极性化＋正反两方向实现相同分断性能

(4)　全方位皆可安装

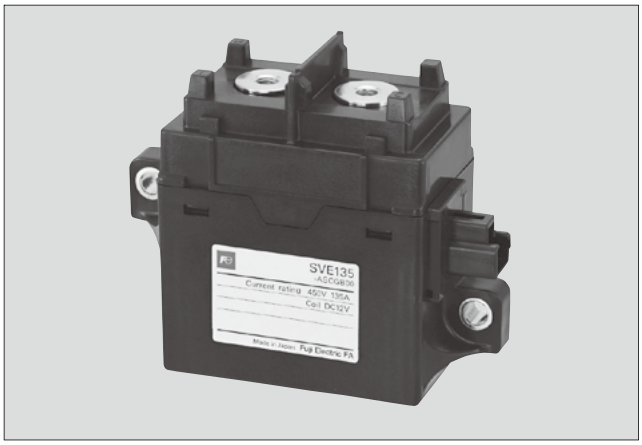

图 2　密封型高压接触器“SVE135”

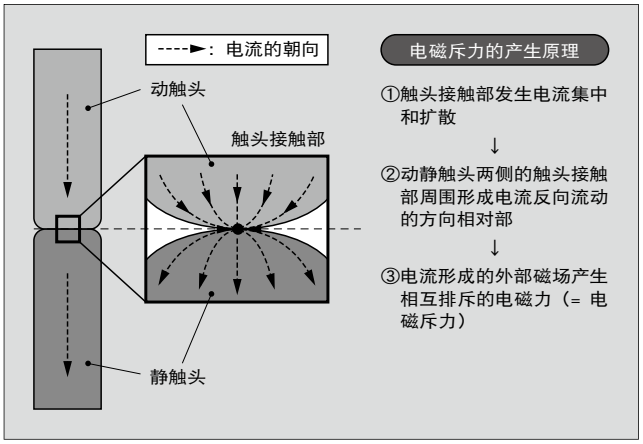

图 3　触头接触部电磁斥力的产生原理

表 1　“SVE135”的代表性规格

项目	规格
额定电压 / 电流	DC450 V/135 A
分断性能	DC450 V/400 A，50 次
耐过电流性能	20 kA 50 ms
主电路极性	无 （可双向分断）
误动作冲击	全方位 490 m/s^2 以上

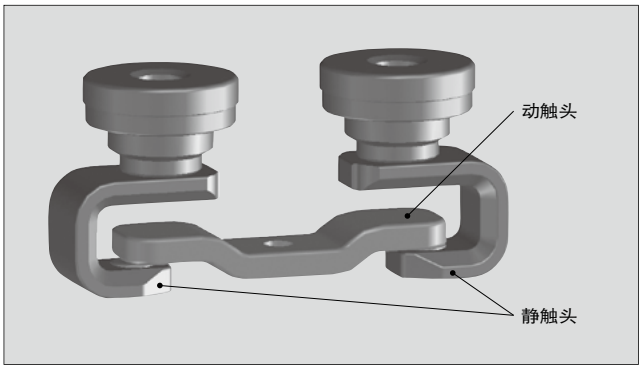

图 4　HVC 的触头部分结构

3　新开发产品的结构和特点

3.1　触头结构和耐过电流能力提升

一般来说，决定接触器耐过电流性能的参数是触头的接触压力。接触器在 ON 状态下，主电路有短路电流等大电流流过时，如**图 3** 所示，触头接触部会发生电流集中和扩散，动触头和静触头间会产生相互排斥的电磁力（电磁斥力）。这一电磁斥力与电流值的平方成正比，为防止触头因这一斥力弹起，必须使触头的接触压力超过斥力。但如果提高接触压力，就必须有可驱动它的较大的电磁铁吸引力，这会导致产品大型化以及电磁铁耗电量增加。

图 4 中展示了此次开发的 HVC 的触头部分结构。固定触头采用コ字形状，将动触头夹在中间，电流以相反的方向在动触头和静触头上流过，形成方向相对的平行导体部。

一般来说，当相同电流以相反方向从两个平行导体上流过，根据其距离 L 与电流 I，在两个触头相互排斥的方向上会发生公式 1 所呈现的电磁力 F。

$$F=\frac{\mu}{2\pi L}I^2 \quad \cdots\cdots(1)$$

F：单位长度发生的电磁力（N/m）
μ：磁导率
L：平行导体间的距离（m）
I：流过平行导体的电流（A）

利用这一原理，可在触头接触部发生的电磁斥力相反的方向上产生对动触头的压制力，即可产生平行导体部的电磁力（**图 5**）。根据公式 1，这一电磁力也与电流值的平方成正比。换言之，就是可以对因平行导体部的长度、距离等尺寸

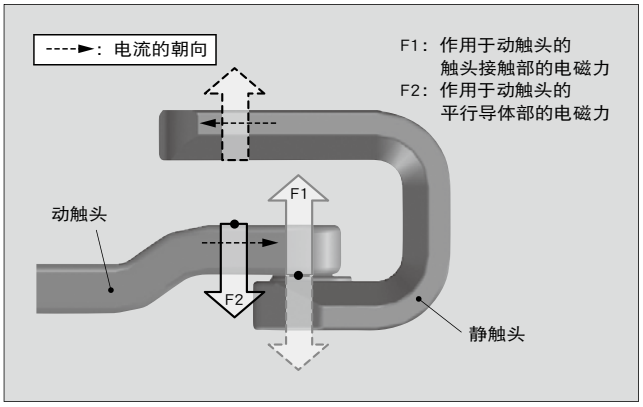

图 5　作用于动触头的力

的设计参数而产生的力进行控制，抵消掉触头接触部发生的大部分电磁斥力。

最终，想要提高耐过电流能力，无需像过去那样设定较大的接触压力，只需保证维持稳定的触头动作所必要的最低限度的接触压力，就能实现非常大的耐过电流性能。

图 6 中展示了将开发目标 20 kA/50 ms 的过电流通过主电路时的试验结果。20 kA 的电流流过这段时间里，接触器触头间电压稳定，确认到没有因触头弹起导致的电弧电压。

采用如**图 3** 所示的一般接触型触头结构时，受产品外形尺寸等限制，可设定的触头接触压力也有限。通过试算得知，如想仅通过设定接触压力来提高耐过电流，极限是 9 kA 左

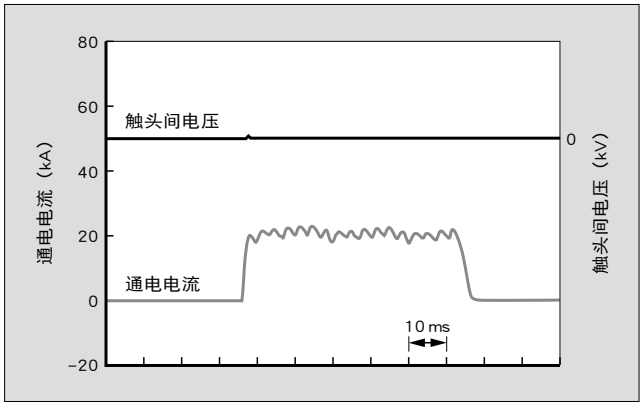

图 6　通 20 kA 电时的试验波形

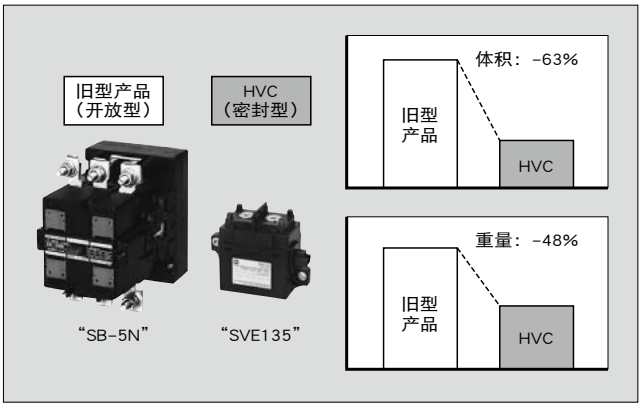

图 8　与 “SB 系列”（旧型产品）的比较

右。

此次开发的 HVC，具备 2 倍于这一数值的耐高过电流，今后即使电池性能提升、短路电流增大，也能提供更安全的接触器。

3．2　触头部分的密封结构和直流分断技术

一般的直流分断和交流分断的原理如**图 7** 所示。与电流零点周期性出现的交流不同，在不出现零点的直流分断中，必须通过将触头间产生的电弧电压提高到电源电压以上来强制创造零点，恢复触头间的绝缘。

提高电弧电压最常见的方法是拉伸电弧。过去的开放型直流接触器采用了磁力驱动方式。这种方式使用永久磁铁，通过将电弧拉伸到消弧区内来提高分断性能。但要提高电弧电压来进行数百 V 以上的高压分断，消弧区的大型化就无法避免。

因此，HVC 除了使用永久磁铁的磁力驱动方式，还在密封容器内配置了触头部分，并封入可提高分断性能的分断用气体，从而相比过去的开放型直流接触器，实现了大幅的小型化和轻量化。**图 8** 中展示了与旧型产品的比较。

EV 中的快速充电用电路，在 V2H（Vehicle to Home）中也会被用于由汽车向外部供电。此时，接触器中与通常快速充电时相反的方向上会有电流流过，而反向的分断性能也要求达到与正向相同的水准。因此，如**图 9** 所示，富士电机配置了永久磁铁和消弧区，以确保无论电流流向哪

	直流分断	交流分断
电流波形	(I) 无电流零点 0 (t)	(I) 电流零点 0 (t)
分断过程	①在触头间产生电弧，限制电流	①在触头间产生电弧，限制电流
	②将电弧电压提高到电源电压以上，创建零点	②按一定周期迎来零点
	③使触头间的电弧消失	③使触头间的电弧消失
	④维持触头间的绝缘	④维持触头间的绝缘

图 7　不同电流的分断原理

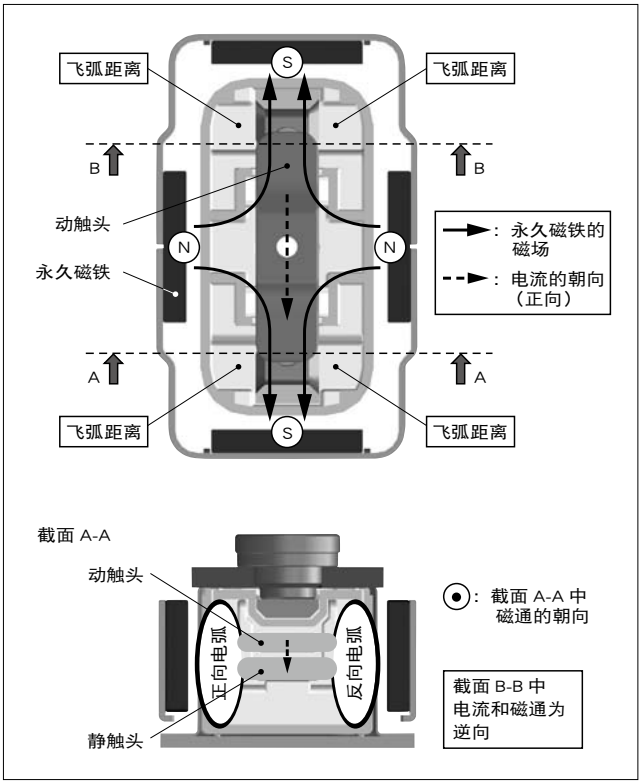

图 9　分断部结构和电弧驱动原理

个方向，电弧都能同样被拉伸，从而解决了这一问题。

图 10 中展示了 DC450 V/400 A 正向和反向分别连续分断 50 次时的分断时间变化，**图 11** 中展示了其代表性波形。从结果可以确认到，正向和反向都保持着非常稳定的分断性能。

并且，两个方向实现了相同的分断性能，因此，无需担心配线时搞错主电路的极性，提升了客户的作业性和装置的安全性。

3．3　高效率电磁铁的结构和误动作冲击性能

车载用接触器对耐冲击性能的要求要远高于产业用，需要设想来自所有方向的冲击，安装方向也是多样的。

从结构上来看，接触器对于外部向触头驱动轴方向造成的冲击不耐受，尤其是触头处于 OFF 状态时，误动作冲击性能最低。因此，一般会设定比其他方向更低的误动作冲击

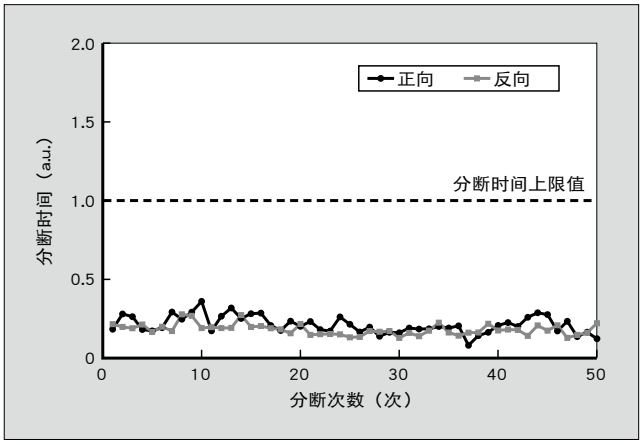

图 10　DC450 V/400 A 的分断时间变化

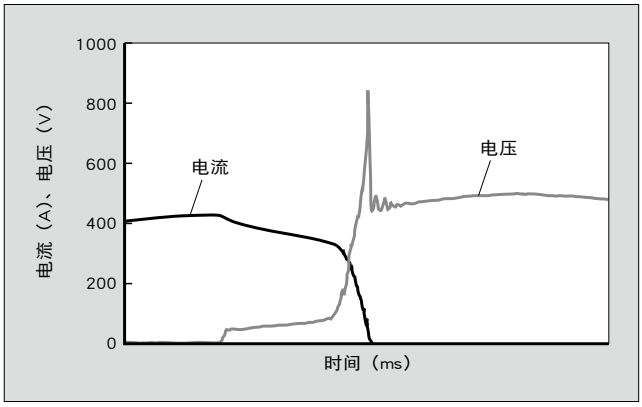

图 11　DC450 V/400 A 的分断波形

保证值，或限制安装方向。但这样，使用接触器的客户在设备的布局上就会面临诸多限制。

为消除安装方向的限制，富士电机开发了支持触头部分密封结构的高效直流电磁铁。**图 12** 中展示了此次开发的电磁铁的结构，**图 13** 中展示了它的磁路结构。这一结构采用单稳态有极电磁铁方式，在磁路内配置永久磁铁，使用永久磁铁的磁力，作为维持释放状态的辅助推力〈注〉。这是富士电机

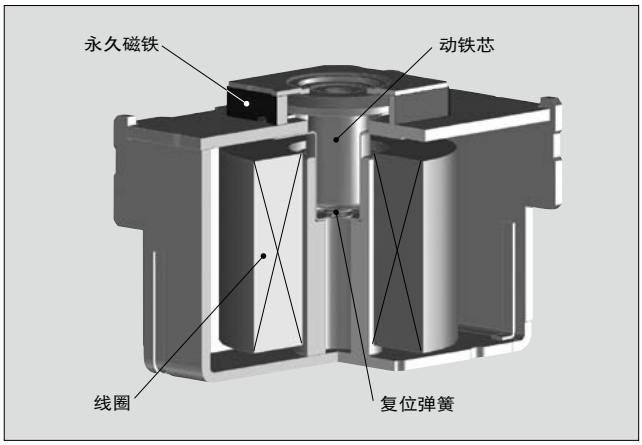

图 12　电磁铁的结构

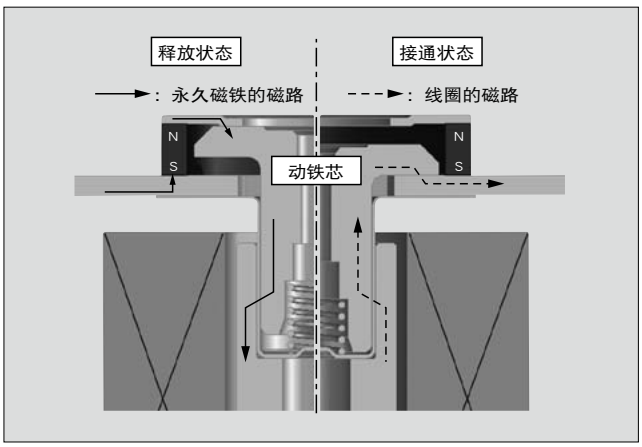

图 13　磁路构成

首次在 HVC 中采用这一方式。

如**图 13** 所示，电磁铁为释放状态时，复位弹簧的负载和永久磁铁的磁力作用于动铁芯。而对线圈施加电压、接通动铁芯时，这一永久磁铁会从磁路中断开，不会影响电磁铁的特性。

图 14 中展示了旧型产品和新开发产品的负载特性模式图。

旧型产品要提高接触器 OFF 时的误动作冲击性能，图中作为推力所示的复位弹簧负载就很重要。提高这一负载，OFF 时的误动作冲击性能就会提高，但同时，电磁铁应吸引的负载特性会整体变大。

而在新开发产品中，如**图 14** (b)所示，为了在释放状态下使用永久磁铁的磁力，可在增大释放方向推力的状态下，整体降低复位弹簧的负载。即在高效提升误动作冲击性能后，负载特性整体也可得到降低，因此，可缩小电磁铁。

由此，确认到针对开发目标 490 m/s^2 的冲击，所有方向都没有发生误动作。

通常，只要有 490 m/s^2 以上的误动作冲击性能，在接触器的布局中就无需限制安装方向，从而可增加客户布局设计的自由度。

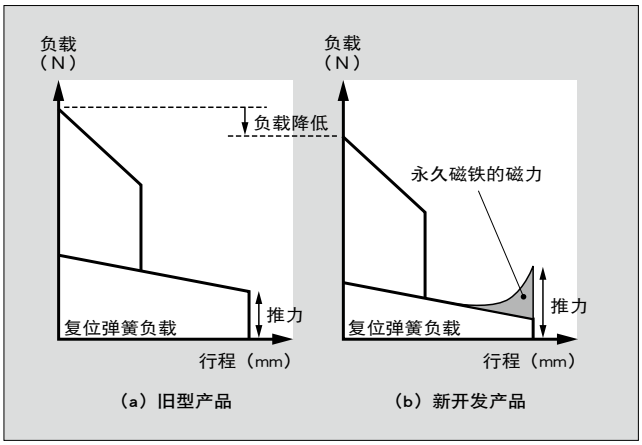

图 14　负载特性的模式图

〈注〉推力：为维持释放状态，将包含动触头在内的可动部推向释放方向的力

4 后记

本文对具备耐高过电流性能的密封型高压接触器“SVE135”进行了介绍。

今后，针对预计将快速普及扩大的 EV 用接触器，富士电机将提供支持进一步高压化的产品技术等，根据市场需求推进开发。

参考文献

⑴ 経済産業省. “EV・PHV ロードマップ検討会報告書 2016.3.23”. http：//www.meti.go.jp/press/2015/03/20160323002/20160323002-3.pdf,（参照 2017.08.18）.

⑵ 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）. “NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 2013.8”. http：//www.nedo.go.jp/content/100535728.pdf,（参照 2017.08.18）.

中　康弘

从事电动机起动器的开发设计。现为富士电机机器制御株式会社开发本部新一代开发项目部助理经理。

柴　雄二

从事电动机起动器的分断核心技术的开发。现就职于富士电机机器制御株式会社开发本部技术开发部。

櫻井　裕也

从事电动机起动器的开发设计。现现就职于富士电机机器制御株式会社开发本部新一代开发项目部。

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。