

ONE VISION. ZERO EMISSIONS. 一个愿景-零排放



■ 白皮书

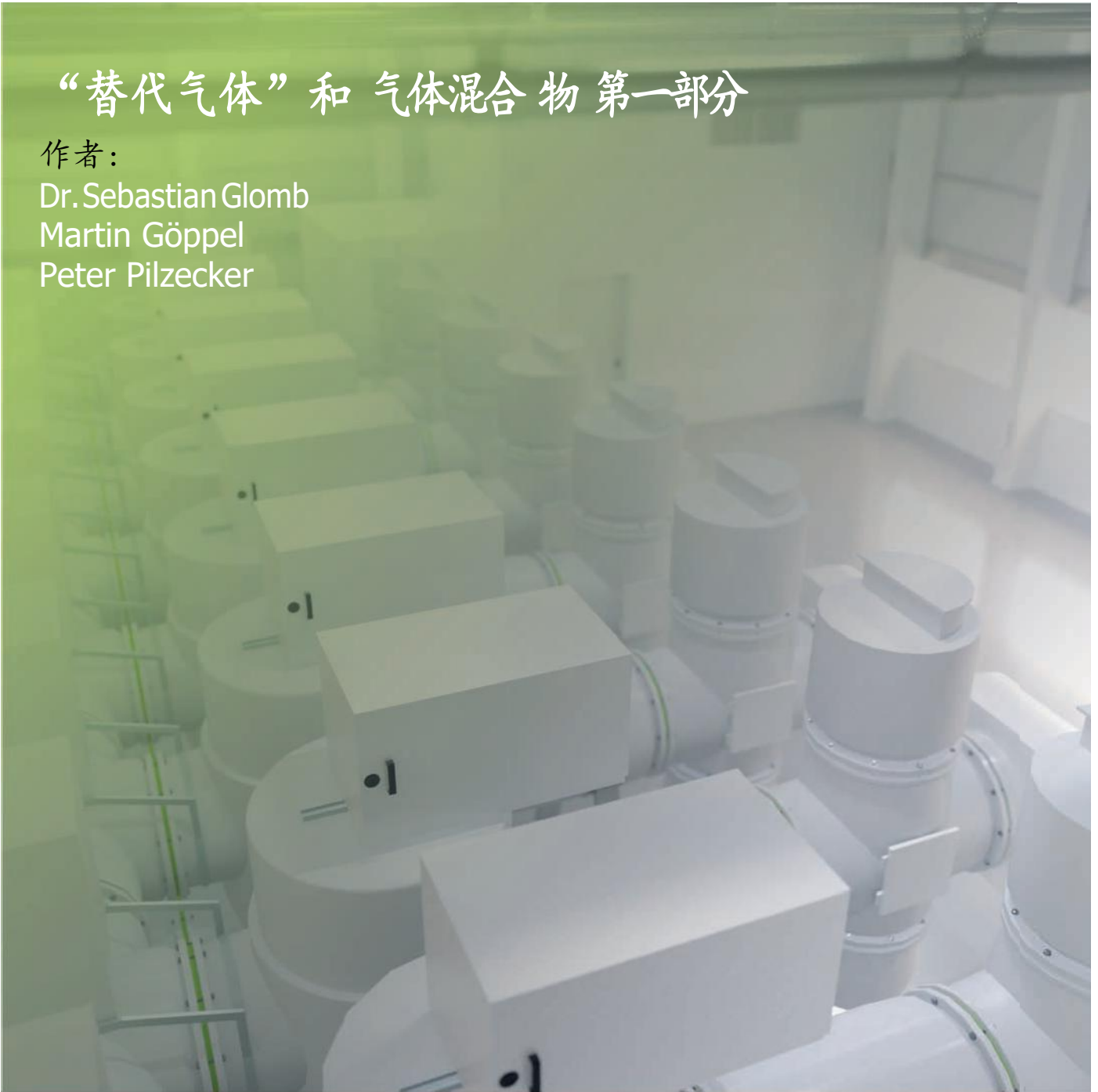
“替代气体”和气体混合物 第一部分

作者：

Dr. Sebastian Glomb

Martin Göppel

Peter Pilzecker



此文件由DILo中国代表处：珠海经济特区恒迪科技有限公司 www.dilo.com.cn 翻译，仅供参考，以英文内容为准。
0756-3366788, 3344448, 3344338.



■ 前言：

一些版本的规程对用户操作SF6绝缘设备带来一些不确定的问题，. 这些不确定性和不确定性使得六氟化硫需要改变，目前，混合的替代气体和可实施的替代气体处理技术状态。这里，您将得到一个关于在未来的规程里面关于混合的替代气体改变和原因。特别注意是关于气体混合物的混合和可用性。同时，处理、测量、制备和重加热理化、包括监管的要求。此外，提供了关于替代气体生命周期的见解，对比了现在广泛使用的SF6

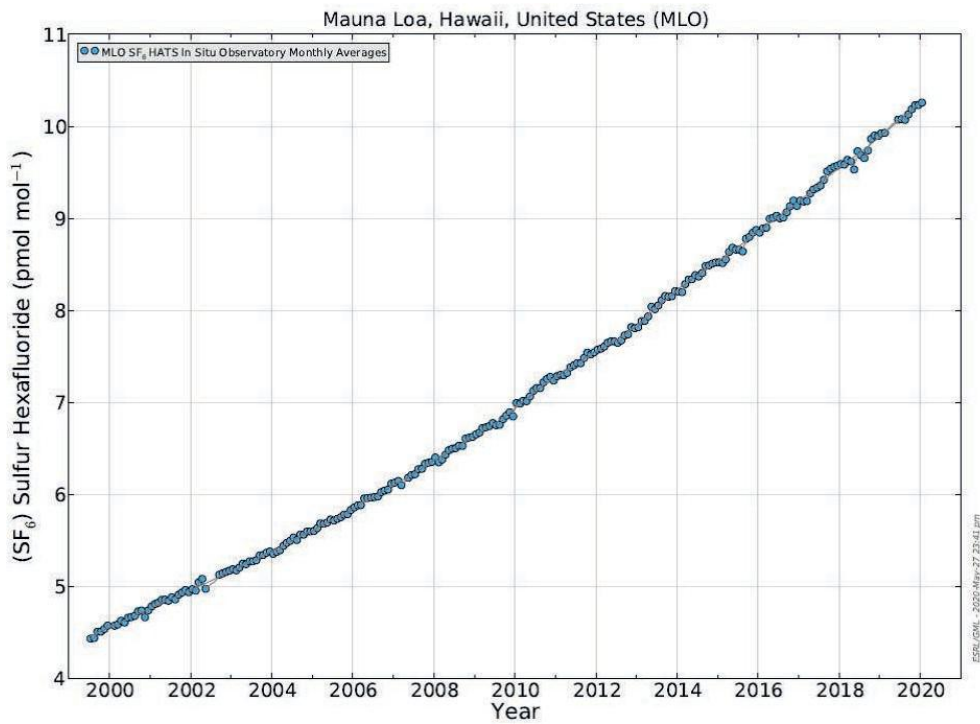


■ 1. 综述“替代气体”和气体混合物

尽管作出了种种努力，在六氟化硫气体使用的各种规程和禁令，（禁止使用在汽车轮胎、窗户和运动鞋、对SF6在开关设备处理中的强制认证等等...）全球大气中SF6气体的比例持续上升到了 $10 \cdot 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ (图表1).¹

尽管SF6的总量视乎在大气中比CO2 ($\sim 400 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) 含量低。但是SF6在100年全球变暖指数值 (GWP) 为CO2的22800倍和寿命为3200年。此意味着在100年内每排放一公斤SF6对环境的损害等于排放了22.8吨CO2。在德国，目前SF6排放量大概等于CO2排放量的0.5%。²

4



图表1: 美国夏威夷MAUNA LOA 测量站测量的SF6气体在大气中的比例 (27/05/2020).¹

由于它优良的绝缘和开关性能, 尽管自从2016年以来, SF₆气体排放有所减少。当今, 德国生产的电气工业和设备大部分仍然使用者SF₆气体 (> 75 %)。³

尽管近几年运营排放比例一直在下降, 但是大气中的SF₆比例一直在持续的增长。用在电气设备SF₆技术的排放率需要的优化, 更进一步减少这一点, 只有通过使用最新一代替技术替换现有的单元或者系统。当替换现有的单元或者系统时, 重点应该放在通过制备或者理化和再用的SF₆电气工业设备的持续使用, 因为主要的设备仍然在使用SF₆。气体, 在替代 SF₆ 领域的研究已经取得重大成果。将所有电压等级的电气设备改换充入替代气体, 此技术是不可避免的趋势。

这些导则主要针对目前欧洲和北美地区的技术执行状况。重点是“合成空气”气体混合和合成 (“清洁空气”, “干燥空气”)和带有绝缘气体 2,3,3,3-四氟-2-(三氟甲基)-丙丙剂, 以商业命名为 3M™ Novec™ 4710 (以后文章简称为, “C4”)和1,1,1,3,4,4,4-七氟甲烷烃类-3-(三氟甲基)butan-2-one, 以商业命名为3M™ Novec™ 5110 (“C5”, 图 2)。所有的替代气体和混合气体将被称为, “替代气体”。

与 SF₆ 气体处理相比较, SF₆ 通常作为一个单一的成分使用和处理。只有很少地方作为混合气 (带有 N₂ 或者 CF₄), 替代气体由2种或更多的单个气体成分组成, 一起形成绝缘混合气体。关于替代气体和混合气体对比SF₆的理论背景和物理化学特性及绝缘及灭弧的特性 已经在已知的相关文献中进行了详细的讨论。⁵⁻⁸ CIGRE国际电网协会工作组已经明确推荐无SF₆使用及中高压开关使用混合气体。⁹

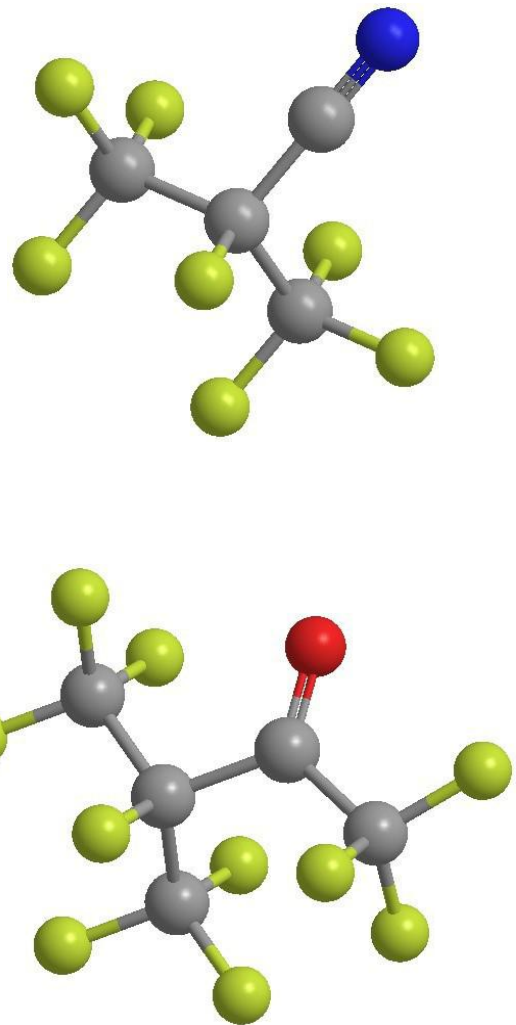


图2: C4 (上) 和C5 (下) 的化学结构图
灰色: 碳原子,
橄榄色: 氟原子, 蓝色: 氮原子, 红色: 氧原子。

不同气体或者带有不同的比率的单一成分的混合物被应用在各种高压技术中:

Novec™ 是 3M™ 公司注册商标的特殊的化学物和气体。C4 2,3,3,3-四氟-2-(三氟甲基)-丙丙剂和C5 1,1,1,3,4,4,4-七氟甲烷类-3-(三氟甲基)butan-2-one, 5110 化学合成 自从 1960s for C5和 1970s for C4.^{10,11} 已经被大家了解,然而,两种气体只有 3M™ 目前被在欧盟化学品数据库注册作为一个在欧洲授权的销售商¹²。C4和C5气体与SF6使用相反,由于它混合带有另外载体气体如CO2或者N2,在大气压下有较高的沸点(图表 1)。在这种情况下,载体气体在成分中的混合气体中以百分比形式出现。氧气(O₂)通常被为附件的组件在电弧或者开关操作时减少烟尘产品的产生。除了在载体

气体外,单一成分的浓度通常在0 - 15 %之间。g³ 是通用电气GE构成的解决方案,并包括带有C4混合气体, AirPlus 是ABB公司产品并包括了C5作为绝缘气体。依照应用的需求,不同的混合率被应用在两个案例中。大约 20 % 的氧气(O₂)和 80 % 氮气(N₂)作为合成空气,被作为主要应用在带有真空开关技术高达 145KV的开关中被西门子Siemens应用。¹³ 它只能在温度低于 -183 °C 时液化,并且需要在室温下储存在一个同质高压大于(> 200 bar)下同质储存(表一 1)。由于它部分毒性,其它气体气体作为替代品,如三氟甲烷(CF₃I)¹⁴或者hy或者氢氟烯烃

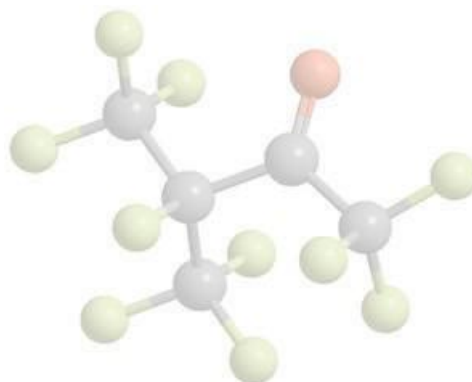
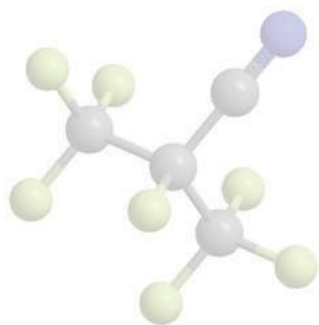
(C₃H₂F₄), 目前不在是行业的广泛焦点,然而它处理是基于 C4/C5或者合成空气,类似混合。

表 1: 替代气体总览及和SF₆的比较。

	Sulphur hexafluoride SF ₆	2,3,3,3-tetrafluoro-(trifluoromethyl)-propannitrile C4	2- 1,1,1,3,4,4,4-heptafluoro-3-(trifluoromethyl)butan-2-one C5	Synthetic Air/CleanAir/DryAir
商标	SF ₆	3M™ Novec™ 4710	3M™ Novec™ 5110	
化学式	SF ₆	C ₄ F ₇ N	C ₅ F ₁₀ O	O ₂ /N ₂
CAS 号码	2551-62-4	42532-60-5	756-12-7	7782-44-7; 7727-37-9
沸点	-63.8 °C	-4.7 °C	+26.9 °C	-183 °C; -196 °C
大气中驻留时间	3200 年	30 年	0.04年	-
温室效应	22800	2100	< 1	0
Properties of the gas mixtures				
常见的商业名称		g ³ (GE) ^a	AirPlus (ABB)	CleanAir (Siemens)
使用的混合气	Pure SF ₆	C4: < 10 % w带 CO ₂	C5: < 15 % in Synth. Air	~ 20 % O ₂ in N ₂
	SF ₆ with N ₂ or CF ₄	C4: < 10% 带O ₂ /CO ₂	C5: < 15 % in O ₂ /CO ₂	
最低的操作温度	纯 SF ₆ : < -30 °C	依照精确的混合度:		< -50 °C
	SF ₆ with N ₂ /CF ₄ : < -50 °C	-30 °C - -5 °C		
温室效应		< 760	< 1	0

^{a)} g³ 普通混合物 C4摩尔分数 ≤ 6,3 % (GWP: ≤ 500).

尽管现在仍然在现有的充气的输变电设备没有禁止使用SF6气体, 但是具体的替代方案已经出现. 在一些项目中, 不同的方法已经在实践中得到实施. 但是对所有的应用领域解决方案的实施还没有形成. 下一个导则文献将着重于不同方法去生产混合的替代气体.



■ 文献列表:

(1) Global Monitoring Laboratory [Online], 27.05.2020. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/>.

(2) Umweltbundesamt. Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [Online], 14.01.2020. www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1

(3) Statistisches Bundesamt.

(4) ZVEI. Szenario zur Reduktion der SF₆-Betriebsemissionen von elektrischen Betriebsmitteln durch den Einsatz alternativer Isoliergase, März 2020.

(5) Ang Xiao; John G. Owens; Jason Bonk; Agnes Zhang. Environmentally Friendly Insulating Gases as SF₆ Alternatives for Power Utilities. 2nd International Conference on Electrical Materials and Power Equipment.

(6) Philipp Simka; N. Ranjan. Dielectric Strength of C5 Perfluoroketone. The 19th International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen, Tschechien, 23 – 28 August, 2015.

8 (7) P.C. Stoller, C.B. Doiron, D. Tehlar, P. Simka, N. Ranjan. Mixtures of CO₂ and C5F₁₀O Perfluoroketone for High Voltage Applications 2016.

(8) Kieuel, Y.; Biquez, F.; Vigouroux, D.; Ponchon, P.; Schlernitzauer, A.; Magous, R.; Cros, G.; Owens, J. G. Characteristics of g3 – an alternative to SF₆. CIGRE - Open Access Proceedings Journal 2017, 54–57.

(9) Cigré WG B3.45 „Application of non SF₆ gases or gas mixtures in medium voltage and high voltage GIS“.

(10) Frank S. Fawcett, Ronald D. Smith. Novel Polyfluoro-Substituted Ketones And Their Preparation From Polyfluoro Acid Fluorides.

(11) Bryce C. Oxenrider, Florham Park, Cyril Woolf, Robert A. Dear, N. J. Morristown, Wilhelmus M. Beylevend. Process For Preparing Fluoroperhaloalkyl Nitriles.

(12) [Online], 25.02.2020. <https://echa.europa.eu/de/registration-dossier/-/registered-dossier/6026>.

(13) Siemens [Online], 09.03.2020. <https://new.siemens.com/global/de/produkte/energie/hochspannung/produkte-stromuebertragung/gasisolierte-schaltanlagen.html>.

(14) Chen, L.; Widger, P.; Kamarudin, M. S.; Griffiths, H.; Haddad, A. CF₃I Gas Mixtures: Breakdown Characteristics and Potential for Electrical Insulation. IEEE Trans. Power Delivery 2017, 32, 1089–1097.

ONE VISION. ZERO EMISSIONS. 一个愿景-零排放



QUALITY. MADE IN GERMANY.

此文件由DILO中国代表处：珠海经济特区恒迪科技有限公司 www.dilo.com.cn 翻译, 仅供参考, 以英文内容为准。0756-3366788, 3344448

DILO
Armaturen und Anlagen GmbH
Frundsbergstrasse 36
D-87727 Babenhausen

+49(0)8333302-302
+49(0)8333302-302
info@dilo-gmbh.com

www.dilo.com
f in y o

© Copyright DILO