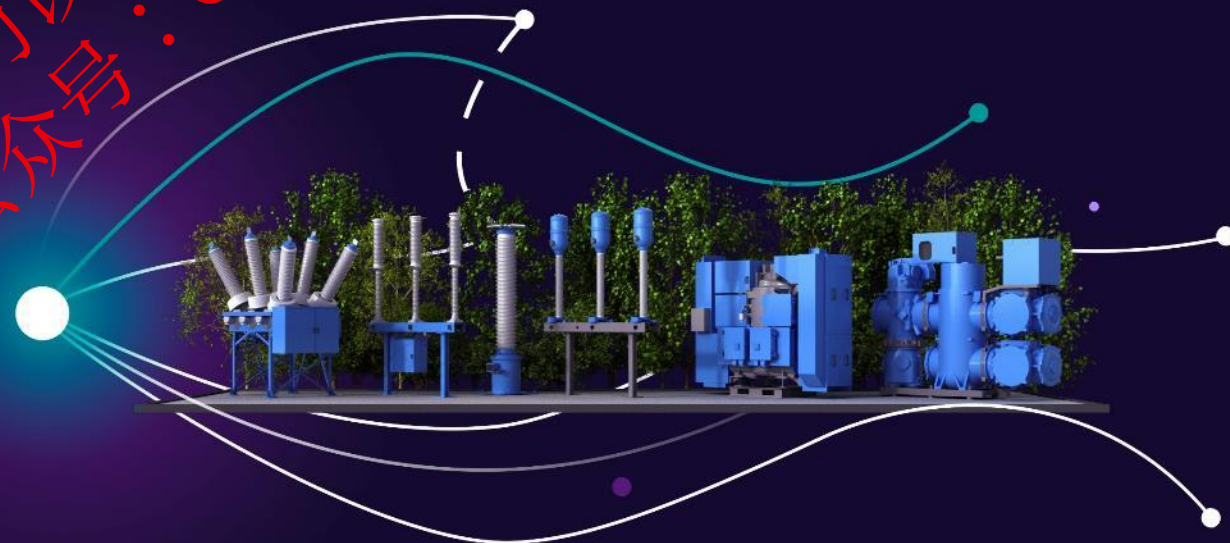


环保气体绝缘高压开关设备的发展

上海西门子高压开关有限公司

沈威

CPEM全国电力设备管理网
微信公众号：CPEM



高压开关技术的发展

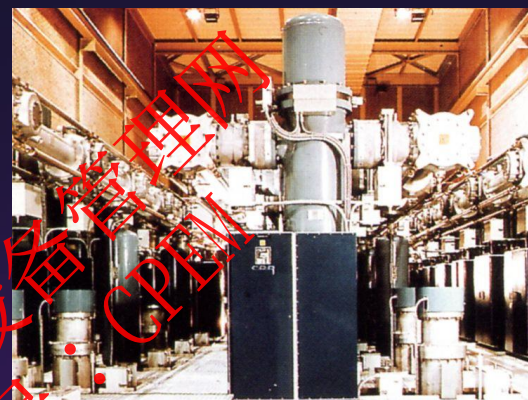
SIEMENS
ENERGY



1910

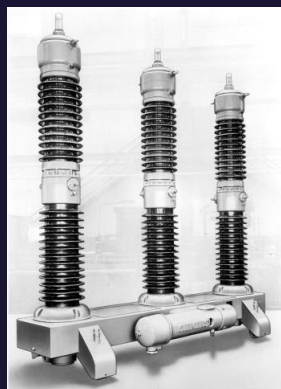


1960



1966

1941



1964



1968



持续增长的对无SF6开关产品的需求



- 1997年《京都议定书》
- 2015年世界189个国家签署的《巴黎协定》，各个国家同意将人为全球变暖控制在2摄氏度以内。
- SF₆ 是温室气体，其全球变暖潜能值相当于CO₂ 的25200倍(2021年IPCC第六次评估报告，2007年第四次评估报告为22800，2014年第五次评估报告为23500)。
- **自2019年全球碳排放量创下368亿吨的历史新高以来，电力企业加快脱碳减排的压力越来越大！**
- **中国政府2030碳达峰2060碳中和**

部分电网公司规定使用GWP < 1的设备 宣布停止购买并将替代SF₆ 淘汰SF₆和含氟气体的法规发布&讨论中

德国，英国 德国电网公司TenneT和TransnetBW规定使用GWP < 1的无SF₆设备。
英国国家电网计划2026年停止采购SF₆，并在2050年前将SF₆ 的存量设备替换为无SF₆设备。

加利福尼亚 加州空气资源委员会已经颁布了逐步禁止使用SF₆的法规

电压 (kV)
38 < kV > 145
145 < kV > 245
> 245

短路电流 (kA)

淘汰日期

< 63	2025年1月1日
>63	2028年1月1日
< 63	2027年1月1日
> 63	2031年1月1日
All	2033年1月1日

EU 欧盟含氟气体法规修订：
禁止使用GWP>10的含氟气体

电压 (kV)
< 24
24 < kV > 52
52 < kV > 145
> 145

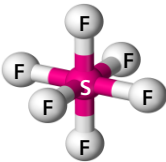
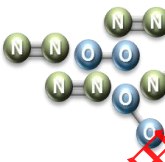
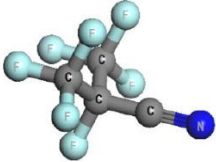
短路电流 (kA)

起始日期

All	2026年1月1日
All	2030年1月1日
< 50	2028年1月1日
> 50	2031年1月1日

SF6气体替代技术

-- SF6及其主要替代气体的性能比较

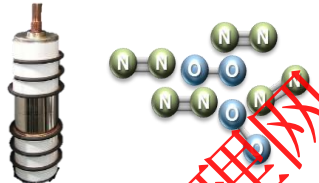
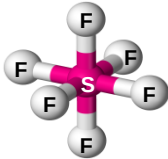
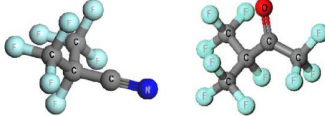
西门子方案				
 SF6  洁净空气  C4-全氟腈  C5-全氟酮				
高纯气体	化学分子式	SF ₆	N ₂ + O ₂ (80% / 20%)	(CF ₃) ₂ CFCN
	温室效应 (GWP)	25.200	0	2.750
	沸点(摄氏度)	-64°	< -183°	-5°
	绝缘强度	1*	0,43	2,2
混合气体	运载气体	无, N ₂ or CF ₄		~ 95% CO ₂
	温室效应 (GWP)	< 23/580	/	~ 327...462
	沸点(摄氏度)	< -64°		~ -25°
	绝缘强度 (同等气压下)	1*	0,43	0,75 ²
灭弧效果	分解物	氢氟酸, 氧化硫, 硫化物	故障时: 臭氧和氮氧化合物	C4-全氟腈: HF, CO, COF ₂ , CF ₃ CN, C ₂ F ₅ CN, C ₂ F ₆ C5-全氟酮: HF, CF ₄ , C ₂ F ₆ , C ₅ F ₁₀ O, C ₃ F ₈ , C ₄ F ₁₀ , C ₃ HF ₇ , C ₄ F ₈ , C ₄ F ₆ , C ₃ F ₆ , C ₂ F ₃ N, C ₂ N ₂

* 相对绝缘强度, SF₆ (=1)

² 气压 0,67MPa...0,77MPa, 来源: Y. Kieffel, et al. „SF6 Alternative Development for High Voltage Switchgears,” in Cigré Session, 2014.

³ 气压 0,45 MPa 来源: J. Mantilla, et al „Investigation of the Insulation Performance of a New Gas Mixture with Extremely Low GWP,” in Electrical Insulation Conference, USA, 2014.

开断和绝缘技术的对比汇总

		 真空 + 洁净空气	 SF ₆	 含氟混合气体
健康，安全&环境	气体处理	++	○	-
	分解产物（正常电弧气体）	++	-	-
	毒性	++	○	-
	GWP（全球变暖潜能值）	++	-	○
运行性能	开断短路电流	++	+	○
	开合额定电流	++	+	○
	开断介质老化	++	○	-
	长期稳定性	++	++	不确定
	气密性	+	+	-
维护	维护	++	○	-
汇报要求/法规	现有和未来可能	++	-	-

++ 优异性能

+

高性能

○ 平均性能

- 低于平均值

越来越多的国家和地区要求禁止使用PFAS*，其中包括含氟气体

- 2020年开始，5个欧盟国家（丹麦、瑞典、挪威、德国、荷兰）启动一系列活动，旨在欧盟范围内禁止使用PFAS *（全氟及多氟烷基物质）

PERSISTENT POLLUTANTS

World's first ban on products with PFAS adopted in Maine

Law allows exemptions for health and safety when alternatives aren't available

by **Cheryl Hogue**

July 19, 2021

State of Michigan to avoid buying products containing PFAS

Michigan Radio | By **Lester Graham**

Published October 28, 2021 at 4:20 PM EDT



- PFAS*: 超过4,700种化学物质会在人体和环境中不断积聚，并将长久存在且具有毒性

西门子能源拥有长达40多年的真空和空气绝缘技术的经验

1970

第一套使用空气绝缘的高压GIS

型号: BISEP GIS
170 kV/ 50 kA 采用压气
断路器和空气绝缘
运行经验: 88个间隔



1976

第一套中压真空断路器

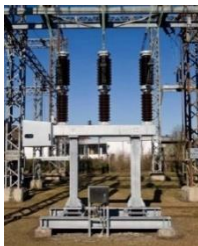
运行经验:
> 600万支



2010

第一套高压真空断路器

型号: 3AV1FG 72.5 kV/
31.5 kA, 采用真空灭弧室
运行经验: 6台



2017

第一套72.5kV洁净空气GIS

型号: 8VM1 72.5 kV/ 31.5
kA, 采用真空断路器和洁
净空气绝缘
运行经验 >200个间隔



2017

第一套145kV高压真空断路器

型号: 3AV1FG 145 kV/
40 kA, 采用真空断路器和
洁净空气绝缘
运行经验: >160台



2018

第一套145kV洁净空气GIS

型号: 8VN1 145 kV / 40
kA, 采用真空断路器和洁
净空气绝缘
运行经验: >50个间隔



3AV1 Blue 柱式断路器 (额定电压 145 kV)



产品特性

- 真空开断技术
- 洁净空气绝缘
- SF6或其他氟化温室气体的重量=0 kg
- 全球变暖潜能值GWP = 0
- 产品预期寿命 > 50 年, 首次关键状态检查 > 25 年
- 气室气体年泄漏率 (型式试验) < 0.1%

技术特点

- 采用储能弹簧操作机构
- 额定电压达 145kV, 额定频率 50/60Hz
- 额定电流达 3150 A, 额定短路开断电流达 40 kA
- 工作温度范围 -60°C 到 +55°C
- 抗震性能(型式试验)达 0.5 g, 出线端高抗拉性能 (2 kN 静态 / 5 kN 动态)
- 两周波电流开断

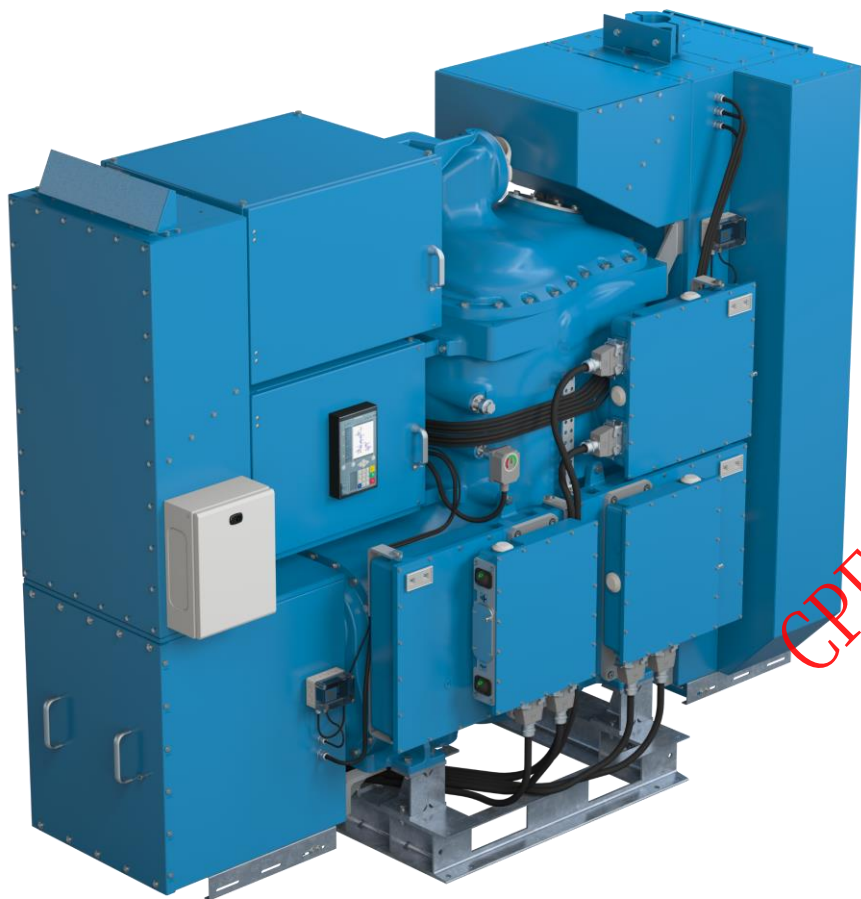
类型 / 可选

- 三相联动 (FG)
- 复合套管
- 也可依据IEEE Std. C37.016 满足60 Hz 开关设备要求

型式试验

- 依据对应的 IEC 国际标准

8VM1 风机专用Blue GIS (额定电压 72.5 kV)



产品特性

- 真空开断技术
- 洁净空气绝缘
- SF6或其他氟化温室气体的重量=0 kg
- 全球变暖潜能值GWP=0
- 产品预期寿命 > 50 年
- 首次关键状态检查 > 25 年
- 气室气体年泄漏率 (型式试验) < 0.1%

技术特点

- 额定电压达 72.5 kV
- 额定频率 50/60 Hz
- 额定短路开断电流达 25 kA
- 工作温度范围 -30 °C 到 +45 °C
- 断路器采用储能弹簧操作机构
- 抗震性能(型式试验)达 0.5 g

类型

- 户内安装

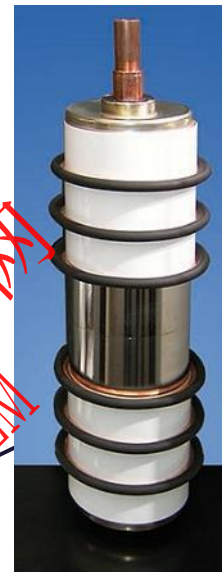
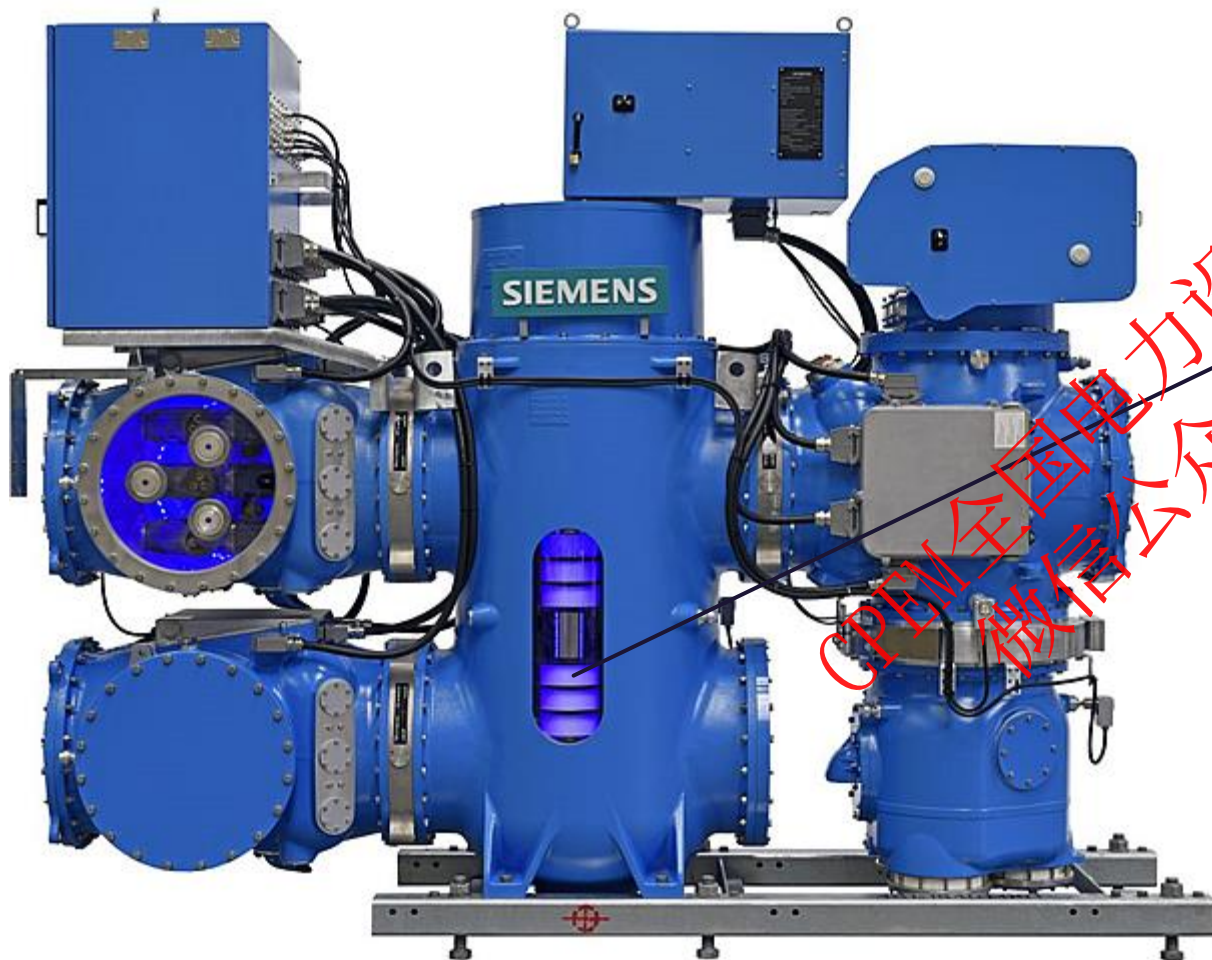
完整的型式试验

- 依据对应的 IEC / IEEE 国际标准

145 kV Blue GIS™解决方案

SIEMENS
ENERGY

洁净空气替代SF₆
开合采用单断口真空断路器



技术特点

- 额定短路开断电流高达40 kA
- 使用环境温度-50 °C至+55 °C
- 抗震等级（型式试验）1.0 g
- 气室年泄露率（型式试验）< 0.1%
- 户内 & 户外安装
- 可配置最新的Sensgear™技术

优化样式

- 可选用低功率电子式互感器（LPIT）减少间隔尺寸和重量

订单超过1900套无氟开关设备 > 700套已投入运行

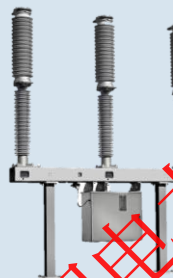
Blue瓷柱式断路器™ 72.5 kV

- 世界首套72.5kV瓷柱式断路器，采用真空灭弧室，洁净空气绝缘
- 6台在运行
- 2010年开始运行



Blue瓷柱式断路器™ 145 kV

- 世界首套145kV瓷柱式断路器，采用真空灭弧室，洁净空气绝缘
- 合同台数：> 190
- 投运台数：> 160
- 2018年开始运行



风机用Blue GIS™ 72.5 kV

- 72.5kV开关设备，专用于风力发电机，采用真空灭弧室，洁净空气绝缘
- 合同台数：> 1200
- 投运台数：> 200
- 2018年开始运行



Blue GIS™ 145 kV

- 世界首套145kV GIS，采用真空灭弧室，洁净空气绝缘
- 使用LPIT*节省占地面积
- 合同台数：> 380
- 投运台数：> 50
- 2020年开始运行



Blue罐式断路器™ 145 kV

- 世界首套145kV罐式断路器，采用真空灭弧室，洁净空气绝缘
- 与SF₆设备占地面积相同
- 合同台数：27
- 运行年份：6台预计2022



Blue洁净空气管道母线™ 420 kV

- Blue解决方案至145kV
- 245 - 400 kV = 采用GIS + Blue GIB (30 - 65%少量SF₆的混合方案)
- 订单数量：> 5000 m
- 运行年份：预计2022



Blue电压互感器™ 至420 kV

- 世界首套420kV电压互感器，采用洁净空气绝缘
- 与SF₆设备占地面积相同
- 低压侧可集成电流互感器等装置
- 合同台数：> 400
- 运行台数：> 240



Blue站用电压互感器™至420 kV

- 世界首套420kV站用电压互感器，采用洁净空气绝缘
- 输出功率至167 kVA / 相
- 与SF₆设备占地面积相同
- 合同台数：> 20
- 运行台数：> 10
- 2021年开始运行



* 低功率（电子式）互感器

十二家开关设备制造商和两家互感器制造商发表联合声明 发展无氟输配电设备



Dr. Karina Rigby
President Critical
Systems Division
Electrical Sector EMEA
Eaton



Soo Hwang
President & CEO
ILJIN Electric Co.,
Ltd



Nobuaki Tanaka
Director & Senior
Managing
Executive Officer
MEIDENSHA
CORPORATION



Masanori Osumi
General Manager,
Switchgear department
T & D Systems Center
Mitsubishi Electric
Corporation



John Paserba
Vice President
Power Systems
Group
Mitsubishi Electric
Power Products,
Inc.



Dr. Fabian Lemke
Co-founder & CEO
Nuventura GmbH



Meitao Chang
Senior Vice
President – Medium
Voltage LoB
Schneider Electric



Stephan May
CEO of Distribution
Systems at Siemens
Smart
Infrastructure
Siemens AG



Dr. Ulf Katschinski
Senior Vice President
Transmission Switching
Products & Systems
Siemens Energy Global
GmbH & Co. KG



Koji Saito
Vice President, Director
Grid Aggregation Div.
Toshiba Energy Systems &
Solutions Corporation



TRENCH

Dr. Bahadır Basdere
President Trench Group



PFIFFNER

Current and voltage – our passion

Dr. Jürgen Bernauer
Group CEO Piffner International

西门子能源、平高集团和西安交通大学发表联合倡议书 发展无氟环保电力装备



推动电力能源装备绿色低碳发展的倡议书

国际社会广泛关注环境和气候问题，开展了广泛的全球性合作和努力。1997年，84个国家签署了《京都议定书》，共同应对全球气候变暖；2016年，中国在《巴黎协定》中再次做出承诺；2020年，习近平总书记提出了“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的战略目标。2021年，习近平总书记提出构建以新能源为主体的新型电力系统，明确了其在实现“双碳”目标中的基础地位，为能源电力发展指明了科学方向、提供了根本依据。

实现碳达峰、碳中和，能源是主战场，电力是主力军。因此需要快速推进能源生产、能源装备、能源消费等全产业链绿色低碳转型升级。目前国家在大力发展风电、太阳能发电等非化石能源，以能源供给侧改革促进能源生产领域降碳减排；同时也在积极推广以电为核心的终端用能形式，以终端能源消费电气化推动能源消费节能提效。而针对能源装备领域的降碳减排仍需要引起全社会进一步的关注，为此平高集团有限公司、西门子能源有限公司、西安交通大学联合倡议：

一、加速电力装备向绿色、低碳、环保转型。以“双碳”目标、碳交易机制为契机，逐步推动电力装备向绿色低碳无氟化转型升级，显著降低自身碳排放水平。倡议推动126千伏及以下电压等级无氟环保电力装备大规模商业化应用；加



强行业协作，共同加快更高电压等级无氟环保电力装备的研制；倡议发电、电网等企业针对环保电力设备：制定特定采购规范，牵头促进环保设备的商业化应用、推动六氟化硫等高GWP气体从电力设备中逐步被替代和最终退出。

二、推进绿色制造工艺。加快电力装备生产向绿色制造转变，培育绿色低碳新型制造系统，推动制造工艺的节能改造和降碳。

三、推动环保电力装备技术标准的设立。环保电力装备相对传统产品，技术发生巨大变革，需要制订统一的技术标准。装备制造行业要联合电力行业共同促进环保电力装备的共性技术标准形成，推动环保电力装备技术的规范化和标准化，加快环保电力装备的推广和应用。

实现“双碳”目标是广泛而深刻的经济社会系统性变革，是构建人类命运共同体的伟大实践，是保障国家能源安全、服务人民美好生活的重要举措。我们共同倡议广大社会各界加快绿色低碳发展、优化资源配置、提高能源利用效率，培养绿色低碳生产生活方式，为实现“碳达峰、碳中和”目标贡献力量。



关键信息

- 客户信息: Netze BW GmbH, 德国
- Noerdlingen 145 kV变电站的现代化改造
- 产品运行不再使用SF₆或其他温室气体
- 订单年份: 2017



案例分享: 世界首套采用洁净空气绝缘的无SF₆高压开关设备

柱式断路器

- 安装一台无SF₆的3AV1 Blue断路器, 电压等级145 kV
- 真空灭弧室技术
- 洁净空气绝缘技术



互感器

- 6台SVAA电压和电流互感, 采用洁净空气绝缘



案例分享: 中国第一套采用洁净空气绝缘 无SF₆的145kV瓷柱式断路器

关键信息

- 客户: 国家电网 河南济源电力公司
- 济源翔云变电站
- 瓷柱式断路器运行不再使用SF₆或其他温室气体
- 订单年份: 2021年, 已投运



柱式断路器

- 安装一台无SF₆的3AV1 Blue断路器, 电压等级126 kV
- 真空灭弧技术
- 洁净空气绝缘技术





8VM1 风机专用 Blue GIS™

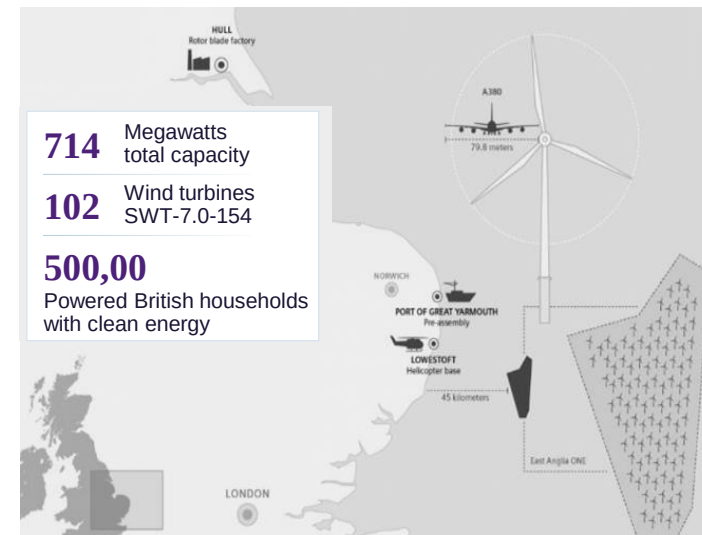
至72.5kV

- 运行业绩超200套
- 订单超1200台

案例分享: East Anglia One海上风电场

气体绝缘开关设备

- 客户: 西门子歌美飒可再生能源
Scottish Power Renewables
- 英国东海岸海上风电场
- GIS运行不再使用SF6或其他温室气体
- 订单年份: 2018
- 2020: 102套风机全部安装完成



案例分享: 中国首套Blue GIS for 用于上海电气8MW风力发电机

关键信息

- 客户: 上海电气
- 一台上海电气8MW风机与电网的连接
- GIS需使用66 kV
- 订单年份: 2020年
- 2021年7月投运

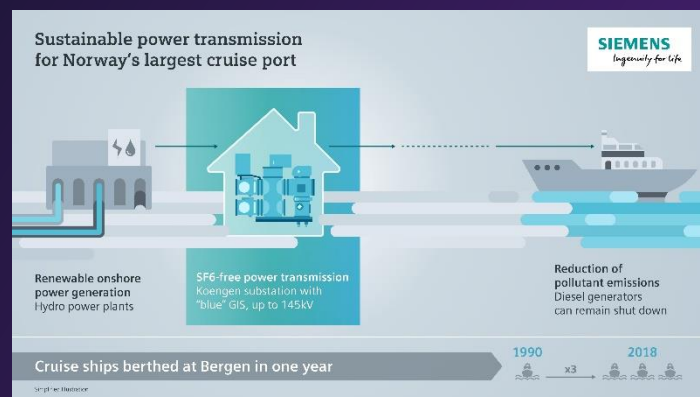
气体绝缘开关设备

- 安装1个间隔无SF₆ 8VM1-Blue GIS[®], 电压等级72.5 kV
- 真空灭弧室技术
- 洁净空气绝缘技术



关键信息

- 客户: BKK Net, 挪威
- Bergen 145kV Koengen变电站的现代化改造
- GIS运行不再使用SF₆或其他温室气体
- 订单年份: 2018
- 2020年4月已投运



案例分享: 世界首套无SF₆气体绝缘组合电器 采用洁净空气绝缘和真空灭弧技术

气体绝缘开关设备

- 安装3个间隔8VN1 Blue GIS®, 电压等级145 kV
- 真空灭弧室技术
- 洁净空气绝缘技术



低功率互感器

- GIS配用低功率(电子式)互感器 (LPIT), 设计更紧凑

案例分享: 国内第一个采用洁净空气绝缘无SF6的145kV GIS项目

关键信息

- 客户：国网江苏省电力有限公司
- 无锡清舒变电站
- 运行不再使用SF₆或其他温室气体
- 订单年份：2021年
- 投运时间：2022年1月18日

气体绝缘开关设备

- 安装2个间隔无SF₆ 8VN1-Blue GIS®，电压等级145 kV
- 真空灭弧室技术
- 洁净空气绝缘技术



零碳变电站

- 洁净空气GIS
- 天然酯变压器

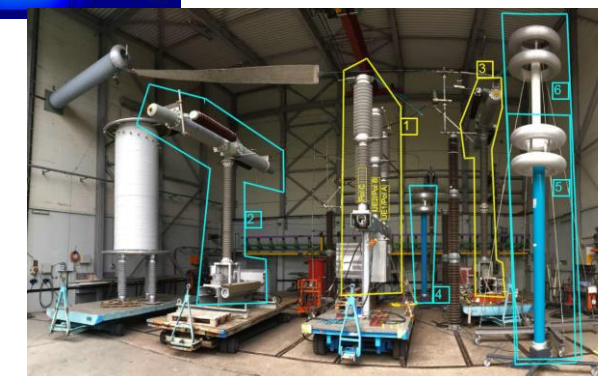
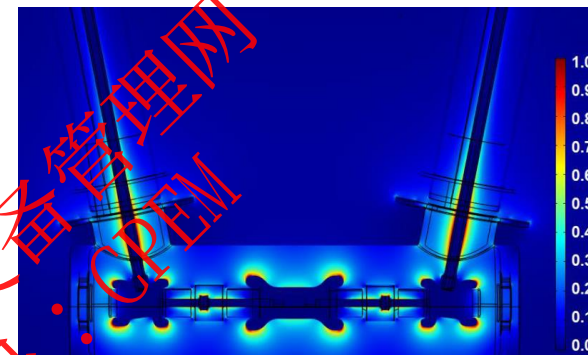
开关类产品向更高电压等级发展



**单断口
真空灭弧室**
170 kV, 50 kV 和
245 kV, 63 kA



170 kV GIS
50 kA / 4000 A



**双断口
真空灭弧室**
瓷柱式断路器至550 kV / 63 kA

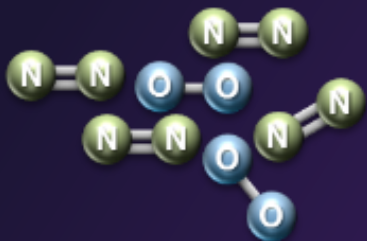
2030年可提供全系列无氟气候中和的Blue产品



● 已有产品

- a) 电流互感器 / 集成式互感器
- b) 气体绝缘母线(GIB)
- c) 其余部件 (GIS)
- d) 断路器

所有日期和里程碑均按产品发布日期



洁净空气 & 真空灭弧技术助力打造无碳电网

总结

- 1 环保气体绝缘开关设备加速工业化
- 2 无氟技术受到越来越多的欢迎
- 3 社会期待GWP<10
- 4 洁净空气+真空灭弧技术满足所有用户需求

感谢您的倾听！
让我们携手共建无碳电网

SIEMENS
ENERGY

沈威

上海西门子高压开关有限公司

shen.wei@siemens-energy.com

Blue 高压产品

[siemens-energy.com](https://www.siemens-energy.com)

更多信息请关注公众号

