

阻绝酸性气体腐蚀、海洋盐雾与井下结垢：恒氟隆™高性能含氟聚合物涂层在上游、中游及水下工程中的应用

应用范畴：钻井工具、水下采油树、海洋紧固件螺栓、阀门及长输管线 | 业务部门：恒氟隆能源与油气材料工程事业部 |
发布日期：2026年9月

在高温高压（HPHT）深水油气田、富含高浓度硫化氢（H₂S）与二氧化碳（CO₂）的酸性地层，以及高盐度海洋飞溅区中，金属设备的抗腐蚀耐磨耐候性直接决定油气开采项目的净效益。恒氟隆™特种高性能含氟聚合物涂层（PTFE、PFA、FEP、ETFE）在碳钢、不锈钢及钛合金基底上构筑致密、连续无微孔的抗渗物理屏障。有效阻隔电位差双金属电化学腐蚀、彻底杜绝螺纹高温咬死（Galling）、长效抑制石蜡与沥青质在流道内壁析出粘附，显著减少高成本的井下修井作业（Workover）与计划外停产维护工时。

1. 油气开采严苛工况：酸性气体腐蚀、介质渗透与管线结垢机制

钻具总成、水下采油树（Subsea Christmas Tree）、化学剂注入系统与油气长输管线常年运行于极端腐蚀介质中。湿性酸气环境中的硫化氢（H₂S）、二氧化碳（CO₂）、游离氯离子与高矿化度地层水极易诱发金属材料的点蚀、应力腐蚀开裂（SCC）及硫化物应力腐蚀破裂（SSC）。深水环境中异种金属法兰配合面的电偶腐蚀，更会成倍加速承载构件的晶界破坏。

与此同时，重质原油流经低温海底管道时，石蜡结晶析出并与沥青质、无机硫酸盐垢体交织沉积于内壁与阀座密封面，使有效过流截面不断收窄，迫使采油厂频繁进行管道通球（Pigging）刮削或注入高成本芳烃溶剂。传统金属电镀层（镀锌、镀镉）在海洋浪溅区快速消耗殆尽，极易引起螺栓咬死无法拆卸。恒氟隆™经高温烧结固化的耐蚀氟树脂涂层具备疏水疏油双重特性，全方位杜绝酸性介质微观渗透，有效抑制有机结垢附着。

全面符合 NACE MR0175 / ISO 15156 酸性油气田标准：恒氟隆™ PFA、PTFE 与 ETFE 涂层系统对硫化氢、碳酸、有机酸及挥发性芳烃溶剂展现完全的化学惰性。涂层作为分子级致密渗透屏障，隔绝酸性气体扩散并接触低合金基体金属，彻底杜绝硫化物应力腐蚀开裂（SSC）与氢脆（HE）造成的灾难性断裂事故。

2. 恒氟隆™在油气工业领域的核心材料工程优势

致密不渗透耐酸气防腐屏障： 对高浓度 H ₂ S、CO ₂ 、酸化压裂液（盐酸/氢氟酸）及高盐地层水具有优异耐受性，彻底隔绝基体金属腐蚀。	高温高压（HPHT）工况热稳定性： 连续操作耐温高达 260 °C (500 °F)，经严格测试具备优异的抗快速气体减压（RGD）起泡及防爆减压剥离能力。
杜绝螺纹咬死与恒定锁紧扭矩： 极低动摩擦系数（0.05 – 0.10）实现精准的扭矩—预紧力转换，确保海洋高强度紧固件在数服役后依然能轻松拆装。	抑制石蜡、沥青质与硬垢沉积： 超低表面自由能阻绝石蜡结晶、沥青质絮凝物及硫酸钡水垢在流道内部附着，长效保障管输流量与排量稳定。

3. 恒氟隆™油气工业专用氟聚合物选型指南

树脂系列	最高连续耐温	抗渗透防护性能	核心物理与化学工程机制	关键油气设备与典型应用部件
恒氟隆™ PTFE	260 °C (500 °F)	良好	摩擦系数极低、干膜固体自润滑、防咬死、适用温区宽广	B7/L7 双头螺栓螺母、海洋紧固件、球阀密封阀座、气缸活塞
恒氟隆™ PFA	260 °C (500 °F)	极佳	热熔致密无微孔涂层、强酸与酸气零渗透、耐应力开裂	水下采油树控制阀、井下安全阀（DHSV）、化学药剂加注管线
恒氟隆™ FEP	205 °C (401 °F)	优秀	平整光滑无孔熔融表面、极佳的重质原油防粘防蜡析出特性	原油集输管线、节流截止阀芯、取样气瓶、测井仪器外壳、复合管衬里
恒氟隆™ ETFE	155 °C (311 °F)	优秀	机械抗冲击韧性最高、耐划伤撕裂、耐泥浆颗粒磨损冲刷	钻杆外壁耐磨防护、螺杆泥浆马达壳体、泥浆泵叶轮、立管导向夹具

4. 关键油气工业子系统工程应用剖析

- 海洋平台与水下高强度螺栓 (ASTM A193 B7/B7M 双头螺栓与重型螺母) : 海洋高盐雾与异种金属法兰接触极易造成螺纹严重电化学腐蚀锈死, 维修时不得不使用氧乙炔气割切除。恒氟隆™ PTFE 螺栓涂层耐受 ASTM B117 连续中性盐雾测试超 3,000 小时, 提供恒定的上紧力矩, 历经数年海水浸泡仍可使用标准手动扳手无损拆卸。
- 井下钻井与完井测量工具 (MWD/LWD 仪器壳体、DHSV 阀体及封隔器) : 地底高压高温与磨蚀性钻井泥浆极易冲蚀未受保护的精密仪器外壳。恒氟隆™ ETFE 与 PFA 涂层有效保护传感器组件, 防止高粘度泥饼积聚包裹, 并确保井下机械滑套机构在低摩擦阻力下灵敏动作。
- 控制阀门、节流阀与执行机构 (球阀、闸阀、旋塞阀及蝶阀阀芯) : 高压含砂天然气及原油流体冲蚀金属密封面, 导致启闭扭矩骤升并发生泄漏。球阀、闸板及旋塞衬覆恒氟隆™ PFA 或 PTFE 涂层, 可消除扭矩峰值、确保零气泡 (Bubble-tight) 级密封, 并防止酸性介质侵蚀阀体母材。
- 原油生产流线与集油歧管 (抑制石蜡、沥青质沉积与天然气水合物堵塞) : 深海低温环境极易诱发管道内壁石蜡结晶沉积与天然气水合物生成。恒氟隆™ FEP 与 PFA 内衬具备极低表面张力与疏水疏油特性, 阻断结晶蜡在管壁成核锚固, 维持全管段输送通量稳定。
- 钻井平台结构件与立管导向夹具 (浪溅区长效重防腐) : 潮差浪溅区处于高溶解氧海水拍击与紫外线直射的双重严酷工况。恒氟隆™ 多层复合涂装系统提供可靠的阴极电绝缘与化学耐蚀屏障, 杜绝锈斑扩散与应力腐蚀破裂, 大幅延长大修周期。
- 化学药剂注入管线与水下液压控制脐带管: 高压注加的高浓度甲醇、乙二醇、阻垢剂及杀菌剂对普通高分子材质具备很强侵蚀性。连续挤出及内衬的恒氟隆™ PFA 与 ETFE 管道具备通用化学兼容性, 彻底根绝内衬溶胀穿孔与介质渗透泄漏。

5. 质量检验规范、防腐标准与工程技术问答

恒氟隆™ 油气防腐涂层严格依照高压电火花探伤检漏 (ASTM G62)、连续盐雾测试 (ASTM B117)、十字划格附着力测试 (ASTM D3359) 及模拟酸性气体高压釜浸渍测试等规范执行出厂质检。

问: 海洋紧固件使用恒氟隆™ 涂层相比传统热浸镀锌或镀铬有何显著优势?

答: 金属电镀层在海洋环境中作为牺牲阳极会迅速消耗殆尽, 数月内便会产生红锈并造成螺纹冷焊咬死。恒氟隆™ 涂层属于纯物理屏蔽层, 耐盐雾超 3,000 小时, 彻底阻断电偶腐蚀, 浸泡服役数年后依然保持平稳的拆卸扭矩。

问: 恒氟隆™ 涂层是否能够承受高压气井中的快速气体减压 (RGD) 冲击?

答: 可以。热熔融加工型恒氟隆™ PFA 与 ETFE 树脂具备极高的分子聚集态致密度与断裂延伸率, 配合专用耐温高结合力底漆, 能有效抵御高压气体瞬间泄压时产生的起泡、微观裂纹及爆破性剥离缺陷。

问: 恒氟隆™ 涂层是否可以直接涂装于双相不锈钢、Inconel 等耐蚀合金表面?

答: 可以。通过严格的溶剂除油与白刚玉微喷砂形成均匀的锚固粗糙度 Ra, 搭配专属特种底漆, 恒氟隆™ 能够牢固附着在 Inconel 625/718、Duplex 2205、Super Duplex 2507 及钛合金工件表面。

恒氟隆™ 先进材料 — 能源与油气表面工程技术研发中心
提供 NACE MR0175 标准合规咨询、紧固件盐雾试验数据报告及阀门管道样品打样测试
技术邮箱: oilgas@everflon.com | 官方网址: www.everflon.com/oil-and-gas