

PART 07

硅橡胶 VMQ 技术体系



橡胶技术知识图谱

TECHNICAL SYSTEM OF SILICONE RUBBER (VMQ)

目录 CONTENTS

01 VMQ概述与化学基础

- VMQ在现代橡胶工业中的地位
- VMQ与普通橡胶的根本区别
- 硅氧键的稳定性与化学结构

02 VMQ核心性能与分类

- VMQ耐高低温的原因
- VMQ核心性能与主要缺点
- VMQ主要分类 (VMQ, FVMQ, LSR)

03 VMQ配方、工艺与硫化

- LSR高速增长的原因
- VMQ硫化体系 (过氧化物 vs. 加成型)
- VMQ补强体系与加工工艺

04 VMQ应用领域与前沿技术

- VMQ最重要应用领域
- 导热硅胶体系
- VMQ与其他橡胶对比及前沿技术

05 总结与未来展望

- VMQ知识图谱关联节点
- VMQ在橡胶工业中的真正定位

01

VMQ概述与化学基础

CHAPTER 01

VMQ在现代橡胶工业中的地位

硅橡胶 (VMQ) 是现代工业中最核心的**高低温稳定弹性材料**之一，以优异的耐温性与洁净度著称。

“极端温度与高洁净弹性体系核心材料”

INDUSTRIAL POSITIONING



食品级密封 | 厨具、水杯密封圈



半导体制造 | 高洁净工艺设备密封



医疗器械 | 导管、呼吸面罩



新能源汽车 | 电池密封、高压系统



婴童用品 | 安抚奶嘴、儿童餐具



电气绝缘 | 高压电缆附件、接头



VMQ为什么与普通橡胶完全不同？



传统橡胶 · 碳链结构

- **分子结构：**主链由碳原子连接构成 (-C-C-C-), 是典型的有机碳氢化合物链。
- **常见代表：**NR (天然橡胶), SBR (丁苯橡胶), NBR (丁腈橡胶) 等绝大多数通用橡胶。
- **核心局限：**受温度影响较大, 高温下分子链易断裂老化, 低温下分子链活动受阻, 易变硬、发脆, 失去弹性。



硅橡胶 (VMQ) · 硅氧链结构

- **分子结构：**主链由硅原子与氧原子交替连接构成 (-Si-O-Si-O-), 属于半无机高分子聚合物。
- **结构优势：**Si-O 键键能极高, 且键长较长, 赋予了分子链极大的柔性和热稳定性。
- **卓越性能：**优异的耐高低温性 (可在 -60°C 至 250°C 保持性能), 极佳的化学稳定性、耐候性和电绝缘性能, 不易老化。

硅氧键为什么极其稳定？

核心原因：Si-O 键能非常高

键能： $E_{\text{Si-O}} > 450 \text{ kJ/mol}$ | 对比：远高于 C-C 键（约 347 kJ/mol）



超强耐热性

高键能使其在高温下不易断裂，具备极佳的热稳定性。



超强耐寒性

独特的硅氧链柔顺性，使其在低温下依然保持优异的弹性。



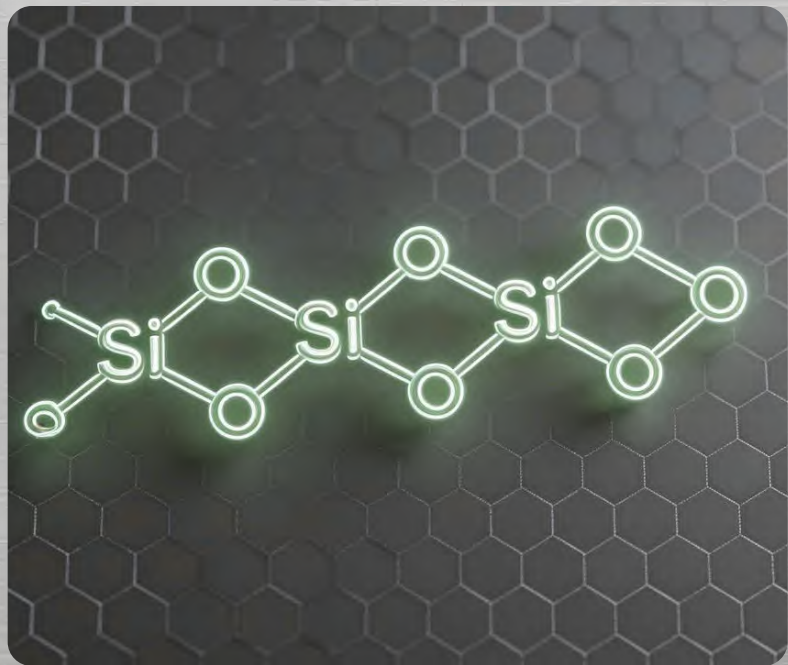
超强抗氧化性

对臭氧、紫外线及各类环境老化因子拥有优异的抵抗力。



超强耐候性

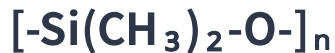
长期暴露在复杂的户外环境中，性能变化极小。



VMQ的基础化学结构

最常见的硅橡胶是**聚二甲基硅氧烷 (PDMS)**，其独特的分子结构决定了它区别于其他弹性体的核心特性。

化学重复单元结构



硅氧主链 (-Si-O-)

键能高，化学键旋转势垒低，赋予材料优异的耐高低温稳定性与宽广的使用温度范围。



甲基侧链 (-CH₃)

非极性基团，在分子表面形成疏水屏障，提供出色的疏水性、耐候性和低表面能特性。

这种“无机主链、有机侧链”的独特杂化结构，是VMQ兼具无机物稳定性与有机物加工性的根本原因。



典型 PDMS 产品：道康宁 SYLGARD 184 硅橡胶

02



VMQ核心性能与分类

CORE PERFORMANCE & CLASSIFICATION

VMQ为什么耐高低温极强？



原因1：Si-O链柔顺

分子链可自由旋转

硅氧链非常灵活，即使在低温下也能保持分子链的运动能力，因此材料不易变硬、发脆。

💡 结果：低温仍保持优异弹性，避免在寒冷环境下失效。



原因2：键能极高

高温下不易断裂

牢固的Si-O键需要很高的能量才能破坏，这赋予了材料极强的化学稳定性，因此在高温下不易分解或老化。

🔥 结果：热稳定性极强，可承受极高的工作温度，耐高温性能优异。

VMQ核心性能



超宽温度范围

典型范围： -60°C ~ 250°C

特种性能： 可耐受低至 -100°C 的极寒与高达 300°C 的瞬时高温。



优异的生理惰性

材料特点： 无毒、无味、无刺激性，化学性质极其稳定。

关键应用： 食品接触密封、植入性医疗器械及人体接触件。



极强的电绝缘性

技术优势： 在宽温域、高频率和潮湿环境下均能保持稳定的优异绝缘性能。

主要场景： 高压电气设备绝缘、精密电子元件封装与保护。



耐臭氧与耐候性极强

抗老化能力： 对臭氧侵蚀、紫外线辐射及自然气候老化具有卓越的抵抗能力。

适用产品： 长期户外暴露使用的密封件、绝缘子、汽车橡胶配件等。

VMQ主要缺点



强度较低

表现：纯胶的拉伸强度和撕裂强度不高，在受到外力作用时，表面容易被撕裂或划伤，机械强度表现较弱。

改进：可通过配方改性，添加白炭黑等补强剂来显著改善其物理强度。



耐磨较差

表现：材料表面硬度较低，抗摩擦磨损能力显著弱于丁腈橡胶(NBR)、氯丁橡胶(CR)等碳链橡胶。

限制：通常不建议直接用于高摩擦、高磨耗的动态密封或传动场景。



耐油一般

表现：普通VMQ在油类介质，特别是汽油、柴油等燃油和芳香烃环境中，容易发生溶胀和性能下降。

改进：可选用氟硅橡胶(FVMQ)，在保留VMQ特性的同时大幅提升耐油性。

VMQ主要分类



01 普通硅橡胶 (VMQ)

特点：作为最常见的基础类型，它具备了硅橡胶（VMQ）家族典型的优异性能，如耐高低温、电气绝缘性好、耐候性强，且物理机械性能均衡，适用于大多数一般性工业场景。



02 氟硅橡胶 (FVMQ)

特点：通过在分子侧链引入氟基，显著改善了VMQ不耐油的短板，拥有极佳的耐油、耐溶剂和耐航空/汽车燃油性能。

应用：高端航空航天密封件、汽车燃油管路及密封系统、石油化工设备。



03 液体硅橡胶 (LSR)

特点：独特的双组分液态体系，流动性极佳，可在高温下快速硫化，完美适配自动化精密注射成型工艺，制品精度高且物理性能稳定。

应用：植入性医疗器械、高端婴童安抚用品、电子/通讯设备精密防水密封件。

03

VMQ配方、工艺与硫化

FORMULATION, PROCESS & VULCANIZATION

LSR液体硅胶为什么高速增长？

LSR（液体硅橡胶）属于**双组分液态体系**，其在工业生产中能够实现爆发式的高速增长，主要得益于以下四大核心优势：



自动化程度高

适合全自动计量、混合、注射成型，大幅提升生产效率。



洁净度高

生产过程无粉尘产生，完美适配医疗、食品等高洁净要求的应用领域。



精密度高

流动性优异，能够成型复杂、微型、精密的部件，且产品公差极小。



适合高速注射

硫化交联速度快，成型周期短，能够充分满足大批量生产需求。



VMQ硫化体系



01. 过氧化物硫化

特点：传统的成熟硫化工艺，以有机过氧化物作为交联硫化剂，应用历史悠久，工艺配套成熟。

局限性：硫化反应过程中易产生低分子挥发物副产物，通常会带有轻微刺激性气味，且洁净度有限，难以满足高洁净度、气味敏感型的应用场景。



02. 加成型硫化（铂金催化）

特点：目前高端硅橡胶制品的主流工艺，引入贵金属铂金(Pt)作为高效催化剂，通过硅氢加成反应实现高分子链的交联。

核心优势：反应过程理论上**无副产物生成**，制品纯净度极高、气味极低，可轻松满足食品接触级(FDA)、医药医疗级以及高精度电子器件等严苛的洁净度要求。

加成型硅胶为什么高端？

核心：铂金催化 (Pt Catalyst)

无副产物

反应过程只形成稳定的硅碳键，不产生任何小分子挥发物，避免材料收缩。

气味极低

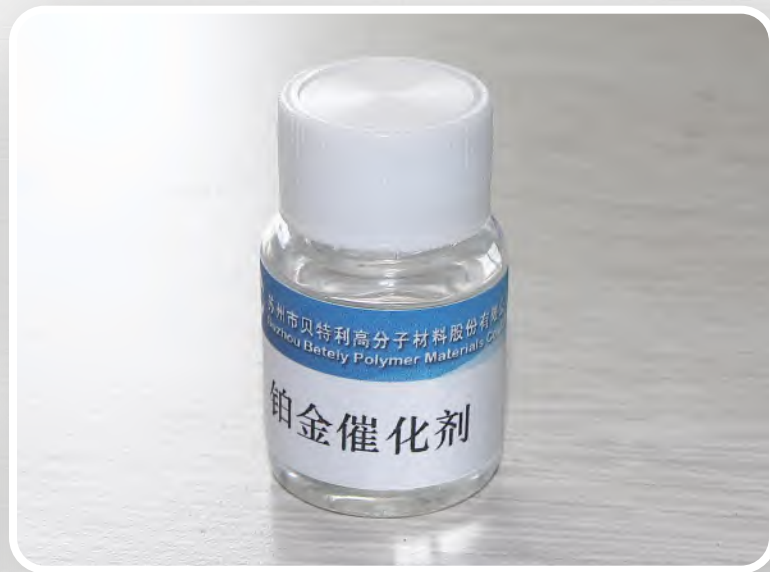
产品成分纯净，硫化后无残留异味，完全符合高洁净度和环保使用要求。

高等级合规

可通过FDA食品接触标准及ISO医用植入级认证，是医疗及母婴用品首选。

深层均匀固化

解决了缩合型固化受限于厚度的问题，可实现厚制品的从表及里均匀硫化。



VMQ补强体系



核心补强：白炭黑 (二氧化硅)

纯硅橡胶本身强度极低，不具备实用价值。白炭黑是硅橡胶(VMQ)加工过程中最关键的补强剂，决定了最终产品的物理性能上限。



提高拉伸强度：显著增强分子间的交联结构，提升材料抗拉伸断裂能力。



提高撕裂强度：构建物理屏障，分散应力集中，大幅改善材料的耐撕裂性能。



改善硬度与耐磨：优化橡胶网络密度，兼顾弹性与刚性，延长产品使用寿命。

VMQ加工工艺

常见工艺



模压 Molding

传统工艺，适用性广，能制造各种形状复杂的橡胶产品。



挤出 Extrusion

连续成型工艺，主要用于生产密封条、胶管等具有恒定截面的型材。



注射 Injection

自动化程度与生产效率高，特别适合大批量、高精度的硅胶件制造。



LSR 注射

专为液体硅橡胶(LSR)设计的精密成型工艺，卫生级别极高。

关键步骤：二次硫化 (Post Cure)

硅胶制品在初次硫化（成型）后，通常还需经过200-250°C的二次高温烘烤处理，这是提升产品最终性能的关键工序。



去除挥发物

排出低分子环体，显著减少气味并降低压缩永久变形。



提升稳定性

进一步提升产品的耐热老化、耐候性及机械性能稳定性。



确保安全性

消除潜在有害物质，满足食品级(FDA)及医疗级生物相容性要求。

VMQ关键性能指标



01 拉伸强度

5 ~ 12 MPa

衡量橡胶抵抗拉伸破坏的能力，是基础力学性能指标。



02 伸长率

200% ~ 800%

衡量橡胶在断裂前能被拉伸的程度，反映其柔韧性。



03 压缩永久变形

高温密封的核心指标，反映橡胶在持续压缩下保持弹性的能力。**数值越低，密封性能越好。**

04

VMQ应用领域与前沿技术

APPLICATION & ADVANCED TECHNOLOGY

VMQ最重要应用领域



01. 食品级密封

核心优势是无毒、无味，具有良好的耐温性和耐老化性，被广泛应用于各类厨具、家电的密封圈、垫片等部件，确保接触食品的安全性。



02. 医疗器械

应用于医用导管、呼吸面罩、医疗密封件等关键组件。凭借优异的生物相容性和高洁净度，满足医疗领域对卫生与安全的严苛要求。



03. 婴童用品

涵盖安抚奶嘴、儿童餐具、水杯密封圈等。在这一领域，安全无毒是首要考虑因素，VMQ材料为婴幼儿健康提供可靠保障。



04. 新能源汽车与半导体

在电池密封件、高压电气系统绝缘部件以及半导体高洁净工艺设备中需求巨大，满足耐温、耐老化及绝缘的技术要求。

导热硅胶体系

导热硅胶是现代电子工业的核心方向，通过在硅胶中填充导热填料制成，广泛应用于各类电子设备的热管理与防护，是解决设备发热问题的关键材料。



01 导热垫片

形态：预制成型的片状材料，柔性且有弹性。

应用：CPU、电源模块等器件与散热器之间的间隙填充与散热。



02 导热灌封胶

形态：通常为液态或膏状，固化后形成弹性体。

应用：用于电路板、传感器的整体封装，兼具散热、绝缘与抗震防护功能。



03 导热硅脂

形态：粘稠的膏状流体，具有极佳的热传导性。

应用：涂覆在CPU/GPU与散热器之间，填补微观间隙，降低热阻，实现高效传热。

VMQ与其他橡胶对比



vs. EPDM

(三元乙丙橡胶)

VMQ 核心优势

- 适用温度范围更广，可适应极端温差环境。
- 耐候性更强，抗紫外线与臭氧老化性能优异。

EPDM 相对优势

- 物理拉伸强度更高，耐磨性较好。
- 材料与生产成本更低，经济性更佳。



vs. FKM

(氟橡胶)

VMQ 核心优势

- 低温性能更优，在极寒环境下仍保持弹性。
- 生理惰性更好，符合医疗级生物相容性要求。

FKM 相对优势

- 耐油、耐燃料及耐强化学溶剂侵蚀能力极强。
- 耐高温极限略高于普通VMQ。



vs. NBR

(丁腈橡胶)

VMQ 核心优势

- 耐热性远优于NBR，长期使用温度区间更高。
- 耐候性极佳，且具有优良的电气绝缘性能。

NBR 相对优势

- 耐油性极佳，性价比极高。
- 耐磨损性能优异，适合动态密封场景。

VMQ前沿技术

01 / 导热硅胶

趋势：随着新能源汽车和5G通信的快速发展，市场对兼具**高导热、高绝缘性能**的硅胶材料需求呈现爆发式增长，是解决高功率器件散热痛点的关键材料。

02 / 医疗级LSR

趋势：凭借极佳的生物相容性和成型精度，被广泛应用于制造更精密、结构更复杂的**微创医疗器械**和人体植入物，为医疗技术创新提供了材料基础。



03 / 自修复硅胶

趋势：赋予材料损伤后的自我修复能力，显著延长使用寿命并提升安全性，是未来**柔性电子、可穿戴设备**及智能仿生材料领域的重要发展方向。



04 / 3D打印硅胶

趋势：突破传统模具限制，实现硅胶**复杂结构、异形件**的快速原型制作和小批量定制化生产，极大提升了产品开发的灵活性和生产效率。

05

总结与未来展望

SUMMARY AND FUTURE OUTLOOK

VMQ 知识图谱关联节点



上游 · 原料关联

- 有机硅单体 (Monomer) | 白炭黑 (Silica)
- 铂催化剂 (Platinum Catalyst)



中游 · 配方体系

- 补强剂: 沉淀/气相法白炭黑
- 助剂: 结构控制剂、过氧化物/铂金硫化剂



中游 · 工艺技术

- 成型: LSR液体硅胶注射成型、挤出成型
- 后处理: 二次硫化工艺 (Post-curing)



下游 · 终端应用

- 医疗: 医用导管/植入级硅胶 | 食品: 接触级密封件
- 工业: 高导热垫片、电气绝缘/耐高温组件

VMQ在橡胶工业中的真正定位

VMQ 本质上是：

“高洁净极端温度弹性材料”

其真正价值不在于耐磨，而在于**高低温稳定 + 生理安全 + 电绝缘**的综合优势。

因此，VMQ成为现代**医疗 · 食品 · 半导体 · 新能源 · 高端电子**等领域中不可替代的重要战略材料节点。

Q & A



感谢聆听

THANKS FOR LISTENING