



石墨烯润滑技术开启世界新巅峰

高性能石墨烯润滑材料的研制

石墨烯润滑技术研究中心

中航联合石墨烯润滑技术有限公司



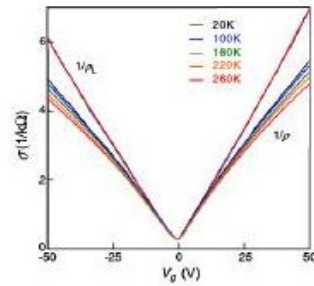


目 录

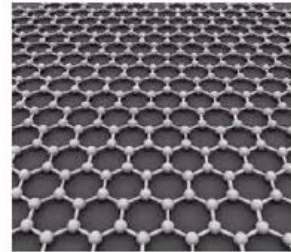
- 1 研究背景
- 2 研究内容及创新点
- 3 石墨烯的尺寸与摩擦性能构效关系研究
- 4 石墨烯改性分散技术
- 5 硼酸盐/石墨烯纳米复合材料的制备
- 6 结论



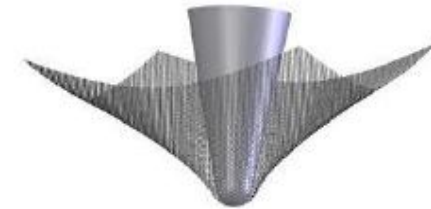
石墨烯材料性质



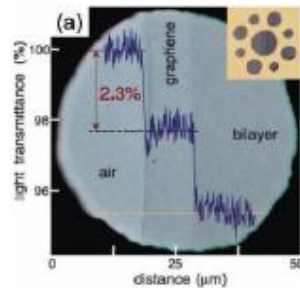
高电导率
~200 000 cm²V⁻¹S⁻¹



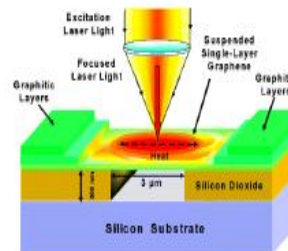
高比表面积
2630 m²/g



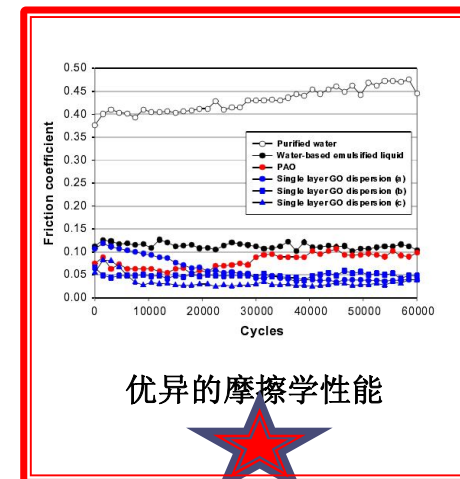
高杨氏模量
~1.0TPa



优异的光学性能
~97.7%



优异的导热性能
(~5000Wm⁻¹K⁻¹)



优异的摩擦学性能

Allen et al. Chemical Reviews 2010, 110, 132-145

X. Hou et al/ Ind. Eng. Chem. Res., 2015, 54, 4773-4780

D. Berman et al. Mater Today, 2014, 17, 31-42.



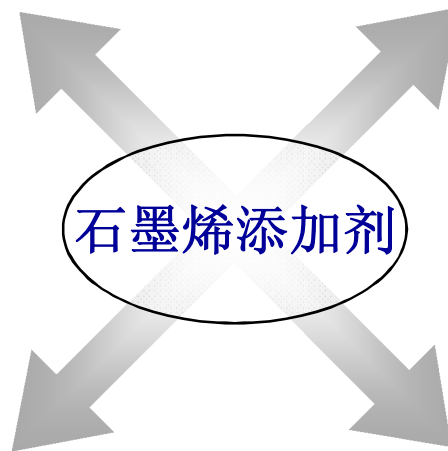
石墨烯在摩擦学上的应用研究



润滑油



水



石墨烯添加剂



润滑脂



有机溶剂

Liang et al. ACS Appl. Mat. Interfaces, 2013, 5, 6369-6375.

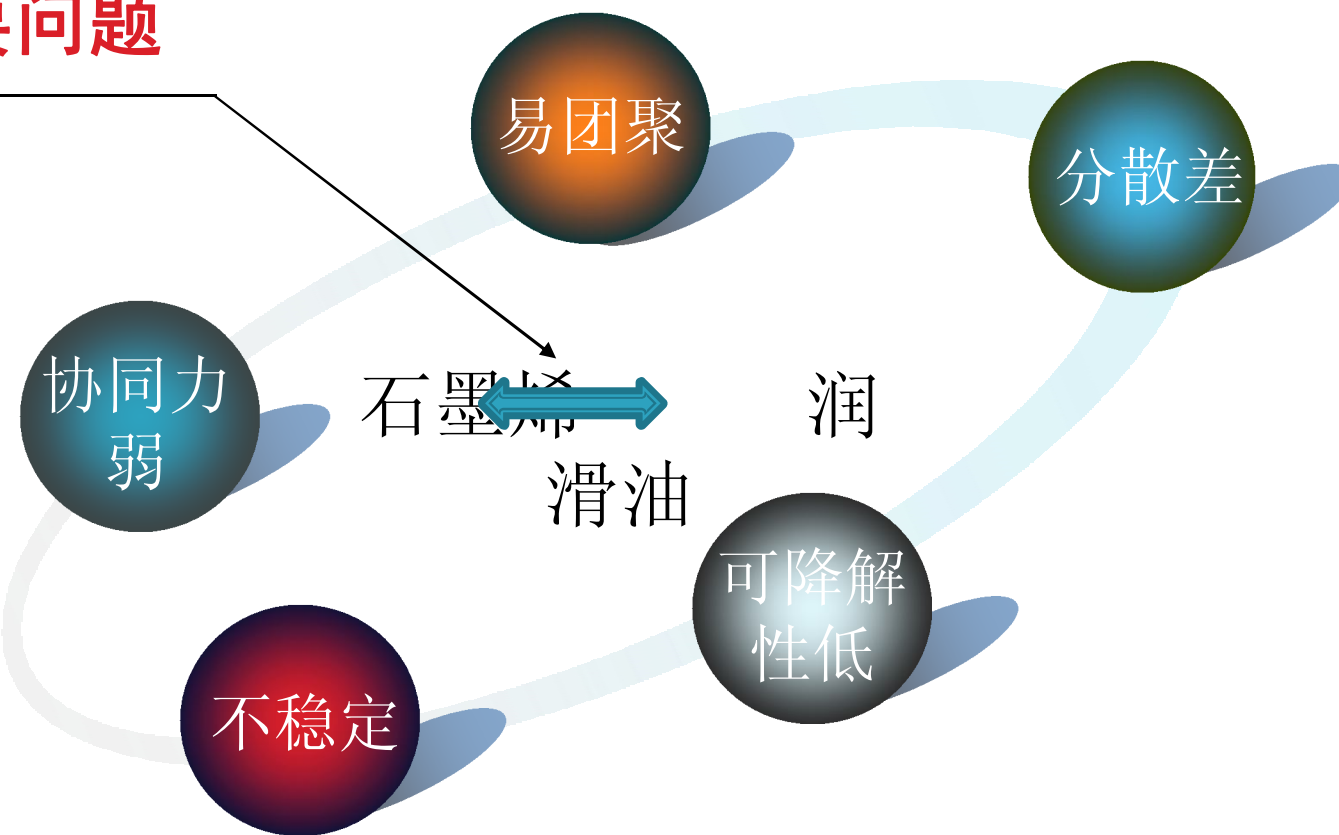
Fan et al. J. Colloid. Inter. Sci, 2015, 452, 98-108.

Jia et al. Tribol. Int., 2015, 90, 240-247



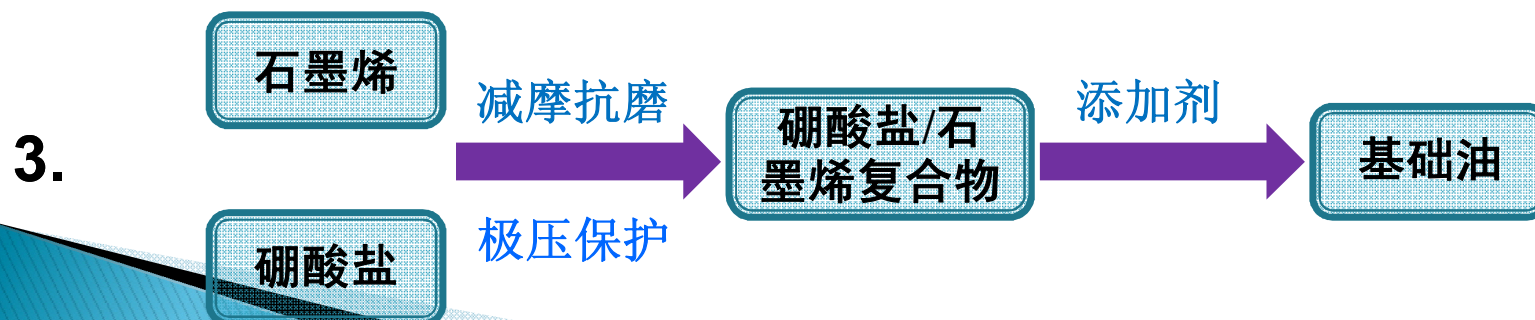
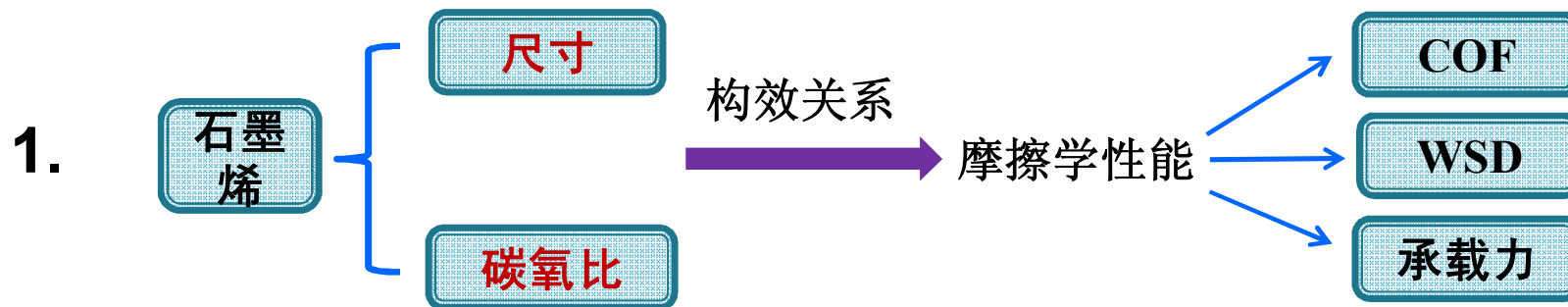
石墨烯作为润滑油添加剂使用存在的问题

主要问题





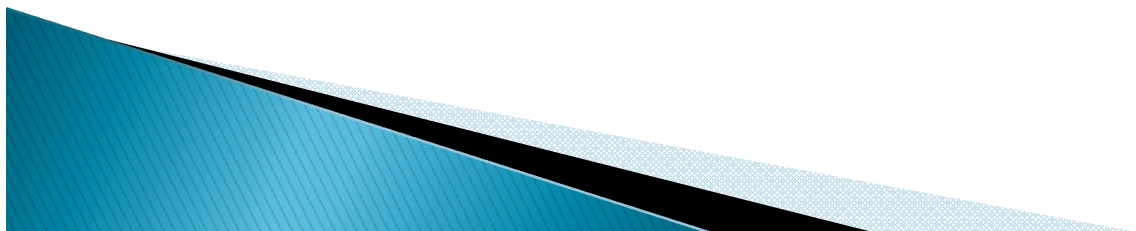
本成果的研究内容





创造性

- 揭示了石墨烯纳米片结构与油介质的摩擦学构效关系
- 开发了新型生物可降解油酸二乙醇酰胺硼酸酯改性剂，成功实现了石墨烯在油介质中的高度分散和清澈明。
- 设计一系列的硼酸盐/石墨烯纳米复合物，增强石墨烯润滑技术的协同作用





石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

1、红外和XRD表征

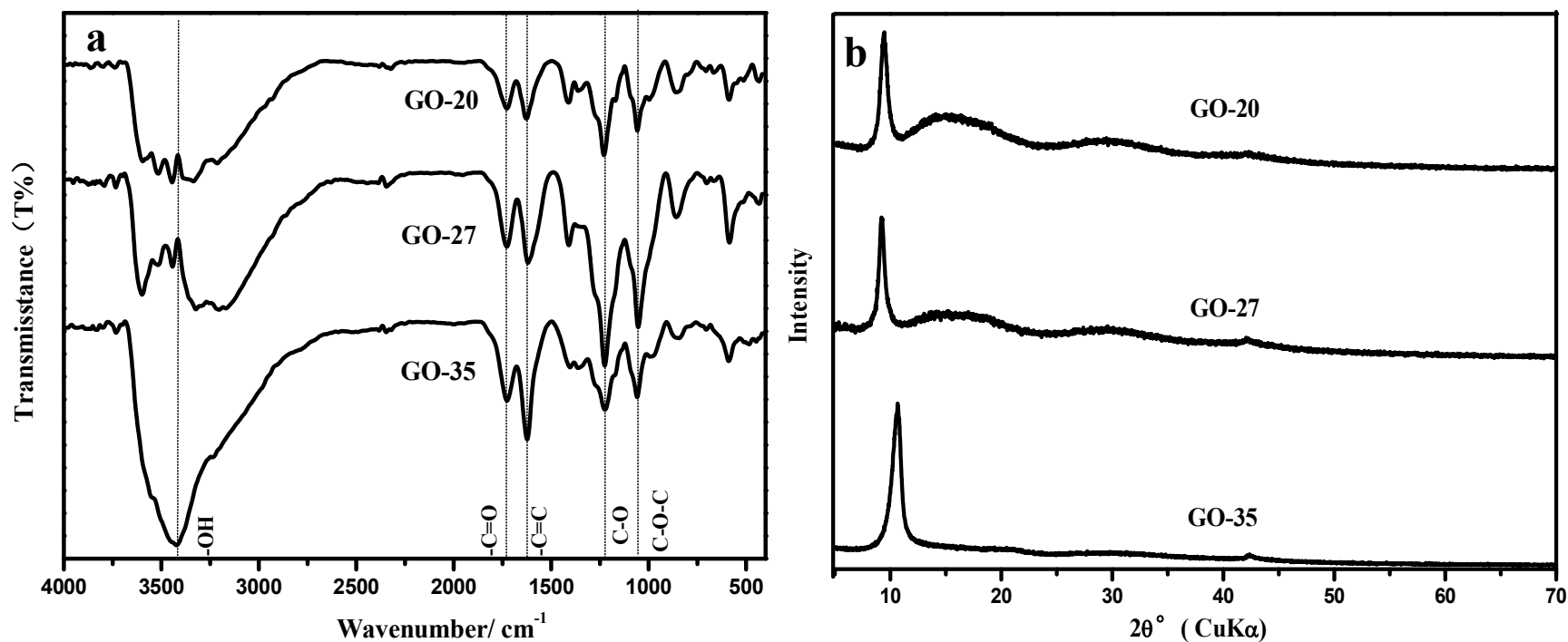


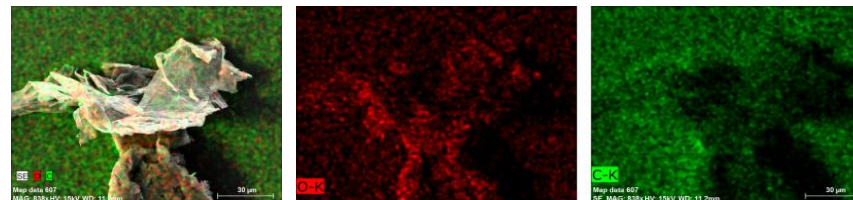
图1-3 石墨烯-20，石墨烯-27和石墨烯-35的(a)红外和(b)XRD谱图



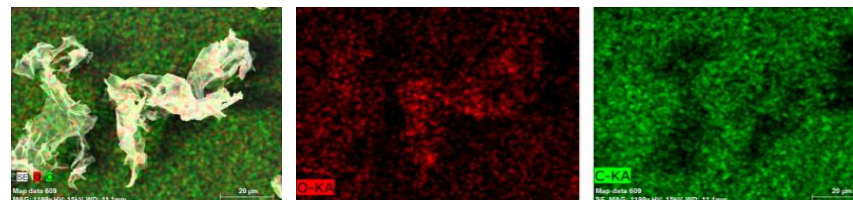
石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

2、Mapping分析

石墨烯-20



石墨烯-27



石墨烯-35

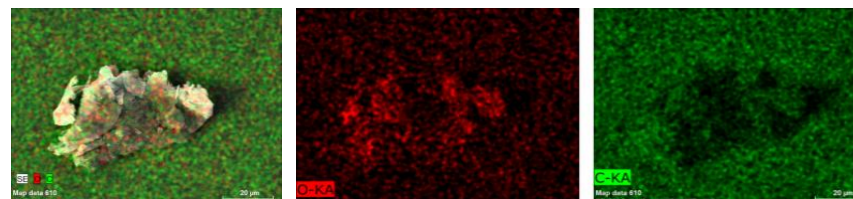


图1-4 石墨烯-20，石墨烯-27和石墨烯-35的
Mapping分析



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

3、元素分析

表1-1 石墨烯-20，石墨烯-27和石墨烯-35的元素分析表

	石墨烯-35	石墨烯-27	石墨烯-20
Carbon (wt%)	48.54	49.23	49.87
Oxygen (wt%)	51.46	50.77	50.13
C/O ratio	0.94	0.97	0.99



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

4、粒径分布

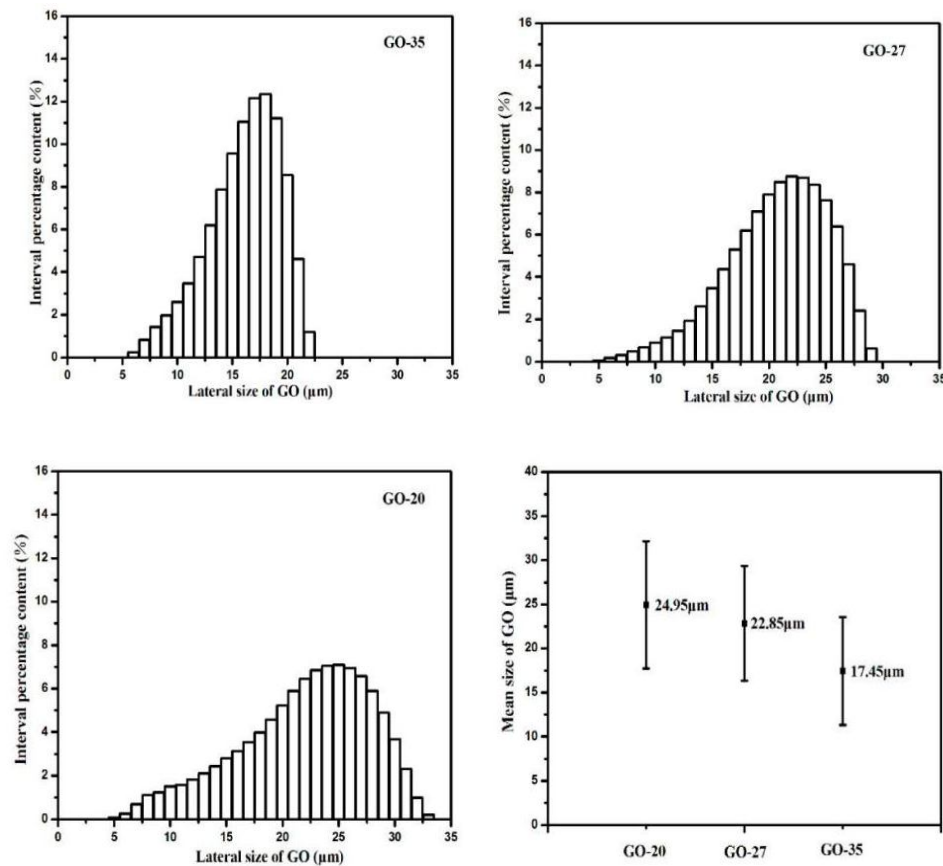


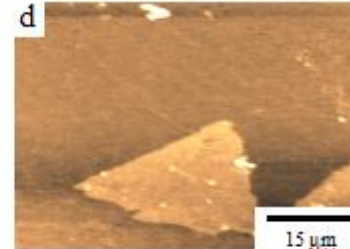
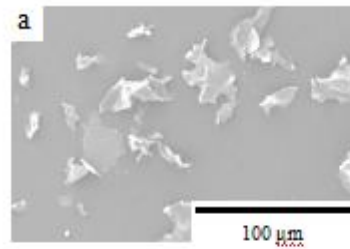
图1-5 石墨烯-20，石墨烯-27和石墨烯-35的粒径分布图



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

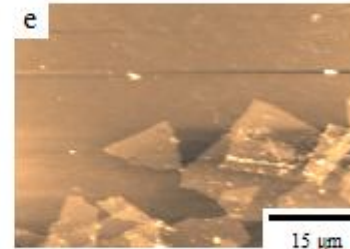
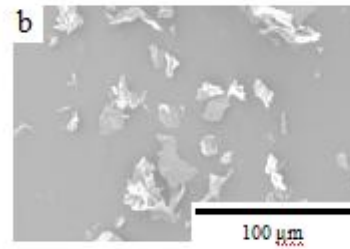
5、SEM和AFM 表征

石墨烯-20



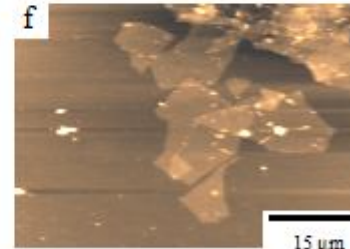
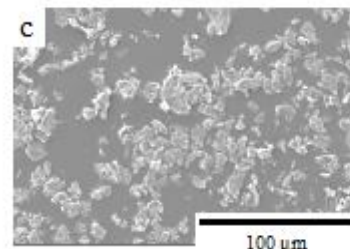
$\approx 25\mu\text{m}$

石墨烯-27



$\approx 22\mu\text{m}$

石墨烯-35



$\approx 18\mu\text{m}$

图1-6 石墨烯-20，石墨烯-27和石墨烯-35的SEM和AFM表征



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

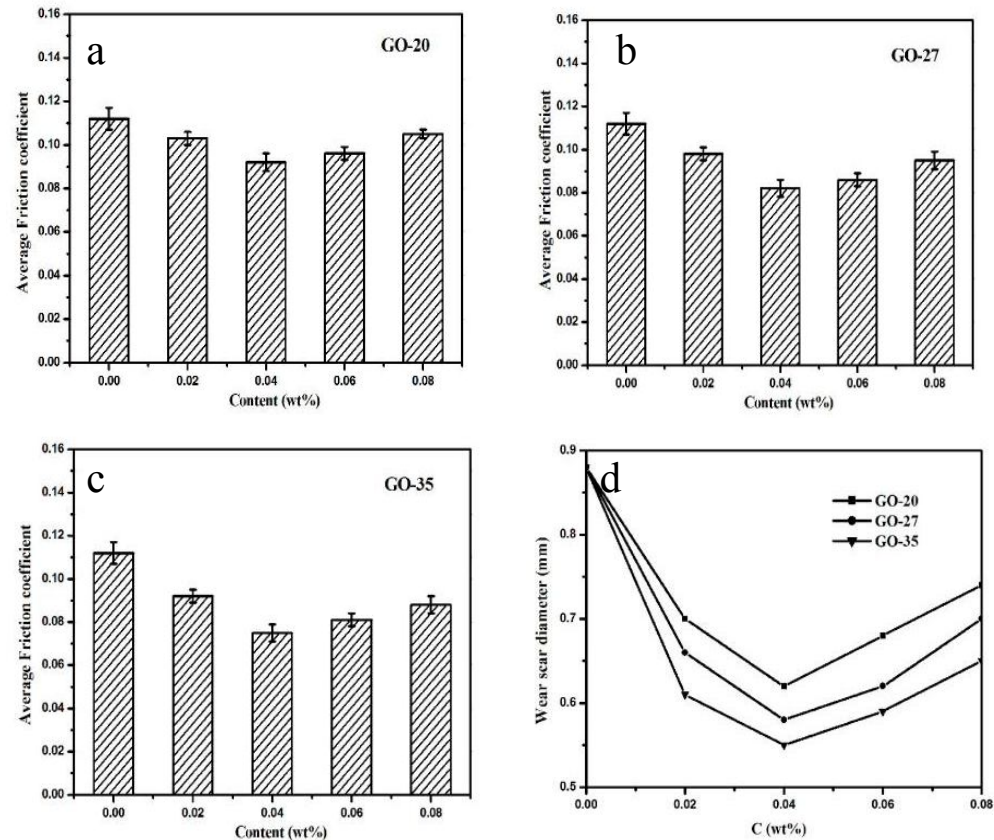


图1-7 (a) 石墨烯₂₀基油, (b) 石墨烯₂₇基油和(c) 石墨烯₃₅基油的平均摩擦系数随添加含量变化的柱状图及(d)磨痕直径随添加含量的变化曲线图



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

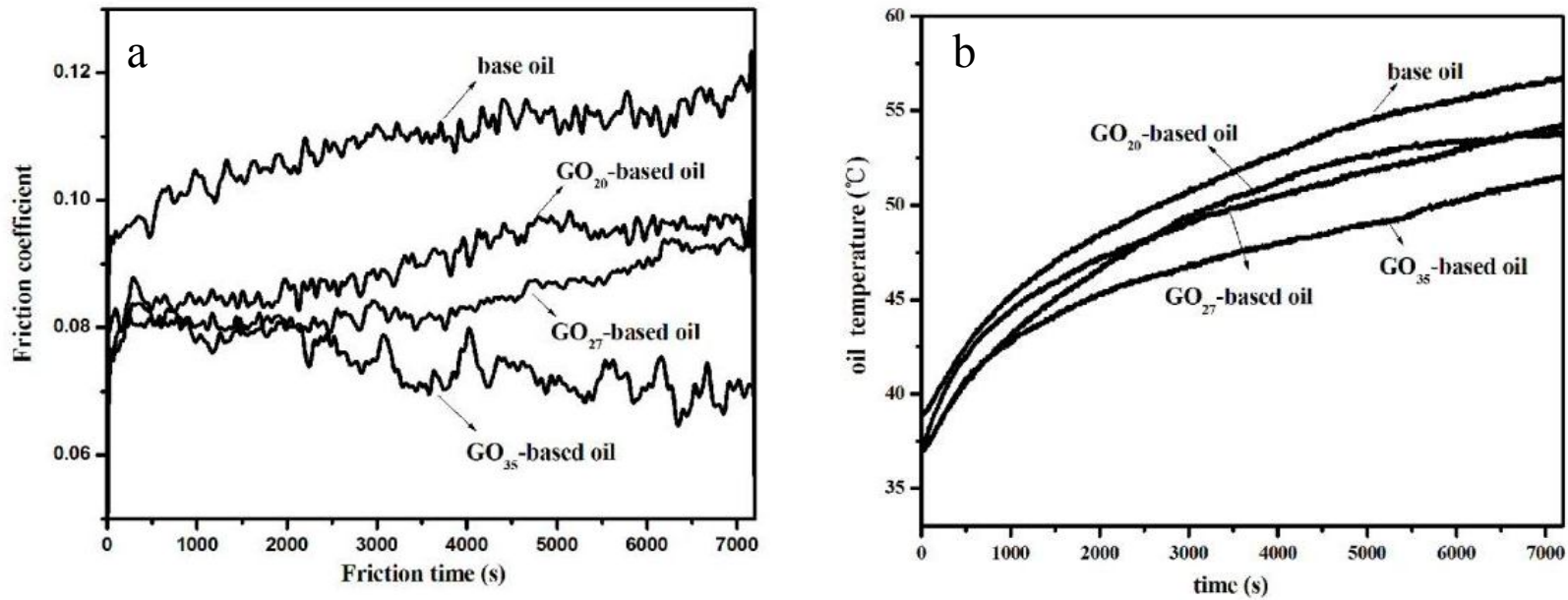


图1-8 0.04 wt.%的石墨烯₂₀, GO₂₇和石墨烯₃₅基油(a)摩擦系数和(b)油温随时间变化曲线



石墨烯结构与摩擦性能之间的构效关系研究

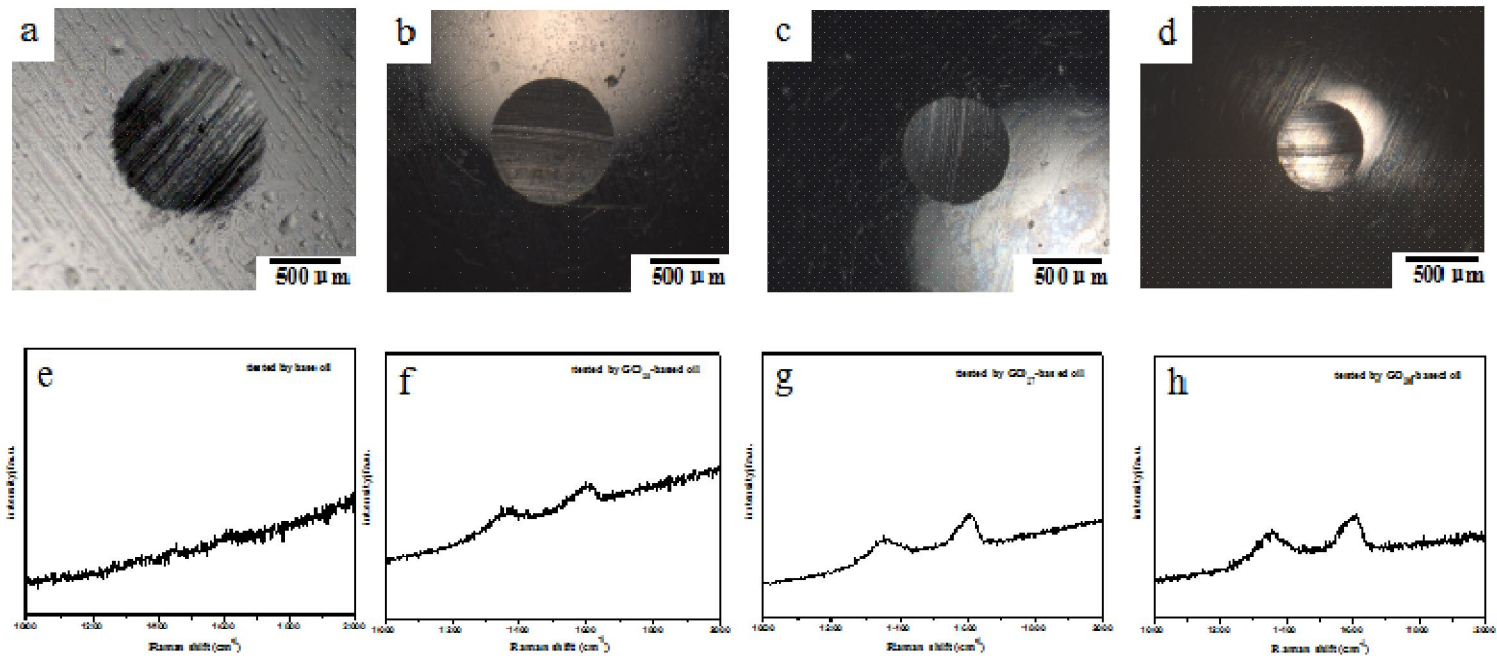


图1-9 不同添加剂的钢球磨斑3D激光显微照片及对应的拉曼分析



石墨烯分散改性技术 (MGO)

生物降解性能
出色

低生态毒性

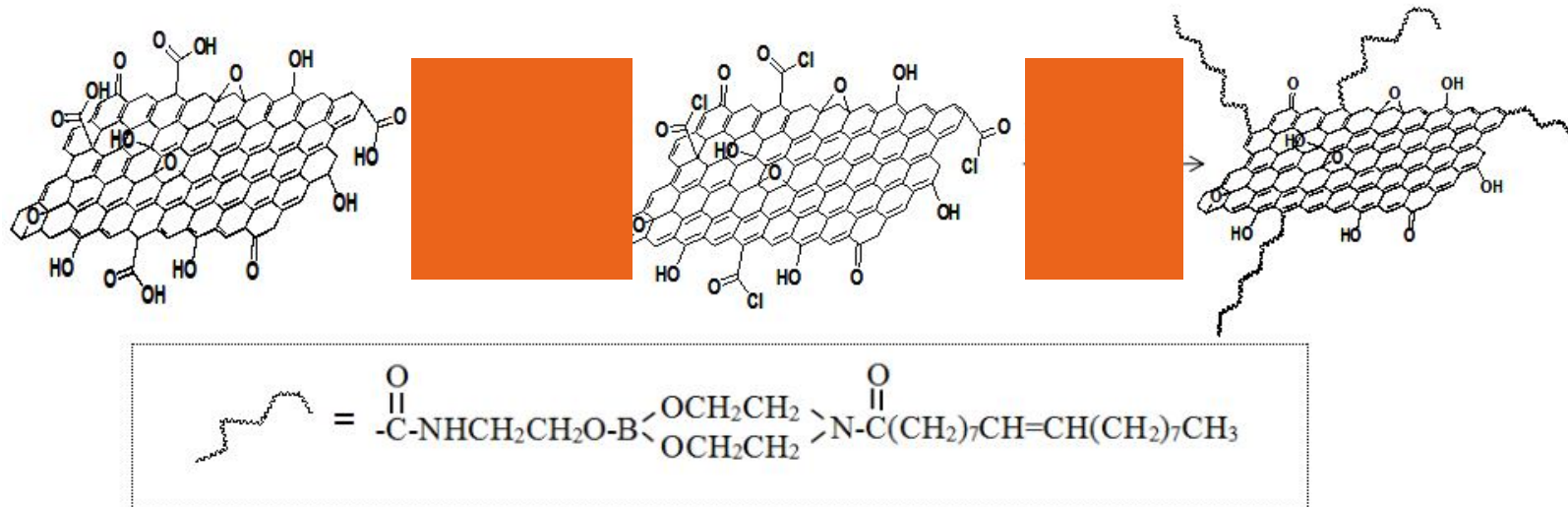
油酸二乙醇酰胺硼酸酯
(ODAB)

去污，润湿

乳化，防锈



石墨烯的改性技术



MGO改性技术



石墨烯分散改性技术

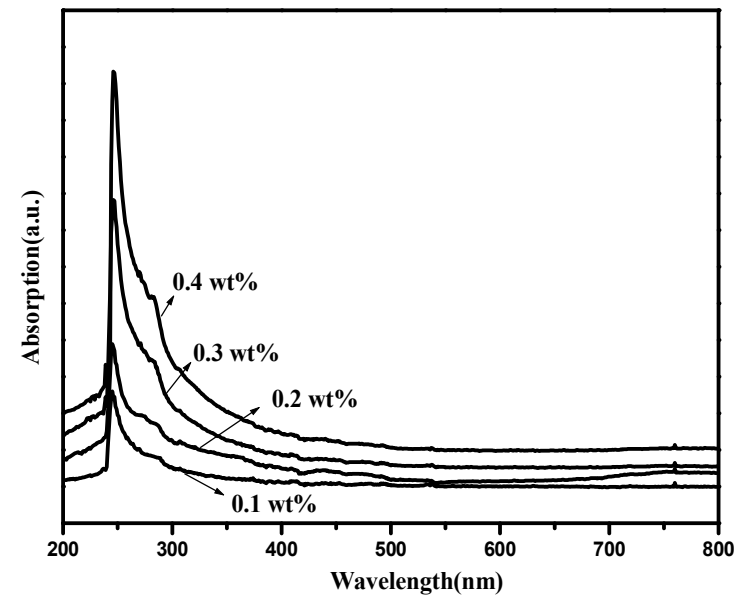
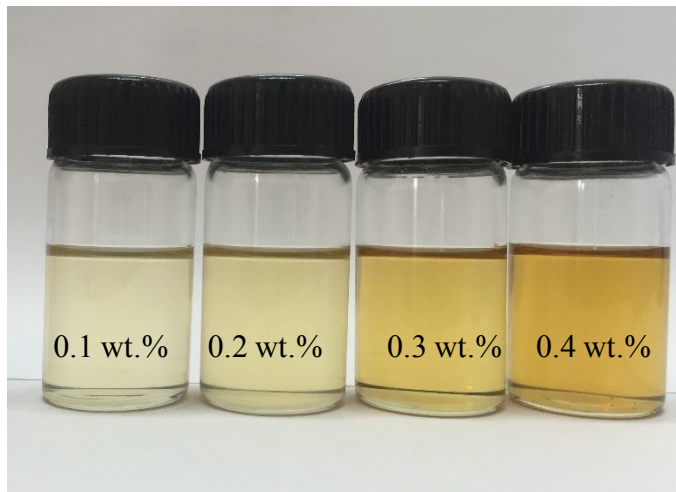


图2-2 不同添加量MGO在油中的紫外及其分散性照片



石墨烯分散改性技术

1、红外和XRD分析

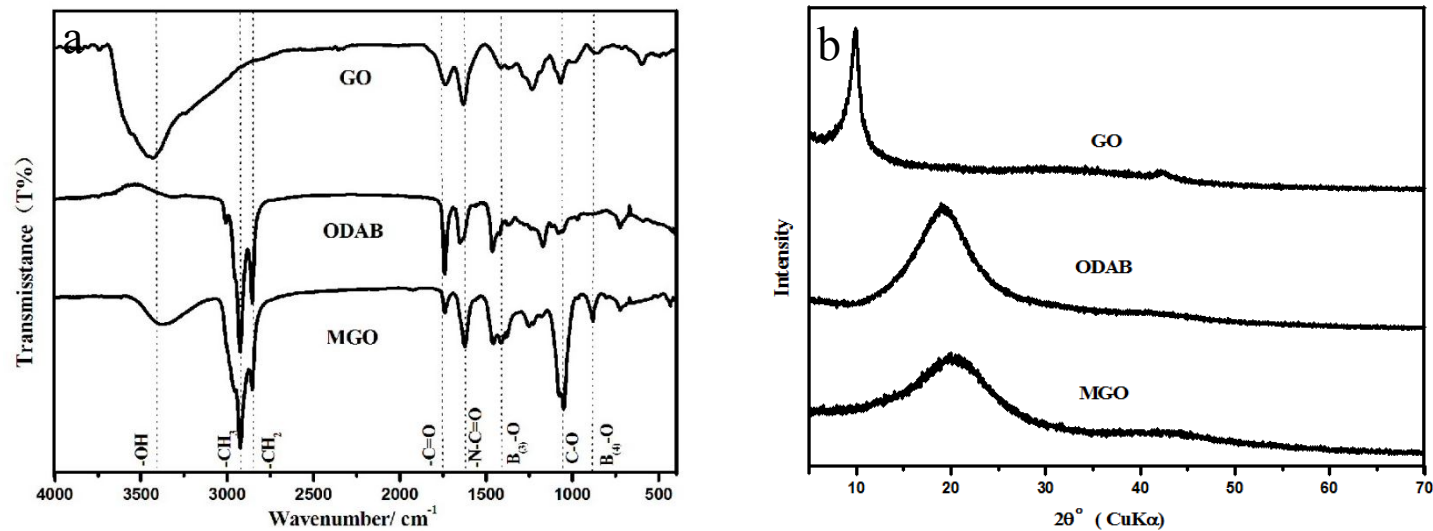


图2-3 石墨烯，ODAB，MGO的红外(a)和XRD (b)图谱



石墨烯分散改性技术

2、拉曼和紫外分析

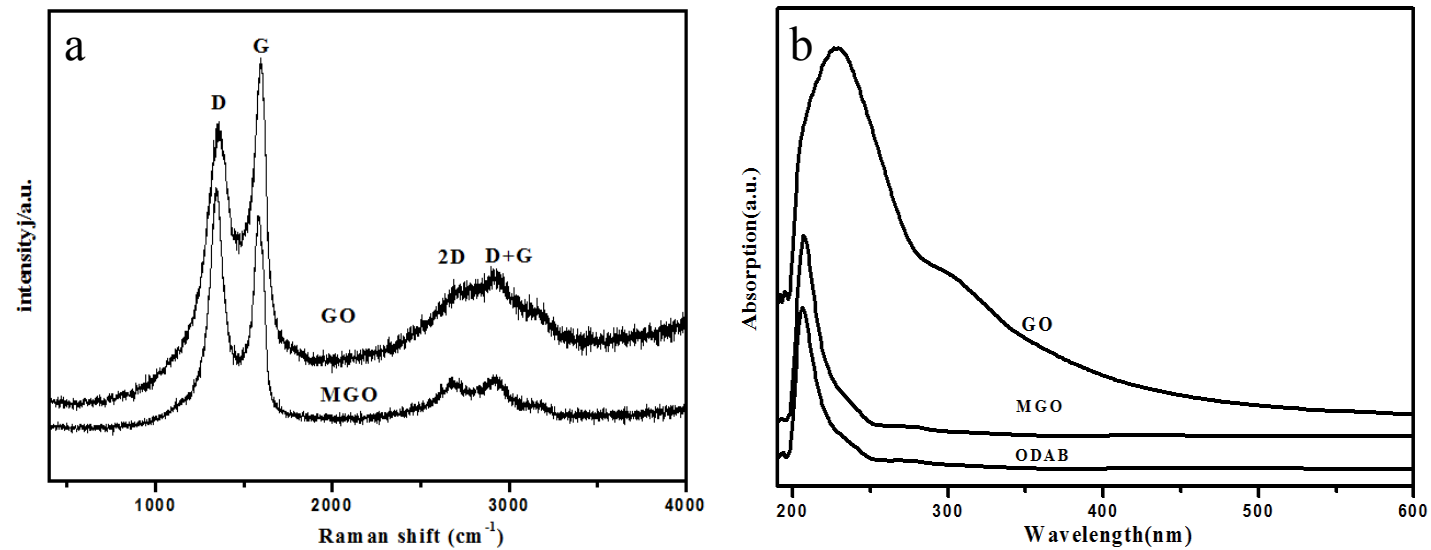


图2-4 石墨烯和MGO的拉曼图谱(a)以及石墨烯，ODAB，MGO的紫外图谱(b)



石墨烯分散改性技术

3、TEM分析

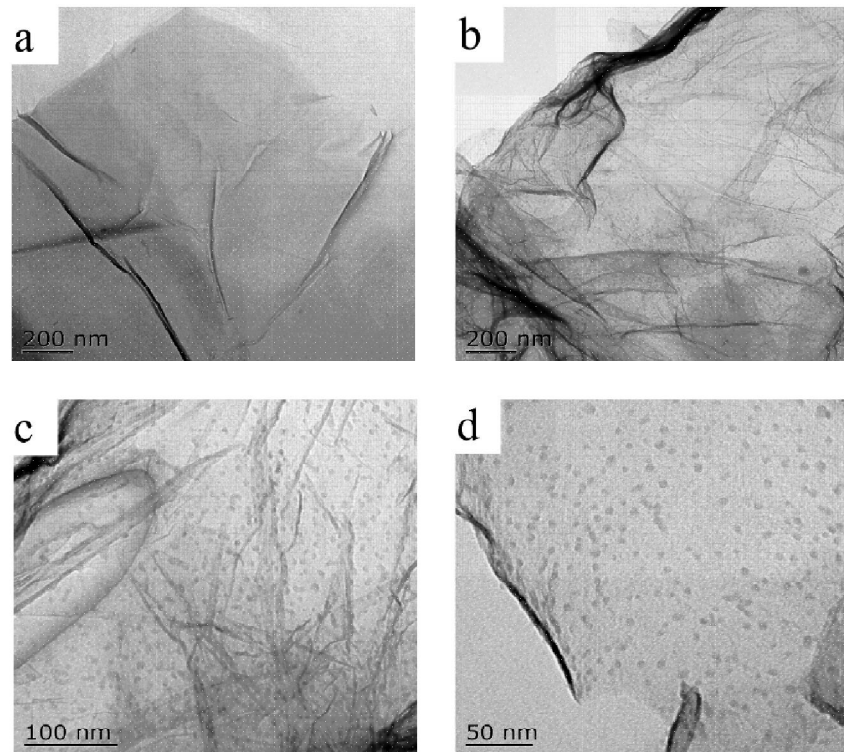


图2-5 石墨烯 (a)和MGO (b, c, d)的TEM照片



石墨烯分散改性技术

4、XPS分析

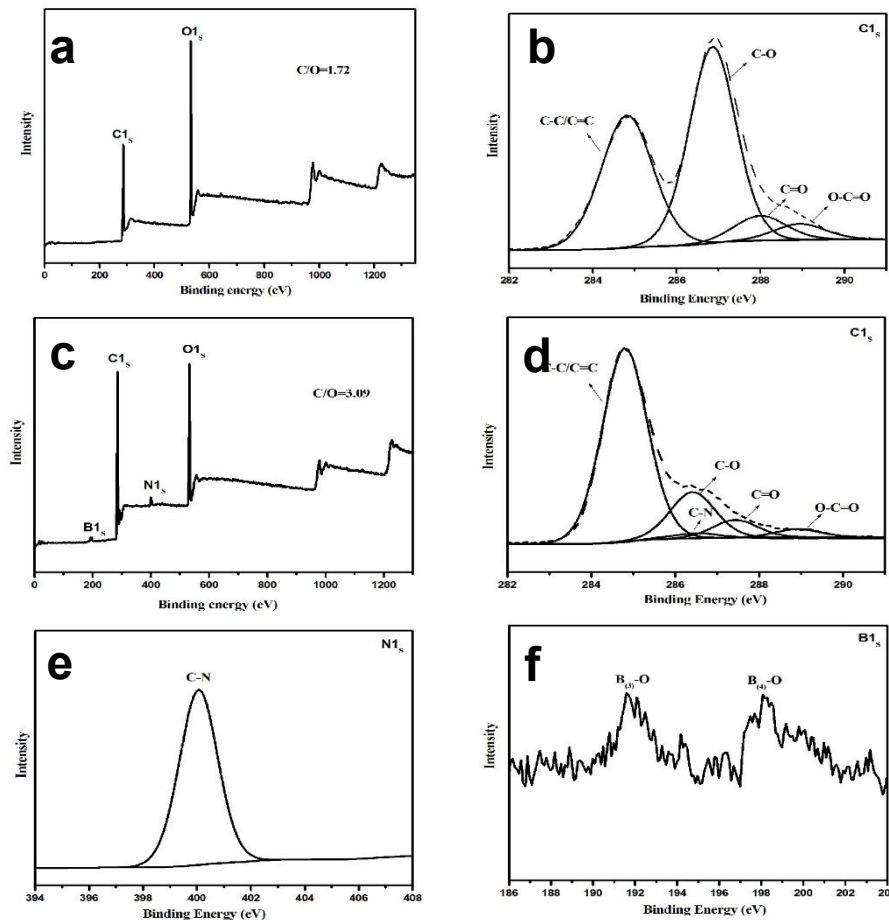


图2-6 石墨烯全谱图(a), 石墨烯 C谱图(b), MGO全谱图(c), MGO C谱图(d), 石墨烯 N谱图(e), MGO B谱图(f)



石墨烯分散改性技术

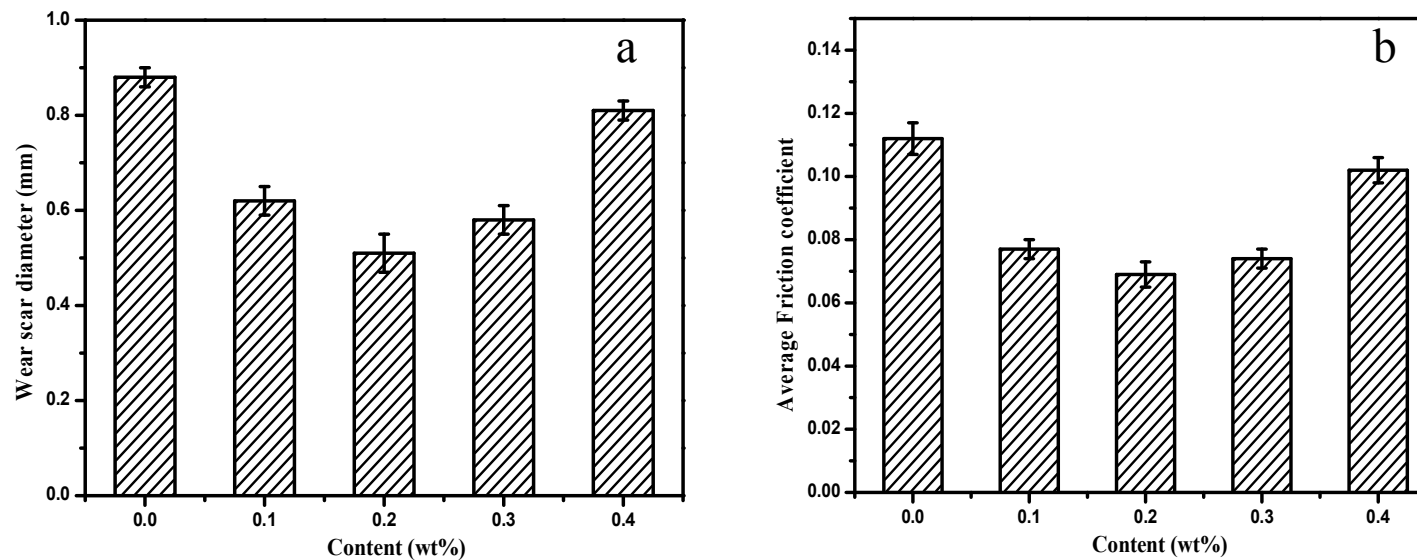


图2-7 不同添加量MGO在油中平均摩擦系数(a)和磨痕直径(b)的柱状图



石墨烯分散改性技术

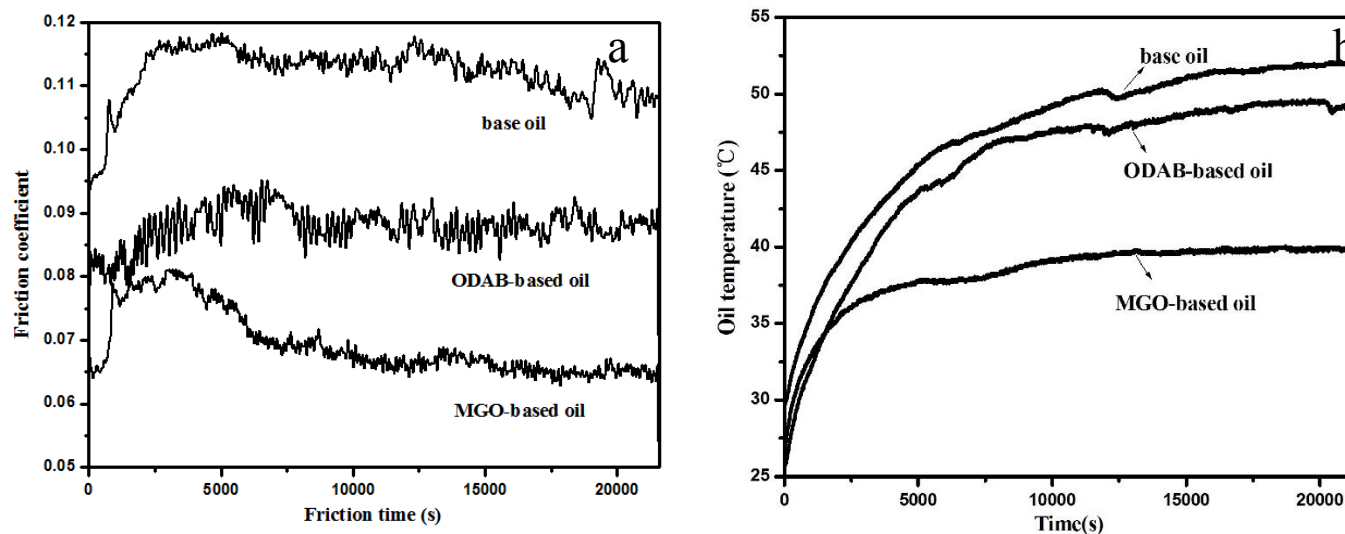


图2-8 0.2 wt.%添加量的MGO, ODAB及基础油摩擦系数 (a)和油温(b)随时间变化曲线

MGO基油的平均摩擦系数比基础油下降约38.4%，而油温下降约11.8℃



石墨烯分散改性技术

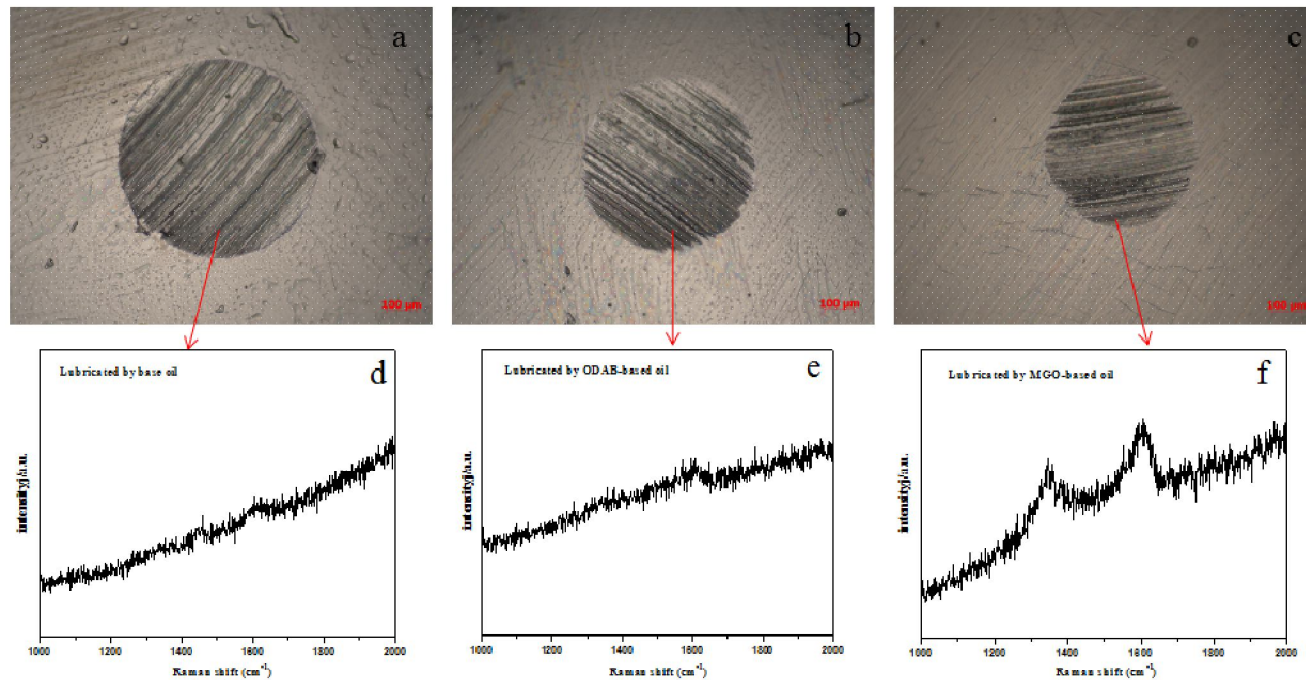
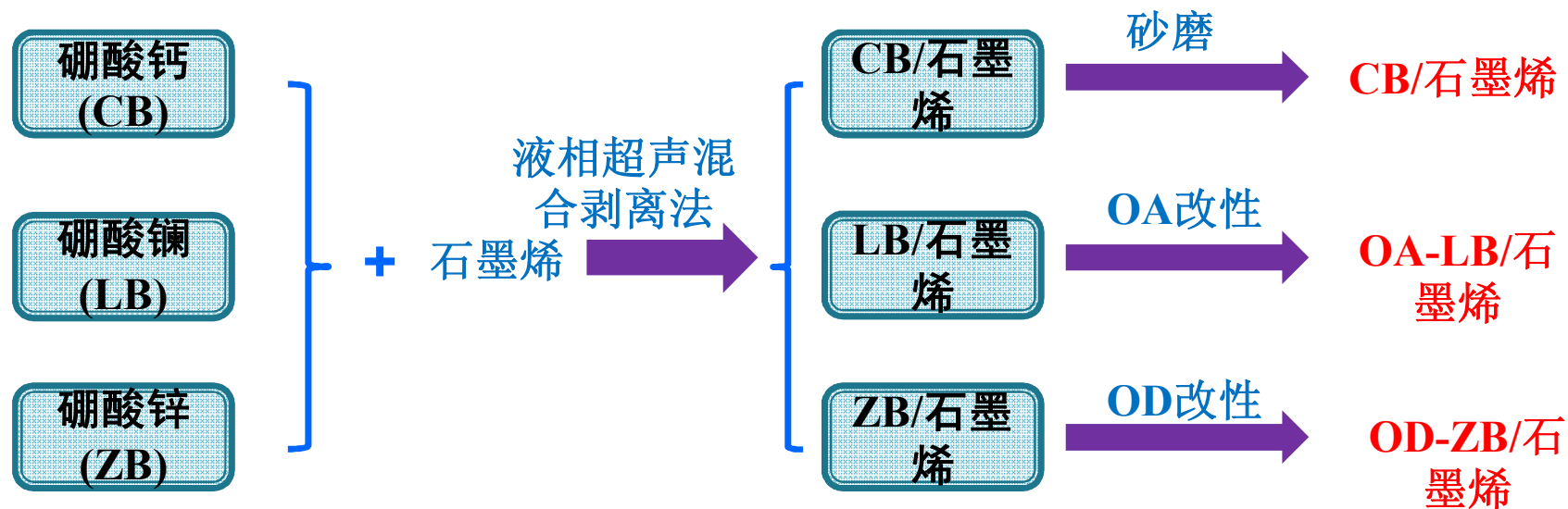


图2-9 不同添加剂的钢球磨斑3D激光显微照片及相对应的拉曼分析



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制





硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

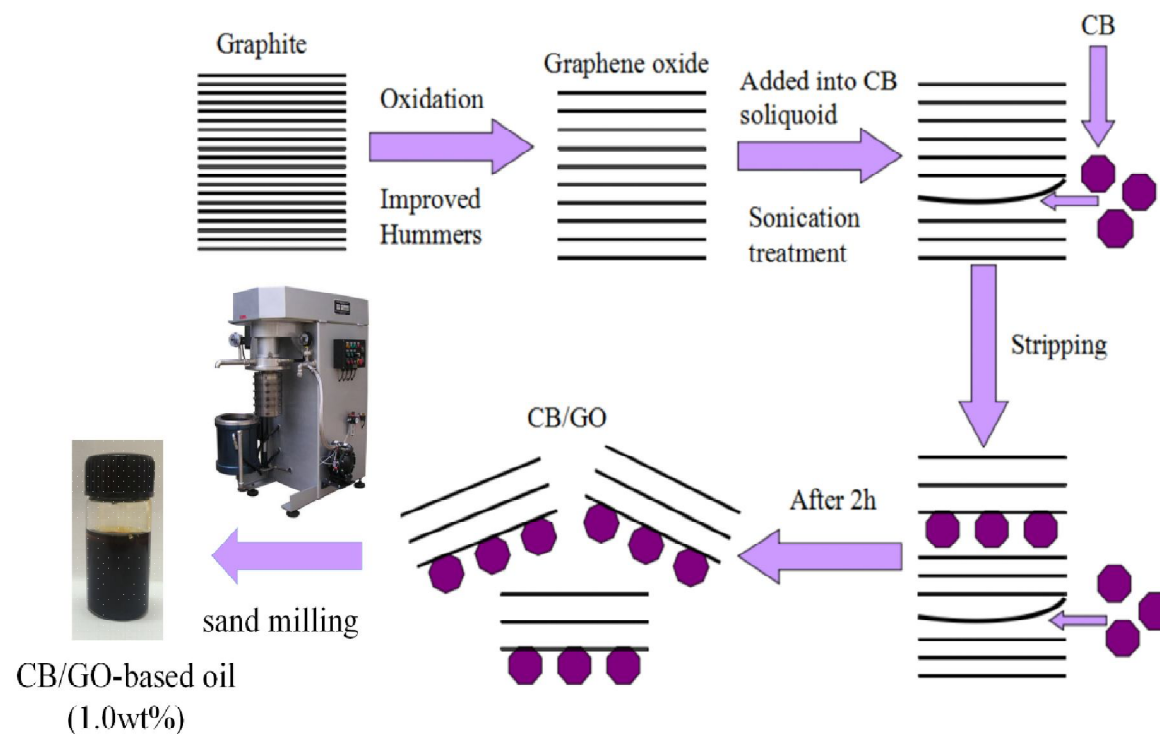


图3-1 液相超声混合剥离法制备CB/石墨烯复合材料及其在油中分散流程图



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

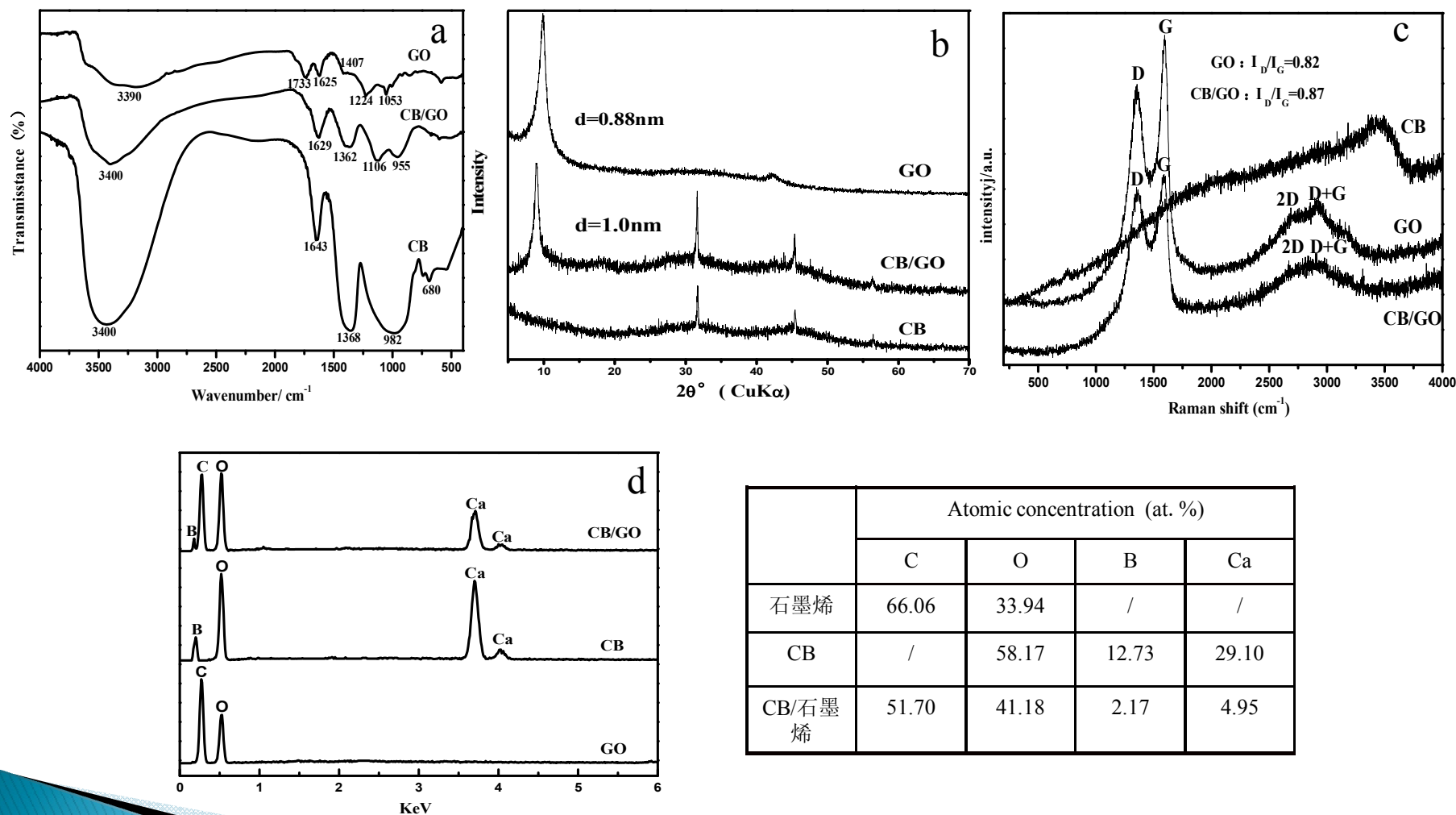


图3-4 CB/石墨烯复合材料的(a) 红外, (b) XRD, (c) 拉曼, (d) EDS表征



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

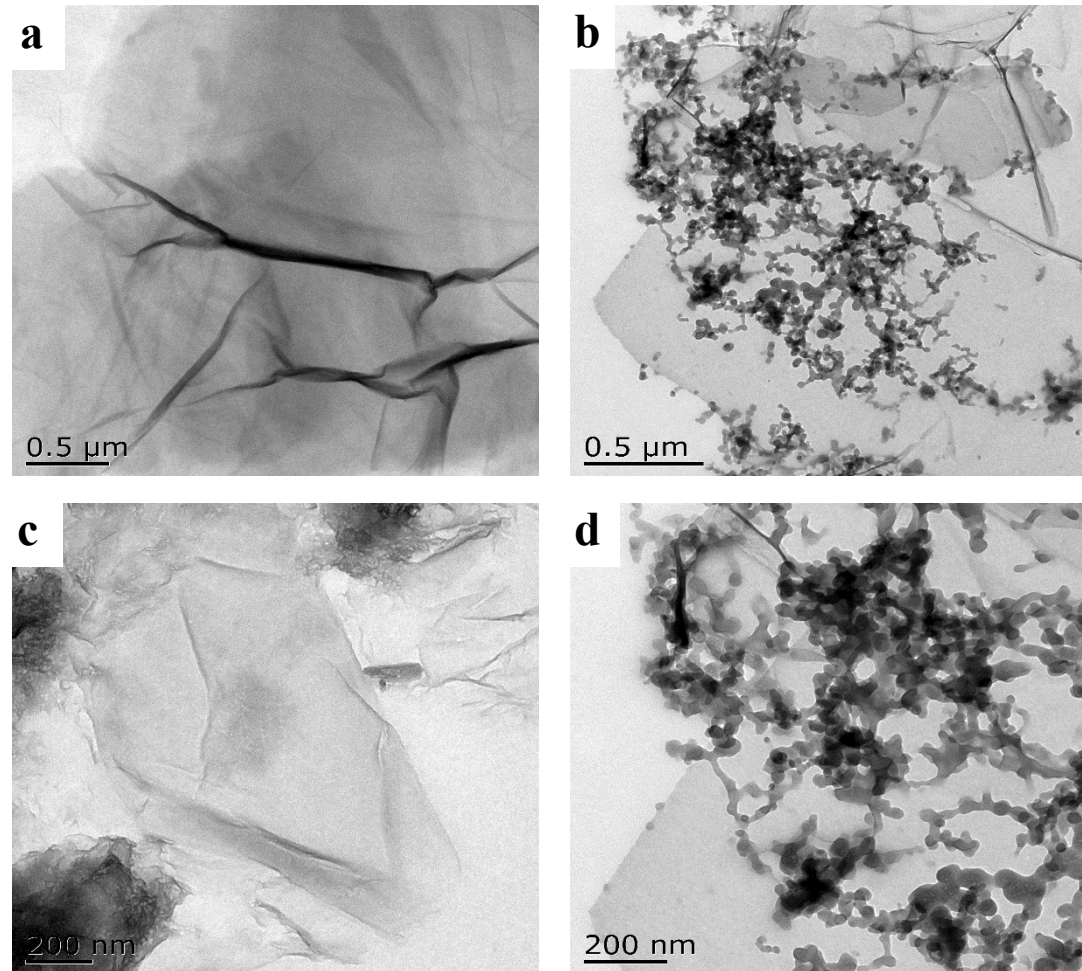


图3-5 石墨烯 (a)和CB/石墨烯 (b, c, d)的TEM照片



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

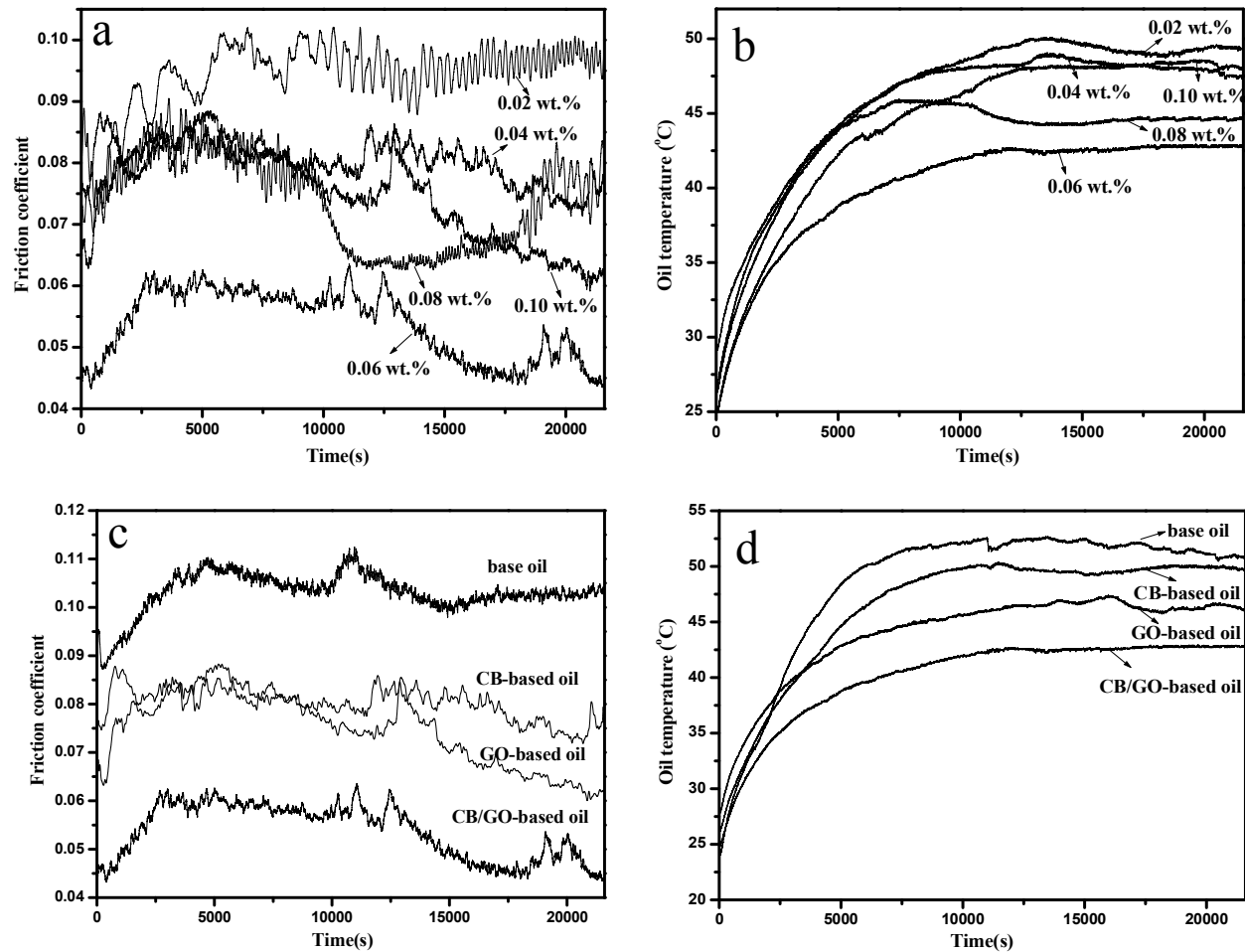


图3-6 不同添加量CB/石墨烯基油的(a)摩擦系数和 (b)油温随时间变化曲线；不同添加剂下 (c) 摩擦系数和 (b) 油温随时间变化曲线



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

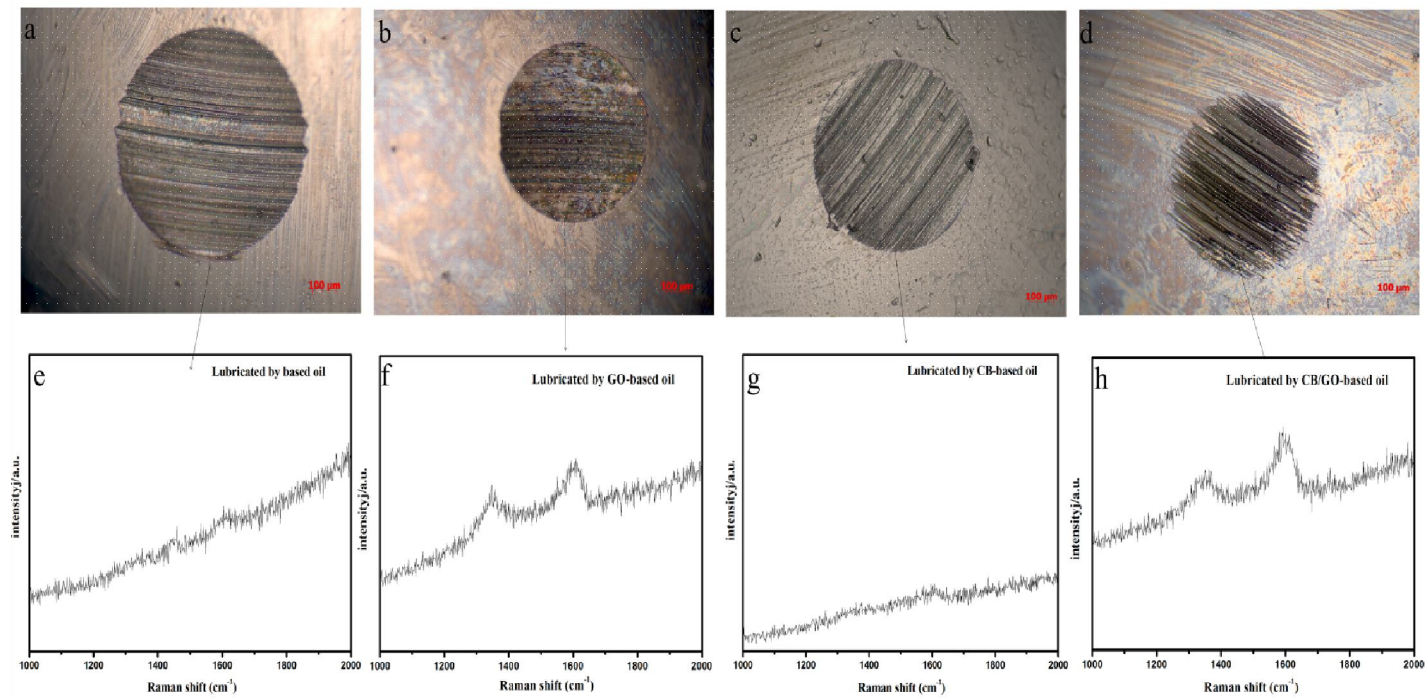


图3-7 不同添加剂的钢球磨斑3D激光显微照片及相对应的拉曼分析



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

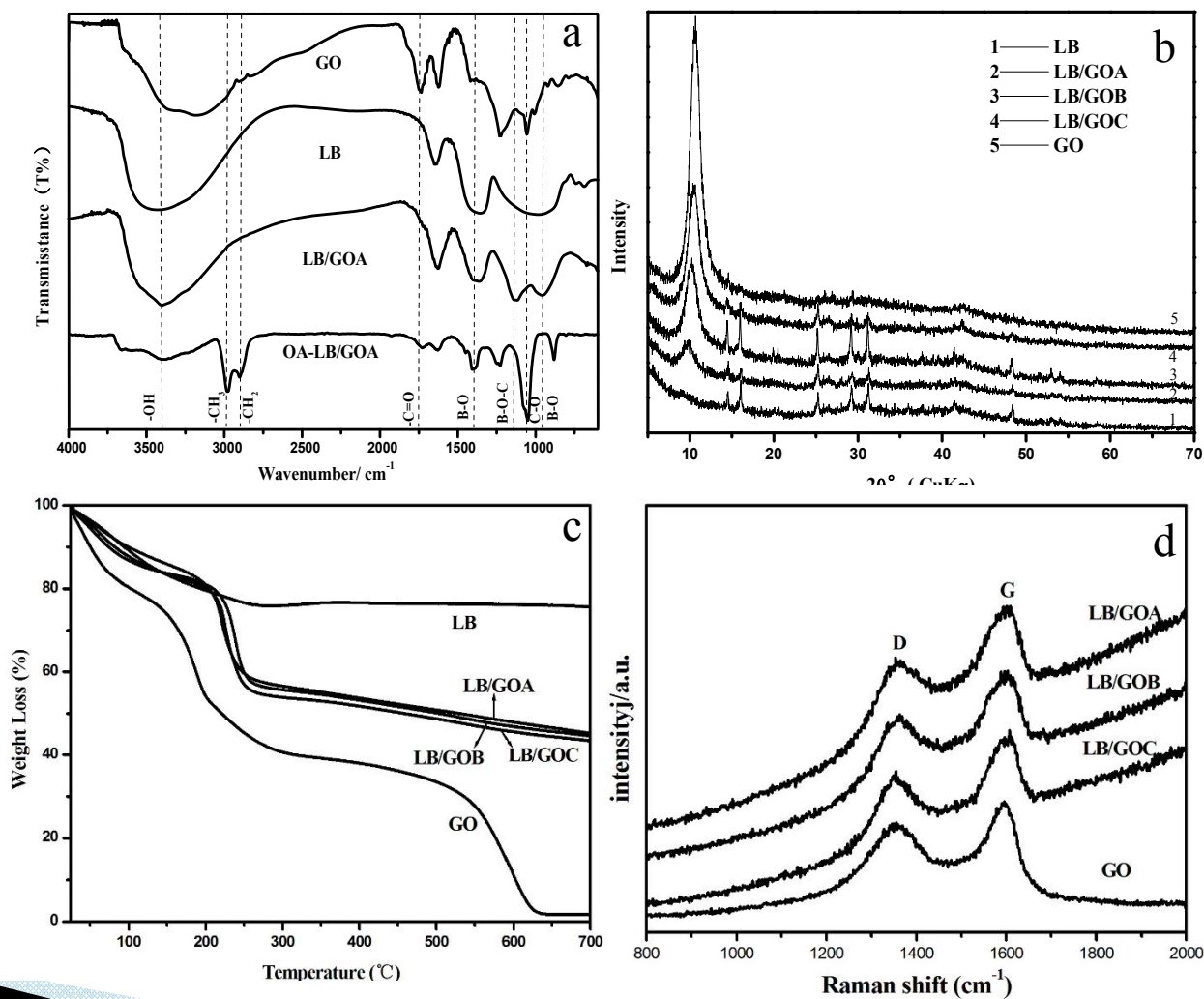


图3-8 OA-LB/石墨烯复合材料的(a) 红外, (b) XRD, (c) 热重, (d) 拉曼表征



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

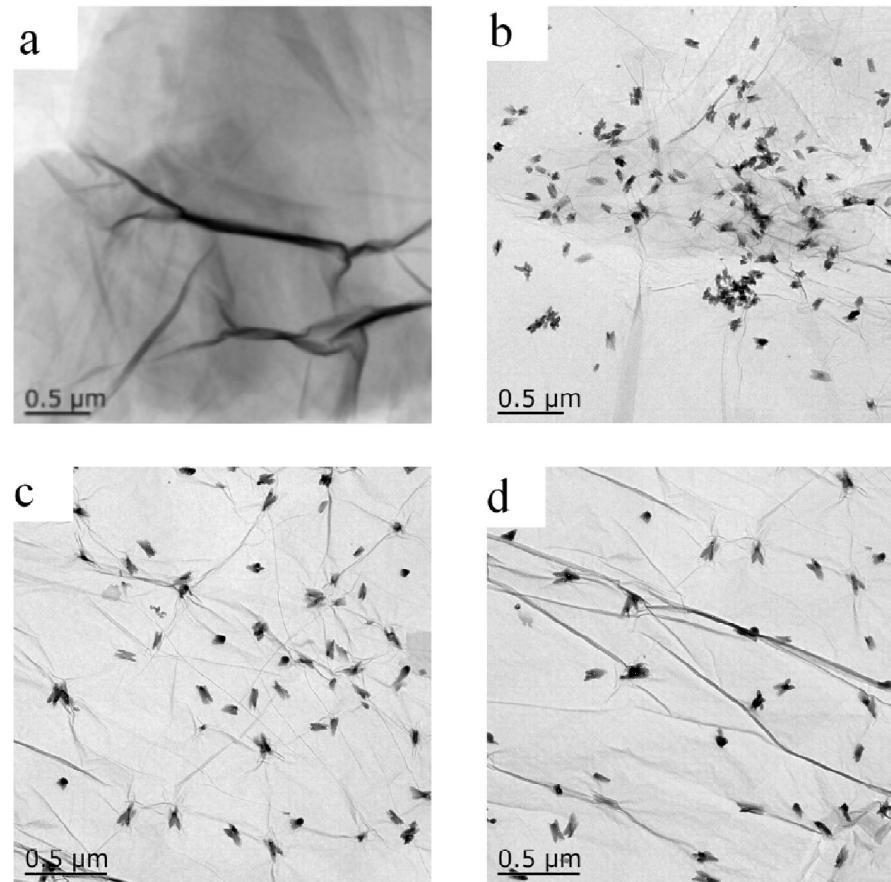


图3-9 石墨烯 (a)和不同负载量下LB/石墨烯 (b, c, d)的TEM照片



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

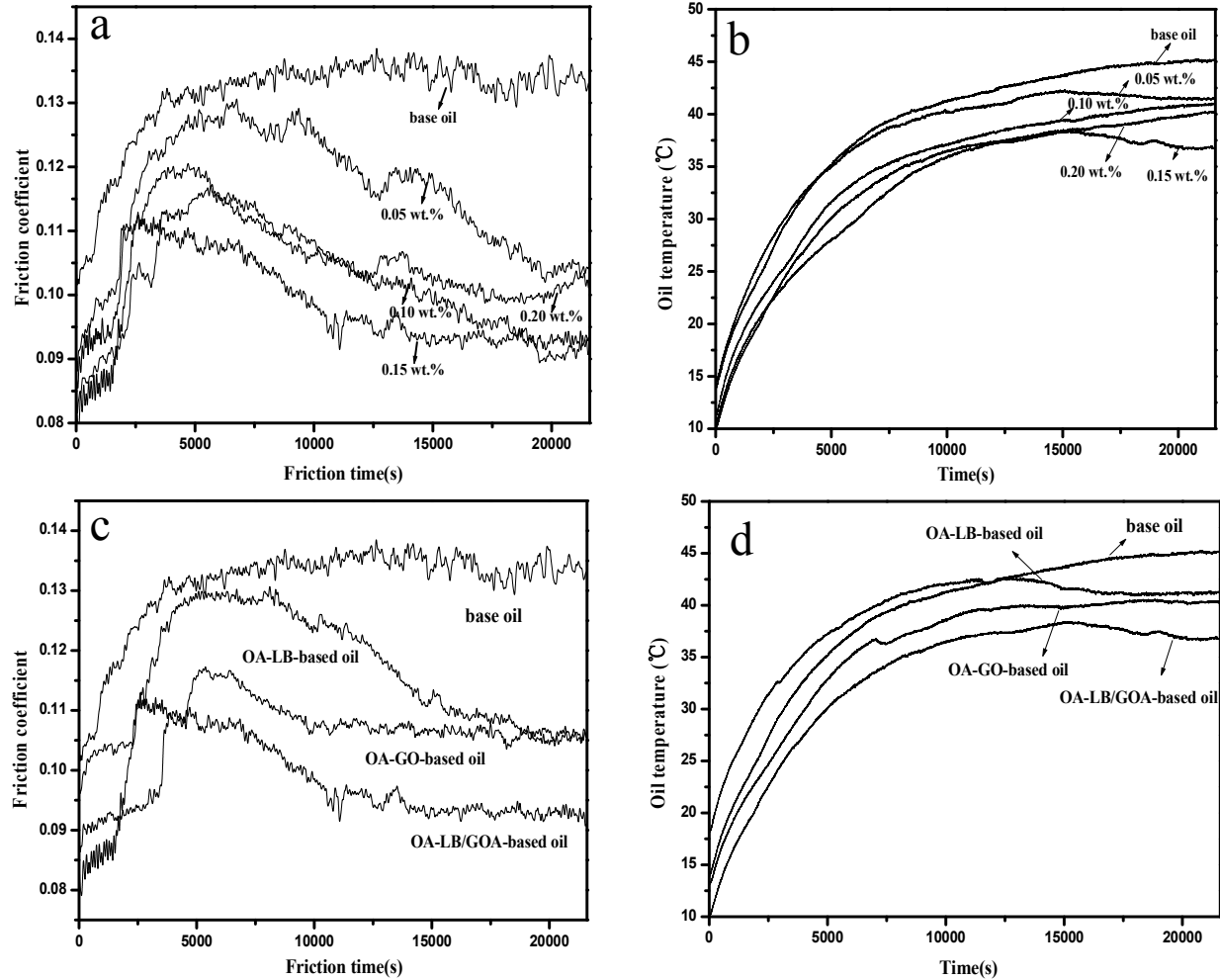


图3-10 不同添加量OA-LB/石墨烯基油的(a)摩擦系数和 (b)油温随时间变化曲线；不同添加剂下(c)摩擦系数和 (b)油温随时间变化曲线



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

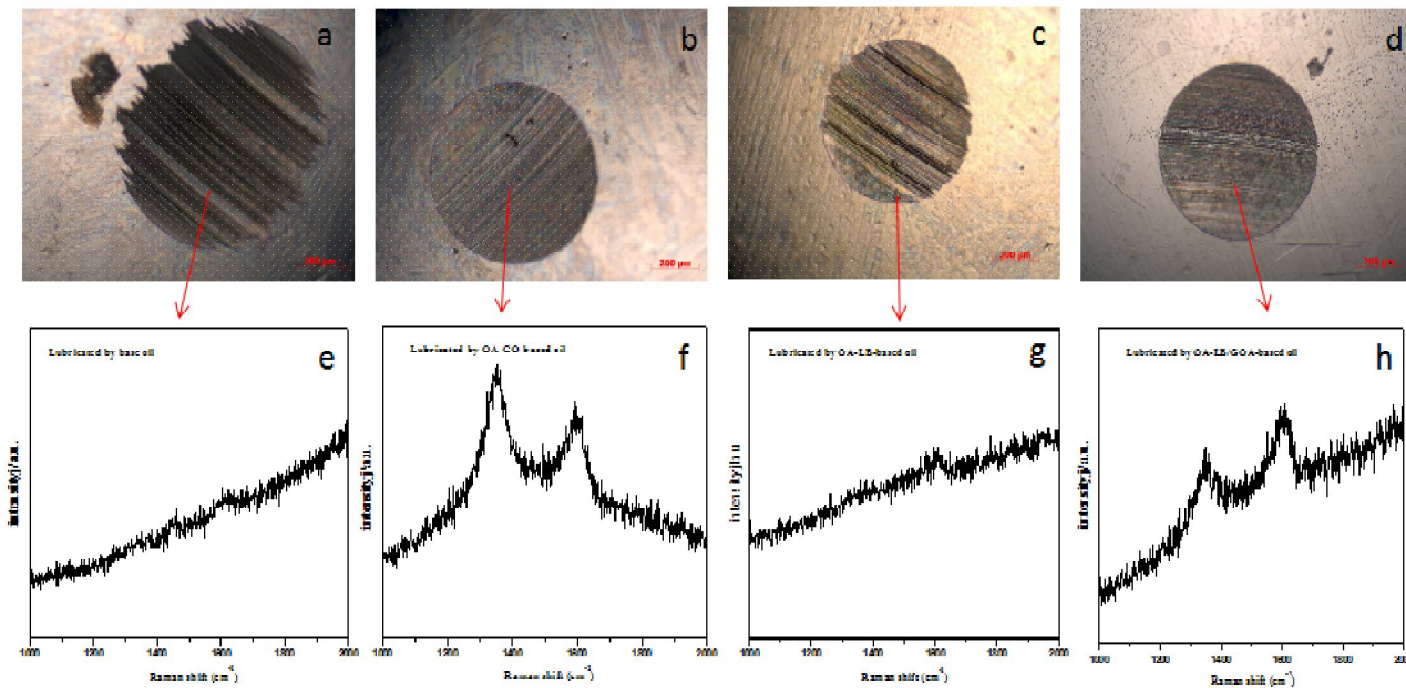


图3-11 不同添加剂的钢球磨斑3D激光显微照片及相对应的拉曼分析



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

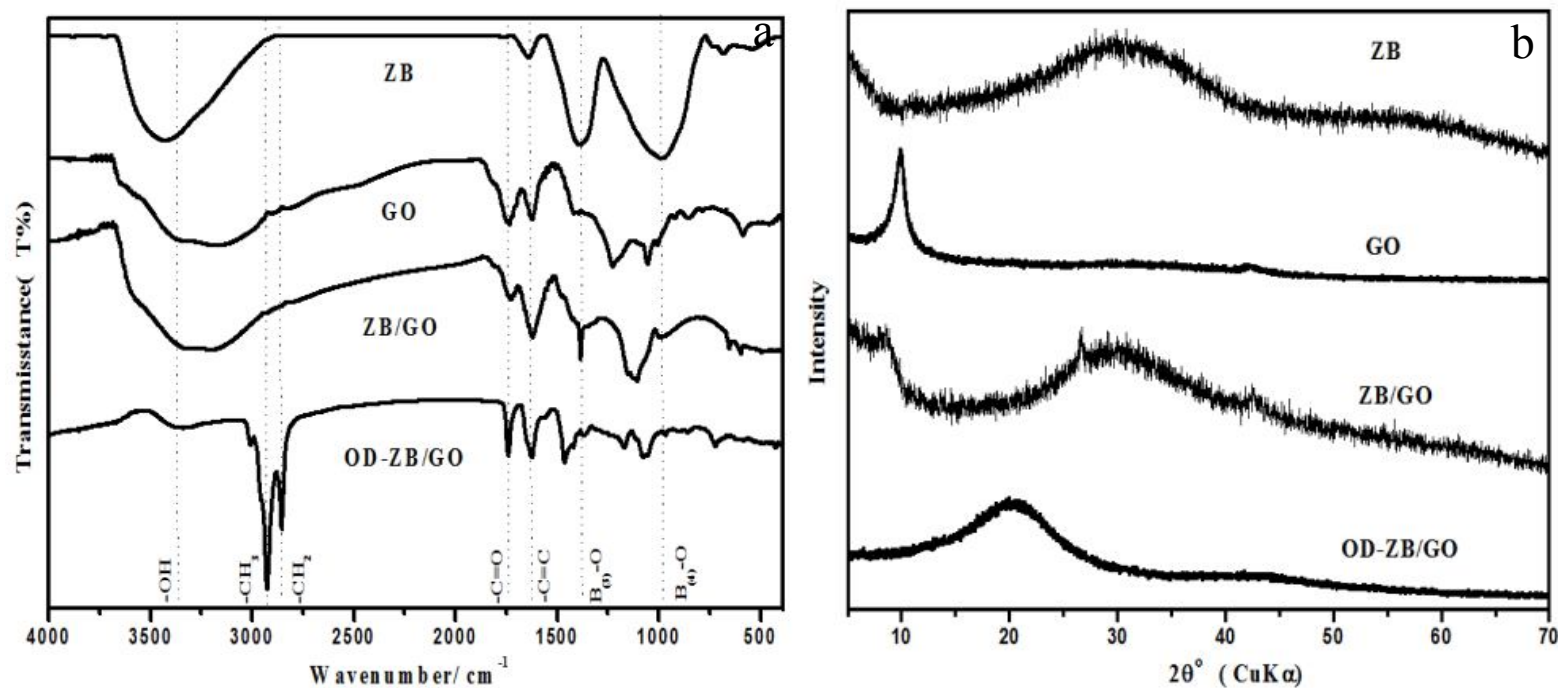


图3-12 OD-ZB/石墨烯复合材料的(a) 红外, (b) XRD表征



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

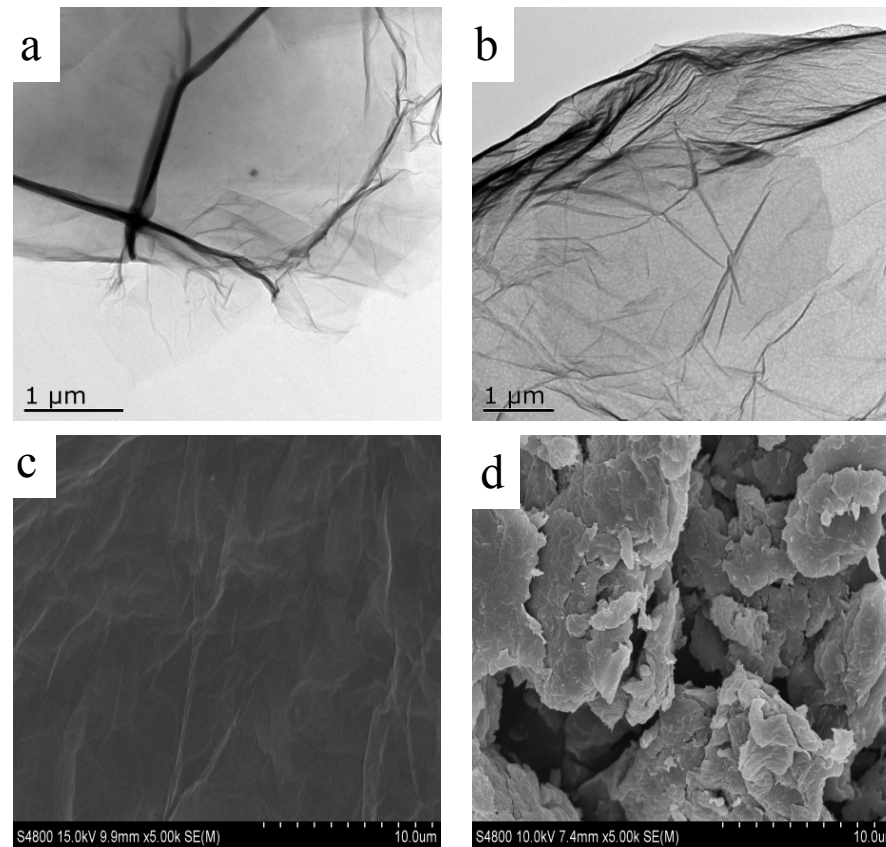


图3-13 TEM照片: (a) 石墨烯和(b) ZB/石墨烯; SEM照片: (c) 石墨烯和(d) ZB/石墨烯



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

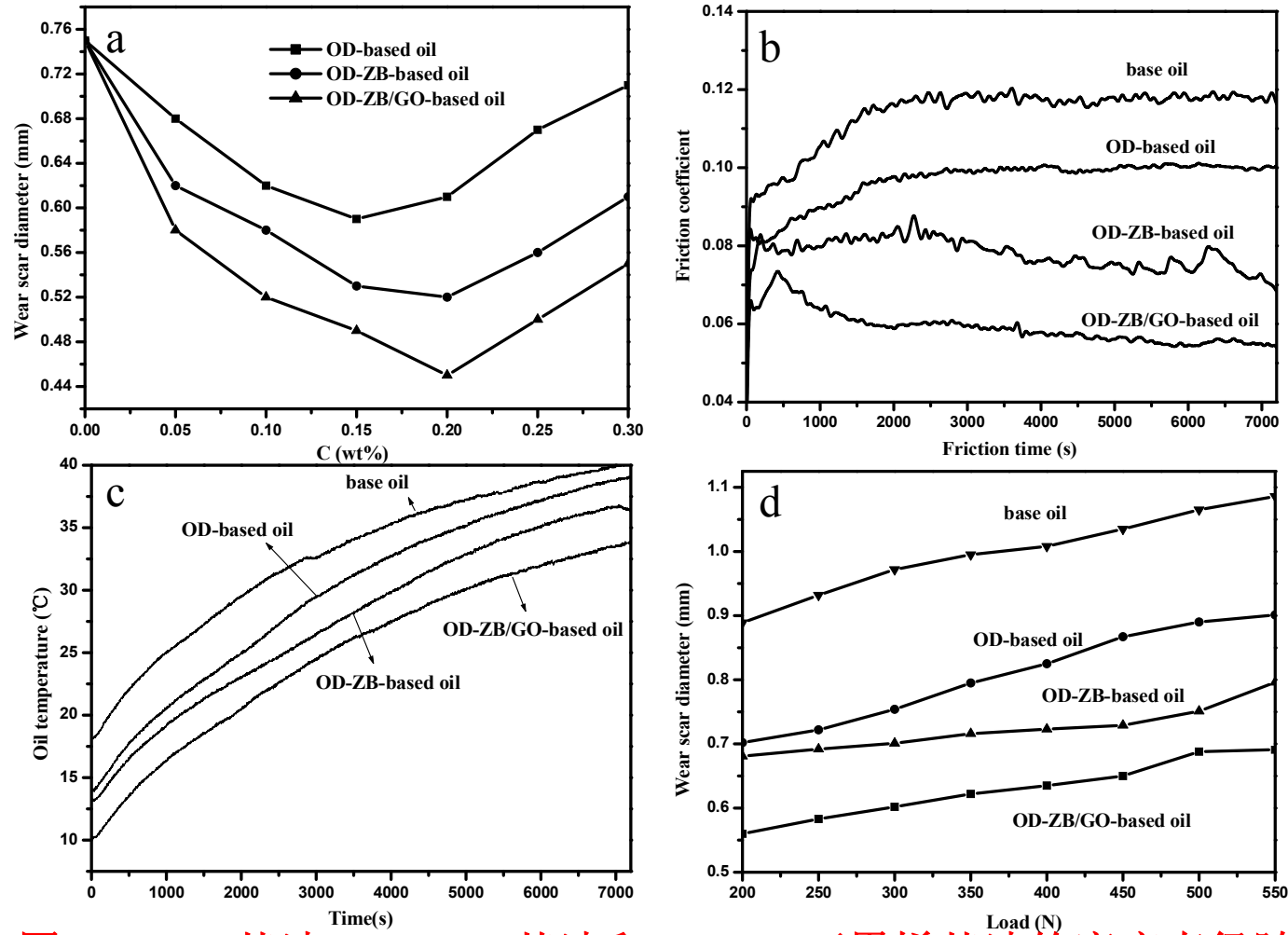


图3-14 OD基油，OD-ZB基油和OD-ZB/石墨烯基油的磨痕直径随添加量变化图(a);不同添加剂下摩擦系数(b)和油温(c)随时间变化图;不同添加剂下磨痕直径随承载力变化曲线(d)



硼酸盐/氧化石墨烯纳米复合润滑材料的研制

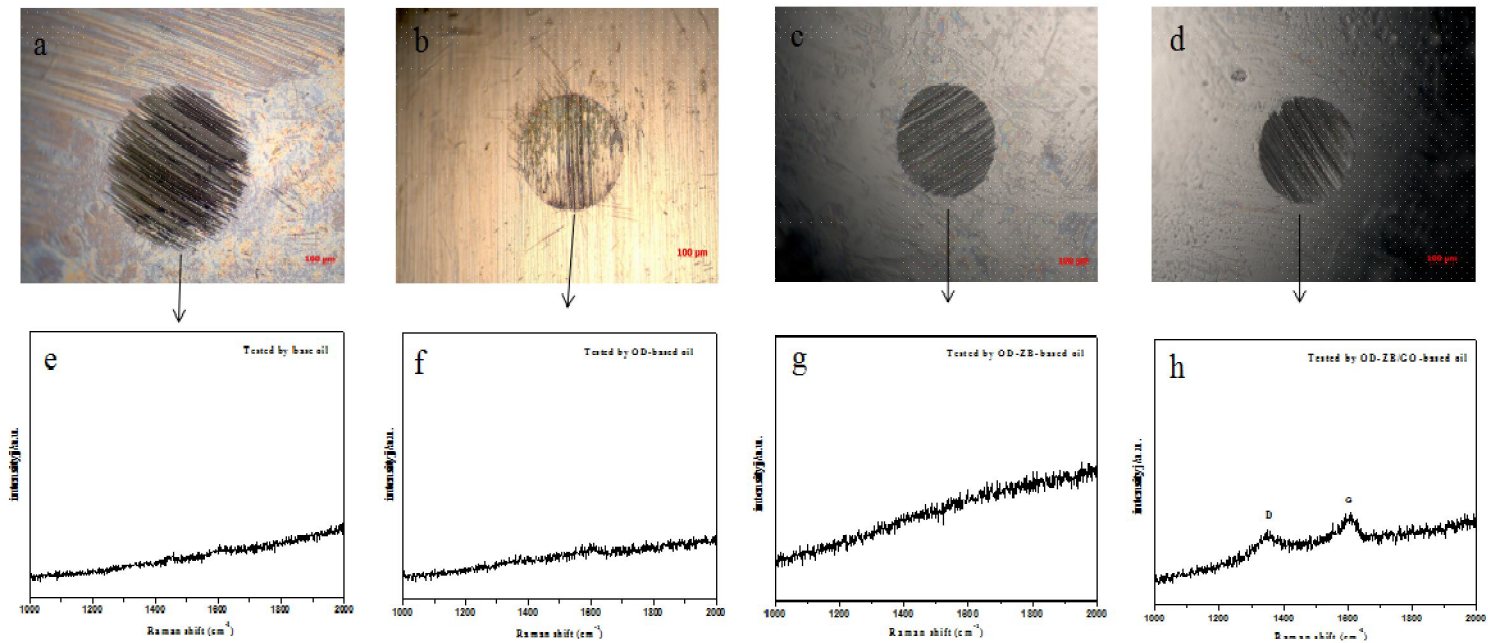


图3-15 不同添加剂的钢球磨斑3D激光显微照片及相对应的拉曼分析



减磨和抗磨性能与有世界上最新相关研究的对比

各类石墨烯复合物添加剂	COF下降	WSD下降
CB/石墨烯	46.6%	37.5%
OA-LB/石墨烯	50.8%	64.3%
OD-ZB/石墨烯	58.2%	67.6%
boehmite/石墨烯	14.0%	28.0%
polyimide/石墨烯	26.3%	21.3%
OA/石墨烯	17.0%	14.0%
octadecylamine/石墨烯	26.0%	9.0%
GO/石墨烯	33.3%	26.2%



研究成果的结论

➤通过探讨机理发现：(1) 越小尺寸的石墨烯纳米片越容易被油带入摩擦界面间，从而防止摩擦面的直接接触，减少磨损；(2) 越小尺寸的石墨烯纳米片其C/O也越低，意味着石墨烯纳米片含有更多的含氧官能团，使其更易分散在油中，而且这些含氧官能团可以更易在钢球面发生摩擦化学反应，使其更易固定在钢球表面。

➤通过对比摩擦学实验数据发现，MGO基油与500 SN基础油相比，磨痕直径和平均摩擦系数分别下降了约42.0 %和38.4 %，证明了MGO纳米片具有出色的减摩抗磨性能。

➤通过分析世界上最新相关研究成果，本研究成果的摩擦系数和磨损率分别下降了约50.0 %和60 %，不仅具有优异的减摩抗磨性能，而且具有超凡的承载力。



中航联合 石墨烯润滑技术研究中心

