

中国科学院第二批开放研究实验室简介(四)

固体润滑开放研究实验室

(Laboratory of Solid Lubrication)

一、隶属单位: 中国科学院兰州化学物理研究所

二、研究方向及其主要内容

主要研究方向是固体润滑的表面化学与表面物理,以及材料的摩擦磨损机理。主要内容为:

1. 表面与界面性能及其对材料摩擦学性能的影响;
2. 表面和界面上的物理和化学作用及其对材料摩擦学性能的影响;
3. 材料的结构和组成及其对摩擦性能的影响;
4. 环境与介质对材料摩擦、磨损、润滑性能的影响;
5. 摩擦学实验手段和研究方法的研究。

三、发展本学科研究的科学意义及应用前景

固体润滑是一门新兴的边缘学科。近 30 年来,为解决高温、高负荷、超高真空、超低温、强辐射和强腐蚀等特殊工作环境中的机械润滑问题,固体润滑研究得到了迅速的发展,并在航空和宇航工业、原子能工业以及民用工业中得到了广泛应用。

随着科学技术的进步,对固体润滑研究提出了更高的要求,例如固体润滑材料的使用条件更加苛刻,使用寿命要求成倍增长,现有的固体润滑材料及其使用方法已经难以满足这方面的要求;另一方面,固体润滑机理是很复杂的,工作温度、压力、环境气氛、接触形式、摩擦偶对的匹配等因素都会明显影响润滑效果,亦即固体润滑材料的润滑特性反映了工作条件及材料的机械、物理和化学性质的综合结果。因此,开展固体润滑的表面化学和表面物理的研究,将具有重大的科学意义和应用前景。例如:

对摩擦、磨损的表面的成份、形貌以及吸附、润湿、界面对润滑作用的影响进行研究,必将丰富表面化学和表面物理的科学内容;对摩擦化学、摩擦生物学的研究,必将促进化学、生物学的发展。

开展固体润滑材料的结构与润滑性能的关系研究,可为提高材料的润滑性能和发展新型固体润滑材料提供理论依据;通过对摩擦性能的动态研究,描述润滑膜起作用及失效的微观过程,能指导和解决摩擦、磨损、润滑方面的难题。

四、目前国内外的研究状况,本实验室的水平 and 特色

在国外,固体润滑的表面化学与表面物理的研究十分活跃,概括地说,有如下几方面。

1. 利用各种现代表面分析手段研究固体表面及体相结构在摩擦磨损过程中的变化规律。如已经发展了与 AES、SEM 联用的原位分析的方法,结论认为,MoS₂ 的表层结构与体相是不同的,其表面间距收缩了约 5%。点阵结构的不同也会影响到润滑作用,有粘着磨损现象的六方结构钴在 417℃ 转化为立方结构的钴,后者的磨损率在同样条件下为前者的 100 倍,这显然与六方结构中变形因素多少有关。

2. 表面层内发生的物理与物理化学过程对润滑性能的影响。已经发现了一些改变表面层特性的效应,如吸附降低表层强度的效应、氧和硫化物对硫化润滑膜的结合效应、选择性转移效应等。对于高聚合物-金属摩擦副,这种变化可以表现为聚合物的分解、游离基的变化及金属聚合物的形成等;对金属-金属摩擦副,表现为合金元素的扩散,硫化物的溶解、聚集和球化,以及石墨的析出等;对某些陶瓷材料也有类似效应。所有这些都会影响到润滑的效果,特别是合金成分在表面以至晶界上的偏析与润滑效果有着密切的关系,对这种规律的深入了解,将为研制高强度自润滑复合材料,提供新途径。

3. 表面热力学因素对固体润滑性能的影响。已证实粘着和转移与材料的内聚能有关,铁的内聚能比硅、锗的都高,因此当相互接触并施加切向力时可以看到硅和锗上的磨痕。表面能会影响到表面流动压力,也早已得到证实。Rebinowicz 最近又提出,粘着磨损系数 K 与界面能及两表面能之和的比值有关。单晶的研究证明,摩擦磨损的各向异性是与表面能的各向异性一致的。PTFE、 $(CF_x)_n$ 的低表面能使其在作为表面涂层时有特殊的性能。

4. 摩擦过程中表面膜的形成、破坏机理及其在固体润滑中的作用。固体润滑作用是与润滑物质在摩擦表面上形成的粘附膜、转移膜分不开的,它的形成及破坏与表面形貌、表面化学活性及表面键合强度有密切关系。Buckley 的研究说明,在铁-硅摩擦界面上有氧存在时,氧在摩擦活化了的表面上形成了保护膜,并参与了润滑剂的摩擦化学作用。在气相或液相有机介质中运转的金属表面上可摩擦形成固态的聚合膜,而以此改善摩擦界面的润滑状态的研究也越来越受到重视。

5. 固体润滑膜组份间的协同效应。该效应可使膜的摩擦学性能大为提高,在高真空条件下, Au-MoS₂ 共溅射膜的耐磨寿命比纯 MoS₂ 溅射膜长两个数量级;在 H₂S 激活的中间层铱上共溅 MoS₂-PTFE,其耐磨寿命与在钢上直接共溅这种膜所获得的数据相比,提高 1000 倍。

6. 固体润滑膜与底材之间的界面关系。要提高膜的耐磨寿命主要取决于膜与底材之间的结合强度,使界面失效降低到最小,而结合强度又取决于两接触面之间的键合强度和界面区的微观结构。另外,关于膜中应力类型(内应力和热应力,压应力和拉应力)和大小对界面状态的影响,界面的结合机理(界面热力学,界面原子结构和界面电子态)也进行了广泛的研究。

7. 环境介质与摩擦磨损表面的相互作用规律。摩擦表面的环境介质对表面的润滑作用有着重要影响,痕迹量的氧气可以改变金属表面抗胶合失效(一种破坏性的润滑失效)的性能;另一个典型例子是水汽和其他有机气体的存在与否可以改变 Si₃N₄ 的润滑性能。这些研究既说明了润滑作用的复杂性,同时也对新技术中材料的应用提供了科学数据。

8. 模拟原始的摩擦磨损现象,归纳出简化而合理的数学模型和物理模型,研究摩擦磨损的起因及润滑作用机理,为更好地控制摩擦磨损提供信息,以促进新材料的开发和应用。

在国内,近 30 多年来已逐步建立起一支较强的摩擦学研究队伍,特别是近几年来,摩擦学研究受到了更多的重视和加强,清华大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、上海交通大学、浙江大学、石油化工科学研究院、一机部上海材料所、武汉材保所、广州机床研究所等单位均有一批研究力量,清华大学还建立了摩擦学中心。中国科学院当前从事与润滑材料研究有关的单位除兰州化物所外主要有上海有机所、上海硅酸盐所、北京化学所、长春应化所、长春光机所、沈阳金属所等,已逐步形成了一支基本的研究队伍。在固体润滑研究方面,处于国内领先地位,其研究力量主要集中在兰州化物所,尤其在固体润滑的表面化学和表面物理的研究方面,

兰州化物所有一定基础。这就为建立固体润滑开放研究实验室创造了条件。

60年代初,在已故科学家陈绍澧同志的主持下,兰州化物所在国内首先开始了固体润滑研究,经过近30年的发展,取得了一定的成绩。总结出了有关固体润滑的转移规律、协同效应、结晶与电子结构规律等,研究水平居国内领先地位,在国际上也有一定影响。先后共取得42项重大科研成果,研制出多种固体润滑系列品种和润滑新工艺,成功地应用于航天、航空、化工、机械、交通等领域,为国民经济和国防建设作出了重要贡献。1982年,固体润滑的研究工作又获得了国家科委颁发的“自然科学三等奖”;有关通讯卫星润滑材料的研究获1985年科学院特别奖;GM型齿轮润滑成膜膏获国家科技进步三等奖;院重大节能项目——GRT型节能油的研究已于1987年通过院级鉴定。

兰州化物所具有比较配套的摩擦磨损润滑研究实验设备和表面分析装置。其中CZU超高真空摩擦试验机、SRV微动摩擦磨损试验机、高温(1000℃)摩擦试验机、动摩擦系数精密测定装置等都是国内比较先进的,尤其是电子能谱原位分析摩擦试验机,是国际第一流设备。

实验室在对外学术交流方面,目前,正在与美国密执安大学摩擦学实验室Ludema教授、瑞士电子和微技术中心Hintermann教授、日本润滑学会、日本无油润滑公司、英国剑桥大学卡文迪什实验室等洽谈有关基础课题的合作研究。同清华大学、石化总公司石油化工科学研究院、兰州炼油厂以及航天、机械等部、委属研究所都有良好的合作关系。

五、开放后近期研究重点

1. 金属表面氧化物的化学组成和结构及其对摩擦学性能的影响;
2. 二硫属过渡金属化合物与对摩金属表面的相互作用;
3. 真空条件下摩擦表面与次表面的原位观察及动态观察的方法;
4. 聚合物共混材料的界面状态、相结构及其与润滑性能的关系;
5. 摩擦表面物质的转移规律;
6. 复合深层中的活性元素对转移膜的形成和失效机理的影响;
7. 表面处理在摩擦学中的作用;
8. 高温下摩擦表面的物理化学变化及其对润滑作用的影响;
9. 润滑材料中添加剂的摩擦化学激活作用及其与固体润滑剂的协同作用;
10. 表面吸附、反应对摩擦学性能的影响;
11. 表面热力学因素对固体润滑性能的影响;
12. 固体润滑表面的电子迁移效应;
13. 特种介质中摩擦表面物理化学变化的研究;
14. 气相沉积膜的界面对摩擦学性能的影响;
15. 计算机快速应答解析剪切应力的方法;
16. 红外检测摩擦表面温度的方法。

六、实验室规模

1. 研究人员17人。其中固定研究人员8人,客座研究人员9人。
2. 技术服务人员7人,其中技术人员5人,管理人员2人。

七、实验室主任:薛群基 学术委员会主任:党鸿辛

八、地址:甘肃省兰州市天水路64号

实验海洋生物开放研究实验室 (Experimental marine Biology Laboratory)

一、隶属单位：中国科学院海洋研究所

二、实验室研究方向及其主要研究内容

研究方向是：开展动物卵子细胞质早期分化过程中核质关系的研究、海藻比较光合作用和光合生物进化的研究、海洋生物实验生态学和优良种质资源的保藏研究，并为进一步开展海洋生物工程的研究积极准备条件。

主要研究内容包括：

1. 利用现代分子生物学技术，了解卵子生长、成熟过程中特异蛋白质合成和运输的途径及卵子细胞质区域性分化出现的经过，在分子基础上研究细胞分化，用基因工程的技术引进外源基因，改良品种。

2. 通过研究不同门类的藻类的两个光系统的结构和功能。比较藻类和其他植物的光能吸收和转化的关系，同时探索提高人工栽培的底栖海藻和微藻的光能利用效率的途径，为建立人工栽培海藻的合理群体结构提供依据，为完成本所牵头的国家“七五”科技攻关项目——藻类蛋白饲料的开发，发展我国的微藻饲料工厂化生产服务。

3. 研究阐明海洋生物繁殖、生长、发育规律及其与环境条件的关系，为海洋生物的人工养殖提供坚实的科学基础；了解海洋环境中不同生物间的相互关系以及人类活动的影响，为保护和开发利用海洋生物资源提供依据；收集、保藏有重要经济价值的海洋生物的种质资源并进行扩种研究，为生产单位不断输送和提供优良的海洋生物品种。

三、发展本学科研究的科学意义及应用前景

海洋是生命的摇篮和早期生物进化的主要场所，海洋生物具有原始性和多样性的特点，为研究生物的个体发育规律和生物学的重大理论问题提供了良好的研究对象，特别是文昌鱼、海鞘等，它们仅生存在海洋中，有的被誉为活化石，是研究生物进化的重要种类。

胚胎分化是生命现象中的一个极为重要的过程，卵子早期分化研究是重要基础理论问题，它涉及信息的传递、表达以及基因的调控。它也是恶性肿瘤形成的基本机理之一，在制服癌症的斗争中有着重要的作用。以往，由于技术上的限制，许多问题得不到解决，常引起争论，如核质的相互作用和影响，遗传特征的表达，先成渐成的争论等。应用现代分子生物学的技术就可以在比较深入的水平上逐渐求得一致的意见。

藻类在原始海洋中的出现是生命进化的转折点，藻类光合作用放出的氧改变了大气的性质，大气从还原性转变成氧化性，使能量利用效率高的喜氧生物在海洋出现，发现了从原核到真核的进化，臭氧屏蔽层的出现为生物向浅水和海洋表层发展，最终为水生进化到陆生创造了条件。因此，研究藻类光合作用与光合生物进化的关系对阐明生物进化的主要步骤和途径有着重要意义。另一方面，现在地球上的陆生植物仅有苔藓、蕨类、裸子和被子植物四门，而且从光合作用的角度看，它们的色素系统和光合器的结构同属一个类型，与此相反现在海洋中却存

在着十一个门的藻类,并分属于三个进化途径上的三个类群。有多种类型的色素系统和处于不同进化水平的各种类型的光合器,海洋中不存在着原核的兰藻和原绿藻,通过不同类的藻类的比较研究,对于阐明光合作用的结构和功能的演变过程,以及各门植物的光合作用的特性和机理均有重要意义。

在水产养殖事业中如何改良品种,培育新良种,又如何保持这个优势,是个重要问题。中国的海藻栽培业是目前世界上发展最快、规模最大的,所提供的栽培海藻产量占世界栽培总量约 61%;并在海藻的生理、生态、生长发育调控、遗传育种和综合性生产技术措施等方面有相当好的基础,但是在海藻种质资源及保藏方面至今尚未建立起一个完整的体系,一批经过多年的选择和培育的优良海藻种类和品系正面临退化和消失的危险。通过本研究将使已有的海藻种质资源得到良好的保存;并进一步收集、分离纯化和培养更多的优良海藻种质资源,为深入开展藻类的细胞工程和基因工程打下基础。同时还将根据不同地区的不同需要,源源不断的为海藻人工栽培事业输送和提供优良的栽培海藻种类和品系,在生产上发挥出良好的经济效益和社会效益,其应用前景十分广阔。

四、目前国内外的研究状况,本实验室的水平、特色与研究成果

国内外研究低等脊椎动物卵子细胞质早期分化中的核质关系,多以文昌鱼为材料。它是无脊椎动物向脊椎动物进化的桥梁,卵子分化特别早。各个部分极为明确,是研究胚胎的典型材料。但这种鱼产卵季节短,又难以在人工控制条件下产卵。目前本实验室是世界上唯一能控制文昌鱼在室内较长时间大量产卵的地方。产卵期也由外海的数天延长到了两个月左右,因此收到了美国、挪威、日本、瑞典等国,上海、北京等地的专家学者来室工作。30 多年来该室对卵子分裂球的发育能力,分裂球之间的相互影响等进行了研究工作。经过一系列的实验对卵子细胞质的分化提出了与西方学者不同的见解,引起了同行的重视。已与美国 Woods Hole 海洋生物实验室的 Whittaker 教授有协作关系,协同解决海鞘、文昌鱼早期分化中肌肉的分化问题。还接受了加拿大多伦多大学的要求,与之协作进行抗冻蛋白基因转移的工作。

自本世纪 40 年代以来,光合作用研究的重要领域是机理研究,国内一些主要研究单位,也集中力量以少数种类的高等植物为主要材料,研究光合作用的两个光系统、电子传递、光合磷酸化和碳代谢的机理。海洋研究所自 60 年代开辟比较光合作用研究的新领域,着手研究不同门类的藻类的两个光系统和叶绿体超微结构的差别及其演变过程,探索光合器的结构和功能以及藻类植物的进化过程,具有自己的特色。

由于有坚实的藻类生物学基础,研究进展较快。根据我国和北美大量红藻的分析结果,提出了关于 R-红藻蛋白的两种光谱类型及其进化过程的新见解。还在管藻目海藻中发现了一类新的光合作用捕光色素——蛋白质复合物,并对其进化意义提出看法。西沙群岛原绿藻的发现及其进化地位的研究被我国生物学界认为是进化论研究的重要成果,受到国内外同行的重视。

海洋植物(海藻)实验生态学研究是从 50 年代初开始的,通过深入系统地研究海带、紫菜的繁殖和发育生长规律及其与光线水温和营养条件的关系,提出并逐步完善了一系列海带紫菜人工栽培的方法和技术,成功地把冷水性的海带南移到亚热带的福建沿海栽培,在北方缺氮海区实现了海藻的施肥栽培,比日本提前 10 年研制成功海带幼苗的人工低温渡夏理论和生产工艺,极大地推动了我国藻类生产事业,建立起了世界上最大的海藻工业。海洋动物的实验生

态学研究开始于 60 年代初,并首次培育出藤壶的幼体,中国对虾的仔虾,一些经济鱼类牙鲆、条鲷、梭鱼、黑鲷、兰点马鲛等的仔鱼和幼鱼也相继培养成功,当时处于国际先进行列。70 年代后在鱼、虾的人工养殖、扇贝、贻贝和盘鲍人工育苗和养成方面,都研究和创造了可行的技术与方法。通过对有害海洋动物的实验生态学研究,提出了有效的防治方法。这些成果有力地推动了我国水产养殖生产事业的发展,并形成了我国科研的特色,受到国际上的瞩目。国际交流和合作活动日益发展。

根据已掌握的资料,到目前为止。只有日本(协和发酵株式会社)已经正式建立起了紫菜种质资源的培养、保存和为生产部门提供纯系紫菜苗种的完整的研究和应用体系,采用的是紫菜自由丝状体的培养技术。国内至今尚未建立类似的体系,中国科学院海洋研究所是国内最早开展海藻遗传育种研究的单位,主要围绕着培育海带新品种开展了实验室性质的海带种质资源的保存工作。已经成功地选育、保存 11 个海带品系,7 个紫菜品系,其中一部分已在生产上大面积推广。海湾扇贝和麒麟菜的引种研究也获得了显著进展。

五、近期研究重点

1. 在发育生物学方面:

- (1) 海鞘文昌鱼卵子细胞质开始区域性分化的时期,在这过程中变化的机理;
- (2) 外界因素或细胞骨架与区域性分化的关系;
- (3) 文昌鱼各个时期的卵子内原肌球蛋白 mRNA 的分布;
- (4) 外源基因(抗冻蛋白基因)的移植。

2. 在比较光合作用方面:

(1) 通过研究不同门类的藻类的两个光系的结构和功能,比较藻类和其他植物的光能吸收和转化的特性,追溯藻类光合作用和光合生物进化的关系。

(2) 探索提高人工栽培的底栖海藻和微藻的光能利用效率的途径,为建立人工栽培海藻的合理群体结构提供理论依据,为完成本所牵头的国家“七五”科技攻关项目——藻类蛋白饲料的开发,发展我国的微饲料工厂化生产服务。

3. 在海洋生物实验生态与种质资源保藏方面:

(1) 对国内已有的海带、紫菜的优良种质资源进行收集和鉴定,纯化和保存;研究建立起占用室间少,效率高和保存时间长的现代化海藻种质资源保藏室,并通过国际交流,由国外引进优良种类和品系;研究解决由少量纯系种质迅速扩大培养的方法,使建立起来的保藏室同时具备向生产单位输送和供应所需要的优良种质的能力。

(2) 对重要经济海洋动植物在人工培养和自然条件下的生理生态习性以及周围环境条件的关系,人类活动对它们造成的影响等开展系统的基础性研究,为我国重要经济海洋生物的合理开发利用,资源的保护、增殖和人工养殖打下坚实的科学基础。

六、实验室规模

1. 研究人员总数 23 人。其中固定研究人员 11 人,客座研究人员 12 人。
2. 技术服务人员 10 人,其中技术人员 8 人,管理人员 2 人。

七、实验室主任: 曾呈奎 学术委员会主任: 刘瑞玉

八、地址: 青岛市南海路 7 号。