

自润滑复合材料研究进展及船闸工程中的应用

孟德¹, 戴振华², 蔡建国³, 张慧中³

(1. 江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏南京 210001; 2. 中设设计股份有限公司, 江苏南京 210014;
3. 东南大学, 江苏南京 210096)

摘要: 船闸闸、阀门运转摩擦部件在频繁高负荷运转过程中, 易发生磨损现象, 影响船闸安全高效运行。本文介绍了自润滑复合材料的研究进展, 并从固体润滑剂工作机理角度出发, 阐述了金属基自润滑复合材料摩擦磨损性能的主要影响因素, 根据船闸工程的应用情况及问题分析, 提出了进一步的研究方向。

关键词: 自润滑复合材料; 运转摩擦副; 摩擦磨损; 铜基镶嵌自润滑轴承

中图分类号: U641.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 05—0051—03

船闸工程是集水工建筑物、金属结构、启闭机械、电气系统、房屋建筑和景观绿化等多专业的通航枢纽工程。其中, 船闸闸、阀门及启闭机械是控制闸室水位升降和保证船舶(队)安全顺利过闸的重要设备, 在船闸系统中发挥着关键作用。根据江苏省现役船闸历年检修情况来看, 船闸闸、阀中的运动摩擦部件由于运转频繁、荷载复杂、工作环境较差等原因, 易发生磨损。而研究表明, 对运动摩擦副进行可靠的润滑, 可提高运转件的耐磨性能, 延长其使用寿命^[1]。另一方面, 随着近年来材料领域的发展, 自润滑材料已在国内外大型船闸顶、底枢中广泛应用, 取得了较好的使用效果。

本文将重点介绍国内外在自润滑复合材料领域的研究进展和固体润滑剂的工作原理, 同时对船闸工程中自润滑轴承的应用情况及存在的问题进行阐述, 为进一步的研究及推广应用提供借鉴与参考。

1 自润滑复合材料的研究进展

自润滑材料是指那些本身具有良好的减摩和耐磨性能的固体材料, 可用来在两个相对运动表面间减少摩擦与磨损, 主要包括金属(基)自润滑材料、非金属(基)自润滑材料、高分子(基)自润滑材料等三大类^[2]。

工业自润滑材料起源于近代的 20 世纪 40 年代, 当时出现了使用磷酸粘结的石墨膜作为自润滑材料。在 50 年代, 由于工业发展的需要, 尤其是空间工业的发展, 出现了使用喷涂、刷涂或浸涂的成膜方法, 例如化学气相沉积、真空气相沉积、等离子喷涂等工艺, 将二硫化钼、石墨、氧化铋、聚酰亚胺树脂等以有机膜的形式复合在工件表面形成自润滑层。其中, 金属基自润滑复合材料是材料科学研究领域的一个重要发展方向, 其在特殊

使用条件下具有的摩擦学特性而受到人们的广泛关注。

金属基自润滑复合材料是固体润滑剂作为组元被加入到金属基体中形成的复合材料, 兼有金属基体的特性和固体润滑剂优良的摩擦学特性^[3]。金属基自润滑复合材料的摩擦磨损性能一般具有这样的规律, 随着固体润滑剂颗粒含量的增大复合材料的摩擦系数都呈下降趋势, 到一定含量后, 达到稳定值, 不再变化^[4]。而复合材料的磨损率随固体润滑剂颗粒含量的增大, 先减小后增大。一般认为, 这是由于金属基自润滑复合材料在磨损过程中, 形成了一层稳定的润滑膜, 因此复合材料/偶件之间的摩擦变成了固体润滑剂薄膜之间的磨损, 因此摩擦系数下降^[5]; 而磨损率的这种变化规律是由于固体润滑剂颗粒相强度较低, 它的加入导致了复合材料整体强度与硬度的下降^[6]。一般情况下, 固体润滑剂颗粒越大, 以其复合的材料磨损速率越低^[7-8]。因此, 就固体润滑剂体积分数比较高的金属基自润滑复合材料而言, 其磨损速率通常比较低且稳定^[9]。而当固体润滑剂的体积分数给定后, 复合材料的磨损率则是随着接触力的增大而上升, 随着滑动速度的增大而降低。

国内外近年来对于自润滑复合材料的研究主要围绕机理特性、润滑剂材料、合成方式等方面开展, 取得了丰富的研究成果, 本文不再一一赘述。研究表明, 金属基自润滑复合材料的摩擦学特性取决于摩擦过程中其所含固体润滑剂的析出和弥散分布, 固体润滑剂的含量、粒度和能否在对摩表面中间发生转移形成连续而厚度适当的润滑膜^[10]。

2 固体润滑剂的工作原理

金属基自润滑复合材料的摩擦磨损性能取决于以

下几个方面：①基体合金的组织成分；②固体润滑剂的性质、颗粒尺寸、形状及其在复合材料中的体积分数；③固体润滑剂在复合材料中的分布状态和界面的性质和特征；④合成方式在一定条件下也影响金属基自润滑复合材料的摩擦磨损性能；⑤摩擦形成的润滑膜的性质、厚度和分布状态；⑥润滑膜与基体的结合强度^[11]。

目前，研究中选用的润滑剂种类多样，部分取得了较好的试验效果。其中，石墨作为常用的自润滑材料，得到了最为广泛的研究与应用。复合材料中的石墨以机械混合物形式存在，与基体结合比较牢固，而在摩擦过程中石墨先脱落，在摩擦副表面形成一层固体润滑剂薄膜，起减摩润滑作用，构成了理想的轴承合金组织。

在船闸工程中，闸、阀门主要运转部件通过精加工达到较高的表面粗糙度要求，但从微观上来看，对磨件（轴和轴承）的表面仍表现为起伏不平。在摩擦副发生相对运动时，较硬的对磨件（蘑菇头或轴类）“磨损”较软的轴承（球瓦衬垫或轴套）表面，使轴承内更软的石墨等自润滑颗粒被切割或挤压涂覆于对磨面，形成一层连续的固体自润滑膜；随着摩擦的继续，基体中的自润滑颗粒源源不断地被磨出，将轴承基体与配对轴隔离开，形成一个长期稳定的自润滑免维护摩擦副。

3 船闸工程中自润滑材料的应用

船闸不同部位运转件其受力特点及磨损类型也不尽相同。闸门底枢蘑菇头及蘑菇头帽为转动摩擦副，由于表面粗糙度、配合精度等因素的限制，表面实际接触往往是不连续的，局部压应力较高，在重载和摩擦产生的高温条件下，接触点局部发生软化和熔化而产生“热粘着”，主要表现为粘着磨损，并伴随着磨料磨损；轴与轴套为滑动摩擦副，由于材料之间硬度、许用接触应力存在着差异性，在未有效润滑条件下，主要表现为粘着磨损加磨料磨损；阀门主滚轮与轨道镶面板之间主要为滚动摩擦，同时存在着滑动摩擦和冲击摩擦，其摩擦形式及磨损机理均较复杂，既存在粘着磨损也存在磨料磨损，甚至还包括腐蚀磨损和表面疲劳磨损^[12]。

为延缓船闸运转部件的磨损，往往需要对重要的运动摩擦副进行润滑，以延长零件的使用寿命。传统的润滑方式是在船闸各闸首的启闭机机房内设置多点润滑泵，通过润滑管路集中向闸门顶、底枢及启闭机推拉座等部位注入润滑油来实现摩擦表面的润滑。根据船闸实

际运行情况看，使用一段时间之后由于润滑油板结、油管堵塞、破损等问题，很难保证长期的润滑效果。某些部位如阀门主滚轮轴套由于空间及位置的影响，也较难实现加油润滑。图1为集中润滑系统的图片。

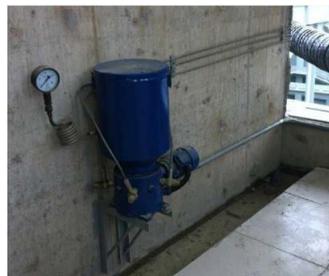


图1 集中润滑系统

因此，近年来我国大中型船闸建设中，自润滑材料已经得到了较为广泛的应用。目前，使用最为普遍的是铜基镶嵌自润滑轴承，其基体多采用高强度铜合金，具有承载能力高（屈服强度可达到500MPa及以上）、耐磨损（固溶硬度达到180HB及以上），固体润滑剂大多采用天然石墨，具有摩擦系数低，使用寿命长等诸多优点，尤其适用于低速、重载条件下的转动、摆动和沿轴向往复滑动。图2为某船闸所采用的自润滑轴承的图片。



图2 铜基镶嵌自润滑轴承

目前国内市场自润滑轴承产品众多，质量参差不齐，船闸运转件所选用的自润滑轴承对润滑剂材料与特性、加工精度、装配工艺等要求较高，润滑剂的分布方式也会对轴承受力和润滑效果产生影响，有待进一步分析与研究^[12]。

4 结论

本文简要介绍了自润滑复合材料的研究进展，对广泛应用的石墨固体润滑剂的工作原理进行了阐述，进一步分析了船闸工程中铜基镶嵌自润滑轴承的应用情况及存在的问题，可供相关设计及科研人员借鉴参考。

基于 SWOT-PEST 模型的江苏省港口物流发展战略研究

唐柯楠

(南京林业大学经济管理学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 港口物流是江苏省“十四五”规划中的重点发展对象之一, 为了探究其在新形势下的发展思路, 本文通过 SWOT-PEST 模型, 从政策、经济、社会、技术方面分析江苏省港口物流发展的优势、劣势、机会以及威胁, 并提出响应政策规划优化实施方案、推动省内港口协调合作、加强引进与培养港口物流专业人才、推动技术赋能港口物流的战略建议, 以期江苏省港口物流进一步发展提供参考。

关键词: 港口物流; SWOT-PEST 模型; 发展战略

中图分类号: [U6-9] **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7973 (2022) 05-0053-03

近年来, 在国家的重视下, 江苏省沿海沿江地区的经济发展多次被提上战略高度, 南通、盐城、连云港这三个江苏沿海城市, 以及苏州、南京、无锡等江苏沿江城市的地区生产总值持续快速增长, 其港口建设也稳步发展起来。依托经济全球化的潮流、国际交通运输的发达, 江苏省沿海沿江港口物流日益繁荣, 并辐射至周围地区, 与腹地经济协同发展^[1]。如今《江苏省“十四五”现代物流业发展规划》的出台, 给江苏省物流提出了新的发展目标, 而港口物流作为其重要的组成部分, 如何实现进一步发展意义重大, 值得深入研究。

1 SWOT-PEST 方法介绍

SWOT 分析法, 是对一个主体内部条件和外部环境做出综合性分析的一种方法, 这里 S (Strengths) 指优势、W (Weaknesses) 指劣势、O (Opportunities) 指机会、T (Threats) 指威胁。PEST 分析法, 是对一个主体所在的宏观环境进行分析的一种方法, 这里 P (Political factors) 指政策因素, E (Economic factors) 指经济因素, S (Social factors) 指社会因素, T (Technological factors) 指技术因素。

SWOT-PEST 模型是将上述两种分析方法进行整

参考文献:

- [1] 王建民, 沈伯明, 夏炜. 船闸运转件磨损试验报告 [D]. 江苏省交通运输厅航道局, 2001.
- [2] 黄志. 耐磨热固性树脂基复合涂层的研制及其摩擦学性能研究 [D]. 浙江大学, 2002.
- [3] 李勇帅. 自润滑复合材料的制备和性能研究 [D]. 华北理工大学, 2019.
- [4] 张伟. 铜基自润滑复合材料的制备及摩擦磨损性能研究 [D]. 扬州大学, 2019.
- [5] 申泽慧, 孙荣禄. 自润滑复合材料中不同组分之间的协同作用 [J]. 热加工工艺, 2015, 44(04): 25-30.
- [6] Rohatgi PK., Liu YB., Barr TH.. Tribological behavior and surface analysis of tribodeformed Al Alloy-50 Pet graphite particle composites, Metallurgical & Materials Transactions A, 1991(22): 1435-1441.
- [7] 刘泊天, 高鸿, 郑军等. 两种典型聚合物基固体自润

滑材料的摩擦磨损性能 [J]. 理化检验 (物理分册), 2018, 54(12): 882-886.

[8] Tsuya Y., Shimara H., Umeda KA.. Study of properties of copper arid copper base self-lubricating composites. Wear, 1972, 22: 143-162.

[9] Choo WK., Hong CH.. A study on wear characteristics of graphite dispersed Al-Si alloys. Journal of The Korean Institute of Metals and Materials, 1979(17): 474-483.

[10] 董利民, 张宝清, 田杰模等. 陶瓷石墨复合材料的摩擦磨损性能研究 [J]. 摩擦学学报, 1997 (12): 363-366.

[11] Vilar R.. Laser cladding [J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1999, 11(2): 385-392.

[12] 刘步景, 戴振华, 蔡建国, 张慧中. 船闸运转件耐久性提升方法探讨 [J]. 中国水运, 2020 (10): 57-58.