

新型耐磨涂层在火力发电厂高压阀门上的应用研究

陈永波

江苏阚山发电有限公司, 江苏 徐州 221134

DOI:10.61369/EPTSM.2025010012

摘要： 本研究深入聚焦于新型耐磨涂层在火力发电厂高压阀门领域的创新性应用。在对新型耐磨涂层的性能剖析过程中，详细探究其硬度、结合强度、耐高温及耐腐蚀性等关键性能指标。通过实验测试与理论分析，明确该涂层凭借独特的材料体系和微观结构，在硬度等方面远超传统涂层。在涂覆工艺探讨方面，全面研究了物理气相沉积、化学气相沉积、热喷涂等多种先进工艺，阐述不同工艺对涂层性能及质量的影响。同时，将新型耐磨涂层与传统涂层进行多维度对比，涵盖耐磨性能、使用寿命、成本效益等。研究结果清晰表明，新型耐磨涂层在关键性能指标上表现卓越，能显著提高高压阀门的耐磨性能，有效延长其使用寿命，为火力发电厂高压阀门实现高效稳定运行，提供了切实可行且极具潜力的全新解决方案。

关键词： 新型耐磨涂层；火力发电厂；高压阀门；应用研究

Research on the Application of A New Wear-resistant Coating on High-pressure Valves in Thermal Power Plants

Chen Yongbo

Jiangsu Kanshan Power Generation Co., Ltd. Xuzhou, Jiangsu 221134

Abstract： This study focuses on the innovative application of a new wear-resistant coating in the field of high-pressure valves in thermal power plants. In the process of analyzing the performance of the new wear-resistant coating, key performance indicators such as hardness, bonding strength, high temperature resistance, and corrosion resistance are explored in detail. Through experimental testing and theoretical analysis, it is clear that the coating, with its unique material system and microstructure, far exceeds traditional coatings in terms of hardness. In terms of coating process exploration, various advanced processes such as physical vapor deposition, chemical vapor deposition, and thermal spraying are comprehensively studied, explaining the impact of different processes on coating performance and quality. At the same time, a multi-dimensional comparison between the new wear-resistant coating and traditional coatings is conducted, covering wear resistance, service life, and cost-effectiveness. The research results clearly show that the new wear-resistant coating excels in key performance indicators, can significantly improve the wear resistance of high-pressure valves, and effectively extend their service life. It provides a practical and potential new solution for efficient and stable operation of high-pressure valves in thermal power plants.

Keywords： new wear-resistant coating; thermal power plant; high-pressure valve; applied research

火力发电是我国电力供应的重要支柱。其中，高压阀门负责蒸汽、水及煤粉等介质的输送与控制，是关键部件。但实际运行中，其面临高温、高压及含固体颗粒介质冲刷的恶劣环境，密封面、阀杆易磨损。磨损不仅引发阀门泄漏，降低设备运行效率，严重时还会造成安全事故与巨大经济损失。传统防护措施应对乏力，开发高性能防护技术刻不容缓。新型耐磨涂层凭借优异的耐磨、耐腐蚀性能，为解决高压阀门磨损问题提供新途径。本文深入研究其在高压阀门上的应用，为提升发电设备运行稳定性与经济性提供支撑。

一、新型耐磨涂层的性能分析

（一）硬度与耐磨性

硬度是衡量涂层耐磨性能的关键指标之一。新型耐磨涂层通

常采用先进的材料体系和制备工艺，使其具有极高的硬度。例如，采用碳化物、氮化物等硬质相作为增强相，通过合理的配比和微观结构设计，涂层的硬度可达到传统涂层的数倍甚至更高。高硬度使得涂层能够有效抵抗介质中固体颗粒的冲刷和切削作

用,显著降低磨损速率。研究表明,在模拟火力发电厂高压阀门工作环境的磨损试验中,新型耐磨涂层的磨损量仅为传统涂层的1/3-1/5,充分证明了其卓越的耐磨性能。

（二）结合强度

涂层与基体之间的结合强度直接影响涂层的使用寿命和防护效果。新型耐磨涂层通过优化涂层与基体之间的界面结构,采用过渡层设计以及先进的表面预处理工艺,极大地提高了涂层与基体的结合强度。如采用物理气相沉积(PVD)或化学气相沉积(CVD)等方法制备涂层时,在涂层与基体之间引入成分和结构逐渐变化的过渡层,可有效缓解涂层与基体因热膨胀系数差异而产生的内应力,增强结合力。此外,对基体表面进行喷砂、抛光等预处理,增加表面粗糙度和清洁度,也有助于提高涂层的附着力。实验测试显示,新型耐磨涂层与基体的结合强度可达50-100MPa,远高于传统涂层的结合强度,确保了涂层在长期复杂工况下不易脱落^[1]。

（三）耐高温性能

火力发电厂高压阀门工作温度通常较高,因此涂层的耐高温性能至关重要。新型耐磨涂层选用耐高温的材料,如陶瓷材料、金属间化合物等,这些材料具有良好的热稳定性和抗氧化性能。在高温环境下,涂层能够形成致密的氧化膜,阻止氧气进一步向内扩散,从而保护基体不被氧化和腐蚀。同时,涂层的高温力学性能保持良好,不会因温度升高而导致硬度和强度大幅下降。研究发现,新型耐磨涂层在500-800℃的高温环境下,仍能保持其大部分的耐磨和力学性能,满足了高压阀门在高温工况下的使用要求。

（四）耐腐蚀性

高压阀门输送的介质中往往含有腐蚀性成分,如二氧化硫、氮氧化物等,对阀门表面造成腐蚀损伤。新型耐磨涂层具备良好的耐腐蚀性,一方面,涂层的致密结构能够有效阻挡腐蚀性介质与基体接触,减少腐蚀反应的发生;另一方面,涂层材料本身具有一定的抗腐蚀能力。例如,含有铬、镍等合金元素的涂层,在腐蚀介质中能够形成钝化膜,提高涂层的耐腐蚀性能。在模拟腐蚀环境的实验中,新型耐磨涂层经过长时间浸泡后,表面仅有轻微腐蚀迹象,而未涂覆涂层或采用传统涂层的试样则出现了明显的腐蚀坑和腐蚀裂纹,表明新型耐磨涂层能为高压阀门提供可靠的耐腐蚀防护^[2]。

二、新型耐磨涂层的涂覆工艺

（一）物理气相沉积(PVD)

物理气相沉积是一种在真空环境下,通过物理方法将涂层材料蒸发或溅射出来,并在基体表面沉积形成涂层的技术。常见的PVD方法包括磁控溅射、离子镀等。在高压阀门新型耐磨涂层制备中,磁控溅射技术应用较为广泛。其原理是利用磁场约束电子运动,提高气体电离效率,使靶材原子在离子轰击下溅射出来并沉积在基体表面。该方法制备的涂层具有纯度高、致密度好、涂层厚度均匀等优点。通过精确控制溅射工艺参数,如溅射功率、

气压、温度等,可以制备出不同成分和结构的耐磨涂层。例如,在制备氮化钛(TiN)涂层时,调整氮气与氩气的比例以及溅射功率,可获得不同氮含量和晶体结构的TiN涂层,从而优化涂层的性能^[3]。

（二）化学气相沉积(CVD)

化学气相沉积是利用气态的先驱体化合物在高温下发生化学反应,在基体表面沉积形成涂层的过程。与PVD相比,CVD能够在复杂形状的基体表面形成均匀的涂层,且涂层与基体的结合强度较高。在高压阀门涂层制备中,低压化学气相沉积(LPCVD)和等离子体增强化学气相沉积(PECVD)应用较多。LPCVD通过降低反应气压,减少气体分子间的碰撞,提高涂层的沉积速率和质量。PECVD则利用等离子体增强化学反应,降低反应温度,可在对温度敏感的基体材料上制备涂层。例如,采用CVD方法制备碳化硅(SiC)涂层时,以硅烷和甲烷等为气源,在高温和特定的反应条件下,硅烷和甲烷分解产生的硅和碳在基体表面沉积形成SiC涂层。该涂层具有优异的耐磨、耐高温和耐腐蚀性能。

（三）热喷涂

热喷涂是将涂层材料加热至熔融或半熔融状态,通过高速气流将其雾化并喷射到基体表面,形成涂层的技术。热喷涂方法包括火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等。其中,等离子喷涂由于其焰流温度高、速度快,能够喷涂多种难熔材料,在高压阀门新型耐磨涂层制备中具有独特优势。在等离子喷涂过程中,将陶瓷、金属陶瓷等涂层材料送入等离子焰流中,使其迅速熔化并高速撞击基体表面,形成致密的涂层。该方法制备的涂层厚度较大,可根据实际需求进行调整,且涂层的结合强度和耐磨性能良好^[4]。例如,采用等离子喷涂制备氧化铝(Al₂O₃)涂层时,通过优化喷涂工艺参数,如等离子功率、喷涂距离、送粉速率等,可获得孔隙率低、硬度高的Al₂O₃涂层,有效提高高压阀门的耐磨性能。

三、新型耐磨涂层与传统涂层的对比

（一）耐磨性能对比

传统的电镀硬铬涂层,凭借铬金属本身的硬度及电镀工艺形成的相对致密结构,在常规工况下确实能够在一定程度上提高高压阀门的耐磨性能。然而,当置身于火力发电厂高温、高压且伴有固体颗粒介质冲刷的恶劣环境时,其局限性便暴露无遗。电镀硬铬涂层硬度范围通常在800-1200HV,面对具有强大冲击力与切削力的介质,难以有效抵御。与之形成鲜明对比的是新型碳氮化钛(TiCN)涂层,其独特的碳氮金属化合物结构,使其硬度飙升至2500-3500HV。在模拟火力发电厂高压阀门实际工作环境的磨损试验中,严苛的条件下,电镀硬铬涂层在短时间内便出现大量磨损,磨损量远超TiCN涂层。长时间测试后,电镀硬铬涂层表面划痕交错、涂层剥落严重,而TiCN涂层表面仅仅是轻微磨损,充分彰显出新型耐磨涂层卓越的耐磨性能^[5]。

（二）使用寿命对比

新型耐磨涂层因其具备更高的硬度,能有效抵抗介质的摩擦损耗,同时其出色的结合强度保证了在复杂工况下涂层与基体紧

密相连，不易脱落，加之良好的综合性能，使其在高压阀门上的使用寿命显著优于传统涂层。以火力发电厂常见的某型号高压截止阀为例，当采用传统涂层时，在阀门运行仅仅6-8个月期间，由于频繁受到高温蒸汽、高压液体以及夹杂固体颗粒的冲击，密封面和阀杆这些关键部位迅速出现明显磨损，导致阀门密封性失效，发生泄漏现象，不得不进行维修甚至更换，这不仅耗费大量人力物力，还造成了生产停滞。但当采用新型耐磨涂层后，该阀门能够稳定运行18-24个月之久。在这期间，涂层持续为阀门提供可靠防护，极大地减少了设备的维护次数，缩短了停机时间，使得生产流程更为顺畅，生产效率大幅提高，同时也有效降低了运营成本^[6]。

（三）成本效益对比

新型耐磨涂层的制备涉及先进的材料科学与复杂的工艺技术，如物理气相沉积、化学气相沉积等，这使得其初期投入成本相较于传统涂层更高。然而，从长远运营角度综合考量，其成本效益优势十分突出。传统涂层由于自身性能局限，使用寿命短暂，频繁出现磨损后需要多次进行维修，维修过程中需要专业技术人员操作，耗费大量人力；同时还需采购相应的维修材料，投入物力成本；而且每次维修都伴随着设备停机，造成生产时间的损失。反观新型耐磨涂层，通过大幅延长阀门的使用寿命，极大减少了设备维修与更换次数。更为重要的是，其提升了阀门运行的可靠性，有效避免了因阀门故障导致的生产中断，降低了潜在的安全风险，这些间接效益为企业带来了更为可观的经济效益^[7]。所以，综合权衡之下，新型耐磨涂层在成本效益方面远超传统涂层。

四、新型耐磨涂层在高压阀门上的应用前景

（一）提高火力发电设备的可靠性

随着新型耐磨涂层技术的不断发展和完善，其在火力发电厂高压阀门上的应用将进一步提高设备的可靠性。通过有效解决阀门的磨损和腐蚀问题，减少阀门泄漏和故障的发生概率，确保火力发电设备能够长期稳定运行。这对于保障电力供应的连续性和稳定性具有重要意义，有助于提高整个火力发电系统的运行效率和安全性^[8]。

（二）适应更严苛的工作环境

未来，火力发电厂为了提高能源利用效率，将朝着更高参数

（更高温度、更高压力）的方向发展。新型耐磨涂层凭借其优异的耐高温、高压和耐磨性能，能够适应这种更严苛的工作环境。在高温高压的蒸汽环境以及含有更多杂质和腐蚀性成分的介质输送中，新型耐磨涂层能够为高压阀门提供可靠的防护，满足火力发电技术发展对设备性能的要求^[9]。

（三）推动阀门制造技术的创新

新型耐磨涂层的应用将促使阀门制造企业不断创新和改进生产工艺。为了更好地发挥新型耐磨涂层的性能优势，阀门制造企业需要在基体材料选择、表面预处理、涂层涂覆工艺以及质量检测等方面进行优化和创新。这不仅有助于提高阀门产品的质量和性能，还将推动整个阀门制造行业的技术进步，促进相关产业的发展。

（四）具有广阔的市场推广潜力

目前，我国火力发电装机容量庞大，高压阀门的使用数量众多。新型耐磨涂层在提高高压阀门性能和降低运营成本方面的显著效果，使其具有广阔的市场推广潜力^[10]。不仅在新建的火力发电项目中可以广泛应用，对于现有的大量在役高压阀门，通过涂层改造也能够有效提升其性能和使用寿命。此外，新型耐磨涂层技术还可以拓展应用到其他工业领域的阀门设备，如石油化工、冶金等，市场前景十分广阔。

五、结论

本研究对新型耐磨涂层在火力发电厂高压阀门上的应用进行了全面深入的探讨。通过对新型耐磨涂层性能的分析，发现其在硬度、结合强度、耐高温和耐腐蚀性等方面具有显著优势。在涂覆工艺上，物理气相沉积、化学气相沉积和热喷涂等方法能够制备出性能优异的新型耐磨涂层。与传统涂层相比，新型耐磨涂层在耐磨性能、使用寿命和成本效益等方面表现出色。新型耐磨涂层在高压阀门上的应用具有提高火力发电设备可靠性、适应更严苛工作环境、推动阀门制造技术创新以及广阔的市场推广潜力等良好前景。因此，新型耐磨涂层作为一种先进的表面防护技术，在火力发电厂高压阀门领域具有重要的应用价值和发展前景，有望在实际生产中得到广泛应用，为火力发电行业的高效稳定发展提供有力支持。

参考文献

[1] 哈恩华, 纪建超, 厉蕾, 等. 航空透明件有机-无机杂化耐磨涂层的应用研究进展 [J]. 化工进展, 2010, 29(10): 1913-1916.
[2] 李闯. 激光熔覆技术及新型耐磨复合材料在锅炉热管上的应用研究 [J]. 中国机械, 2024, (17): 86-89.
[3] 高懂. 风机用滑动轴承耐磨涂层制备及性能研究 [D]. 河南工业大学, 2024.DOI:10.27791/d.cnki.ghegy.2024.000554.
[4] 杨文斌, 李仕宇, 肖乾, 等. 减摩耐磨激光熔覆涂层的研究现状及发展趋势 [J]. 润滑与密封, 2023, 48(04): 171-182.
[5] 李剑锋. 刮板输送机中部槽激光熔覆 Fe 基耐磨涂层研究 [D]. 中国矿业大学, 2022.DOI:10.27623/d.cnki.gzkyu.2022.001048.
[6] 李卡卡. 新型微胶囊制备及其防腐耐磨涂层 [D]. 东北石油大学, 2021.DOI:10.26995/d.cnki.gdqsc.2021.000142.
[7] 武胜金, 王星星, 施进发, 等. 农机部件表面耐磨涂层的国内外研究现状 [J]. 电焊机, 2020, 50(09): 232-238.
[8] 梁源昌, 徐仕琨, 文可. 一种应用于汽油机活塞环槽的新型耐磨涂层 [J]. 材料保护, 2020, 53(07): 110-113+120.DOI:10.16577/j.cnki.42-1215/tb.2020.07.019.
[9] 姜伟. H13 钢激光熔覆耐磨涂层及抗磨机理的研究 [D]. 江苏大学, 2020.DOI:10.27170/d.cnki.gjsuu.2020.001784.
[10] 杨宇璇. 复合耐磨涂层摩擦学性能研究及其优化 [D]. 北京交通大学, 2020.DOI:10.26944/d.cnki.gbfju.2020.001742.