

# 耐磨材料在冶金机械设备中的应用研究

张 涛

广西柳钢工程技术有限公司 广西 柳州 545002

**摘 要:** 本文综述了耐磨材料在冶金机械设备中的核心应用场景、材料特性、技术进步方向及产业价值。通过高锰钢、耐磨合金钢等典型案例分析,阐明材料选择依据与性能优势,并结合智能化、绿色化发展趋势,探讨未来创新路径。研究指出,耐磨材料升级显著降低设备维护成本,助力冶金行业高效可持续发展。

**关键词:** 耐磨材料; 冶金机械; 高锰钢; 材料选择; 绿色化趋势

## 引言

冶金机械设备长期处于高温、高冲击、强磨损的严苛工况中,其关键部件的耐磨性能直接决定设备寿命与生产稳定性。随着金属冶炼工艺升级,传统材料已难以满足高效化、连续化生产需求。本文聚焦耐磨材料在冶金设备中的应用创新,分析其技术特性、应用效果及未来趋势。

### 1 耐磨材料的核心应用场景与技术特性

#### 1.1 典型设备中的材料应用

耐磨材料在工业生产中的应用遍及各个角落,从高炉到球磨机,从输送系统到阀门管道,无处不在。它们在不同的设备中发挥着各自独特的作用,共同支撑着工业生产的顺利进行。

##### 1.1.1 高炉料钟与输送系统

在高炉料钟与输送系统中,耐磨材料的应用显得尤为重要。高炉料钟作为高炉装料的关键部件,其工作环境极为恶劣,不仅要承受高温、高压的考验,还要面对炉料的不断冲击和磨损。因此,选择合适的耐磨材料对于延长高炉料钟的使用寿命至关重要。高锰钢(如ZGMn13)因其优异的耐磨性和加工硬化特性,成为高炉料钟衬板的理想选择。这种材料在受到冲击时,其表面会迅速形成一层硬化层,硬度可达HB500以上。同时,其芯部保持高韧性,能够有效吸收冲击能量,进一步延长了高炉料钟的使用寿命。在输送系统中,皮带输送机滚筒的磨损是一个常见问题。传统的滚筒材料往往难以承受长时间的磨损,导致皮带张力下降,影响输送效率。而耐磨钢板(如NM400)的应用,则有效解决了这一问题。这种材料的抗冲击性能较传统材料提升了40%,能够显著降低滚筒的磨损程度,从而保持皮带的稳定张力,确保输送系统的顺畅运行。

##### 1.1.2 球磨机与破碎设备

球磨机和破碎设备是矿山、冶金、建材等行业中不可或缺的设备,它们的工作原理都是通过机械力作用将

物料破碎或磨细。然而,这一过程中产生的强烈冲击和磨损对设备的材料提出了极高的要求。在球磨机中,衬板是承受磨损的主要部件。传统的衬板材料往往难以承受球磨过程中产生的强烈冲击和磨损,导致衬板更换频繁,影响了球磨机的生产效率。而NM360耐磨钢板的应用,则有效解决了这一问题。这种材料的屈服强度 $\geq 800\text{MPa}$ ,结合优化的热处理工艺,使得衬板的耐磨性和抗冲击性得到了显著提升<sup>[1]</sup>。实践证明,采用NM360耐磨钢板的衬板更换周期可以延长至18-24个月,大大降低了球磨机的维护成本。在破碎设备中,锤头是承受冲击和磨损的主要部件。普通的钢材在破碎硬质矿石时,往往容易磨损甚至断裂,导致设备停机维修。而高铬铸铁(含Cr 12%-18%)的应用,则显著提高了锤头的耐磨性和抗冲击性。这种材料的硬度可达HRC62,在破碎硬质矿石时,其寿命较普通钢提高了3倍。这不仅提高了破碎设备的生产效率,还降低了设备的维护成本。

##### 1.1.3 耐磨阀门与管道

在工业生产中,阀门和管道是连接各个设备的关键部件。它们不仅要承受介质的压力和温度,还要面对介质的冲刷和腐蚀。特别是在高温、高压、高流速或含有固体颗粒的介质中,阀门和管道的磨损和腐蚀问题尤为突出。为了解决这一问题,堆焊耐磨板(碳化物+金属基体)应运而生。这种材料通过堆焊技术将碳化物颗粒均匀地镶嵌在金属基体上,形成一层具有高硬度和高耐磨性的复合层。其复合层硬度可达HV1200,能够有效抵抗介质的冲刷和磨损。同时,其金属基体保持良好的韧性和可加工性,使得阀门和管道在保持高耐磨性的同时,还具备良好的密封性和可靠性。在高温煤粉输送管道中,堆焊耐磨板的应用尤为广泛。煤粉作为一种含有大量固体颗粒的介质,在输送过程中会对管道产生强烈的冲刷和磨损。传统的钢管往往难以承受这种冲刷和磨损,导致管道泄漏频繁。而堆焊耐磨板的应用,则显著

提高了管道的耐磨性和耐腐蚀性。其耐蚀性较普通钢提升了50%，能够显著降低管道泄漏的风险，确保煤粉输送的安全和稳定。

### 1.2 材料特性对比

材料类型	典型牌号	硬度范围	韧性表现	适用场景
高锰钢	ZGMn13	HB190-230 (未硬化)	极佳	高冲击破碎设备(如颚式破碎机)
耐磨合金钢	NM500	HB500-550	良好	料斗、衬板
堆焊复合材料	-	HV1000-1400	中等	阀门、管道
低合金高强度钢	Q345B- Hardox400	HB350-400	高(低温韧性)	大型结构件

在工业生产中，设备所面临的工况千差万别，有的环境冲击强烈，有的则磨损严重而冲击较小，还有的工况复杂多变，涉及多种介质的腐蚀。因此，在选择耐磨材料时，必须根据具体的工况条件来做出决策，以确保材料的性能与工况需求相匹配，从而达到最佳的使用效果。对于高冲击环境，如矿山机械、破碎设备等，设备在运行过程中会受到频繁的、强烈的冲击作用。在这种环境下，优先选用高锰钢是明智的选择。高锰钢具有“外硬内韧”的特性，其表面在受到冲击时能够迅速硬化，形成一层硬度极高的保护层，从而有效抵抗冲击磨损。同时，其芯部保持高韧性，能够吸收并分散冲击能量，防止材料因冲击而破裂。这种独特的性能组合使得高锰钢成为高冲击环境下的理想耐磨材料<sup>[2]</sup>。对于高磨损低冲击的环境，如物料输送系统、磨煤机等，设备主要面临的是持续的磨损作用，而冲击作用相对较小。在这种情况下，耐磨合金钢（如NM500）是更为合适的选择。耐磨合金钢通过添加Cr、Mo等元素，显著提高了材料的硬度和耐磨性。这些元素在钢中形成固溶体或碳化物，增强了材料的抗磨损能力。同时，耐磨合金钢还保持良好的韧性和可加工性，使得其高磨损低冲击环境下能够长期稳定运行。然而，在一些复杂工况下，设备可能同时面临多种介质的腐蚀、磨损和冲击作用。这种情况下，单一材料往往难以满足所有性能要求。因此，堆焊材料成为了一种有效的解决方案。堆焊材料通过工艺复合的方式，将不同性能的材料结合在一起，实现性能互补。例如，可以在基体材料上堆焊一层具有高耐磨性的合金层，以抵抗磨损作用；同时，基体材料可以保持良好的韧性和耐腐蚀性，以适应复杂多变的工况环境。这种工艺复合的方式使得堆焊材料在复杂工况下具有出色的综合性能，能够满足多种性能要求。

## 2 技术进步与产业发展趋势

随着科技的飞速发展和工业的不断进步，耐磨材料

作为工业领域中不可或缺的一部分，也在不断地进行着技术革新和产业升级。本文将深入探讨耐磨材料的技术进步与产业发展趋势，特别是材料性能的升级方向，以及设备智能化与材料的协同作用。

### 2.1 材料性能升级方向

耐磨材料的性能是其核心竞争力的体现，直接关系到材料的使用寿命、应用范围和市场价值。因此，不断探索和提升材料的性能，是耐磨材料产业持续发展的核心动力。

#### 2.1.1 纳米强化技术

纳米技术的引入，为耐磨材料的性能提升开辟了全新的视野。通过在耐磨钢中添加纳米级碳化物（如TiC），可以显著细化材料的晶粒结构，使其尺寸缩小至50nm以下。这种晶粒的细化不仅极大地提高了材料的硬度，使其硬度提升幅度达到15%-20%，还显著增强了材料的抗磨损、抗裂纹扩展和抗冲击性能。纳米碳化物的均匀分布有效阻碍了裂纹的萌生和扩展，从而提高了材料的整体韧性和强度<sup>[3]</sup>。此外，纳米强化技术还能够改善材料的耐热性和耐腐蚀性，使耐磨材料在更为恶劣和复杂的环境下也能保持稳定的性能表现。这一技术的突破，为耐磨材料在高端制造、航空航天等领域的应用提供了更广阔的空间。

#### 2.1.2 梯度结构设计

梯度结构设计是一种前沿的材料设计方法，它通过在材料的不同层次上精确控制其组成和结构，实现性能的梯度变化，从而满足特定应用场景的需求。在耐磨材料中，激光熔覆技术被广泛应用于制备功能梯度涂层。这种涂层的表面硬度极高，可以达到HV1500，而基体则保持良好的韧性和塑性。这种独特的梯度结构设计使得材料在承受渐变载荷时，能够充分发挥表面硬度和基体韧性的优势，实现性能的互补和优化。这种设计特别适用于轧辊、齿轮等渐变载荷部件，能够显著延长其使用寿命，提高设备的可靠性和稳定性。

#### 2.1.3 耐腐蚀性能优化

在某些特定的工业环境中，耐磨材料不仅需要具备良好的抗磨损性能，还需要具备良好的耐腐蚀性能，以应对酸、碱、盐等腐蚀性介质的侵蚀。为了满足这一需求，科研人员开发出了双相不锈钢耐磨材料。这种材料通过在不锈钢基体中加入碳化物、氮化物等强化相，既保持了不锈钢的优异耐腐蚀性，又显著提高了材料的硬度和抗磨损性能。例如，2205+碳化物的双相不锈钢耐磨材料在酸性矿浆环境中，其腐蚀速率可以降低60%以上。这种材料的开发成功，为耐磨材料在化工、冶金等腐蚀

性环境中的应用提供了新的选择和可能。

## 2.2 设备智能化与材料协同

随着工业4.0时代的到来,设备智能化成为工业发展的重要趋势。耐磨材料作为工业设备的关键组成部分,也需要与智能化技术深度融合,实现更高效、更环保的应用。

### 2.2.1 智能监测系统

在耐磨部件中集成先进的传感器技术,可以实时监测部件的磨损量、温度、振动等关键参数。这些传感器通过无线或有线方式将数据传输至中央控制系统,结合AI算法和大数据分析技术,可以对这些数据进行深度挖掘和分析,预测部件的剩余寿命和潜在故障点,从而实现预防性维护和智能化管理。这种智能监测系统不仅可以提高设备的运行效率和可靠性,还可以大幅减少因部件突然失效而导致的生产中断和维修成本<sup>[4]</sup>。此外,智能监测系统还可以为耐磨材料的研发提供宝贵的数据支持,帮助材料科学家更深入地理解材料的磨损机理和失效模式,为新材料的开发提供理论依据和实验数据。

### 2.2.2 绿色化转型

环保和可持续性在当今社会发展的重要主题,也是耐磨材料产业未来发展的必然趋势。为了实现绿色化转型,科研人员正在积极开发可回收的耐磨材料。例如,生物降解高分子涂层作为一种新型的可回收耐磨材料,具有良好的生物相容性和可降解性,在使用后可以自然降解为无害物质,不会对环境造成污染。此外,推广3D打印技术定制复杂形状的耐磨件也是提高材料利用率和减少废弃物的重要手段。3D打印技术可以根据实际需求精确控制材料的形状、尺寸和结构,实现个性化定制和精准制造,大幅减少材料的浪费和加工过程中的能耗。这种技术不仅可以降低生产成本,还可以提高生产效率和产品质量,为耐磨材料的绿色化转型提供有力支持。

## 3 技术挑战与展望

尽管耐磨材料在技术进步和产业发展方面取得了显著成就,但仍面临着一些挑战和问题。

### 3.1 标准化缺失

目前,耐磨材料的性能测试方法和寿命评估模型尚

未统一和规范,这给材料的研发、生产和应用带来了很大的不便和不确定性。为了推动耐磨材料产业的健康发展,亟需建立统一的耐磨材料性能测试方法(如ASTM G65干砂橡胶轮法)和寿命评估模型,以规范材料的测试和评估过程,提高材料的可靠性和可比性。同时,还需要加强对测试设备和人员的管理和培训,确保测试结果的准确性和可靠性。

### 3.2 协同创新不足

耐磨材料的研发和应用是一个涉及多学科、多领域的复杂过程,需要材料供应商、设备制造商、用户以及科研机构之间的紧密协作和共同创新。然而,目前这种协同创新机制尚未形成和完善,导致材料的研发和应用存在脱节现象。例如,在轧辊的设计中,材料成分、组织结构和冷却系统的优化往往没有同步进行和相互匹配,这影响了轧辊的整体性能和使用寿命。因此,需要加强产学研用合作,推动材料供应商与设备制造商之间的深度协作和共同创新,形成协同创新的良好生态和机制。同时,还需要加强对耐磨材料产业的人才培养和引进,提高产业的整体创新能力和竞争力。

## 结语

耐磨材料已成为冶金机械设备升级的关键支撑,其技术进步显著推动了行业降本增效与绿色转型。未来,通过材料基因组工程、智能监测技术等跨学科创新,耐磨材料将向高性能化、功能集成化方向迈进,为冶金工业高质量发展提供坚实保障。

## 参考文献

- [1]李甫.耐磨铝青铜材料冶金机理与行业应用[J].模具制造,2023,23(06):80-82.
- [2]夏天.低合金高强度耐磨钢组织和性能的研究[D].武汉轻工大学,2024.
- [3]章伟强,袁鸽成,王娟,等.ARZ陶瓷颗粒增强316L不锈钢复合材料的制备及性能[J].粉末冶金技术,2023,41(03):268-274.
- [4]陈鹏,李卫,易艳良.高速钢耐磨材料研究进展[J].材料导报,2024,38(10):161-178.