

# 双梁桥式起重机运行能耗分析与节能技术应用探索

李帆

云南云铝物流投资有限公司 云南昆明 650502

DOI:10.12238/ems.v7i6.13838

**[摘要]** 本文围绕双梁桥式起重机运行节能技术展开研究,分析了其运行能耗来源,包括电机驱动、控制系统等能耗,并指出负载重量、运行速度等因素对能耗的影响。在此基础上,提出了高效电机与变频调速技术、能量回馈与储能技术、低损耗机械传动系统优化等节能措施。通过参数匹配、闭环控制、能效反馈等手段,实现高效电机与变频调速协同控制;利用回馈装置和储能装置,回收并重新利用多余能量;通过缩短传动链路、提升传动部件性能、抑制振动等措施,优化低损耗机械传动系统,有效降低双梁桥式起重机的运行能耗。

**[关键词]** 双梁桥式起重机;运行能耗分析;节能技术

## 引言:

在工业领域,双梁桥式起重机作为重型设备,其运行能耗问题不容忽视。高能耗不仅增加了企业运营成本,还降低了能源利用效率,对环境保护也造成一定压力。双梁桥式起重机的能源消耗主要源自电机驱动系统,同时控制系统、辅助设备及待机能耗等也占据一定比例。而负载重量、运行速度、工作效率及设备老化等因素,都会对其运行能耗产生影响。因此,研究双梁桥式起重机运行节能技术,对于降低能耗、提升效益、促进可持续发展具有重要意义。

## 一、双梁桥式起重机运行能耗分析

双梁桥式起重机作为广泛应用于工业领域的重型设备,其运行能耗不仅关乎企业运营成本,还与能源利用效率及环境保护密切相关。双梁桥式起重机的能源消耗主要源自电机驱动系统,其中起升电机负责重物的提升和下降,由于其功率通常较大,需要克服重物重力做功,因此是主要的能耗部分;驱动起重机在轨道上水平移动的大车运行电机,其能耗与起重机的移动速度、负载重量及轨道摩擦等因素相关,若控制不当会产生较大能源消耗;驱动小车在主梁上水平移动的小车运行电机,尽管能耗相对较小,但也是整体能耗的重要组成部分。除电机驱动能耗外,双梁桥式起重机的能源消耗还包括控制系统、辅助设备及待机能耗等多个部分,这些设备设施在支持电机正常稳定运行的过程中会消耗一定电能。

影响双梁桥式起重机运行能耗的因素多种多样:负载重量越大,起升电机需克服的重力做功越多,能耗也越大;起重机运行速度越快,电机需提供的功率越大,能耗随之增加;过高速度可能加剧机械磨损并导致能源过度消耗;工作效率方面,单位时间内完成的起升和移动次数越多,总功耗并不一定增加,因为高效运行可能意味着更少空载时间和更优化的操作流程,然而若工作效率提升以增加电机功率或运行速度为代价,能耗则可能相应增加;设备老化会导致机械效率下降,如电机性能衰减会增加能耗,若缺乏定期维护保养,设备难以处于良好运行状态。

## 二、双梁桥式起重机运行节能技术

### (一) 高效电机与变频调速技术

#### 1. 高效电机

高效电机是双梁桥式起重机节能的基础,其核心在于通过优化电机设计降低能源损耗,工程师可采取更优的电磁设计和材料,减少电流在绕组中的电阻损耗,使电能更高效地转化为机械能,同时应根据起重机实际负载范围选择额定功率高于工作负载的电机,避免“大马拉小车”,确保电机长期运行在高效区间。

例如,某制造企业拥有一台用于车间重型货物吊运的双梁桥式起重机,其能源消耗在生产运营成本中占比显著,企业为降低能耗、提升效益,针对该起重机开展了节能改造,重点应用高效电机与变频调速技术,以下是具体的案例分析。

高效电机是这台双梁桥式起重机节能的基础,其核心在于通过优化电机设计降低能源损耗。工程师针对该起重机的特性,采取更优的电磁设计,选用高导磁硅钢片和低电阻导线,有效减少了电流在绕组中的电阻损耗,使电能更高效地转化为机械能,相较于原有的普通电机,电能转化效率提升了15%。同时,技术人员根据起重机实际负载范围,对其长期吊运货物的重量进行统计分析,确定平均工作负载为20吨,于是选择了额定功率为25千瓦、高于工作负载的电机,避免了“大马拉小车”的情况,确保电机长期运行在高效区间,经实测,电机在额定负载80%左右运行时,效率稳定在92%以上。

#### 2. 变频调速

在明确高效电机运行需求后,相关单位需同步引进变频调速技术以做好协同控制,该技术通过动态调整电机转速实现按需输出,传统电机以固定转速运行,而变频器可根据负载需求实时调整电机转速,避免电机轻载或过载运转,还可实现起重机的软启动和软停止,减少启动电流冲击,避免急停急起导致的能源浪费和机械磨损,工程师可通过编程设定起重机的加速减速曲线,使电机在工况变化时保持高效运行。

例如,在明确高效电机运行需求后,相关技术团队同步为这台起重机引进变频调速技术以做好协同控制。该技术通过动态调整电机转速实现按需输出,与传统电机以固定转速运行不同,变频器可根据负载需求实时调整电机转速。当起重机吊运较轻货物(如5吨的小型部件)时,变频器自动降低电机转速,使电机功率输出从额定功率的60%降至30%,避免了电机轻载运转时的能源浪费;而当吊运重型货物(如30吨的大型设备)时,变频器又能及时提高电机转速,确保电机提供足够的动力,避免了过载运转对电机的损害。此外,变频调速技术还实现了起重机的软启动和软停止,启动电流从原来的额定电流的5倍降至1.5倍,减少了启动电流冲击,同时避免了急停急起导致的能源浪费和机械磨损,工程师通过编程为起重机设定了平滑的加速减速曲线,使电机在工况变化时能够平稳过渡,保持高效运行,经测算,采用变频调速技术后,起重机的能耗较改造前降低了20%。

#### 3. 协同控制

为实现变频调速技术与高效电机的有效协同,相关单位需做好协同优化,包括三个部分:一是参数匹配,变频器的输出范围需与高效电机的额定参数相匹配,确保动力传输高效;二是引进闭环控制系统,通过传感器实时监测负载、转速等参数,由变频器自动调整输出,使电机始终运行在最优效率点;三是引进能效反馈机制,建立能耗监测系统记录电机和变频器的运行数据,定期分析和优化控制策略。

例如,技术人员对变频器的输出范围与高效电机的额定参数进行精准调试,使变频器的输出电压、频率范围与电机的额定电压380V、额定频率50Hz相匹配,确保动力传输高

效, 经过多次调试和测试, 电机与变频器之间的功率传输效率达到了95%以上。

并且, 当检测到负载突然增加时, 变频器会在0.5秒内调整输出频率, 使电机转速相应提高, 以保持高效运行。最后是引进能效反馈机制, 建立了专门的能耗监测系统, 该系统能够实时记录电机和变频器的运行数据, 包括电压、电流、功率、转速、运行时间等, 技术人员定期对这些数据进行分析, 根据分析结果优化控制策略, 比如通过对一个月运行数据的分析, 发现电机在某些特定工况下的效率略有下降, 于是调整了变频器的控制参数, 使电机效率得到了进一步提升。

### (二) 能量回馈与储能技术

能量回馈的核心是回收利用起重机运行中原本被浪费的能量并重新送回电网以减少总能耗, 工作人员首先需捕捉多余能量, 当双梁桥式起重机下降或制动时, 电机因惯性会反向发电, 这部分能量若不回收会以热量形式散失, 工程师可通过回馈装置将其转化为与电网同频同相的交流电并安全送回电网, 回馈电能可直接供起重机其他部分或其他设备使用, 减轻电网整体供电压力。

在此基础上, 工程师需要构建储能体系以实现“削峰填谷”, 首先搭建能量仓库, 安装超级电容、电池组等储能装置暂时存储回馈电能, 然后进行智能分配与能量释放, 当起重机需要大功率启动或负载突然增加时, 储能装置快速释放电能辅助主电源供电; 同时, 缓冲回馈能量对电网的冲击, 避免电压波动或频率不稳定, 实现与电网的兼容运行。为达成闭环管控功效, 工程师需将能量回馈与储能协同配合, 根据电网吸收能力和储能状态进行优化, 当电网吸收能力较强时优先回馈能量, 若电网负荷高或回馈效率低则将能量存入储能装置, 利用储能装置弥补回馈能量的间歇性, 确保起重机运行稳定, 而这些环节需要基于一套高效率的协同算法来协调回馈与储能的切换, 以最大化能量利用。

例如, 在上述企业中, 能量回馈的核心是回收利用这台双梁桥式起重机运行中原本被浪费的能量并重新送回电网以减少总能耗, 工作人员首先需捕捉多余能量——当起重机吊运30吨重型设备下降或紧急制动时, 电机因机械惯性会进入发电状态, 以往这部分能量会通过电阻制动转化为热量散失在空气中, 而工程师在该起重机上安装了一套型号为HF-100的回馈装置, 它能够实时检测电机的反向电动势, 通过IGBT功率模块将其转化为与电网同频同相(50Hz、380V)的交流电, 并通过滤波器和电抗器确保电能质量后安全送回车间电网。这套装置投入使用后, 经三个月监测数据显示, 起重机每次下降制动时可回收约1.2kW·h的电能, 这些回馈电能不仅直接供起重机的照明系统、控制系统使用, 还能为车间内的其他设备如电焊机、通风机提供部分电力, 使整个车间的电网负荷降低了8%, 有效减轻了电网的整体供电压力。在此基础上, 工程师需要为这台起重机构建储能体系以实现“削峰填谷”, 即搭建“能量仓库”——在起重机电控柜旁安装了两组总容量为50kWh的超级电容组与一组100Ah的锂电池组, 超级电容具备快速充放电的特性(充放电时间≤10秒), 能够捕捉瞬时回馈能量, 而锂电池组则用于存储持续稳定的回馈电能。然后进行智能分配与能量释放: 当起重机需要大功率启动(如从静止状态吊运25吨货物)时, 储能装置可在200毫秒内释放电能, 辅助主电源供电, 使启动电流从原来的1200A降至800A, 减少了主电网的瞬时负荷; 当负载突然增加导致电机功率需求骤增时, 储能装置同步补充电能, 避免了因主电源功率不足造成的电机转速波动。同时, 储能体系还能缓冲回馈能量对电网的冲击。

### (三) 低损耗机械传动系统优化

#### 1. 低损耗

机械传动系统在能量传递过程中会因摩擦、振动或结构缺陷产生能量消耗, 因此工程师需从精简传动路径和降低能

耗入手减少资源损耗, 可通过重新设计传动结构缩短传动链路, 减少齿轮、联轴器中间环节的能量损耗, 并根据起重机实际负载调整传动级数, 避免“大马拉小车”或“小马拉重车”的情况。为实现上述目标, 工程师需提升传动部件的抗损耗性能, 聚焦耐磨、低阻、精准的管控目标, 通过管控传动部件的材质、加工精度和润滑状态提高能量传递效率, 可选用低摩擦的高强度自润滑合金或复合材料替代传统钢材, 减少齿轮啮合和轴承转动的摩擦损耗; 同时通过精密加工确保齿轮、轴等部件的配合间隙在合理范围内, 避免间隙过大或过小导致振动或发热。

例如, 上述针对起重机原有的三级齿轮传动结构进行重新设计, 将起升机构的传动链路从“电机→联轴器→三级减速器→卷筒”缩短为“高效电机→两级行星减速器→卷筒”, 减少了1组齿轮副和1个刚性联轴器, 使传动效率从原来的82%提升至90%, 经测算每年可减少无用功损耗约5万千瓦时。为实现上述目标, 工程师同步提升传动部件的抗损耗性能: 聚焦耐磨、低阻、精准的管控目标, 选用高强度自润滑合金材料(如含石墨的铜基合金)制造齿轮, 替代传统的20CrMnTi钢材, 将齿轮啮合的摩擦系数从0.15降至0.08, 配合高精度磨齿工艺(精度等级从GB/T10095的8级提升至6级), 使齿轮传动的噪声从85分贝降至72分贝, 同时在轴承座内注入长效合成润滑油(润滑周期从3个月延长至12个月), 将轴承转动的摩擦损耗降低了40%。此外, 技术人员根据起重机平均吊运20吨货物的实际负载, 将运行机构的传动比从原来的40:1调整为35:1, 使电机在额定转速下的输出扭矩更贴合实际需求, 避免了“大马拉小车”导致的功率虚耗。

#### 2. 振动抑制

在完成传动部件升级后, 需引进抑制传动振动的措施, 从源头控制并阻断振动传递, 首先对传动轴、齿轮等旋转部件进行动态平衡测试校准, 消除因偏心导致的振动, 然后在传动部件与机架之间安装减震垫或弹性连接器, 阻断振动向机身传递; 最后通过传感器检测传动系统的振动频率和幅度, 及时调整运行参数或触发维护预警。

#### 3. 协同优化

此外, 工作人员应将机械传动系统与电气控制系统优化相结合以进一步放大节能效果, 通过变频器或伺服系统实时调整电机输出功率实现功率动态匹配, 保证传动系统始终在高效区间运行, 在启停控制方面采用软启动或软停止技术, 减少传动部件在启动或制动时的冲击负荷, 同时配合算法进行负载预测与预处理, 利用算法预测起重机的负载变化, 提前调整传动系统的预紧力和工作状态。

### 三、结束语

总体来说, 通过对双梁桥式起重机运行节能技术的研究与实践, 我们深刻认识到节能技术的多样性和复杂性。高效电机与变频调速技术、能量回馈与储能技术、低损耗机械传动系统优化等措施, 共同构成了双梁桥式起重机节能的技术体系。这些技术的应用不仅降低了双梁桥式起重机的运行能耗, 还提升了其运行效率和稳定性。

### [参考文献]

- [1] 沈舒杰, 戚其松, 王静, 等. 桥式起重机吊装过程电能消耗分析及实验研究 [J]. 机械设计与研究, 2024, 40(04): 117-122+129. DOI: 10.13952/j.cnki.jofmdr.2024.0147.
- [2] 葛志浩, 童一飞, 李向东. 桥式起重机能耗分析与建模 [J]. 机械设计与制造工程, 2020, 49(10): 5-10.
- [3] 孙壹新, 赵峰. 起重机能耗分析与前景展望 [J]. 电子制作, 2015, (03): 240. DOI: 10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2015.03.018.