

一种基于水轮机检修的快速拆装轨道车

许映全

新疆伊河电力有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i9.6579

[摘要] 水轮机的检修工作涉及大量复杂的机械拆卸与装配作业,通常需要使用高效安全的设备来协助检修作业,传统检修设备存在拆装效率低、安全性差等问题,迫切需要一种更加便捷灵活的解决方案来优化这一过程。本文主要探讨了一种基于水轮机检修的快速拆装轨道车的设计与应用,文章详细介绍其设计原理,接着讨论轨道车的关键技术,最后通过案例分析验证快速拆装轨道车在水轮机检修中的实际应用效果。

[关键词] 水轮机; 检修; 轨道车

中图分类号: TV136+.1 文献标识码: A

A kind of fast disassembly track car based on turbine maintenance

Yingquan Xu

Xinjiang Yihe Electric Power Co., LTD.

[Abstract] Turbine maintenance involves complex mechanical disassembly and assembly processes, typically requiring efficient and safe equipment. Traditional maintenance devices suffer from low efficiency and safety issues during operations, creating an urgent need for more convenient and flexible solutions. This paper explores the design and application of a rapid disassembly and assembly track vehicle for turbine maintenance. The article first details the design principles, then discusses key technical aspects of the track vehicle, and finally validates its practical effectiveness through case studies.

[Key words] turbine; maintenance; track vehicle

水轮机检修涉及大量高强度的设备拆卸、搬运与安装作业,随着水力发电设备的复杂性增加,提升检修效率、保障作业安全性成为迫切需求,快速拆装轨道车作为一种创新的辅助设备,其设计旨在提升轨道车的动力系统、优化结构设计、应用高强度轻质材料以及引入智能故障预警系统,显著缩短检修作业时间并降低人为操作风险,该设备能够快速完成水轮机关键部件的拆装,并在拆卸过程中确保设备稳定性及操作安全,具有显著的经济效益与实际应用价值。

1 快速拆装轨道车的设计要求

快速拆装轨道车的设计要求旨在提升设备搬运的安全性、效率与精度,解决传统人力搬运中存在的各类风险,为消除设备搬运中的磕碰风险,特别是在搬运重型轴瓦等关键部件时,设计采用专用轨道运输设备,确保设备在拆卸、运输等过程中平稳过渡,避免人力搬运造成的磕碰损伤,从而保障设备检修的精度与质量。为消除人员作业安全隐患,尤其是在搬运超百公斤重物时,传统人力负重作业容易导致滑倒、砸伤或肌肉劳损等问题,设计采用机械化与半自动化运输方式,大幅减少人力负重环节,降低作业风险的同时优化作业流程,提升了工作效率。针对水轮机室

内部环境复杂的问题,如台阶多(5-10阶)、进入孔狭窄(120-200cm)等,优化设备进出的流程,确保设备能够顺利进出狭小空间^[1]。

2 快速拆装轨道车的设计原理

2.1 轨道车的动力系统设计

轨道车动力系统的核心是能够提供持续且平稳的动力输出,以支持轨道车在不同作业环境下的高效运转,其采用电力驱动系统,通过高效电动机与减速系统相结合,确保轨道车能够在负载较大的情况下提供足够的牵引力,支持水轮机部件的搬运与拆装工作,同时为适应不同负载情况,动力系统配置可调功率控制模块,当作业负荷变化时,系统能够自动调节电机功率,避免过载或动力不足的问题,并配备先进的电力控制系统,可以实现智能调节和实时监控,确保动力的稳定输出。为进一步提高动力系统的可靠性与耐久性,设计中还考虑了备用电源与电池管理系统,当主电源发生故障或出现电力不足时,备用电源能够迅速接管,确保作业不中断。

2.2 轨道车的结构设计

轨道车的结构设计需要根据水轮机检修的实际要求,确保其具有强大的承载能力与适应性,基本结构如图1所示,根据设

计要求,轨道车的底部配有履带式传动系统,其履带长度为4.5米,宽度为0.5米,能够有效分散作业过程中产生的负载,履带式传动系统的承载能力高达15吨,可在不同的作业环境中保持高效稳定的行驶能力,为确保轨道车的稳定性,其底盘框架采用高强度钢材,具有200MPa的抗拉强度,能够承受较大压力而不发生形变。承载平台部分的设计中,平台的长宽高分别为3.5米、2米、1.5米,承载能力为10吨,能够适应水轮机各类部件的拆卸和运输需求,平台采用双层结构,其中上层采用高强度钢材(钢材抗拉强度为350MPa),下层采用轻质合金材料(抗拉强度为250MPa),在确保足够强度的同时,减轻了整体质量,平台上的货斗尺寸为2.5米×1.5米,能够容纳多个水轮机部件的拆卸件,货斗的最大装载重量可达5吨。此外轨道车的结构还融入了智能控制系统,可实时监控轨道车的运行状态,提供故障预警,并可自动调整轨道车的运行速度与行驶方向。

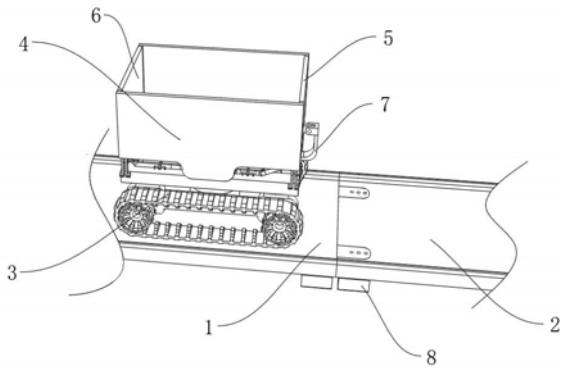


图1 轨道车基本结构图

2.3 模块化轨道设备设计

模块化轨道设备设计的目的是提高设备的灵活性与适应性,以有效支持水轮机检修过程中的拆装作业,其在材料与结构设计方面选用高强度轻质合金(如特定型号铝合金)作为轨道车的主要材料,这种合金具有优异的强度与刚度,能够在承载重量 $\geq 500\text{kg}$ 时不发生变形,同时减轻轨道车的整体重量,增强设备的耐用性和抗腐蚀性。在模块化与接口设计方面,轨道车采用标准长度的轨道段设计,每段轨道的长度经过精心考虑,确保运输时便于拆卸和搬运,轨道段之间采用快速、可靠且易操作的连接接口,如插销式、榫卯式加锁定机构,使得轨道段的连接和拆卸过程既方便又安全,以有效应对不同台阶高度(80~150cm)与数量(5~10阶)的适应性问题,确保轨道设备能够在不同地形与环境条件下稳定工作。为增强轨道车的便携性,模块化设计特别优化了单件轨道段的重量与尺寸,使其在装载运输与人工搬运时更加便捷,每个轨道段都具备合理的重量和尺寸,以适应不同运输方式的要求,同时保证在水轮机检修现场的快速部署与高效作业^[2]。

3 快速拆装轨道车的关键技术

3.1 电力驱动自动化控制技术

电力驱动自动化控制技术可确保轨道车在水轮机检修作业

中的高效性与安全性,其驱动方式采用电力驱动,电机功率设定为5kW,扭矩达到150Nm,能够满足500kg负载在15°至30°仰角轨道上的爬升要求,电池选用12V 100Ah的锂电池组,提供至少8小时的连续工作时间,并且具备过充、过放、短路与过温保护,确保电池的安全性与稳定性。为应对复杂的地形,轨道车的行走机构采用工业橡胶履带,宽度30cm,厚度1.5cm,履带材料为高耐磨橡胶,保证良好的附着力、耐磨性及通过性,能够适应小范围不平整的地面,耐用时间超过2000小时,载货平台设计采用可扩展结构,以适应不同尺寸设备的搬运需求,平台的扩展范围可调节至最大宽度1.5米,最大长度3米,能够满足不同检修设备的搬运要求。控制系统采用无线手柄遥控,响应时间 $\leq 100\text{ms}$,确保指令快速传递,系统还配备紧急停止与防溜坡制动功能,确保作业过程中出现异常时能够及时停止并防止轨道车下坡滑动,保障操作安全。

3.2 高强度轻质材料应用

在快速拆装轨道车的设计中,轨道车的轨道段采用复合接口与轻质材料的组合设计,复合接口设计使得轨道连接无需焊接,采用快速插接式设计,连接效率相比传统钢轨提高了10倍,减少了人工操作和焊接工艺所需的时间,极大地提高了装配与拆卸的便利性,轨道连接部件的重量也得到有效控制,轻质合金材料的使用使得每米轨道段的重量降低了50%。这使得轨道车的整体结构更轻便,减少了运输与搬运过程中对人力和设备的要求,提升了作业的灵活性。材料选择上,轨道段的复合材料主要采用铝合金与高强度塑料的复合结构,铝合金的抗拉强度可达到250MPa,塑料的抗压强度达到180MPa,轨道段的抗弯曲性能经过计算,能承受最大250kg的静载荷,且在长时间高强度使用下不出现显著的变形或疲劳破坏,轨道段的设计要求可重复使用50次以上,而传统钢轨的重复利用率通常不超过30%,这种复合材料轨道的高耐久性保证了设备在高频使用中的稳定性,减少了设备的维护成本与更换频率^[3]。

3.3 轨道车拆装快速连接技术

轨道车拆装快速连接技术的核心在于轨道系统的模块化设计,允许轨道根据实际需求进行拼接,轨道段的连接采用插销式与榫卯式的快速连接接口,确保轨道段能够在短时间内完成连接和拆卸,无需焊接或复杂的工具,每段轨道的标准长度为2米,采用轻质合金材料,单段轨道的重量为10kg,连接后的轨道具有承载能力达到500kg的稳定性,轨道连接部分采用锁定机构,确保连接过程中的安全性和可靠性。为确保轨道车适应不同场地和环境,运输车平台设计为可调节式,平台高度可在120cm到200cm之间调节,能够适应狭窄通道的作业需求,平台宽度可调节范围为0.8m至1.2m,适应不同尺寸的水轮机部件的运输与拆卸。轨道车的设计特别考虑到台阶深度的适应性,轨道车可适应80cm至150cm的台阶深度,采用设计灵活的升降装置,确保轨道车能够轻松越过台阶,进入不同的工作区域。如图2所示,轨道车的结构设计紧凑,适配性强,平台与轨道的快速连接模块位于车体中心,通过电机驱动系统进行调节。

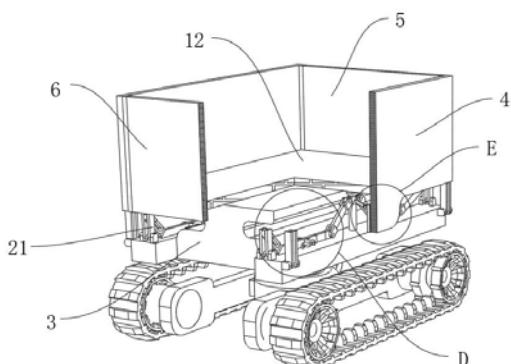


图2 轨道车拆装连接结构图

3.4 故障检测与自修复技术

在快速拆装轨道车的设计中,故障检测与自修复技术根据实时监控轨道车各个系统的运行状态,及时发现潜在故障,并以自修复机制自动调整或修复相关部件,确保设备不中断工作,其基于实时传感器数据与自适应算法进行监控,研究采用卡尔曼滤波算法来估计轨道车的状态,并检测可能的故障,假设轨道车的系统可以表示为以下状态空间模型:

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k + w_k \quad (1)$$

其中, x_k 是系统状态向量, 表示轨道车的运动状态(如位置、速度等); A 是状态转移矩阵, 表示系统动态; B 是控制输入矩阵, 表示外部控制信号; u_k 是外部输入信号; w_k 是过程噪声。该模型描述了系统在控制信号和扰动下的动态变化。

测量模型可以表示为:

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

其中, z_k 是由传感器测得的观测值, H 是观测矩阵, 表示从状态到测量的映射; v_k 是测量噪声, 根据这些方程, 系统能够基于传感器数据对轨道车的实际状态进行估计。该算法可对状态与测量进行最优估计, 实时监测轨道车的状态。如果估计值与实际测量值存在显著差异, 则表明系统可能出现了故障。这时自修复机制能够通过调整控制输入, 修正偏差, 恢复轨道车的正常运行^[4]。

4 案例分析

新疆伊河水电站在进行水轮机检修时, 面临着传统检修设备在高负载、高湿及复杂地形下的低效与不稳定问题, 严重影响检修作业的效率与安全, 为提高检修效率, 减少设备停机时间, 伊河水电站决定对现有的轨道车进行技术升级, 引入先进的电力驱动自动化控制技术、高强度轻质材料应用等技术, 具体措施如下:

(1) 电力驱动自动化控制技术: 采用最新的电力驱动自动化控制技术, 功率要求为3.5kW, 能够应对轨道车在15°至30°仰角轨道上的爬升, 并承载500kg的负荷, 轨道车的运行速度与方向可通过智能控制系统实时调整, 适应复杂地形, 自动识别负载

变化并调整电机功率。

(2) 高强度轻质材料应用: 轨道车采用复合材料与轻质合金设计, 轨道段的重量减轻, 同时提高承载能力, 单段轨道的承载能力为500kg, 重复使用率提高至50%, 比传统钢轨的重复使用率高出20%。

(3) 轨道车拆装快速连接技术: 轨道车的轨道系统采用标准化的拼接设计, 连接方式采用插销式与榫卯式接口结合, 连接时间比传统焊接方法提高10倍, 轨道段的重量减轻50%。

(4) 故障检测与自修复技术: 引入基于卡尔曼滤波的实时监控算法, 轨道车能够实时检测并分析运行状态, 系统能够在故障初期就准确诊断, 并通过自修复机制及时调整控制输入, 恢复正常作业状态。

经过6个月的使用, 实施后的轨道车在新疆伊河水电站的表现显著提高, 下表1为技术应用前后的成效数据:

表1 技术应用前后的成效数据

技术应用	应用前	应用后	成效
电力驱动自动化控制技术	电力驱动系统功率不足, 爬坡能力弱, 需频繁手动调整	功率提升至3.5kW, 自动化控制, 系统优化, 适应不同负载	提升作业效率25%, 减少人工干预, 爬坡能力提高50%
高强度轻质材料应用	轨道车重量重, 承载能力不足, 且材料耐用性差	轨道段重量减轻50%, 重复使用率提高至50%	提升设备的承载能力, 降低维护成本, 设备使用寿命延长30%
轨道车拆装快速连接技术	轨道连接需要焊接, 连接时间长, 工人操作复杂	插销式与榫卯式接口, 连接时间提高10倍	轨道拼接效率提高, 作业时间缩短40%, 连接稳定性提高50%
故障检测与自修复技术	故障检测不及时, 无法有效预防设备故障	实时监控, 通过卡尔曼滤波算法检测并修复故障	故障检测时间减少60%, 自动修复能力提升, 减少设备停机时间40%

案例成效总结: 技术升级后整体作业效率显著提升, 应用智能化电力驱动系统, 轨道车的爬坡能力提高50%, 作业效率提升25%, 高强度轻质材料应用使轨道段重量减轻50%, 同时承载能力提升, 重复使用率达到50%, 设备寿命延长30%, 轨道车拆装技术优化后, 拼接时间缩短40%, 连接稳定性提高50%, 故障检测系统使故障诊断提前60%, 自动修复能力提升, 设备停机时间减少40%^[5]。

5 结语

综上所述, 面对传统轨道车在水轮机检修过程中效率低、故障频发等问题, 水电站实施了轨道车的技术升级。采用包括电力驱动自动化控制、高强度轻质材料应用、轨道车拆装快速连接技术与故障检测与自修复技术在内的一系列先进技术。具体做法包括提升电力驱动系统的功率与自动控制能力, 应用轻质合金材料减轻重量并增强承载能力, 采用模块化轨道连接系统加快拆装速度, 采用卡尔曼滤波算法进行实时故障检测与自动修复, 最终技术升级显著提高新疆伊河水电站水轮机检修作业的效率与安全性。

此成果由新疆伊河电力有限责任公司资助(项目编号: 伊电科创-[2025]6号)。

[参考文献]

[1]王亚楠,陈帅,单利伟,等.轨道车运行控制设备远程维护监测系统的运用研究[J].铁道通信信号,2025,61(07):88–93.

[2]李林骏.基于PLC的轨道紧固件检修车设计[J].现代工业经济和信息化,2024,14(01):155–156+188.

[3]苏鹏.轨道车蓄电池组亏电故障的诊断分析[J].设备管理与维修,2022,(18):153–156.

[4]李振姚.轨道车中大修维修项目及维修策略探讨[J].中

国设备工程,2021,(13):149–151.

[5]申强.轨道车换向分动箱磨合检测试验台的研发与应用[J].铁道运营技术,2020,26(04):33–35.

作者简介:

许映全(1986--),男,汉族,江苏如皋市人,本科,电气工程与自动化,水利专业中级工程师,从事水电站水轮发电机组设备研究。