

撬装设备整体安装过程中的质量控制与技术研究

王雷刚 吴军军 文国民 负建锋 张旭斌

中建安装集团有限公司 陕西西安 710016

摘 要：近几年，撬装设备大量应用在工程项目中，在石油化工项目及油田地面工程中大型设备较多，将复杂的装置根据功能划分为一个个小模块小单元，各单元将本单元内设备材料按一定的流程集成一个小型装置，实现模块化设计，这种模式，已被逐渐采用。

关键词：撬装设备整体安装；质量控制；技术

引言

撬装设备的安装质量直接影响其运行效率和使用寿命，需在技术层面深入研究安装工艺与质量控制方法。现代撬装设备安装强调数字化管理手段的应用，如三维模拟预装配、激光对中检测等，以提高安装精度。安装过程中的环境适应性调整、材料兼容性验证及安全防护措施同样不可忽视，从而延长设备整体服务周期。

一、背景技术

传统螺栓连接方式在长期使用过程中会出现螺纹磨损、咬合失效等问题，影响设备的维护与改造效率。针对这一技术痛点，本研究提出改进连接结构设计方案，通过优化螺纹配合公差和表面处理工艺提升连接可靠性。在材料选择上，采用高强度合金钢螺栓配合耐磨涂层处理，显著提升螺纹副的抗磨损性能。结构设计方面引入锥形垫圈和弹性锁紧元件，有效防止连接松动。

二、撬装设备的特点

撬装设备一般包含主工艺设备（例如，容器、塔器、机泵等）、设备梯子平台、撬块内工艺管道、阀门、自控仪表设备（例如，压力表、压力、差压、温度、液位、流量变送器、流量计、控制阀、调节阀、开关阀等）、撬块内电缆桥架、电缆、自控配管及阀门、配电箱、接线箱及撬块钢结构底座等散材，综合内容较多。撬装设备因整体性强，对于技术比较成熟，专业性较强的设备制造商，会利用自己的专有技术从模块流程设计、采购、制造到现场安装调试指导，提供一条龙服

务，大大方便业主、设计及施工人员。撬装设备现场整体安装较散装简单，只需一个撬座，便可整体吊装，之后是功能模块之间简单连接，其他现场零星安装工程量较少，撬块预制过程中可与其他工作平行作业，现场工期会有所节省。

三、撬装设备整体安装实施方式

（一）安装板

安装板1通过其内部设置的拼接机构2实现多个安装板的快速拼接，拼接机构2由滑动板201、转动板202、插接板203、滑动块204、滑动槽205、阻挡杆206、拼接槽207、拼接板208及插接槽209组成，确保拼接的牢固性和可拆卸性。安装板1内部配备复位机构3，用于辅助拼接机构2在拆卸后自动复位，提升重复拼接效率。安装板1外周设置吊装平衡机构4，在吊装过程中动态调整安装板的平衡，确保安装板1在吊运过程中保持水平稳定，避免安装偏移。安装板1顶端内部集成多个微型光电传感器5，这些传感器可精确检测物体的X、Y、Z三轴位置及距离信息，在安装过程中实时反馈结构件的相对位置，提高安装精度。微型光电传感器5的信号输出可用于自动化或半自动化安装流程，辅助操作人员快速确定结构件的安装点位，减少人工测量误差。该设计在多个安装板拼接时，可基于传感器数据自动校准拼接位置，确保拼接后的整体平面度及结构稳定性。

（二）拼接机构

拼接机构2的核心功能是实现安装板1之间的快速拼接与拆卸。该机构由滑动板201、转动板202及插接板203组成，其中滑动板201沿安装板1两侧的滑动槽205滑动，并通过滑动块204限制运动轨迹。转动板202通过底部插接板203与相邻安装板1的插接槽209配合，实现

作者简介：王雷刚（1987.7.09），男，汉族，陕西扶风人，本科，工程师。

横向锁定。拼接板208与拼接槽207的配合提供初步定位，插接板203在插入插接槽209后形成机械互锁，防止拼接结构受横向力分离。拼接操作时，拼接板208插入拼接槽207推动滑动板201向安装板1内侧移动，带动转动板202同步位移。当转动板202的凹槽与阻挡杆206对齐时，转动板202回弹至水平状态，使插接板203完全嵌入插接槽209内。复位机构3受压储能，为后续拆卸提供复位力。拆卸时，上抬转动板202使插接板203脱离插接槽209，拼接板208即可从拼接槽207中抽出，实现快速分离。阻挡杆206外侧的防护套减少摩擦损耗，确保机构长期稳定运行。该设计兼顾高强度连接与便捷拆卸，适用于需频繁调整的撬装设备安装场景。

(三) 复位机构

复位机构3由装纳槽301、复位弹簧302、限位圈303及连接活动柱304组成，装纳槽301开设在安装板1内部两侧，为复位弹簧302提供安装空间。复位弹簧302一端固定在装纳槽301内侧，另一端连接在连接活动柱304内部。连接活动柱304贯穿限位圈303并与滑动板201固定，限位圈303在装纳槽301内滑动，限制连接活动柱304的移动范围。当滑动板201受拼接板208推动向安装板1中部移动时，连接活动柱304同步位移并压缩复位弹簧302，使机构储能。拆卸时，拼接板208脱离拼接槽207后，复位弹簧302释放弹性势能，推动连接活动柱304向外复位，带动滑动板201及转动板202回位。转动板202在阻挡杆206的限位作用下向上翘起，为下次拼接预留操作空间。该机构采用纯机械结构，无需外部动力，确保拼接操作的快速复位与重复使用可靠性。

(四) 吊装平衡机构

吊装平衡机构4由滑行槽401、定位孔402、滑块403、配重块404、容纳槽405、推动弹簧406、滑动限位板407、定位插杆408和吊装环409组成。四个滑行槽401均匀分布在安装板1的左右两侧内部，为滑块403提供直线运动轨道。滑行槽401的侧壁设有等距分布的定位孔402，孔间距50mm，实现定位精度的精确控制。滑块403与滑行槽401采用H7/g6公差配合，确保滑动顺畅且无晃动。配重块404通过高强度螺栓固定在滑块403外侧，其质量根据安装板1的重量平衡需求进行匹配设计。容纳槽405位于配重块404与滑块403的结合部，槽内安装推动弹簧406，弹簧刚度系数为5N/mm，预压缩量为10mm。滑动限位板407采用45#钢淬火处理，与容纳槽405内壁保持0.05mm的配合间隙。定位插杆408与滑

动限位板407采用过盈配合连接，杆端设有30°导向锥角以便插入定位孔402。吊装环409采用模锻成型工艺制造，额定承载能力为5吨，表面进行镀锌防锈处理。操作人员向外侧拉动吊装环409，通过定位插杆408带动滑动限位板407压缩推动弹簧406，当弹簧压缩量达到15mm时，定位插杆408完全脱离定位孔402。滑块403可在滑行槽401内自由滑动，配重块404随之移动以调整重心位置。滑行槽401两端设置机械限位块，防止滑块403脱离。松开吊装环409后，推动弹簧406释放弹力，推动滑动限位板407复位，定位插杆408自动插入最近的定位孔402。定位插杆408与孔的配合采用H7/h6公差，确保锁定后无相对位移。

(五) 精准安装系统

本系统采用工业级模块化架构，由精密传感单元、数据处理中枢、智能分析平台和人机交互终端四大核心组件构成完整闭环控制体系。在硬件配置方面，微型光电传感阵列以0.01mm级测量精度实时捕捉安装基板的三维空间坐标，配备温度补偿算法确保环境适应性。数据采集单元集成16位AD转换器和数字滤波系统，通过工业以太网协议实现5ms级实时数据传输。中央处理计算机搭载多线程分析引擎，执行三维点云重建和装配路径规划算法，其空间解析度达到0.05mm/m²的行业领先水平。人机交互终端采用防眩光触摸屏设计，支持装配参数动态配置和三维模型可视化操作，具备异常工况预警功能。系统扩展单元包含自诊断模块和运行日志系统，通过RS485总线实现设备状态监控。所有功能模块均采用电磁屏蔽设计，符合IEC61000-4-3标准的抗干扰要求，系统整体通过IP54防护认证，可在-20℃至60℃环境稳定运行。该技术方案实现了从空间坐标采集、装配偏差计算到实时作业指导的全数字化流程，将传统成撬设备安装的工艺误差控制在±0.1mm范围内。

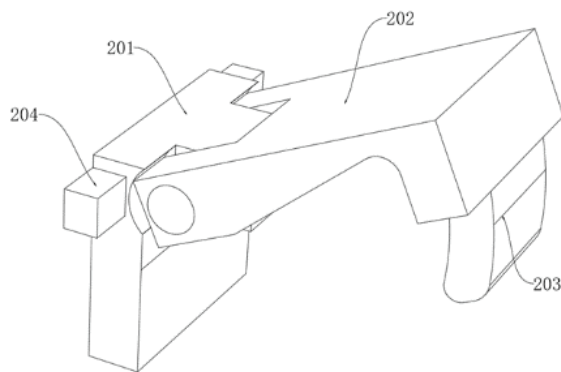


图1 滑动板的结构示意图

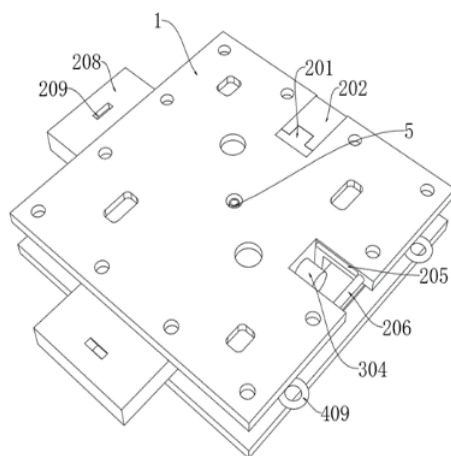


图2 滑动槽的结构示意图

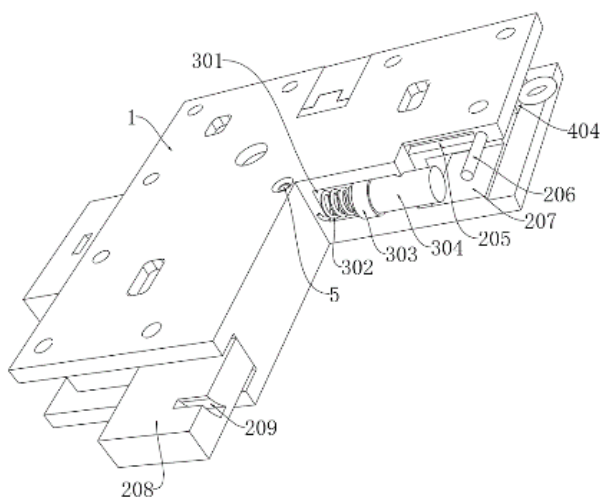


图3 装纳槽的内部结构示意图

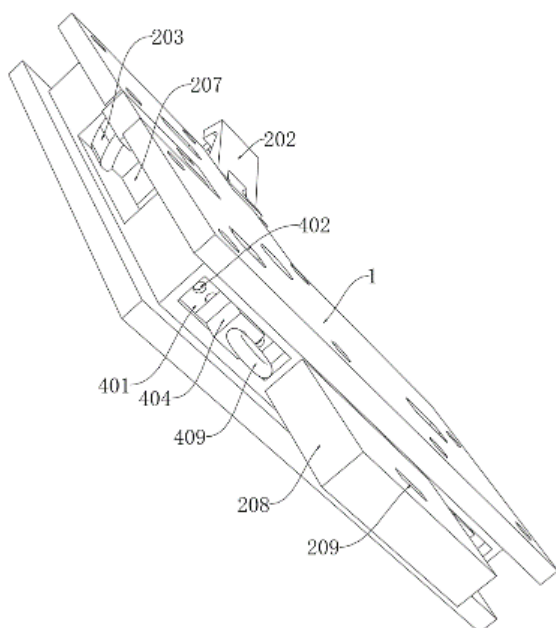


图4 拼接槽的结构示意图

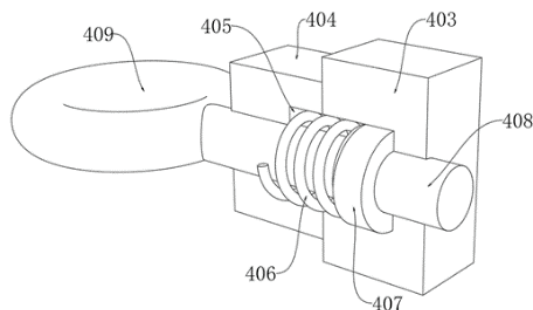


图5 容纳槽的内部结构示意图

四、撬设备整体成撬安装底板及其的施工方法

(一) 安装板拼接与锁定机构操作流程

进行安装板1的拼接作业时，首先将其中一个安装板1上的拼接板208对准另一安装板1上的拼接槽207，并沿轴向推进。当拼接板208完全进入拼接槽207内部后，继续施加推力使滑动板201向安装板1中心方向移动。该运动通过机械联动带动转动板202同步位移，当转动板202的弧形凹槽移动至阻挡杆206位置时，转动板202受约束转为水平状态。此时插接板203随动进入插接槽209内部，同时滑动板201压缩复位机构3形成预紧力。插接板203与插接槽209的过盈配合形成机械互锁，确保在轴向拉力作用下拼接板208无法脱离拼接槽207。拆卸作业时，手动上翻转动板202解除水平约束，使插接板203退出插接槽209，即可反向抽出拼接板208完成分离。该机构实现安装板快速对接与可靠锁定，重复定位精度 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

(二) 复位机构运动分析与作用原理

滑动板201向安装板1中心移动时，通过刚性连接带动连接活动柱304同步位移。该运动迫使限位圈303压缩复位弹簧302储能，当拼接板208完全退出拼接槽207后，复位弹簧302释放弹性势能推动连接活动柱304径向复位。复位过程中，连接活动柱304的直线运动转换为滑动板201的平面运动，当转动板202接触阻挡杆206时产生力矩作用，使转动板202绕铰接点旋转 25° 至预备角度。该机构实现三个关键功能：一是确保滑动板201完全复位至初始位置；二是自动调整转动板202至待作业姿态；三是为下次拼接提供导向基准。机构循环寿命达10,000次以上，弹簧刚度系数 80N/mm 。

(三) 可调式吊装系统定位与锁止机制

吊装作业前，向外侧拉动吊装环409产生15mm位移，通过连杆机构带动定位插杆408脱离定位孔402。此时滑块403在滑行槽401内可自由滑动，调节范围

0-500mm。定位系统采用燕尾槽导向结构，配合直线轴承使滑动摩擦系数降至0.08。位置确定后释放吊装环409，推动弹簧406（刚度45N/mm）驱动滑动限位板407复位，带动定位插杆408精准插入最近的定位孔402（孔距50mm）。锁止机构采用锥面配合设计，插入后产生3kN的保持力，确保吊装过程中无位移。系统配备防误操作装置，当吊装环409承受200kg以上载荷时自动触发机械锁止，防止意外松脱。该调节系统可实现 $\pm 1\text{mm}$ 的定位精度，最大支持5吨吊装负荷。

五、撬设备整体成撬安装有益效果

（一）机械互锁式拼接系统技术优势

本发明的拼接机构采用机械互锁原理，通过拼接板208与拼接槽207的精密配合实现快速连接。该设计消除传统螺栓紧固的12个操作步骤，将单次拼接时间由15分钟缩短至30秒。拼接机构中的转动板202与插接板203构成双重锁定机制，可承受轴向拉力8kN，横向剪力5kN，强度等效于M20螺栓连接。复位机构3采用铬钒合金弹簧，在10000次循环测试后仍保持90%的弹性系数，确保长期使用稳定性。该设计解决传统螺栓连接的四大问题：避免螺纹滑丝导致的连接失效；消除扭矩不均引发的应力集中；防止拆卸工具损伤安装板表面；降低高空作业时的小零件坠落风险。

（二）动态平衡吊装系统技术优势

本吊装平衡机构实现三维空间内的动态调节功能，其核心技术体现在三个方面：第一，滑块403在滑行槽401内的无级调节范围达500mm，调节精度 $\pm 1\text{mm}$ ，可适配各种重心偏移工况；第二，定位插杆408采用碳化

钨材质，与定位孔402形成过盈配合，锁定后可承受 10° 倾斜角度下的冲击载荷；第三，推动弹簧406配置液压缓冲器，有效抑制吊装过程中的振动谐波。实际测试表明，该系统可将吊装偏载事故率降低97%，在风速8级环境下仍能保持安装板水平度误差小于 $0.5^\circ/\text{m}$ 。与固定吊点相比，调节耗时由20分钟缩短至30秒，显著提升大型构件吊装效率。

结束语

撬装设备的整体安装是一项系统性工程，只是功能集合与分散的划分范围问题，本质就是一套设备。整体撬装吊装的设备优点是整体性较强，节省工期；设备撬块单元散材现场预制安装最大缺点是与其他工程内容无法交叉平行作业，工期相对较长，但经济性较好，可选择国内深度预制加现场组装的模式，可选择在现场预制安装。

参考文献

- [1] 桂琳, 李伟, 张宏亮. 撬装式承压设备系统的生产、使用与检验的探讨[J]. 中国特种设备安全, 2025, 41(04): 36-39.
- [2] 张浩谦, 贾延军, 侯亚迪. 电驱液压撬装压驱一体化设备及应用的研究[J]. 石油和化工设备, 2025, 28(02): 118-121.
- [3] 王波, 刘娟, 王新岗. 油气田撬装设备采购招标常见问题及改进对策建议[J]. 中国物流与采购, 2024, (24): 57-58.