

多用途机载式高速液压夯机在工程养护施工中的应用

赵树坤 赵胜利 魏万勇

濮阳黄河河务局第一黄河河务局, 河南 濮阳 457199

[摘要] 黄河流域的防洪工作面临越来越多的挑战, 特别是在下游地区, 河道不稳和堤防工程存在的问题容易引发水灾险情。防洪抢险任务繁重且紧急, 要求施工机械具备较高的灵活性和适应性。液压夯机作为一种高效的土方夯实设备, 在防洪工程中具有重要应用。其高效能和良好的适应性, 使其在复杂地形和抢险作业中表现优异。此文重点分析了多用途机载式高速液压夯机在黄河防洪工程中的应用, 探讨其提高施工效率和保障防洪安全的优势, 为相关领域提供参考。

[关键词] 黄河防洪; 液压夯机; 防洪工程; 施工效率

DOI: 10.33142/hst.v7i12.14694

中图分类号: U4

文献标识码: A

Application of Multi-purpose Airborne High speed Hydraulic Compactor in Engineering Maintenance and Construction

ZHAO Shukun, ZHAO Shengli, WEI Wanyong

Yellow River Puyang Bureau, First Yellow River Bureau, Puyang, He'nan, 457199, China

Abstract: The flood control work in the Yellow River Basin is facing increasing challenges, especially in downstream areas where unstable river channels and problems with embankment engineering can easily lead to flood hazards. The flood control and rescue tasks are heavy and urgent, requiring construction machinery to have high flexibility and adaptability. Hydraulic compactor, as an efficient earthwork compaction equipment, has important applications in flood control engineering. Its high efficiency and good adaptability make it perform excellently in complex terrains and emergency operations. This article focuses on the application of a multi-purpose airborne high-speed hydraulic compactor in the Yellow River flood control project, exploring its advantages in improving construction efficiency and ensuring flood control safety, and providing reference for the fields.

Keywords: Yellow River flood control; hydraulic compactor; flood control works; construction efficiency

引言

近年来, 受全球气候变化影响, 黄河流域极端天气事件频发, 洪水及防洪工程水毁的可能性和频度增加, 黄河防洪面临严峻挑战。黄河下游河道存在多种先天不足, 如河势不稳、堤防工程布局不当、堤身不实等, 极易导致水毁险情, 严重威胁防洪工程和沿岸群众生命财产安全。发生重大险情时, 抢险任务通常呈现点多、量大、时间紧、任务重等特点, 且常受到地理位置、天气条件等制约, 亟须研发适应性强、操作灵活的施工机械。随着我国社会经济从高速增长阶段转向高质量发展, 黄河防汛和治理开发面临更高的要求, 特别是习近平总书记提出“让黄河成为造福人民的幸福河”的指示, 使得高效化、便捷化的防洪抢险工作显得尤为迫切。

1 国内外研究现状

夯机是通过夯击增加土石填方及路面铺层混合物料的密实度, 广泛应用于道路、堤坝、基础等工程。夯击加固技术在我国已有几千年历史, 19 世纪末, 德国和英国相继发明了夯机。夯机的种类包括自由落锤式、强制落锤式液压夯机、振动平板夯机等。特别是强制落锤式液压夯机, 具有夯击能量高、影响深度大、效率高等特点, 广泛应用于建筑、道路、机场跑道等领域, 前景广阔。

2 成果介绍

2.1 主要指导思想、依据和原则

本研究以习近平新时代中国特色社会主义思想及“让黄河成为造福人民的幸福河”的重要指示为指导, 旨在推动黄河治理开发事业的高质量持续发展。研究聚焦黄河防洪工程安全与应急抢险工作, 着眼于解决防洪施工及抢险过程中的技术难题, 探索了便捷高效的土方夯实新技术。

在科学原理的指导下, 本研究运用了帕斯卡定律与绝热压缩原理, 确保了研究的科学性与前瞻性。相关技术标准则依据《移动式道路施工机械通用安全要求》与《建筑施工机械与设备安全要求》等行业标准执行, 确保了技术实现的规范性与可靠性。同时, 在社会实践方面, 本研究坚持“实践是检验真理的唯一标准”, 并通过实验数据与生产数据, 验证了研究成果的科学性与应用性。

本研究遵循了五项基本原则。理念引领下, 始终贯彻习近平总书记关于黄河治理的核心思想, 确保项目方向与目标明确, 服务黄河防汛与治理开发的实际需求。问题导向的研究方法, 以黄河防洪工程与抢险工作中的技术需求为出发点, 推动了便捷高效土方夯实机械的研发与应用。在守正创新的过程中, 传统技术与创新方法相结合, 推动了技术的突破与发展。研究的持续改进原则强调了在不断

发现问题、优化调整中，成果的逐步完善。三效并举则贯穿整个实施过程，力求实现社会效益、经济效益与生态效益的均衡。最后，通过合理配置资源、专注核心任务，确保了研发效能的最大化。

2.2 主要研究内容的分析、计算与组织实施

2.2.1 主要研究分析

多用途机载式调速液压夯机由固定结构与液压夯机主体两大部分组成。固定结构包括悬挂孔、插销以及固定框架等部件，主要用于将夯机与动力机械连接，并支撑液压夯机主体。液压夯机主体则由多个关键部件构成，其中包括缸体、氮气室、活塞杆、钎杆、换向阀、蓄能器及油封等。缸体作为夯机的承载体，在工作时承担压力，并在夯击过程中起到缓冲作用。氮气室内充入的工业氮气，在活塞下行时释放弹性势能，从而有效缓解冲击。活塞杆将液压动力转化为机械能，再通过钎杆传递，推动夯体进行夯击。换向阀负责切换油道方向，蓄能器则储存并释放夯击过程中产生的剩余能量及活塞反冲的能量，确保作业的高效进行。油封装置则确保液压系统的密封性，防止油脂泄漏及杂质进入气缸与油缸。

液压夯机的工作周期被分为回程加速、回程制动、冲程加速与打击停顿四个阶段。回程时，活塞通过液压系统中的压力差驱动上行，氮气室中的氮气随之被压缩。当氮气压缩时，活塞的运动逐渐放缓。进入冲程加速阶段后，高压油通过油道引导至缸体上腔，促使活塞杆加速下行。在此过程中，机械能不断积累，并通过钎杆传递至夯体，完成夯击。活塞下行至下限位置后，夯机完成打击动作，随即短暂停顿，标志着一个工作周期的结束。随后的打击动作将很快进行，进入下一轮作业。

液压夯机的主要技术参数包括总质量 680kg、工作行程 600mm、打击频率 350~680 次/分钟、钎杆直径 137mm、驱动油压 120~150kg/cm²、工作流量 80~120L/min。该夯机适用于黄土、粉质粘土等土质，能够在 0.4 至 1.0 米的有效深度范围内高效夯实，冲击能量为 8KJ。它可与装载机或挖掘机等机械配合使用，广泛应用于平面夯实、斜面夯实等多种作业环境。

夯机的安装与拆卸工作应严格按照安全规程进行。在安装过程中，夯机需与挖掘机或装载机进行连接，确保液压油路安装无误。安装前，操作人员应先检查夯机与机械的适配性，且作业区域需提前清理干净。连接油管后，工作人员应启动液压系统，清理油路，确保油路畅通。钎杆的安装与调试必须在夯机正常启动的基础上进行，以确保夯机能够按照预期输出所需的打击力。完成安装后，应对设备进行调试与测试，确保其工作状态处于最佳。拆卸时，应按照反向操作步骤，确保夯机从挖掘机上安全卸下，避免造成损坏。

操作人员必须经过专业培训，持证上岗。作业前，操作人员需熟悉夯机的构造与性能，掌握设备的维护与故障

排除技能。检查作业现场时，应确保现场没有任何障碍物，并在作业区域设置安全标识，防止无关人员进入。设备检查时，尤其要注意钎杆、油封及液压系统的状态，确保设备处于正常工作状态。操作过程中，操作人员应佩戴必要的安全防护装备，保持与夯机的安全距离，并确保作业区域整洁。作业时，操作人员应遵循规范，不随意调整夯击频率与力度。设备需定期进行检查，保持在良好的工作状态。若设备出现故障，应立即停机，进行维修。

作业结束后，操作人员需清理作业区域，并关闭油阀。如夯机长期未使用，应将钎杆顶入，以防暴露在空气中导致腐蚀。定期检查夯机的各部件，尤其是钎杆、油封与液压系统，及时更换磨损或损坏的部件。若设备发生故障，操作人员应立即停机，并采取维修措施。如发生突发事故，应进行紧急处理，并及时报告相关部门，确保事故得到有效解决。

2.2.2 计算公式

与液压夯机效率有关的是冲击能，冲击能计算见式(1)。

$$E = \frac{1}{2} m_p v_p^2 \quad (1)$$

式中： m_p 为液压破碎锤的活塞质量，kg； v_p 为液压破碎锤活塞运动速度，m/s。

能量经活塞磨损传导至钎杆运动过程中，存在能量损失，其效率计算见式(2)。

$$\eta = \frac{E_f}{P_{in} Q_{in}} = \frac{E}{T P_{in} Q_{in}} \quad (2)$$

式中： T 为活塞完成一次冲击所需的时间（周期），s；

f 为冲击频率；

Q 为系统输入流量，m³/s；

P_{in} 为系统入口处平均压力，Pa；

$P_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$ ，其中 n 为入口压力采样个数。

2.3 结论验证（检测）及评价

多用途机载式高速液压夯机在研发成功后，通过在多个测试点进行长达 1 个月的测试实验，验证了其卓越的性能与多样化的应用优势。该夯机在简便性、效率、灵活性、可控性和适应性方面均表现出了优异的特点。首先，夯机的研发遵循了“有所为、有所不为”的原则，专注于设计便捷、高效的夯机主体，并通过与现有铲车、挖掘机等机械的液压系统、控制系统、承载系统、动力系统的整合，极大地简化了研发过程，降低了研发成本与维护难度，同时提升了操作简便性。操作人员无需额外培训即可快速掌握使用方法，极大增强了操作的亲和力，赢得了作业人员的广泛认可。其次，夯机通过利用液压系统的强大压力，驱动夯体进行高强度的夯击，在短时间内对土壤进行高效压实。夯机产生的高频振动冲击能深度穿透土壤表层，促进土壤颗粒重新排列并减少空隙，显著提高了土壤的密度与承载能力，同时改善了土体结构，降低了沉降风险。与其他类型夯机相比，其作业效率显著提升，能够在较短时

间内完成更大范围的压实作业。第三，夯机特别适用于深层土壤压实及应急抢险任务，尤其适用于堤坝边坡、水沟浪窝、堤坝裂缝等狭小空间以及软弱基础和高含水量土壤的加固处理。凭借其高频冲击能力，夯机能够在处理难压实土质时展现出更高的效率，显著降低地基沉降的风险。第四，夯机能够灵活安装在现有装载机或挖掘机上，无需额外配置动力装置，并能够控制夯击的位置、速度、角度、能量、频率等参数，保证压实效果的同时，适应多种作业场景。无论是在平面作业、斜面作业，还是在台阶、沟槽、坑井等复杂环境中，夯机都能够通过调节夯击的高度、深度及展度，拓展作业范围，展现了高度的可控性。最后，凭借其卓越的高效性、灵活性与可控性，夯机能够适配多种施工机械，并满足不同土质与作业条件的需求，尤其在狭小空间与复杂地形中表现出极强的适应性。它在防洪工程建设、应急抢险以及公路、桥梁、机场、水利等基础设施项目中，已经成为不可或缺的高效设备，极大地推动了相关工程的进展并取得了显著的效果。

3 创新点

3.1 结构设计创新

在液压夯机的结构设计中，引入了一系列创新性设计以提升设备的性能和使用寿命。首先，钎杆与夯体的关节联结设计显著提高了连接的灵活性，确保夯体能够对地面进行垂直夯击，从而提升夯击的均匀性，同时有效减少了夯体和液压夯机主体所承受的损害，延长了设备的使用寿命。其次，采用了高强度钢板弹簧缓冲装置，并配合耐磨抗冲击的关节面处理，成功减小了冲击力。在保证充足冲击能量的同时，设计有效减少了对液压夯机主体和夯体的损害，进一步延长了使用周期。最后，为了满足不同作业需求，设计了系列化夯击板，涵盖了多种形状（如圆形、方形等）、大小以及表面处理（如平面、钉帽、钉刺等），这些夯击板可以根据具体作业任务灵活选择，极大提高了设备的适应性与灵活性。

3.2 研发理念创新

本项目在研发理念上采取了多项创新策略，旨在提升高速液压夯机的性能与适应能力。通过减量研发模式，项目聚焦于核心功能和结构，去除非核心部分（如液压系统、控制系统等），并借用现有的机载装置（如挖掘机、铲车），从而降低了研发的复杂性与投入，提升了效率，取得了显著成效。为进一步优化作业方案，团队精心挑选了合适的机载机械，结合黄河工程建设及应急抢险的需求，整合了“夯机+车载机械”的作业方式。经过市场调研与实地测试，最终选定了“夯机+挖掘机”与“夯机+铲车”两种主推模型，并在结构、功能、参数、操作及效率等方面进行了多维度的优化，大幅提升了作业的便捷性、灵活性与高效性。

同时，团队结合多项技术，研发出了具有夯击剩余能

量回收（蓄能器）、三重加速机制（重力、液压、气体膨胀）及自动控制转换功能的高速液压夯机。通过融合液压、气体压缩技术、气体蓄能技术与自动控制技术，夯机的能量利用率与作业效率得到了显著提升，确保了设备在各种作业环境中的卓越表现。为确保设备安全性，团队还制定了全面的安全操作规程，涵盖了从准备阶段、操作过程到后期维护和应急处理的各个环节，为设备的安全使用提供了充分保障。综上所述，设计方案不仅满足了常规的黄河防洪工程建设管理需求，还能应对抢险中的急难险重任务，使夯机具备了在平时与战时双重环境下的高效稳定运行能力。

4 推广应用及效益

4.1 推广应用情况

2023 年以来，本成果先后在濮阳第一黄河河务局及多个兄弟局防洪工程施工建设管理和各类水毁工程修复项目中广泛应用，并在防洪工程建管及应急抢险实践发挥了无法替代的作用，特别适用于堤坝边坡、水沟浪窝、堤坝边缘、堤坝裂缝、排（顺）水沟、沟槽回填等狭小空间，以及软弱堤坝基础加固、高含水量土方压实等应急抢险处理，它能够通过高频冲击能力使其在处理难压实土质时更为高效，能显著减少地基沉降风险。提高黄河防洪工程建设管理效率与质量，降低建设管理成本，提高黄河工程建设经费的使用效率和社会效能。提高防洪抢险效率和质量，降低防洪抢险经费投入，规避因洪灾及其次生灾害造成的经济损失。累计应用于 50 余个建设或水毁工程修复及抢险项目，有效地服务了黄河防洪工程建管和抢险工作，取得了显著的社会、经济效益，赢得了一致肯定。

4.2 社会、经济和环境等效益分析

自 2023 年起，本成果已在濮阳第一黄河河务局以及多个兄弟局的防洪工程建设与水毁修复项目中得到了广泛应用。在防洪工程建设管理及应急抢险工作中，其发挥了无法替代的重要作用。尤其是在堤坝边坡、水沟浪窝、堤坝裂缝、排水沟、沟槽回填等狭窄空间的作业中，以及在软弱堤坝基础加固、高含水量土方压实等应急抢险任务中，液压夯机凭借其高频冲击能力，极大提高了处理难压实土质的效率，有效减少了地基沉降的风险。此外，在提高黄河防洪工程建设质量与管理效率的同时，本成果还显著降低了管理成本，提高了建设经费的使用效率，创造了良好的社会效益。尤其在“十四五”防洪工程（河南段）施工一标中的尹庄控导工程、连山寺控导工程、王称堙吉庄险工改建等工程施工中，液压夯机发挥了至关重要的作用。在防洪抢险的应用中，夯机为抢险赢得了宝贵的时间，保障了防洪工程的安全，并在确保人民生命财产安全方面做出了突出贡献，得到了各级政府及社会公众的广泛赞誉。

本成果的社会效益体现在以下几个方面：其一，通过满足黄河防洪工程建设的特殊需求，本成果进一步提升了防洪工程的质量与安全性，为沿岸居民的生命财产及社会

经济安全提供了有力保障。其二，夯机能够为防洪抢险争取更多的时机，缩短抢险时间，提高抢险的效率与质量，从而有效减少洪灾的损失与生态破坏。其三，夯机的应用改善了工程建设人员与抢险人员的劳动条件，降低了劳动强度，提升了安全保障，促进了黄河地区的和谐建设。其四，本成果有助于提升黄河地区的社会竞争力，增加社会项目的承接成功率与效益，进一步促进了黄河经济的高质量发展。

在经济效益方面，本成果显著提高了黄河防洪工程的管理效率与建设质量，降低了整体管理成本，从而提升了工程经费的使用效率与社会效益。通过提升防洪抢险的效率与质量，液压夯机不仅减少了经费投入，还有效避免了因洪灾及次生灾害造成的经济损失。以一个中型项目为例，液压夯机的应用节省了大量的费用，包括人工成本、设备租赁费用、管理费用、返工费用以及能源消耗费用。计算结果显示，液压夯机的使用可以为一个项目节省总费用达到 275,000 元。此数据充分说明了液压夯机不仅提高了施工效率，还有效降低了整体成本，体现了其在

工程中的优势。

在环境效益方面，本成果极大提高了黄河防汛工程建设及应急抢险的工作水平，显著减少了黄河发生险情的概率。由此，洪灾对生态环境的直接破坏及次生灾害的间接影响得到了有效抑制，黄河流域的生态系统得到了更好的保护，为区域的可持续发展奠定了基础。该成果带来了巨大的环境效益，推动了社会经济的健康发展。

[参考文献]

- [1]胡丹丹,何振华. 液压双翼雪推斗开发及应用[J]. 邢台职业技术学院学报,2015,32(1):91-92.
- [2]靳仁宁. 液压震动式夯平船工作原理及管理[J]. 智能城市,2021,7(7):143-144.
- [3]陈顺建. 桥梁工程中液压滑模原理及应用分析[J]. 运输经理世界,2021(7):61-62.

作者简介：赵树坤（1978.8—），男，毕业于中央广播电视大学，本科学历，所有专业：水利水电工程，现就职单位：濮阳黄河河务局第一黄河河务局，职务：副局长，所在职务的年限 11 年，目前职称：高级工程师。