Vol. 13 No. 4 公 路 交 通 科 技 1996年12月
JOURNAL OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION RESEARCH AND DEVELOPMENT

微型橡胶履带式装载机性能研究

周萼秋 柯建雄
（长沙交通学院 长沙 410076） （广东省公路局 广州 510000）

提要 通过对微型橡胶履带式装载机结构和工作装置优化的研究，以及检测和对比分析，对该装载机作出了性能评价。

关键词 微型橡胶履带式装载机 优化设计

study on the Performance of a Mini Rubber Caterpillar Loader

Zhou Eqiu
(Changsha Communication Institute, Changsha)
Ke Jianxiong
(Highway Administration of Guangdong, Guangzhou)

Abstract The performance of a mini-loader with rubber caterpillars is evaluated by studying on its structure and working installation optimization as well as by testing and contrasting analysis.

key words Mini rubber caterpillar loader Optimization design

0 前言

80年代后期，国外开始重视小型轮式装载机的研究与开发，并有朝多功能方向发展的趋势，这是近年来轮式装载机发展的一种新动向。日本小松制作所生产的WA20-1超小型轮式装载机，功率为16kW，斗容量为0.26m^3，机动灵活，是国外目前最小的轮式装载机。

我国90年代初开始研制小型和超小型轮式装载机，现已进入应用阶段。徐州澳友公司生产的XM-14型轮式装载机，功率为11kW，斗容量为0.14m^3，是我国目前所开发的轮式装载机中最小的一种。

这种小型或超小型轮胎式装载机具有较大的灵活性、机动性和多用性，行走时对路面无损伤，可满足各种狭小场地装载作业的要求。但由于受轮式底盘工作特性的制约，小型或超小型轮式装载机也存在一些不足之处，主要表现在：

(1) 由于附着力不足，容易引起驱动轮滑转；

(2) 轮胎接地比压较大，在松软地面上容易沉陷，野外作业适应性较差；

(3) 由于轮式底盘普通采用差速器或液压驱动滑移式转向，且左右制动器不能独立制动，

收稿日期 1996-08-07

其最小转弯半径远大于车身宽度，作业场地仍受到一定限制。

履带式底盘具有附着性能好、转弯半径小（可实现原地转向），接地比压小，机动性、通过性好等优点。但目前国内外大、中型履带式装载机所采用的履带，都是由金属履带板通过链轨和节销铰接而成。金属履带自重较大，磨损严重，有机械噪声，传动效率较低，功率损耗也较大，且容易损坏路面。显然，在低功率装备的微型履带式装载机上采用金属履带行走装置是不适宜的。

实践证明，微型履带式底盘最适合采用整体封闭式橡胶履带行走装置，它具有自重轻、磨损小、传动平稳、无噪声、传动效率较高、不损伤路面等优点，装拆维修也十分方便。这种轻便型整体式橡胶履带，近年来已在我国小型稻田履带式收割机上得到成功应用。移植这种橡胶履带行走装置，研究开发微型履带式装载机，是履带式装载机微型化研究的一种尝试。

为了探讨履带式装载机微型化的可行性，两年来作者与广东省肇庆市公路局机械修配厂合作，成功开发研制出 Z03 型微型橡胶履带式装载机，在微型履带式装载机性能研究方面取得了初步成果，为履带式装载机微型化积累了一些经验。

对比试验证明：微型橡胶履带式装载机较之小型轮式装载机更加机动灵活，对作业场地具有更大的适应性。微型橡胶履带式装载机自重轻、重心低、稳定性好，其装备功率低，动力因数大，使用经济性能好。由于底盘通用性好，便于开发多功能系列作业机具，可扩大作业范围，满足极为狭小场地不同作业的要求。

微型履带式装载机可广泛用于公路养护、城市道路维修及小宗散装物料的转运、堆集和清理，完成大、中型装载机无法替代的工作，提高狭窄场地机械化作业程度。

1 总体设计方案

总体设计方案应符合结构简单、紧凑，自重轻，总体布置合理，技术性能先进，工作可靠，使用维修方便，造型美观等原则。

1.1 行走装置的选择

选用轻型整体式橡胶履带行走装置，不仅结构简单，挠性好，可以满足微型装载机对履带推进装置的要求，同时还可避免金属履带的弊端。

橡胶履带由耐磨橡胶、抗拉钢丝和金属凸齿硫化粘结而成。环状橡胶履带的外侧表面有凸起橡胶履刺，内侧表面设有等节距金属凸齿，可与驱动轮的圆周轮孔相啮合。驱动轮的驱动力矩通过轮孔和与之啮合的凸齿驱动橡胶履带。采用橡胶履带不需要链轨和节销，相当于一种带齿的皮带传动，结构简单，质量轻，传动柔和平稳，振动小，无噪声，滚动阻力小，使用寿命长，不需要维修保养。橡胶还具有缓冲减振作用，可省去车架弹性悬挂构件，简化底盘结构。

橡胶履带可在 150mm 深的泥泞和松软地面上正常行驶，附着牵引力大，滑转率低，传动效率高。由于履带自重轻，上方履带下垂量小，故可不设托带轮，其张紧和缓冲装置也可采用简单的弹簧张紧机构，调整十分方便。

橡胶履带缓冲张紧装置如图 1 所示。

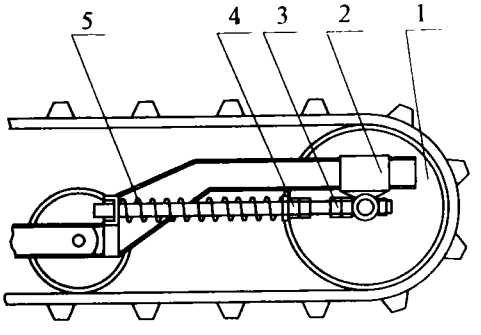

图 1 橡胶履带缓冲张紧机构示意图

1 为导向轮；2 为外滑座；3 为销紧螺母；4 为调整螺母；5 为张紧弹簧

1.2 主参数与传动方案

微型橡胶履带式装载机装备功率低，选择机械式传动方案可满足传动效率高、工作可靠、维修方便的要求，较采用液压传动制造成本也低得多。

Z03型微型橡胶履带式装载机的主要技术参数如下：

额定斗容量 0.2m³

发动机

型号 S1 100（水冷）

额定功率 10.3kW

额定转速 2 200r/min

起动方式 手动

轨距 800mm

履带宽度 300mm

驱动轮直径 320mm

行驶速度

一档 0.77km/h

二档 1.43km/h

三档 2.31km/h

四档 2.86km/h

五档 5.06km/h

六档 8.58km/h

倒一档 0.66km/h

倒二档 2.31km/h

液压油泵

额定压力 10MPa

排量 12ml/r

卸料角 ≥45°

收斗角 ≥42°

传动角 >15°

铲斗平移性

向前倾斜角 ≤0°

向后倾斜角 ≤15°

最大卸载高度 1 420mm

最小卸载距离 720mm

最大牵引力 ≥10kN

最大掘起力 ≥8kN

最小转弯半径 ≤880mm

整机质量 1.3t

外形尺寸（mm） 2 650×1 200×2 100

该机发动机飞轮输出端通过三角皮带减速，将动力输入传动系。动力经主离合器、组成式变速箱直接进入后桥主动轴，然后经左右牙嵌式转向离合器，直接驱动左右半轴及其行走装置。其中变速箱选用工农-12型拖拉机变速箱进行改型设计，结构简单，档位多（2×（3+1））设有6个前进档，两个倒退档，可满足运输工况和作业工况的车速要求。

考虑微型履带式装载机机身较窄，后桥空间小，转向机构布置困难，故选用结构简单的牙嵌式离合器作转向离合器，并在牙嵌式离合器从动轴上设有简易型蹄式制动器。该转向离合器和制动器由同一根操纵杆控制（先分离后制动），左右转向机构可分别独立操纵。转向时，牙嵌式离合器分离彻底迅速，制动效能好，不仅操作轻便灵活，还可实现装载机微动。

牙嵌式离合器虽较之多片摩擦式转向离合器结构简单、紧凑，便于布置，传动可靠，但牙嵌接合刚性较大，容易产生冲击，故通常只在小型拖拉机上采用。本传动方案采用多级减速传动装置，组成式变速箱设有高、低档，传动比大，车速低，牙嵌式离合器接合时速差较小，容易同步。在实际使用中接合顺利，基本无冲击，较好地解决了微型底盘转向机构的安装、使用和维修的问题，同时也明显地降低了履带式底盘的制造成本。

2 工作装置油缸同平面布置优化设计

工作装置采用反转六连杆机构，动臂油缸和转斗油缸采用同平面布置新方案。工作油缸同平面布置容易引起机构干涉，破坏铲斗的平移性、自动放平性、卸净性，还会影响动臂和摇臂的动力性。突破传统的设计方法，采用计算机优化工作装置铰点，可达到预期的理想效果。

2.1 优化设计变量的确定

工作装置典型工况的几何状态如图 2 所示。

工作装置铰点由铲斗 GF、动臂 AG、连杆 FE、摇臂 EBC、转斗油缸 CD、机架 AD 和动臂油缸 HI 组成，也即由两个四杆机构 $GFEB$ 和 $BCDA$ 以及动臂油缸构成。

以水平铲装工况（Ⅰ工况）建立直角坐标系 xoy（以铲斗尖 o 为坐标原点），若某一工况各铰点 G、F、E、B、C、D、A、H、I 的坐标值被选定，则工作装置各构件的几何尺寸就可以确定。将上述各铰点的坐标值（x、y）确定为设计变量（即 18 个变量），在欧氏空间里，则可视为一组向量，用点 x 表示。这样，取不同的点，便可获得不同的设计方案。各铰点可用一个列向量 $\vec{X}$ 表示。

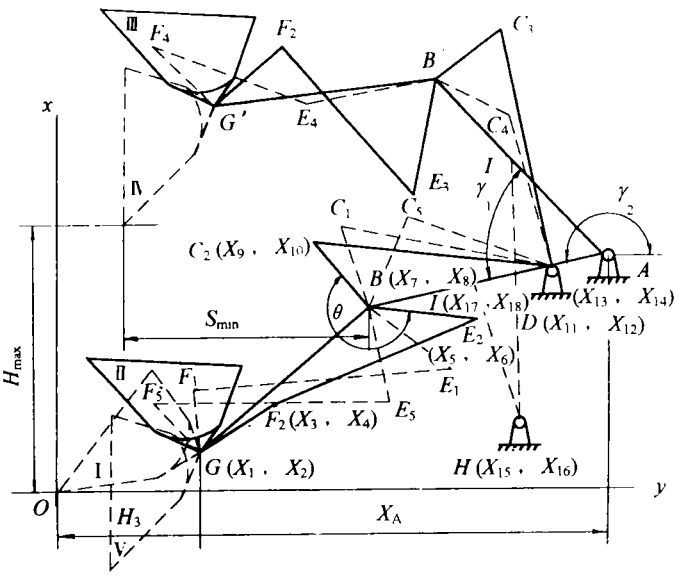

图 2 工作装置典型工况几何状态图

Ⅰ为水平铲装工况；Ⅱ为运输工况；Ⅲ为最高举升工况；Ⅳ为最高卸料工况；Ⅴ为最低卸料工况

2.2 目标函数的确定

目标函数是设计优化目标的函数表达式，它是设计变量 $\vec{X}$ 的可计算函数，记作 $F(\vec{X})$，可按 $F(\vec{X})$ 达到最小值为追求目标。

在充分考虑工作装置工作特性的同时，应最大限度地提高整机的生产效率和综合经济指标。可按此取铲斗的平移性和动力性参数为目标函数，并建立三目标函数表达式

$$(\vec{X}) = W_1F_1(\vec{X}) + W_2F_2(\vec{X}) + W_3F(\vec{X})$$

式中，$F_1(\vec{X})$ 为铲斗举升平移目标函数；$F_2(\vec{X})$ 为转斗单位掘起力目标函数；$F_3(\vec{X})$ 为动臂举升单位掘起力目标涵数；W_1 为铲斗举升平移目标函数加权系数；W_2 为转斗单位掘起力目标函数加权系数，W_3 为动臂举升单位掘起力目标函数加权系数。

2.3 约束条件的确定

设计变量的任意一组值，都是一种设计方案。如果某一设计方案完全满足设计要求，则称其为可行设计。但可行设计并非都是最优设计。最优设计必须满足一定的设计约束。

根据微型橡胶履带式装载机的外形尺寸、总体布置和整机性能的要求，即可建立边界约束、性能约束和计算约束三类约束条件。

2.3.1 边界约束

根据整机尺寸和工作装置布置的要求，给出各设计变量空间变化范围，即给定 18 个设计变量上、下限取值范围。

2.3.2 性能约束

为满足工作装置对卸料角、收斗角、传动角、最大卸载高度、最小卸载距离、自动放平性、油缸工作稳定性、构件无干涉等性能的要求，建立性能约束条件。

2.3.3 计算约束

为了提高计算的收敛性，避免迭代计算时出现障碍引起停机，必须建立计算约束条件。

2.4 优化方法

工作装置油缸同平面布置优化设计是一个带约束条件的非线性规划问题，也是一个求解约束极值的问题。应用混合总惩罚函数法，把约束极值问题简化为无约束极小化问题来进行优化计算，即可求出惩罚函数的极小值。

惩罚函数模式为

$$\varphi(\vec{X},R)=W_1F_1(\vec{X})+W_2F_2(\vec{X})+W_3F_3(\vec{X})+R\sum_{i=1}^{m}[1/G_i(\vec{X})]+(1/\sqrt{R})\sum_{j=1}^{m}[P_jH_j(\vec{X})]^2$$

式中，$G_i(\vec{X})$为不等式约束函数；$H_j(\vec{X})$为等式约束函数；P_j为等式约束函数加权因子；R为惩罚因子。

整个优化过程可分为4个步骤。

(1) 给出一个满足不等式约束$G_i(\vec{x})$的初始点X_0，R_0，求$\varphi(\vec{X}、R)$的极小点$\vec{X}$。

(2) 检验是否已收敛于问题的最优解。

(3) 若不满足收敛准则，则用公式$R=CR$递减R。

(4) 算出一个新初始点，重新按步骤(1)进行极小优化计算，如此循环，直到求出最优解。

2.5 优化设计结果

优化设计程序框图略。优化结果为：

$$\vec{X}=\begin{pmatrix}x_1\\x_2\\x_3\\x_4\\x_5\\x_6\\x_7\\x_8\\x_9\\x_{10}\\x_{11}\\x_{12}\\x_{13}\\x_{14}\\x_{15}\\x_{16}\\x_{17}\\x_{18}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}x_G\\y_G\\x_F\\y_F\\x_E\\y_E\\x_B\\y_B\\x_C\\y_C\\x_D\\y_D\\x_A\\y_A\\x_H\\y_H\\x_I\\y_I\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}540\\781\\500\\326\\1\ 025\\410\\790\\741\\789\\980\\1\ 404\\1\ 030\\1\ 520\\1\ 090\\1\ 520\\150\\1\ 340\\841\end{pmatrix}$$

3 技术性能评价

Z03型微型橡胶履带式装载机通过工业性考核和可靠性试验，并经国家建筑城建机械质量监督检验中心对其技术参数进行全面测试，与国内外先进水平进行对比分析，对这种新型履带式装载机的技术性能作出了科学的评价。

3.1 工业性考核评估

Z03 型微型橡胶履带式装载机工业性考核情况见表 1 和表 2。

故障统计表 表 1

故障发生日期	累计作业时间 h	故障	故障原因	采取措施	排除故障时间 h
1996.1.9	130.4	制动能力变差	制动皮与制动鼓间隙变大	重新调整刹车皮间隙	1.0
1996.2.11	339.4	摇臂铲斗运动时出现弹跳	铰销润滑不良	各铰点加注润滑油	0.5
1996.4.25	557.9	油缸运动速度慢、无力	滤油器堵塞	换滤芯、清洁油路	1.3

可靠性试验综合汇总表 表 2

作业时间 h	完成作业量 m^3	物料种类	总耗油量 L	平均燃油 L/h	保养时间 h	修理时间 h	故障数目 次	平均无故障工作时间 h	首次无故障时间 h
607.9	6447.1	铁粉、煤、矿渣、粘土	1037.5	1.71	64.9	2.8	3	203.6	130.4

结论：Z03 微型橡胶履带式装载机工业性考核指标符合 Q/ZGJ002-96 Z03 型微型橡胶履带式装载机技术条件的要求，可靠性技术指标达到了产品企业标准的规范。

3.2 性能对比分析

Z03 微型橡胶履带式装载机主要技术性能检测结果与国家和国际标准比较对照见表 3。

与国际国家标准比较情况 表 3

项目			受检样机	Q/ZGJ002-96	JJ77-88
掘起力		kN	8.3	≥8	≥7.84
最大生产率		m^3/kWh	1.1	≥1.0	≥0.65
噪声		dB (A)	87.8	≤88	≤90
排烟度		FSN	3.3	≤3.5	≤3.5
动臂油缸沉降量		mm	8.5	/	≤10
整机可靠性	平均无故障时间	h	203.6	≥100	≥100
	首次故障前工作时间	h	130.4	/	≥100
	作业率	%	90.0	≥85	≥85

最新科技项目查新结论表明，目前国内外尚未发现微型橡胶履带式装载机同类产品，性能参数对比分析只能参照同类小型或超小型轮式装载机进行。其主要技术性能参数与国内外小型和超小型轮式装载机的先进水平对比情况见表 4。

3.3 技术性能综合评价

通过工业性考核评估和对 Z03 微型橡胶履带式装载机的几何参数、工作装置性能参数、牵引性能参数、通过性能参数、技术生产率等技术性能指标全面测试，检测鉴定结论为：

(1) 受检样机主要技术性能指标达到了设计要求，并符合 Q/ZGJ002-96 标准规定；

(2) 该机设计合理，具有稳定性好，装备功率低，附着牵引力大等特点；

与国内外先进水平比较情况 表 4

生产厂家		徐州装载机厂	日本小松制作所	O&K 公司	原捷克斯洛伐克	肇庆公路局机械修配厂
型号		XM-14	WA20-1	L4	UNC060	Z03
铲斗容量	m^3	0.14	0.26	0.5	0.6	0.2
发动机功率	kW	11	16	18	34	10.3
最高行驶速度	km/h	6	15	20	12	8.58
最大牵引力	kN	6.5	/	/	/	10
轮距	mm	885	/	/	/	/
轨距	mm	/	/	/	/	800
轴距	mm	710	1499	/	1020	1215
最大卸载高度	mm	1925	1754	2400	2270	1420
最大卸载距离	mm	300	/	790	/	720
最小转弯半径	mm	870	2923	/	/	880
动臂提升时间	s	6.5	/	/	/	6.5
外形尺寸 长×宽×高	mm	2500×1034 ×1880	高 2338	/	3186×1990 长×高	2650×1200 ×2100
自重	t	1.1	1.730	2.900	2.875	1.3
行走方式		轮式	轮式	轮式	轮式	橡胶履带式
主传动系统形式		液压式	液压式	液压式	液压式	机械式

(3) 技术文件齐全，生产设备、工艺装备等满足批量生产条件；

(4)根据湖南省科学技术信息研究所进行国内外联机和光盘检索，科技项目查新报告 CX-96067 查新结论表明：尚未发现与本项目特征密切相关的文献。该机填补了国内空白，主要性能参数达到了国内领先水平。

综上述，Z03 微型橡胶履带式装载机构思新颖，性能先进，结构简单，标准化程度高，制造成本低，市场竞争力强。工作装置采用计算机优化设计，铲斗的平移性、自动放平性、卸净性和工作装置的动力性，已达到预期效果。采用轻型橡胶履带行走装置，为履带式装载机微型化创造了有利的条件。

据调查，目前公路养护部门还相当缺乏机械化装卸手段，大部分路面修复材料仍依靠人力装卸和运载，劳动强度大，作业效率低。在日常养护工作中，路障清除和砂、石、混合料的集散装卸工作量相当大，特别需要配备此类微型装载作业机械。微型橡胶履带装载机可跨越沟渠、坑洞和凸起地物等障碍，机动灵活，特别适合半开放交通情况下的路面养护作业。

据统计，仅广东省就有 600 多个养护道班，如果每个养护道班配备一台微型履带式装载机，整个中国这个市场就可想而知了。此外，市政园林部门、砂石场、小型煤矿、水泥厂等企事业单位也存在很大的潜在市场。总之，开发微型橡胶履带式装载机的经济效益和社会效益都相当可观。

参考文献

1 周复光．铲土运输机械与设计．水电出版社，1986

2 陈秀宁．机械优化设计．浙江大学出版社，1989

3 杨成康，张铁柱．装载机工作装置连杆机构优化设计．机械工程学报，1988 (3)