

工程机械作业理论论文集

——孙祖望学术团队论文汇编

孙祖望◎主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

工程机械作业理论论文集

——孙祖望学术团队论文汇编

孙祖望 主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

作业理论是长安大学工程机械学科教学与科研的重点研究方向。本书汇集了孙祖望教授带领的学术团队 30 多年来在这一方向上的研究成果,涵盖了对铲土运输机械、土壤稳定机械、沥青和水泥混凝土搅拌设备、摊铺设备、压实机械、沥青路面养护机械作业理论的研究,从工程材料、施工工艺、施工设备综合技术的角度论述了这些机械工作装置与施工介质相互作用的作业过程。

本书可作为高等院校工程机械专业的大学生和研究生的参考用书,也可供从事工程机械的科研、设计和应用的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程机械作业理论论文集:孙祖望学术团队论文汇编 / 孙祖望主编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017. 11

ISBN 978-7-114-13980-2

I. ①工… II. ①孙… III. ①工程机械—操作—文集
IV. ①TU6-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 159794 号

Gongcheng Jixie Zuoye Lilun Lunwenji

书 名:工程机械作业理论论文集——孙祖望学术团队论文汇编

著 作 者:孙祖望

责任编辑:周 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市凯鑫彩色印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:47.75

字 数:1404 千

版 次:2017 年 11 月 第 1 版

印 次:2017 年 11 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13980-2

定 价:220.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

一、20 世纪 50 年代留苏时期

为适应新中国公路建设的需要,我国在 20 世纪 50 年代中期派出了第一批工程机械专业的留苏研究生。



莫斯科国立列宁图书馆是研究生汲取知识的重要源泉



在学生宿舍阅读书籍



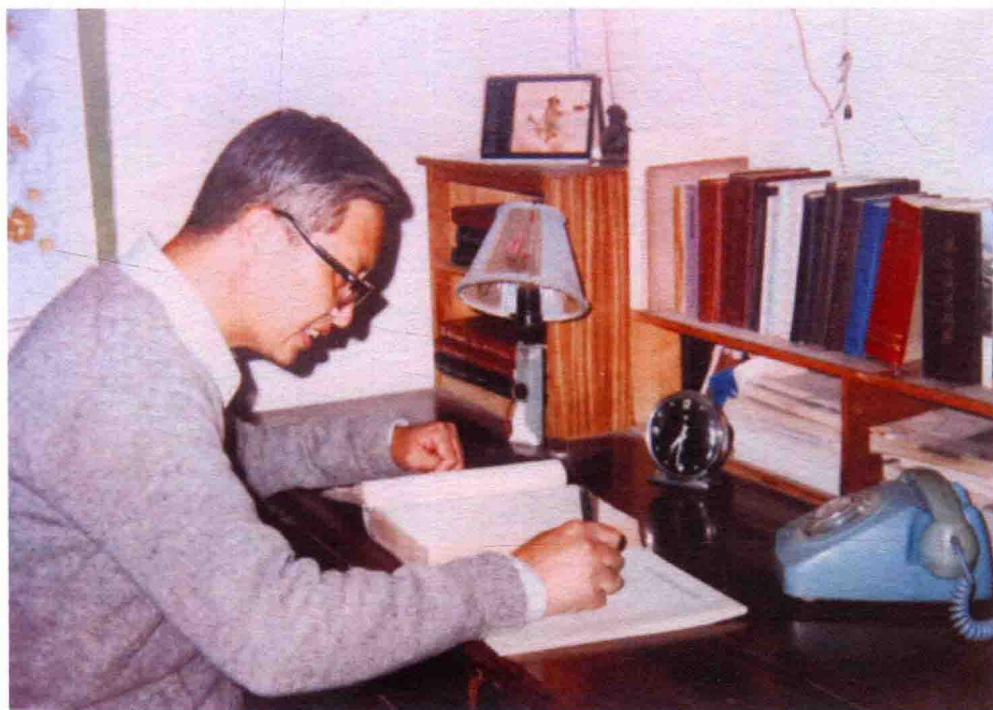
在红场上留影

二、20 世纪 60 ~ 70 年代

此期间,在黄河工程机械厂、宣化工程机械厂进行了多种型号履带推土机牵引性能的试验研究。在此基础上为本专业开设了“工程机械理论与性能”课程,编写了“工业履带拖拉机理论与性能”教材,这是国内第一本系统阐述履带推土机作业理论和牵引性能特点的书籍,并成为历年来编写本专业《工程机械底盘理论与性能》教材的基础。



1978 年编写的《工业履带拖拉机理论与性能》和历年来出版的《工程机械底盘理论与性能》教材



为讲授“工程机械理论与性能”课程备课

三、20 世纪 80 年代

20 世纪 80 年代初,在推土机牵引性能研究的基础上开拓了推土机牵引动力学的研究,并组建了以“工程机械作业理论、动态性能与作业质量控制”为研究方向的学术团队。1985 年由机械工业部重矿局、机械工业部试验场、交通部公路研究所、吉林工业大学、同济大学、西安冶金建筑学院、黄河工程机械厂、宣化工程机械厂、彭浦工程机械厂等有关部门领导、专家组成的“履带推土机牵引动力学及试验方法”课题研究成果评审会对研究成果给予了很高的评价。



在学校试验场上进行推土机动态牵引性能的试验



“履带推土机牵引动力学及试验方法”课题组为评审会提供的研究报告

20 世纪 80 年代中期,主持了由性能、动力传动、液压、测试四个实验室组成的工程机械中心实验室的建设,性能实验室建立的(108×7.8×2.5)m 实物试验土槽迄今仍是国内最大的土槽试验设施。在“工程机械作业理论与动态性能”研究方向上的大量硕士、博士研究生在这里完成了他们学位论文的试验研究工作。



研究生在土槽中进行旋转刀具切削土壤的试验

四、20 世纪 90 年代

为更好地吸收国外先进经验,使本专业的学术水平与国际接轨,通过组织国外知名学者来校讲学,访问美国、欧洲、日本著名学术团体和工程机械企业,进行了广泛的学术交流。在总结自身经验和吸取国外先进理念的基础上,提出了工程机械学科要重视土、机、电相结合和工程材料、施工工艺、施工设备相结合的两类综合技术以及培养复合型人才的发展思路。



1987 年瑞典压实技术专家 Forssblad 博士在学校讲学



1990 年访问莫斯科汽车公路学院时,代表学校邀请该校建筑与筑路机械教研室主任
俄罗斯功勋科学家 Баловнев 教授(右二)来校讲学

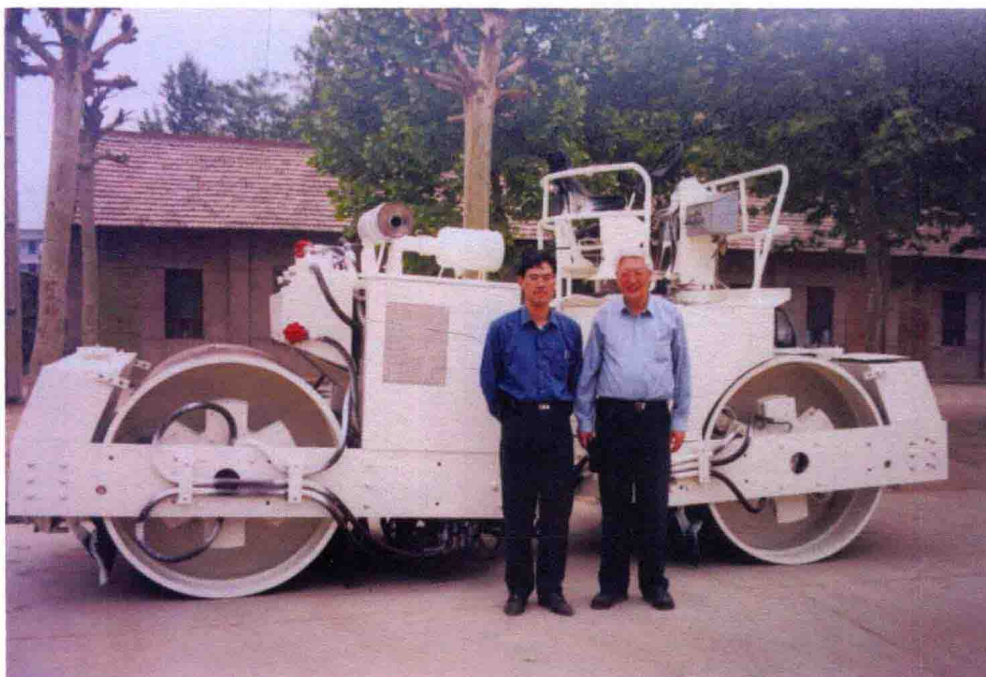


1998 年美国国家沥青技术中心主任 Brown 博士应邀来西安讲学



1999 年访问美国国家沥青路面协会 (NAPA)

研究团队在 20 世纪 90 年代开展的一项重要研究课题是振荡压实技术的研究。在土槽模拟试验基础上提出的振荡轮与滑板连耦—脱耦的二自由度动力学模型是目前应用最为广泛的振荡轮与地面相互作用的数学模型。根据这一模型开发的振荡压实试验样机成为多名硕士、博士研究生的重要试验设施。在团队多年来研究成果的基础上,2013—2014 年与徐工集团工程机械股份有限公司合作,根据我国半刚性沥青路面的特点,开发了 XD1320S 大吨位振荡压路机,现场试验的结果表明其性能远优于同吨位的振动压路机,完全可满足碾压上、中、下面层压实质量的要求,这一成果为振荡压实技术应用于半刚性沥青路面的面层压实开拓了新的领域。



博士研究生杨东来与学校团队开发的振荡压实试验样机



研究生马学良博士论文的试验研究工作于 2007 年利用振荡压实试验样机在广东斗门工地进行



2014 年与徐工合作开发的 XD1320S 大吨位振荡压路机在广东高速花东段工地进行现场试验

五、21 世纪

2001 年从教学岗位上退休后，一直从事道路材料、施工工艺、施工设备综合技术的研究工作，承担了稀浆封层、橡胶沥青、泡沫沥青、排水路面、超薄罩面等施工与养护新技术的研究与推广应用工作，仍活跃在施工现场和学术交流的论坛上，这些研究与实践经验的总结反映在近些年来出版的两本著作中。



2007 年在江苏常熟通港路橡胶沥青路面的施工现场



2011 年在广东增城石屑封层应力吸收层的施工现场



2009 年在第四届中国沥青国际峰会上演讲



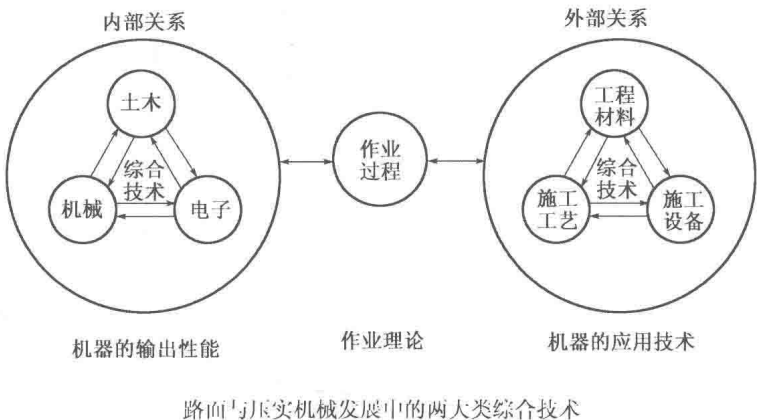
2014 年和 2017 年出版的两本著作

作业过程的研究与技术创新

——代序

作业过程是工程机械区别于其他机械最为本质的属性,也是某一种工程机械区别于其他工程机械最为本质的属性。工程机械通常都是由发动机、动力传动系统、操作控制系统、工作装置以及机架、底盘等钢结构装置组成的。除了工作装置外,其他都是通用的机械系统,但它们的工作参数、特性要求则是由工程机械的作业过程来确定的,作业过程与这些通用机械系统的关系是个性与共性的关系。从哲学的概念来说,这是矛盾的共同性与矛盾的特殊性之间的关系,或者说是普遍矛盾与特殊矛盾之间的关系。事物之所以能区别出不同的类别,正是由其特殊矛盾体现出来的。从这一意义上说,作业过程的好坏,或者说作业过程进展的质量是决定工程机械性能优劣的最关键、最核心的技术。

在现代科学技术迅速发展的今天,多种学科技术的相互浸透是技术发展的总趋势。在工程机械,尤其是路面与压实机械的技术发展中,这种多科学技术相互渗透的趋势主要表现在两大类综合技术的形成与发展上:体现在机器内部的关系上是土木、机械、电子的一体化综合技术;体现在机器外部关系上,则是工程材料、施工工艺、施工设备的一体化综合技术。而将这两大类综合技术联系起来的中间环节正是机器的作业过程,如下图所示。



因此,作业过程的研究与开发就成为工程机械技术发展中最关键的技术环节,而通过对工程机械作业过程的研究而形成的创新技术则通常会成为该类工程机械最为关键的核心技术。

现如今,多种学科技术高度相互渗透,在工程机械的技术发展中会引进许多当代的高新科技,在这一过程中同样需要许多创新性的技术劳动,它们在技术上的特点主要是根据工程机械的特殊要求使这些引进技术个性化,可以称为应用性的技术创新。而在研究作业过程基础上产生的技术创新则有可能成为原创性的技术创新,所谓原创性的技术创新是指那些对机械所采用的施工工艺、工作原理、作业过程、质量控制以及设备结构上的全新变革,伴随着生产效率、机器性能、作业质量的重大提高。

综观路面与压实机械近 20 余年的发展,推动路面与压实机械技术进步的动力主要来源于三个方面:

(1)公路建设与更新改造的强大需求和对路面使用性能日益提高的要求,推动着路面与压实机械向着更好的作业质量、更高的作业效率的方向发展。

(2)可持续发展战略和对经济与环境、人与自然和谐发展的要求推动着路面与压实机械向着以资源节约、再生利用、环境保护为标志的绿色筑路技术的方向发展。

(3)现代高新科技的快速发展与向传统产业的渗透与改造推动着路面与压实机械向智能化、无人化、信息化的方向发展。

在这些动力的驱动下,路面与压实机械在世纪之交的20年内出现了许多重大的技术创新。在应用性的技术创新方面出现了机器技术状态的远程诊断与养护系统、压实质量的实时监测与自动控制系统、摊铺作业的三维定位与找平系统、道路施工的现场信息管理系统等等,其中最具有代表性的是由欧盟基金支持、德法英等5个国家7个研究单位参与开发的,集GPS定位技术、远程通信技术、现场施工信息采集与控制技术、计算机辅助工程与信息管理系统于大成的计算机集成道路施工系统(Computer Integrated Road Construction, CIRC)。CIRC系统有两个子系统:CIRPav(计算机集成道路摊铺)和CIRCUM(计算机集成道路压实)分别对应于沥青路面施工的摊铺作业与压实作业,并包含了四个方面的内容:

(1)GPS技术在道路施工中的应用。

(2)机器运转参数与技术状况的采集、处理,异常情况的诊断、计划养护等机械运转状态的管理。

(3)施工作业参数的采集、处理,作业过程的质量控制与管理。

(4)机器运转状态和施工作业过程的远程管理。

CIRC系统是在多种学科的技术支持下开发形成的,虽然目前还只是概念型的机型,上述四方面的内容还在继续发展和完善化,但已充分体现了土木、机械、电子相结合的技术特征。

在研究路面与压实机械作业过程基础上形成的原创性技术方面则出现了一系列具有革命性变革的新技术,诸如新型的连续式搅拌工艺与双滚筒沥青搅拌设备、不间断摊铺工艺与带二次搅拌功能的转运车、“热铺层上接热铺层”(Hot on Hot)的薄层路面摊铺工艺与双层沥青摊铺机、振荡压实技术与振荡压路机、连续冲击压实技术与非圆形滚轮压路机等等。这些技术创新最大的特点是建立在对工程材料、施工工艺、施工设备综合研究的基础上开发形成的,充分体现了材料、工艺、设备相结合的技术特征。

路面与压实机械近20年的技术进步很好地佐证了上述两大类综合技术在技术创新中的重要作用,以及研究机器作业过程的重要意义。

长安大学工程机械学科自1983年在定位自己的发展方向时就确立了以研究工程机械的作业过程作为重点学科的发展方向。工程机械的作业过程有两个鲜明的特点,一个是负荷急剧变化的特点,另一个是对作业质量有严格要求的特点。前者主要体现在各类以切削工程材料作为主要作业过程的工程机械上,例如铲土运输机械、挖掘机械、路拌式土壤稳定机械、路面铣刨机械等,此类机械作业过程对机器性能的影响主要表现在生产效率与能量消耗上,亦即单位时间的作业量和单位作业量的能耗上。对作业质量有严格要求的特点则主要反映在各类路面与压实机械上,此类机械在机器性能上的第一位要求是机器作业的效果,亦即机器作业的结果能否获得规定的施工质量要求。工程机械学科在定位作业过程的研究重点时,确立了以机器与工作介质相互作用的动力学和作业过程的质量控制作为两个主要的研究方向。在研究过程中强调了以土、机、电相结合,材料、工艺、设备相结合的综合技术作为基本的研究思路,在研究方法上则始终将数学模型与物理模型相结合、理论分析与试验研究相结合作为基本的研究方法。

本论文集汇编了工程机械学科在上述两个重点研究方向上,学科梯队的成员以及硕士生与博士生所取得的研究成果,这些研究工作也可以说是长安大学工程机械学科建设发展的一个历史见证。虽然所涉及的研究领域,如今在技术上已经有了许多新的进展,但是将工程机械作业过程的研究作为本学科建设的战略性研究方向,以及论文集中所反映的两大类综合技术相结合的基本研究思路 and 理论分析与试验研究相结合的基本研究方法仍然有着现实的指导意义。我衷心希望长安大学的工程机械学科建设能坚持自己在专业教学和科研方向上的特色,在前人的基础上继往开来不断创新,继续以工程机械作业过程的研究作为战略性的发展方向,走出一条有鲜明特色的学科建设道路。也希望有兴趣阅读本论文

集的读者能在工程机械作业过程研究的基本思路和方法方面获得某些启迪和帮助。

在编辑本论文集时,作者要特别感谢原西安公路交通大学筑机系的老师以及教研室与梯队同事们多年来的支持和帮助。在这里还要特别提到工程机械中心试验室的王恒褊、张义甫、张志友、韩天锡、徐卫民、张昕、寻曙等老师,本论文集集中的研究成果实际上也包含着他们的辛勤劳动,在此谨代表论文集的作者们向他们表示衷心的感谢。

在此还要感谢为出版这本论文集做了大量收集、整理、编辑工作的老师和同学。胡永彪、张新荣、杨东来诸君主持了论文集的整个编辑出版工作,工程机械学院的研究生参与了论文收集、格式转化、图表绘制、公式编辑、图表编排、版面整理等许多具体的编辑工作,他们是:孟凡为、汪学斌、梁鑫宝、冯春华、倪丹、张文祥、吕维江、刘晨敏、王朋辉、陈勇、赵飞、谢俊清、刘红平、陆鹏震、孙宗升、周乾龙、冉宝山、孙配芳、刘世伟、蔡顶春、韩杰、郭英训、谢敏、薛金刚、刘彦峰、王晓君、邱涛。

最后,还要特别感谢人民交通出版社股份有限公司的校友韩敏总编和赵蓬主任,正是由于他们的大力支持,本论文集才能得以顺利出版。

在汇编各杂志刊登的论文时发现原稿上有许多印刷错误,在校对时已一一作了改正。

孙祖望

2017年1月5日

目 录

第一篇 综 述

抓住西部大开发的机遇加速我国路面与压实机械工业的发展	3
我国筑路机械行业发展状况分析	7
我国路面与压实机械面向 21 世纪的展望	
——发展对策与技术创新	11
加强核心技术的创新	
——我国筑路机械发展的根本出路	16
摊铺机械和摊铺技术的发展与展望综述	21
压实机械与压实技术的发展与展望综述	35
中国路面机械发展 30 年	56
当代路面与压实机械发展的新趋势	61

第二篇 土方运输机械工作装置与土壤的相互作用和牵引动力学

机械传动式工业履带拖拉机总体参数中有关牵引性能的合理匹配	83
铲土运输机械动态牵引试验方法	93
履带推土机牵引动力学的试验研究	108
推土机的动态性能及其评价方法	117
推土机动态性能试验的非平稳随机数据模型和处理方法	126
发动机动态性能的模拟试验技术(一)	
——发动机负荷随机信号的模拟和复现	134
发动机动态性能的模拟试验技术(二)	
——模拟加载系统及其控制方式	142
柴油发动机动态性能的试验研究	149
发动机动态性能试验台的研制	155
数字滤波器在实验室随机信号生成过程中的应用	168
F35 水力测功器的动态响应特性及其改善方法	177
最小相位滤波器的设计 and 应用	182