



武汉大学
百年名典

工程 机械

余恒睦 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



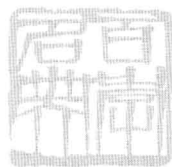
武汉大学
百年名典

工 程 机 械

余恒睦 主编



武汉大学出版社
WUHAN UNIVERSITY PRESS



图书在版编目(CIP)数据

工程机械/余恒睦主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2013. 11

武汉大学百年名典

ISBN 978-7-307-11834-8

I. 工… II. 余… III. 工程机械 IV. TU6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 229783 号

责任编辑: 李汉保

责任校对: 汪欣怡

版式设计: 马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北恒泰印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 28 字数: 399 千字 插页: 4

版次: 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-11834-8 定价: 78.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

《武汉大学百年名典》出版前言

百年武汉大学，走过的是学术传承、学术发展和学术创新的辉煌路程；世纪珞珈山水，承沐的是学者大师们学术风范、学术精神和学术风格的润泽。在武汉大学发展的不同年代，一批批著名学者和学术大师在这里辛勤耕耘，教书育人，著书立说。他们在学术上精品、上品纷呈，有的在继承传统中开创新论，有的集众家之说而独成一派，也有的学贯中西而独领风骚，还有的因顺应时代发展潮流而开学术学科先河。所有这些，构成了武汉大学百年学府最深厚、最深刻的学术底蕴。

武汉大学历年累积的学术精品、上品，不仅凸现了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术风格和学术风范，而且也丰富了武汉大学“自强、弘毅、求是、拓新”的学术气派和学术精神；不仅深刻反映了武汉大学有过的人文社会科学和自然科学的辉煌的学术成就，而且也从多方面映现了20世纪中国人文社会科学和自然科学发展的最具代表性的学术成就。高等学府，自当以学者为敬，以学术为尊，以学风为重；自当在尊重不同学术成就中增进学术繁荣，在包容不同学术观点中提升学术品质。为此，我们纵览武汉大学百年学术源流，取其上品，掬其精华，结集出版，是为《武汉大学百年名典》。

“根深叶茂，实大声洪。山高水长，流风甚美。”这是董必武同志1963年11月为武汉大学校庆题写的诗句，长期以来为武汉大学师生传颂。我们以此诗句为《武汉大学百年名典》的封面题词，实是希望武汉大学留存的那些泽被当时、惠及后人的学术精品、上品，能在现时代得到更为广泛的发扬和传承；实是希望《武汉大学百年名典》这一恢宏的出版工程，能为中华优秀传统文化的积累和当代中国学术的繁荣有所建树。

《武汉大学百年名典》编审委员会

再版前言

改革开放后,中国的水利电力建设事业如火如荼地展开,水利电力机械化施工业界对技术和人才的渴求更是无法满足。此时,余恒睦教授积极组织全国水利电力施工机械化学科的相关教授,展开无数次研讨,在余恒睦先生的主持和推动下,1980 年主编出版了我国水利电力机械化施工学界第一本《工程机械》教材。该教材的出版很大程度上缓解了全国相关高等学校水利电力工程机械专业人才培养的难题,同时也奠定了我校在这个学科领域的主导地位。

《工程机械》这本书主要论述水利电力机械化施工中的各种施工机械的结构、性能、设计、制造及相关技术。教材的使用和推广丰富了全国相关高等学校有关专业的教材体系建设,为我国水利电力机械化施工业界人才培养做出了重要贡献。

随着新技术的发展和应用,在历经 7 年的教学使用过程中,积累了更加丰富的经验,余恒睦先生又组织相关教师把教材修订再版,于 1987 年出版了修订的第二版。与此同时,余恒睦先生非常注重系列教材的建设,又先后出版了《水利水电施工机械》、《施工机械与施工机械化》等 8 部水利电力机械化施工学系列教材。这些教材多次再版、多次印刷,多部教材获省部级优秀高校教材奖,为我国水利电力施工机械学科领域的人才培养和科学研究起到了引领和示范作用。

《工程机械》一书反映了余恒睦先生 20 世纪 80 年代之前在水利电力机械化施工学界的主要教学和科研成果。除余恒睦先生外,参加本书编写或统稿、审阅工作的还有查献元、董光源、周复光、茅承觉、李绮鹏、周春潮、陈汉星、耿万奎等学者。在此对他们表示敬意!是他们每位学者的心血造就了本书。本书于 1980 年在中国水利水电出版社首

次出版,1989年第二版出版,连续多次印刷,供不应求。因其系统性、全面性和独创性,本书于1988年获原水利电力部优秀教材一等奖。

时值武汉大学创建120周年之际,武汉大学出版社将余恒睦先生的《工程机械》一书收录入《武汉大学百年名典》重新出版,是对余恒睦先生一生奉献给水利电力施工机械化领域和教育事业的缅怀和颂扬。同时,从首版至今,该书在社会上没有存本,再版此书有助于后人更好地了解水利电力施工机械化学科的发展以及相关技术的进步,为进一步发展水利电力施工机械化学科做出更大贡献!

亚世晶

2013年7月18日于武汉大学

第一版前言

本书主要介绍大型工程施工中常用工程机械的构造、工作原理、传动系、技术性能和使用方法,为从事工程机械的科研、设计、制造、使用与修理的技术人员提供必要的专业基本知识。

全书分为三篇共 18 章。第一篇讲述轮式和履带式工程机械底盘的组成和传动系各部件的工作原理和构造;第二篇介绍工程机械,主要是铲土运输机械、挖掘机械、压实机械、钻孔机械以及混凝土工程机械等;第三篇是起重运输机械,包括通用工程起重机、大坝混凝土浇筑起重机以及大型工程运输车辆和带式运输机等。在叙述一般通用的工程机械中,对部分矿山机械也作了适当的介绍。

本书由武汉水利电力学院和华北水利水电学院合编。参加编写的同志有:武汉水利电力学院余恒睦(绪论、第 13 章、第 14 章、第 15 章、第 17 章),查献元(第 6 章、第 7 章、第 12 章、第 16 章),董光源(第 2 章、第 18 章),周复光(第 12 章和第 16 章的部分内容);华北水利水电学院茅承觉(第 3 章、第 9 章和第 11 章的装载机部分),李绮鹏(第 1 章、第 5 章、第 8 章、第 10 章),周春潮(第 4 章和第 11 章的推土机部分)。

全书由余恒睦教授主编,李绮鹏同志协助进行了编辑加工和校阅工作。

华北水利水电学院南新旭、周克法和武汉水利电力学院杨亚娜等同志对全书进行了审阅。

在编写过程中,兄弟院校和设计、科研单位派出代表参加编写大纲的讨论,提出许多宝贵意见;各地工程机械制造厂提供了技术资料;还有一些同志描绘插图,在此一并表示感谢。

本书可以作为高等学校“水利工程机械”专业的教材,还可以供工

程机械专业的生产、设计、施工等方面的工程技术人员参考。

对本书存在的缺点和错误,诚恳地希望读者批评指正。

作 者

1980 年 3 月

第二版前言

本书是根据 1983 年以来,高等学校工程机械教材编审小组历次扩大会议审议通过的《工程机械》教材修订大纲编写的。在修订过程中,考虑到本书的使用自 1980 年出版以来已积累了丰富的教学实践经验,且该课程授课时数已减为 64 学时;此外,近年来新型工程机械的不断涌现,也有必要有所反映等原因,故在内容上作了较大的变动,并认真贯彻了少而精的原则。

全书分为两篇 15 章。第一篇为工程机械底盘构造,讲述轮式和履带式工程机械底盘的组成、传动系的分类、各传动部件的构造和工作原理,为学习工程机械设计和维修管理课程打下基础。第二篇以介绍水电施工用工程机械为主,包括铲土运输机械、挖掘机械、压实机械、钻孔机械、混凝土工程机械、工程起重机械和工程运输车辆等,以扩大读者的知识面,有利于大型工程施工机械化的规划和工程机械的管理使用。

参加本书编写的有:武汉水利电力学院余恒睦教授(编写绪论、第 9 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章和第 15 章)、查献元副教授(编写第 10 章、第 14 章)、葛洲坝水电工程学院陈汉星同志(编写第 3 章、第 5 章、第 6 章和第 8 章)和华北水利水电学院耿万奎同志(编写第 1 章、第 2 章、第 4 章和第 7 章)。余恒睦教授任本书主编。

华北水利水电学院南新旭教授对全书进行了审阅。

本书除作为普通高等学校起重运输与工程机械专业和有关专业学生用教科书外,还可以供高等学校相关教师以及从事工程机械和水电施工机械的科研、设计、制造、使用 and 维修管理方面工作的技术人员参考。

作 者

1987 年 5 月

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 工程机械底盘构造

绪论	11
0. 1 工作装置	11
0. 2 动力装置	11
0. 3 底盘	11
第 1 章 主离合器	17
1. 1 主离合器的功用和类型	17
1. 2 常接合干式主离合器	19
1. 3 非经常接合湿式主离合器	27
第 2 章 变速器	38
2. 1 人力换挡变速器	39
2. 2 动力换挡变速器	56
2. 3 动力换挡变速器液压操纵系统	77
第 3 章 万向节和传动轴	80
3. 1 普通万向节	80
3. 2 等角速万向节	84
3. 3 传动轴	88
第 4 章 轮式底盘驱动桥	90
4. 1 轮式底盘驱动桥的组成与功用	90
4. 2 主传动器	91
4. 3 差速器	97
4. 4 半轴与桥壳.....	110

第 5 章 轮式底盘行驶系	115
5. 1 行驶系的组成与功用.....	115
5. 2 车架功用与类型.....	116
5. 3 车桥.....	119
5. 4 悬架.....	124
5. 5 车轮与轮胎.....	130
第 6 章 轮式底盘转向系	136
6. 1 概述.....	136
6. 2 转向器.....	141
6. 3 转向传动机构.....	147
6. 4 液压动力转向.....	149
第 7 章 轮式底盘制动系	165
7. 1 概述.....	165
7. 2 蹄式制动器.....	168
7. 3 盘式制动器.....	180
7. 4 制动传动机构.....	183
第 8 章 履带式底盘	194
8. 1 履带式底盘驱动桥的功用与组成.....	194
8. 2 中央传动.....	195
8. 3 转向离合器.....	197
8. 4 制动器及其操纵机构.....	207
8. 5 最终传动.....	212
8. 6 履带式底盘行驶系.....	214

第二篇 工程机械

第 9 章 铲土运输机械	233
9. 1 推土机.....	233
9. 2 松土器.....	241
9. 3 铲运机.....	246
9. 4 装载机.....	256
第 10 章 挖掘机械	268
10. 1 概述.....	268

10. 2	机械传动单斗挖掘机的工作装置	272
10. 3	机械传动单斗挖掘机的主要机构	292
10. 4	单斗液压挖掘机	303
第 11 章	压实机械	316
11. 1	压实机械的类型	316
11. 2	羊脚碾	320
11. 3	轮胎碾	321
11. 4	振动碾	323
第 12 章	钻孔机械	329
12. 1	钻孔机械的类型	329
12. 2	风动凿岩机	331
12. 3	钻机	336
12. 4	凿岩钻车	343
12. 5	岩石隧洞掘进机	351
第 13 章	混凝土工程机械	355
13. 1	概述	355
13. 2	混凝土制备装置	356
13. 3	混凝土配料器	363
13. 4	混凝土搅拌机	369
13. 5	混凝土输送设备	378
13. 6	混凝土振捣设备	393
第 14 章	起重机械	397
14. 1	概述	397
14. 2	起重机工作机构	400
14. 3	汽车式起重机	404
14. 4	塔式起重机	410
14. 5	门座式起重机	414
第 15 章	工程运输车辆	421
15. 1	工程运输车辆的类型	421
15. 2	非公路型车辆	425
15. 3	自卸汽车	429
15. 4	工程挂车和半挂车	432

绪 论

一、工程机械的服务对象和产品范围

工程机械行业主要是为矿山、建筑、水利、电力、交通运输和国防等部门提供现代施工机械设备,为实现施工机械化服务的。工程机械的技术水平是随着施工工艺的不断革新和工业技术的日益进步而得到提高的。一个国家能够生产的工程机械产品品种和产量多少、技术水平和产品质量的高低,不仅代表一个国家的工业技术水平,还直接影响国民经济生产建设的发展速度。因此,工业发达的国家无不重视工程机械的研制和生产。

工程机械主要包括:挖掘机械、铲土运输机械、工程起重机械、压实机械、桩工机械、钢筋混凝土机械、路面机械、凿岩机械与风动工具八大类。在我国各经济部门中,由于建设工程的性质和工程的规模不尽相同,所用施工机械设备的种类和名称也不一致。本书主要介绍包括闸坝和水电站在内的大型建筑工程中采用的工程机械,因此涉及的机种除上述八大类一般工程机械外,还包括部分矿山机械和大型工程专用机械,如混凝土搅拌楼、大坝混凝土浇筑起重机、采矿型挖掘机、矿用自卸汽车和大型工程运输车等。

二、我国水利水电工程施工机械化状况

水利水电工程是一项改造大自然、造福于人民的伟大实践。其特点是工程规模宏伟、技术复杂、施工强度大。例如,我国现已完成的葛洲坝水电站工程,其土石方开挖量达 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3$,混凝土浇筑量达 $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$,截流堵口时的日抛投土石方量达 $7.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于我

国水电施工部门拥有足够的大型高效技术装备,采用了高度机械化施工方法,因而能够按期完成施工任务。采用机械施工不仅可以节省人力、减轻劳动强度、改善劳动条件、提高劳动生产率、降低材料消耗和工程费用,并能保证工程质量和加快建设速度。而且,在人力达不到的地方或无法胜任的情况下,也可以用机械施工方法完成,从而扩大了施工范围和施工可能性。

目前,我国水利水电施工部门采用的主要施工机械设备类型和达到的施工记录,分为土石方工程、混凝土工程和地下工程等若干项,工种施工说明如下:

1. 土石方工程施工采用的机械设备

在土石方施工的挖、装和运输作业中,大量使用了斗容量为 $1\sim 4\text{ m}^3$ 的挖掘机和载重量为 $15\sim 45\text{ t}$ 的自卸汽车。其中尤以 4 m^3 正铲配的 $20\sim 32\text{ t}$ 自卸汽车最为常见。斗容量 $2\sim 7\text{ m}^3$ 的装载机用于料场装车也已日益普及。在露天钻孔作业中,能钻孔径 $150\sim 230\text{ mm}$ 、孔深 $12\sim 20\text{ m}$ 的潜孔钻机已在采石场和石方爆破中普遍采用。土石方施工中用途最广、数量最多的机械是推土机,其功率多为 $82\sim 240\text{ kW}$,其中大量使用的为 164 kW 的机械传动和液力机械传动的履带式推土机。

大型土石坝工程施工可以作为大型土石方工程的代表。我国采用机械化施工填筑的土石坝的有甘肃碧口水电站、陕西石头河水库和四川升钟水库。这些工程均采用 $1\sim 4\text{ m}^3$ 的挖掘机和 $8\sim 20\text{ t}$ 的自卸汽车配套,并用碾压机械压实土料。达到的日填筑强度分别为 $1.53\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $1.73\times 10^4\text{ m}^3$ 和 $0.82\times 10^4\text{ m}^3$,年填筑强度为 $167\times 10^4\text{ m}^3$ 、 $216\times 10^4\text{ m}^3$ 和 $143\times 10^4\text{ m}^3$ 。在国外,大型土石坝机械化施工的日填筑强度达到 $10\times 10^4\text{ m}^3$ 的并不少见。

2. 混凝土工程施工采用的机械设备

混凝土工程的施工工艺比较复杂,采用的机械设备类型很多,包括砂石材料的开采与加工、混凝土的制备、运输、浇筑和捣实等作业所用的机械设备。例如,陆地开采天然砂石料时,常用 4 m^3 正铲和 $4\sim 6\text{ m}^3$ 的轮式装载机与 $20\sim 32\text{ t}$ 自卸汽车配套实现挖装和运输作业。水下开

采则采用 $250 \text{ m}^3/\text{h}$ 和 $750 \text{ m}^3/\text{h}$ 的采砂船与载量为 180 m^3 的砂驳配合作业。这两种采砂船年最高产量共达 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$, 这是人力难以完成的施工任务。我国有些水电站工程由于当地缺乏天然砂石料, 常利用碎石和人工砂制备混凝土。因此, 必须设立机械化砂石加工系统, 用破碎机和棒磨机生产碎石和人工砂。无论是天然的还是机械生产的砂石料, 也都需用筛分机分为各种粒径组级的成品骨料, 并贮存在备有堆、取料机械设备的成品料仓中备用。

由于水电工程中混凝土闸坝和电站厂房的工程量大和施工强度高, 因此混凝土的制备是在大型的全盘机械化自动化的混凝土搅拌楼中进行的。除少量引进的搅拌楼外, 我国各大型水电站工程所用搅拌楼均系国内自制。主要规格有 $3 \times 1000 \text{ L}$ 、 $3 \times 1500 \text{ L}$ 和 $4 \times 3000 \text{ L}$ 三种, 均采用电子秤称量装置。与搅拌楼配套的机械设备还有制冷系统、骨料成品堆场和输送设备、水泥储运设备、供风、供水等系统。

混凝土运输浇筑设备包括各种容量的吊罐和多种型式的轨道式浇筑起重机。目前采用最普遍的起重机有两类。一类称为栈桥起重机, 包括架立在栈桥轨道上的门机和塔机, 其起重量为 10 t 和 20 t , 配合 3 m^3 和 6 m^3 吊罐进行垂直提升和仓面浇筑混凝土; 另一类是起吊能力为 10 t 和 20 t 的缆式起重机。

混凝土施工最后一道工序是平仓振捣作业。国内不仅能自制适于水工混凝土的平仓振捣作业的重型手持式振动器, 也研制出履带式的振捣机和平仓振捣机。

我国许多水电站的施工机械化程度一直是比较高的, 因而能以较大的浇筑强度在较短的工期内进行施工。例如, 20 世纪 50 年代末兴建的新安江水电站和最近完成的葛洲坝水电站的日最高浇筑量分别达到 $0.74 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $1.87 \times 10^4 \text{ m}^3$, 月最高浇筑量为 $14.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $25 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。无论是施工机械化程度还是混凝土浇筑强度, 均具有国际先进水平。

3. 地下工程施工采用的机械设备

以大断面的引水隧洞和导流隧洞为主的水工地下工程的施工, 已开始使用多臂凿岩台车、无轨出碴运输和喷锚支护等先进的机械化开

挖技术,创造了月进尺 215 m 的纪录。全断面隧洞掘进机经过多年反复试验改进,已取得新的进展。直径 5.8 m 的掘进机试钻达到月进尺 120 m 的新水平。

据 1981 年底统计,水利水电系统拥有的主要施工机械设备 65628 台(套),总功率 167×10^4 kW,原产值 20.1 亿元,净值 16.1 亿元,全员技术装备率 7432 元/人,动力装备率 7.7 kW/人。拥有的设备每年约可完成土石方量 4000×10^4 m³,浇筑混凝土 500×10^4 m³,完成投资额约 20 亿元。上述机械设备的数量尚未计入近年引进的大量施工机械和国内生产的技术先进的设备。

据 1980 年相关资料统计,水电工程平均施工机械化程度已达到:土方工程为 80%,石方工程为 96%,混凝土工程为 95% 以上,垂直运输接近 100%。由此可见,机械化施工在水利水电建设中的作用越来越大。

三、我国工程机械的发展状况

我国的矿山、工程机械制造行业是 1949 年以后从无到有逐步发展起来的。经过多年的努力,单斗挖掘机、工程起重机,轮式装载机、推土机、压路机、打桩机、叉车、混凝土搅拌机和振捣设备、凿岩机械与风动工具等基本形成了我国的产品系列,还发展了一批露天采矿和水电工程建设用的成套设备。

在铲土运输机械方面,主要是发展了履带式推土机和轮式装载机。除批量生产 74~162 kW 型的推土机外,已研制成了 236 kW 型的液力机械传动的推土机,并向更大型的机械发展。轮式装载机的发展很快,目前生产较大型的有铲斗容量为 1.5 m³、2.0 m³、3.0 m³、4.0 m³ 和 5.0 m³ 的系列产品,并普遍采用了铰接转向、动力换挡和四轮驱动等新结构。

在挖掘机方面,大力发展了液压挖掘机,其斗容量为 0.4~2.5 m³,多数为斗容 1 m³ 的反铲。近年来矿山机械行业正式生产斗容为 10 m³ 的正铲,并大力研制斗容为 16~23 m³ 的挖掘机。在运输车辆方面,除批量生产载重量为 20~32 t 的重型自卸汽车外,还正式生产

载重量为 60~100 t 的超重型车辆。上述矿山挖运配套机械亦可以用于大型水电站工地上。

适于建筑安装和装卸作业的汽车式起重机,目前的系列产品有起重重量为 5 t、8 t、16 t、25 t、40 t、65 t 和 100 t 等型号,多采用液压传动和多节伸缩起重臂,使用十分方便。用于混凝土施工和电站安装的轨道式门机和塔机,除 20 世纪 50 年代曾有少量进口外,现在均为国内设计制造的。此外,在总结以往缆机使用情况的基础上,我国也制造了多台平移式缆机。这些大型起重机在水电建设中发挥了重要的作用。

以上列举的工程机械产品均是大型机械,这些大型机械反映了我国在研制矿山工程机械方面已具有良好的基础。近年来,与外商合作,我国引进了不少先进技术与设备,制造了适合我国情况的各类工程机械,无论产品质量还是产品数量均有显著的进步。

四、工程机械的发展趋向

在继续发展我国矿山工程机械行业的同时,必须密切注视各工业先进国家在研制工程机械方面的动态和趋向。一般地讲,具有高水平制造技术的国家,可以使其工程机械具有较高的可靠性和良好的修理性,技术保养时间短,操作轻便,较舒适,因而提高了机械的生产率,但同时也增加了制造成本。根据对国外工程机械的结构特点的分析,其发展趋向可以综合为以下几点:

1. 继续向大型高效机械发展的同时,也注意发展小型的机械

随着世界范围的采矿和大型工程的规模不断扩大,以及小型工程和仓库的手工劳动、装卸作业机械化的实现,功率为 370~740 kW 大型的和功率为 7~22 kW 小型的机械设备的数量都必然增加。例如美国卡特皮勒公司曾扩展了推土机系列,一方面制造出最大型的 D10 型推土机(自重 81 t,功率为 515 kW),另一面向小型发展,生产了自重 6 t、功率为 44 kW 的 D₃ 型推土机。除日本小松公司在 1981 年首先生产了重 120 t、功率为 740 kW 的 D-555A 型推土机(这是世界上目前最大的推土机),还有英国的格罗夫公司和德国的格鲁伯公司的大型起重机,德国奥伦斯坦·科佩尔公司和法国波克兰公司的挖掘机,美国国