

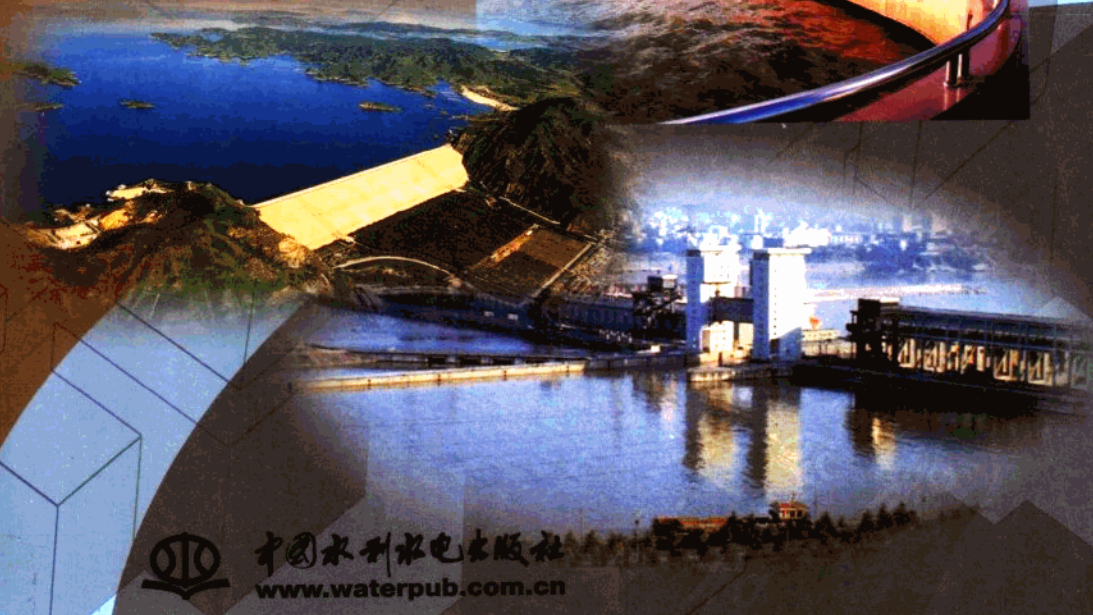


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

水利水电工程施工技术

水利水电工程技术专业

主编 张智涌



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

水利水电工程施工技术

(水利水电工程技术专业)

主 编 张智涌

责任主审 张勇传

审 稿 权先璋
李承军

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材,依据教育部颁发的全国中等职业学校“水利水电工程施工技术”课程指导纲要编写。全书共14章,包括土方工程、砌筑工程、爆破工程、模板工程、钢筋工程、混凝土工程、钻探与灌浆工程、吊装工程、施工导流与基坑工程、土石坝工程、隧洞工程、水闸工程、混凝土坝工程和水电站厂房工程等。

本书为中等职业学校水利水电工程技术和农业水利技术等水利类专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程施工技术/张智涌主编. —北京:中国水利水电出版社, 2003

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5084-1713-5

I. 水... II. 张... III. ①水利工程—工程施工—专业学校—教材②水力发电工程—工程施工—专业学校—教材 IV. TV5

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第111609号

书 名	中等职业教育国家规划教材 水利水电工程施工技术 (水利水电工程技术专业)
作 者	主编 张智涌
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 16印张 379千字
版 次	2003年12月第1版 2003年12月第1次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	21.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材 出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教成成[2001] 1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

QA 227/33

前 言

根据《关于全面推进素质教育 深化中等职业教育教学改革的意见》的精神，水利职业教学指导委员会制定了《水利水电工程技术专业指导性教学计划》，并提出对该专业的12门主干课程进行开发。2001年，在北京对12门主干课程的教学大纲进行了审定。本教材就是根据审定的《水利水电工程施工技术》教学大纲进行编写的。

在编写中，注意贯彻职业教育的改革精神，密切联系当前水利水电工程施工的实际，尽量展现国内外先进施工技术，把新规范的主要内容纳入教材之中，使之更具时代特征。本书为了兼顾大、中、小型工程，既介绍了主要工种施工，又介绍了主要建筑物施工，对主要工种的操作工艺和要求，参阅本教材的姊妹教材《水利水电工程施工实训》。

参加本教材编写的有四川水利职业技术学院张智涌、长沙理工大学毛建平、安徽水利水电职业技术学院胡慨。编写工作分工如下：

绪论	张智涌
第一章 土方工程	胡慨
第二章 砌筑工程	毛建平
第三章 爆破工程	胡慨
第四章 模板工程	张智涌
第五章 钢筋工程	张智涌
第六章 混凝土工程	张智涌
第七章 钻探与灌浆工程	毛建平
第八章 吊装工程	毛建平
第九章 施工导流与基坑工程	毛建平
第十章 土石坝工程	胡慨
第十一章 隧洞工程	张智涌
第十二章 水闸工程	胡慨
第十三章 混凝土坝工程	张智涌
第十四章 水电站厂房工程	张智涌

本教材的主编是四川水利职业技术学院的张智涌，本书经全国中等职业

教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，权先璋和李承军审稿；中国水利水电出版社另聘请江西省水利学校章仲虎主审了全稿。在编审过程中，得到水工专业大组，施工课程组有关同志的大力支持和指导，在此一并致谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中存在不少缺点和错误是难免的，恳请广大读者批评指正。

编 者

2002年12月

出版说明	
前 言	
绪论	1
第一章 土方工程	4
第一节 概述	4
第二节 土方挖运	5
第三节 土方压实	11
第四节 土方工程量计算	16
第二章 砌筑工程	19
第一节 概述	19
第二节 砌砖	22
第三节 砌石	25
第三章 爆破工程	32
第一节 爆破材料	32
第二节 爆破的基本方法	35
第三节 控制爆破	40
第四节 爆破施工的安全技术	44
第四章 模板工程	46
第一节 模板的类型	46
第二节 模板的受力分析	57
第三节 模板的制作安装和拆除	59
第五章 钢筋工程	63
第一节 概述	63
第二节 钢筋加工	64
第三节 钢筋配料	69
第四节 钢筋安装	72
第六章 混凝土工程	75
第一节 骨料制备	75
第二节 混凝土制备	79
第三节 混凝土运输	83

第四节	混凝土浇筑	90
第五节	预制混凝土和预应力混凝土施工	101
第六节	混凝土冬季、夏季及雨季施工	105
第七章	钻探与灌浆工程	108
第一节	概述	108
第二节	钻孔灌浆机械设备	111
第三节	灌浆施工	114
第八章	吊装工程	125
第一节	吊装设备及器具	125
第二节	吊装组织	134
第三节	安全技术	137
第九章	施工导流与基坑工程	138
第一节	施工导流的方法及布置	138
第二节	截流	157
第三节	拦洪度汛和封堵技术	160
第四节	基坑施工	164
第十章	土石坝工程	177
第一节	碾压式土石坝施工	177
第二节	面板堆石坝	181
第十一章	隧洞工程	185
第一节	概述	185
第二节	隧洞开挖	186
第三节	隧洞衬砌和灌浆	198
第十二章	水闸工程	210
第一节	概述	210
第二节	闸室施工	211
第十三章	混凝土坝工程	216
第一节	混凝土生产系统	217
第二节	混凝土运输浇筑系统	222
第三节	温度控制	229
第十四章	水电站厂房工程	234
第一节	概述	234
第二节	厂房施工方案	235
第三节	厂房二期混凝土施工	242
参考文献	247

绪 论

一、课程任务与内容

水利水电工程施工是将蓝图变为现实、变水害为水利的手段。《水利水电工程施工》课程是一门理论与实践紧密结合的专业课。本课程的任务是：通过学习使学生具备水利水电工程施工的基本知识和基本技能，能够根据工程条件组织实施施工活动和编制一般工程施工方案。本课程的基本内容是：主要工种的施工技术、主要水工建筑物的施工程序与方法、施工机械等。本书共 14 章，前八章为工种施工，后六章为水工建筑物施工。

二、课程特点及学习要求

水利水电工程施工与一般工民建、市政工程等施工有许多共同之处，但由于施工条件较为复杂，工程规模较为庞大，因此又具有独特的实践性、复杂性、多样性、风险性和不连续性的特点，表现在以下几个方面：

(1) 施工质量关系重大。由于工程承担挡水、蓄水和泄水任务，因而对水工建筑的稳定、承压、防渗、抗冲、抗冻、抗裂等性能都有特殊要求，需采取专门的施工方法和措施，以确保工程质量。

(2) 工程对地基要求严格，又常处于地质条件比较复杂的地区和部位，施工技术要求高，必须采取专门的地基处理措施。

(3) 工程系在河道中施工，需根据水流的自然条件及工程建设要求，进行施工导流、截流及水下作业。通航河道应妥善解决施工期通航问题。

(4) 工程有很强的季节性，必须充分利用枯水期施工，要求有一定的施工强度。必须合理安排计划，精心组织施工，及时解决施工中的防洪、度汛及冰凌等问题。

(5) 工程规模较大，特别是大型水利水电工程，单项工程多，彼此干扰重，运输量大，必须采用配套的、大容量的施工设备，高度机械化施工，以及采用现代施工技术和科学的施工管理，才能优质高速地完成建设任务。

(6) 工程工期较长、耗资大，要求统筹安排，综合平衡，妥善协调各分部、分项工程的施工进度，认真研究缩短工期、均衡施工强度的技术措施。

(7) 交通不便、运输困难。有的需要建专用道路解决运输问题。

(8) 施工中有许多危险作业如爆破作业、地下作业、水下作业、高空作业等容易发生安全事故。

由于水利水电工程施工具有上述特点，因此，本课程具有很强的实践性和广泛的综合性。因为，每一项施工技术都是与实践紧密结合的，每一条施工经验都是实践的正确总结，包含的内容丰富。

要求学生了解常用施工机械的特点和使用条件，掌握主要工种的施工工艺、施工方法及质量检查，掌握主要水工建筑物的施工特点、施工方案及质量控制；要求学生具有主要

工种施工的组织能力和中小型水利水电工程施工技术的应用能力。由于本课程的实践性和综合性，要求学生必须密切联系生产实际，从基本概念、基本原理、基本方法入手，结合所学知识循序渐进，配合施工实训锻炼动手能力，利用毕业设计和毕业实习巩固加强。

三、水利水电工程施工的任务

水利水电工程施工的任务，总的说来就是要充分发挥施工技术人员的主动能动性和创造性，把各种物资（能源、原材料、设备等）结合施工技术进行科学的组织、筹划和管理，达到用最少的人力、物力、财力和最短的时间把设计付诸实践。具体体现为：

(1) 编制施工组织设计文件。按照设计任务书和有关部门的要求，根据当地自然条件、社会经济状况以及工程特点，编制合理的施工组织设计文件指导工程施工。

(2) 重视施工准备，加强施工组织管理，确保施工活动顺利进行。

(3) 开展新技术、新工艺、新方法的试验和研究，促进水利水电工程施工技术的发展。

四、水利水电工程施工技术的发展概况

我国水利水电建设取得了丰硕成果，积累了丰富的施工经验。举世闻名的都江堰工程、黄河大堤、南北大运河等，都是劳动人民智慧的结晶。都江堰水利枢纽工程历经2000多年依然青春长在，灌溉面积已经突破2000万亩，其经典的枢纽布置和系统的整体性独步古今；在治水中总结的“乘势利导、因时制宜；深淘滩、低作堰；逢正抽心、遇弯裁角。”等治水经验和施工中总结的竹笼、杩槎围堰和卵石砌筑经验，至今仍在广泛应用。中华人民共和国成立以来开展了大规模的水利水电建设，历经近50年的不懈努力，一大批大、中型水利水电工程相继建成，水利水电施工技术和施工组织设计水平有了很大的发展和提高，同时创建和锻炼成长了一批具有丰富施工经验的专业队伍和施工组织设计人员。特别是长江三峡、黄河小浪底和雅砻江二滩枢纽的成功建设，标志着我国水利水电施工技术在许多领域已处于世界领先水平。

在施工导、截流方面，长江和黄河多次截流成功，其截流流量、流速和水深，以及抛投强度，都达到了世界先进水平。采用的围堰形式有土石围堰、木笼围堰、草土围堰、常态混凝土围堰、碾压混凝土围堰、钢板桩围堰等十余种。最大填筑水深达60m，挡水高度愈70m，突破了在各种复杂水流和地质条件下建造围堰的技术难点，成功地解决了年货运量超过百万吨、千万吨级的施工期通航问题。

土石方开挖方面，采用预裂爆破、光面爆破、保护层一次爆破、定向爆破、水下岩基爆破等先进技术及凿裂法开挖方法，完成了各种复杂地形地质条件及轮廓尺寸要求的明挖工程，最大开挖深度达176m。地下洞室开挖，采用多臂钻机、盾构机、反井钻机等先进机具，喷锚、预应力锚、预注浆及管棚支护方法，成功地在各种复杂岩层中开挖输水隧洞及地下厂房。小浪底地下厂房跨度26.2m，高度61.39m，采用光面控制爆破，炸药单耗在 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 以内，获得了满意的开挖轮廓面。

土石方填筑方面，充分利用开挖料作为填筑料，尽量做到挖填平衡。如十三陵抽水蓄能电站上池池盆开挖与主坝填筑工程，基本上做到了挖填平衡，且达到月开挖 $37\text{万}\text{m}^3$ ，月填筑 $28\text{万}\text{m}^3$ 的要求。天生桥一级混凝土面板堆石坝，高178m，位居世界第二位，填筑量达 $1800\text{万}\text{m}^3$ ，月最大填筑强度达 $77.4\text{万}\text{m}^3$ 。1995年建成的东津面板堆石坝，仅用

100天，填筑堆石65万 m^3 ，坝体上升57m，达到了当年挡御百年一遇洪水的标准。

混凝土施工技术方面，全面推广使用规格化、定型化钢模板，钢模板周转次数可达50次以上。采用的组合式悬臂钢模板最大达6~8 m^2 ，面板堆石坝的混凝土面板已采用无轨滑模法浇筑。采用软吸盘真空滑动模板，提高了混凝土表面强度。在混凝土温控技术方面，葛洲坝工程已达到夏季拌和混凝土出机口温度 7°C 以下；五强溪通仓浇筑工程一次浇筑混凝土最大仓面积达1600 m^2 。在施工强度方面，三峡工程计划要求混凝土月浇筑强度为46万~50万 $\text{m}^3/\text{月}$ 。采用的大型浇筑设备有自升固定式塔带机，起重臂工作幅度80m，起重量为30t；高架门机浇筑时工作幅度71m，起重量20t，起升高度轨上100m；大跨度摆塔式缆机，跨度1416m，起重量20t。碾压混凝土快速筑坝采用了高掺粉煤灰、薄层低稠度、短间歇连续浇筑、全断面碾压的施工技术。

尽管水利水电工程施工技术取得了长足的进步，但是摆在我们面前的任务还很艰巨，由于我国地域广阔，导致水资源在空间分布极不均衡，特别是随着经济社会的发展和人口的增加，水的需求量日益加大，水资源已成为一种稀缺资源。要实现水资源的可持续利用，必须对水资源进行优化配置。西电东送、南水北调就是对水资源优化配置的大手笔。南水北调是由工程水利向资源水利转变，由传统水利向现代水利、可持续发展水利转变的实践。南水北调是凝结中国人民智慧和勇气的浩大工程，也将在我国水利史上谱写出一部波澜壮阔、气象万千的创新篇章。

第一章 土方工程

任何水工建筑物都必须修建在合适的地基上，因此，水利水电工程施工离不开土方工程。而许多水工建筑物如土坝、渠道等，土方工程在施工中占有很大比重。

土方工程的基本类型是挖方和填方。它的基本施工过程是：挖土、运输和填筑。它的常用施工方法有人工、机械、爆破等。施工中应根据工程实际情况合理采用。

第一节 概 述

一、土壤分级

水利水电工程施工中，根据土体开挖的难易程度，将土方分为四级（见表 1-1）。不同级别的土开挖时应采用不同的方法，而对应消耗的劳动量和机械台班量不同，因此对应的土方单价也就不同。

表 1-1 一般工程土壤分级表

土壤级别	土壤名称	自然湿重度 (kN/m^3)	外型特征	开挖方法
I	砂土、种植土	16.50~17.50	疏松、粘结力差或易透水，略有粘性	用锹，有时略用脚踩开挖
II	壤土、淤泥、含壤种植土	17.50~18.50	开挖时能成块并易打碎	用锹，并加脚踩开挖
III	粘土、干燥黄土、干淤泥，含少量砾石粘土	18.00~19.50	湿时粘手，看不见砂粒，干硬	用镐、三齿耙开挖或用力加脚踩锹开挖
IV	坚硬粘土、砾质粘土、含卵石粘土	19.00~21.00	土壤结构干硬，将土分裂后成块状，含粘粒砾石较多	用镐、三齿耙等工具开挖

二、土壤的工程特性

土壤的工程特性对土方工程的施工方法，机械设备的选择、劳动量消耗、施工进度等均有直接的影响。主要工程特性有重度、含水量、渗透性、可松性、自然倾斜角等。前三者在相关课程中已经学习过了，这里主要介绍以下两种：

(1) 可松性。自然土体经开挖后，因原土组织破坏后而变得松散，土的体积增大的性质称为可松性。土的松散程度，采用土的可松性系数表示，见表 1-2。

(2) 自然倾斜角。自然堆积土壤的表面与水平面间所成的角度，称为自然倾斜角。土方开挖与填筑边坡的大小均与自然倾斜角有关，一般可参照表 1-3，表 1-4。

表 1-2 土的重度和可松性系数 (重度单位: kN/m³)

土的种类	自然状态		挖松后		弃土堆	
	重度	可松性系数	重度	可松性系数	重度	可松性系数
砂土	16.5~17.5	1.0	15.0~15.5	1.05~1.15	16.0~16.5	1.00~1.10
壤土	17.5~18.5	1.0	16.5~17.0	1.05~1.10	17.5~18.0	1.00~1.05
粘土	18.0~19.5	1.0	16.0~16.5	1.10~1.20	17.5~18.0	1.00~1.10
砂砾石	19.0~20.5	1.0	15.0~17.0	1.10~1.40	17.0~19.0	1.00~1.20
含砂砾壤土	18.5~20.0	1.0	17.0~18.0	1.05~1.10	18.5~19.5	1.00~1.05
含砂砾粘土	19.0~21.0	1.0	15.5~17.5	1.10~1.35	17.5~20.0	1.00~1.20
卵石	19.5~21.5	1.0	17.0~19.0	1.15	19.0~20.5	1.00~1.05

表 1-3 土方开挖施工安全边坡

土的种类		开挖高度 (m)	施工安全边坡
天然湿度的砂土		<5	1:1~1:2
天然湿度的均质壤土		<5	1:0.5~1:1.25
		5~8	1:1.25~1:1.5
湿度适中的粘土		<5	1:0.5~1:1.25
		5~18	1:1.25~1:1.5
砂砾石	水上	<8	1:0.5~1:1.25
	水下		1:1~1:1.5
干燥地区原状黄土、类黄土		<18	1:1.01~1:1.25
崩积土石体		<18	1:0.5~1:1.5

表 1-4 挖深在 5m 以内的窄槽
未加支撑时的安全边坡

土的种类	人工开挖	机械开挖
砂土	1:1.00	1:0.75
轻亚粘土	1:0.67	1:0.50
亚粘土	1:0.50	1:0.33
粘土	1:0.33	1:0.25
砾石土	1:0.67	1:0.50
干黄土	1:0.25	1:0.10

注 雨季及附近有强烈震动应加支撑。

第二节 土方挖运

一、人工挖运

我国水利水电工程施工中,一些工程量小或受施工条件约束不便于机械施工的地方,仍需采用人工挖运作业。挖土用铁锹、镐、三齿耙等工具,运土用筐、手推车、架子车等工具。

人工挖运施工简单,断面控制准确,对土体无扰动,但劳动强度大,施工进度慢,工程单价较高。受地下水影响的土方施工中,应先挖设排水沟,并保证施工中排水通畅。

二、机械挖运

(一) 挖掘机

1. 单斗挖掘机

单斗挖掘机由工作装置,行驶装置和动力装置组成。按工作装置不同有正铲、反铲、索铲和抓铲等。行驶装置有履带式、轮胎式两种。动力装置可分为:内燃机拖动、电力拖

动和复合拖动等。按操纵方式不同，单斗挖掘机可分为机械式（钢索）和液压操纵两种。

(1) 正铲挖掘机。正铲挖掘机是土方开挖中常用的一种机械（图 1-1）。它具有稳定性好，挖掘力大，生产率高等优点。适用于 I ~ IV 类土及爆破石渣的挖掘。

正铲挖掘机的挖土特点是：向前向上，强制切土，主要挖掘停机面以上的土石料。按其于运输工具相对停留位置的不同，有侧向开挖和正向开挖两种方式（图 2-2），采用侧向开挖时，挖掘机回转角度小，生产效率高。

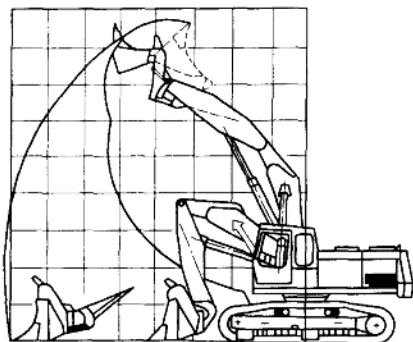


图 1-1 履带式液压正铲挖掘机

(2) 反铲挖掘机。反铲挖掘机（图 1-3）是正铲挖掘机的一种换用装置，一般斗容量较正铲差，工作循环时间比正铲长 8% ~ 30%。其稳定性及挖掘力均比正铲差，适于 I ~ III 类土。反铲挖土特点是：向后向下，强制切土。主要挖掘停机面以下的土石料，多用于开挖深度不大的基槽和下水石渣。其开挖方式分沟端开挖和沟侧开挖两种（图 1-4）。国产部分反铲挖掘机技术性能见表 1-5。

(3) 索铲挖掘机。索铲挖掘机适宜于开挖停机面以下的土石料，其斗容量较大，多用于开挖深度较大的基槽，沟渠和下水土石（图 1-5）。

(4) 抓铲挖掘机。抓铲挖掘机可以挖掘停机面以下的土石料。水利水电工程中常用于开挖集水井、深井及挖掘深水中的物料，其挖掘深度可达 30m 以上（图 1-5）。

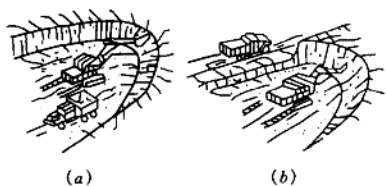


图 1-2 正铲挖掘机作业方式
(a) 正向开挖；(b) 侧向开挖

2. 多斗挖掘机

多斗挖掘机是一种连续工作的挖掘机械，从构造上可以分为链斗式和斗轮式两种。

(1) 链斗式采砂船。链斗式采砂船是一种构造简单，生产效率较高，适用大规模采集河道中砂砾料的多斗挖掘机（图 1-6）。

(2) 斗轮式挖掘机。斗轮挖掘机（图 1-7）的斗轮安装在可仰俯的斗轮臂上，斗轮

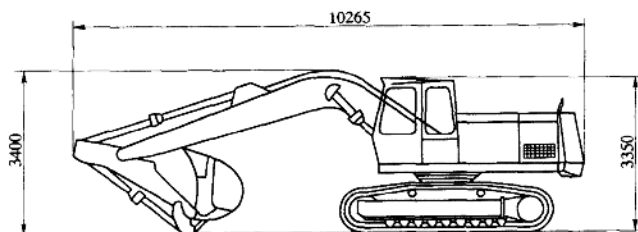


图 1-3 履带式液压反铲挖掘机

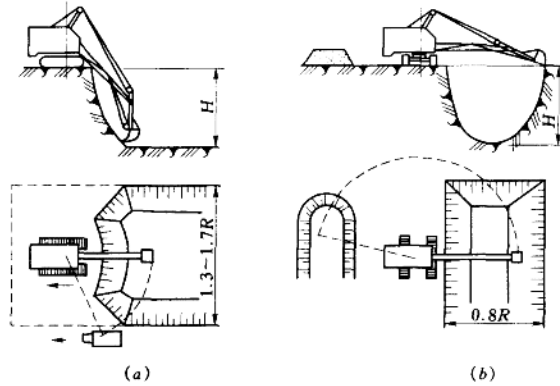


图 1-4 反铲挖掘机作业方式

(a) 沟端开挖; (b) 沟侧开挖

上装有多斗，当斗轮转动时，即行挖土，当铲斗转动到最高位置时，土靠自重卸落到受料皮带上，最终卸入运输工具或直接送至料堆，斗轮式挖掘机多用于料场大规模取土作业，它的特点是连续作业，生产效率高，斗臂倾角可以改变，开挖范围大，可适应不同形状的工作面。

(二) 推土机

推土机是一种在拖拉机上安装有推土工作装置（推土铲）的常用的土方工程机械。它可以独立完成推土、运土及卸土三种作业（图 1-8）。在水利水电工程中，它主要用于平整场地，开挖基坑，推平填方及压实，堆积土石料及回填沟槽等作业，适用于 100m 以内运距、I~III 类土的挖运。

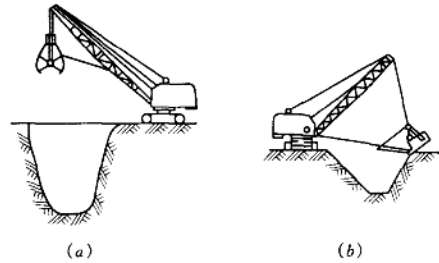


图 1-5 抓铲、索铲工作装置示意图

(a) 抓铲; (b) 索铲

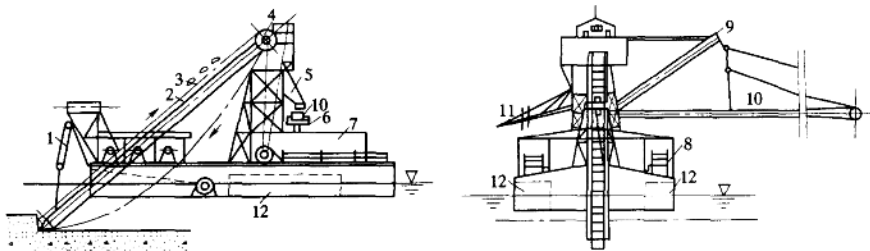


图 1-6 链斗式采砂船

1—斗架提升索; 2—斗架; 3—链条和链斗; 4—主动链轮; 5—卸料漏斗;

6—回转盘; 7—主机房; 8—卷扬机; 9—吊杆; 10—皮带机;

11—泄水槽; 12—平衡水箱

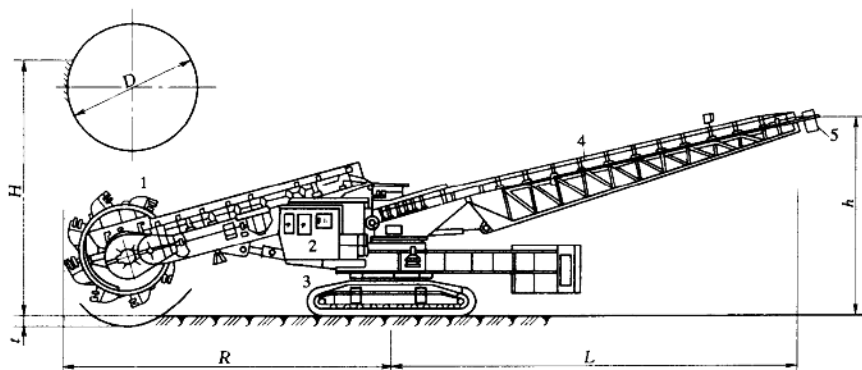


图 1-7 斗轮式挖掘机 (单位: mm)

1—斗轮; 2—机房; 3—履带行驶机构; 4—臂式带式输送机; 5—卸料装置

表 1-5 反铲挖掘机工作性能

项 目	W50	W100A	W60	W100	RH75
铲斗容量 (m ³)	0.5	1.0	0.6	1~1.2	4~10
动臂长度 (m)	5.5	6.3		5.3	
斗柄长度 (m)	2.8	4.11		2.0	
终点卸土半径 (m)	8.1	10.2	5.1	4.7	
终点卸土高度 (m)	5.26	6.3	4.48	5.4	
最大挖土高度 (m)			6.03	7.6	
最大挖土深度 (m)	5.56	6.8	5.3	5.7	10.3
最大挖土半径 (m)	9.2	12.0	8.63	9.0	17.8
对地面压力 (kPa)	62	90	55	52	

推土机按行走装置不同有履带式和轮胎式两类,履带式在工程中应用更为广泛。按传动方式不同有机械式、液力机械式和液压力式三种。新型的大功率推土机多采用后两种方式。按推土铲安装方式又可分为回转式和固定式两种。固定式推土铲仅能升降,而回转式推土铲不仅能升降,还可以在三个方向调整一定的角度。固定式结构简单,使用广泛。

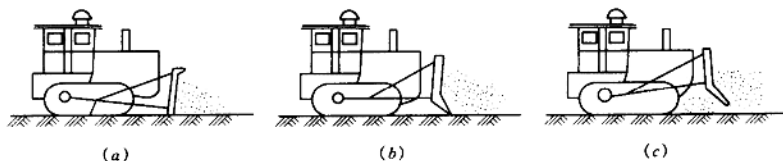


图 1-8 推土机作业方式
(a) 推土; (b) 运土; (c) 卸土

推土机的开行方式基本是穿梭式的。为了提高推土机的生产效率，应力求减少推土器两侧散失土料，一般可采取槽形开挖，分段铲土、集中推运，多机并列推土及下坡推土等方法。

(三) 铲运机

铲运机是一种能综合完成铲土、装土、运土、卸土并能控制填土厚度等工序的土方工程机械(图1-9)。其斗容量从几立方米到几十立方米，适用于I~III级土，经济运距为100~3500m之间的铲运作业。水利水电工程中多用于平整场地，开采土料，修筑渠道和路基等。当对坚土进行铲运遇到困难时，应先用松土器对土壤耙松后再铲运，当土中有大块石或树根以及沼泽地区均不宜使用铲运机。

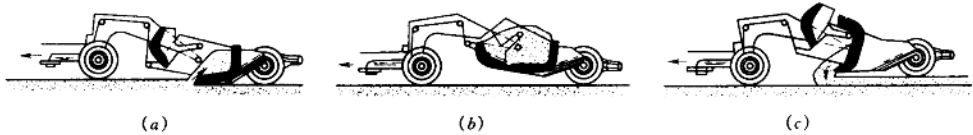


图1-9 拖式铲运机工作示意图
(a) 铲土; (b) 运土; (c) 卸土

铲运机按操纵方式分为液压式和机械式两类;按牵引方式可分为拖式和自行式两类;按卸土方式可分为强制式、半强制式和自由式卸土三种。

(四) 装载机

装载机是装载松散物料的工程机械。它不仅可以对堆积的松散物料进行装、运、卸作业和短距离的运土(1.3km以内)。也可对岩石、硬土进行轻度挖掘和推土作业，还可以进行清理、刮平场地，起重、牵引等作业。配备相应的工作装置后又可完成松土，进行圆木、管状物料的挟持及装卸工作。工作效率高，用途广泛。

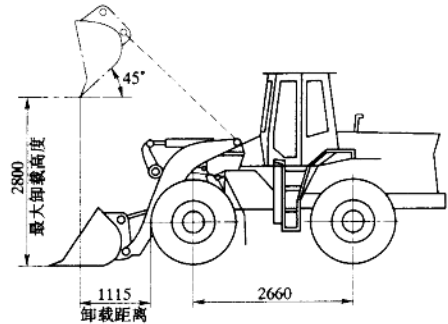


图1-10 轮式装载机

装载机按行走装置分为轮式和履带式两种。我国轮式装载机发展很快(图1-10)，应用广泛。按卸载方式可分为前卸式、后卸式、侧卸式和回转式四种，前卸式结构简单，应用最广。按铲斗额定载重量可分为小型小于1t、轻型1~3t、中型4~8t、重型大于10t等四种。

按铲斗额定载重量可分为小型小于1t、轻型1~3t、中型4~8t、重型大于10t等四种。

(五) 运土机械

水利水电工程施工中，常用的运土机械有有轨机车、自卸汽车、拖拉机和皮带运输机等。

1. 自卸汽车运输

自卸汽车运土机动灵活，通常与挖掘机配套作业。一般情况下，运距不宜小于300m，重车上坡最大允许坡度为8%~10%，道路转弯半径不宜小于20m。