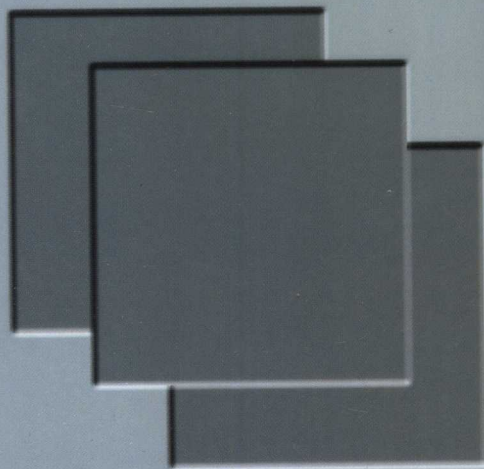




全国高职高专水利水电类精品规划教材

水利水电工程施工技术

主 编 梁建林 胡 育



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专水利水电类精品规划教材

水利水电工程施工技术

主 编 梁建林 胡 育

副主编 张春满



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书全面系统地阐述了水利水电各种工程的施工方法和施工技术,全书共分16章。本书是高职高专水利水电工程建筑类和管理类的专业教材,也可作为水利水电类专业成人高等教育的参考教材和水利水电技术人员的参考书。各学校采用本教材时,可根据专业特点和地区特点以及各学校培养目标的具体要求,酌情取舍。

水利工程施工技术

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程施工技术/梁建林,胡育主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2005
全国高职高专水利水电类精品规划教材
ISBN 7-5084-3188-X

I. 水... II. ①梁... ②胡... III. ①水利工程—
工程施工—高等学校: 技术学校—教材 ②水力发电工程—
工程施工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TV5

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第096540号

| | |
|-------|--|
| 书 名 | 全国高职高专水利水电类精品规划教材 水利水电工程施工技术 |
| 作 者 | 主编 梁建林 胡育 |
| 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 19.75印张 493千字 |
| 版 次 | 2005年8月第1版 2006年7月第2次印刷 |
| 印 数 | 4101—7100册 |
| 定 价 | 30.00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

序

教育部在《2003-2007年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。所以，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，在继2004年8月成功推出《全国高职高专电气类精品规划教材》之后，2004年12月，在北京，中国水利水电出版社组织全国水利水电行业高职高专院校共同研讨水利水电行业高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前水利水电行业高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专水利水电类精品规划教材》。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用性的高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地贯彻了水利水电行业新的法规、规程、规范精神，反映了当前新技术、新材料、新工艺、新方法和相应的岗位资格特点，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能够适应三年制高职高专教育的要求，也适应了两年制高职高专教育培养目标的要求。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编委会

2005年6月

前

言

本书是根据《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编审会议的决定组织编写的。

本书主要内容包括水利水电工程常见工种的施工工艺和建筑物的施工技术两大部分。在编写过程中，我们努力体现高职高专的教学特点，并结合我国水利水电工程施工的实际精选内容，以贯彻理论联系实际，注重实践能力的培养，突出针对性和实用性，以便于学生学习。同时，我们还适当照顾了不同地区的特点和要求，力求反映国内外水利水电工程施工技术的先进性。

参加本书编写的有黄河水利职业技术学院梁建林（绪论、第四章、第十一章、第十四章），长江工程职业技术学院胡育（第七章），南昌工程学院王美生（第三章），黄河水利职业技术学院张春满（第二章、第十章），黄河水利职业技术学院王飞寒（第十二章、第十三章），黄河水利职业技术学院薛建荣（第五章、第九章），黄河水利职业技术学院张梦宇（第一章、第十五章、第七章第六节），福建水利电力职业技术学院张美新（第八章、第十六章），开封黄河河务局王燎原（第六章）。全书由梁建林、胡育主编，张春满担任副主编。

本教材是根据国家教育部高职高专院校专业教学改革整体方案的要求，首次组织编写的。由于编者水平有限，加之时间仓促，难免存在错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2005年7月

目 录

序 前 言

| | |
|-------------------|-----------|
| 绪论 | 1 |
| 第一章 土方工程 | 4 |
| 第一节 土的施工分级和工程特性 | 4 |
| 第二节 土方开挖 | 5 |
| 第三节 土料压实 | 13 |
| 第二章 砌筑工程 | 19 |
| 第一节 脚手架工程 | 19 |
| 第二节 砖砌体砌筑 | 22 |
| 第三节 砌石工程 | 24 |
| 第三章 爆破工程 | 31 |
| 第一节 爆破基本原理 | 31 |
| 第二节 爆破基本方法 | 36 |
| 第三节 钻孔机具和爆破器材 | 40 |
| 第四节 特种爆破技术 | 43 |
| 第五节 爆破安全控制 | 49 |
| 第四章 吊装工程 | 52 |
| 第一节 索具设备 | 52 |
| 第二节 起重机械 | 57 |
| 第三节 吊装施工方法及安全注意事项 | 63 |
| 第五章 钢筋工程 | 67 |
| 第一节 钢筋的验收与配料 | 67 |
| 第二节 钢筋的内场加工 | 70 |
| 第三节 钢筋的连接 | 73 |
| 第四节 钢筋安装及其质量控制 | 77 |
| 第六章 模板工程 | 79 |
| 第一节 概述 | 79 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 第二节 | 模板设计 | 79 |
| 第三节 | 模板的基本型式 | 82 |
| 第四节 | 模板的安装与拆除 | 89 |
| 第七章 | 混凝土工程 | 91 |
| 第一节 | 骨料制备 | 91 |
| 第二节 | 混凝土制备 | 97 |
| 第三节 | 混凝土运输 | 100 |
| 第四节 | 混凝土浇筑与养护 | 105 |
| 第五节 | 混凝土的冬季与夏季施工 | 108 |
| 第六节 | 预应力钢筋混凝土 | 109 |
| 第八章 | 灌浆工程 | 125 |
| 第一节 | 灌浆种类及灌浆材料 | 125 |
| 第二节 | 砂卵石地基灌浆 | 126 |
| 第三节 | 岩基灌浆 | 128 |
| 第四节 | 地基高压喷射灌浆 | 135 |
| 第五节 | 土坝劈裂灌浆 | 140 |
| 第九章 | 施工导流与截流 | 145 |
| 第一节 | 施工导流的方法 | 145 |
| 第二节 | 围堰工程 | 151 |
| 第三节 | 施工导流的水力计算 | 157 |
| 第四节 | 导流方案的选择 | 161 |
| 第五节 | 截流工程 | 166 |
| 第六节 | 拦洪度汛与导流建筑物的封堵 | 170 |
| 第十章 | 基坑施工 | 173 |
| 第一节 | 基坑排水 | 173 |
| 第二节 | 基坑开挖 | 178 |
| 第三节 | 地基处理 | 181 |
| 第十一章 | 土石坝施工 | 189 |
| 第一节 | 碾压式土石坝施工 | 189 |
| 第二节 | 面板堆石坝施工 | 197 |
| 第三节 | 水坠坝施工 | 202 |
| 第十二章 | 混凝土坝施工 | 204 |
| 第一节 | 砂石料生产系统 | 204 |
| 第二节 | 混凝土生产系统 | 210 |
| 第三节 | 混凝土运输浇筑方案 | 214 |
| 第四节 | 混凝土温度控制与分缝分块 | 219 |
| 第五节 | 坝体接缝灌浆 | 228 |

| | | |
|-------------|----------------------|------------|
| 第六节 | 碾压混凝土施工 | 231 |
| 第十三章 | 地下工程施工 | 235 |
| 第一节 | 地下工程开挖方式 | 235 |
| 第二节 | 钻孔爆破开挖 | 243 |
| 第三节 | 掘进机开挖 | 254 |
| 第四节 | 衬砌 | 257 |
| 第五节 | 锚喷支护 | 263 |
| 第十四章 | 混凝土水闸施工 | 272 |
| 第一节 | 概述 | 272 |
| 第二节 | 水闸混凝土分缝与分块 | 273 |
| 第三节 | 底板施工 | 274 |
| 第四节 | 闸墩与胸墙施工 | 275 |
| 第五节 | 闸门槽施工 | 278 |
| 第六节 | 接缝及止水施工 | 279 |
| 第七节 | 铺盖与反滤层施工 | 280 |
| 第十五章 | 渠系建筑物施工 | 281 |
| 第一节 | 渠道施工 | 281 |
| 第二节 | 装配式渡槽施工 | 288 |
| 第十六章 | 水电站厂房施工 | 292 |
| 第一节 | 厂房施工特点及混凝土分期 | 292 |
| 第二节 | 厂房混凝土施工 | 293 |
| 第三节 | 厂房二期混凝土施工 | 302 |
| 第四节 | 厂房上部结构施工 | 304 |
| 参考文献 | | 305 |

绪 论

水利水电工程施工技术是指在水利水电建设中需要掌握的专业技术，是一门理论与实践紧密结合的专业课。它是在总结国内外水利水电工程建设经验的基础上，研究施工方法、施工工艺、施工机械等施工技术措施，以确保工程建设质量、进度、投资目标，实现设计要求的一门学科。

水利水电建设可概括分为规划、设计、施工等阶段，每个阶段既有分工，又有联系。施工应以规划和设计的成果为依据，施工的过程是将规划和设计成果转化为工程实体的过程；而规划和设计又要考虑施工方面的要求，并受施工实践的检验。水利水电工程施工的主要任务为：充分发挥施工技术人员的能动性和创造性，合理利用各项施工资源，结合施工技术，进行科学的组织和管理，达到用最少的施工资源和最短的时间，把设计付诸实施。这就要求对施工技术、施工机械和施工组织管理三方面，不断进行研究和总结。所以，水利水电工程施工分为水利水电施工技术、水利水电施工机械化和水利水电施工组织与管理三个分支学科。三者相辅相成，缺一不可。对于水利水电工程施工，只有掌握先进的施工技术，学会正确的使用施工机械的方法，进行科学的施工组织管理，才能达到快速、安全、高效的施工目的。

水利水电施工技术这门学科的主要特征是实践性和综合性。前者要求通过施工实践，检验规划设计的方案，使工程完建并投入运用，这就要求理论联系实际，因时因地分析问题和解决问题；后者要求在施工过程中，既要领会规划设计意图，又要根据施工条件和建设要求，保质保量、经济、快速地进行工程建设，这就要求综合运用水利水电建设的有关理论知识和科学技术。

一、水利水电工程施工的特点

(1) 水利水电工程施工多在河流上进行，因而需要采取技术组织措施，进行施工过程中水流控制，以保证工程施工的顺利进行。

(2) 水利水电工程施工经常遇到复杂的地质条件，如渗漏、软弱地基、断层、破碎带及滑坡等。因而需要进行相应的地基处理，以保证施工质量和施工安全。

(3) 水利水电工程多为露天作业，需要采取适合冬季、夏季、雨季等不同季节的施工技术措施，保证施工质量和施工进度。

(4) 水利水电工程一般都是挡水或过水建筑物，这些建筑物的安全往往关系到国计民生和下游千百万人民生命财产的安危。因此，必须确保工程的施工质量。

(5) 水利水电工程有许多建筑物组成，工程量大、工种繁多、施工强度高，再加之地形条件限制，易发生施工干扰。因此，需要统筹规划，合理组织，因时因地选择最优施工方案。

(6) 水利水电工程施工过程中，爆破作业、地下作业、水上水下作业和高空作业等，常常平行立体交叉进行。因此，必须采取有效的施工技术措施，确保施工安全。

二、我国水利水电工程施工的成就与施工技术的发展

历史上，我国水利建设有着卓越的成就，积累了许多宝贵的施工经验。公元前 250 年



以前修建的都江堰工程,按“乘势利导,因时制宜”的原则,发挥了防洪和灌溉的巨大效益。用现代系统工程的观点来分析,该工程在建筑物布局、施工措施等方面都是相当成功的。此外,在截流堵口工程中所使用的杓槎围堰、草土围堰、捆箱埽进占、捆箱埽结合柳石枕进占、柳石枕护底以及平堵与立堵相结合的施工技术,至今还为工程建设所使用。我国古代在修建渠道、黄河大堤、南北大运河以及其他许多施工技术难度大的水利水电工程和抗洪斗争中,创造了许多传统的施工技术。这些水利水电工程独特的施工技术,至今仍在工程施工中运用,有力地促进我国水利水电工程施工技术的发展。

新中国成立后,我国水利建设事业取得了辉煌的成就。在水利建设中,江河干支流上加高加固和修建了大量的堤防,整治江河,提高了防洪能力。修建了官厅、佛子岭、大伙房、密云、岳城、潘家口、南山、观音阁、桃林口、江垭等大型水库,发挥了防洪、蓄水作用。修建了三门峡、青铜峡、丹江口、满拉、乌鲁瓦提等一批防洪、蓄水综合利用工程。这些工程中有各种形式的高坝,使我国坝工技术有飞跃的发展。在灌溉工程方面,修建的人民胜利渠,是黄河下游第一个引黄灌溉渠。还修建了淠史杭灌区、内蒙古引黄灌区、林县红旗渠、陕甘宁盐环定扬黄灌区、宁夏扬黄灌区等。在跨流域引水工程方面修建了东港供水、引滦入津、南水北调东线一期、引黄济青、万家寨引黄入晋等。我国取水、输水、灌溉技术达到国际水平。

在防洪方面,修建和加高加固大江大河堤防 26 万 km,兴建水库 8.5 万座,总库容 4924 亿 m^3 ,初步控制了常遇洪水,保护了 4 亿多人口、470 座城市、5 亿亩耕地和大量交通道路、油田等基础设施。新中国成立后,战胜了历次大洪水和严重的干旱灾害,黄河年年安澜。1998 年大洪水,长江堤防保持安澜,松花江、嫩江主要城市和河段保证了安全。

在农田水利方面,灌溉面积发展到 8 亿亩,灌区生产的粮食占全国总产量的 75%,占全国棉花和蔬菜产量的 90%,我国以占世界近 10%的耕地面积,解决了占世界 22%人口的粮食问题。

在供水水源方面,兴建了大量蓄水、引水、扬水工程,抽用地下水。农业灌溉和城市工业供水水源已经初具规模,乡镇供水发展迅速,水利水电年供水能力达 5800 亿 m^3 。修建各种农村饮水工程 315 万处,解决了 2 亿多人和 1.3 亿头牲畜的饮水问题。

在水资源调配方面,兴建了一批流域控制性工程,以及跨流域调水工程,初步解决了区域水资源分布和城乡工农业用水的矛盾,缓解国民经济和社会发展用水的需要。三峡工程和小浪底工程建成后,将得到进一步缓解。南水北调工程规模巨大,正在规划和逐步实施中。

在水电建设中,修建了狮子滩、新安江、刘家峡、新丰江、六郎洞、葛洲坝、白山、东江、龙羊峡、李家峡、鲁布革、天生桥、二滩、小浪底等各种类型的大型水电站,还修建了数以万计的中小型水电站。目前大中型水电站装机 6400 多万 kW,年发电量约为 2080 亿 $kW \cdot h$ 。大型水电站供应了工业和城市用电,支持灌溉用水量。中小型水电站供应全国 1/3 的县、45%国土面积和 70%贫困山区的用电。三峡工程以及西南诸多的水电工程建成后水电装机大幅度地增加,并可联系全国电网,互相调剂。我国装机容量位居世界前列,在水电技术上达到国际水平,能修建各种类型、条件复杂的大型水电站。

随着水利水电建设和科学技术的快速发展,水利水电施工技术也不断提高。在工程建设中采用了定向爆破、光面爆破、预裂爆破、岩塞爆破、柔性垫层爆破开挖保护层、喷锚

支护、预应力锚索、高压喷射灌浆、滑模和碾压混凝土及混凝土防渗面板等新技术、新工艺。施工机械装备能力迅速增长,使用了大斗容的挖掘机、大吨位的自卸汽车、全自动化混凝土搅拌楼、塔带机、隧洞掘进机和盾构机等。水利水电工程施工技术的发展,为水利水电建设事业展示了一片广阔的前景。

在取得巨大成就的同时,应认识到我国施工技术水平与世界先进国家的差距,看到大型水利水电工程施工遇到的许多新的复杂问题,需要不断研究新技术。例如施工机械与国外施工承包商相比还落后,还存在配套不齐、利用率不充分、施工组织管理水平不高等问题;高混凝土坝的地基处理、高土石坝的防渗和快速施工、复杂地质条件下的地下大洞室的施工技术等问题,还需进一步研究解决。这就要求我们必须认真总结过去的经验和教训,在学习和引进国外先进的技术和科学的管理方法同时,把我国水利水电施工技术推向更高水平。

三、课程的主要内容和学习方法

本课程主要阐述水利水电工程施工技术的基本原理、施工特点、施工方法、工艺措施以及主要机械的适用条件等。同时,结合主要几种水工建筑物的施工介绍建筑物的施工特点、施工程序和施工方法等内容。通过学习,要求了解水利水电中施工常用的施工机械的主要组成部分、工作原理、主要性能及其选择;掌握主要工种的施工过程、施工方法、操作技术、质量控制要点、安全技术措施,以及主要水工建筑物的施工特点、施工程序、施工工艺和质量控制检查方法。

根据教材的内容和特点,学习中应重点掌握基本概念、基本原理、基本方法,结合所学过的课程,配合生产实习、工种实训、现场教学、多媒体教学、课堂作业、课程设计、毕业设计和顶岗实践等教学环节运用所学的知识,才能有效地掌握本课程的内容。

第一章 土方工程

水利水电工程中，土方工程应用非常广泛。有些水工建筑物，如土坝、土堤、土渠等，几乎全部都是土方工程。其基本施工类型是挖方和填方；基本施工过程是开挖、运输和填筑。可根据实际情况采用人工、机械、爆破或水力冲填等方法施工。

第一节 土的施工分级和工程特性

一、土的施工分级

在水利水电工程施工中，根据开挖的难易程度，将土壤分为 I ~ IV 级，见表 1-1。不同级别的土应采用不同的开挖方法，且施工挖掘时所消耗的劳动量和单价亦不同。

表 1-1 土壤的工程分级

| 土壤级别 | 土壤名称 | 自然湿密度 | 外形特征 | 开挖方法 |
|------|----------------------------|-----------|--------------------------|-------------------|
| I | 砂土 种植土 | 1.65~1.75 | 疏松，粘着力差或容易透水，略有粘性 | 用锹（有时略加脚踩）开挖 |
| II | 壤土 淤泥 含根种植土 | 1.75~1.85 | 开挖能成块并易打碎 | 用锹并用脚踩开挖 |
| III | 粘土 干燥黄土 干淤泥 含砾质粘土 | 1.80~1.95 | 粘手，干硬，看不见砂砾 | 用镐、三齿耙或铁锹并用力加脚踩开挖 |
| IV | 坚硬粘土 砾质粘土 含卵石粘土 | 1.90~2.1 | 土壤结构坚硬，将土分裂后成块状或含粘粒、砾石较多 | 用镐、三齿耙等工具开挖 |

二、土的工程特性

土的工程特性对土方工程的施工方法及工程进度影响较大。主要的工程特性有表观密度、含水量、可松性、自然倾斜角等。

(1) 表观密度。土壤表观密度就是单位体积土壤的质量。土壤保持其天然组织、结构和含水量时的表观密度称为自然表观密度。单位体积湿土的质量称为湿表观密度。单位体积干土的质量称为干表观密度。表观密度是体现粘性土密实程度的指标，常用它来控制粘性土的压实质量。

(2) 含水量。含水量是土壤中水的质量与干土质量的百分比。它表示了土壤空隙中含水的程度，含水量的大小直接影响粘性土的压实质量。

(3) 可松性。自然状态下的土经开挖后因变松散而使体积增大的特性，称为土的可松性。土的可松性用可松性系数 k_s 表示，即

$$k_s = V_2/V_1 \quad (1-1)$$

式中 V_2 ——土经开挖后的松散体积；

V_1 ——土在自然状态下的体积。

土的可松性系数，可用于计算土方量、进行土方挖填平衡计算和确定运输工具数量。各种土的可松性系数见表 1-2。

表 1-2 土的密度和可松性系数

| 土的类别 | 自然状态 | | 挖松后 | |
|-------|------------------------|-------|------------------------|-----------|
| | 密度 (t/m ³) | 可松性系数 | 密度 (t/m ³) | 可松性系数 |
| 砂土 | 1.65~1.75 | 1.0 | 1.50~1.55 | 1.05~1.15 |
| 壤土 | 1.75~1.85 | 1.0 | 1.65~1.70 | 1.05~1.10 |
| 粘土 | 1.80~1.95 | 1.0 | 1.60~1.65 | 1.10~1.20 |
| 砂砾土 | 1.90~2.05 | 1.0 | 1.50~1.70 | 1.10~1.40 |
| 含砂砾壤土 | 1.85~2.00 | 1.0 | 1.70~1.80 | 1.05~1.10 |
| 含砂砾粘土 | 1.90~2.10 | 1.0 | 1.55~1.75 | 1.10~1.35 |
| 卵石 | 1.95~2.15 | 1.0 | 1.70~1.90 | 1.15 |

(4) 自然倾斜角。自然堆积土壤的表面与水平面间所形成的角度，称为土的自然倾斜角。挖方与填方边坡的大小与土壤的自然倾斜角有关。土方的边坡开挖应采取自上而下、分区、分段、分层的方法依次进行，不允许先下后上切脚开挖；坡面开挖时，应根据土质情况，间隔一定的高度设置永久性戗台，戗台宽度视用途而定。

第二节 土方开挖

土方开挖常用的方法有人工开挖法和机械开挖法，一般采用机械开挖法。用于土方开挖的机械有单斗挖掘机、多斗挖掘机、铲运机械及水力开挖机械。

一、单斗挖掘机

(一) 单斗挖掘机的类型

单斗挖掘机是仅有一个铲土斗的挖掘机械，如图 1-1 所示。它由行走装置、动力装置和工作装置三部分组成。行走装置分为履带式 and 轮胎式两种。履带式是最常用的一种，它对地面的单位压力小，可在各种地面上行驶，但转移速度慢。动力装置分为电动和内燃机驱动两种，电动为最常用形式，效率高，操作方便，但需电源。工作装置由铲土斗、斗柄、推压和提升装置组成。按铲土方向和铲土原理分为正铲、反铲、拉铲和抓铲四种类型，如图 1-1 所示，用钢索或液压操纵。钢索操纵用于大中型正铲，液压操纵用于小型正铲和反铲。

1. 正铲挖掘机

正铲挖掘机由推压和提升完成挖掘，开挖断面是弧形，最适于挖停机面以上的土方，也能挖掘停机面以下的浅层 (1~2m) 土方。由于稳定性好，铲土能力大，可以挖装各种土料及软岩，并可进行岩渣装车。它的特点是循环式开挖，由挖掘、回转、卸土、返回构成一个工作循环，生产率的大小取决于铲斗大小和循环时间的长短。正铲的斗容从 0.5m³

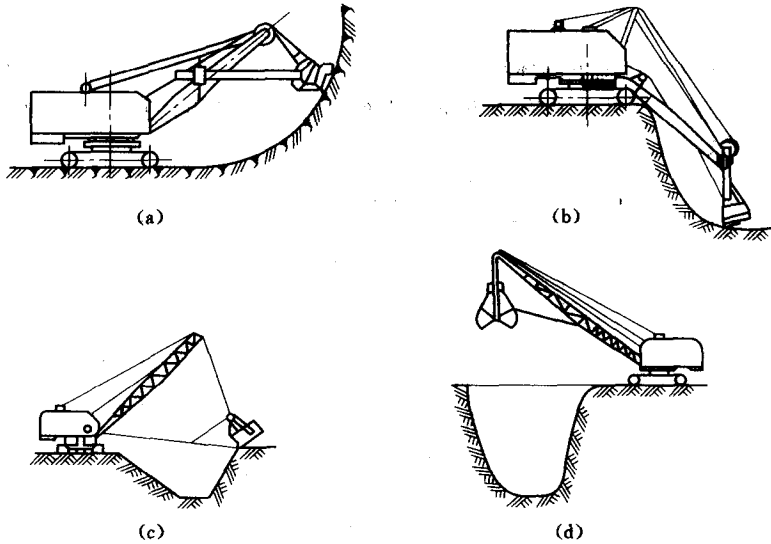


图 1-1 单斗挖掘机

(a) 正铲挖掘机；(b) 反铲挖掘机；(c) 拉铲挖掘机；(d) 抓铲挖掘机

至几十立方米不等，工程中常用 $1\sim 4\text{m}^3$ 。

正铲挖掘机开挖方式有以下两种：

(1) 正向开挖、侧向装土。正铲向前进方向挖土，汽车位于正铲的侧向装车，如图 1-2 所示。铲臂卸土回转角度小于 90° ，装车方便，循环时间短，生产效率高，常用于土料场及渠道土方开挖。

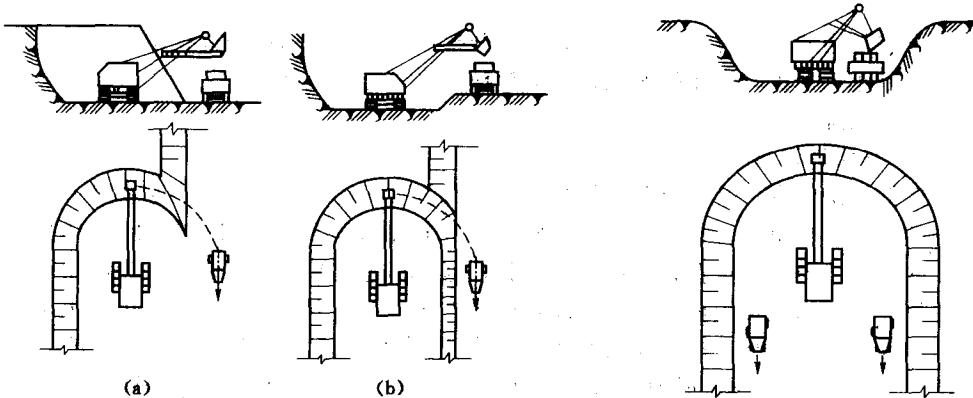


图 1-2 正向开挖、侧向装土法

(a) 平层掌子；(b) 台阶掌子

图 1-3 正向开挖、后方装土法

(2) 正向开挖、后方装土。开挖工作面较大，但铲臂卸土回转角度大、生产效率降低，如图 1-3 所示。常用于基坑土方开挖。

正铲挖掘机工作尺寸见图 1-4，常用挖掘机性能见表 1-3。

第二节 土方开挖

表 1-3 正铲挖掘机工作性能

| 项 目 | WD-50 | WD-100 | WD-200 | WD-300 | WD-400 | WD-1000 |
|------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 铲斗容量 (m ³) | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 10.0 |
| 动臂长度 (m) | 5.5 | 6.8 | 9.0 | 10.5 | 10.5 | 13.0 |
| 动臂倾角 (°) | 60.0 | 60.0 | 50.0 | 45.0 | 45.0 | 45.0 |
| 最大挖掘半径 (m) | 7.2 | 9.0 | 11.6 | 14.0 | 14.4 | 18.9 |
| 最大挖掘高度 (m) | 7.9 | 9.0 | 9.5 | 7.4 | 10.1 | 13.6 |
| 最大卸土半径 (m) | 6.5 | 8.0 | 10.1 | 12.7 | 12.7 | 16.4 |
| 最大卸土高度 (m) | 5.6 | 6.8 | 6.0 | 6.6 | 6.3 | 8.5 |
| 最大卸土半径时的卸土高度 (m) | 3.0 | 3.7 | 3.5 | 4.9 | | 5.8 |
| 最大卸土高度时的卸土半径 (m) | 5.1 | 7.0 | 8.7 | 12.4 | | 15.7 |
| 工作循环时间 (s) | 28.0 | 25.0 | 24.0 | 22.0 | 23~25 | |
| 卸土回转角度 (°) | 100 | 120 | 90 | 100 | 100 | |

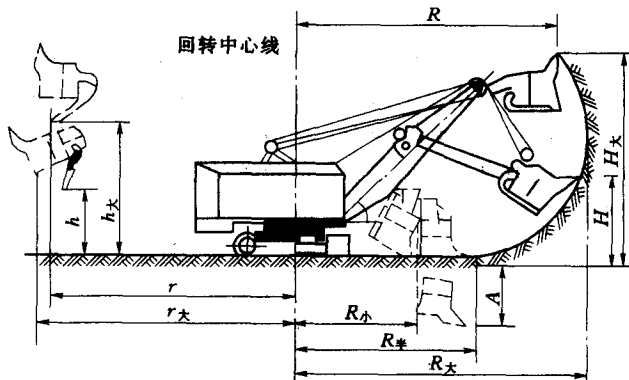


图 1-4 正铲挖掘机工作尺寸

A—停机面以下挖掘深度； R_* —停机面以上最大挖掘半径； $R_{小}$ —停机面以上最小挖掘半径； $R_{大}$ —最大挖掘半径； H —最大挖掘半径时的挖掘高度； R —最大挖掘高度时的挖掘半径； $H_{大}$ —最大挖掘高度； $r_{大}$ —最大卸土半径； h —最大卸土半径时的卸土高度； r —最大卸土高度时的卸土半径； $h_{小}$ —最大装土高度

2. 反铲挖掘机

反铲挖掘机用来开挖停机面以下的基坑（槽）或沟渠及含水量大的软土等，挖土时由远而近，就地卸土或装车，适用于中小型沟渠、清基、清淤等工作。由于稳定性及铲土能力均比正铲差，故只用于挖 I~III 级土，硬土要先进行预松。

反铲挖掘机开挖方法一般有以下几种。

(1) 端向开挖法。反铲停于沟端，后退挖土，同时往沟一侧弃土或装车运走。如图 1-5 (a) 所示。

(2) 侧向开挖法。反铲停于沟侧沿沟边开挖，铲臂回转角度小，能将土弃于距沟边较远的地方，但挖土宽度比挖掘半径小，边坡不好控制，同时机身靠沟边停放，稳定性较差。如图 1-

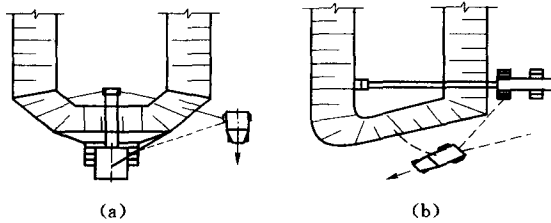


图 1-5 反铲端向及侧向开挖法

(a) 端向开挖法; (b) 侧向开挖法

5 (b) 所示。

(3) 多层接力开挖法。用两台或多台挖掘机设在不同作业高度上同时挖土, 边挖土边将土传递到上层, 再由地表挖掘机或装载机装车外运。

3. 拉铲挖掘机

拉铲挖掘机的铲斗用钢索控制, 利用臂杆回转将铲斗抛至较远距离, 回拉牵拉索, 靠铲斗自重下切装满铲斗, 然后回转装车或卸土。由于其挖掘半径、

卸土半径、卸土高度较大, 适用于 I ~ III 级土开挖, 尤其适合于深基坑水下土砂及含水量大的土方开挖, 在大型渠道、基坑及水下砂卵石开挖中应用广泛。开挖方式有沟端开挖和沟侧开挖两种, 当开挖宽度和卸土半径较小时, 用沟端开挖; 当开挖宽度大, 卸土距离远时, 用沟侧开挖。

4. 抓铲挖掘机

抓铲挖掘机靠铲斗自由下落中斗瓣分开切入土中, 抓取土料合瓣后提升, 回转卸土。适用于开挖土质比较松软 (I ~ II 级土)、施工面狭窄而深的基坑、深槽以及河床清淤等工程, 最适宜于水下挖土, 或用于装卸碎石、矿渣等松软材料, 在桥墩等柱坑开挖中应用较多。抓铲能在回转半径范围内开挖基坑中任何位置的土方。

(二) 单斗挖掘机生产率的计算

1. 技术生产率

$$P_j = \frac{60(qnk_{ch}k_yk_z)}{k_s} \quad (1-2)$$

式中 P_j ——挖掘机技术生产率, 自然方, m^3/h ;

q ——铲斗几何容量, m^3 ;

n ——挖掘机每分钟挖土次数, 可根据表 1-4 进行换算;

k_s ——土壤可松性系数, 见表 1-2;

k_{ch} ——铲斗充盈系数, 见表 1-5;

k_y ——挖掘机在掌子面内移动影响系数, 根据掌子面宽度和爆堆高低而定, 可取 0.90~0.98;

k_z ——掌子面高低与旋转角大小的校正系数, 见表 1-6。

表 1-4

一次挖掘循环延续时间 t_c

单位: s

| 铲斗类型 | 挖掘机斗容 (m^3) | | | | | | |
|------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.8 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 6.0 | 9.5 |
| 正 铲 | 16~28 | 16~28 | 18~28 | 18~28 | 20~30 | 24~34 | 28~36 |
| 反 铲 | 24~33 | 28~37 | 30~39 | 36~46 | 42~50 | 43~52 | 46~56 |

注 旋转角为 90° ; 开挖面高度为最佳值; 易挖时取最大值, 难挖时取最小值。

第二节 土方开挖

表 1-5 挖掘机铲斗充盈系数 k_{ch}

| 岩土名称 | k_{ch} | 岩土名称 | k_{ch} |
|---------|----------|-----------|----------|
| 湿砂、壤土 | 1.0~1.1 | 中等密实含砾石粘土 | 0.6~0.8 |
| 小砾石、砂壤土 | 0.8~1.0 | 密实含砾石粘土 | 0.6~0.7 |
| 中等粘土 | 0.75~1.0 | 爆得好的岩石 | 0.6~0.75 |
| 密实粘土 | 0.6~0.8 | 爆得不好的岩石 | 0.5~0.7 |

表 1-6 正铲挖掘机掌子面尺度校正系数 k_t

| 最佳掌子面高度的百分比 (%) | 旋 转 角 | | | | | | | |
|-----------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 45° | 60° | 75° | 90° | 120° | 150° | 180° |
| 40 | | 0.93 | 0.89 | 0.85 | 0.80 | 0.72 | 0.65 | 0.59 |
| 60 | | 1.10 | 1.03 | 0.96 | 0.91 | 0.81 | 0.73 | 0.66 |
| 80 | | 1.22 | 1.12 | 1.04 | 0.98 | 0.86 | 0.77 | 0.69 |
| 100 | | 1.26 | 1.16 | 1.07 | 1.00 | 0.88 | 0.79 | 0.71 |
| 120 | | 1.20 | 1.11 | 1.03 | 0.97 | 0.86 | 0.77 | 0.70 |
| 140 | | 1.12 | 1.04 | 0.97 | 0.91 | 0.81 | 0.73 | 0.66 |
| 160 | | 1.03 | 0.96 | 0.90 | 0.85 | 0.75 | 0.67 | 0.62 |

- 注 1. 反铲可参照正铲参数选取；
 2. 最佳掌子面高度，查挖掘技术参数或使用说明书。

2. 实用生产率

$$P_s = P_j k_t$$

式中 P_s ——挖掘机实用生产率，自然方， m^3/h ；
 P_j ——挖掘机技术生产率，自然方， m^3/h ；
 k_t ——时间利用系数，见表 1-7。

表 1-7 施工机械时间利用系数 k_t

| 作业条件 | 施工管理条件 | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|
| | 最好 | 良好 | 一般 | 较差 | 很差 |
| 最好 | 0.84 | 0.81 | 0.76 | 0.70 | 0.63 |
| 良好 | 0.78 | 0.75 | 0.71 | 0.65 | 0.60 |
| 一般 | 0.72 | 0.69 | 0.65 | 0.60 | 0.54 |
| 较差 | 0.63 | 0.61 | 0.57 | 0.52 | 0.45 |
| 很差 | 0.52 | 0.50 | 0.47 | 0.42 | 0.32 |

3. 提高挖掘机生产率的措施

挖掘机是土方机械施工的主导机械，为提高生产率，应采取以下措施：加长斗齿，减小切土阻力；合并回转、升起、降落的操作过程，采用卸土转角小的装车或卸土方式，以