



高 等 学 校 教 材

大型工程施工机械化

武汉水利电力大学 余恒睦 主编

江苏工业学院图书馆  
藏书章

水利电力出版社

高 等 学 校 教 材



# 大型工程施工机械化

武汉水利电力大学 余恒睦 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书分土木水利工程的工程施工和大型工程的机械化施工两部分，其内容包括：土方工程、石方工程和混凝土工程等工种机械化施工方法和施工机械设备，以及水电站、地下工程、火电站和输变电等大型工程的组成、土建施工和机电安装的方法、机械设备和施工管理的基本知识。书中广泛搜集了现代施工工艺和方法，以及新型施工机械设备。

本书为高等学校机械类工程机械专业的教材，也适于水利电力类专业用作教材，还可作为工程规划、设计和施工技术人员参考书。

高等学校教材

大型工程施工机械化

武汉水利电力大学 余恒睦 主编

\*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地质矿产局印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 10.25印张 228千字  
1994年6月第一版 1994年6月北京第一次印刷

印数 0001—2060 册

ISBN 7-120-01720-9/TV·711

定价 4.80 元

# 目 录

## 前 言

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第一章 绪论            | 1  |
| 第一节 大型工程施工企业的分支   | 1  |
| 第二节 大型工程的兴建过程     | 3  |
| 第三节 大型工程施工的特点     | 4  |
| 第四节 机械化施工方案的经济计算  | 5  |
| 第五节 我国水利电力建设事业的发展 | 6  |
| 第六节 课程的目的和内容      | 7  |
| 第二章 土方工程施工        | 8  |
| 第一节 概述            | 8  |
| 第二节 土方挖掘机械        | 8  |
| 第三节 土方装载机械        | 22 |
| 第四节 土方运输机械        | 25 |
| 第五节 土方压实机械        | 28 |
| 第六节 土方机械的选择       | 30 |
| 第七节 土方机械生产率计算     | 33 |
| 第三章 石方工程施工        | 35 |
| 第一节 概述            | 35 |
| 第二节 石方的凿裂施工       | 36 |
| 第三节 石方的钻爆施工       | 40 |
| 第四节 石方的装载和运输      | 48 |
| 第四章 混凝土施工         | 50 |
| 第一节 概述            | 50 |
| 第二节 混凝土施工过程       | 53 |
| 第三节 混凝土制备装置       | 56 |
| 第四节 混凝土运输浇筑设备     | 64 |
| 第五节 混凝土振捣设备       | 69 |
| 第六节 混凝土的其他施工方法    | 70 |
| 第五章 水电站施工         | 71 |
| 第一节 概述            | 71 |
| 第二节 砂石骨料的生产       | 77 |
| 第三节 混凝土施工的运输浇筑    | 83 |
| 第四节 混凝土施工的平仓振捣    | 91 |
| 第五节 碾压混凝土施工       | 94 |
| 第六章 地下工程施工        | 98 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 第一节  | 概述 .....              | 98  |
| 第二节  | 隧洞钻爆开挖 .....          | 101 |
| 第三节  | 隧洞掘进机开挖 .....         | 109 |
| 第四节  | 喷锚支护 .....            | 110 |
| 第五节  | 混凝土衬砌施工 .....         | 113 |
| 第六节  | 竖井开挖与衬砌 .....         | 118 |
| 第七节  | 地下厂房开挖 .....          | 120 |
| 第七章  | 火电站施工 .....           | 122 |
| 第一节  | 概述 .....              | 122 |
| 第二节  | 火力发电厂的土建工程施工 .....    | 124 |
| 第三节  | 烟囱及冷却塔的 施工 .....      | 129 |
| 第四节  | 大型锅炉安装 施工 .....       | 130 |
| 第五节  | 汽轮发电机组安装 施工 .....     | 133 |
| 第六节  | 核电站及其 施工 .....        | 136 |
| 第七节  | 液压提升装置在电力建设中的应用 ..... | 139 |
| 第八章  | 输电线路施工 .....          | 144 |
| 第一节  | 概述 .....              | 144 |
| 第二节  | 杆塔基础 施工 .....         | 144 |
| 第三节  | 杆塔组装 施工 .....         | 147 |
| 第四节  | 架线工程 施工 .....         | 152 |
| 第五节  | 直升飞机在输电线路施工中的应用 ..... | 155 |
| 参考书目 | .....                 | 157 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 大型工程施工企业的分支

随着我国社会主义经济建设的迅速发展，国民经济各部门基本建设的规模不断扩大，大型基建工程项目也日益增多。按照工程的性质，基建工程可分为土木、矿山、冶金、能源、化工和国防等几大类。其中以土木工程的范围最广，而且与其他门类工程的关系也最为密切。

土木工程主要包括工业、民用、运输、水的利用与控制等工程的固定结构物和地下设施的规划、设计、施工和维护管理。这些土木建筑结构物和设施一般是由建筑施工企业或承包商承包施工的。现代的建筑施工企业或承包商由于资金多，技术力量雄厚，专业化程度高，在国内外均已发展成为一个规模庞大的工业生产部门。它所承建的工程，不仅有大型土木工程，还包括能源和国防等工程的土建安装项目，从而使企业的专业化更趋复杂多样。

所谓大型工程主要指工程量巨大，结构复杂，投资多，工期长的基建工程。根据当前工业、交通和能源发展的趋势和规模，以及施工企业专业化的方向，大型工程有以下一些分支。

### 一、大型土石方工程

如建筑物基坑和路堑开挖工程、移山填海工程、平广场工程等。主要作业包括土石方开挖、运输和填筑的施工。

### 二、水利水电工程

水利水电工程包括防洪、灌溉、排水、水力发电、航运等目的而兴建的闸坝、堤防、渠道、隧洞、船闸、水电站等水工结构物。主要作业有土石方工程、混凝土工程、钢结构工程以及设备安装等的施工。这类工程因工程量特大，技术复杂，是一种典型的大型工程。

### 三、地下工程

属于这类工程的如交通隧道、输水隧洞、水电站地下厂房、地下铁道、地下贮存库和地下军事工程等。主要作业包括洞室钻爆开挖和机械开挖、出渣和衬砌等。

### 四、桥梁工程

道路桥梁结构型式有多种，但主要由水下部分的桥基桥墩和水上部分的桥梁结构两部分组成。前者包括桩工和混凝土工程，后者包括钢结构或预应力钢筋混凝土构件的吊装施工。

### 五、公路工程和铁道工程

运输工程可分为公路、铁道、水运、空运和管道运输等工程。现代的公路工程主要指

高速公路和城乡公路工程，包括路基(土石方)、路面（沥青或混凝土路面）、桥梁（包括立交桥）、隧道工程以及大量的辅助设施和设备。铁道工程除路基、铺轨、桥梁、隧道等工程外，尚有车站、电气化线路设施、列车编组站以及货物装卸设施等。路基的土石方工程和桥梁、隧道工程是公路和铁道工程的主要组成部分。

#### 六、水运工程

水运工程包括运河、港口码头、防浪堤以及码头仓库和装卸设备安装等工程。此外，尚有港湾和河道的疏浚工程。

#### 七、机场工程

人员和货物的空运，今日已发展成为一种重要的运输形式。机场工程包括平广场、跑道基础和混凝土路面铺设等工程，以及候机大厅、停机坪和辅助设施的施工。

#### 八、管道工程

石油和天然气的远距离输送已广泛采用管道运输方法，输送距离可长达数千公里。此外还有用以输送粉煤的，其输送距离达到160公里。管道工程包括管线沟槽的开挖，管道敷设，沟槽回填，管桥和泵站的兴建等。除上述长距离越野管线工程外，尚有城市的给水、污水、雨水、煤气的管道工程，以及电力和电讯的地下电缆的敷设工程。

#### 九、建筑工程

建筑工程主要指公用、工业及民用建筑物（主要是房屋）和有关设施。包括高层和高耸建筑物、办公楼、住宅、公寓、商业中心和体育场馆等。这是一个规模最大，从事建筑施工的企业也最多的工业部门。

#### 十、给水和污水工程

城市居民的生活用水和生产用水是由给水系统供应的。给水工程包括水源和引水工程、水处理和配水管网工程。城市污水工程包括生活和生产污水（工业废水）的汇集、污水处理、污水泵站等工程，以及雨水汇集和排放工程。

#### 十一、电厂（站）工程

发电厂的种类很多，除上述水力发电厂外，火力发电厂最为普遍。但半个世纪以来，核电厂发展很快，全世界的核电厂已达到440余座。电力工程的兴建实际上是热机、电力和土建等工程的综合。从施工角度看，主要是土建施工和设备安装调试两大部分。火电厂的土建施工项目包括锅炉房、汽机房、变电站、煤仓间、输煤与除灰设备、水冷却系统等。在核电厂中，核反应堆厂房代替了锅炉房，此外，尚有核处理厂房、汽机房和变电站等。核电厂所需大量的冷却水多取自江河和近海。为了保护生态环境和防止温度污染，有些核电厂甚至兴建长海底隧洞将海水引入，并向深海排放，其土建工程规模十分庞大。

#### 十二、输电工程

输电工程亦称送变电工程。随着送电距离的增大，线路电压也提高，而且在采用交流高压输电的同时，也向直流高压输电发展，如我国新建的由葛洲坝水电站至上海的500kV直流输电工程。输电工程主要由升、降电压的变电站工程和线路工程组成。大量的导线杆塔基础施工和架设、放线，以及跨越江河海湾的高塔建筑和线路施工道路的修建，说明输电工程是由电力与土建相结合的一种大型工程。



大型工程施工分支虽如此众多，但本教材仅对土石方工程、混凝土工程、水电站、地下工程、火电站（包括核电站）以及输电工程的施工进行系统介绍。

## 第二节 大型工程的兴建过程

大型工程一般属国家重点建设工程，从勘测、设计、施工到建成投产，其兴建过程可划分为三个阶段，即勘测设计准备阶段、施工阶段和验收移交阶段。现以大型水利水电工程为例简述如下：

准备阶段的工作包括：选择建筑物地址；组织勘测设计；开展有关问题的研究；如果采用自营施工方式（兴建单位自己备料、施工、管理与监督），应成立施工机构；进行施工前的准备工作（如修建场内外交通道路、临时房屋，设立施工企业）等。

勘测工作是为设计和施工提供资料，设计又是施工的依据。水利水电工程设计工作是在批准的设计任务文件（书）的指示下进行的。这项设计任务文件则由水利电力主管部门根据国民经济发展计划而编制的，并获得上级批准。根据工程投资、规模、技术复杂程度和重要性，设计工作应分三阶段设计或两阶段设计。采用三阶段设计的设计文件是：①初步设计及总概算；②技术设计及修正总概算；③施工图及预算。采用两阶段设计的文件是：①扩大初步设计及总概算；②施工图及预算。设计完成后尚应编写设计文件，上报审核。其内容主要是：综合说明；基本资料（水文、气象、地形、地质、水文地质、社会经济资源和施工技术力量等）；建筑物规划设计；施工组织设计；总概算（修正总概算）；图表及附件等。除上述内容外，如有必要还需编写可行性研究报告、阶段性中间报告或专题报告，供领导机关审核。

所谓分阶段设计是对整个水利枢纽工程而言，主要是指枢纽工程的主要建筑物是按三阶段还是两阶段设计，其余次要建筑物则视具体情况分别对待。分阶段进行设计可使设计工作能由轮廓到具体，由粗到精逐步深入。这样既能提高设计质量，保证方案合理，又能减少繁重的设计工作量，加快设计进度。

需要指出的是，上述设计文件中的施工组织设计，既是设计文件的重要组成部分，又是研究工程施工条件、选择机械化施工方案、组织和管理工程施工的指导性文件，因此，必须认真对待。如果是自营施工，则所有设计成果，包括施工组织设计就成为施工机构的工作依据。设计和施工单位应密切合作共同完成兴建的工程。

如果工程采用承包施工方式，即甲方委托承包者乙方施工，甲方进行监督并支付费用，则兴建单位作为甲方应完成勘测设计工作和编制招标文件，并开展招标活动，用签订承包合同的方式确立甲、乙双方之间一切权利和责任关系，并具有法律效力。

从工程招标到签订承包发包合同，其过程大致如下：

- 1) 编制招标文件、发出招标公告或招标通知。招标文件一般包括工程综合说明、工程量、工期、技术质量要求、费用支付方式、物资供应方式以及合同主要条款。
- 2) 对申请投标者进行资格审查。
- 3) 招标单位组织投标者勘察工程现场，对工程内容、工程场所的状况、施工条件以

及有关图纸、说明书、合同书等内容的补充事项作出说明，并解答招标文件中的疑问。

4) 投标者根据招标文件和图纸、以及现场施工条件，研究技术上的可行性和施工难度，在规定工期和工程预算内能否完成任务，然后编制出施工计划说明书和确定投标的价格，并作成标书，在规定投标日期前密封递送招标单位。

5) 在预定的日期和地点，在投标者参加的情况下公开开标启封标书，宣布各投标者的报价及其主要内容。如果投标者的报价是在发包者的工程预定价格的范围内，且为最低或较低价格，就有可能中标。确定中标企业的主要依据是报价合理，所提施工方法能保证工程质量和工期，经营效益好，社会信誉高。

6) 招标单位与中标企业签订承包合同。根据我国经济合同法的规定，承包合同的内容应具备的条款是：标的（即发、承包的）工程项目；工程数量和质量要求，以及质量缺陷的责任；价款及酬金，合同总价、支付和收款的时期与方法；履行的期限、地点与方式；违约责任，对推迟履行合同等违约行为处以罚款与赔偿损失。

工程合同缔结之后，便可着手施工，同时要组建施工管理机构，仔细考虑如何作好施工管理，确保质量，按期完工，并尽量提高工效，使工程成本降低。同时，发包单位也在施工过程中建立监督业务。承包者和监督者经常沟通意见，密切协作，使工程顺利进行。

工程完工时，进行验收，检查是否符合合同书的内容以及工程是否合格。如符合规定的工程内容、质量、工期等，便可认为正式竣工，移交工程建筑物，结算工程费用，工程即告完成。

### 第三节 大型工程施工的特点

土木建筑施工的任务是在指定的地点上，按照工程设计图如期建成满足尺寸和质量要求的结构物。与一般性工业生产相比，要复杂得多，并具有以下一些共同特点。

1) 大型工程兴建的目的虽各不相同，但其共同的特点是：工程规模大，对工程质量、工期和造价三方面的要求高，控制很严。如果达不到要求，就可能降低施工的和工程的经济效益，甚至招致生命财产损失。任何大型工程的兴建都必须重视施工管理。施工管理是以质量管理、进度管理和成本管理为三大支柱，辅以安全管理和环境保护等内容组成的。它是满足质量要求、如期完工、造价合理和施工安全的重要保证。

2) 大型土木工程施工受自然条件的影响很大。例如在深山峡谷的河段上修建水电站，除受地形条件影响外，还受水文、气象和水文地质等条件的限制，还必须根据河道流量随季节变化的规律，确定适当的施工导流方案。

3) 大型工程施工是在面积有限的施工场地上集中大量建筑材料、施工机械设备与劳力，进行多工种和多专业的施工，土建施工与机电安装经常发生矛盾，形成十分复杂的局面。对于这种问题，不是一般施工经验能妥善解决的，最好运用系统分析方法，并借助电子计算机，寻求最优的施工方案。

4) 实现机械化施工是大型工程施工的主要生产方式。采用机械化施工的优点是：能免除繁重的体力劳动；提高生产人员的劳动生产率；加快施工速度使工程早日投产受益，

还能完成人力施工困难的工程，扩大了一些大型工程的施工可能性和工程规模。

5) 在治理整顿、深化改革方针指引下，我国的大型建设工程已开始采用投标承包方式施工。对一些利用外资的工程，还采用国际招标方式，开展施工投标竞争。承包施工的工程，承包企业要按合同施工，许多地方要受合同条件约束，企业独自发挥的余地虽是有限的，但在一些不受约束的环节上，可加上工程经营的要素——提高效率和重视经济效益，制订出卓越的施工计划，以期用最少的费用，达到最大生产效率的目的。

#### 第四节 机械化施工方案的经济计算

为了完成一项工程任务，往往同时有多种技术方案可供采用。衡量这些可行的技术方案的标准，又常归结为能否取得良好的经济效益。在技术经济分析中，常用的一种方法是方案比较法。先将参与分析的各种因素定量化，用货币单位表示，再进行数学综合运算、分析、对比，从中选出最优方案。

机械化施工方案经济计算的目的，是要寻求使单位实物工程量的成本费用为最低的方案。例如土方工程就是求出土方单价（以元/m<sup>3</sup>计）为最低的方案。施工方案的经济计算或经济比较，可在使用不同类型机械的施工方案之间进行，也可在使用同类机械、但机械规格不同的施工方案之间进行，因它们之间仍有一个经济优劣性问题。

通用的计算单位实物工程量成本费的公式为：

$$C = \frac{E_1 + D_1 \Sigma T_1 + D_2 \Sigma T_2 + E_2 + E_3}{P} \tag{1-1}$$

式中 C ——单位实物工程量成本费；

E<sub>1</sub> ——准备工作费用，如修路、动力线架设等费用；

ΣT<sub>1</sub> ——施工方案中参加运转的机械设备台班费总和；

D<sub>1</sub> ——完成施工任务计划需要的台班数；

ΣT<sub>2</sub> ——机械设备停置台班费用总和；

D<sub>2</sub> ——预期的停置台班数；

E<sub>2</sub> ——施工期间各项维护费；

E<sub>3</sub> ——完工后的拆迁清理费；

P ——实物工程量，或由机械的台班生产率计算所得的工程量。

对于不同类型机械的各种方案，求出不同的C值，取其最小者即为经济最佳方案。如在同类机械之间（例如在不同载重量的自卸汽车之间，或同一型号的自卸汽车，但采用不同的辆数之间）进行经济比较时，由于施工准备工作、维护费和清理费用均相同，因此，在求C值公式中可不计入这些费用，只需将机械设备台班总费用除以实物工程量，即可求出不同方案的相对成本费用，并用以进行比较。

施工机械设备台班费用是由三类费用组成，即

机械设备的台班费 = 第一类费用 + 第二类费用 + 间接费用

第一类费用是不分地区和条件，均不作调整的，故又称不变费用，包括以下几种：

(1) 基本折旧费 它是按规定的机械使用期(年)逐年回收机械原始价值的费用;

(2) 大修理费用 机械使用到一定台班数后,为使机械恢复原来的功能进行大修理所需费用;

(3) 经常修理维护费 包括中修及各级定期保养、小修的费用,替换设备及工具费,润滑材料费;

(4) 安装、拆卸及辅助设施费 机械进出工地必需的安装、拆卸、试运转、场内转移和辅助设施摊销的费用;

(5) 保管费 保管机械的保养和维护费用。

第二类费用,其价格随地区而变,是可变费用,包括以下几种:

(1) 人工费 指机上操作人员的工资;

(2) 动力燃料及消耗性材料费用 包括风、水、电、油等。

间接费是为管理机械设备应分摊的费用,一般按国家规定的比例加在台班费内。

## 第五节 我国水利电力建设事业的发展

建国40余年来,我国在水利电力建设方面已取得举世瞩目的巨大成绩。据1989年统计,在水利方面,全国整修和新建江河堤防20余万km,建成大小水库和水利枢纽8万余座,总蓄水库容达4000多亿 $m^3$ ,兼负水电、防洪、灌溉等兴利任务,保护着全国一半以上的人口和2/3以上的工农业总产值。在电力方面,全国电力工业的总装机容量已达到1.245亿kW,年发电量达到6700亿kW·h,均居世界前列。电力建设主要包括水电、火电和核电。除核电建设刚起步外,全国已建造了500kW以上水电站约4100座;共装机3270万kW,年发电量1092万kW·h,分别占总装机容量的26%和总发电量的18.8%。全国火电站约1600座,其中装机容量为25万到50万kW的中型火电站有上百座,100万kW的大型火电站已有13座。建成高压输电线路总长达37万km,建成100万kW以上电网11个,其中东北、华北、华东、华中和西北5大电网容量均超过2000万kW,包括330kV及500kV超高压线路。在机组制造方面,我国已自制了60万kW的火电机组和32万kW的水电机组。

综上所述,我国电力工业的发展速度是十分迅速的。据报导,1991年我国的年装机容量已达到1000万kW,今后在优先发展能源(电力)的方针下,电力工业将得到长足进展,以满足工农业生产需要。预计到2000年,装机总容量将达到2.4亿kW,发电量增到1.2亿kW·h,并且形成火电装机容量占60%、水电占35%、核电占4%、其他(如抽水蓄能电站)占1%的格局。

40年来,我国还组建了一支水利电力建设队伍,并拥有相当数量的技术装备。它是我国电力建设的骨干企业,也是大型工程机械化施工的重要技术力量。这些施工企业的简况列于表1-1。

近半个世纪以来,核电的发展非常迅速。据国际原子能机构统计,全世界现有近30个国家和地区拥有450余座核反应堆,另有80余座正在建设中。核电可满足世界电力的20%左右,核电开发是各国21世纪能源战略的发展重点。预计到本世纪末,我国的核电容量将达

表 1-1 我国电力建设施工企业情况表\*

| 电力建<br>设企业<br>分 支 | 施工企业数量                               | 总人数<br><br>(万人) | 技术人员数<br><br>(万人) | 技术装备<br>总 原 值<br>(亿元) | 总功率<br><br>(万kW) | 技术装备率<br><br>(元/人) | 动力装备率<br><br>(kW/人) |
|-------------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 水 电               | 部直属15个工程<br>局, 不包括工程兵<br>和地方力量       | 23.00           | 3.20              | 24.68                 | 212.7            | 7828               | 9.3                 |
| 火 电               | 建筑安装企业28<br>个, 建筑9个, 安<br>装18个, 共55个 | 17.28           | 0.75              | 9.89                  | 87.30            | 4170               | 5.1                 |
| 输 电               | 共28个                                 | 7.40            | 0.20              | 2.18                  | 30.50            | 2261               | 4.2                 |

\* 水电企业是1989年统计的, 火电和输电企业是1986年统计的。但未计入秦山(30万kW)和大亚湾(180万kW)两座核电站。

到600万kW。

第六节 课程的目的和内容

考虑到机械类起重运输与工程机械专业的培养目标, 是为工程机械设计制造行业和大  
型工程施工企业输送从事机械设计和管理的工程技术人员, 因此, 该专业学生除掌握机械  
专业基础知识外, 还需熟悉有关土木施工工艺和机械化施工业务活动。为此本课程的目的  
主要介绍大型工程施工的分支、工程的组成和结构物、施工工艺、机械化施工方法、施工  
机械的类型和选用管理等, 以扩大其知识面。本课程教材内容分土木水利工程的工种施工  
和大型工程的机械化施工两部分, 包括土方工程、石方工程和混凝土工程的工种施工, 以  
及水电站、地下工程、火电站和输变电等大型工程的组成、土建施工和机电安装的方法和  
机械设备的管理。

众所周知, 现今土木、水利、电力工程的规模日趋庞大复杂、施工机械化水平不断提  
高, 这就大大刺激了工程机械行业的发展。许多大型的、多功能的、高效的新型施工机械  
相继问世, 从而进一步提高了施工效益和施工速度。例如土石坝的施工今昔相比, 由于现  
在采用了大型土方机械, 即使土石坝方量增大、工资上涨, 但还能做到工程费用不增加,  
工期不拖长。又如大型振动碾的出现, 改善了堆石坝的压实质量, 从而也提高了堆石面板  
坝的地位, 同时也促进了碾压混凝土筑坝技术的发展。在电站的机电安装施工中, 现在广  
泛使用液压提升装置起吊笨重部件, 因此, 加快了施工进度。由此可见, 只有当施工机械  
产品符合机械化施工要求时, 才是优质高效率的机械设备。因此, 对施工中提出的要求和  
对新工艺的探索, 都应成为施工机械研制中加以考虑的重要因素。只有熟悉施工工艺和机  
械的使用条件, 才能提高机械的设计质量和对施工的适应性。这就是为什么要提倡机械研  
制人员开展熟悉施工活动的理由, 也是开设本课程的意义所在。

## 第二章 土方工程施工

### 第一节 概 述

土方工程施工可说是最古老的土木工程工种施工之一。随着人类社会经济的发展和科学技术的进步,今日的土方工程无论是工程规模上和施工方法上,都远非过去可比。例如现在的露天矿开采,其剥离土方量超过 $1\text{亿m}^3$ 的很普遍。水利水电建设中,土石坝的兴建和大运河的开挖,其土石方量由几千万 $\text{m}^3$ 至上亿 $\text{m}^3$ 的都很多。其他如移山填海工程,大江大河的堤防工程、铁路和高速公路的路基工程等,其工程规模之大,都可称为大型土方工程。现代土方工程施工的特点,不仅是工程量巨大,而且施工机械化程度也很高。土方工程的规模和施工速度都与土方机械的发展密切相关。例如现今有的土石坝工程,虽其工程量远大于过去的土石坝,燃料价格和工资也比过去高,但由于使用了新型高效机械和良好的管理方法,仍能使土方施工单价和工程总费用不涨,施工期限也不延长。因此,实现土方工程施工机械化,是完成大型土方工程施工的必由之路。

土方施工的对象是地表上的风化残积土和沉积土,以及风化的软岩层。这类岩土不需翻松,或经过翻松就可直接开挖装载的。它与须用爆破方法才能开采的坚硬岩层是有区别的。前者称为土方或土石方,后者称为石方。有关石方工程施工将在下一章讨论。

土方工程机械化施工的主要工序是开挖、装载或弃土、运输、卸散和铺填。如遇到硬土和软岩,使用机械开挖有困难或不经济时,在开挖之前可增加一道翻松工序。如土建筑物需要层层压实或夯实,则在铺填工序之后增加一道压实工序。此外,尚有一些辅助工作和准备工作要做,也应插入相应的工序。不同的工序需用不同的专用施工机械来完成。例如土方挖掘机械、装载机械、运输机械、压实机械等等不同机械各用在不同的工序上。

在一项土方工程的施工过程中,技术人员的主要任务是根据土方工程的性质、规模、技术要求、经费、以及完工期限等,详细分析施工条件,妥善安排施工工序,选择适宜的机械设备。在拟定出一些可行的施工方案后,尚需进行技术经济分析。对每一机械化施工方案均应计算出机群的生产率和机群的费用,求出单位土方的直接费用,并结合其他施工条件从中优选出最经济合理的方案。

本章主要内容包括土方挖掘、装载和运输机械的分类、性能、适用条件和作业方法,机械生产率计算和选择方法等。

### 第二节 土方挖掘机械

土方挖掘机械一般分为铲土运输机械和挖掘机械两大类。铲土运输机械以水平薄层铲土为主,能自产自运一定距离。它包括推土机和铲运机等。挖掘机械用于挖掘和装载,分

单斗挖掘机和多斗挖掘机两类。单斗挖掘机又分为正铲、反铲、拉铲和抓铲等几种。在水利水电工程施工中还常用到水下挖掘机械。

一、推土机

推土机在构造上是由拖拉机与推土装置所组成。

(一) 推土机的分类 (图2-1)

(1) 按照行走底盘分类 可分履带式推土机和轮胎式推土机。

(2) 按照传动方式分类 可分机械传动的和液力机械传动的。

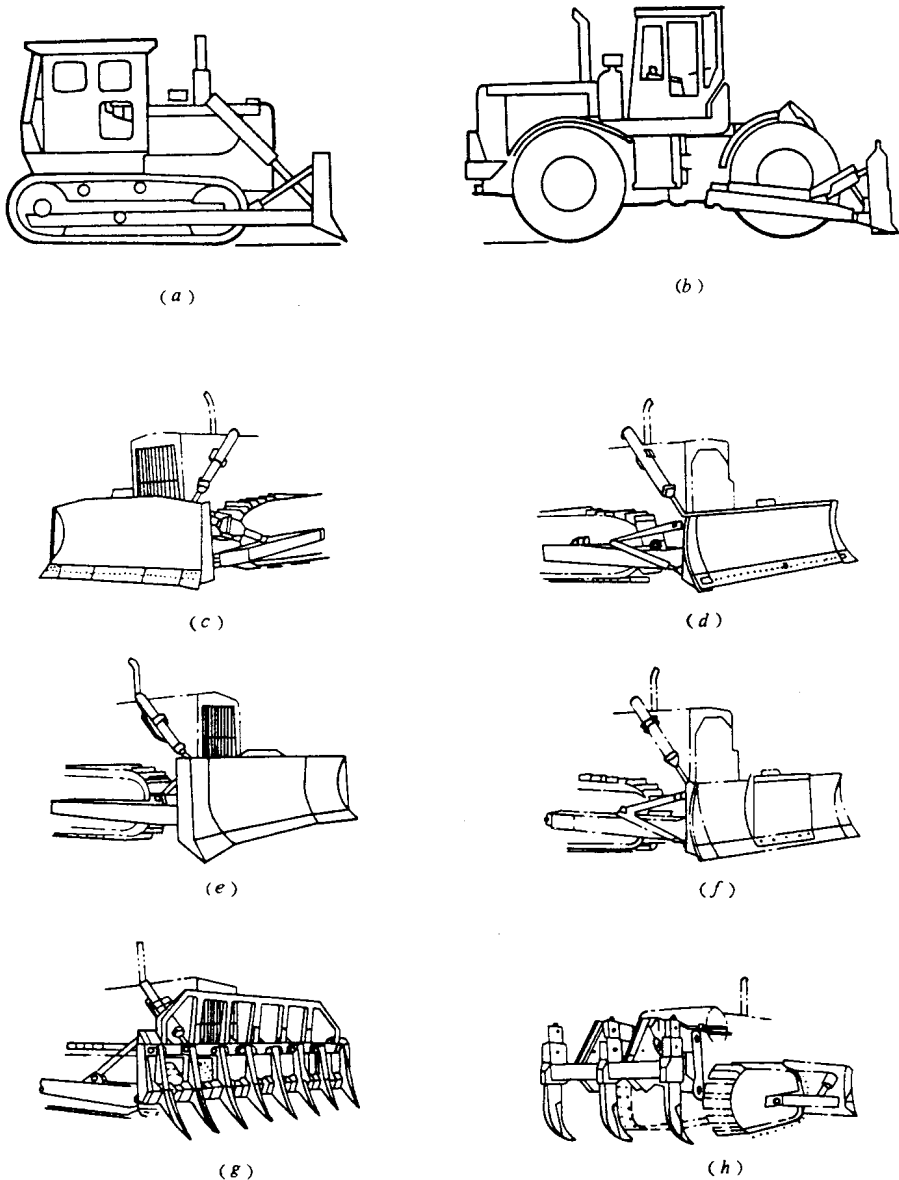


图 2-1 推土机的类型

(a) 履带式推土机；(b) 轮胎式推土机；(c) 直铲；(d) 角铲；(e) U形铲；(f) 缓冲铲；  
(g) 耙式铲；(h) 机后装的松土器

(3) 按照工作装置分类 可分直铲、角铲、U形铲和缓冲铲等。

履带行走底盘的附着性能和通过性能都比轮胎底盘好，故能充分发挥牵引效率且可在泥泞地面上工作。但其缺点是行驶速度慢，机动性差，不允许在良好路面上行驶，转移工地时需用拖车载送。轮胎式推土机则速度快，机动性高，调度方便，但轮胎与地面之间的附着性能差，易打滑，且磨损快。因此，对开挖硬土和推送岩块这样一类困难的作业，以及地面潮湿松软条件下，宜用履带式推土机，而轮胎式推土机则宜作些轻松和分散的辅助作业。

在新型的大、中型推土机上较多的采用液力机械传动以提高工作性能。它与机械传动的相比，其突出优点是换档时速度不减，能持续增力而发动机不致熄火，能随负荷的改变自动无级调速，操作时换档次数少且省力，因而便于驾驶和提高生产率。但液力机械传动的效率要比机械传动的低，经济性差些，而机械传动的价格较便宜，且使用可靠，故选用的仍不少。表2-1和图2-2分别示出两台同重量同功率但不同传动方式的履带式推土机的工作特性。表2-1中的推土机具有6个档位，以便根据推土工况换上适当的档位。每一档位

表 2-1 机械传动式履带推土机的工作特性\*

| 档 次 | 前 进      |              | 倒 退      |              |
|-----|----------|--------------|----------|--------------|
|     | 速度(km/h) | 挂钩牵引力 (10kN) | 速度(km/h) | 挂钩牵引力 (10kN) |
| 1   | 2.4      | 20140        | 2.4      | 19820        |
| 2   | 3.1      | 15650        | 3.2      | 15380        |
| 3   | 4.3      | 10930        | 4.3      | 10750        |
| 4   | 5.6      | 8050         | 5.8      | 7893         |
| 5   | 7.4      | 5897         | 7.4      | 5760         |
| 6   | 10.1     | 3833         | 10.3     | 3742         |

\* 发动机飞轮功率175kW，挂钩功率140kW，工作重量21320kg。

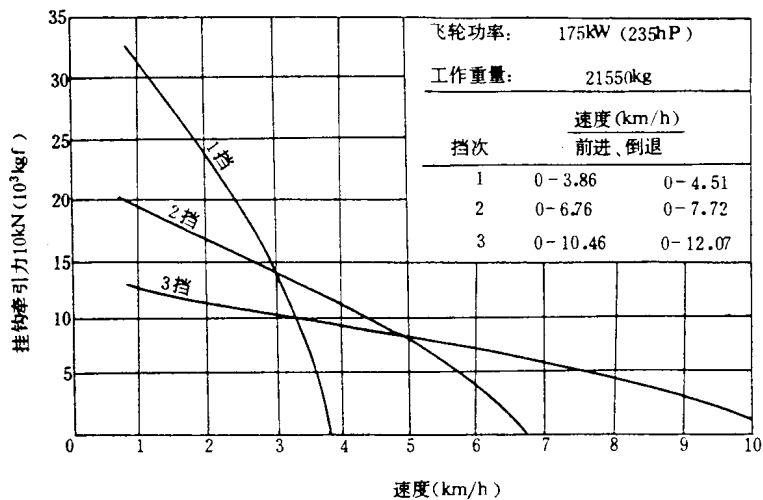


图 2-2 液力机械传动式（亦称动力换档式）履带推土机的工作特性



有其相应车速和牵引力。图 2-2 中的液力机械传动的推土机虽然只有三个档位，但每一档跨越的速度范围大，而且它在低速档时的挂钩牵引力却比机械传动低档牵引力为大，这时的速度虽然更低，但柴油机仍不致熄火。

推土机的工作装置为推土板。直铲推土板能将铲取的土屑朝前推移。角铲除将土屑前移外，尚可向任一侧推移。当推送轻质松散材料时，宜采用加宽加高的 U 形铲，以提高每次的推送量。当用推土机协助铲运机取土时，可用加固的缓冲铲从铲运机后助推。推土板尚可换成耙铲来推送块石，而将碎石泥土留下。如换上其他装置尚可进行除荆、撬石、扫雪等作业。在中、重型履带式推土机的后部多装有液压操纵的松土器，便成为一种能松能推的多用途机械。

推土机的牵引力取决于机械的自重、地面条件和发动机的功率大小。推土机一般是按功率大小标定的。国产推土机产品系列订为 74、103、148、235、309、440kW（相应为 100、140、200、320、420、600 马力）6 种。目前可批量生产的已达到 235kW（320 马力）的液力机械传动的履带式推土机。在国外生产的大型推土机如 D10 型，其功率为 522kW（700 马力）。还有一种专门设计的大型 U 形铲，其推土板宽 5.15m，高 2.0m，一次推送方量为 13m<sup>3</sup> 自然方，推土机功率为 250kW（335 马力）。

推土机的用途很广，但最能发挥其优势的作业是开挖和短距离（15～30m）推送土石方。

## （二）推土机的用途

### 1. 推土机开挖、推送和弃土的一般作业

- 1) 渠道土方开挖，并向两岸推送弃土，或修筑岸堤；
- 2) 由一侧或两侧取土填筑路基或土堤；
- 3) 开挖基坑，并向四周推送弃土；
- 4) 开挖渠身或路堑，并沿渠道中心线纵向推送和弃土；
- 5) 沿山侧开挖路基，并向一侧弃土。

### 2. 推土机开挖、推送和装载的作业

- 1) 由推土机开挖，并推送到装车平台装车，如能实现下坡推土尤为有利；
- 2) 由推土机开挖、推送，向装载机供料，并协助装载机装满铲斗，以便装车运输（图 2-3）；或向皮带机的料斗供料，由皮带机运输；
- 3) 由推土机开挖、推送，向专用的皮带装载机供料，然后装车运输；
- 4) 将爆破后的石碴推送到骨料加工厂的破碎机上。

## 二、铲运机

铲运机是由动力牵引机械与装有轮胎的铲斗所组成。在牵引机械拖曳下，铲斗能从地面薄层取土装入斗内，运送一定距离，然后卸出并按要求的厚度铺土。这种兼有开挖、运输、卸出和铺填多工序综合作业的土方机械，在大型土方施工中，特别在修筑路基、开挖基坑和平整广场施工中得到广泛的应用。

### （一）铲运机的分类（图 2-4）

按照铲运机的牵引和取土方式可分以下几种：