

水利电力系统领导  
干部岗位培训教材

# 水利水电施工现代技术

胡肇枢 主编



河海大学出版社

## 编写说明

为了适应水利电力系统大中型企业领导干部岗位职务培训工作的开展，部教育司、生产司、基建司组织了部分有专长的教授、讲师和专业科技干部，编写了一套体现水利电力行业特点的领导干部岗位培训教材，共有十四本，书名是：《电力企业管理》、《电力生产企业现代管理》、《电力生产企业现代管理案例》、《电力生产现代技术(电网部分)》、《电力生产现代技术(供电部分)》、《电力生产现代技术(火电厂部分)》、《电力生产现代技术(水电厂近代技术)》、《电力建设现代管理》、《电力施工企业管理》、《火电施工现代技术》、《送变电施工现代技术》、《水电基建管理系统分析方法》、《水电施工企业经营管理》、《水利水电施工现代技术》。

这套教材主要是供给水利电力系统大中型企业局厂长(经理)、党委书记、总工程师、总经济师、总会计师岗位培训时使用，也可供其它经济管理干部和科技干部的岗位培训和高等院校有关专业选用。

由于经验不足，编写时间又很仓促，再加上当前水利电力企业正处在改革之中，一些问题正在研究探索，而且新的技术又在不断发展，因此，书中一定会存在着不完善或者欠妥之处，望读者批评指正。

水利电力部教育司

1987年8月

## 前 言

原水利电力部根据国家经委对大、中型企业厂长（经理）、“三总师”（即总工程师、总经济师、总会计师），党委书记进行现代化管理培训的要求，委托我们编写了《水利水电现代施工技术》这本教材。

水利水电施工技术发展迅速，日新月异，一个建筑施工企业，为了开拓国内外建筑市场，在剧烈的竞争中获胜，以求得企业的生存与发展，必须提高企业的素质，其中包括对企业进行技术改造，掌握新技术，采用新工艺，大力使用新材料和新机具，並随时按建筑市场的动态，随机转产，进行企业的转轨变型，以扩大自身的业务范围。做为企业技术负责人的总工程师，应能够有力地加强企业的技术管理，推动技术进步，並在重大科学技术决策和科学技术管理方面成为厂（局）长的得力助手。

根据以上要求，本教材按水利水电施工工种的划分，并不完全拘泥于水利水电工程的施工技术，如在基础处理（包括软基处理）、土石方及土石坝工程、隧洞及隧道工程（包括软基内隧道）、混凝土及混凝土坝工程等方面，还选取国内水利水电建设中尚少采用，或其它施工部门已采用而水利水电施工企业尚少采用，但发展迅速，对今后建设有重要意义，并业已证实其技术经济效果显著的施工新技术、新工艺、新材料等内容。内容上取材力求结合水利水电施工企业实际情况，可以予以利用的有关施工技术业务领域。考虑到本书应有一定的系统性，而又能兼顾到对某些新技术有较深入的阐述，不强求面面俱到，对那些在水利水电施工部门已广泛应用，在一般施工教科书上已有详细阐述的内容，本书大都未编入。

本书适用于水利水电施工企业的厂长（经理）、总工程师的培训教材；亦可供技术干部、管理人员、教师、大学本科高年级学生、研究生自学或工作中参考。

本书是在原同名油印教材试用了两期的基础上，作了删节、改写和补充编成，参加编写的有：第一章，朱关年；第二章，刘家豪；第三章，宋太炎、许为华、周惜春；第四章，杨建基；第五章，林学仁、梁正平、胡肇枢。全书由胡肇枢主编。

全书由陆孝勤副教授作了仔细、认真的审阅，提出了不少宝贵的意见，出版社的同志也付出了辛勤劳动，在此向他们表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，教材中一定还有不少不妥和错误之处，谨请读者和各方批评指正。

编 者

1989年12月于南京

# 目 录

|                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| <b>第一章 施工机械发展动向 .....</b>       | <b>( 1 )</b>   |
| <b>第二章 基础工程施工 .....</b>         | <b>( 9 )</b>   |
| 第一节 桩工 .....                    | ( 9 )          |
| 第二节 软土地基加固 .....                | ( 31 )         |
| <b>第三章 土石方及土石坝工程施工 .....</b>    | <b>( 58 )</b>  |
| 第一节 爆破工程新技术 .....               | ( 58 )         |
| 第二节 深海取砂技术 .....                | ( 79 )         |
| 第三节 土工织物在工程中的应用 .....           | ( 83 )         |
| 第四节 加筋土及其应用 .....               | ( 92 )         |
| 第五节 碾压高土石坝施工现状及其发展 .....        | ( 95 )         |
| <b>第四章 隧洞及隧道工程施工 .....</b>      | <b>( 115 )</b> |
| 第一节 概述 .....                    | ( 115 )        |
| 第二节 喷锚支护 .....                  | ( 116 )        |
| 第三节 水下及不良岩层中的隧洞施工 .....         | ( 129 )        |
| 第四节 围岩稳定及变形监测 .....             | ( 141 )        |
| 第五节 预应力锚索 .....                 | ( 145 )        |
| 第六节 高大地下洞室施工新技术 .....           | ( 151 )        |
| 第七节 素混凝土高压灌浆衬砌和预应力钢索混凝土衬砌 ..... | ( 155 )        |
| 第八节 隧道的盾构法施工 .....              | ( 157 )        |
| <b>第五章 混凝土及混凝土坝工程施工 .....</b>   | <b>( 166 )</b> |
| 第一节 混凝土工程的新模板 .....             | ( 166 )        |
| 第二节 混凝土的外加剂 .....               | ( 187 )        |
| 第三节 水泥裹砂混凝土新工艺 .....            | ( 198 )        |
| 第四节 碾压混凝土坝筑坝技术 .....            | ( 206 )        |

## 第一章 施工机械发展动向

在水利工程和其它建筑工程的施工过程中,选用先进的工程机械,进行合理的配套和施工组织,可以节省劳动力,大大提高劳动生产率,加快建设速度,提高工程质量,减少材料消耗,降低工程成本;在人力达不到的地方,使用机械施工,有利于克服公害,扩大了施工范围。总之,组织合理的机械化施工将对加速国民经济的发展起重要的作用。

近30多年来,随着生产建设发展的需要和科学技术的进步,尤其是材料、轮胎、柴油机、液力和液压技术及电子计算机的发展和应用,使工程机械的性能、品种和数量等方面发展很快。近年来,对驾驶人员工作的舒适性和安全性,提高机械性能及机械使用的可靠性十分重视,从而大大提高了机械的作业效率和经济效益。

工程机械包括的范围很广,按照我国的习惯,主要包括挖掘机械、铲土运输机械、压实机械、工程起重机械、桩工机械、钢筋混凝土机械、凿岩机械及路面机械等。现将它们的发展概况简述如下:

### 一、挖掘机械

它是土石方施工中的主要机械。由于液压传动比机械传动有很多优点,如能无级调速且调速范围广,转动惯量小,加速减速过程较快;传动平稳,结构简化,能吸收振动和冲击;操纵省力,易实现自动化,易实现标准化、通用化、系列化等等。所以自70年代以来,首先是中小型单斗挖掘机已由液压传动代替了机械传动。近年来,大中型单斗挖掘机也在逐步采用液压传动,已生产了很多机型,如美国的P & H2200型液压挖掘机铲斗容量达 $16.8 \sim 30.6 \text{ m}^3$ ,日本的PC-1500型液压挖掘机铲斗容量为 $8.5 \text{ m}^3$ ,苏联的ЭГ-20型液压挖掘机铲斗容量达 $20 \sim 25 \text{ m}^3$ 等等。据苏联资料介绍,与同类型机械传动式挖掘机相比,劳动生产率可提高 $10\% \sim 15\%$ ,而挖掘机的单位金属消耗量可减少 $1/2$ 。

在我国,单斗挖掘机目前大多为斗容量 $4 \text{ m}^3$ 以下的中小型机。近年来也制成了大型矿用机械传动式单斗挖掘机,如WD1200型,标准臂斗容量 $10 \sim 15 \text{ m}^3$ ;WK-10型,斗容 $10 \sim 14 \text{ m}^3$ 。随着液压件生产水平的提高,目前斗容量 $2.5 \text{ m}^3$ 以下的单斗挖掘机已基本采用了液压传动。最近杭州重型机械厂与西德合作生产了H85型液压挖掘机,正铲斗容量 $4.2 \sim 7.5 \text{ m}^3$ ,反铲斗容量为 $3.5 \sim 5 \text{ m}^3$ ,宜于在大型水利工程中使用。

液压挖掘机目前仍向大、小型两头发展,大型采矿型机的制造技术日益发展并趋向成熟,已成为钢索挖掘机的激烈竞争者,小型挖掘机则将迅速取代那些在分散、狭窄、恶劣施工条件下的人工劳动。

液压挖掘机的工作装置主要有反铲、抓斗和装载斗(正铲)等,替换工作装置的种类仍在继续增加,从而使它的应用范围不断扩大,使其通用性超过了其它工程机械。

最近国外还出现了新的挖掘机履带底盘,它装有液压控制的可向两侧履带外放下的附加支撑板,以便在必要时增加挖掘稳定性和减少接地比压,而在行驶时又保持较小的通行尺寸。

沼泽地用及浅海地区使用的低比压单斗挖掘机在我国已在试制和试用中(斗容量有 $0.3$

$m^3$ 、 $0.6m^3$ 、 $0.8m^3$ 等)。

轮斗式多斗挖掘机是一种连续开挖的高效率的现代化挖掘机械。其刚性斗轮安在臂架的前端,故挖掘工作面较宽,轮斗及斗齿强度大,可挖掘硬土,所以它正取代链斗式多斗挖土机而日益增多地用于露天矿开采、土石坝土料场取土及建筑材料开采等场合。在美国涅洛维尔土石坝及圣路易斯土坝施工中都采用了轮斗挖掘机取土,宽皮带系统运土及大型自卸卡车运土上坝的方案;在我国石头河土坝施工中也曾用DW-200型轮斗挖掘机采掘土料,皮带运输机运土上坝的施工方法。

## 二、铲土运输机械

它包括推土机、装载机、铲运机、平地机及运土车等。它们能完成土壤或物料的铲运、装载、平整、堆积、剥离及修筑边坡等工作。所以在水利及建筑部门被广泛采用。

推土机是广泛使用的土方作业机械,当前提高推土机的功率,扩大其型式、尺寸系列,完善其结构和增加附属装置,以扩大作业范围、降低作业成本是其发展趋势。如带抬土器的推土机组可使其直接用于岩质土壤和冻土区作业,不同作业配用不同的并经断面优化的铲刀可以提高铲土和推土的生产率并减少能量消耗,作业设备的现代化可以改善机器在修建沟渠、堤坝及路基填土等工程时的作业质量。

履带式推土机近年来超低接地比压的发展较快,以适应湿地和沼泽地施工的需要。随着遥控技术及密封技术的逐步完善,水下推土机也已生产,以满足水下平整基床及水下铲运土壤等工作的需要。如270马力的D155W型水陆两用推土机,容许工作水深为7m。

装载机有轮式和履带式两大类。轮式发展较快,目前不论在品种和产量上均已占主导地位。以往装载机主要用于装载散粒料,它们的特点是倾向于轻快和灵活。近年来,随着低压宽基轮胎及轮胎保护链板的使用和液压系统的完善,Z型摇杆的采用等,使轮式装载机具有更大的铲装力,并向大型化发展。由于它通用性好,机动灵活,成本及消耗较低,使它与挖掘机、推土机、铲运机有着一定的竞争能力。目前国外正趋向于用装载机取代挖掘机,用装载机配合大吨位自卸汽车进行铲装作业,成本可比挖掘机进行铲装作业降低 $1/3 \sim 2/5$ 。并认为自卸卡车的载重量与装载机的铲装量的最佳比为3至5。

据我国用 $5m^3$ 装载机与 $4m^3$ 挖掘机进行比较后,也认为在中小型矿山,用 $5m^3$ 装载机装载一吨矿石的费用可较 $4m^3$ 挖掘机装载费用减少39.5%。

如运距不大时,用装载机运土(或岩石)比挖掘机配合自卸汽车更合适,根据意大利Fiat-Allis公司的资料,当运距为180~200m、250~275m和300m时,分别用斗容量 $4.5m^3$ 、 $7.6m^3$ 和 $9m^3$ 的轮胎式装载机代替挖掘机和自卸卡车比较合理。

近年来,国外装载机的发展方向着重于产品质量的提高和结构的改进,一些新技术被应用到装载机上,新产品相继出现,使装载机的应用范围进一步扩大。并已取代了一部分单斗挖掘机。我国霍林河、伊敏河等大型露天煤矿1985年购进一批斗容量为 $13m^3$ 的L-1000型大型电动轮装载机作为剥离主铲工作使用。

我国目前已生产了斗容量为 $0.25m^3$ 至 $5m^3$ 的轮式装载机,并已在部分矿山进行铲装作业。生产更大容量轮式装载机的主要困难是缺乏与它配套的大型低压宽基轮胎等。目前正向提高产品质量和增加产品系列、品种的方向发展。

铲运机是完成土方工程的重要机械,在美国它占到完成其土方量的40%以上。履带式铲运机的铲斗位于其拖拉机的前部,适用于松软潮湿地带及狭小场地作业,国产有C5-6型

铲运推土机。轮式铲运机分拖式和自行式二类。自行式铲运机可以利用铲运机部分的重量以提高附着牵引力，且机动灵活、转弯半径小，故发展较快，并正向着大型化发展。

铲运机工作装置的操纵，常用液压式；大型自行式铲运机常用双发动机、四轮全驱动式。铲运机在铲装作业时往往需要推土机助推，为此，在美国发展了升送式铲运机，即在铲斗前部倾斜地装置着链板输送机。这样可省去助推的推土机。据测定，用同斗容的两台升送式铲运机和两台一般铲运机比较，后者用一台助推机，前者的土方费用可降低22%~23%，但若分别用六台作比较，后者也用一台助推机，则用升送式铲运机反而不经济了。目前美国的升送式铲运机占总产量的一半，在苏联、日本等国也在积极发展。

我国自行式铲运机已有产品CL7型，斗容7~9m<sup>3</sup>，但目前以使用拖式铲运机较多，近期内仍以拖式液压操纵的铲运机为主。我国以铁路运输为主，公路桥负荷不高（低于13t），所以铲运机以选用斗容量15m<sup>3</sup>以下的中小型机为宜。

运土车是土方工程中的一种运输车辆，一般它爬坡能力强，转弯半径小，能自卸，实质上它是一种越野型自卸车。

运土车品种规格较多。在国外，有斗容从8.5m<sup>3</sup>到20.5m<sup>3</sup>的多种规格；在车架结构上，既有汽车式整体结构，又有转弯半径很小的铰接式结构；在卸土方式上，有后卸式、侧卸式和底卸式；既有高速行驶型，亦有适用于恶劣道路条件的低速型等。能够满足各种施工条件的需要，能适应挖掘机、装载机的发展，满足配套的要求。目前我国也已试制成了数种型号的运土车辆，主要供矿山使用。

### 三、压实机械

有静作用钢轮压路机、轮胎压路机、捣实压路机、振动压路机和夯实机械等。

静作用钢轮压路机分三轮压路机和二轴串联压路机，三轮压路机后轴上装有两个窄轮，线压大，适用于压实碎石、砾石道路和路基；串联式压路机适用于粘性土的压实和沥青铺层的压实作业。从长远来看，它将逐步被其它压实机械所取代。

轮胎压路机是50年代发展起来的静压式压实机械，机动性好，便于运输，压实时接触面积大且有揉和作用，压实效果较好，并可调节轮胎压力，以适合不同作业条件。它分拖式和自行式，拖式结构简单，适于在土石坝工程等压实条件比较严酷的情况下使用，自行式近年应用较多，主要用于筑路工程。如苏联的ДУ-55型轮胎压路机，在二轴上有9个载重轮胎，其中8个是驱动轮，它们成组对称地装在可相对于压路机纵轴摆动的动力平衡减速机上，以保证车轮受载均匀，该机用液压系统驱动，前后二半车架用铰接，以减少转弯半径，驾驶室内装有轮胎气压变换系统，以提高压路机的通过能力，为了能碾压热沥青混凝土，压路机还具有自清洁系统。

振动压路机由于压实层较厚，生产率较高，压实效果较好而得到较快的发展。它有拖式和自行式两大类，拖式振动压路机结构简单、制造成本低，但需有较大的工作面，适于大型水利工程碾压砂砾料、堆石等非粘性材料。国产有YZT13.5型，需用100马力拖拉机牵引。

自行式振动压路机是当前较先进并发展最快的一类压实机械。其中较先进的产品是串联式双轮压路机和轮胎牵引式振动压路机。串联式双轮压路机常采用全液压、全轮驱动、全轮振动及铰接式转向结构，它不仅压实效果好，通过能力也高。一般有二种以上振幅和频率，以适应不同土质或不同厚度沥青铺层的压实。当振动机构停止工作时可作为静压钢轮压路机来进行平整作业。



轮胎牵引式振动压路机由液压驱动的轮胎牵引部分与振动滚轮组成。振动轮与牵引部分通过铰接车架相连,使操作人员可以远离振动源。使用轮胎的静力压实作用与振动轮的动力压实作用相结合,压实效果好。一般装有两只轮胎的机型称为轮胎牵引压路机,国产的有YZJ-10型,其自重10t,激振力 $152 \times 10^3 \text{ N}$ ,压实厚度可达1 m;有三只以上轮胎排成一行与振动轮组合的机型称为组合式压路机。

国外较先进的产品大都采用全液压驱动,全轮驱动,可克服单轴驱动运行时前后轮间易产生弓坡的缺点并增加爬坡能力;使用铰接式结构,它转弯半径小且有利于减震;振动频率、振幅可调,适用于多种土壤的压实要求;滚轮外形多样化;可换装上带凸块的滚轮而成为捣实型压路机等。

在施工现场的边角地带、狭窄的沟槽回填土及大型压实机械不能到达的地段,可以用振动夯、单组式振动板等手扶式振动夯实机具,它们轻便灵活,压实效果也较好。

#### 四、凿岩机械

主要包括各种凿岩机和凿岩台车,是钻凿炮眼的石方工程机械。

为了提高凿岩机的效率,寻求更合理的机具参数,揭示冲击能量传递过程的实质,目前正对冲击凿岩波动力学的基础理论深入地研究。并正探索新的碎岩理论和方法,以代替传统的凿岩法(研究已证明火力和水力碎岩法有实用价值,激光碎岩和电子束切割岩石也很有希望)。

风动凿岩机已有悠久的历史,气腿式和导轨式风动凿岩机由于结构简单、操作方便、价廉等原因,今后仍将广泛采用于中小型工程中。独立回转式凿岩机是用回转马达代替传统的螺旋棒、棘轮、棘爪组成的内回转机构,使冲击和扭矩大为改善。它与凿岩台车配套使用,使凿速和台班效率大为提高,是目前国内较先进的设备。

液压凿岩机是随着液压技术的发展而发展起来的新机种。它用高压油为动力介质,活塞的结构形状细长,受力条件改善,工作时产生的冲击波振幅小,持续时间长,波峰应力值较低,而输出能量高,能量利用率可达40%~60%,即动力消耗仅为风动凿岩机的1/3~1/4。它的运动零件在油液中工作,润滑条件好,零件寿命长。它采用独立回转机构,当安装在液压凿岩台车上工作时,冲击功、冲击频率、扭矩及转速、轴推力等参数可根据岩石的物理性质调节到最佳参数情况下工作,凿岩速度可明显提高,一般在中硬岩石中平均凿速1~2 m/min,最高凿速可达3 m/min以上,比风动凿岩机高得多。现代全液压凿岩设备还设置了自动防卡钎,自动停钻,自动退钎装置,可减少或避免工作中的故障,相应地使凿岩的生产率提高,使成本降低。

采用液压凿岩设备还可以省掉压缩空气设备和管路系统,并改善工人的劳动条件。

液压凿岩设备经过近20年的探索、试验和广泛应用,已取得了很好的经济效益。在瑞典、芬兰、西德等国都已形成了系列产品。

液压凿岩机现已不限于地下工程钻孔使用,也可作为大孔径的露天矿穿孔工具。国外现场使用结果证明,液压钻孔可以钻凿大直径炮孔,其钻速要比相应的牙轮钻和潜孔钻机快得多。现将挪威某工程的试验结果列于表1-1。

液压凿岩机当前广泛使用还存在的主要问题是零部件的制造质量、密封技术及维修保养人员的技术知识要求较高,采购费及维修费较贵。

在隧洞开挖中,隧洞掘进机与钻爆法相比,由于施工质量好,效率高,安全可靠,少衬



表1-1-1

中小型矿中各凿岩方法对比

| 凿岩方法     | 潜孔钻机 | 重型风动凿岩机 | 液压凿岩机 |
|----------|------|---------|-------|
| 孔径(mm)   | 89   | 89      | 89    |
| 相对纯凿岩速度  | 100  | 214     | 375   |
| 相对总凿岩速度  | 100  | 161     | 243   |
| 相对小时生产能力 | 100  | 161     | 243   |

砌、少支护等原因而得到发展,但由于专用性强、造价较贵、刀具磨损大等原因,目前只限于石质比较适宜,岩层变化不太大的长隧洞施工中使用。

### 五、混凝土机械

混凝土是建筑工程中的一种主要材料。近30年来,商品混凝土和混凝土泵送技术的推广应用被认为是混凝土施工工艺的二项重大技术变革。

搅拌机是生产混凝土的主机,鼓筒形自落式搅拌机由于只适合于搅拌流动性混凝土,搅拌及卸料时间长,故将逐步被(JZ型)双锥反转出料式搅拌机所代替。随着干硬性混凝土的发展,强制式搅拌机得到很大发展,主轴卧浆式强制搅拌机由于价格低、高度小故仍为拌和站所采用,但因其能耗大、磨损严重,故近年发展了单卧轴(JD型)强制式搅拌机和双卧轴(JS型)强制式搅拌机,这两种机型能拌制塑性、低塑性、干硬性及各种轻质混凝土,而且搅拌质量好,生产效率高,能耗低,故已推广应用。

为了生产优质混凝土,应当尽力改变在现场设置单独的搅拌机来生产混凝土的做法,在有条件的地区可设置混凝土搅拌楼或大型混凝土搅拌站,这类搅拌楼(站)可生产不同级配的混凝土以满足用户的要求,它具有较完善的控制系统,有机械-电子称或电子称,骨料料位指示器,水泥仓连续式料位指示器,砂含水量测定仪及其补偿装置,坍落度显示仪及工业电视显示装置等,控制方面采用一般的程序控制或微机控制。混凝土搅拌楼(站)的生产规模可大至 $360\text{m}^3/\text{h}$ ,一般均在 $58\sim 160\text{m}^3/\text{h}$ 。同时,现正大力发展中小型拆装式或移动式搅拌站,它带有较简易的计量设备,可实现机械化、半自动化,生产出优质混凝土,这类搅拌站投资少、建设快、转移方便,目前我国已生产 $10\sim 50\text{m}^3/\text{h}$ 的搅拌站。

随着商品混凝土的发展,混凝土搅拌运输车已普遍使用,国产搅拌运输车容量有 $3\sim 6\text{m}^3$ 。近年还发展了一种兼有贮存和搅拌功能的混凝土搅拌仓,类似于一放在挂车上的搅拌筒,使用时放在施工地点,作为混凝土料的贮存环节,有利于发挥与之配套的混凝土泵或起重机的工作效率,有利于保证混凝土质量,若与自卸卡车配套,则与用搅拌运输车相比,可大为节约混凝土的运输费用。

混凝土的浇筑,国外已广泛使用混凝土泵和泵车。混凝土泵常用的有软管挤压式和活塞式两大类,挤压式输送压力较低(目前最大压力35巴),用于输送距离不太大的场合。油压驱动活塞式泵是最主要的品种,正向高压型大型化方向发展。在我国生产能力为 $(8\sim 30)\text{m}^3/\text{h}$ 的液压驱动活塞式混凝土泵已有批量生产。目前在高层建筑、水下混凝土浇筑、隧洞衬砌及用其它运输工具难以到达浇筑部位条件下,使用泵送混凝土已显示了质量好、工效高、速度快的优越性。今后随着商品混凝土的推广和混凝土泵送技术的完善,泵送混凝土必将进一步显示出节省劳力、加快施工进度、降低施工费用等优点。

## 六、工程起重机械

它包括汽车起重机、轮胎起重机、履带起重机、塔式起重机及其它建筑工程专用的起重机如缆式起重机等。

汽车起重机由于行驶速度高，转移方便，所以在中小型建筑工地使用较多。它分液压伸缩吊臂和桁架吊臂二类，液压伸缩吊臂型近年发展最快，品种和数量都较多，我国液压多级伸缩吊臂型汽车起重机的制造水平近年也提高很快。大型汽车起重机（起重量大于80吨）以桁架吊臂为主（因吊臂自重较轻）。

轮胎式起重机由于灵活性较差，一般适合工厂、仓库、港口等较固定场所使用。

越野式轮胎起重机是近几年发展起来的新机种，它越野性能好，可吊重行驶，机动性好，很适合于建筑工地以及救险和军工部门使用。

履带起重机具有接地压力低，牵引系数高，爬坡能力强和吊重行驶平稳等优点。往往可用挖掘机改装，也有专用的产品，在建筑工地也较普遍使用。

塔式起重机是高大建筑物施工的主要装备。我国已生产 $98 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{m}$ 至 $245 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{m}$ 的各类塔吊。塔吊的主要型式有轨道式和自升式（内部爬升式和外部附着式），其它型式塔吊往往是汽车式、轮胎式或履带式起重机加装附加装置而成。

内部爬升式是爬升装置通过装在电梯间中的爬升架，使起重机在建筑物内部向上爬升，附着式是通过塔身锚固在建筑物外壁上，不断加长塔身向上爬升。它们主要用于高层建筑中。目前的爬升机构大多为液压驱动的标准部件，均可作为以上两种形式使用。

在国外正趋向于三用或四用塔吊（即固定式、轨道式、爬升式、附着式），并广泛采用组装式结构，即使主要部件（塔架、臂架、底盘、爬升装置、回转盘、提升机构及运行机构）标准化、系列化，根据使用要求组装成不同型式的起重机使用。如瑞典某公司用几十种标准尺寸的通用部件组合起来，可生产起重力矩为 $6174 \times 10^3$ 至 $49 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{m}$ 的各种系列，由61种标准尺寸的一整套部件组合成41000种以上不同型式的起重机，包括起重量100t以下、起升高度135m以下，幅度100m以下的整个范围。

为了提高作业性能，将更多地采用可控硅调速或液压传动。此外，塔吊的安全性愈益受到重视。

缆式起重机是载重小车以钢索作为轨道运行的起重机，特别适用于在峡谷河床中筑坝，也适用于渡槽架设、桥梁建筑等工程施工中，进行以运料车到浇筑地点的混凝土或设备、材料的搬运。

在国外，如日本大多数混凝土坝均用缆机施工，以致曾有人称缆机为“大坝浇筑起重机”，据对国外70年代施工的29座大型混凝土坝统计，采用缆机者为22座，约占76%，即约占3/4的大型混凝土坝主要或部分使用了缆机施工。在我国现已拥有国产及引进的新老缆机30余台，在刘家峡、乌江渡、龙羊峡、东江等工程中均成功地采用了缆机施工。根据我国水资源分布情况，今后水电建设多在西南、西北地区，其地形特点为山高谷深，使用缆机施工特别有利。可以预料，我国水电工程施工使用缆机的工程将越来越多，就目前所知就有岩滩、漫湾、东风、宝珠寺第六、七座新开工的水利水电工程均已确定用缆机施工。

缆机根据主索二端支承的运动情况分，其基本机型约可分为以下六种：固定式、摆塔式、平移式、辐射式、索轨式、拉索式，其后二种多为小型缆机。在这些基本机型的基础上，近年来发展出若干派生机型和复合机型，如H型、摆塔辐射型等等。

在水利水电工程建设中,使用缆机与传统的门机、塔机相比,具有无需架设横跨两岸之间的施工栈桥、操作时与地面其它施工机械的工作互不干扰,投入使用后一般可以一直工作到工程完工、且不需在汛期停止工作或撤出等优点,但也存在着专用性强、其设计、制造、安装、调试所需时间长、造价高、基础工程量大、操作水平要求较高及重复使用性较差等问题,所以在选用缆机施工方案时,应从满足施工需要,保证工期进度,尽可能减少缆机基础工程量;降低造价等各方面加以综合考虑,慎重选定缆机的机型、台数和其主要参数。

近十年来,我国生产的缆机向采用单根主索、中等偏高速度、在直流驱动系统中采用可控硅励磁等方向转变,并初步形成了系列,今后将要进一步改进缆机的性能(提高寿命、改善操纵性和完善显示仪表);根据工程需要发展多种机型,并促进缆机的标准化、系列化、通用化工作的进展。

### 七、打桩机械

由于工业建筑和高层房屋建筑的增多,桩基础被大量采用。打桩锤中,筒式柴油锤是最普遍采用的冲击锤,目前正向加大冲击能量改善寒冷起动和炎热下长期工作的性能及减少对环境的污染方面努力,双作用柴油锤由于冲击频率提高,工作更可靠且有利于减少污染,所以将得到发展;液压锤冲击力作用在桩上的时间长,每次有效冲击能量大为增加,对桩的贯入度也增加了;且冲击行程短,冲击频率高,桩头不易打坏,减少了振动、噪音和废气等公害,它又可完全密封于金属壳体内,可进行水下打桩。上述原因均促使液压锤的发展,经过近20年来的发展,在荷兰、西德、美、苏等国均已有了产品在工程施工中被采用。

为适应海上建筑物的发展,需要大能量的打桩锤,所以近年来大吨位的气动锤也发展起来了。

振动锤在砂性土及软粘土中沉桩效率高,又很宜于拔桩。所以它不仅用于打桩,而且广泛运用于软土地基的加固施工中。为了适应不同的土质,可调频、调幅的振动锤将日益增多。

钻孔灌注桩由于施工设备简单,节省钢材,造价低,及可浇筑大口径桩等原因,很适合在我国推广使用。各种灌注桩成孔机械,包括螺旋钻机、潜水钻机、冲击或振动成孔机、“贝诺特”钻孔机等仍将普遍使用。大直径钻孔机具将得到发展,可用来代替沉井、沉箱等。

### 八、路面机械

随着机场、高速公路的发展,新的筑路专用机械,万能机械,联合机械的新品种和变型品种应运而生,并向大型化和联合施工的方向发展。

路面摊铺机械按路面材料的不同来分,有沥青摊铺机械、混凝土摊铺机械和沥青、混凝土混合使用的路面摊铺机械。摊铺机通常由一容量较大的储料斗,斗下设有供料输送机,供料给左右螺旋摊铺器摊铺至路面,再经由振动刮板括平,振动可使拌合料的气泡消散,增加密实度。

路面机械还有混凝土光面机、路面切缝机和铺设钢筋网用的小车,它们与摊铺机配合,可以完成机械化联合作业。

随着高速公路建设的发展,近年来万能型的混凝土滑模摊铺机发展很快,它是一种联合作业机,既能摊铺路缘、安全墙、人行道、中央分隔带,又可以摊铺几米宽的路面等。

## 九、其它专用机械

其它专用机械将在本教材叙述相应施工方法时分别介绍。

综上所述,国外工程机械在品种上、质量上、数量上都有很大发展。近年来,特别重视新技术的发展和应用,推广高效能的施工机械。目前发展的方向主要有以下几方面:

①进一步提高产品质量及简化工艺,合并工序,改进结构,一些新技术被应用到工程机械上来,提高了机械的作业性能、运转性能及工作的可靠性,并为进一步减少噪音、振动、废气等公害而努力。

②液压技术、振动技术和自动控制技术将进一步被普遍地用到工程机械上来,以提高机械操作的灵活性、生产效率和作业质量。

③在寿命平衡方面将有很大的改进,使机械的零部件有同样的寿命,并延长大修之间的时间,这可大大减少维修工作量,并提高设备运行的可靠性。同时进一步提高零部件的标准化、系列化和通用化水平,以有利于制造和维修。

④对驾驶人员和管理人员的舒适性和安全性更为重视,驾驶室的布置应使司机有尽可能好的视野,振动和噪音降低到最低限度,并将有良好的空气调节和通讯设备,落翻安全驾驶棚将成为土工机械的必要装置。

⑤大型机械上安装功能相当完善的微处理机系统参加广泛的监控将日益增多。微处理机对安装于部件上的传感器传送来的信号不仅有比较、监视和判断能力,还能直接发出操作指令,以使机械运转在最佳工作状态。它不仅能指出操作时出现的故障,还能指出故障发生的部位和性质,这样就大大节省了寻找故障的时间。

在我国工程机械的生产水平近年来有了很大的提高,但与国外的先进水平相比还有很大的差距(估计15年至20年)。近年来除引进一些先进机种和技术外,正着重于提高产品的品种和质量,以满足生产的需要。

在组织机械化施工时,应根据具体工程的自然条件、气候、地形、地质、工程量、工程特点和工期等研究施工方案。根据不同的方案,选用先进的施工机械和辅助机械,在品种、容量、性能、数量上配套成龙,还应根据本单位及国内的具体条件,贯彻机械化,半机械化相结合的方针,作出技术经济分析比较后,采用最佳施工方法进行施工。

要使施工机械能最大限度地发挥其生产能力,关键是要使机械合理配套。国外十分重视主导工序和相互衔接工序的机械配套问题,以实现全面机械化作业,这正是我国以往机械化施工中的薄弱环节。

组织好机械化施工还应加强机械的管理、使用、养护、维修工作,以提高设备完好率和使用效率,为此要建立专业施工队伍,加强对操作工人、维修工人及管理的技术培训,这样才有利于掌握操作技术,发挥机械效率,确保工程质量,并取得较好的技术经济效益。

## 第二章 基础工程施工

基础是建筑物很重要的组成部分，关系到建筑物的安全及其功能的发挥。任何工程基础又都受到地质条件及建筑物上部载荷的制约。由于地基和上部荷载（取决于使用要求）的多样性，造成了基础工程结构和施工的逐个特异性。根据以往的经验，基础工程的费用一般占工程总费用的 $1/3 \sim 1/2$ ，甚至更大。为了降低工程费用，必须把降低基础工程费用作为一个重要的目标，把基础工程的结构合理性及其施工方法的先进性作为研究的重点。

基础工程根据其基本特点可分为若干大类。就基础对地层作用部位来分有浅基础及深基础，就基础的工程类别来分又可分为桩基工程、沉箱沉井工程、灌浆工程、软土地基处理（加固）工程、岩石地基工程、防渗堵漏工程、喷锚支护工程、托换基础工程等。而且，随着科技与生产的发展，新工艺、新材料、新机械不断涌现，使基础工程的种类与施工技术发生日新月异的变化。由于受篇幅的限制，本章仅就桩基工程与软土地基加固工程的施工工艺作简要的介绍。

### 第一节 桩 工

#### 一、概述

##### （一）桩基的种类及施工方法的分类

桩基是将建筑物的荷载传递给地基的一种深基础，要求能可靠地承受上部结构的垂直与水平的荷载，避免产生有害的变位。

桩工通常分为预制桩及现场浇制桩两大类。预制桩由预制厂工厂化生产，质量较可靠，但需经过存放、运输、沉入等过程。就地浇制桩是在桩位现场浇注而成，因而存在如何确保桩的质量，防止地基松弛等问题。优点是适合于建造大直径桩且公害少。

预制桩的施工方法主要有打入法及埋入法两种。打入法是最古老的方法，虽然会产生噪音、震动等公害，但它使人们对结构产生安全感而仍然被广泛采用。打入法沉桩使用的桩锤有：自落锤、气动锤、柴油锤、振动锤、液压锤。自落锤已很少采用。30年代到50年代用得较多的是蒸汽锤，目前已很少采用。现在采用较多的是筒式柴油锤。但是这种锤存在着打桩时柴油飞溅，在软土上锤起困难或是锤起跳高度不够而达不到预计的冲击能等问题。近年来随着海洋工程对沉桩需求的发展，有些国家又在考虑发展新型的蒸汽锤与压缩空气锤。震动锤是较好的沉桩工具，我国早在50年代在武汉长江大桥的施工中就应用了振动锤，但是受电力供应、机械加工能力的限制，故在我国应用仍不普遍。液压锤是世界上目前最新型的锤，它能克服一般打桩锤的缺点，但是造价较高，我国已在试制之中。

埋入法沉桩是针对有硬土夹层的地基，用打入法沉桩遇到困难时采用的一种有效方法。被国外广泛应用。对于大口径的桩通常采用一面在中间挖土一面沉桩的工艺，故称之为埋设法。埋入法是下列诸方法的总称：预钻孔法、中掘法（从桩内挖土的方式）、压入法、射水法以及上述某几种方法组合的方法。

表2-1-1

大断面桩、小断面桩与长桩使用情况表

| 分 类         | 名 称             | 种 类 | 断 面 尺 寸<br>(单位: mm)                                                | 指 要                                   |
|-------------|-----------------|-----|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 小<br>断<br>面 | 瑞 典             | 圆 钢 | $\phi 19$ , 19000                                                  | 载荷试验, 荷重3t作用1个月, 荷重7t时破坏。             |
|             | 瑞 典<br>(工场基础)   | 圆 钢 | $\phi 32$ , 14000~47000                                            | 上部结构650t, 用84根桩支撑, 平均每根约支撑8t, 用千斤顶压入  |
|             | 瑞 典             | 钢 管 | $\phi 50.8$ , 14000                                                | 荷载加到钢的屈服点沉降量小                         |
| 大<br>断<br>面 | 日本石井入基<br>地泊位   | 钢 管 | $\phi 2300$ , t25~34<br>164000~66000                               |                                       |
|             | 日本大阪港防<br>波堤    | 钢 管 | $\phi 2000$ , t19,<br>138000, 入土深25000                             | 用V-5振动打桩机打入(整根桩施打)                    |
|             | 日本石川岛播<br>磨知多船坞 | 钢 管 | $\phi 2500$ , t33~40,<br>145000                                    | 用MRB2000锤打入水深14m, 入土深25.5~27.4m(1971) |
| 长<br>桩      | 新日铁大分泊位         | 钢 管 | 支承柱<br>$\phi 1500$ , t15<br>181500, 入土深56500                       | 用MRB-1500及MB-70锤打桩角度<br>27°、30°       |
|             |                 |     | 斜柱<br>$\phi 1200$ , t18<br>192000, 入土深约64000                       |                                       |
|             | 日本京叶泊位          | 钢 管 | 支承柱<br>$\phi 1500$ , t16~24<br>156000, 入土33000                     | 用MRB-1000锤打入                          |
|             |                 |     | 斜柱<br>$\phi 711.2$ t9.5<br>162500                                  |                                       |
|             | 中国镇海十万<br>吨矿石码头 | 钢 管 | 支承柱<br>$\phi 1200$ , t10<br>156000入土                               | 用MB-72锤打入                             |
|             |                 |     | 斜柱<br>$\phi 1200$ , t10<br>16000入土                                 |                                       |
|             | 中国宝钢原料<br>码头    | 钢 管 | $\phi 1200$ , t10<br>180000                                        | 用MB-72锤打入                             |
|             | 关电春日出力<br>发电厂   | 钢 管 | $\phi 600$ , t9.5<br>132000(入土长度)                                  | 用5t单动蒸汽锤打桩                            |
|             | 东电川崎火力<br>发电厂   | 钢 管 | $\phi 600$ , t13<br>57000(入土长度)                                    | 用D-22柴油锤打入(1964年)                     |
|             | 青卷大桥            | 钢 管 | $\phi 1500$ , t12~7<br>165000(入土长度)                                | 用IDH-40锤打入(1964年)                     |
| 接<br>桩      | 江戸川区役所          | H 桩 | $\phi 600 \times 305 \times 15/15$<br>152000(入土长度)                 | 用M-22锤打入                              |
|             | 东京灯标            | 钢 管 | $\phi 2000$ t16<br>160000<br>$\phi 1800$ , t16<br>167500, 入土约38000 | 用MB-70锤打入                             |

注: 表中 $\phi$ —桩断面直径;  $l$ —桩长;  $t$ —壁厚。

第2-1-2

基础桩的选择表

|           |                                  | 打入桩                                         |                                        |                                         | 就地灌注桩                                  |                                        |                                          |                                        |
|-----------|----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
|           |                                  | 离心钢筋混凝土桩                                    | 预应力钢筋混凝土桩                              | 钢管桩                                     | 班诺托                                    | 反循环旋转钻                                 | 旋转钻                                      | 深基础                                    |
| 基本的要素     | 桩直径(cm)                          | 30~40                                       | 35~50                                  | 50~80                                   | 100~200                                | 100~150                                | 100~200                                  | 200~300                                |
|           | 入土深度(m)                          | 10~20                                       | 12~25                                  | 25~50                                   | 25~35                                  | 30~50                                  | 15~25                                    | 10~25                                  |
|           | 容许承载力(N)                         | $196 \times 10^3 \sim 294 \times 10^3$      | $343 \times 10^3 \sim 882 \times 10^3$ | $930 \times 10^3 \sim 1568 \times 10^3$ | $196 \times 10^4 \sim 245 \times 10^4$ | $196 \times 10^4 \sim 245 \times 10^4$ | $147 \times 10^4 \sim 176.4 \times 10^4$ | $294 \times 10^4 \sim 734 \times 10^4$ |
| 支撑方式      | 支承桩                              | ○                                           | ○                                      | ○                                       | ○                                      | ○                                      | ○                                        | ○                                      |
|           | 不完全支承桩                           | ○                                           | ○                                      | △                                       | ○                                      | ○                                      | ○                                        | ○                                      |
|           | 摩擦桩                              | ○                                           | △                                      | △                                       | ×                                      | ×                                      | ×                                        | ×                                      |
| 持力层的深度(m) | 4~5                              | △                                           | △                                      | △                                       | ×                                      | ×                                      | ×                                        | △                                      |
|           | 5~10                             | ○                                           | ○                                      | △                                       | △                                      | △                                      | △                                        | ○                                      |
|           | 10~20                            | △                                           | △                                      | ○                                       | ○                                      | ○                                      | ○                                        | ○                                      |
|           | 20~                              | △                                           | △                                      | ○                                       | ○                                      | ○                                      | ○                                        | △                                      |
|           | 30~60                            | ×                                           | ×                                      | ○                                       | △                                      | ○                                      | △                                        | ×                                      |
| 持力层的状态    | 倾斜(约30°以上)                       | △                                           | △                                      | ○                                       | ○                                      | △                                      | △                                        | ○                                      |
|           | 凹凸不平                             | △                                           | △                                      | ○                                       | ○                                      | ○                                      | ○                                        | ○                                      |
| 中间层的状态    | 粘性土<br>层(厚5m以上)                  | $N=4 \sim 10$<br>$N=10 \sim 20$<br>$N>20$   | △<br>○<br>△                            | ○<br>○<br>×                             | ○<br>○<br>○                            | ○<br>○<br>○                            | ○<br>○<br>○                              | ○<br>○<br>○                            |
|           | 砂性土<br>层(厚5m以上)                  | $N=15 \sim 30$<br>$N=30 \sim 50$<br>$N>15$  | △<br>×                                 | ○<br>△<br>×                             | ○<br>○<br>△                            | ○<br>○<br>○                            | ○<br>△<br>△                              | ○<br>○<br>○                            |
|           | 砂卵石<br>粒 径<br>(cm)               | <10<br>10~30<br>>30                         | △<br>×                                 | ○<br>△<br>×                             | ○<br>△<br>△                            | ○<br>×                                 | △<br>×                                   | ○<br>○<br>○                            |
|           | 弱粘性的松软细砂<br>层厚的时候                |                                             | ○                                      | ○                                       | △                                      | △                                      | △                                        | ×                                      |
|           | 地下水                              | 地下水位不能降低<br>承压地下水0~2m<br>流动地下水>0.3m/s       | ○<br>○<br>○                            | ○<br>○<br>○                             | ○<br>△<br>×                            | ○<br>△<br>×                            | ○<br>△<br>×                              | ×                                      |
|           | 地表面的状态                           | 倾斜(10°以上)且<br>凹凸不平                          | △                                      | △                                       | △                                      | △                                      | △                                        | ○                                      |
|           | 软弱粘性土 $N<2$<br>松软饱和砂质土<br>$N<10$ | △<br>△<br>△                                 | △<br>△<br>△                            | △<br>△<br>△                             | △<br>△<br>△                            | △<br>△<br>△                            | △<br>△<br>△                              | ○<br>△<br>△                            |
|           | 环境条件                             | 地下有害气体<br>水上施工<br>噪音振动<br>建筑物的影响<br>作业空间狭小时 | ○<br>○<br>×                            | ○<br>○<br>×                             | ○<br>△<br>△<br>○<br>△                  | ○<br>○<br>△<br>○<br>△                  | △<br>△<br>△<br>○<br>×                    | ×                                      |

附注 ①○表示条件适合

△表示条件尚可

×表示条件不适合

②持力层强度的标准

砂性土 $N>30$ 粘性土 $N>20$



根据成孔机械、固壁方法以及土渣排除方法三者的组合不同而形成多种现场浇注桩的施工方法。其代表的方法如：螺旋钻钻孔法、反循环旋转钻钻孔法、贝诺托法、泥浆固壁法、深基础法、PIP法、MIP法等，其中螺旋钻钻孔法和贝诺托法均使用套管，旋转钻钻孔法和反循环钻钻孔法都需要用粘土浆液稳定孔壁。

### (二) 桩基施工的基本要求

对于预制桩的施工要求是：

- ①桩体不受损伤；
- ②桩的位置和方向准确；
- ③桩尖能达到预定的持力层。

对于就地浇注桩的要求是：

- ①对地基扰动减少到最小程度；
- ②桩的位置和方向准确；
- ③钻孔能达到预定的持力层；
- ④桩尖下无残留泥浆；
- ⑤成桩质量优良。

为了达到上述要求，需要正确地确定施工的临时支架，合理选择施工机械以及严格按施工规程施工。

### (三) 桩基施工方法的选择

#### 1. 施工条件的研究与施工方法的确定

各种桩的施工方法、尺寸、打设长度都有其最优适用条件，这些条件主要包括有地基土壤特征，持力层的深度与倾斜情况，中间硬夹层的厚度与硬度，地下水情况等。

表 2-1-1 列出了一些国家在用打入法施工中若干种桩使用情况的资料，以供参考。

表 2-1-2 可供设计者根据工程条件，选择桩型与施工方法时作参考。

埋设法原则上限于在环境条件不允许用打入法时使用。

#### 2. 施工用脚手的选择

对桩基施工，确保施工精度是极为重要的，为此要正确的确定施工用脚手，合理的选择施工机械、搞好施工管理是极其重要的。

在较好的地基上打设带有地下室的建筑物桩基时，不需特别考虑施工脚手，但是在超软的地基上、河流、海上等恶劣条件下施工时，需要设置施工脚手，其形式有：

(1) 筑岛法 筑岛法是在水中围筑一块陆地，以创造干地施工条件的一种方法。

以桥墩施工为例，该法是在钢板桩围护范围内填砂成岛，将打桩机运到岛上打桩，打设完成后，撤去打桩架，一面安装横撑，一面排除人工岛的土砂。然后在单层

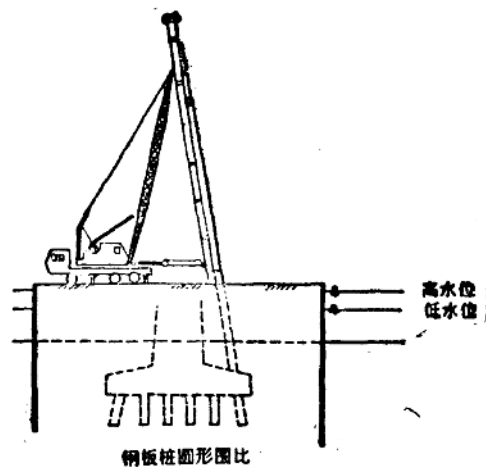


图2-1-1 筑岛法打桩

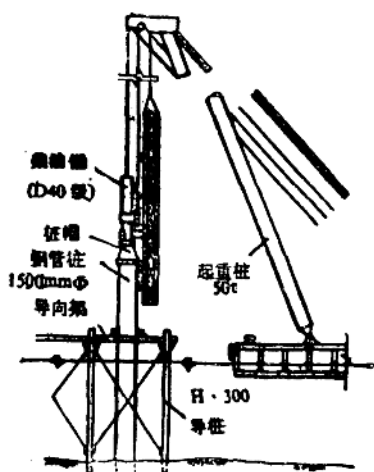


图2-1-2 导向圈

使用的一种自升式海上施工平台。在施工平台上安装一台打桩架，为了打斜桩，在架上还设置了特制的导管。

海上平台可以伸出水面至适当的高度，以避免波浪和潮流的影响，其有效施工时间与施工精度远远优于打桩船。特别在自然条件不良、海象条件严酷下作业时，可充分发挥该法的优越性。

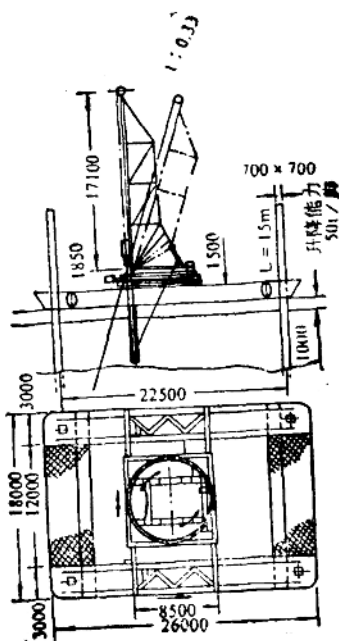


图2-1-3 自升海上平台

度在规范中均有规定。即使制作优良的混凝土桩，在锤击过程中也会常常由于应拉力和剪应力过大而遭破损。

钢板桩围堰的围护下进行开挖，浇注基脚混凝土、桥墩混凝土（参见图 2-1-1）。

(2) 栈桥法 该法需要临时架设从岸边延伸到建筑物位置的栈桥，打桩架可在栈桥上移动和进行桩基施工。

(3) 船上打桩 在水上用起重船进行吊龙口打桩时，为了提高打桩的精度，需设置导向圈（见图 2-1-2），其打设的精度较高。如不使用导架圈而在船上打桩时，其误差为几厘米，甚至达 20~30cm。

(4) 自升式海上施工平台 在水上打预制桩、就地浇注桩或埋设桩均需设置脚手架。图 2-1-3 是瑞典埃拉多桥所

## 二、沉入法沉桩

### (一) 桩的制备

沉入法所使用的桩全为预制成品桩，常用的有钢管桩、H型钢桩、钢筋混凝土桩、离心钢筋混凝土桩（RC桩）、先张法离心预应力混凝土桩（PC桩）。另外，用高压蒸养法制作高强度的桩（AC桩）或者在混凝土桩外面套以钢管形成的复合桩。最近我国已在研究应用先张离心振压预应力大直径管桩（雷蒙德桩）及高压蒸养高强混凝土桩。

桩的尺寸与材料，根据设计要求选定，其前提是必须使桩能够沉得下去。当遇硬地基，且入土长度大的桩，须用重锤打设，不允许因锤击而使桩遭到破坏，桩的要求强