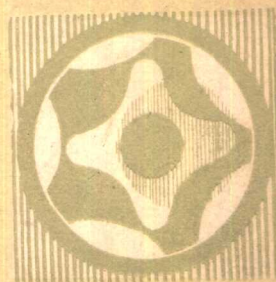
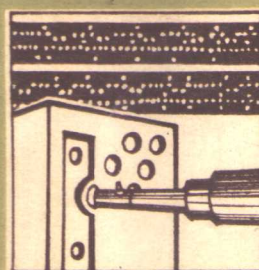
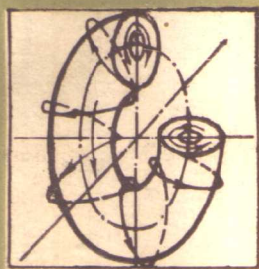


高等学校试用教材



# 机械式挖掘机设计

吉林工业大学阎书文 主编



机械工业出版社

U(51-3)A  
11255

高等学校试用教材

# 机械式挖掘机设计

吉林工业大学阎书文 主编



机械工业出版社

## 机械式挖掘机设计

吉林工业大学图书文

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $36\frac{3}{4}$ ·字数905千字

1982年2月北京第一版·1982年2月北京第一次印刷

印数 0,001—4,200·定价 3.75元

\*

统一书号: 15033·5098

## 前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会和 1978 年 6 月在太原召开的矿机、工程、起重和石油矿场机械四个专业教材会议制定的《机械式挖掘机设计》编写大纲编写的。

本书力求反映出当代挖掘机设计的新水平。书中系统的介绍了现代挖掘机的基础理论及其结构；全面的介绍了挖掘机总体设计计算及零部件设计计算；介绍了一些基本理论的应用（相似原理，有限元法等）；较深入地介绍了典型部件（制动器、离合器）的工作原理及计算方法；介绍了挖掘机动载荷的计算及考虑动载荷时的强度计算法；并介绍了当代国外关于轮斗式挖掘机的新结构、基本理论及计算方法。书中给出的一些数据都是国内外在实际计算中应用的，可供设计中选用。

本书除了作为高等学校矿山机械专业教材，亦可以作为相近专业（矿山机电专业等）挖掘机课的教学参考书，也可供本专业有关的科研人员、设计人员参考。

本书是由吉林工业大学阎书文同志主编，东北工学院靖德权同志主审，参加编写的还有东北工学院王久聪同志，吉林工业大学王振东同志，吉林工学院黄俊峰同志。

在编写本书过程中曾得到抚顺挖掘机制造厂、太原重型机器厂挖掘机研究所、杭州重型机械厂，沈阳矿山机器厂及天津工程机械研究所的同志们提供资料，并热情帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和缺点在所难免，恳切希望读者批评指正。

作者 1980 年 11 月

# 目 录

## 第一篇 机械式单斗挖掘机设计

第一章 概论	1
§1-1 挖掘机概述	1
一、挖掘机在国民经济中的地位 and 作用	1
二、挖掘机的国内外现状及发展趋势	2
三、机械式挖掘机的用途和类型	7
四、单斗挖掘机的主要工作装置	8
§1-2 挖掘土壤的基本理论	12
一、土壤的物理、机械性质及其分类	12
二、切削阻力和挖掘阻力	13
三、土壤的刚度	21
四、挖掘机挖掘土壤时斗齿尖运动轨迹	23
第二章 机械式单斗挖掘机的总体设计	25
§2-1 总体方案和整机参数的确定	25
一、总体方案确定的依据和内容	25
二、机械式单斗挖掘机的特点	25
三、机械式单斗挖掘机主要参数的确定	38
§2-2 机械式单斗挖掘机工作装置结构分析	60
一、单斗正铲挖掘机工作装置结构分析	60
二、单斗反铲挖掘机工作装置结构分析	68
三、单斗正铲挖掘机推压机构结构分析	71
四、铲斗结构分析	75
§2-3 机械式单斗挖掘机的动力装置	83
一、单斗挖掘机的工作状况及对动力装置的要求	83
二、单斗挖掘机的动力装置	84
三、各种动力装置的综合比较	95
§2-4 传动系统方案的选择与分析	96
一、单斗挖掘机传动系统图的设计要求	96
二、单发动机驱动的挖掘机传动系统图的分析	97
三、多发动机驱动的挖掘机传动系统图的分析	104

§2-5 辅助装置	109
一、润滑装置	109
二、操纵装置	114
三、机棚、司机室及其辅助装置	118
§2-6 总体布置	121
一、总体布置的原则	121
二、挖掘机的重心座标	122
三、机体外形尺寸的确定	122
第三章 机械式单斗挖掘机主要机构设计计算	124
§3-1 提升、牵引机构计算	124
一、正铲提升机构的计算	124
二、拉铲的牵引机构和提升机构的计算	126
三、反铲的牵引机构和提升机构的计算	128
§3-2 推压机构的计算	129
一、独立式推压机构的计算	129
二、依从式推压机构的计算	131
三、复合式推压机构的计算	132
§3-3 回转机构的计算	138
一、回转机构运动方程式	138
二、回转机构参数的计算	140
§3-4 行走机构的计算	146
一、单斗挖掘机行走装置的型式及特点	146
二、履带式行走装置	147
三、轮胎式行走装置	173
四、步行式行走装置	175
§3-5 单斗挖掘机的平衡及稳定性计算	181
一、挖掘机的平衡计算	181
二、挖掘机的稳定性计算	185
§3-6 单斗挖掘机生产率计算	189
一、理论生产率	189
二、技术生产率	190
三、实际生产率	190
第四章 机械式单斗挖掘机主要零部件设计	192
§4-1 工作装置的设计计算	192
一、概述	192
二、动臂的强度计算	192

三、平台回转时动臂的强度验算 .....	195	§ 6-2 参数转化计算 .....	326
四、斗柄的强度计算 .....	198	一、质量与转动惯量的转化计算 .....	326
五、平台回转时斗柄的强度验算 .....	201	二、刚度的转化计算 .....	330
六、铲斗的强度计算 .....	202	三、力和力矩的当量计算 .....	334
§ 4-2 回转平台的设计计算 .....	207	四、间隙的转化计算 .....	335
一、回转平台结构 .....	207	五、常用的转动惯量及刚度计算公式 .....	335
二、回转平台的强度计算 .....	208	§ 6-3 单斗挖掘机计算图简化原理 .....	338
三、有限元法在计算平台中的应用 .....	211	一、单发动机驱动机械传动式单斗 挖掘机计算简图 .....	338
§ 4-3 支承回转装置的设计计算 .....	220	二、多发动机驱动的机械式单斗挖掘 机计算简图 .....	345
一、支承回转装置的构造 .....	221	§ 6-4 动载荷简化计算法原理 .....	355
二、支承回转装置的强度计算 .....	230	一、在动载荷情况下外载荷变化的近 似特性曲线 .....	355
§ 4-4 履带行走装置部件强度计算 .....	239	二、在机构启动和制动过程中不考虑 间隙影响的动载荷的计算 .....	359
一、履带行走装置的载荷确定 .....	239	三、机构启动和制动过程中考虑间隙 影响的动载荷的计算 .....	380
二、下支架的计算 .....	239	四、机构堵转时的动载荷的计算 .....	386
三、履带架的计算 .....	240	五、动载荷的近似计算法 .....	401
四、履带板的计算 .....	240	§ 6-5 单斗挖掘机零部件疲劳强度计 算方法的基础 .....	405
<b>第五章 典型零部件的设计计算 .....</b>	<b>242</b>	一、基本原理及计算关系式 .....	405
§ 5-1 制动器的设计计算 .....	242	二、金属结构元件计算特点 .....	410
一、概述 .....	242	§ 6-6 单斗挖掘机主要传动机构动载 荷的强度计算 .....	411
二、带式制动器的设计计算 .....	243	一、提升和牵引机构的强度计算方法 .....	411
三、闸瓦式制动器的设计计算 .....	251	二、推压机构的强度计算方法 .....	420
四、止动器的计算 .....	261	三、回转机构的强度计算方法 .....	422
§ 5-2 离合器的设计计算 .....	267	四、行走机构的强度计算方法 .....	427
一、牙嵌式离合器的设计计算 .....	267	§ 6-7 工作装置零件的疲劳强度计算方法 .....	430
二、摩擦离合器的设计计算 .....	269	一、正铲工作装置零件的强度计算 .....	430
三、气室式离合器瓦块上压力分布规律 .....	289	二、拉铲起重臂的强度计算 .....	440
四、瓦块式气室摩擦离合器的计算 .....	296	<b>第七章 机械式单斗挖掘机的 性能试验 .....</b>	<b>446</b>
五、盘式气室摩擦离合器的计算 .....	302	§ 7-1 机械式单斗挖掘机的试验规则 .....	446
§ 5-3 卷筒的计算 .....	305	一、概述 .....	446
一、卷筒的构造 .....	305	二、关于试验规则的制定 .....	446
二、卷筒尺寸确定和强度计算 .....	307	三、型式试验 .....	447
三、钢绳在卷筒上的固定计算 .....	310	四、什么样的产品要进行型式试验 .....	448
§ 5-4 滑轮与滑轮组 .....	312	五、试验样机台数 .....	448
一、滑轮的计算 .....	312	§ 7-2 机械式单斗挖掘机整机及零部 件性能试验 .....	448
二、滑轮组的计算 .....	315		
§ 5-5 钢绳与选择计算 .....	317		
一、钢绳概述 .....	317		
二、钢绳的选择计算 .....	319		
<b>第六章 单斗挖掘机动载荷及 强度计算 .....</b>	<b>324</b>		
§ 6-1 概述 .....	324		
一、外载荷动力学计算方法 .....	324		
二、当量系统参数计算原理 .....	326		

一、主要试验内容及方法 .....	448	一、多斗挖掘机挖掘土壤屑片 .....	523
二、应力测定 .....	462	二、挖掘比阻力 .....	533
三、工业性试验 .....	463	三、圆周力、法向力和侧向力 .....	535
四、解体检查 .....	464	§ 9-2 工作装置的参数计算 .....	536
§ 7-3 产品鉴定及技术文件编写 .....	464	一、工作装置的运动参数计算 .....	537
一、概述 .....	464	二、工作装置的结构参数计算 .....	539
二、各种技术文件的编制 .....	465	三、工作装置驱动功率的计算 .....	543
<b>第二篇 多斗挖掘机</b>		§ 9-3 支承回转装置的参数计算 .....	549
<b>第八章 多斗挖掘机构造</b> .....		一、回转装置的运动参数的确定 .....	549
§ 8-1 多斗挖掘机概述 .....	468	二、支承装置的载荷计算 .....	551
一、多斗挖掘机的工作原理 .....	468	三、支承回转装置驱动功率的计算 .....	552
二、多斗挖掘机的使用条件 .....	472	§ 9-4 行走装置的参数计算 .....	554
三、多斗挖掘机的分类 .....	474	一、履带数目的选择 .....	554
四、多斗挖掘机的制造情况 .....	474	二、底架与行走台车的作用载荷 .....	554
§ 8-2 工作装置的构造 .....	474	三、履带装置支承面积的计算 .....	557
一、轮斗式挖掘机工作装置的构造 .....	474	四、多履带行走装置的运动参数计算 .....	558
二、链斗式挖掘机工作装置的构造 .....	483	五、转向机构的计算 .....	560
§ 8-3 支承回转装置的构造 .....	487	§ 9-5 提升机构的参数计算 .....	562
一、支承装置 .....	488	一、斗轮臂提升尺寸的确定 .....	562
二、回转装置 .....	490	二、斗轮臂架的提升速度的计算 .....	563
三、中间桥平衡支座 .....	494	三、提升力的计算 .....	564
四、回转平台 .....	496	四、提升钢丝绳的选择 .....	565
§ 8-4 行走装置的构造 .....	497	五、提升电动机功率计算 .....	565
一、履带式行走装置 .....	497	§ 9-6 胶带运输机的参数计算 .....	565
二、轨道式行走装置 .....	507	一、胶带运输机生产能力的计算 .....	566
三、步行式行走装置 .....	511	二、胶带运行速度的选择 .....	567
§ 8-5 提升机构的构造 .....	513	三、胶带宽度的计算 .....	567
一、提升系统 .....	513	四、胶带张力与驱动电动机功率的计算 .....	568
二、提升机 .....	516	五、拉紧装置的拉紧力计算 .....	571
三、提升系统的安全措施 .....	518	六、胶带的参数计算 .....	571
§ 8-6 胶带运输机构造 .....	518	七、胶带运输机的几何尺寸计算 .....	571
一、胶带 .....	519	§ 9-7 多斗挖掘机的稳定性计算 .....	572
二、驱动滚筒 .....	519	一、工作状态下的稳定性计算 .....	573
三、张紧装置 .....	519	二、非工作状态的稳定性 .....	576
四、托辊 .....	522	§ 9-8 多斗挖掘机生产率的计算 .....	576
<b>第九章 多斗挖掘机的参数计算</b> .....	523	一、理论生产率 .....	576
§ 9-1 挖掘过程及挖掘阻力计算 .....	523	二、技术生产率 .....	577
		三、运用生产率 .....	578

# 第一篇 机械式单斗挖掘机设计

## 第一章 概 论

### § 1-1 挖掘机概述

#### 一、挖掘机在国民经济中的地位和作用

钢铁工业和与之相适应的有色金属工业，是发展国民经济的重要物质基础。矿石是金属生产的原料，要提高金属材料的生产量，就必须提供大量的矿石。

近年来，各国钢铁产量逐渐增长，所需矿石量也在增长。在美国 1973 年钢产量达 1.508 亿吨，生铁产量为 1 亿吨，总共用铁矿石 1.37 亿吨（其中矿石品位达 58% 为 0.88 亿吨，不足的由国外进口）。预计 1980 年，美国钢产量将达到 1.8 亿吨，约需矿石为 1.5 亿吨。美国现在生产 1 吨球团矿要用原矿石 3 吨，每采 1 吨原矿石，还要剥离 1 吨废石。美国 1975 年开采铁矿石 2.18 亿吨，生产了球团矿石 0.8 亿吨。由此可见，生产 1 吨钢铁需要很多的矿石。同时，还要生产与之相适应的有色金属，其产量约占钢铁产量的 45%。

近 30 年来由于对矿石需要量增长很快。而富矿资源日益减少，矿石品位相对降低，过去许多低品位，尚未开发的矿藏相继开发，而露天开采正适合这种自然条件，所以露天开采迅速发展。美国铁矿露天采矿占 94%，铜矿露天开采占 88%，苏联铁矿露天开采占 79%，其它如铝，石灰石，几乎全部露天开采。这就要求提供大量的露天采矿成套设备，而挖掘机是其主要设备之一。

我国地大物博，矿藏资源丰富，是建设现代化强国的雄厚物质基础。我国矿藏多适于露天开采，仅铁矿一项有 65% 储量适于露天开采，其它大型煤矿、非金属矿、有色金属矿也大量适于露天开采。目前，铁矿露天开采已占 88.4%，有色金属矿露天开采占 47%，化工原料矿露天开采占 50%，建筑材料露天开采占 50% 以上。

由世界各国经验证明，露天采矿方法由于可以使用大型采矿设备，故生产量大，适应对矿物需求量的增长；露天采矿方法比井下采矿方法效率高 5~10 倍，而成本低 1~2 倍；基本建设速度快一倍；容易实现自动化采矿，生产安全，回采率高等优点，使其经济效果很高，所以露天采矿发展很快。

在露天开采剥离及采矿工作中，使用的成套设备有钻孔机械、挖掘装载机械、运输设备及辅助设备。露天采矿用挖掘机主要是机械式单斗挖掘机。前端式装载机只做一些辅助工作。

表 1-1 反映出钢产量与挖掘机产量的统计数字关系。

挖掘机使采矿工作完全机械化了，据统计一台 1 米<sup>3</sup> 单斗挖掘机，在 IV 级土壤工作 8 小



表1-1 各国钢产量与挖掘机产量统计表

项目	国别	美国	日本	苏联	西德	法国	英国
挖掘机产量	台/年	19760	25000	37000	6500	6600	4000
钢产量	万吨/年	13200	11714	13660	5323	2700	2288
用机量	台/万吨	1.5	2.1	2.3	1.2	2.4	1.7

注：美、日、苏均为1974年统计数字，西德指小型单斗挖掘机。

时，相当于400人的劳动量，而一台日产量为20万立方米的斗轮挖掘机则可代替5~6万人的劳动。可见其惊人的生产能力。

为使我国露天矿山，高产量、高速度、高效能的发展，为钢铁工业提供充足的矿石，保证钢铁生产的需要，必须提供大量适应配套要求的单斗挖掘机。

## 二、挖掘机的国内外现状及发展趋势

各国挖掘机的发展，因其社会状态、工业技术基础、矿藏地质条件的不同而不同，各有其特点。现在从挖掘机的斗容量、品种、产量、结构、控制、材料及新技术应用等几方面加以比较说明。

从挖掘机的品种看，六十年代以来，品种发展较快，产品更新周期缩短到3~4年。由于采用了电子计算机，使挖掘机更新周期缩短到1年或者几个月。

目前斗容量从0.01米<sup>3</sup>建筑用微型挖掘机到斗容量为168米<sup>3</sup>矿用拉铲，其中品种繁多。十几年来国外挖掘机品种增加约10~15倍。全世界已有250家公司制造，约有600种不同规格、用途的挖掘机。

自进入七十年代以来，矿用挖掘机发展的一个突出特点，是继续向大斗容量发展，使设备进一步大型化。采矿用挖掘机斗容量在10~20米<sup>3</sup>之间。首先由美国、加拿大、澳大利亚等国要求供应斗容量为11.5~19.9米<sup>3</sup>的单斗挖掘机。其次，苏联的矿山也由平均斗容量4米<sup>3</sup>提高到8米<sup>3</sup>，数量也增加了58%，同时品种增多。仅美国三家大公司，就生产30个品种挖掘机。其中马利昂公司生产的单斗挖掘机，斗容量1.5~25米<sup>3</sup>者有15个品种；哈尼施费格公司生产的单斗挖掘机，斗容量3~30米<sup>3</sup>者有8个品种；布赛路斯-伊利公司生产的单斗挖掘机，斗容量由4~17.5米<sup>3</sup>者有7个品种。

生产的专业化与产量增加 单斗挖掘机的铲斗、斗齿、离合器、制动器、履带、集中润滑、电气、操纵等部件已经专业化生产，这样保证了产品质量高、成本低，因此也降低了矿石的生产成本。矿用汽车生产的发展也使大斗容量单斗挖掘机得以迅速发展。一般，斗容量增加一倍，矿石成本可降低15.6%。

目前国外挖掘机产量增长很快。美国生产的9.2米<sup>3</sup>挖掘机由1957年的61台到1977年增为64台；粗略统计，美国大型矿用挖掘机年产量为100~130台；各种步行式挖掘机约为70台；斗轮挖掘机较少，液压单斗挖掘机较多。美国预计从1975年到1985年内所需的11.5米<sup>3</sup>挖掘机由11台增加到57台，平均每年增加5台。

苏联1975年机械式单斗挖掘机生产量为29075台，液压单斗挖掘机产量已达5575台，多斗挖掘机为3695台，到1977年，机械单斗挖掘机生产量为37860台，多斗挖掘机为4160台。

日本机械式单斗挖掘机较少，1973年机械式单斗挖掘机为1736台，液压单斗挖掘机

为 22394 台。到 1976 年，机械式单斗挖掘机为 967 台，而液压式单斗挖掘机增长到 23347 台。

由表 1-2 苏联和美国相比较，可看出苏联产量是占首位。

表 1-2 苏、美两国挖掘机产量比较表

年 代	挖 掘 机 产 量 (台)		
	美国	苏联	苏美产量比%
1960	12873	21622	160
1972	24421	31672	130
1975	25532	35444	157

苏联挖掘机产量增长快。日本是机械式向液压式转化，所以机械式挖掘机产量低，但液压挖掘机增长速度快，所以其挖掘机总产量仍是增加的。

国外挖掘机结构现状：

目前的行走传动是多机独立驱动，由两台电动机分别驱动两条行走履带，其优点是传动线路短，效率高；电机尺寸小，通过性好；单履带驱动转弯方便。而履带支承方式有少支点大直径的支承轮，这种支承结构承载能力高，轮轴钢套距地面高，泥砂不易进入，寿命长。履带架做成箱型。美国布赛路斯-伊利公司产品多用这种结构。有的也采用多支点小直径支承轮结构，这种结构承载均匀、行驶速度高、美国马利昂公司产品应用这种结构。

对于驱动轮，当前采用的长齿面、双键轮的履带驱动轮与一般凸齿驱动轮相比，其承载面积增大了 2.5 倍，并在履带节线上传递扭矩，故其效率高、寿命长。

国外挖掘机应用的推压方式分二种：一是齿轮-齿条推压；一是钢绳推压。但在使用中都注意改进动载荷的影响，例如采用齿轮-齿条推压，配用蜗轮蜗杆减速器，加以电气保护，有的用多条 V 形皮带传动（如 PH2800 采用的）来吸收振动。而钢绳推压，采用单梁圆形免扭斗柄，加上斗柄缓冲垫和采用电气缓冲，同时推压钢绳可以吸收振动，使推压系统中的冲击值比无缓冲装置的低 72%，钢绳寿命延长一倍。目前，把斗柄尾部固定半滑轮改为整体可动滑轮又进一步提高了钢绳寿命。

支承回转装置已由轮式、滚子式向轴承式发展。小型号的挖掘机用多排滚珠轴承式支承装置；较大型号挖掘机用交叉锥柱式轴承式支承装置；特大型号挖掘机仍使用滚子夹套式支承装置，但多采用圆锥形滚子。轴承式支承装置是封闭式的，防污防尘，可自动润滑，传动效率高、寿命长。现在挖掘机多采用定时自动集中润滑系统。

司机室有空气滤清装置，并有隔音、隔热、冷、暖风及恒温装置，机棚为密闭式，空气经过滤清，棚内清洁卫生。

对于电气传动和控制系统，美国采用以下几种：可控硅励磁系统；电动机-发电机组系统；电子变矩技术，即用大功率的可逆可控硅整流装置 SCR 来对直流电机电枢回路励磁，实现了无级调速，可调范围大于 1:50。

日本引进美国技术较多，大部分挖掘机采用可逆可控硅整流装置，对直流电机电枢回路励磁供电。

苏联从 1957 年开始用磁放大器控制系统，现在也开始应用 SCR 励磁系统，但还不是

全面推广。

综上所述，由于 SCR 可控硅供电系统简化了设备，减少电力消耗，减小噪音和振动，改善了电机静、动特性，改善了司机工作条件，所以，虽然它存在着在低转速大扭矩瞬时功率因数低，对电网有干扰的缺点，但在各国仍得到了广泛的应用。

在制造挖掘机使用的材料上，广泛的使用低合金高强度钢。美国用 T-1 型钢及 50-N 钢；日本用 WeLconz Hsuper 钢；苏联采用的是 14X<sub>2</sub>ГMP 和 14XMHDΦP，近年来改用了 14Г<sub>2</sub>CAΦ 钢材。国外挖掘机上也使用合金钢和特殊碳钢，冷拔的棒、管材料也大量应用，例如铲斗应用耐磨合金钢；推压齿轮用含镍高锰钢；大型挖掘机的铲斗刃口用 10B30 硼钢。法国还用 Stellugine730 合金钢堆焊斗齿，使用寿命比新斗齿还长。

轻金属、工程塑料如今在挖掘机中也广泛应用，例如用硬铝制造挖掘机动臂，重量减轻了 30%，塑料轴承也开始应用，提高了耐磨性。

国内挖掘机发展概况：

目前我国生产矿用挖掘机的主要工厂有三家，生产斗轮挖掘机的有一家，它们的产品种类见表 1-3。

表1-3 我国采矿用挖掘机生产厂家和品种

产品类型	生产厂		
	杭州重机厂	太原重机厂	抚顺挖掘机厂
机械正铲	WK-2	WK-4 WK-10	W-4 WD-1200
长臂上装铲		WP3 WP4	
拉铲		WB-4/40	
液压铲	WY-250		
斗轮式	WUD400/700		

1970年~1975年间，我国单斗挖掘机生产没有多大进展，主要是生产4米<sup>3</sup>以下的挖掘机，装备矿山相当于国外40年代的水平，与20~32吨自卸汽车相配套，可装备年产量为100~500万吨/年的矿山。WK-4型采矿用挖掘机已成为矿山主要的挖掘设备。

2米<sup>3</sup>单斗挖掘机是我国中型露天矿主要的挖掘设备，它与8~12吨自卸汽车配套，可以装备产量在30~100万吨/年的露天矿山。

1977年我国研制出WK-10（斗容量为8~12米<sup>3</sup>），WD-1200（斗容量为10~15米<sup>3</sup>）机械式单斗挖掘机，现在正在进行工业性试验。它们的产生使我国在生产大型采矿用挖掘机上有了新的突破，当与100吨级自卸汽车配套时，则可以装备1000万吨/年的露天矿山。

斗轮式挖掘机由天津工程机械研究所与杭州重机厂合作研制成功，亦在进行工业性试验。我国近几年矿用挖掘机生产量增长不大，表1-4表明我国挖掘机增长情况。

上述采矿用挖掘机的产量与斗容量已经满足我国当时矿山的需要。目前我国采矿用挖掘机生产不论是斗容量、数量都不适应露天矿山发展要求。

我国研制的WK-10及WD-1200采矿用挖掘机比原有挖掘机水平有所提高。WK-10机械式单斗挖掘机是太原重机厂生产的。斗容量分为8、10、12米<sup>3</sup>三种，它适应挖掘矿石、软岩及煤炭。整个机器为多机独立驱动，行走机构为双机独立驱动，两台驱动电机装在底架后端，分别驱动两条履带；支承回转用锥形滚子式；工作装置为双梁外插式斗柄，

表1-4 矿用挖掘机产量增长情况

年份	型号 台数	WK-2	WY-250	WK-4	WK-10	WD-1200	WP-4	WUD
		2米 <sup>3</sup>	2.5米 <sup>3</sup>	W-4 4米 <sup>3</sup>	10米 <sup>3</sup>	12米 <sup>3</sup>	4米 <sup>3</sup>	400/700
1973		5		50			2	
1974				31				
1975				41				1
1976				14				
1977(1-9月)			2	29	2	1		1
合计		5	2	165	2	1	2	2

齿轮—齿条推压；斗柄、动臂用低合金高强度钢 15MnV 制成；铲斗斗底加了带式制动器型的减振装置；司机室设有风冷半导体空调除尘装置，司机室密封，冬暖、夏凉，工作舒适；有密封的空气清洁的机棚；整个机器的离合器全部采用气动，配有完善的压气系统；各润滑点由统一的润滑系统供油润滑。

行走底架传动部分集中在下梁一端，在底架下部无任何传动件，便于检修时拆卸。

动力控制用可控硅励磁。

WD-1200 是抚顺挖掘机厂生产的机械式单斗挖掘机，主要部分已接近美国 280-B 挖掘机水平。其动力控制系统是直流发电机—电动机组，用不可逆可控硅励磁装置，用磁放大器作信号综合去触发可控硅。

行走机构为大直径、少支点的支重轮，支重轮与履带接触为球面，并经淬火处理；回转支承装置为锥柱滚子式；工作装置为圆断面内插斗柄，钢绳推压，并用电气缓冲；司机室美观大方、室内设有暖气、冷气，可冬暖、夏凉，并可保持恒温；机棚为密封负气压式，进入机棚空气经过滤清；操纵系统全为气压操作；机器用干油、稀油自动定时润滑。

从这二台新研制的矿用挖掘机看，我国大型挖掘机生产已达较大斗容量，各部水平已接近世界先进水平。

采矿用挖掘机的发展趋势：

对采矿用挖掘机斗容量发展的估计 采矿用单斗挖掘机国外虽然有向大斗容量发展的趋势，但是很缓慢。目前国外最大的露天矿，其总采剥量在 5000~10000 万吨/年，使用 15.2 米<sup>3</sup>的单斗挖掘机已是很合适的，配备 200 吨级自卸汽车已足够用。虽然生产了 20 米<sup>3</sup>以上的挖掘机，如 ЭКГ-20 (苏联)，PH5700 (美国，长臂斗容量为 19 米<sup>3</sup>，短臂为 38 米<sup>3</sup>)，但是使用的不多。目前稳定在 20 米<sup>3</sup>的斗容量上。

在国外 15.2 米<sup>3</sup>挖掘机生产能力已达 1200~1500 万吨/年，所以，大型金属露天矿使用挖掘机台数不多。如果再采用更大斗容量挖掘机，会造成设备过大，投资过多，又因挖掘机寿命长更新设备不容易，加上维修停产损失较大，所以不宜采用更大斗容量的挖掘机。今后向大斗容量发展仍是缓慢的。

对单斗挖掘机向液压化发展的估计 最近以来，各国小型挖掘机向液压化发展很快，大型的则发展不快，或者说发展不大。这主要是受到大型液压挖掘机制造精度高，维护保养复杂，故障不易发现，现场维修困难，故障率高，以及受矿用挖掘的特别要求所限制。另外中小型露天矿山采用前装机较多，也影响了矿用液压挖掘机的发展。所以，今后特大

型挖掘机向液压化发展由于受到液压元件的限制不会太快。大型挖掘机仍以机械式为主。

挖掘机在结构上的发展 挖掘机自问世到现在其结构变化不大。直到最近几年,美国马利昂公司,试生产了具有独特工作装置的挖掘机,1973年首批在梅萨比矿区,塔克尼托福铁矿试用,实践证明它的切削力大,可使斗容量提高33%,重量轻,惯性小,作业周期短,装满系数可提高15~20%,生产率也提高了。其结构示意图于图1-1中。

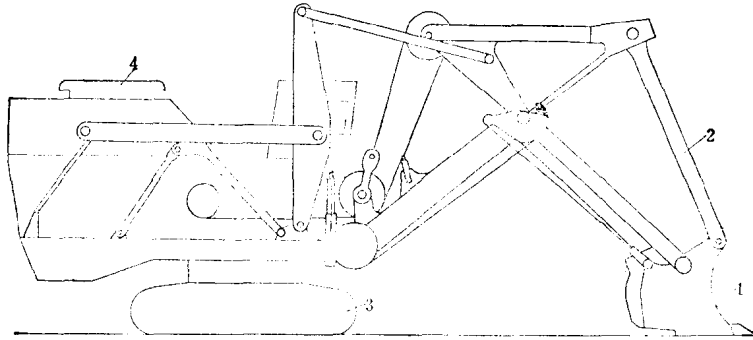


图1-1 194-M-MK-1 挖掘机结构示意图

这种结构取消了动臂和斗柄,采用连杆机构,提升和推压机构放在机器后部,使整机平衡得到改善,与原来型式单斗挖掘机比较有以下特点:由于连杆机构为活节,对于挖掘侧向力形成的扭力,只能造成连杆的张力,而不会产生弯曲;斗齿在挖装时,可平行于底面,故其清底平整;由于斗子可绕斗柄连杆转动,切削时,斗齿近似平行地面,斗齿磨损较轻;不论挖掘任何部位矿体,挖掘力与速度能很好地配合一致,故挖掘效率高;在低阶段工作面,一开始可以装满斗子,所以装满系数高;由于斗可以倾斜,它的切削力可以控制调整。

这种挖掘机也具备了装载机工作特点。

实际试验,这种新型挖掘机194-M-MK-1(16米<sup>3</sup>440吨重)、204M-HR-1R(20米<sup>3</sup>529吨重)的挖掘力提高了2.5倍,相当于工作重量的40%,它的装车定位性好,是一种很有发展前途的挖掘机。

工作装置液压化问题 随着斗容量的增加,机重增长很多,如8米<sup>3</sup>挖掘机机重370吨,12.5米<sup>3</sup>挖掘机机重达680吨,这样需要大量钢材,能量消耗也增加很多。另外,由于挖掘机运动学分析知道,挖掘比较高的阶面,在斗齿上不能产生更大的切削力;对于倾斜矿层的清理根底,向装载车中卸载高度偏小,都是现时挖掘机的缺点,这些在液压挖掘机中得以克服。苏联对矿用挖掘机的工作装置采用液压化,生产了ЭГ-12型挖掘机。

在电力拖动及控制方面 节省资源,节省劳动力,节省能量是经济建设的普遍要求。挖掘机采用可控硅,其体积小、重量轻、效率高。对于直流电动机,感应电动机用可控硅调压调速,已应用到挖掘机上;今后是交流变频调速,用以代替调压调速的机会增多;利用高频逆变器的超高速旋转,利用可控硅斩波器的调压,由于研究了高性能的可控硅元件而开始应用于实际,挖掘机应考虑这方面的应用问题。

应用可控硅可以做到维修简单,减少维修保证无故障运行,所以应考虑应用诊断技术,来达到故障诊断和预防性维修的目的。

最近几年出现了电气传动向交流发展的趋势。提出了可控硅变频的同步异步机传动及无换向器电动机。目前交流调速技术已成为各国的中心议题。

高性能的交流调速传动，都是用静态电子开关来取代直流电动机的机械换向器，所以它的发展与电子器具发展密切相关。集成电路的应用使交流调速传动发展出现一个飞跃，保证了交流传动复杂的调速控制系统的可靠性。挖掘机制造行业对此也应给以足够的重视。

### 三、机械式挖掘机的用途和类型

#### (一) 用途

单斗挖掘机主要用于土方施工中的挖土工作；矿山工程中的剥离表土工作；采掘矿石和装载工作中。

多斗连续挖掘机用于土方工程中取土；露天矿中剥离表土及对软岩、褐煤层的直接开挖工作。

拉铲挖掘机主要用于露天矿表土剥离及大型土方施工中挖土工作。

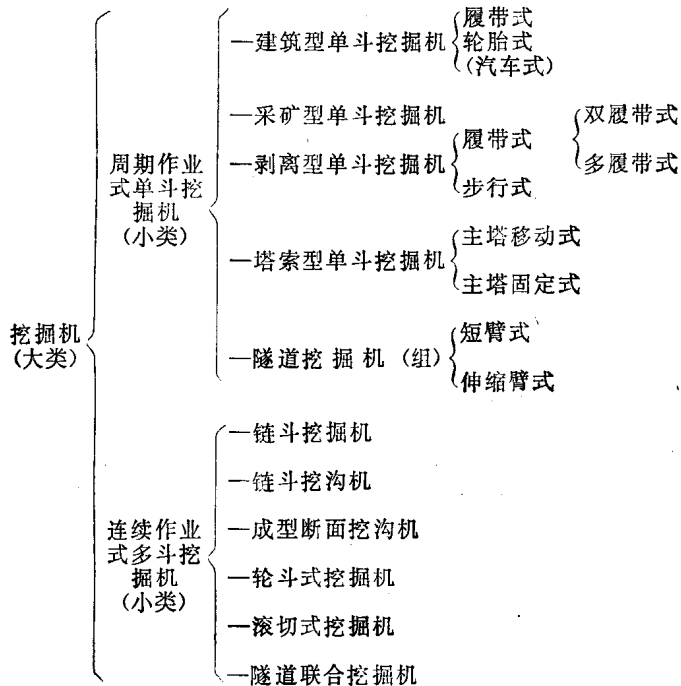
据统计，在土方施工中约有 55~60% 的工作量是用挖掘机完成的，主要的是单斗挖掘机。

单斗挖掘机的工作装置，可以更换为其它类型的工作器具使其成为起重机、打桩机、土壤夯实机、叉取机、装载机、抓铲、反铲机等。

矿用单斗挖掘机主要是机械式单斗正铲挖掘机，用来装载已爆破好的矿石。

#### (二) 挖掘机的分类

挖掘机按工作特点分为周期式和连续式两类，前者为单斗挖掘机，后者为多斗挖掘机（包括斗轮式、滚切式、铣切式）。根据国家标准，按用途与结构特征分类，挖掘机可分为：



目前也有按传动方式分为液压传动和机械传动或者混合式传动。

也有的把可更换工作装置的挖掘机称为万能式或通用式，不能更换工作装置的称为专

用挖掘机。

### (三) 各种单斗挖掘机的特征

1. 建筑类型单斗挖掘机 此类挖掘机多是小型挖掘机，同时可更换工作装置，并以反铲工作装置为主。发动机多为柴油机。行走装置可用履带式（多支点小直径支重轮）及轮胎式，行驶速度快，能远距离自行。机体低、重心亦低，运行稳定，通过性好，接地比压小，操纵多用液压或气压。适用于挖掘 I~IV 级土壤。现在这类挖掘机已向全液压化发展，其斗容量较小，我国产的多在 2 米<sup>3</sup>以下。

2. 采矿用挖掘机 矿用挖掘机主要用于露天矿的挖掘和装载。工作对象如为表土则可直接挖取，如为矿石则需爆破后再用挖掘机挖取装载。此种挖掘机一般只配有正铲工作装置。矿用挖掘机自行距离短，行速低，多用电力拖动，工作时接临时电缆，驱动有直流电动机和交流电动机两种，目前多用电动机发电机组驱动。矿用挖掘机多是大斗容量的，大部分是单斗机械式，适用于开挖 V~VI 级碎岩。挖掘机接地比压要求不严格，由于运行距离不长，工作场地多经过平整，所以通过性也要求不严格。

目前，矿用大斗容量的全液压挖掘机尚没有问世。

3. 步行式挖掘机 步行式挖掘机的工作装置仅配拉铲，可开挖 I~IV 级土壤，主要用于矿山剥离表土，河道的疏浚和挖掘以及土壤改良等工程中。其特点是行走机构为步行机构。这种步行机构接地比压小，适于在松软、沼泽地面稳定的工作。步行式挖掘机的机体很重，在 160~400 吨之间，比压为 0.8~1.5 公斤/厘米<sup>2</sup>。目前步行式挖掘机斗容量是很大的，最大已达到 220 米<sup>3</sup>，臂长有 300~400 米，大臂用硬铝合金制造。

当前大型迈步式挖掘机已趋向取代正铲剥离挖掘机。它适用深煤层，露天煤矿复盖层厚的矿场。当复盖层超过 30 米，步行式挖掘机比同样剥离正铲挖掘机有较低的一次费用。步行式与正铲相比，则步行式挖掘阻力小，步行式装置保养费低。步行式在挖掘和堆放土壤的灵活性方面，更能满足回土复田的要求。

随着牙轮钻机的发展和爆破工艺的改进，大型迈步拉铲的挖掘能力得到改进，也使正铲剥离多岩石复盖层的优点被它取代。

迈步式拉铲的斗容量，目前在 76.5 米<sup>3</sup>已够用，但仍向较长的动臂、大斗容量发展。

当前，由于拉铲斗容量加大，机器重量增加很大，原来履带行走装置的拉铲受允许接地比压力的限制，逐渐为步行式拉铲所取代。

目前，世界上已有 60 多种不同规格的步行式拉铲。美、英、苏三国是生产步行式拉铲的主要国家，其用量也很大。在 1976 年仅美国使用拉铲达 1100 台，使用较多的是 76.5 米<sup>3</sup>以下斗容量步行拉铲。

### 四、单斗挖掘机的主要工作装置

单斗挖掘机的可更换的工作装置如图 1-2 所示。

图 1-2a 所示是正铲工作装置；图 b 是反铲工作装置；图 c 是刨铲工作装置；图 d 是拉铲工作装置；图 e、f 是抓斗及起重装置。我们讲的是单斗挖掘机的正铲工作装置及拉铲工作装置。

单斗挖掘机正铲工作装置的组成及工作特点。

正铲工作装置主要由动臂 1，斗柄 2、铲斗 3，推压轴 4 组成。见图 1-3 所示。

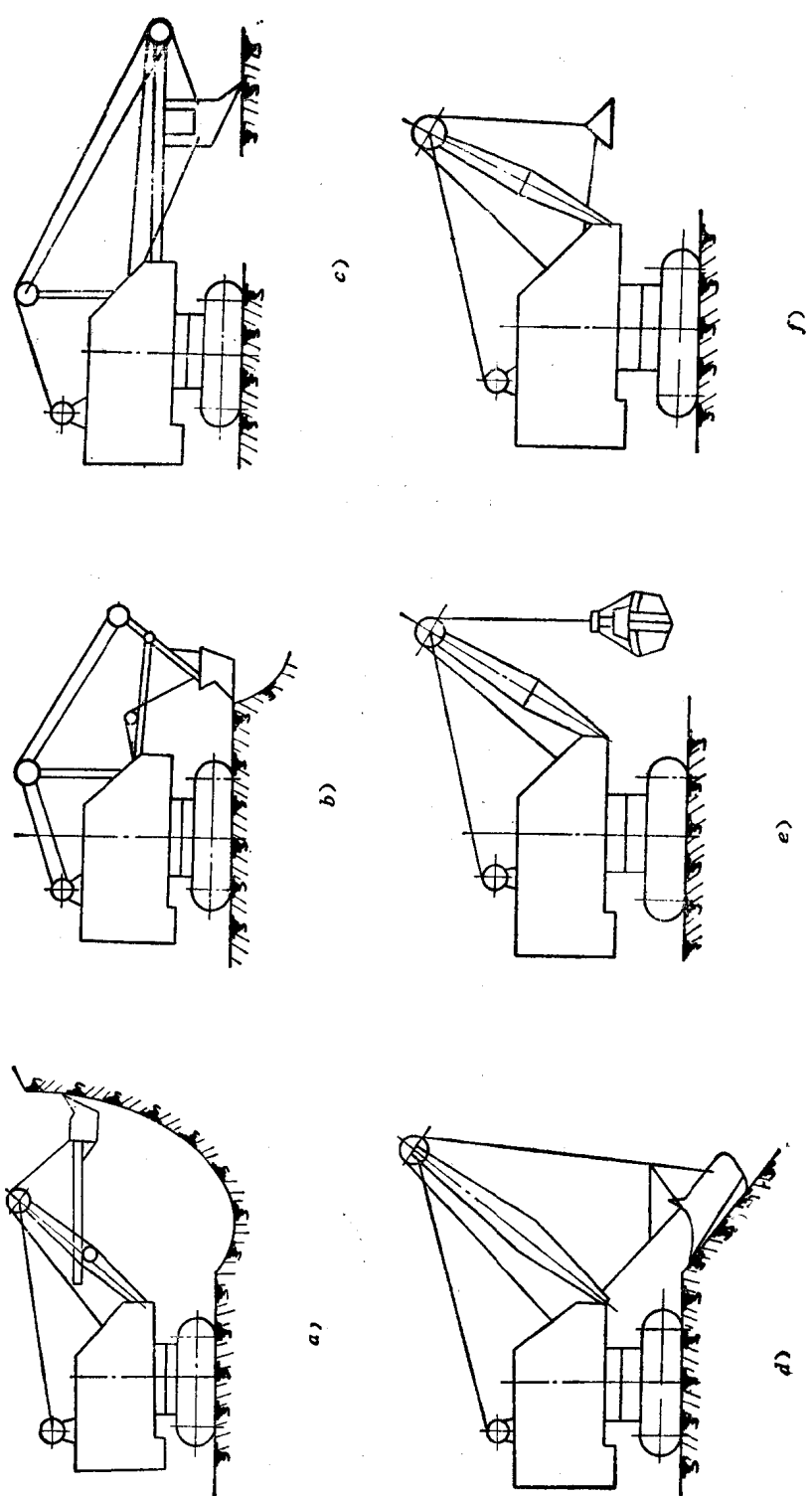


图1-2 单斗挖掘机主要工作装置型式



动臂下端铰接于平台上，上端通过滑轮用变幅钢绳保持其固定位置，调节变幅钢绳长短，可调整动臂的倾角。

铲斗提升靠提升钢绳，下降则靠斗子自重。为保证挖掘，推压轴能够推出斗柄，斗柄也可以绕推压轴转动。

工作时，钢绳提升铲斗，同时推压轴把斗柄推向工作面。铲斗提升与推压同时动作，在运动中使斗子装满矿石，然后离开工作面，回转到卸载处（如装卸汽车处），卸载后再回转到工作面开始下一次的挖掘工作。在工作中可以调节斗柄的伸缩量，以调整铲斗位置，以便挖掘或卸载。卸载是打开铲斗斗底，矿石靠自重卸出。

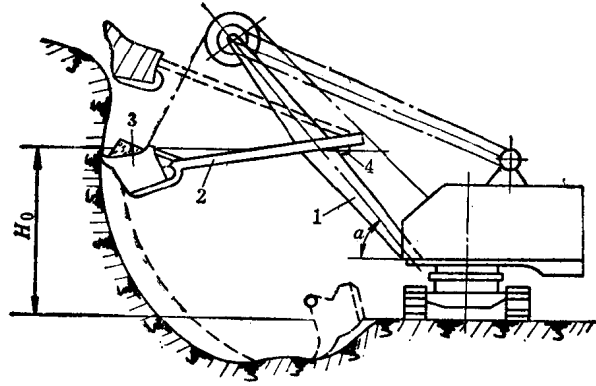


图1-3 正铲工作装置

当挖掘机开始挖掘时，挖掘机靠近工作面，开挖位置在推压轴水平之下，斗前面与工作面交角最大( $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ )，斗齿容易切入，此后斗齿的切入深度由推压轴调节。理想的情况下，斗齿运动轨迹开始时一段几乎水平，要求斗柄以较大速度外伸，随着铲斗的升起，推压速度逐渐低下来，待到斗齿达到推压轴高度( $H_0$ )时，推压速度为零，此时提升钢绳拉力几乎保持定值。然而大部分单机驱动的挖掘机（多属建筑型）的推压速度调节范围不大，所以工作中推压机构要时开时停，以保持挖掘机功率合理的使用。司机要根据发动机负荷情况，调节切削土壤深度，保持发动机即不超载灭火，也不负荷不足。

挖掘机在一个停机点，可以通过斗柄伸出长短不同，挖取若干层弧形土体。若土质均匀，各层次之间挖掘曲线相似，土体厚度在 $0.1 \sim 0.8$ 米之间。当斗柄不能再伸长时，才把机器向工作面移近一次。斗柄伸出长度，一般不超过斗柄全长的 $2/3$ ，如果全部伸出斗柄，受力仍保持正常工作的大小，挖掘时会使挖掘机失去稳定性。要注意降低推压速度，以免斗柄尾与斗柄座相碰。斗柄全伸出工作，斗柄提升力不足，铲斗装不满，故挖掘机向工作面移动一次等于斗柄伸出行程的 $0.5 \sim 0.75$ 倍为宜。

挖掘机回转为运载过程，回转角度决定于工作面与卸载位置的关系，一般在 $90 \sim 180^{\circ}$ 。当角度大于 $160^{\circ}$ 时，往往沿一个方向转 $360$ 度回到原来位置，这样可以减少回转加速的时间，降低能量的消耗，这是全回转挖掘机的主要特点。

对于正铲工作装置，从挖掘结束位置到卸载位置，可以使斗子提升运动与回转运动同时进行。因此提升速度、推压速度与回转速度之间必须保持一定的关系，通常是以平台回转 $45^{\circ}$ 时，铲斗能从最低位置（工作面底部约为推压轴高的 $1/5$ 处）提升到平均卸载高度和卸载半径为计算依据。

回转时间占挖掘工作时间一半以上，对生产率影响很大。缩短回转时间，受加速度及机器对地面粘着力的限制，一般角加速度 $\varepsilon_{\max} = 0.06 \sim 0.7$ 弧度/秒<sup>2</sup>，最大角速度 $\omega = 0.15 \sim 0.75$ 弧度/秒。

正铲工作装置卸载与回转行程可能有部分行程同时进行。对车辆卸载要严格控制，行