

高等学校教材

机械式挖掘机设计

(修订本)

吉林工业大学 阎书文 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

高等学校教材

机械式挖掘机设计

(修订本)

吉林工业大学 阎书文 主编



机械工业出版社

本书是根据高等学校矿山机械专业教材编审小组扩大会议制定的《机械式挖掘机设计》教材修订大纲修订的。

本书在修订时力求反映国内外挖掘机设计的新水平；系统地介绍了挖掘机的工作原理及理论基础，挖掘机新型结构及现代设计方法，挖掘机的总体设计、部件设计及参数计算，主要构件的受力分析及强度计算，挖掘机的专用离合器、制动器的结构形式和强度计算。此外，本书还提供了大量数据供设计人员选用。

本书除了作为高等学校矿山机械本科教材，也可作为相近专业的教学参考书，还可供本行业设计人员参考。

机械式挖掘机设计

(修订本)

吉林工业大学 阎书文 主编

责任编辑：林松 版式设计：张世琴
责任印制：王国光 责任校对：肖新民

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 $17\frac{3}{4}$ ·字数 437 千字

1982年2月北京第一版

1991年5月北京第二版·1991年5月北京第三次印刷

印数 6,801—8,600·定价：4.65元

ISBN 7-111-02636-5/TH·263 (课)

再 版 前 言

本书是根据高等学校矿山机械专业教材编审小组扩大会议制定的《机械式挖掘机设计》教材修订大纲修订的。

根据教学大纲规定，本课程学时为50学时，故对本书第一版进行了精简。

本书在修订时力求反映出国内外挖掘机设计的新水平，系统地介绍了挖掘机的工作原理及基础理论；挖掘机的新结构、现代设计方法；挖掘机的总体设计、部件设计及参数计算；挖掘机主要构件的受力分析及强度计算；挖掘机的专用离合器、制动器结构原理及强度计算。此外，本书提供了大量数据可供设计中选用。

修订本书时，考虑到斗轮挖掘机在我国的设计开展的情况，对斗轮挖掘机的结构和设计方法、基本理论也做了较全面的介绍。

本书除了作高等学校矿山机械专业本科教材外，亦可作为相近专业的教学参考书，还可以供本行业设计人员、科研人员参考。

本书由吉林工业大学阎书文主编，东北工学院靖德权主审。本书第一、四、五章由阎书文编写，第二、三章由东北工学院王久聪编写，第六、七章由吉林工业大学王振东编写。

抚顺挖掘机厂孙昌同志、辽宁建筑工程学院程东育同志、吉林工业大学党国忠同志及边晓光同志参加了本书的审稿工作，并提出了许多宝贵意见，编者在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在问题和错误，恳请读者提出批评指正。

编者1989、8

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
§ 1-2 挖掘土壤的基本理论	11
第二章 单斗挖掘机的总体设计	23
§ 2-1 总体设计和整机参数的确定	23
§ 2-2 单斗挖掘机工作装置结构分析	43
§ 2-3 单斗挖掘机的动力装置	56
§ 2-4 传动系统方案的选择与分析	64
§ 2-5 辅助装置	68
§ 2-6 总体布置	75
第三章 单斗挖掘机主要机构设计计算	78
§ 3-1 提升机构的计算	78
§ 3-2 推压机构的计算	80
§ 3-3 回转机构的计算	83
§ 3-4 行走机构的计算	89
§ 3-5 单斗挖掘机的平衡及稳定性计算	108
§ 3-6 单斗挖掘机的生产率计算	113
第四章 单斗挖掘机主要零部件的设计计算	116
§ 4-1 工作装置的设计计算	116
§ 4-2 回转平台的设计计算	130
§ 4-3 支承回转装置的设计计算	143
§ 4-4 履带行走装置部件强度计算	155
第五章 典型零部件的设计计算	158
§ 5-1 制动器的设计计算	158
§ 5-2 离合器的设计计算	182
§ 5-3 卷筒的计算	218

第二篇 多斗挖掘机

第六章 概论	227
§ 6-1 多斗挖掘机概述	227
§ 6-2 挖掘过程及挖掘阻力计算	233
第七章 多斗挖掘机参数计算	246
§ 7-1 工作装置参数计算	246
§ 7-2 支承回转装置参数计算	257
§ 7-3 行走装置参数计算	262

IV

§ 7-4 提升机构的参数计算	269
§ 7-5 多斗挖掘机的稳定性计算	273
§ 7-6 多斗挖掘机生产率的计算	276
参考文献	279

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、挖掘机在露天矿开采中的地位与作用

钢铁与有色金属是国民经济建设的重要物质基础，矿石是金属材料生产的原料，要增加金属的生产量，就必须提供大量的矿石。为了发展工业和提供充足的能源，必须大量开采煤炭。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，而露天矿开采正适合这种自然条件，所以露天开采发展迅速。

开发和建设大型露天矿山，关键是发展大型露天矿成套设备，只有研制和使用先进的技术装备，才能充分发挥出露天矿经济效益高的优势。

70年代末和80年代初，国外投产和正在建设年产1000万t级以上的大型金属露天矿山约有70个，其中年产原矿4000万t级以上的就有20个。美国最大的明塔克露天铁矿，年产5700万t铁矿石；大型露天煤矿生产规模已发展到年产量为2500~4800万t。

我国矿藏资源丰富，多适于露天开采，仅铁矿藏一项就有65%适于露天矿开采。但是，由于露天矿开采装备能力较低，大型露天矿少，年产量约在1000万t级以下。“七五”规划期间，中、美合资经营的平朔露天煤矿年产量已达1500万t。

1985年我国露天矿开采的铁矿产量为12361万t，占铁矿石总产量的90%；有色金属矿石露天开采的矿石产量为5380万t（仅指有色总公司所属矿山）占全国总产量的35%；部属露天煤矿煤炭产量为1693万t，占全国总产量的2%。可见我国在对有色金属和煤炭资源进行露天开采的潜力很大。

世界各国经验证明，露天采矿由于可以采用大型采矿设备，故产量大，适应对矿物日益增长的需求量要求；露天开采比井下开采效率高5~10倍，而成本低1~2倍；基本建设速度快1倍，容易实现自动化采矿，生产安全、回采率高，经济效果好等优点。

目前，国内外大型露天矿山开采工艺，主要有间断式、连续式和半连续式三种。间断式开采历史较长，技术发展成熟，它主要应用的设备有钻孔机械、单斗挖掘机、矿用自卸汽车或机车运输，其特点是装载和运输都是间断式作业。连续式开采用于煤矿，主要设备为斗轮挖掘机、皮带运输机、转载机和排土机。半连续式开采应用于深凹露天矿山，其特点是挖掘装载工作是间断的，而后部运输是连续作业，其主要设备有单斗挖掘机、汽车、破碎机组、胶带运输机和排土机等。

我国矿山主要采用的是间断式开采，而小龙潭煤矿用连续式开采。

挖掘机是露天矿间断式开采的主要设备，它达到完全机械化、效率高。据统计1台 1 m^3 单斗挖掘机在IV级土壤中挖掘工作相当于400人的劳动量；而一台日产量为 20万 m^3 的斗轮挖掘机可代替5~6万人的劳动量，可见其惊人的生产能力。

我国露天矿开采规模小，技术水平较低。目前小型露天矿主要设备是孔径为 $150\sim 200\text{ mm}$ 的潜孔钻机和部分孔径为 $250\sim 310\text{ mm}$ 的牙轮钻机，斗容量为 $3\sim 4\text{ m}^3$ 的单斗挖掘机，载重量为15、20、27.5 t的自卸汽车。而年产量在1000万 t级的露天矿配套设备有 $250\sim 310\text{ mm}$ 孔径的牙轮钻机，斗容量为 $10\sim 16\text{ m}^3$ 单斗挖掘机和载重量为100 t的电动轮自卸车。对于生产量大于1000万 t级到1500万 t级露天矿山主要采用孔径为 $250\sim 310\text{ mm}$ 牙轮钻机， $16\sim 23\text{ m}^3$ 单斗挖掘机和载重量为100~150 t的电动轮自卸车。

根据我国“七五”规划，新建、扩建后露天开采的六大煤矿、四大铁矿和二个铜矿共需要机械式单斗挖掘机 $8\sim 12\text{ m}^3$ 的41台， 16 m^3 的23台， 26 m^3 的26台， 14 m^3 正铲液压挖掘机12台。其它配套有自卸汽车68~108 t的141台，154 t自卸汽车251台。但是，我国挖掘机生产能力远远不能满足这个要求。我国挖掘机行业和工程技术人员，要从产品质量、技术水平和产量上提供合格的产品，尚须做很大的努力。

露天矿开采配套设备中挖掘机是主要设备，在设备投资，经济效益上都起主导作用。

二、国内外挖掘机的生产现状

各国挖掘机的发展，取决于其社会经济状况、经济管理水平、工业技术基础、机械制造能力；也与本国的有用矿物的贮存条件、矿岩性质及所采用的开采工艺有关。

国外挖掘机的发展以美国为最快，不论从斗容量、品种、产量、技术水平、可靠性等，美国皆居领先地位。美国制造大型单斗挖掘机，主要有三大厂商：哈尼斯费格公司、简称为P&H公司，布比赛路斯—伊利公司、简称B-E公司，马利昂动力铲公司。三家公司产品遍布世界各国。三家公司制造的挖掘机代表了美国和世界先进水平。P&H公司生产的挖掘机从小到大斗容量皆有产品，从P&H1400到P&H5700，它们的斗容量由 3.5 m^3 到 40 m^3 。到1983年，P&H2300 (16 m^3)已生产出115台；P&H2800 (23 m^3)生产了81台。P&H5700已应用到露天开采作业中。

马利昂公司生产的单斗挖掘机斗容量由 $6\sim 25.4\text{ m}^3$ ，也生产了 $50\sim 150\text{ m}^3$ 剥离用挖掘机，斗容量为 150 m^3 的挖掘机是世界上最大的挖掘机，斗容量为 132 m^3 步行式拉铲居第二位。该公司制造挖掘机的生产工艺先进，设备、检测技术和手段也较先进、完备，产品生产周期短，生产1台 15.2 m^3 挖掘机从投产到出产品用不到一年时间。

美国第三大生产挖掘机的厂家是B-E公司，该厂生产的挖掘机斗容量由 $5\text{ m}^3\sim 38\text{ m}^3$ 。产品质量和技术水平都高，产品行销世界各国。该厂生产的正铲最大斗容量为 46 m^3 ，而世界上最大斗容量为 168.2 m^3 步行式拉铲也是该厂的产品，该厂还生产了斗容量为 107 m^3 的剥离用挖掘机。

乌拉尔重型机器厂是苏联制造大型挖掘机的主要厂家，在1978年该厂生产了斗容量为 20 m^3 的ЭКТ-20正铲机械单斗挖掘机。

日本的三井造船株式会社、柱友重工业株式会社和神户制钢所分别与美国合作，引进了B-E公司、马利昂公司和P&H公司的挖掘机制造技术，合作生产了大斗容量矿用挖掘机，目前在我国平型露天煤矿使用的P&H2800XP挖掘机一部分是由日本神户制钢所提供的。

我国生产矿用挖掘机始于50年代。第一个挖掘机生产厂家是抚顺挖掘机制造厂，1954年开始生产挖掘机；太原重型机器厂于1960年建成挖掘机生产车间，生产大型矿用挖掘机；长江挖掘机厂于1970年建成，专门生产挖掘机， 1 m^3 挖掘机年产量可达150台。目前我国矿用挖掘机是以机械式为主，其斗容量由 4 m^3 到 23 m^3 ，见表1-1。

表1-1 我国矿用挖掘机生产厂家与品种

型号 类型	厂家	杭州重型机器厂	太原重型机器厂	抚顺挖掘机厂	第一重型机器厂
机械式正铲		WK-2	WK-4、WK-10A P & H2300XP	W-4 WD-1200	P & H2800XP
长臂上装铲			WP3、WP4		
拉铲			WB-4/40		
液压铲		WY-250			
斗轮机		WUD400/700 WUD $\frac{520}{0.07}$ 15			

我国挖掘机生产起步并不晚，但其发展缓慢的原因主要是我国经济发展慢，技术水平低，管理亦不先进造成的。到1976年情况发生了变化，过去生产的斗容量 4 m^3 的挖掘机已不适应采矿规模的要求，因而开始试制大型矿用挖掘机。抚顺挖掘机厂于1977年测绘仿制了B-E 280B型挖掘机，生产了我国第一台斗容量为 12 m^3 WD-1200型挖掘机。同一时期，太原重型器厂自行设计制造了第一台斗容量为 10 m^3 的WK-10型挖掘机，从此我国迈入自产斗容量 10 m^3 挖掘机时代。随着采矿工业的发展，我国从美国P & H公司引进技术，生产了斗容量为 16 m^3 和 23 m^3 的P & H2300XP和P & H2800XP两种大型挖掘机，并投入矿山使用。这二种挖掘机的试制成功，使我国挖掘机制造技术已跨入了世界先进行列。

在露天采矿设备中，液压挖掘机近几年发展较快，这是由于液压技术高速发展为其创造了条件。与机械式挖掘机相比较，其优点是挖掘力大，铲斗可在任意工作面上工作，可把不同的矿物和岩石分开，它与同等生产能力的机械式挖掘机相比较，它的重量轻。

联邦德国、法国、日本、美国和苏联是生产大型矿用液压挖掘机的主要国家。联邦德国的德马克公司、O & K公司是生产矿用液压挖掘机主要厂家。1978年德马克公司设计制造了H241型矿用液压挖掘机，斗容量在 $14\sim 21\text{ m}^3$ ，整机重力 2870 kN ，发动机功率为1325马力。1979年O & K公司生产出RH-300型矿用液压挖掘机，机重 4750 kN ，发动机功率 1730 kW ，斗容量为 22 m^3 ，挖软岩和煤炭时斗容量可增大到 34 m^3 。

进入80年代以来，矿用液压挖掘机发展迅速，日本的小松制作所和三菱公司生产出PC-1500和MS1600型矿用液压挖掘机，其斗容量在 8.8 m^3 到 14 m^3 。1985年三菱、神户制钢所等厂家联合研制了斗容量为 20 m^3 、整机重力约 3800 kN ，发动机功率为 1800 kW 的矿用液压挖掘机。

据不完全统计，在1983年底，联邦德国、法国、日本和苏联四国生产矿用液压挖掘机达1000台，其中斗容量为 $8\sim 14\text{ m}^3$ 的为480台，约占总台数的50%。当前应用最多的是斗容量为 $8\sim 14\text{ m}^3$ 的矿用液压挖掘机。

4

法国生产液压挖掘机的厂家主要是波克兰公司。它生产的600CK和1000CK型液压挖掘机斗容量和整机重力分别为 11.5m^3 、 1200kN 和 11.7m^3 、 1900kN 。这二种挖掘机可以借助伺服系统的动传动装置，在动臂回升时回收能量；在装载和卸载之间将铲斗位置扶正。当需要在地面向前移动时，可使铲斗保持水平，准许铲斗在没振动情况下，随地表面外形移动，还可以回收动臂，便于铲斗清堆。变流量动力系统的变流量液压回路可使各种功能同时动作，亦可单独动作。

日本小松制作所生产的斗容量为 14m^3 ，机重 1600kN 的PC1500型和三菱重工业公司生产的斗容量 12m^3 ，机重 1650kN 的MS1600型液压挖掘机都采用了电子计算机技术。PC-1500型液压挖掘机用微电子计算机控制节能系统；而MS1600型液压挖掘机则用微电子计算机控制操作系统，可使机器无论在什么情况，只用一个操纵杆就能够控制复杂的挖掘作业。

苏联乌拉尔重机厂生产了ЭГ-8和ЭГ-12型液压挖掘机，在此基础上又改进结构生产ЭГ-12A和ЭГ-20型液压挖掘机，其斗容量分别为 12m^3 和 20m^3 ，它们与同等生产能力的机械式挖掘机ЭКГ-12.5和ЭКГ-20相比，生产率提高15%，而金属消耗和能量消耗都降低了1/2。

矿用液压挖掘机最近几年发展较快，但是由于受工作原理和能力限制，目前只是用于采剥矿岩比较软的露天煤矿之中。随着液压技术和液压元件的发展，其应用范围将逐渐扩大。

三、当代矿用挖掘机结构和技术水平

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。而履带支承方式有的采用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P&H2800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。

支承回转装置已由滚轮式、滚子夹套式向轴承式发展。小型挖掘机多采用多排滚珠式支承回转装置；较大型挖掘机采用交叉锥柱式支承装置；特大型挖掘机仍用滚子夹套式支承装置，但多用圆锥形滚子。轴承式支承装置是封闭式的，防污防尘，自动润滑、传动效率高，寿命长。现代挖掘机多采用定时自动集中润滑装置系统。

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

挖掘机在结构上的发展，自问世到现在其结构变化不大。直到最近十几年，美国马利昂公司试生产了具有独特装置的挖掘机，1973年首次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30%，重量轻，惯性小，作业周期短，装满系数可提高

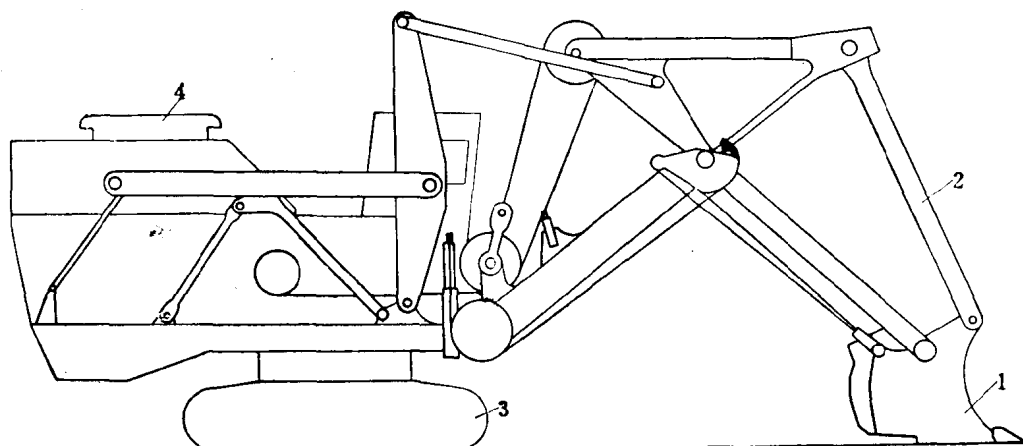


图1-1 194M-MK-1挖掘机结构示意图

1—铲斗 2—连杆机构 3—行走机构 4—发动机

(15~20)%, 生产率也提高了, 其结构示意图于图 1-1 中。

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(16m³、440kN)、204M-HR-1R(20m³、529kN)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。

矿用挖掘机电力拖动系统近几年有所变革, 多年来使用直流驱动电动机的电动机发电机组成的标准系统已逐步扩展为包括静态控制的系统。最近该系统又引进了将交流电转换为直流电的静态式整流器以及交流可变频率系统。目前美国产挖掘机有三种拖动系统。

由拖曳电缆为主交流电动机供电, 交流电动机驱动各部位所需的直流发电机供电, 来驱动各部位的直流电动机。另一种是用变压器把拖曳电缆高压交流电变成低压交流电, 然后再经固态电子系统把交流转换成直流电来供电。直流电动机用简单的晶闸管整流器来控制, 调整电动机枢和磁场输入来达到最佳控制系统。再就是静态交流可变频率系统其中有一台变压器和一台整流器, 将交流降压、整流, 然后变频器再将直流电转换成为所要求频率的交流电供给各部位的交流感应鼠笼电动机, 在后两种控制系统中都装有故障检测器。

交流变频有二种方案: 一是西门子公司宽的脉调制系统(PWM), 另一种是通用电气公司的可控电流系统(CCI)。PWM系统没有电能反馈, 但它比发电机—电动机组的能量效率高9%; 而CCI系统可在各运动环节之间进行能量反馈, 并能使能量返回网路, 它比发电机—电动机组能量效率高13%。

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 Hsup钢, 苏联采用的是14X2ГMP和14XMHDΦP, 近年来改用了

14Г2САΦ 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。

现代挖掘机制造工艺的特点是进行严格的工艺管理和质量控制，加工要严格按工艺规程进行，执行首件必检，批量抽检。精密传动件用专用仪器检查；加工刀具，如剃齿刀、滚刀经检查后方可使用；铸件要经严格检查，并经过抛丸处理。

焊接件在下料前须经抛丸处理除锈，用计算机控制的多头自动气割机或光电跟踪机切割下料。各种管接头也用自动气割机切割。焊接均用 CO₂气体保护焊，另有埋弧自动焊。厚和特厚钢板用电渣焊，对各种大型构件都有焊接装备。其发展是以焊代铸。

齿轮用硬齿面，经热处理后要进行磨齿。我国引进的 P & H 公司产品多是硬齿面；而马里昂产品采用软齿面，仅进行调质处理不进行表面淬火。

大型结构件：动臂、斗杆、底架都进行焊后退火处理，卷筒绳槽、滑轮绳槽都进行火焰表面淬火。

四、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，矿用单斗挖掘机国外虽有向大斗容发展的趋势，但很缓慢。目前国外最大露天矿其总采剥量在5000~10000万 t/年，使用了15.2m³单斗挖掘机已很合适，配备200 t级电动轮自卸车已足够用。虽然已生产了20m³以上的挖掘机如 ЭКГ20（苏联），P & H5700（美国长臂斗容为19m³，短臂为38m³）但使用的不多，目前稳定在20m³左右斗容量上。

在国外，15.2m³挖掘机生产能力已达1200~1500万 t/年，所以大型金属露天矿使用台数不多。如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，加上维修停产损失大，所以不宜采用更大型斗容挖掘机，今后向大斗容量发展是缓慢的。

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 m³ 挖掘机机重 370kN 12.5m³挖掘机机重达680kN，这样需要大量钢材，能量消耗也增加很多。另外，由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，向装载机中卸载高度偏小，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。

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，以及受矿用挖掘机的特别要求所限制。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。

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。挖掘机采用晶闸管，其体积小、重量轻、效率高。对于直流电动机，感应电动机用晶闸管调压调速，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。

交流变频调速，首先在 B-E 公司的 295-B II 型挖掘机上应用，其能量效率高达 90% 以

上, 估计在今后近期内大型矿用挖掘机将采用交流变频系统。

五、机械式挖掘机的用途和种类

(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。

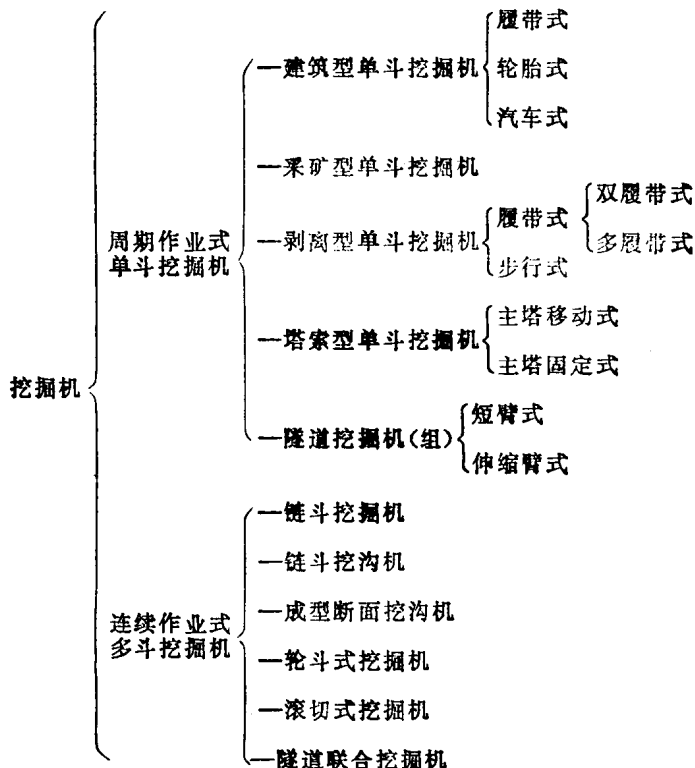
据统计, 在土方施工中有(55~60)%的工作量是用挖掘机完成的, 主要是单斗挖掘机。

单斗挖掘机的工作装置除正铲装置外, 可以更换不同的类型装置成为起重机、打桩机、土壤夯实机、叉取机、装载机、抓铲及反铲等。

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的。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 2m³ 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。

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 ~ 400kN 之间，比压为 $(8 \sim 15) \times 10^4 \text{N/m}^2$ 目前步行式挖掘机斗容量是很大的，最大已达到 220m³，臂长有 300 ~ 400m，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，露天煤矿覆盖层厚的矿场。当覆盖层超过 30m，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覆盖层的优点被它取代。

迈步式拉铲的斗容量，目前在 76.5m³ 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 76.5m³ 以下斗容量步行拉铲。

六、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图 1-2 所示。

图 1-2 a 是正铲工作装置，b 是反铲工作装置，c 是刨铲工作装置，d 是拉铲工作装置，e、f 是抓斗及起重装置。这里主要讲正铲工作装置及拉铲工作装置。

正铲工作装置的组成及工作过程

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。

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，调节变幅钢绳长度可调整动臂倾角。

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

工作时提升钢绳提升铲斗，同时推压轴把斗柄推向工作面。铲斗提升与推压同时动作，

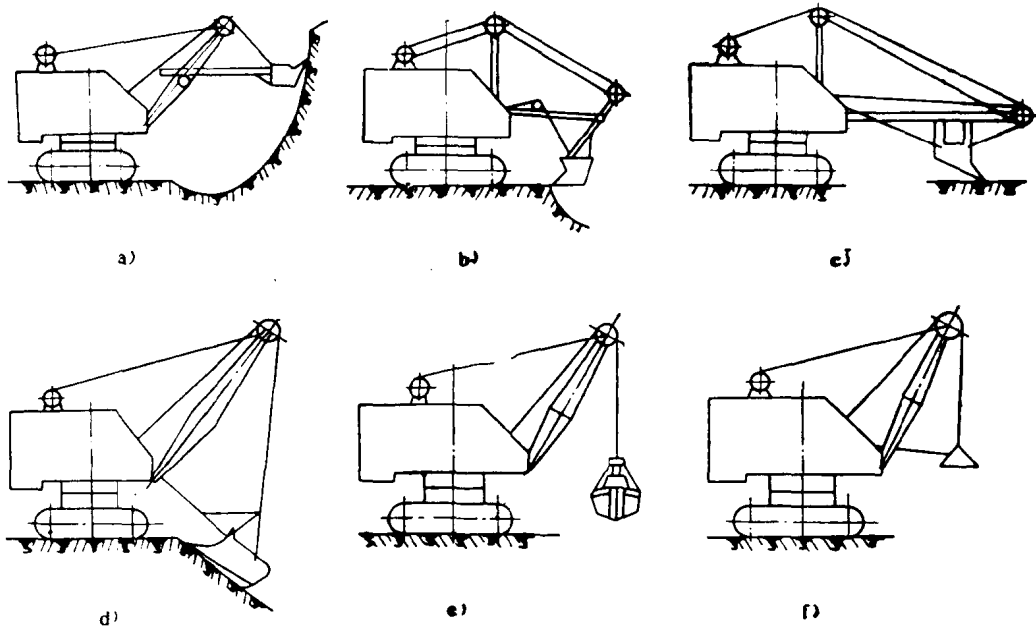


图1-2 单斗挖掘机主要工作装置型式

在运动中使斗子装满矿石，然后离开工作面，回转到卸载处卸载，然后再回转工作面，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，完成挖掘或卸载工作，卸载是打开铲斗底，矿石靠自重卸出。

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时，推压速度为零，此时提升钢绳拉力

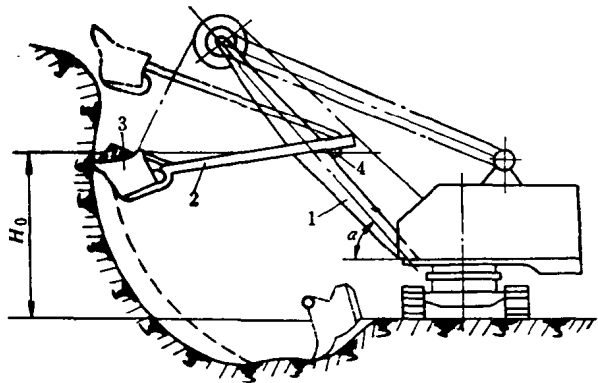


图1-3 正铲工作装置

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，保持发动机既不超载灭火，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 $0.1 \sim 0.8 \text{ m}$ 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0.5~0.75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，一般为 $90^\circ \sim 180^\circ$ 。当角度大于 160° 时，往往沿一个方向转 360° 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° 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 $e_{\omega} = 0.06 \sim 0.7 \text{ rad/s}^2$ ，最大角速度 $\omega = 0.15 \sim 0.75 \text{ rad/s}$ 。

正铲工作装置卸载与回转行程可能有部分行程同时进行。对车辆卸载距离要严格控制，行程仅在几十厘米之内；对弃土堆卸载无严格要求。

铲斗容量与运载汽车容量之比在 $4:1 \sim 3:1$ 之内为好。

卸载完毕，斗子离开汽车上部再开始下降，下降速度由工作面尺寸而定，下降运动由制动器来控制。

拉铲是铲斗与动臂支持部件用钢绳连系的工作装置。它适用于露天矿剥离表土及土方工程中挖土，也适用于挖掘软土、湿土及水下砂土，所挖工作面在停机面以下，工作范围较大。

拉铲工作装置如图1-4所示。它由动臂4、铲斗1、钢绳2、滑轮3组成。动臂倾角在工作时为 $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ ，铲斗的上部和前部是开露的，工作时靠牵引绳6和提升绳2来控制。

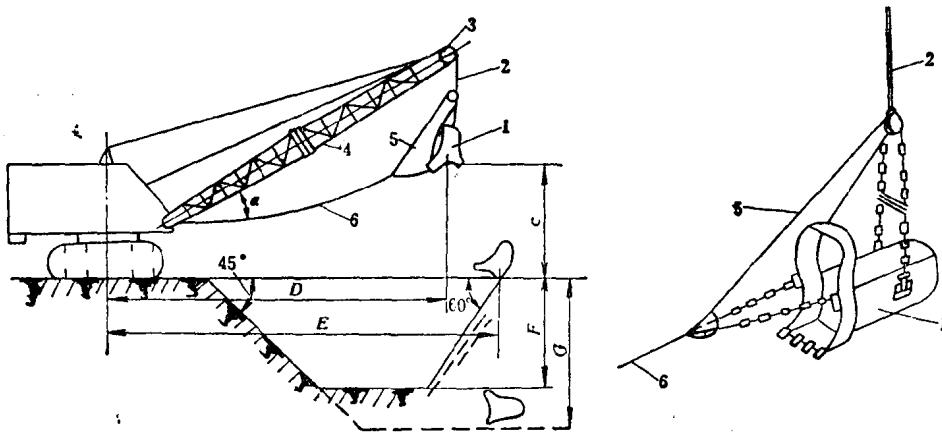


图1-4 拉铲工作装置

挖掘时，铲斗被抛掷到工作面，抛出幅度利用铲斗摆动（或靠平台回转时离心力作用）时下降速度来调节。斗落入工作面，插入土中，在斗自重及牵引绳6的作用下进行挖掘，待铲斗装满土后，提升绳将铲斗提起，此时牵引绳仍在拉紧，通过卸载钢绳5使铲斗保持在水平位置。转向卸载处后，放松牵引绳，斗子在自重作用下倾翻卸载。

拉铲开挖深度可达臂长的0.5~0.6倍。一般挖的土壤都在周围堆弃，挖完一段工作面后，

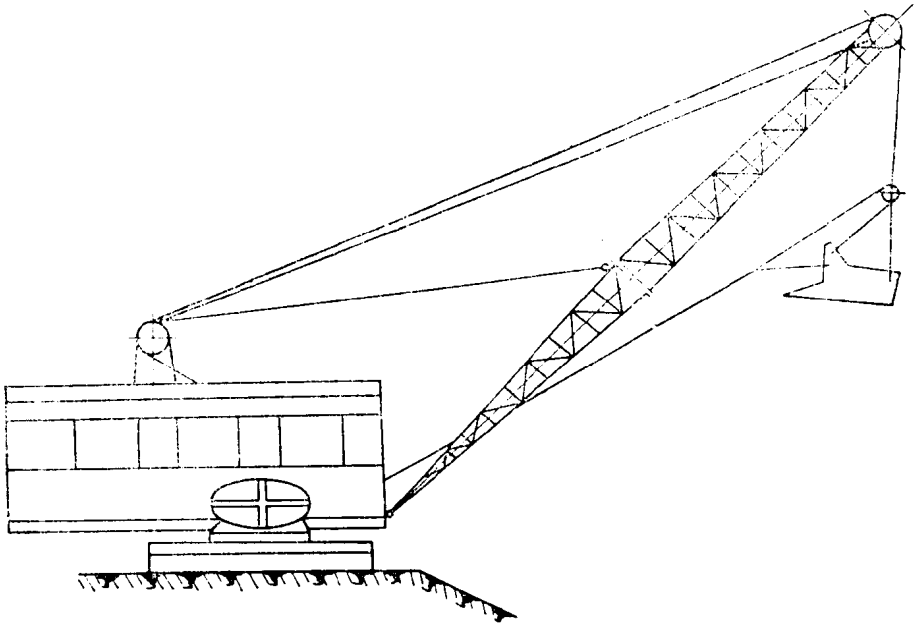


图1-5 步行式拉铲

机器移动0.2~0.4倍的臂长距离，再开始挖新工作段。拉铲工作装置由于是挠性连接，其工作精确性低，但挖掘的深度和半径都大。

步行式拉铲见图1-5所示。

§ 1-2 挖掘土壤的基本理论

一、土壤的物理、机械性质及其分类

土壤（这里包括松散岩石与软岩）是挖掘机的工作对象，也是机器的支承面。所以，土壤的物理、机械性质及状态，对于挖掘机的工作有很大影响。在设计挖掘机时必须对土壤有充分了解，应该研究在铲斗切割下土壤破坏的规律性，掌握铲斗形状与土壤切割阻力的关系及铲斗与土壤在切割时的作用力与反作用力的关系。

土壤的主要物理、机械性质及其工程分类（这里仅指与挖掘机工作有关的性质）：

1. 土壤的密度 ρ 和松散系数 K 。

密度 ρ 是指单位体积内土壤的重量。它分为在自然状态（没松散的实体状态）下的容积重量 ρ_n 和松散状态下的容积重量 ρ_s 。挖掘土壤的土方量都是根据自然状态时计算的。

同一重量的土壤，松散后的体积 V_s 和原来实体体积 V_n 之比称为松散系数，以 K 表示。

$$K_s = \frac{V_s}{V_n} \geq 1$$

松散系数 K 是确定挖掘机生产率的重要因素，其值不仅决定于土壤的级别，也决定于斗容量的大小。各级土壤的松散系数见表1-2。

2. 自然静止角

松散的土壤自高处落下自然形成土堆，土堆的坡角称为自然静止角，其角度大小决定于土壤种类及其含水量的多少，一般以角度或土堆边坡的水平投影与垂直投影长度的比率来表