

散货抓斗

畅启仁 编著

人民交通出版社

CANHUO
CANHUO
CANHUO
CANHUO
SANHUO
ZHUADOU

79.786
9200439

散 货 抓 斗

Sanhuo Zhuadou

杨启仁 编著

人民交通出版社

(京)新登字091号

散货抓斗

杨启仁 编著

插图设计：秦淑珍 正文设计：刘小芳 责任校对：刘素燕

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：9.125 字数：238千

1991年7月 第1版

1991年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2000册 定价：9.50元

ISBN7-114-01112-1

TH·00003

内 容 提 要

本书在模型抓斗试验研究及原型抓斗使用实践的基础上,对散货参数与抓斗参数之间影响关系进行了深入研究,阐明了其作用机理,提出了抓斗合理的设计方法,从而使抓斗在满足充填量与工作强度的前提下,极大地提高起重机起重量的利用率。

书中重点讨论了广泛应用于工业及交通运输部门的多绳长撑杆双顎板抓斗(运动学、受力分析、影响参数、抓取阻力、设计步骤等),对耙架式抓斗、剪式抓斗及钳式抓斗也作了充分介绍。此外,还概略地叙述了其它型式的抓斗,例如单绳抓斗、马达抓斗、船吊抓斗等。

本书可以用作有关科研、设计单位及从事散货装卸作业部门设计、使用、维修抓斗的专门用书,也可作为有关专业学生的参考书。

目 录

引言	1
第一章 散货抓斗构造概述	9
一、散货抓斗的发展现状	9
二、抓斗的工作原理及分类	17
三、绳索抓斗	22
四、马达抓斗	70
第二章 多绳抓斗的理论基础	81
一、多绳抓斗的运动学	81
二、多绳抓斗的受力分析	88
第三章 影响抓斗抓取性能的主要参数	101
一、概述	101
二、抓斗自重对抓斗充填量的影响	103
三、物料计算粒度对抓斗充填量的影响	108
四、抓斗闭合滑轮组倍率 n 对抓斗充填量的影响	110
五、对函数 $m_F = K \cdot m_G \cdot e^{-q\sqrt{s}}$ 的讨论	111
六、抓取单位容积(m^3)散货所需的抓斗自重	114
七、选择抓斗主要参数的建议	120
第四章 抓斗的抓取阻力	123
一、刃口切入阻力	123
二、摩擦阻力和推压阻力	139
第五章 散货抓斗容积的确定	155
第六章 长撑杆双颚板抓斗的构造设计	164
一、概述	164
二、同步约束装置	167
三、撑杆	168
四、颚板	172
五、刃口的结构型式	177

六、上承梁与下承梁	180
七、增力滑轮组	181
八、闭合绳导向装置	191
第七章 长撑杆双颚板抓斗的设计步骤	195
一、抓斗自重的确定	195
二、抓斗自重的分配	197
三、颚板宽度 B	197
四、抓斗最大开度 $2L$	198
五、抓斗的其它几何参数	198
六、抓斗颚板的侧面形状	200
七、长撑杆抓斗的设计验算	202
八、长撑杆抓斗设计举例	204
第八章 剪式抓斗的设计计算	207
一、剪式抓斗的受力分析	207
二、剪式抓斗的设计步骤	216
三、剪式抓斗的挖掘曲线与抓货量	218
第九章 钳式抓斗的设计计算	232
一、钳式抓斗的抓取性能	232
二、钳式抓斗的开斗计算	234
三、钳式抓斗的结构设计	241
第十章 多绳抓斗钢丝绳的载荷集合	246
一、钢丝绳拉力的测定	246
二、抓斗工作循环过程中, 钢丝绳拉力的变化过程	246
三、钢丝绳拉力集合	248
四、结论	251
附录一 长撑杆双颚板抓斗参数推荐系列	253
附录二 联邦德国Peiner公司长撑杆双颚板抓斗参数系列	262
附录三 联邦德国Peiner公司剪式抓斗参数系列	271
附录四 散货举例	281
参考文献	282

引 言

抓斗是广泛应用于装卸散货的一种取物装置（近年来还发展了许多用于装卸件货，例如木材、钢锭等的抓具，广义上，它们也应被纳入在抓斗的范围之内）。特别应该强调的是：抓斗不是独立使用的，而是作为起重机械的一种工作机构使用的机具。当给定散货装卸任务之后，也就是确定搬运散货的行程之后，抓斗起重机的装卸效率取决于起重机的起重量与机构的工作速度。经济性良好的装卸作业，要求对起重机的起重量和其应该配备的驱动功率有一个最佳的选择。因为抓斗起重机的装卸效率与抓斗的抓货量密切相关，而且起重机的起重量又须等于抓斗的自重加上其抓货量，所以对设计者提出的重要课题就是如何设计出自重尽可能小，而抓货量尽可能多的抓斗，亦即在考虑使用抓斗的综合经济效益前提下，尽量使抓斗能够获得最大的充填率。这里所说的综合经济效益系指在抓斗的允许使用寿命内，完成的散货总装卸量的产值与抓斗本身的造价相比而言。当设计合理时，抓斗的使用寿命理应与其结构材料的强度，也就是与其自重有关。

抓斗起重机的起重量利用率可由抓斗抓取的散货质量（有效质量）与散货质量加抓斗的自重之比来量度，或者用抓斗的抓取能力系数来衡量抓斗的抓取性能：

抓斗起重机的起重量利用率或称抓斗的抓取能力

$$\eta = \frac{m_F}{m_G + m_F}$$

抓斗的抓取能力系数

$$K = \frac{m_F}{m_G}$$

式中： m_F ——抓斗的散货充填量，t；

m_g ——抓斗的自重, t 。

针对需要装卸的散货种类, 选择最佳的抓斗参数, 精心满足抓斗的强度与刚度要求, 即能获得满意的抓斗充填率, 因而也就极大地提高了起重机起重量的利用率。由于起重机的设备投资是抓斗设备投资的几十倍甚至上百倍, 所以使用质量优良的抓斗, 为降低装卸成本提供了极大的可能性。

充分利用起重机的起重量, 意味着抓斗在抓取散货的正常作业中, 应该以极小的上、下偏差得到给定的充填量(上、下偏差一般取给定充填量的 $\pm 5\%$ 为宜)。一个性能良好的抓斗, 不仅应该具有一个很高的理论充填量, 而且在实际使用中, 确实也能够平均地达到这个充填量。抓斗充填量不足, 将使起重机的装卸效率降低; 而充填过量, 则将使起重机超载。在使用抓斗时, 这些都是不希望的。为了使抓斗抓取散货时能够达到预期的充填量, 首先必须掌握影响抓斗充填过程的所有影响因素的有关知识。这些影响因素主要有:

散货的影响因素: 散货容重、散货粒度及颗粒形状、散货内摩擦角;

抓斗的影响因素: 抓斗的自重及自重分配、抓斗闭合过程中闭合绳拉力的大小及变化、抓斗闭合速度、颚板侧形及底背角、抓斗开度及颚板宽度。

为了揭示上述影响因素对抓斗充填量的影响程度以及它们相互之间的关系, 迄今为止, 常常单独或综合采用下述三种方式进行研究:

(1) 对于粒度比较均匀、分散性良好的细粒物料, 例如砂子、粮食等, 运用土力学理论对抓斗充填过程进行分析处理〔6〕〔7〕〔10〕。

(2) 运用模型抓斗进行试验研究〔5〕〔6〕〔7〕〔8〕〔9〕〔2〕。

(3) 运行原型抓斗进行试验研究〔8〕〔4〕〔6〕〔1〕。

必须指出的是: 即使在目前, 为散货起重机配备抓斗的主要依据是散货的容重, 而很少顾及到散货的粒度。这样做的结

果往往使得抓斗在抓取同类的细粒散货时，充填过量；而在抓取同类的大颗粒散货时，充填不足。但是，如果考虑粒度的影响，则首先必须考虑下述问题：在同一类散货中，粒度增大至何种程度，是使用长撑杆抓斗经济，还是应该改用其它型式的抓斗，例如耙集式抓斗抑或剪式抓斗；在装卸哪些散货时，为使抓斗充满而不必对抓斗的自重提出要求，以致可以推荐采用轻金属制造的抓斗。

为使读者对散货抓斗的现状有较为全面的了解，同时便于博采诸家之长，提出需要研讨的问题，先介绍一下有关专家的研究成果。

自从本世纪之初，德国人Pfahl在他的论文“自动取物抓斗力之分配与抓取过程”（Kräfteverteilung und Greifen bei Selbstgreifern）〔8〕中，阐述了抓斗抓取过程中抓取力与阻力的互相作用与抓斗参数的影响关系以来，迄今已经70多年，其间应用试验方法对抓斗进行机理分析和立足于使用实践改进抓斗结构、开发新型抓斗者颇不乏人。我国自50年代末，从改进船用抓斗开始，同时在理论研究与生产实践两方面做了大量工作，收到了丰硕的成果。

Pfahl〔8〕使用有效容积在 $1 \sim 1.75\text{m}^3$ 之间的煤炭抓斗进行的试验研究，清楚地证实了抓斗自重 m_0 与充填量 m_F 之间存在着密切的关系（图0.1），并且同时得到散货粒度对抓斗充填量具有强烈影响的正确结论，但是Pfahl为理论计算所作的假定却是错误的。

Ninnelt〔4〕复核了马达抓斗的充填率和抓取曲线以后指出：当散货向抓斗充填时，散货容重对充填量仅仅起着次要作用。他力主使抓斗实现所谓的“耙集”工作方式。尽管他较早地认识到散货充填量与散货粒度之间存在着一定的关系，但是当时他对这种关系提得还不够鲜明或者说以后再没有给予足够的重视，所以后来不论是研究工作，还是制造厂家的抓斗产品系列以及由产品系列发展而来的抓斗标准，至今仍然蕴含着两个重大的错误前提：

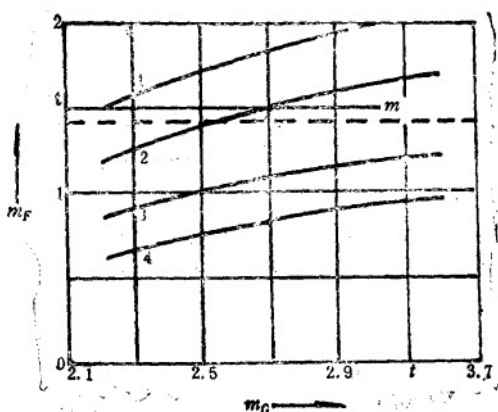


图0.1 煤炭抓斗的充填量 m_F (抓斗额定容积 $1.75m^3$)
散货粒度 1: $0\sim 20mm$; 2: $20\sim 50mm$; 3: $50\sim 100mm$; 4: $100\sim 200mm$

(1) 不考虑散货的物理—力学性质和抓斗闭合时的运动特点,把土力学中的有关定理照搬到颚板和散货的相互作用关系上。

(2) 认为要达到一定的充填量所需的抓斗自重,仅与散货容重有关。

甚至像Niemann(5)这样的著名学者,如果用今天的眼光看来,当初他使用比例为 $1:12$ 的抓斗颚板所做的模型试验,对抓斗的发展似乎是消极作用超过了积极作用。由于他在模型抓斗上设置了水平滑轮组以及在结构设计上的其它一些失误,试验研究得到的结论并不适用于长撑杆抓斗和马达抓斗,倒是完全适用于今天应用的装有水平滑轮组的耙集式抓斗。当然,这样的抓斗首先应该具有一个较大的开度。

Б.А.ТАУБЕР(6)在其著作《抓斗机构》(ГРЕЙФЕРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ)一书中,详细地叙述了他在模型抓斗和原型抓斗上的试验结果,并进行了理论分析,推导出在抓斗自重与充填量

之间存在着几乎是线性的关系。他认为颚板底背角为 $10^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 的平底形颚板是最好的一种颚板侧形。当抓取的散货为细粒的物料时,颚板宽度与抓斗最大开度的比值 Ψ 可以放大到 $0.70 \sim 0.75$ 。尽管他断言,当物料粒度相同且不考虑其容重时,充填量相同。但是他没有能够在理论分析中充分地说明粒度的影响。在计算抓取阻力时,他也以土力学理论中挡土墙的滑移面作为分析问题的基础。

Torke^[7]在联邦德国达姆斯塔特工业大学完成的题为“抓斗在砂中试验时充填过程的研究”的博士论文中,使用了比例为 $1:5$ 的模型抓斗在干燥的细砂中进行了试验,在作理论分析时,他针对黄砂单个颗粒的粒度与作用体一颚板的尺寸相比极小的实际情况,应用了土力学中认为土是连续域的假定,因而得抓斗闭合力及充填量的试验结果与理论计算结果良好的一致性。

作者^[15]在1964年研究煤炭抓斗的充填过程时,应用试验方法证实了Torke所说的滑移面确实也存在于抓斗抓取颗粒细小且均匀的煤炭料堆中。此外,民主德国的Dietrich^[1]也通过试验作出了类似的证明:滑移面出现于闭合过程的初期及中期阶段。当然,在粒度较大的物料中,是不会产生出这样的滑移面的。

Wilkinson^[8]于1963年曾报导了应用模型抓斗在各种不同的物料中的试验结果。当时他也意识到,在缩小比例的情况下进行的这些试验,其实用价值有限。并且指出:试验的结论往往只能表明一种趋向,而不能得到可以付诸实用的绝对数据。图0.2示出了他获得的充填量与抓斗完全张开时覆盖面积之间的关系。令人奇怪的是,Wilkinson当时竟未看到提高颚板宽度与抓斗开度比值对所达到的充填量 m_F 具有特别有效的作用这样一个明显的趋势,结果导致他与Niemann^[5]一样,错误地要求抓斗应该成为具有极大开度的窄型抓斗,并且建议把颚板底背角 α_0 减小到 0° 。这样做当然是成问题的,因为他的模型抓斗在抓取过程开始时,颚板刃口并不是垂直于物料料堆平面,所以单就颚板的底背角而言,和原型抓斗并不相符。

1949年,苏联的И.П.КРУТИКОВ在《双绳抓斗》(ГРЕ-

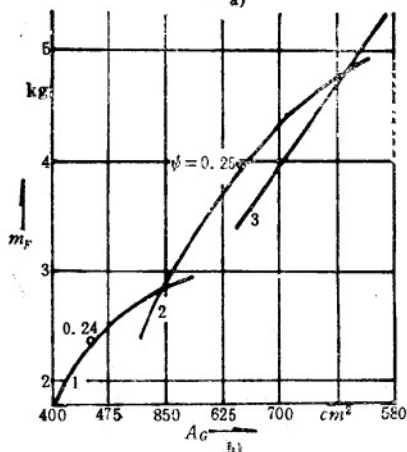
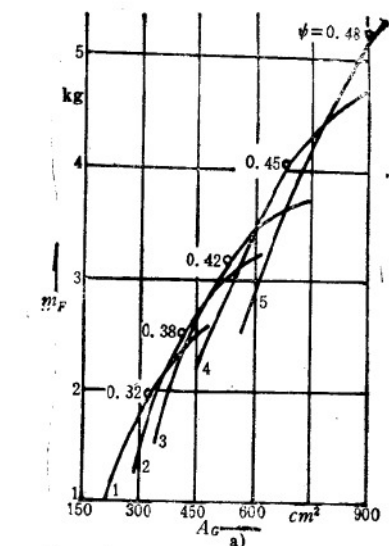


图0.2 当改变颚板宽度与抓斗开度的比值 ψ 时，长撑杆模型抓斗的充填量 m_F 与其张开状态下覆盖面积 A_G 的关系（散货：铁矿石）

a) 长撑杆抓斗，b) 耙集式抓斗

颚板宽度 1: 10.16cm; 2: 12.70cm; 3: 15.24cm; 4: 17.78cm;
5: 20.32cm

ИФЕРЫ ДВУХКАНАТНОГО ТИПА) 一书中, 按照抓取对象把散货抓斗划分为轻、中、重三种类型, 并以煤炭抓斗作为中型抓斗的代表, 确定中型抓斗的抓取能力系数为 1, 即抓斗的充填量 m_F 与抓斗的自重 m_G 相等。那时, И.П.КРУТИКОВ 提出的抓斗设计方法不但在苏联广为流行, 全苏起重机械研究所(ВНИИ-ПТМАШ) 并依此为主要依据制订出苏联的抓斗系列标准, 而且其影响波及我国, 例如大连起重机器厂在 50 年代为鞍钢等企业制造的长撑杆矿石抓斗, 即来自苏联的技术文件。50 年代末期, 苏联日丹诺夫冶金学院的 МАЛЕЕВ 著文批判 И.П.КРУТИКОВ 的抓斗设计思想, Б.А.ТАУБЕР 也出版了自己的著作, 于是在苏联就抓斗研究一时呈现出热烈的“争鸣”局面。

1963 年, И.П.КРУТИКОВ 在民主德国德累斯顿工业大学出版的《科学》杂志上发表了“研究双颚板抓斗受力特性曲线的一个发现”(Ein Beitrag zur Untersuchung der Kraftkennlinie von Zweischalengreifern)一文, 他在研究工作中, 使用了能够把颚板侧板与底板卸下的模型抓斗, 以便在去掉作用于斗体上的其它阻力之后, 把抓斗抓取过程中刃口的切割阻力作为一个独立部分测量出来。由于抓斗在临近闭合时, 刃口附近的物料的运动发生了根本性的变化, 加之抓斗刃口水平收进速度加快, 因而使得试验结果更加具有实证性的意义。

Leikert^[10]的理论分析方法, 由于他在确定抓斗抓取阻力的解析式中进行了多次简化, 例如假定抓斗合成切入阻力作用于刃口之上, 忽略了除进入斗内物料之外其它物料引起的一切阻力, 所以不能足够准确地反映出抓斗的抓取过程。然而遗憾的是直至目前, 许多人在设计抓斗时, 仍自觉或不自觉地应用着 Leikert 的观点与分析方法。

最后谈谈我国在研究抓斗方面的情况。早在 60 年代初期, 孙鸿范教授和肖乾信教授都曾对苏联的抓斗设计理论提出质疑, 并且应用模型抓斗和原型抓斗进行过探讨抓斗参数影响的试验研究工作。孙鸿范教授为清除长江葛洲坝航道中巨石而研制的耙集式抓

斗和肖乾信教授为首发明的钳式抓斗，代表着他们在80年代的力作。

作者自1961年开始，在孙鸿范教授指导下，对长撑杆抓斗在抓取煤炭时的抓取阻力和充填过程进行了研究。在模型抓斗和原型抓斗上测量过颚板刃口的切割阻力和物料充填过程中产生的滑移面，提出了关于刃口切割阻力的新见解。考虑到颚板在闭合过程中抓斗作为变质量、变质心位置的刚体运动的特点，建立了把传统土力学理论加以修正后用以计算充填过程中物料推压阻力的方法。1977年以来，作者与肖乾信教授合作，在研制矿石剪式抓斗的基础上，早于国外5年多，研制出适用于桥式卸船机使用的煤炭剪式抓斗及抓取性能优良、结构合理的长撑杆抓斗。在综合考虑了抓斗抓取性能和使用寿命的前提下，使抓斗起重机装卸散货取得了显著的经济效益。

在今后的抓斗研究工作中，仍需继续加以解决的几个问题：

(1)目前，还缺少用来评价模型抓斗试验结论适用性所必需的相似定理，即使抓斗表现出的宏观规律性早已为人熟知或者说人们早已注意到在模型抓斗与原型抓斗之间存在着进行充分对比的可能性，但是把模型试验相似定理用文字表达出来的尝试也只是在不久以前开始的事情。

(2)在进行模型抓斗试验时（例如在试验台上进行的试验测量），不允许忽略或者遗漏实际抓取过程中的重要条件。但是，中、外目前的试验研究对这一要求解决得还不够完善。

(3)计算抓取阻力的理论关系式，几乎都是建立在对抓取阻力合力的作用线进行简化假定后的基础之上，因而可靠性较差。

(4)从散体结构力学（土力学）试验得出的公式，是否完全适用于散货粒度增大时抓斗研究中需要解决的问题，结论是很清楚的。

(5)尽管大家都看到了抓斗在实际应用中充填量将随着散货粒度增大而变差，但在目前许多学者的研究工作中，散货粒度的影响仍然很少被注意到。

第一章 散货抓斗构造概述

一、散货抓斗的发展现状

本世纪以来，尽管人们在研究散货抓斗的同时也发展了其它型式的散货装卸设备，例如散货连续卸船设备逐渐从模型试验阶段走向实际应用阶段，但是由于使用抓斗的间歇式卸船工作方式仍具有许多其它卸船工作方式无法比拟的优点，所以在目前，抓斗卸船设备依旧是散货卸船的主要设备。众所周知，在抓斗卸船设备中，应用最多的是绳索抓斗与马达抓斗，尤其在甲板变幅旋转起重机上，由电动—液压驱动的马达抓斗，使用中常常表现出良好的效能（图1.1）。

如果不要求起重机具有很高的工作循环次数，也即不要求起重机具有很高的装卸效率的话，那么在港口起重机上也常常装备着马达抓斗。如果有时需要改用件货起重机装卸散货，那么使用马达抓斗就显得格外合适，当然此时应在起重机上为马达抓斗配备专用的输电装置。如果在高效率的装卸设备上使用马达抓斗，那就必须把设备功率内相当大的一部分用于抓斗闭合过程。显然，这样大的能量转换装置已经不再适于装设在抓斗之上，所以这种装卸设备只能配备绳索抓斗。目前，结构构造差异较大的四种绳索抓斗为：四绳长撑杆抓斗（图1.2）；四绳多颚板抓斗（图1.3）；耙集式抓斗（图1.4）；剪式抓斗（图1.5）。

在怎样的工作条件下，或者说在什么时候应当使用什么型式的抓斗，是使用者之间常常引起不同程度争论的一个问题；抓斗的购置费用，起重机司机的操作习惯，对抓斗使用寿命（预期寿命）的估计，抓斗工作场所的特殊条件等等，都是可能引起争论的原因。然而可以大体上指出：如果所有的各型绳索抓斗在一部

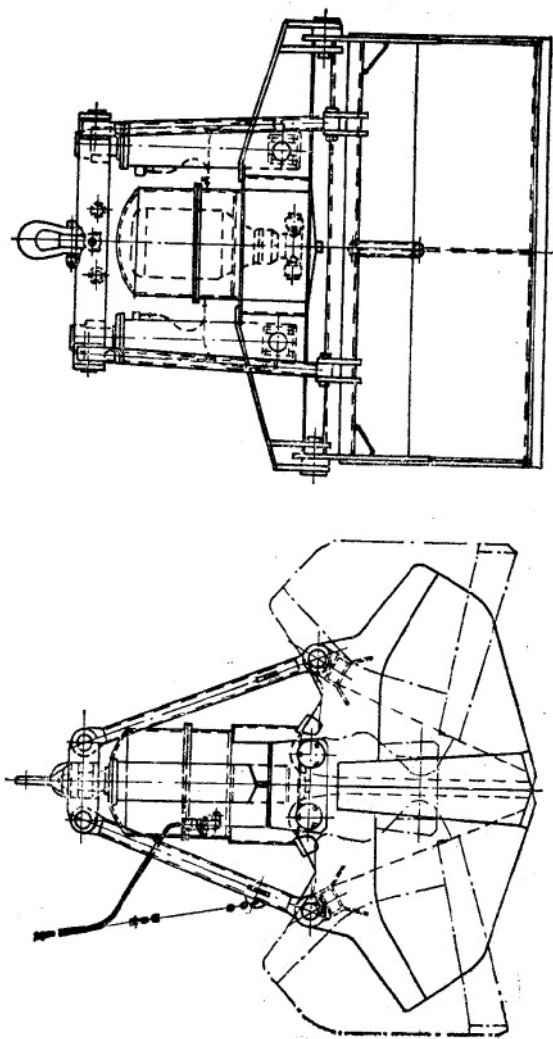


图1.1 电动—液压马达抓斗

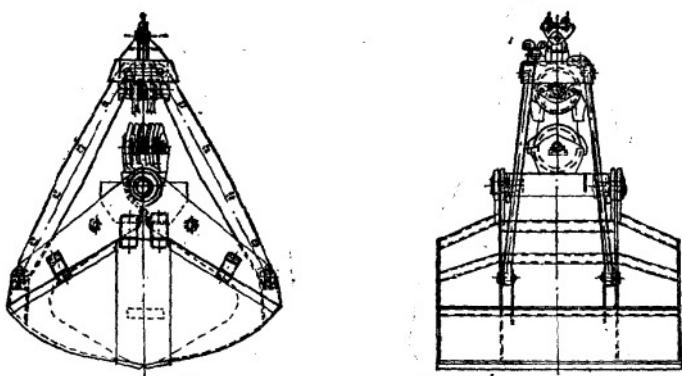


图1.2 四绳长撑杆抓斗

分散货装卸作业中（有时甚至是在同一个装卸作业中）都被证明是适用的话，那么就应该认识到，在不同的装卸作业条件与不同的散货情况下，各种型式的绳索抓斗则表现出各自不同的优缺点。

1. 四绳长撑杆抓斗

如果单纯从机构学的观点出发，则四绳长撑杆抓斗早已被视作是一个十分简单的平面四杆机构。但是从科学研究的角度出发，那么四绳长撑杆抓斗肯定还将有待进一步的提高与发展。人们对长撑杆抓斗继续研究且希望达到的目标是：与抓斗的自重载荷相比，提高抓斗的充填量；按照用户对抓斗的使用寿命等要求，确定出抓斗最小自重的限界，当然也须根据充填容积的需要（特别在抓取大颗粒的散货时），保证抓斗具有一定的自重。

目前，长撑杆抓斗发展的状况为：

- （1）抓斗自重占起重机起重量的35%~45%。
- （2）为了防止散货粉尘飞扬，设计中采用有覆盖板的颚板。