

内部资料

# 煤炭科技资料

国外露天开采

煤炭工业部科学技术情报研究所

一九七七年九月

TD 824  
4

## 说 明

本资料的搜集和翻译工作，由国外露天开采技术情报会战组共同完成，负责单位是辽宁煤炭研究所，参加单位有：北京煤炭科学研究所、辽宁煤矿设计研究院、四川矿业学院、阜新矿务局、平庄矿务局、阜新煤矿学院、阜新煤矿学校和煤炭部科技情报研究所。

资料的最后整理和编写，由辽宁煤炭研究所、辽宁煤矿设计研究院 和本所完成。



A840546

# 目 录

## 综 述 部 分

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| I 煤岩切割阻力测试方法.....                   | ( 1 )  |
| II 在硬岩和冻土条件下对轮斗挖掘机工作机构的改进和研究.....   | ( 24 ) |
| III 用于严寒气候条件下的和运送大块岩石的高强度皮带运输机..... | ( 48 ) |
| IV 轮斗挖掘机在寒冷地区采掘较硬矿岩的使用情况.....       | ( 70 ) |
| V 半连续工艺.....                        | ( 89 ) |

## 译 文 部 分

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 对轮斗挖掘机开采硬煤时工作过程的研究.....               | (106) |
| 从采矿技术上比较褐煤露天矿使用铁路运输和皮带运输的有利性.....     | (111) |
| 确定矿床开拓前岩石的切割阻力.....                   | (120) |
| 开采硬岩时大型挖掘机的挖掘阻力问题.....                | (124) |
| 轮斗挖掘机在冬季条件下的运转经验.....                 | (135) |
| 轮斗挖掘机工作机构.....                        | (138) |
| 对采用斜切割勺斗的ЭРГ—1600型轮斗挖掘机工作过程的研究.....   | (142) |
| 捷克褐煤的露天开采.....                        | (147) |
| 印度涅维里褐煤公司露天矿的开发和在剥离硬岩时使用轮斗挖掘机的经验..... | (154) |

---

# I 煤岩切割阻力测试方法

矿山岩石坚硬程度对采矿工艺选择有决定性影响。用轮斗挖掘机采挖时,土岩硬度主要指标是切割阻力。它直接决定轮斗挖掘机的机械强度、结构、机型、机重和斗轮驱动装置的功率。

这个指标确定的精确程度,对采用连续工艺露天矿的技术可能性和经济合理性起着决定性作用。

土岩切割阻力不仅取决于土岩本身物理力学特性,而且随切割条件而异。切割参数和刀具形状等都能对它产生很大影响。本文除了收集各种切割阻力试验方法以外,还对轮斗挖掘机切割时的有关切割参数的影响作一简要介绍。

## 一、挖掘阻力、挖掘力、切割阻力、切割力的概念及其影响因素

### 1. 概念

到目前为止,国外许多文章中对于挖掘阻力、挖掘力、切割阻力、切割力等概念,往往区分得不十分清楚。例如,上述概念可以指土岩本身固有的抵抗挖掘或切割的性能,但也有将挖掘阻力理解为切割阻力的。

但有的文章对上述概念却区分得比较清楚。例如,注〔1、2、4〕文中都指出,挖掘阻力由切割阻力,满斗阻力以及勺斗与土岩之间的摩擦阻力等组成,这里就清楚地区分出了挖掘阻力与切割阻力是两个不同的概念。

一般说来,挖掘阻力与切割阻力是对土岩而言,是指土岩的一种抵抗挖掘与切割的性能;而挖掘力与切割力是对挖掘机而言,是指挖掘机挖掘与切割土岩的能力。挖掘硬岩时,一般可粗略地认为挖掘力与切割力是和土岩的挖掘阻力与切割阻力相等的,但挖掘机能达到的最大挖掘力与切割力则应大于土岩的挖掘阻力与切割阻力。

单位挖掘阻力或单位切割阻力以及单位挖掘力或单位切割力通常指的是,以刨片单位横截面积或以刨片单位切割长度计算的有关上述诸力,其单位分别为公斤/厘米<sup>2</sup>,公斤/厘米。我们常称之为面切割力或线切割力。

西德基本上,而东德唯一的采用线切割力。苏联和捷克过去偏重使用面切割力,现在逐渐转而使用线切割力。

此外,还有所谓体积切割力与单位功能的概念。体积切割力即是指注〔3〕文中所述的“每一厘米长的切割刃上切割一平方厘米的平均切割面积的力”,其单位为公斤/厘米<sup>3</sup>。

〔注〕: 1. 元宝山露天煤矿初步报价材料, 西德, 克虏伯公司, 1967年, 2月

2. 不同种类土岩单位挖掘阻力与刨片面积和刨片形状的关系, 东德, 弗赖堡杂志, 1963年, A265期

3. 《矿山用轮斗挖掘机》第四章, 西德, 拉斯佩尔, 1973年

4. 关于露天矿采掘设备挖掘阻力的研究, 东德, 弗赖堡杂志, 1959年, A117期

目前,特别是东、西德两国的许多文章中,讨论单位挖掘阻力,大都是针对松软的土岩,这种土岩用不带齿的光滑斗刃即能将其切割,其刨片切割长和刨片断面积可依据斗刃的切割参数而精确地求出。近年来,轮斗挖掘机逐渐向挖掘硬岩方面发展,勺斗上安装有高强度的耐磨硬质合金斗齿。这时,刨片的切割长,刨片断面积等就不易精确求出。对于安装有斗齿的勺斗,不可能借助于一个简单的关系把挖掘力分配到切割斗刃和参于切割的斗齿上去。所以,东德希默尔在1965年曾使用了单位功能需要量 $\eta_q$ (千瓦时/米<sup>3</sup>)这个概念。这个数值可通过对轮斗驱动电流消耗和有效生产能力的计算而确定。总单位功能需要量 $\eta_q$ 由单位挖掘功能需要量 $\eta_q$ (挖掘)与单位提升功能需要量 $\eta_q$ (提升)两部分组成。图 I-1 为斗轮功率消耗  $N$ (千瓦)与有效生产能力 $Q_{eff}$ (米<sup>3</sup>/时,松方)之间的函数曲线。图 I-2 为 $\eta_q$ 与有效生产能力之间的关系。表 I-1 所列为不同等级的轮斗挖掘机的理论生产能力,挖掘功率与单位挖掘功能需要量。

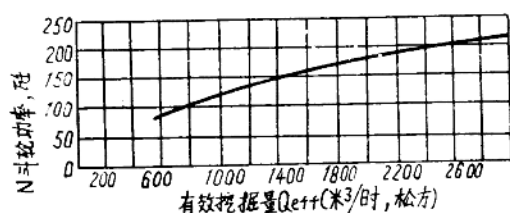


图 I-1 斗轮驱动功率  $N$  与有效生产能力  $Q_{eff}$  之间的函数关系 (SchRs 型轮斗挖掘机, 挖掘肥粘土, 东德希默尔, 1965年)

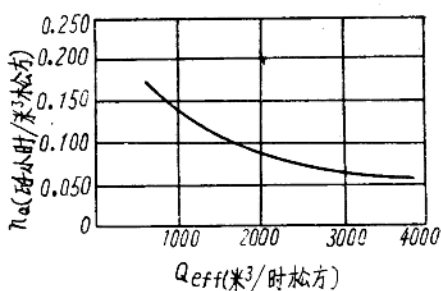


图 I-2 单位功能需要量 $\eta_q$ 与有效生产能力  $Q_{eff}$  之间的函数关系 (SchRs1200 型轮斗挖掘机, 斗轮直径 8.2 米, 东德希默尔, 1965年)

## 2. 影响土岩单位挖掘阻力的因素

土岩的单位挖掘阻力是土岩的一种抗挖掘与切割的性能,因而与土岩的性质有关;另外,其值是在一定的挖掘与切割条件下测出的,因而还与一定的挖掘与切割条件有关。影响单位挖掘阻力的因素有:土岩的性质、刨片断面积的大小、刨片断面形状、切割速度、斗刃的安装角、斗刃的磨损情况、斗齿的形状等等。下面分述前四种因素,其它因素在第Ⅱ部分中加以叙述。

### (1) 土岩的性质与单位挖掘阻力之间的关系

不同的土岩有不同的单位挖掘阻力。为了便于讨论土岩的采掘特性,需将土岩进行简单而便于应用的分类。目前国外尚无统一的分类法。但普遍认为,按切割土岩的难易程度,将土岩进行分类是较方便的。

东德的褐煤露天矿,土岩主要包括砂、砂砾、肥粘土、砂质粘土及页岩粘土等几种。东德希默尔(1966年)在比较了它们的单位切割阻力后,按其切割的难易程度,进行了如下的分类:

易挖土壤:砂和砂砾;

较难挖土壤:砂质粘土、纯粘土和页岩粘土;

轮斗挖掘机的理论生产能力、挖掘功率与单位挖掘功能

表 I-1

|   | 出 厂 号<br>露 天 矿 名             | 轮斗挖掘机型号<br>斗轮半径, R                                  | $Q_{th}$<br>米 <sup>3</sup> /时 | $N_{Grab} = N - N_H$<br>(千瓦)                                 | $n_{Grab} = \frac{N_{Grab}}{Q_{th}}$<br>千瓦/米 <sup>3</sup> |
|---|------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | 1111<br>西 德<br>楚孔夫特          | $S_{cb}R_s = \frac{4000}{20} 50$<br>R = 7.0米        | 8400<br>表土                    | N = 1100<br>N <sub>H</sub> = 320<br>N <sub>Grab</sub> = 780  | 0.09                                                      |
| 2 | 1166<br>印 度                  | $S_{cb}R_s = \frac{4500}{12-14} 38-41$<br>R = 8.65米 | 8000<br>表土                    | N = 1500<br>N <sub>H</sub> = 420<br>N <sub>Grab</sub> = 1080 | 0.12                                                      |
| 3 | 1110<br>西 德<br>楚孔夫特          | $S_{cb}R_s = \frac{700}{6} 27.20$<br>R = 3.6米       | 2160<br>表土                    | N = 185<br>N <sub>H</sub> = 42<br>N <sub>Grab</sub> = 143    | 0.067                                                     |
| 4 | 1198<br>印 度<br>涅维里           | $S_{cb}R_s = \frac{700}{3} 20$<br>R = 4.0米          | 3020<br>硬质表土                  | N = 650<br>N <sub>H</sub> = 67<br>N <sub>Grab</sub> = 583    | 0.194                                                     |
| 5 | 1317/18<br>罗维那利              | $S_{cb}R_s = \frac{400}{5} 12.8$<br>R = 3.1米        | 1900<br>表土                    | N = 200<br>N <sub>H</sub> = 17<br>N <sub>Grab</sub> = 183    | 0.183                                                     |
| 6 | 1314<br>新加坡<br>多料            | $S_{cb}R_s = \frac{250}{1} 12$<br>R = 2.6米          | 1275<br>硬质表土                  | N = 250<br>N <sub>H</sub> = 19<br>N <sub>Grab</sub> = 231    | 0.182                                                     |
| 7 | 1199<br>丹 麦<br>白垩土矿          | $S_{cb}R_s = \frac{150}{1.3} 10.5$<br>R = 2.2米      | 720<br>白垩土                    | N = 110<br>N <sub>H</sub> = 8<br>N <sub>Grab</sub> = 102     | 0.141                                                     |
| 8 | 1181<br>西 德<br>克虏伯           | $S_{cb}R_s = \frac{1500}{5} 30.5$<br>R = 5.75米      | 2400<br>粘土质页岩                 | N = 1160<br>N <sub>H</sub> = 75<br>N <sub>Grab</sub> = 1085  | 0.45                                                      |
| 9 | 1300/01<br>加拿大<br>阿萨巴斯卡油砂露天矿 | $S_{cb}R_s = \frac{1000}{15} 26$<br>R = 4.5米        | 4000<br>油砂                    | N = 1000<br>N <sub>H</sub> = 100<br>N <sub>Grab</sub> = 900  | 0.225                                                     |

注: 表中 $Q_{th}$ ——理论生产能力;  $N_{Grab}$ ——挖掘功率; N——斗轮驱动功率;  $N_H$ ——提升功率;  $n_{Grab}$ ——单位挖掘功能需要量

难挖土壤: 肥粘土、很硬而结构相当致密的粘土。

东德柯克勒将露天矿的覆盖层土岩分为两类: 即单独用斗刃就可以切割和需要带斗齿的勺斗。

目前, 苏联有几种按开采难易程度的土岩分类法。用于矿业的有普氏法 (М·М普洛托奇雅康诺夫) 和秦氏法 (П·М秦巴列维奇)。在建筑业中, 采用国家建设委员会的统一分类法。

新的分类法以苏联道路建筑研究所的动力密度计的冲击数为依据, 该分类法从1968年1月起实施。其中松散土岩的分类法见下表:

| 土 壤 类 别    | I   | II  | III  | IV    |
|------------|-----|-----|------|-------|
| 动力密度计的冲击次数 | 1—4 | 5—8 | 9—15 | 16—35 |

而冻土的分类法则为:

| 冻 土 类 别   | V     | VI     | VII     | VIII    |
|-----------|-------|--------|---------|---------|
| 动力密度计的冲击数 | 35—70 | 70—140 | 140—280 | 280—550 |

不同类别的土岩, 均有其相应的单位挖掘阻力值范围 (见表 I-2)。

对于坚硬岩石, 不能采用上述方法进行分类, 因而国外采用其它方法鉴定岩石的性质。

例如, 西德奥伦斯坦和戈培尔有限公司的吕伯克厂, 对硬岩和致密土壤的分类采用切割压力强度测定法。这种方法是在实验室里求出斗刃或斗齿对岩石的压入阻力 (西德, 拉斯佩尔, 1961年)。如再结合大型轮斗试验时所提供的一些补加数值, 就可以满意地得到斗轮驱动功率所要求的预计数值。

不 同 土 岩 的 单 位 挖 掘 阻 力

表 I-2

| 岩 石    | 密 度*<br>(密度计<br>冲击次<br>数) | 岩石等级<br>(硬度系数)    | 挖掘机类型                  | 刨片规格<br>面积, F, 厘米 <sup>2</sup><br>厚度, S, 厘米<br>宽度, b, 厘米 | K <sub>r</sub> (公斤/厘米 <sup>2</sup> )和K <sub>L</sub> (公斤/厘米)值 |                |                                            |                |
|--------|---------------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------------|
|        |                           |                   |                        |                                                          | 试 验 数 据                                                      |                | 挖掘机能力为<br>2500米 <sup>3</sup> /时<br>时推荐的计算值 |                |
|        |                           |                   |                        |                                                          | K <sub>r</sub>                                               | K <sub>L</sub> | K <sub>r</sub>                             | K <sub>L</sub> |
| 砂      | 1—2                       | I                 | 3PI—1600               | F = 600—2500<br>$\frac{S}{b} = 0.5—0.8$                  | 0.6—0.8                                                      | 10—20          | 0.8—1.5                                    | 15—25          |
| 石英砂    | 1—2                       |                   | PC—1200                | F = 350—1500<br>$\frac{S}{b} = 1—1.25$                   | 1.5                                                          | 31             |                                            |                |
| 含有砾石的砂 | 3—5                       |                   | SchR <sub>s</sub> 1200 | —                                                        | —                                                            | 18—20          |                                            |                |
| 细粒砂    | 3—6                       | I—II<br>(0.6—1.0) | 33P—500                | F = 470—625<br>$\frac{S}{b} = 2.5$                       | 1.7—2.0                                                      | 18—24          | 1.5—2.2                                    | 25—35          |
| 褐色砂质粘土 | 5—8                       |                   | ЭПГ—350                | F = 250—950                                              | 1.1—2.3                                                      | 10—20          |                                            |                |
| 同上     | 9—11                      |                   | ЭПГ—1600               | F = 600—2500<br>$\frac{S}{b} = 0.5—8.0$                  | 1.5—2.2                                                      | 15—27          |                                            |                |
| 粘土质砂   | 2—9                       |                   | PC—1200                | S = 30—50                                                | 2.0—2.6                                                      | 35—42          |                                            |                |
| 砂质粘土   | 5—8                       | II<br>(0.8—1.2)   | P—60                   | F = 125—470<br>S = 6—50<br>b = 15—6                      | 2.5—2.9                                                      | —              | 2.2—3.0                                    | 35—50          |
| 同上     | 5—8                       |                   | SChRs1200              | F = 1200—2100<br>$\frac{S}{b} = 1—3.5$                   | —                                                            | 42—48          |                                            |                |
| 粉状砂质粘土 | 7—16                      |                   | PC—1200                | F = 350—1500<br>$\frac{S}{b} = 0.75$                     | 2.5—3.0                                                      | 35—50          |                                            |                |

表 2

| 岩 石                      | 密度*<br>(密度计<br>冲击次<br>数) | 岩石等级<br>(硬度系数)      | 挖掘机类型                 | 刨片规格<br>面积, F, 厘米 <sup>2</sup><br>厚度, S, 厘米<br>宽度, b, 厘米 | K <sub>F</sub> (公斤/厘米 <sup>2</sup> )和K <sub>L</sub> (公斤/厘米)值 |                |                                            |                |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------------|
|                          |                          |                     |                       |                                                          | 试 验 数 据                                                      |                | 挖掘机能力为<br>2500米 <sup>3</sup> /时<br>时推荐的计算值 |                |
|                          |                          |                     |                       |                                                          | K <sub>F</sub>                                               | K <sub>L</sub> | K <sub>F</sub>                             | K <sub>L</sub> |
| 软褐煤                      | —                        | II—III<br>(0.5—1.5) | PC—350                | S = 40, b = 28                                           | 0.6—1.0                                                      | —              | 1.2—3.0                                    | 20—50          |
| 同上                       | —                        |                     | PC—600                | F = 370—1000<br>S = 20—60                                | 2.2—2.8                                                      | —              |                                            |                |
| 同上                       | —                        |                     | K—1000                | b = 16—32<br>S = 20—80<br>b = 16—22                      | 2.0—3.3                                                      | —              |                                            |                |
| 软沥青粘土                    | 6—12                     | I<br>(1.0—1.6)      | PC—400                | S = 6—50                                                 | 2.4—4.6                                                      | 36—45          | 2.5—4.0                                    | 40—65          |
| 粉状粘土                     | 12—16                    |                     | ЭПГ—1600              | F = 600—2500<br>$\frac{S}{b} = 0.5—8.0$                  | 2.8—3.2                                                      | 26—42          |                                            |                |
| (黄土状粘土)                  | 12—16                    |                     | ЗЭР—500               | F = 300—650<br>$\frac{S}{b} = 2.5$                       | 3.3—4.1                                                      | —              |                                            |                |
| 同上                       | 12—16                    |                     | K—1000                | F = 200—1600<br>S = 20—80<br>b = 16—32                   | 1.8—4.3                                                      | —              |                                            |                |
| 淤泥状重粘土                   | —                        |                     |                       |                                                          |                                                              |                |                                            |                |
| 粘土                       | 10—12                    | IV<br>(1.8—2.8)     | SChRs1200             | F = 1100—2000<br>$\frac{S}{b} = 1.7—4.3$                 | —                                                            | 65—72          | 3.5—6.0                                    | 55—95          |
| 含有介壳石灰岩<br>层的黑色粘土<br>质页岩 | 15—20                    |                     | ЭПГ—1600              | F = 600—2500<br>$\frac{S}{b} = 0.5—8.0$                  | 3.2—4.5                                                      | 40—68          |                                            |                |
| 泥灰质粘土<br>(黄白色和绿色<br>粘土)  | 25—30                    |                     | ЭПГ—1600              | F = 600—2500<br>$\frac{S}{b} = 0.5—8.0$                  | 3.3—5.6                                                      | 48—65          |                                            |                |
| 耐火粘土                     | 12—20                    |                     | P—25                  | S = 6—30<br>b = 10                                       | 3.9—4.5                                                      | 40—50          |                                            |                |
| 中等硬度的<br>白垩土             | —                        |                     | ЭПГ—350               | —                                                        | 4—6                                                          | —              | 4.5—7.0                                    | 70—115         |
| 节理裂隙发育的煤                 | —                        |                     | PЭ—1                  | F = 650—760                                              | 4.5—6.0                                                      | 48—61          |                                            |                |
| 硬褐煤                      | —                        |                     | PЭ—1                  | S = 7—34                                                 | 3.5—10                                                       | 23—105         |                                            |                |
| 软的冻结褐煤                   | —                        | IV—V<br>(2.8—4.0)   | PC—600                | S = 20—60<br>b = 16—32                                   | 6—8                                                          | —              | 6—12                                       | 95—190         |
| 硬褐煤                      | —                        |                     | ЭПГ—350               | S = 30—37<br>F = 690—760                                 | 5.5—11.4                                                     | —              |                                            |                |
| 节理不发育的<br>石煤             | —                        |                     | PЭ—1                  | F = 600                                                  | 小于15                                                         | 小于140          |                                            |                |
| 中等硬度的<br>泥页岩             | —                        |                     | K—1000                | F = 200—1700                                             | —                                                            | 70—85          |                                            |                |
| 冻实的粘土                    | —                        | VI<br>(4—7)         | P—25                  | S = 15<br>b = 10                                         | 16—24                                                        | —              | 14—20                                      | 220—320        |
| 硬的粉砂岩                    | —                        |                     | 根据西德LMG的资料            |                                                          | 小于20                                                         | —              |                                            |                |
| 密实的石灰岩                   | —                        |                     | 根据LMG的资料              |                                                          | —                                                            | 小于200          |                                            |                |
| 均质的砾石                    | —                        |                     | SChRs $\frac{700}{3}$ |                                                          | —                                                            | 270            |                                            |                |
| 夹层砂岩                     | —                        |                     | 根据西德克虏伯公司资料           |                                                          | 25                                                           | 小于300          |                                            |                |

## (2) 刨片断面积的大小对单位挖掘阻力的影响

国外曾对刨片断面积对单位挖掘阻力的影响进行了大量的研究。东德希默尔 1963 年指出, 对于肥粘土, 挖掘阻力与刨片断面积成正比, 单位线挖掘阻力与刨片断面积实际上无关, 而单位面挖掘阻力则随切割面积的增大而减小 (见图 I-3)。对于砂质土, 也有同样的情况。

苏联中央运输建筑科学研究所 1960 与 1961 年的研究工作指出, II—III 级的砂质粘土, 其单位面挖掘阻力随刨片断面积的增加而减小, 而单位线挖掘阻力则稍有增加。

苏联 B·M 符拉基米洛夫 (1965 年) 指出, 开采同一种土岩时, 单位面挖掘阻力随切割面积加大而减小, 而单位线挖掘阻力则相反。同时, 单位指标值的变化还随岩石的强度不同而不同。例如, 当切割面积改变时, 单位面挖掘阻力在易破坏的土壤 (砂、砂土、亚粘土) 中的变化要较在硬度的岩石 (煤、泥灰岩、页岩) 中为大。

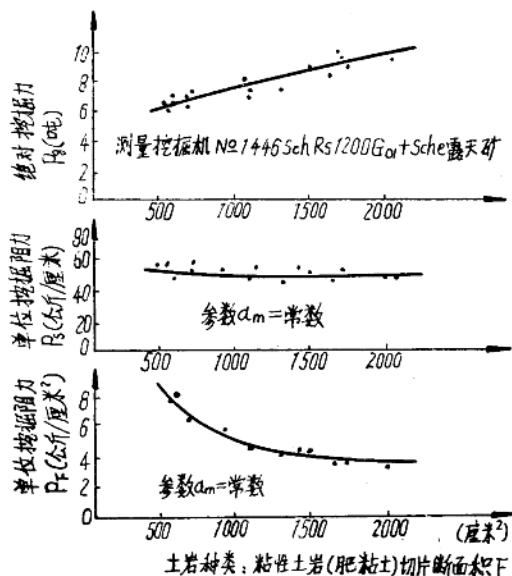


图 I-3 挖掘力  $P_B$ , 单位挖掘阻力  $P_F$ 、 $P_S$  与刨片断面积  $F$  之间的函数关系

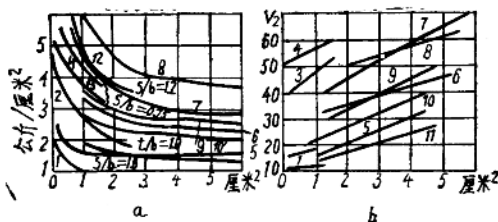


图 I-4 单位指标  $K_F$  和  $K_L$  与刨片总面积之间的关系

1—亚粘土 (乞索夫—雅尔, 苏联中央建筑研究院, ЭПГ—350 型挖掘机); 2—重粘土 (叶尔维涅茨, 捷克, K—1000 型轮斗挖掘机); 3—亚粘土; 红褐色粘土 (尤尔阔夫斯克露天矿, 苏联顿涅茨克矿业学院, PC—1200 型轮斗挖掘机); 5—细砂; 6—红褐色粘土; 7—灰色泥灰质粘土; 8—含贝壳石灰岩的灰黑色页岩质粘土 (什夫琴阔夫斯克露天矿, 苏联乌克兰设计院, ЭПГ—1600 型 1 号轮斗挖掘机); 9—红色粘土; 10—亚粘土; 11—黄土状亚粘土 (苏联乌克兰设计院, ЭПГ—1600 型 2 号轮斗挖掘机); 12—肥粘土 (盖依特什, 苏联, PC—1200 型轮斗挖掘机)。

注: a 图一纵坐标为单位面切割阻力  $K_F$ ; 横坐标为挖掘总面积,  $\Sigma F \times 10^3$  厘米<sup>2</sup>

b 图一纵坐标为单位线切割阻力  $K_L$ ; 横坐标为挖掘总面积,  $\Sigma F \times 10^3$  厘米<sup>2</sup>

## (3) 刨片断面形状对单位挖掘阻力的影响

反映刨片断面形状的指标, 通常是刨片横断面的厚  $S$  与宽  $b$  之比, 东、西德常用  $\alpha$  表示。

东德希默尔在图 I-5 中表示了粘结土与砂砾土的单位挖掘阻力与  $\alpha$  之间的关系。从图中可见, 砂砾土的单位面挖掘阻力与刨片形状无关, 而粘结土中, 则产生一个实际上也同样不变的单位面挖掘阻力。对于单位线挖掘阻力, 由于实际工作中刨片形状大多处于  $\alpha = 0.7 \sim 2.0$  之间, 因而实际上也可视作是不变的常数。

据西德克虏伯公司介绍, 当斗轮悬臂回转时, 最大单位线切割力  $K_L$ , 产生于平均线切割长度最小处。此时刨片横断面的厚度  $S$  与宽度  $b$  之比等于 1.5。而当  $S/b \leq 1.5$  时, 刨片较薄。尽管阻力矩很小, 挖掘力不大。但单位面积切割线长较大, 所以需要的切割功能则较大。

苏联乌克兰设计院 1964 年完成了  $\Theta\Gamma-1600$  型轮斗挖掘机的试验研究工作。图 I-6 所示为单位面挖掘力  $K_F$  与刨片厚与宽之比  $\frac{S}{b_{\text{平均}}}$  之间的关系。分析得出, 各种土岩, 当  $\frac{S}{b_{\text{平均}}} = 1.5 \sim 2.0$  时,  $K_F$  值为最小。同时,  $S$  和  $b_{\text{平均}}$  的范围虽然较大, 但  $K_F$  的最大值比其最小值, 对松软土岩约差 6~14%; 对较硬岩石约差 18~26%。此外,  $\frac{S}{b_{\text{平均}}} < 1$  时,  $K_F$  的增长比  $\frac{S}{b_{\text{平均}}} < 1$  时为快。

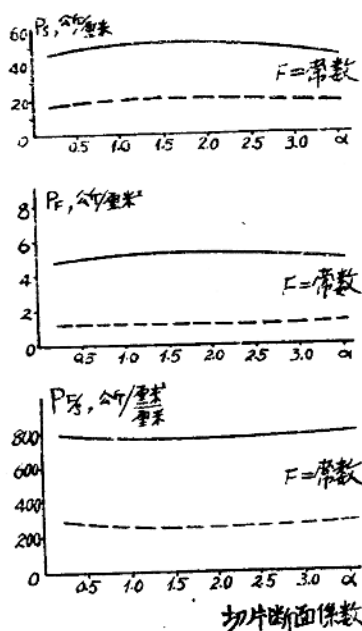


图 I-5 单位挖掘阻力与刨片断面形状和土岩性质间的关系

——粘结土岩 (肥粘土); SchRs1200型1446号轮斗挖掘机测试, 哥意舍露天矿  
 .....松散土岩 (砂砾); SchRs1200型1401号轮斗挖掘机测试, 哥意舍露天矿

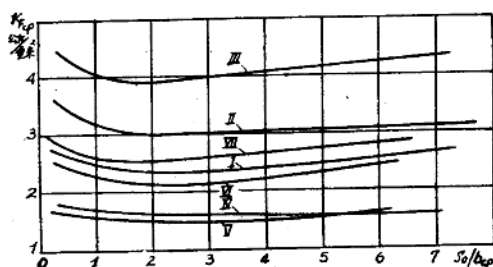


图 I-6  $\Theta\Gamma-1600$  型 1 号和 2 号轮斗挖掘机挖掘过程中, 面切割阻力  $K_F$  平均与  $\frac{S}{b_{\text{平均}}}$  之间的关系, 平均

刨片横断面积为 3200~3500 厘米<sup>2</sup>

(根据苏联乌克兰设计院资料)

$\Theta\Gamma-1600$  型 1 号轮斗挖掘机:  
 I—灰褐色粘土; II—灰绿色粘土;  
 III—黑绿色与泥灰质粘土; IV—细粒砂为主  
 $\Theta\Gamma-1600$  型 2 号轮斗挖掘机:  
 V—黄土状亚粘土; VI—红粘土为主;  
 VII—红粘土

对于松软土岩, 如砂与亚粘土,  $K_F$  值实际上与  $\frac{S}{b_{\text{平均}}}$  值无关, 因而在工程计算中, 实际上可取为常数。对于硬度较高的土岩,  $K_F$  最适合的范围取  $\frac{S}{b_{\text{平均}}}$  为 0.5~3.5。

#### (4) 单位线挖掘力与单位面挖掘力之间的关系

据西德克虏伯公司介绍, 对于粒状的松散岩石, 其刨片断面的比例系数  $\alpha = 0.5 \sim 2.5$ ; 对于有粘性的松散岩石, 其刨片断面的比例系数  $\alpha = 1.4 \sim 2.0$ , 在这个范围内, 单位线切割力  $P_L$  和单位面切割力  $P_F$  存在着如下关系:  $P_L : P_F = 13 : 1$ 。

在东德弗赖堡研究院所做的许多试验中, 当刨片断面的比例系数  $\alpha = 1.5$  时, 所求得的线切割力  $P_L$  和面切割力  $P_F$  都符合上述关系。

苏联勃·墨·符拉基米洛夫 (1965年) 推导了单位线挖掘力  $K_L$  与单位面挖掘力  $K_F$  之间的关系。

$$P = K_F \text{平均} \sum_{i=1}^{i=z_p} F_i = K_L \text{平均} \sum_{i=1}^{i=z_p} L_i$$

式中

$P$ ——切割土岩所需的力

$i$ ——同时参加切割的勺斗顺序号

$F_i$  和  $L_i$ ——第  $i$  个勺斗的切割面积和切割边长

$z_p$ ——同时参加切割的勺斗数

由上式可得:

$$K_L \text{平均} = K_F \text{平均} \frac{\sum_{i=1}^{i=z_p} F_i}{\sum_{i=1}^{i=z_p} L_i} \quad (1)$$

如把同时参加切割的各勺斗切下的刨片厚度换算成一个勺斗上的刨片的平均厚度  $S_{\text{平均}}$ , 并使其与刨片宽度  $b$  之比等于 1 时, 则实际计算中  $K_L'$  与  $K_F$  之间的关系可用以下两式表示:

$$K_L = K_F \frac{b}{2} \quad (2)$$

式(2)来自

$$K_L = \left( \frac{b}{1 + \frac{1}{\cos \xi}} \right) K_F \quad (3)$$

式中  $\xi$ ——勺斗侧刃与斗轮平面间的夹角

为了工程计算, 苏联 B·A·科弗里金推荐把 (1) 式变换为如下形式:

$$K_L = 34 \sqrt{\frac{q}{r}} K_F \quad (4)$$

式中  $q$ ——勺斗容积, 米<sup>3</sup>

$r$ ——斗轮半径, 米

当  $\xi = 10 \sim 30^\circ$ , 分层高  $h = r$ ,  $\frac{S}{b} = 1.1 \sim 1.8$ , 满斗系数  $k_H = 1$ , 以及松散系数  $k_p = 1.25$

的情况下, 推荐公式的计算精度在  $\pm 5\%$  的范围内。

苏联贝利亚阔夫 Ю·И 等综合了轮斗挖掘机和单斗挖掘机的试验资料, 得出各种岩石的单

位指标 $K_F$ 和 $K_L$ 与刨片总面积 $\Sigma F$ 之间的关系(见图 I-7)。图中粗的 $K_F$ 实线是根据试验资料绘制的, 细的 $K_F$ 实线是推断的。各 $K_F$ 曲线分别表示, 勺斗切割刃锐利, 而且没有安装斗齿, 在此条件下  $\frac{\Sigma S}{2p} = 1$  时, 各种强度的岩石(当挖掘机生产能力为2500米<sup>3</sup>/时时, 其 $K_F$ 分别为2、

4、6、8、10、12公斤/厘米<sup>2</sup>等)的平均单位挖掘阻力的变化特性。如果勺斗的切割刃上安装有斗齿, 那么采用的计算值应相应减少20~30%, 如勺斗的切割刃变钝, 则采用的计算值应相应增加20~30%。

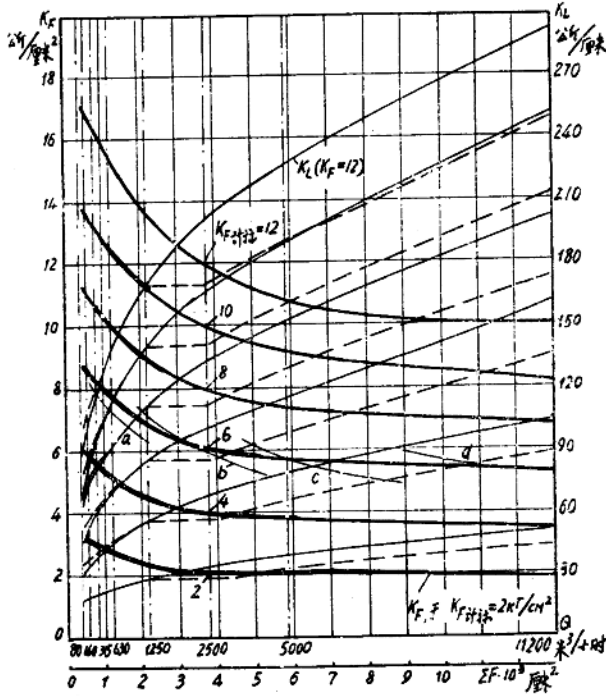


图 I-7  $K_F$  和  $K_L$  计算值

(-----) $K_L$  表示 8 个勺斗的挖掘机生产能力为315米<sup>3</sup>/时; 十个勺斗的生产能力为 1250 米<sup>3</sup>/时; 从生产能力为 2500米<sup>3</sup>/时起计算的十二个勺斗的挖掘机;  
(——) $K_L$  表示勺斗数固定为十个时的挖掘机的整个系列的数据

图 I-7 中a、b、c、d曲线分别表示, 采用生产能力为2500米<sup>3</sup>/时的挖掘机, 并且土岩的 $K_F = 6$ 公斤/厘米<sup>2</sup>时, 随着勺斗尺寸变化的单位挖掘阻力  $K_F$  与刨片总面积 $\Sigma F$ 之间的关系。

利用 $K_F$ 的平均值及公式(3), 当  $\frac{\Sigma S}{2p} = 1$ , 台阶分层高为  $\frac{4}{3}r$ , 斗轮的角速度  $\omega = 0.4 \sqrt{\frac{g}{r}}$ ,

土岩松散系数 $K_P = 1.35$ , 满斗系数 $K_H = 1$ 时,  $K$  与 $\Sigma F$ 的关系曲线可见图 I-7。

由图 I-7可知, 在刨片断面积较小的情况下, $K_F$ 和 $K_L$  值的变化较大。但当 $\Sigma F = 0.6$  米<sup>2</sup>, 相应的挖掘机生产能力为5000米<sup>3</sup>/时, 一直到生产能力为 11000米<sup>3</sup>/时 时,  $K_F$  的变化不大于

10%。当切割具有裂隙的硬岩和煤时，如果刨片的规格接近于裂隙网的参数，则 $K_F$ 值可以降低。

该文指出，即使挖掘同一强度的土岩，一定类型的挖掘机的单位切割力随着生产能力而变化， $K_F$ 与 $K_L$ 值也不是固定不变的，而应根据图 I—7 来选取。

表 I—2 为一些国家的 $K_F$ 和 $K_L$ 值的试验资料。表中所推荐的单位挖掘阻力值是和挖掘机生产能力2500米<sup>3</sup>/时相对应的。如果改变挖掘机的规格，则单位挖掘阻力值应按图 I—7 加以修正。

### (5) 切割速度对单位挖掘阻力的影响

东德希默尔(1966年)指出，单位挖掘阻力与切割速度呈直线关系。从图 I—8 可知，切割速度增大，单位挖掘阻力也随之增大。切割速度增大30%，单位挖掘阻力增大15%。

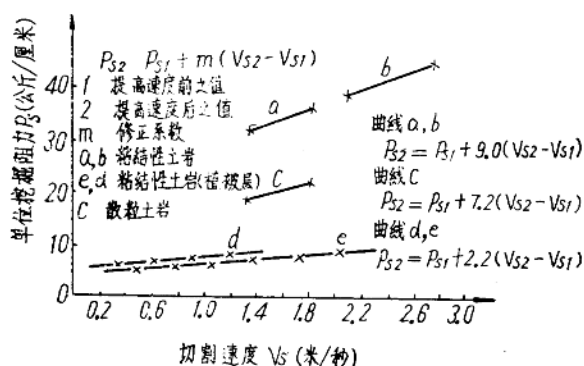


图 1-8 单位挖掘阻力 $P_s$ (公斤/厘米)与切割速度 $V_s$ (米/秒)之间的关系

单位挖掘阻力的增量与切割速度变化之间的关系如下：

$$\Delta P_s = m(V_{s2} - V_{s1})$$

式中  $\Delta P_s$ —— $P_s$ 的增大值，公斤/厘米

$m$ ——校正系数

$V_{s2}$ ——提高后的速度，米/秒

$V_{s1}$ ——提高前的速度，米/秒

经过大量试验，测得粘结性土壤的校正系数 $m=9.0$ ，砂质土壤的校正系数 $m=7.2$ 。

## 二、岩石切割阻力的野外直接测定法

岩石切割阻力的野外测定法可分为直接测定法和间接测定法两大类。

直接测定法即是在斗齿或勺斗的不同部位，设置各种测力装置，测定勺斗工作时的切割阻力。间接测定法即是测定斗轮工作时斗轮电动机的驱动功率或斗轮转动轴上的扭矩，而后经过换算，间接地确定切割阻力。后一类方法影响因素较多，没有前一类方法精确。下面主要介绍前一类方法。

现场直接测定法有以下几种：一种是在轮斗挖掘机的勺斗上直接安设电测的或机械式的传感器进行测试；一种是在单斗挖掘机勺杆上安设测力传感器进行测试；还有模拟轮斗挖掘

机的切割条件, 利用专门的测力装置进行测试。现分述如下:

### 1. 用传导式电测法在勺斗上测量切割阻力

苏联斯阔琴斯基矿业研究所制作了测定轮斗挖掘机切割力的整套设备。这套设备在苏联库尔斯克磁力异常区的列别丁露天矿的  $\Theta\Gamma-350-1000$  型轮斗挖掘机上进行了试验, 证明全部符合要求。因而认为可按同样原理制作适用于任一种轮斗挖掘机的装置。

测量与记录的全套设备由测量、传送与记录三部分组成。

测量部分的三个拉杆式测力计(见图 I-9 和图 I-10)将勺斗与斗轮联系起来, 分别测量作用于勺斗的切向、侧向与斗轮径向的力。测力拉杆内部的测力传感元件为电阻应变丝, 电阻值为400欧姆。

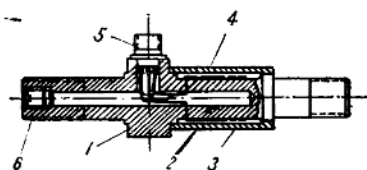


图 I-9 记录侧向切割力的拉杆

1—外壳; 2—工作电阻片; 3—补偿电阻片;  
4—防护罩; 5—接口; 6—管塞

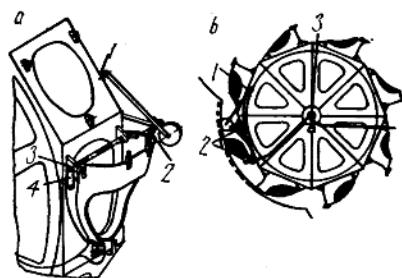


图 I-10 测量勺斗的全部传感器装置图

图a: 1—刨片厚度传感器; 2—量测侧向分力的测力计;  
3—量测径向分力的测力计; 4—量测切向分力的测力计

图b: 1—刨片厚度传感器; 2—测力计; 3—集电装置

测量部分还包括电阻值为4000欧姆的精密滑线电位计。通过一定机构, 可测量刨片的厚度。

传送部分用于传递传感器的信号, 它是一个20对触点的集电装置。为了防锈, 触点用银及不锈钢制成。以不锈钢制的接触环装成叠片状。以薄银条做成滑动接触条包于接触环之外而构成触点。接触条的包角为 $250^\circ$ , 宽3毫米。其一端固定, 另一端以弹簧拉紧。为了控制斗轮转数并确定勺斗与工作面的相互位置, 集电器设有断路器, 斗轮每旋转 $10^\circ$ , 断路器便发生电流脉冲。

记录部分主要由24线示波器及其电气附属设备组成。

苏联乌克兰设计院1961年在盖依斯克铜矿采用了另一种方法。用一种应变销将勺斗紧固在斗轮上, 在销的中截面上贴四个电阻应变片, 测定由勺斗切向挖掘分力和径向挖掘分力所造成的弯曲力矩。电阻应变片的电流从旋转的斗轮经专门的集电装置而达挖掘机的固定部位, 然后用示波器记录。

### 2. 用非传导式电测法在勺斗上测量切割阻力

由于矿山工作条件很差, 所以采用前述传导装置往往产生很大误差, 有时甚至不可能, 传递信号线数也受到限制, 因而, 东德来比锡运输技术研究所(1963年)曾研制了更为先进的测定设备, 即勺斗上传感器的感受值不是用导线, 而是用电子方法传入记录设备(见图 I-11)。

东德奎思(1962年)较为详细地介绍了采用上述原理的电容式压力仪,这是一种测定轮斗挖掘机勺斗上切割力的装置。

这种装置的原理是,使挖掘机的勺斗能围绕斗轮上的一根轴旋转;勺斗的下边支撑在压力计上,压力计固定在斗轮上;电容与所需测试的力的大小有关,压力计的电容影响发射器的频率,发射器也安在斗轮上;发射器不用电线就可把频率传导到一台固定的接收机上,接收机再把测得的表示切割力大小的频率传导到指示仪或记录仪上。图 I-12 是该装置的工作示意图。

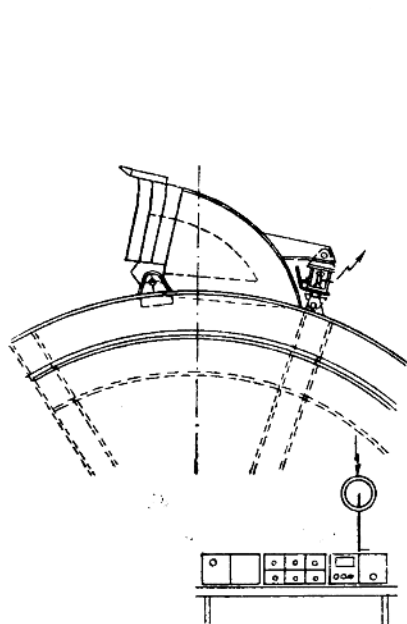


图 I-11 测定值的电子传导装置

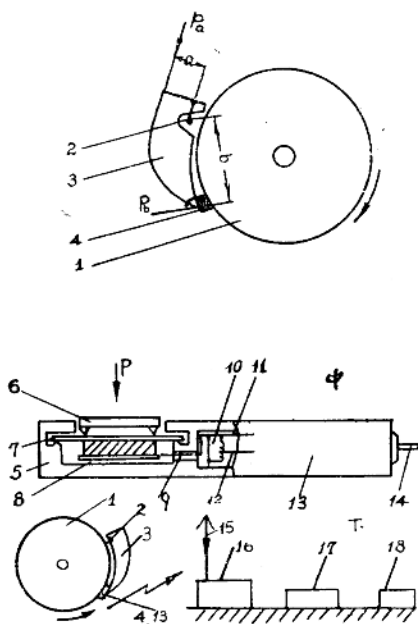


图 I-12 电容式压力仪——测定轮斗挖掘机勺斗上切割力的装置

图 I-12 上图是安装在勺斗下边与斗轮之间的压力计配置图。压力计4安设在斗轮1和勺斗3下边之间,勺斗围绕着轴2旋转。

图 I-12 中图是压力计和发射器的示意剖面图。5是外壳,压力板6放在一块隔板7上,电容器板8固定在隔板7上,两者之间绝缘。电容器板8通过一根导线与振荡电路相连,由振荡电路10中引出一根导线11通到栅极,另一根导线通到发射器13的阴极,发射器13与天线14相连。

图 I-12 下图是发射过程和接收过程及一些必要的仪器的示意图。斗轮1和围绕轴旋转的勺斗3正在工作位置。电容式压力计4和发射器13放在外壳5里,外壳固定在斗轮上,因而斗轮1和勺斗3中间出现的压力就作用到压力计4上。附近放一台有天线15的接收机16。为了能立刻读出读数,接收机16与一台频率指示仪17相连。还可以安装一台记录仪18,以便记录数值。

### 3. 用机械式仪器在勺斗上测量切割阻力

苏联H·H克里盖指出,为了确定勺斗的挖掘阻力,如用复杂而价格昂贵的电子仪器,则需长时间的实验准备。此外,联接系统及传感器的安装复杂,导线铺设复杂。

因此,苏联莫斯科建工学院建筑机械研究室研制了一种机械式仪器,该仪器能迅速装于斗轮上,能在较短的时间内取得大量的测定数值,而勺斗上不需复杂的装置,挖掘机也不必长时间停运。

测量装置由承受压力的变形传感器测力环和记录传感器上钢质弹性元件变形的自动记录仪组成。变形通过杠杆系统而传至自动记录仪(见图 I-13)。仪器在斗轮上的安设如图 I-14 所示。自动记录仪的记录带运动速度分 3 毫米/秒及 35 毫米/秒两种,当一次挖掘延续时间为 1.2~1.3 秒时,与之相应的一个波形图上,可分别记录 200 次或 36 次挖掘力数值。

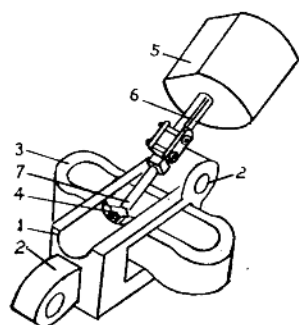


图 I-13 记录挖掘力的仪器

1—仪器外壳; 2—仪器耳子; 3—弹性椭圆形元件; 4—杠杆;  
5—自动记录装置; 6—自动记录装置的塞尺; 7—塞尺头

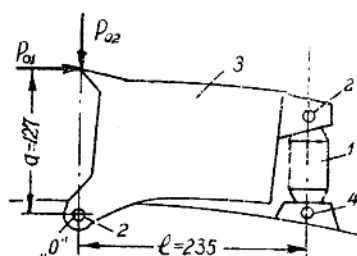


图 I-14 勺斗作用力示意图

1—仪器; 2—勺斗耳子; 3—勺斗; 4—斗轮耳子

1963 年秋,该仪器曾在 3P-7A 型轮斗挖沟机上测试过。安装仪器的时间为 30~40 分,更换记录仪的记录带所需的时间为 3~5 分。为扩大力的记录范围,采用不同灵敏度的可更换的弹性元件。仪器可在一个班内记录 20~25 个应力波形图。

东德来比锡运输技术研究所于 1963 年发展了一种直接测定切割力的方法,已在生产中加以验证。测压计(见图 I-15)直接安装在勺斗和轮体之间,使测压计仅受压力。这样,在测试时测压计中的一个圆柱体(其尺寸经计算而定)将在切割过程中被变形和压扁。所产生的长度变化由杠杆传递,并按 1:900 的关系换算。记录装置将结果记录在由电力传动的记录纸上。测定装置对灰尘,潮湿及震动等防护是可靠的。这种方法曾由东德来比锡运输技术研究所盘轮露天矿的 SchRs 800 型轮斗挖掘机上试验过,测压计测得了精确的结果。但用这种测压计测得的数值中,还包括了提升力和斗重的影响,需在整理数据时消除。

#### 4. 利用单斗挖掘机测定切割阻力的方法

苏联顿涅茨克矿业学院矿山机械教研室,在 1963 年创造了一种在单斗挖掘机上测定勺斗切割力的方法。

总的测定装置如图 I-16 所示。在单斗挖掘机的勺杆上通过一套连接构件连接一斗容为 350 升的切割框。两个测力传感器安设在连接构件上,分别测定切向切割力与侧向切割力。

测力传感器由一个在内表面上贴有电阻应变片的弹性钢圈、两个传递压力的鞍形装置及

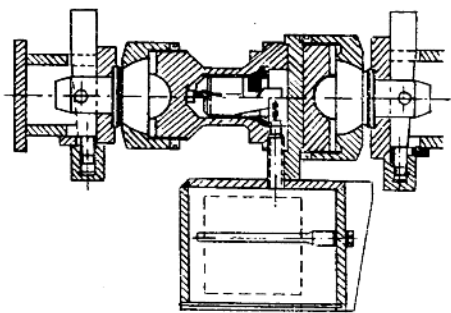


图 I-15 测压计剖面图

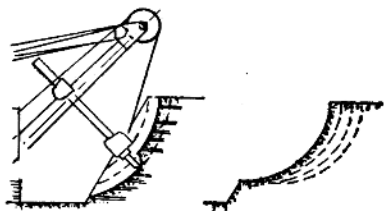


图 I-16 测量勺斗形成的刨片的示意图

两个盖组成(见图 I-17)。

切割力的变化用示波器记录。

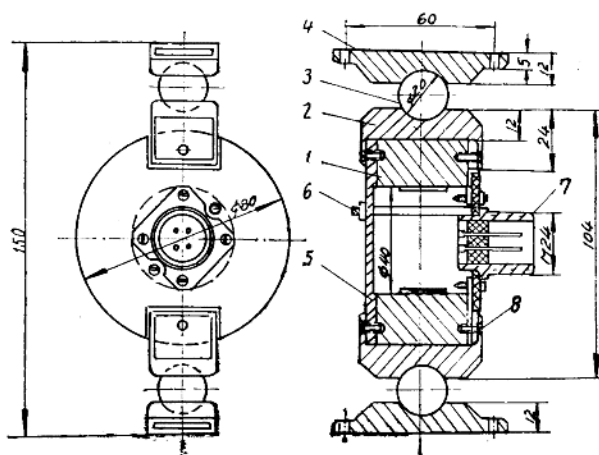


图 I-17 环形电测力计(原文无注)

试验证明,在苏联开尔琴斯基铁矿区切割松软岩石,棕色硬岩以及最硬的黄褐色矿石时,试验装置的工作是可靠的。

这种装置能测定的切割力达15000公斤,切割力的测向分力达5000公斤。

### 5. 野外测定切割阻力的其它方法

#### (1) 用轻便仪器在野外测定切割阻力。

1970年,苏联基辅工程建筑研究所新型土方工程机械教研室设计了一种野外测定切割力的轻便仪器(见图 I-18)。

刀具的宽度自 10~100 毫米不等,以便能在实验室切割尺寸小的岩心或在野外切割尺寸近于实际条件的土岩体。切割角的变化范围为 $30^{\circ}$ ~ $90^{\circ}$ 。整套仪器包括三个刚度不同的弹性小梁,测试时,根据实际可能产生的最大量程,选用其中的合适者。此外,测弯计的杆柱与弹性小梁的夹持点之间的距离还可调整,以适应记录的比例尺,因而这种仪器可适用于各种强度