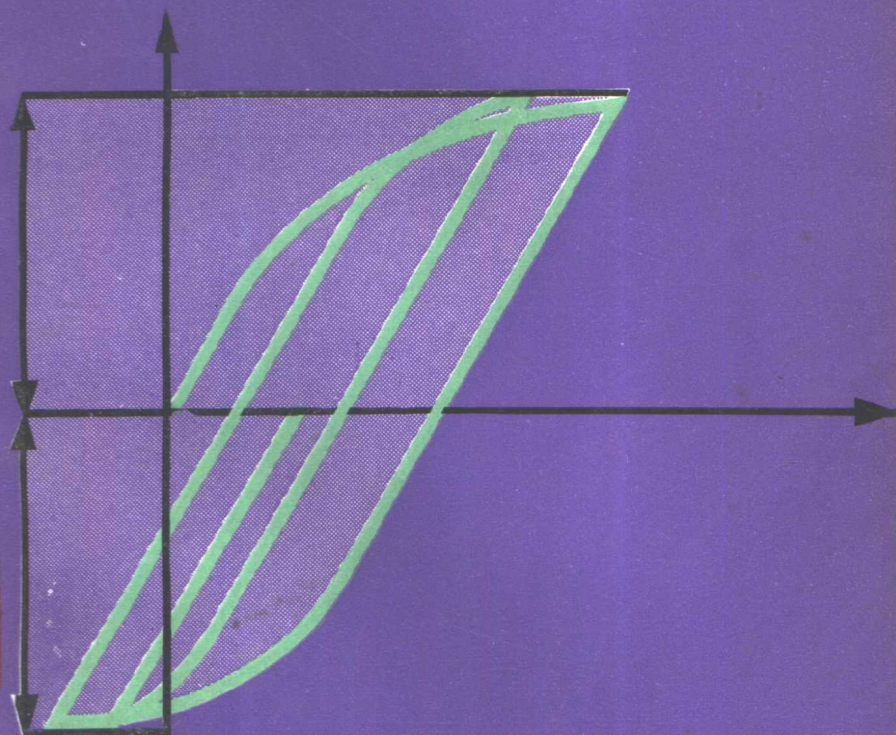


# 提高采矿 机械的强度 与耐久性

周公韬 沈世华 译



煤炭工业出版社

# 提高采矿机械的强度 与耐久性

〔苏〕A.B.多库金 П.В.谢缅恰

E.E.高利德布赫特

Ю.А.基斯林

周公韬 沈世华 译

煤炭工业出版社

## 内 容 提 要

本书阐述了采矿机械的使用和承载条件,主要零件的失效形式,以及矿井综合机械化作业对采矿机械的特殊要求。本书根据苏联矿业研究院作者们的研究结果,系统论述了采矿机械构件的强度和耐久性最新的分析和试验评价方法,介绍了零件的计算和试验方法及其试验台架的构造,阐述了提高采矿机械零件的强度与耐久性的基本方法。

本书适合煤炭及其它采矿工业的采矿机械发展部门的科研、设计、制造工程技术人员和有关专业的大、专院校的教学人员参考使用。

责任编辑:殷永龄

А.В. Докукин П.В. Семенча  
Е.Е. Гольдбукт Ю.А. Знелин  
ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ  
И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ГОРНЫХ МАШИН

Издательство «Машиностроение» МОСКВА 1982 г.

## 提高采矿机械的强度 与 耐 久 性

〔苏〕А.В. 多库金 П.В. 谢缅恰  
Е.Е. 高利德布赫特  
Ю.А. 基斯林  
周公韬\* 沈世华 译

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路15号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷  
新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$

印张 $8^{1/16}$

字数 180 千字

印数 1—3,300

1985年8月第1版

1985年8月第1次印刷

书号15035·2704 定价1.50元

## 译 序

煤炭是我国的主要能源，为满足国民经济发展的需要，必须加快煤炭工业的发展速度。近代煤矿井工开采技术的主要发展方向是强化工作面作业，实现采掘机械化和综合机械化。提高采掘工作面装备的可靠性和耐久性是近期内发展采掘机械化特别是综合机械化所面临的迫切任务。

《提高采矿机械的强度与耐久性》(ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН, МОСКВА, 1982)一书，是苏联矿业研究院(ИГД) А.В. 道库金院长及其同事们近年来对采矿机械的强度与耐久性问题研究成果的系统论著。本书论述了采矿机械的使用条件和受载状态，主要零件的失效形式，以及从充分发挥采掘综合机械化装备的生产效能出发，提出了提高采矿机械强度和耐久性的基本方法。

为了推动我国采矿机械承载能力和工作耐久性领域科技水平的提高，从而促进我国综合机械化事业更好向前发展，我们翻译了本书并介绍给读者。

本书适合煤炭及其它采矿工业的设计、研究、生产以及使用部门的工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考使用。

由于我们水平所限，译述难免有错误；由于缺乏参考资料和时间较紧，我们对书内的某些公式、计算未能进行充分校核，错误之处均恳请读者给予批评、指正。

# 目 录

---

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 序论 .....                          | 1   |
| 第一章 采矿机械的使用条件 .....               | 4   |
| 1.1. 综合机械化开采对采矿机械结构的特殊要求 .....    | 4   |
| 1.2. 采矿机械的工作载荷 .....              | 9   |
| 1.3. 采矿机械零件的破坏形式 .....            | 14  |
| 第二章 采矿机械元件的结构强度 .....             | 28  |
| 2.1. 结构强度判据的分类 .....              | 28  |
| 2.2. 静载荷承载能力的判据 .....             | 30  |
| 2.3. 抗瞬时破坏强度的判据 .....             | 34  |
| 2.4. 结构寿命的判据 .....                | 41  |
| 2.5. 抗疲劳性计算 .....                 | 48  |
| 2.6. 机器零件的强度计算 .....              | 53  |
| 第三章 采矿机械的试验台试验 .....              | 59  |
| 3.1. 采矿机械试验台试验的分类 .....           | 59  |
| 3.2. 采矿机械试验台的一般性能和对试验台的要求 .....   | 60  |
| 3.3. 采煤机的试验 .....                 | 64  |
| 3.4. 刮板输送机的试验 .....               | 78  |
| 3.5. 液压支架的试验 .....                | 92  |
| 3.6. 综采机组和联动机设备的试验 .....          | 97  |
| 3.7. 加速寿命试验的特点和基本方法 .....         | 100 |
| 第四章 采矿机械元件的疲劳试验 .....             | 109 |
| 4.1. 疲劳试验的基本方法 .....              | 109 |
| 4.2. 疲劳试验结果的初步统计学处理 .....         | 113 |
| 4.3. 作疲劳曲线 .....                  | 121 |
| 4.4. 零件全概率疲劳图及零件抗疲劳性能的的概率评价 ..... | 127 |
| 第五章 齿轮传动强度的研究与计算 .....            | 133 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 5.1.影响齿轮齿部承载能力的因素 .....                | 133 |
| 5.2.弯曲应力沿轮齿过渡曲线分布情况的分析研究 .....         | 135 |
| 5.3.弯曲应力沿轮齿宽度分布情况的试验研究 .....           | 141 |
| 5.4.齿轮传动的强度和耐久性计算 .....                | 145 |
| <b>第六章 轴与心轴的计算</b> .....               | 164 |
| 6.1.作用于轴和心轴上的载荷 .....                  | 164 |
| 6.2.静强度计算 .....                        | 165 |
| 6.3.疲劳计算 .....                         | 169 |
| 6.4.刚性计算 .....                         | 174 |
| <b>第七章 链式曳引构件的计算</b> .....             | 183 |
| 7.1.采煤机圆环链曳引构件的参数和结构特点 .....           | 183 |
| 7.2.曳引圆环链的强度计算 .....                   | 190 |
| 7.3.曳引圆环链的使用和检修要求 .....                | 205 |
| 7.4.圆环链质量水平的评价 .....                   | 210 |
| <b>第八章 提高采矿机械构件的强度与耐久性</b> .....       | 216 |
| 8.1.钢的物理性质统计分析 .....                   | 216 |
| 8.2.对减小产品重量和尺寸对强度的影响的估价 .....          | 221 |
| 8.3.提高齿轮和曳引链条的强度和耐久性 .....             | 223 |
| 8.4.电渣重熔钢和合成渣精炼钢对轮齿弯曲疲劳极限的影<br>响 ..... | 231 |
| 8.5.提高井下采矿机械金属结构承载件的强度 .....           | 234 |
| 8.6.提高采矿机械强度和耐久性的经济效益 .....            | 241 |
| <b>结论</b> .....                        | 247 |
| <b>附录</b> .....                        | 248 |
| <b>参考书目</b> .....                      | 254 |

## 序 论

---

采矿工业的基本任务是依靠生产过程的综合机械化和自动化,不断提高产量和改善技术经济指标。在解决这一重大任务中,采矿机械制造业起着很大的作用,它的进步可以改善机器的技术参数、提高机器的功率和生产效率。为达到此目的,主要靠提高采矿机械的强度和耐久性,因为即使只要一台机器不能正常工作,就会使整套机组的效率降低,甚至使之停产,造成不可挽回的损失。

采矿机械(采煤机、掘进机、刨煤机、挖掘机、钻机、装载机、刮板输送机、皮带输送机、矿用电机车、液压支架等等)有各种用途,包括开采和输送有用矿物、掘进巷道、支护等等。

现代采矿机械是在极为困难的条件下工作的,机器本身尺寸受限制、岩石的磨耗性强、空气中含尘多、矿井水有腐蚀性等。采矿机械所承载荷具有随机性特点,岩石在破碎和输送过程中的阻力是变化的。为了研究这一过程,采用了概率法,将机器各元件的载荷看成是随机函数,其参数取决于外力的统计学特性和机器的动力特性。

已证明机器的零件和元件的强度参数不是恒定的,这些参数与零件和元件的尺寸、材料的化学成分、材料的制作条件、机械加工和化学-热处理加工、装配质量等因素有关。这些因素的作用决定了强度参数的随机性,因而对它们研究时也应采用概率法。

任何用途机器的强度和耐久性,取决于作用载荷的大小和特点、机器及其零件的结构和它们的强度指标。因此,本书

中将讨论采矿机械的结构特点、其零件在使用时的破坏形式以及影响零件强度和耐久性的其他因素。

研制任何一种机器的最重要阶段之一是按静力作用计算零件的强度和抗疲劳性。为采矿机械零件建立科学的计算方法是从下列几方面进行的：确定实际使用时的载荷，材料的刚性、可让性、稳定性、应力-应变特性、零件的承载能力和耐久性。首先要对机械传动元件进行计算，它们是采矿机械中量大而又昂贵的组件和零件（齿轮、链条传动、轴），它们是由高强度合金制成的，并经过现代化方法强化处理。书中介绍了部颁标准中的这些零件的计算方法。

机器的生产工艺一般是以试验台试验结束，以测定各种参数和指标。机器的试验台试验是提高机器可靠性的前提之一。本书中分析了几种采矿机械的试验方式和试验台型式，专门讨论了采煤机、刮板输送机、液压支架和综采机组的试验方法和试验台结构。由于机器快速寿命试验的重要性和特点，因此特别对这种试验方法和载荷参数的确定进行了讨论。

试验的实践表明，对《零件-部件-机器》进行整套试验，可以得到机器强度和耐久性的最全面的资料。对零件进行疲劳试验可确定其在不同破坏概率下的实际疲劳极限和耐久性。疲劳试验的结果普遍应用于机器设计中，既应用于零件的强度计算，也应用于确定各种因素（钢号、强化方法、结构等）对零件抗疲劳性能的影响。所以，对疲劳试验单独写了一章，其中叙述了试验结果的统计学处理，一些具体零件（牵引链和齿轮）的疲劳曲线和全概率疲劳图的制作。

随着采矿机械制造业的发展和机器技术水平的提高，如何提高采矿机械的强度和耐久性的问题，不仅不会失去意义，而且这一问题的解决变得更为必要了。

显然，在一本书中不可能讨论各种采矿机械及其零件和组件、现有的各种试验方法、计算方法和提高强度的方法。对这些问题本部门所属的各种组织机构（设计、科学研究单位、学院、机械制造厂和修理厂）都在利用通用机械方面的经验而在成功地进行研究，本书的材料是以斯阔钦斯基矿业研究院的文献和研究结果为基础的。

## 第一章

# 采矿机械的使用条件

---

### 1.1. 综合机械化开采对采矿机械结构的特殊要求

现代采矿工业技术改造的基本内容是，实现煤矿、金属矿和露天矿的开采工作集中化、生产过程综合机械化和自动化[17]。

1980年综合机械化采煤的比重已达67%，采用掘进机掘进的巷道已占38%。

综合机械化采煤的发展使采煤的基本过程——回采工作的强度大大提高。这一点具有特别重要的意义，因为在回采工作面要完成劳动量最大的开采工序并将煤运至主要的运输设备上。

综采的有效性是用回采工作面每采1 t煤所需的时间这一开采强度指标进行评价的。图1.1表示，顿巴斯煤矿的120个工作面采用不同回采工艺时，开采1 t煤所需工时的变化[12]。由图中可知，综合机械化开采与使用单体支柱浅截式采煤相比耗时少33.3%，与深截式采煤相比少28.6%，而与割煤机炮采相比则少61.5%。

近年来制成了新的高效率综采设备：用于厚0.7~1.2m煤层的KM103机组；用于顶板坚硬煤层的KMT机组；用于厚1.6~2.5m急倾斜煤层正面开采的AK3型综合机。

由于优先发展了露天开采，制造和推广了高效率的钻孔、挖掘和运输设备，使煤炭开采总的技术经济指标显著提

高。露天产量的比重从1960年的20%提高到33%，而东部地区则从35%提高到50%。露天采煤的平均生产效率比井工采煤提高2~3倍，成本低1~2倍。

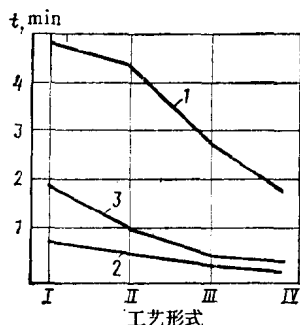


图 1.1 每采1t煤所耗的工时

1—总工时量；2—工艺停机时间；3—采煤工序中的出煤时间；I—截煤机割煤爆破落煤；II—深截式采煤机采煤；III—浅截式采煤机配单体支柱；IV—综合机械化采煤

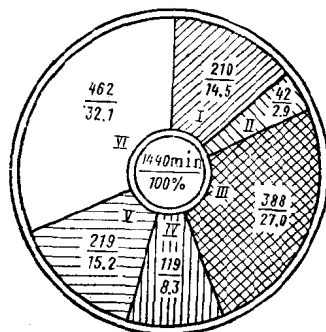


图 1.2 综采工作面工时结构

I—检修-准备工作；II—准备-收尾工序；III—出煤；IV—辅助工作；V—工艺停机时间；VI—耽误时间

将科研成果在生产中推广时，往往会要求解决与之有关的其他问题，这些问题在一定时期内会妨碍技术经济指标的提高。这种现象现在可在煤炭工业中看到。对综采工作面工时消耗的分析表明，整个采煤工艺过程，特别是运输环节（在储煤容量不足时）的可靠性还很差。出煤时间仅占27%，而故障耽误加上工艺停机时间却占37.3%〔13〕。因此，进一步提高综采效果，增加出煤时间，要从下面几点着手：实现免开机窝开采、取消人工清底和人工支护工作面端头、设置中间煤仓以及提高设备可靠性。

综合机械化采煤对采煤和运输机械要求很高，首先是要求提高生产率和可靠性，因为这两个因素不仅决定工作面的

开采强度，也决定了劳动生产率的提高和设备购置费回收期的缩短。此外，采煤机械还应保证增加煤的块度和减少煤尘量。

采矿机械的特殊工作条件是：井下空气潮湿且有飘尘；煤和岩石的磨蚀性（абразивность）；矿井水脏且有化学作用；岩石有可能冒落在机身上；煤层的厚度和倾角的变化等。对露天采矿作业来说，还有温度变化范围大的特点。

地理和气候因素对采矿机械的工作条件起决定作用，从近北极圈到中亚，从喀尔巴特到库页岛的矿区都有苏联本国制造的采矿机械在工作。在南方矿井，特别是深井中，会遇到高温（+40℃）问题；在北方矿井中又要解决永冻土和低温（-60℃）问题；有些地区又会遇到地震活动、矿压冲击、煤和瓦斯突出等问题。

在开采薄煤层时，工作面行人很困难，因此综采设备应使回采工作面不需要经常有工人，对机器的尺寸也有特殊要求。这种条件下，应以设备的小型化，采煤机、支架和输送机的快速移动、采煤装备的单位重量的功率大等作为设计原则。尺寸小意味着机器元件的应力高，如传动零件、外壳、齿轮、工作机构、牵引链、设备顶盖、液压元件等。为了保证必要的强度和耐久性，必须用高强度、耐磨的材料制造这些零件，并进行强化处理（热处理、热-化学处理、冷作硬化等等）。

实际上所有采矿机械零件所受到的载荷一直在提高，对井下的机器来说，近年来它们的功率增加了0.5~1倍（例如采煤机的功率已达500kW），而机器的尺寸实际上没有改变。露天挖掘机的发展是在减小尺寸的同时加大生产能力；制造了生产能力为5000~12500m<sup>3</sup>/h的轮斗挖掘机，需要采

用功率达4000~10000kW的传动装置。

急倾斜煤层的开采装备有一定特点，其综采设备主要是自动或遥控的、带防滑装置的刨煤机或高效浅截式采煤机。

虽然矿山地质条件是多样的，采矿机械却应具有通用性。例如，井下回采机械应能在不同开采方法中使用，不论是沿走向、沿倾斜向上或向下以及用冒落法或充填法采煤时都能使用。机械制造和维修工作的特点又要求机器的型号尽可能少。为了解决这一问题，必须最大程度地使机器结构通用化，并采用标准零部件。已经制造出通用的采煤机截割部工作机构（滚筒）、截齿、齿座和牵引部。目前有关组织正在设计通用的采煤机系列。

采煤机及其工作方式应该能避免开机窝、清底、打眼、安设支架、拆装输送机等繁重的体力劳动，并能实现快速更换截齿。因此，研制机器人是有其独特意义的，它们重量轻，具有很大的灵活性，并能实现自动远程控制。

由于必需在潮湿的井下空气中工作，采矿机械各部件，首先是内部装有滚动轴承、传动齿轮和电器的机壳需要专门防腐蚀措施。由于井下空气中有飘尘，机器的减速箱中会进入岩尘和煤粉，会引起齿轮、轴承和密封件工作表面的磨损，这是设备提前失效的原因之一。为了防止磨损，在机器的减速箱中装有多级过滤器（粗滤和精滤），并要定期地清洗油箱，更换润滑油。

为了满足瓦斯煤田开采中的防爆要求，电器部分有专门的防爆腔，为了避免产生火花必须使接触表面有较高的光洁度。

为了使采矿机械符合有关振动和噪音的卫生规范，在机器中设置防过载装置、缓冲和保险装置；设置可调节传动部

等等。

改进采矿机械的另一个重要方向是实现牵引速度的自动调节，使机器处在最佳破碎煤和岩石的工作状态。

对采矿工业发展情况的分析表明，与前一时期相比，技术装备已得到推广，已应用于采矿工作的各个方面，减轻了矿工的劳动，提高了劳动效率，并使得条件复杂的矿床能够开采。每个工人平均装备的动力显著提高，在井下综采工作面中约为100kW，而在露天矿约为1000kW。

目前为了在复杂的矿山地质条件下采用综采设备，需要采取一些特殊措施，以克服一些限制因素，并提高技术经济指标（工作面开采强度和劳动效率）。例如，推广配有高支撑力支架的成套综采设备，以及开采薄煤层用的采煤机或刨煤机综采设备。

在露天开采方面科研工作面临的任务是：改善无运输、运输-倒推和循环-连续化等开采工艺，研制更强力、可靠和生产能力更大的设备，并要考虑西伯利亚矿区的气候条件、永冻土和矿山地质条件。已经为苏联东部和北部的露天矿制成高切割力的轮斗挖掘机、载重180 t的自卸汽车和其他先进设备。

可以得出下述结论：采矿机械技术水平的进一步完善，将会使机器的结构和制造工艺更加复杂，将需要采用强度更高的材料，并能使综合机械化设备，在提高可靠性的同时，具有更多的功能，而设备的可靠性在很大程度上决定设备使用时的技术经济指标。

正在制造一些按照新原理工作的机器，例如，功率为100kW、高250mm、截宽300mm的冲击式刨煤机，采用它能为开采0.5~0.55m厚的煤层配套成自动化的综采机组，能

应用于任何硬度的煤层，而且回采工作面不需要经常有人。很自然，对于这样的机器，可靠性问题是最为重要的。

在提高设备可靠性的全部问题中，如何用科学方法在机器的设计和制造阶段就评价其可靠性是有特殊意义的。众所周知，机械及其零件的强度和耐久性计算以及试验等就属于这种方法。

研制每一种新采矿机器都是从样机设计、试制和试验开始的，而且井下用的机器是在专门的试验台上试验，紧接着磨合，然后到井下试验。露天矿的样机就要在正在生产的矿上去试验和调整，对这类设备的设计和制造质量要求更高。井下用机器的试验台应该具有通用性，并能适应同一类机器技术特性的要求。

采矿机械的科学计算和试验方法是根据这些机器工作中特殊而又多变的条件而制订的。

## 1.2. 采矿机械的工作载荷

采矿机械的工作经验和在使用条件下的试验研究表明，机器各元件所受的载荷不是恒定的，而且载荷的频率和峰值是不断变化的。采矿机械的主要载荷来源于其工作机构与被破碎的矿岩体或者与排运物料的相互作用。

采掘机械、刨煤机、轮斗挖掘机、穿孔机等载荷，取决于下列各种因素：矿岩体不同部位的岩石强度的随机变化；岩体中硬夹石和裂隙的存在和随机分布；机器不恒速移动；岩石破碎过程的物理现象等，而后者又与机器的工作机构结构有关（螺旋滚筒的螺旋数或钻头的叶数；装载口的位置；截齿的形状和数量及其在截割头上的分布），还与破碎岩体的情况（截割深度和速度）有关。此外，如果截割部除

了破碎功能之外，还起装载作用，则破岩的阻力与装载的阻力将会叠加。

对于连续和循环作用（耙爪式和铲斗式）的装岩机来说，载荷取决于装载的物理过程（首先是被装岩块的块度和数量的随机变化）；装载部分的结构和动力特性（耙爪或铲斗的尺寸和形状及其运动轨迹）。

链板输送机和胶带输送机的载荷变化取决于：装载和输送破碎岩石的情况（装载量和物料沿输送机长度分布的随机变化）；输送机本身的结构（包括输送机长度、装载周期、有否液力耦合器、溜槽的尺寸、链子的数量、刮板间距及其形状、链轮的齿数等等）；工况参数（链板和胶带速度等），矿山地质条件（输送机的安装倾角，物料的潮湿度，底板的起伏，后者会使溜槽折曲并使链板在溜槽连接处撞击而产生动载荷）。

井下列车部件（机车和矿车）的载荷变化，首先是由于路轨不平整（铁轨断面不均匀，弯曲过大，接轨处铁轨局部突出）。此外，还与运行速度和轨道表面情况（铁轨浸水或路面有泥沙）有关。对于挖掘机和其他露天煤矿机械，风力形成的载荷也很重要。

除上述对各类采矿机械分别作用的因素之外，对于所有的采矿机械还有下面共同的载荷来源：

某些系统中存在运动学方面的缺点（齿轮和链轮传动的运动学，工作机构的运动学不平衡），

由于各种零件（齿轮、轴、轴承、减速箱机壳等）制造和安装时的误差而造成的力学扰动；

动力源（电压、液压、风压）的不稳定；

操作人员的影响〔快速无误地判断情况、其职业的直觉

(профессиональная интуиция)、准确和平稳地操作)。

总的来说, 矿山机械工作过程是: 机器-外部环境-动力源-操作人员整个体系的作用结果(俄文简称МСЭО-译者)。机器工作的效果取决于这一体系的效果。

上述所有的因素合在一起, 决定了矿山机械的基本特点——作用于零件的载荷的无规律性和随机性。

矿山机械的另一重要特点是它们在空间的位置不固定, 因而在研究其受力状态时, 不得不考虑整个机器和它的一些元件空间位置的变化。

采煤机和掘进机等破碎煤和岩石的机器的载荷特性是最为复杂的。从上述分析中可以看出, 影响其它采矿机械受力状态的因素要少得多。

矿山机械元件所受的载荷取决于工作机构的载荷及机器的动力特性。因此, 为了计算机器工作时的载荷, 必须先确定工作机构的载荷。

斯阔钦斯基矿业研究院、国立煤矿机械设计院顿巴斯分院、莫斯科矿业学院、顿涅茨工学院和其他单位, 对工作元件的载荷进行了研究。研究结果被应用于刀具和工作机构的设计中, 以确定它们的基本参数, 并被列入各种规范和手册, 其中有确定采煤机截割力和牵引力的规范(ОСТ 12.47.001-73), 确定采煤机最大载荷的规范(ОСТ 12.44.093-77)。由研究结果得到的各种因素之间的关系, 可以用于进行工作机构的强度和功率计算, 以选择合理的工作况和工作机构的参数, 合理地选择工作过程的功率、提高煤的块率、减少截齿磨损和改进一系列其他指标。

确定截齿和工作机构载荷的原则和方法, 除了上述规范之外, 还在一些文献[9、10、39]中有详细叙述。