

11552
煤矿科学技术论文选

采掘机械的 设计和计算

苏联 阿·阿·鲍里索夫等著
薛健 甯恩渐 李铤 陈春泰译

煤炭工业出版社

煤 矿 科 学 技 术 论 文 选

采掘机械的设计和计算

薛健 葛恩瀚 李鎰 陈春泰译

煤炭工业出版社

本書共包括七篇論文。這些論文是從蘇聯國立煤礦技術書籍出版社出版的“礦山機器的計算與設計”(1954)和“礦山機器的計算、設計與試驗”(1955)兩書中選擇下來的專門探討礦山采掘機械設計和計算的某些理論問題。

本書第一篇由薛健譯，第二、三篇由竇恩漸譯，第四、五篇由李鑑譯，第六、七篇由陳存泰譯。

本書可供礦山機械設計人員和礦院師生參考。

CS7

煤礦科學技術論文選

采掘機械的設計和計算

薛健 竇恩漸 李鑑 陳存泰譯

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本850×1168公厘 $\frac{1}{32}$ 印張 $\frac{15}{16}$ 字數184,000

1958年6月北京第1版 1958年6月北京第1次印刷

統一書號：15035·423 印數：0,001—2,000冊 定價：(11)1.70元

目 录

用冲击载荷破碎煤和岩石	1
降低采煤能容量的途径	52
用从工作面裸露表面破碎的方法破碎煤的工作机构	64
飞輪質量对平衡矿山机械载荷的影响	104
掘进康拜因行星工作机构原理的某些問題	115
“頓巴斯”康拜因工作时鋼繩张力的試驗确定	195
現代計算法在采煤机械制造中的利用	213

用冲击载荷破碎煤和岩石

技術科學碩士 A. A. 鮑里索夫副教授

在本文中提出了以下諸問題的研究情況：冲击载荷作用下煤和矿山岩石的破碎过程；破碎过程的能容量；消耗于破碎試件上的能量和冲击物体的能量間的一般关系；在靜载荷作用下所需的能量和冲击载荷作用下所需能量間的对比关系。

只有研究了不同施加载荷方法下及不同载荷条件下破碎煤的規律，只有在这样的基础上，才有可能創造出具有高度生产率的矿山机械来。用冲击载荷破碎煤和岩石的生产率要比用靜载荷破碎时高很多倍；因此研究煤和岩石在冲击载荷作用下的破碎規律是我們的首要任务。

很久以前就有人曾对冲击载荷作用下固体的破碎規律进行了研究。很久以前，列欧那尔德达文奇就对与冲击有關的問題〔18〕試行研究。在稍晚的时期，在十九世紀，特別在二十世紀初，很多学者研究了在冲击载荷作用下金屬的破坏过程。

金屬破坏規律的研究是現代科学（弹性理論、塑性理論、固体物理学、冲击波理論、固体的碰撞理論及其他）中許多部門的重要的任务之一。

在苏联，在 H. H. 达維金柯、B. И. 庫茲涅佐夫、E. M. 瑟文金、M. A. 鮑尔沙宁娜、A. H. 庫斯泰列娃、M. A. 基里切夫斯基等人領導下的科学团体正对在冲击载荷下金屬的破坏問題进行研究。

虽然在此領域中苏联科学获得了极其重大的成就，然而目前这些問題还不能認為已經解决。

关于研究在冲击载荷作用下煤和岩石破碎过程的著述是很少的。

据我們所知，关于在冲击载荷作用下矿山岩石破碎问题的研究仅有 И. И. 别良金的一份著作〔4〕，而对在冲击载荷作用下煤的破碎问题的研究仅有 Г. В. 卡尔宾科的一份著作〔18〕。自然，М. М. 普洛托基雅庫諾夫、И. С. 庫切洛夫及全苏煤矿研究院关于截煤过程的研究的著述以及 А. Н. 杰烈宁的关于岩石截割研究的著作不能列于这类著述之内。

此外，还必须注意到，煤和岩石较之金属具有更复杂的结构。

对在冲击载荷作用下，煤和岩石破碎规律的研究，也正和对金属的研究一样，包括很多问题，并且要求学术机关的工作人员进行顽强的劳动。

我們研究工作^①的基本结果在下面叙述，自然它没有能填满所指出的空白。我們实验室研究的任务，包括有在冲击载荷作用下对煤和岩石试件破碎过程机械性方面的研究，并部分的研究了这些过程的能容量。

本文中阐述的一些工作的主要结果，无疑地在今后需要补充和进一步研究。在我們看来，这些结果在理論上和实际上都

^① 列宁格勒矿业学院在1951年至1952年間进行了“綜合岩石物理机械性質的研究材料以及从冲击载荷作用下破碎过程的观点研究岩石”的工作。此工作的主要执行者是 А. Н. 庫洛茨金副教授，领导和拟定該工作方法的是 А. Н. 庫洛茨金和 А. А. 鮑里索夫副教授。技术科学碩士 Е. Н. 塔拉先柯娃以及采矿工程师 В. И. 巴戶林亦参加了此工作。

我們实验室研究的基本结果将于本文中叙述，此实验室研究是上面指出的工作的根本修改部分，并且作者于1953年所进行的研究对这些实验室的研究又作了主要补充。上面所指出的1951年至1952年間的工作是属于“从过程的能量观点对用水流与用冲击机构破碎岩石过程的实验与理論的研究”的綜合工作之内的，此綜合工作的科学领导人是 В. И. 格倫基耶夫教授，主要执行者是 Н. В. 加里尼茨基副教授。

有重要的意义。

作者希望，这些結果能帮助矿山机械設計师較以前更有根据的来解决这些机械的工作机构的設計問題，而对科学工作者，在制訂进一步的研究方法上有所帮助。

1. 研究的方法

以下見解确定为实验室研究方法的基础。

1. 在金屬的功力学試驗方面的各种不同的专家，И.И. 达維琴柯、B.А. 庫茲涅佐夫及其他人，不止一次的指出过，“冲击”本身这一概念是完全不确定的。

这是由于，在現代，載荷状况只能在質的概念基础上来分类。

所謂冲击方式載荷，即載荷突然加上，并且加载过程比在靜止方式下加载过程短的多。

因为“冲击”概念不包含冲击物体速度数值方面的量的准确性，所以作用物体在碰撞开始的瞬間，已經具有一个很小的速度时，对于这种情况就可称为冲击方式。

不說是关于冲击載荷的作用，而說是加载荷的速度对不同物体的破碎或变形性質的影响，这就更正确些。然而，在与被作用的物体相接触时的传递物体載荷速度的絕對值的大小，不應該引起对破碎或变形过程的影响。在負載時間內，緩慢发生的有效值的大小起着重要的作用。换言之，在其他条件都相同的情况下，这种緩慢决定着載荷的时间。

很可能，在破碎物体內的弹性变形传播速度的大小，对该物体的載荷速度有极大影响。但这問題还没有研究。

2. 岩石是各向异性物体，具有极其复杂的結構，往往具有宏觀及微觀的裂縫而使結構更加复杂。

3.煤是脆性各向异性物体，有由成分的分配情况所决定的复杂结构，具有由各种成因而形成的宏观或微观裂缝及层理，并且它们具有多种类型。

4.在同一个煤层中、一个自然分层中、甚至在单独的一块中，煤的性质也是不一样的。煤的构造成分（玻璃纤维、丝炭纤维、坚固的植物残骸等等）按其结构及物理机械性而言是很不一样的。

5.煤的物理机械性质决定于各个不同因素的总合：丝炭化程度；连结力的性质及大小，结构，应力状态，含瓦斯度，湿度，施加载荷的性质与速度，工作面裸露时间的长短等。

6.煤在工作面中的应力状态与地压大小、自由面数目、工作面移动速度、工作面长度、顶板管理方法（在回采工作面中）、瓦斯渗出的性质与条件等有关。

7.当以金属作动力试验时，曾采用断裂和弯曲试验。在该情况和其他情况下，试件沿整个横断面承受有载荷。这种情况与结构（机器、机构、建筑物）个别部分的工作相符合。被切开的试件的弯曲试验除外。

采矿机械的工作工具仅作用在工作面不大的部份上，亦即载荷仅加在工作面的一小部份上。此外，岩石以及煤的埋藏产状，仅允许加于工作上的载荷，主要为挤压载荷，因此一般同时产生着各种不同类型的破坏（拉断、剪断、压碎、在个别情况下——弯曲）。

8.按照煤和岩石的埋藏条件，在工作面这个或那个部分上施加载荷的方向也可在极大范围内改变。

按照煤或岩石在工作面的破碎条件，为了在试验室条件下研究它们的破碎过程，采用了下述方法。

1.煤、岩石和人造材料的试件的破碎是在立式冲击试验机

上以及一部分試件是在擺式冲击試驗机上以冲击載荷进行的。破碎用各种形状的冲击器以单次冲击的方式进行。

2. 将尺寸为 $70 \times 70 \times 70$ 公厘的自由試件以及置于冲模中具有一个到三个自由面(平面)、其尺寸达 $150 \times 100 \times 100$ 公厘的試件加以破坏。制作試驗所用的材料以及其物理机械性列于表1中。

表 1

材 料 名 称	极限抗压强度 (立方体的), 公斤/公分 ²	极 限 抗 压 强 度, 公斤/公分 ²	法 向 彈 性 模 数, 公斤/公分 ²	橫 向 变 形 系 数
“塔尔干烏克倫” 矿井的普洛考比 耶夫煤层的煤	沿层理面为300 垂直层理面为 416	沿层理面 为15	沿层理面为 3.67×10^4 $\sim 3.90 \times 10^4$ 垂直于层理面 为 2.49×10^4 $\sim 2.87 \times 10^4$	沿层理面为 $0.289 \sim 0.301$ 垂直于层理 面为 $0.284 \sim 0.298$
滑石片岩	903	105	5.6×10^5	0.3
粘土頁岩	沿层理面为300 垂直层理面为 500	—	沿层理面为 3.5×10^5 垂直层理面为 1.5×10^5	0.3
鹽 岩	270	12	2.6×10^5	0.22
雪花石膏	84	15	4.4×10^4	0.177
波特兰水泥	500	20	$\sim 4 \times 10^5$	0.2
石 灰	20	—	1.5×10^5	—
鋁礬土水泥	500	25	$\sim 5 \times 10^5$	0.2
光学玻璃	5000	600	0.56×10^6	0.35

3. 为了进行比较, 在用冲击載荷破碎試件的同时, 并将同类型的数组試件, 借冲模之助置于格林式压力机上, 在靜載荷作用下研究了这些試件的破碎过程。

4. 用同一类型数组試件进行試件結構变化的研究; 为此冲

击完这些試件之后将其鋸开，将鋸开面加工并进行研究。与此同时，将預先鋸开并扎入夹圈内的試件作关于在承受載荷后結構变化的研究；这些試件的各部份事先彼此相互磨光。在个别情况下，对受載荷的煤試件的鋸开表面进行了岩相学分析。

5. 撞針冲模的直径取 5 至 50 公厘；在主要試驗中，撞針和冲模直径取 20 公厘。

在試驗中采用了經过淬火鋼撞針和冲模（图 1），它們具有以下諸形状：平的、錐形的（具有 60° 和 90° 的錐角）、球面的（其半径 $r=10$ 公厘）、蓄起形的。后一类型的撞針和平面撞針的不同在于它的冲击表面有不大的凹面（大約为 0.01 公厘）。

6. 碰撞时的作用力变化是用迴綫式和阴极射綫式录波器測量的。

当应用迴綫式录波器时，金屬絲发送器直接附加在撞針上，如图 1 所示（撞針 5、6）。当用阴极射綫式录波器时，用

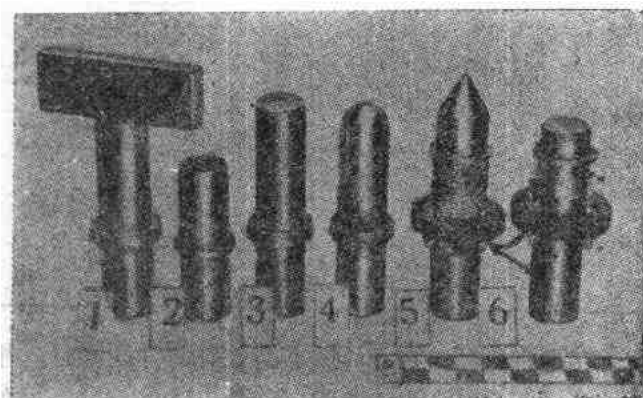


图 1 撞針类型

1—沿整个試件的寬度复盖着試件的平头撞針，2—平头撞針，
3—蓄起形撞針 4—球面撞針，5—附有金屬絲发送器的錐形
撞針，6—附有金屬絲发送器的平头撞針。

压电石英作为发送器，将它置于撞針的下面。

7. 冲击物体与試件接触时的速度，在每秒 2 到 4 公尺的范围内变化，在个别的試件中，其速度达到每秒 5 公尺；加载荷的物体的能量在 1 到 12.5 公斤公尺的范围内变化。

以下所阐述的全部結論，其能量和载荷速度的值均在此范围内。

8. 在試驗室的試驗中曾联系到制备一定形状和尺寸的試件問題。在矿井中选取以及制造試件时，已經选取了較硬的与少裂縫的煤和岩石。軟弱的和裂縫发达的煤块通常是不好制作为試件的。因为我們在本階段的研究中主要注意的是現象的本質方面，并且为了避免过度的崩散，在試驗前試件要仔細的根据其外形进行选择。

9. 为了避免湿润的影响，煤、滑石、盐和其他材料的試件是用干法制造的。

10. 在試驗室中只研究了在冲击载荷作用下煤和岩石及其他具有較简单結構的材料破坏的質的方面，因此在我們的試驗中沒有模仿煤和岩石在工作面中的破坏条件，然而当我们研究破坏过程量的方面时，这种模仿則完全是必要的。

2. 在冲击载荷下的破碎过程

由于試件表面有粗糙和不平的现象，冲击时要从試件和撞針之間的縫隙中逐漸挤出空气，并由于其他甚至在一些非常仔細的条件下也不能完全消除的一些原因，致使試件的应力状态不是突然产生而是逐漸产生的。

自撞針和試件相接触的时候起，冲击物体的运动变慢了。这种变慢的情况是在极短時間內逐漸发展起来的。因此，载荷的作用力是在极短時間內逐漸增长起来的。

在冲击时作用力的变化是用录波器记录的。图2为煤试件被破碎时用录波器记录的波形图。关系 $P=f(t)$ （式中 P ——冲击时的作用力， t ——载荷的时间）用粗实线表示。其左边的一枝实线是表示在理想情况下承受载荷时的 $P=f(t)$ 的关系。实际上，在一般情况下作用力的增长是跃进式的，因此曲线 $P=f(t)$ 的左边一枝是折线（图2中的虚线）。

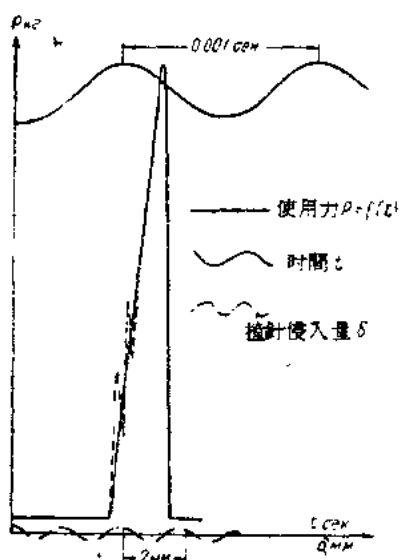


图2 用平头撞针以冲击载荷破碎没夹在模中的试件时用录波器（阴极射线的及透镜式的）记录下来的作用力变化的典型曲线。

在碰撞开始之前于电子射线幕上绘出的。在该线二顶峰之间的比例尺为2公厘。这种比例尺可使我们通过测定曲线 $P=f(t)$ 分枝基础间的直线线段来决定撞针的侵入深度。

根据波形图的数据，当煤的试件破碎时，平头撞针的下沉量为0.8到1公厘。

以上现象表明在撞针下面压固区域的变形过程是跃进式的，随着在撞针下压固区域所受的作用力（撞针压力）的增大，材料的结构也发生变化，并且在该区域内产生破碎压固和重新组合的过程。

曾发现试件开始破碎的瞬间是在作用力开始降低的时候。

由波形图知，煤试件的破碎时间在 5×10^{-4} 到 3×10^{-4} 秒的范围内。

正弦曲线的虚点线表示变形的比例尺。该线是

从撞針和試件接触时起，在試件中即产生应力状态，这种应力状态的特点是在撞針之下有特殊区域，我們假定称这种特殊区域为“压固核”或“压固区域”。

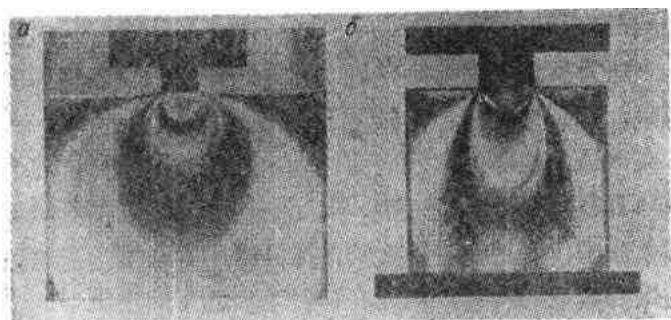


图3 通过冲模作用以靜载荷时所具有的应力状态特性（考克儿作）
 a —在各向同性的弹性半平面中； b —在有限尺寸的各向同性弹性体中。

由于試件破碎过程的时间很短，所以当冲击时，在作用力发展的过程中，直接研究試件的应力状态是极其困难的。

用平头撞針施加冲击载荷，在一开始时試件的应力状态特性，与通过平头冲模开始施加靜载荷时試件的应力状态特性，在質的方面是相似的。

在靜载荷作用下，試件的应力状态特性用光学方法决定之。当試件的尺寸远远大于冲模的直径时，其应力状态如图3, a 所示。在此情况下，等色綫很近似于通过冲模角的图[25]。

当試件尺寸与冲模尺寸的比减小时，能引起应力状态的变化，图3, b 所示为有限尺寸的物体的应力状态，試件的尺寸和冲模直径之比与我們实验中的一样。在此情况下，等色綫沿载荷作用的方向伸长，并呈椭圆形[20]。

图3給了我們煤和岩石試件的初始应力状态的簡略概念，这是因为感光材料在任何程度上也不能表达出煤和岩石构造和性質的特点。

随着撞針作用于試件上的压力的增大，毫无疑問，試件的应力状态将发生本質的变化，但是此問題沒有进行过研究。

撞針作用于試件上的压力增长至一定极限之前，不能引起試件的外部 and 压固核破坏。

当压力繼續增加时，撞針下部的局部变形就超过相应的强度极限，而直接在撞針作用下开始压固材料。

在理論上能够提出具有这样的机械性質的材料，即当其压固核只具有单一的弹性变形，就足以使試件表面部份破坏。在实际条件中，当用經過淬火的鋼撞針时，其硬度远远超过被破碎的煤和岩石的硬度，因而在撞針下面的压固核上层的一些压潰現象是不可避免的。

在所有冲击物体的能量不足以破碎試件的情况下，被撞針冲击后的試件都留有凹陷，这就是上述問題的証明。在由一切試件材料（煤、滑石片岩和粘土頁岩、石灰石、岩盐、水泥、雪花石膏、石蜡及其他）作成的試件中，都有这种現象。这种压潰程度随材料的机械特性与試驗条件的不同而有所不同。

当撞針的压力繼續增加时，压固区域逐渐引向材料分布层的更深处。用平头撞針破碎雪花石膏試件时，它的压固核的发展过程，依次的示于图 4、5 和 6 中。

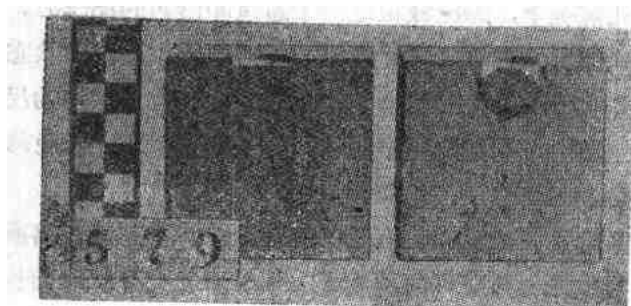


图 4 冲击载荷作用于雪花石膏試件上在早期压固核所形成的相

随着压固核的形成和发展，試件本身的变形也在增大。当压固核的变形（或它的压紧程度）达到某一限度时，在核的内

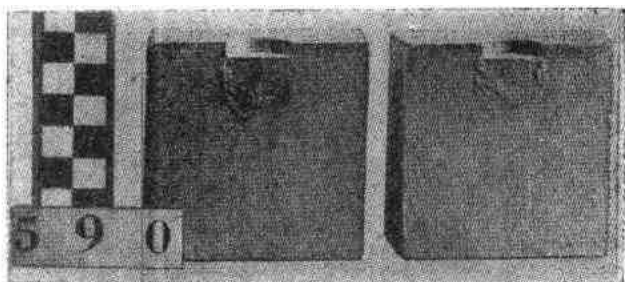


图5 冲击载荷作用于雪花石膏試件上在較晚阶段压固核的构成。

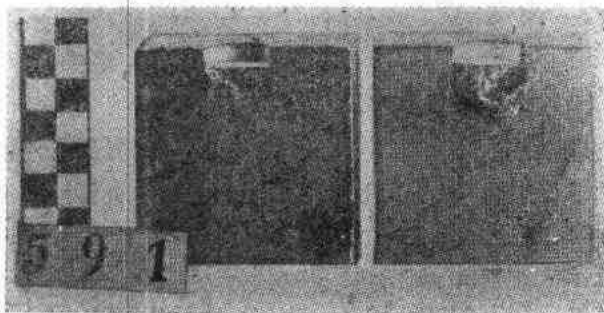


图6 在第一个裂紋出現前，在冲击载荷作用下的雪花石膏試件內的压固核的发展情况。

部，試件的压固核下面，产生了第一个髮状裂紋（图7）。此时在試件表面及压固核内看不出任何裂縫，甚至在扩大18倍的情况下也看不出来。

对图7所示裂縫的发生和发展的性質在数十个試件中进行了研究，它十分明显的表明，試件的破碎是由于压固核的变形作用所引起的；試件破碎的开始显然早于在撞針下面分离出“尖劈”的时间。因此，“尖劈”或“圓錐体”不是試件破坏的原因。尖劈是压固核的破坏形式，这种破坏稍晚于裂紋的发展阶段（参看图7）。

作用力的繼續增加將引起這一個裂縫的發展，如果有幾個裂縫的話，則將引起這些裂縫的發展。這裂縫沿沖擊方向發

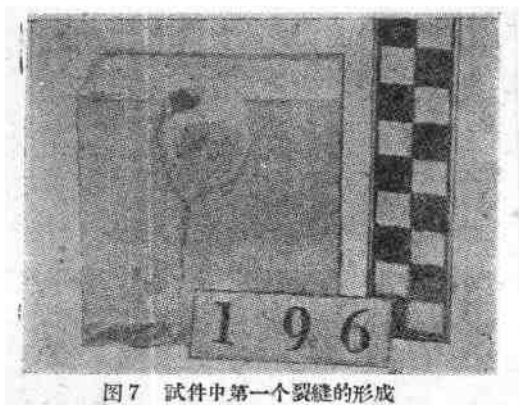


图7 試件中第一個裂縫的形成

展，并向着圓周發展。它繞過壓固核，並且發展到試件的上表面和側表面，起初在試件的這些側表面上裂縫也是沿着沖擊方向分布的。

第一個裂縫的出現，能急劇的改變試件和壓固核的應力狀態。如果說在裂縫出現之前，壓固核處於體積應力狀態下，並且從側面受到試件外部的夾持的話，則當裂縫出現並發展之後，這種試件外部對壓固核的夾持影響就逐漸消失，並且壓固核的應力狀態愈來愈接近于綫的應力狀態。

對着裂縫的壓固核的一些部分，所處的應力狀態與其他部份不同，這也會呈現出這些部份的破碎特殊形式：破壞成錐狀楔狀）羽翼形。

試件的繼續破碎將根據沖擊物體在該瞬間具有的能量而變。

1. 當沖擊物體有很少的過剩能量時，則在核內會發生一些薄弱平面，這些平面發展到劈開壓固核並與主要裂縫連接起來

的一个裂缝中(图8),因此,将试件分成两部分。在这种情况下,劈开压固核的这一裂缝由压固核中分出楔形块,楔块的一半还和一半试件牢固的連結着。

2.当冲击物体有很少的过剩能量,而在破坏试件前其压力比上述情况大得很多时;在此情况下,在核内的薄弱平面是对称发展的,并分离出具有斧形的楔块(图9),而不是锥形的,虽然撞针和试件的接触面积是圆形的。斧形楔块是沿着裂缝方向的。

3.当在试件最终破坏之前,冲击物体具有极大的过剩能量储备时,则在核中会分出锥形楔块及羽毛片,这些楔块沿着主要裂缝伸长(图10)。有时此羽状小片明显的自楔块中分出。

由粘土頁岩、滑石片岩、水泥和石蜡制的试件在破碎时也有这样的羽状小片。锥形楔块的形成是因为当冲击物体具有足够的过剩能量时,在试件内所发生的不是一个而是同时发生几个多多少少彼此对称分布着的裂缝。这就事先决定了,当撞针具有对称的接触面时,能产生具有相对对称形状的楔块。

当用冲击载荷破碎石蜡试件时,在试件上面清楚的呈现出很多径向裂缝,它们从与撞针的接触表面的轮廓向外围发展,这与A.納达依〔25〕用静载荷破碎石蜡试件时所呈现的情况相类似。

不管冲击能量和速度如何,在试件破碎后核的外部分总是与相应的试件部份牢固的連結着。

因此,如果把破碎现象看成物体分成为若干部分的过程,而不是把它看成为冲头压入的过程的话,那末,试件的破碎是由于核的变形和压固达到了一定极限的结果。

破碎过程中分离出的锥体(楔块),就是压固核的破坏形式,就是压固核的内面部分。