

# 高压水射流技术 译文集

王晓敏等译 张龙仁等校



煤炭工业出版社

一九八二年五月十一日

# 高压水射流技术译文集

王晓敏 等译 张龙仁 等校

煤炭工业出版社

1980

## 内 容 提 要

本译文集选译自第一、二、三、四届国际水射流切割技术会议的文集和有关杂志。内容分为三部分，一是与水射流有关的基本理论；二是水射流设备及有关参数的实验；三是工业性应用的试验。对于指导我国水射流的研究和试验具有一定的价值，可供科研人员参考。

## 高压水射流技术译文集

王晓敏 等译 张龙仁 等校

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $850 \times 1168^{1/32}$  印张 15

字数 397 千字 印数1—1,700

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

书号15035·2429 定价2.25元

## 译者的话

高压水射流是一门新技术，近年来发展较快，应用也日益广泛。从原理上讲，它与我国煤矿中采用已久的水力采煤技术基本相似，都是使具有一定压力的水通过喷嘴射出形成射流，直接以此射流作为切割和破碎物料的工具。不过高压水射流的水压较高，一般为300大气压以上，也有达数千大气压甚至更高。高压水射流所采用的喷嘴出口直径较小，通常在2~3毫米以下，有时仅为零点几毫米。这样就可以在很小的区域内集中极大的能量来切割和破碎各种物料。由于是用普通的水作为工作介质，所以在安全、成本等方面都有许多独特的优点。

国外自1972年开始每隔二年召开一次射流切割技术的国际性学术讨论会，至今已先后召开了五次。总的来看，这门技术应用在船舶、管道、锅炉等方面的清洗、除锈和除垢已经成熟推广。国外在一些非金属板材以及人造革的切割下料方面，已有工业性应用的实例和高压水射流切割机产品出售。对于煤、岩、混凝土的切割和破碎，以及在煤矿、金属矿、其他矿山和市政道路工程中的应用，许多国家都正在加紧研究并不断取得成果。在这方面，有的项目已经具备了制造现场使用样机的条件，而且有的样机已在小规模的现场实验中经过考核，例如水射流凿岩机、水射流锚杆孔钻机、水射流钻孔法采煤机以及水射流配合扁形截齿破煤破岩等等，都是很有意义的。

本译文集的内容选自历届国际射流切割技术讨论会，特别是第三和第四届会议文集。同时也选择了一些散见于其他杂志和文集中的文献资料。内容主要涉及与煤矿应用有关的高压水射流技术的理论、元件和试验情况，以期对我国开展这方面的应用研究有所参考。

参加本译文集翻译工作的有符国权、朱慧文、许达明、王奕豫、曹开成、庄仪兴、吴筱兰和陈启松等同志并得到中国矿院程大中、姜纬筠、田本昭、秦校阳同志的审校，在此一并感谢。

一九八〇年十二月

# 目 录

## 采掘机械上的应用试验

1. 水射流采煤机 ..... 2
2. 对水射流采煤机切割头发展的一些看法 .....12
3. 高压水射流辅助刨煤机破煤 .....23
4. 采煤机增设高压水射流后的降尘效果 .....35
5. 水力钻孔采煤法 .....42
6. 高压水射流辅助掘进机盘形滚刀破岩 .....57
7. 具有水射流辅助的岩石掘进机  
在煤系地层中的试验 .....78
8. 脉冲水射流掘进机样机掘进巷道的一些试验 .....92
9. 巷道掘进用水射流钻机的进展和实验 ..... 108
10. 水射流凿岩机的进展 ..... 117
11. 水射流钻进装置的初步实验 ..... 126
12. 水射流锚杆孔钻机 ..... 132
13. 高压水射流钻锚杆孔 ..... 136  
破碎煤岩的参数试验及水射流系统的主要设备
14. 水射流掏深槽 ..... 142
15. 水射流钻进小直径孔 ..... 162
16. 水射流辅助截齿破岩 ..... 174
17. 振动对高压水射流清洗和切割效率的影响 ..... 179
18. 射流横移速度对切割煤体和射流结构的影响 ..... 193
19. 脉冲水炮可靠性的试验研究 ..... 206
20. 脉冲水射流破煤与破岩 ..... 223
21. 高压连续水射流切割混凝土的研究 ..... 243
22. 用空化和非空化射流切割岩石和其它物料 ..... 262

23. 水射流喷嘴性能的试验·····	276
24. 一种摄影研究法 ——喷嘴几何形状对水射流紊动结构的影响·····	300
有关理论及其他	
25. 管线动力学和脉冲射流·····	312
26. 物料的特性、应力和高压水射流 应用的基本情况·····	325
27. 水射流的流动特性·····	339
28. 水射流冲击的光弹性研究·····	354
29. 一种通用的水射流切割方程式的应用·····	372
30. 高速水射流冲蚀岩石的机理研究·····	390
31. 岩石的抗冲蚀强度·····	409
32. 水射流破碎岩石的需用能量·····	417
33. 冲击水射流切割岩石·····	431
34. 利用空化水射流开发和节省能源·····	440
35. 间断射流的冲蚀作用·····	459
36. 水射流钻进系统的研制及其性能的初步评价·····	466

采掘机械上的应用试验

# 采掘机械上的应用试验

采掘机械上的应用试验



# 1. 水射流采煤机

〔美〕D.A. 萨默斯 C.R. 巴克

## 前 言

水力采煤在许多国家已经获得成功，但推广受到一定限制，例如对于较薄和较平缓的煤层就不能采用。这种方法有一些特殊的优点：首先是采煤时没有粉尘，不像目前井下高产量采煤机那样煤尘极多。另外，由于是用水射流进行切割而不是用金属刀具截齿，因而消除了工作上的火星问题。

## 机器的基本结构

如果要在目前的水平煤层开采体制中应用水射流，就必须符合这些体制中的一些规定。因此有必要对已有的，特别是那些已经被证明是成功的采煤机作一研究。为了妥善处理水在页岩上长时作用所造成的问题，选定长壁式采煤法作为发展水射流采煤机的目标。

长壁式采煤法是目前产量最高的开采技术之一。其工作面长达200米，一次截深约为0.6米。机器的产煤量每天超过12000吨，而一台房柱式采煤机的平均日产量则为800吨到1000吨。因此，考虑使水射流采煤机在长壁工作面工作。为了探求可能采用的结构，对麦柯·莫尔采煤机的结构进行了研究。这是目前美国长壁工作面普遍使用的滚筒式采煤机出现以前产煤量最高的一种机器。麦柯·莫尔采煤机在工作面上移动时，用三条镶有截齿的截链在工作面的中部、底部切割出水平的槽，并在煤壁的背部切割出垂直的槽。这样就使得被分隔出来的煤体崩落。崩落下来的煤由一台小转载机转运到工作面输送机上。研究的第二种机器是休伍德采煤机。当它在工作面上移动时，其犁板的导刃上装有往复

运动的截齿。截齿在煤壁的背部切割出一条槽，然后这段煤体就被楔形的犁板推落到工作面输送机上。这二种机器都不是全部开挖工作上的煤，只是截割出一段煤体，然后藉重力或尖劈作用使其碎落下来。因此，创制的水射流采煤机的结构采用了三套往复摆动的水射流，其中：一套在煤壁的底部切割，一套在煤壁的背部切割，一套在顶部切割，与麦柯·莫尔采煤机的截链很相似，所不同的只是采用了高压水射流而不是截齿。从工作面碎落下来的煤的装载是用休伍德采煤机的犁板，而不是用麦柯·莫尔采煤机那样的胶带输送机。这是因为楔形犁板简单些，况且采深仅为0.6米，而不像麦柯·莫尔采煤机那样为1.3米。

接下来就是按照这种设想设计采煤机。初步确定在此方案中采用一套300马力，压力700公斤/厘米<sup>2</sup>的高压水系统。在大约1.6米高的煤层中工作时，机器的移动速度为4.5米/分，产煤量可达6吨/分。要是采用现成的设备而不是新创制和试验中的组件，机器就可更迅速地制成。因此选用了二台标准规格的“科比”4J泵提供所需压力的水，流量为182升/分，并用一台BJD强力采煤机的动力部作为二台泵的动力源。因为此动力部二端各有

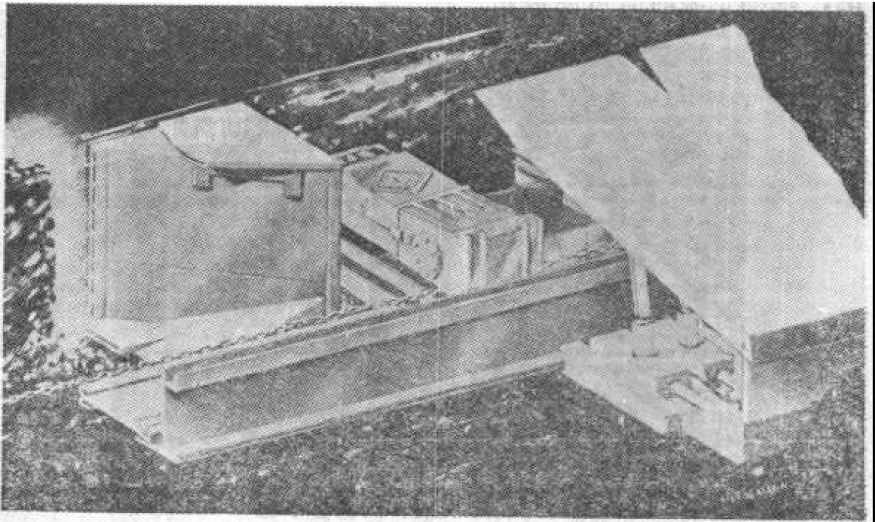


图 1 水射流采煤机

一根输出轴，它可以经一简单齿轮装置驱动泵的齿轮箱，故泵与马达之间的连接较简单。整套装置安装在一标准长壁式采煤机底架上。两台泵输出的水流经汇集后引向装有切割头的采煤机的任一端（图1）。

### 切割头的结构

在上述方案中切割头是机器的主要新特点，现详细介绍于下。设计构思在很大程度上是以移动水射流切割静止煤样的实验室试验为依据的。图2是此实验装置的一部分。切割臂将高压水引到喷嘴，然后射到煤样上。当连杆2回转时射流上下移动扫过煤面。从切割的深度、宽度和长度同连杆回转速度的关系，可准确估计出切割臂以多快的速度向煤中推进仍能有效地切割。实验表明，当连杆为90转/分时，单个切割臂能以4.5米/分的推进速度在煤中切割出50毫米宽500毫米长的槽。此试验进行时，密苏里大学在另一项研究中又曾进行过旋转喷嘴切割砂岩的实验。在砂岩表面的横移速度为76米/分，水射流切割超前喷嘴25毫米。这些实验有力地表明在煤中采用4.5米/分的设计推进速度是保守的，现场试验时有可能被超过。

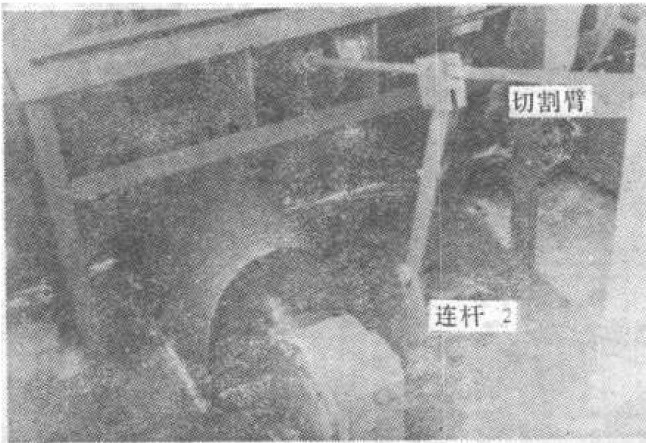


图2 移动切割臂的实验装置

从外表看，切割头像一个垂直的楔，其底上连一个水平楔。

切割头的外部由可拆卸的钢板组成，钢板用螺栓拧在内框架上。框架用普通的工字钢、角钢和槽钢焊接而成，并焊到一块约25毫米厚，1.2米宽1.6米长的厚钢板上。这样，切割头的内部就很空，可用于安置切煤的元件，如图3所示。

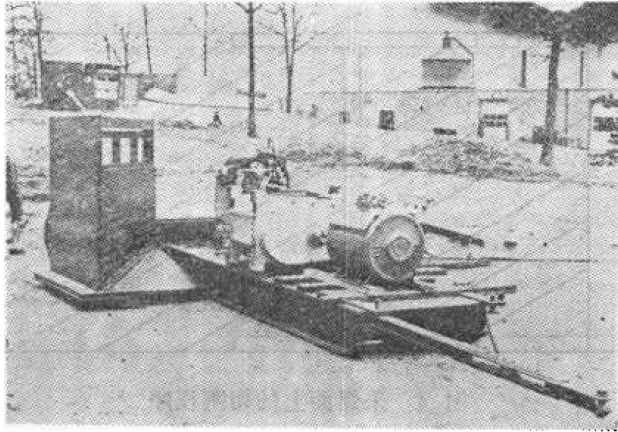


图3 地面试验用切割头

## 外部特点

假定从切割头内射出五股高压水射流，如图1所示，其中三股射流在垂直平面内移动，其余二股在水平面内移动，形成二条水平槽和一条垂直槽，如图4所示。其结果是使一矩形的煤体的底部、顶部和背部被切割。图4是从切割头推进方向看水射流在煤中切割出的槽型。随着煤的被切割，切割头推进到槽中。造成连续的切割和尖劈作用，将煤从煤壁上碎落下来。

三条截槽并不是水射流在煤面上同时切割出来的。最先切割出煤壁底槽，接着是在煤壁背部垂直切割，最后切割煤壁顶槽。槽的位置和切割的先后是从最有利于煤碎落的因素来考虑的。首先切割煤底有二个目的：一是提供导向的依据，让切割头在预先切割过的表面上滑动；第二是，一旦经过底切之后，顶压可帮助破煤。由于工作面和不密实的采空区形成的空隙，煤层的顶压会较高，并且往往在这种载荷下会产生初步裂缝。煤壁背部切割的

槽可使垂直的楔形犁板把变弱了的悬臂煤推向输送机。煤一旦从工作面上碎落下来，水平楔形犁板就将它抬至输送机的高度。最后一步是由顶部水平射流沿顶板线切割，形成一光滑的表面并采下在前几道工序中没能自由落下的煤。

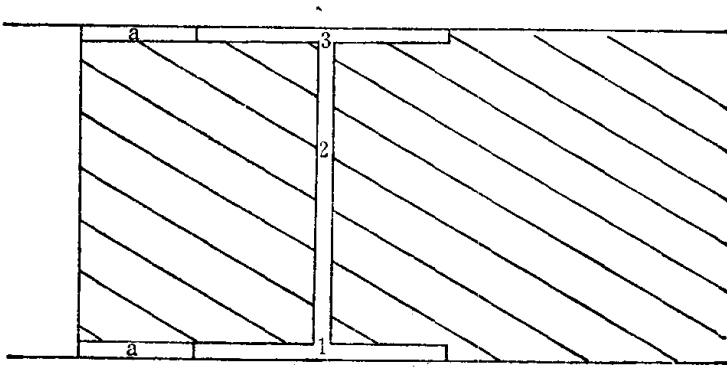


图 4 采煤面上的切割程序

切割头进入煤中所需的力，由与动力部连成一体的BJD液压牵引机构提供。切割头的推进速度可以控制，以适应特定煤层的需要。切割头上承受的力通过工字梁上的活铰传递至底架以适应工作面的起伏。如果负载超过调定值时，机器将自动地放慢，直到恢复到预定负载。

切割头中装有五根切割臂的驱动机构。原先打算用五个油缸在规定的弧段上驱动五根射流臂，如图5所示，油缸作往复运动，速度用节流阀控制，由一台小的电动机驱动油泵供液。早在制造初期就对此方案作了重新考虑，因为调节油缸行程所需的电液系统复杂，元件昂贵且可靠性差，导致了采用一种由油马达驱动的连杆机构。按确定的容积运动而工作的活塞驱动系统的一个问题是，煤和水引起的磨损会造成泄漏，这对于排量一定的传动来说，会使切割臂的摆弧变小，因而不能完全切割工作面。最初的设计原则决定在现场试验时再研究顶部和底部的水平切割臂的相应关系。但对于垂直臂，有一点是清楚的，就是当中的那根垂直切割臂必须与上部和下部的垂直切割臂成 $180^\circ$ 相位差。这样，当

中的切割臂就可在公共的切割边界上与上下垂直切割臂相遇。换句话说，在其行程的上限时，当中的切割臂与上部垂直切割臂相遇，在其行程的下限时，它与下部垂直切割臂相遇。

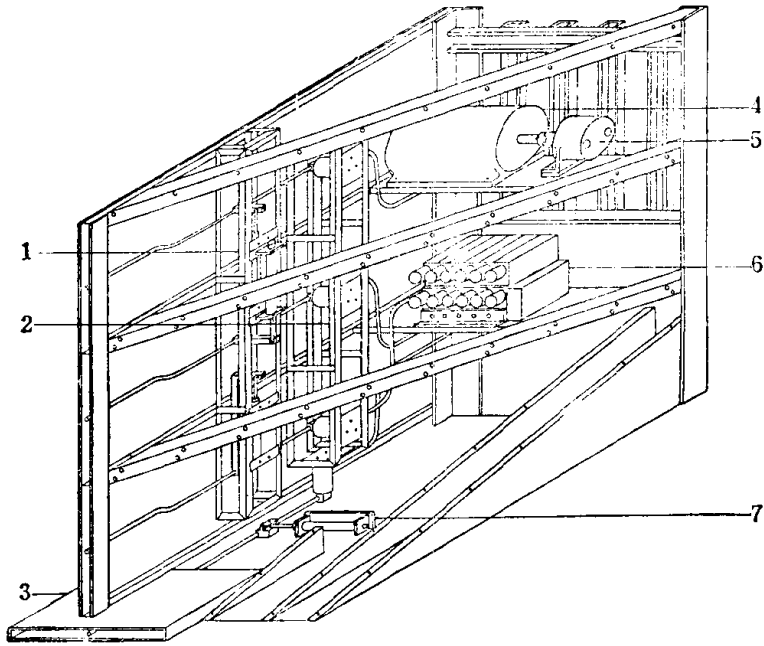


图 5 切割头内部结构原先的方案

二根相邻的切割臂相遇会增大切割效果，如图 6 所示。而这是保持恒定的推进速度所需要的。因为在各切割臂的每一摆动周期中，端头只切割一次，而其余部分都切割二次。为了使其相遇，设计了图 7 所示的机构，并在实验室试验台上做了个工作模型。如图所示，上部和底部切割臂的位置由当中切割臂的位置通过连杆而决定。此机构在速度低时工作得很好。但当速度增高时，连杆的挠动使得切割臂激烈碰撞。曾企图增加连杆的刚度，但加大质量后使问题更为恶化，且带来平衡问题，因此放弃了这个想法。

不过图 7 所示机构的试验证明，像图 8 那样的机构如果没有另外二根切割臂，那末当中的切割臂就可在所要求的速度范围内

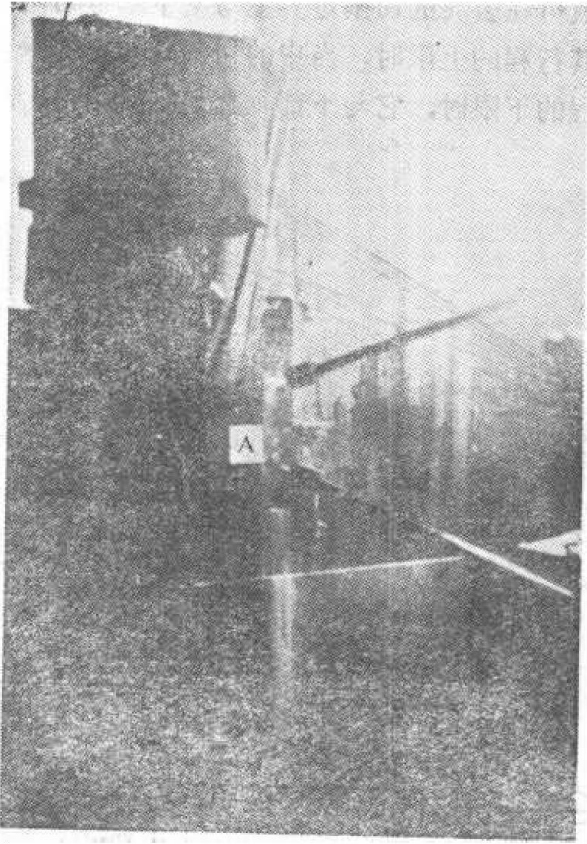


图 6 相邻二根切割臂共同的作用区，在二股射流的相互作用下把煤块(A)碎落下来

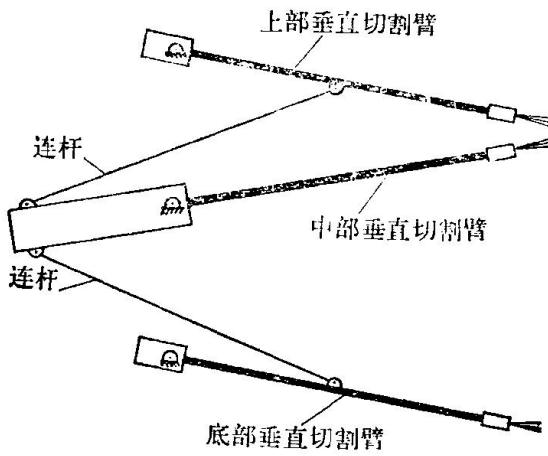


图 7 最初提出的连杆系统方案

工作。主动连杆 2 和连接连杆 3 的比例使切割臂的摆角为  $\pm 14.5^\circ$ 。鉴于这种驱动方式可使单个切割臂工作得较理想，要是能为连杆 2 的运动提供一个同步装置，则可用于另外二根臂的工作了。于是采用了一条滚子链和一组链轮，使上部垂直切割臂机构的主动连杆 2 与当中垂直切割臂机构的主动连杆具有  $180^\circ$  的相位差。可是，空间不允许下部垂直切割臂用这种方式驱动。因此，在上下垂直切割臂之间用一根连接连杆形成平行四连杆系。最后的结构如图 9 所示。当中切割臂的链轮由油马达通过滚子链和链轮驱动。油马达驱动系统的减速比为 2:1，因此，马达速度在 0 ~ 400 转/分范围时主动连杆的速度范围是 0 ~ 200 转/分。二根水平切割臂也以同样的方式分别由一油马达驱动。马达通过滚子链驱动切割臂的飞轮和连杆系。三台油马达串连起来，以保证切割臂顺序动作。

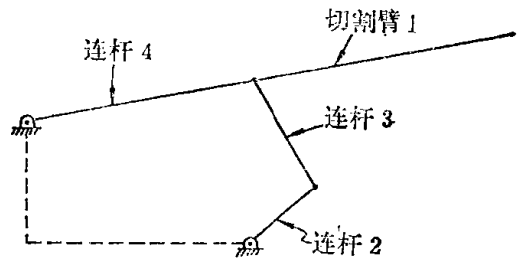


图 8 经改进的连杆系统

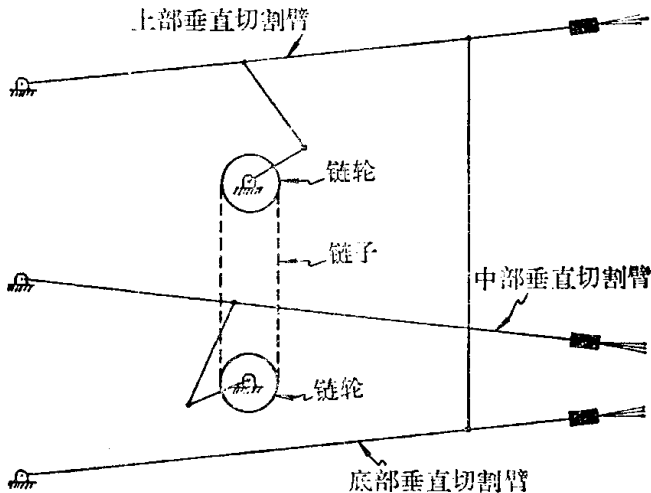


图 9 切割头内采用的连杆系统



为保护驱动件不受反溅的水和采落的煤的浸蚀，驱动件偏置一距离并安装在一护板上，板的高度等于整个装置的全高。板上开有槽口，以便切割臂运动，如图10所示。

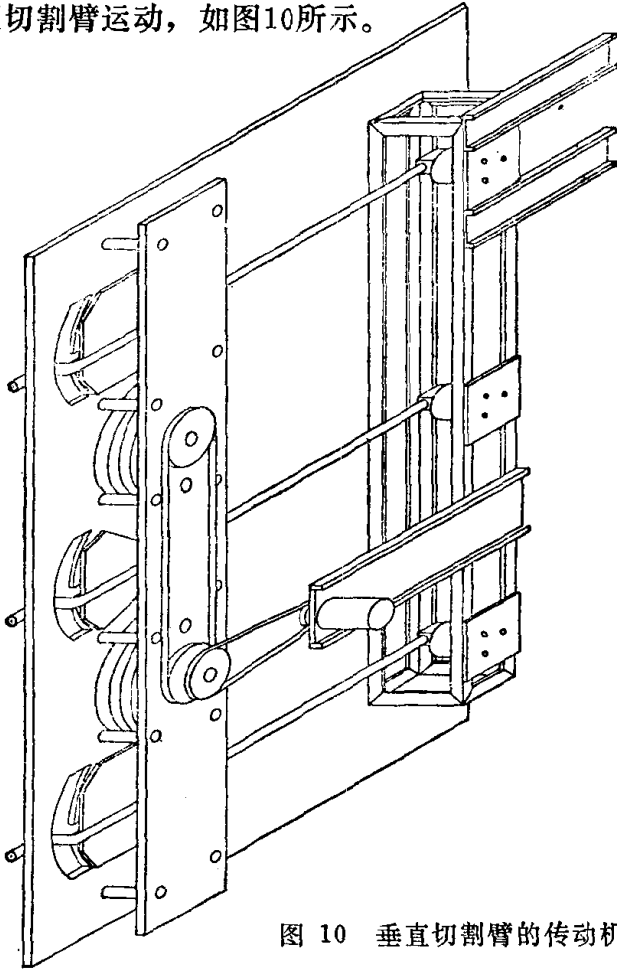


图 10 垂直切割臂的传动机构

切割臂为外径14.3毫米，内径4.8毫米的高压不锈钢管。喷嘴用护套拧在管端，可从机器的前方卸下，需要时又可迅速地安装。喷嘴是双孔的，分岔角为 $12.5^\circ$ ，直径1.016毫米，如图11所示。

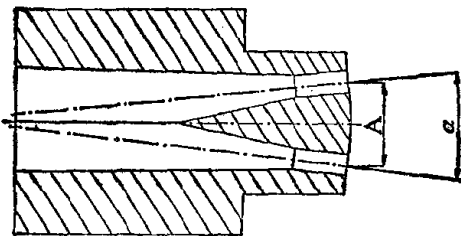


图 11 经改进的喷嘴设计

关于这种喷嘴的实验验证结果，在别处已介绍过了。