

高速氧气切割法

梁桂芳 编著

✱

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

沈阳市第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

✱

开本 787×1092 1/32 ·印张 4 7/16 ·字数 97 千字

1975年12月北京第一版·1975年12月沈阳第一次印刷

印数 00,001—32,000 ·定价 0.33 元

✱

统一书号: 15033 · 4307

目 录

绪 言

第一章 高速气割的基本原理	1
第一节 钢材的气割原理	1
第二节 影响气割过程的主要工艺因素	2
第三节 气割过程的机理及提高切割速度的途径	12
第四节 预热火焰在切割过程中的作用	21
第二章 扩散型割嘴高速切割法	27
第一节 概述	27
第二节 扩散型割嘴切割氧孔道设计的基本知识	29
第三节 扩散型割嘴切割氧孔道的设计	46
第四节 扩散型割嘴的结构	61
第五节 扩散型割嘴制造方法简介	64
第六节 扩散型割嘴的切割特性	72
第七节 切割条件及操作上注意事项	81
第八节 扩散型割嘴的应用及效果	84
第九节 接触式割嘴	88
第十节 外混合式割嘴	90
第三章 氧气屏割嘴高速切割法	94
第一节 概述	94
第二节 氧气屏割嘴和割炬的结构	95
第三节 氧气屏割嘴切割的工艺与性能	100
第四节 双重氧气屏保护扩散型割嘴	106
第四章 多割嘴和多孔割嘴高速切割法	111
第一节 概述	111

第二节	借助辅助预热嘴的切割法·····	111
第三节	双割嘴及多割嘴高速切割法·····	113
第四节	双孔割嘴高速切割法·····	117
第五节	三孔割嘴高速精密切割法·····	119
第五章	关于结构钢高速优质切割法的发展趋向·····	122
参考资料	·····	131

第一章 高速气割的基本原理

第一节 钢材的气割原理

钢材的氧气切割过程（图 1）是：借助预热火焰把钢材表面加热到燃烧温度（对纯铁为 1050°C ，对含 C 0.25% 的钢为 1250°C ），并使其呈活化状态，然后送进高纯度、高速度的切割氧流，使金属（主要是铁）在氧中剧烈地燃烧，同时借高速氧流的动量把燃烧生成的产物（主要是熔融的氧化铁）吹除，以形成割缝，从而达到切断钢材的目的。通常把上述气割过程分为三个阶段：

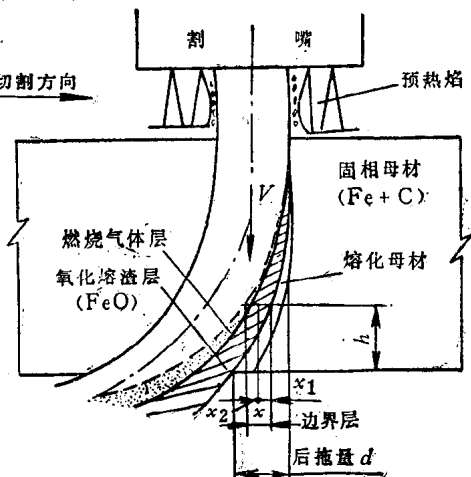
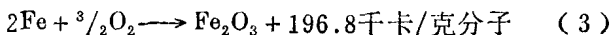
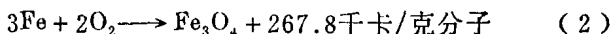
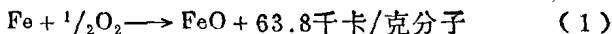


图 1 气割过程示意图

- 第一，在钢材的上部，铁和氧开始燃烧反应；
- 第二，铁和氧的燃烧反应向钢材内部传播；
- 第三，将反应生成物进行强制排除，钢材切断。

由此可见，气割的实质乃是金属在氧中燃烧，而不是金属熔化的过程。

在燃烧温度下，铁与氧反应的化学式为：



反应生成的熔渣中，除上述三种氧化物外，还有一部分未氧化的铁。这三种氧化物所占的比例，各种资料上说法不一，主要是由于切割氧流量、氧流状况及钢材厚度不同等因素造成的。由化学反应式可见，不论产生那一种氧化物熔渣，铁在氧中燃烧时都放出大量的热。据 К.К.赫列诺夫 (Хренов) 计算〔6〕，1克铁生成 FeO 时，放出的热量为 1150 卡，而生成 Fe₃O₄ 时放出 1580 卡的热量，比割嘴预热火焰的热量高 6~8 倍，因由计算表明，把 1 克铁加热到熔化温度（约 1500℃）只需 160 卡的热量。因此可以说，这些反应热如果利用得当，完全可以满足气割过程的需要。故而，一般都认为，在气割过程中，铁-氧反应热是预热钢材的主要热源，预热火焰的热作用则是次要的。例如，据资料〔6〕报导，切割时所需总热量的 85% 来自燃烧反应热，只有 15% 是由预热火焰提供的。

第二节 影响气割过程的主要工艺因素

为了提高气割的质量和速度，几十年来，许多切割工作者对影响气割过程的各种因素作了广泛的研究。其中某些资料对我们进一步讨论高速切割的原理有一定的帮助，为此，有必要扼要地作一些介绍，以获得感性上的认识。

（一）切割氧的影响

由上节所述可知，氧是进行气割的必要条件。切割氧具有两个作用：使铁燃烧和排除燃烧生成的熔渣。显然，它对切割过程有重大的影响。在切割氧的诸参数中，尤以纯度、

流量、压力与动量、氧流形状等对切割速度和质的影响最为显著。

1. 切割氧纯度的影响 切割氧的纯度愈低，切割速度愈慢，同时氧的消耗量显著增加，切口质量恶化〔5〕。图2示出了这方面实验结果的一个典型例子〔20〕。由图可见，氧气纯度自99.5%

降低至98%，即降低1.5%时，切割速度下降25%，而氧的消耗量则增加了50%。因此，切割用氧的纯度要尽可能地高，一般要求在99.5%以上。有的实验结

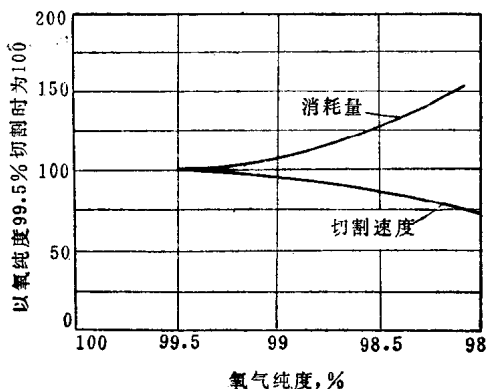


图2 氧气纯度对切割速度和氧消耗量的影响

果表明，氧气纯度低于95%，气割过程就很难进行。

2. 切割氧流量的影响 根据铁-氧燃烧时的化学反应式，可以从理论上计算出气割时所需的氧流量。例如，1公斤铁生成 Fe_3O_4 时，需要氧0.27米³，或1厘米³铁需耗氧2.1升。氧量不足会引起金属燃烧不完全和清除氧化熔渣的能力减弱，而氧量过多则会使切口处金属冷却。结果反使切割速度和质下降。

用直筒形割嘴●切割时，氧流量与切割速度之间的关系如图3所示〔9〕。在一定范围内，切割速度随着氧流量的

●所谓直筒形割嘴系指切割氧孔道为圆筒形的割嘴，参见图14。

增加而提高。但对一定厚度的钢板来说，欲达到良好的切割质量，与其最大切割速度相对应，存在相应的极限氧流量值。

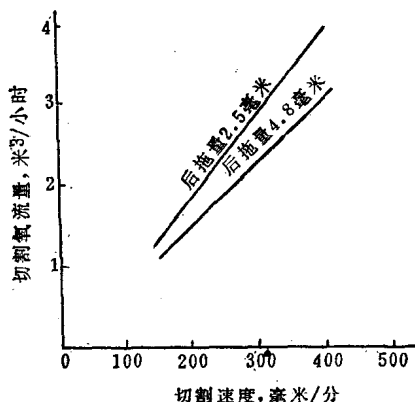


图3 切割速度与氧气流量的关系（钢板厚度25毫米）

用扩散型割嘴^①切割时，氧流量对切割速度的影响也存在着上述的关系〔4〕。不过，此时的极限氧流量值较高，且切割速度也比直筒形割嘴要高很多。这是由于从扩散型割嘴中流出来的氧流速度和动量较大之故。

另外，某种割嘴其可能切割的厚度，一般来说是与氧流量成正比的〔21〕。

3. 切割氧压力^②的影响 通常，随着板厚的增大要相应地提高切割氧的压力。中西实〔21〕的实验查明，用直筒形割嘴切割时，切割氧压力增大至一定值，可能切割的板厚也达到最大值，再增加氧压力，能切割的板厚反而减小。在用扩散型割嘴切割时，如果使用压力符合割嘴的设计要求，则

①所谓扩散型割嘴系指切割氧孔道呈拉伐尔喷管状的割嘴，参见图16。

②切割氧压力系指进入割嘴的氧气压力。顺便指出，切割氧压力的影响主要是通过切割氧流的流速、流量、动量等表现出来的，详见第二章。

随着切割氧压力的提高,可能切割的板厚不断增大,且其增大的程度与割嘴出口的能量密度^②成正比。如割嘴的切割氧孔道的喉部尺寸保持一定,则可能切割的厚度也存在一个极大值。但设计压力高的扩散型割嘴,可能切割厚度达到极大值时的切割氧压力也高。各种割嘴的切割氧压力与可能切割厚度的关系示于图4。

由图可见,设计压力高的扩散型割嘴能切割的厚度最大,直筒形割嘴能切割的厚度最小^③。

在切割氧压力不大的情况下,随着氧压力的提高,直筒形割嘴的切割速度也增大。但压力增至一定值后,再提高氧压力,切割速度便不再增加(表1),反而使割缝变宽。这一极限压力随板厚增大而增大,同时随割嘴孔径的增大而降低。

用扩散型割嘴切割时,切割氧压力在提高切割速度方面

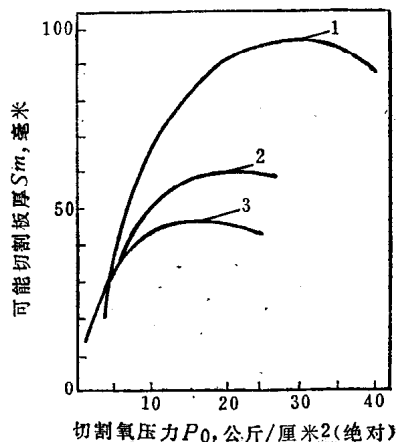


图4 可能切割厚度 S_m 与切割氧压力 P_0 (绝对压力) 的关系
1—扩散型割嘴设计, 压力11公斤/厘米²;
2—扩散型割嘴设计, 压力6公斤/厘米²;
3—直筒型割嘴

② 割嘴出口的能量密度系指切割氧入口压力 P_0 与割嘴出口截面积 $A_{出}$ 之比。

③ 在切割大厚度钢料时, 经验表明, 用4~5公斤/厘米²切割氧压力的直筒形割嘴反而有效。

的作用是十分显著的。据资料氏家昭〔4〕的研究表明,在氧流量基本相同的情况下,将切割氧压力从7公斤/厘米²(表压)提高到16公斤/厘米²时,切割厚12毫米钢板的速度就从1600毫米/分增大至2250毫米/分。如果把压力升高到36公斤/厘米²,则切割速度增大至2750毫米/分。也就是说,当使用压力符合割嘴的设计要求时,切割速度总是随着压力升高而增大的。而当切割氧孔道的尺寸固定时,笔者等查明,当压力超过设计值过多时,速度虽有某种程度的提高,但切口质量变坏。从获得良好切口质量的要求而论,为达到最大的切割速度,也存在一个极限切割氧压力值。

表 1 切割厚40毫米钢板时切割速度与切割氧压力之间的关系

切割氧压力(公斤/厘米 ²)(表压)	0.49	0.98	1.96	3.92	4.97
切割速度(米/小时)	6.0	8.0	10.0	12.5	12.5

4. 切割氧温度的影响 氧气自贮气瓶中流出,经过减压器时发生膨胀,温度随之降低。再经割炬和割嘴,因流速显著提高,温度将进一步下降。据资料〔40〕介绍,低温的氧流喷到切口外,使金属表面冷却,会引起切割速度的降低,在极端的情况下,例如,切割大厚度钢材时,可能导致切割不能进行或中途停止。不过,根据笔者的体会,只要氧气调压器不结霜,流量保持稳定,并不致于造成切割中断等严重情况。

用特种方法提高通向割炬的氧气的温度,亦即预热氧气,能使切割速度略有提高。因随着温度的升高,氧的密度降低,粘性增大,故其效果是有限的。另外,某些实验查

明，在氧气温度为 20°C 时进行切割，所得结果较佳。若把氧预热至 40°C ，反而使钢板背面容易粘附熔渣〔9〕。

5. 切割氧流形状的影响 切割氧流的形状对切割过程有明显的影响。切割氧流的长度越长，所能切割的钢材厚度越大。为使切口宽度沿厚度方向保持上下一致，以及减小后拖量，则要求切割氧流在尽可能大的长度内维持圆柱形的形状。如果切割氧流中产生紊流或有强的冲波，则会使切口质量恶化、切割速度降低。

必须指出，切割氧流的形状系取决于切割氧孔道的内部形状。关于这一问题的详细讨论将在第二章内叙述。

（二）钢材初始温度的影响

被切割钢材的初始温度对气割过程有相当重大的影响。据资料〔7〕报导，在切割薄板的场合下，若把钢材的温度从 10°C 加热到 400°C 、 700°C 和 1000°C 时，则气割速度可相应地提高33%、67%和108%。另外，有人曾用尺寸为 $200 \times 150 \times 20$ 毫米的试件，测定了不同温度下、各种切割氧流量时切割厚20毫米低碳钢的最大切割速度。这些数据列于表2。由表可见，预热至 1000°C 的钢材，其最大切割速度可达未经加热（即 20°C ）时的3~3.5倍。而切割氧的单位消耗量减少了3/4。图5为根据上述试验数据绘制的、不同温度下钢材的切割速度资料。

由上述资料可知，在高温下切割钢材，不但能显著地提高切割速度，而且还能大大地减少氧气的消耗。因此，在实际生产中应尽量利用这一特性。例如，在钢铁厂中，宜将钢材在热状态下就进行气割，以提高效率和降低成本。另外，我国钢铁企业已开始应用连续铸钢新技术，由于钢锭温度很高，故采用设备简单的气割法进行开坯是有利的，这样可不

必装备投资大、结构复杂而又笨重的压力式机械切断机。

表2 厚20毫米低碳钢在各种温度下的最大切割速度

钢 板 温 度 ℃	切 割 氧 流 量 (米 ³ /小时)	切 割 速 度 (毫米/分)
20	5.25	710
440		950
700		1100
900		2100
450	6.45	1000
680		1200
800		1700
950		2500
20	7.6	750
460		1100
700		1350
820		2000
970		2600
20	19.3	850
460		1000
600		1200
950		3300

(三) 切割氧流攻角(即割炬后倾角)的影响

研究查明,用同样的割嘴进行切割,由于切割氧流的攻角不同,切割速度也不一样。一般气割时,割炬大都垂直于钢板表面放置,即氧流的攻角 α 等于 0° 。若将割炬逐渐后倾,亦即氧流的攻角增大,而切割速度也就随着不断改变。扩散型割嘴切割时,切割速度同割炬后倾角的关系如图6所示,成抛物线关系。在后倾至某一极限角度时,切割速度

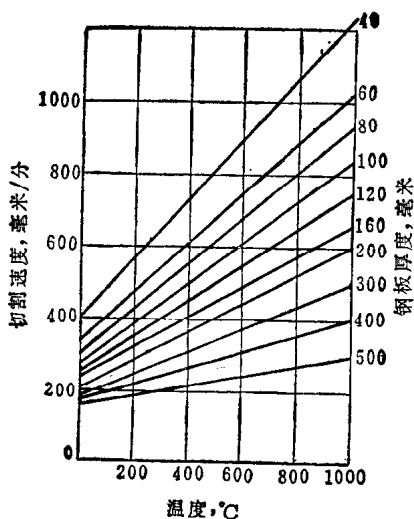


图5 加热至各种温度的钢材的切割速度

达到最大值，再增大倾角，切速反而下降。这是因为随着氧流攻角的增大，切割氧动量沿板厚方向的分量 V 减小，从而使其切割能力降低之故。这一极限攻角取决于被切割钢板的厚度以及切割氧的出口流速。由图6还可看出，切割氧的压力越高（亦即氧流的出口流速越大，其动量也就越大），被切割钢材的厚度越小，攻角对提高切割速度的作用也越显著。

在使用高压扩散型割嘴的情况下，借氧流攻角的效果，可使切割速度提高1倍左右。

另外，氧流的攻角对减小后拖量的作用也相当显著，这可从图7看出来，图示资料的切割条件是：割嘴为扩散型，喉径1.5毫米；切割氧压力为36公斤/毫米²；预热燃气流量为1000升/小时；预热氧流量为4000升/小时；切割试件厚为12及25毫米。如果将切割速度保持不变，随着攻角的增大，后拖量显著减小，这对提高切割质量是十分有利的。

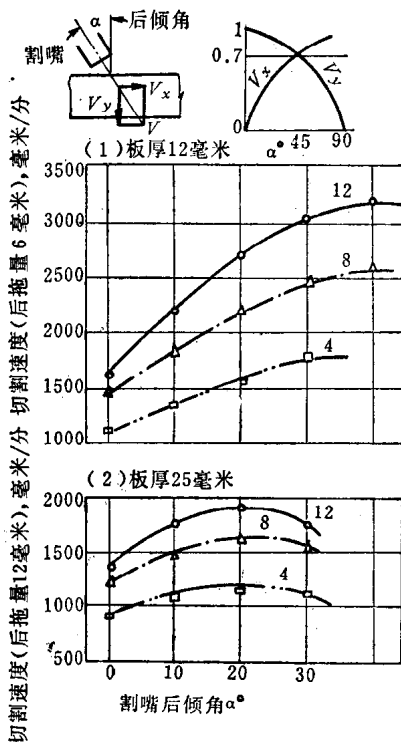
由上述可知，氧流攻角对改善切割过程是十分有效的，特别是能大幅度地提高切割速度。

（四）其他因素的影响

影响切割过程的其他工艺因素还有钢材表面的状况，熔

渣粘度等。

当被切割金属表面存在鳞皮、尘土、渣滓等脏物时，会影响钢材表面的受热速度，从而减低切割速度。如果钢板预割嘴后倾角与切割氧流量的关系



嘴 号	喉部孔径(毫米)	切割氧压力(公斤/厘米 ²)	氧流出口流速
		(表压)	(马赫)
12	1.5	36	3
8	2.0	16	2.5
4	2.5	7	2

图 6 割炬后倾角对切割速度的影响及参数

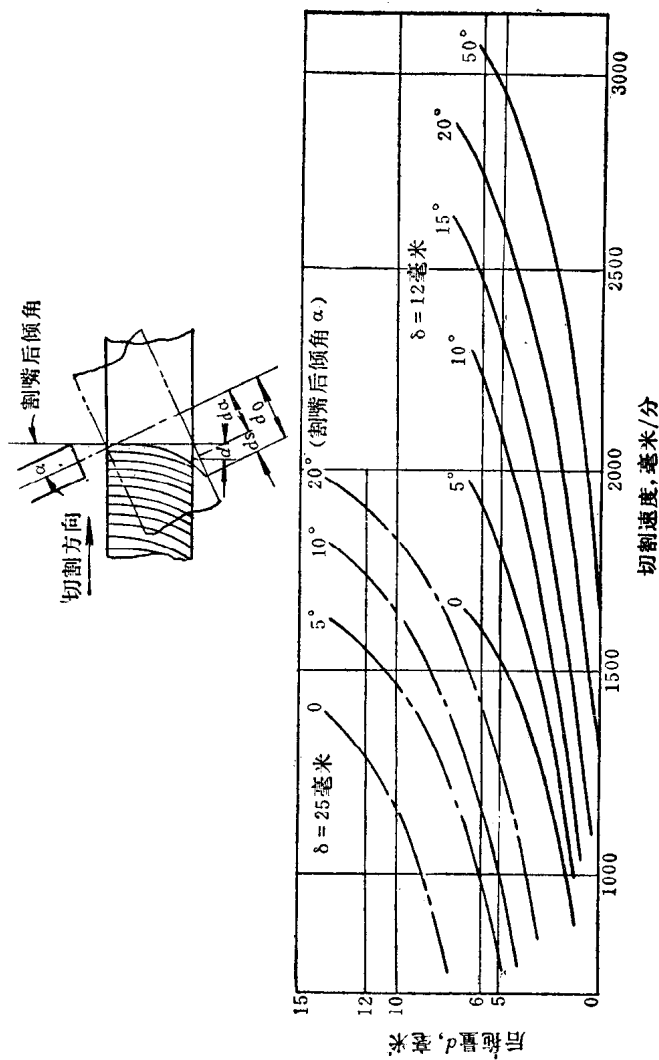


图 7 割炬后倾角与后拖量的关系
 d —外观后拖量; $d_0 - \alpha = 0$ 时的实际后拖量; $ds - \alpha$
 $\neq 0$ 时的实际后拖量; ds —借割嘴倾斜所能减小之后拖量

先经过抛丸、涂底漆等预处理，则底漆的性能对切割速度有很大的影响。据资料〔52〕报导，现有底漆系中，洗涤型底漆切割性能最好，无机型底漆的切割性能最差，不仅使切割速度不能提高，而且还易于引起回火。因此，正在采用钢板预处理工艺的工厂，在选择底漆时，也要考虑到底漆的切割性能。另外，底漆层的厚度也不可太大，宜保持在15~20微米左右。

再则，熔漆粘度对切割过程也有较大的影响。氧化熔渣的粘度低，流动性能就好，易于被切割氧流吹走，使切割能更好地与割缝中的钢材接触，促进燃烧反应的进行，从而使切割速度提高。

第三节 气割过程的机理及提高切割速度的途径

如前所述，钢材的氧气切割过程的实质系铁在氧中燃烧。显然，铁-氧的反应速度直接影响到切割速度。关于反应速度的最高理论值至今还在不断研究中。在30年代，希耳珀特(Hilpert)和马耳茨(Malz)分别报导了铁-氧的燃烧速度最高理论值为6米/分〔9〕。而在70年代以前，一般认为，理论切割速度为4.3米/分左右。据东德国家中央焊接研究所最近报导〔13〕，将氧流的初始温度、被切割钢材的初始温度以及切割氧流的攻角加以改变时，能使理论切割速度大大提高。在预热钢材的情况下，最大理论切割速度可达26.4米/分。在割炬后倾 20° 角时，最大的理论切割速度还可提高，对温度为 20°C 的钢材是36.1米/分；而对预热至 1388°C 的钢材则达77.2米/分。另外，据资料〔9〕介绍，把钢材加热到 1100°C ，并以氧流不断喷洒钢材表面的情况下，有人测得，火焰表面清理的速度可达45米/分。而目前

火焰清理的实用速度一般已在 $10\sim 12$ 米/分 范围内。由此可见，急剧地提高钢材切割速度的可能性是完全存在的，潜力是很大的。问题在于弄清究竟哪些因素限制了实际所能达到的速度。这就要求全面地、深入地研究气割过程的机理，目前这方面的系统研究还不多。

从现有的资料来看，关于气割过程的机理曾从三种不同角度出发了研究，并分别提出了相应的理论。

（一）从熔融钢中铁的扩散过程提出的理论

这种理论认为，在由固态钢、熔融钢、熔融氧化铁层和切割氧组成的切割反应区（其模型如图 8 所示）内，铁的燃烧是由熔融钢中的铁通过氧化铁层与切割氧相结合而发生的。并且假定，铁向熔融氧化铁层的扩散速度远远大于切割氧的相应的扩散速度，也就是说，绝大部分燃烧反应是在熔融氧化铁与切割氧流之间的分界面上进行的。再则，因固态钢与熔融钢之间的表面张力，比熔融钢与熔融氧化铁层之间的表面张力来得大，因此切割时首先被排除的是氧化铁熔渣层。

如是，根据上述气割反应区的模型及假设可以推知，如果减薄熔融氧化铁层的厚度，铁的扩散量就增多，铁-氧反应速度也就加大，从而，切割速度就能提高。由于反应区的熔渣系靠切割氧流的动量来排除的，所以，切割氧流的动量愈大，其排除熔渣的能力也愈强，切割速度也愈高，而所能切割的钢板就愈厚。另一方面，若降低熔渣的粘度，使熔渣易于排除，也能获得类似的结果。

按照所述原理，我们就可说明下列问题：

（1）为什么扩散型割嘴能够显著地提高切割速度和厚度。因为扩散型割嘴切割氧的出口流速高于音速（达到 $2\sim$

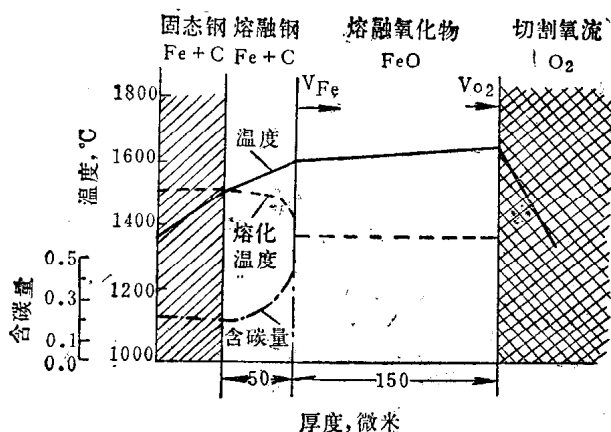


图 8 气割反应区的模型

V_{Fe} —铁的扩散速度； V_{O_2} —氧的扩散速度

3 马赫)，使氧流动量比直筒形割嘴大为提高，于是气割过程就能加速。

(2) 用直筒形割嘴时为什么切割氧流量过多反而会使切割速度下降。因为当切割氧孔道直径一定时，要增大氧流量只能提高切割氧压力，在这种情况下，氧流的出口流速并未显著提高（参见第二章第一节），因此动量基本上没有增加〔21〕。相反，熔渣层的厚度却随氧流量的加大而增厚，这样就妨碍了铁的扩散，反使切割速度降低。

(3) 割炬后倾的效果。割炬后倾时切割情况如图 9 所示，若与割炬垂直的情况（图 1）相比，我们可见，当割炬后倾 α 角后，氧流动量的水平分量 V_x （与切割反应面近于垂