

机械工人活叶学习材料 456

电 弧 气 割

韓維福、刘凤山編著



机械工业出版社

內 容 提 要

书中浅显而深入地阐述了电弧气割的优点和原理以及切割设备、切割工艺等。同时也举出了应用实例并分析了这种方法的技术经济指标和发展前途。在本书最后还附有割具总图及零件图，可供读者制造割具时的参考。

本书主要对象为电焊工和气焊工。

編著者：韓維福 刘凤山

NO. 3421

1960年7月第一版 1960年7月第一版第一次印刷
787×1092¹/₃₂ 字数21千字 印張¹⁵/₁₆ 0,001-1,142册
机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

北京市书刊出版业营业
許可証出字第008号

統一書号 T15033·2205
定 价(9-3) 0.11元

电弧气割最近几年在国外得到了比较普遍的应用，我国也有许多工厂企业采用了这一切割方法。

我們知道，目前常用的金屬切割方法都存在着許多缺点。比如氧-乙炔切割，它必须具备下述三个条件：（1）金屬能与氧化合而激烈地燃燒，并且所产生的氧化物的熔点应比金屬本身熔点低；（2）金屬的燃燒溫度（燃点）应比它的熔化溫度（熔点）低；（3）金屬在燃燒的过程中应放出大量的热，同时它的导热率不应过大。而金屬中的有色金屬及其合金（如銅、黃銅、鉛、鋁、鋁合金等）、鑄鐵和高合金鋼（如鉻鎳不銹鋼、硅鋼等）都不具备上述三个条件，无法用氧-乙炔进行切割。但是电弧气割完全可以胜任。用这种方法不仅效率高，而且质量也很好。那么电弧气割究竟利用什么原理呢？它的設備怎样呢？切割工艺又如何呢？下面我们就討論这几个問題。

一 电弧气割的原理和优点

1 电弧气割的原理 电弧气割跟气割和电弧切割是不同的。我們知道，气割时是用气体火焰將金屬切口处加热到燃点，并通以高压（通常是3~6大气压）氧，使金屬在氧中燃燒而得到一种氧化物，生成的氧化物被高压氧从切口处吹掉。燃燒时放出大量的热傳至下一层金屬，使下一层金屬也达到燃点，达到燃点后又氧化而生成氧化物，又再被高压氧吹掉。以此类推，就达到了切割的目的。

氧气切割能很好地切割含碳0.5%以下的鋼，含碳量高于1.0%时，氧气切割几乎不能进行。但是用电弧气割并不感到

困难。

一般情况下,采用氧气切割同样不能切高铬钢和铬镍不锈钢。因为这种钢在氧气切割时,表面形成铬的氧化物(Cr_2O_3 -三氧化二铬),它的熔点高达 $2,000^\circ\text{C}$ 左右,很难熔化,妨碍了金属的燃烧,使切割不可能进行。

电弧切割是利用电弧的高温($6000\sim 7000^\circ\text{C}$)将金属熔化,熔化的金属靠其自重和电弧的吹送力而脱离切割处,这样便完成了切割过程。

电弧气割的原理是:利用电弧的高温将被切金属切口处熔化,然后用高压空气(通常为 $4\sim 6$ 大气压)将熔化金属从切口处吹掉;电弧再继续熔化下一层金属,高压空气再将熔化金属吹掉,以此类推,不断深入金属,便完成了切割过程。在切割过程中,由于高压空气中有一部分氧气,所以有一部分金属在被吹掉的过程中也要发生燃烧,但是燃烧掉了的金属并不多。

2 电弧气割的优点 主要优点如下:

1) 可以切割用一般切割方法不能切割或不易切割的各种金属或合金,如高合金钢、有色金属和铸铁等。

2) 电弧气割方法不仅可以进行分离切割薄的和断面较大的零件;还可以比较容易地进行表面切割(电弧气刨),例如切去铆钉头、焊缝缺陷、铸件裂缝、缩孔等。

3) 电弧气割方法和氧-熔剂切割方法相比较,不需要贵重的材料和复杂的设备,所以比较经济。

4) 电弧气割法和电弧切割法相比较,效率高,切口表面光洁,切割的质量几乎不逊于氧-乙炔切割。

5) 电弧气割法在某些情况下可以代替风锤的锤槽,以减轻工人的体力劳动,消除噪音。

6) 切口的热影响区較氧-乙炔切割有很大的减小, 切割后金屬的变形也較小。

当然电弧气割也存在一些缺点: 主要是: 电极伸出长度不能超过 150 毫米, 所以使被切割金屬的厚度受到了限制; 其次, 和氧-乙炔切割方法相比較, 切口寬度較大, 浪费一些金屬; 再次, 电弧气割仅能使用直流电; 最后, 它要求电极导电性能良好, 否則电极消耗量要显著增加。随着科学技术的不断发展, 上述缺点正不断被克服。目前这种方法在国内外正愈来愈被人们重視, 并且广泛的应用着。我們相信这种方法不久的将来定会成为一种既簡單又有效的切割方法。

3 电弧气割方法的分类 按切割方法可以分为分离切割和表面切割两大类。按被切工件的性质可以分为: 碳鋼的切割, 合金鋼的切割, 有色金屬的切割, 鑄鉄的切割, 冒口的切割以及消除缺陷的切割等。按切割所使用的电极种类可分为: 碳极切割、石墨极切割、金屬极切割等。

二 电弧气割的設備

电弧气割所需要的設備并不复杂, 一般工厂都有条件試驗和使用这种方法。电弧气割的設備包括直流焊机, 干燥器, 割具等。

設備示意图見图 1。直流焊机 1, 用一根导綫連接在切割台架 2 上, 另一根导綫連在割具 3 上。压缩空气由工厂的压缩空气主綫路 5 沿着空气导管通过干燥器 4 通向割具 3。

干燥器由通电的螺旋鎳鉻綫构成, 它将压缩空气預热到 $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。也可将片状苛性鉀或氯化鈣装在干燥器中, 进行干燥。

使用經驗証明, 如果压缩空气湿度不大, 就可不需要干燥, 电弧气割过程同样能很好地完成。

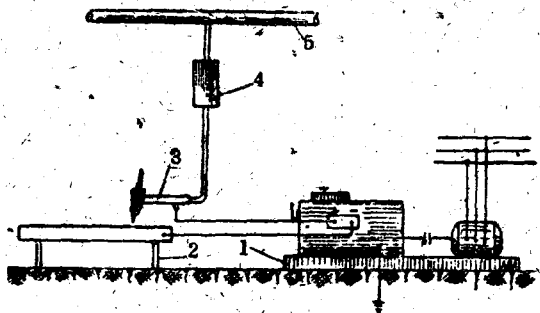


图1 电弧气割设备示意图。

切割工作地与手工焊接的工作地原则上没有区别，但要靠近工厂的压缩空气主线路（就是有“风包”处），以便得到压力足够的压缩空气，并且可以节约空气导管。在工厂没有专门的压缩空气管路时，特别是在建筑、修理工作中，可采用空气压缩机（风泵）供给压缩空气，并要求它的供气压力不低于3~4大气压，同时要具有足够的容量，否则就不能连续送给压缩空气，切割过程就要中断。

1 割具 电弧气割的割具很简单，一般工厂都能制造。割具

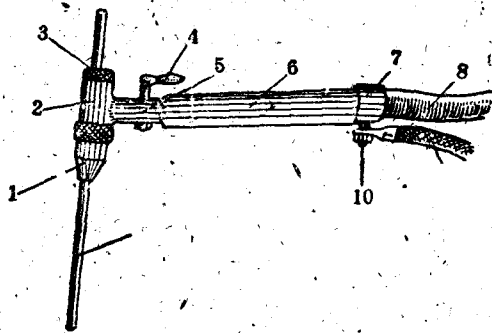


图2 环绕送给压缩空气的割具外形。

的结构形式有两种：第一种是环绕送给压缩空气的，也就是压缩空气围绕在电极的周围均匀下送到电弧燃烧区；第二种是侧面送给压缩空气的，也就是压缩空气管在电极的一侧，并且应该在电极运动方向的后面。环形送给压缩空气的割具的外形如图2。侧面送给压缩空气的割具外形如图3。

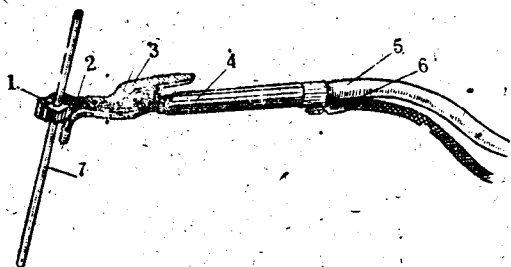


图3 侧面送给压缩空气的割具外形：

1—电极夹；2—空气咀头；3—电极夹杠杆柄；4—手柄；5—空气管；6—导线接头；7—电极。

割具(图2)由咀头1，头部2，紧固螺帽3，空气阀4，空气导管5，硬橡皮绝缘手柄6，带有接线头的导电套7，空气软管8，导线9和接触紧固螺栓10以及电极11等组成。在割具的头部内装入可换的弹性分瓣夹头，保证压缩空气能均匀地环绕着电极。夹头的内径应随电极直径的改变而改变，因此为使割具能采用各种不同直径的电极进行切割，须备有若干个内径不同的夹头。夹头应有特殊的缺口，以保证压缩空气均匀分布而环绕在电极的周围。装入电极后，撑上咀头，靠咀头内的斜度把弹性夹头的四瓣紧缩，而夹紧电极。夹紧后，电极和咀头形成环形孔，压缩空气就从此环形孔喷出。

割具宜于轻便，以减轻工人的体力劳动。

側面送給壓縮空氣的割具，使用起來不太方便，因為必須使電極和壓縮空氣咀頭都在切割線上。同時壓縮空氣咀頭必須在電極的後面。另外，它還不能進行穿孔、切掉鉚釘頭等工作。所以一般來講，採用環繞送給壓縮空氣的割具較好。

2 直流電焊機 電弧氣割可採用與焊接用特性相同的直流焊機。也就是說直流焊機應具有陡降的外特性和足夠高的空載電壓，以保證電弧穩定的燃燒。此外對短路不應敏感。同時焊機應有足夠的電流，而且可以調正，以保證採用各種直徑的電極都能進行切割，一般不應低於 200 安培，否則就不適於供電弧的燃燒，而且使切割效率大大降低。如果一台電焊機保證不了必要的電流，則可採用兩台焊機並聯使用（圖 4）。一般工廠條件下，採用仿蘇 ПС-500，I-320 的直流電焊機均可。

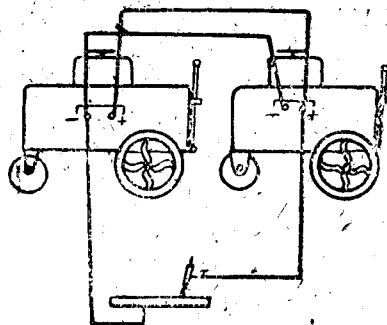


圖 4 直流電焊機的並聯使用接線圖。

3 軟管 軟管用來輸送壓縮空氣，為了使它不妨礙切割工的走動，軟管應相當柔軟，最好全部採用氣焊的軟管，長度不應小於 5 米。軟管上不應有損壞或刺穿處，否則會由於漏氣使切割過程變壞。用螺絲或特殊的夾箍把它固定在割具上。軟管的內徑一般在 9.5 毫米左右，外徑 17.5 毫米。

4 切割用的導線 切割用的導線和焊接用的導線一樣，是按高切割規範計算而選擇的。這樣可以保證導線的使用壽命。蘇聯採用的導線牌號有 ПРГ 和 ПРГН 兩種，導線的斷面根據電流強度而定（表 1）。

表1 导线断面和电流的关系

电 流 强 度 (安)	导 线 断 面 (毫米 ²)	
	单 股	双 股
200	25	—
300	50	2×16
450	70	2×25
600	95	2×35

导线应有很好的绝缘。它的末端用钎焊的方法与铜接线套用焊接在一起，以保证和割具接头处、电焊机的端头和切割工作台很好的接触，使电能损失减少。

5 电极 电弧气割可采用碳、石墨，或金属电极，并且在切割时应采用反极性。

1) 碳极和石墨电极：碳极是用煤和焦炭以电力加工过程而制成的。它具有圆形的断面。直径一般在5~20毫米，长度为200~300毫米，并在其末端修切成70°的角度。由于碳极的电阻大，所以在切割时烧损的相当剧烈。因此在切割时最好采用石墨电极。

石墨电极是采用较纯的碳素材料在2600°C的高温下处理而制成的。它的化学成分较碳极纯洁。和碳极相比较，它的颜色深灰色并发亮。石墨电极的电阻很小，导电率比碳极高4倍。因此它可以在高的电流强度下切割，能提高切割效率。不过，它的成本比碳极为高，而且不易买到。

另外，也可采用炼钢用的电极，将这种电极切成条在车床上“车细、车圆”后使用。它的导电性比一般的碳极好，切割时不易发红，消耗量也小，但强度很低、易断。

碳极和石墨电极的表面应光滑，无裂缝及其他缺陷。为了避

免切割时表面氧化，最好采用表面鍍銅的电极。表面鍍銅后导电良好，散热条件也好，电极不易发热。但是必須指出，該电极芯应是石墨或良好的碳素材料。采用演电影用的电极是不能令人满意的。

2) 金屬极：电弧气割也可用金屬极。所用的金屬极是采用ГОСТ-2246-54 牌号 CB-08 或 CB-08A 的焊絲制造，直徑从3~12毫米，长度不超过250~300毫米。电极表面不应有油、锈和其它污物。电极表面上塗一般的焊条塗料(如LIM-7, OMM-5, MЭЗ-04等)。就是說可以采用Э-42型焊条就可以。但在采用金屬电极时，电极伸出长度无法調正，而且逐渐縮短，这样使整个切割过程中，空气吹送的强烈性由小到大，不均匀，切割质量也因此受到影响。所以，一般在电弧气割时不采用金屬极。

三 电弧气割工艺

电弧气割时必须选择正确的规范，以保证电极消耗量最小，切割效率高且切割质量良好。

电极直徑、电流强度和压缩空气压力等对切割效率和质量有很大影响，所以在选择规范时必须正确地确定这些参数。同时还应考虑对工作特性(分离切割和表面切割——电弧气刨)和金屬厚度以及它的化学成分等因素。

1 切割规范的选择 切割规范包括下列内容：(1)极性；(2)电弧长度；(3)空气压力；(4)电极直徑；(5)电流强度；(6)电极的角度和摆动；(7)电极的伸出长度。这些因素对切割效率和质量都有着不同程度的影响。

1) 极性：在电弧气割时如果采用正极性电弧就不稳定，并使切割过程变坏，所以应该采用反极性(直流反接)，也就是割

具接电焊机的負（-）极，而工作台接正（+）极。

2) 弧长：弧长对切割过程有很大影响。大家知道，电弧是一种两电极間气体介质中永久放电的现象。在切割时，弧长就是电极末端和被切工件間的距离。弧过长会增大电极与工件間的电阻，使电弧不稳定。同时也会降低电弧对工件的加热效率，切割效率也降低，切口变寬不平整。弧短时电弧稳定，切口比較平整美观，并且可以提高切割效率。

在电弧气割时，空气流的方向冲着电弧燃燒区，弧长时会被空气吹偏或隔断，切割过程几乎不可能正常进行。所以在切割时，必須使电弧尽量短，防止压缩空气的吹断，以使切割过程稳定。

3) 空气压力：空气向切口处吹送的强烈性和流量（升/时）决定着电弧燃燒的稳定性和切割效率及切口的光洁度。空气流量过份低，空气吹向金屬的速度变慢，这会降低切割效率，同时使切口的光洁度变坏；空气流量过份大，也会使电弧燃燒的稳定性变坏，同时使切割过程变得不正常。因此，必須选择既不降低切割效率又能保証电弧稳定燃燒的空气压力（流量）。切割过程中应随时用給气阀調节空气流量。

4) 电极直径：电极直径的选择与被切金屬的厚度和工作特性（分离切割、鑄件修切、鉚釘头的切割、焊缝缺陷的消除等）有关。在分离切割时，为了得到小的切口寬度，应尽量选择小的电极直径，但必須保証和被切金屬的厚度相适应。在厚度大于5毫米时，电流强度应大大提高，因而电极直径也应随之增大。在表面切割时，有时必須选择大直径的电极。另外选择电极直径时，还应该考虑到供电电源的容量，如供电电源的电流不能很大，那么就應該选择与电焊机最大电流相适应的电极直径。电极直径和被切金屬厚度之間的关系見表2。

表2 电极直径和被切金属厚度之间的关系

被切金属厚度	电极直径(毫米)	
	石墨的	金属的
1~3	5	3
3~5	6	4
5~10	8	5
10~25	10~12	6
15~20	10~12	8
20~30	10~14	10~12

5) 电流强度: 应本着提高切割效率和降低电极消耗量的原则来选择切割电流。电流强度和所选择的电极直径有关系, 即依据电极直径来选择电流。切割所采用的电流比焊接时要高, 因为提高电流强度可以保证金属强烈地熔化, 因此可以得到高的切割效率。表3所示资料(数据)为电流强度、空气压力跟石墨电极和金属电极直径的关系。应根据表4来选择切割电流和空气压力。

表3 电流强度、空气压力和电极直径的关系

石墨电极			金属电极		
电极直径 (毫米)	电流强度 (安培)	空气压力 (大气压)	电极直径 (毫米)	电流强度 (安培)	空气压力 (大气压)
4	140~190	3.5~4	3	130~160	3
6	190~270	4~5	4	200~250	3.5~4
8	260~340	5~5.5	5	250~300	4~5
10	340~470	5~5.5	6	300~350	4~5
12	470~550	5~6	8	400~450	5~5.5
14	530~650	5~6	10	500~550	5~5.5
			12	600~700	5~6

从表中可以看出，空气压力、电流强度随电极直径的增大而增大。

当电极直径不变而电流增大时，电极单位时间（每分钟）内的烧损量增大。不镀铜碳极的烧损量（毫米/分）和电流强度的关系见表4。

表4 碳极烧损量和电流的关系

电流强度(安培)	碳极烧损量(毫米/分)
250	90
300	110
350	130
400	142
450	161
500	180

注：所用电极直径为8毫米。

如果电流强度不变，当金属厚度增加时，切割单位长度（1米）的电极消耗量也增加（克/米）；如果被切金属厚度不变，当提高电流强度时，每切割一米长的电极消耗量（克/米）却减小。例如，切割厚度25毫米的钢板，在电流强度500安培时每切一米长的电极消耗量比用300安培电流时小28~30%。这是由于提高电流强度而提高了切割效率的缘故。

6) 电极的角度和摆动：分离切割时，电极与被切金属之间的夹角应该是45~60°；在修切铸件和表面切割时，应采用15°~30°。切割厚度小于5毫米的金属时，电极不用横向摆动，也不用上下运动。厚度超过6毫米时，电极应当进行横向摆动和上下运动（如图5所示）。进行表面切槽时，可勿须摆动，使电极倾斜一直向前运动就可以了。

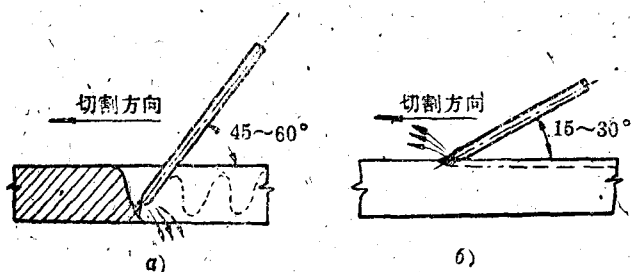


图5 分离切割(a)和表面切割(b)电极角度和摆动示意图。

根据要求的切槽深度可以适当调整电极和被切件间的角度。如要求浅时，角度可小些，要求槽深时，可以将电极角度适当增大。

7) 电极伸出长：所谓电极伸出长度 L 就是由导电夹头的末端到电极末端的距离 (图6)。它不仅影响电极的消耗量，而且也影响切割效率。当伸出长度过大时，碳极的电阻增大，在切割时很快地因温度升高而“变红”，并与压缩空气中的氧化合，碳极直径逐渐变小，增加碳极消耗。同时由于喷嘴到被切金属的距离增大，而降低空气吹送速度，因此使切割效率降低。在切割时，电极伸出长度应在 $100 \sim 150$ 毫米的范围内，当切割较薄的钢板或切割铜、铝时，可以将伸出长度缩短到 $80 \sim 100$ 毫米。

综上所述，在切割时必须选择正确的切割规范。否则将不会达到预期的效果。

2. 钢的切割：

切割时将钢置于工作台上。为了使氧化物和金属熔滴能顺利地切口处吹掉，在切割前应将切割处的铁锈、油垢清除干净，因为它们妨碍电弧的燃烧，在某些情况下，甚至会使切割过程不能进行。

被切割的金屬在清理之后应进行划綫。切口的外廓用粉筆或划針划出，在划綫时，必須保証切口寬度較电极直徑大1~3毫米。

开始切割边缘时，在引弧之前打开空气閥然后引弧进行切割，同时沿切割方向均匀移动割具。在切割过程中切割速度应保持不变，如果移动忽快忽慢即会使切割过程和质量变坏。

在鋼板厚度5毫米以下时，电极的移动应采用前进式的。在厚度超过5毫米时要沿鋼板厚度方向上，下起伏运动(参照图5)。当切割1~2毫米的鋼板时，应快速移动割具进行切割。假如电弧停留在一处，則該处的切口寬度就会增大，而脱出切口的外廓。如果鋼板厚度超过20~30毫米时，最好将被切之工件傾斜一个角度，以便使切割金屬流下来。

用电弧气割鋼的特性是：热影响区較氧-乙炔切割有很大的减小，且被切工件的弯曲变形也較小。此外，切口通常增碳，所以切口的硬度較用氧-乙炔切割的为高。表5所示为气割和空气-电弧切割各种牌号的鋼热影响区的大小和組織、硬度的比較数据。从表5可以看出电弧气割的热影响区在某些情况下，較氧-乙炔切割小7倍。

用电弧气割的速度可按下面公式計算：切割速度 V_{pes} 和被切金屬厚度 δ 、电极直徑 d_e 及电流强度 I_{pes} 有关。

熔化金屬的重量：

$$G_M = V_M \gamma = B \cdot \delta \cdot L \cdot \gamma, \quad (1)$$

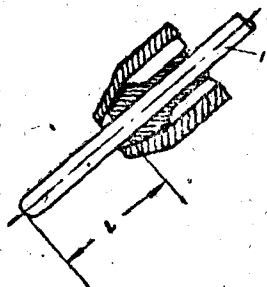


图6 电极伸出长度示意图：
1—电极；2—咀头；3—夹头；
4—割具手柄中心綫。

表 5 电弧气割与氧-乙炔切割切口热影响区大小、組織、硬度的比較

試件 編号	切割 方法	加工 特性	鋼牌号	鋼厚度 (毫米)	热 影 响 区		基 本 金 屬		
					尺 寸 (毫米)	洛 氏 硬 度			
					显 微 組 織		洛氏硬度	显微組織	
2P-1	氧气切割	分离切割	20	10	3~5	84~86R _B	珠光体和铁素体魏氏組織 索氏体	75~76R _B	粒状珠光体和铁素体
2P-2	电弧气割	分离切割	20	10	1~2	28~30R _C		82R _B	粒状珠光体和铁素体
Γ 2-1	氧气切割	表面切割	20	10	3~5	90~92R _B	珠光体和铁素体魏氏組織	80R _B	粒状珠光体和铁素体
Γ 2-2	电弧气割	表面切割	20	10	0.7~1.0	28~30R _C	索氏体和少量的铁素体	74R _B	粒状珠光体和铁素体
3P-1	氧气切割	分离切割	CT-3	10	2~3	85R _B	粒状珠光体和少量的魏氏組織	74~76R _B	粒状珠光体和铁素体
3P-2	电弧气割	分离切割	CT-3	10	1~2	18R _C	粒状珠光体和魏氏組織	78~79R _B	粒状珠光体和铁素体
Γ 3-1	氧气切割	表面切割	CT-3	10	2~6	83~84R _B	铁素体、珠光体和魏氏組織	74~75R _R	粒状珠光体和铁素体
Γ 3-2	电弧气割	表面切割	CT-3	10	1.0	15R _C	粒状和片状的珠光体	64R _B	粒状珠光体和铁素体
B3-1	氧气切割	分离切割	38X	8	2~3	38~40R _C	屈氏体加索氏体	27~28R _C	索氏体
B3-2	电弧气割	分离切割	38X	8	1.0	43~44R _C	屈氏体—马丁体	27~28R _C	索氏体
Π 3-1	氧气切割	分离切割	20XIC	5	7.0	30~37R _C	有向针状索氏体	19~22R _C	粒状珠光体和铁素体
Π 3-2	电弧气割	分离切割	20XIC	5	1.0	44~45R _C	屈氏体—马丁体	20~22R _C	铁素体
Π 3-1P	氧气切割	表面切割	20XIC	5	15	40~42R _C	针状屈氏体	86~88R _B	—
Π 3-2P	电弧气割	表面切割	20XIC	5	7	43~44R _C	屈氏体	86~88R _B	—

式中 V_M ——熔化金屬体积(厘米³);
 γ ——金屬的比重(克/厘米³);
 B ——切口寬度, 一般較电极直徑大1~3毫米(即0.1~0.3厘米);
 δ ——被切金屬厚度(厘米);
 L ——切口长度(厘米)。

熔化金屬的重量 G_M 决定于电流强度 I_{pes} , 切割時間 t 和熔
 化系数 R_B (克/安·时):

$$G_M = R_B \cdot I_{pes} \cdot t \quad (2)$$

将(1)式代入(2)式中

$$\text{得: } B\delta LY = R_B \cdot I_{pes} \cdot L$$

$$\frac{L}{t} = \frac{R_B \cdot I_{pes}}{B\delta\gamma}$$

式中 $\frac{L}{t}$ 就是切割速度 V_{pesq}

所以

$$\text{切割速度 } V_{pes} = \frac{R_B \cdot I_{pes}}{B\delta\gamma}$$

代入 $\frac{1}{60}$ 化小时为分钟

$$\text{得 } V_{pes} = \frac{R_B \cdot I_{pes}}{B\delta\gamma \cdot 60} \quad (3)$$

R_B ——熔化系数的物理意义是一小时, 一安培电流熔化金屬的克数。它和电流强度有关, 对一般低碳鋼 $R_B = 35 \sim 36$ 克/时·安; 对于1X18H9T不銹鋼 $R_B = 48 \sim 50$ 克/时·安。

这个近似計算切割速度的公式, 对任何金屬的电弧气割都是适合的。

例 用直徑8毫米的石墨电极切割厚度10毫米的低碳鋼, 采用的电流为400安培, 求其切割速度是多少?

解: