

K

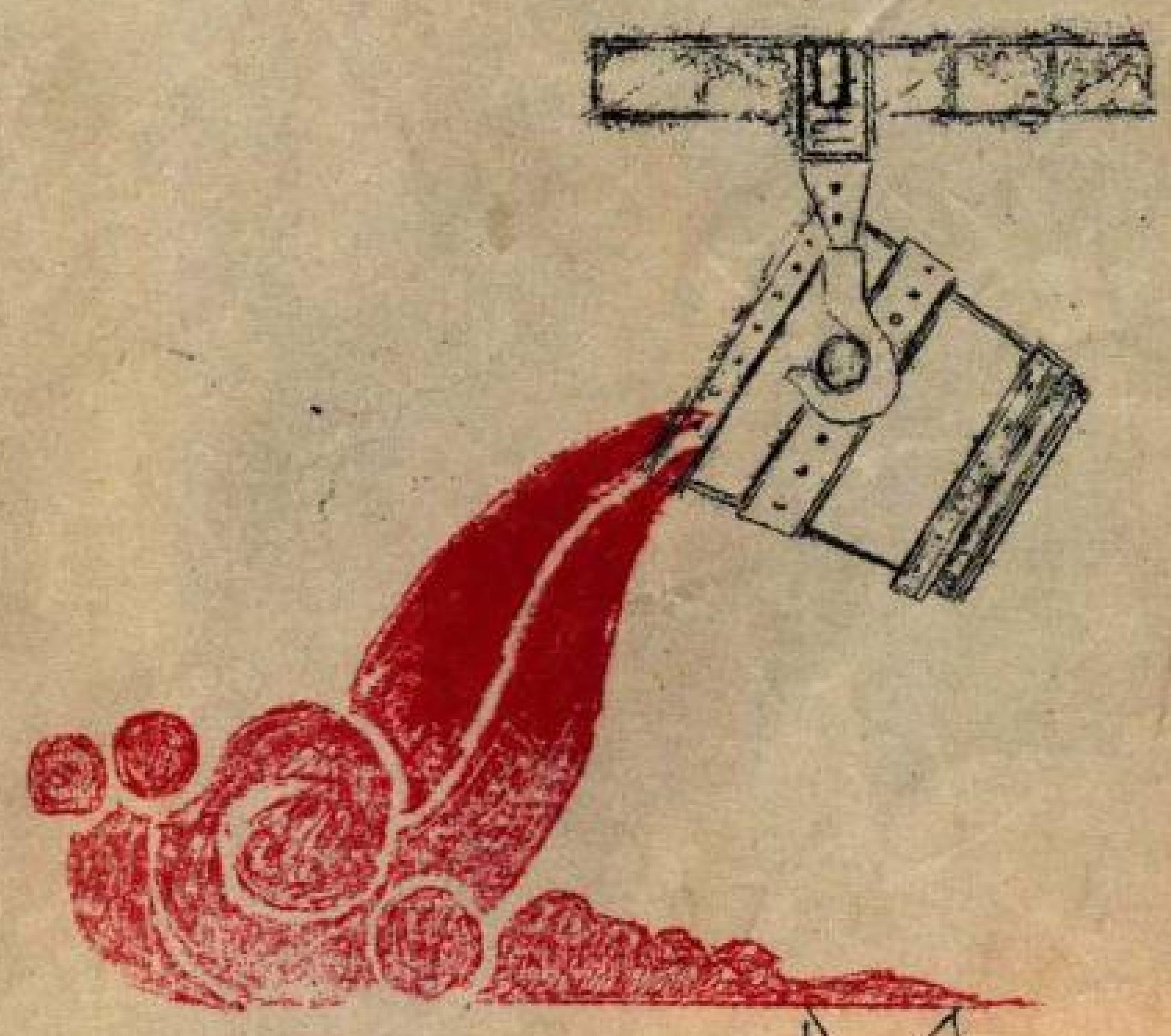
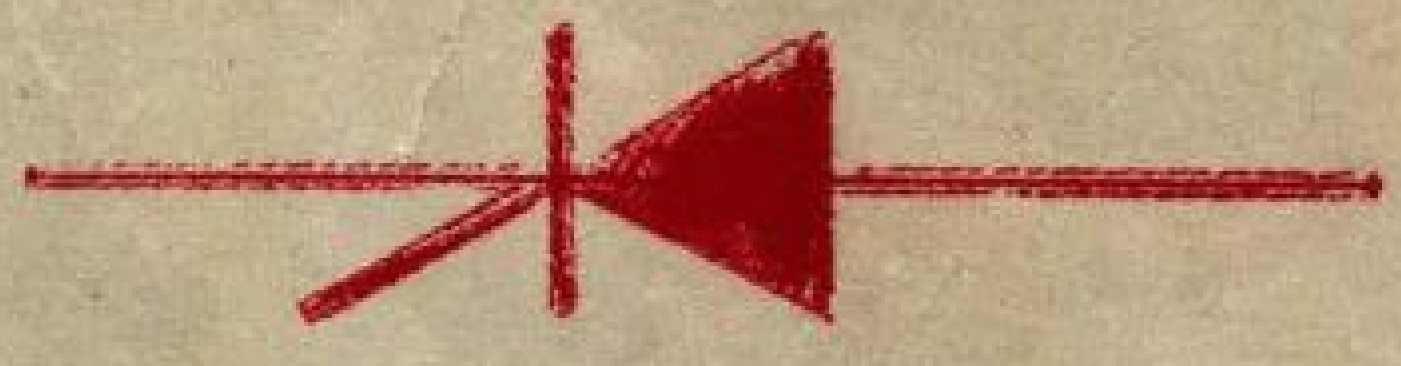


可控硅 —— 直流电动机式

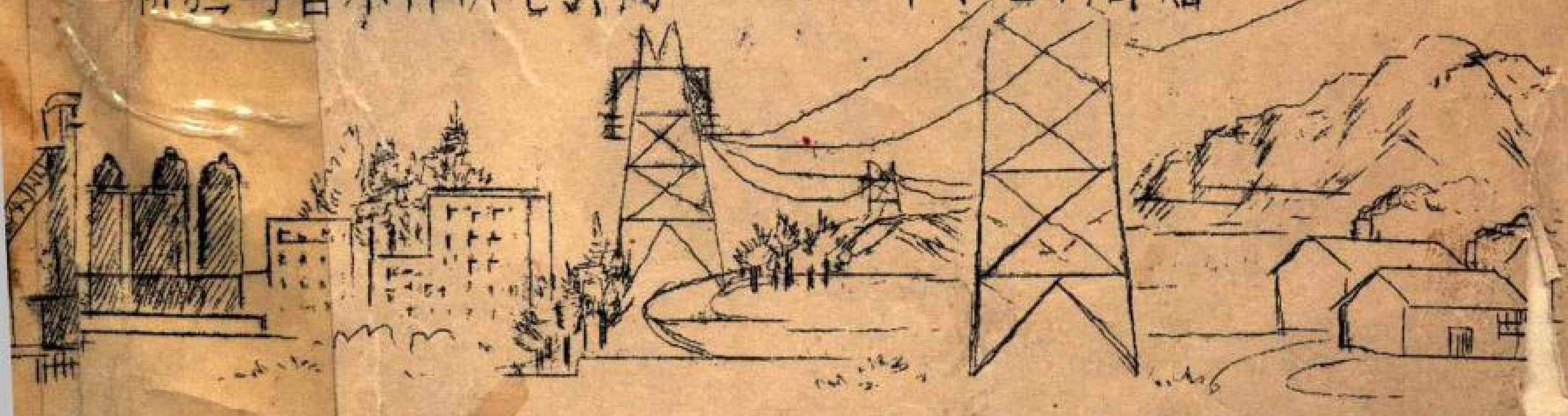
电弧炉功率调整器设计安装调整讲义

[初稿, 请审阅]

执笔 青健



新疆乌鲁木齐供电公司 74年12月印赠



前 言

电弧炉在电力系统的负荷中，性质是比较特殊的，经常由于调节性能不好，对电网造成很大的电冲击，并浪费了大量电力。尤其年代较老的大型电弧炉，其冲击之大，不但引起电网电压的大幅度起伏，使邮电、传真、电台、纺织等部门无法正常工作，且经常引起电力干线的跳闸，严重影响一定区域的安全供电，对电网无事故运行形成一定阻力。所以，多年来我们对于如何提高电弧炉调节性能给予了较大的注意，为促进本区的老电弧炉改造工作能比较快的进行，我们编写了这本讲义。

目前，可控硅电弧炉调节器基本上有两种类型，即直流电动机式与滑差电机式。两种类型都有很好的冶炼工艺性能。在某些专业会议上已提出：由于滑差电机式使用硅元件较少，新建电炉以採用滑差电机为宜；由于直流电动机和提昇机构可以保用，改建电炉以採用直流电机式为宜。我们认为这个意见是中肯的。

虽然直流电机式调节器出现的较早，但基本机理不能说已全部摸透了，事实说明直流电机式的调节性能是大有潜力可挖的，只要调整得当，就可以得到非常理想的调节性能。因而，对多年来的实践经验进行系统的理论总结是很有必要的，本讲义在这方面力求有所补益。

一般地说，企业电工对可控硅的运用已比较熟悉了，但往往

由于缺乏自动调节理论的基本概念，给调整工作带来很大困难。一般只是在电路上改来改去，很少从电环节与非电环节的内在联系上考察系统，长期调试不出理想的性能来。因而，本讲义中较多的引用了自动调节理论的基本概念，并整理出一套以图表法为主的简便工程解补办法。

要使自动调节理论成为电弧炉工作人员可以熟练掌握的东西，任务是很艰巨的，我们虽然做了很大努力，但限于技术理论和思想水平，不成熟的地方一定还有。希望有关单位和个人，尤其电弧炉工作人员，多多提出批评意见。

自动调节理论虽然可以大大减少设计工作的盲目性，给调试工作指出明确的方向，但其解补结果只能是近似的，要在试炼阶段对解补结果做最后修正。为了进一步详细明确解补结果的精度，在附录Ⅱ中附带了一张测试结果抽查表，希望兄弟供电部门委托适当用户进行重点巡测，将典型数据填入表内寄来。（测试方法见第八章）

目前，乌鲁木齐地区老电弧炉的改建工作正在积极开展，本讲义是作为理论基础教材而编写的。这次油印的缺点极少，主要供内部传阅使用，属于试讲试用性质。至于工程设计、工程总结、改建成果及经验交流等，由有关单位另外编写，不在本讲义范围之内。

老电弧炉品种繁杂，型式多样，改建中各有其疑难点，如何

将基础理论应用到改建工作中去，应依靠群众的智慧，配合企业领导，发动炉前工、电工和技术人员提出具体的改造工程方案和计划。必要时，可召集用户之间进行座谈。此外，可考虑临时组成调整队，对性能不好的电炉进行巡回调试，以便积累经验。我们希望各地区供电部门之间，就以下几方面进行交流：

- (一) 对用户的组织工作；
- (二) 典型改建成果的报道，地区巡回调试经验、总结；
- (三) 有充分根据的探讨性建议（不牵扯复杂的学术问题）。

本讲义编排上有哪些缺点，应否缩简，内容上有没有错误，怎样修改，作为基础知识读物是否适宜，以及有无必要扩大印刷等，请来信告知。

来信寄乌鲁木齐市北京路供电公司生技科收

编者 1974年12月26日

目 录

前 言

第一章 电弧放电的基本理论	1-1
1.1. 电弧放电的基本性质	1-1
1.1.1 电弧的产生、维持和熄灭	1-1
1.1.2 弧柱的电压梯度	1-2
1.1.3 电弧的伏安特性	1-3
1.2. 电弧炉电弧放电的特殊性	1-5
1.2.1 工作点的选择	1-5
1.2.2 电弧的动态伏安特性	1-6
1.3. 自动调节设备如何保证电弧的正常燃烧	1-8
第二章 自动调节系统的主要性能指标	2-1
2.1 过渡过程曲线	2-1
2.1.1 为什么会有过渡过程	2-1
2.1.2 三种典型的过渡过程	2-4
2.2 系统的静态误差	2-3
2.3 系统的动态品质	2-5
2.3.1 系统的稳定	2-5
2.3.2 超调量、飞升时间与调节时间	2-6
2.4 关于转子惯量的一点说明	2-8

第三章 系统各环节及其耦合	3-1
3.1. 环节的主要特性	3-1
3.1.1. 幅频特性曲线	3-1
3.1.2. 相频特性曲线	3-3
3.1.3. 静态放大倍数	3-4
3.2. 非周期环节〔沪波阻〕	3-5
3.3. 振荡环节〔电动机〕	3-11
3.3.1. 传递函数及其简化	3-11
3.3.2. 电动机的机电时间常数及电枢时间常数	3-13
3.3.3. 关于机电时间常数的讨论	3-14
3.3.4. 电动机与静差	3-18
3.4. 积分环节	3-24
3.4.1. 理想积分环节〔提升机构〕	3-24
3.4.2. 为什么要对系统进行校正	3-28
3.4.3. 积分校正环节	3-32
3.5. 微分校正环节	3-39
3.6. 积分微分校正环节	3-41
3.7. 放大环节及小闭环	3-44
3.8. 校正环节比较一览表	3-46
3.9. 环节的耦合	3-50

第四章	对象的特性曲线和予期特性曲线	4-1
4.1.	系统开环特性曲线的画出	4-1
4.2.	予期开环系统特性曲线的提出	4-6
4.2.1.	最低要求	4-8
4.2.2.	系统静态放大倍数的确定	4-8
4.2.3.	系统截止频率的确定	4-9
4.2.4.	ω_1/ω_c 和 ω_3/ω_c 的确定	4-12
4.3.	系统的综合与校正	4-12
4.3.1.	系统的综合	4-12
4.3.2.	串联校正与并联校正的比较	4-16
第五章	系统设计到最后校验	5-1
5.1.	实频特性曲线	5-1
5.1.1.	系统闭环实频特性曲线的各种性质	5-1
5.1.2.	实频曲线的得出	5-4
5.2.	用实频曲线求出系统的过渡过程曲线	5-4
5.3.	几张典型的解样图例	5-10
5.3.1.	具有广泛代表性的对象特性曲线图解	5-12
5.3.2.	一个使用了PI 调节的实例系统的图解	5-13
5.3.3.	高放大倍数小超调系统图解	5-14
5.3.4.	无超调高提昇速度系统图解	5-15
5.4.	系统设计部份的结语	5-17

第六章 电气部份的设计	6-1
6.1. 特殊沪波线路	6-1
6.1.1. 双T型沪波田	6-1
6.1.2. 裂相整流沪波线路	6-2
6.2. 功率测量线路	6-4
6.3. 触发线路及小闭环	6-7
6.3.1. 触发线路	6-7
6.3.2. 小闭环反对系统静差度的影响	6-13
6.4. 主回路	6-17
6.4.1. 工作原理	6-17
6.4.2. 能耗制动	6-17
6.4.3. 反接制动	6-19
第七章 按装	7-1
7.1. 串接元件的统制	7-1
7.1.1. 电流信号变成田的统制和初步测试	7-1
7.1.2. 脉冲变压器田	7-2
7.1.3. 同步变压器田	7-3
7.1.4. 对主变压器田的要求	7-4
7.2. 触发田	7-4
7.2.1. 对触发田的基本要求	7-4
7.2.2. 线路图举例	7-5

7.2.3.	元件选择	7-6
7.2.4.	初步调试	7-10
7.2.5.	輸入端限幅及輸入阻抗	7-13
7.3.	主回路	7-14
7.3.1.	电机的绝缘	7-14
7.3.2.	附加电阻的绕制	7-15
7.4.	触发回路与主回路联合测试(开环)	7-16
7.4.1.	相互连接	7-16
7.4.2.	开环测试	7-17
第八章	调整	8-1
8.1.	功率测量线路的测试	8-1
8.1.1.	准备工作	8-1
8.1.2.	静态放大係数的测出	8-2
8.1.3.	功率调整和灵敏度调整的测试	8-2
8.2.	小闭环测试	8-3
8.2.1.	准备工作	8-3
8.2.2.	调试	8-3
8.3.	炉下试稳	8-5
8.3.1.	准备工作	8-5
8.3.2.	系统开环静态放大係数的粗测	8-5
8.3.3.	系统静态误差的粗测	8-6

8.3.4.	系统就绪工作区的测试	8-6
8.3.5.	小闭环输入阻抗的测试	8-7
8.4.	炉上试验	8-8
8.5.	动态品质简易测试	8-10

附 录

I.	CA8型固相电解质钽电容四特性参数及尺寸。	附-1
II.	电容号简易测试法	附-2
III.	Z型直流电动机技术数据	附-4
IV.	测试结果抽查表	附-7

第一章 电弧放电的基本理论

电弧炉是以电弧放电的形式对炉料进行加热的。需要的设备简单、投资低、有相当的熔炼质量水平，是目前的主要炉种之一。但也存在耗电多，对电网冲击大，由于电极渗碳作用，熔炼质量难于进一步提高的缺点。自动调节设备的功能就是维持电弧稳定，减小电冲击，缩短熔炼时间（同时也缩短了渗碳过程），以达到节约电力，提高产品质量的目的。

电弧放电的基本性质是什么呢？这个基本性质向调节设备提出了那些基本要求呢？这就是本章所要回答的问题。

1.1 电弧放电的基本性质

1.1.1 电弧的产生、维持和熄灭

由于电炉使用的电压很低，电弧的产生不是由于“高电场发射”，而是由于电极的引弧动作，在电极与炉料相碰的瞬间，引起电火花，产生了热游离过程，当热游离的浓度足以维持弧隙的电导时，就开始了弧光放电。

所谓热游离，就是强大的温度使气体电离，气体由绝缘体变为导体的过程，温度越高，游离便进行的越快，石墨电极的气化，加剧了游离过程，有金属蒸气存在时，这种游离就更为强烈了。这就是为什么熔池形成后，电弧比较稳定的道理。

在游离的同时，负游离也在进行着，例如弧柱中带电气体斑点向大气中的扩散，炉料对于弧柱热量的吸收等，都会形成游离

的反作用，尤其弧柱拉長和直径減小，（也就是电弧电流的減小）使相对扩散面积增加，负游离便急剧加快，当负游离的強度大于游离的強度时，电弧便熄灭了。由此可以得知，冷炉和小电流时的电弧是比較难于稳定的，电弧拉長到一定程度，便会引起电弧的熄灭。

1.1.2 弧柱的电压梯度

弧柱的电压与弧柱的長度存在着怎样的关系呢？這可以用下式来表示：

$$E_H = \alpha + \beta L \quad [1.1]$$

E_H —— 电弧电压 [伏]

α —— 极区压降 [伏] 约为22伏。

β —— 电压梯度 [伏/毫米]，熔化期 $\beta = 12$ ，

精煉期 $\beta = 1.1$ 。

L —— 电弧長度 [毫米]

在电极表面与炉料表面

一个极薄的区域内，有

着比較大的电压降，這

个电压降是固定的，不

隨弧柱長度的改变而改

变，也与电弧电流无关，

叫极区压降。

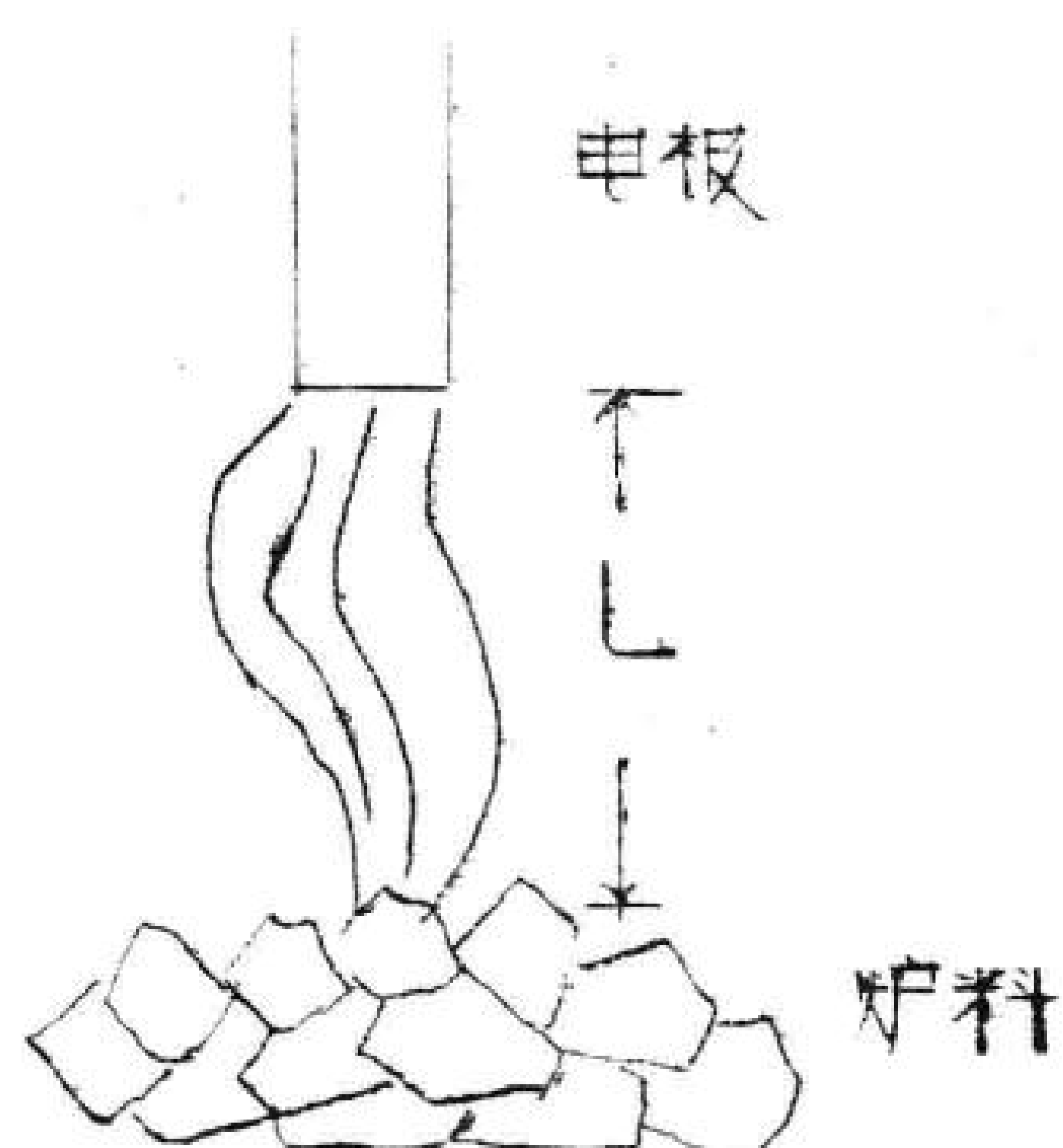


图 1.1

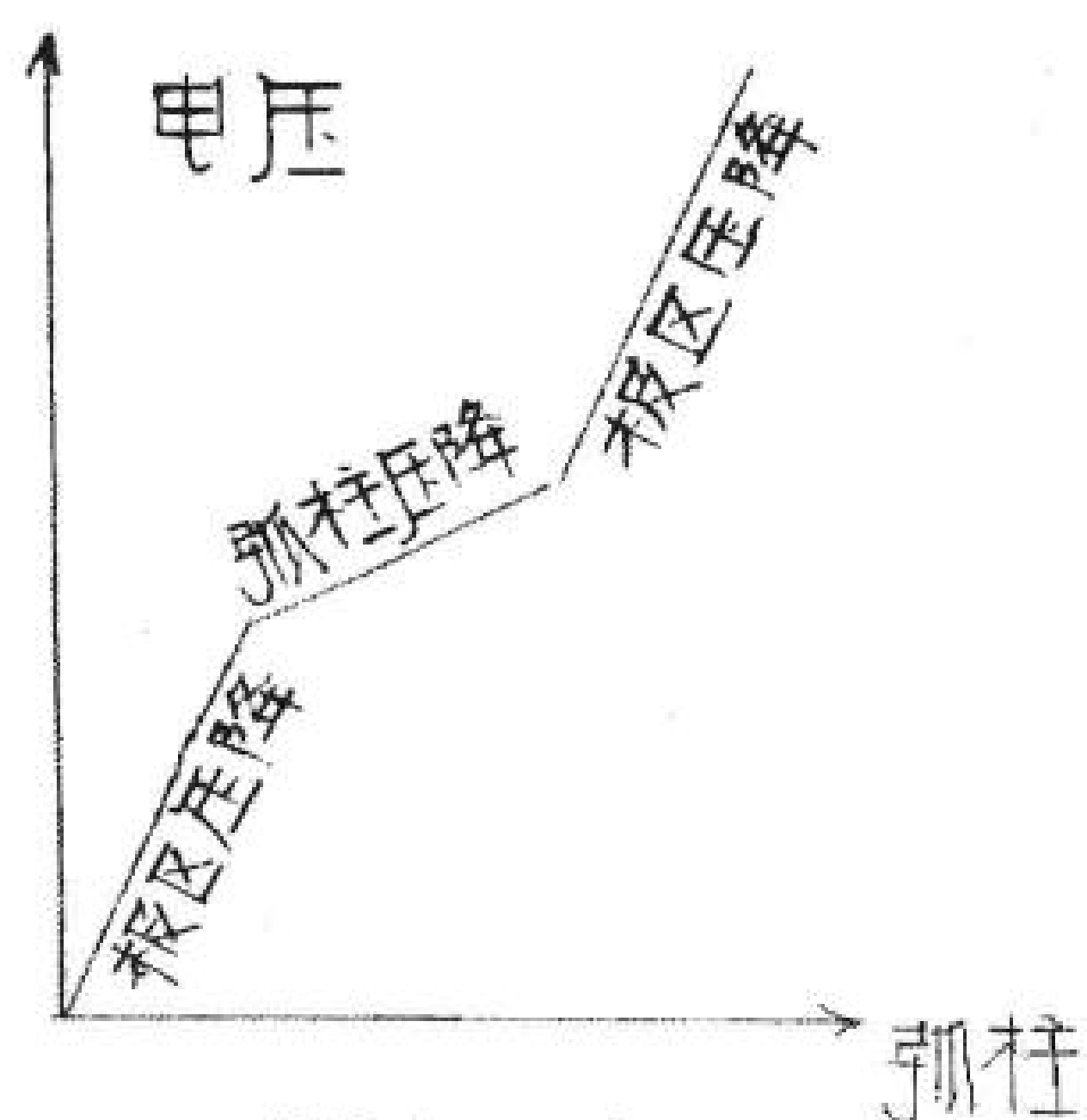


图 1-2

在电极与炉料间的长度 l 内，每毫米长度的电压降叫电压梯度。它随热游离的加强而变小。

由于整个熔炼过程中，电压梯度 β 变化10倍左右，所以弧柱长度的变化范围很

大。在熔化初期，电弧只有数毫米长，随着炉料温度升高和热游离加强，电弧长度亦逐渐加长，在精炼后期，电弧长度可达7公分左右。

例如：某电炉的变压器输出电压为127伏，扣除主回路压降后加在电极上的电压为100伏，极区电压为22伏，求熔化初期电弧长度。

已知熔化初期 $\beta = 12$ 伏/毫米，根据式 (1.1) 可得

$$l = \frac{1}{\beta} (E - \alpha) = \frac{1}{12} (100 - 22) = 6.5 \text{ mm} \quad (1.2)$$

即熔化初期弧隙只有6.5毫米，这个数字成为我们以后进行有关验补的根据之一。

1.1.3. 电弧的伏安特性

电弧放电的伏安特性是下降的，也就是当电流增加时，电弧上的电压反而减少。这是因为当电流增加时，弧柱的截面和温度增加了，热游离加剧，弧柱电阻的减少比电流的增长要快。特性

的大致形状示於图1—3。

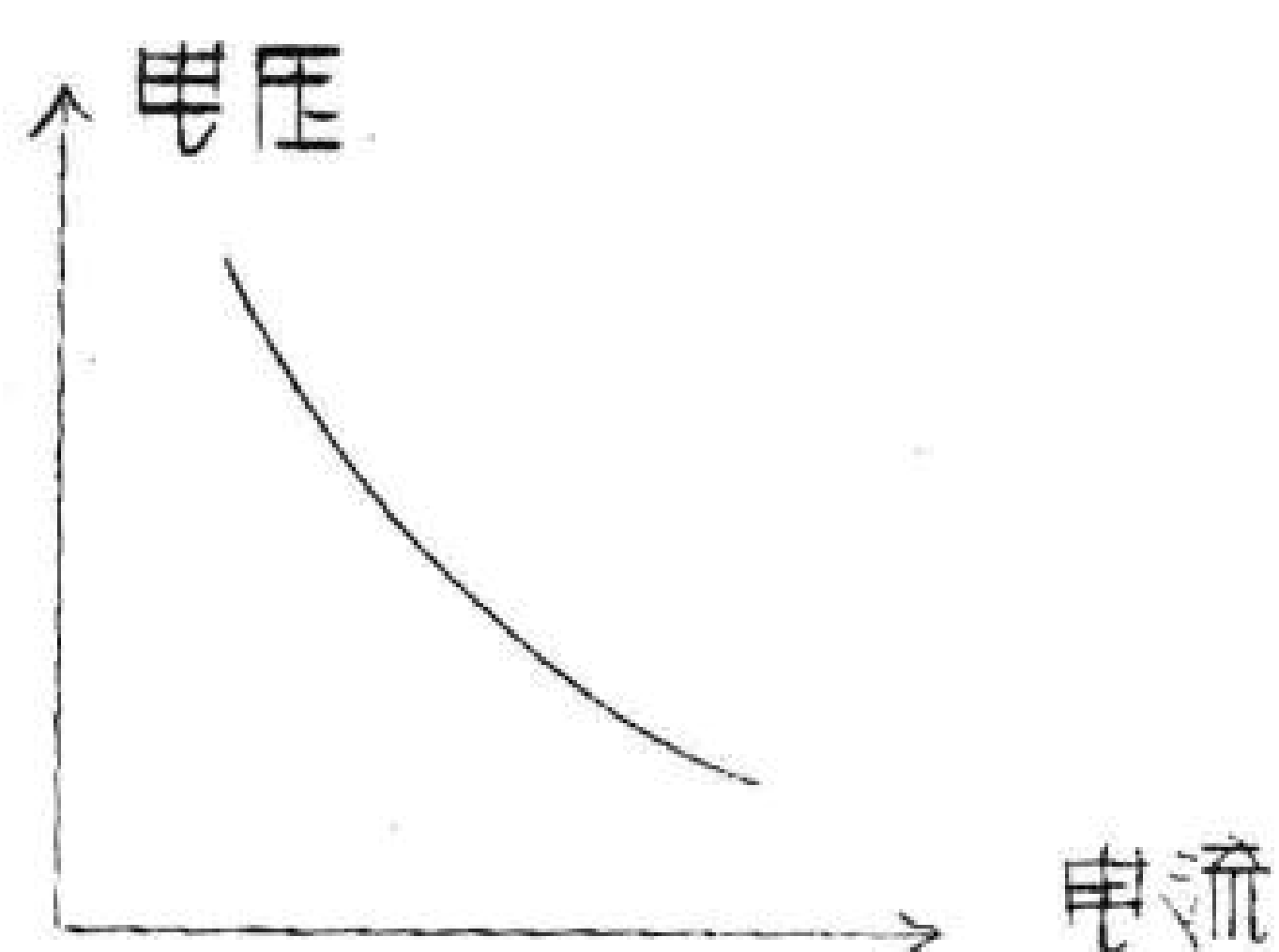


图 1-3

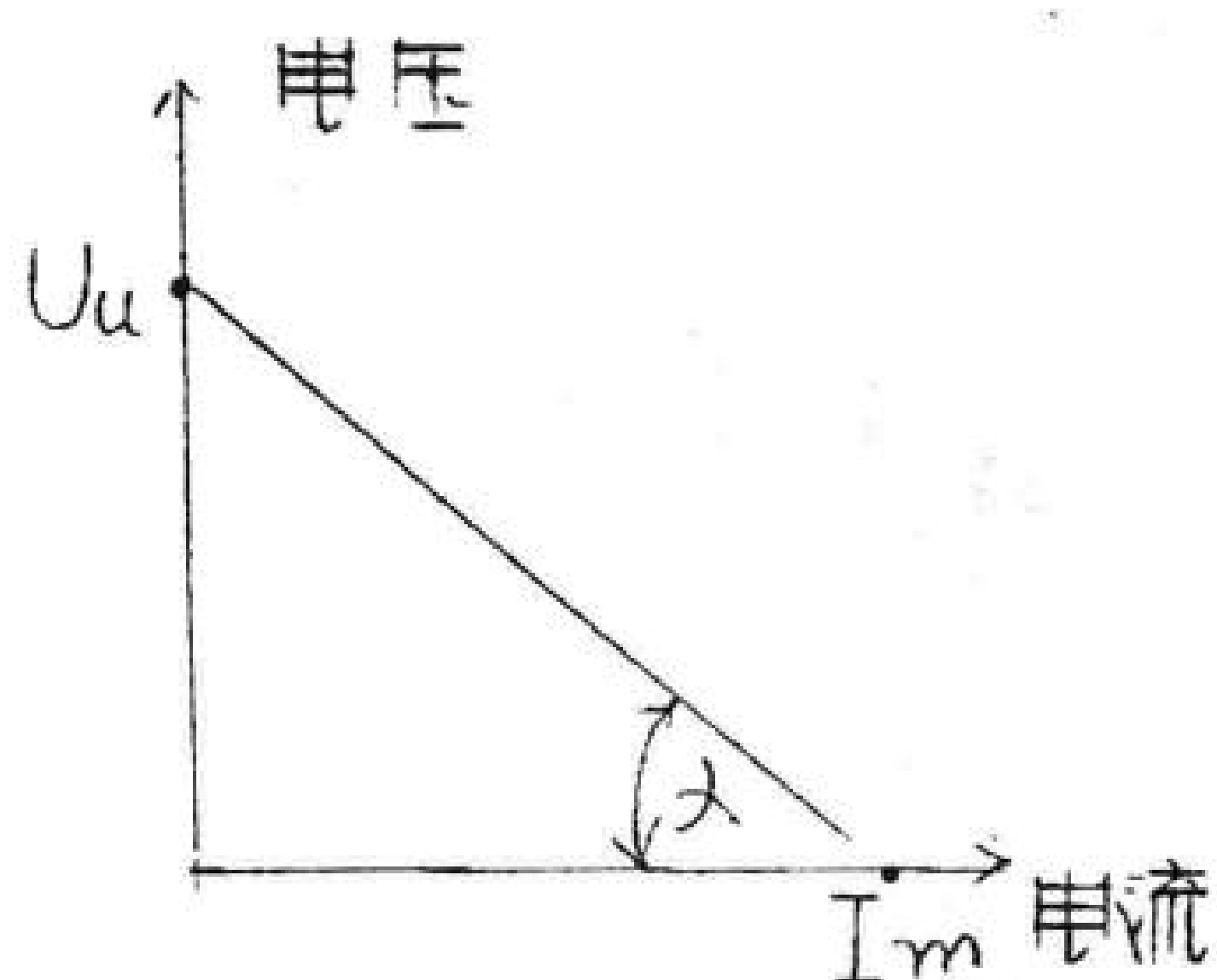


图 1-4

我們再將电弧放电回路的外电阻〔除电弧以外的所有电阻，包括主回路电阻、限流电阻、熔料接触电阻和电流内阻〕用一条直线表示在图1-4上。 U_0 点是回路断开时的电弧电压， I_m 点是电弧间隙直接短路时，由外电阻所决定的极限电流，角度 α 表示外电阻的大小。然后将电弧的伏安特性与代表外电阻的这条直线交迭在一起，就得到图1-5所示的图形。

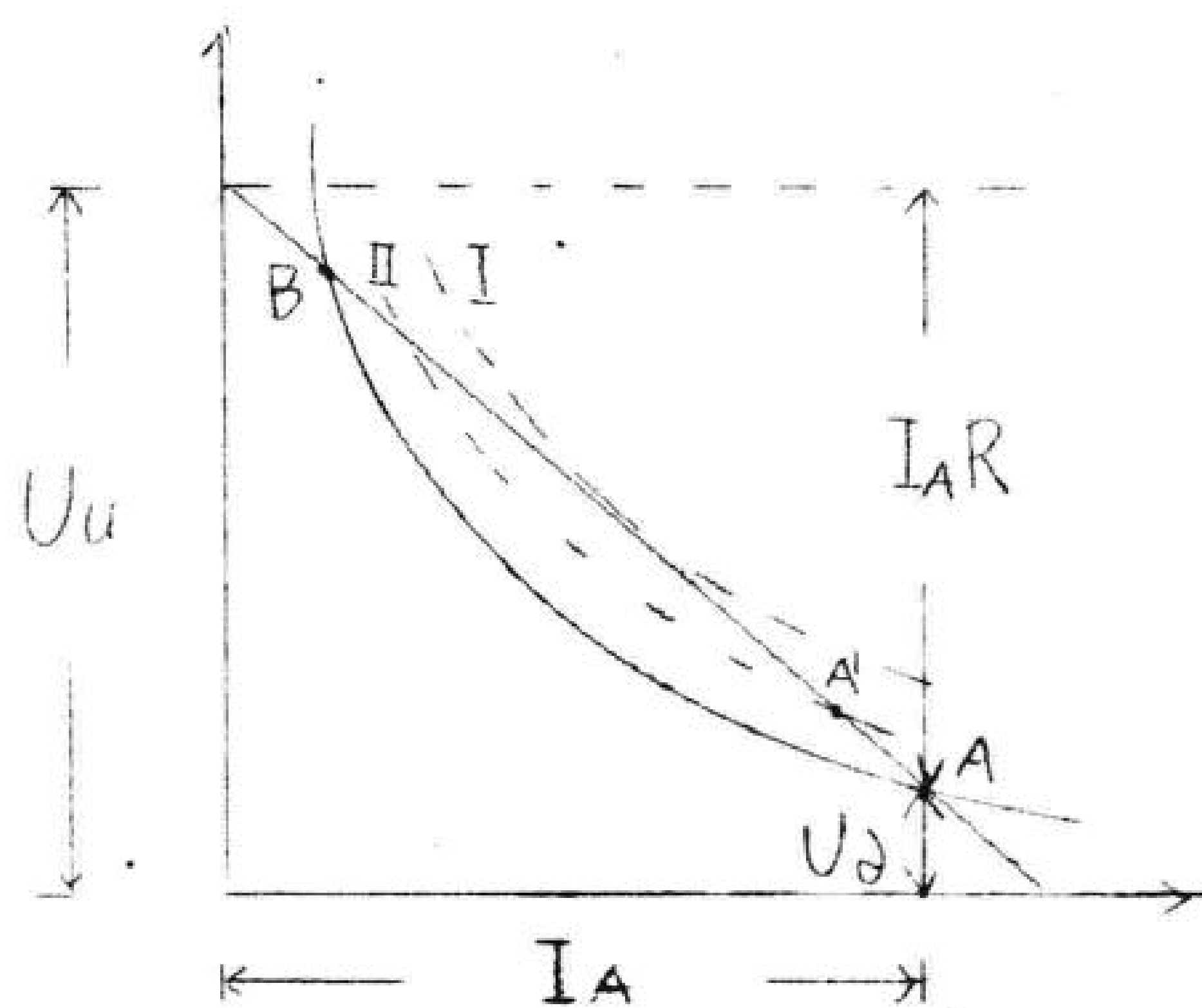


图 1-5

图中

 I_A — 回路电流 $I_A R$ — 外电阻压降

R — 外电阻

 U_a — 电源电压 U_d — 电弧电压

在电弧稳定燃烧时

$$U_u = U_\partial + I_A R_{1.3}$$

符合此分式的只有 A 与 B 两个交点，但 B 点是不稳定的，因为电流稍一增大，电弧电压 V_a 就顺着下降曲线下降，电源供给的电压便大于 V_a ，电流就继续增大，一直到 A 点才能稳定下来。而 A 点是稳定的工作点，因为当电流脱离 A 点时， V_a 的变化可以促使电弧恢复到 A 点。但是电流的减小程度不能超过 B 点，因为电流比 B 点小时， V_a 就促使电流继续减小，直到熄灭。

由此可见，两条线相交越深，A B 两点的距离便越远，允许的电流偶然变动便越大，电弧便越为稳定。

电弧的伏安特性是随着电弧长度的变化而变化的，^{按电压梯度 β 为某一定值} 弧隙加长，特性曲线上移，产生一点新交点 A'（图中虚线 II）将电弧电流稳定在较小的数值上。弧隙继续加长，伏安特性曲线便继续上移，直到两条线相切（如虚线 I），电弧便到了熄灭的边缘，这个弧隙长度就叫临界长度。

自动调整装置在动作过程中，要保证在任何情况下，弧隙长度都在临界长度以内。

1.2 电弧炉电弧放电的特殊性

1.2.1 工作点的选择

图 1—5 所示图形的特点是两条线相交很深，电弧很稳定，在外界扰动电弧时，有很强的能力使电弧继续燃烧下去；但另外还有一个特点就是外电阻的压降大于电弧本身的压降，这就意味着电能大部消耗在外电阻上了，而不是消耗在电弧上。这样做是

不经济的，在一些小型设备上（例如弧光灯、某些电焊设备等）为了电弧稳定这样做是可以的，但象电弧炉这样的大型设备，这样做便是绝对不能允许的了。

电弧炉的工作点示于图 1—6，两条线相交的很浅，例如电弧电压 127 伏，电弧本身压降 100 伏，外电阻压降 27 伏，伏安

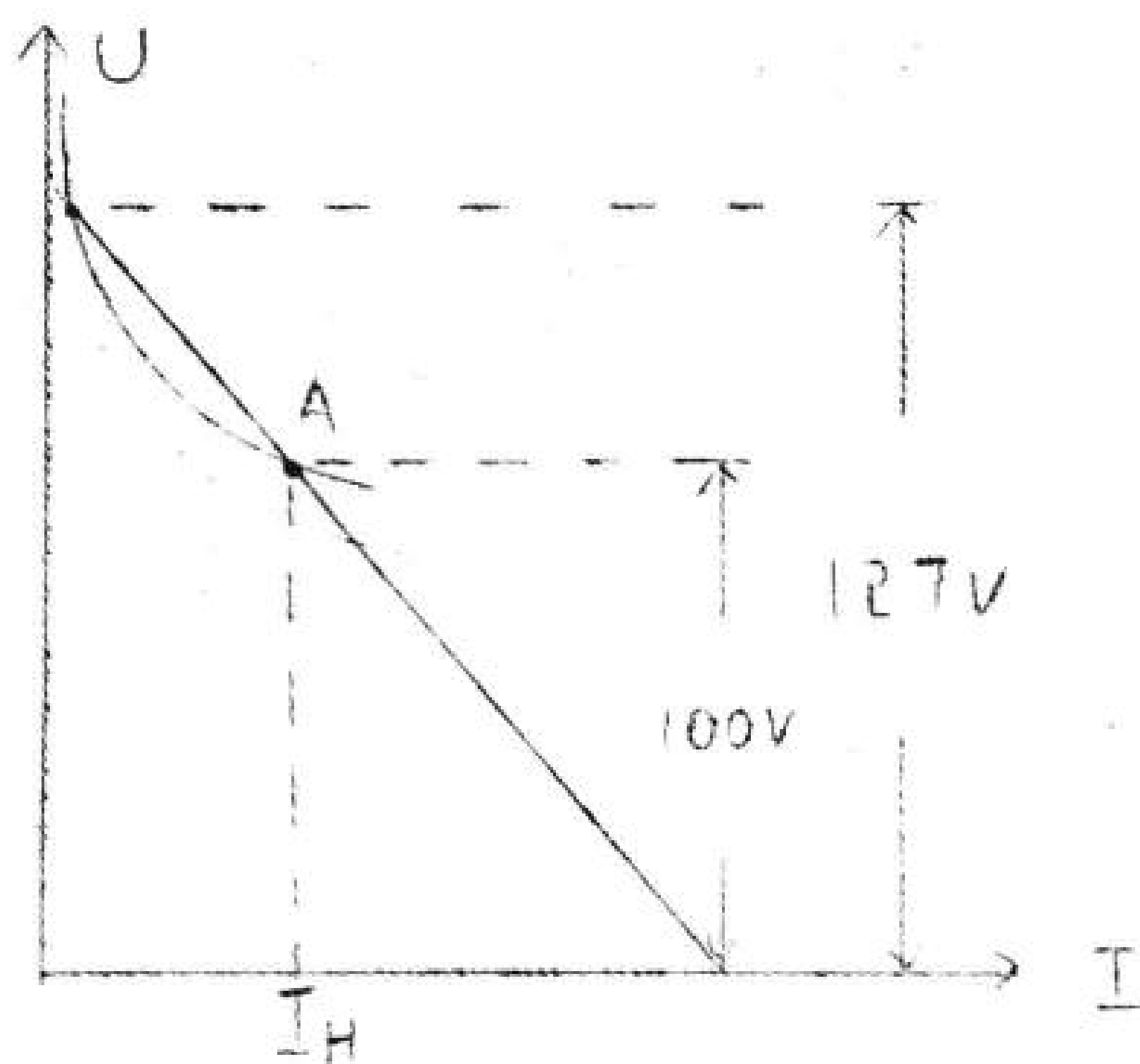


图 1—6

特性及交点 A 均很高，正常工作的弧隙长度接近于临界长度。这是为了经济性而不得不如此的，但却给电弧的稳定带来极大的困难，也给自动调节系统提出了很艰巨的

任务和工作条件，在调整弧隙的过程中，稍一超调，就有引起断弧的可能。

1.2.2 电弧的动态伏安特性

上面已经讲到电弧炉正常工作时的弧隙是接近于临界长度的，在小电流工作的情况下，就更为接近，几乎就是工作在临界长度上，一种情况就是钢水已经提到指定的温度，在利用小电流电弧进行保温时就是这样，那岂不是稍一受到扰动就要断弧吗？事情并没有严重到这样的程度，一方面钢水已经熔化，枕块仅仅是钢

水表面的波动，电极保持在炽热状态，弧柱内有大剂量蒸汽，这对弧电的燃烧都是有利的，另一方面，除了我们讲过的以外，还有其他一些因素在影响着电弧的燃烧状态，例如：

1. 外电阻不是纯电阻，还有感抗存在；
2. 电炉变压器在设计时，给定了较大的短路电压；
3. 图1-3所表示的是电压固定电流变化很慢条件下的静特性，事实上，交流电弧的伏安特性曲线，时时都在变动——表现的是动态特性。

以上这些因素都对电弧的燃烧可以产生有利或不利的影
10 响。尽管如此，电弧炉工作弧隙接近于临界长度，所允许的起调角是很小的，这样一个基本结论仍然是成立的。

下面对交流电弧的动态特性作一简单介绍：

弧柱电阻主要由热游离来决定，在交流电弧内，热的变化远没有电的变化快，热的变化总是滞后于电的变化，这样就产生了动态特性，大致情况示于图1-7（虚线表示静特性）

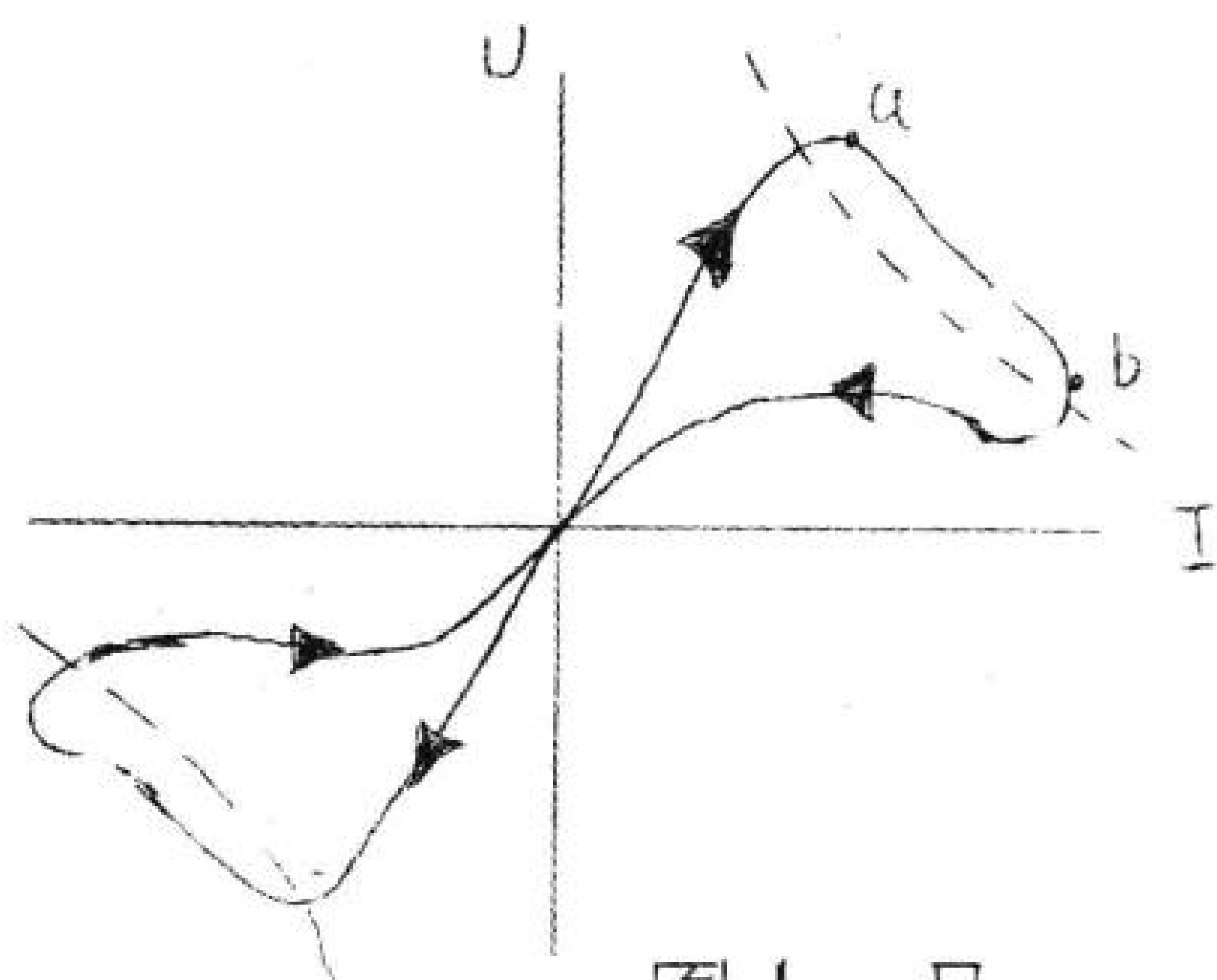


图1-7

交流电弧每经过零点都要灭弧，过零点后，从新点燃，在游离作用很强时，这段时间很短，但若游离作用加强时，这段时间便相对加长，