

焊 接 手 册

第二卷 焊接方法

〔美〕 美国焊接学会 编



机 械 工 业 出 版 社

TG 4-62
M 45

焊 接 手 册 ³²

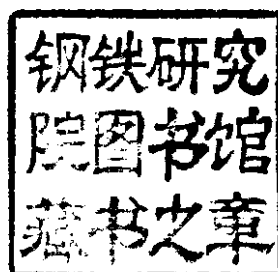
第二卷 焊接方法

〔美〕 美国焊接学会 编

黄静文等 译

陈伯蠡 审校

9104100



机械工业出版社

焊接手册是美国焊接学会编著和出版的专业手册。第七版共分五卷,本书是第二卷——焊接方法(包括电弧焊、气焊和切割、硬钎焊及软钎焊)。书中论及各种焊接方法的基本原理、设备、材料、工艺参数、焊接工艺、应用以及焊缝质量等。本书内容阐述比较详细,数据丰富、可靠,是一部有价值的参考书。

本书可供从事焊接工作的工程技术人员和大专院校焊接专业师生参考。

Welding Handbook

Seventh Edition, Volume 2

Welding Processes——Arc and Gas Welding
and Cutting, Brazing, and Soldering
1978 by American Welding Society

焊 接 手 册

第七版 第二卷

焊 接 方 法

〔美〕美国焊接学会 编

黄静文等 译

陈伯鑫 审校

责任编辑:金晓玲

封面设计:田淑文

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ ·印张 22 $\frac{3}{8}$ ·字数 593 千字

1988年7月北京第一版·1988年7月北京第一次印刷

印数 00,001—12,800·定价:6.80元

ISBN 7-111-00557-0/TG·142

焊接手册第七版共分五卷

第一卷 焊接基础

第二卷 焊接方法——电弧焊、气焊及气割、
硬钎焊及软钎焊

第三卷 焊接方法——电阻焊及固态焊、其它
焊接方法

第四卷 金属及其焊接性

第五卷 工程、质量保证和安全实践

出版者的话

美国焊接学会编写的焊接手册在美国有较大的影响。它内容丰富、新颖且不断更新，现已修改再版至第七版，共五卷，其中第一、二、三、四卷已出版，第五卷近期可出版。鉴于我国目前还没有自编的焊接手册，特将美国焊接手册第七版各卷陆续译出并出版，以供读者参考。

在翻译过程中，我们对原书做了如下变动：

1. 原书同时采用英制和米制计量单位，根据“中华人民共和国法定计量单位”的规定，我们为了方便读者阅读和使用，在译文中只保留了国际单位而删掉了英制单位，对书中的只有英制单位而无国际单位者均换算为国际单位。除此之外，我们对原书的正文、表格、插图、公式或方程式中所用英制单位的系数、坐标，均换算为国际单位。

2. 原书中主题词索引，主要是本卷主题词在第六版和第七版各章节中的对照，考虑到这部分对我国读者无多大的实际使用价值，故而从略。

3. “索引”部分，不适用于我国读者使用，故也从略。读者可利用全书目录和各章节中交叉参考的注释查到所需内容。

本手册第二卷中的序言、第一、二、三、四、五、六、七章由黄静文同志翻译；第八、九、十章由白志耀同志翻译；第十一、十二、十三章由梅仲勤同志翻译；第十四章由叶栋林同志翻译。本卷由陈伯蠡同志校审。黄静文同志对本卷进行了最后校审及整理定稿。

陈裕川同志和周大中同志参加了部分校译工作。

由于翻译者水平所限，错误和不足之处在所难免，望广大读者给予斧正。

第二卷序言

本卷是《焊接手册》第七版计划出版的五卷中的第二卷。第一卷——焊接基础，已于1976年出版。第一卷包括有关焊接的大量基础数据，诸如焊接物理、焊接传热、焊接冶金、力学试验以及残余应力和变形等。

第二卷是关于焊接及所采用方法的两卷中的第一卷，包括电弧焊、气焊以及切割、硬钎焊和软钎焊。第三卷，出版时将包括电阻焊、固态焊、电子束焊、激光焊和激光切割、粘接、热喷涂以及其它焊接方法等。

《焊接手册》编委会在拟定第七版出版计划时，决定将第六版中的2A、3A和3B三册中的内容编纂为两卷。因此，这一版本中论及的各种焊接方法所包括的内容就较为简明扼要些，但对工业上大多数用途来说还是足以满足需要的。此外，编委会还决定在第七版的第四卷和第五卷中编入有关材料、设计、制造和质量控制等内容。这一重新编排延误了第六版的1、2、3A和3B各册中几个章节的修订。因此，读者还应在全部内容修订完之前需继续使用第六版中的诸部分。

第六版第一册中一个非常重要的内容，是对焊接、切割、硬钎焊以及软钎焊的安全措施。在很多情况下，在本卷的可用方法的章节中只论述了与某一具体焊接方法相关的安全措施。但是，这些讨论不趋于复杂化和包罗万象。读者必须根据自己特定的用途，对该项内容做全面的研究。

章节编委会和焊接手册编委会对本卷所做整理工作是无偿的。除此之外，其他参与者对各个章节做了编排并做了注释和说明。所有参加者对焊接手册的编排工作都无偿地贡献了他们自己的宝贵时间和才能。美国焊接学会代表其全体成员，向对这项工

V

作给予支持的贡献者和读者致以谢意。

编辑对 Hallock Campbell 和 Carl Willer 在一些章节的校订工作中给予的帮助, 以及 Richard French、Leslie Harrington 和 Sandra Wagenheim 参与本卷的版样校订和出版表示感谢。

我们欢迎您对《焊接手册》提出意见。

请您将意见寄至《焊接手册》编辑部, 美国焊接学会, 2501 N.W. 七道街, Miami, FL 33125。

焊接手册编委会主席	焊接手册编辑
A. W. Pense 博士	W. H. Kearns

目 录

出版者的话

第二卷序言

第一章 弧焊电源 1

引言 1

分类法 1

工作原理 5

负载持续率 13

空载电压 15

NEMA对电源的要求 17

恒定电流, 交流电源 21

恒定电流, 直流电源 30

恒定电压, 直流电源 39

特种电源 41

固体电路 52

补充阅读资料 58

第二章 手工电弧焊 59

方法的基本原理 59

设备 64

材料 72

应用 80

接头的设计和准备 81

焊接工艺 89

焊缝质量 101

补充阅读资料 104

第三章 钨极气体保护电

弧焊 105

方法的基本原理 105

设备 110

材料 133

本方法的一般用途 136

工艺参数 141

焊接工艺 145

焊缝质量 149

补充阅读资料 151

第四章 熔化极气体保护

电弧焊 152

方法的基本原理 152

设备 159

材料 171

工艺参数 182

焊接工艺 188

焊缝质量 189

焊接方法的选择 191

熔化极气体保护电弧点焊 195

窄间隙焊接 198

补充阅读资料 199

第五章 药芯焊丝电弧

焊 200

方法的基本原理 200

设备 204

材料 211

焊接过程的控制 219

接头设计和焊接工艺 226

焊缝质量 239

补充阅读资料	240	焊接工艺参数	406
第六章 埋弧焊	241	焊缝质量	410
方法的基本原理	241	安全操作建议	412
设备	245	补充阅读资料	413
材料	250	第十章 氧-燃气焊接	414
埋弧焊的一般用途	256	方法的基本原理	414
工艺参数	256	燃气的特性	415
焊缝形式	266	氧-燃气焊用设备	425
焊接工艺	270	氧-燃气焊的应用	444
焊缝质量	282	焊接工艺	452
补充阅读资料	283	采用其它可燃气体焊接	458
第七章 电渣焊和气电立		补充阅读资料	459
焊	284	第十一章 硬钎焊	460
引言	284	方法的基本原理	460
电渣焊	284	钎焊方法	461
气电立焊	313	母材	467
补充阅读资料	326	硬钎料	482
第八章 螺柱焊	327	钎剂和保护气氛	495
引言	327	接头设计	508
方法的适用性与局限性	328	钎焊设备和技术	524
电弧螺柱焊接	329	钎焊工艺	533
电容储能螺柱焊	354	检验	537
焊接方法的选择及应用	366	钎焊的安全操作	541
补充阅读资料	369	钎接焊	541
第九章 等离子弧焊接 ...	370	补充阅读资料	547
方法的原理	370	第十二章 软钎焊	548
设备	378	方法的基本原理	548
材料	387	钎料	550
等离子弧焊接的一般应用 ...	392	钎剂	558
优点与缺点	393	接头设计	559
接头设计	395	预先清理和表面准备	561
焊接工艺	396	钎焊方法和设备	563

残余钎剂的处理	568	第十四章 堆焊	645
补充阅读资料	570	方法的基本原理	645
第十三章 电弧切割与氧		特别注意事项	653
气切割	571	堆焊方法	661
引言	571	耐磨堆焊的母材	687
氧-燃气切割	571	堆焊合金的冶金基础	688
电弧切割	621	堆焊填充金属	692
补充阅读资料	643	补充阅读资料	706

第一章 弧 焊 电 源

引 言

已有许多种类型电源可以用来满足各种弧焊方法的要求。本章所述的弧焊电源，包括用于手工电弧焊、熔化极气体保护电弧焊、药芯焊丝电弧焊、钨极气体保护电弧焊、埋弧焊、电渣焊、气电立焊、等离子弧焊以及螺柱电弧焊的电源。本章是作为进一步了解和选择合适电源的一个指南。这里所介绍的资料可对该学科提供基本概念。所概述的一些应用实例都是典型的，并且只是用来阐明电源与焊接方法的关系。

电源的选择必定与工程上的一些要求有关。编制工艺的第一步，是详细说明所选定焊接方法的要求。然后，要考虑其它一些因素，诸如可利用的电源、更详细的技术要求、保养、经济条件、轻便性、环境、所具备的技术水平、安全性、制造厂的生产能力、利用率以及标准化等，都对最终选定一种电源有一定的影响，这些须考虑的许多问题已超出了本章的范围。为帮助更深入地理解，本章只介绍公认的分类范围。

分 类 法

概论

关于弧焊电源的某些特性，可按照下列一个或更多的特征进行粗略的分类。就典型的输出而论，一种电源可以输出交流电(ac)或直流电(dc)，或既可输出交流电又可输出直流电。电源也可具有恒定电流或恒定电压的特性。就输入而论，电源可从电网或从如内燃机之类的发动机获得电能。从电网获得电能的电源，是变压器型或电动机-发电机型电源。直接接到一次网路上

进行焊接，在安全上是不允许的，因为一次网路不能提供满足弧焊要求的电流条件和电压条件，同时还有很大的电击危险性。一定形式的电源，用来输出一定种类的电流较为有利。变压器型电源只输出交流电。变压器-整流器型电源，可以输出交流电或直流电。电动机-发电机型电源，通常输出直流电。当电动机-交流发电机装有整流器时，可输出交流电或直流电。表 1.1 概括了现有的弧焊电源。目前，还有一些其它特性的电源。

表1.1 弧焊电源的类型

电 源 类 型	伏-安特性		输出的焊接电流		
	恒定电流	恒定电压	交 流	直 流	交流或直流
变压器	×	×	×		
变压器-整流器	×	×		×	×
电动机-发电机	×	×	×	×	×
电动机-交流发电机	×	×	×	×	×

一台电源的说明书应包括各小类名称。例如，钨极气体保护电弧焊电源的名称，可以是“变压器-整流器、恒定电流、交流或直流”。更详细的说明应包括焊接电流额定值、负载持续率、工作负载级别，以及电源网路的要求。也可以包括诸如遥控、高频稳弧、电流脉冲能力、起始电流和終了电流与时间程序的关系、波平衡能力以及网路补偿等一些具体的特性。也可包括电流或电压的控制方法。典型的控制装置有饱和电抗器、磁放大器、固体电路，或电磁-固体复合型电路。电源的铭牌也可以列出其它一些需供选定的特性。

图 1.1 示出由网路供电的焊接电源的基本组成。虽然熔断开关是一种必要的保护元件，但是弧焊电源本身通常不装有这种开关。发动机驱动电源所需要的组成，与图 1.1 所示的电源不同，这种电源应有一台发动机、一台发动机调速器、一台带整流器或不带整流器的交流发电机，或一台发电机，以及一台输出

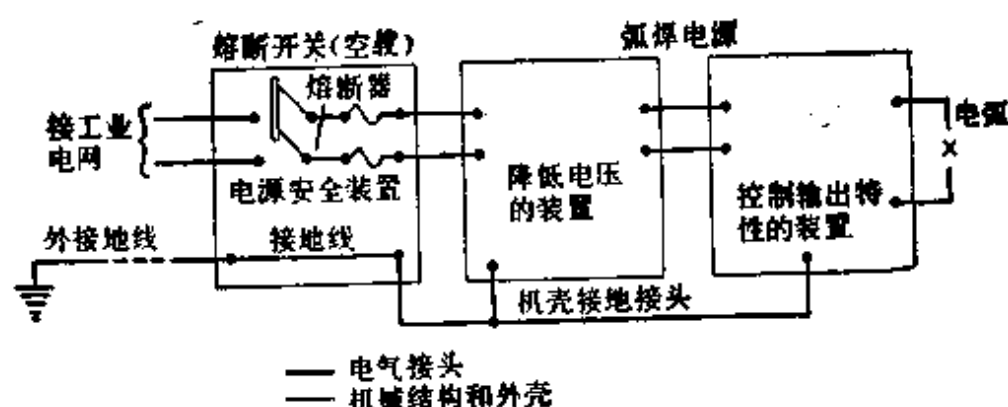


图1.1 弧焊电源的组成

控制装置。

由电站供给工业电网的电压，直接用于电弧焊显得太高。因此，在弧焊电源中配备了控制装置，使高的输入电压降低到合适的输出电压范围（通常为 $20 \sim 80 \text{ V}$ ）。不论是变压器还是接到发电机上的电动机，都能将例如 208、240、480 或 600 V 的电网电压降低到适用于电弧焊的额定端电压或空载电压。这种弧焊电源（变压器或电动机-发电机），也可将较低的网路电流转换成高的焊接电流（ $50 \sim 1500 \text{ A}$ ）。

恒定电流和恒定电压分类法

弧焊电源通常分为恒定电流和恒定电压两类。这种分类法是以电源的静特性而不是以动特性为基础的。一般来说，“恒定”这个词只在一定程度上是确切的。“恒定电压”电源一般限定输出恒定的电压，而“恒定电流”电源则输出恒定的电流。在这两种情况下，电源能保持输出电压或电流相对恒定。恒定电流电源也称为可变电电压电源，并且恒定电压电源通常称之为恒电势电源。

美国全国电气制造商协会（NEMA）出版物 EW-1 “电弧焊接设备”，对恒定电流弧焊机的定义是：“恒定电流弧焊机，是一种装有电弧电流调节器并且具有能使输出电流比较恒定的伏-安静特性的焊机。在给定的焊接电流下，电弧电压决定于送入电弧的熔化极速度，当采用非熔化极时电弧电压取决于电极与工件的距离。恒定电流弧焊机通常用于手弧焊、连续给送焊丝或采用非

熔化极等焊接方法。”

这类电源的特点是：如果电弧长度由于外界的影响而变化，并使电弧电压略有改变，则焊接电源基本上仍保持恒定。一般来说，采用焊条或钨极手工焊接时，由于人的因素可使电弧长度发生变化，而使用这类电源。

在稳定的条件下试验时，虽然每一次电流调整都会得出一种独立的伏-安特性曲线，但是这些曲线通常并不平行。在工作点附近，电流变化的比率小于电压变化的比率。

恒定电流弧焊电源的空载电压或开路电压，比电弧电压高得多。

恒定电流电源不仅仅用于手工电弧焊，也可用于半自动或自动焊。对于后两种焊接方法，通过自动调整熔化极的给送速度或自动调节非熔化极的焊枪以保持恒定的电弧长度。这类电源适用于要求电流相当恒定的自动控制的焊接方法。

在美国全国电气制造商协会的标准中，对恒定电压电源的定义是：“恒定电压弧焊机是一种装有电弧电压调节装置并且具有能使输出电压比较恒定的伏-安特性曲线的焊机。在给定的焊接电压下，电弧电流决定于向电弧中送进熔化极的速度。恒定电压弧焊机通常用于连续给送熔化极的焊接方法。”

利用熔化极和等速送丝制，由恒定电压电源供电的焊接电弧基本上是一个自行调节系统。尽管产生瞬时变化，如弧长的变化和电源的波动，焊接电弧总是趋于自行稳定。对于弧长快速变化的校正，弧长和焊接电流是有相互依赖关系的。例如，弧长的变化基本上决定于熔化速度和给送速度之差，而电弧电压直接与弧长有关。如果弧长（电压）因某种原因而变化，则电流很快变为较高或较低数值。电流的变化改变了熔化速度，从而使弧长恢复到它起始长度。因此，一台优良的恒定电压电源能使电流产生很大的变化，而弧压仍几乎保持恒定，并很有利于采用等速送丝制。对于各种规格的焊丝，电弧电流近似地正比于送丝速度。

美国全国电气制造商协会对恒定电流-恒定电压两用电源的

定义是：“恒定电流-恒定电压弧焊机，具有任选恒定电流弧焊机和恒定电压弧焊机的特性。”

工 作 原 理

图 1.1 中降低电网电压的装置，可以是一台由电动机驱动的发电机，也可以是一台变压器。当采用发电机时，这种弧焊电源通常只用于直流电焊接。在这种情况下，控制弧焊电源伏-安特性的电磁装置，通常是发电机的整体组成部分，而并不是如图 1.1 所示的独立部件。

采用了各种型式的直流发电机结构。直流发电机可以采用他激加磁场强度控制，来建立所要求的伏-安特性。另一类发电机则采用他激加差复激或复激，来选择伏-安特性。在本章后部分将详细讨论这种设备。

焊接变压器

图 1.2 示出焊接变压器的基本构成。就变压器来说，线圈匝数与输入和输出电压及电流之间的重要关系如下：

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

式中 N_1 ——变压器初级线圈的匝数；

N_2 ——次级线圈的匝数；

E_1 ——输入电压；

E_2 ——输出电压；

I_1 ——输入电流；

I_2 ——输出（负载）电流。

图 1.2 中没有绘出决定伏-安特性的元件。

如图 1.3 所示，在变压器的次级线圈中可加抽头来控制开路（空载）输出电压。在这种情况下，中间抽头的变压器可调整或控制变压器次级线圈的匝数 N_2 。当减少次级线圈的匝数时，由于变压器只有较少比率的次级线圈在工作，输出电压因而降低。因此，抽头选择就控制了空载电压。正如方程式所给出的，初级

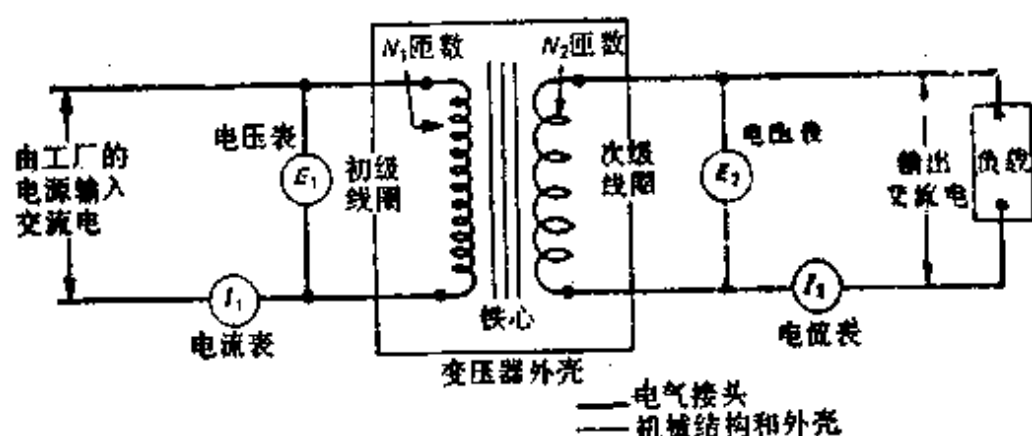


图1.2 焊接变压器的电气原理图

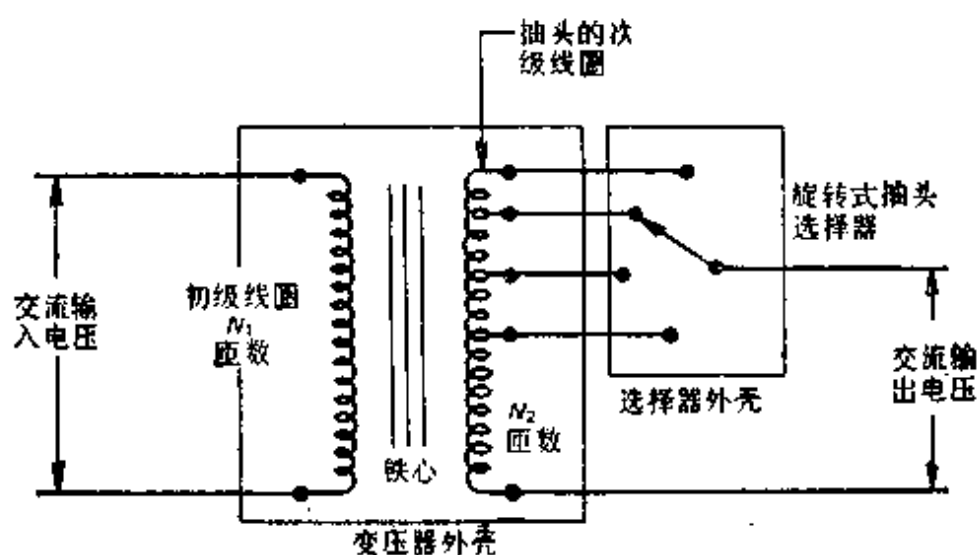


图1.3 次级线圈抽头的焊接变压器

一次级电流比与初级-次级电压比成反比关系。因此，可以从较低的网路电流获得大的次级（焊接）电流。

变压器应这样设计，使抽头选择得可直接调整出特定焊接条件所要求的输出伏-安特性。但是，经常引用与变压器串联的阻抗来产生这种特性，如图 1.4 所示。某些类型的电源联合应用了这些调节系统，即用线圈抽头调节焊机开路（或空载）电压和用阻抗形成所要求的伏-安特性。

图 1.4 是各种类型电源的典型接线图。为了简便起见，图中绘出的是一台单相变压器，但也可以是一台交流发电机代替变压器。

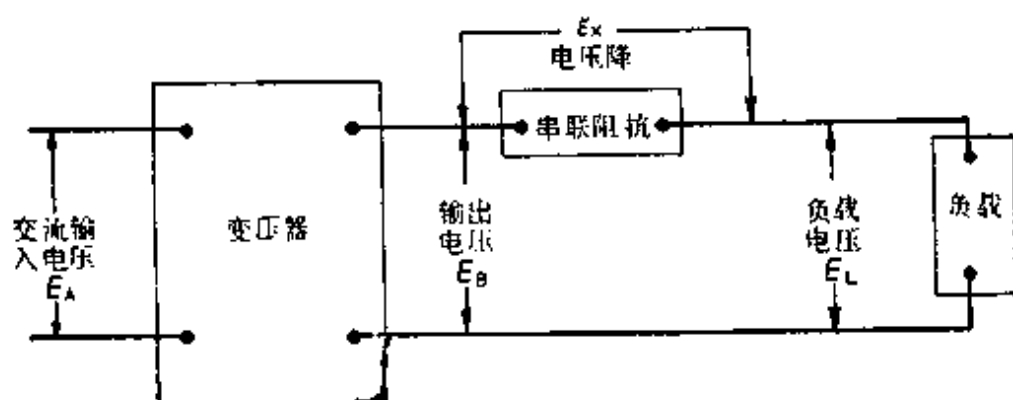


图1.4 输出电流的典型的串联阻抗控制

在恒定电流电源中,阻抗两端的电压降 E_x ,随着负载电流升高而大大增加。电压降 E_x 的增加,引起负载电压 E_L 大幅度下降。调整串联阻抗值控制其电压降和负载电流与负载电压间的关系,这称为“电流控制”,或在某些情况下称为“斜率控制”。电压 E_B 实际上等于电源的空载(开路)电压。

在恒定电压电源中,阻抗(电抗器)两端的电压降 E_x ,随着负载电流的升高只是略有增加。负载电压降较小。调整电抗值很少能控制负载电流与负载电压间的关系。这种用单一电抗器进行斜率控制的方法,也是一种用饱和电抗器或磁放大器可实现的电压控制法。

当用电抗器作阻抗元件时,图1.4电路的交流电压的理论上的矢量关系示于图1.5中。只有在以矢量相加时,阻抗两端的电压降加负载电压等于空载电压。在图示的例子中,变压器的开路电压是80V;当负载(相当于电阻)电压是40V时,电抗器两端的电压降约为69V。因为交流负载和

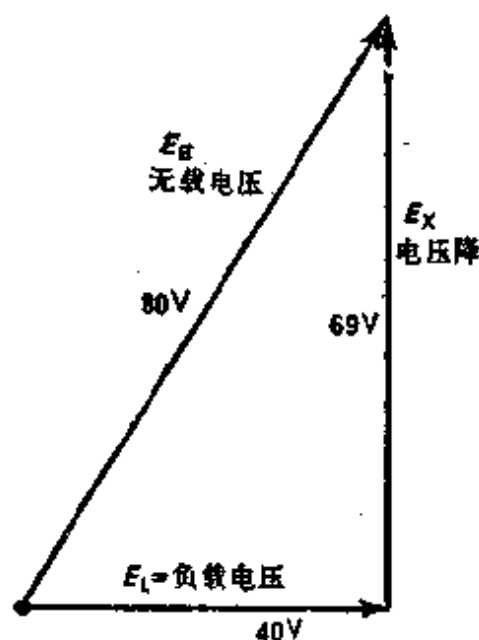


图1.5 采用电抗器控制交流电压输出的理想矢量关系