

77.74

107

氩 弧 焊

在电子管上的应用

于垂武 殷志强 彭颜善 著

科 学 出 版 社

内 容 简 介

本书阐述了氩弧焊的基础知识。根据电子管上焊缝接头形式的特点,总结出氩弧焊接工艺及有关影响焊缝质量的因素、防止和排除的方法。并得出在选择与设计高性能焊枪以及同种金属和异种金属的接头形式方面对氩弧焊工艺要求的一般规律。

本书通过金相观察、电子探针、X光衍射、抗拉、弯曲等试验,对部分电真空材料的焊缝做了分析,并附有图片、曲线、数据和表格。尤其在铝材的氩弧焊接上,有些新的突破。

本书在实践和理论方面都具有一定的特点,可供从事氩弧焊工作的工人、工程技术人员及高等院校工农兵学员和教师参考。

氩 弧 焊 在电子管上的应用

于垂武 殷志强 彭颜善 著

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978年12月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/32
1978年12月第一次印刷 印张: 4 1/2 插页: 1
印数: 0001—20,350 字数: 100,000

统一书号: 15031·121

本社书号: 642·15—7

定 价: 0.40 元

目 录

前言

第一章	氩弧焊工艺概述	1
1.1	引言	1
1.2	氩弧焊的工艺过程	4
第二章	氩弧焊工艺基础	7
2.1	保护气体	7
2.2	电弧	11
2.3	钨极直流氩弧焊电源设备	28
第三章	氩弧焊焊枪	43
3.1	气体的层流与紊流	43
3.2	焊枪结构与保护效果	46
3.3	新型的蜂窝焊嘴	50
3.4	导出管及焊嘴至工件距离对保护性能的影响	54
第四章	氩弧焊接头型式与工艺	62
4.1	氩弧焊工艺中的基本因素	62
4.2	电子管上氩弧焊常用的材料	68
4.3	氩弧焊接头型式与工艺	74
4.4	氩弧焊工艺中的几个问题	84
第五章	几种金属材料的气体保护电弧焊	93
5.1	镀镍可伐(无磁不锈钢)同类材料的氩弧焊	93
5.2	铜-可伐氩弧焊	98
5.3	钼的氮-氢、氩-氢弧焊	117

第一章 氩弧焊工艺概述

1.1 引言

由于生产不断向前发展，近代科学技术和工业中应用新合金钢、有色、难熔和化学性质活泼的金属及其合金的品种日益增多，对于焊接接头的质量要求也愈来愈高了。惰性气体保护电弧焊的焊缝质量比较高，用得最广泛的是以氩气作为保护气体的电弧焊，简称氩弧焊。

近年来，电子管的绝缘外壳由玻璃逐步改换为陶瓷，这样可以制造频率更高、功率更大和电极尺寸更为准确的电子管，既能提高电子管的效率，又能使电子管的体积小，可靠性高。

大功率电子管的管芯与带高玻璃环的阳极是用高频封口的，而采用陶瓷环时往往是在封接处先金属化，然后封接成部件，部件有着薄壁的翻边结构。运用氩气保护下的电弧焊封口，比较容易获得气密的焊缝，并能保证所需的机械强度和高的生产效率，而且氩弧热量较为集中，热影响区小，工件变形度小。氩弧焊的接头有很好的可拆性，电子管在试制或使用中出现问题，容易进行返修，一般返修可达四、五次以上。

工人同志遵照毛主席关于“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”的教导，克服困难，大胆创新，现在氩弧焊不仅在陶瓷管生产线中担负着相当于玻璃与金属的高频封口的任务，而且有些大型玻璃外壳电子管的玻璃环与具有翻边结构的膨胀合金（可伐）用高频熔封成部件后，也用氩弧焊作整管的封口，这样就可以提高

电子管的质量（防止栅极掉锆粉、高频封口退火不良而出现玻璃炸裂等现象）。从而改变了历史上当玻璃电子管进行返修时必须先打碎玻璃的局面。这种玻璃管返修也和陶瓷管一样只需锉开焊缝，返修完毕重新用氩弧焊封口。近年来以陶瓷芯柱与较经济的玻璃高环相结合的电子管的出现也是采用氩弧焊工艺的结果。

另一创新的表现是，在管内采用氩弧焊，氩弧点焊或填充焊料的氩弧焊，部分或全部代替了过去采用的钎焊、原子氢焊、绑扎、铆接、螺钉固定等方法。仅就装架氩弧点焊代替手工钼丝绑扎电子管灯丝这一项革新为例，某电子管共有U型灯丝二十四根，一根灯丝绑扎时间为六分钟，二十四根共需两个多小时，氩弧点焊二十四根只需十分钟即可完成，提高生产效率十倍多，自革新以来，就没有因为这道工序再倒班过，减轻了工人同志的劳动强度，同时提高了电子管灯丝与支杆的良好导电性。

氩弧焊工艺在电子管生产中正在得到广泛地应用，如某大型电子管总共有气密焊缝五十二条，其中陶瓷与金属钎焊的焊缝七条，金属与金属钎焊焊缝十五条，氩弧焊焊缝就达三十条。还有氩弧点焊二十六处。

正象毛主席所指出的那样“事物内部的这种矛盾性是事物发展的根本原因……”。随着以陶瓷作绝缘材料的金属陶瓷电子管的采用，更加促成了氩弧焊在电子管制造工艺中的应用，由于氩弧焊有操作方便，生产效率高等特点，又促进了电子管生产技术向前发展。

氩弧焊究竟是怎样进行的呢？

氩弧焊是借助在焊枪喷嘴伸出的钨电极端与工件之间，在保护气体氩气流中产生弧光放电作为热源，使贴近的金属边熔化、边凝固后，形成焊缝。图 1.1 是氩弧焊工艺示意图。

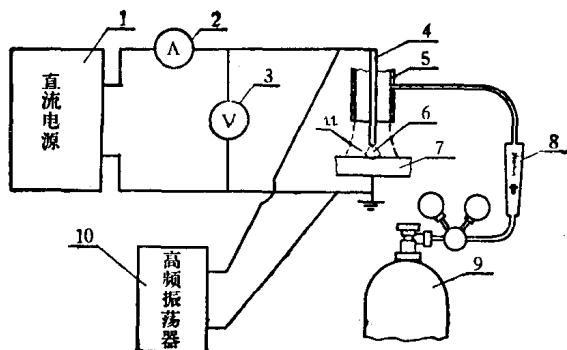


图 1.1 氩弧焊示意图

1 ——直流电源；2 ——电流表；3 ——电压表；4 ——电极；5 ——焊枪喷嘴；6 ——电弧；7 ——工件；8 ——流量计；9 ——氩气瓶；10 ——高频振荡器；11 ——氩气流

1 ——可以控制的有一定伏安特性（外特性）的直流电源。在电子管生产中是采用直流氩弧焊。

2, 3 ——计量用的直流电流、电压表。

4 ——焊枪中心的电极接负极，电极材料一般用细的钍钨或钨杆，根据焊接时工作电流的大小，选择不同粗细的电极端部需磨成 20° 、 90° 、 180° 等角度。

5 ——焊枪用来夹持钍钨或钨电极，同时焊枪内喷出的氩气流保护熔池及其附近母材不受空气的侵袭，并保证了电弧在氩气流中稳定燃烧。

6 ——在电极与工件之间产生弧光放电，称为电弧。

7 ——工件接正极这种接法称为“正极性焊接”。

8 ——浮子流量计，测量通入焊枪中氩气的流量。

9 ——氩气瓶用来装保护气体氩，最大压强为 150 千克/厘米^2 ，外表面涂有灰漆，以便与其他气瓶区分。

10 ——高频振荡器，并联或串联在焊接主回路中，接通高频电源，在电极与工件之间产生高频放电，再接通焊接回路，将焊接电弧引燃后，断掉高频电源。

11 ——氩气流。

电子管生产上所用的氩弧焊，电极在焊接中是不熔化的，但有一定的蒸发。采用这种消耗较少的钍钨或钨电极的氩弧焊，称为不熔化电极氩弧焊，国外对“钨惰性气体焊”，用“TIG”表示。它区别于用“MIG”表示的熔化极氩弧焊。用“MIG”时电极除引起电弧放电外，同时本身又不断熔化作为焊缝的填充材料。

1.2 氩弧焊的工艺过程

电子管氩弧焊工艺过程分三个步骤：准备、焊接、检验。

一、焊前准备

1.清洁 首先用砂纸(120[#])打磨焊接翻边处，清除钎焊过程中的蒸发物、钎焊时的焊料飞溅点和因为存放而产生的极薄的氧化膜，再用细钨丝抛光，高压空气吹，用绸布蘸无水酒精擦净。

2.装配 同种材料的焊接，两个翻边的边缘要尽量装配平齐，两翻边间隙要尽量小。

3.引弧 一般采用高频引弧或电极接触起弧（即短路起弧）。

4.点固（俗称叫定点） 按材料性质、厚度及结构，准备合适的电极形状，选择焊接的电流，在适当的氩气流量下起弧，先点固若干处，根据装配情况不同，确定点固处的数目，以在焊接中不致因热变形及热膨胀引起焊缝“张口”为准。点固的电流比焊接电流略小，使点固焊缝的熔深小于正式焊缝熔深，在焊缝成形后就看不出点固过的痕迹，这样焊缝光滑、整齐。

5.装挡气板 对于大功率电子管需要装挡气板，挡气板大都采用紫铜材料，见图1.2。挡气板的作用是：

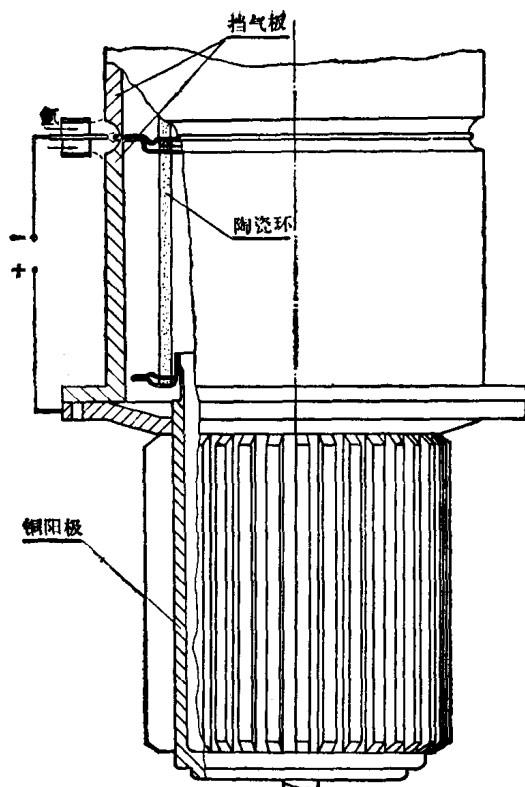


图 1.2 装置挡气板的氩弧焊示意图

①反射从焊枪喷嘴中流出的氩气，以利于熔池附近形成良好的保护区。

②增加了被焊工件的散热面积因而起到缩小或消除氧化的区域。

③在某些条件下起导通焊接电流的作用。

二、焊接

在上述准备工作完毕后，正式进行焊接。目前生产上用

得比较多的是手工氩弧焊，焊枪用手拿着，手依托在牢靠的地方或焊枪固定在支架上。还可采取用手控制焊枪的半自动氩弧焊，这样便于在零件尺寸配合不良时有较大的适应性和对于复杂形状零、部件接头焊接时有较大的灵活性。

电子管的外壳翻边焊缝一般是圆形结构，电子管部件放在转台上以一定速度旋转，或是电子管部件不动，让焊枪围绕工件旋转，调整好合适的工作电流和氩气流量，在氩气保护下用某种方式引起电弧进行焊接。对电子管外壳部件的氩弧焊，主要是得到没有裂缝和气孔的气密性焊缝，而机械强度一般是容易满足要求的。

三、焊后检验

1. 卸下挡气板，肉眼观察焊缝表面，有无气孔、开裂和未熔合的地方，如有不合质量要求之处，立即修理直到合乎要求。

2. 进行氦质谱探漏。目前生产中由于工艺比较稳定，有时氩弧焊后不再进行探漏。

3. 电子管进行排气，在真空或大气中烘烤去气，一般烘烤温度450—500°C，保温4—10小时，进一步考验接头的结构和焊缝质量。

4. 通常在电子管使用寿命终了后，焊缝仍是完好不漏气的。

第二章 氩弧焊工艺基础

2.1 保护气体

惰性气体保护电弧焊已在电子管生产和许多部门广泛运用。惰性气体中用的最多的是氩气，有时也用氦气，甚至用非惰性气体氮气、氢气和二氧化碳气等，或是两种混合的保护气体。二氧化碳气是很经济与比较容易获得的，二氧化碳气体保护电弧焊在焊接低碳钢、低合金钢和一部分高合金钢方面取得了很大的进展。但在有色、难熔和化学性质活泼的金属及其合金方面，由于技术上还存在不少困难，目前还未能得到有效的应用。

气体保护焊接中所发出的比较集中而很耀眼的白炽弧光，是与保护气体、电极、电流和弧长等有关的。下面将对一些气体进行扼要讨论。

一、氩气(Ar)

惰性气体氦、氖、氩、氪、氙中，氩在空气里的比例是最多的，以体积计算，氩约占空气的0.93%。氩是无色无味的，比空气重25%。液态气化温度为 -186°C ，介于氧(-183°C)和氮(-196°C)之间。氩是在分馏液态空气时制得。作为焊接用的保护气体，纯度在99.7—99.999%范围内。焊接对氧、氮亲和力大的活性金属如钛(Ti)、锆(Zr)、铪(Hf)、钽(Ta)、铌(Nb)，以及钼(Mo)等时，就需要纯度高的氩气，以上述纯度范围的上限为宜。

北京氧气厂和北京电子管厂生产的氩气纯度都比较高，能很好满足电子管生产的要求，其纯度见表2.1。

表2.1 工业生产的氩气纯度

Ar	N ₂	O ₂	H ₂	CO ₂	C _n H _m	H ₂ O
%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	毫克/米 ³
>99.99	<100	<15	<5	<5	<5	<30

生产氩气时提纯方法不同，制得的氩气纯度略有差异。在获得粗氩(>97%)后，如果利用通入氢气，在一定的高温下由于触媒的作用，氢与氧化合成为水，用吸湿剂(硅胶等)将水除去，但总会残留一些水份和氢气。有的电子管厂用装有分子筛4 Å(吸氧)、5 Å(吸氮)的特殊结构的吸附器。通入液态空气使吸附器降温，4 Å、5 Å分子筛工作，当粗氩经过时，就吸附了粗氩中的杂质氧和氮，在出口处制得含量99.99%以上的精氩，由于不是利用通氢除氧，氩气中的含水量、含氢量是极少的。

氩气的纯度，比较注意的杂质气体是氧和氮，它们在焊接时容易引起氧化、氮化，使焊缝变硬发脆，降低焊缝质量，以致焊缝产生开裂，破坏气密性。

氩气是不与金属起化学作用的，而且不溶解于金属内，因此焊接时金属烧损少，也就不大会产生气孔等缺陷，焊接时氩弧十分稳定，电弧的热量集中，热影响区小，所以一些有色、难熔、吸气金属和要求质量高的焊接，广泛采用氩气作为保护气体。

二、氦气(He)

以体积计算占空气的0.0005%，氦比氩轻10倍。氦的沸

点很低，为 -268.8°C ，制备困难，价格昂贵。氦是电子管质谱探漏必用气体，因此一般氦气是不作为焊接时保护气体的。

氩弧比氦弧能量大，是由于在同样的焊接电流与弧长时，氩弧电压升高。据国外报道，在焊接 $0.05-0.2$ 毫米薄不锈钢板、 0.2 毫米薄钛板时，采用氩弧焊比氦弧焊质量高，氩的流量为 5 升/分左右，焊接不锈钢的速度为 $70-50$ 厘米/分，焊接钛为 40 厘米/分。氩弧焊适用于焊速较高、能自动维持恒定的弧长，和要求电弧有较大热能的自动保护气体电弧焊。

氩弧焊起弧比较困难，可利用 80% 氩和 20% 氦的混合体或利用氦气引弧，电弧放电后再撤去氦气。

三、氮气(N_2)

惰性气体的特点之一是在焊接时不与金属起化学作用，不溶解于金属。氮气不是典型的惰性气体，它对硅(Si)、钛(Ti)、铁(Fe)等在高温时有较强的化学反应，对钼(Mo)等次之，对铜(Cu)、镍(Ni)等不起化学作用。因此我们不能绝对地、片面地看待氮气，惰性与非惰性是相对的，从焊接时是否起化学反应来说，氮对铜、镍就象惰性气体（有报道，用反极性氮弧焊接铜。用氮弧焊接奥氏体不锈钢）。氮在空气中约占 $3/4$ ，是非常丰富的，电子管生产工艺中，如烧氢退火、钎焊、陶瓷金属化、封接等往往用到氮气。有的电子管厂里有专门输送氮气的管道，工人同志遵照毛主席“自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想”的教导，成功地用氮气代替氦气焊接电子管的某些钼零件。

由于氮容易通过与氧化合成为一氧化氮(NO)进入熔池，使焊缝发脆。因此，氮气内含氧量要低，北京有的工厂利用氢气除氧，在车间氮气管道出口处的氮气纯度可高于

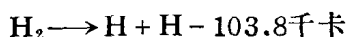
99.99%，含氧量 < 5 ppm，氮气露点达 -60°C 左右，是很干的。但由于“中和”用的氢气过量，所以氮气中约含3%氢气，在电子管生产中一般是有益的，但对某些材料（如紫铜），就可能造成质量事故。

四、氢气(H_2)

氢气是无色、无味的气体。它很轻，只有空气重量的 $\frac{1}{14.5}$ ，因此它的扩散速度大、热传导好。电子管生产上用的

氢气是通过电解水再经过净化制得的。

在焊接过程中，由于电弧高温的作用，使分子态(H_2)激烈分解为原子态氢(H)：



氢原子遇到冷工件时，又结合为分子态氢气，同时放出原来从电弧中吸取的热量。运用这个原理来进行焊接的就是原子氢焊，氢气隔离了空气，防止熔池金属与氧、氮的作用，此外，还起到加热工件和对钨极的冷却作用。

氢气不仅是保护气体，而且有强的还原作用，能使某些金属的氧化物或氮化物还原成纯金属和水或氮氢化合物。

氢是以原子状态溶解到金属中的，几乎所有金属都能溶解氢。在原子氢焊时，熔池及邻近材料溶解了大量氢，在冷却时，由于熔池外面的氢原子结合为氢分子而放出热量，使焊缝处冷却速度慢，金属中溶解的氢原子来得及逸出，避免焊缝内含过量氢而引起气孔、白点等缺陷；同时，因为冷却速度慢，热影响区大，使熔池及邻近的母材晶粒长大，降低焊缝强度，加大脆性。这两个相互对立的效果，那个是主要的需看具体的被焊材料、结构及工艺情况。当氢气与其他气体混合作为保护气体时，上述的两种倾向都将减弱，氢气将起

某些特殊的作用，氩气中加入6—15%氢，可以在不锈钢焊接中，提高速度，在镍和镍合金的焊接中也有助于避免焊接气孔的产生〔1〕。氢添加入氮或氩中焊接的铝的情况，将在第五章有关部分中进行讨论。

氢气与氧气以一定比例混合时，在有火焰、火花或高温作用下，会引起爆炸，它的爆炸范围列在表2.2内。在使用氢气时，一定要严格注意安全设施。

表2.2 氢气的爆炸范围

	爆炸下限 (体积)	爆炸上限 (体积)
氢与氧气混合	5% H ₂	94.3% H ₂
氢与空气混合	5% H ₂	73.5% H ₂

2.2 电 弧

焊接中耀眼的白光，是弧光放电产生的。弧光放电是气体放电的一种形式，它的特点是：1.放电时电流大；2.维持放电的电压低；3.电弧内具有很高的温度和强烈的白光，电弧空间的温度在5000K以上。

通常气体是绝缘的，要使气体导电，必须使气体有足够的带电质点——正离子、电子或负离子。利用电极发射大量的电子，在电场作用下，电子运动，并与气体分子或原子多次碰撞产生正离子和电子，即发生电离，进而迅速形成弧光放电。

一、电极

在电子管生产上应用直流氩弧焊，被焊的工件接正极（阳极），称正极性焊接。焊枪中夹持的一根金属细杆接负极，这金属杆也称阴极。

不熔化极氩弧焊中的阴极，受正离子的轰击，温度很高，形成热电子发射。不断地向电弧空间发射电子，而电极自身要保持不熔融状态。因此，要求作为阴极的材料，需要具有熔点高、蒸发低和发射电子能力强等性质。

金属内部，每个金属原子的最外层电子离开原子核的吸引，成为公有的自由电子；金属原子便成为正离子，正离子按一定方式规则地排列起来，自由电子可以在各正离子间运动。如果增加金属中自由电子的能量，电子就有可能越出金属。电子从固体或液体内部逸出的过程称为电子发射。增加金属内自由电子的能量使它逸出金属，方法较多，名称不同。

热电子发射：将金属加热到高温；

二次发射：以电子或离子轰击金属；

场致发射：在阴—阳极间加上高电压，阴极表面有极强的电场；

光电发射：以适当波长的光线照射金属。

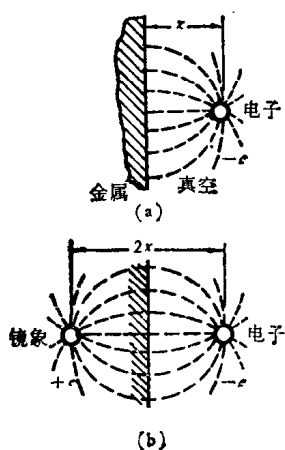


图 2.1 电子逸出金属时所受的镜像电力作用

在金属内部运动着许多的自由电子，它们具有不同的动能。当电子运动到金属表面时，由于金属内部的正离子的吸引作用，有一股把电子拉回金属的力——偶电层力，电子又回到金属之中。此外，当电子跑出金属表面，电子对金属表面有正的感应电荷，因此电子与金属表面就有互相吸引的力。在电子与金属表面的距离 x 较大时（大于晶格常数），可以用镜像法计算。这个力就象电子与金属内 x 处相同的正

电荷之间的吸引力

$$F_0 = -\frac{e^2}{4x^2} \quad (2.1)$$

其中 e ——电子电荷；

x ——电子离开金属表面的距离。

在金属表面附近，偶电层电力与镜像电力同时作用在电子上，阻碍电子逸出金属。

这些阻碍电子逸出金属的力在金属表面附近建立起位能壁垒，位垒的高度是金属对电子的亲合能 W_g 。即使在绝对零度时，金属中的电子也有相当大的能量，但是小于金属对电子的亲合能，因此电子总是处于位能壁垒内，而不能逸出金属。

把电子从金属内部取出所必须作的功叫逸出功，以 W_0 表示；〔2〕

$$W_0 = W_g - W_F \quad (2.2)$$

其中 W_g ——金属对电子的亲合能；

W_F ——费米能级，不论温度高低，这个能级被电子

占据的几率为 $\frac{1}{2}$ 。它还是在绝对零度时，

电子可能具有的最大能量。

如图 2.2 所示。逸出功一般用电子伏特 (eV) 作单位。

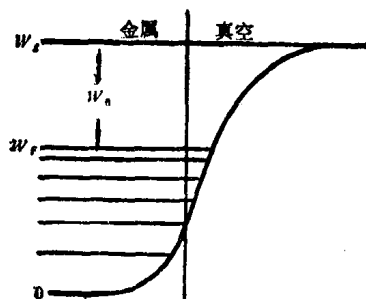


图 2.2

$$W_0 = e \Phi_0 \quad (2.3)$$

其中 e ——电子电荷, 1.6×10^{-19} 库仑;

Φ_0 ——电位差, 以伏特(V)为单位。

一个电子伏特等于一个电子变化一伏特的电位时所作的功。

一般金属的逸出功为几个电子伏特。 W_0 的大小反映金属发射电子的难易程度。

一些金属与合金的熔点、逸出功等见表2.3[3-6], 表中可以看出, 纯钨的逸出功较大, 在钨中加入少量钍或铈等后逸出功下降较多。很早以前, 在白炽灯用的钨丝中加入少量二氧化钍(ThO_2), 是为了提高钨的再结晶温度与增加其机械强度, 称这种钨丝为钍-钨丝或敷钍钨丝。后来, 研究了它的热电子发射性能, 发现它的电子发射要比纯钨阴极大很多倍。由于高温时, 部分 ThO_2 被钨还原成钍原子, 钍原子沿钨晶粒边界扩散到电极表面, 再沿钍-钨电极表面迁移, 达到一定分布, 形成钍单原子层, 在钨金属内正离子作用下, 钍原子极化。因为钍相对钨来说是电正性的, 所以极化后偶极子的负端近金属表面, 正端向外。钍偶极子的正端像一个阳极靠近金属表面, 帮助金属内电子的逸出, 即在金属表面的位能壁垒发生改变, 原来钨的逸出功为 W_0 , 钍钨的逸出功为 $W_0 - \Delta W$, 见图2.3。逸出功的降低, 因而提高了热电子发射性能。含铈钨阴极也类似, 由于良好的发射与表面形成单原子层有关, 故统称薄膜阴极。

各种纯金属和一些合金的热电子发射与工作温度、逸出功的关系, 可用下面公式表示:

$$J_s = AT^2 e^{-\Phi_0/kT} \quad (2.4)$$

其中 J_s ——饱和的热发射电流密度(安/厘米²);

A ——里查逊常数;

k ——玻尔兹曼常数, 8.6×10^{-5} (电子伏/K);