

电渣焊工艺学

哈尔滨工业大学机械系焊接教研室
机械制造与工艺科学研究所
哈尔滨工业大学焊接研究所 編著



机械工业出版社

电渣焊工艺学

哈尔滨工业大学机械系焊接教研室
机械制造与工艺科学研究所 編 著
哈尔滨工业大学 焊接研究所



机械工业出版社

1960

出版者的話

电渣焊是苏联近年来发明的，目前已得到了广泛的应用。在1958年大跃进的高潮中，利用这种新的焊接技术解决了大型鑄鍛件生产能力不足的問題，对完成大型軋鋼机、发电設備、矿山机械等制造任务起了很大的作用。

为了使我国的电渣焊技术在現有的基础上更提高一步，我社特請哈工大焊接教研室和焊接研究所收集国内外电渣焊方面的最新的研究成果与生产經驗，編写了本书。其中包括电渣焊时热过程的理論基础及冶金过程特点；各种电渣焊方法的规范选择及技术要点；各种金属的电渣焊接；电渣焊时的主要缺陷产生的規律及防止措施；电渣焊的质量檢驗；电渣焊所用的設備以及电渣焊的結構設計及接头强度等問題。

本书可供从事焊接生产的工程技术人员及焊接专业师生参考。

NO. 3090

1960年1月第一版 1960年1月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字数338千字 印張12^{5/16} 0,001—5,100册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

北京市印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第008号 定价(11) 2.25元

序

电渣焊工艺的創造和应用是近年来焊接技术領域中的一項重大成就。由于在技术經濟上具有一系列显著的优点，电渣焊已在我国机器制造工业中，特别是重型机器制造工业中发挥了重要的作用，并将为各种机器制造工业部門的进一步改善与高速度发展开辟新的广闊的前途。

在党的正确方針指导下，通过各有关单位的工作，特别是一九五八年的大跃进以来，电渣焊已推广于我国很多工厂中。为了电渣焊合理的和有效的利用，必須提高我国的电渣焊接技术水平。近二、三年来，无论在电渣焊的理論研究或生产实践方面，都有了飞跃的发展，因此有必要及时地、系統地予以反映。

本书中收集了国内外在电渣焊方面的最新研究成果与生产經驗，系統而全面地闡述了电渣焊中的一系列主要問題，如：电渣焊时热过程的理論基础及冶金过程特点；各种电渣焊方法的规范选择及技术要点；各种金屬的电渣焊接；电渣焊时的主要缺陷产生的規律及防止措施；电渣焊的质量檢驗；电渣焊所用設備以及电渣焊的結構設計及接头强度等問題。此外，对电渣焊的特种应用，也有相应的叙述。

本书适于从事焊接生产的工程技术人员閱讀，亦可作为高等或中等专业学校焊接专业的教学参考书。

本书是由哈工大焊接教研室的大部分教师及焊接研究所的部分研究人員共同編写的。

在本书的編写过程中，哈工大焊接专业五年級部分同学积极地参加了收集資料工作，其他年級部分同学及校、所的某些工作人員参加了书稿的抄写及繪图工作。在本书某些部分的編写过程中，曾得到清华大学潘际鑾先生及金屬研究所斯重遙先生的热情帮助；哈尔滨鍋炉厂也供給部分資料。对此，我們表示衷心的感谢！

由于編写人員的水平有限，經驗不足，书中难免有某些錯誤、缺点和不当之处，欢迎讀者批評指正！

目 次

序	3
緒論	7

第一編 电渣焊工艺

第一章 电渣焊热过程和冶金过程的某些特点	12
第一节 电渣焊热过程的几个問題	12
第二节 电渣焊冶金过程的特点	26
第二章 电渣焊焊剂	31
第一节 电渣焊焊剂的作用和对它的要求	31
第二节 熔渣的导电性	33
第三节 各种电渣焊焊剂的分类、特征及其应用范围	36
第四节 电渣焊焊剂的制造	40
第三章 电渣焊接前的准备工作	44
第一节 焊接接头形式及其装配	44
第二节 成形材料的选择和成形装置的设计	46
第四章 絲极电渣焊	50
第一节 絲极电渣焊规范对焊缝尺寸和金属熔池形状的影响	50
第二节 絲极电渣焊规范的选择	61
第三节 絲极电渣焊技术要点	64
第四节 环縫电渣焊工艺特点	68
第五章 大断面电极电渣焊	77
第一节 板极电渣焊的发展情况及特点	77
第二节 板极电渣焊规范对焊缝尺寸及金属熔池形状的影响	79
第三节 板极电渣焊的规范选择	84
第四节 板极电渣焊技术要点	86
第五节 手工电渣焊	87
第六章 熔咀电渣焊	101
第一节 熔咀电渣焊的实质及其应用范围	101
第二节 熔咀的结构形式及其设计	102

第三节	送丝机构和熔咀的夹持机构	106
第四节	熔咀电渣焊焊接规范	108
第五节	熔咀电渣焊接技术	110
第七章	各种金属的电渣焊	113
第一节	碳钢的电渣焊	113
第二节	合金结构钢电渣焊	135
第三节	不锈钢的电渣焊	148
第四节	钛的电渣焊	153
第五节	灰口铸铁电渣焊	155
第六节	球墨铸铁的电渣焊	164
第八章	电渣焊的特种应用	170
第一节	电渣堆焊法	170
第二节	电渣精炼铸锭法	183
第三节	大型铸件电渣过程收冒口法	191
第四节	接触电渣焊	195
第九章	电渣焊的缺陷	199
第一节	电渣焊时的热裂纹	199
第二节	电渣焊时的气孔、未焊透、未熔合及夹渣	220
第十章	电渣焊接头的质量检查	226
第一节	电渣焊质量检查过程	226
第二节	电渣焊接头质量检查方法	228
第三节	电渣焊接头超声波探伤的工艺	230
	第一篇参考文献	253

第二編 电渣焊設備

第十一章	电渣焊设备的机械装置	261
第一节	电渣焊机的組成及其分类	261
第二节	丝极电渣焊机的特点及其合理结构	263
第三节	有軌丝极电渣焊机	266
第四节	无軌丝极电渣焊机	278
第五节	环縫丝极电渣焊机	289
第六节	大断面电极电渣焊机	293

第七节	熔咀电渣焊机	303
第十二章	电渣焊的电源及自动调节	307
第一节	电渣焊的电源	307
第二节	焊接电源的并联运用	312
第三节	电渣焊的自动调节	317
第二編	参考文献	334

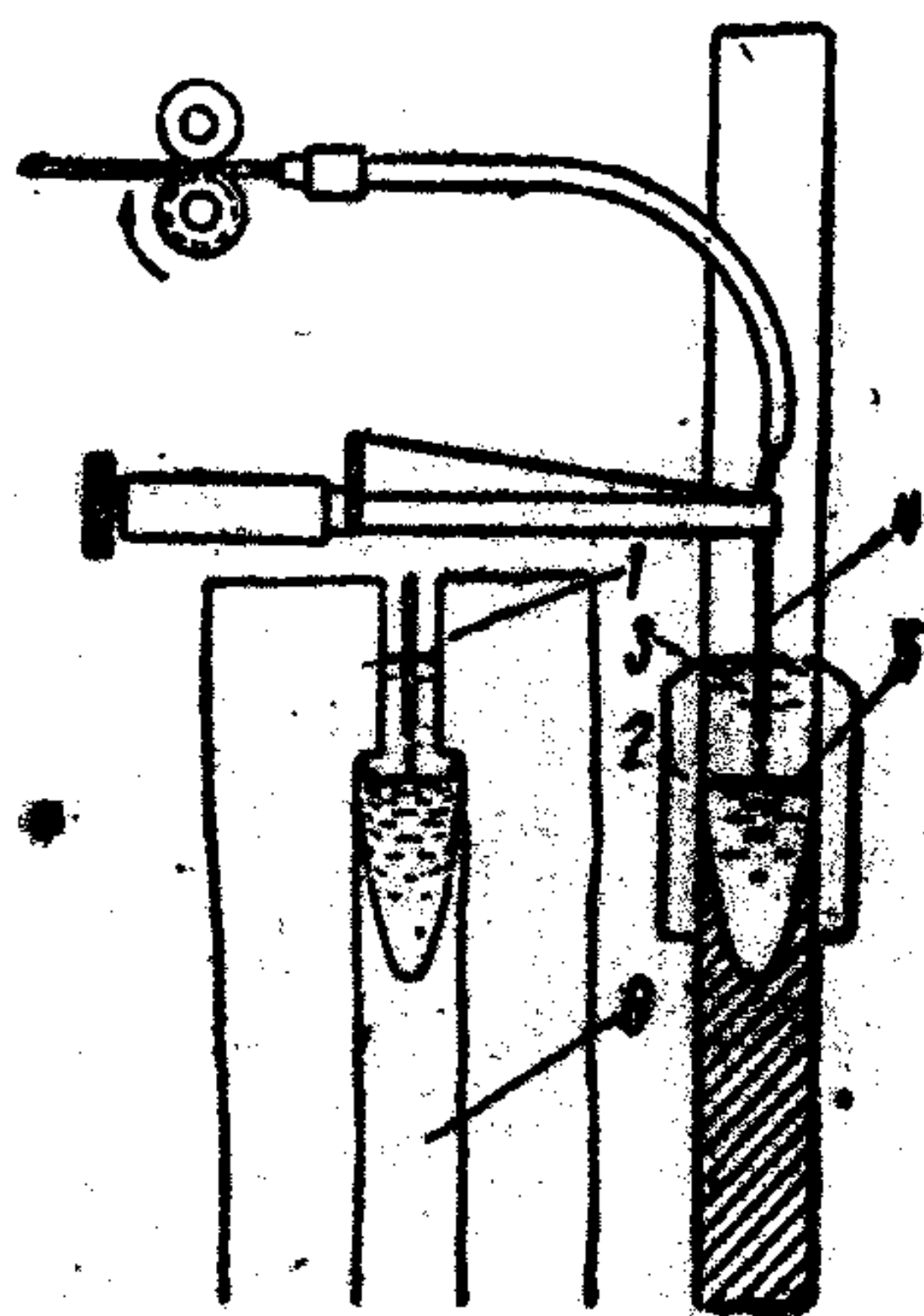
第三編 电渣焊結構

第十三章	电渣焊焊接結構的强度及設計特点	335
第一节	电渣焊焊接接头的一般性能	335
第二节	电渣焊的焊缝、焊接接头及其特点	336
第三节	电渣焊結構的脆断及其防止	341
第四节	电渣焊結構設計的特点	348
第五节	电渣焊結構的热处理問題	354
第三編	参考文献	355
附录一	电渣焊时的安全技术	357
附录二	焊絲及焊剂原料的技术条件	359
附录三	AH-8 及AH-22焊剂的技术条件	365
附录四	大型水輪机大軸电渣焊	369
附录五	430 軋鋼机机架的板極电渣焊	372
附图一	日产 300 公斤傾斜式焊剂熔炼炉总图及炉衬分图	379
附图二	在三相电炉中熔炼焊剂用的水冷金屬炉	380

緒 論 (I)

第一节 电渣焊过程的实质

电渣焊是一种以电流通过熔渣所产生的热能作为热源的熔化焊接方法。其过程示意图如下。在焊件边缘 1 及成形装置 2 (同时起冷却作用) 所构成的空间内形成一个熔融状态的渣池 3; 金属电极 4 即浸在渣池之中。在电极和基本金属之间所通过的电流使渣池受热, 达到并保持高温和高导电度。渣池温度应高于电极及基本金属的熔点, 这样, 渣池所放出的热能就能使电极和焊件边缘熔化。熔化的基本金属与电极汇集在渣池下部, 形成金属熔池 5, 后者凝固之后, 就成为焊缝 6, 这样就把二块焊件联接起来。



当焊缝在垂直位置时, 有利于获得一定深度的渣池, 因此电渣焊总是在近于垂直位置下进行, 并用强迫成形法形成焊缝。

电渣焊过程简图。

这种电流通过熔渣而产生热能的过程称为电渣过程。要使电渣过程稳定, 首先应设法使电弧放电现象不致发生, 以免电渣过程变为电渣-电弧夹杂交替的过程。在这种情况下就破坏了电渣焊的正常进行, 以至使焊接中断, 另外还可能产生缺陷 (如未焊透夹渣等)。为了防止电弧放电现象的产生, 必须设法消除电弧过程稳定条件, 创造电渣过程稳定条件。采取的方法一般都是从焊剂、焊接规范和电源等方面来考虑的。例如, 焊剂的稳弧性应较低, 当熔化成渣后, 应具有合适的粘度和导电度; 渣池应具有足够的深度; 应选择合适的焊接电压, 焊丝送进速度, 焊接电源空载电压不宜过高等等。要使电渣过程稳

定，还必须使渣池保持较高的温度。这就要求供给的电功率和热能的消耗率能互相平衡。

但是也不希望电弧产生的条件过于不好，因为在开始建立渣池或焊接过程中发生漏渣现象时，常常需先发生电弧来建立或恢复渣池，从而建立或恢复电渣过程。

第二节 电渣焊的特点及分类

与其它焊接方法，特别是与电弧焊相比较，电渣焊具有许多优点。

首先，在生产意义上，电渣焊可以一次焊接很厚的工件。一般工件厚度超过50~60毫米时，采用自动电弧焊经济效果就很低。最简单的单焊丝电渣焊，采取焊丝往复摆动的焊法时，一次就可以焊接厚度达150~200毫米的金属；当采用多焊丝、板极或熔咀电渣焊时，一次焊接的厚度在理论上可以认为不受限制，而实际上要受电源容量的限制。

用电渣焊焊接厚金属时，焊件边缘不需要开剖口，而只要使边缘之间保持一定的距离和边缘整洁就可以进行焊接。这样由此可见，这种方法能节约许多金属和大量的机械加工费用，并提高生产率。

其次，供给渣池的焊剂量仅为焊缝金属重量的2~3%。如果考虑到散失，也不会超过5%；而在自动电弧焊时，焊剂用量平均要多15~20倍。由于熔化焊剂的数量很少，所以电能就可以充分地用于熔化焊丝和基本金属；每一公斤焊缝金属的电能消耗量仅为埋弧自动焊的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2.5}$ 。

再次，由于电渣焊接冶金及热过程的特点，在一定程度上提高了焊缝的质量。

电渣焊时热量集中程度远较电弧焊为弱，并且有渣池的预热作用，近缝区中热循环的特点是：加热速度慢，停留在1000°C以上的时间较长，在奥氏体分解的温度区中冷却速度很慢，因此当焊接易淬火钢时，这些特点能显著地减少近焊缝区产生淬火裂纹的危险。当然从另一方面来说，这样的热过程特点使焊缝和靠近焊缝的基本金属易于过热而

使晶粒长大。这是不利的一面。

电渣焊时可以在较广的范围内调节焊缝成形系数，使焊缝结晶的生长方向变为有利，并易于调节基本金属熔宽而控制熔池化学成分。这样，就能降低焊缝产生热裂纹的倾向。

焊缝是在垂直位置，在适当调节结晶生长方向时，由于熔池结晶部分上面液态金属的存在，可使熔池中的气体和杂质均易于析出。如果在熔渣和金属的边界上有气泡及杂质，它们将与熔渣一起上浮而被除去。因此，电渣焊时气孔与夹渣的生成倾向要比电弧焊小一些。

由于以上特点，电渣焊的应用将把焊接技术推向新的更高的阶段。在重型机器制造工业中，电渣焊更有其独特的意义，采用电渣焊就可以用铸焊、锻焊、轧焊等复合结构代替大型铸、锻件，这就大大地减轻了工厂中铸造和锻压车间的负荷，并且能在不增加设备能力的条件下，可显著地提高生产能力。

电渣焊技术是苏联乌克兰科学院 E. O. 巴东电焊研究所与苏联的一些先进的重型机器制造工厂合作首创的。到现在为止，通过生产中的应用和研究改进，电渣焊工艺已得到进一步发展，目前已有好几种不同的电渣焊方法：

1. 丝极电渣焊 这种方法用得最早，根据焊件的厚度可以采用一根或几根焊丝。它的可调整参考较多，易于控制质量，同时所焊焊缝长度基本上不受限制。但是如果焊件厚度太大，例如超过450毫米时，焊接设备和焊接技术就嫌太复杂。所以此法多半用于中、小厚度工件的长焊缝的焊接。

2. 大断面电极电渣焊 这种方法是用大断面电极（板状或棒状）代替多根焊丝。所用的设备比较简单，焊接大厚度工件比较合适。电极不需经过拉丝，所以在必须用某些难以拉丝的钢作电极时没有困难；但焊缝长度不宜超过1米。另外还可以用手把夹持电极以手工操作进行电渣焊，这种焊接方法设备简单，操作方便，多用于较小断面的钢件焊接（工件直径小于150毫米）及补焊铸件等工作中。此时，设备可以进一步简化。

3. 熔咀电渣焊 这种方法是在板极中制出一些通焊丝的专用孔道，焊丝插在其中。板极除了起导电和填充金属的作用之外，还作为焊丝导向用的机咀。这种方法特别适用于变断面和特大断面工件的焊接。

此外尚有接触电渣焊、电渣浇铸和电渣收浇冒口等特殊应用。

第三节 电渣焊在我国的应用状况

我国的电渣焊技术是根据重型机械制造业发展的要求，在学习与掌握苏联科学技术成就的基础上贯彻了“洋土结合”的精神，迅速成长起来的。党和政府一贯非常重视这门新技术的成长：1956年国家科学规划委员会制订的12年科学发展规划中，特别指出了电渣焊的重要意义；第一机械工业部在1957年开始，就一再指示有关工厂、学校和研究机关开展电渣焊的研究试验工作。在这一年，哈尔滨锅炉厂曾在苏联专家的帮助下，应用电渣焊进行了锅炉气泡的纵缝焊接。在1958年大跃进中，第一机械工业部提出了“化大为小，以小拼大”的方针，指出应大力开展电渣焊接研究工作，以解决大型铸锻毛坯问题。此后我国的焊接工作者，即结合不同产品，纷纷对各种电渣焊接方法进行了多方面的试验研究，取得了很大的进展。根据第一机械工业部的指示，由焊接研究所主持，于当年九月在哈尔滨举办了第一期电渣焊训练班。初步播下了电渣焊在各地开花的种子。当年十月，第一机械工业部组织了有焊接研究所研究人员，哈尔滨工业大学和清华大学焊接专业的师生参加的工作组，分赴全国各大工业城市进行电渣焊推广工作。11月，在哈尔滨召开了全国电渣焊专业会议，会上交流了前一时期电渣焊试验研究的经验，讨论了今后的发展方向，为进一步开展电渣焊试验研究工作和在生产中大量应用打下了基础。

在不到一年的时间内，电渣焊技术获得了许多重要成就。目前数十个工厂已经采用了或开始采用电渣焊技术，并已完成各种重要产品的焊接。例如：大型水轮机大轴丝极环缝电渣焊；650毫米轧钢机架板极电渣焊；内径2.8米高炉料钟板极接板环缝电渣焊；1200吨水压

机絲极电渣焊等。12000吨水压机、1200毫米薄板軋鋼机架、6000千瓦汽輪發电机轉子等的电渣焊，也正在試驗研究中。破碎机高錳錘头电渣堆焊已开始用于生产。接触电渣焊也已試驗成功。球墨鑄鉄电渣焊試驗已初步获得良好的結果。用手工电渣焊方法补焊鑄鉄件已在生产中开始应用。洛阳矿山机器厂在采用这种补焊方法后，已使鑄造車間的廢品率降低了18%，每月可节约十多万元。

在电渣焊工艺取得重要成就的同时，电渣焊設備的制造也有了迅速发展。仿苏 A-372-M 电渣焊机正在成批生产中。仿苏 A-535 万能电渣焊机也正在筹备試制。各种类型的板极电渣焊机及各式各样的土設備已在許多工厂中制造出来。在大截面产品的制造中，应用电渣焊技术与应用其他焊接技术和加工方法比較，在制造质量和經濟效果上有很大的优越性，應該迅速广泛地推广于生产。但是电渣焊是一項复杂的技术，必須根据产品的特点和要求，合理地选择結構設計方案、焊接設備、材料和工艺規範等。特别是应用电渣焊都是厚大的工件，如果产生缺陷，則修复就比較困难，而且費用較高。因此，必須加强試焊工作，并严格地檢查焊接材料、焊接装备、焊接工艺和焊后的质量。

第一編 电渣焊工艺

第一章 电渣焊热过程和冶金过程的某些特点

第一节 电渣焊热过程的几个問題

1. 电渣焊热过程的主要特点

电渣焊的热过程和电弧焊在很多方面是相类似的，但也有它本身的特点。这些特点显著地影响着金属在焊接过程中的冶金及金相变化。同时也影响着焊接生产率及焊缝几何尺寸。现将几个主要特点分别叙述如下。

1) 热能发生及分布的特点 电渣焊主要是由电流通过渣池所产生的电阻热来熔化金属进行焊接的。根据试验，焊接电流的主要部分是通过电极末端，另有小部分通过焊丝的侧面形成分流。由于电流主要经过焊丝末端穿过渣池，因此在电极末端与金属熔池之间的地区温度最高，它就成为热能发生的主要地区，最高温度区常呈锥形（如图1-1），所以有时也称为高温锥体区。电极及基本金属的熔化，主要在锥体处或锥体附近由锥体处流出的高温过热熔渣所完成。由于渣池内熔渣的对流运动十分强烈，因此主要在锥体区发出的大部分热能很快就被带到渣池的其他地区，而在渣池与电极及基本金属接触处也把热能传给电极及基本金属。

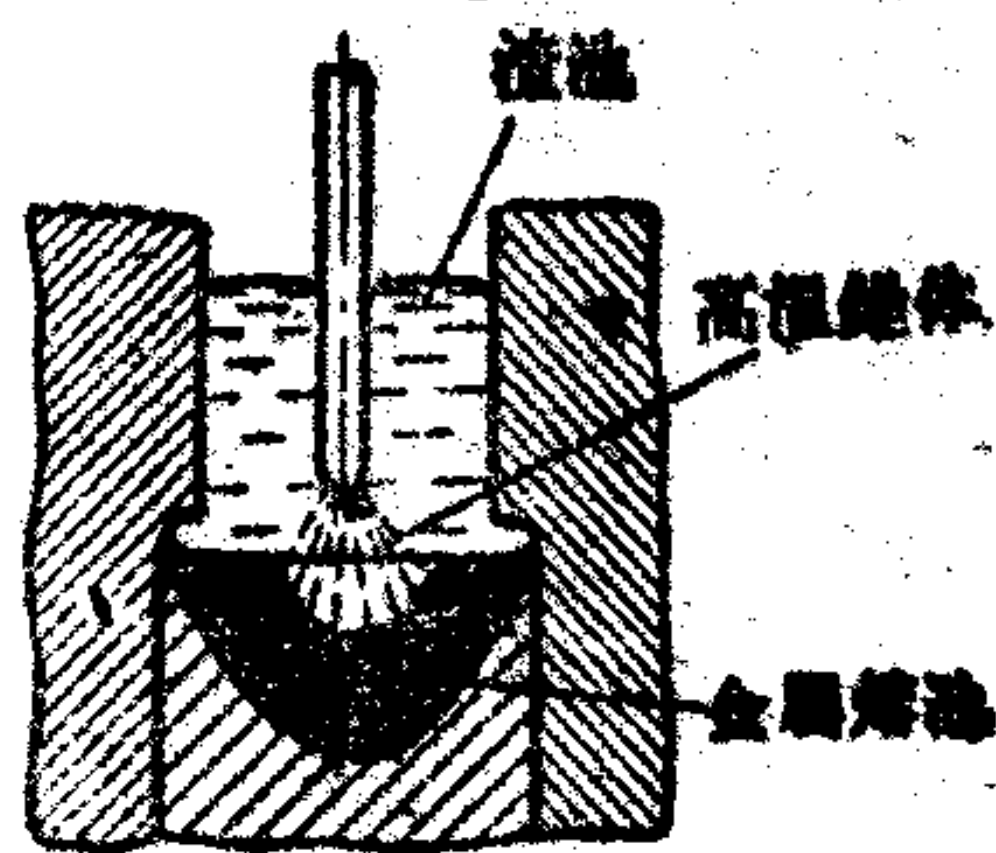


图 1-1 电渣焊热源。

电弧焊时全部热能集中在电弧区，上述那种在较大地区同时对基本金属进行强烈加热的情况是少有的。电渣焊时由于整个

渣池都程度不同的散发出热量，因此热能集中的程度比电弧焊小。一般电渣焊所用电源的功率常比电弧焊大，但因热能比较分散，因此最高温度反而比电弧低。高温熔体的温度有人估计为 2000°C 左右[39]，渣池表面的温度有人测量，认为在 $1640\sim 1820^{\circ}\text{C}$ 之间[1]。热源温度较低，整个冶金反应的温度也就低。因之，电弧焊时某些主要在高温下激烈进行的反应，在电渣过程中就进行得比较微弱。

2) 基本金属及电极熔化的某些特点 电弧焊时热能比较集中，在熔化焊条的同时必然大量熔化基本金属。所以改变规范也很难显著地改变焊缝中基本金属的比例。因此，在焊剂层下进行单层自动焊时，基本金属在焊缝金属中的比例很难低于50%。电渣焊时热能的分配比较分散，电极熔化与基本金属熔化的比例关系可以通过改变规范在很大范围内调整（可在10%~70%间变化）。把焊缝金属中基本金属的比例降低到10%以下，有时对于调节焊缝金属的化学成分（例如堆焊），及降低焊缝金属中的有害杂质具有特殊的意义。

电渣焊电极熔化系数（ α_p ）一般比电弧焊高些，这是因为渣池对电极多面加热的结果。电弧焊焊条只在端头熔化，而在丝极电渣焊时焊丝伸入渣池较深，伸入的部分除末端熔化以外，侧面也受渣池加热而部分熔化。加上电渣焊时电流密度较大（达 $100\sim 120\text{安/毫米}^2$ ），焊丝露出长度也较长，因此电阻热的利用就比较充分。由于上述原因，所以在以常用的规范进行电渣焊时焊丝的熔化系数常比电弧焊高一倍左右。在大断面电极电渣焊时虽然电极浸入渣池的长度不大，但因电极送进速度小，渣池对电极端部有足够的时间进行预热，因此熔化系数仍然很高。

3) 基本金属加热及冷却的速度比较缓慢 由于电渣焊大截面焊缝是一次焊成的，因此熔池移动的速度一般较小。这种移动缓慢而又很强大的热源使基本金属在较大区域中能有足够的时间逐渐升温，而在热源逐渐移开后，其冷却速度也必然是缓慢的。有人曾作过实际测定，并与长段多层电弧焊时的热循环作了比较；其结果如图1-2及表1-2所示（所采用的规范见表1-1[2][39]）。

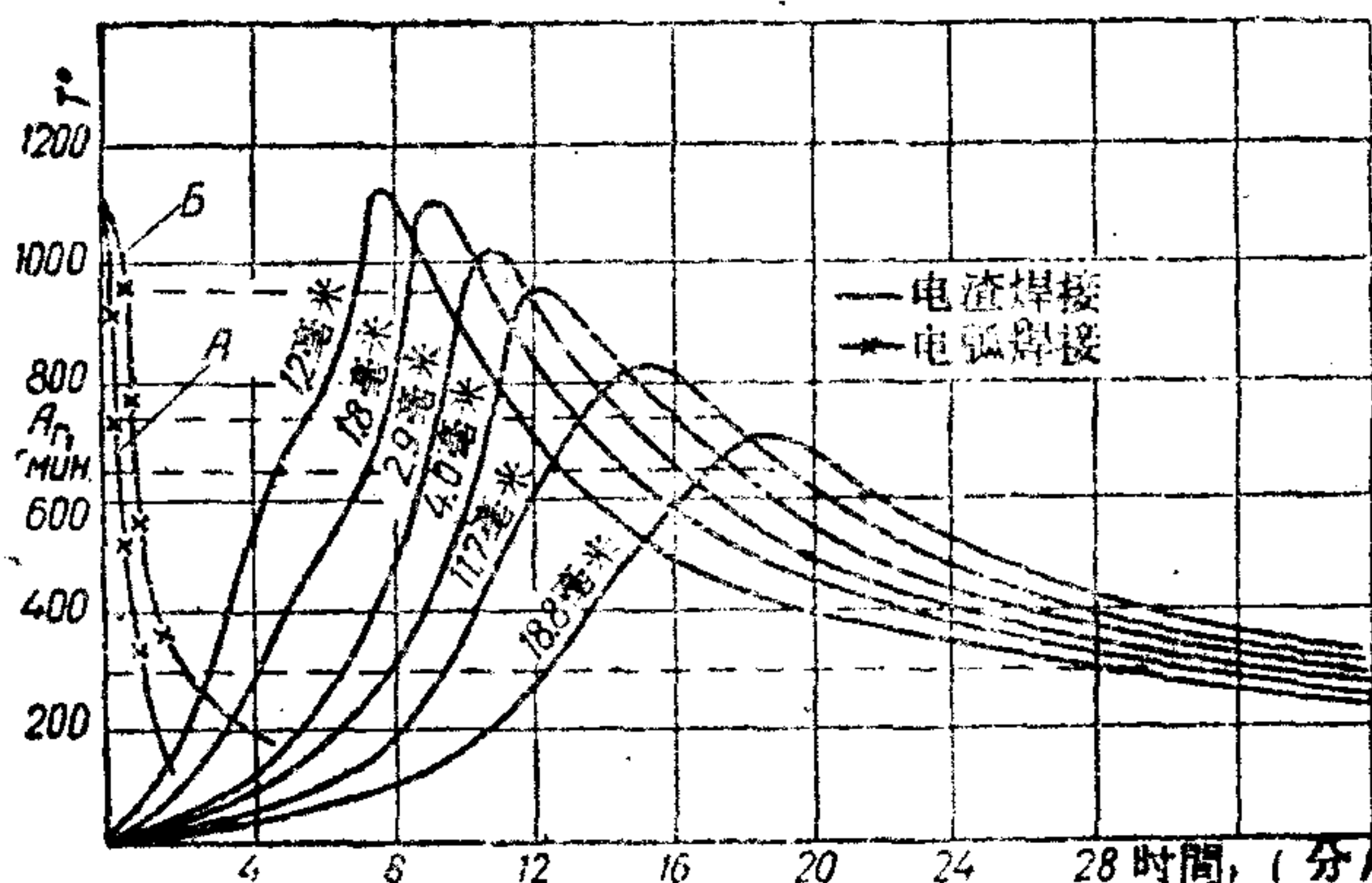


图1-2 厚100毫米合金鋼板电渣焊及长段多层电弧焊热循环的比較。

表1-1 焊接规范

焊接规范参数	电渣焊	电 弧 焊	
		曲线 A	曲线 B
焊接电流(安培)	450	500	500
焊接电压(伏特)	38~40	32~34	32~34
焊接速度(米/小时)(熔池移动速度)	約0.7~0.8①	40	10

① 参考原著折算的近似值。

表 1-2

热循环指标	电 弧 焊		电渣焊
	曲线 A	曲线 B	
1. 加热至最高温度的时间(秒)	3	5	640
2. 在过热温度(1000°C)以上停留的时间(秒)	2.5	7	95
3. 在珠光体-屈氏体相变温度区间(700~350°C)冷却时间(秒)	12	55	630
4. 在馬氏体相变温度区间(350~200°C)冷却时间(秒)	20	220	1620
5. 热影响区宽度(毫米)	2	5	16

由图 1-2 及表 1-2 可見，电渣焊近縫区加热及冷却速度要比电弧焊小很多，因此，电渣焊近縫区不易出現馬氏体型强烈淬火組織和由于馬氏体的脆性和相变內应力引起的近縫区裂縫。这是电渣焊热过程的优点之一，对某些易生淬火裂縫的合金鋼尤其重要。另一方面，由表 1-2 也可知，电渣焊热影响区的寬度及过热区在高温停留的时间都

比电弧焊大很多，所以近縫区晶粒粗大及过热现象就比较严重。因此某些鋼材电渣焊以后常需进行一定的热处理，才能获得优质接头。

2. 电渣焊热平衡及其应用

1) 热平衡的计算 在电渣焊过程已稳定地进行了较长时间以后，假如没有意外的规范变化等情况出现时，在同一时间内电流通过渣池所发出的热量应与此时熔化金属及新焊剂、传给基本金属、加热冷却水及散入空气等热量的消耗相等。假如不计在电渣焊冶金及电解现象中热能变化的情况，则热的发生及消耗可用下式表示：

$$Q = Q_{\text{熔}} + Q_{\text{传}} + Q_{\text{加}} + Q_{\text{水}} + Q_{\text{散}} \quad (\text{I-1})[3]$$

式中 Q ——电流通过渣池所发生的热能 (卡/秒)；

$Q_{\text{熔}}$ ——熔化焊丝及基本金属所消耗的热能 (卡/秒)；

$Q_{\text{传}}$ ——由渣池传给基本金属加热基本金属的热能 (卡/秒)；

$Q_{\text{水}}$ ——水冷成形装置所吸收的热能 (卡/秒)；

$Q_{\text{散}}$ ——渣池表面散出的热能 (卡/秒)。

平衡式 (I-1) 中各项可以近似地计算，而热平衡的计算对规范的选择会有很大的帮助。计算方法如下：

a) Q 的计算。电流通过渣池在单位时间内所发生的热量 Q ，在单焊丝或单板极时可用下式表示：

$$Q = 0.24 u_{\text{CB}} I_{\text{CB}} \quad (\text{I-2})$$

式中 u_{CB} ——焊接电压 (伏特)；

I_{CB} ——焊接电流 (安培)。

在多焊丝或多板极时， Q 可以近似地按下式计算：

$$Q = 0.24 (u_{\text{CB1}} I_{\text{CB1}} + u_{\text{CB2}} I_{\text{CB2}} + u_{\text{CB3}} I_{\text{CB3}} + \dots)$$

即

$$Q = 0.24 \varepsilon u_{\text{CB}} I_{\text{CB}} \quad (\text{I-3})$$

式中 $u_{\text{CB1}}, u_{\text{CB2}}, u_{\text{CB3}} \dots$ ——各焊丝或板极与工件间的电压 (伏特)；

$I_{\text{CB1}}, I_{\text{CB2}}, I_{\text{CB3}} \dots$ ——通过各焊丝与板极的焊接电流 (安培)。

b) $Q_{\text{熔}}$ 的计算。在电渣焊焊接速度为 V_{CB} 时，整个金属熔池亦以 V_{CB} 的速度上升，此时在单位时间内熔化焊丝及基本金属的体积应

为焊接速度与焊缝断面积的乘积。

$$V_M = F_M V_{CB} \text{ 厘米}^3/\text{秒} \quad (\text{I-4})$$

式中 V_M ——单位时间熔化金属的体积 (厘米³/秒);

V_{CB} ——焊接速度 (厘米/秒);

$F_M = \delta \cdot c$ ——焊缝断面积 (厘米²);

δ ——工件厚度 (厘米);

$c = b_3 + m_1 + m_2$ ——焊缝平均宽度 (厘米);

b_3 ——工件间间隙宽度 (厘米);

m_1, m_2 ——工件两个焊接边缘的平均熔宽 (厘米)。

因此单位时间消耗在熔化电极及基本金属的热能 Q_M 可用下式表式:

$$\begin{aligned} Q_M &= q_M \gamma_M V_M \\ &= q_M \gamma_M F_M V_{CB} \end{aligned} \quad (\text{I-5})$$

式中 q_M ——金属在焊接温度的热含 (卡/克);

γ_M ——液体金属的密度 (克/厘米³)。①

式 (I-5) 中的 V_{CB} 在丝极电渣焊时可用下式求出②:

$$V_{CB} = \frac{V_s n F_s}{\delta b_3} \quad (\text{I-6})$$

式中 V_s ——焊丝送进速度 (厘米/秒);

n ——焊丝数目;

F_s ——焊丝断面积 (厘米²);

δ ——工件厚度 (厘米);

b_3 ——工件间间隙宽度 (厘米)。

在 V_s 不很明确时, 可用下式近似地求出:

$$V_{CB} = \frac{I_{CB} \alpha_M}{3600 \cdot \gamma_M \cdot \delta \cdot b_3} \quad (\text{I-7})$$

式中 I_{CB} ——焊接电流 (安培);

$\alpha_M \approx 20 \sim 30$ ——电渣焊电极熔化系数 (克/安培·小时)。

① q_M 及 γ_M 与渣池温度及金属成分有关, 粗略计算时可采用:

$$q_M = 340 \text{ 卡/克} [3]$$

$$\gamma_M = 7 \text{ 克/厘米}^3。$$

② 板极电渣焊 V_{CB} 的计算见公式 (VII-6) 和 (VII-7), 熔咀电渣焊 V_{CB} 的计算见公式 (VI-1)。