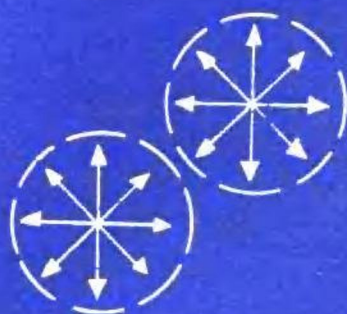
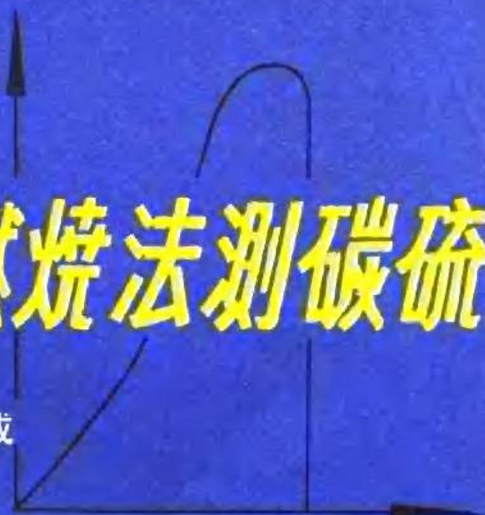




电弧燃烧法测碳硫

朱鹏鸣 杨书成



15.25

四川人民出版社

TG115.25

1

3

电弧燃烧法测碳硫

朱鹏鸣 杨书成 编著

杨崇德 周志光 审定

103/07

四川人民出版社

一九八一年·成都

A 867667

责任编辑：崔泽海

封面设计：杨守年

电弧燃烧法测碳硫 朱鹏鸣 杨书成

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)

四川省新华书店发行 内江新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32印张7.75插页1字数153千

1981年11月第1版 1981年11年月第1次印刷

印数：1—4,400册

书号：15118·55

定价：0.65元

前 言

《电弧燃烧法测碳硫》是一本题材新颖、内容丰富的化学分析专著。我愿借此机会高兴地向广大读者推荐这本书。

运用电弧法测定钢铁及其它材料中的碳、硫成份，是我省近年来取得的一项科研成果，亦为我国科技人员所独创。电弧法的重要建树之一，是从理论上突破了熔化钢铁试样必须依赖外热的传统概念，充分利用钢铁试样自身的氧化放热，完成熔化燃烧反应。这不仅节约电力，且使碳、硫的测定更为快速有效。依据电弧法的基本原理而研制成功的“DTL—771型电弧碳硫分析仪”，其主要技术经济指标，均已达到先进水平，曾先后荣获省、市科学大会的嘉奖。本书正是这一重大成果历时十年不断革新的总结。

本书作者系电弧法研究的主要参加者。他们积十年之所得，采国内各家之所长，始成此书。无论对基本理论的阐述，抑或实际应用之介绍，都有其创见和特色。既具实用性，亦有一定的科学系统性。所以，本书的出版，对于发展理化测试技术乃至节约能源，均有其积极意义。预期将是一本受欢迎的好书。

诚然，电弧法的创立和应用，是广大分析工作者智慧的结晶。就我省而言，先后开展试验研究的单位就达十余家。

第二重机厂的谢传兴、刘伟立等以及其他许多单位的同志，都曾为此作过重要的贡献。

在本书的写作过程中，省机械工程学会曾邀请成都柴油机厂刘绍璞、前进机器厂张国轩、资阳内燃机车厂陶益良、长江液压件厂张开朗、成都无缝钢管厂林万琼等同志审查，最后由四川省机械局研究设计院杨崇德、周志光二同志复审定稿。省学会对以上同志的热情支持，谨表谢忱。

愿《电弧燃烧法测碳硫》为四化作出贡献。愿我省科技战线上能有更多更好的新人新著不断涌现。

四川省机械工程学会

谭 独

一九八一年二月

概 述

电弧燃烧法测定碳、硫,是我国化学分析工作者所独创的一项新的测试技术。它采用电弧燃烧炉代替管式高温炉,来进行钢铁试样的熔化燃烧,使存在于钢铁中的碳、硫成分,转化为二氧化碳与二氧化硫,并通过对二氧化碳与二氧化硫的测定,以求得钢铁中碳、硫的含量。电弧燃烧法,简称电弧法。电弧燃烧炉,是一种全新的燃烧炉,简称电弧炉。它以电弧“点火”为条件,钢铁试样自身氧化放热为主要热源,大氧气流燃烧为主要手段,在短短的几秒钟内,就可产生 1600°C 的高温,将钢铁试样迅速熔化燃烧,从根本上破除了国内外各类燃烧炉主要依靠外热熔化试样的框框。因此,电弧炉实质上是一个典型的“内能炉”。

事实上,内能炉并不罕见。如日常用的煤球炉,热量的来源是碳的氧化放热;工业上用的油炉、气炉(煤气或天然气),热量的来源是碳、氢的氧化放热。但是,对于钢铁在氧化过程中也能放出大量的热,却往往被人们所忽视。煤、油引火后可以完成自身的燃烧反应,而钢铁试样却要靠外热来完成燃烧反应。难道就不可以通过某种引火的方式来完成自身的燃烧反应吗?电弧炉的实践证明,这是完全可能的。这种引火的方式就是电弧点火。电弧点火不仅揭开了电弧炉

燃烧的奥秘，而且已成为研究电弧法的基础理论之一。

电弧法的优越性是显而易见的。第一，方法简单，操作方便，分析速度快；第二，能节约大量的电力以及瓷舟、瓷管、硅碳棒等消耗材料，经济效果显著；第三，解除了化验工人的高温作业，改善了劳动条件；第四，在分析的准确度方面，已达到了管式高温炉的水平，可以满足日常生产的需要。所以，电弧法一经出现，就引起广大化学分析工作者的重视，尤其受到炉前快速分析和中、小工厂试验室的欢迎。因而，近年来，得到了迅速的发展。

一、电弧法的创立及其意义

钢铁中的碳、硫成分，不仅决定钢铁的牌号和性能，在现代炼钢生产中，还起着直接的指导作用，是关系到炼钢成败的一个重要环节。因而，无论在炉前或炉后分析，钢铁中碳、硫成分的测定，历来受到高度的重视。

测定钢铁中的碳、硫成分，国内大都采用管式高温炉（简称管式炉，由于安放形式的不同，又分为“卧式”与“立式”两种）燃烧试样的方法。管式炉创立于一九一三年⁽¹⁾，已有六十多年的历史。它采用硅碳棒加热的方式，通过消耗大量的电力，产生 1300°C 左右的高温，作为外部热源，将钢铁试样熔化燃烧，完成碳、硫成分的测定。为了维持 1300°C 的炉温，炉体附有保温装置和高温控制仪表。分析时，还需要专用的瓷舟、瓷管等消耗材料，操作甚为不便。

管式炉有一个升温的过程，一般要两小时左右，最快也

要一小时，才能开始工作。由于试样平铺于瓷舟中，通氧速度低，所以试样燃烧速度慢，连同预热时间在内，需要2~3分钟。测定一次碳、硫成分，约5分钟左右。这对炼钢炉前快速分析来说，是一个很长的时间。向来认为化验是炼钢的“眼睛”，但老炼钢工却有两句口头语，叫做“出钢凭眼力，化验供参考”，形象的说明了分析速度远远赶不上炼钢需要的状况。另外，管式炉还会因硅碳棒突然断裂、瓷舟瓷管被烧穿而使测定停顿下来，给实际工作带来不便。在炉前分析中，一旦出现这种情况，不仅使操作者手忙脚乱，甚至还有可能导致废钢。

总之，管式炉是一个典型的连续式外热炉，由于存在上述不足，近年来在国外已逐渐采用具有先进水平的高频感应炉（简称高频炉）来代替管式炉。

高频炉，是一种间隙式外热炉。它采用高频感应电流为外部热源，将钢铁试样感应加热，完成熔化燃烧反应。因而具有升温速度快，燃烧温度高的特点。炉温可高达1700℃以上。因为不分析试样时，无感应电流输出，所以较为省电。但是，由于需要大功率的振荡管，结构比较复杂，造价也高，加上不易维护等原因，在国内尚未得到普遍的应用。

一九七〇年，齐齐哈尔机车车辆工厂试验室，破除迷信，解放思想，首先提出了电弧法测定碳硫⁽²⁾，介绍了第一台电弧炉的结构和操作，为电弧法的首创，作出了贡献。以后，江西钢厂、沈阳重机厂、成都机车车辆厂等，相继对电弧法进行了试验，并取得一些成效。然而，电弧法的提出，

并不等于方法的建立。依据当时的条件和认识程度，初期的电弧炉对试样的燃烧是很不完全的，还不具备实际使用的价值。一九七一年，第二重机厂在四川省机械局研究设计院的指导下，对电弧法进行了深入的研究，于一九七二年十二月，在四川泸州举行的“四川省机械工业理化检验工作会议”上，首次进行了电弧法定碳的现场测试表演，获得成功。通过对引弧燃烧现象的反复观察，提出了电弧炉热量的主要来源是钢铁试样自身氧化所放出的热，电弧仅仅起点火作用的燃烧原理，解决了试样在电弧炉中燃烧不完全的问题，成功地将电弧法应用于炼钢炉前快速分析，使电弧法这一方法得以建立⁽³⁾。与此同时，资阳内燃机车厂、四川前进机器厂、四川筑路机械厂、泸州长江液压件厂等，对电弧法亦作了大量的试验研究，并取得了许多新的经验。一九七三年，南京市机械研究所，采用可逆电机带动电极升降，研制出第一台电动式电弧炉，为实现电弧炉的自动引弧，进行了有益的工作⁽⁴⁾。随着研究的不断深入，新成果不断出现。如江西钢厂提出的二氧化硅造渣剂⁽⁵⁾，第二重机厂提出的三氧化钼反吸附剂⁽⁶⁾，沈阳重机厂和首都钢铁厂提出的高频引弧⁽⁷⁾，资阳内燃机车厂与戚墅堰机车车辆工艺研究所共同总结的“前大氧，后控气”⁽⁸⁾，长江液压件厂提出的可控硅无级调压引弧⁽⁹⁾等，都极大的丰富了电弧法的理论和实践，为电弧法的发展和应用，起到了促进作用。一九七七年，第二重机厂与成都继电器厂合作，研制成功“DTL—771型电弧碳硫分析仪”，为电弧法的普遍采用，创造了条

件⁽¹⁰⁾。

到目前为止，全国已有十九个省、区和直辖市所属的工厂试验室、研究所以及大专院校，先后开展了对电弧法的试验研究，公开发表或内部提出的论文与研究报告计有八十多篇。四川、贵州、上海、辽宁、吉林、黑龙江、南京、湖南、湖北、广西、新疆、江西、甘肃等省、市，都先后召开电弧法专题经验交流会或技术讨论会，有力地推动了这一新技术的发展。一九七九年十二月，四川省机械局委托成都市电子仪表局，在成都继电器厂召开了“DTL—771型电弧碳硫分析仪”定型鉴定会。目前，已由成都继电器厂批量生产，供应市场需要。

十年来，电弧法已从碳的测定，发展到硫的测定和碳硫联合测定；已从测定单一品种的碳素钢，发展到中低合金钢、高合金钢、耐热合金、生铁、铸铁、铁合金，还有煤、焦、矿石、炉渣等非金属原材料中硫的测定；已从开始时的手动操作，发展为自动化操作；已由开始认识的盲目性，逐步建立起这一方法的理论基础。

但是，应该看到，电弧法仍然是一项发展中的技术。无论是方法本身，还是已经研制成功的仪器，都有待于进一步的改进和完善。只有这样，才能使这一新技术具有更加强大的生命力。

二、电弧法基本原理的建立及其发展

电弧法和其它许多新技术一样，在刚刚创立的时候，并没有一套完整的理论体系，而且也不可能有这样的理论体

系。但是，由于广大化学分析工作者的努力，通过大量、细致的试验研究，逐步发现和提出了一套适合于电弧法的基本原理。

根据有关文献可知，初期的电弧炉是极为简单的⁽²⁾⁽³⁾。上端为一带岔管的玻璃管（或黄铜管），配以带紫铜管的电极（兼作通氧管）。下端为黄铜燃烧锅，锅中盛放一定量的试样和锡粒。通电引弧后，试样即可燃烧。燃烧后的熔渣，由于容易从锅中倒出，因而燃烧锅可以多次反复使用，体现了这一新技术的优越性。

但是，运用初期的电弧炉来进行碳的测定时，往往出现分析结果偏低、数据混乱的现象，可靠性很差。尤其是高碳（1%以上）的测定，所得结果相差十分悬殊，更不用说生铁中碳的测定了。不言而喻，出现这种情况的根本原因是试样燃烧不完全。因此，如何使电弧炉中试样燃烧完全，就成为电弧炉研究中最先遇到的一个问题。

要解决电弧炉试样燃烧完全的问题，首先必须了解试样在电弧炉中是如何燃烧的。通过单独对铜锅内引弧燃烧现象的反复观察，发现引弧只是一瞬间，时间还不到1秒钟。引弧时产生的局部高温，在氧气流的作用下，使试样和锡粒的某一“点”，首先开始燃烧，而绝大部分试样的燃烧，是在断电以后才开始进行的。观察中还发现，如果不通入氧气，那末无论怎样引弧，乃至引弧多少次，试样都不能充分燃烧。这就是说，无论怎样调整引弧电压、电流以及引弧的次数，对试样燃烧都不产生决定性的影响。另外，在通氧燃烧

的情况下，如果停止供氧，则试样的燃烧立即停止；如果恢复供氧，则试样又马上燃烧起来。人为的控制通氧的大小，则明显地影响试样燃烧的速度和激烈的程度，还直接影响燃烧温度的高低。

从上述实验中，我们逐渐认识到，在电弧炉中，对试样燃烧来说，电弧仅仅起引燃的作用，并不是原先人们所设想的熔化作用。而试样的熔化燃烧主要是在氧气的作用下进行的。这就是以后提出的关于电弧点火的原理，现已为大家所熟知。这些实验还表明，电弧炉热量的主要来源不是电弧，而是试样在燃烧过程中所放出的热。正是这种热量，促使自身的熔化燃烧，最终完成整个燃烧反应。

但是，在正常引弧和足量供氧的情况下，是否就能确保试样燃烧完全呢？实际并不然。初期的电弧炉，由于认识的局限性，燃烧锅的重量一般都很大（200克以上），致使绝大部分的热量被燃烧锅所吸收，并通过燃烧锅而散失。这就构成了电弧炉中试样燃烧放热与燃烧锅吸热散热这样一对矛盾。正确地处理好放热与散热这一矛盾，是电弧炉研究中一个十分关键的问题。

当电弧炉在碳的测定方面取得进展的时候，对硫的测定却遇到了意想不到的困难。当时的情况是，运用电弧炉燃烧，所得硫的回收率很低，只及管式炉的一半左右。而且，数据不稳定，标准溶液对高、低硫的浓度系数相差悬殊。在通常测定的范围内，不能用标样相互换算。这一情况的出现，说明钢铁中碳、硫的测定，是不完全一样的。也就是

说，是存在着一定的差异的。过去，人们往往只注意到它们之间的共同点。这就是当试样燃烧时，碳、硫都同时被氧化，生成二氧化碳和二氧化硫。而碳、硫之间本来存在的差异，却被人们忽视了。事实上，碳、硫之间无论在存在形式、自身的性质、相对含量以及氧化物的结构、性质等方面，都有显著的不同。这样就逐渐形成了关于碳、硫之间的差异原理。

通过比较碳、硫之间的差异，提出了电弧法定硫的特殊性。

第一，硫的氧化比碳的氧化需要在更高的温度下进行；

第二，必须使高温维持一定的时间，以保证硫的充分氧化。

正是基于上述差异原理，对电弧炉进行了第一次大的改造。首先采用导热能力弱的瓷坩，代替导热能力强的铜锅，以有效的延长高温持续时间。由于瓷坩不导电，为了适应引弧的需要，又研制了双管电极头（双电极）。这就是至今仍有许多单位使用的瓷坩坩式电弧炉。

瓷坩坩的应用，确实能提高燃烧效果，使试样燃烧更加完全，使硫的回收率有了较大幅度的提高。但是，瓷坩坩却未能从根本上解决硫的测定这一难题。当时仍有许多难以解释的现象。如电弧炉测定同一个试样所消耗的碘标液仍低于管式炉；测定中有时数据忽高忽低；间隔测定时，第一、二次试样总要偏低很多，而且间隔的时间越长，偏低现象越显著。通过长时间的观察研究，发现这许多难以解释的现象，

原来是粉尘吸附二氧化硫所产生的影响。

定硫过程中的吸附现象，是客观存在的，是管式炉、高频炉和电弧炉共同存在的问题。只不过在电弧炉未出现前，没有引起人们足够的重视。电弧炉由于产生的粉尘较多，吸附现象较为明显，对硫的测定产生了严重干扰。因而，如何消除这一干扰，就成了攻克电弧法定硫的最大课题。在广泛试验的基础上，终于找到了三氧化钼这一反吸附剂，收到了良好的效果。三氧化钼的应用，一方面大大减少了粉尘对二氧化硫的吸附；另一方面进一步提高了硫的回收率和稳定性。使电弧炉中硫的回收率，第一次达到了管式炉（1300℃）的水平，并解决了低硫和高合金钢中硫的测定，从根本上消除了数据不稳的现象。

电弧法基本原理的提出，是建立在千万次实验的基础之上的，但同时又反过来给予这一新技术的发展以指导和推动。当然，由于我们认识的局限性，在电弧法中，还有许多内在的规律性尚需进一步去探索，这是毫无疑义的。只有这样，才能使这一新技术建立在更加可靠的理论基础之上。

目 录

概 述.....	(1)
第一章 电弧法的基本原理.....	(1)
第一节 电弧的作用.....	(1)
第二节 热量来源及计算.....	(13)
第三节 影响燃烧速度的主要因素.....	(20)
第四节 碳、硫之间的差异.....	(36)
第五节 电弧法定硫中的吸附与反吸附.....	(49)
第六节 电弧法原理的扩大运用.....	(75)
第七节 各种燃烧炉的比较.....	(79)
第二章 电弧炉的种类、结构和调试.....	(82)
第一节 手动式电弧炉.....	(82)
第二节 电动式电弧炉.....	(88)
第三节 高频式电弧炉.....	(91)
第四节 DTL—771型电弧碳硫分析仪的安装与 调试.....	(99)
第三章 电弧法的应用条件	(106)
第一节 引弧方式	(106)
第二节 氧气供给	(109)
第三节 燃烧锅	(117)

第四节	助熔剂	(123)
第五节	电极与管极距离	(132)
第六节	玻璃器皿	(136)
第七节	碳、硫的回收率	(141)
第四章	碳、硫的测定方法	(149)
第一节	二氧化碳分析方法概述	(149)
第二节	非水定碳的基本原理	(163)
第三节	非水滴定的影响因素	(181)
第四节	主要的非水定碳体系	(192)
第五节	非水定碳应用实例	(197)
第六节	二氧化硫分析方法概述	(205)
第七节	硫分析方法应用实例	(208)
第八节	碳、硫联合测定	(215)

第一章 电弧法的基本原理

第一节 电弧的作用

电弧是一种常见的物理现象，如工业上的电焊，电炉炼钢时的弧光等等。从电弧发出耀眼的闪闪白光，一般人均知电弧具有很高的温度（电弧的实际温度在 3000°C 以上）。正是由于人们对电弧的这种印象，所以当电弧法刚建立时，一些人曾认为电弧炉中试样的燃烧，无疑是电弧产生的高温首先将试样熔化，而后开始燃烧的。实际上，这是一个很大的误解。现已证明，在电弧炉中，对试样燃烧来说，电弧仅仅起点火的作用。

一、电弧的形成

电弧是电流通过气体介质（例如空气）形成的。

在正常的条件下，空气具有极大的电阻（纯氧介质亦如此）。但当电极触及试样时，由于燃烧锅为电极的另一极，再加上试样大多为钢铁，电阻很小，这时引弧变压器二次侧发生短路，于是很大的短路电流便经过电极和试样的接触处，使电极的端部和被接触的那一“点”试样产生大量的