

陆问礼 编著

G 钢铁分析 GTX

浙江大学出版社

TG142.1

38

2

钢铁分析

陆问礼 编著

0174/12

浙江大學出版社



B

10.17.50

内 容 提 要

本书重点介绍了常见元素在各种钢铁材料中不同含量范围的化学分析方法,不仅有单独元素的测定方法,而且有根据工厂生产的特点所进行系统的测定方法。方法易被接受,便于普及,尤其适用于中小型厂矿化验室。

为了使分析人员对元素在钢铁中的作用及分布有一概括的认识,还介绍了钢铁材料中常见元素在钢铁中的作用及存在形式。为了方便分析人员查阅起见,从化学成分角度,简要地介绍了钢铁的分类,收集并附录了我国常用钢铁牌号的表示方法及相应的含量。

本书可以作为大专院校非分析专业如冶金、金属材料、热加工类专业及化学专业选修课的教材,也可以作为工矿企业专业分析人员的培训班的教材和工矿化验员及技术人员自学和工作时的参考书。

钢 铁 分 析

陆闻礼 编写

责任编辑 平浮莲

● ● ●
浙江大学出版社出版
德清雷甸印刷厂印刷
浙江省新华书店发行
● ● ●

开本850×1168 1/32 印张9.75 字数254千

1991年2月第1版 1991年2月第1次印刷

印数,0001—3000

ISBN 7-308-00656-5

TG·007 定价:2.75元

前 言

为实现社会主义四个现代化,金属材料的生产 and 应用占有极为重要地位,但应用最广泛的还是钢铁材料,它是我国实现四个现代化的重要的物质基础。

随着科学技术的发展,开放政策和搞活经济政策,产品要竞争,要打开销路,对金属产品的质量提出了更高的要求。即外型要完好,内部组织要致密,性能指标达到标准。这一切不仅与铸造、轧制等加工工艺有关,其化学成分(包括杂质成分)是否符合规范起着决定性的作用。所以在冶金部门、机械制造部门,钢铁分析是必不可少的,它对保证合格产品的生产起着“眼睛”的作用。在开发新的钢铁品种,研究稀有元素和各种元素配合后在钢铁中的作用,化学分析也是决不可少的。应该说化学分析技术对科学技术的发展和生产率的提高都起着不可低估的作用。

书中介绍了一些实用的、常见的钢铁中各成分的化学分析方法,大部分都是在本人长期从事分析工作中积累的。阐述了操作简单、易于掌握、分析结果稳定和较准确的分析方法,不仅有单独的测定方法,而且根据工厂生产的特点,编写了系统测定的方法。为了帮助初学者学习,每种方法都详述了基本原理、操作步骤、计算方法,尤其是操作注意点,便于学者掌握运用。

为了使化验工作者不仅能熟练掌握钢铁分析方法,而且对钢与铁,合金钢、合金铸铁与普通钢铁,生铁与铸铁的区别有一些概括性的了解,本书从化学成分角度简要地作了一些介绍,这对一个从事钢铁分析的工作人员也是有帮助的。此外还介绍了一般铸铁中配料的计算方法,铁水化学成分的炉前检验与控制。收集了一些我国钢铁牌号的表示方法和化学成分的含量范围,以便于查对;还概述

了各种成分在钢铁中所起的作用和基本的含量，对于中小型厂矿、乡镇企业来说，这方面的知识也是很需要的。

本书可以作为大专院校选修课的教材，是理论和实验相结合的一门应用性课程。通过学习开拓学生的知识面和培养学生实际工作的能力。学习本课程后，使学生具有分析钢铁材料成分的能力，对更合理地使用材料和制造更优质的产品有很大的帮助。能帮助去中小型厂矿、乡镇企业工作的学生，使其能适应分析工作的需要而对企业作出更大的贡献。

本书也可以作为工矿企业专业分析人员的培训班的教材和工矿化验员及技术人员自学的参考书和普及书。

本书由毛志远教授审稿并提出宝贵意见，在此表示深切的感谢！

由于本人水平有限，有很多不足之处和错误，希望广大读者批评指出。

目 录

第一章 钢铁的分类	1
第一节 生铁和铸铁	1
第二节 铁合金	6
第三节 钢	8
第四节 钢的牌号表示方法及其标记	11
第二章 分析天平	20
第一节 天平称量的原理和计量性能	20
第二节 半机械加码电光天平构造	22
第三节 天平的使用方法和规则	28
第三章 金属材料分析方法概述	30
第一节 化学分析方法	30
第二节 分光光度法	34
第四章 化学分析的基本计算方法	41
第一节 溶液浓度的表示方法和配制方法	41
第二节 溶液浓度的换算及一般计算公式	46
第五章 钢铁成分的单独分析	51
一般规定	51
第一节 碳的测定	53
第二节 硫的测定	62
第三节 硅的测定	67
第四节 磷的测定	74
第五节 锰的测定	83

第六节	铬的测定	95
第七节	钒的测定	105
第八节	镍的测定	115
第九节	铜的测定	124
第十节	钼的测定	131
第十一节	钨的测定	136
第十二节	钛的测定	141
第十三节	稀土和镁的测定	148
第十四节	铝的测定	157

第六章 钢铁的系统分析..... 169

第一节	球墨铸铁中六元素联合测定	169
第二节	低合金铸铁中九元素联合测定	173
第三节	普通钢、低合金钢中各元素联合测定	181
第四节	不锈钢中七元素联合测定	188
第五节	高速钢中六元素联合测定	193

第七章 铁合金和稀土硅镁中间合金分析..... 199

第一节	碳、硫的测定	199
第二节	硅铁的测定	199
第三节	锰铁的测定	209
第四节	硅锰合金的测定	212
第五节	铬铁的测定	212
第六节	钒铁的测定	217
第七节	钼铁的测定	222
第八节	钨铁的测定	226
第九节	钛铁的测定	231
第十节	磷铁的测定	240
第十一节	硼铁的测定	243
第十二节	稀土镁中间合金七元素联合快速测定	246

附录一	冲天炉的配料计算.....	254
附录二	铁水化学成分的炉前检验与控制.....	258
附录三	容量法定碳温度压力校正系数表.....	260
附录四	试剂的配制.....	269
附录五	国际原子量表(1981年).....	278
附录六	我国部分钢铁化学成分.....	280
主要参考文献		298

第一章 钢铁的分类

钢和铁俗称黑色金属材料均系铁碳合金。其区别仅在于含碳量不同，当含碳量在2.11%以下时为钢，含碳量在2.11%以上则为铸铁。除铁和碳外，钢铁中还含有其它一些不可避免的杂质——硅、锰、磷、硫。具有特殊性能的合金钢和合金铸铁还可能分别含有铬、钼、铜、镍、钨、钛、钒、镁、稀土等合金元素，上述这些元素的存在及其含量的高低，将直接影响钢和铁的组织 and 性能。

第一节 生铁和铸铁

一、生铁

生铁是由高炉熔炼而来的，主要原料为铁矿石、熔剂和燃料。

1. 铁矿石 主要有以下几种：

(1) 赤铁矿石 主要成分 Fe_2O_3 ，含铁量30—65%，硫、磷含量低，还原性好，是最主要的工业铁矿石。

(2) 磁铁矿石 磁性氧化铁，主要成分是 Fe_3O_4 ，含铁量40—70%，硫、磷含量较高，还原性差。

(3) 褐铁矿石 主要成分 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，含铁量37—55%，含磷量较高，还含有硫、砷等杂质，还原性比上面二种铁矿石都好。在自然界中分布较广，由其它铁矿石风化而成。

(4) 菱铁矿石 菱铁矿石中的铁是以碳酸铁形式存在的，主要成分是 FeCO_3 ，它的理论含铁量为48.3%，含杂质较多，必须经处

理后才能适宜于炼铁。

铁矿石中铁的含量高低是决定它的贫富程度的主要条件，也是决定铁矿石直接冶炼是否经济的主要条件。工业上使用的铁矿石，按其含铁量分为贫矿（含铁量小于45%）和富矿（含铁量大于45%）两种。富矿的含铁量较多，杂质较少，可直接进行冶炼，因而其价值较高。贫矿在冶炼前需进行选矿，以提高其含铁量，然后制成烧结矿或球团矿，因而其价值较低。目前高炉冶炼所需铁矿石多采用烧结矿。

2. 熔剂 加入熔剂的目的在于与 SiO_2 （熔点 1625°C ）、 Al_2O_3 （熔点为 2050°C ）这些熔点高的化合物组成低熔点的炉渣，以便在高炉冶炼条件下完全液化，并保持相当的流动性，以达到很好地与金属分离之目的，从而保证生铁的质量。通常都使用碱性熔剂——石灰石熔剂和白云石熔剂。

（1）石灰石熔剂 石灰石是最常用的碱性熔剂，对它的要求是含碱性氧化物（ CaO 及 MgO ）要高，含酸性氧化物（ SiO_2 及 Al_2O_3 ）要低，含杂质硫、磷等要少，要有较高的强度和一定的粒度。

（2）白云石熔剂 在高氧化铝及高氧化钙炉渣内含有6—8%的氧化镁作附加熔剂以增加炉渣的流动性，以利于脱硫。

3. 燃料 高炉冶炼所需的热量，主要依靠燃料的燃烧而获得，同时燃料在燃烧过程中，还起着还原剂的作用，所以燃料是高炉冶炼的主要原料之一。

常用的燃料主要是焦炭，焦炭是把炼焦的煤粉或几种煤料的混合物装在炼焦炉内，隔绝空气加热到 $950-1000^\circ\text{C}$ ，干馏后留下的多孔状产物。它的优点是强度大、发热量高，价廉。缺点是灰分较多，杂质硫、磷含量较高。高炉冶炼时所需焦炭的化学成分及物理性质见表1-1。

生铁是由铁矿石在高温鼓风炉中与焦炭、熔剂混合，由风口鼓入的空气与焦炭燃烧而成 CO ， CO 上升就不断地使铁矿石中氧化铁

表1-1 焦炭的化学成分及物理性质

成 分, %					物 理 性 质			
挥发分	硫	磷	水分	灰分	发 热 量 千卡/千克	抗 压 强 度 千卡/厘米 ²	气孔率 %	粒 度(直径) 毫米
<1.5	0.5— 1.0	≤0.05	2—6	7—13	6—7	>100	49—53	25—30

还原为铁。高炉中铁与焦炭和CO接触，从中吸取一部分碳素，得到含碳量较高的铁碳合金，称为生铁。

生铁分成两大类：

(1) 炼钢生铁 含碳量较低，生铁中碳呈化合物状态存在，其断面为银白色，也叫做白口铁。

(2) 铸造生铁 硅含量较高，因而减少了碳在生铁中的溶解度，促进了碳的石墨化，所以断面呈灰色。

生铁中硅、锰由它们的氧化物还原得到的。二氧化硅在铁矿石中原已存在，氧化锰通常是在炉料中加进去。当高炉熔炼温度较高时，二氧化锰与二氧化硅就被较多地还原而进入生铁中。硅、锰含量是根据生铁的用途，通过控制高炉熔炼过程和炉料成分来调节。磷也是由铁矿石中杂质还原而成，硫是从焦炭中吸收来的。

我国生铁的化学成分标准参见附录六。

二、铸铁

铸铁是铸造铸件的一种结构材料，一般用生铁作原料，在冲天炉中熔炼（低碳铸铁也有在中频电炉中熔炼），使生铁和其它金属炉料重新熔化，焦炭在此作为燃料，并不起还原作用。生铁中含碳量较高，熔炼过程中，含硅、锰量因氧化损失稍为减少，含磷量基本不变，硫因吸收焦炭中的硫而增加。炉料中加入废钢使碳、磷、硫含量降低，但在熔化过程中，铁水不可避免地从小焦炭中吸收一部

分碳、硫，所以得到的铸铁仍含有2.5%以上的碳和0.1%左右的硫。

铸铁可分为：

1. 白口铸铁 碳绝大部分以碳化物形式存在于铸铁中，断口呈银白色，硅含量较低，硬度高、难以加工，但耐磨性好。

2. 灰口铸铁 也常叫做普通铸铁。碳主要以石墨状态存在，石墨呈片状，断口暗灰色。生产方便、成品率高、成本低，是目前应用最广、最多的一种铸铁。具有良好的铸造性能、切削性能、耐磨性能、消震性能，对表面缺陷及切口几乎不具有敏感性，所以在强度要求不高和形状比较复杂的配件生产中得到广泛的应用。

铸铁的化学成分对铸铁的组织有十分重大的影响。碳、硅、锰、磷、硫等五大元素的含量要控制在一定范围内，其中碳、硅、锰是控制内部金相组织的主要元素，磷是控制使用的元素，硫是限制元素。各种牌号灰口铸铁的化学成分，就是根据生产实际情况，考虑化学成分对组织的影响制定出来的。

灰口铸铁的代号是“HT”，是“灰铁”二字汉语拼音的第一个字母。我国灰口铸铁的国家标准(GB976—67)表示法例如：HT20—40，其中二组数字分别表示最低抗拉强度 σ_b (20公斤/毫米²) 和最低抗弯强度 σ_{bs} (40公斤/毫米²)。

3. 孕育铸铁 是将低碳(2.8—3.3%)、低硅(1.0—1.4%)的铁水经过硅铁或硅钙孕育处理，使石墨片变细、数量变少、分布均匀，其金相组织为全部珠光体基体。具有较高的强度和硬度，良好的耐磨性。主要应用于动力负荷小，静力强度要求高的重要零件。例如汽缸、凸轮、机床铸件等，尤其是断面较大的铸件更为适宜。孕育铸铁的牌号表示法与灰口铸铁相同，牌号HT25—47以上的灰口铸铁，一般都属于孕育铸铁的范围。

4. 可锻铸铁 亦称玛钢或马铁，是由低碳低硅的白口铸铁，经过退火而得到的一种高强度铸铁。因其塑性比灰口铸铁好，故称

展性铸铁或韧性铸铁。石墨呈团絮状，削弱基体的作用就比片状石墨小，因而其强度比灰口铸铁高。与球墨铸铁相比，它具有成本低、质量稳定，铁水处理简便和易于生产，又比钢具有优良的铸造性能，因此生产上用的较多。尤其是适用于大量生产形状复杂的薄壁小件或工作中受到震动而强度要求又较高的零件。如汽车、拖拉机的后桥壳、轮壳等。牌号表示方法为“KT”代表铁素体可锻铸铁，“KTZ”代表珠光体可锻铸铁，铸铁符号后的第一个数字表示最低抗拉强度，第二个数字表示最低延伸率。

5. 球墨铸铁 是用灰口铸铁成分的铁水在浇铸前，经过孕育和球化处理，使碳呈球状石墨，故称为球墨铸铁（简称球铁）。由于球状的石墨表面积最小，它对基体的切割作用很小，同时又可使应力集中减到最小，这将使球铁的机械性能进一步提高。所以球铁有类似于灰口铸铁的优点，还具有比普通灰口铸铁高得多的强度、塑性和韧性。

球铁中硅、锰含量较高，所以基体的硬度和强度就优于相应成分的碳钢。尤其突出的是，它的屈服强度较高，屈服比($\sigma_{0.2}/\sigma_B$)几乎为钢的2倍（钢为0.35—0.50，而球铁则达0.7—0.8）。因此对于承受静载荷的零件，用球墨铸铁代替铸钢可减轻机器的重量。

球铁通过合金化和各种热处理，成功地用以代替铸钢、锻造合金钢、可锻铸铁和有色金属来制造一些受力复杂、强度、韧性和耐磨性要求高的零件。例如代替45钢和35CrMo钢制造2000—4000马力柴油机、机车和拖拉机的曲轴、凸轮轴、齿轮和连杆等。球墨铸铁在我国得到广泛的应用。珠铁的代号是QT，二组数字分别表示最低抗拉强度（牛顿/毫米²）和最低延伸率（%）。

6. 合金铸铁 随着铸铁的广泛应用，对铸铁的性能要求也愈来愈高。为了提高铸铁的机械性能，改善铸铁的工艺性能或得到某种特殊的理化性能，有目的地加入一定量的元素到铸铁中去，不管

加入的元素是具有非金属性质的硅、硼，还是具有金属性质的铬、钼、镍、钨等能起到改变钢铁的组织 and 获得所需性能的这种作用的元素叫做合金元素，这些铸铁就称为合金铸铁。

合金铸铁具有特殊的性能（如耐磨、耐热、耐酸），是在腐蚀介质中，高温条件下或剧烈摩擦、磨损等场合使用的铸铁；与相似条件下使用的合金钢相比，熔铸简单，成本低廉，有良好的使用性能。合金铸铁的缺点是机械性能比合金钢低、脆性大、容易破裂。

一般所用的合金元素为铬、钼、铜、钨、镍、钛、铝、镁、稀土、钒、铌、锰、硼等。其中铜、锰、钼、钒、钛等元素我国资源丰富，可尽量利用来生产各种类型的合金铸铁。

铸铁中合金元素的含量超过以下范围时称为合金铸铁：钛、钒、钼含量超过0.1%，镍、铬、铜、铝含量超过0.3%，锰大于2.0%，硅大于4.0%。

我国部分铸铁的化学成分标准参见附录六。

第二节 铁合金

铁与任何一种金属或非金属的合金都叫做铁合金（也有的叫它合金生铁）。铁合金的种类很多，主要的有锰铁、硅铁、铬铁、钼铁、钨铁以及复合铁合金等。在熔炼铸铁时使用最多的是锰铁和硅铁。

一、硅铁

硅铁是硅与铁的合金。以焦炭、钢屑、石英为原料用高炉或电炉冶炼而成。合金中硅的含量越高，硅铁的比重越低。根据这一性质，通常可以利用测定合金比重的方法来确定合金中含硅量。

硅和氧的亲合力很大，所以用硅铁作为炼钢的脱氧剂。

在炼制高硅特殊钢时，例如炼制含硅1.3—2.0%的弹簧钢、含硅4.5%的变压器钢和电机钢（硅钢片）等，硅铁作为合金元素加入剂。

二、锰铁

锰铁是锰和铁的合金。锰和氧的亲合力很大，所以在炼钢时也常用它作为脱氧剂。锰与硫能生成不溶于钢水的硫化锰（ MnS ），所以又可以作为除硫剂使用。锰使钢具有很好的性能，所以又是冶炼各种锰钢时的合金元素加入剂。

我国目前生产的锰铁有高炉和电炉产品两大类，电炉锰铁中按含碳量的高低又分为碳素锰铁、中碳锰铁和低碳锰铁。其中碳素锰铁最常见，由于其含碳量高，所以它只能适用于炼一般的高碳钢。

三、铬铁

铬铁是以铬矿石、石灰（石灰石或萤石）、碎焦为原料，在电炉中冶炼而成。铬铁是牌号最多的一种铁合金，其主要区别在于含碳量，含碳量愈低，冶炼愈困难。

铬铁作为冶炼铬钢和铬镍钢等的合金元素加入剂。含碳量在2%以下的铬铁，适用于炼不锈钢、耐酸钢及其它各种低碳铬钢；含碳量在4%以上铬铁，常用于炼滚珠钢及汽车零件用钢等；含碳约5%的铬铁，可作为合金铸铁的加铬剂。

四、钨铁

钨铁是钨锰矿在电炉中用碳还原所得。标准钨铁含70%左右的钨，钨铁作为炼制特殊钢（如高速钢）时的重要合金元素加入剂。

五、钼铁

钼铁由辉钼矿或经过焙烧的精矿在电炉中冶炼而得。钼与氧生

成几种氧化物，其中最稳定、最普遍的是 MoO_3 ，它是酸性的，能与 CaO 形成 CaMoO_4 （钼酸钙），可作为炼钢时的合金元素加入剂使用。钼铁主要用于钼钢、铬钼等结构钢、工具钢等。

六、钛铁

钛铁是以氧化钛为原料，用铝热法在电炉或筒式炉中还原而得。在炼钢生产中钛铁常用作脱氧剂、除氮剂和合金元素加入剂。

七、钒铁

钒铁是用碳在电炉内还原五氧化二钒或用电炉硅热法还原五氧化二钒而制成的。

钒铁作为合金元素加入剂被广泛地应用于合金钢与合金铸铁中，近年来也用钒铁制造永久磁铁。

另外，还有磷铁、硼铁、硅钙合金等，因篇幅有限不再叙述。我国冶金部颁布各类铁合金标准参看附录六。

第三节 钢

直接用矿石冶炼而得到的生铁，含碳量较高，而且含有许多杂质（如 Si 、 Mn 、 P 、 S 等），因此生铁缺乏塑性和韧性，其它机械性能也较差，除熔化浇铸外，无法进行压力加工等工艺，因而限制了它的用途。为了克服生铁的这些缺点，使它在工业上能起到更大的作用，还必须在高温下，利用各种来源的氧把它里面的杂质氧化清除到一定的程度，以得到具有一定成分、性质的铁碳合金——钢。

钢和铸铁一样，属于黑色金属，都是由生铁熔炼而来，都是以铁为基础的铁碳合金。钢含碳量低于2.11%，铸铁含碳量高于2.11%。普通碳素钢与普通铸铁化学成分对照列于表1-2中。

表1-2 普通碳素钢与普通铸铁化学成分(%)

名 称	C	Si	Mn	P	S
碳 素 钢	0.07—1.3	0.10—0.40	0.25—0.80	≤ 0.045	≤ 0.055
铸 铁	2.5—4.0	1.1—3.0	0.5—1.2	≤ 0.15	≤ 0.15

化学成分上的差别是由于钢、铁的生产过程不同而形成。钢是由转炉、平炉和电炉熔炼的，而铸铁主要是由冲天炉熔炼的。

由于钢的用途很广，种类繁多，而各种用途对钢的性能要求也不同，所以有必要对钢进行分类，通过钢的分类，可以系统、简单地了解常用钢的概貌。

钢的分类方法很多，下面介绍常见的几种分类分法。

一、按化学成分分类

按照化学成分，可把钢分为碳素钢和合金钢。

1. 碳素钢 碳素钢中不含有特意加入的合金元素，除铁和碳以外，只含有少量硅、磷、锰、硫、氮、氧、氢等元素。

碳素钢按照含碳量大小，又可分为高碳钢 ($C > 0.6\%$)、中碳钢 ($0.25\% < C \leq 0.6\%$)、低碳钢 ($C \leq 0.25\%$)，含碳极低的铁碳合金叫工业纯铁。

2. 合金钢 合金钢中含有特意加入的合金元素。根据合金钢中所含合金元素的数量不同，又可分为低合金钢(合金元素总含量不大于5%)、中合金钢(合金元素总含量为5—10%)、高合金钢(合金元素总含量大于10%)，若按所含合金的种类又可分为锰钢、铬钢、硅锰钢、铬镍钢、铬镍钼钢、铬锰钼钒硼钢等。

二、按冶炼质量分类