

中等专业学校試用教科书



热处理炉原理与结构

沈阳冶金机械专科学校

热处理教研室編

北京机械学院

本书是根据中等专业学校（第一机械工业部和冶金工业部所属）热处理专业的“热处理炉原理与结构”课程教学大纲编写而成的。

内容共分四篇十四章。主要叙述了热处理炉用燃料的种类、性能及其应用，燃烧计算，常用耐火、绝热材料的性质及其应用，炉子热工学的基础，炉子结构、设计和砌造热处理炉的基本知识。

本书可作为中等专业学校“热处理炉原理与结构”课程的试用教科书。以及也可供有关的工程技术人员、设计人员参考。

热处理炉原理与结构

沈阳冶金机械专科学校 热处理教研室编
北京机械学院

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $11 \frac{5}{8}$ · 字数 22,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数 0,001—2,033 · 定价(5-4)1.10元

统一书号, 15165·637(—机—123)

緒 論

熱處理爐是熱處理車間的主要設備。在冶金及機器制造工厂中，需要进行熱處理的零件是各式各樣的，它們有着不同的鋼種、結構、尺寸和重量；有着不同的技術要求和熱處理方法，还有着單件、成批和大量生產等不同的生產類型。因此，對熱處理爐的要求也是非常多的。零件熱處理的質量除了要有正確的熱處理工藝過程外，具有結構正確、性能良好、生產率高的熱處理爐也是不可缺少的。甚至在有些情況下，需要一台適合於加熱要求的熱處理爐會成為貫徹工藝規程，保證質量的重要關鍵。

熱處理爐是冶金爐中加熱爐的一種爐型。爐子工作原理、爐型結構和爐子設計是爐子相互密切聯繫的二個重要組成部分。了解爐子的工作原理就必須了解爐子的熱工過程。在所有的冶金爐中都進行着各種不同目的的熱工過程。熱處理爐內的熱工過程就是金屬熱處理的均勻加熱。整個熱工過程涉及到鋼材加熱理論、傳熱理論、燃燒理論、氣體力學、模型試驗理論和其他方面的問題。研究和分析這些問題應該很好地掌握冶金爐理論基礎。它主要是在氣體力學和傳熱學的基礎上發展起來的一門綜合的科學。應該把實際經驗和理論基礎結合起來，才能正確地分析影響爐子性能和效率的各種因素，科學地總結生產經驗，進而指導爐子的生產實踐。

應該看到，由於在火焰爐中，氣態的燃燒產物是帶熱體，在其流動過程中把一部分熱能傳給金屬，均勻和有效地加熱是與氣體的流動相關連的。廢氣出爐後如何流回煙道並由煙囪排出，空氣和氣體或液體燃料的輸入爐內以及爐體的漏氣等等都是爐子工作中經常遇到的問題。這些問題的解決對爐子操作、爐子設計、生產成本、加熱質量、產量、勞動保護和安全技术等都起着很重要的作用。

傳熱理論着重研究和分析爐內熱能利用、爐內熱量的熱平衡和金屬加熱等主要問題。應該指出，爐腔內的傳熱是非常複雜的。對金屬的加熱是屬於綜合傳熱的一種。應引對各種傳熱過程分析中所得出的一些基本規律，在解決爐內傳熱的分析、計算等問題時起着非常重要的作用。傳熱理論在實際上的應用，歸根到底是為了找到提高爐內金屬加熱效率的基本途徑和設法減少各種熱損失，降低燃料消耗量，提高爐子效率的主要目的。

在生產實際中得到證明，工作優良的爐子必然會有正確合理的爐型結構。爐子的工作室、燃燒裝置、排煙系統以及換熱器等爐子重要組成部分的結構設計和計算是決定爐型結構、質量的重要關鍵。結構設計是在充分參考現有爐型的實際資料和近代爐子理論指導下進行的。雖然，熱處理爐的結構是極其繁多的，但是，爐子結構的一般原理為各式各樣爐型結構的分析和設計提供極為有利的條件。在設計新爐子時，必須要以現有的舊爐型作為基礎。但同時應該根據這樣一個原則，即所有的現有的爐型都不是最完善的。而可以創造和設計出結構更完善的爐型。

在設計爐子結構時，應當致力於提高加熱質量，提高爐子的單位面積產量，降低燃料消耗量；降低筑爐和修爐的費用，延長爐子的使用壽命；減少鋼材變形、燒損等缺陷以及人力改善勞動條件等等。

炉子的加热能力不是以单位时间消耗于炉内的燃料消耗量计算，而是以金属吸收的有效热量即单位时间内的有效功来计算的。由于热处理炉工艺过程的特点，金属在炉内保温时间较长，使得一般热处理炉的效率都较低。因此，提高热处理炉的效率是炉子设计的重要质量指标。

我国热处理炉的应用有着悠久的历史，三千多年以前，周代就有一些工匠在制造刀、剑等兵器时，用热处理炉加热，使之增加强度。解放前，在我国各大工厂都广泛应用着以煤和重油作燃料的火焰炉。解放后，随着国民经济的发展和生产需要，这些炉子在改进结构，发挥潜力方面取得不少的成积。1958年大跃进以来，在党的领导下，在三面红旗的照耀下，我国工人阶级发挥了敢想、敢干的共产主义风格，掀起了技术革新、技术革命的高潮，在改进炉子性能、操作和设计上提供了不少具有实践意义的宝贵经验。近几年来，炉子这门科学在面向生产、面向实践、大搞群众运动的基础上，丰富了不少新的内容。随着热处理工艺的迅速发展，对热处理炉在炉型结构、加热质量等方面提出更多更高的要求，为热处理炉的发展开辟了更为广阔的道路。

目次

緒論	5
----	---

第一篇 燃料及其燃燒

第一章 燃料的主要性质	8
第一节 燃料的化学組成	8
第二节 燃料分析及其成分的換算	10
第三节 燃料的发热量	13
思考題	15
第二章 燃料燃燒計算	15
第一节 概述	15
第二节 空气需要量和燃燒产物量的計算	16
第三节 燃燒溫度的計算	18
第四节 燃燒計算的实例	21
第五节 燃料燃燒的图解計算法	24
思考題	28
第三章 燃料各論	28
第一节 固体燃料	28
第二节 液体燃料	32
第三节 气体燃料概說	33
思考題	39

第二篇 筑炉材料

第四章 耐火材料概論	40
第一节 耐火材料的分类	40
第二节 热处理炉对耐火材料的要求	41
第三节 耐火材料的物理性能	41
第四节 耐火材料的使用性能	43
思考題	45
第五章 硅酸鋁质耐火材料	45
第一节 粘土磚	46
第二节 其它硅酸鋁质耐火材料	48
思考題	49
第六章 其它耐火材料和一些建筑材料	49
第一节 礆质及礆化硅质耐火材料	49
第二节 氧化硅质、氧化鎂质及鉻质耐火材料	50
第三节 輕质耐火材料及絕热材料	51

第四节 耐热混凝土和耐火塗料	52
第五节 建筑用磚	53
第六节 耐热合金	53
思考題	54

第三篇 炉子热工学基础

第七章 气体力学基础	55
第一节 气体靜力学基础	55
第二节 气体动力学基础	62
第三节 气体流动时的压头損失	67
思考題	70
第八章 气体力学在炉內的应用	71
第一节 不可壓縮的气体通过小孔的流出	71
第二节 炉門溢气	73
第三节 气体流动的分流規則	73
第四节 自由流股和半限制流股	75
第五节 室状加热炉內气体的运动	77
第六节 炉內压力的分布	78
第七节 烟囱的工作原理及計算	80
第八节 空气的强制輸送和人工通風装置	84
思考題	86
第九章 傳热原理	86
第一节 傳热在热处理炉上的重要性	86
第二节 傳导傳热	88
第三节 对流傳热	93
第四节 輻射傳热	95
第五节 綜合热交換	106
第六节 火焰炉中的热交換	109
思考題	111

第四篇 热处理炉

第十章 燃燒装置	113
第一节 固体燃料的燃燒装置	113
第二节 气体燃料的燃燒装置	119
第三节 液体燃料的燃燒装置	126
思考題	128
第十一章 廢热利用設備	128

05105

第一节 换热器	128	第五节 燃烧装置及排烟道的布置	151
第二节 蓄热室	137	第六节 炉子生产率和燃料消耗量	152
思考题	138	第七节 燃料消耗量的计算和炉子热平衡	154
第十二章 炉子构件	139	第八节 炉子的设计和计算	160
第一节 炉子砌体	139	思考题	163
第二节 炉子附件	141	第十四章 炉子的施工和砌筑	163
第三节 炉子机械	145	第一节 施工的工具和器具	163
思考题	147	第二节 砌砖前的基本工程	164
第十三章 炉子构造的一般原理	148	第三节 工业炉主要构件的砌砖	165
第一节 炉子的基本类型	148	第四节 灰浆	172
第二节 对热处理炉的基本要求	150	思考题	173
第三节 现代炉子理论的几个基本原则	150	附录	174
第四节 炉膛尺寸的确定	151		

中等专业学校試用教科书



热处理炉原理与结构

沈阳冶金机械专科学校

北京机械学院

热处理教研室編

本书是根据中等专业学校（第一机械工业部和冶金工业部所属）热处理专业的“热处理炉原理与结构”课程教学大纲编写而成的。

内容共分四篇十四章。主要叙述了热处理炉用燃料的种类、性能及其应用，燃烧计算，常用耐火、绝热材料的性质及其应用，炉子热工学的基础，炉子结构、设计和砌造热处理炉的基本知识。

本书可作为中等专业学校“热处理炉原理与结构”课程的试用教科书。以及也可供有关的工程技术人员、设计人员参考。

热处理炉原理与结构

沈阳冶金机械专科学校 热处理教研室编
北京机械学院

*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）
（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机工印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $11 \frac{5}{8}$ · 字数 22,000
1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷
印数 0,001—2,033 · 定价(5-4)1.10元
统一书号, 15165·637(—机—123)

緒 論

熱處理爐是熱處理車間的主要設備。在冶金及機器制造工厂中，需要进行熱處理的零件是各式各樣的，它們有着不同的鋼種、結構、尺寸和重量；有着不同的技術要求和熱處理方法，还有着單件、成批和大量生產等不同的生產類型。因此，對熱處理爐的要求也是非常多的。零件熱處理的質量除了要有正確的熱處理工藝過程外，具有結構正確、性能良好、生產率高的熱處理爐也是不可缺少的。甚至在有些情況下，需要一台適合於加熱要求的熱處理爐會成為貫徹工藝規程，保證質量的重要關鍵。

熱處理爐是冶金爐中加熱爐的一種爐型。爐子工作原理、爐型結構和爐子設計是爐子相互密切聯繫的二個重要組成部分。了解爐子的工作原理就必須了解爐子的熱工過程。在所有的冶金爐中都進行着各種不同目的的熱工過程。熱處理爐內的熱工過程就是金屬熱處理的均勻加熱。整個熱工過程涉及到鋼材加熱理論、傳熱理論、燃燒理論、氣體力學、模型試驗理論和其他方面的問題。研究和分析這些問題應該很好地掌握冶金爐理論基礎。它主要是在氣體力學和傳熱學的基礎上發展起來的一門綜合的科學。應該把實際經驗和理論基礎結合起來，才能正確地分析影響爐子性能和效率的各種因素，科學地總結生產經驗，進而指導爐子的生產實踐。

應該看到，由於在火焰爐中，氣態的燃燒產物是帶熱體，在其流動過程中把一部分熱能傳給金屬，均勻和有效地加熱是與氣體的流動相關連的。廢氣出爐後如何流回煙道並由煙囪排出，空氣和氣體或液體燃料的輸入爐內以及爐體的漏氣等等都是爐子工作中經常遇到的問題。這些問題的解決對爐子操作、爐子設計、生產成本、加熱質量、產量、勞動保護和安全技术等都起着很重要的作用。

傳熱理論着重研究和分析爐內熱能利用、爐內熱量的熱平衡和金屬加熱等主要問題。應該指出，爐腔內的傳熱是非常複雜的。對金屬的加熱是屬於綜合傳熱的一種。應引對各種傳熱過程分析中所得出的一些基本規律，在解決爐內傳熱的分析、計算等問題時起着非常重要的作用。傳熱理論在實際上的應用，歸根到底是為了找到提高爐內金屬加熱效率的基本途徑和設法減少各種熱損失、降低燃料消耗量、提高爐子效率的主要目的。

在生產實際中得到證明，工作優良的爐子必然會有正確合理的爐型結構。爐子的工作室、燃燒裝置、排煙系統以及換熱器等爐子重要組成部分的結構設計和計算是決定爐型結構、質量的重要關鍵。結構設計是在充分參考現有爐型的實際資料和近代爐子理論指導下進行的。雖然，熱處理爐的結構是極其繁多的，但是，爐子結構的一般原理為各式各樣爐型結構的分析和設計提供極為有利的條件。在設計新爐子時，必須要以現有的舊爐型作為基礎。但同時應該根據這樣一個原則，即所有的現有的爐型都不是最完善的。而可以創造和設計出結構更完善的爐型。

在設計爐子結構時，應當致力於提高加熱質量，提高爐子的單位面積產量，降低燃料消耗量；降低筑爐和修爐的費用，延長爐子的使用壽命；減少鋼材變形、燒損等缺陷以及人力改善勞動條件等等。

炉子的加热能力不是以单位时间消耗于炉内的燃料消耗量计算，而是以金属吸收的有效热量即单位时间内的有效功来计算的。由于热处理炉工艺过程的特点，金属在炉内保温时间较长，使得一般热处理炉的效率都较低。因此，提高热处理炉的效率是炉子设计的重要质量指标。

我国热处理炉的应用有着悠久的历史，三千多年以前，周代就有一些工匠在制造刀、剑等兵器时，用热处理炉加热，使之增加强度。解放前，在我国各大工厂都广泛应用着以煤和重油作燃料的火焰炉。解放后，随着国民经济的发展和生产需要，这些炉子在改进结构，发挥潜力方面取得不少的成积。1958年大跃进以来，在党的领导下，在三面红旗的照耀下，我国工人阶级发挥了敢想、敢干的共产主义风格，掀起了技术革新、技术革命的高潮，在改进炉子性能、操作和设计上提供了不少具有实践意义的宝贵经验。近几年来，炉子这门科学在面向生产、面向实践、大搞群众运动的基础上，丰富了不少新的内容。随着热处理工艺的迅速发展，对热处理炉在炉型结构、加热质量等方面提出更多更高的要求，为热处理炉的发展开辟了更为广阔的道路。

目次

緒論	5
----	---

第一篇 燃料及其燃燒

第一章 燃料的主要性质	8
第一节 燃料的化学組成	8
第二节 燃料分析及其成分的換算	10
第三节 燃料的发热量	13
思考題	15
第二章 燃料燃燒計算	15
第一节 概述	15
第二节 空气需要量和燃燒产物量的計算	16
第三节 燃燒溫度的計算	18
第四节 燃燒計算的实例	21
第五节 燃料燃燒的图解計算法	24
思考題	28
第三章 燃料各論	28
第一节 固体燃料	28
第二节 液体燃料	32
第三节 气体燃料概說	33
思考題	39

第二篇 筑炉材料

第四章 耐火材料概論	40
第一节 耐火材料的分类	40
第二节 热处理炉对耐火材料的要求	41
第三节 耐火材料的物理性能	41
第四节 耐火材料的使用性能	43
思考題	45
第五章 硅酸鋁质耐火材料	45
第一节 粘土磚	46
第二节 其它硅酸鋁质耐火材料	48
思考題	49
第六章 其它耐火材料和一些建筑材料	49
第一节 礆质及礆化硅质耐火材料	49
第二节 氧化硅质、氧化鎂质及鉻质耐火材料	50
第三节 輕质耐火材料及絕热材料	51

第四节 耐热混凝土和耐火塗料	52
第五节 建筑用磚	53
第六节 耐热合金	53
思考題	54

第三篇 炉子热工学基础

第七章 气体力学基础	55
第一节 气体靜力学基础	55
第二节 气体动力学基础	62
第三节 气体流动时的压头損失	67
思考題	70
第八章 气体力学在炉內的应用	71
第一节 不可壓縮的气体通过小孔的流出	71
第二节 炉門溢气	73
第三节 气体流动的分流規則	73
第四节 自由流股和半限制流股	75
第五节 室状加热炉內气体的运动	77
第六节 炉內压力的分布	78
第七节 烟囱的工作原理及計算	80
第八节 空气的强制輸送和人工通風装置	84
思考題	86
第九章 傳热原理	86
第一节 傳热在热处理炉上的重要性	86
第二节 傳导傳热	88
第三节 对流傳热	93
第四节 輻射傳热	95
第五节 綜合热交換	106
第六节 火焰炉中的热交換	109
思考題	111

第四篇 热处理炉

第十章 燃燒装置	113
第一节 固体燃料的燃燒装置	113
第二节 气体燃料的燃燒装置	119
第三节 液体燃料的燃燒装置	126
思考題	128
第十一章 廢热利用設備	128

05105

第一节 换热器	128	第五节 燃烧装置及排烟道的布置	151
第二节 蓄热室	137	第六节 炉子生产率和燃料消耗量	152
思考题	138	第七节 燃料消耗量的计算和炉子热平衡	154
第十二章 炉子构件	139	第八节 炉子的设计和计算	160
第一节 炉子砌体	139	思考题	163
第二节 炉子附件	141	第十四章 炉子的施工和砌筑	163
第三节 炉子机械	145	第一节 施工的工具和器具	163
思考题	147	第二节 砌砖前的基本工程	164
第十三章 炉子构造的一般原理	148	第三节 工业炉主要构件的砌砖	165
第一节 炉子的基本类型	148	第四节 灰浆	172
第二节 对热处理炉的基本要求	150	思考题	173
第三节 现代炉子理论的几个基本原则	150	附录	174
第四节 炉膛尺寸的确定	151		

第一篇 燃料及其燃燒

凡是在燃燒時能放出大量的熱，並且此熱量能夠有效地被利用於工業或其它方面的物質統稱為燃料。所謂有效地利用是指利用這些熱能在技術上是可能的，在經濟上是合理的。

這樣，對可作為燃料的物質，有如下的要求。

1. 燃燒的產物須是氣體。因為只有氣體才能在爐膛內很方便地流動、進行熱交換，並能順利地被排除，使燃燒反應繼續進行；

2. 燃燒產物必須是無害的：对被加熱物無害、對加熱設備無害、對動植物的生存無害；

3. 所含可燃物的量要多；

4. 燃燒過程可以控制；

5. 蘊藏量大，便於開采。

因此並非所有在燃燒時能夠放熱的物質都可做為燃料，只有由有機物為來源的物質才能同時滿足上述各種要求。因為組成有機化合物的碳和氫兩種元素在氧化時都有很高的熱效應，而燃燒的產物又是氣體，其燃燒產物对被加熱物的危害較小，在濃度不大時對動植物也並無多大的害處，並且以有機物為來源的物質蘊藏量極為豐富。

根據來源，燃料可分為天然的和人造的兩種。自然界中天然存在的燃料叫作天然燃料。天然燃料經過加工後得到的燃料產品，謂之人造燃料。此外，根據物態又可分為固體燃料、液體燃料和氣體燃料三種。

工業燃料按其來源和物態的分類可見下表：

燃料的一般分類

燃料的物態	來 源	
	天 然 燃 料	人 造 燃 料
固體燃料	木柴，泥煤，褐煤，煙煤，無煙煤，可燃頁岩等	木炭，焦炭，煤磚，粉煤等
液體燃料	石油	汽油，煤油，重油及其他石油加工產品，酒精，煤焦油，合成燃料，膠體燃料等
氣體燃料	天然煤氣	焦爐煤氣，高爐煤氣，水煤氣，發生爐煤氣，地下煤氣等

在機械製造工業中常用的天然燃料有煙煤，褐煤，無煙煤等，其中以煙煤為最寶貴，用量也最大。應該指出，將天然燃料直接燃燒是不經濟的，在技術上也不太合理，因為天然燃料經過化學加工後可得到很多寶貴的化工產品，不經提取即把它們燒掉甚為可惜，況且直接燃燒固體燃料也難達到完全燃燒。因而應廣泛利用人造燃料。在機械製造工業中使用最多的人造燃料有：焦炭、焦爐煤氣、高爐煤氣、發生爐煤氣、重油、焦油等。

燃料不但是重要的動力資源，而且也是寶貴的化工原料，因此，從整個國民經濟來考慮，合理地綜合性地利用燃料，使其發生最大的效能，確是一個極重要的問題。

第一章 燃料的主要性质

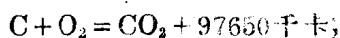
第一节 燃料的化学组成

以各种化合物的形式存于固体和液体燃料中的有下列各元素：碳、氢、氮、氧、硫。此外，每一种燃料都含有水分（W）和许多燃烧后化成灰分（A）的矿物质。

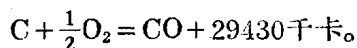
下面讨论各元素在燃料中的存在形式，和它们对燃料的影响。

碳[C]：碳在燃料中不是以自由状态存在的，而是与氢、氧、氮或硫组成各种有机化合物。在燃烧之前当燃料受热时这些有机化合物首先进行分解，然后碳进行燃烧放出大量热能。

碳燃烧时生成二氧化碳 CO_2 ：



氧气不足时，碳发生不完全燃烧并生成一氧化碳 CO ：



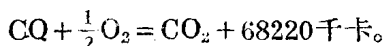
碳燃烧成 CO_2 时放出的热量为：

$$\frac{97650}{12} \approx 8138 \text{ 千卡/公斤},$$

而燃烧成 CO 时却放出：

$$\frac{29430}{12} \approx 2452 \text{ 千卡/公斤}。$$

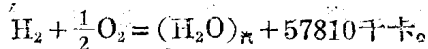
因为碳燃烧成 CO 时的热效率比燃烧成 CO_2 时低三分之二，要使燃料合理地使用，就必须建立使所有的碳完全燃烧成 CO_2 的条件。 CO 再给予氧气时便燃烧成 CO_2 ，此时再放出热量：



碳是固体和液体燃料的主要热能来源，因此燃料的质量常按燃料中碳的含量来判断。例如：煤中碳的含量为50~99%，重油含碳约为85%以上。

氢[H]：燃料中第二个重要元素是氢。氢在燃料内有两种存在形式，一种是游离氢，一种是化合氢。前者也称可燃氢，是燃料中可燃化合物的成分（例如碳氢化合物），后者则与燃料中的氧气组成稳定的氧化物，故不能燃烧。

氢的燃烧反应如下：



燃烧成 $(\text{H}_2\text{O})_{\text{H}}$ 时放出：

$$\frac{57810}{2} = 28905 \text{ 千卡/公斤}。$$

游离氢是燃料的重要组成物，但在固体燃料中氢的含量并不多。若知道燃料中氢的总含量（ H_{H} ）和含氧量，可根据燃料中全部氧气与相当的氢化合成水这一近似规则就容易算出游离氢（ $\text{H}_{\text{游离}}$ ）和化合氢（ $\text{H}_{\text{化合}}$ ）的含量。

氧[O]：氧是燃料中的有害组成部分，氧在燃料中是和可燃物质碳、氢等化合而呈各式各样的氧化物存在。故不能帮助燃烧，含氧量高是燃料局部氧化的标志，也就表示燃料

的质量不好。

氮[N]: 氮不参与燃烧反应, 所以称为燃料有机部分的惰性物质; 它的存在对燃料是不利的, 它会降低燃料的可燃成分, 不过在一般的固体和液体燃料中氮的含量很少, 仅为1~2%故为害不大。

硫[S]: 在燃料中的硫有三种状态:

1. 黄铁矿硫 (S_F): 和燃料中的杂质铁结合在一起而呈硫化物状态存在, 可经洗煤去掉。

2. 有机硫 (S_M): 存在于各种有机化合物中, 用洗煤方法不能除去。

呈有机化合物和硫化铁存在燃料中的硫称为挥发硫 (S_V)

$$S_F = S_M + S_V$$

3. 硫酸盐硫 (S_{SO_4}): 以各种硫酸盐的形式存在于燃料之中, 如 $CaSO_4$, $FeSO_4$ 等等, 这些硫是不能燃烧的。

虽挥发硫在燃烧时能放出热量, 但因 SO_2 , H_2S 等对加热物的质量和工作人员有害, 故我们说 S 是有害的杂质。

灰分[A]: 燃料中不能燃烧的矿物质统称为灰分; 其中有 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 等等。

灰分为燃料的有害部分, 灰分的存在给生产带来很多不利影响:

1. 灰分的存在降低了燃料中可燃成分的含量;
2. 在燃烧完毕产生的大量灰渣中, 将不可避免地要夹杂大量的未燃烧完的可燃物, 造成燃料的损失;
3. 灰渣多则燃烧过程不易控制, 操作困难。

故灰分在燃料中的含量越少越好。还要求它具有足够高的熔点。灰分的熔点太低时, 易结成火块的灰渣粘附炉栅并妨碍通风, 且易包住可燃成分而使燃烧难于进行完全。因此, 灰分熔点的高低也是衡量燃料质量的指标之一。

因为灰分是很多复合的无机盐混合物, 因而它没有固定的熔点, 一般以灰分的软化温度当作灰分的熔点。根据灰渣软化温度的高低, 可将灰渣分为三种:

易熔灰分: 灰渣软化温度 $< 1200^\circ C$ 。

可熔灰分: 灰渣软化温度 $1200 \sim 1350^\circ C$ 。

难熔灰分: 灰渣软化温度 $> 1350^\circ C$ 。

各种燃料灰分的熔点在 $1150 \sim 1700^\circ C$ 这一范围内。

水分[W]: 固体燃料中的水分以三种形式存在:

1. 外部水分: 机械地附着在燃料块表面的水分称为外部水分。只要把燃料放在通风良好、空气干燥的地方即可自然除去。

2. 吸附水分: 由于吸附或毛细作用而进入燃料体内的水分叫做吸附水分。这些水分须将燃料加热到 $100 \sim 110^\circ C$ 之后, 才能蒸发除掉。

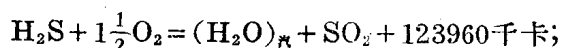
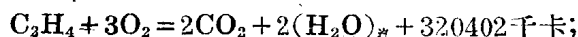
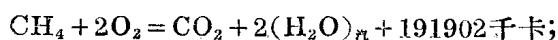
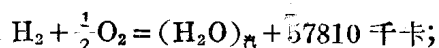
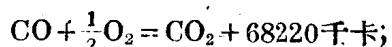
3. 结晶水: 在燃料的矿物杂质中含有一些结晶水, 但含量很少, 故在燃烧计算中不必加以考虑, 故当谈到燃料的水分时, 主要是指外部水分和吸附水分而言, 即 $W_{总} = W_{外} + W_{吸}$ 。结晶水分很难除去, 只有在高温之下灰分进行分解时它才能去掉。

液体燃料中的水分含量极少，影响不大，一般不加考虑。

燃料中水分的存在，减低了可燃成分的含量，而且它在蒸发和升温时要吸收一部分热量，故水分的存在是降低燃料价值的。

气体燃料是由几种简单的物质所组成的混合物。其中主要的物质为： CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_mH_n 、 H_2S 等可燃物质和 N_2 、 SO_2 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 等不可燃物质。

气体燃料各成分的燃烧公式如下：



因为在标准状况下（ 0°C 和760毫米水银柱）任何气态物质一公斤分子所占的容积均相等。即占22.4标米³（即标准状态下的立方米），那么，知道燃烧反应的热效应，就容易算出燃烧一立方米气体燃料各成分时放出的热量。例如燃烧1标米³CO时放出：

$$\frac{68220}{22.4} = 3050 \text{ 千卡/标米}^3$$

对于重碳氢化合物，则可以大体定为1标米³ C_mH_n 放出17000千卡。

第二节 燃料分析及其成分的换算

1. 固体燃料和液体燃料

1) 元素分析：它是对固体和液体燃料最普遍应用的一种分析方法。它可以测定出每一种元素的重量百分数；还可以测定燃料中呈灰分状态的矿物质和水分。因此我们可得到：

$$\text{C} + \text{H} + \text{O} + \text{N} + \text{S}_a + \text{A} + \text{W} = 100\%。$$

这些测定的总合称为燃料的元素分析。

直到现在还没有研究出直接测定燃料中氧的精确方法。因此，氧的含量只有由差数求出：

$$\text{O} = 100 - (\text{C} + \text{H} + \text{N} + \text{S}_a + \text{A} + \text{W})。$$

元素分析不是十分精确的，因为一方面燃料中矿物质的含量是按灰分来判定的，另一方面又没有直接测定氧的方法。但是在实际计算时和进行燃料的科学研究时，元素分析对于鉴别燃料是完全够用的。

2) 工业分析：测定燃料的水分、灰分、挥发分和固定碳的含量及其性质，以作为控制燃料质量的标志。

把煤在断绝空气的情况下加热时，随着温度之升高，煤将发生如下变化：

温度	所发生的变化
$100^\circ \sim 150^\circ\text{C}$	蒸发出水分。
$150^\circ \sim 200^\circ\text{C}$	放出被燃料吸收的 CO_2 。

200°~250°C

燃料中的化合物开始明显的分解。

300°C.

开始放出含焦油很多的气体 (各种輕碳氢化合物)。

350°~400°C

燃料开始激烈的分解, 猛烈地放出 CH_4 , H_2 , C_2H_4 和含焦油很多的气体。

450°C

放出大量的焦油汽, 再继续加热时焦油汽减少, 最后停止放出。

500°C

焦油汽逐渐减少。

1000°~1100°C

完全停止一切气体之逸出, 最后剩下一块固体焦碳。

在上述过程中, 除水分之外, 逸出的全部气体如 CO_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 , C_mH_n , H_2S , N_2 , H_2 和焦油汽等统称之为燃料的挥发分。

根据国家的規定, 煤的工业分析是将一定重量的煤加热至 110°C 使其水分蒸发以测得水分的含量, 再在断絕空气的情况加热至 850°C 令其挥发分全部逸出并测出挥发分的含量, 然后通以空气使固定碳全部燃燒以测出灰分和固定碳的含量。

3) 成分表示法及其换算: 固体燃料和液体燃料的成分是以各組成物的重量百分数表示。根据燃料的組成, 燃料的成分有以下四种表示方法。1. 供用成分; 2. 干燥成分; 3. 可燃成分; 4. 有机成分。其中每一种表示方法都有不同的含意, 见表1-1

表1-1 固体和液体燃料的成分表示法

CHON	S	A	W
有机成分			
可燃成分			
干燥成分			
供用成分			

下面是燃料的几种規定符号:

用于供用成分的为 (工作燃料):

$$\text{C}^{\text{用}}, \text{H}^{\text{用}}, \text{O}^{\text{用}}, \text{N}^{\text{用}}, \text{S}^{\text{用}}, \text{A}^{\text{用}}, \text{W}^{\text{用}};$$

用于干燥成分的为 (絕對干燥燃料):

$$\text{C}^{\text{干}}, \text{H}^{\text{干}}, \text{O}^{\text{干}}, \text{N}^{\text{干}}, \text{S}^{\text{干}}, \text{A}^{\text{干}};$$

用于可燃成分的为 (理想可燃质):

$$\text{C}^{\text{燃}}, \text{H}^{\text{燃}}, \text{O}^{\text{燃}}, \text{N}^{\text{燃}}, \text{S}^{\text{燃}};$$

用于有机成分的为 (理想有机质):

$$\text{C}^{\text{机}}, \text{H}^{\text{机}}, \text{O}^{\text{机}}, \text{N}^{\text{机}}.$$

已知工作燃料的化学組成, 就容易計算燃料在其他状态时的組成。

設已知供用成分为:

$$\text{C}^{\text{用}} + \text{H}^{\text{用}} + \text{O}^{\text{用}} + \text{N}^{\text{用}} + \text{S}^{\text{用}} + \text{A}^{\text{用}} + \text{W}^{\text{用}} = 100\%.$$

試把它换算成可燃成份。

在 100 分重量的供用成份中含可燃成份的重量为:

$$100 - (\text{W}^{\text{用}} + \text{A}^{\text{用}}),$$

在 100 分重量的可燃成分中含碳:

$$\text{C}^{\text{燃}} = \frac{100 \times \text{C}^{\text{用}}}{100 - (\text{W}^{\text{用}} + \text{A}^{\text{用}})} \%$$

同理可算出可燃成分的其他元素的含量。反之, 若知道可燃成分, 則在給出水分和灰