

电力用煤采制化 专题技术

曹长武 编著



中国质检出版社
中国标准出版社

电力用煤采制化专题技术

曹长武 编著

中国质检出版社
中国标准出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电力用煤采制化专题技术/曹长武编著. —北京:中国标准出版社, 2012

ISBN 978-7-5066-6437-0

I. ①电… II. ①曹… III. ①电厂燃料系统—煤质—检验—技术 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 273885 号

中国质检出版社
出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 34.75 字数 804 千字

2012 年 2 月第一版 2012 年 2 月第一次印刷

*

定价 110.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

电力工业是国民经济的基础产业。电为各行各业提供生产动力,是亿万人民生活的必需品,人人时时都离不开它。

煤、石油、天然气均可作为火力发电厂的燃料。我国是煤炭生产大国,也是消费大国。在我国能源生产总量中,1978年~2003年期间,原煤占66.6%~75.3%,平均为72.4%;原油占15.2%~23.8%,平均为18.0%;天然气占1.9%~3.4%,平均占2.6%,水电占3.1%~8.7%,平均占5.9%。仅电力用煤就占全国煤产量的50%左右。煤是燃煤电厂唯一的生产原料,其费用已占电厂生产成本的70%~75%,且呈不断增高的趋势。

近年来,我国加快了电源结构调整的步伐,大力发展水电、核电、风电、太阳能发电等清洁能源。然而水力发电受季节性影响很大,枯水期往往无电可发;核电的安全性因日本核电厂的泄漏事故引起人们对其安全性的担忧;风电、太阳能发电技术上远不如燃煤发电成熟,生产规模较小,而成本较高。因此,在我国电源结构中,以火电为主,在火电厂中又以燃煤为主的基本格局短期内是不会改变的。

燃煤电厂消耗大量的煤炭资源,而发电效率相对较

低。例如 1 kg 标准煤理论上可发 8.13 kW·h 的电,而实际上我国现在 300 MW~600 MW 的火电机组的发电煤耗多为 320 g/(kW·h)或 340 g/(kW·h),其发电效率分别对应为 38.44%、36.16%。因此,节能降耗应成为燃煤电厂一项长期任务,同时节能空间也是很大的,就看电厂如何充分掌握好煤质的特性,省煤节电,不断提高发电效率;另一方面,煤的燃烧对环境的污染较为严重。因此,燃煤电厂如何提高节能减排能力,降低对环境污染的影响,也是关系到燃煤电厂能否持续健康发展的大问题。

煤质检验包括对煤的采样、制样及化验三个相互联系又相对独立的环节。煤的采样、制样、化验一般简称为煤的采制化。煤质特性以煤质检验结果为依据,而采制样对煤质检测结果的影响起决定性作用。

掌握电力用煤采制化技术及其在电厂的应用方法与要求,对加强电厂煤质监督,确保入厂及入炉煤质量,保证锅炉机组安全经济运行及降低发电成本有着极为重要的意义。随着电厂锅炉机组的日益大型化、高参数化,对煤质监督与检验的要求也越来越高。因此,要求电厂煤质监督与检验人员应不断提高业务水平,除掌握燃煤采制化技术外,还应更多地了解煤质特性与电力生产的关系,从而更好地发挥煤质监督作用。

作者从事电力燃料及环保方面的试验研究已有近半个世纪的时间,既了解电厂燃煤采制化的现状与问题,也深切感受到电厂煤质监督检验人员的心声与要求,特编著本书。

本书注重理论联系实际,反映燃煤电厂在电力用煤采制化技术方面的成果及生产应用方面的经验,也指出了当前在采制化方面存在的诸多问题与不足,并提出了解决这些问题的方法与途径,内容具有较强的针对性。本书以我国近年来修订的一大批商品煤采制化国家标准为



主要依据,并对贯彻这些标准中的问题进行了深入解析。本书不同于煤质试验规程,不是重复具体的操作步骤,而是侧重对采制化技术的阐述,特别是对各主要检验项目的技术要点及难点加以分析说明,以期提高读者解决实际生产问题的能力。

本书分为三篇,第一篇为生产技术篇,下设 12 章;第二篇为采制样技术篇,下设 11 章;第三篇为煤质检验篇,下设 27 章,全书合计 50 章。

本书一章即为一独立内容,对各特定问题进行了集中深入分析阐述,便于读者阅读参考;另一方面,本书各章之间又有一定的联系。如第一篇涵盖了燃煤对电力生产有重大影响的主要问题;第二篇则包括了人工采制样及机械采制样;第三篇则包含了煤的工业分析技术(第 24 章~第 27 章)、煤的元素分析技术(第 28 章~第 31 章)、发热量测定技术(第 32 章~第 38 章)、物理性能检测技术(第 39 章~第 41 章)、灰渣性能检测技术(第 42 章~第 48 章)、检验质量控制技术(第 49 章~第 50 章),共分 6 个板块,这既体现了本书虽是采制化的专题技术,但又具有一定的系统性与关联性。本书虽然以论述标准采制化方法为主,但同时又将若干具有实用性及国外先进的采制化方法与技术介绍给读者。而在生产技术篇中,则密切结合我国电厂的实际情况,对煤质特性与电力生产的影响进行了深入的分析与说明,从而形成了本书的特点。

本书体现了作者一贯的写作风格,文字浅显易懂,生产实例众多,有助于读者更方便地学习与掌握燃煤的采制化技术。

本书主要供燃煤电厂煤质监督管理人员、技术人员以及在煤的采制化岗位上的一线生产人员使用。同时其他行业中上述岗位人员及燃料专业大专院校师生也可使用。本书是一本密切结合生产实际的科技读物,也可作为火电厂及一切用煤企业相关在职人员的培训教材。

本书虽然内容涵盖了当前燃煤电厂与煤质相关的生产问题及采制化技术的主要方面,但仍然还有遗漏的问题。书中论述不当之处,在所难免,望专家及广大读者提出宝贵意见,以便在本书再版时加以补充或更正。

编 著 者

2011 年 6 月

第一篇 生产技术篇

第一章	煤炭基准及其在电力生产中的应用	3
第二章	电厂锅炉设计与校核煤质的确定	12
第三章	商品煤的数量与质量验收	25
第四章	煤场组堆及其防止自燃	42
第五章	煤场盘点与配煤掺烧	55
第六章	煤粉的制备、特性及其燃烧	63
第七章	煤中硫对电力生产的危害	76
第八章	煤中含矸率监控与石子煤利用	88
第九章	锅炉结渣及其防止	97
第十章	入厂煤与入炉煤热值差	115
第十一章	火电厂发供电煤耗与发电效率	127
第十二章	电厂煤粉锅炉用煤选择及其节能降耗	134

第二篇 采制样技术篇

第十三章	商品煤采制样标准概述	159
第十四章	GB 475—2008 及其贯彻中的若干问题	170
第十五章	对 GB 475—2008 中若干规定的修改建议	188
第十六章	汽车煤采样问题与建议	196
第十七章	煤样制备的特点及其相关设备	204
第十八章	GB 474—2008 及其贯彻中的若干问题	218
第十九章	人工制样操作中常见问题解析	230
第二十章	采煤样机在我国的发展与应用	240
第二十一章	采煤样机中的制样系统	251
第二十二章	采煤样机使用中的问题分析	260
第二十三章	数理统计方法与采煤样机性能检验	268

第三篇 煤质检验篇

第二十四章	煤中全水分含量的测定	295
第二十五章	煤中挥发分含量的测定	307
第二十六章	煤中灰分含量的测定	318
第二十七章	煤的工业分析指标热重法测定	327
第二十八章	煤中碳、氢的测定	334
第二十九章	煤中氮及碳氢氮的联合测定	347
第三十章	煤中全硫的测定(标准法)	356
第三十一章	煤中全硫的测定(红外法)	364
第三十二章	煤的发热量及氧弹热量计	373
第三十三章	热量计的主要部件及其要求	384
第三十四章	热量计冷却校正及其计算	391
第三十五章	热量计热容量的标定	399
第三十六章	燃煤发热量测定及计算	408
第三十七章	新型自动热量计的使用	416
第三十八章	热量计综合性能检验	426
第三十九章	煤粉细度的测定	436
第四十章	煤的可磨性测定(哈德格罗夫法)	442
第四十一章	煤的磨损性测定	448
第四十二章	灰渣可燃物与飞灰比电阻的测定	453
第四十三章	硅碳管的特性及硅碳管高温炉	460
第四十四章	煤灰熔融性的测定	465
第四十五章	煤灰熔融性测定气氛条件的选择	475
第四十六章	煤灰成分测定方法综述	484
第四十七章	煤灰成分常用分析方法	489
第四十八章	煤灰成分的常量法测定	512
第四十九章	煤质检验精密度与准确度	522
第五十章	标准物质在煤质检验中的应用	536

第一篇

生产技术篇

第一章

煤炭基准及其在电力生产中的应用

煤作为电厂燃料,主要是利用其燃烧特性,煤的组成决定其燃烧性能。

一、煤的组成

煤的组成可以用工业分析及元素分析两种方法表示。

1. 工业分析指标

所谓工业分析,是指水分、灰分、挥发分及固定碳表示煤质分析的总称。

在工业分析的 4 项特性指标中,水分及灰分为煤中不可燃成分,故 $100\% - \text{水分} - \text{灰分}$,也就是挥发分及固定碳,则为煤中可燃成分。

对任何一种煤,不论其煤种与煤炭品种如何,煤中水分、灰分、挥发分及固定碳 4 种成分之和必然是 100% ,即:

$$M + A + V + FC = 100\% \quad (1-1)$$

式中:

M ——水分;

A ——灰分;

V ——挥发分;

FC ——固定碳。

根据工业分析指标,就可大体反映各种煤的性质与特点,从而确定其在工业上的实用价值。

2. 元素分析指标

煤的元素分析指标,是指组成煤中有机物质的碳、氢、氧、氮、硫 5 种元素的含量,由于煤中全硫 S_t 包括可燃硫 S_c 及不可燃硫 S_{ic} ,故煤的组成按元素分析指标表示为:

$$M + A + w(C) + w(H) + w(O) + w(N) + S_c = 100\% \quad (1-2)$$

由于一般煤中不可燃硫的硫酸盐含量较低,煤中硫主要以可燃硫形式存在,故可燃硫 S_c 可近似地用全硫 S_t 表示,则式(1-2)可写成:

$$M + A + w(C) + w(H) + w(O) + w(N) + S_t = 100\% \quad (1-3)$$

在元素分析指标表示煤的组成中,水分及灰分为煤中不可燃成分,其他 5 种元素则为可燃成分。因而工业分析指标中的挥发分及固定碳则相当于元素成分的含量,即:

$$w(C) + w(H) + w(O) + w(N) + w(S_t) = V + FC \quad (1-4)$$

煤中碳、氢元素的含量决定了发热量的高低。煤中可燃硫参加燃烧,释放出少量热量,而煤中氧、氮不参加燃烧。



煤中各元素含量的比值随煤种不同而异(见表 1-1)。

表 1-1 煤中各元素含量的比值

煤种	碳/%	氢/%	氧/%	氮/%	有机物热量/ (J/g)
褐煤	69	5.5	24	1.5	23 840
烟煤	82	4.3	12	1.7	35 125
无烟煤	95	2.2	2.0	0.8	33 870

二、基准的含义与表示方法

煤的组成可用工业分析与元素分析指标来表示,但是当煤处于不同状态时,煤中各成分的含量也就发生了变化。例如,煤中含全水分为 10%,灰分含量为 20%,如果煤中水分经干燥后降为零,即干燥中的灰分就不再是 20%,而是 $20/(100-10)=22.2\%$ 。因为含水的煤 4 项成分之和为 100%,那么因水分去除,在这种情况下的干燥 4 项成分之和则为 90%(水分为 0),原煤灰分占 20%,那么灰分在干燥中的含量必然升高,而成为 22.2%,这实际上就是煤的基准不同所致。

基准是煤炭最为基础的专业知识,在煤质监督管理与检测分析中应用极为广泛,故本书将其列为单独一章,加以详细阐述与说明。

1. 基准的含义

煤所处的状态或按需要而规定的成分组合,称为基准。

例如,原煤即包含全水分及灰分的商品煤,它与去除了外表水分,制取的分析煤样是不同的。原煤包含全水分与灰分,分析煤样包含空干基水分(或称分析水分)及灰分,二者所处的状态是不同的,其差别就是有无外表水分。

前已指出,水分与灰分为煤中不可燃成分,挥发分与固定碳是煤中可燃成分。如果在煤的组成中,不考虑水分及灰分($M_t=0, A=0$)则挥发分与固定碳二者之和为 100%,这样在干燥无灰状态下,挥发分与固定碳的含量就会相应增高。

不论何种煤处于何种状态,各成分之和必然为 100%。当煤所处的状态发生改变(主要是指水分、灰分或二者均发生改变),由于煤中各成分之和仍为 100%,那么各成分含量分也就发生相应的变化。

2. 基准的表示方法

煤的基准,按通俗的说法,也就是煤所处的状态。这里包括煤实际所处的状态,如原煤、分析煤样所处的状态;另一些则为无水假想的状态即干燥,无灰无水的仅留下可燃成分的煤等。由于煤所处状态改变,自然表示煤的组成各成分组合形式也就发生相应的改变,这就是基准的含义所在。

对煤来说,最常用的基准为收到基准、空气干燥基准、干燥基准、干燥无灰基准 4 种,它们的含义分别如下所述。



(1) 收到基准(as received basis)

收到基准,简称收到基,以收到状态的煤为基准,以符号 ar 表示。

煤的组成(%)以收到基准表示时,则

$$M_{ar} + A_{ar} + V_{ar} + FC_{ar} = 100\% \quad (1-5)$$

式(1-5)中的 M_{ar} 为收到基水分,它与全水分 M_t 通用。

(2) 空气干燥基准(air dried basis)

空气干燥基准,简称空气干燥基或空干基,与空气湿度达到平衡状态也就是空气干燥状态的煤为基准,以符号 ad 表示。

煤的组成(%)以空气干燥基表示时,则

$$M_{ad} + A_{ad} + V_{ad} + FC_{ad} = 100\% \quad (1-6)$$

(3) 干燥基准(dry basis)

干燥基准简称干燥基或干基,以假想的无水状态的煤为基准,以符号 d 表示。

煤的组成(%)以干燥基表示时,则

$$A_d + V_d + FC_d = 100\% \quad (1-7)$$

(4) 干燥无灰基准(dry ash-free basis)

干燥无灰基准,即以往称之为可燃基准,是以假想的无水、无灰状态的煤为基准,以符号 daf 表示。

煤的组成(%)以干燥无灰基表示时,则

$$V_{daf} + FC_{daf} = 100\% \quad (1-8)$$

以上 4 种基准应用最多,故也最为重要。读者不仅要了解各个基准的含义,而且要了解不同基准之间的区别,从而可为基准间的正确换算创造条件。

当了解基准的含义及表示方法后,就可写出任一煤质特性指标在不同基准时的符号,如收到基灰分为 A_{ar} ,空气干燥基碳为 C_{ad} ,干燥基全硫为 $S_{t,d}$,干燥无灰基挥发分为 V_{daf} 。

当同一煤质特性指标应用不同基准表示时,数值各异,以收到基、空气干燥基、干燥基、干燥无灰基的顺序依次增大,这是因为表示各特性指标含量(以质量分数)的分母依上述顺序减小之故。

需要指出:干燥基准表示煤的组成时,由于水分为 0,故没有干燥基水分之说;同样道理,用干燥无灰基表示煤的组成时,由于水分、灰分均为 0,故也没有干燥无灰基水分及干燥无灰基灰分之说,只有干燥无灰基挥发分及干燥无灰基固定碳。

煤的发热量有弹筒、高位、低位之分,同样也有基准之别,最为常用的为空气干燥基弹筒发热量,以符号 $Q_{b,ad}$ 表示;干基高位发热量,以符号 $Q_{gr,d}$ 表示;收到基低位发热量,以符号 $(Q_{net,ar})$ 表示。

弹筒、高位及低位发热量的英文名称分别是:

bomb calorific Value

gross calorific Value

net calorific Value

故它们的代表符号分别为 b、gr、net。

由此可知,煤质特性指标右下角有 1 个以上的符号时,基准的符号放在后边,符号间用

逗号分开,读法由后往前读,如 $Q_{gr,d}$ 应读为干燥基高位发热量, $Q_{net,ar}$ 应读为收到基低位发热量。

除了上述 4 种常用基准外,在某些场合还要应用其他基准,如干燥无矿物基、恒湿无灰基、恒湿无矿物基等。

(5) 干燥无矿物基准(dry mineral-free basis)

以假想无水、无矿物质状态的煤为基准,以符号 dmmf 表示。

煤中矿物质是各种盐类组成的复杂混合物,在大多数情况下,铁、铝、钙、镁、钠、钾的硅酸盐构成矿物质的主要成分,其中黏土($2SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$)占较大比例,矿物质是煤中灰分的主要来源。

(6) 恒湿无灰基准(moisture ash-free basis)

以假想含最高内在水分、无灰状态的煤为基准,以符号 maf 表示。

所谓最高内在水分,是指煤样在温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度在 96% 下,达到平衡时测得的内在水分。换句话说,恒湿无灰基准,就是以 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 96% 时所含的水分和假想的无灰状态的煤为基准来表示煤的组成的方法。

(7) 恒湿无矿物基准(moisture mineral free basis)

以假想含最高内在水分,无矿物状态的煤为基准,以符号 mmf 来表示。

(8) 无硫基准(sulfur free basis)

以假想的无硫状态的煤为基准,以符号 sf 来表示。

世界上任何煤中均含有硫、只是其含量大小不同而已,故无硫煤实际上是不存在的,而是一种假想的状态。

对上述不常用的几项基准(5)~(8),读者只需一个基本了解即可。

3. 各项基准与煤质指标间的关系

各项基准与煤质间的关系如图 1-1 所示。

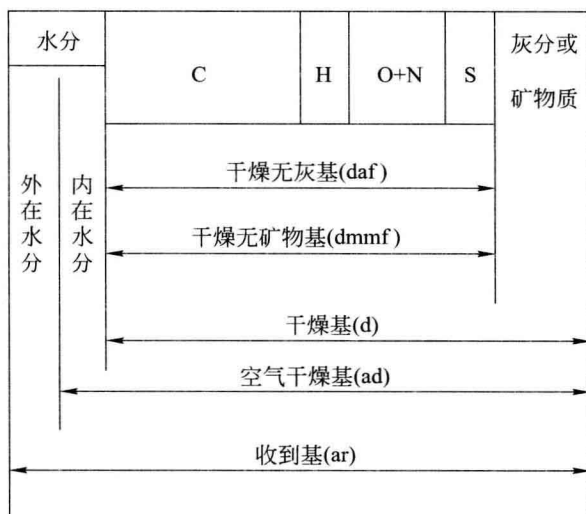


图 1-1 各种基准与煤质指标间关系

由于煤中各特性指标,按不同基准表示时,其数值不同,故标明煤质检测数据的基准,了解且熟悉基准间的换算极为重要。这对每一位从事煤质检测与各种管理人员来说,都是一项最基本的技能要求。

由于煤中各特性指标,除全水分外,均采用空气干燥煤样,即分析煤样来测定,其测定结果应该以空气干燥基准表示,如空干基水分 M_{ad} 、空干基挥发分 V_{ad} 、空干基氢 H_{ad} 、空干基高位发热量 $Q_{gr,ad}$ 等。因此,煤中各特性指标的空干基测定值是换算至其他基准的基础。

某一煤样,各成分含量按不同基准表示时的计算值参见表 1-2。

表 1-2 某一煤样各成分按不同基准表示时的计算值 %

成分	ar	ad	d	daf
水分	5.5	1.05	0	0
灰分	26.56	27.81	28.11	0
挥发分	24.32	25.47	25.74	35.80
固定碳	43.62	45.67	46.15	64.20
总和	100	100	100	100

表 1-2 清楚地显示了各个基准之间的关系。对同一特性指标,其值依 ar、ad、d 及 daf 的顺序依次增大。如在表 1-2 中干燥基挥发分 V_d 为 25.74%,而干燥无灰基挥发分 V_{daf} 则高达 35.80%,故在表示煤质数据时,一定要标明其基准。

三、基准间的换算方法

了解并掌握基准的含义及不同基准之间的差异,则基准间的换算就会变得十分简单,而且有规律可循。本章将以多个实例来说明基准间的换算方法。

例 1:已知煤的收到基灰分 A_{ar} 为 30.00%,全水分 $M_t=10.0\%$,求干基灰分 A_d 为多少?

解:所谓干基灰分,就是指灰分在干燥中所占百分比。

$$A_{ar} = \frac{\text{灰分}}{\text{原煤}} = \frac{\text{灰分}}{\text{干燥} + \text{全水分}} = 30.00\%$$

本例中,全水分为 10.0%,则干燥为 $(100-10.0)\%=90.0\%$,故干基灰分要比收到基灰分值要大。

$$\begin{aligned} A_d(\%) &= A_{ar} \times \frac{100}{100-M_t} = 30.00 \times 100/90.0 \\ &= 33.33 \end{aligned}$$

由此可知,由收到基换算到干基,要乘上一个大于 1 的系数 $100/100-M_t$;反之,由干燥基换算成收到基,则要乘上一个小于 1 的系数 $100-M_t/100$ 。

例 2:已知干基全硫 $S_{t,d}$ 为 1.22%,空干基水分 M_{ad} 为 1.02%,求空干基全硫 $S_{t,ad}$ 为多少?

解:所谓空干基全硫,就是指全硫在空干基煤样中所占百分比。

由于空干基煤样中包含干燥和空干基水分,故全硫在空干基煤样中所占比例较在干基煤样中所占比例降低了。

$$S_{t,ad}(\%) = \frac{\text{全硫}}{\text{空干基煤样}} = \frac{\text{全硫}}{\text{空干基水分} + \text{干煤}}$$

$$= 1.22 \times \frac{100 - 1.02}{100} = 1.21$$

由此可知,由干基换算到空干基,要乘上一个小于 1 的系数 $100 - M_{ad}/100$;反之,由空干基换算到干基,要乘上一个大于 1 的系数 $100/100 - M_{ad}$ 。

例 3:试证明收到基与空干基之间的换算式为:

$$A_{ar} = A_{ad} \times \frac{100 - M_t}{100 - M_{ad}} \quad (1-9)$$

根据例 1 及例 2,干燥基与收到基之间的关系为:

$$A_d = A_{ar} \times \frac{100}{100 - M_t} \quad (1-10)$$

干燥基与空气干燥基之间的关系为

$$A_d = A_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (1-11)$$

式(1-10)及式(1-11)等号左侧均为 A_d ,故等号右侧也相等,即:

$$A_{ar} \times \frac{100}{100 - M_t} = A_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

通过移项,即可求得收到基与空气干燥基之间的关系式(1-12):

$$A_{ar} = A_{ad} \times \frac{100 - M_t}{100 - M_{ad}} \quad \text{或} \quad A_{ad} = A_{ar} \times \frac{100 - M_{ad}}{100 - M_t} \quad (1-12)$$

由此可知,由空干基换算成收到基,要乘上一个小于 1 的系数 $100 - M_t/100 - M_{ad}$;反之,由收到基换算成空干基,要乘上一个大于 1 的系数 $100 - M_{ad}/100 - M_t$ 。

例 4:已知干燥无灰基挥发分 V_{daf} 为 38.92%, $M_{ad} = 1.88\%$, $A_{ad} = 29.65\%$,求空干基挥发分 V_{ad} 为多少?

解:干燥无灰基挥发分 38.92% 的含义,就是在煤的可燃组分 $(100 - M_{ad} - A_{ad})$ 中,挥发分占 38.92%。

求 V_{ad} ,也就是求包括空干基水分 M_{ad} 及灰分 A_{ad} 的煤样中,挥发分所占百分比。显然煤样中由于增加了上述空干基水分及灰分,故其百分比降低了。

$$V_{ad}(\%) = V_{daf} \times \frac{100 - M_{ad} - A_{ad}}{100}$$

$$= 38.92 \times \frac{100 - 1.88 - 29.65}{100} = 26.65 \quad (1-13)$$

由此可知,由干燥无灰基换算到空干基,要乘上一个小于 1 的系数 $100 - M_{ad} - A_{ad}/100$;反之,由空干基换算到干燥无灰基,要乘上一个大于 1 的系数 $100/100 - M_{ad} - A_{ad}$ 。

根据上述各例的换算,可以看出基准间的换算有一定的规律性,即煤质特性指标值按收到基→空干基→干燥基→干燥无灰基的顺序依次增大,如依上述顺序变换,则所乘系数均大于 1;反之,如依相反方向变换,则所乘系数均小于 1。而大于 1 或小于 1 的系数,在分子、分母上所减去的数值就是二者所相差的组分,无非是全水分、空干基水分及灰分 3 项,如掌握上述规律,基准换算时就不易出错。