

火力发电厂能量平衡导则

(DL/T606-1996) 宣贯教材

中国电力企业联合会标准化中心
国家电力公司发输电运营部



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

火力发电厂能量平衡导则

(DL/T606-1996) 宣贯教材

主编 关必胜

作者 张登敏 宋家升 王雅贤

薛玉兰 胡蔚才 张 弘

桂学谦



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本教材按照电力行业标准 DL/T 606—1996《火力发电厂能量平衡导则》总则、燃料平衡、热平衡、电能平衡和水平衡五部分，分别对 DL/T 606—1996 的条文进行解释，尤其对能量平衡测试中的一些难点列举了测试示例，便于火力发电厂进行能量平衡测试工作的技术人员对 DL/T 606—1996 的理解与运用。

火力发电厂能量平衡导则

DL/T 606—1996

宣 贯 教 材

*

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市通县大中印刷厂印刷

*

2002 年 1 月第一版 2002 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 6 印张 130 千字

印数 0001—3000 册

*

书号 155083 · 363 定价 17.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前 言

火力发电厂是将一次能源转换为二次能源——电能的工业，需要大量的矿物燃料——煤和燃料油，在火力发电厂的发电成本中，燃料消耗占 70% 以上，所以节能是火力发电厂降低成本、提高经济效益、增强市场竞争能力很重要的一个环节。

我国电力体制改革正在逐步深入，厂网分开、竞价上网试点工作已开展，即将全面实施。火力发电厂要在竞争中生存并得到发展，必须采取先进的发电厂管理模式，依靠技术进步和技术改造，以降低成本，提高运行效率。加强节能管理就是其中的一个重要措施。

火力发电厂通过能量平衡测试，查清在火力发电厂中能源的输入、输出和损失情况，找出发生不应有的能源损失环节和发生的原因，从而为改善设备运行方式和节能技术改造提供依据。为了使火力发电厂能量平衡工作规范化，原能源部（和后来的电力工业部）组织专家制定并颁布实施电力行业标准 DL/T 606—1996《火力发电厂能量平衡导则》。

DL/T 606—1996《火力发电厂能量平衡导则》是一个系列的电力行业标准，它包括以下 5 个部分：

DL/T 606.1—1996 火力发电厂能量平衡导则总则

DL/T 606.2—1996 火力发电厂燃料平衡导则

DL/T 606.3—1996 火力发电厂热平衡导则

DL/T 606.4—1996 火力发电厂电能平衡导则

DL/T 606.5—1996 火力发电厂水平衡导则

火力发电厂能量平衡之所以包括燃料、热、电能和水平衡，是因为燃料作为一次能源，在火力发电厂的生产过程中通过燃烧向发电系统输入热量，输入的热量由工质——水携带进入汽轮发电机组，并转换成机械能带动发电机生产出电，而在电力生产过程中，发电设备本身也要消耗部分电能，因此燃料是输入的能量；热是电能生产过程中的中间转换能量；而电能是火力发电厂的产品，但电能生产过程中又需要消耗的动力；水是工质，生产过程中也要被部分消耗。水虽不是能量，但我国是一个缺水的国家，是国家的关键资源。对于火力发电厂来说，水的消耗量也直接影响发电成本，所以把水也列入火力发电厂能量平衡的范围。

DL/T 606—1996 自颁布实施以来，许多电厂在 DL/T 606—1996 的指导下进行了能量平衡的测试工作，取得了较好的效果。为了进一步推动火力发电厂能量平衡工作，由中国电力企业联合会标准化中心和国家电力公司发输电运营部共同举办电力行业标准 DL/T 606—

1996《火力发电厂能量平衡导则》宣贯班，并请有关专家编写了本教材，作为标准宣贯班的学习材料。执笔的专家对 DL/T 606—1996 内容进行深入浅出的讲解，并举有实例和一些研究成果，是各单位在进行能量平衡测试时较好的参考资料。

编 者

2001 年 12 月

目 录

前 言

第一讲	DL/T 606.1—1996	《火力发电厂能量平衡导则总则》概要	1
第二讲	DL/T 606.1—1996	《火力发电厂能量平衡导则总则》分析	4
第三讲	DL/T 606.2—1996	《火力发电厂燃料平衡导则》分析	15
第四讲	DL/T 606.2—1996	《火力发电厂燃料平衡导则》介绍	33
第五讲	DL/T 606.3—1996	《火力发电厂热平衡导则》概要	41
第六讲	DL/T 606.4—1996	《火力发电厂电能平衡导则》分析	53
第七讲	DL/T 606.5—1996	《火力发电厂水平衡导则》分析	82

第一讲

《火力发电厂能量平衡导则总则》概要

DL/T 606.1—1996

张登敏

1986年，国务院颁发的《节约能源管理暂行条例》要求各企业开展企业能量平衡工作，各省、市主管能源部门还要求发放合格证书。原东北电管局在大连发电总厂搞了试点，在试点的基础上编写了《火力发电厂能量平衡普查方法》，并在直属火力发电厂中开展了能量平衡工作。为适应各方面的要求，又将其修订为包括：燃料、热、水、电平衡在内的《火力发电厂能量平衡普查方法》。

1992年，根据原能源部下达制定电力行业标准计划项目的要求，着手编写《火力发电厂能量平衡导则》，能源部先后组织了三次较大的修改，并于1996年由电力工业部正式批准发布，可作为供各火力发电厂进行能量平衡工作的遵循导则。借此机会向为本导则提出宝贵修改意见的：国家电力公司华东公司薛玉兰、国家电力公司西北公司胡慰才、河北省电力公司丁焕翔、中国华北电力集团公司祝宪等同志表示感谢。

总则对火力发电厂的能量平衡工作做了一些原则性的规定，如：能量平衡普查的基本方法，开展能量平衡工作的程序，燃料、热、水、电能的平衡边界，总结报告的格式，验收标准等。

1. 能量平衡的定义

火力发电厂能量平衡是以火力发电厂为对象，研究直接用于发电、供热的主要能源的输入、输出和损失之间的平衡关系。

结合火力发电厂的实际情况，为便于直观分析问题，简化能量平衡过程，没按《企业能量平衡通则》规定，把各种能源和高耗能源材料都折成标准煤的作法，而是把火力电厂的能量平衡分成四个部分：燃料、热、电能、水四个平衡分别进行，使能量平衡工作更加清楚、条理，便于指导电厂的节能工作。对不是直接用于发电、供热的能源如汽车用油等不列入能量平衡范畴，使能量平衡工作简化。

2. 能量平衡的目的

通过能量平衡普查，查清火力发电厂各主要生产环节能源消耗情况、节能潜力所在，

用于指导火力发电厂的节能技术改造、节能科学管理，提高各厂的能源利用率，普查中除了量的平衡之外，涉及一些能耗指标，通过这些指标与设计值及国内先进水平等比较，为节能工作确定方向。

3. 能量平衡的基本方法

能量平衡整个过程是围绕以下几方面工作展开的：

- (1) 画出符合本厂实际情况的燃料、热、水、电能平衡框图；
- (2) 把框图上需要填的数据准确地填上；
- (3) 通过指标对比分析，如与设计值，有关标准考核值，或先进指标对比分析，降低能源损失。

能量平衡框图需要填的数据，指标完成情况的来源，有累计计量表的按累计量表取值，有记录表的按记录表取值，无记录表的按指示表统计，无记录表的采取测量方式取值，有的还需通过试验获得数据。无论用什么方法获得的数据都要求尽可能齐全、准确，使能量平衡的不明损失降到最低。

4. 能量平衡工作的组织工作

能量平衡普查工作必须由主管生产的厂长（或总工）负责、牵头，负责人员的调配，计量仪器仪表、测量器具的备置，机组运行方式的确定，能量平衡大纲的编制，总结报告的审批。

能量平衡工作分成四个组，燃料、热、电、水普查小组负责本专业能量平衡普查提纲的编制、测试，直至提出专业能量平衡报告。

能量平衡工作的归口应归到节能专工，负责全厂的能量平衡大纲的编制、培训、测试工作的协调，直至交出全厂的能量平衡报告。

参加能量平衡普查的人员必须进行培训，了解此项工作的方法、步骤。

能量平衡的边界划分如下：

燃料平衡——从电厂入厂燃料计量点至入炉煤计量点。

热平衡——从入炉燃料计量点至发电机输出、供热输出计量点。

电能平衡——高压厂用变电能计量点、购入电能计量点至各用电设备。

水平衡——由向电厂供水总表至电厂向外供水表及各排放口。

5. 能量平衡总结报告的内容

任务的来源：是部、局、统计安排的，是扩建、改造增加的，还是按周期五年一次搞的。

本次能量平衡的开展情况、组织、培训、普查过程中好的作法等。

电厂基本情况简介、装机台数、容量、建设、投产日期、型号等。

年发电能力、供热能力，主要能耗指标，如：供电煤耗、厂用电率、发电煤耗、发电水耗、厂用电率等。

本厂近期已实现了的节能技改措施及效果。

根据能量平衡分析出浪费能源（煤、热、电、水）所在，提出节能技术改造、节能管理方面的建议。

附以下材料：燃料平衡报告、热平衡报告、电平衡报告、水平衡报告、热、燃料、电、水的平衡框图、各专业数据汇总表、汽轮机、锅炉热力特性曲线。

6. 验收标准

在 DL/T 606.1—1996 中进行验收标准的目的是，在能量平衡工作验收时，大家有个可遵循的标准，同时也为能量平衡普查工作提出应注意的事项。

(1) 能量平衡工作的组织

- 1) 能量平衡领导小组的组成；
- 2) 能量平衡普查大纲；
- 3) 能量平衡参加人员的培训情况。

(2) 能源的计量

能量平衡之前对燃料计量、电能计量、汽、水计量的仪器仪表必须进行检查、校验，目的是保证在平衡期内计量的准确性。

要求有汽、水、电的计量点图，能量平衡之前应重新进行现场核对，保证图的准确性。

(3) 对计量率的要求，能量平衡四个组成部分不出现较大的差错

为保证平衡工作的质量——减少不平衡量，对能源的计量率有原则要求：

蒸汽的计量率：外供热的计量率 100%，锅炉主蒸汽量，汽轮机进汽量计量率 100%；生产自用汽计量率 90% 以上，非生产用汽计量率 80% 以上，生产、非生产用汽不能计量的应有测量计算办法。

水计量率：进厂水计量率 100%；化学进、出水的计量率 100%；二级（按分场）用水的计量，计量率应在 60% 以上，无计量的采取临时测量；非生产用水有表的按表计量，无表的临时测量。

电能计量率：发电、供电、生产用电、非生产用电、外购电量、高压转机电能计量 100%，100kW 及以上电动机的计量率在 90% 以上。

7. 平衡测试工作

总的要求能量平衡期内各种能源量的计量、测量尽可能地全面、准确，DL/T606—1996《火力发电厂能量平衡导则》提出了一些要求，实际中还会遇到一些情况，只好根据实际情况想办法进行测量。验收时，采取临时测量的要有计算，以测试记录为依据。

8. 对能量平衡报告本身的要求

四图、四表（四张平衡图、四张平衡图的数据汇总表），汽轮机、锅炉的热力特性曲线，能源损失原因的分析，提出的节能技改措施和管理措施要求具体、实际。

第二讲

《火力发电厂能量平衡导则总则》分析

DL/T 606.1—1996

桂学谦

一、概述

DL/T 606.1—1996《火力发电厂能量平衡导则总则》规定了火力发电厂开展能量平衡工作的内容和方法，火力发电厂能量平衡工作包括火力发电厂燃料平衡、热平衡、电能平衡和水平衡工作。

火力发电厂能量平衡工作采用统计计算与测试相结合的方法，根据火力发电厂能量平衡的结果进行火力发电厂节能潜力分析，提出节能降耗的建议。

二、火力发电厂能量平衡的定义

火力发电厂能量平衡是以火力发电厂为对象，研究直接用于发电、供热的能源的输入与支出之间的平衡，换句话说，是研究直接用于发电、供热的能源的输入、有效利用和损失之间的平衡关系。

1. 能源

所谓能源系指可以直接带动机器做功和供热的物质，以自然资源存在的能源，叫做一次能源，例如煤炭、石油、天然气等。而由一次能源经过加工转换得到的能源，叫做二次能源，例如电力、石油制品、蒸汽、热水等。此外，火力发电厂生产工艺过程中需要耗用相当数量的水、压缩空气等工质，这些工质虽然不是用作能源，但是为了生产这些工质却要消耗不少能源，称为耗能工质。为生产耗能工质所消耗的能源也要计入企业的能耗之中，即要折算到一次能源中。

2. 能源消耗量计算

(1) 对于一次能源（煤、石油、天然气）除了要计量外，还要测量它的收到基发热值，并换算为标准煤量，这里规定低位发热量等于 29.27MJ/kg 的煤称为 1kg 标准煤，如实际耗煤量为 B kg，煤的收到基低位发热量为 $Q_{\text{net,ar}}$ MJ/kg，则换算的标准煤量为

$$B_n = B \frac{Q_{\text{net,ar}}}{29.27} \quad (1)$$

燃油和天然气的既可以直接换算到标准煤量，也可以先把燃油量或天然气量换算成入炉煤低位发热量下的折算入炉煤量，并把折算入炉煤量加到式（1）的 B 中，然后按式（1）计算标准煤量。

（2）对于二次能源与耗能工质向一次能源的折算，应根据一定的规定进行。这里介绍能源等价值的概念，所谓能源等价值，是指为得到一个单位的二次能源（如电力、石油制品、蒸汽、热水等）或一个单位的耗能工质（如各种水、压缩空气等），在工业上实际要消耗的一次能源的能量。用能源等价值折算各种能源，就可以将各种能源统一到一个共同的计算起点，便于企业能源的统计计算和管理。由二次能源或耗能工质折算到相应的一次能源原则上采用式（2）计算

$$A = \frac{B}{C} \quad (2)$$

式中： A ——二次能源和耗能工质的能源等价值；

B ——二次能源和耗能工质具有的能量；

C ——转换效率。

电力的能源等价值的计算方法是：当电力是由电网购入时，应根据国家电力主管部门的规定计算；当电力为自产时，则由其能源等价值折算成标准煤量。我们知道， $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3600\text{kJ}$ ，如果火力发电厂生产电能的转换效率为 30%，则 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 电力的能源等价值为

$$A = \frac{B}{C} = \frac{3600}{30\%} = 12000 [\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})]。$$

如果锅炉生产某参数下的蒸汽的焓值为 3441kJ/kg ，该锅炉的实际效率为 91%，则 1kg 蒸汽的能源等价值为 $A = \frac{B}{C} = \frac{3441}{91\%} = 3781 (\text{kJ/kg})。$

由此看来，二次能源和耗能工质的能源等价值并非是一个固定的数值，而是随生产工艺、生产设备的效率的改变而改变的。火力发电厂广泛应用的各种水，如循环冷却水、化学除盐水、工业用水、生活用水等，均属于耗能工质，它们折算到一次能源的方法是按生产单位产量的水所消耗的电量来计算的，如生产 1kg 化学除盐水需耗电 $N\text{kW} \cdot \text{h}$ ，若电力的能源等价值为 $12000\text{kJ}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ，则 1kg 化学除盐水折算到一次能源的能量是 $N \times 12000\text{kJ}$ ，即该化学除盐水的能源等价值为 $12000N\text{kJ/kg}$ ，折合标准煤量是 $0.41N\text{kg}$ 。

3. 能量平衡体系

能量平衡体系是能量平衡的对象。火力发电厂能量平衡以火力发电厂为对象，能量平衡体系有明确的边界线，即燃料转化为电能和热能这一生产过程构成的生产系统，具体说：火力发电厂燃料、热、电、水的入厂计量点到燃料、热、电、水出厂或排放计量点之间构成火力发电厂能量平衡的体系边界。体系以外称为外界。

4. 输入能量

输入能量是体系所收入的全部能量，例如锅炉—汽轮发电机组这一热平衡体系中，输入能量为一次能源（煤、燃料油等），外来热源加热空气，燃油雾化用外来蒸汽等外界能源供给体系的能量。而本系统的能量回输（如给水回热、厂用电回输）不作为体系的输入能量。

5. 输出能量

输出能量是体系所输出的全部能量，例如锅炉—汽轮发电机组这一热平衡体系中，输出能量为供电量、供热量（热电厂）和各种综合损失。

6. 有效利用能量

火力发电厂的生产目的是向用户提供电能和热能（热电厂），因而锅炉—汽轮发电机组这一热平衡体系中的有效利用能量为供电量和供热量。

7. 损失能量

损失能量是指输入能量（供给能量）中未被利用的部分，例如锅炉的排烟损失、化学不完全燃烧损失、机械不完全燃烧损失、散热损失、灰渣热损失等；管道热损失、汽轮机冷源损失、散热损失、机械摩擦损失、蒸汽的热能转换为机械能的转换损失等；发电机的机械能转换为电能的转换损失、电能输送损失等。

三、火力发电厂能量平衡的目的

通过火力发电厂能量平衡工作，查清火力发电厂各主要生产环节的能源消耗情况，找出节能潜力所在，为确定火力发电厂节能工作方向，实施节能技术改造，提高能源利用率，实现节能降耗科学管理提供依据。火力发电厂能量平衡工作的目的，或者从火力发电厂能量平衡工作结果来看，通过全厂能流图数据表和能流图（包括燃料、热能、电能、水）（见图1），可以明显地表示出火力发电厂各主要生产环节各种能源的收入和支出的情况，消耗与有效利用及损失之间的数量关系。找出的各主要生产环节的损失与数量，就是

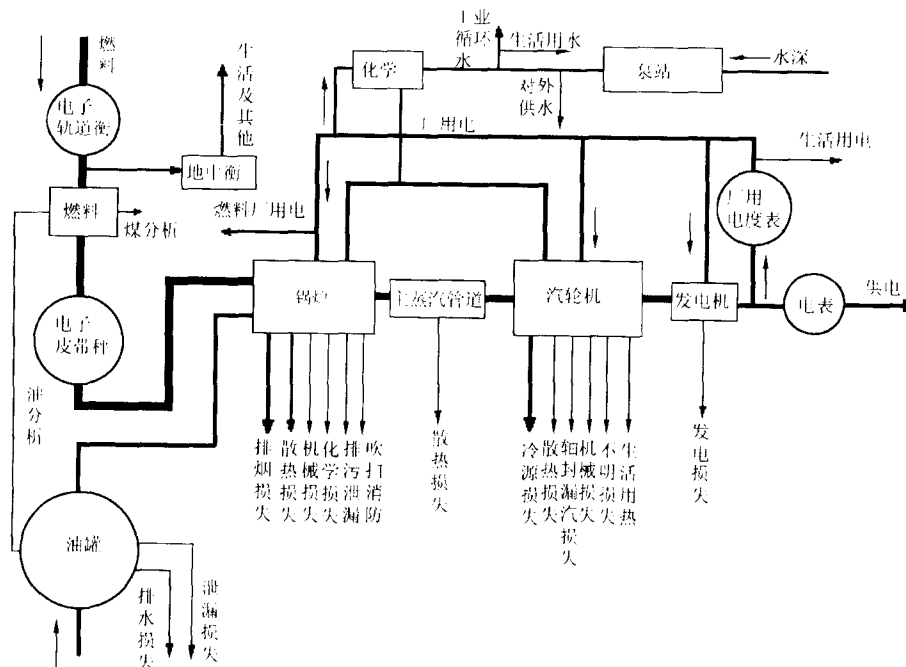


图1 火力发电厂能源流程框图

火力发电厂节能潜力之所在，并据此提出火力发电厂节能工作的方向，有针对性地实施节能技术改造，从而提高火力发电厂的能源利用率。我国能源的总方针是：“开发与节约并重，近期要把节约放在优先地位。”而企业能量平衡工作是企业节能工作的重要基础工作，形象地说，企业能量平衡工作是个纲，纲举目张。

四、火力发电厂能量平衡的技术指标

企业能量平衡的技术指标能反映和衡量企业的用能水平、企业设备的性能水平和使用状况。火力发电厂能量平衡的技术指标分为能耗指标、设备热效率、企业能源率等。

1. 能耗指标

(1) 单耗

单耗是指产品单位产量事物能耗或单位产值事物能耗。就火力发电厂而言，即在统计期内（或平衡期内），火力发电厂发出或供出的 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 电量或 1GJ 热量平均耗用的标准煤量，通常用供电标准煤耗和供热标准煤耗来表示。供电标准煤耗的计算为

$$b = \frac{1000000 B}{W - W_f} \quad (3)$$

式中： b ——供电标准煤耗， $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ；

B ——平衡期全厂标准煤总用量， t ；

W ——平衡期全厂总用电量， $\text{kW}\cdot\text{h}$ ；

W_f ——平衡期用于发电的厂用电量， $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

对于热电厂，供电标准煤耗的计算为

$$b_d = \frac{1000000 B_f}{W - W_f} \quad (4)$$

式中： b_d ——热电厂供电标准煤耗， $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ；

B_f ——平衡期热电厂用于发电的标准煤用量， t ；

W ——平衡期全厂总发电量， $\text{kW}\cdot\text{h}$ ；

W_f ——平衡期用于发电的厂用电量， $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

热电厂供热标准煤耗计算为

$$b_r = \frac{1000 B_r}{Q_r} \quad (5)$$

式中： b_r ——供热标准煤耗， kg/GJ ；

B_r ——平衡期热电厂用于供热的标准煤量， t ；

Q_r ——平衡期热电厂供热量， GJ 。

此外，在平衡期内，火力发电厂单位产值能耗分别用式（6）~式（7）表示

$$E_e = \frac{B}{G_e} \quad (6)$$

式中： E_e ——统计期（平衡期）电量产值能耗， t （标准煤）/万元；

B ——统计期（平衡期）供电标准煤耗量， t （标准煤）；

G_r ——统计期（平衡期）供电量净产值，万元。

$$E_r = \frac{B_r}{G_r} \quad (7)$$

式中： E_r ——统计期（平衡期）供热量产值能耗，t（标准煤）/万元；

B_r ——统计期（平衡期）供热标准煤耗量，t（标准煤）；

G_r ——统计期（平衡期）供热量净产值，万元。

(2) 综合能耗

单耗指标仅指用于直接供电和供热的标准煤耗量，而实际上，火力发电厂作为一个企业还有许多不计入供电（或供热）煤耗的燃料和能源，例如《电力网火力发电厂省煤节电工作条例》中规定了若干不计入煤耗和厂用电的燃料与电力，如自备机车、船舶等耗用的燃料与电力；修配厂、副业、综合利用以及非生产用的燃料和电力等等，还有的火力发电厂需要从外面购入耗能工质（如水、电石等），因此需要有一个衡量企业耗能总状况的综合指标。综合能耗就是把火力发电厂消耗的各种能源以及耗能工质，统一加以综合计算，并折算到一次能源的耗量，以进行企业总的能耗评价和分析。

在统计期（平衡期）内，火力发电厂单位综合能耗按式（8）～式（9）计算：

$$\begin{aligned} 1) \text{ 电力单位产量综合能耗} &= \frac{\text{总综合能耗}}{\text{产品总产量}} \\ &= \frac{\text{统计期全厂各种能源耗量}}{\text{统计期总供电量}} [\text{t (标准煤) / (kW} \cdot \text{h)}] \quad (8) \end{aligned}$$

$$2) \text{ 热量单位产值综合能耗} = \frac{\text{统计期全厂各种能源耗量}}{\text{统计期总供热量}} [\text{t (标准煤) / GJ}] \quad (9)$$

2. 设备热效率

设备热效率是指使用燃料和利用热量的设备的热效率，火力发电厂中，这类设备很多大到锅炉—汽轮发电机组，小到一台换热器、暖风器，这里只介绍常用的锅炉热效率和汽轮机效率的计算公式，其余设备热效率计算可参考有关资料。锅炉热效率按照国家标准 GB10.84—88《电站锅炉性能试验规程》的规定，计算公式如下：

正平衡法计算公式

$$\text{锅炉热效率} = \frac{\text{输出热量}}{\text{输入热量}} \times 100\% \quad (10a)$$

或

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_r} \times 100\% \quad (10b)$$

反平衡法计算公式

$$\text{锅炉热效率} = \left(1 - \frac{\text{各项损失热量之和}}{\text{输入热量}} \right) \times 100\% \quad (11a)$$

或

$$\eta = 100 - \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{Q_r} \times 100\%$$

$$= 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$$
(11b)

式中: η ——锅炉热效率, %;

Q_r ——每千克(标准立方米)燃料的输入热量, kJ/kg (kJ/m³)。

$$Q_r = Q_{\text{net, ar}} + Q_{\text{rx}} + Q_{\text{wl}} + Q_{\text{wh}}$$
(12)

式中: $Q_{\text{net, ar}}$ ——燃料收到基低位发热量, kJ/kg (kJ/m³);

Q_{rx} ——燃料的物理显热, kJ/kg (kJ/m³);

Q_{wl} ——当用汽轮机抽汽或其他外来热源加热暖风器空气而带入锅炉系统的热量, kJ/kg (kJ/m³);

Q_{wh} ——燃油雾化蒸汽带入锅炉的热量, kJ/kg (kJ/m³);

Q_1 ——每千克(标准立方米)燃料的锅炉输出热量, kJ/kg (kJ/m³)。

$$Q_1 = \frac{1}{B} [D_{\text{gq}}(h_{\text{gq}} - h_{\text{gs}}) + D'_{\text{zr}}(h''_{\text{zr}} - h'_{\text{zr}}) + D_{\text{zr}}(h''_{\text{zr}} - h_{\text{zr}}) + D_{\text{bg}}(h_{\text{bg}} - h_{\text{gs}}) + D_{\text{ps}}(h_{\text{bs}} - h_{\text{gs}})]$$
(13a)

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_r} \times 100\%$$
(13b)

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_r} \times 100\%$$
(13c)

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_r} \times 100\%$$
(13d)

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_r} \times 100\%$$
(13e)

$$q_6 = \frac{Q_6}{Q_r} \times 100\%$$
(13f)

式中: D_{gq} ——主蒸汽流量, kg/h;

h_{gq} ——主蒸汽焓, kJ/kg;

h_{gs} ——给水焓, kJ/kg;

D'_{zr} ——再热蒸汽流量, kg/h;

h_{zr} 、 h''_{zr} ——再热器进、出口蒸汽焓, kJ/kg;

D_{zr} ——再热器减温水流量, kg/h;

h_{zr} ——再热器减温水焓, kJ/kg;

D_{bg} ——饱和蒸汽抽出量, kg/h;

h_{bs} 、 h_{bg} ——饱和水和饱和蒸汽焓, kJ/kg;

D_{ps} ——排污水流量, kg/h;

Q_2 ——每千克(标准立方米)燃料的损失热量, kJ/kg (kJ/m³);

Q_3 ——每千克(标准立方米)燃料的可燃气体未完全燃烧损失热量, kJ/kg (kJ/m³);

Q_4 ——每千克（标准立方米）燃料的固体不完全燃烧损失热量，kJ/kg（kJ/m³）；

Q_5 ——每千克（标准立方米）燃料的散热损失热量，kJ/kg（kJ/m³）；

Q_6 ——每千克（标准立方米）燃料的灰渣物理显热损失热量，kJ/kg（kJ/m³）；

q_2 ——排烟热损失，%；

q_3 ——化学不完全燃烧损失，%；

q_4 ——机械不完全燃烧损失，%；

q_5 ——锅炉散热损失，%；

q_6 ——灰渣物理热损失，%。

汽轮机热效率的计算按国家标准 GB 8117—1987《电站汽轮机热力性能验收试验规程》定义为

$$\eta_i = \frac{3600}{HR} \quad (14)$$

式中 η_i ——汽轮机热效率，%；

HR——热耗率，kJ/（kW·h）。

热耗率定义为该汽轮机系统从外部热源取得的热量与其输出功率之比，即

$$HR = \frac{\sum(D_j \Delta h_j)}{P} \quad (15)$$

式中： D_j ——质量流量；

Δh_j ——焓升。

式（15）右方式子中分子为从外部热源取得的热量之和，对于再热机组是

$$\sum(D_j \Delta h_j) = D_{pq}(h_{pq} - h_{gs}) + D_{zq}(h''_{zq} - h'_{zq}) \quad (16)$$

对于供热机组，应扣除外供的热量 Q_r 。

3. 企业能源利用率

企业能源利用率是企业消耗的各种能源折算为一次能源总消耗的有效利用程度，即

$$\eta_e = \frac{E_v}{E} \times 100\% \quad (17)$$

式中： η_e ——企业能源利用率，%；

E_v ——企业有效利用能量，t（标准煤）；

E ——企业综合能耗量，t（标准煤）。

火力发电厂有效利用能量是指统计期（平衡期）内对外供电量和供热量，同时，火力发电厂厂用电以及非生产用电量和用热量也应作为有效利用能量。

4 火力发电厂能量平衡期的确定

所谓能量平衡期，即是在这一时间段进行能量平衡的统计计算和测试工作。DL/T 606.1—1996《火力发电厂能量平衡导则总则》中规定火力发电厂能量平衡期原则上为一个月，凝汽式电厂的能量平衡期选在春季或秋季，热电厂选择两个平衡期，一个在冬季（十二月或一月），一个在夏季（七月或八月）。能量平衡原则上每五年进行一次。遇有特

建、大型改造项目，在正常运行后要补做一次。新、老机组厂房分开布置的扩建电厂应分别做能量平衡。

5. 火力发电厂能量平衡边界

前面已经介绍了能量平衡体系这一概念，就能量平衡体系而言，火力发电厂是一个大的能量平衡体系。根据对象不同，火力发电厂能量平衡体系又可以分为：燃料平衡体系、热平衡体系、电能平衡体系、水平衡体系，各体系均有明确的体系边界。每个能量平衡体系的边界都以能量计量点的位置来表示：燃料平衡的边界是从入厂燃料计量点到入炉煤计量点；热平衡边界是从入炉煤计量点到发电机输出端、供热输出端计量点；电能平衡边界是从高压厂用变压器电能计量点及购入电能计量点至各用电设备；水平衡边界是由电厂供水总表至电厂向外供水表和各排放水口。

6. 能量平衡数据处理

火力发电厂能量平衡统计计算与测试数据计算要求：

- (1) 凡需取值的计量仪表均需经校验并保证规定的精度。
- (2) 有累计计量表的，按计量表取值。
- (3) 有指示表（或记录表）的，按要求从指示表（或记录表）取值。
- (4) 与负荷无关，无表计计量的，采取实测方法，并统计运行时间，平衡期内实测不少于3次。
- (5) 对某些未测或测量有困难的能耗设备的耗能情况，根据现场实际条件可采取测量、计算、估算与统计相结合的方法解决，如采暖设备（系统）采用采暖指数和采暖面积估算采暖耗热量；除氧器排空蒸汽量的测量计算，回热系统设备排放流量的计算、估算；蒸汽及给水管道的损失的计算。

五、火力发电厂能量平衡的基本方法

火力发电厂能量平衡采取测量、试验和统计计算、分析相结合的方法。当企业能量平衡采用统计计算的方法，在统计资料不足，统计数据需要校核及特殊需要时，应进行测试，测试结果反映的是测试状态下的水平，应折算为统计期（平衡期）运行状态下的平均水平。统计计算以统计期内的计量、记录及统计数据为基础进行综合计算。火力发电厂的重点耗能设备都要进行测试，火力发电厂重点耗能设备有：锅炉机组，汽轮发电机组，给水泵，循环水泵，送、引风机，制粉设备（磨煤机、给煤机、给粉机等）变压器等。

根据能量平衡验收标准，火力发电厂能量平衡期内，能够统计和测试的耗能量之和应不少于同期内生产耗电量的80%，同类型、同规格的设备，且用能工况相近的，可选择其中具有代表性的设备进行典型测试。在DL/T 606.1—1996附录B中列出了一些能源的计量率及设备测量率。

六、火力发电厂能量平衡资料整理

火力发电厂能量平衡工作应整理出以下资料：

- (1) 能量平衡工作中测量、试验使用的仪器、仪表以及校验记录汇总表。