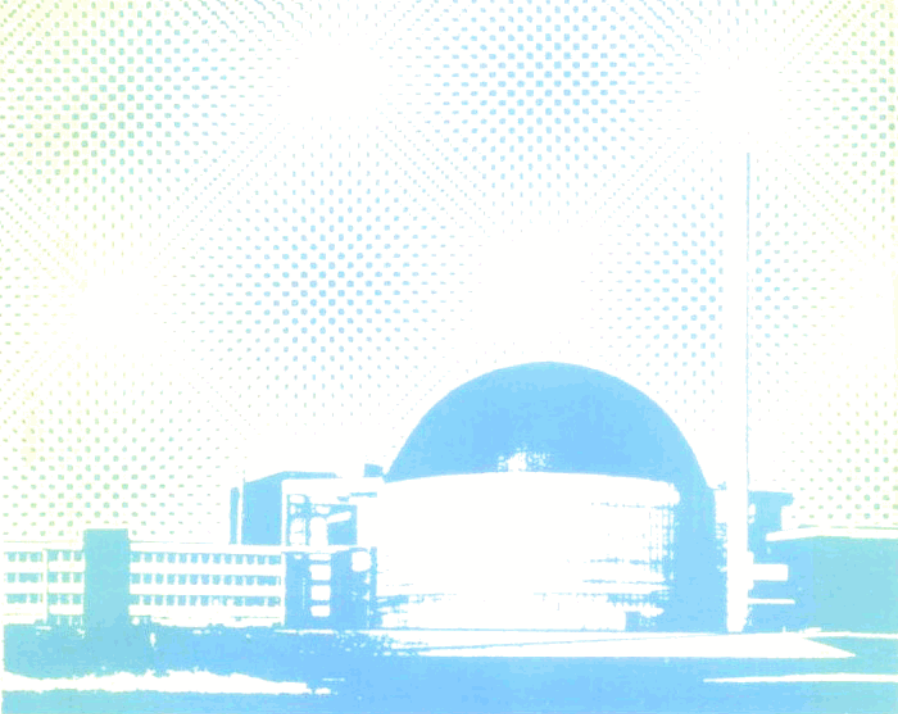




IAEA-TECDOC-753

各种发电系统的 争能分析

Energy Analysis of Different Electricity Generation Systems

原子能出版社

412759

IAEA-TECDOC-753

各种发电系统的净能分析

王景书 赵玉莲 倪世伟 译

郭裕中 校



原子能出版社

北 京

图字: 01-97-0206 号

图书在版编目(CIP)数据

01/07/22

各种发电系统的净能分析/国际原子能机构著;王景书等译. —北京:原子能出版社,1997.3

书名原文:Net Energy Analysis of Different Electricity Generation Systems
ISBN 7-5022-1097-0

I. 各… II. ①国… ②王… III. 发电-电力系统-电能-分析 N. TM744

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 03100 号

© 原子能出版社,1997

原子能出版社出版 发行

责任编辑:赵文惠

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本 850×1168mm 1/32 印张 5.75 字数 156 千字

1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000

定价:13.00 元

内容简介

本书是国际原子能机构的一份技术文件(IAEA-TECDOC-753, Net Energy Analysis of Different Electricity Generation Systems)的中译本,它是一份关于核电和其他发电系统的净能分析报告。原文件是由国际原子能机构核动力处的 Y. Tatsuta 根据 3 位顾问专家的供稿编写而成的。

全书分 4 章,主要包括:净能分析研究的背景;电力生产中的净能分析;净能分析研究成果摘要;净能分析研究述评。正文后附有参考文献。

本书可供从事能源政策、能源经济和评价、核电和其他电力生产以及环境保护等领域的科技人员和政府管理部门参考,也可供高等院校有关专业师生阅读。

译者的话

能源和环境问题已成为当今举世瞩目的问题,各个国家都依据自身情况,开展了广泛的研究。国际原子能机构(IAEA)根据有经验专家的供稿编写了关于核电和其他发电系统净能分析报告。该报告集中地反映了70年代中期以来的有关研究成果,并予以综合评述,给出了大量有价值的信息和有意义的结论。

近年来,我国能源工业发展迅速,发展核电势在必行;此外,由于能源与环境的必然联系,在进行能源决策时,环境保护问题已成为必须考虑的因素。希望本书的出版能对我国的能源政策制定,环境保护研究提供一些帮助。

本书原始资料来自不同国家,各位作者使用的术语、概念不尽相同,尽管翻译时作了统一,但仍有不协调之处,望读者予以谅解。

本书第1,2,4章及部分第3章由赵玉莲译,第3章由倪世伟译,其余部分由王景书译,王景书为全书作了统稿工作。

傅济熙研究员仔细地审阅了本书译稿,提出许多修改意见,使本书得以顺利出版,在此致以谢意。

由于译者专业所限,书中难免仍有理解不妥之处,敬请读者批评指正。

一九九七年二月

前 言

本文件为一份关于核电和其他发电系统的净能分析报告。

本文件的主要目的在于：

提供一份关于核能和其他能源发电系统净能分析知识的综合评述，论述诸如核能是否产生净能之类的老问题。

此外，也讨论将净能分析法重新应用于环境问题所进行的工作。预期这项工作对国际原子能机构正在进行的关于各种能源系统的综合比较评价工作会有所贡献。

按照这些目标，1992年12月，国际原子能机构的3位有经验的顾问就这些主题编写了关于净能分析和相关课题所选定研究工作的摘要。本文件中出现的术语、方法及结果差别较大，即使像能量成本、能量投入、能量需求等最基本的术语，也有其不同的命名法。事实上，70年代中期以来，研究工作已如此之多，以致几乎不可能全都予以评述。

本文件仅就所选出的、专家们认为重要的工作加以评述。所评述的研究，特别是有关核电的研究结果表明，核能发电具有正的能量平衡，并得出其他一些令人感兴趣的结果。

本文件是核动力处的Y. Tatsuta用C. Weber(德国)、W. Sinke(荷兰)和Y. Uchiyama(日本)的来稿编写的。

编者谨向给予本文件编写工作大力协助的所有专家以及为此派出专家协助国际原子能机构的各成员国表示感谢。

目 录

第1章 背景	(1)
第2章 电力生产中的净能分析	(5)
2.1 净能分析的概念	(5)
2.2 研究范围	(6)
2.3 基本术语	(7)
2.4 方法学	(13)
2.5 关于发电系统净能分析的争论	(19)
第3章 净能分析研究成果摘要	(26)
第4章 净能分析研究述评	(92)
4.1 从过去的研究工作调研中得出的主要结果	(92)
4.1.1 发电技术的能量需求	(92)
4.1.2 核电和其他发电技术的净能分析	(92)
4.1.3 可再生能源系统的净能分析	(94)
4.2 净能分析的一些老问题	(95)
4.3 有关方法学的一些看法	(97)
4.4 净能分析的新应用	(100)
参考文献	(112)
缩略语	(126)
文稿和述评的撰写人名单	(127)

第1章 背景

净能分析的起源或许可追溯到诺贝尔奖金获得者 Frederick Soddy 爵士提出的认为能量是一种比货币更基本的记帐单位的思想,这一想法当时虽不曾为人们所接受,但是,用能量的思想方法来分析经济的思想在 20 世纪 70 年代再次被提出。出发点是多种多样的,有的从货币和能量是沿着同一路径流动但流向相反的想法为出发点,有的以铜和铝生产的能量输入和再循环的研究为出发点,最值得注意的是以核电研究为出发点^[26]。

虽然兴趣各不相同,但有两种不同的方法已为大家所采用,这就是由 Leontief 最先开发的用于经济学的投入/产出(I/O)分析法和过程分析法。投入/产出方法的矩阵形式使人们能够识别出货币和能量由一个经济部门向另一个经济部门的流动,而后一种方法则着眼于某实际生产过程并试图确定该生产过程能量和材料的投入及产出。大多数过程就是对一些投入本身进行加工,这意味着分析必须追溯全部生产过程,其反馈回路往往能将过程的每一部分与另一部分的一个或多个点联接起来^[26]。

在 20 世纪 70 年代和 80 年代的早期,进行了大量的能量分析研究。其中的一些有着不同目的,从而影响了以后结果的含义和解释。最初的常规性工作在一定程度上反映着当时主要的关注点,即对矿产资源枯竭的恐惧,因而当时的工作主要集中于化石燃料方面,这就能部分地解释能量分析为何侧重于一次能源。进而,也能解释为何人们用热值来度量能量,因为,这样做便可将获自不同化石燃料的能量累加在一起,而不必考虑它们之间的差别。

然而,与此同时,人们也在将能量分析用于被认为有更重要作用的领域。对化石燃料明显短缺的关注已导致试图扩大诸如核电等非化石能源的使用,以及对主要涉及可再生能源的新能源技术的开发。

据认为,在多数情况下,用传统方法来评价这些技术是不适宜的,这主要是因为这种评价估算出的成本高出化石燃料能源的市价。然而,由于化石能源未来价格的不确定性,这种办法正越来越被认为是不可靠的。因此,人们主张需要有一种能避免这类问题的替代的评价方法。能量分析似乎能提供这种替代方法,因为它完全是以物理特性为依据,而物理特性与经济测量值不一样,不会有因市场不可预见行为所造成的潜在的无规则波动。简而言之,能量分析借助于净能需求可提供一种方法将一项新技术的能量投入与其能量产出直接进行比较。人们已把这种净能平衡的评价看作是对一项新能源技术的最终检验。如果一项新技术消耗的能量比其产出的还要多,则不会为能源供应提供有用的贡献,也就不能被看作是一种净能生产技术。相反,当能量短缺时,如果一项新技术能够达到净能需求值小于1,则即使发现其经济评价的前景不佳,也应予以采用^[146]。

然而,这样简单的推理涉及许多问题^[146],特别是当把能量输入与能量输出作比较时。实际上对能量输入与能量输出进行推理比较必须加以仔细限定。虽然在对一项产热技术实施能量分析时没有立即发生问题,但对于具有其他形式产出(特别是电和供输送的液体燃料)的技术就会出现难题。热力学对于以电力形式产出时为何一单位的热能不能产生一单位的电能有合理的解释,因此,以净能需求值不应超过1作为检验的根据,就存在根本的缺陷。然而,一个更为现实的结论是净能分析若作为一种绝对检验法,并不能提供出在任何情况下均能得以解释的结果。更确切地说,净能分析提供的是能够用来进行比较的结果。另外,很可能要对能量分析中有关燃料消耗的基础数据作些修正,以便能对能量的输入与输出进行直接比较。

除去这些问题,能量分析在发展的早期还受到传统经济学理论观点的批判^[24]。主要的指责是能量分析试图促使用能量价值理论替代传统的经济学评价方法,特别是在分配储藏有限的资源方面。然而,大多数能量分析家将这项技术视为对传统的经济学评价方法的有益的补充。能量分析能够给出供能源配置决策所依据的补充性信

息。此外,将能量分析与经济学评价合并使用可以修正经济学评价中隐含的可导致资源误配置的错误。估算一种新能源技术未来可能的费用是决策过程的一个关键。然而,在进行这样的估算时,无疑的已将对燃料价格的假设包含在内了。这就使传统的经济学评价出现异常。照理能量分析本会预见到这一根本性问题,并通过将此技术结果与传统的经济学评价结合的方式将其解决,这样,决策人员就可得到关于新能源技术前景的正确建议。实际上,能量分析已被用来识别传统的经济学评价得出的潜在的误导性结论。确实,这项技术在美国已成为一种法律要求*。

1973年的能源危机引发了详细评估我们的经济系统生产各种物品和提供各种服务中使用多少能量的研究工作。在这方面,自1974年以来曾进行过各种针对核电净能分析的研究,这样的研究工作对包括资源开采、设备制造、设施建造、设施运行、退役和废物处置在内的燃料循环各个环节进行评估。研究结果基本上表明,核电具有正的能量平衡,而且对初始输入能量的回报时间较短。然而,核电的反对者仍然宣称,在核电规划的建设阶段核电用于建厂和运行的能量比其产出的要多。最近,尽管核电已被看作是减少温室气体(GHG)的最佳方法,但仍有人声称核电(至少在其建设阶段)是温室气体的净产出者,而不是净消除者(avoider)。

这些老问题集中在:

(1)核电在其建造、运行和相应的燃料循环活动中需要的能量是否比其在寿期内所产出的能量要多。

(2)在迅速建造阶段,核电消耗的化石能源是否比烧化石燃料的电厂所消耗的要多。

(3)短期迅速建成核电站是否会增加能源需求和增大温室气体排放,而不是抑制其排放。

* Public law 93-77, Federal Non-Nuclear Energy Research and Development Act of 1974, 42-USC-5904, Us Congress, Washington, DC, USA, 1974.

IAEA 组织进行了关于核电系统和其他能源系统净能分析知识状况的评述, 目的在于:

(1) 评价过去进行的用于发电的核能源链、化石能源链以及可再生能源链的净能分析研究。

(2) 研究为改进、修订或扩展已经进行的工作, 特别是为实现用于发电的核能源链、化石能源链以及再生能源链的相互能量平衡协调而进一步进行工作的价值。

此刻净能分析的相关性甚至更加重要, 因为人们对于主要集中在环境方面的比较评价, 特别是判定不同能源系统的温室影响方面又有了强烈的兴趣。

这样的评价依赖于计算总 CO_2 排放所采用的能量数据, 其结果正被用于评价所提出的减缓全球变暖的策略。人们早已在将净能分析改进为一种不仅能把直接的而且也能把间接的 CO_2 释放量化的方法方面进行了一些工作。为了能精确地对各种能源技术引起的环境排放进行量化和比较, 就必须对包括资源开采、设施建造和设施运行在内的燃料循环每个阶段进行评估。

第2章 电力生产中的净能分析

2.1 净能分析的概念^[57,64]

净能分析已在许多重要的经济部门中应用。一些使能量分析人员异常感兴趣的领域是粮食生产系统、运输系统及能量转换系统。一般说,能量分析的定义是计算并测量社会中的能量流动,特别是将直接或间接隐藏在各类商品中的能量量化。

净能分析是能量分析的一个组成部分,它仅考查能量转换技术及能量守恒技术,并试图估算出各项技术的净能“回报”。

电力生产中的净能分析作为一种可行且实用的补充方法,已被用于评价电力生产系统的工程、经济与环境等领域。此方法可将电厂建造与运行期间直接和间接的总能量投入与其寿期内的能量产出作比较。电力生产的能量分析是一种评估投入能与产出能之间关系的方法,其中投入能(input energy)是包括诸如电厂的建造、燃料加工与贮存、材料运输等各个阶段在内的电力生产活动所需全部能量的总和,而产出能(output energy)则指该电厂在其寿期所产出能量的总和。其中,净能需求不包括一次能源的含能量。

从所讨论的系统产生一单位产出所需的总能量(total amount of energy)等于直接能量投入和间接能量投入两者之和。如果产出是以物理量为单位量度,可将其称为能量需求(energy requirement)。如果以货币量为单位量度,则称之为能量强度(energy intensity)*。在讨论各种能源的能量分析时,尤为重要是把另外两个名词:总能需求和净能需求区分开,总能需求(gross energy requirement)等于为提供一单位产出所需的直接和间接的能量之和加

* 指单位货币的能量单位数。

上初始能源的含能量，而净能需求 (net energy requirement) 则是指为从所讨论的特定来源获取能量而需从其他来源获取的能量。能量分析通常不把任何形式的体能包含在内。在分析中把体能包含在内将为评价该电力生产系统的发电效率提供标准。

净能分析基本上是一种无量纲值评价方法，其中全部商品的价值均以其能量为单位而不是以货币单位来表示。净能分析代表着一种与多维经济理论的背离，从而限制了它对于当今由市场驱动的公众政策决策的适用性。

若取核电厂为例，则产出能是电力，而投入能就是包括诸如核电厂、铀富集设施、转化设施以及后处理设施等在其建造、运行和维修各阶段所需的能量。

可将净能分析方法加以修改，用于评价各种减少温室气体（特别是 CO_2 ）排放的技术方案的有效性。

除了对一个独立的电厂进行净能分析外，还需要考虑其数量随时间而变化的各个电厂的能量投入与产出，从而计算出整个系统的净能产出。这是为了回答第 1 章所提出的问题(2)和(3)需要做的。

2.2 研究范围

我们将这项研究限定于各种发电技术，诸如使用化石燃料的发电技术（大型燃煤、燃油和燃烧天然气），核电以及各种可再生能源系统（中、小型水力电厂、地热电厂、风力电厂、海浪电厂、潮汐电厂、海洋热能转换电厂、太阳热能电厂、光能发电电厂和气化生物质能电厂）。每一种技术方案的分析范围示于图 1。具体就核电而言，需要考虑下述两个方面：

(a) 整个核燃料循环(包括 4 个部分)

(i) 核燃料循环的首端；

(ii) 核电厂；

(iii) 核燃料循环的尾端；

(iv) 铀再循环。

通常,人们将铀的再循环假定为核燃料循环尾端的一个部分。然而,在许多情况下,并未把铀的再循环包括在能量分析内,因为:

(1) 铀的再循环系统至今尚未充分确立,使用该循环的经济学数据时有很大的困难。

(2) 铀的再循环应该是在能量平衡好到足以完成再循环的条件下才加以利用。因此,从净能分析的观点看来,可以认为不把铀的再循环包括在整个核发电系统中是稳妥的。

核燃料循环分析的范围示于图 2。

(b) 核燃料循环各阶段的能量投入与产出

如图 3 所示,一般来讲,净能分析包括以下的能量和生产活动。

(i) 能量转换过程中的损失(能量转换率,加工过程中的材料损失);

(ii) 能量转换过程的直接投入(能量转换设施的运行,用于设施之间运输的材料或能量投入);

(iii) 一级间接投入能量(建造能量转换设施和材料运输过程中的材料或能量投入);

(iv) 二级间接投入能量(作为一级间接投入能量的生产设备本身的能耗,以及用于生产设备运行的材料或能量投入)。

一般说,三级和三级以下的间接能量投入,往往不予考虑,因为所涉及的能量被认为很小。

2.3 基本术语

能量分析的基本原理在于能量是一切生产过程必不可少的投入。因此,凡与能源投资或能源系统有关的一切需要能量的项目(如材料、运输、建造、维修等)均可转换为能量。并可将这些能量综合为诸如能比、增益因子或者能量回报时间之类的因子。

可再生能源

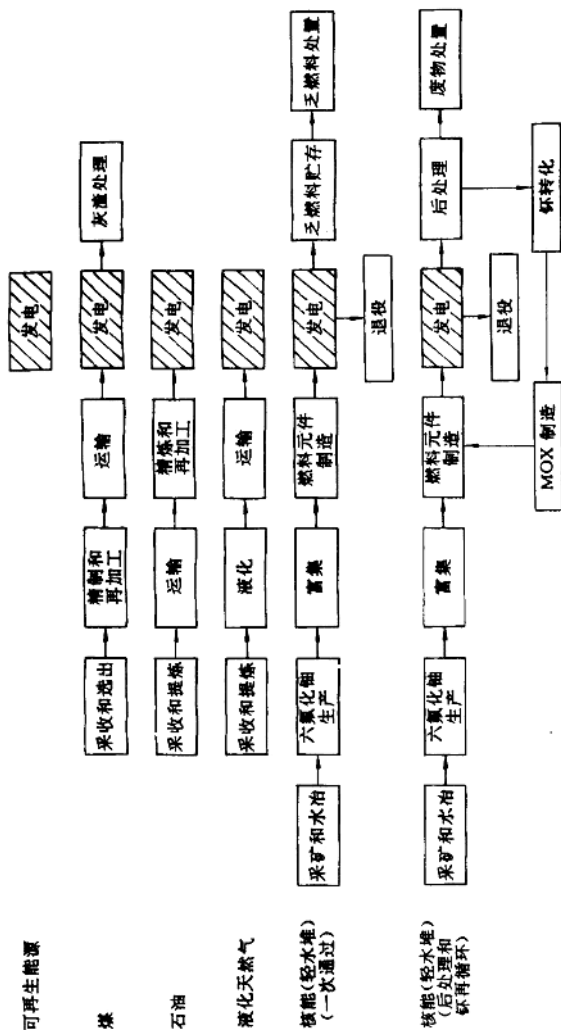


图 1 各种技术方案的能量分析范围

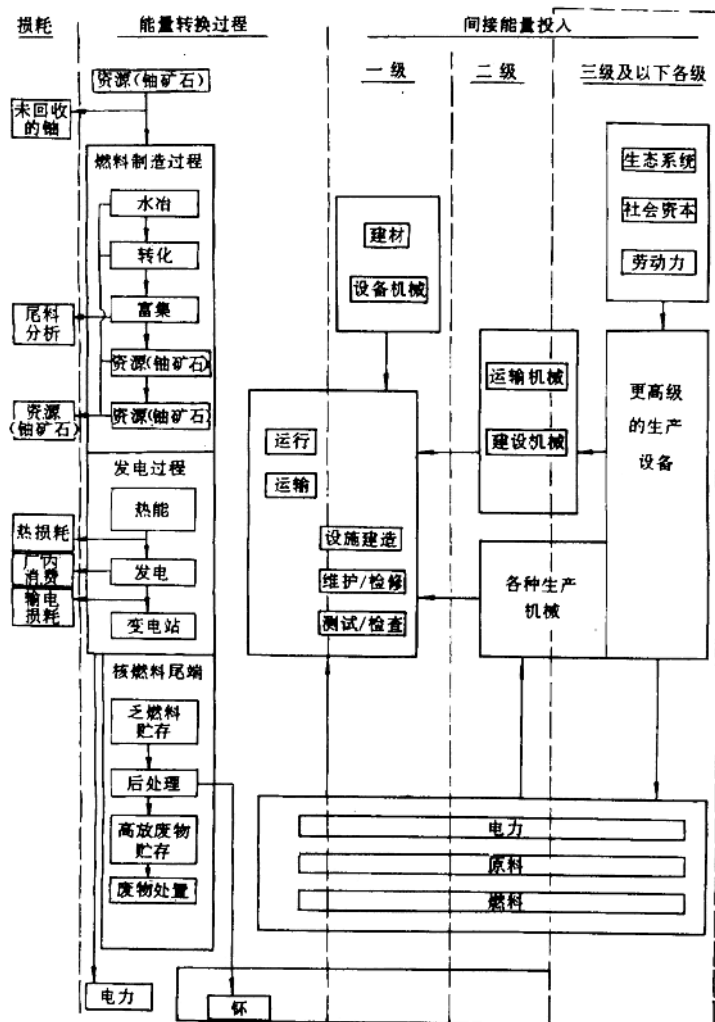


图 3 核能的净能分析范围