

# 船用齿轮设计技术的发展趋势

王世安<sup>1</sup>, 田 广<sup>1</sup>, 游克全<sup>1</sup>, 常 山<sup>2</sup>

(1. 海军驻第七〇三研究所军事代表室, 黑龙江 哈尔滨 150036;

2. 哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

**摘 要:** 船用大功率齿轮传动的突出特点是高速、重载和低噪声。通过对船用齿轮传动装置的主要传动方式介绍和应用分析, 表明船用齿轮传动装置技术正向着高承载、高可靠性、安静型、多种传动形式及小型化的方向发展。文中讨论了国内外齿轮设计技术的热点问题, 指出, 船用齿轮设计的关键技术是多机多轴联合交叉传动装置设计技术、传动装置高功率密度设计技术、振动及噪声综合控制技术和新型传动元部件动态设计技术。

**关 键 词:** 船用齿轮; 传动布置; 设计技术

中图分类号: TH132.41

文献标识码: A

## 1 引 言

现代齿轮传动技术向高速重载方向发展, 对其动态传动性能提出了愈来愈高的要求, 尤其对齿轮传动的强度、振动和噪声的要求更加严格, 促使人们在丰富齿轮分析模型和试验方法等方面进行深入的研究。船用齿轮箱是高速重载齿轮传动装置的主要应用领域之一, 船用齿轮传动必须同时满足高可靠性和长寿命, 尽可能减少尺寸和重量、降低振动

和噪声等苛刻的技术要求。

## 2 船用齿轮传动的布置方式

齿轮传动装置是船用主动力装置的重要组成部分, 具有传递功率大、用途特殊、结构复杂的特点, 而且通过形式多样的传动装置可以将有限的主动动力机型进行优化组合, 创新出高效率的主动动力推进系统。随着各项技术指标的不断提高, 对后传动装置的承载能力, 结构型式、尺寸重量和噪声振动等技术指标提出了愈来愈高的要求。国内外的新型船用主动力推进系统较广泛地采用联合动力、柴油机或燃气轮机共同驱动 1 根或 2 根螺旋桨。在护卫舰、驱逐舰和轻型巡洋舰的后传动装置多采用柴燃交替动力 (CODOG) 或燃燃交替动力 (COGOG)<sup>[1]</sup>, 核动力潜艇多采用 1 台或 2 台蒸汽轮机 (COSAS) 驱动 1 根螺旋桨的后传动装置形式。通过齿轮减速装置将主机的高转速减到螺旋桨的低转速。涡轮机动力减速器的单桨传递功率超过 20 000 kW, 速比达到 15 以上, 通常采用两级减速设计。典型的船

用齿轮传动的布置方式如表 1 所示。

为了有效提高舰艇主动力推进系统的可靠性和经济性, 齿轮交叉传动装置得到日益广泛的应用。图 1 所示是 4 机 2 轴交叉传动推进装置的布置实例。4 台燃气轮机的 2 台巡航燃气轮机通过横接齿轮箱实现交叉传动, 2 台加速燃气轮机通过加速齿轮箱各自驱动本舷螺旋桨轴。表 2 给出了美国、德国及前苏联 3 个主要船用齿轮传动装置研制和生产公司的总体情况。美国 GE 公司船用齿轮设计部承担了大部分美国海军主力战舰后传动装置研制项目, 包括核动力航母、核动力潜艇、导弹驱逐舰、两栖攻击舰和海上补给船等。美国的尼米兹级核动力航空母舰由 4 根螺旋桨驱动, 每根桨轴传递功率为 47 800 kW, 设计寿命为 50 a。每台减速器由 1 台高压汽轮机和 1 台低压汽轮机驱动, 双输入单输出二级减速, 带闭锁均载设计。美国俄亥俄级核动力潜艇由一根螺旋桨驱动, 桨轴传递功率为 44 000 kW, 设计寿命为 40 a。每台减速器由 2 台汽轮机驱动, 双输入单输出二

收稿日期: 2003-06-25; 修订日期: 2003-09-19

基金项目: 国家留学基金资助项目 (21823001); 黑龙江省博士后科研启动基金资助项目 (2001001)

作者简介: 常 山 (1965-), 男, 黑龙江阿城人, 哈尔滨·第七〇三研究所研究员, 博士生导师。

级减速,带闭锁均载设计。俄罗斯的核动力潜艇采用的是大功率行星齿轮减速器,单输入单输出二级减速,传递功率为 33 000 kW。美国的伯克级导弹驱逐舰由 2 根螺旋桨驱动,每根桨轴传递功率为 32 300 kW。每台减速器由 2 台燃气轮机驱动,双输入单输出二级减速,带闭锁均载设计。该舰的减速器采用了最新高功率密度设计技术,体积和重量仅为常规设计参数的 1/2,通过独特齿轮设计和安装设计大大减少了通海结构噪声。德国的 124 型护卫舰采用的是 3 机 2 轴交叉传动装置,2 台巡航柴油机的功率为 3 680 kW,加速燃气轮机的传递功率为 25 800 kW。

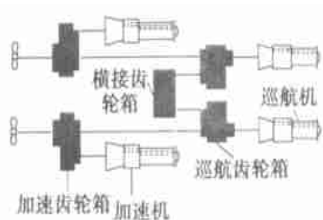


图 1 4 机 2 轴交叉传动

### 3 船用齿轮传动设计的发展趋势

国内外学者专家和齿轮工程师的科研工作主要集中在丰富齿轮分析模型、创新加工工艺及设备实验验证方法等方面,体现在下面 6 个研究领域:(1)提高功率密度;(2)降低重量;(3)减少噪声;(4)提高传动效率;(5)加快研

制速度;(6)有效降低成本。研究人员一直试图建立完善精确的齿轮分析模型,期望得到准确的分析结果和减少高费用、长周期的试验验证;结合改进加工方法提高齿轮设计可靠性和水平。同时计算机技术和测试技术的飞速发展,为齿轮传动设计技术发展和建立系统复杂齿轮分析模型提供了必要的基础保证。

#### 3.1 齿轮计算分析模型

模型更加复杂,同时进行静态和动态设计分析。既有计算齿轮齿面载荷分布、齿面瞬时闪温分布、齿根弯曲应力分布的能力,又能考虑动态附加载荷等影响。由于需计算和处理的数据量大,

表 1 船用后传动装置主要型式

序号	类型	减速级	主机类型	螺旋桨类型	输入形式
1	柴油机动力齿轮装置 CODOD 或 CODAD	一级	柴油机联合或交替运行	调距桨	多输入单输出
2	燃气轮机齿轮减速器(带闭锁均载设计)	二级	燃气轮机	调距桨	单输入单输出
3	燃气轮机联合齿轮装置 COGOG 或 COGAG (有的带闭锁均载设计)	二级	燃气轮机联合或交替运行	调距桨	多输入单输出
4	柴燃联合齿轮装置 CODOC 或 CODAG (带闭锁均载设计)	二级	柴油机(巡航)燃气轮机(加速)	调距桨	多输入单输出
5	蒸燃联合齿轮装置 COGAS 或 COGOS (有的带闭锁均载设计)	二级	蒸汽轮机(巡航)燃气轮机(加速)	调距桨	多输入单输出
6	综合电力推进减速装置 CODLAG (带闭锁设计)	一级(柴机和电机) 二级(燃机)	柴油机(巡航)燃气轮机(加速)电动机(静音航行)	调距桨	多输入单输出
7	汽轮齿轮减速器 COSOS 或 COSAS	二级	蒸汽轮机	定距桨	多输入单输出
8	行星齿轮减速器	二级	燃气轮机或蒸汽轮机	调距桨	单输入单输出
9	齿轮交叉传动装置	一级	2 台柴油机	调距桨	2 机 2 轴
		一级	2 台柴油机 1 台燃气轮机	调距桨	3 机 2 轴
		二级	1 台柴油机 2 台燃气轮机	调距桨	3 机 2 轴
		二级	3 台燃气轮机(每台燃气轮机均可通过横接齿轮箱实现交叉传动)		3 机 2 轴
		二级	4 台燃气轮机(其中 2 台巡航燃气轮机通过横接齿轮箱实现交叉传动)		4 机 2 轴
二级	4 台燃气轮机(其中 2 台巡航机通过锥齿轮横接箱实现交叉传动)	调距桨	4 机 2 轴		

表 2 国外主要船用齿轮箱技术水平

国别	型式	主机	轴功率/kW	总体水平
美国 GE 公司	COSAS	蒸汽轮机	47 800	提供美国海军 90% 的硬化摩齿齿轮传动装置, 主要用于航母、导弹驱逐舰、核潜艇、海上补给船、两栖攻击舰等。
	COGOG 或	燃气轮机	32 400	
	COGAG	柴燃联合	24 300	
	CODOG 或 CODAG <sup>+</sup>	或交替		
德国 RENK 公司	CODOD 或	柴油机	14 700	为各类舰艇的 400 套主推进系统提供了后传动装置, 装备 25 个国家的海军。包括登陆船、巡逻艇、护卫舰、驱逐舰和轻型巡洋舰等。
	CODAD	柴燃联合或交替	24 300	
	CODOG 或		25 800	
	CODAG		(双轴)	
	交叉传动			
前苏联 MASHPROEKT 和 ZARYA 科研 生产联合体	COSAS	蒸汽轮机	36 800	为 20 个级别共 15 个国家的海军战舰提供近 100 种后传动装置, 包括巡逻艇、海岸护卫舰、驱逐舰、补给船、导弹快艇和导弹巡洋舰等。
	COSAG	蒸燃联合动力	25 800	
	COGAG	燃燃联合动力	36 800	
		(4 机 2 轴交叉传动)	(73 600)	
	行星传动	同轴输入	36 800	

对数据交换处理和储存结构还要采用新的概念和数值分析技术。

### 3.2 齿形设计

船用齿轮的轮齿仍将是渐开线为主, 齿形设计将广泛采用以减低啮合冲击和噪声为优化目标的三维修形技术, 亦应考虑齿根圆角形状和齿轮本体结构对啮合性能的影响。虽然双斜齿与单斜齿相比在基节误差控制、修形设计和噪声控制等方面更困难一些, 但各国海军舰艇的后传动装置采用更多的仍是双斜齿轮传动。

### 3.3 齿轮传动设计

采用系统集成优化设计技术。即: (1) 考虑载荷图谱和交变应力的影响计算齿轮齿面和弯曲应力, 采用累积损伤分析模型; (2) 稳健设计技术; (3) 强度、振动和噪声优化设计技术(反共振设计技术); (4) 寿命预测设计, 综合齿轮齿形设计、材料和热处理等技术; (5) 结构和重量优化设计; (6) 齿轮可靠性设计技术。为了减少船用齿轮箱的尺寸和重量, 无论平行轴减速器还是行星齿轮减速器多采用功率分支结构设计。

计。对于平行轴外啮合齿轮减速器, 在一级减速和二级减速之间采用闭锁均载设计技术。

### 3.4 有限元技术和应力分析

(1) 采用边界积分数值方法进行轮齿裂纹扩展分析, 建立分析裂纹生成和扩展数学模型用于评价齿轮材料和热处理工艺的合理性; (2) 采用有限元技术进行齿轮疲劳寿命预测及相关性能分析; (3) 利用系统的超单元等新技巧, 有效提高有限元分析的效率和精度; (4) 建立多齿轮副啮合的应力分析模型; (5) 完善轮齿表面和齿根疲劳失效的分析模型; (6) TCA 和 LTCA 分析技术。

### 3.5 热变形分析

(1) 高功率密度传动齿轮轮齿的热变形计算, 高速运行时的效率分析及考虑热变形时的轮齿修形设计; (2) 啮合轮齿摩擦热分布分析模型; (3) 高效冷却方法; (4) 轮齿高效散热结构设计, 如齿面采用埋入纳米管结构提高齿轮强度和散热能力。

### 3.6 动力学和噪声

船用齿轮后传动装置辐射非常有规律和离散的振动频率, 即

通海结构噪声。齿轮箱的噪声主要是由于齿轮相互啮合产生的, 其结构噪声与齿轮转速和齿数有一定的函数关系, 这使得声纳不仅能探测到舰艇的存在, 甚至可以判断出齿轮箱的技术和运行状态。降低船用齿轮装置结构噪声主要有 2 个途径: (1) 齿轮设计和加工精度; (2) 减振浮筏设计。热点研究内容: (1) 齿轮振动和噪声主动控制技术; (2) 外啮合齿轮噪声影响因素分析; (3) 行星齿轮噪声生成机理分析; (4) 带有制造和加工误差齿轮传动副的动载系数计算; (5) 考虑齿轮结构的齿轮传动误差分析; (6) 齿轮装置机械振动模型和声学分析模型综合研究(空气噪声、结构噪声、箱体结构振动频率范围等); (7) 齿轮系统准静态分析模型和动态分析模型的改进; (8) 船用齿轮传动装置整体减振浮筏优化设计。

### 3.7 验证技术

(1) 齿轮传动试验验证新技术研究(试验装置和数字测量系统); (2) 国际合作新机制, 加快实验数据分享和新标准制定; (3) 测量齿面温度和压力分布的薄膜微型传感器研制。

### 3.8 齿轮故障诊断技术

(1)故障诊断数值分析新方法研究与应用;(2)传感器多入信号模糊逻辑诊断分析技术;(3)齿轮测量微型传感器研制;(4)故障预测分析新技术。

### 3.9 齿轮材料

(1)自修复耐摩齿轮新材料;(2)抗腐蚀齿轮渗碳钢;(3)锻造新技术(大型齿轮锻件);(4)热处理性能好的齿轮新材料。

### 3.10 润滑技术

(1)效率预测及齿轮传动效率优化设计;(2)齿轮参数及轴承参数对润滑性能的影响研究;(3)载荷及滑油品质对润滑性能影响研究;(4)短时滑油量不足对齿轮和轴承性能的影响研究;(5)新型高效润滑油研制;(6)润滑对齿轮传动误差、噪声和寿命等影响;(7)齿轮 CFD 设计分析技术;(8)齿轮 EHL 分析模型及接触疲劳寿命预测;(9)充分润滑齿轮齿面的热分析模型和弹塑性分析模型;(10)齿轮齿面摩擦和磨损机理及分析。

### 3.11 齿面处理技术

(1)齿面涂层技术;(2)齿轮齿面冲击计算分析模型;(3)齿轮齿面状况对噪声、摩擦温升、振动及效率等影响分析;(4)齿面喷丸技术;(5)齿面硬化技术;(6)齿轮热处理。

### 3.12 轮齿修形设计

轮齿修形是现代齿轮设计不可缺少的先进技术,是设计和制造高功率密度、低振动和噪声齿轮装置的专有技术。随着齿轮加工机床技术发展,为齿轮修形技术广泛应用到船用主动力推进系统齿轮装置提供了技术依托,使

齿轮修形技术发挥着越来越重要的作用。齿轮修形研究包括:(1)以运动微分方程为基础,从实现最小动载荷角度进行动力学修形设计;(2)以齿面载荷积分方程为基础,从改善接触线载荷、齿面应力、齿根应力分布的角度进行提高强度的修形设计;(3)以齿轮热弹流理论为基础,从降低齿面闪温的角度进行齿轮抗胶合修形设计;(4)齿轮修形加工方法。船用齿轮修形形式主要有齿廓修缘(齿高方向的齿顶修缘或齿根修缘)、齿向修形(鼓形修形、螺旋线修形、齿端修薄、展成对角修形);对上述两种或两种以上的组合修形,即三维修形和拓扑轮齿修形。对于船用大功率齿轮来讲,只以单一优化目标来进行修形设计是不全面的,也是不合理的。因为这种传递动力的齿轮,其接触强度、弯曲强度、胶合强度以及低噪声要求具有同等的重要性,不能低估某一方面。因此需要以齿面接触线载荷分布系数最小、齿根应力最小、齿面瞬时闪温最低、齿轮传递误差最小(啮合过程中啮合刚度波动最小)等多目标进行船用齿轮修形优化设计。

### 3.13 齿轮装置设计关键技术

(1)新型离合器和联轴器等关键传动元件设计;(2)新型高效滑动轴承设计;(3)大功率行星齿轮技术;(4)齿轮综合验证技术;(5)齿轮传动性能预测及可靠性设计技术。

## 4 船用齿轮制造技术的发展趋势

### 4.1 齿轮热处理技术

(1)高温渗碳技术(有效缩短

渗碳时间);(2)深层渗氮技术;(3)齿轮热处理过程仿真(微观结构和硬度梯度分析);(4)齿轮热处理变形计算和预测分析。

### 4.2 齿轮加工技术

(1)摩齿技术(齿面微观烧伤及对齿轮疲劳寿命的影响);(2)摩齿用砂轮新材料应用;(3)湿式摩齿新技术;(4)高效滚齿、珩齿技术;(5)齿轮齿面感应硬化技术;(6)计算机控制淬火技术;(7)齿轮 CNC 加工技术;(8)齿轮加工过程仿真及验证;(9)齿轮加工技术对齿轮传动性能影响及改进措施。

### 4.3 齿轮检查

(1)新型齿面计算机控制检查仪研制;(2)齿面拓扑测量技术。

### 4.4 齿轮无损探伤技术

(1)高速现场裂纹探测技术;(2)先进电涡流表面探伤技术;(3)摩齿烧伤探测新技术;(4)红外微裂纹探测新技术。

通过开展并突破船用齿轮的关键技术,可以迅速缩短与发达国家先进技术的差距,建立和完善我国高速重载齿轮传动装置的设计理论和方法,进一步提高船用齿轮传动装置的综合传动性能和水平。

## 5 结 论

(1)通过齿轮后传动装置可以将有限的船用动力主机进行优化组合,创新出具有高效率、高经济性、高可靠性、能满足不同工况要求的舰艇主动力推进系统;

(2)船用齿轮传动装置的发展方向是高承载能力、高功率密

度、高可靠性和低通海结构噪声;

(3) 我国船用齿轮传动装置(单轴 36 800 kW 以上)需重点攻关和突破的关键技术是新型大功率齿轮交叉传动技术、新型大功率行星齿轮减速器技术、安静型齿轮箱设计技术和大功率关键传动元件设计技术等;

(4) 齿轮技术是跨学科的综合技术, 其技术内涵日益丰富, 是体现一个国家工业整体水平的重要标志之一。实现我国齿轮技术的跨越发展需要在资金上给予支持, 特别是齿轮技术人才培养方面更应引起足够的重视。

本文撰写过程中, 徐振忠研究员提供了许多有价值的技术资料, 提出了宝贵的建议。石玉权研究员参加了本文的研究工作。

#### 参考文献:

[1] BROERSMA G. Design of gears [M].

- Technical Publications H STAM N V CULEMBORG — The Netherlands, 1967.
- [2] LITVIN F L. Development of gear technology and theory of gearing [J]. *Gearing and Transmissions* 1999(1): 5—21.
- [3] BELYAEV F F, KUPCHIKV N, SADYKO-V V A. Experience of gears and gearboxes design for marine and power plants [J]. *Gearing and Transmissions*, 1999(1): 32—39.
- [4] ATKINS I, HOFMANN D A, HAIGH J. The ultra low noise gearbox [A]. *IN-EC2000 Marine Engineering Challenges for the 21st Century* [C]. Hamburg, Germany; 2000. 41—54.
- [5] DUDLEY D W. Gear technology past, present and future [A]. *Proceedings of International Conference on Gearing* [C], Zhengzhou, China, 1988.
- [6] CAI Y. Development of a silent helical gear reducer (Vibration simulation, and noise measurement) [A]. *Proceedings of the ASME International Power Transmission and Gearing Conference* [C]. San Diego, CA; 1996. 177—184.
- [7] HOUSER D R. Gear noise state of the art [A]. *Proceedings of Inter-Noise' 88 Conference* [C], 1988. 601—606.
- [8] 唐定国, 陈国民. 齿轮传动技术的现状和展望 [J]. *机械工程学报*, 1993, 20(5): 35—42.
- [9] OGUVEN N, HOUSER D R. Mathematical models used in gear dynamics—A Review [J]. *Journal of Sound and Vibration*, 1988, 121: 383—411.
- [10] 王 统. 齿轮技术进步梗概及未来发展趋势 [J]. *机械制造*, 1990(4): 10—14.
- [11] KAHRAMAN A. Planetary gear train dynamics [J]. *ASME Journal of Mechanical Design*, 1994 116: 713—720.
- [12] 何韞如, 宋福堂. 齿轮与齿轮箱振动噪声机理分析及控制 [J]. *振动、测试与诊断*, 1998, 18(3): 221—226.
- [13] 常 山. 高速重载宽斜齿渐开线齿轮瞬时刚度和综合修形的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997.

(辉 编辑)

## 汽轮机转子的挠曲及其解决途径

据《Тяжелое машиностроение (重型机械制造)》2002 年 10 月号报道, 对于在 535 ~ 565 °C 温度下, 长期工作的高压和中压汽轮机的转子, 如何延长使用寿命是当前一个十分现实的问题。

这些转子的寿命在长期使用过程中, 金属强度特性降低; 在经常变化工况下, 低循环疲劳系数降低, 转子逐渐挠曲, 转子挠曲造成汽轮机难以起动, 从而影响可靠性和经济性。

为防止高压和中压汽轮机转子挠曲的产生和发展, 并能延长其使用寿命, 采取有效措施是对转子热应力区进行强制的蒸汽冷却, 使转子温度降低到 460 ~ 475 °C。

由 ЦКТИ (俄罗斯中央锅炉涡轮机研究所) 研制的冷却系统装备了 40 多台汽轮机组, 经过了长期的 (约 15 年) 工业运行表明, 它解决了汽轮机转子的挠曲问题。

计算和试验研究表明, 借助于安装补充的平衡配重不可能解决转子挠曲或减小其发展速度的问题, 安装配重甚至可能增加已产生的挠曲。

(吉桂明 供稿)

船用齿轮设计技术的发展趋势 = **Development Tendency of Marine Gear Design Technology** [刊, 汉] / WANG Shi-an, TIAN Guang, YOU Ke-quan, et al (Naval Representative Office Stationed at No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 547 ~ 551

The outstanding features of a marine high-capacity gear transmission device are high speed, heavy load and low noise. Through a description of the main types of marine gear transmission units and an analysis of their uses it can be shown that the technology of marine gear transmission devices are developing in the direction of attaining high-load capacity, high reliability, low noise, variegated transmission forms and miniaturization. After a discussion of the hot-spot problems of gear design technology both at home and abroad the authors expound some key issues concerning marine gear technology in China. They include the design technology of multi-engine, multi-shaft combined crossover transmission units and high-power density ones, comprehensive control techniques for vibration and noise reduction and the dynamic design of innovative transmission elements and components. **Key words:** marine gear unit, power transmission layout, design technology

基于能级概念的焓经济学计价策略 = **Exergoeconomic Cost Valuation Strategy Based on an Energy-level Concept** [刊, 汉] / SUN Jia-ning, CHEN Qing-lin, YI Qing-hua, et al (Education Ministry Key Laboratory on Intensified Heat Transfer & Process Energy Conservation under the South China University of Science & Technology, Guangzhou, China, Post Code: 510640) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 552 ~ 555, 596

A correct and rational cost valuation of exergy flows and the determination of the process of cost formation and variation during a fuel-to-product exergy flow transformation constitute one of the key issues for the realization of exergoeconomic analysis and optimization of an energy system. A concept of energy level is introduced into the system of thermoeconomic cost valuation with the supplied energy flows being split according to their energy levels. On the basis of the principle of close energy levels and maximum energy supply, the problem of matching the energy extraction and supply has been solved. Moreover, the authors have come up with a cost valuation strategy of exergy flows based on the above-mentioned principle. This strategy is aimed at decreasing the number of unknown variables involved in the calculation process. An explanation is also given of the introduction of an additional equation in the presence of a multi-product exergy flow. Finally, with a typical heat and electricity cogeneration system serving as an example described is the application of the method of exergy-flow cost valuation in the optimization of exergoeconomic analysis. **Key words:** exergoeconomics, energy system, energy level, cogeneration of process heat and electrical power

压缩式热泵系统焓效率定义方法初探 = **Preliminary Exploratory Study of a Method for Defining the Exergy Efficiency of a Compression-type Heat Pump System** [刊, 汉] / MA Yi-tai, WANG Zhi-guo, ZHA Shi-tong (Thermal Energy Research Institute under the Tianjin University, Tianjin, China, Post Code: 300072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(6). — 556 ~ 557

After an analysis of the method for defining the exergy efficiency of a compression-type heat pump some deficiencies of such a definition during its practical use are pointed out. This means that in an environment of low-temperature heat source the definition under discussion has been found to be rational. Otherwise, even with an endo-reversible heat pump system the exergy efficiency of the system will still not be "unity". The cause which gives rise to such a problem is analyzed. By adopting the exergy balance equation or the heat pump system as a basis and referring to the basic characteristics of exergy efficiency and its definition method the exergy efficiency of a compression-type heat pump is defined once again. Through a contrast analysis of two expressions not contradictory to the exergy-efficiency definition characteristics determined is a rational expression of the exergy efficiency for the heat pump system. In conclusion, it is noted that in the absence of an environment of high-temperature heat source for a compression-type refrigeration system the same defect may