

中华人民共和国船舶行业标准

FL 1517

CB 20120—2014

柴—电混合动力模块设计要求

Design requirements for Diesel-electric hybrid module

2014—11—17 发布

2015—02—01 实施

国家国防科技工业局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 设计依据	2
4.1 通则	2
4.2 基本功能要求及构成	2
4.3 输入条件	2
4.4 环境条件	2
4.5 机械与电气接口	3
4.6 可靠性、维修性、安全性、电磁兼容性指标	3
5 设计准则	3
5.1 先进性原则，成熟技术的选择	3
5.2 通用化、系列化原则	3
5.3 可靠性设计原则	3
5.4 维修性原则	3
5.5 经济性原则	3
6 设计内容	4
6.1 方案设计	4
6.2 技术设计	4
6.3 施工设计	4
7 设计流程	4
8 设计方法	5
8.1 方案设计	5
8.2 技术设计	12
8.3 施工设计	16
附录 A (资料性附录) 柴—电混合动力模块型式	17
参考文献	18

前 言

本标准附录A为资料性附录。

本标准由中国船舶重工集团公司提出。

本标准由中国船舶工业综合技术经济研究院归口。

本标准起草单位：中国船舶重工集团公司第七一一研究所。

本标准主要起草人：邱爱华、赵同宾、周晓洁、苏晓明、曾宪友、益斌、郭丰泽、周庆波

柴—电混合动力模块设计要求

1 范围

本标准规定了舰船柴—电混合动力模块的设计依据、设计准则、设计内容、设计流程和设计方法。本标准适用于由柴油机与轴带电机组成的舰船柴—电混合动力模块的设计。

其他型式的柴—电混合动力模块包括柴油机与套轴式电机组成的混合动力模块、柴油机与推进电机非同轴输出的混合动力模块（参见附录A）的设计可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 1993—1993 旋转电机冷却方法
- GB/T 5080.7—1986 设备可靠性试验 恒定失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 7826—1987 可靠性分析技术—失效模式及效应分析程序
- GJB 37A—1996 水面舰船动力装置自动控制系统通用规范
- GJB 69A—1997 舰用电机通用规范
- GJB 368B—2009 装备维修性工作通用要求
- GJB 450A—2004 装备可靠性工作通用要求
- GJB 693.2—1989 舰船自噪声、辐射噪声限制和测量方法—水面战斗舰艇水下辐射噪声
- GJB 763.2—1989 舰船噪声限值和测量方法 舰船设备结构振动加速度验收限值
- GJB 763.3—1989 舰船噪声限值和测量方法 舰船设备空气噪声验收限值
- GJB 813—1990 可靠性模型的建立和可靠性预计
- GJB 868—1991 舰船消防要求
- GJB 900A—2012 装备安全性工作通用要求
- GJB 1060.1—1991 舰船环境条件要求 机械环境
- GJB 1069.1—1991 水面舰艇用高速柴油机技术要求
- GJB 2473—1995 水面舰艇用中速柴油机通用规范
- GJB 2475—1995 舰船动力设备隔声罩通用规范
- GJB 3271—1998 舰船联轴器通用规范
- GJB 3952—2000 舰船电气安全通用要求
- GJB 4000—2000 舰船通用规范
- CB/T 3254.1—1994 船用柴油机台架试验 标准环境状况及功率燃油消耗和机油消耗的检定
- CB/Z 214—1985 舰艇柴油机轴系扭转振动计算
- HJB 34A—2007 舰船电磁兼容规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

柴—电混合动力模块 diesel-electric hybrid module

由柴油机、轴带电机和齿轮箱等组成的为舰船航行提供推进动力的装置。

3.2

轴带电机 shaft generator

通过弹性联轴器和齿轮箱连接可利用主机富裕功率发电、可由辅电站供电单独推动或与柴油机一起推动螺旋桨的旋转电机。

3.3

PTO—功率输出 (power take off)

功率输出, 即轴带电机的发电模式。

3.4

PTI—功率输入 (power take in)

功率输入, 即轴带电机的电动模式。

3.5

PTH—轴带电机作为电动机单独推进的应急推进模式 (power take me home)

轴带电机作为电动机单独推进的应急推进模式。

3.6

PTI/PTO—模式切换控制 (switch control between power take off mode and power take in mode)

由柴油机和轴带电机组成的混合动力模块, 在不同工况下轴带电机处于不同的工作模式, 通过控制设备实现轴带电机电动模式与发电模式之间的切换。

3.7

柴油机最大持续功率 maximum continuous ratings

在规定的转速和环境状况下柴油机可以安全持续运转的最大有效功率。

4 设计依据

4.1 通则

柴—电混合动力模块的设计应符合本标准的规定, 还应符合GJB4000—2000的相应要求。

4.2 基本功能要求及构成

柴—电混合动力模块作为舰船柴电混合动力系统的核心组成部分, 为舰船航行提供推进动力, 其主要由柴油机、齿轮箱 (含离合器)、高弹性联轴器、轴带电机、轴带电机的PTI/PTO模式切换控制装置等组成。

柴—电混合动力模块的基本功能既要满足舰船推进动力的需要, 又要满足与外围设备、系统的接口、性能匹配要求。

4.3 输入条件

与需求方签订的技术规格书、合同或者设计任务书。

4.4 环境条件

4.4.1 空气温度和相对湿度

机舱内空气高温不超过55℃, 空气低温不低于5℃。

露天部位空气高温不超过65℃, 低温不低于-28℃。

空气相对湿度大于95% (有凝露)。

4.4.2 大气压力

大气压力为(100±5) kPa。

4.4.3 排气背压

高速机不大于5 kPa。

中速机不大于3.5 kPa。

4.4.4 海水温度

海水温度为(-2~35)℃。

4.4.5 倾斜和摇摆

横摇 $\pm 45^\circ$ ，周期(3~14) s；

横倾 $\pm 15^\circ$ ；

纵摇 $\pm 10^\circ$ ，周期(4~10) s；

纵倾 $\pm 5^\circ$ 。

4.4.6 冲击

冲击环境条件应按GJB 1060.1为设计依据。

4.4.7 振动

振动环境条件应按GJB 1060.1为设计依据。

4.4.8 电磁

系统和设备的电磁环境按HJB 34A—2007为设计依据。

4.4.9 其他

有盐雾、油雾和霉菌。

4.5 机械与电气接口

4.5.1 本模块机械接口设计应满足外围系统或设备的接口要求，冷却水、滑油、燃油等系统的设计应依据整船油、水、气等辅助系统的设计开展，做好设备选型和接口匹配工作。

4.5.2 柴—电混合动力模块的电气接口要满足动力系统推进控制及机舱监测报警系统的要求，同时轴带电机也要依据整船供电系统的电制、工作电压、电站容量等开展相应的设计工作。

4.6 可靠性、维修性、安全性、电磁兼容性指标

4.6.1 可靠性

4.6.1.1 柴—电混合动力模块可靠性模型的建立和可靠性预计应按 GJB 813—1990 的要求进行。

4.6.1.2 柴—电混合动力模块的可靠性分析技术—失效模式及效应分析应按 GB/T 7826—1987 的要求进行。

4.6.1.3 柴—电混合动力模块的可靠性试验、恒定失效率与平均无故障时间的验证试验方案应按照 GB/T 5080.7—1986 的要求进行。

4.6.2 维修性

柴—电混合动力模块的维修性管理大纲、维修性的基本要求、常用件的维修性要求、维修性的分配和预计、维修保障分系统的建立应按照GJB 368B—2009的要求进行。

4.6.3 安全性

4.6.3.1 柴—电混合动力模块的安全性设计依据 GJB 3952—2000 和 GJB 900A—2012 的要求进行。

4.6.3.2 柴—电混合动力模块消防安全方面的设计应依据 GJB 868—1991 的要求进行。

4.6.4 电磁兼容性

柴—电混合动力模块电磁兼容方面设计应依据 HJB 34A—2007的要求进行。

5 设计准则

5.1 先进性原则，成熟技术的选择

应在确保系统及设备技术先进性的同时，选用相关领域的成熟技术。

5.2 通用化、系列化原则

扩大模块的适用性，使得同样的模块能适用于不同型式的船舶；扩大模块的互换性，使不同型号船舶可选用系列中其他模块。实现设计优化、结构简化、功能单元化、接口通用化。

5.3 可靠性设计原则

为了满足可靠性要求，设计中应遵循以下几个方面的内容：

- a) 组成整个动力模块的单元要少，关键设备一般采用冗余设计，布置方案要合理；
- b) 合理选择和确定部件的结构型式，各设备的连接方案要合理，合理选用材料。

5.4 维修性原则

在设计过程中，应考虑设备的简化及维修空间的布置等，确保设备维修简便、迅速、经济。

5.5 经济性原则

在设计过程中应综合考虑燃油消耗率，有效热效率以及初始投资费用等指标以使模块经济性最佳。

6 设计内容

6.1 方案设计

根据动力系统总体要求，确定设计原则，进行柴—电混合动力模块的总体初步设计，主要包括动力模块型式确定，指标分配，设备选型以及初步匹配分析等。

6.2 技术设计

根据方案设计结果进行详细设计，主要包括匹配仿真分析、扭振校核、冲击、振动和噪声设计及监控系统设计等。

6.3 施工设计

根据技术设计的结果，完成全部施工图和施工工艺设计。

7 设计流程

柴—电混合动力模块的主要设计流程框图如图1所示：

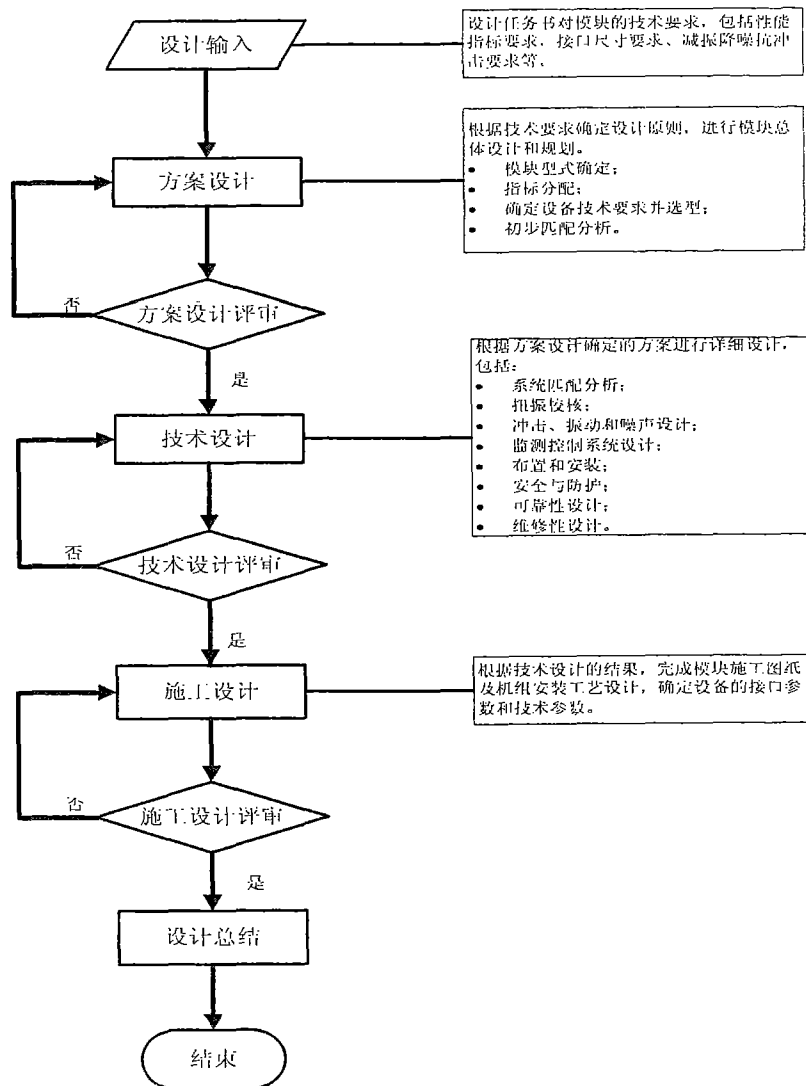


图1 设计流程框图

8 设计方法

8.1 方案设计

8.1.1 型式确定

8.1.1.1 柴油机与轴带电机组成的混合动力模块依据组成类型和数量的不同可分为不同型式，如双机双桨每机各配一轴带电机、双机单桨两机并车带一轴带电机、四机双桨每两台柴油机并车并各配一轴带电机等，根据机舱空间和设计要求，水平方向上轴带电机可布置在齿轮箱左右两侧，如图 2，图 3 所示，垂直方向轴带电机可与轴系同平面或布置在高于轴系的位置，轴带电机高于轴系布置简图如图 4 所示。

8.1.1.2 在系统设计中首先依据技术规格书或设计任务书要求，综合考虑推进总功率的大小、船舶电站容量大小、柴油机可选范围、不同工况下航速要求、机动性等各方面的因素，明确采用何种混合动力模块型式。

8.1.1.3 如果技术规格书或设计任务书已明确规定了模块的型式，可直接依据要求进行设计选型。

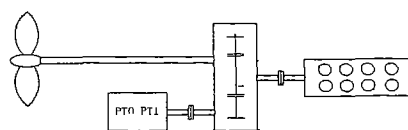


图2 轴带电机安装在齿轮箱右侧布置简图

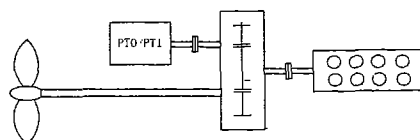


图3 轴带电机安装在齿轮箱左侧布置简图

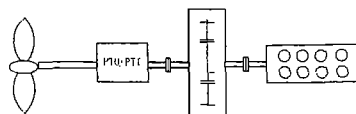


图4 轴带电机高于轴系布置简图

8.1.2 指标确定

8.1.2.1 柴油机功率确定

根据母型舰船的设计航速、排水量等初步确定主推进柴油机的总功率，或采用在船模水池拖船模的方法确定主推进柴油机的总功率；在没有母型船和无船模时也可采用其他估算方法。

在方案设计中可采用公式(1)，公式(2)进行混合动力模块主推进柴油机功率的估算：

$$P_p = \frac{v_E^3 \cdot D^{2/3}}{c_w} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_E = P_p / \eta_c \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- P_p ——桨功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- P_E ——主推进柴油机功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- v_E ——设计航速的数值，单位为节(kn)；
- D ——排水量的数值，单位为吨(t)；
- η_c ——齿轮箱和轴系传动效率；
- C_w ——海军部系数，根据佛氏数相同的母型船来求算。

注：为了能选到满足功率的柴油机，在初步确定柴油机总功率的基础上一般按0.95~1.1系数适当放宽功率范围，以便获得足够数量的备选型号柴油机。

如果设计任务书或技术规格书中有明确的功率值，可直接根据该功率值要求进行柴油机的选型设计。

8.1.2.2 轴带电机功率确定

8.1.2.2.1 PTI 功率估算

轴带电机作助推之前，柴油机一般运行在最大负荷区间，此时的舰船航速是设计航速。根据设计任务书或技术规格书中明确的助推航速可以依据公式(3)估算出轴带电机助推工况下柴—电混合动力模块总功率，减去混合动力模块中柴油机输出功率即可得到轴带电机PTI模式下输出功率，估算公式如(4)所示。

$$\frac{P_T}{P_E} = k \left(\frac{v_T}{v_E} \right)^3 \dots\dots\dots (3)$$

$$P_T = P_T - P_E \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- P_E ——设计航速下柴油机输出功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- P_T ——助推航速下混合动力模块总输出功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- P_T ——助推航速下轴带电机PTI模式输出功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- v_E ——设计航速的数值，单位为节(kn)；
- v_T ——助推航速的数值，单位为节(kn)；
- k ——与船型有关的修正系数。

通常情况下可逆轴带电机PTI模式下的功率是其PTO模式下额定功率的80%~90%，通过助推工况下的PTI输出功率可以估算出轴带电机PTO模式额定功率，进而明确混合动力模块的功率组成。

8.1.2.2.2 PTO 功率估算

轴带电机PTO模式下主要提供舰船正常巡航中的全船电力，取代或减少船舶电站功率输出。同样需要设置辅助柴油发电机组作为备用，以满足非巡航工况时的电力需求。

依据电力负荷的统计情况，得出运行状态的电力负荷，即可确定PTO的功率，再通过轴带电机不同工作模式下的功率特性关系，即可明确混合动力模块的功率组成。

8.1.2.2.3 PTH 功率估算

PTH是轴带电机PTI模式下的一种特殊工况，此种模式下柴油机故障无法工作，可以通过轴带电机以纯电力推进的方式从船舶电站取电，实现推进动力输出，保证舰船继续航行，体现柴—电混合动力模块较高的可靠性、安全性及动力冗余性。

根据船级社规范和用户要求的PTH模式下推进航速，依据公式(5)，估算轴带电机PTH模式下的输出功率，进而明确混合动力模块的功率组成，此时需要确保船舶电站容量满足PTH模式下的用电要求。

$$P_H = k \left(\frac{v_H}{v_E} \right)^3 \times P_E \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- P_E ——设计航速下柴油机输出功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- P_H ——PTH模式下轴带电机输出功率的数值，单位为千瓦(kW)；
- v_E ——设计航速的数值，单位为节(kn)；
- v_H ——应急推进航速的数值，单位为节(kn)。

8.1.2.2.4 轴带电机功率确定

根据用户对轴带电机的功能需求，结合8.1.2.2.1, 8.1.2.2.2, 8.1.2.2.3中的估算方法，最终确定轴带电机的功率组成。

8.1.2.3 隔振隔声方案确定

依据总体对模块振动噪声指标要求，初步确定模块隔振隔声方案。

- a) 对于隔振效果(15-20)dB，采用单层隔振型式；
 - b) 隔振效果(25-30)dB，采用双层隔振型式，筏体与机组质量比约0.3；
 - c) 隔振效果(35-40)dB，采用双层隔振型式，筏体与机组质量比约0.5；
 - d) 隔振效果(45-50)dB，采用双层隔振和高分子阻尼筏体型式，筏体与机组质量比约0.6。
- 模块根据需求可增加隔声罩降低模块噪声辐射，隔声效果(25-28)dB(A)。

8.1.3 设备选型或设计

8.1.3.1 柴油机选型设计

8.1.3.1.1 通则

除本标准规定外，柴油机还应符合GJB 4000—2000、GJB 1069.1—1991和GJB 2473—1995的有关规定。

8.1.3.1.2 功率

柴油机的功率选择应考虑以下两方面内容：

- a) 柴油机应按最大持续功率(MCR)进行设计和选用。当环境条件与标定环境条件不符时，应按CB/T3254.1—1994中的规定进行功率修正；
- b) 按环境条件修正后的柴油机最大持续功率(MCR)应能满足设计航速功率要求，并留有一定的海况储备和主机能力储备，以适应由于污底、风浪及排水量变化而引起的船舶阻力的增加以及船舶性能下降和功率降低，一般海况储备取10%-15%，主机能力储备取10%。

8.1.3.1.3 起动和加速

柴油机的起动与加速需满足如下要求：

- a) 柴油机应有良好的起动性能。应能在环境温度为5℃，冷却水和滑油未经预热的冷机状态下起动，起动时间一般不超过10s。
- b) 柴油机根据其不同转速及增压型式，应能在淡水温度达到(40~45)℃后，高速柴油机(5~30)s、中速柴油机120s内加载至全负荷。

8.1.3.1.4 紧急停车装置

靠近柴油机操纵部位应设紧急停车装置，能使柴油机在10s内停车而无任何损伤。

8.1.3.1.5 安全保护系统和超速装置

柴油机应装有安全保护装置和超速保护装置来保证柴油机运行时的安全，安全保护系统和超速装置的设置应符合GJB 1069.1—1991和GJB 2473—1995的规定。

8.1.3.1.6 可靠性

可靠性的具体要求基于如下的柴油机预计使用时间：每年运转(2000—3000)h。

8.1.3.1.7 维修性

柴油机维修性方面的设计要求应按照GJB 4000—2000的要求进行。

8.1.3.2 传动装置选型设计

8.1.3.2.1 齿轮箱传动装置选型设计

齿轮箱传动装置的作用主要是减速、传动和并车，柴—电混合动力模块齿轮箱除应满足减速比、强度及可靠性等方面的要求外，还应着重考虑下列因安装轴带电机引起的布置和结构问题。

a) 通则

- 1) 齿轮箱传动装置应具有传递推进主机最大功率、承受推力的能力，一般具有盘车、锁轴和根据需要机带滑油泵、冷却用海水泵的能力；
- 2) 齿轮箱传动装置应按能承受由于舰船回转和机动操作等引起的超扭和超推力负荷及持续交变扭矩来设计；
- 3) 齿轮箱应是油密和水密的。齿轮箱应设计成舱内进水在中心线上 3m 的情况下，能持续运行 96 h。96 h 后滑油中的海水含量应不大于 0.3 %。

b) 齿轮传动装置型式的选择：

根据柴—电混合动力模块的型式以及柴油机、轴带电机以及轴系的具体布置要求，进行齿轮传动装置型式的选择。

c) 参数确定

根据传递功率、输入转速以及输出转速并综合考虑船用齿轮传动装置的特点，确定齿轮传动装置的减速比、齿形、模数、压力角、螺旋角、齿宽等参数。

- 1) 减速齿轮的速比主要根据推进柴油机转速和螺旋桨转速来决定，推荐减速比在 4~5 以下的用单级，以上的用多级；
- 2) 齿形、模数压力角、螺旋角、齿宽等参数的确定应结合实际需求、生产能力和成本等因素综合考虑后选定。

d) 可靠性

齿轮箱的可靠性要求应按照GJB 4000—2000的相关规定进行。

8.1.3.2.2 离合器选型设计

根据动力模块运行要求，在齿轮箱的柴油机输入端、轴系输出端以及轴带电机输出端设置离合器，离合器可根据需要选择摩擦离合器、液力偶合器、气胎离合器等型式。

- a) 离合器所能传递的最大扭矩，一般应不小于额定扭矩的 1.5 倍；
- b) 摩擦离合器在正常运转时不得有打滑现象，在空车运转时，其带排扭矩不得使与其联接的轴系有带转现象；
- c) 液压离合器的滑油系统应是独立的循环系统，系统中应设有滤器、冷却器、集油柜等设备；
- d) 液压离合器一般应设有独立的备用泵，对于多机多桨推进模块，在一个机舱内可设一台备用泵；
- e) 气胎离合器的工作气压应不小于 1.00 MPa；
- f) 液压离合器转差率应不大于 3 %，转差率按公式(6)计算：

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中：

S——转差率；

n_1 ——泵轮转速的数值，单位为转每分(r/min)；

n_2 ——涡轮转速的数值，单位为转每分(r/min)。

8.1.3.2.3 联轴器选型设计

联轴器的选型设计应按以下要求进行：

a) 通则

- 1) 弹性联轴器应能承受额定功率时所施加的扭矩，以及机动操纵过程中所施加的附加扭矩，并能承受弹性安装的柴油机的正常位移、热位移和冲击位移；
- 2) 弹性联轴器所能承受最大扭转力矩、发热量应不超过其许用值；

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/795302313000011224>