

减振与降噪

不同惯量飞轮对脉冲机组轴系扭振性能影响研究

俞 乐, 王丽杰, 赵同宾

(七一一研究所, 上海 200090)

摘 要: 建立了三组不同惯量飞轮下脉冲机组轴系的当量系统模型, 应用轴系扭转振动计算软件, 分别对该三种方案下脉冲机组轴系自由振动和强迫振动进行了计算研究。分析了不同惯量飞轮对轴系固有频率、柴油机曲轴扭振应力、发电机转子电角、发电机转子扭矩、弹性联轴器扭矩的影响, 根据分析结果, 提出了合理的机组运行方案。并利用扭振测试分析系统, 校核了其中一组惯量飞轮下脉冲机组的扭振计算结果, 证明了理论计算结果的正确性。

关键词: 脉冲机组; 大惯量飞轮; 轴系; 扭振

中图分类号: U664.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)06-0030-05

Torsional Vibration Characteristic of Pulse Set with Different Inertia Flywheel

Yu Le, Wang Lijie, Zhao Tongbin

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: The equal system models of pulse set shafting with three different inertial flywheels were established. Using torsion vibration calculation software for shafting, free vibration and force vibration for pulse set shafting were calculated with three different inertial flywheels. Effect of different inertial flywheels on inherent frequency, torsional vibration stress for crankshaft, electric angle for rotor, moment for flexible coupling were studied. According to the analysis results, the reasonable running scheme was presented. Using torsion vibration measurement and analysis system, one group of torsion vibration calculation of pulse set with inertia flywheel results were checked, which proved the correctness of theory calculation results.

Keywords: pulse set; big inertial flywheel; shafting; torsional vibration

0 引 言

脉冲负荷柴油发电机组(以下称为脉冲机组)是一种特殊的柴油发电机组,无论在结构形式还是工作方式上都与常规的机组有很大的不同。在结构形式上,脉冲机组采用“柴油机-大惯量飞轮-发电机”的结构形式;在工作方式上,脉冲机组在脉冲负荷下工作,其负载功率变化幅度大、变化频率快。由于脉冲机组的特殊性,使得机组系统扭振特

性相比常规机组有很大的差异,其设计的好坏,直接影响船舶的经济性、可靠性、机动性和生命力等。本文在设计阶段利用轴系扭振计算软件对轴系扭振特性进行计算分析。

1 轴系扭转振动计算软件

1.1 软件编制依据

本文使用的软件为武汉理工大学开发的商业软件,主要依据以下规范资料中有关扭转振动计算内容编制:

收稿日期: 2014-05-27; 修回日期: 2014-07-18

作者简介: 俞乐(1982-),女,工程师,主要研究方向为船用动力装置设计, E-mail: yule0626@163.com。

- (1) 船舶柴油机轴系扭转振动计算(CB/Z 214-85)；
- (2) 钢质海船建造与人级规范(2002)；
- (3) 钢质内河船舶建造与人级规范(2002)。

1.2 软件适用范围

- (1) 该软件主要适用于对复杂轴系进行自由振动和强迫振动计算；
- (2) 适用柴油机动力装置在正常工况和任意一缸熄火工况，以及考虑螺旋桨激励工况下的扭振特性计算；
- (3) 船舶柴油机推进轴系包括：PTO 轴系、可调距螺旋桨轴系、空气螺旋桨轴系、喷水推进轴系。
- (4) 船舶柴油机发电机组轴系；
- (5) 柴油机水力测功器轴系。

1.3 软件计算原理

- (1) 该软件把柴油机轴系简化为一个线性集总参数系统模型的当量，当量系统由只有转动惯量而无柔度的集中质量和只有柔度而无惯量的柔度组成，当量系统示意图见图 1。
- (2) 该软件中自由振动计算、响应计算、合成计算均采用解析法，集成 MatLab 进行求解。

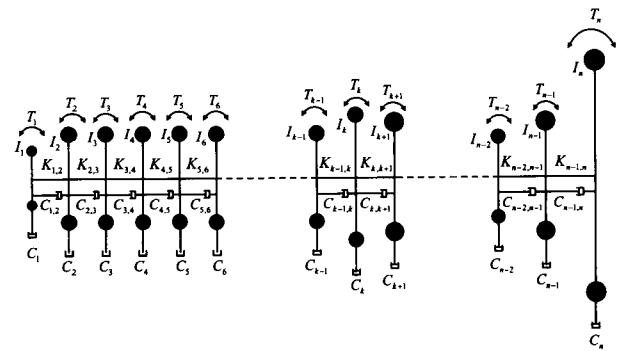


图 1 轴系扭转振动计算模型图

2 脉冲机组轴系当量系统模型及参数

脉冲机组由 TBD 234V6 柴油机、LC3020C 弹性联轴器、大惯量飞轮、Z4-280-32 型发电机组成。整个轴系的当量系统图见图 2。当量系统中各质量点与刚度单元数据如表 1 所示。

表 1 轴系当量系统数据表

质量号	惯量/ (kg·m ²)	扭转刚度 ((MN·m)·rad ⁻¹)	外径 /mm	质量点 描述
1	0.104 2	2.65	92	齿轮系
2	0.240 8	3.27	92	1#气缸
3	0.111 4	3.27	92	2#气缸
4	0.240 8	4.9	92	3#气缸
5	3.380 0	0.060 4	-	弹性联轴器 1

(续表)

6	0.520 3	2.021 6	92	弹性联轴器 2
7	461.340 3/ 631.340 3/ 799.340 3	2.148 5	-	大惯量飞轮
8	0.209 9	1.632 1	95	传动轴
9	0.166 8	-	-	电机转子

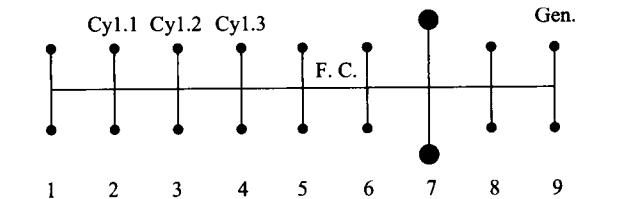


图 2 脉冲机组轴系当量系统图

3 不同惯量飞轮对轴系扭振特性影响分析

3.1 自由振动计算

由表 2 可以看出，大惯量飞轮对系统固有频率的影响甚微；不同的惯量只对系统第一阶固有频率有影响，其他阶次固有频率几乎不变。

表 2 不同惯量飞轮下轴系固有频率

单位: Hz

阶次	460(kg·m ²)	630(kg·m ²)	798(kg·m ²)
1	19.17	19.15	19.14
2	292.09	292.09	292.09
3	318.73	318.69	318.66
4	328.57	328.53	328.51
5	772.63	772.63	772.62
6	783.65	783.65	783.65
7	1 005.22	1 005.22	1005.22
8	1 394.29	1 394.29	1 394.29

3.2 强迫振动计算结果(正常发火)

正常发火情况下强迫振动计算结果如图 3 ~ 图 6 所示。

三种惯量飞轮下，在主机正常运行状态下，柴油机曲轴扭转应力、发电机转子电角、发电机转子扭矩都在许用值范围之内；但弹性联轴器扭矩在主机转速 780(r·min⁻¹)左右存在共振区，其扭矩与功率损失超出许用值范围，建议运行时快速通过此转速区。由图 3 ~ 图 6 可知，不同惯量飞轮对柴油机曲轴扭转应力、发电机转子电角、发电机转子扭矩、弹性联轴器扭矩影响很小。

3.3 强迫振动计算结果(第一缸熄火)

第一缸熄火情况下强迫振动计算结果见图 7 ~ 图 10。

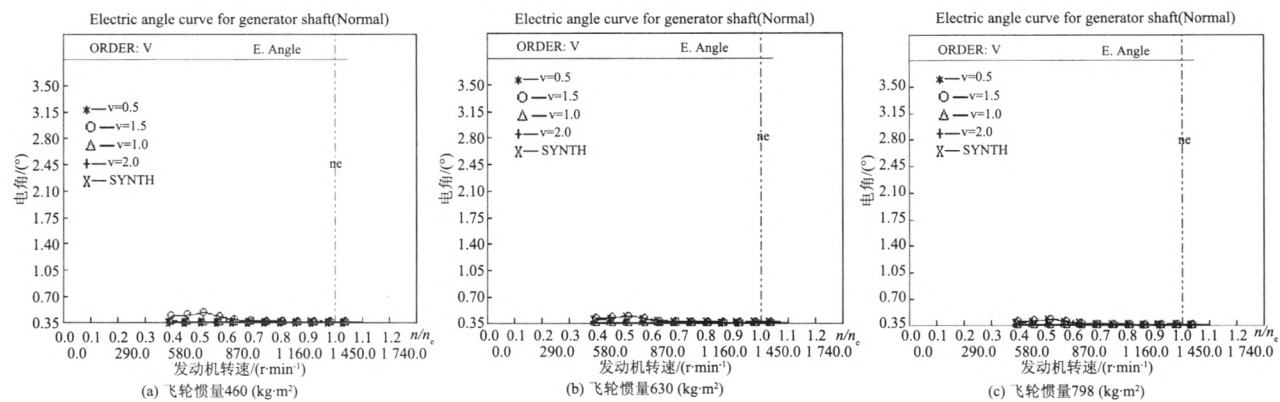


图 3 不同惯量飞轮下发电机转子电角

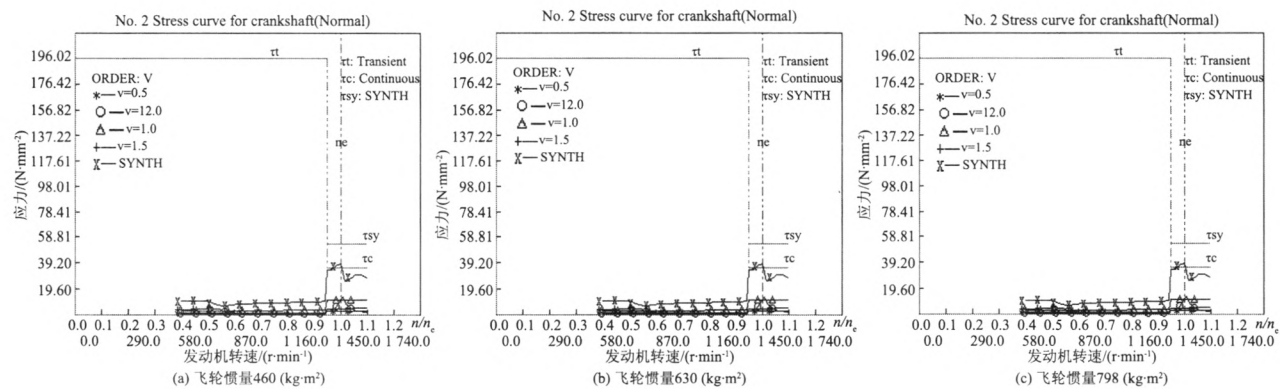


图 4 不同惯量飞轮下曲轴段应力

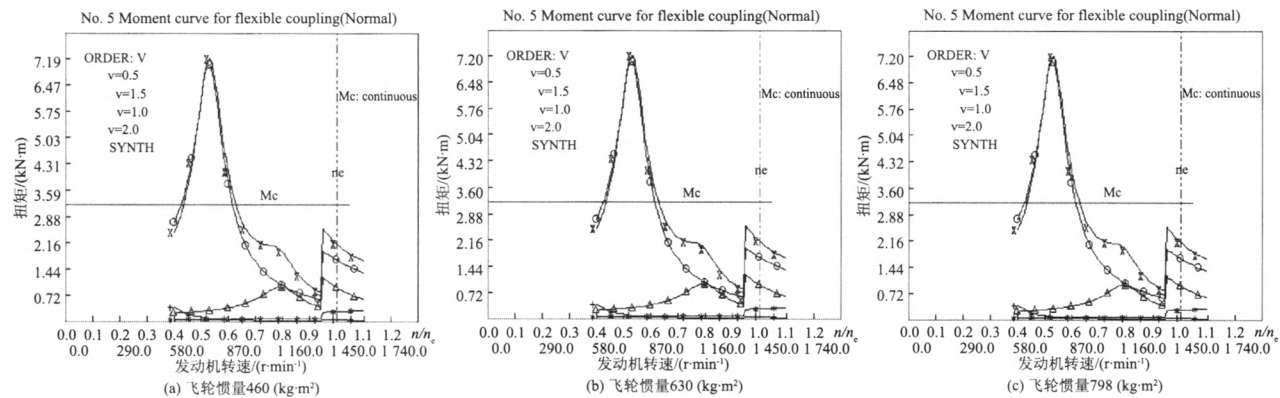


图 5 不同惯量飞轮下弹性联轴器扭矩

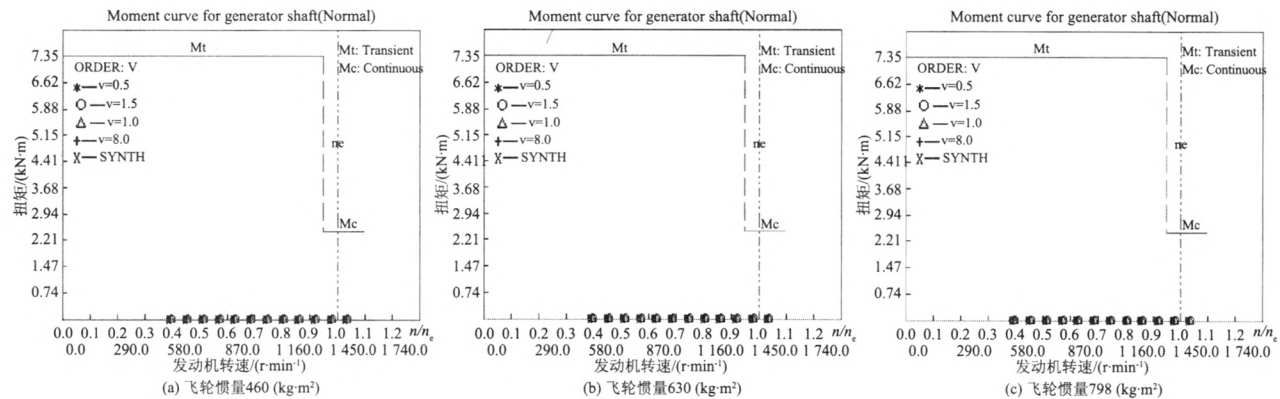


图 6 不同惯量飞轮下发电机转子扭矩

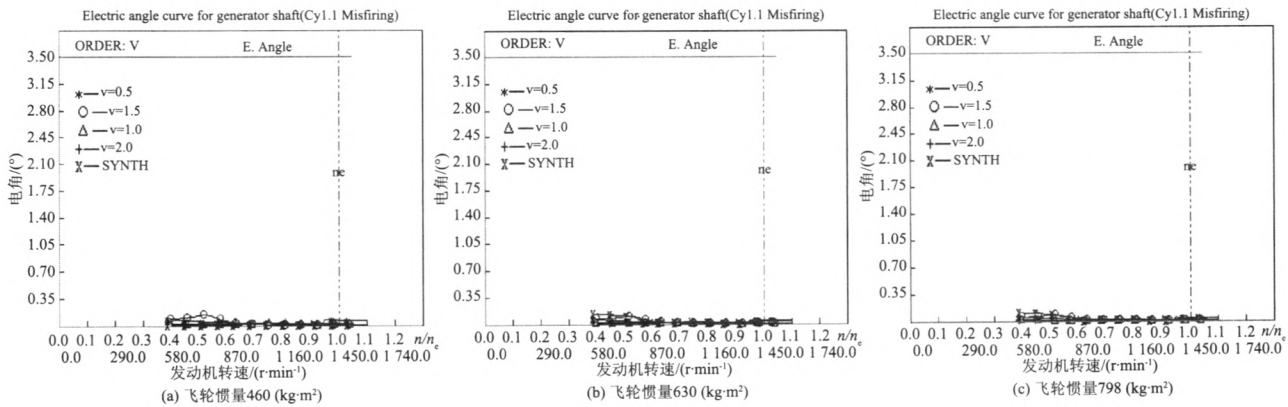


图 7 不同惯量飞轮下发电机电角(缸 1 熄火)

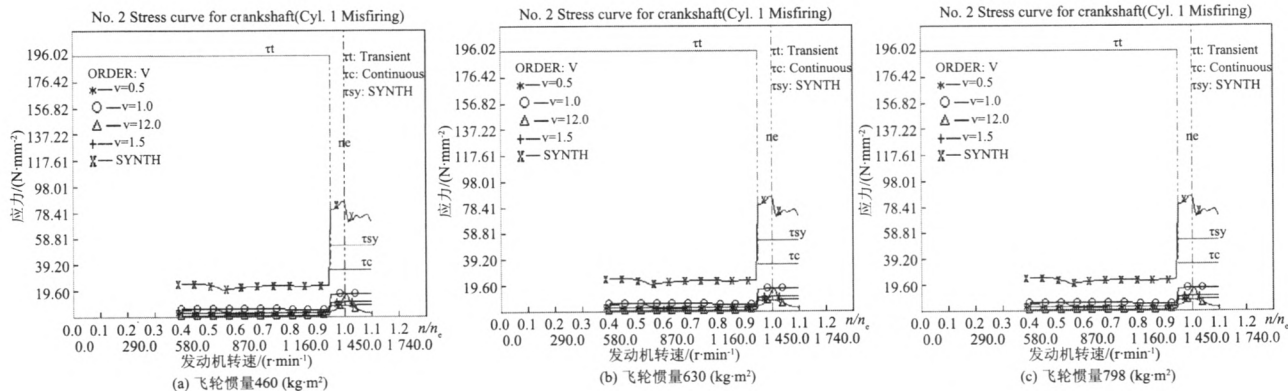


图 8 不同惯量飞轮下曲轴段应力(缸 1 熄火)

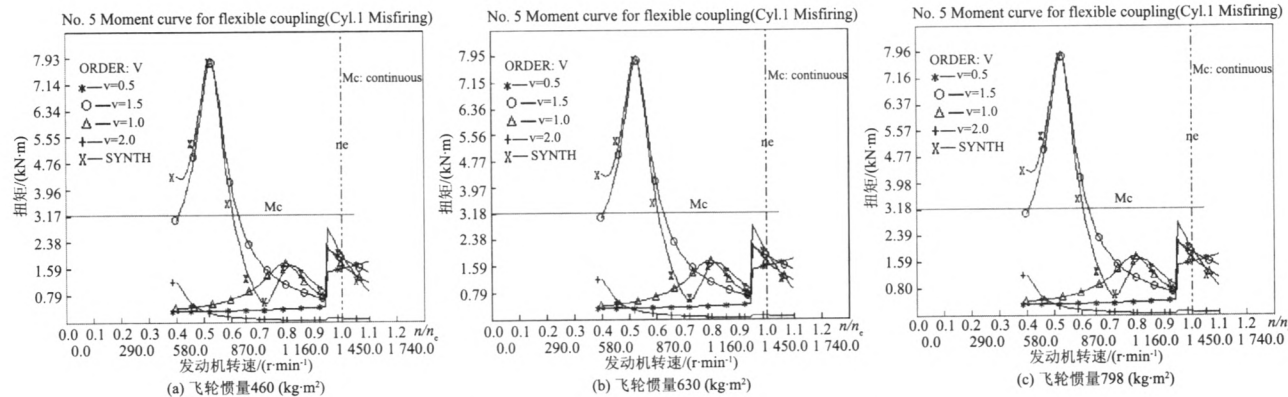


图 9 不同惯量飞轮下弹性联轴器扭矩(缸 1 熄火)

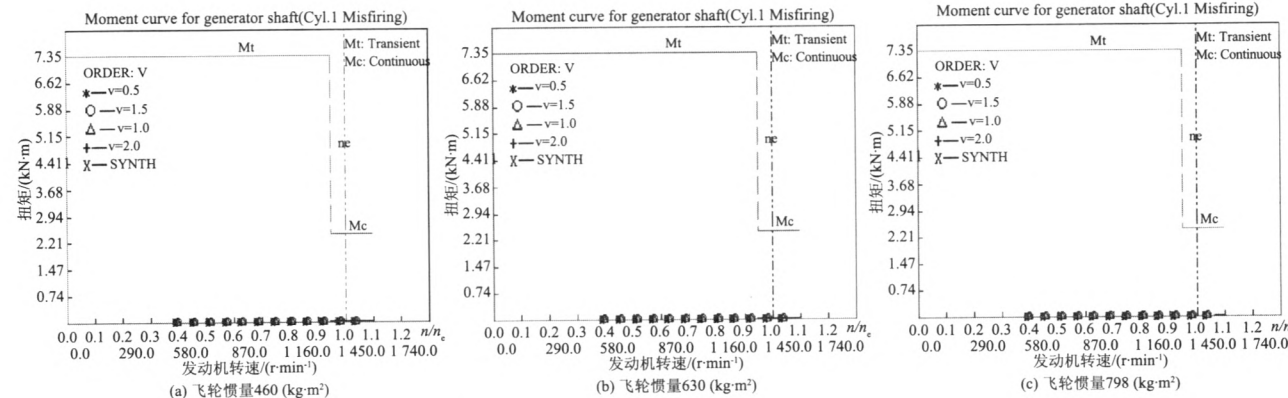


图 10 不同惯量飞轮下发电机转子扭矩(缸 1 熄火)

由图 7 ~ 图 10 可知, 三种惯量飞轮下, 在一缸熄火运行工况下, 发电机转子电角、发电机转子扭矩都在许用值范围之内, 柴油机曲轴扭转应力合成值超过许用值范围, 弹性联轴器扭矩在主机转速 780 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) 左右存在共振区, 其扭矩与功率损失超出许用值范围。不同惯量飞轮对柴油机曲轴扭转应力、发电机转子电角、发电机转子扭矩、弹性联轴器扭矩的影响很小。

4 扭振测试

4.1 测试条件

在主机飞轮端布置磁电传感器, 在发电机末端布置光电编码器, 并将该二路信号接至 ZDCL-IV 型轴系振动测量分析仪。

在主机正常发火, 飞轮惯量为 798 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) 的

情况下, 在 600 ~ 1 491 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) 的转速范围内测试, 每间隔 10 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) 分档测量, 电脑记录测试数据。

4.2 测试结果及分析

各工况测试时均测到各节点的临界转速, 在 740.64 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) 转速测得 1 节 1.5 谐次共振转速。轴系扭振测量与计算值对比如表 3 所示。

由表 3 比较可知, 轴系计算频率与实测频率的相对误差为 3.3%, 满足船级社规范要求, 轴系各部件承受的扭振力矩及扭转应力可以根据自由振动的 Holzer 表进行推算, 推算结果如表 4 所示。

轴系各部件的扭振应力满足 CCS 的有关规定, 弹性联轴器扭矩在共振区内超出许用值, 建议设立转速禁区。

表 3 共振转速实测频率

节点	谐次	共振转速/ $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	实测频率/ $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	计算频率/ $(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	相对误差	测点振幅/ $(^\circ)$
1	1.5	740.64	1 110.96	1 147.84	3.3%	0.167 5

表 4 轴系相关部件扭转应力及扭矩计算结果

测试项目 与许用值	扭振应力/MPa		振动扭矩/ $(\text{N}\cdot\text{m})$	
	曲轴	电机轴	弹性联轴器	电机轴
测试值	7.023 1	0.008 4	5 538	1.52
规范许用值	35.473 5	35.289 7	3 200	2 500

5 结 论

通过分析比较系统在三组不同惯量飞轮下的扭转振动特性, 得出以下结论:

(1) 不同惯量飞轮对系统固有频率的影响甚微, 不同的惯量一般只对系统第一阶固有频率有影响, 其他阶次固有频率几乎不变。

(2) 柴油机曲轴扭转应力、发电机转子电角、发电机转子扭矩、弹性联轴器扭矩在不同惯量飞轮作用下变化很小。

(3) 在柴油机正常发火情况下, 弹性联轴器扭

矩在主机转速 780 ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$) 左右存在共振区, 其扭矩与功率损失超出许用值范围。由于脉冲机组带大惯量飞轮, 启动过程历时较常规机组长很多, 若脉冲机组在共振转速区停留时间过长, 会导致联轴器损坏, 影响机组运行, 建议调整脉冲机组调速器, 使机组运行时快速通过此转速禁区。

(4) 鉴于计算结果, 建议主机在一缸熄火工况下禁止运行。

(5) 扭振测试结果验证了理论计算结果的正确性。

参考文献

[1] 李渤仲, 陈之炎, 应启光. 内燃机轴系扭转振动[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984.
[2] 许运秀. 船舶柴油机轴系扭转振动[M]. 北京: 人民交通出版社, 1984.