

# 大惯量柴油发电机组空气马达起动系统设计及试验

金 锋<sup>1</sup>, 赵同宾<sup>1</sup>, 曾凡明<sup>2</sup>, 曾宪友<sup>1</sup>

(1. 七一一研究所, 上海 200090; 2. 海军工程大学, 湖北武汉 430033)

**摘 要:** 根据大惯量柴油发电机组的特殊要求, 结合工程实践, 进行了大惯量柴油发电机组起动系统的设计。采用多个压缩空气马达联合驱动柴油机飞轮进行机组的起动, 经试验验证, 满足设计要求。为后续的大惯量柴油发电机组起动系统设计提供了一种切实可行的方法。

**关键词:** 柴油发电机组; 大惯量; 起动系统; 系统仿真

**中图分类号:** TH138. 51      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001 - 4357(2011)04 - 0051 - 03

## Design and Test of the Air Motor Starting System for Large Inertia Diesel Generator Set

Jin Feng<sup>1</sup>, Zhao Tongbin<sup>1</sup>, Zeng Fanming<sup>2</sup>, Zeng Xianyou<sup>1</sup>

(1. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090;  
2. Naval University of Engineering, HubeiWuhan430033)

**Abstract:** Based on the special requirements of large inertia diesel generator sets, and combined with engineering practice, the air motor starting system for large inertia diesel generator set is designed. Multiple air motors are used to drive the flywheel of the diesel engine to start the generator set. This design is verified by experiments, and the results show that it can satisfy the design requirements and provides a practical approach to the future design of the starting system for large inertia diesel generator sets.

**Keywords:** diesel generator set; large inertia; starting system; system simulation

### 0 引 言

在某些应用场合, 需要给柴油发电机组配置大惯量飞轮, 由此导致常规的起动方式不能满足大惯量柴油发电机组的起动要求, 需要对起动系统进行针对性的特殊设计。大惯量柴油发电机组的起动方式有多种, 如空气马达起动、压缩空气通入气缸起动和大功率起动电机起动等。空气马达起动系统具有起动力矩大、起动迅速等显著优点, 工程应用较多。

本文结合某工程大惯量柴油发电机组的设计, 采用多个空气马达联合驱动柴油机飞轮的起动系统方案, 同时根据机组和起动系统的原理建立了起动系统的仿真模型, 进行起动系统的性能分析, 并经

试验验证, 满足设计要求。

### 1 起动系统组成

起动系统主要由空气压缩机、压缩空气瓶、气动马达、系统阀门和管道组成。一般空气压缩机设置至少二台, 既能同时工作, 又能互为备用。选型空气压缩机时, 要考虑工程项目需要的充气效率, 即一台空气压缩机工作时, 能在规定时间内将气瓶充满。空气压缩机向压缩空气瓶充气(压缩空气瓶的气体压力一般为 3 MPa), 待气瓶压力达到规定值时空气压缩机自动停机。起动时压缩空气瓶通过减压阀向气动马达提供需要的气源, 气动马达通过柴油机输出法兰驱动整个大惯量机组, 如图 1 所示。

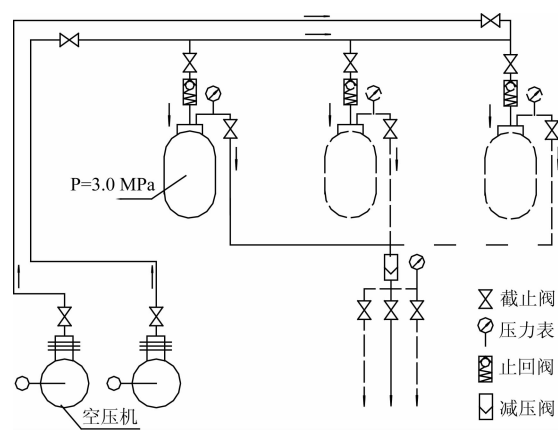


图 1 起动系统原理图

2 起动系统性能分析

以某工程用大惯量柴油发电机组为对象，进行起动系统的设计和分析，在进行气动马达选型时，初步选型有两种马达符合要求，为了最终优选，需要对两种马达进行机组起动性能分析，仿真计算的低成本在选型环节的优势充分体现出来。

2.1 机组起动的基本理论

起动过程可用微分方程表示为：

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_a - M_z - M_0$$

(1)

其中： $J$  为轴系转动惯量（包含柴油机、飞轮、发电机等在内）； $\frac{d\omega}{dt}$  为轴系角加速度； $M_a$  为空气马达的驱动扭矩，一般和马达转速有关， $M_a=f_{Ma}(n)$ ； $M_z$  为发电机组轴系的摩擦阻力矩； $M_0$  柴油机组起动阻力矩，一般和机组转速有关， $M_0=f_{M0}(n)$ 。

一般而言，如果空气马达提供的起动力矩能够持续带动机组运转并不断加速（即 $\frac{d\omega}{dt}>0$ ），且使机组转速能够超过柴油机发火转速，则认为机组起动成功。

2.2 发电机组轴系的摩擦阻力矩

由于大惯量机组的飞轮重量一般较大，整个发电机组轴系的摩擦阻力矩绝大部分来源于飞轮轴承摩擦阻力矩。所以，轴系的摩擦阻力矩有以下关系式：

$$M_z = mgfR_z$$

(2)

其中： $m$  为飞轮质量，kg； $R_z$  为飞轮轴承平均摩擦半径，m，保守取最大半径值； $f$  为滑动摩擦系数，保守取最大值。

轴系的摩擦阻力功率有以下关系式：

$$P_z = \frac{M_z n_f}{9\,550} = \frac{mgfR_z n_f}{9\,550}$$

(3)

其中： $n_f$  为柴油机的设定发火转速，r/min。  
组成该大惯量机组的柴油机和发电机均由柴油

机厂商供货，所提供的柴油发电机组未带大惯量飞轮时的起动阻力特性曲线[ $M_0=f_{M0}(n)$ ； $P_0=f_{P0}(n)$ ]如图 2 所示，其中包括了电机阻力矩在内。

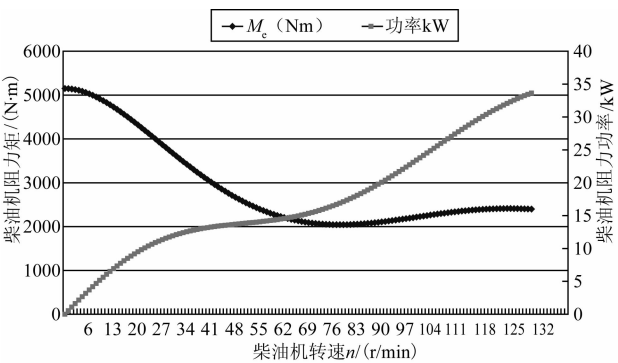


图 2 某型柴油发电机组（不带飞轮）的起动阻力特性曲线

2.3 空气马达的驱动扭矩

起动系统中，空气马达初步选型的是某公司的 DP 型和 CP 型两种，厂家提供的马达输出扭矩与转速的关系如图 3 所示。

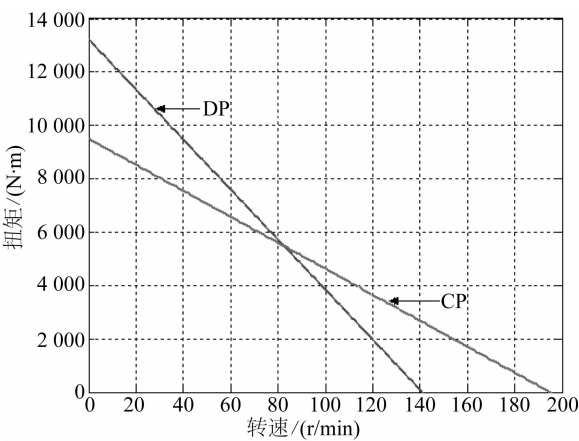


图 3 两种空气马达输出扭矩与转速的关系

2.4 起动系统仿真分析

根据起动过程的微分方程以及对系统的分析，可在 Matlab/Simulink 仿真平台中建立如下对应的仿真框图，如图 4 所示（仿真计算时考虑到空气马达与发电机组之间的齿轮传动损耗，所用的起动力矩为理论值的 95%）。

将某工程实践中的相关参数赋值给仿真模型，即得到相应的仿真计算结果。

（1）采用 CP 空气马达的起动过程仿真结果见图 5，起动时间为 9.6 s。

（2）采用 DP 空气马达的起动过程仿真结果见图 6，起动时间为 12 s。

依据上述仿真分析结果可知：采用 CP 空气马达和 DP 空气马达都能够保证机组的顺利起动，但是，采用 CP 空气马达起动时间更短，用时仅 9.6 s。

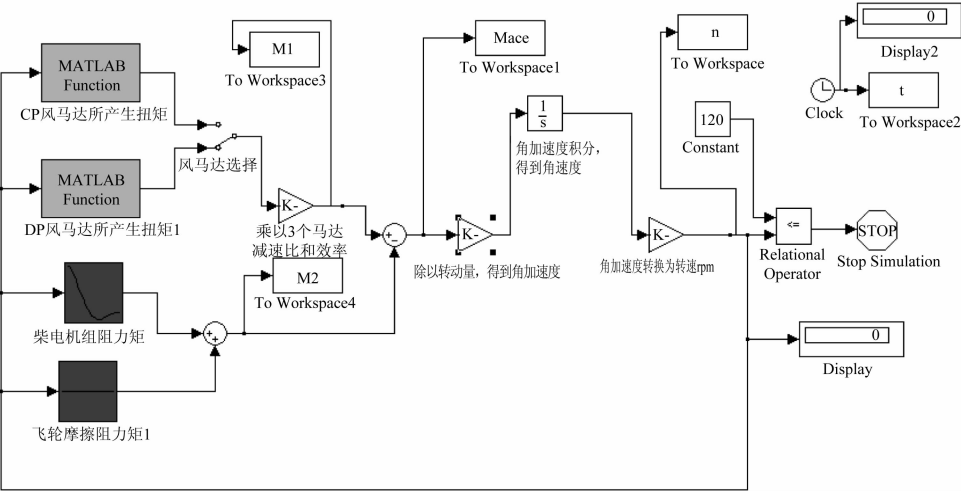


图 4 起动系统仿真模型

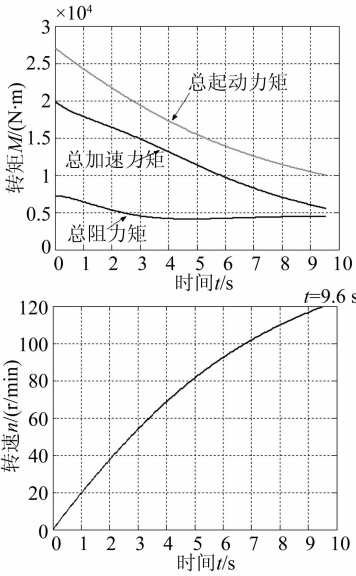


图 5 采用 CP 空气马达起动过程的仿真结果图

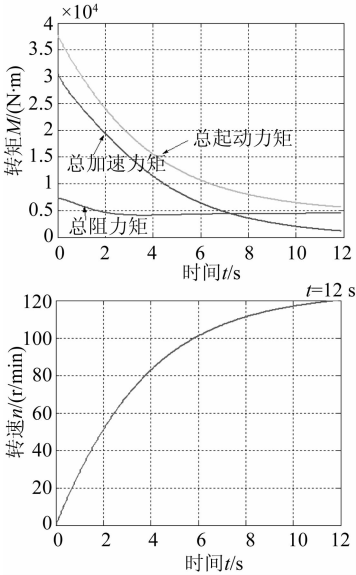


图 6 采用 DP 空气马达的起动过程仿真结果图

3 起动系统试验

某工程的实际试验结果显示，采用 CP 空气马达可以顺利起动大惯量机组，实测的机组转速曲线如图 7 所示。在 7 s 时，空气马达开始工作，17 s 时机组转速已达到 120 r/min 的发火转速，起动时间约 10 s，证明了仿真计算结果的准确性。

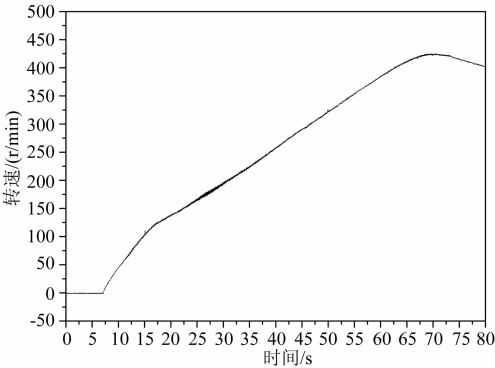


图 7 实测的机组转速曲线

4 结 论

本文根据大惯量柴油发电机组的特殊要求，进行了大惯量柴油发电机组起动系统的设计，采用多个压缩空气马达联合驱动柴油机飞轮进行机组的起动，并经试验验证，满足设计要求，为后续的大惯量柴油发电机组起动系统设计提供了一种切实可行的方法。

参考文献

[1] 陈国钧等. 现代舰船轮机工程[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001.