

使用维修

PA6B 型柴油发电机组启动超时问题的分析和处理

李宏磊, 张聚涛, 康春雨

(中核第四研究设计有限公司, 河北 石家庄 050021)

摘要: 某核电应急发电机组 PA6B 型柴油机在机组出厂试验中出现了启动时间超过 10 s 的问题。采用经验法结合排除法的综合方式对该问题进行了分析。分析发现:管路制作质量不达标;在液压执行机构与横向拉杆间传动机构内,部分部件未装配至预期位置是造成该问题的主要原因。实施相应整改措施后,故障得到彻底排除。

关键词: 应急柴油发电机组;启动;液压执行机构;传动机构;装配

中图分类号: TK423.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2021)04-0046-04

Analysis and Treatment of Starting Timeout of PA6B Diesel Generator Set

Li Honglei, Zhang Jutao, Kang Chunyu

(The Fourth Research and Design Engineering Corporation of CNNC, Hebei Shijiazhuang 050021)

Abstract: The starting time of PA6B diesel engine of a nuclear power emergency generator set was over 10 s during the factory test. The problem was analyzed by the method of experience and exclusion. The analysis results show that the quality of pipeline was not up to standard. In the transmission mechanism between hydraulic actuator and transverse rod, some parts were not assembled to the expected position was the main reason for this problem. After the corresponding rectification measures are implemented, the faults are completely eliminated.

Key words: emergency diesel generator set; start; hydraulic actuator; transmission mechanism; assembly

0 引言

核电应急柴油发电机组在机组出厂试验(FAT)中有一项试验是单排连续启动,具体要求为:机组启动空气瓶在不补充气源的条件下,单排连续启动 5 次,每次都须在 10 s 内达到额定电压和转速。但 PA6B 型机组常会出现启动时间超出 10 s 的情况。针对该问题本文简要介绍影响启动性能的部件,并通过针对性的调整和排除查找问题原因,并进行验证。

1 机组启动方式

18PA6B 型应急柴油发电机组的主机为 V 型 18 缸压燃式柴油机,额定转速为 1 000 r/min,额定

功率为 6 203 kW,启动方式为压缩空气启动。柴油机 A、B 排各装有一件空气分配器,以达到单双排启动的效果,从而满足核电冗余启动的要求。机组的启动采用电子调速器进行控制,此外柴油机上还装有液压执行机构,可在电调故障时临时使用。

1.1 电子调速器控制原理

电子调速器作为机组的“大脑”,直接控制液压执行机构。液压执行机构拉动油门齿条,控制油门开启的大小,实现对机组转速的控制和调节。图 1、表 1 分别为电调控制的原理图和软件设置参数。

从图 1 和表 1 中可看出:机组启动阶段 T3 之前属于油门开度定量控制阶段,T3 之后进入 PID 控制阶段,通过期望斜率设定参数执行转速控制。

柴油机的启动分为三个阶段,第一阶段当转速

在 (T1, ST1) 时, 电调会产生一个信号, 并将该信号传递给执行器, 执行器通过传动机构产生一个与该信号相匹配的燃油齿条格数。当转速升至 (T2, ST2) 时, 同样会产生一个相匹配的信号。此时, 齿条数值会被限制, 避免油门过大导致柴油机超速。当转速升至 (T3, ST3) 时, 调速器进入调速模式, 转速逐渐稳定至额定转速。表 1 为软件内部相应 (T1, ST1) 等数值的齿条参数设置点。ST1 的转速设定值为 20 r/min, ST2 的转速设定值为 250 r/min, ST3 的转速设定值为 450 r/min, 这些设定值均为经验数值。

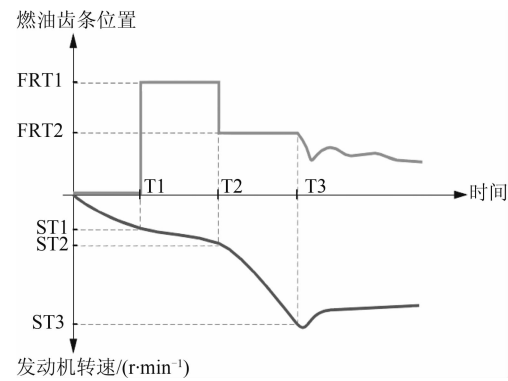


图 1 电子调速器控制原理图

表 1 软件设置参数

启动工况点	燃油齿条格数/mm	占比/%
停	0	0
起动阈值 1	26.20	75
起动阈值 2	17.50	50
最大	35.00	100
离合器分离	7.00	20
预加载	1.70	5

1.2 启动系统

图 2 为 PA6B 型柴油机启动原理图。如图所示: 单排启动时, 按下启动按钮, 电磁阀带电并打开, 0.7 MPa 控制气源由此进入并开启主启动阀, 4 MPa 的启动空气旋即经由该阀被分为两路, 一路进入缸盖上的启动阀前端待命; 另一路进入空气分配器, 并经分配器将启动阀打开。此时启动空气通过缸盖进入燃烧室, 推动活塞连杆运动, 驱动曲轴、凸轮轴旋转, 凸轮轴带动安装在凸轮轴端的空气分配器分配盘旋转, 分配盘按照发火顺序分别开启各缸盖启动阀, 使启动空气按照发火顺序依次进入各燃烧室, 推动活塞连杆运动, 带动柴油机旋转。待转速升至 120 r/min 时, 柴油机启动成功, 此时转速传感器将该转速信号反馈至控制系统, 控制系统切断控制空气, 关闭主启动空气阀, 柴油机

启动完成。

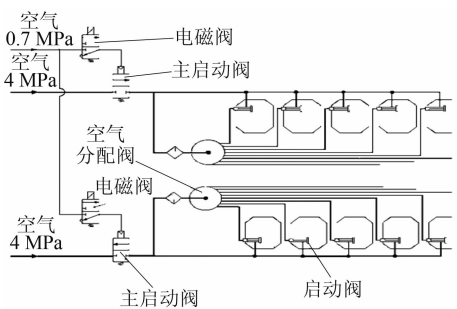


图 2 启动原理图

2 启动超时排查及处理

图 3 为 FAT 单排连续快启试验中最后一次试验时的特性曲线。由图可见: 机组在 12 s 时达到额定转速 1 000 r/min, 不满足试验大纲规定的 10 s 内达到额定转速的要求。

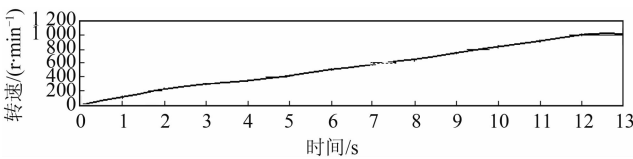


图 3 机组试验实时特性曲线

机组启动系统零部件众多, 在查找问题原因时主要采用了经验法加排除法。

2.1 燃油齿条情况

液压执行器和横向拉杆座采用弹性拉杆连接, 右侧为燃油齿条, 如图 4 所示。基于经验对柴油机燃油齿条摆动情况进行检查, 同时录制该部分启动时的视频并与以往的视频进行对比, 发现: 该机燃油齿条格数达到 30 mm 和 20 mm (与电子调速器中的两个启动临界点设置数值基本对应) 时所用时间均大于以往的机组。



图 4 传动部分

2.2 启动空气系统

影响启动时间的部件为: 主启动阀、缸盖启动阀、启动空气管路、空气分配器及传动系统。下文将对以上部件进行详细介绍, 并进行针对性的检查和排除。

2.2.1 主启动阀

主启动阀主要由三部分构成：电磁阀、执行机构和阀体（图5）。其动作原理为：接到启动信号后，电磁阀带电并打开，控制空气经电磁阀进入执行机构，执行机构动作并将阀门打开。当接到关闭信号后，电磁阀关闭并切断气源，执行机构内部弹簧动作并推动阀杆将阀门关闭。经计算，主启动阀的响应时间要求为不大于30 ms，且从0~100%开启和100%~0关闭的时间不大于0.5 s。现场采用秒表分别在开机时对两个主启动阀的开启和关闭时间进行实测，发现：一台阀开启时间大于0.5 s。对其进行更换后，机组启动时间在11 s至12 s间，略有好转，仍不满足要求。因主启动阀本身参数已满足要求，所以不再对其进行进一步处理。

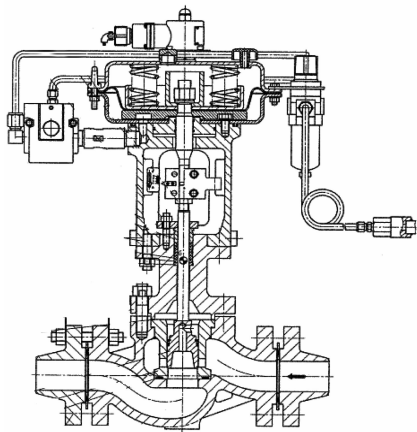


图5 主启动阀

2.2.2 缸盖启动阀

缸盖启动阀为活塞连杆式滑阀，如图6所示。压缩空气经分配器进入阀腔后，推动活塞压缩弹簧使阀杆整体移动，启动阀打开，压缩空气进入缸套；反之启动阀关闭，并切断4 MPa气路。缸盖启动阀打开的时间同样会影响机组启动时间，但受制于测量手段，且据以往经验，该阀出现问题的可能性不大，所以暂将其排除。

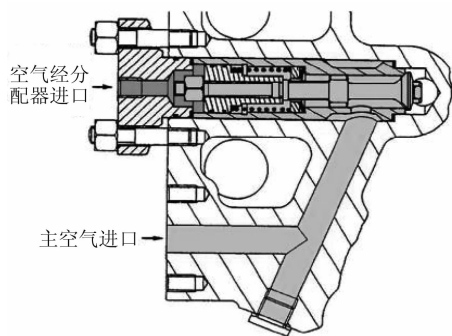


图6 缸盖启动阀

2.2.3 启动空气管路

启动空气管路对气压有一定的影响，气压越大则作用于活塞头上的压力越大，曲轴的转速也就越高。尽管压缩空气气压恒定，设定值一般为4 MPa，但使用中发现以下两点会对机组启动时间产生影响：一是管路的管径。由伯努利方程($P + 1/2\rho v^2 = \text{常量}$)可推得：恒定压强下管路通径越大其压力越大，反之则压力越小。图纸要求管路尺寸为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 。二是管路弯制质量。该型柴油机上每排各有9根管段连接至分配器罩壳，采用空间布置，拐角多且不规则，整体结构较为复杂，制作难度大。其布置如图7所示。

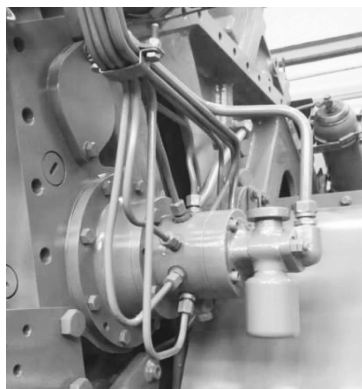
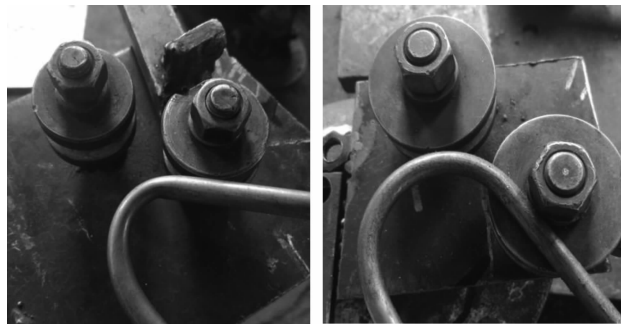


图7 启动管路

气体经过管路就会有一定的沿程阻力损失，拐角处因阻力大损失会更大些。此时如果管子制作质量不高，折弯处不够圆滑，阻力就更大，从而影响柴油机的启动。检查空气管路的管径和弯管处，发现：所有管路管径均符合图纸要求，但部分管路存在拐角处被压扁现象；进一步检查确认系制作时使用不当工装所致。图8a)是采用不当工装制作的管路，弯角处通径面积大大减小，图8b)是采用新工装制作的管路，弯角处通径无变化。对压扁的管路更换后，启机多次，启动时间多在10~11 s间，仍不满足要求。



a) 不当工装制作的管路

b) 新工装制作的管路

图8 弯制管路

2.2.4 空气分配器

试验前曾因 A 排空气分配器漏气对其进行过更换, 更换后该排启动情况得到改善。检查 B 排空气分配器 (图 9), 主要检查分配器盘 (图 10) 与分配器本体的贴合情况。检查结果显示贴合情况良好, 满足工艺文件中贴合度大于 75% 且应连续不断的要求。

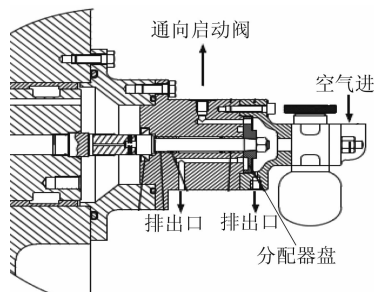


图 9 分配器结构图



图 10 分配器盘

2.2.5 传动系统

该机组采用电子调速器控制转速, 液压执行机构在其控制下输出扭矩, 通过传动机构拉动高压油泵齿条动作, 实现对喷油量的控制, 最终达到对转速的调节和控制。该部分传动机构主要有两部分: 纵横向传动部分 (图 11) 及液压执行机构与横向机构间的传动部分 (图 12)。该两处影响启动的因素主要是部件的装配位置和装配尺寸。

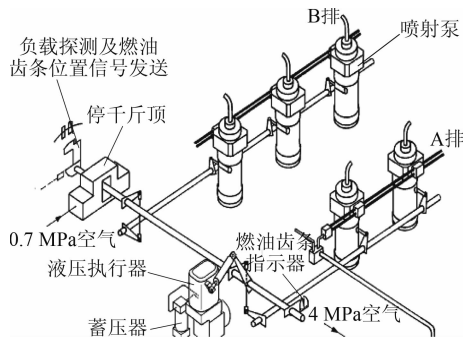


图 11 传动机构 1

纵横向传动机构分别安装于柴油机自由端上部和柴油机凸轮轴窗口内, 检查难度较大; 另外由于柴油机的排温、最高燃烧压力等运行参数均正常, 初步判断其发生故障的可能性不大。对传动部件的灵活性进行了检查, 同时检查了油泵齿条的装配尺寸, 均正常。之后检查了弹性连接杆和摇臂 (图 12) 的装配位置尺寸, 发现两个问题: 一, 连接杆中心距 (工艺文件要求为 250 mm) 不满足要求; 二, 液压执行机构上摇臂的初始角略大 (工艺文件要求为 30°)。

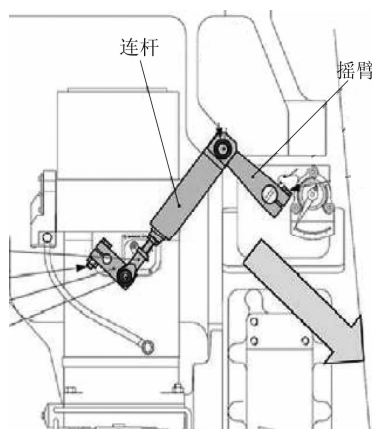


图 12 传动机构 2

针对以下问题对弹性连接杆进行调整, 使其与工艺文件要求一致。调整后开启机组, 进行单排连续 5 次启动试验, 启动时间均在 10 s 内。为确认问题是否得到彻底解决, 再次进行了多次单排连续启动试验, 启动时间均符合大纲要求。

3 结论

综上, 造成此次机组启动超时问题的原因有两点: 一是管路的制作质量不达标; 二是液压执行机构与横向拉杆间传动机构内部分部件未装配至预期位置, 导致启动过程 (及其后过程) 喷油量小于柴油机设计预期。其中第二点是主要原因。

另外, 通过对柴油机齿条运转情况的观察, 以及对比以往机组, 得出了控制该型机组启动时间在 10 s 内的一些必要条件: 一. 柴油机投入励磁时间最好控制在 7 ~ 8 s 间, 尤以 7.5 s 前效果最好; 二. 柴油机燃油齿条实际值第一次应为 30 mm, 第二次为 20 mm; 三. 超时问题的调整应以机械部分为主, 不建议对电调设置参数进行调整。