

应急柴油机并网试验调速器故障原因及处理分析

史佳俊

(中核核电运行管理有限公司 浙江 海盐 314300)

摘要: 本文以应急柴油机 E19600 电子调速器及 EGB-50P 机械调速器为研究对象, 阐述了在柴油机并网试验阶段调速系统可能出现的两种典型故障, 经过理论图形与特性曲线分析, 找到了这两种故障产生的根本原因。并经过理论计算与实操分析, 分别制定了解决故障的方案, 提升了应急柴油机设备的可靠性。本文所提供的思路对于同行业解决柴油机调速器的类似故障有重要借鉴意义。

关键词: 应急柴油机; 调速器; 并网

1 应急柴油发电机组调速系统概述

1.1 调速系统简介

应急柴油机 E19600 调速器为电子式调速器, EGB-50P 为机械调速器, 以下简称电调和机调, 两者共同组成了应急柴油机的调速系统。调速系统在柴油机空载运转时通过同步模式 (Isochronous Mode) 提升柴油机的转速, 在并网带载运转时通过速降模式 (Droop Mode) 实现应急柴油发电机组并网并调节应急柴油发电机组的输出功率。图 1 清晰地反映了调速系统对柴油机的宏观调速原理。

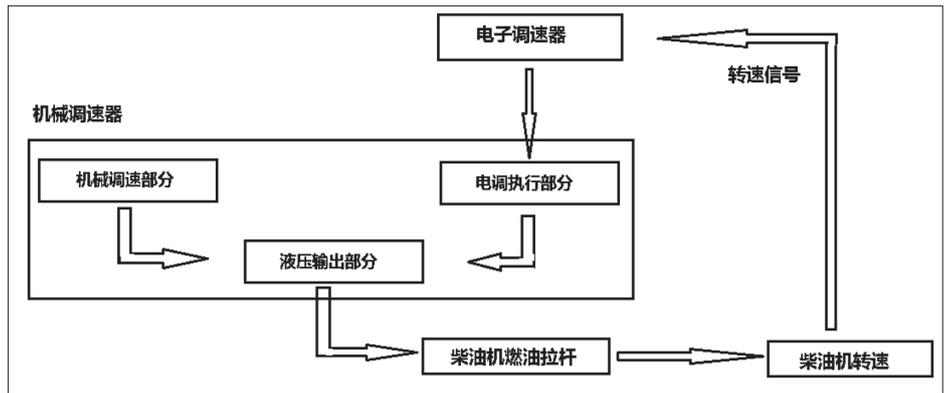


图 1 调速系统对柴油机的宏观调速原理

图 1 清晰地反映了调速系统对柴油机的宏观调速原理。

1.2 调速系统在应急柴油发电机组中的重要作用

调速系统在应急柴油发电机组启动至满负荷并网的全过程中始终起着决定性的作用: 首先, 当应急柴油发电机组接收到应急启动信号后, 电调瞬间上电, 并输出电流信号至机调线圈, 准备参与速度控制的调节; 同时, 柴油机的启动压缩空气将外围润滑油通过伺服升压器压入机调, 在机调内建立油压, 使机调具备了作为电调执行器的条件。启动压缩空气将柴油机的转速带至 70rpm 后, 活塞开始发火做功, 电调开始输出电流信号至机调执行其调速功能, 并通过机调操纵燃油拉杆对柴油机供油, 在运行技术规格书规定的 10s 时间内将柴油机的转速迅速升高至 500rpm 的额定转速。

图 2 为柴油机启动阶段转速提升曲线图。在接收到启动信号时, 起机压空系统进入柴油机各缸将柴油机从静止状态“吹”起来, 当转速达到 70rpm 时, 压空退出, 调速系统开始进行速度调节, 可使柴油机的实际转速最终稳定在 500rpm。

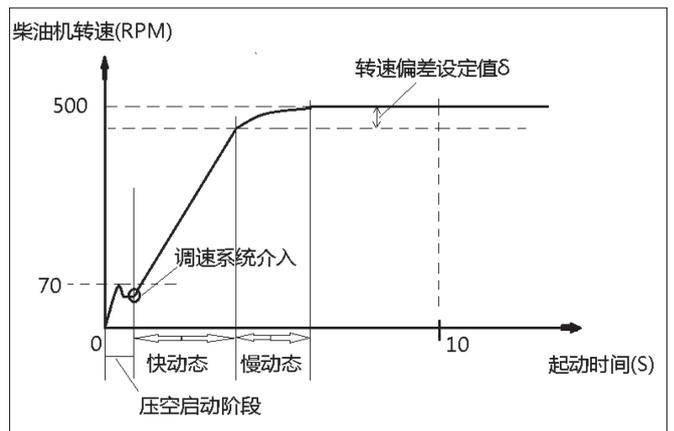


图 2 柴油机启动转速提升曲线

应急柴油发电机组并网的过程如下: 柴油机的空载转速已稳定在 500rpm 附近, 对发电机投加励磁, 确认柴油机的输出电频率稳定在 49.95 ~ 50.05Hz, 电网频率也一直稳定在 50Hz 附近, 主控操纵员观察柴油发电机的出口电频率与电网频率比较, 并通过主控同期小车进行发电侧和系统侧的压差、频差和相位差的调节操作, 以满足同期并网条件。当两者频率一致时, 主控操纵员采用同期小车手动将柴油发电机的出口端子

切入电网，应急柴油发电机组完成并网。

在并网成功后，应急柴油发电机组还必须顺利地从业网初始的最低负荷逐渐升功率至100%满功率，这一过程也是通过操作电子调速器的转速旋钮——电调向机调发出加油的电流信号——使机调操纵柴油机燃油拉杆不断增大燃油供给量来实现的。

2 并网阶段调速系统典型故障及其影响

2.1 并网频率波动导致逆功率

在并网瞬间，电调由同步模式进入速降模式。在速降模式下，电调需在恒速条件下对柴油机增加供油量，从而提升柴油机的功率，供油量的大小与柴油机的功率成正比。但由于电调在柴油机并网时需要切至速降模式这一特性，因此在柴油并网时会带来一个不可避免的问题：并网后如无电调的主动干预，应急柴油发电机组的频率与电网频率相同，由于电网的频率终究存在一定的波动，若此时电网频率略微增大至50.02Hz，则将导致柴油发电机组的频率也增大至50.02Hz，由于电调在速降模式下无自动调功率的功能（功率全靠手动调节），根据速降模式下的负荷与频率曲线分析，柴油机的功率将会迅速下降至逆功率保护动作区域，最终会导致电气控制部分逆功率保护动作使应急柴油发电机组与电网解列。

2.2 加载特性曲线干扰导致柴油机无法提升功率

由于存在速降，速降模式下的转速负荷曲线其实是一条斜线，该模式下不同的速降定值对应不同的加载特性曲线。对于单机运行的应急柴油发电机组，可以通过调节转速设定值实现输出功率的增大或减小。

由于机调与电调均存在对柴油机转速的调节功能，两者都有独立的速降模式负荷试验功率——转速加载特性曲线，一旦两条曲线相交，在柴油机功率提升过程中，机调就会在交点处对电调进行干扰导致功率无法继续上升。

3 故障原因分析

3.1 并网频率波动故障原因分析

电调控制柴油机的转速和功率，均是通过控制燃油拉杆齿条位置，即控制供油量来实现的。通过对比电调的两种控制模式可以发现：在并网前，电调采用同步模式已将柴油机的转速稳定在500rpm，此时柴油机的燃油拉杆齿条位置必定是一个供油量较大的位置。但在并网初期，应急柴油发电机刚与电网相连，此时柴油机的功率是很低的，由于恒速状态下电调已无须再对转速进行控制，在电调切换至速降模式后，燃油尺条位置会很快降至供油量很小的位置。

并网后，应急柴油发电机组的频率与电网保持一

致，虽然电网的频率相对比较稳定，但也有轻微的波动，若此时电网的频率略微增大，则由于速降特性将导致柴油机在转速不变的情况下供油量继续减少，而过小的供油量自然会使功率继续下降，当功率进入逆功率区时，会使应急柴油机无法继续向电网输送电功率而形成逆功率脱网。

因此，根据以上分析可知，由于并网频率波动导致柴油机进入逆功率的根本原因是由于电调控制模式的切换引起的并网初期供油量过小。

3.2 加载特性曲线干扰故障原因分析

因电调只有速降模式才具有恒速调频功能，因此只有在速降模式下应急柴油发电机组才能实现功率提升，即柴油机的转速在电调的速度设定值（500rpm）下运行，并逐渐提升功率。而应急柴油发电机组升降有功功率的实质是利用速降原理，在柴油机转速恒定的情况下，通过逐渐旋动电调速度设定值来实现。

决定线走势的主要因素为该特性线的初始位置及斜率，其中特性线的初始位置即为转速设定值，而斜率就是速降值。假设电调的速度设定值为500rpm，速降设定值为0，机调的转速设定值为510rpm，而速降设定值为3.7%，则有功功率增至54%时即达到了机调执行器的最大限制，两者形成了干扰，此时功率无法再继续上升。

根据以上分析可以得知，速降模式下的机调与电调有各自独立的功率-转速设定特性线，决定该特性线走势的两个因素为转速设定值和速降。

由于在同步模式及速降模式下，应急柴油发电机组的转速和功率均主要由电调进行控制。电调的转速设定值与柴油机的额定转速相同，均为500rpm，且应急柴油发电机组的功率提升也由电调速降来实现，因此电调的速度设定值与速降值是基准，机调的速度设定值与速降值需要通过调节与其进行匹配。

因此，可以得知，造成电调与机调加载特性曲线干扰的根本原因是机调的转速设定值与速降值设置不合理。

4 解决方案及措施

4.1 并网频率波动故障解决方案及处理措施

由于存在并网初期燃油供给量不足的情况，且速降模式下的电调本身没有自动提升转速及增加供油量的设计功能，因此要在并网时防止供油量不足导致的逆功率，就需要手动对供油量进行适当增加，结合现场实际，运行操纵人员在并网瞬间应立即在现场柴油机电气控制柜001PP上手动给予增加速度脉冲信号增加供油量使功率稳定，待功率没有下降趋势后方可停止手动增速。

4.2 加载特性曲线干扰故障解决方案及处理措施

如需确保速降模式下应急柴油发电机组顺利提升功率，对机调的速度设定值和速降需重新进行统一设置，将机调与电调的速度负荷曲线错开，最大限度地防止交叉，避免两者互相干扰。

首先进行转速设定值的选取。首先，由于电调的转速设定值为500rpm，因此机调的转速设定值必须大于该值。但过大的转速设定值会带来另一个风险：当电调突然失去调速作用时，柴油机的转速将迅速阶跃至机调转速设定值，若该值过大，柴油机由于转速惯性上冲，机调来不及将柴油机的转速“拉”回来，柴油机将触发电机超速保护动作停机甚至有“飞车”风险。

现场该值可以通过试验得出的经验数据进行选取，由于需对各台柴油机的机调数据进行统一，为了便于记录管理，需要选取的机调设定值数值建议为5的倍数。在对柴油机现场进行过的电调控制突然失去从而检验机调性能的试验中，得出如表所示的数据。

从表中数据可以看出，当机调的转速设定值为515rpm时，峰值转速最高不超过550rpm，而当机调速度设定值为520rpm时，峰值转速接近了电调超速保护动作设定值，并且可能会对柴油机的机械部件造成一定的损害，因此建议的机械转速设定值为515rpm。

接下来选取机调速降值，当功率发生变化时，机调控制的柴油机的输出燃油拉杆与功率之间的变化非线性关系，因此在机调速降不为0的情况下，随着功率的提升，机调活塞存在不稳定性，有中间介入参与调速从而干扰电调的可能，因此为确保在应急柴油机发电机组提升功率的全过程中机调与电调之间不发生干扰，机调的速降必须设置为0。

根据以上分析可以得出，为确保应急柴油发电机组并网带载试验中机调与电调之间不发生干扰，保证功率提升顺利。需将机调的转速设定值设置为515rpm，速

表 电调航空插头突然拔取验证机调性能试验数据 /rpm

试验次数	机调转速设定值	失去电调后的柴油机转速峰值	电调超速保护动作定值
1	505	523	560
2	505	527	560
3	510	535	560
4	510	538	560
5	515	547	560
6	515	547	560
7	520	558	560
8	520	557	560

降值设置为0。

5 结语

在柴油机并网阶段调速系统可能会出现功率波动故障导致柴油机逆功率脱网，其根本原因是电调控制模式的切换引起的并网初期供油量过小；在功率提升阶段可能会出现加载特性曲线干扰故障导致柴油机无法提升功率，根本原因是机调的转速设定值与速降值设置不合理。

通过在并网初期手动对应急柴油发电机组提供增速脉冲信号并将步骤固化至试验规程中，可以保证并网过程中的功率稳定；对机械调速器的速度设定值调整为515rpm，速降值调整为0，可以有效解决电调和机调加载特性曲线干扰。

参考文献：

[1] 邵家骧. 发动机转速自动控制 [M]. 北京：人民交通出版社，1990.

作者简介：史佳俊（1984.10-），男，汉族，浙江海盐人，本科，高级工程师，研究方向：核电厂机械检修。