

工程机械启动马达和蓄电池匹配设计研究

赵 诣

斗山山猫机械（中国）有限公司 江苏苏州 215000

摘要：启动马达的功率和性能取决于蓄电池的容量和冷启动能力，选择不同的蓄电池将会增加或降低启动马达的转速和功率，本文通过分析启动马达性能的最佳条件，研究了启动马达和蓄电池的启动效率，测试了温度对机械冷启动的影响，从而设计出一种启动马达和蓄电池的最佳匹配的方法。

关键词：启动马达；冷启动；效率；匹配

前言：

随着全球工业化的发展，尤其是近二十年内国内工程机械的快速发展，工程用启动马达也取得了长足的发展，也是目前大多数工程机械上必不可少的组成部分，启动马达可以减少人力启动发动机的麻烦、启动迅速、可重复使用等优点，常用于汽车发动机的启动，发电机的启动及大型工程机械的启动等。启动马达的工作原理就是将蓄电池的电能转化为机械能，从而驱动发动机上的飞轮旋转，这样就实现了发动机的启动，因此需要蓄电池为启动马达运行提供动力，为保证启动马达和蓄电池可以最大效率的相互匹配，节省能源浪费，提高启动效率，这就需要对启动马达和蓄电池的性能进行研究，以最大效率实现启动马达的运行。本文从影响启动马达和蓄电池的各种因素出发，研究两者的最佳运行条件，来设计出两者最佳匹配的方法。

一、启动马达的选择

由于启动马达需要驱动发动机飞轮来启动发动机，首先我们就需要识别启动马达和蓄电池组合所需的转速和扭矩。

启动马达扭矩 = (发动机扭矩) × (启动马达齿数) / (飞轮齿数)

启动马达转速 = (发动机转速) × (飞轮齿数) / (启动马达齿数)

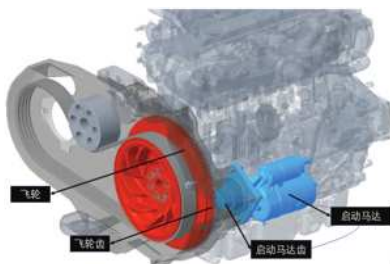


图1 启动马达与飞轮啮合关系

二、启动电机性能的最佳区域

红色框内表示启动马达和蓄电池的最有效工作范围，启动马达的堵转扭矩通常显示在图的右侧，如果启动马达

在启动过程中达到堵转扭矩时，发动机将很可能不会启动。

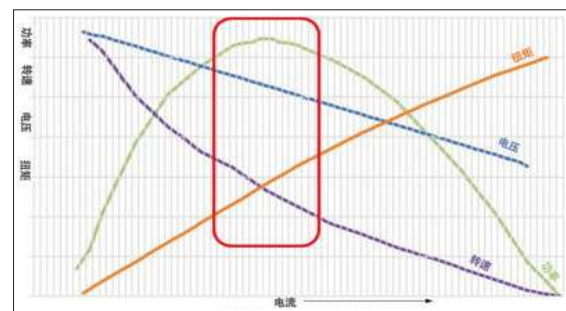


图2 启动马达电机性能最佳区域

三、启动电机特性曲线

图3显示了某品牌启动马达制造商的典型特性曲线图，启动马达的额定功率和性能取决于用于产生曲线的蓄电池，使用不同的蓄电池将增加或者减少启动马达的转速和功率。

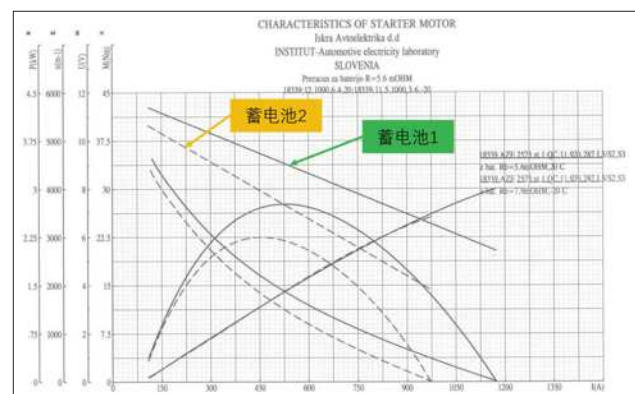


图3 启动马达电机特性曲线图

温度对蓄电池内阻会有较大影响，低温状态如0℃以下，温度每下降10℃，内阻约增大15%，其中因硫酸溶液粘度变大；在较高温度时，如10℃以上，硫酸离子的扩散速率提高了浓度极化作用将明显减小，极化电阻下降，但导体电阻却随温度增加而上升，不过上升的速率较小。从图3可以看出，蓄电池1和蓄电池2的温度分别为20℃和-20℃，其内阻从5.6Ω增加到7.9Ω，从而使启动马达的功率和性能曲线整体往下移。

四、启动性能影响因素

1. 蓄电池冷启动能力

蓄电池冷启动能力通常用冷启动电流CCA值来表示,冷启动电流(CCA)一直以来都是衡量蓄电池性能的一项重要指标,所谓冷启动电流CCA值,是指在规定的某一低温状态下(通常规定在 -17.8°C)时蓄电池在电压降至极限馈电电压前,连续30秒释放出的电流量。例如:某蓄电池CCA值为600,则意味着其在 -17.8°C 下,电压降到7.2V前,连续30秒可提供600A的电流量。

2. 整机冷启动能力

温度对机械整机冷启动能力也有较大影响,一方面,由于机械附加载荷的增加,比如液压泵、空调压缩机和附加在发动机上的部件会增加发动机的扭矩,消除或者减少这些影响将提高冷启动能力^[2];另一方面,电气附加载荷的增加,比如发动机控制单元、预热塞和其它电气元器件将消耗一部分电池容量,如果适用,在电流和电压计算中应包含这些负载。

在新机型的开发过程中,整机冷启动测试评价是开发验证过程中必不可少的验证项目,因此,除了需要考虑单品的冷启动能力,还需要进行整机的冷启动能力测试,从温度的角度来看,在柴油机启动过程中,温度对柴油机启动阻力有较大影响,温度越低,启动阻力越大,另外,初始温度与着火延迟时间呈指数关系,因此,改善柴油机启动时的热氛围可改善柴油机的启动性能^[1]。下面我们对斗山山猫滑移装载机的实际冷启动测试过程进行分析。

(1) 室温下启动过程

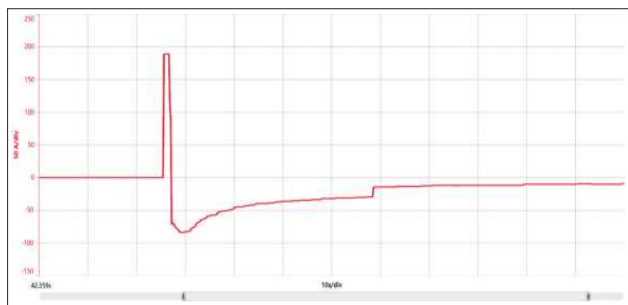


图4 34℃进气温度启动电流



图5 34℃进气温度发动机转速与蓄电池电压的关系

在室温条件下对机械进行启动,由于机械中的流体都有较好的流动性,其中包括柴油、发动机机油、冷却液以及液压油,此时机械元件的配合间隙较小,发动机更容易启动,另外,进气温度也能进一步改善发动机启动初始期着火条件^[3-4]。图4为 34°C 进气温度下的启动电流,启动电流最高大概在180A,而且启动的时间较短,大概持续了2秒左右;图5是 34°C 进气温度下发动机转速与蓄电池电压的关系,在启动过程中,蓄电池电压有所下降,大概在10V左右,这说明蓄电池有充足的容量,我们可以根据启动马达特性曲线发现,在该温度下启动机驱动发动机所需要的扭矩较小,启动电流也就越小,此时可以以较高的转速带动飞轮,发动机转速提升快,较快实现发动机的启动。

(2) 低温下启动过程

① 启动成功

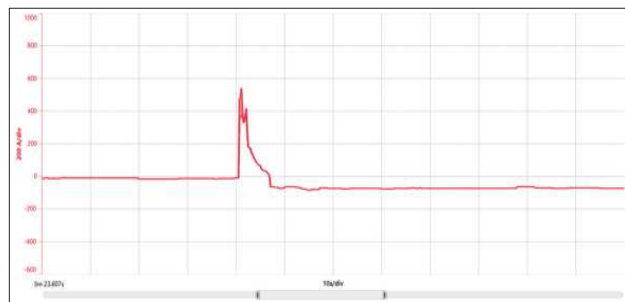


图6 -12°C 进气温度启动电流



图7 -12°C 进气温度下发动机转速与蓄电池电压的关系

在低温条件下对机械进行启动,机械中的流体粘度都会增加,其中包括柴油、发动机机油、冷却液以及液压油,此时机械元件的摩擦力在低温时会比正常工作温度时大,此时驱动发动机所需的扭矩就会更大,另外,进气温度较低时,冷机启动初期阶段会有较大的着火滞后期,扩展燃烧也会降低,而且所着温度的降低,蓄电池的有效容量就会急剧下降。图6为 -12°C 进气温度下的启动电流,启动电流最高大概在580A,启动时间稍长,大概持续了5秒左右;图7是 -12°C 进气温度下发动机转速与蓄电池电压的关系,在启动过程中,蓄电池电压下降明显,最低大概在8V左右,此时蓄电池的电压只能满

足机械的基本要求，如果低于8V，机械中的很多电气设备都无法正常工作，从而就会启动失败。同样可以根据启动马达特性曲线发现，在该温度下启动机驱动发动机所需要的扭矩增加，启动电流也会增加，此时发动机转速阶梯上升，此时，蓄电池容量基本可以满足机械的启动。

②启动失败

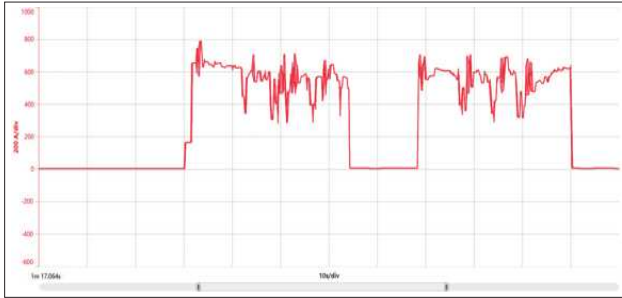


图8 -18℃进气温度启动电流



图9 -18℃进气温度下发动机转速与蓄电池电压的关系

在更低温度条件下对机械进行启动，随着温度的降低，蓄电池的容量快速下降，在这种情况下机械中的流体粘度进一步增加，此时机械元件的摩擦力在低温时会比正常工作温度时更大，此时驱动发动机所需的扭矩更大，另外，随着进气温度的降低，着火滞后后期继续增加，启动马达需要更长的启动时间，就需要消耗更多蓄电池的容量。图8为-18℃进气温度下的启动电流，启动电流最高大概在800A；图9是-18℃进气温度下发动机转速与蓄电池电压的关系，在启动过程中，蓄电池电压下降更加明显，可以从图9看出蓄电池的实时电压最低只有6V，此时机械中的电气设备都无法正常工作，由于无法持续提供稳定的电压，最终导致启动失败，像这种情况，此时的蓄电池无法满足机械性能的要求，如果想在低温条件下启动成功，就需要选择更高容量和CCA的蓄电池。

3.启动马达效率

启动马达效率公式： $\eta = P_s / V_A$ （ P_s 是启动马达功率， V_A 是蓄电池电压和电流的乘积）

蓄电池的容量随着温度的降低而降低，启动马达效率决定了用来启动发动机的电池功率的百分比，效率更

高的启动马达可以在更低的温度下启动，或允许使用更小容量的电池。

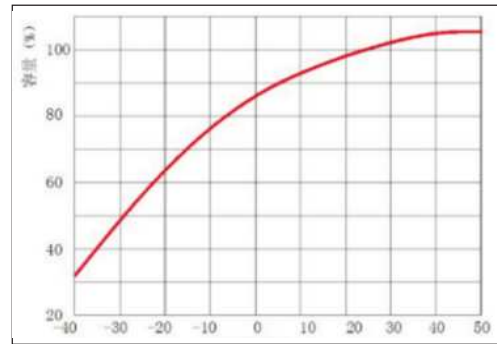


图10 蓄电池容量与环境温度关系曲线

4.动态启动特性

发动机扭矩和转速会随着蓄电池电压将在启动过程中震荡，在寒冷天气启动时，应考虑启动过程中所需要的最小电压、最小发动机转速和最大扭矩。

5.启动时间

SAE J1375定义柴油发动机的启动的时间不超过30秒，由于历史客户数据的经验，如果发动机仍有机会启动，比如蓄电池有足够的容量，启动时间可以允许超过30秒。

6.过载保护

确认启动马达过载保护，使用控制器程序管理启动马达继电器应该在适当的发动机转速下断开，如果启动马达继电器直接连接钥匙开关，需要设计过载保护。

六、结论

1.温度的变化会改变蓄电池内阻，影响蓄电池的容量，使得不同的蓄电池将增加或者减少启动马达的转速和功率。

2.随着进气温度的降低，冷机启动初始阶段着火滞后明显增加，扩散燃烧降低，更多的启动时间决定了所需蓄电池的容量。

3.随着环境温度的降低，机械中的流体粘度都会增加，以及机械附加负载和电气附加负载的增加，都会导致发动机启动扭矩的增加，蓄电池压降增加及启动电流增加，因此需要选择更高容量和CCA的蓄电池才能完成机械启动。

参考文献：

- [1]温度对农用柴油机启动性能的影响分析[J].王永富，王洪荣，郝刚.农机化研究.2009（12）
- [2]柴油机启动机匹配研究[J].刘名，王保栋，张坦志，高仲凯，宋国华.汽车实用技术.2020（09）
- [3]柴油机低温启动性能的改进措施[J].张肇伟.工程机械与维修.2011（04）
- [4]进气温度对直喷式柴油机冷启动初始期燃烧和排放的影响[J].苏岩.内燃机工程.2006（06）