

蓄电池挖掘机设计及动力系统参数匹配研究

王高龙

(山河智能装备股份有限公司 湖南 长沙 410100)

摘要: 本文主要对当前电动挖掘机存在的电池续航问题进行研究,进而提出设计新型的蓄电池挖掘机来解决问题;设计了供电车、自动收放电缆的部件,进一步提高机动性;对动力系统匹配存在的不足进行了分析,提出使用以电池放电特性为基础的电池组容量进行匹配的方法,并给出了SOC估算的相关策略。

关键词: 工程机械; 挖掘机; 蓄电池; 移动供电; 动力系统

1 系统方案

1.1 整体方案

图1为本次设计的系统整体方案。其主要由两部分组成,即挖掘机和供电车,并且可以使用一台供电车和多台供电的方式对挖掘机供电,能够在电池能量密度不改变的情况下提高续航的能力,具有较高的经济性,在供电车中使用的电缆收放部件则能确保施工时电缆不受损害。

1.2 电缆收放部件

图2为处在供电车上的电缆收放部件。其主要零件为卷筒、卷簧、固定轴、电刷、集流环、轴承和导向装置。在收放部件内部有电力连接零件,电刷处在电缆电力的输入端,并在固定轴位置装配集流环,导线的一端经固定轴和集流环进行连接,而导线的另一端和电源装置进行连接,电刷和集流环则采取滑动连接,用于移动电源装置和电缆间的电力及信号的相应传输。

1.3 导向装置

将导向装置安装在电缆的输出端能够确保电缆达到自动收放的功能,并且还可以减少电缆的磨损,以及避免电缆出现拖拽的安全事故。而且,在电缆收放的装置内装有拉力感知的部件,当电缆受到的拉力值超出一定的范围时,卷筒向电缆的放出方向转动,与之相反,拉力值低于设定的范围时则收缩。

2 电池动态特性分析

2.1 容量特性分析

续航的能力主要是由电池组的容量C所决定,有实际容量、额定容量。实际容量C是指在使用时的电池在达到截止电压前释放的能量。额定容量 C_N 主要是0.1C放电倍率下电池的电量。以往的匹配方法主要依据能量需求对电池组的额定容量进行实际的计算,进而忽略了在一定工况下容量衰减的特性。特别是挖掘机的放电倍率非常大,所以放电无法达到额定值,最终导致无法满足工作的要求。因此合理的估算电池在实际的工况中发生的容量衰减非常重要。

2.2 放电深度

其主要是指放电的实际与额定的容量比,当放电深度越大时,在同一能量下的电池匹配容量要求越小,但是电池的寿命短。因此在电池的管理中需要科学设定放电的深度阈值。

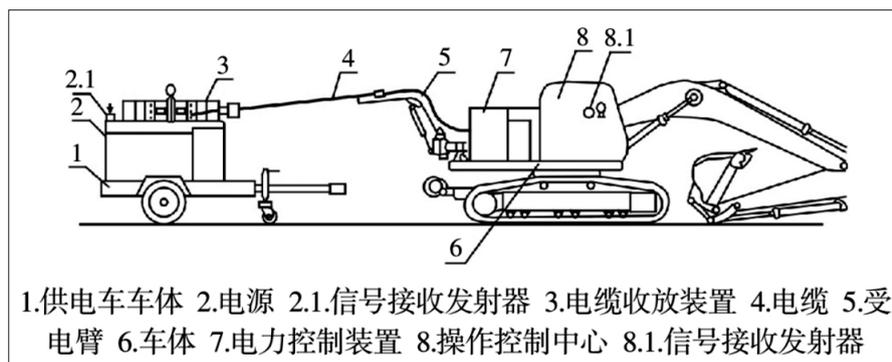


图1 移动供电式挖掘机方案图

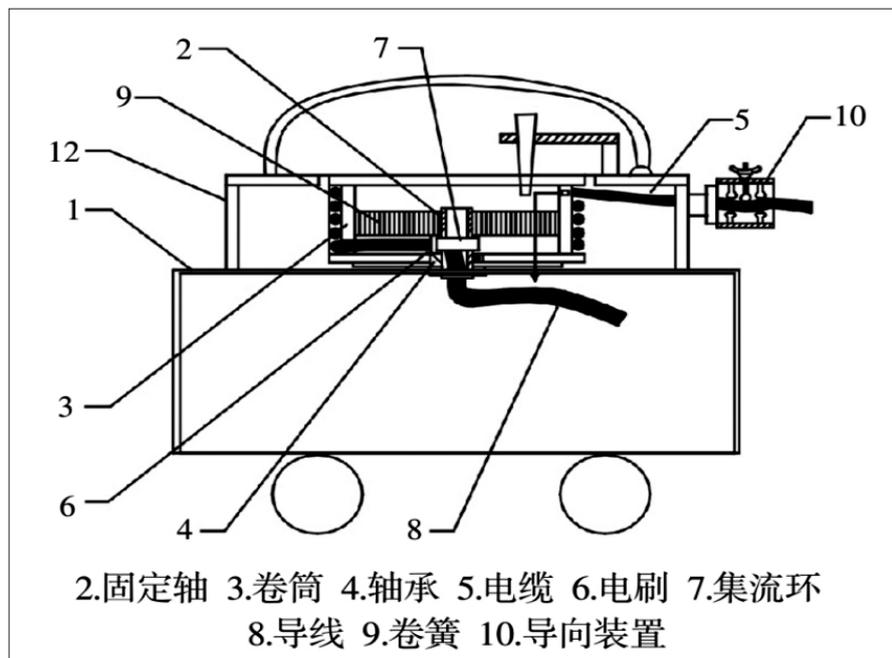


图2 电缆收放部件结构图

2.3 Peukert 参数辨识

放电条件对电池的实际容量具有决定性的作用，当使用 Peukert 最多，如公式 (1)。

$$I^n t = \text{constant} \quad (1)$$

公式中：n 代表 Peukert 系数；

I 代表放电电流；

t 代表放电时间。

Peukert 表明放电的电流幂和放电的时间之积为固定常数。n 值大容量偏离额定值高，进而可用的容量衰减非常明显。根据公式 (1) 可联立不同的放电条件下，计算 Peukert 方程得出 n，如公式 (2)。

$$n = \frac{1gt_1 - 1gt_2}{1gI_1 - 1gI_2} \quad (2)$$

为得出目标电池 Peukert 的实际参数，针对电池在不同倍率下开展放电的试验分析，结果如图 3。依据试验的数据经公式 (2) 得出 Peukert 的参数，然后再以此对实际的放电电流出现的容量衰减予以相应的补偿。

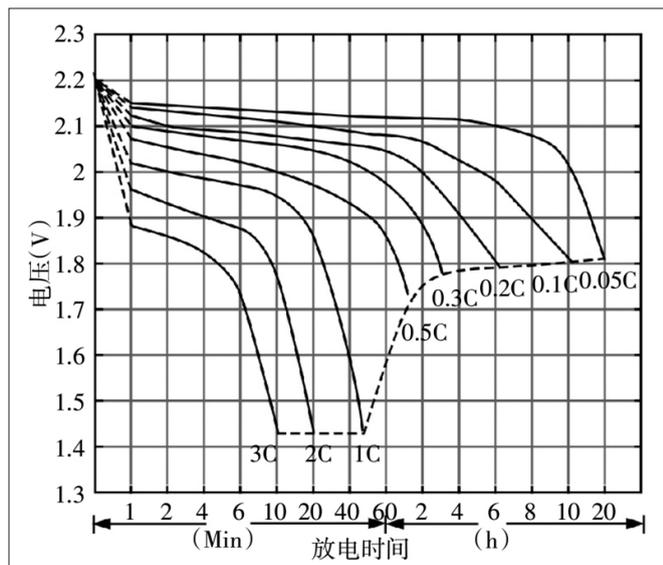


图 3 Peukert 参数辨识实验分析

3 系统参数设计

3.1 电传动系统的参数分析

电动机的各项参数设计要求：额定功率为 30kW；额定转速为 1500r·min⁻¹；额定电压为 380V。

电池组的各项参数设计要求：放电工况为 20kW；放电时间 120min；循环寿命为 800 次。

3.2 电池参数设计分析

3.2.1 电池类型

当前的电池种类有铅酸、锂离子、镍氢等几种。挖掘机所使用的电池需要能够在恶劣的工作环境中使用，并且需要更高的放电倍率，铅酸电池符合上述要求，并且投入的成本非常较低。

3.2.2 电池组容量分析

容量取决单体电池的容量，以及成组的方式，具体如公式 (3~4)。

$$C_b = N_2 \bullet C_1 \quad (3)$$

$$U_b = N_1 \bullet U_1 \quad (4)$$

公式中：U_b 代表电池组的电压；

U₁ 代表单体电池的电压；

C_b 代表电池组的容量；

C₁ 代表单体电池的容量；

N₁ 代表串联的数量；

N₂ 代表并联的数量。

当电池数量多时则可靠性低下，并且对电池的管理更加的困难，而运用大容量的单体电池进行串联则能有效的降低管理成本，并提升可靠性。所以，电池组的容量等于单体电池的容量，并可以从具体的工况下而进行估算，在电流恒定下如公式 (5~6)。

$$C_b \geq \int_0^t I dt = I \bullet t \quad (5)$$

$$I = \frac{P}{U_b \eta_b \eta_c \eta_m} \quad (6)$$

公式中：I 代表电池工作的电流；

t 代表工作的时间；

P 代表电动机的功率；

η_b 代表电池组的效率；

η_c 代表控制器的效率；

η_m 代表电动机的效率。

当电池的放电倍率大则可用的容量低，根据前文的分析表明，当单体电池 Peukert 的参数对实际的放电倍率出现的衰减补偿予以计算，并考虑放电的深度影响，如公式 (7)。

$$C = \left(\frac{I}{0.1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \left(\frac{1000Pt}{U_b \eta_b \eta_c \eta_m DOD} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

根据实际的情况分析，电池组=552V，Peukert 参数 n 依据图 3 的试验得出为 1.2，依据设计的相关要求，P=20kW，t=2h，将其代进公式 (7) 中计算得出电池组的参数如下：单体电池容量 110A·h；总容量 110A·h；单体电池电压 12V；总电压 552V；电池成组的方式为 46 串；总重 2t。

4 电池组 SOC 估算的策略分析

4.1 计算方法

对电池的能量进行管理的重点即是准确的计算出电池 SOC 荷电的状态。运用安时法对 SOC 进行估算，如公式 (8)。

$$\text{SOC} = \text{SOC}_0 - \int_0^t \eta I dt / C_N \quad (8)$$

公式中：SOC₀ 代表初始荷电的状态；

I- 代表放电的电流；

C_N 代表额定的容量；

η 代表放电的效率。

SOC₀ 经充电装置得出，放电时重置可消除安时积分法的误差，I 则经电机控制器进行测出。

4.2 放电效率

放电效率为在实际的放电条件下,放电到截止电压放出的电量和额定电量比,当放电的电流大时则效率低,根据 Peukert 公式(1)可推出公式(9):

$$\eta = C / C_N = (I / I_N)^{n-1} \quad (9)$$

公式中: I_N 代表额定放电的电流。

5 实例分析

新型的蓄电池式挖掘机主要由动力电池组供电,而挖掘机能在供电半径 20m 内进行移动工作,利用电缆的收放部件可以确保作业时具有良好的机动性,并确保电缆的安全。为了验证电池组的参数正确,经 20kw 的工况下开展 300h 循环的试验分析,具体的试验条件如下:充电电流 0.15C,室外温度 5℃,终点电压 520V,工况 20kW。表 1 为电池的续航时间。

受浮充电压产生的影响而导致放电的初始状态有较小的误差,试验选择室外开展,并且在试验中室温有一定的

表 1 电池续航时间

序号	电压初值	放电时间
1	630V	141min
2	610V	128min
3	628V	131min
4	620V	125min

(上接第 56 页)

的作用下转动,故在转子绕组中产生感应电动势,并产生电流,即电动机处于发电状态,电磁转矩与转子旋转方向相反,起到制动作用。

以上矿用电传动矿用设备在动态缓行制动时使用的耗能制动的方式,需要电动机转化为发电机,在产生制动磁场力时伴生感应电流,且电动机与发电机的构造、其元件和元件的连接方式相同,故可以使用增加控制电路、转换电路等方式,以勒图尔勒前装机能量回收的思路,将设备制动时产生的电能回收并加以利用。同时,增加相应的控制模块,即时切断和恢复发动机的燃油供应,以此节约设备的燃油消耗,为企业的节能降耗、降本增效提供了新的思路和研究方向。能量回收的具体实现方式,还需后续进一步分析和探讨。

5 结语

日益增长的环境保护压力、燃油资源与其价格压力和设备维修保养成本制约,使得露天煤矿成品煤吨成本处于较高水平。设法降低成品煤吨成本是增强企业市场竞争力的重要方面之一。本文介绍的究勒图尔勒前装机搭载的 SR 开关磁阻混合动力系统工作原理,显示出该系统与传统同类型设备制动形式及燃油消耗的优越性。研究勒图尔勒的能量回收系统,可为该系统在同类型矿用设备上的推广提供参考。其推广使用将带来燃油成本的节约、刹车片和电阻栅更换成本的降低,有效降低成品煤吨成本,带来较高的经济效益,

变化,但电池组均符合设计要求,并且容量设计的冗余小,表明设计正确,而且还具有较高的经济性及实用性。

6 结语

利用此方法对电池组容量进行估算时受到放电倍率及深度产生的影响,经过相关的试验构建 Peukert 放电的模型,对电池容量的衰减予以补偿,提升了匹配时的精度。通过循环试验表明,该系统实用性较高。

参考文献:

- [1] 刘彬,刘辉,权龙,等.变转速纯电驱液压挖掘机能效特性研究[J].中北大学学报(自然科学版),2016,37(006):588-592.
- [2] 李波,柯坚,张西川,等.基于动态特性的新能源挖掘机电池组参数匹配[J].科学技术与工程,2017,017(035):251-255.
- [3] 李洁,程珩,权龙,郝云晓,关澈.纯电驱液压挖掘机复合动作电能能量回收再利用系统研究[J].液压与气动,2020,352(12):49-55.
- [4] 张骥.电动挖掘机动力与传动系统设计及仿真[D].青岛大学,2015.
- [5] 杨国永,谷侃锋,沙清泉.一种新型电动挖掘机整体设计[J].机械设计与制造,2012(11):61-63.
- [6] 肖心远,李怀俊,黄剑.纯电动遥控轮式液压挖掘机电液控制模型设计[J].农业装备与车辆工程,2018,056(010):16-18.

同时降低柴油发动机的污染排放,更好地实现节能减排。

参考文献:

- [1] 樊红毅,李振林.勒图尔勒装载机简介[J].露天维修技术,2015(3):43-46.
- [2] 勒图尔勒工程设备(大连)有限公司.勒图尔勒 L-1150 服务手册[Z].2018.
- [3] 王宏华.开关磁阻电动机调速控制技术[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [4] 黄海宏,王海欣,张志全.开关磁阻电机驱动电源设计[J].电力电子技术,2005(1):103-105.
- [5] 陆丽芳.开关磁阻电机调速系统设计研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2013.
- [6] 李俊卿,李和明.开关磁阻电机发展综述[N].华北电力大学学报,2002(1).
- [7] 袁瑜.大型矿用卡车动力传动系统漫谈[J].矿业装备,2013(11).
- [8] 狄瑞.浅谈现代矿用卡车电传动控制系统[J].科技创业月刊,2013(1).
- [9] 王兆安,黄俊.电力电子技术[M].第五版.北京:机械工业出版社,2000:151.

作者简介:李志鹏(1993.07-),男,汉族,山西朔州人,助理工程师,研究方向:露天设备维修与管理。