

苏通 GIL 运输专用机具动力电池类型探讨

夏顺俊¹,陈江华¹,宋帅²,赵冬¹,严焱¹,鞠保兴¹,俞海燕¹,高峰¹

(1. 江苏省送变电有限公司, 江苏 南京 210037; 2. 太原重工股份有限公司, 山西 太原 030024)

摘 要: GIL 运输专用机具是为安全、可靠、高效地完成苏通 GIL 综合管廊工程 GIL 单元的运输任务而研制的专用机具, 其中动力电池系统设计是整机设计的重点之一。通过对各种常见动力电池优缺点的分析, 并结合苏通 GIL 运输专用机具对动力电池的需求分析, 确定了动力电池系统的技术路线, 为苏通 GIL 运输专用机具的研制提供了坚实的基础。

关键词: GIL 运输专用机具; 动力系统; 铅酸蓄电池; 镍氢蓄电池; 锂离子蓄电池

中图分类号: TM912 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2020)01-0185-03

Research on Battery Type for Special Equipment for Sutong GIL Transportation

XIA Shunjun¹, CHEN Jianghua¹, SONG Shuai², ZHAO Dong¹, YAN Yao¹, JU Baoxing¹, YU Haiyan¹, GAO Feng¹

(1. Jiangsu Diversion Co., Ltd., Nanjing 210037, China; 2. Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd., Taiyuan 030024, China)

Abstract: The GIL transportation special Machine is a device for Sutong GIL comprehensive pipework engineering and GIL unit transportation tasks. It is characteristic of safety, reliability and high efficiency. The design of the power battery system is important one in the whole machine design. This article analyses the advantages and disadvantages of various common power batteries according to the requirement of the power battery for Sutong GIL transport special machines. The technical route of the power battery system is defined. A solid foundation is laid for the development of for Sutong GIL transportation special machines.

Keywords: GIL special machine and equipment for transportation; power system; lead-acid battery; nickel metal hydride battery; lithium-ion battery

0 引言

苏通 GIL(气体绝缘金属封闭输电线路)运输专用机具是为了安全、可靠、高效地完成苏通 GIL 综合管廊工程 GIL 设备在管廊内的运输与预就位任务而专题研制的全新设备, 是一种特殊的轮轨式运输机具。

苏通 GIL 综合管廊工程是目前世界上电压等级最高、输送容量最大、技术水平最高的超长距离 GIL 创新工程。工程位于苏通大桥上游 1 km 处过江, 起于南岸苏州引接站, 止于北岸南通引接站。是目前国内埋深最深、水土压力最高的隧道工程, 全长约 5.6 km。

根据工程设计, 在工程建设期间管廊内部需将约 2000 段各类 GIL 单元设备分别由南岸苏州引接站、北岸南通引接站运输至管廊内部并预就位。GIL 单元设备长约 18 m, 最大单体质量达 5.1 t。三相运输单元最大质量 13 t, 运输任务艰巨。为实现管廊综合利用最大化, 管廊内设计预留的 GIL 设备运输空间极为有限。

为适应 GIL 综合管廊长距离、大坡度、多变径的环境特点以及重负荷、高强度、精就位的施工需求, GIL 运输专用机具自然摒弃了传统的内燃机动力系统, 采用电池动力系统。

1 动力电池的分类

目前, 较为成熟的动力电池依据其材料的不同分成几类: 铅酸蓄电池、镍氢蓄电池、锂离子蓄电池^[1-2]。

1.1 铅酸蓄电池

铅酸蓄电池是指电极主要由铅及其氧化物制成, 电解液是硫酸溶液的一种蓄电池。放电状态下, 正极主要成分为二氧化铅, 负极主要成分为铅; 充电状态下, 正负极的主要成分均为硫酸铅。

相比于其他几种蓄电池, 铅酸电池是工业化最早的二次电池, 是化学电池中市场份额最大、使用范围最广的电池。其实现工业化生产的时间最长、技术最为成熟, 具有低成本、无可燃性、性能稳定、可靠、适用性好的特点。但其能量密度偏低, 一般为 30~40 Wh/kg, 只有锂离子电池的 1/3 左右、氢镍电池的 1/2 左右; 循环寿命偏短, 理论循环次数仅为锂离子电池 1/3 左右。

1.2 镍氢蓄电池

镍氢电池是一种性能良好的蓄电池。镍氢电池分为高压镍氢电池和低压镍氢电池。镍氢电池正极活性物质为 Ni(OH)₂(称 NiO 电极), 负极活性物质为金属氢化物, 也称储氢合金(电极称储氢电极), 电解液为 6 mol/L 氢氧化钾溶液。镍氢电池作为氢能源应用的一个重要方向越来越被人们所关注^[1]。

镍氢电池目前多用于混动汽车的储能电池。

与铅酸电池相比镍氢电池的能量密度约为 70~

100 Wh/kg。功率密度高、可大电流放电,其低温放电性能也较为理想。但由于电池单体电压仅为 1.2 V,是锂电池的 1/3,因此在需求电压一定的情况下,其电池组的体积要比锂电池大一些。

与锂电池一样,镍氢电池也需要电池管理系统,但其更注重电池的充放电管理。之所以存在这样的区别,主要是源于镍氢电池具有“记忆效应”,即电池在循环充放电过程中容量会出现衰减,而过度充电或放电,都可能加剧电池的容量损耗(锂电池此项特性几乎可忽略不计)。因此对于厂商来说,镍氢电池控制系统在设定上都会主动避免过度充放电,如将电池的充放电区间人为控制在总容量的一定百分比范围内,以降低容量衰减速度。

1.3 锂离子电池

锂离子蓄电池是用锰酸锂、磷酸锂或钴酸锂等锂的化合物作正极,用可嵌入锂离子的碳材料作负极,使用有机电解质的蓄电池。目前纯电动汽车上应用的储能装置主要是锂离子电池^[2]。

按照锂离子电池正极的材料不同,汽车动力锂离子电池主要分为:锰酸锂离子蓄电池、磷酸铁锂离子电池、钴酸锂离子电池、三元聚合物锂离子蓄电池等。

1) 锰酸锂离子蓄电池

锰酸锂离子蓄电池是指正极材料使用锰酸锂材料的电池,其标称电压达到 3.7 V,以成本低、安全性好而被广泛使用。锰酸锂(LiMn_2O_4)具有尖晶石结构,其理论容量为 148 mA·h/g,实际容量为 90~120 mA·h/g,工作电压范围为:3~4 V。

主要优点是锰资源丰富、价格便宜、安全性高、比较容易制备。缺点是理论容量不高。材料在电解质中会缓慢溶解,即与电解质的相容性不太好;在深度充放电的过程中,材料容易发生晶格畸变,造成电池容量迅速衰减,特别是在较高温度下使用时更是如此。

2) 磷酸铁锂离子电池

磷酸铁锂离子电池是使用磷酸铁锂作为正极材料的锂离子蓄电池。磷酸铁锂(LiFeO_4)具有橄榄石晶体结构,其理论容量为 170 mA·h/g,在没有掺杂改性时其实际容量已高达 110 mA·h/g。通过对磷酸铁锂进行表面修饰,其实际容量可高达 165 mA·h/g,已经非常接近理论容量,工作电压为 3.4 V 左右。

磷酸铁锂具有高稳定性、更安全可靠、更环保并且价格低廉的特性,但其缺点是电阻率较大,电极材料利用率低,低温性能衰减较为严重。

3) 钴酸锂离子蓄电池

钴酸锂离子蓄电池是指用钴酸锂作为正极材料的锂离子蓄电池,其标称电压为 3.6 V。钴酸锂(LiCoO_2)具有尖晶石结构,其理论容量为 135~145 mA·h/g。

主要优点是电化学性能优越,易加工,性能稳定,一致性好,比容量高,综合性能突出。但其也有着明显的缺点,目前钴酸锂电池的应用还是比较少的。小电池用钴锂的技术很成熟,应用于动力电池方面也有一定的难度;其最大缺点在于钴是比较稀缺的战略性金属,钴酸锂电池的成本太高。

4) 三元聚合物锂离子蓄电池

三元聚合物锂离子电池是指用镍钴锰酸锂($\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$)或者镍钴铝酸锂的三元正极材料的锂电池^[3]。其容量约为 160~185 mA·h/g,电压高线可以达到 4.2 V,放电平台可以达到 3.6~3.7 V。

与磷酸铁锂电池相比,三元聚合物电池的优点是电压平台高,能力密度更高、耐低温、循环性能也更好。缺点是安全性差,热稳定性较差,在 250℃~300℃ 高温就会产生分解,并且三元锂材料的化学反应尤其强烈,一旦释放氧分子,在高温作用下电解液迅速燃烧,随即发生爆燃现象。三元聚合物电池在大倍率充放电时正负极在充放电过程会发生体积收缩和膨胀,而充放电电流越大,收缩膨胀越剧烈,应力越大,从而正负极的颗粒在体积快速变化中更容易发生破裂或者从集流体剥离,导致循环衰减加快,也容易造成三元锂电池容量损失。

2 苏通 GIL 动力电池需求分析

苏通 GIL 综合管廊工程是一项世纪工程,保证苏通 GIL 运输专用机的本质安全是设备研发期间一项重要的课题。所以动力电池类型的选择必须要充分考虑动力电池的本质安全。

由于苏通 GIL 综合管廊预留的运输空间有限,所以苏通 GIL 运输专用机具的设计尺寸也较为紧凑。同时为了延长续航,动力电池的能量密度越大越好。

苏通 GIL 综合管廊工期紧张,对动力电池的可靠性有着较高的要求,要求动力电池的工业化程度较高,应用较为广泛,制造技术较为成熟。

苏通 GIL 综合管廊工程有着大坡度、多变径的综合特点,但 GIL 运输机具运行路线固定,在施工期间其耗电状态是可以进行计算的,从而可以进一步计算得出苏通 GIL 运输专用机具动力电池的需求电量。

从图 1 所示的苏通 GIL 综合管廊纵断面图,可以看出其全行程是由不同坡道组成。因管廊是由中间分别向两端施工,运输机具也是分别由南北两岸向管廊中间运输及预就位 GIL 单元,所以可以将工况分为南北两个不同工况,每个工况由不同坡道组成,如表 1 所示。

表 1 南北两岸运输路线坡道组成

路线	坡段	坡长/km	坡度/(°)
南岸路线	S1	0.420	0.050
	S2	0.853	0.023 457
	S3	0.360	0.050
	S4	0.300	0.005
	S5	0.300	0.005
	S6	0.502	0.031
北岸路线	S6	0.078	0.031
	S7	2.216	0.005
	S8	0.441	0.050

根据苏通 GIL 运输专用机具自重、行走电机选型等数据,可分别计算出两条路线的动力电池充放电功率曲线,如图 2、图 3 所示。

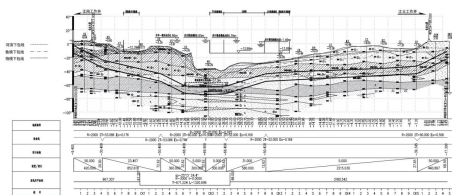


图1 苏通 GIL 综合管廊纵断面图

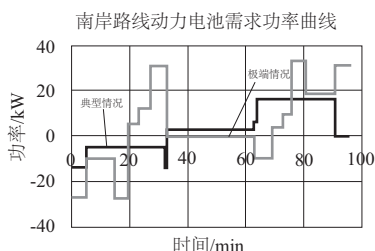


图2 南岸路线动力电池输出功率曲线

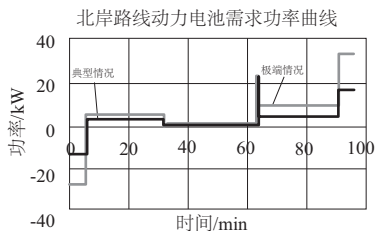


图3 北岸路线动力电池输出功率曲线

3 动力电池类型的选择

由于苏通 GIL 运输专用机具是为了适应苏通 GIL 综合管廊预留的有限运输空间,其尺寸设计较为紧凑,所以能力密度更高的锂离子动力电池是优选技术路线。

目前,国内工业化程度最高的锂离子动力电池是磷酸铁锂型动力电池和三元聚合物动力电池。综合比对这两种动力电池可以发现,三元锂电池在比能量、比功率、大倍

率充电、低温性能等方面具有优势,而在循环性能方面磷酸铁锂电池优势更为明显。相比于三元锂电池,磷酸铁锂电池体积、质量较大、价格较高^[3]。

从安全性指标来看^[4],在整体制造工艺等因素相同情况下,三元材料热稳定性较差,在 200℃ 左右的外界温度下就会分解,并释放出氧气,一旦着火容易造成“热失控”,在极短的时间内就会产生爆燃。而磷酸铁锂热稳定性好,在 800℃ 左右的外界温度下才会产生分解,即使分解也不会释放氧气。所以磷酸铁锂电池燃烧需要外部提供氧气,一旦氧气源被切断,火就能熄灭。在极端情况下,磷酸铁锂的燃烧也不激烈,且火势扩大较为缓慢,起火也比较容易被扑灭。

对于苏通 GIL 专用运输机具来说,两种类型的锂离子动力电池方案质量、尺寸均可满足,但从本质安全性角度考虑,应选用磷酸铁锂型动力电池。

4 结语

本文通过对苏通 GIL 运输专用机具对动力电池的需求以及各种常见动力电池特点及其优缺点的分析,并通过综合比选,最终确定了苏通 GIL 运输专用机具采用磷酸铁锂型动力电池,为苏通 GIL 运输专用机具的研制明确了技术路线。苏通 GIL 运输专用机具的成功研制,必将助力苏通 GIL 综合管廊工程安全、优质、高效地施工,助推我国电力建设事业的高速、健康发展。

参考文献:

- [1] 张思杨. 汽车维修行业应对新能源汽车时代策略分析[J]. 内燃机与配件, 2018(1): 148-151.
- [2] 严益平. 试论新能源汽车维修中电子诊断技术的应用[J]. 技术与市场, 2017(12): 1-5.
- [3] 何志静. 新能源汽车维修的关键技术研究[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2017(7): 11-12.
- [4] 王明华, 李在元, 代克化. 新能源导论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2014.

收稿日期: 2019-12-04

(上接第 175 页)

6 结语

本文采用蚁群算法,利用其优秀的全局寻优能力,对神经网络初始权阈值进行了优化,在一定程度上避免了 BP 神经网络易陷入局部最优的问题,并将改进的 ACO-BP 模型用于光伏发电功率预测。从预测结果表明:结合了蚁群算法与 BP 神经网络的优点,ACO-BP 神经网络模型相比于传统 BP 模型有更好的预测效果。通过与 PSO-BP 神经网络预测结果对比发现:ACO-BP 神经网络光伏发电功率预测模型的预测性能略优于 PSO-BP 神经网络,验证了本模型的合理性和准确性,方便电网调度机构制定更加合理的光伏发电运行方式,加强光伏发电并网的能力。

参考文献:

- [1] 樊磊. 基于改进 BP 神经网络光伏系统发电功率预测[C]. 燕山: 中国高等学校电力系统及其自动化专业第 27 届学术年会, 2011.
- [2] XU RD, CHEN H, SUN XY. Short-term photovoltaic power forecasting with weighted support vector machine [J]. Logistics, 2012, 17(4): 248-253.
- [3] CHENG Z, LI SY, HAN IJ, et al. PV power generation forecast based on data mining method [J]. Acta Energetica Sinica, 2017(3): 726-733.
- [4] 耿博, 白恒远. 结合相似日 GA-BP 神经网络的光伏发电预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 29(6): 118-123.
- [5] 张鹏华. 基于神经网络的分布式光伏电站短期功率预测[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2017.
- [6] 郝娟. 基于粒子群算法优化 BP 神经网络的 SRM 磁链模型[J]. 机械制造与自动化, 2018, 47(2): 130-132.

收稿日期: 2018-10-22