

适用于城市轨道交通的电力蓄电池工程车选型分析

邓虹辉 邓利春
(中车株洲电力机车有限公司 湖南 株洲 412001)

摘要: 在城市轨道交通规划阶段,综合考虑地域环境,地铁线路,使用工况,编组模式等多种因素,针对计划配置的电力蓄电池工程车的车体结构、动力模式、车钩型号等因素开展选型分析,为该类型车辆前期规划提供借鉴和参考。
关键词: 电力蓄电池工程车选型;中间司机室底架承载结构;双端司机室整体承载结构;胶体铅酸蓄电池;钛酸锂电池;100 型车钩

0 引言

用于城市轨道交通的电力蓄电池工程车主要采用接触网(或第三轨)及牵引蓄电池供电系统,主要用于城市轨道交通的段内调车及线路维护。其牵引蓄电池作为整车储备电源,在接触网(或第三轨)无电的情况下,为整车提供动力。车辆规划阶段可综合考虑地域环境差异,地铁线路条件,使用工况,编组模式等因素对车辆结构、动力模式及车钩开展选型分析。

1 电力蓄电池工程车产品平台介绍

适用于城市轨道交通的电力蓄电池工程车采用 DC 1500 V 接触网/第三轨或 DC 800 V 牵引蓄电池为动力。主要有两个用途:一是用于轨道交通车辆的牵引、车辆段调车,二是用于正线上牵引其它轨道车,且具有多起重联功能。车辆主要结构参数和性能参数如表 1、表 2 所示:

1.1 主要结构参数

表 1 电力蓄电池工程车主要结构参数

名称	参数值
轨距	1435 mm
轴式	B0-B0
车钩中心距 (中间司机室底架承载结构)	14460 mm/14740 mm
车钩中心距 (双端司机室整体承载结构)	15020 mm/14636 mm
车钩中心线距轨面高度	660 mm/720 mm/880 mm
车体两端面间距离	13560 mm

表 2 电力蓄电池工程车主要性能参数

名称	参数	
功率	接触网/第三轨供电	400 kW
	牵引蓄电池供电	300 kW
起动牵引力	接触网/第三轨供电	100 kN
	牵引蓄电池供电	100 kN
最高运行速度	接触网/第三轨供电	65 km/h、80 km/h
	牵引蓄电池供电	40 km/h
最大制动力	80 kN	
电制动功率	300 kW	

1.2 主要性能参数

见左下表 2。

2 车体结构选型分析

采用中间司机室底架承载结构(见图 1)或双端司机室整体承载结构(见图 2)的电力蓄电池工程车其主要技术性能基本一致。由于其结构不同,在车辆选型时需考虑以下几个主要因素选择更适宜的车体结构。

车体架构选型分析如下:

(1) 整车整备重量:中间司机室底架承载结构的工程车整车整备重量 52 t,双端司机室整体承载结构的工程车整车整备重量 54 t。采用中间司机室结构整车整备重量相对轻 2t,可承载更大容量的牵引蓄电池。如选用钛酸锂电池,则重量影响不大。

(2) 机械间结构:中间司机室底架承载结构的工程车牵引蓄电池安装在车辆端部的机械间内,外界环境温度对蓄电池温度影响大。采用双端司机室整体承载结构工程车蓄电池安装在车辆内的机械间,低温时可通过司机室的加装装置加热,高温时可有效通风。因此采用双端司机室整体承载结构工程车适用的环境更广,特别是北方高寒地区地铁线路规划电力蓄电池工程车时应综合考虑车体架构对牵引蓄电池的影响。

(3) 司机室、走廊:中间司机室底架承载结构的工程车司机室空间相对较小,搭载司乘人员不超过 8 人。但不同方向驾驶时,司机换端方便。双侧外走廊结构方便线路维护作业。采用双端司机室整体承载结构工程车司机室空间较大,视野宽阔,可搭载更多的司乘人员,可容纳 20 人左右。因此采用中间司机室结构的工程车在车辆段执行调车作业时更方便;双端司机室结构的工程车在执行线路维护作业时更舒适。

(4) 辅助柴油机:采用中间司机室结构的工程车机械间布置在车体端部,柴油机进气和排气方便,可配置辅助柴油机组为牵引蓄电池充电,增加工程车的牵引续航能力。

3 动力模式选型分析

用于城市轨道交通的电力蓄电池工程车胶体铅酸蓄电池与锂电池均有应用,相同容量的铅酸蓄电池比锂电池重;锂电池比铅酸蓄电池所占用的空间尺寸也要小;锂电池的

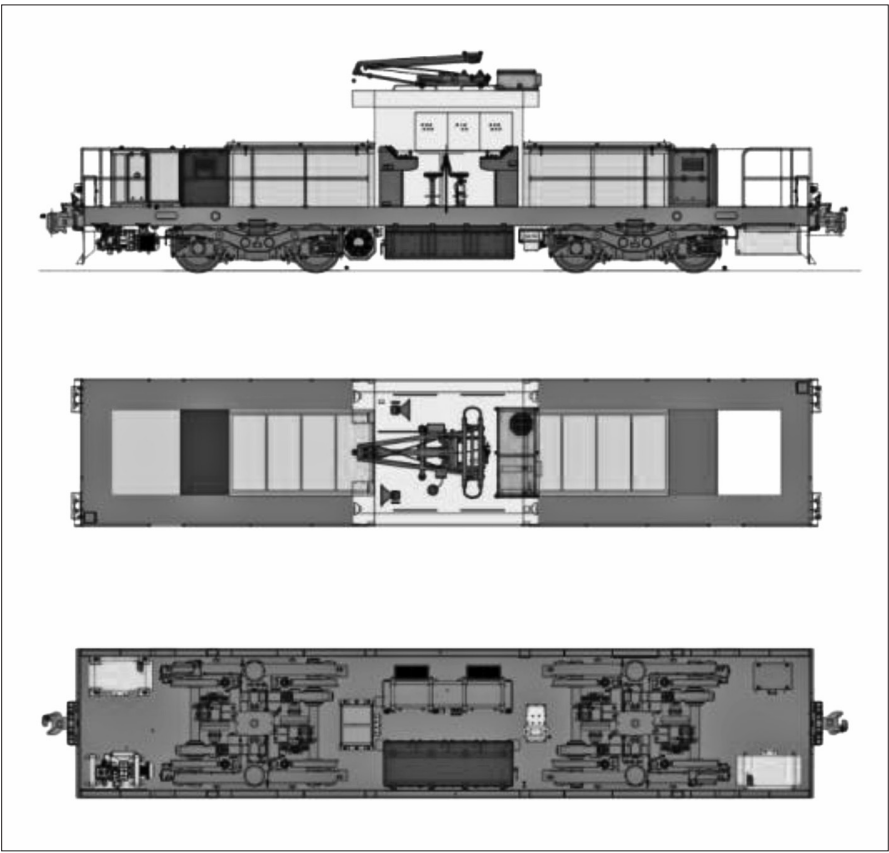


图 1 中间司机室双侧外走廊结构

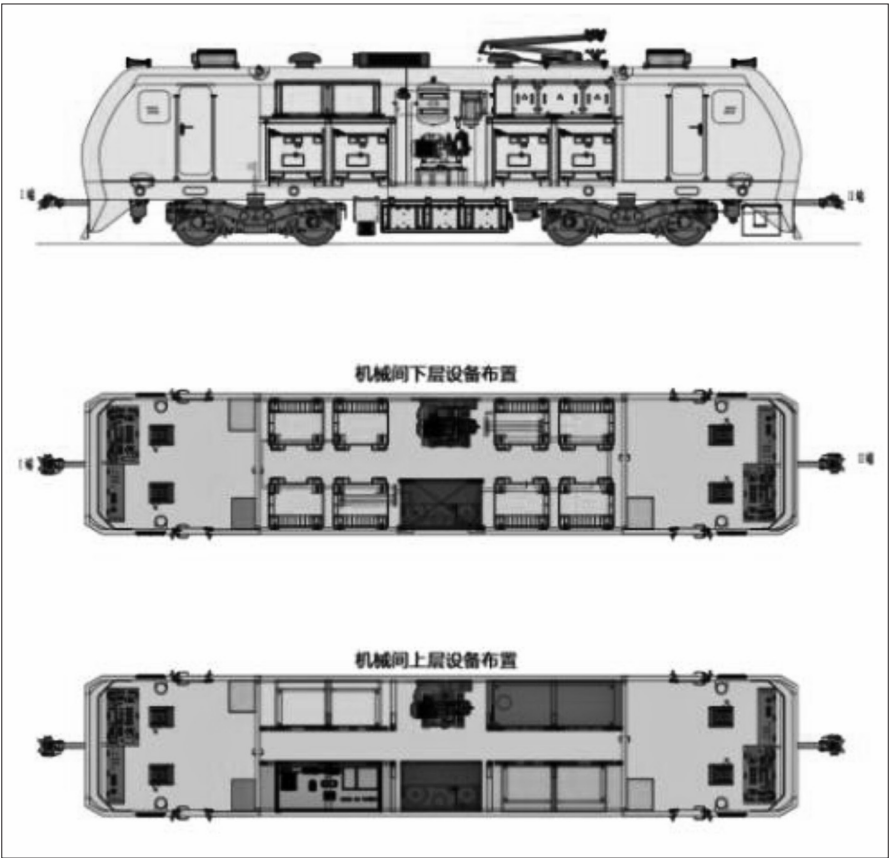


图 2 双端司机室中间走廊结构

电气性能要比铅酸蓄电池好；但锂电池作为大容量牵引蓄电池在轨道交通行业应用需配置更高更严苛的安全措施，且锂电池成本比铅酸电池相对较高。胶体铅酸蓄电池与锂电池主要参数对比（见表 3）。

在交通领域应用较广泛的锂电池有磷酸铁锂和钛酸锂。磷酸铁锂电池采用石墨电极，在低温及高倍率充电时有几率在负极表面析出金属锂，达到一定程度存在刺破隔膜的风险，造成电池内部短路引发事故。钛酸锂电池，在充电后期、低温或高倍率充电的情况下，负极电位不易达到锂离子还原成金属锂的电位，不会发生由析锂引发的安全事故。但钛酸锂电池相对磷酸铁锂电池能量密度小、购置成本高。

动力模式选型分析：在规划电力蓄电池工程车初期应先明确车辆的主要用途，典型牵引负载及使用工况，根据运行线路的坡道情况开展续航能力估算确定所需牵引蓄电池容量。如选用胶体铅酸电池可满足续航要求，且车辆成本预算有限建议优先考虑选用胶体铅酸蓄电池作为牵引电池。如胶体铅酸蓄电池不能满足所需容量要求，可考虑钛酸锂电池或配置辅助柴油机组。随着技术的发展和市场需求的扩展，电力蓄电池工程车动力模式也越来越丰富，呈现了多源制、多流制、混合动力等新技术。动力系统可集成牵引接触网 / 轨，蓄电池、柴油机组、超级电容等多种动力模式，可适用于多种地铁线路条件及复杂工况要求。

4 车钩选型分析

电力蓄电池工程车应用于地铁车辆的调车及线路维护，其主要牵引对象为地铁车辆和其他不带动力用于线路检修维护的专用工程车辆（以下简称专用工程车辆）。地铁车钩一般采用密接式车钩，车钩高度 660mm ~ 770mm。专用工程车辆一般采用 100 型车钩，车钩高度 880mm。如车辆之间连挂存在高度差，一般中间通过过渡车钩连接。但过渡车钩无缓冲装置，其运行速度将受到限制。过渡车钩限速分析因素包括被牵引车辆的重量，

表 3 胶体铅酸蓄电池与锂电池主要参数对比表

	锂电池	胶体铅酸蓄电池
性能参数	400Ah	400Ah（单体）
单体 / 组电压	单体 3.2V	2V（单体）
成组总重量	约 3.8 (t)	约 13.1 (t)
放电时工作温度范围	-20℃ ～ 60℃	-15℃ ～ 55℃
充电时工作温度范围	0℃ ～ 45℃	0℃ ～ 45℃
单位能量密度	0.09 (kwh/kg)	0.025 (kwh/kg)
单位体积能量	201 (kwh/m³)	66 (kwh/m³)
使用寿命 (充放电次数)	约 2000 次（估算）	约 800-1000 次

列车紧急制动距离，列车启动加速度，钩高差等参数。

综合电力蓄电池工程车的应用范围，存在以下编组情况：

（1）电力蓄电池工程车采用 100 型车钩

用于段内调车：100 型车钩 + 过渡车钩 + 地铁车辆（220t）

速度较低，20km/h 可以满足要求；

用于紧急救援：100 型车钩 + 过渡车钩 + 地铁车辆（220t）

需限速 20km/h ；

用于牵引专用工程车辆：可以直接连挂，不需要过渡车钩。

（2）电力蓄电池工程车采用密接式车钩

用于段内调车及紧急救援：可直接连挂。

用于牵引专用工程车辆：

密接式车钩 + 过渡车钩 + 专用工程车辆（60t ～ 100t）；

假设电力蓄电池工程车配置某型密接式车钩的工程车和配置 100 型板车通过过渡车钩相连挂，进行碰撞仿真计算。根据能量守恒定律：

$E=mv^2/2$, $v=\sqrt{2 \times E/m}$ 假设工程车重量 m=56 吨，不考虑机车和平板车的高度差。单个车钩可吸收能量 9.2KJ；配置改密接式车钩的蓄电池电力工程车在车钩两侧设置了防爬装置，可吸收能量为 177KJ。该平板车配置 100 型车钩和缓冲器，该缓冲器吸收能量的能力为 45KJ，平板车上有防爬装置但不吸能。因此能吸收的最大冲击能量为：

177+9.2+45=231.2KJ。

$v=\sqrt{2 \times (177 + 45 + 9.2) / 56}=2.87m/s=10.3km/h$

此时车端能吸收的最大冲击速度为 10.3km/h。

考虑列车紧急制动距离，列车启动加速度，钩高差等

表 4 采用过渡车钩时的限速仿真计算结果表

		被牵引车辆的重量	
		60t	100t
钩高差	880-660=220mm	限速 40 km/h	限速 30 km/h
	880-720=160mm	限速 45km/h	限速 35 km/h

参数采用过渡车钩时的限速仿真计算结果（表 4）。

根据上述分析，电力蓄电池工程车选型分析如下：如所规划的电力蓄电池工程车仅用于地铁车辆的段内调车，即仅牵引地铁车辆则优先选用与连挂地铁同型号的自动车钩，且车钩高度保持一致。如所规划的电力蓄电池工程车既用于地铁车辆段调车又用于牵引平板车或其它专用工程车对地铁线路进行维护，则建议优先选用 100 型。

5 结语

本文从电力蓄电池工程车的车体结构、动力模式、车钩形式三个方面，结合用户使用需求和车辆环境，分析了在电力蓄电池工程车规划初期的选型要求。在实际选型过程中，需考虑的问题还有很多，比如制动系统，蓄电池的管理系统，轮缘润滑方式，库内充电电压等本文在此就不再赘述。

参考文献：

[1] 王兆安，黄俊 . 电力电子技术 [M].4 版 . 北京：机械工业出版社，2001.

[2] 周清和 . 多制式城市轨道交通系统解决方案研究 [J]. 电力机车与城市车辆，2018（4）:1-7.

[3] 付雅婷，原俊荣，李中奇，等 . 基于钩缓约束的重载列车驾驶过程优化 [J]. 自动化学报，2019,45（12）：2355-2365.

作者简介：邓虹辉（1983.07-），男，汉族，湖南省株洲市人，工程师，本科，研究方向：轨道交通行业技术支持；邓利春（1990.03-），女，汉族，湖南省衡阳市人，大专，研究方向：轨道交通产品的无损检测。