

中小型高级纯电动城市客车总体设计

夏德刚

上海万象汽车制造有限公司 上海 201611

摘要: 简介纯电动城市客车现状、需求导向及发展趋势, 确定现阶段中小型纯电动城市客车定位和高级特征。以某7米级纯电动低入口城市客车总体设计过程为例, 论述中小型高级纯电动城市客车总体设计重心、设计要点及布置方案优选(特点), 为提升总体设计质量供参考。

关键词: 中小型; 高级; 低入口; 城市客车; 总体设计

前言: 时下, 我国经济社会的快速发展, 带来了城市私家车的普及、共享单车和网约车的广覆盖以及城轨的建设和延伸, 使人们出行更加多样便捷, 昔日拥挤的城市公交车已渐成往事。纯电动城市客车作为城市绿色公共出行载体之一, 正面临着大型车辆日常(早晚客流高峰外)载客率低、公共资源及能源等浪费的痛点问题, 用户如何解决痛点, 以实现服务质量不变、运营成本下降、车辆总数不减、发车频次不降、载客率相对均衡等, 是一个亟待解决的系统性问题。

城市客车适老化、无障碍需求导向。我国已进入老年型社会, 老龄人口数量庞大(据统计, 截止2024年底, 我国60岁以上人口突破3亿), 同时我国还有较大的残疾人群体(据统计, 截至2023年, 我国残疾人总数达8500多万), 残疾人和老人的公共高质量出行问题需加快解决。政策上国家高度重视残疾人事业发展和老龄工作, 2023年9月1日《无障碍环境建设法》正式施行, 2024年1月12日交通运输部会同6部门和单位印发了《关于进一步加强适老化无障碍出行服务工作的通知》(交运函〔2024〕20号, 简称《通知》), 《通知》要求“各地交通运输主管部门要督促运营单位加快推广应用低地板及低入口城市公共汽电车”。现如今公交公司新增车辆已开始全面优先选择适老化、无障碍城市客车。

城市客车向小型、高端、智能发展。城市客车小型化可以解决前述痛点问题(10米及以上大型车辆、运营成本高、载客率低等), 同时符合国家发展政策(2024年6月7日, 交通部、国家发改委、工信部等十三部门印发《交通运输大规模设备更新行动方案》, 积极推广“小型化公交车辆、低地板及低入口城市公交车辆”)。城市客车既是公共交通工具, 又是城市的名片, 驾驶员、乘客需要智驾、智享, 人文、科技等展示

作者简介: 夏德刚(1980-), 男, 工程师, 主要从事客车总体设计及项目开发管理工作

需要高端、智能移动载体。

综上, 中小型纯电动城市客车已处于行业优先发展的位置, 是现在和未来发展重点。产品小型化的同时需具有新的高级特征: 大运力、适老化、无障碍、高端化、智能化等。以上即是产品使用需求, 在进行总体设计的时候, 需要转化为设计目标要求并通过车辆技术参数进行体现。下面通过一款某7米级纯电动城市客车的总体设计过程简介, 浅析中小型高级纯电动城市客车总体设计重心、设计要点及布置方案优选(特点)。

1 总体设计重心

整车方案选定和总体设计原则制定是城市客车总体设计的重心, 是方向和目标。

1.1 整车方案选定

总体设计是对整车的整体构思, 是汽车新产品开发设计的第一步, 首先根据前述使用需求和使用条件的综合分析, 确定整车方案: 低入口或低地板, 配置电控空气弹簧悬架、残疾人服务设施、智能辅助驾驶等设备, 并实现智能网联与控制的中小型公交车辆。整车方案确定才可进行整车总布置图绘制和相关性能计算, 为后续分总成设计打下基础。

1.2 总体设计原则

该项目产品是一款适合城市道路运行的中小型纯电动城市客车, 设计上优先保证标准法规符合性、安全性(驾乘安全)、行驶舒适性(平顺、适老)、乘坐便利性(宽平通道、无障碍)、空间利用率高(载客多、大运力)、设备空间足(助残、服务、信息、智能等设备安装充裕), 同时经济性、操纵稳定性、制动和行车舒适性有较好表现。努力实现通用化(继承性降本)、可系列化(平台延伸变型, 降低开发成本)。

2 总体设计要点

城市客车总体设计需分清主次抓要点, 参照汽车理论^[1]和汽车设计^[2]进行正确设计, 不因片面的个性追求,

而忽视整车关键性能。抓住设计要点可以少走设计弯路及高效的实现总体设计目标。

2.1 整车结构参数定义

整车总布置首先应进行汽车型式初步定义（2轴、4×2、后置后驱、全承载、低入口等），然后进行动力系统（集成式电驱桥）及轮胎规格等初选，接着对整车的外形尺寸参数、重量参数、结构参数和性能参数进行设计目标预定义，高目标要求可以促进设计创新思维。

2.2 轴荷分配及质心高度

整车总布置设计的一个重要任务是确定轴荷分配及质心高度并调整到合理的范围。整车制动、稳定、悬架等涉及安全、舒适、能耗等的关键性能都和轴荷分配及质心高度有关联。不同使用性能对轴荷分配要求是相互矛盾的，各轮胎磨损一致寿命相近需各车轮载荷相近，动力性和通过性需驱动桥有大载荷，操纵稳定性需转向轴载荷不能过小，因此设计时应根据对整车性能要求和使用条件等进行合理的轴荷分配，必要时必须调整。质心高度在综合考虑相关性能的时候，较低为好。

2.3 驾驶区布置

驾驶区布置是整车总布置的核心重点，涉及的安全要素众多。总布置设计初期以R点（第95百分位成年男子乘坐基准点）作为参考开始设计，假人采用95百分位男人和5百分位女人进行视野、操纵方便性等设计校核，保证驾驶区布置符合GB/T 13053《客车驾驶区尺寸》要求。城市客车总布置需预留充足的驾驶区设备安装空间，公交车驾驶员需要宽大舒适的座椅及能轻便操作各种高频使用控制设备、信号设备（如车门、灯光等），以减轻每日长时间工作产生的驾驶疲劳。

2.4 座位布置

城市客车的本质作用就是将乘客舒适安全的从城市的A点运到B点，要满足乘客（特别是老年人、残疾人）乘坐舒适就必须要做好车内布置（满足GB 13094《客车结构安全要求》及相关客车等级要求），车内布置重点之一是座位布置，既要保证座椅间距、座椅与四周及轮椅区空间合理充足，又要保证座椅固定牢固可靠。

2.5 通道设计

城市客车通道设计应保证乘客车内流动、上下车和紧急疏散等需求。通道宽度应最大化，保证乘客及其随身行李可以自由通过。通道两侧扶手稳固可靠，确保乘客扶握安全，同时注意扶手形状和布局（影响车厢内美观性占比较大）。

2.6 内外设备空间

城市客车现如今正发展成为一个信息化、智能化、

网联化的移动载体（如乘客通过车内显示屏方便获取站点信息、车内温度等），众多的智能信息设备、智能控制设备等都需要空间进行合理布置。城市客车总布置需预留充足的车内外设备安装空间，保证新增设备的安装不侵入驾乘空间，不影响驾乘安全性、舒适性。

2.7 底盘系统布置

城市客车底盘系统总布置时，除了零部件运动校核（车轮、传动轴跳动轨迹和运动空间）防止各部件运动干涉及保证安全工作空间外，对各系统部件需进行紧凑设计，占用空间最小化，提升车内空间利用率。

2.8 法规、标准符合性校核

标准、法规符合性校核是城市客车总体设计另一个重点，依据汽车产品国家相关法规、标准对整车、零部件布置的符合性进行全面细致校核（不符合项必须重新设计调整，直到符合为止），此外，对于国家尚未要求但国际上通用的标准也可考虑符合性（为后续车辆外销打基础）。

3 整车主要技术参数

该7米级纯电动城市客车通过遵循总体设计原则和设计要点，综合考虑并得到一个满足使用需求和使用条件的舒适、便利、安全、实用的产品总布置设计。整车方案定为7.5米纯电动低入口城市客车，车辆主要技术参数（尺寸参数、重量参数和性能参数）见表1。

表1 7.5米纯电动低入口城市客车主要技术参数

外形尺寸（长×宽×高）（mm）	7530×2420×3050
轴距/前悬/后悬（mm）	4550/1950/1000
整备质量/最大总质量（kg）	7400/11500
前/后轴荷（kg）	5000/6500
额定载客（含驾驶员）（人）	54（10~20座）
接近角/离去角（°）	10/18
最小转弯直径（m）	17
最高车速（km/h）	69
加速时间（0-50km/h）（s）	18
最大爬坡度（满载）（%）	≥ 16
额定功率（kW）/峰值转矩（N.m）	90/600

4 整车布置方案优选（特点）

经过综合对比，整车总布置方案采用长轴距、超短后悬、低入口布置方案，总布置过程中优选对车身、底盘和电气使用及工作综合性能最佳的方案（特点），部分简介如下：

4.1 车身布置。1950mm的前悬给整车前轴前预留乘客门空间，实现前门上客、后门下客，更符合公交车及管理习惯（市场上某些同类车型为两轴之间布置2个乘客门，驾驶员及安全乘务管理不便）。前门踏步

到后门后柱之间的车内通道为无障碍全平通道，且后乘客门后仅布置一排4人座椅，无站立台阶区，乘客上下车便捷，乘车更安全（乘客进出座位区，无台阶跌倒风险），另紧急情况下乘客疏散撤离时，无前后车厢乘客对流争抢后乘客门下车的问题。4550mm的长轴距实现前后轴间平地面积达到近7平米，整车实现大开度（净开度 $\geq 950\text{mm}$ ）的后双内摆乘客门，客流顺畅的同时，不同型号的轮椅可以顺利通过乘客门进出车厢，后乘客门踏步配装供残疾人轮椅上下车的辅助翻转式导板，车身升降系统工作后，当导板搁在150mm高路肩上时，导板坡度 $\leq 12\%$ ，当导板延申或收折到地面上时，导板坡

度 $\leq 31\%$ （满足国标GB13094不宜超过12%和36%的要求），另车内后客门对面对应设置了750mm \times 1300mm残疾人轮椅区。助残设施得以实现的同时，后客门前及轮椅区前可以增加纵向布置2排乘客座椅。2420mm整车宽度，实现2+2座椅布置（市场上部分车型车宽较窄，只能为2+1座椅布置）。最小座位数为9+1时，站立面积达到5.5平方米（常规轴距7米级低入口公交车站立区面积约4.5平方米），额定载客（含驾驶员）54人，稍小于普通8米车的载客量（大运力，部分线路可替代8米车使用）。车内布置见图1。

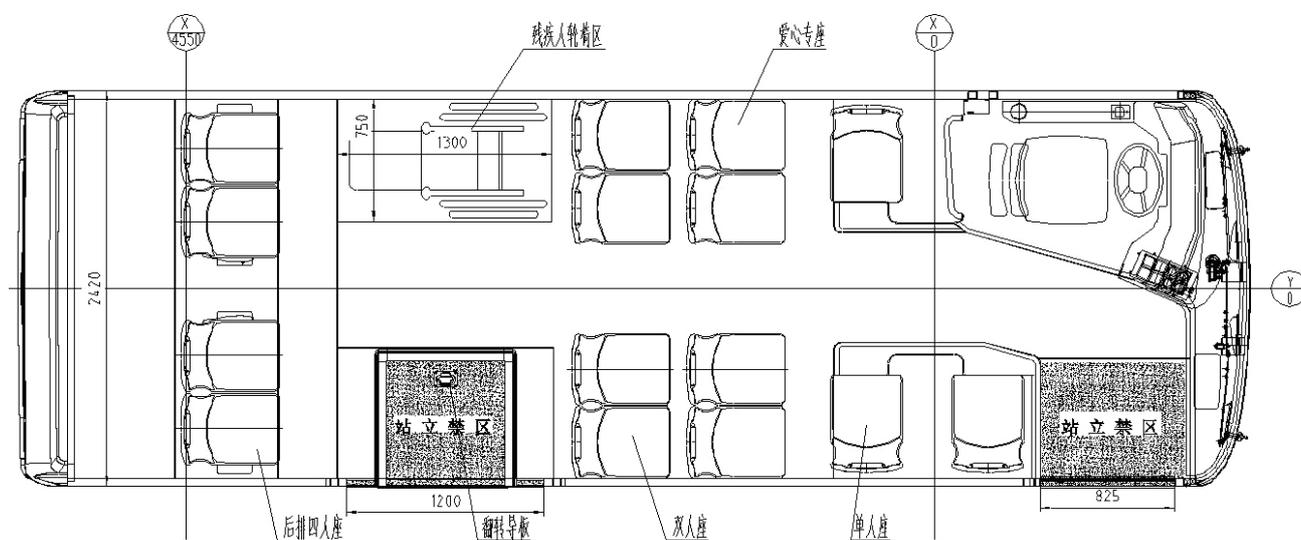


图1 车内布置图

4.2 底盘电气布置。底盘采用前后四连杆、前2后4气囊全空气悬架系统，打破传统的后板簧或复合悬架悬架结构（目前市场上大部分该类车型为复合悬架结构），采用4气囊全空气悬架，偏频更低（1.2Hz左右）、整车行驶平顺性更好，解决了常规板簧或复合悬架偏频高，震动大、平顺性差的问题。驱动系统采用集成式平行轴电驱桥，取消传动轴及悬架部件，传动效率高、噪音低（部分震动传递路径被切断）。整套驱动系统基本在后轮胎的覆盖范围内，从而实现了城市客车的超短后悬设计。传统前2后4车轮数量配置，车辆稳定性好，安全性高（一旦后轮单胎失效，还可以保持一定的制动力及侧向力，侧滑甩尾风险降低）。电驱动高压附件、制动供气系统、转向助力系统、电驱及辅助控制器冷却系统等，合理的布置在1030mm超短后悬极其有限的后部空间内，有效的控制了整车长度在7米级范围内（车辆长度是确定车辆类型大、中、小型的一个关键性参数，中小型纯电动城市客车长度在7.5米左右中型和小型之间比较合

适，该长度优点是：造型比例协调，过小会导致面包造型；客车结构安全标准易实现；机动灵活，市内、市郊路路通；载客量中等，峰谷载客率相对均衡；车辆乘用及设备安装空间大，高级特征设施、设备充分安装，可配装电量，一次充电续航里程更长），同时车辆操纵稳定性变好（上下坡时轴荷转移小，转弯时惯性半径与轴距比变小避免甩尾、翻车）、行驶舒适性和不足转向趋势提高（后悬短、质心靠前，纵向摆动小），短后悬技术可使客车重心前移，改善前后桥轴荷分配比例，大大改善了客车的制动性能^[3]。4550mm的长轴距减少了车辆在平路起步加速和制动时轴荷转移量（与轴距成反比），起步加速后仰、制动点头及制动效能下降的问题从总布置上给以优化改善。本车型底盘布置方案还可以进行6~8m车长的系列化应用，不同的车长仅通过调整轴距长度来实现^[4]。动力电池全部顶置（前2箱后4箱）一方面有利于轴荷分配调整及为车内实现大面积平地让出空间，另一方面带来的是顶部负荷增加，车顶及侧围

骨架材料需采用高强度型钢等以减少骨架重量的增加。现阶段受车桥和轮胎承载能力现有资源限制,该车型优先满足前轮承载而未使用非标轮胎(提升轮胎通用性、可选择性),不建议只配置单一品牌的非标轮胎(用户

不清楚公告备案轮胎真实承载能力和可用品牌,误选可能会造成安全事故),长轴距短后悬城市客车最大劣势就是很难实现前2后4车轮载荷均衡。底盘电气布置见图2。

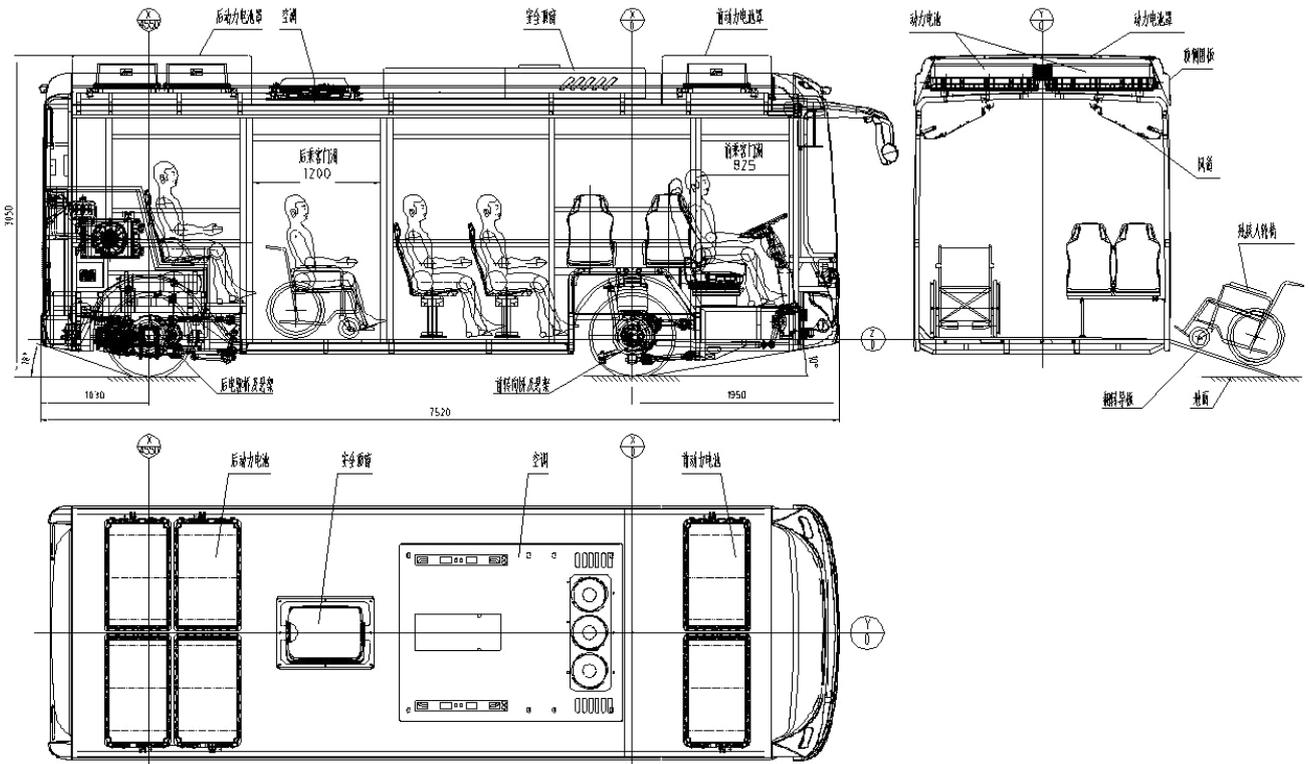


图2 总体布置图(部分)

结束语

中小型电动城市客车是今后公交车重点发展方向,其空间尺寸及现有零部件资源限制和高级使用需求之间的矛盾,使总体设计很难做到完美,总体设计阶段需全面综合考虑,合理取舍,把握住总体设计重心、设计要点和做好方案优选。本文介绍的一款某7米级(长轴距、超短后悬、6气囊全空气弹簧悬架)纯电动低入口城市客车已通过各项性能、可靠性试验及公告、3C等认证并成功取得市场应用,该款车型是一个平台级的产品,可通

过轴距、部件等的局部调整延伸变型为6~8米产品。

参考文献

- [1]余志生.汽车理论(第4版)[M].北京:机械工业出版社出版,1996.
- [2]刘惟信.汽车设计[M].清华大学出版社,2001.
- [3]袁仲荣.城市客车短后悬结构的开发[J].客车技术,2011(3):26-28.
- [4]吴顺秋.7m超短后悬低地板纯电动城市客车设计[J].机电技术,2024(2):76-78.