



跨座式单轨环境适应性分析



跨座式单轨交通系统

01

1、地面交通拥堵：

全国超过32个城市高峰拥堵延时指数超过1.8，也就是说正常情况通勤30分钟在这些城市会增加24分钟，达到54分钟。

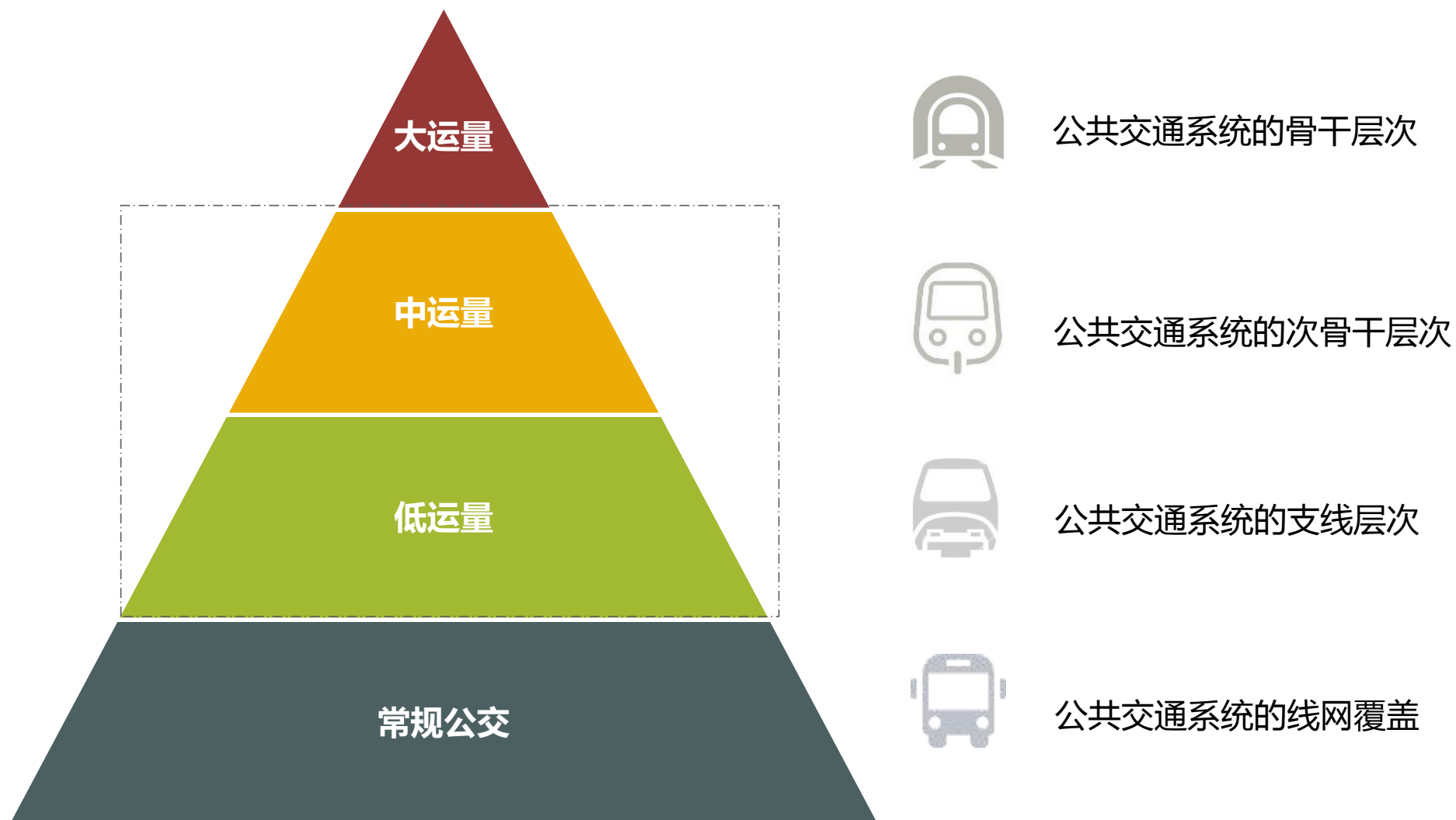


2、空气污染：

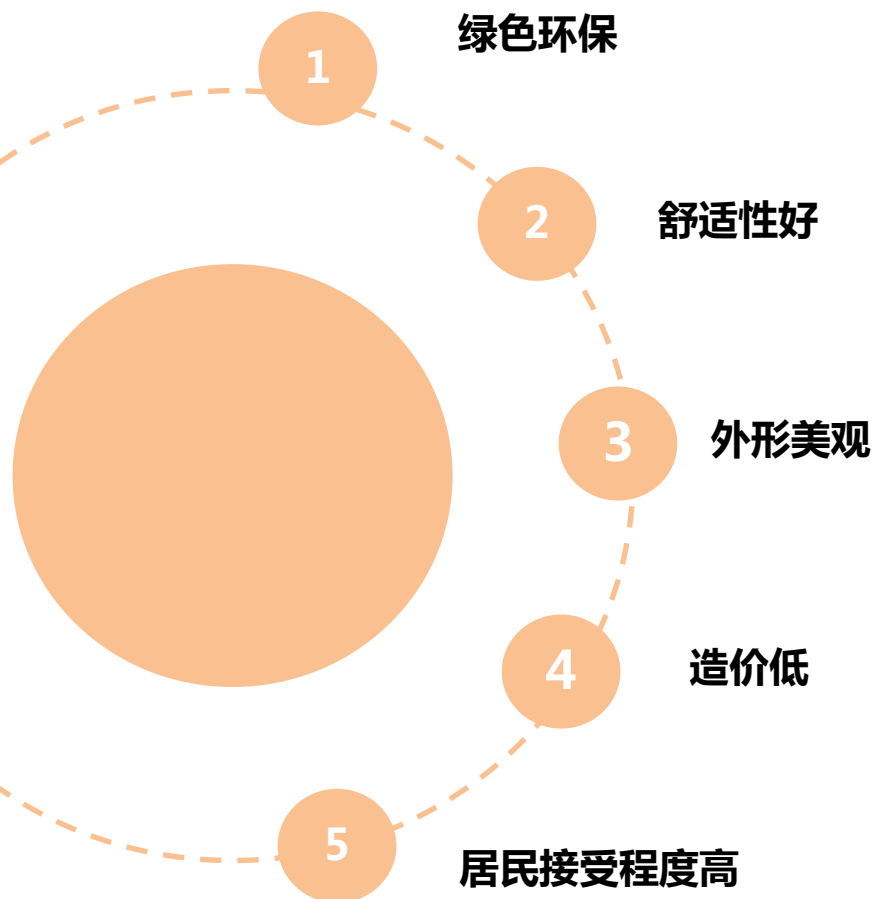
据统计，全国265个城市空气污染指数超标，雾霾成为城市居民最关心的问题，汽车尾气被认为是造成雾霾天气的“元凶”。



要缓解城市交通拥堵与空气污染，一定要给地面做减法，把地下、地面、空中全部利用起来，大力发展轨道交通。



构建多层次、绿色环保的综合公交体系，跨座式单轨和有轨电车系统逐渐成为城市居民喜爱的中低运量公共交通出行方式：



地铁能一定程度解决拥堵问题，但同时带来新的困扰

(1) 工程量大，施工困难

地下隧道挖掘，作业复杂，工程量大，时间长，成本高。

(2) 土地占用多

地铁需建大容量车辆段以存储和检修车辆，占用大量的土地面积。

(3) 污染难题

施工中，作业车辆噪声、尾气等环境影响大，不利居民生活和出行。



跨座式单轨施工简单，污染相对小，更加环保

(1) 施工简单

单轨采用预制梁，轨道梁在工厂制造，再到现场安装调试，大大节省了工期，整体建造周期2年，仅为地铁的1/3。

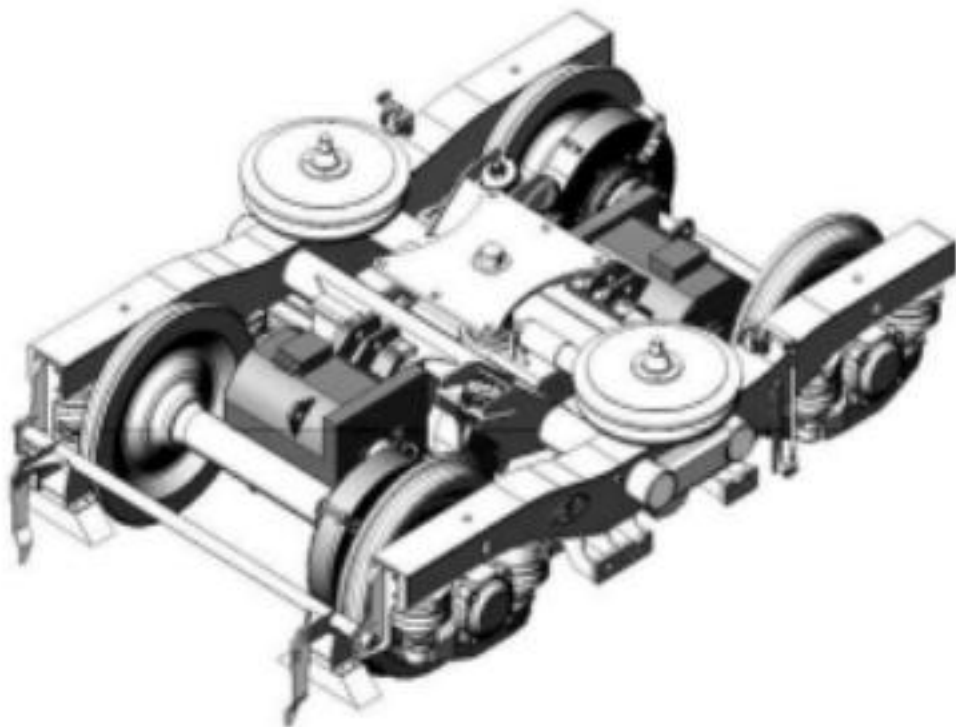
(2) 施工污染小

建造过程对原有道路影响小，方便快捷，市民接受程度高。采用电动化作业，减少机器轰鸣声，降低噪音污染。



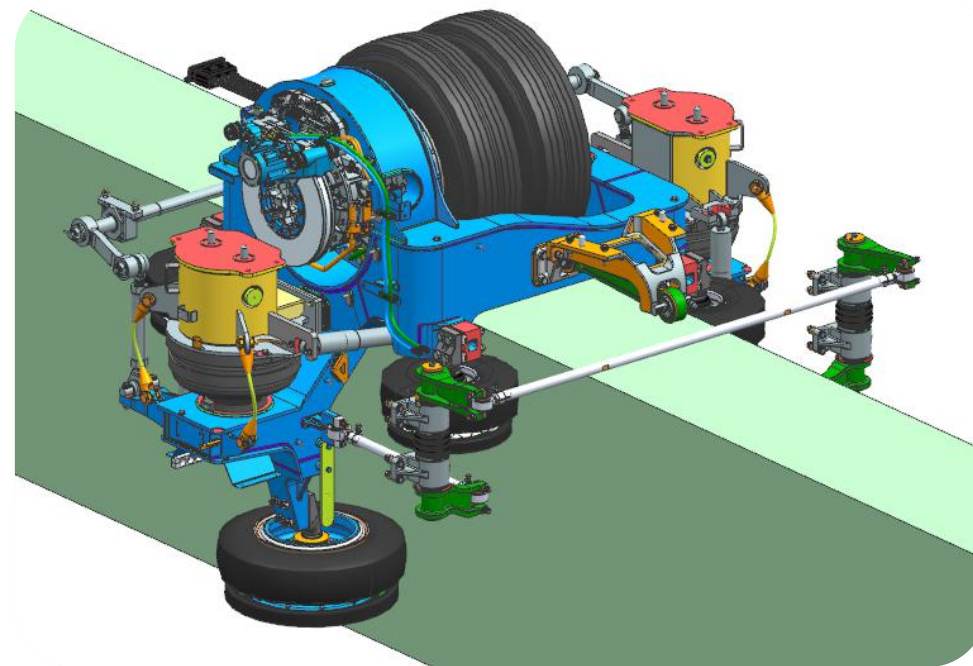
地铁能一定程度解决拥堵问题，但同时带来新的困扰

(1) 地铁采用钢轮钢轨走行，列车在行驶时，车轮和钢轨相互作用引起噪声，包括车轮撞击轨道不连续部位时的撞击声、轮轨踏面凹凸不平时发出的轰鸣声等。



跨座式单轨采用胶轮走行，噪音低，振动小，更舒适

(2) 跨座式单轨采用橡胶轮胎在水泥梁上走行，类似于汽车在平整路面上行驶，运行安静，适合在城区或人员密集地穿梭；单轴转向架，质量轻，轮胎磨损少。采用二系空气弹簧悬挂系统，运行平稳，舒适度高。



地铁能一定程度解决拥堵问题，但同时带来新的困扰

(1) 地铁的建设条件相对严格，要满足一定地质条件；爬坡能力35%；转弯半径为300米，拆迁多，环境适应能力较低。



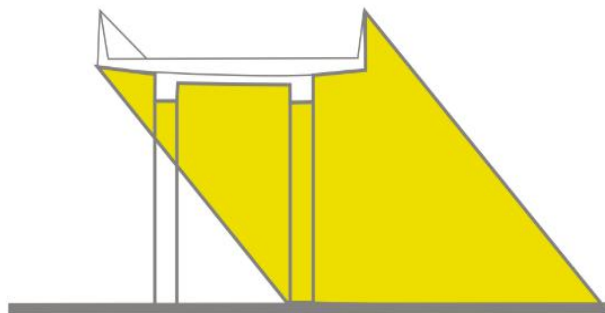
跨座式单轨为全动车，转弯半径更小，爬坡能力更强

(2) 跨座式单轨爬坡能力强，可实现100%爬坡；转弯半径小，可实现45米转弯半径；可在建筑物密集和地形起伏大、坡道急弯处建造。

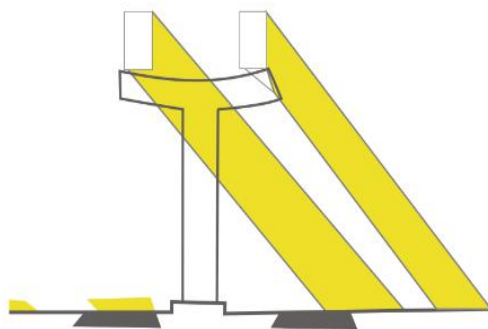


地铁能一定程度解决拥堵问题，但同时带来新的困扰

(1) 地铁与轻轨以及城市公路跨越上空的高架桥均是**整体板块**，而单轨交通仅为两条**带形纵梁**，对路面交通、城市景观和日照影响都非常小。



高架轨道交通



跨坐式单轨

跨座式单轨轨道纤细，遮挡小，透光性好，景观性更好

(2) 跨座式单轨轨道梁纤细，支柱结构面积小，可建在道路中央绿化带和较狭窄街道上；**桥梁通透**，**空间遮挡小**，体量小，通透轻巧，能很好地适应城市景观。



地铁能一定程度解决拥堵问题，但同时带来新的困扰

(1) 地铁平均能耗为**2.01**kw·h/车·km

——《城市轨道交通2017年度统计和分析报告》



跨座式单轨体量小，载客比大，采用能量回馈系统，更节能环保

(2) 跨座式单轨（以比亚迪跨座式单轨为例），平均能耗为**1.56**kw·h/车·km

——根据比亚迪试验线实测数据



跨座式单轨——环境友好型轨道交通：

采用胶轮系统，
噪音低、振动小

环境适应性强，
可穿梭城市建筑



创新设计优化，
更加节能环保

外形流程时尚，
城市融合度高

跨座式单轨：

完善了中小运量轨道交通种类、填补产业空白，致力于构建多层次的公共交通网络，满足居民高效、安全的出行体验。

大城市轨道
交通辅助线



中小城市主
要客运通道

游乐场、博
览会专用线



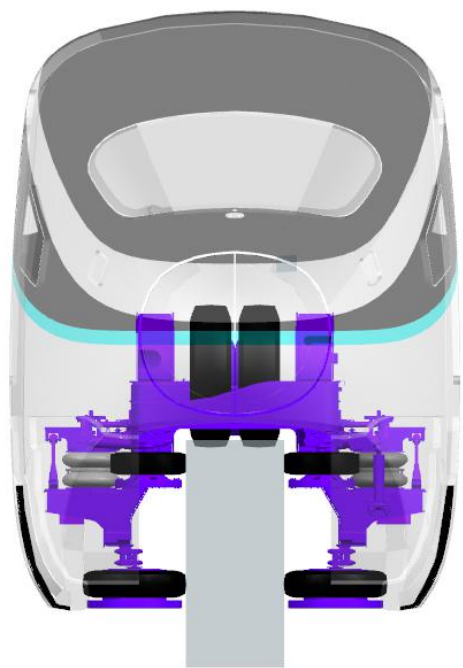
景区旅游
观光线



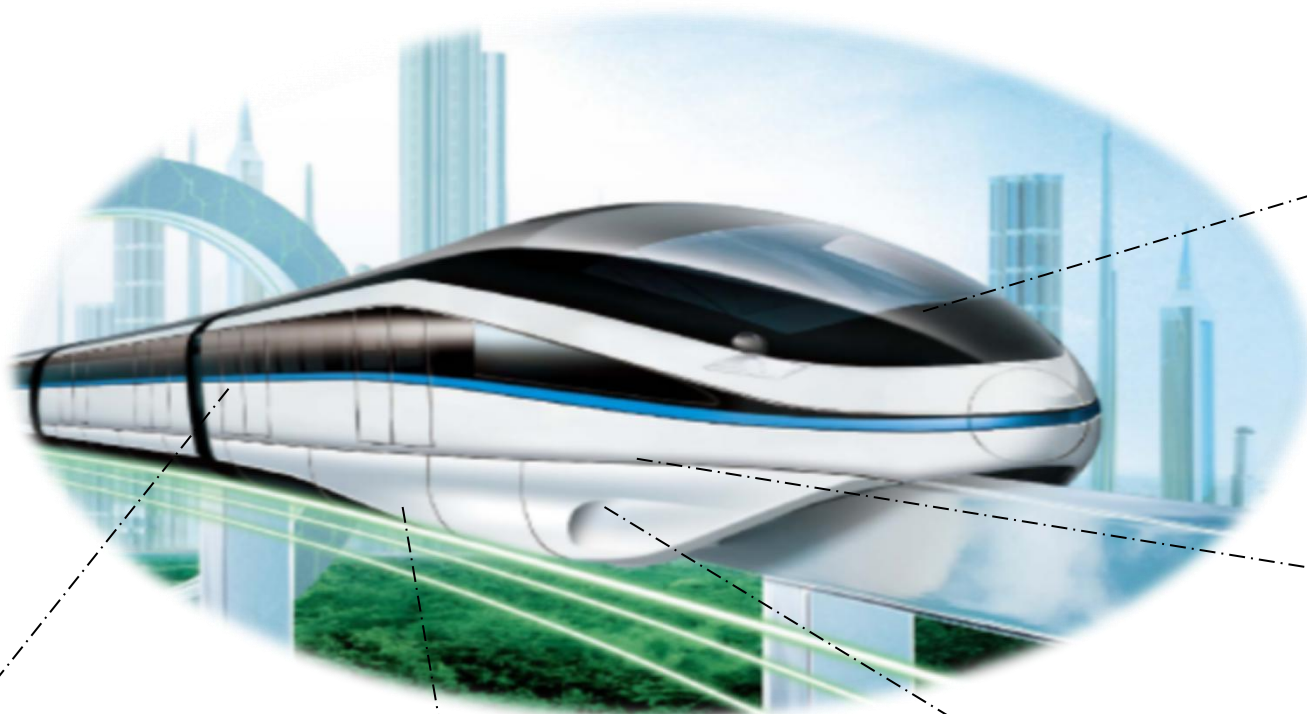
跨座式单轨介绍

02

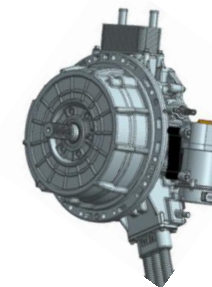
中小运量的跨座式单轨，专门为解决城市交通拥堵、环境污染等问题而开发设计。



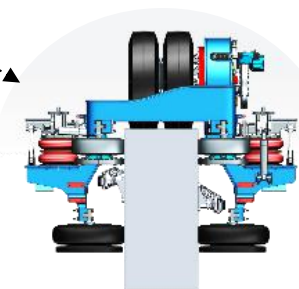
轻型铝合金车身



无人驾驶系统



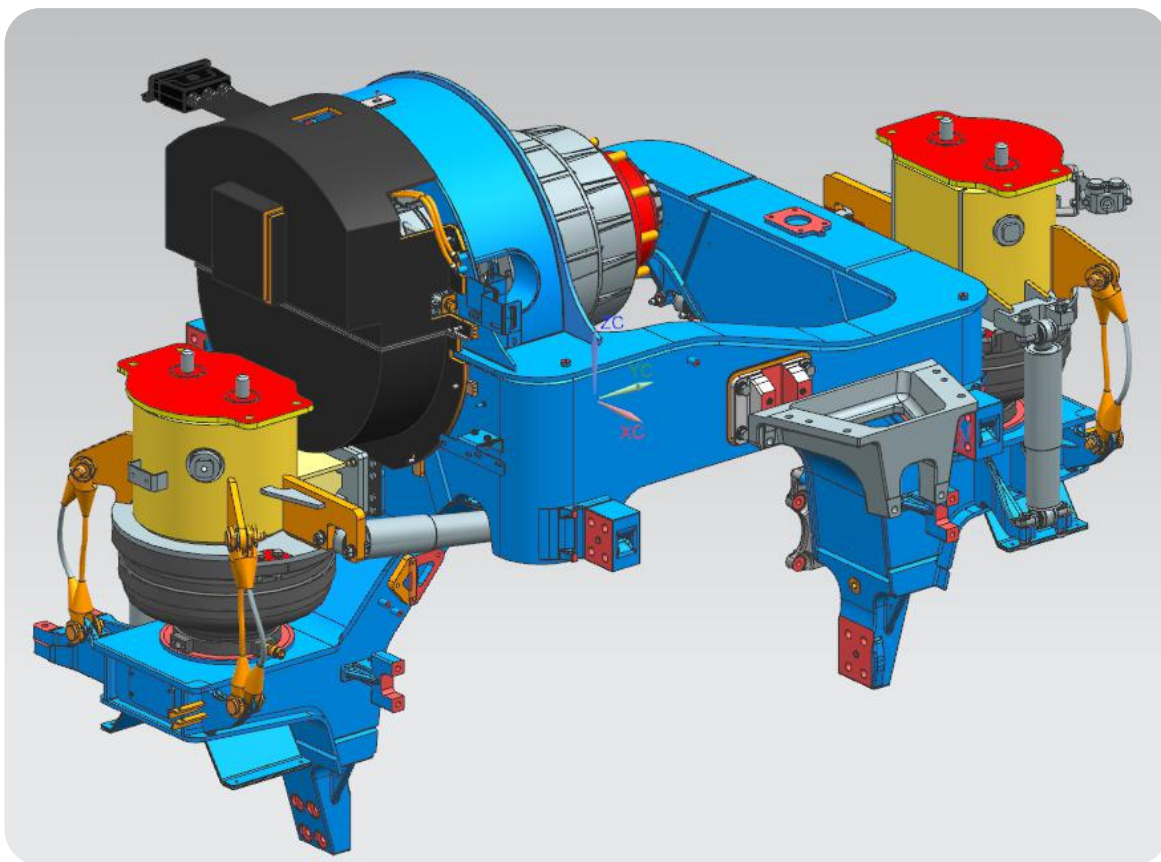
永磁同步直驱电机



单轴转向架

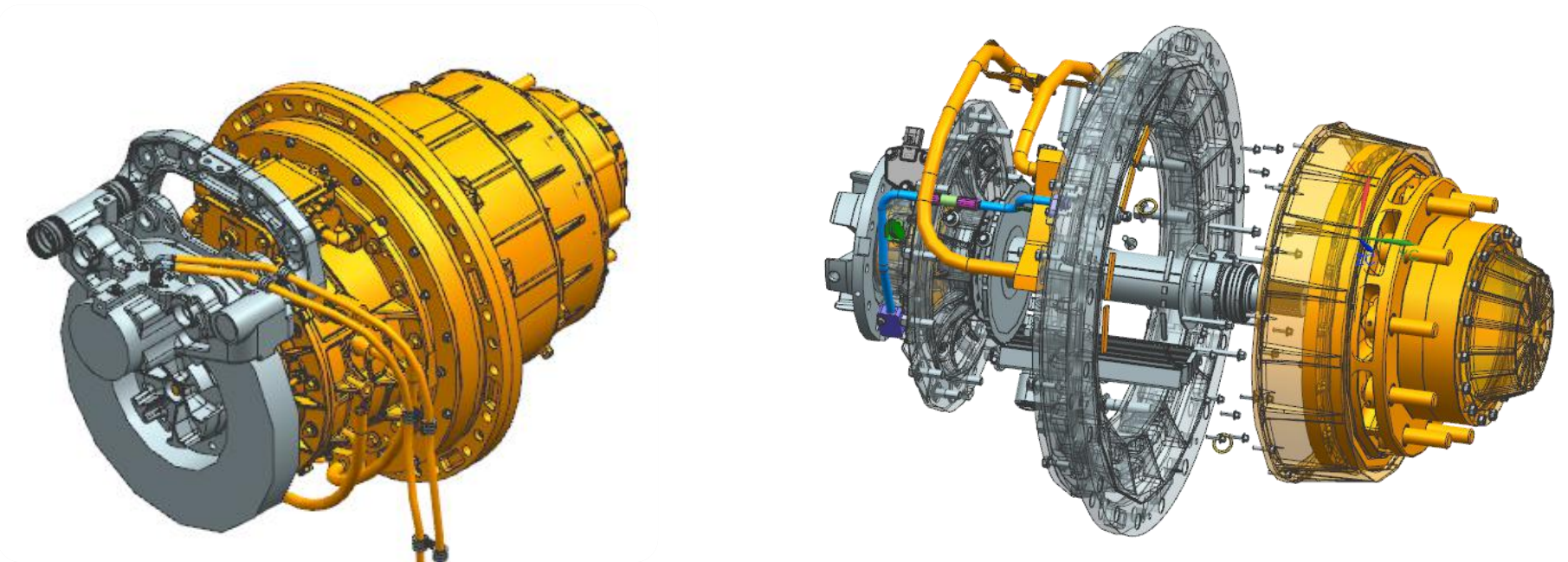


能量回收系统



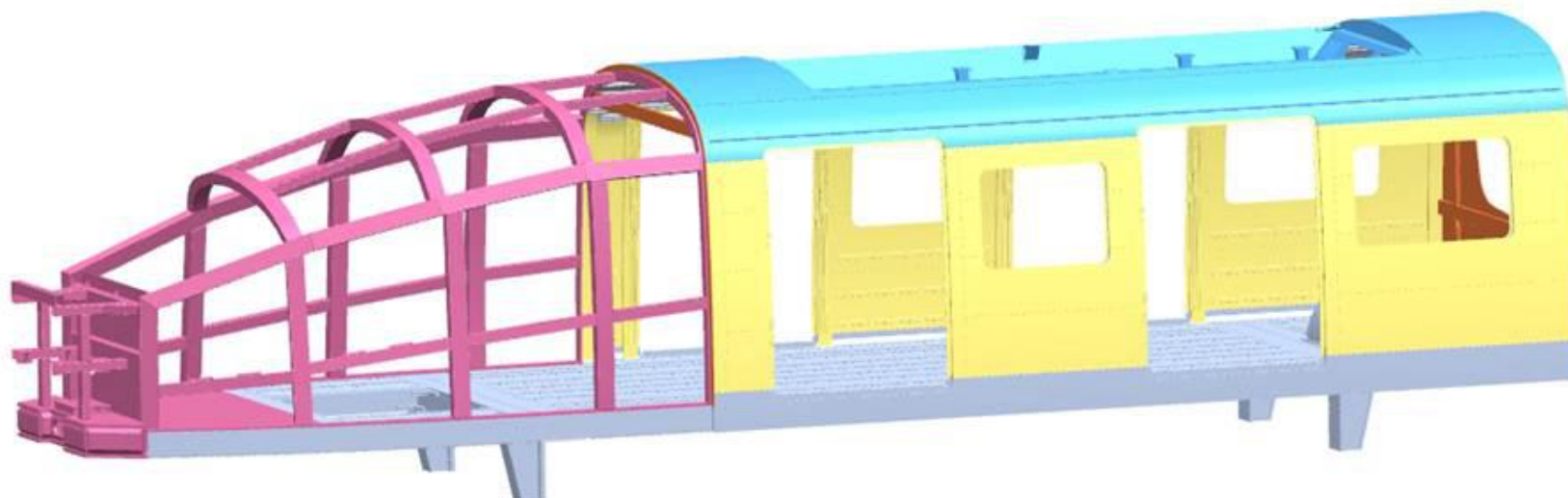
1、单轴转向架：

- 曲线通过能力强，转弯半径小，质量更轻，轮胎磨耗小
- 转向架与车体内嵌配合，低地板化，重心低稳定性更好
- 走行轮、水平轮内嵌防爆轮胎且有胎压监测，保证整车安全性
- 可实现车内更换轮胎，无需拆卸转向架总成



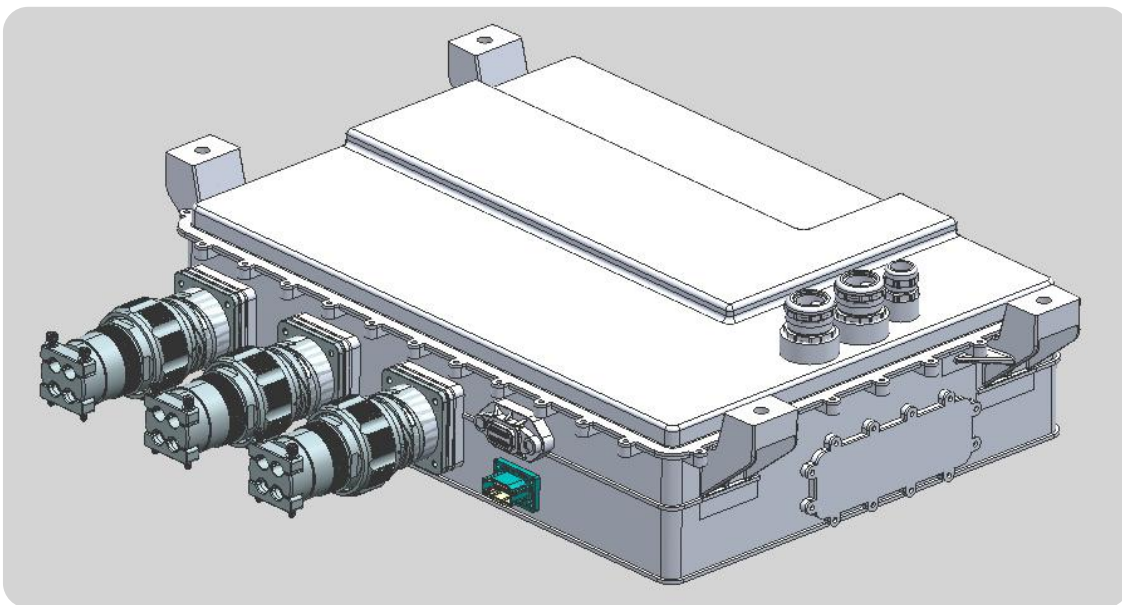
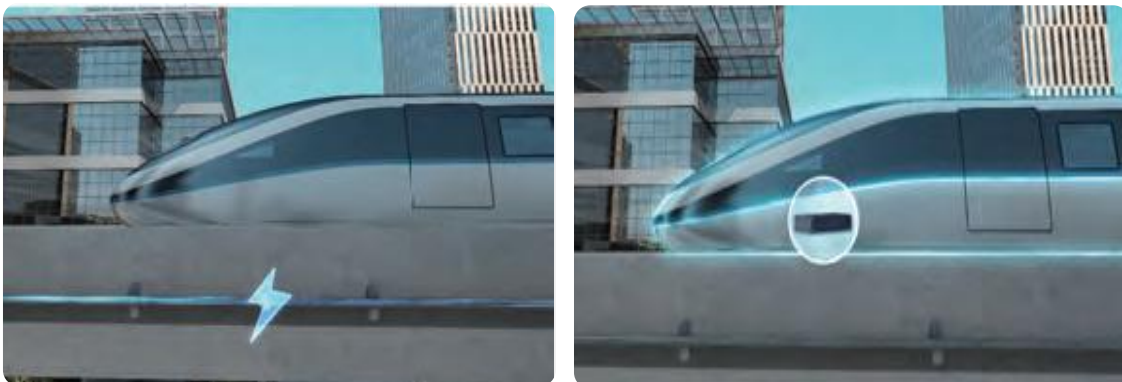
2、永磁同步直驱电机：

- 电机轴直接驱动走行轮，效率高
- 永磁同步电机体积小、重量轻、效率高、功率密度高
- 低速输出扭矩大、精度高、运行时声音小、便于维护
- 稳定可靠，相同技术的电机已平稳行驶超过7亿公里



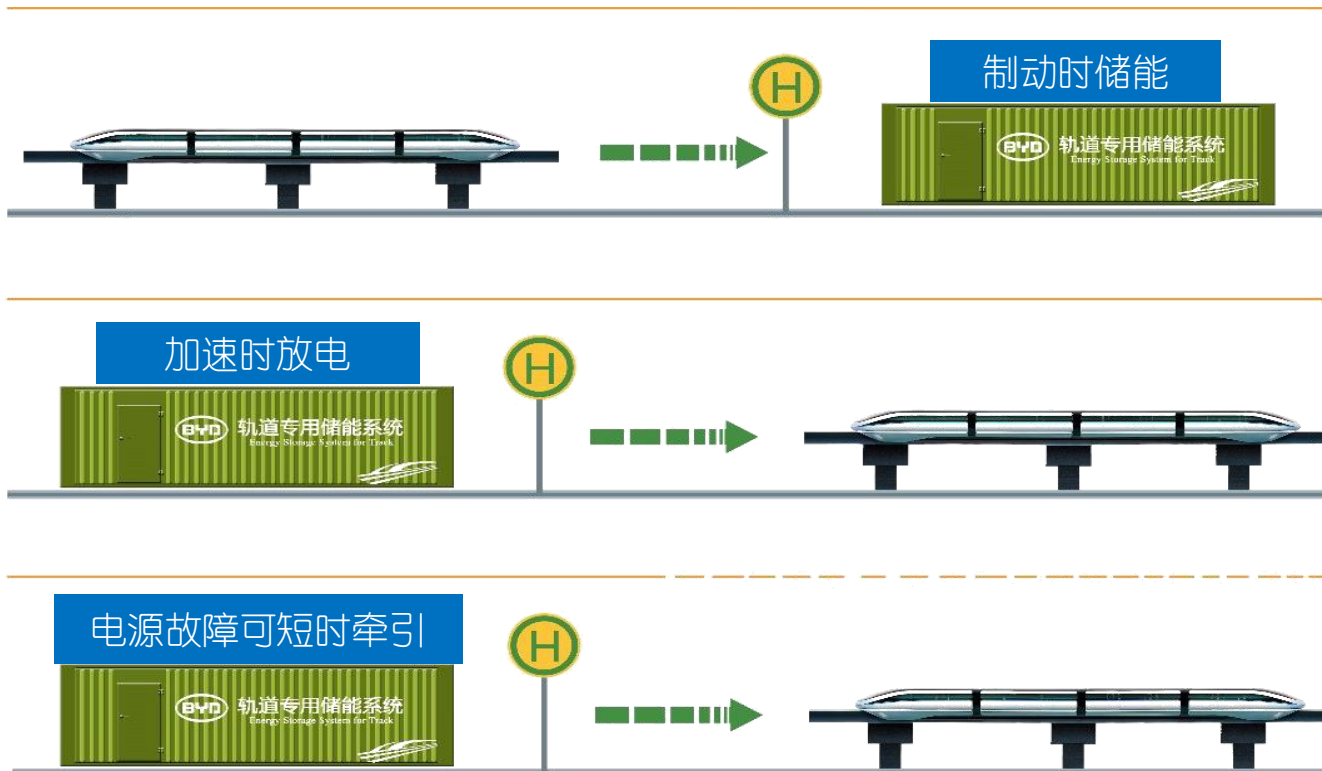
3、全铝车体：

- 全铝车体，采用高强度中空铝型材拼焊而成，轻量化效果显著
- 结构设计安全可靠，扭转刚度大，使用寿命长
- 车头流线型设计，降低空气助力，减少能源消耗
- 可视区域大，观景效果佳



4、车载动力电池：

- 搭载自主研发的磷酸铁锂动力电池，依靠自身储存的电能，可行驶5km以上
- 动力电池在3000次循环（约8年）后还可以回收利用，更加环保
- 安全可靠，相同技术已在新能源大巴，电动汽车上成熟应用
- 动力电池在线路断电或者车辆故障下进行应急自救，运营更安全
- 动力电池可以实现无电化车辆段，建造成本更低，检修更安全



5、储能型能量回收系统：

- 有效回收列车制动能量，提高能量利用效率
- 系统响应时间在100ms内，可有效稳定网压，提高供电质量
- 可作为独立应急电源，提高系统运营的安全性、可靠性
- 通过储能系统可节能30%以上



6、无人驾驶系统（UTO）：

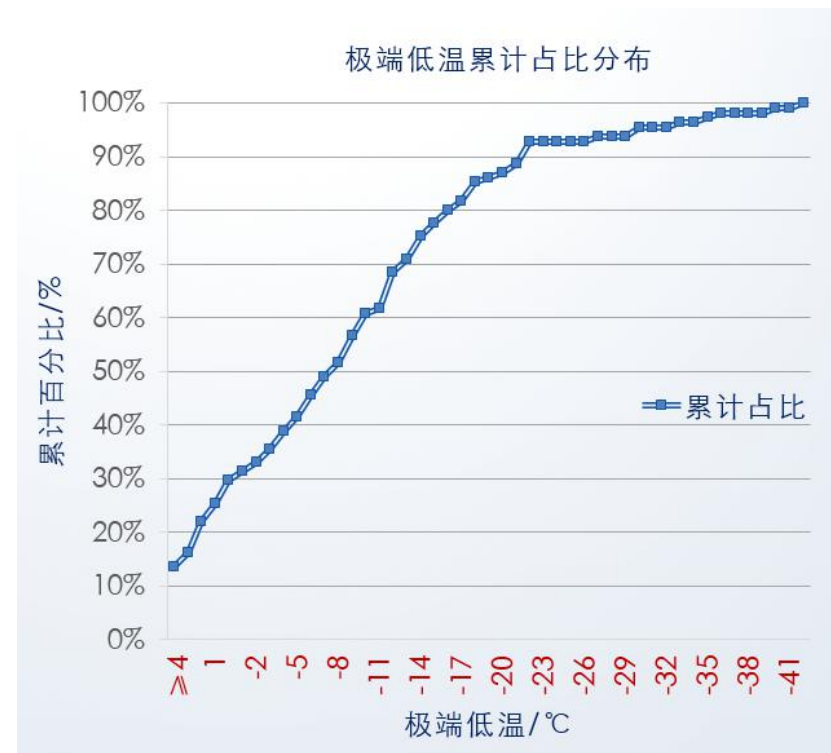
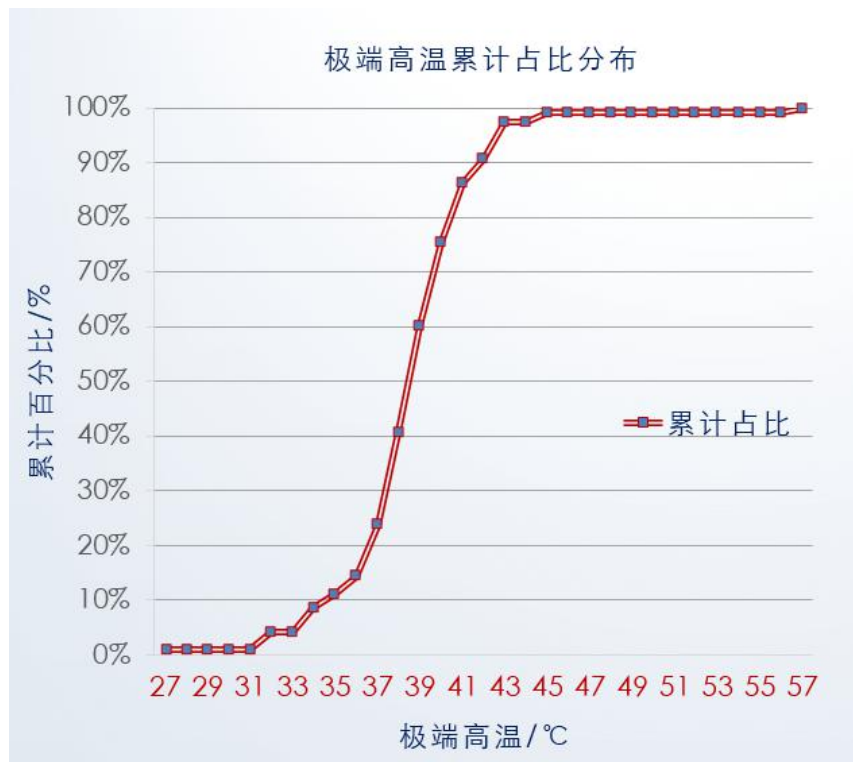
- 解放司机繁重的驾驶工作
- 减少人为失误，系统全天候实时监控
- 精准控车，提高运营速度
- 信息实时交互，能缩短行车间隔，提供更高的服务频率，减少乘客等待时间
- 系统故障自动定位，能进行预防性维护，提高运营的可靠性
- 减少车站设备、减少建设和运营成本



跨座式单轨环境适应性

03

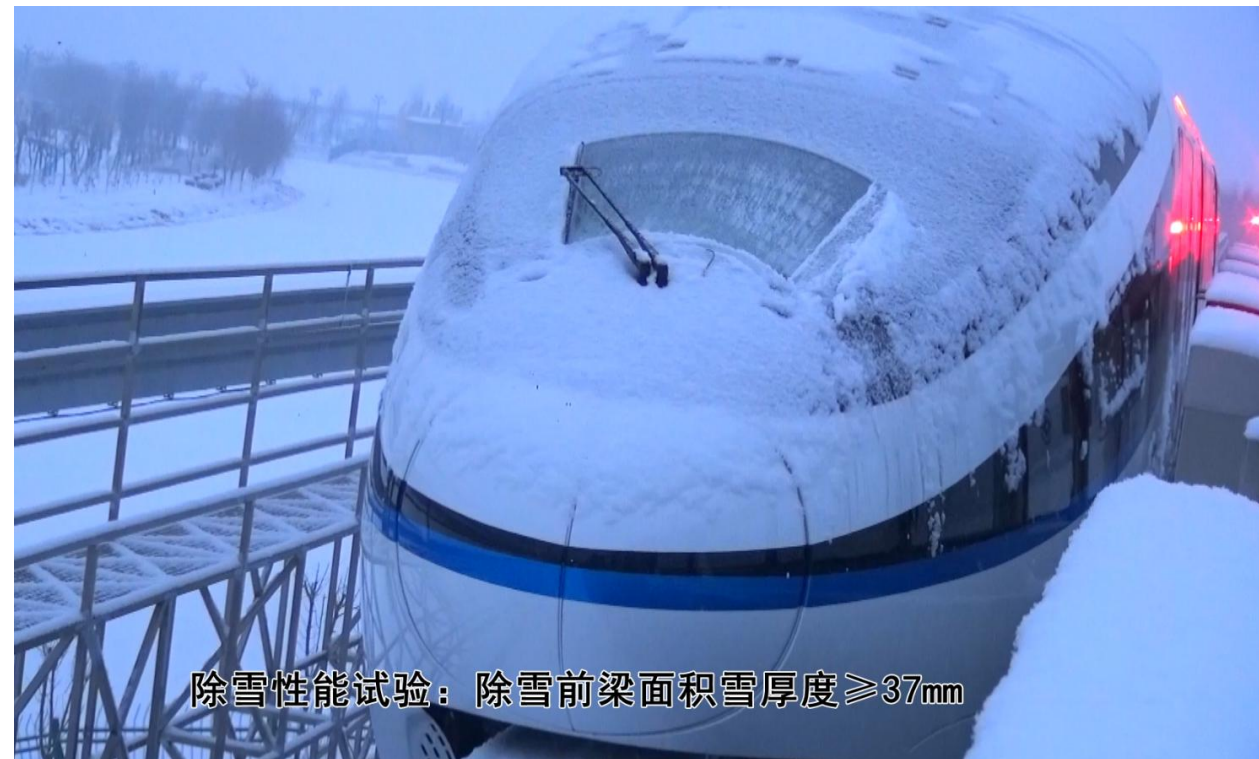
1、温度适应性



跨座式单轨为适应市场温度环境，开发了两种车型：普通版&低温版

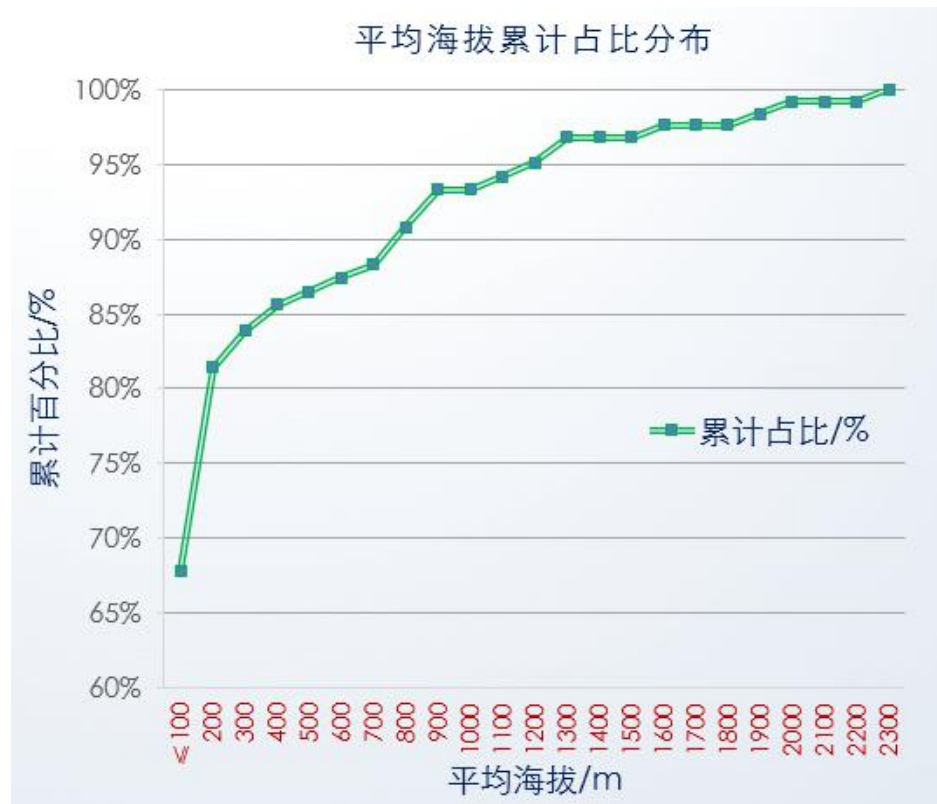
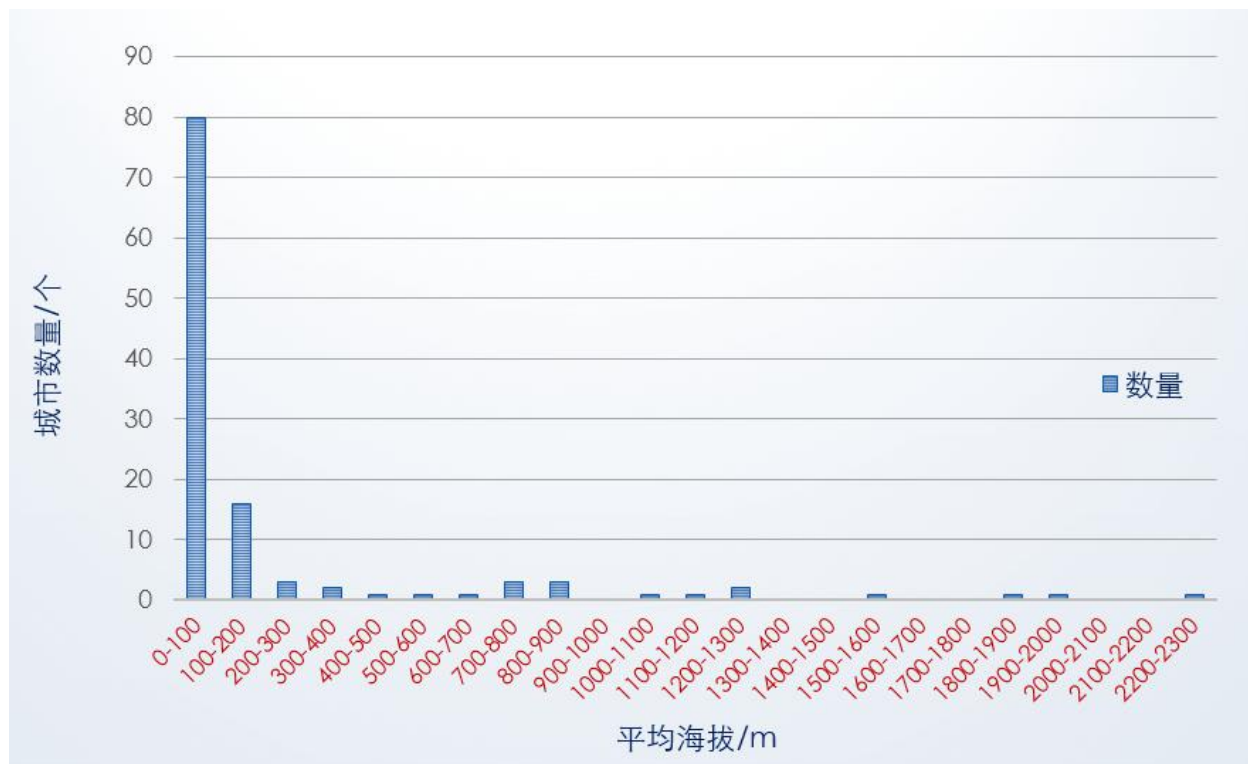
其中普通版适用于-25°C~45°C的温度区间，低温版适用于-40°C~45°C的高寒城市

1、温度适应性



除雪性能试验：除雪前梁面积雪厚度 $\geq 37\text{mm}$

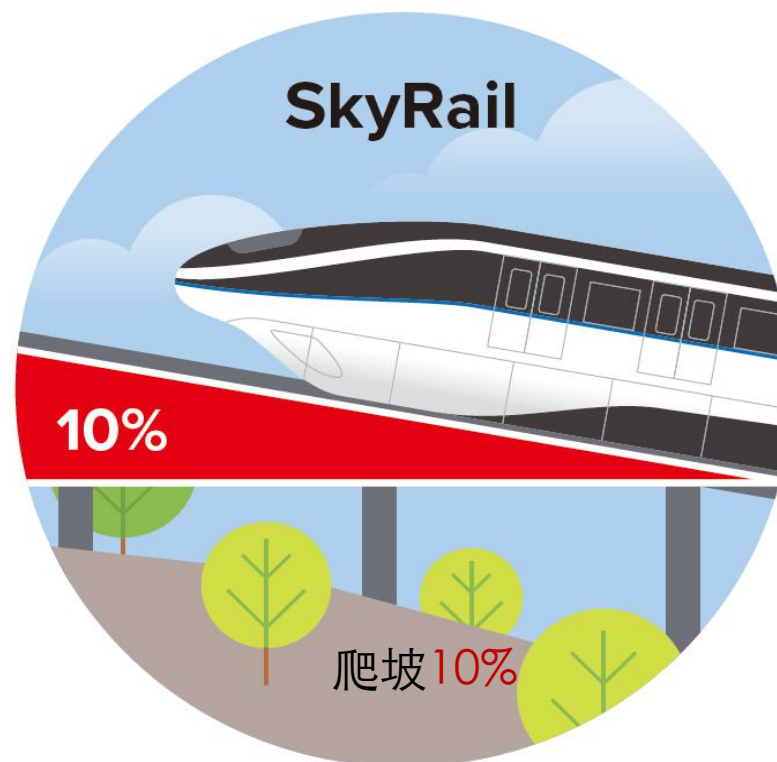
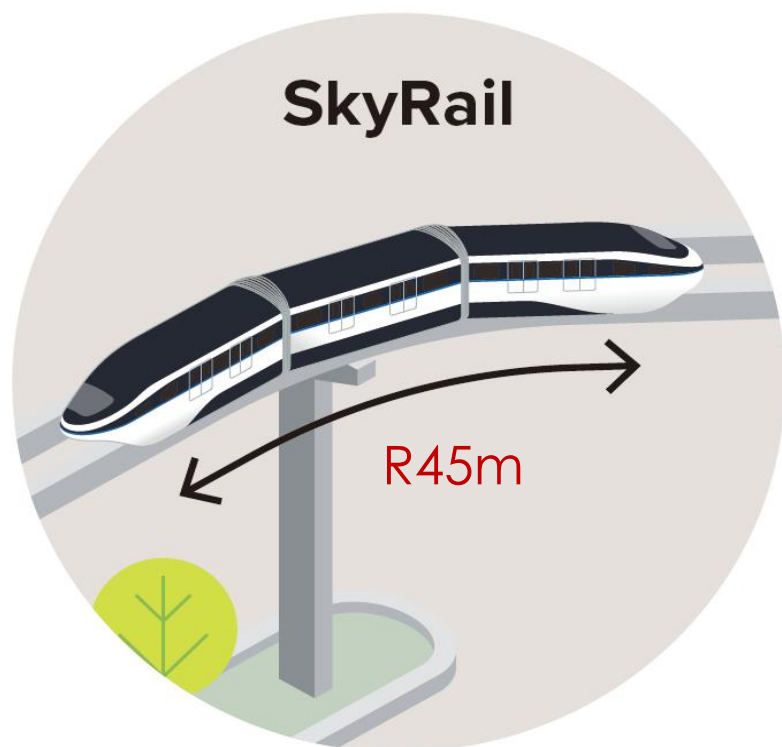
2、海拔适应性



跨座式单轨针对高海拔气候进行了电气间隙和爬电距离的匹配设计，可以满足2000m的海拔，可以满足99%以上的市场需求

3、地形适应性

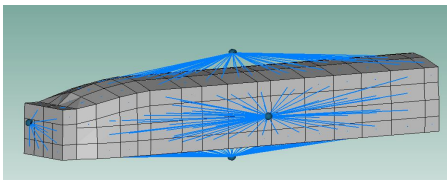
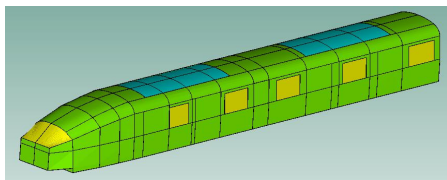
跨座式单轨采用**全动车**设计，单电机额定功率超过180kw，额定扭矩超过900Nm，配合单轨独有的轻量化设计，能满足**10%**以上的爬坡需求；为满足**R45m**的转弯半径，匹配设计了大宽度的贯通道



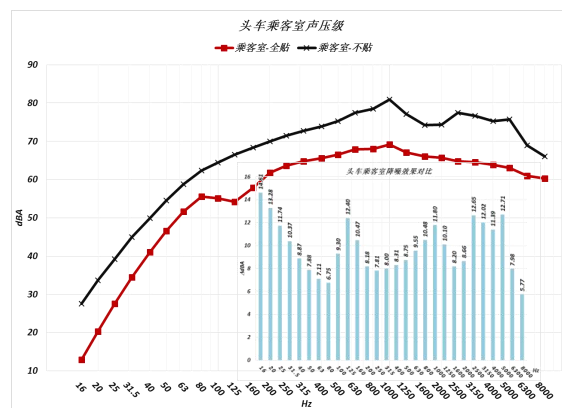
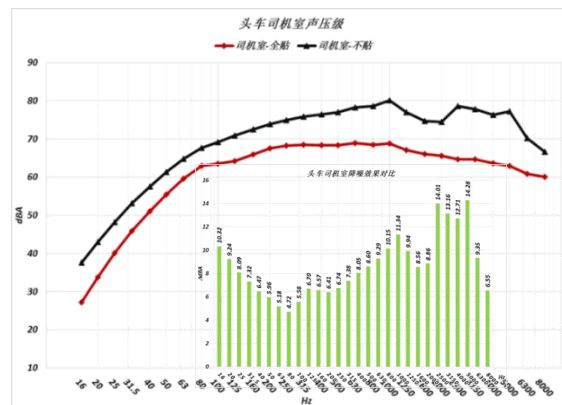
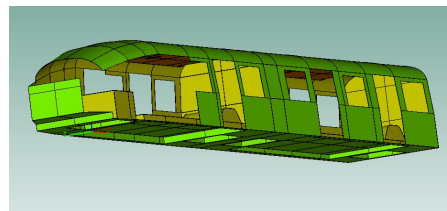
4、环境适应性 — 降噪设计

跨座式单轨基于声学有限元、边界元仿真设计，达到声学方案的有效优化。

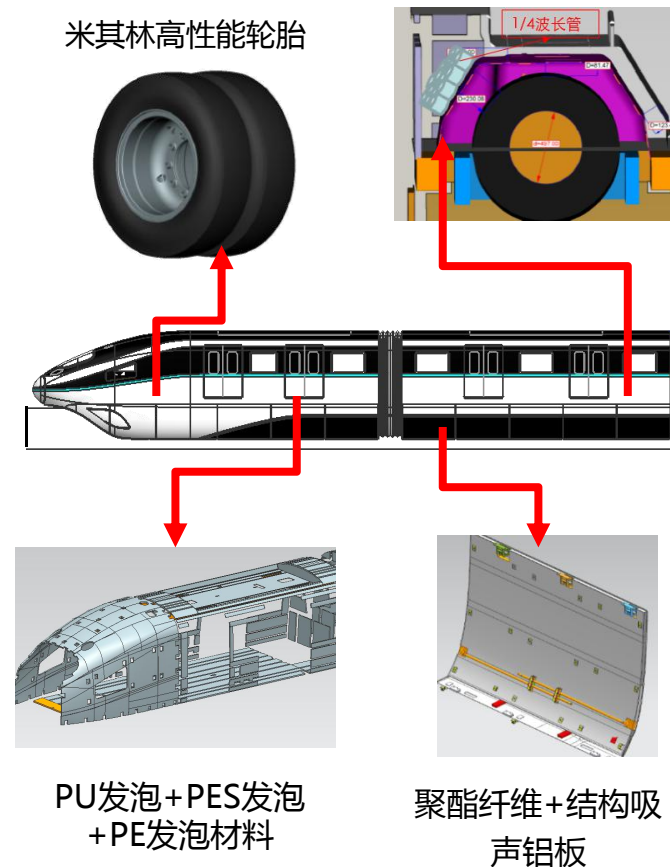
噪声源输入



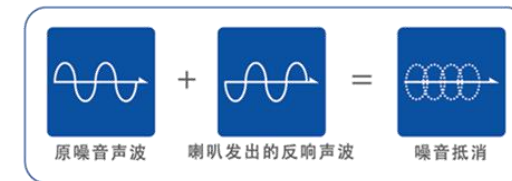
材料参数源输入



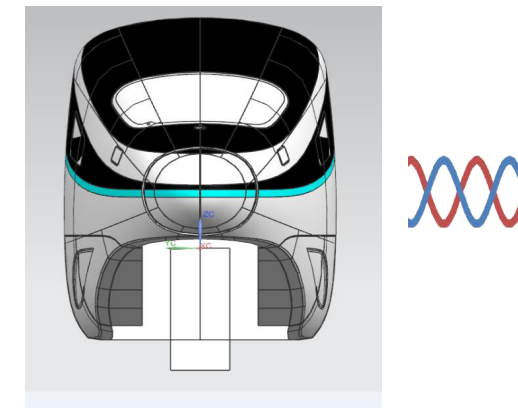
被动降噪



主动降噪



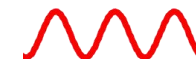
降噪原理图



反向声波



原噪声波

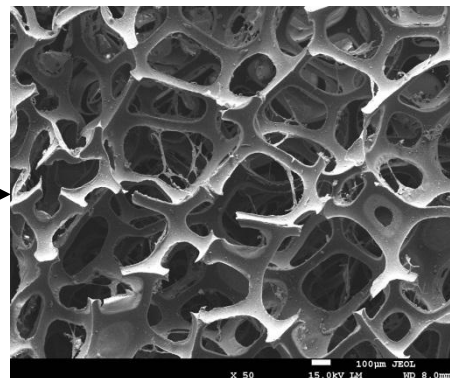


4、环境适应性 — 降噪设计

降噪材料研究



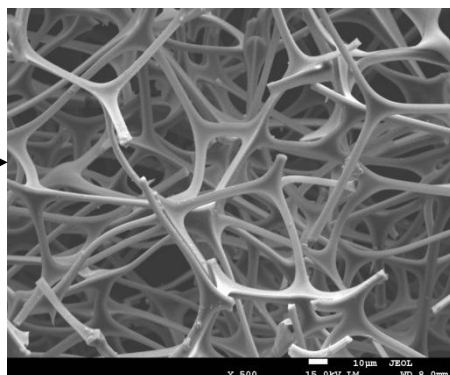
高阻燃等级PU



微观结构

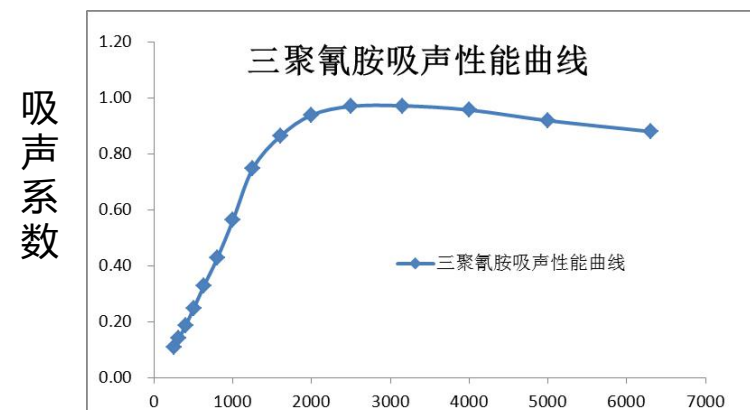
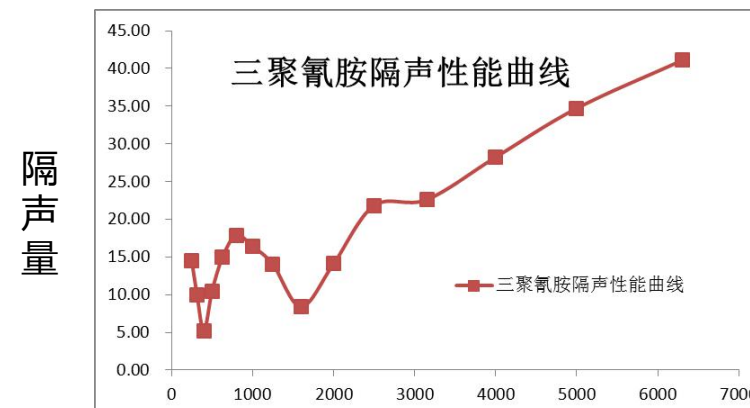
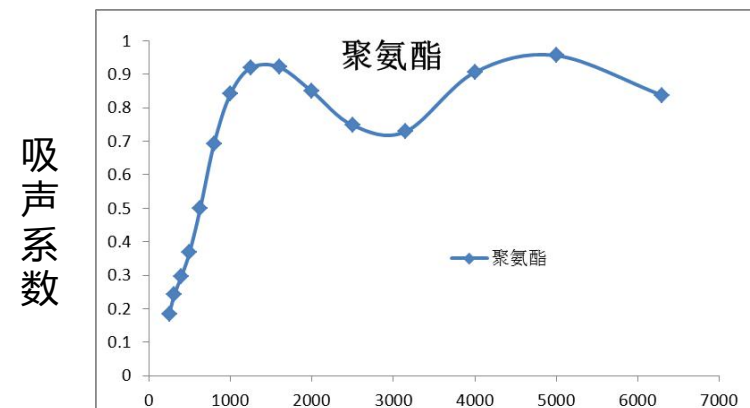


三聚氰胺+橡胶发泡材料

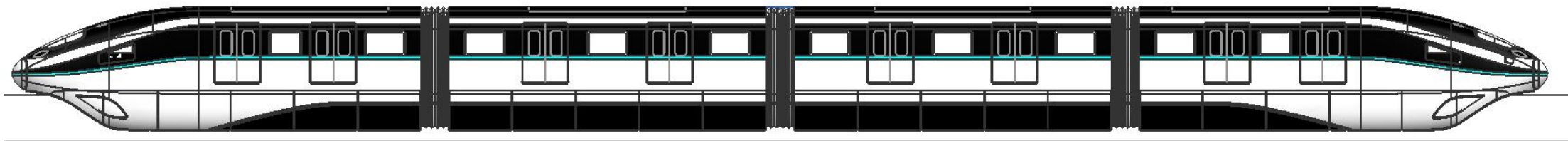


微观结构

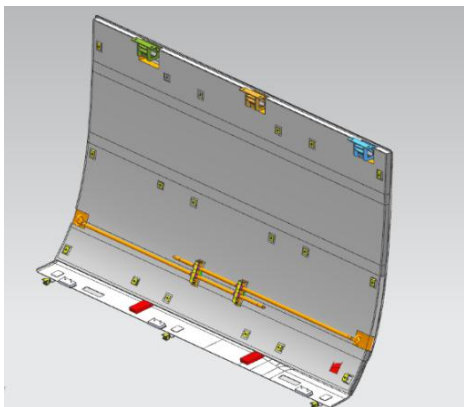
单轨所使用吸隔声材料在满足降噪的同时，均可以满足EN45545-2阻燃标准。



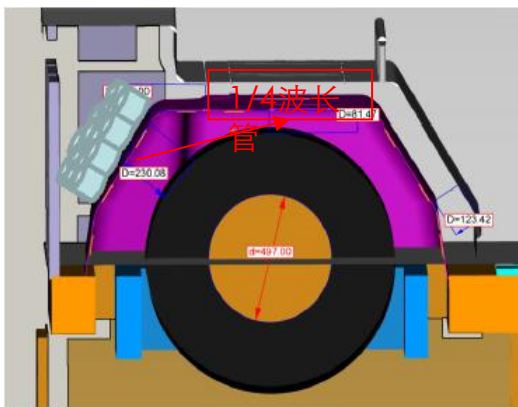
4、环境适应性 — 降噪设计



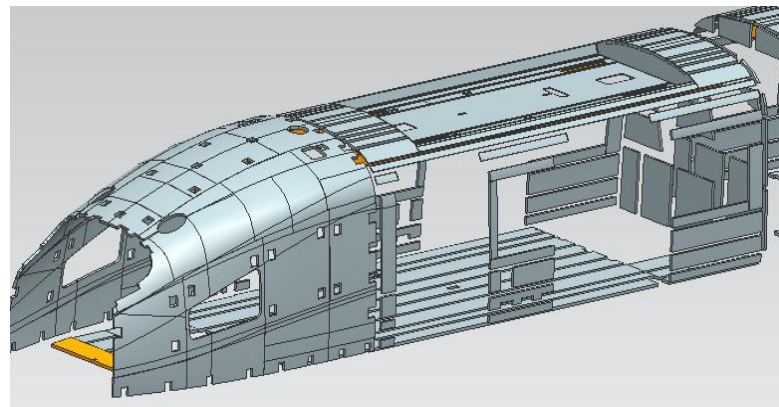
单轨采用**米其林**降噪橡胶轮胎，可以有效降低轮轨噪声



单轨所有裙板内侧安装**复合材料吸音棉**，可以有效的吸收车辆行驶噪声源



轮胎**隔音罩**内采用不同长度的1/4波长管组来进行消音

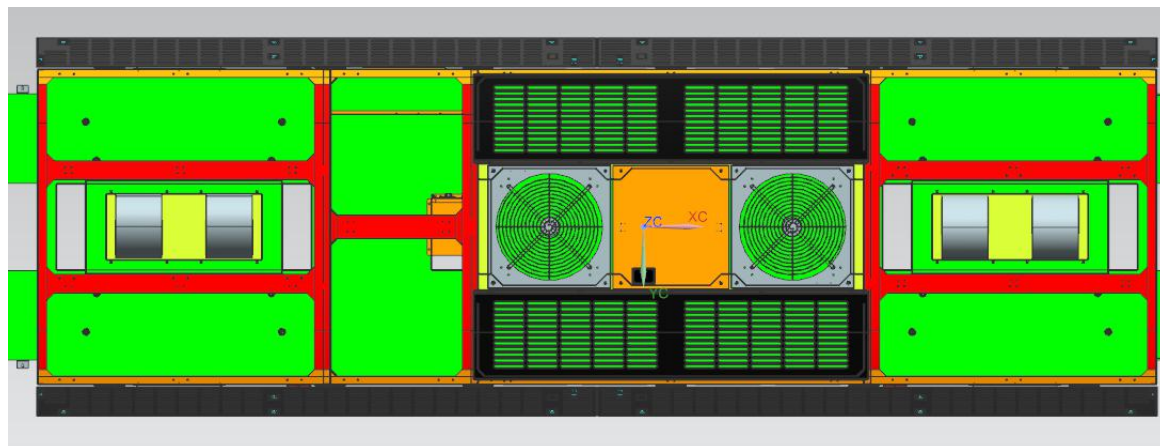


车内地板及侧墙、车顶等均设计有**吸音隔热棉**，可以有效的降低车外噪声对车内的影响

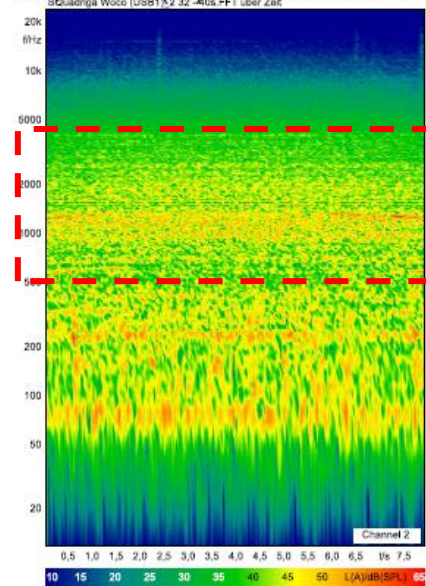
4、环境适应性 — 降噪设计

空调及风道优化:

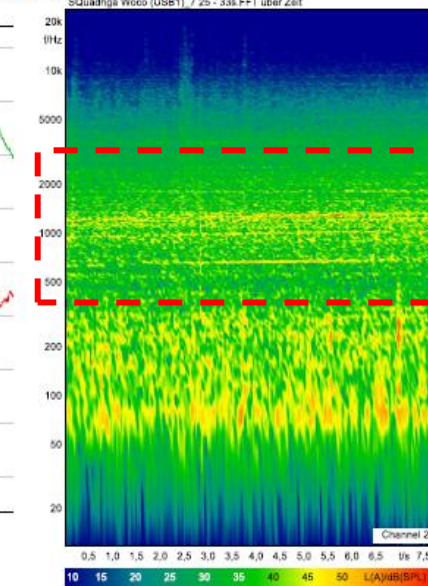
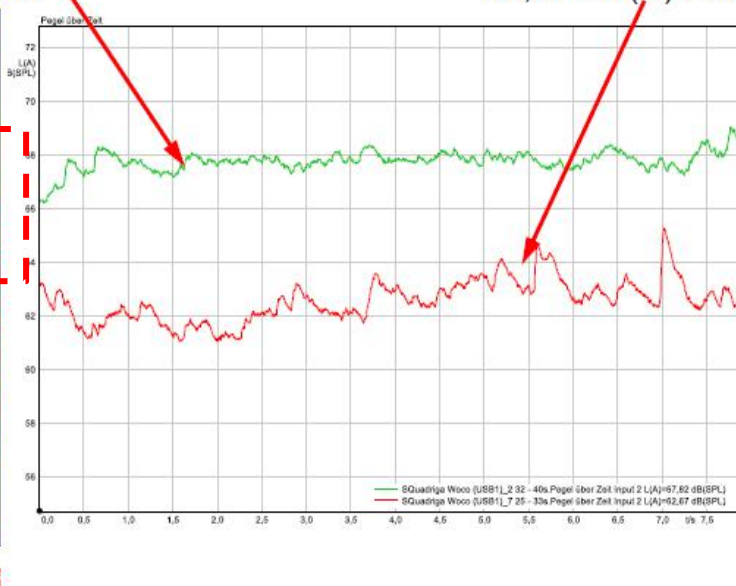
针对空调噪音源，对空调风机及风道进行全面的优化设计，有效降低风机高速转动下的高频噪音。



67,82 dB(A) Level over time



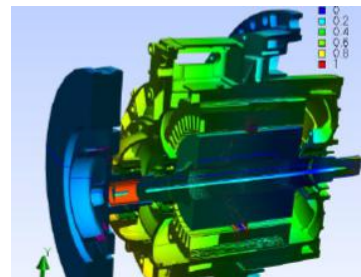
62,67 dB(A) Level over time



4、环境适应性 — 降噪设计

牵引电机结构降噪优化：

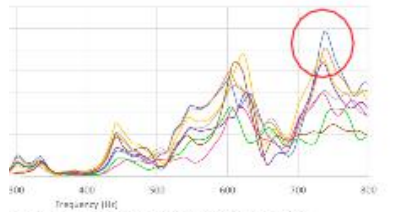
- 电机壳体、端盖壁厚优化，减小谐波响应
- 电机轴鼓型量修形
- 齿轮修形，改善齿轮啮合噪声
- 轴承游隙调整，减少加速度响应
- 箱体结构优化，减小啮合谐波响应



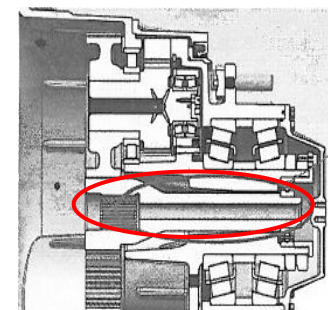
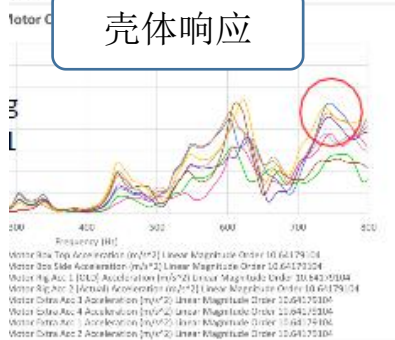
壳体壁厚调整
电机轴鼓型量修形



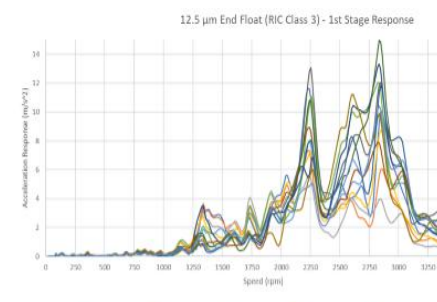
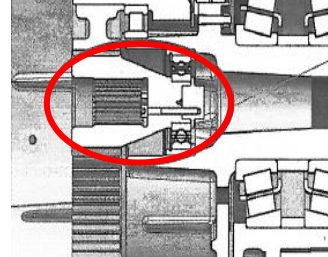
电机壳 端盖



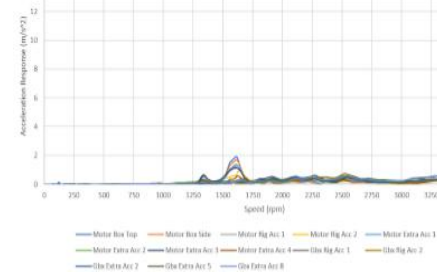
壳体响应



齿轮修形
结构优化



加速度响应



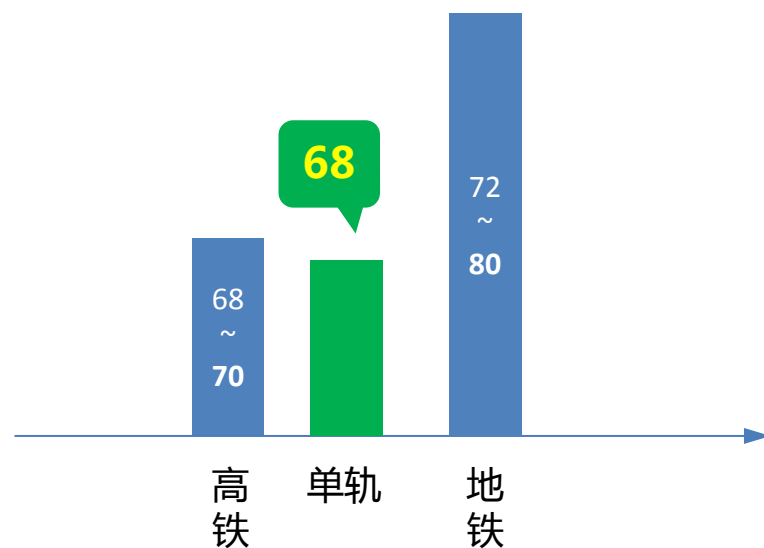
通过系统全面的降噪设计，经铁科院测试：

车外环境源强小于**69dB(A)**，车内噪音按标准检测低于**68dB(A)**

4、环境适应性 — 降噪设计

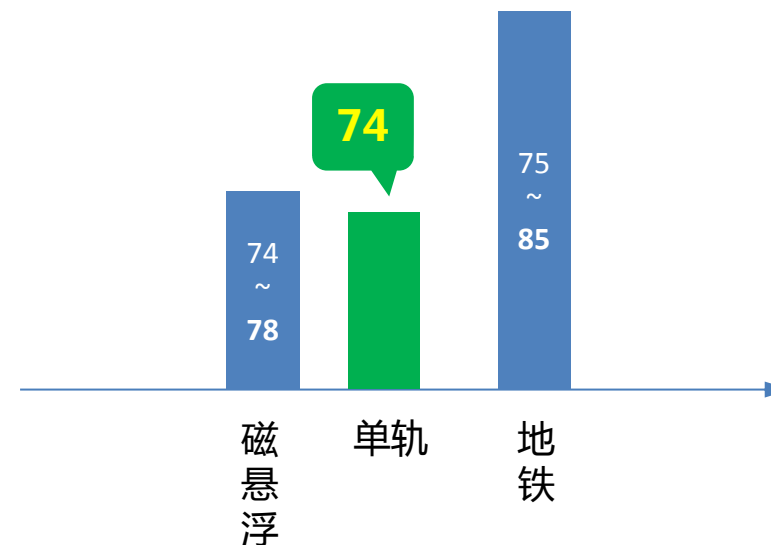
车内噪音行业对比

制式	高铁	单轨	地铁
车内噪声 dB(A)	68~70	68	72~80



车外噪音行业对比

制式	磁悬浮	单轨	地铁
车外噪声 dB(A)	74~78	74	75~85



参考标准

- GB/T 14892-2006 城市轨道交通列车噪声限值及测量方法
- ISO 3381-2005 Railway Applications-Acoustic-Measurement of noise inside railbound vehicles
- ISO 3095-2013 Acoustic-Railway Applications-Measurement of noise emitted by railbound vehicles

4、环境适应性 — 环境振动

环境振动:

跨座式单轨是胶轮系统，并且在设计之初就进行了大量的车桥耦合分析，因此其环境振动表现非常优秀。

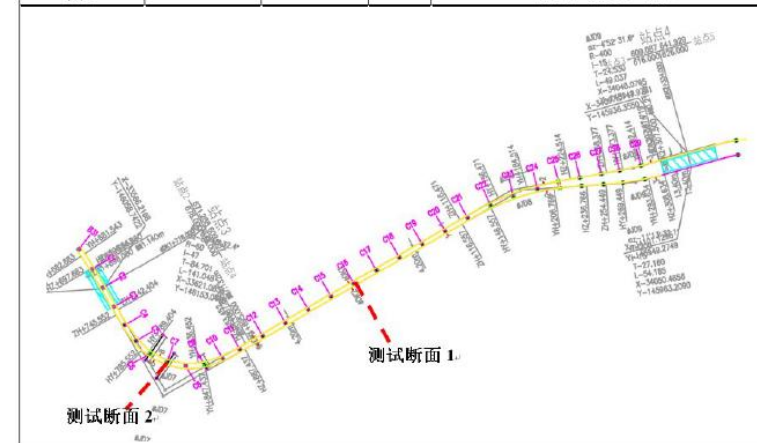
测试表明:

单轨30米外引起的场地振动小于精密仪器级别 ($1\mu\text{m}\sim 3\mu\text{m}$) 的容许值;

评判标准: 依据标准《电子工业防微振工程技术规范》(GB51076-2015)对精密设备及仪器容许振动值做出的相关限值要求,常用的场地振动的使用容许限值如下:

标准中序号	精密设备及仪器	容许振动速度 ($\mu\text{m/s}$)	对应频段 (Hz)
4	0.1 μm ~0.3 μm 的超精密加工及检测装置、电子束装置、电子显微镜 (透射电镜、扫描电镜等)	6.00	1~100
5	1 μm ~3 μm (小于 3 μm) 的精密加工及检测装置、TFT-LCD 及 OLED 阵列、彩膜、成盒加工装置、核磁共振成像装置	12.00	1~100

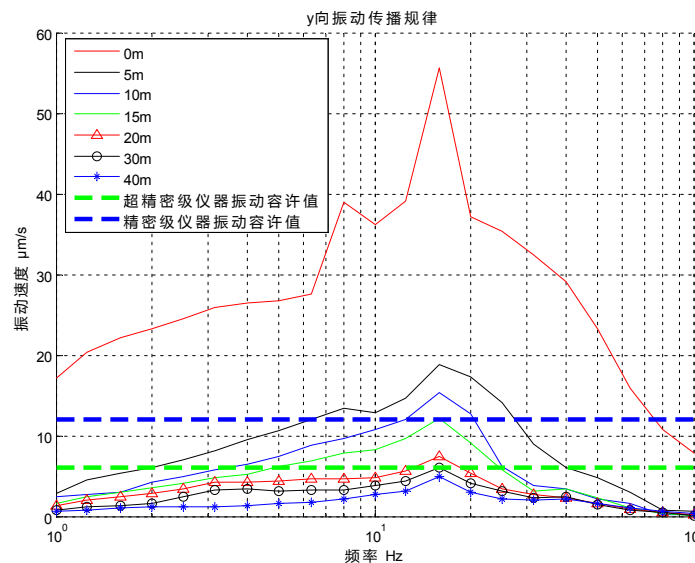
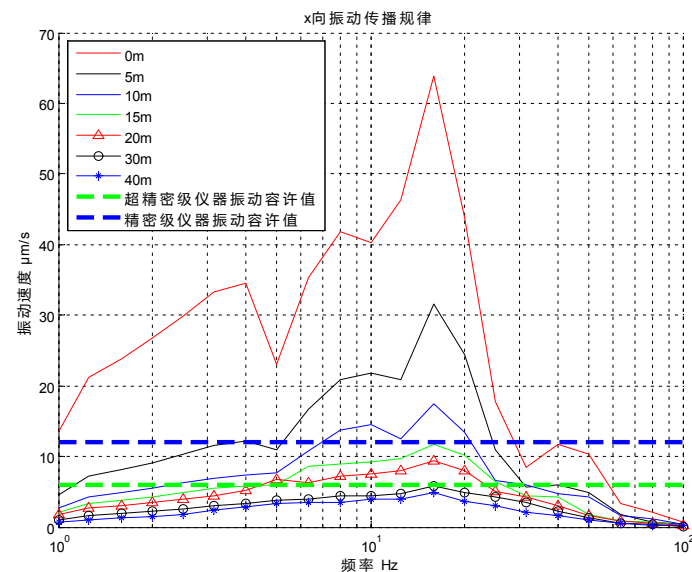
名称	断面位置	云轨运行速度	曲线半径	测点位置
传播规律断面 1	C16 桩	30km/h	直线	距外轨轨道中心线 0m、5m、10m、15m、20m、30m、40m、50m
传播规律断面 2	C7 桩	30km/h	曲线	距外轨轨道中心线 0m、5m、10m、15m、20m、30m、40m



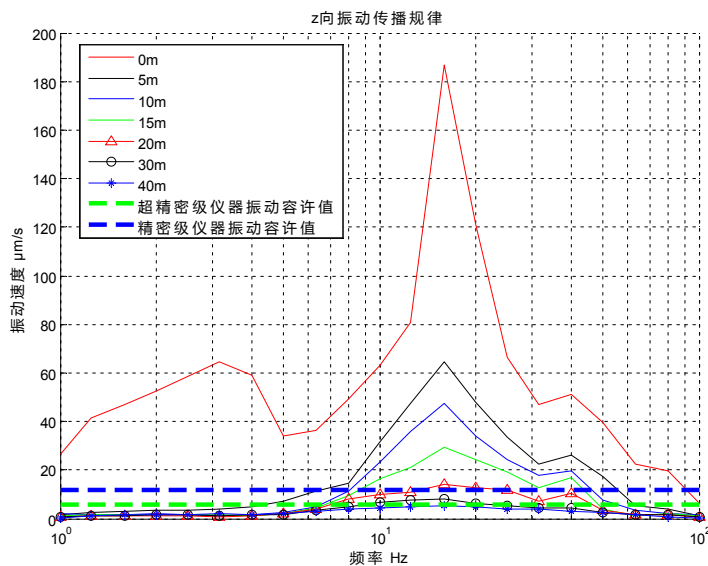
现场测试点布置图



现场测试车辆



单轨30米外引起的场地振动小于精密仪器级别（1μm~3μm）的容许值；
40米外引起的场地振动小于超精密仪器级别（0.1μm~0.3μm）的容许值。



X向振动传播规律

峰值频率	5m处 振动速度	10m处 振动速度	20m处 振动速度	30m处 振动速度	40m处 振动速度
16Hz	31.59μm/s	17.43μm/s	9.39μm/s	5.80μm/s	4.86μm/s

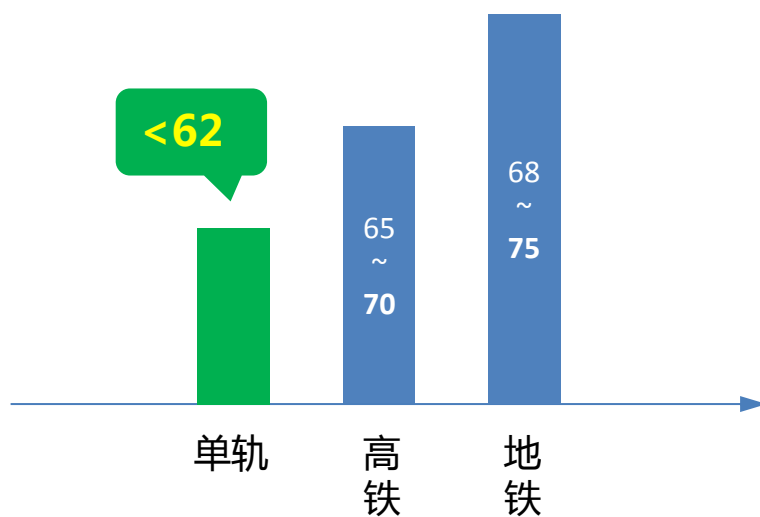
Y向振动传播规律

峰值频率	5m处 振动速度	10m处 振动速度	20m处 振动速度	30m处 振动速度	40m处 振动速度
16Hz	18.78μm/s	15.38μm/s	7.43μm/s	6.02μm/s	4.90μm/s

Z向振动传播规律

峰值频率	5m处 振动速度	10m处 振动速度	20m处 振动速度	30m处 振动速度	40m处 振动速度
16Hz	64.39μm/s	47.53μm/s	14.21μm/s	8.02μm/s	5.53μm/s

4、环境适应性 — 环境振动



行业环境振动对比

制式	单轨	高铁	地铁
环境振动 dB(A)	<62	65~70	68~75

参考标准

- GB 10070 《城市区域环境振动标准》
- HJ453 《环境影响评价技术导则 城市轨道交通》

4、环境适应性 — 电磁环境对人体的影响

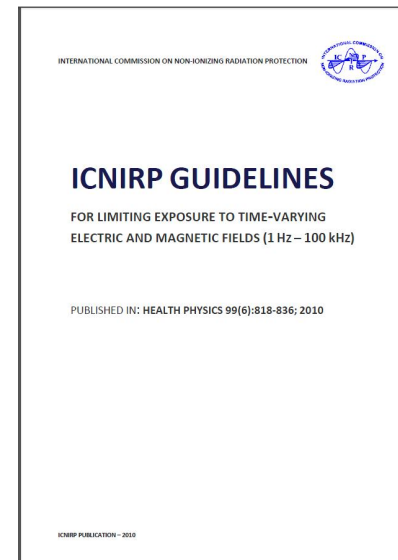
跨座式单轨满足相关国家标准对跨座式单轨电磁发射的要求，并通过了TUV安全认证。

单轨电磁辐射不会对人体造成任何不良影响。

分别在动态和静态工况下，测量逆变器上方、高压配电箱上方、转向架上方、电抗器上方、贯通道等可能存在较大静磁场发射的区域，测得最大值约110.167 μ T，约为标准要求的11%。

分别在静态和动态工况下，测量逆变器上方、高压配电箱上方、转向架上方、电抗器上方、贯通道等可能存在较大交变磁场发射的区域，测得最大值约占标准要求1.76%。

测试项目	最大发射点位	最大发射工况	最大发射占比	结论
静磁场发射	贯通道	动态	11%	满足 EN 45502-2-1: 2003 要求
交变磁场发射	贯通道	动态	1.76%	满足 ICNIRP 2010 要求



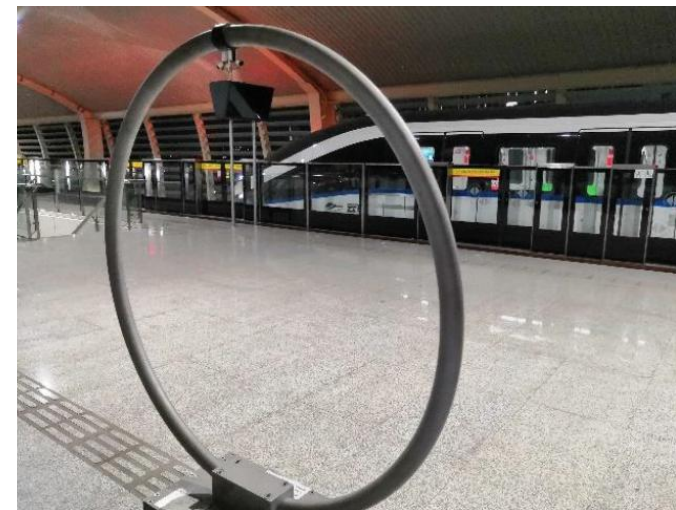
4、环境适应性 — 电磁环境对人体的影响

在距离车辆10米外测量单轨在静置、加速/减速等各种工况下的对外电场和磁场发射，结果符合国家标准的要求。

单轨的电磁辐射不会对电磁环境及居民造成不良影响。



频点(MHz)	磁场值 (dBuA/m)	标准限值 (dBuA/m)	余量 (dB)
0.159	43.49	54.45	10.96
1.635	22.79	32.45	9.66
2.0985	23.67	30.90	7.23
25.97325	-1.3	6.34	7.64
频点(MHz)	电场值 (dBuV/m)	标准限值 (dBuV/m)	余量 (dB)
32.34	58.08	74.46	16.38
59.9	50.45	70.7	20.25
151.65	42.83	63.44	20.61
237.6	40.31	60.24	19.93



4、环境适应性 — 粉尘影响研究

橡胶轮胎起源于1845年，距今已有170多年历史；众多制式车辆均在使用胶轮系统，如跨座式单轨、悬挂式单轨、BRT、APM、各式公路车辆等，胶轮系统运行中均会产生轮胎磨损颗粒。



图1 公路车辆



图2 BRT快速公交系统



图3 APM捷运系统



图4 重庆跨座式单轨

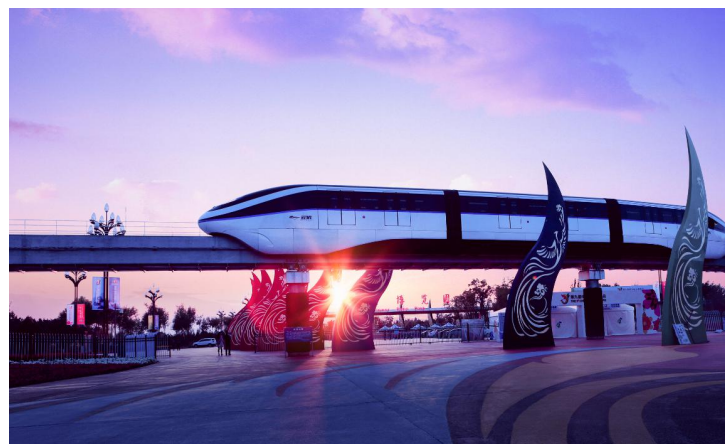


图5 单轨（跨座式单轨）

4、环境适应性 — 粉尘影响研究

◆ 据法国米其林对路面轮胎磨耗跟踪调研，公路车辆轮胎磨损量为8g/100km，单车磨损量（4条轮胎）**32g/100km**。

以北京三环为例：全程48km，平均车流量为4000辆/h，平均车速30km/h，全天18h。

全天车次： $30 \times 18 / 48 \times 4000 = 45000$

全天轮胎磨耗量： $Q = 45000 \times 32 / 100 \times 48 = 691.2\text{kg}$ ，半年轮胎磨耗量 $Q = 691.2 \times 365 / 2 = 126144\text{kg}$

假设轮胎颗粒平铺在**2m**宽道路两边，颗粒厚度： $h = 126144 / 1500 / 2 / 48000 = 0.876\text{mm}$ 。

◆ 单轨（跨座式单轨）轮胎磨损量为3.24g/100km，单车磨损量 **12.96g/100km**。

单轨列车最高里程为单线60km，双线120km，车辆数为 $60 \times 1.5 \times 3 \times 2 = 540$ 节，运行速度45km/h，全天运行18h；

单车全天运行里程 $L = 45 \times 18 = 810\text{km}$ ；全天轮胎磨耗量： $Q = 810 \times 12.96 / 100 \times 540 = 56.687\text{kg}$ ，

半年轮胎磨耗量 $Q = 56.687 \times 365 / 2 = 10345.38\text{kg}$ 。

假设轮胎颗粒平铺在**2m**宽道路两边，颗粒厚度： $h = 10345 / 1500 / 2 / 60000 = 0.057\text{mm}$ 。

4、环境适应性 — 粉尘影响研究

表1 轮胎颗粒质量分析

序号	车辆类别	轮胎磨耗速率 g/100km	全天轮胎 颗粒质量kg	半年轮胎 颗粒质量T	颗粒物厚度 μm
1	公路车辆	8	691.2	126.144	876
2	单轨	3.24	56.687	10.345	57

经测算，单轨轮胎磨耗质量仅为公路车辆**8%**，颗粒物堆积厚度仅为**57微米**，磨耗量较少，不会对沿线环境及外观造成影响。

颗粒物污染（GB3095—2012 环境空气质量标准）：

悬浮在空气中的固体或液体颗粒物，（不论长期或短期）因对生物和人体健康会造成危害而称之为颗粒物污染。

颗粒物的种类很多，一般指 $0.1-75\mu\text{m}$ 之间的尘粒、粉尘、雾尘、烟、化学烟雾和煤烟。

其危害特点是粒径 $1\mu\text{m}$ 以下的颗粒物尘降慢、波及面大而远；颗粒物直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 可被吸入人体内部。

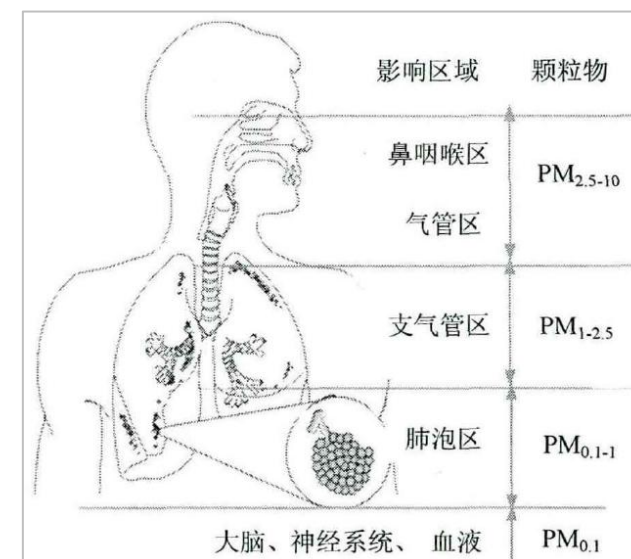


图1 颗粒物直径与沉积部位

4、环境适应性 — 粉尘影响研究

序号	分类	颗粒直径 μm	备注
1	PM0.1	$d \leq 0.1$	可进入大脑血液
2	PM1.0	$0.1 < d \leq 1$	可进入肺泡区
3	PM2.5	$1 < d \leq 2.5$	可进入支气管区
4	PM10	$2.5 < d \leq 10$	可进入咽喉气管区
5	轮胎磨耗颗粒	柏油路面 > 105 混凝土路面 > 77	无法吸入人体内部

表2 颗粒污染物与轮胎颗粒

◆ 轮胎粉尘颗粒直径均在 $77\mu\text{m}$ 以上，无法通过空气吸入人体内部，

轮胎磨耗粉尘颗粒无法对人体造成危害，不会对空气环境造成污染。

◆ 全球轮胎工业项目（TIP）研究表明，轮胎颗粒物对土壤、环境及生物体不会造成污染及损伤。



结 语

04



习近平总书记在十九大报告中指出——

“构建人类命运共同体，建设持久和平、普遍安全、共同繁荣、开放包容、清洁美丽的世界。”

比亚迪与各位装备厂商坚持绿色低碳，希望用轨道交通建设一个清洁绿色无拥堵的世界，
用技术创新满足人们对美好生活的向往



汇报完毕，敬请指正！

