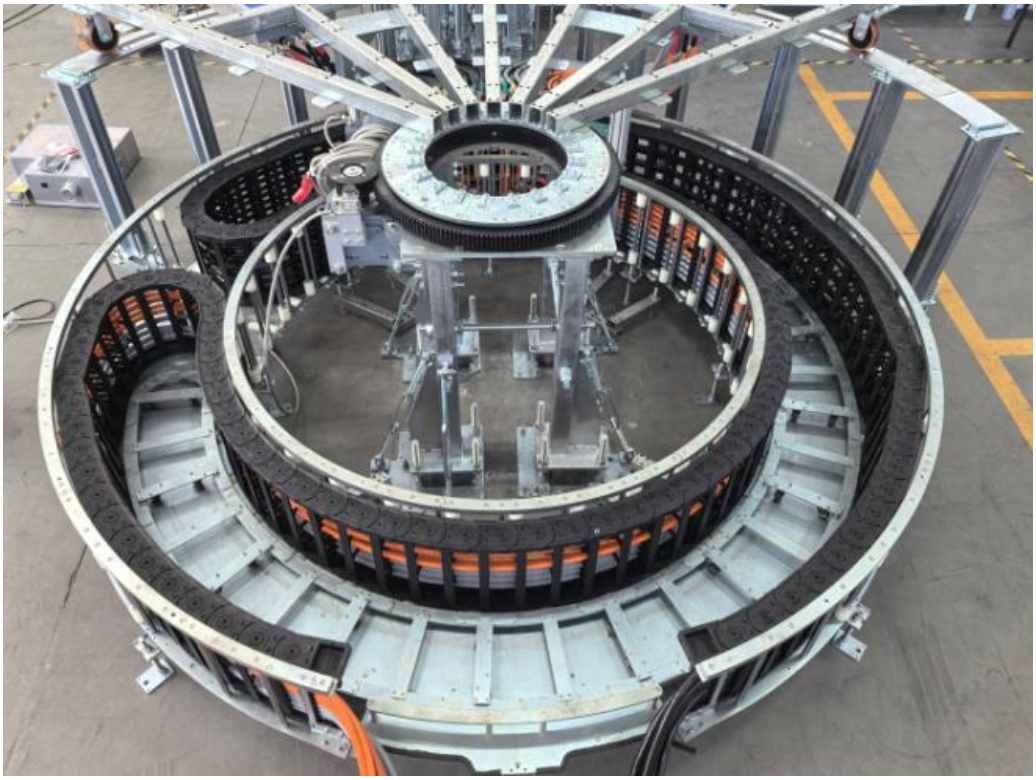
能量链 Energy Chain System

整车暗室回转拖链系统



回转拖链系统（能量链）是整车电磁兼容暗室中连接固定基础设施与回转转台的唯一通道。本系统为 12 m 整车转台配套设计，由随转台回转的双环拖链、滚动式导槽、高柔性拖链电缆、地面接口板 CP1 / CP2，以及在线监测与智能信息平台组成，承担 690 V 交流、1500 V 直流大功率供电、保护接地、控制电源及光纤信号的连续可靠传输，是整车 EMC 测试中供电链路与信号链路的关键环节。

系统运行时，拖链由玻璃纤维增强聚酰胺链节与铝合金横杆铰接成环，电缆按“单槽单缆”分层敷设于链节内腔；拖链在导槽内以滚动方式运行，直线段由链节刚性支撑、回转段自然弯曲，使电缆始终处于受控弯曲状态，避免扭转、拉伸与拖地磨损。动力回路与信号回路分槽布置，导槽采用单侧大开口结构，既便于布线与散热，又降低了线间串扰。

能量链升级的核心目标，是保证高功率连接路径的低阻抗与高屏蔽性。全部动力回路采用单芯高压拖链电缆与高压连接器，中间转接点数量最少化；接地回路独立设置并配专用接地铜排，有效降低大电流工况下的回路阻抗与共模干扰，减少测试过程中引入的噪声，从而保障整车暗室测试环境的完整和测试结果的准确。

系统回转行程为 -25° ~ +385°，覆盖整车 EMC 测试中车辆姿态调整的全部角度范围；配置温度、电压、电流在线监测与超限报警，并可通过 Modbus-TCP 等协议与实验室管理软件互联，实现回路状态可视化、故障可追溯和全生命周期运维管理。

1. 主要特点

下列要点与招标技术要求 2.4.6 条逐项对应，便于快速核验本方案的响应情况；详细参数与结构说明见后续章节。

- ✓ **接口与回路配置：**1 套回转拖链系统，含地面接口板 CP1、CP2，回路配置与招标要求逐项一致
  - ■ CP1：16 根 690 Vac / 500 A 单芯高压拖链电缆（4 组 × 4 根），配 16 个单芯高压接头；其中两组 500 A 可实现程控并联
  - ■ CP2：6 根 1500 Vdc / 300 A（3 组 × 2 根）+ 4 根 1500 Vdc / 500 A（2 组 × 2 根）；其中两组 500 A 可实现程控并联
  - ■ CP2：1 路 380 Vac / 100 A 三相回路（工业插座），单相 220 Vac / 16 A、10 A 各 1 路（面板插座）
  - ■ 辅助与接地：CP1 保护接地 2 路（配专用接地铜排）、光纤 4 路；CP2 光纤 10 路（FSMA 法兰）

✓ **温度监控系统 (标配)：**非接触红外测温覆盖 CP1 / CP2 全部接头与电缆，量程 -20℃ ~ 150℃（可扩展至 550℃），精度±2℃或读数的±2%，超限本地声光报警并开放 Modbus-TCP 协议

✓ **电气参数在线监测：**交流 AC 0 ~ 1000 V / 0 ~ 500 A、直流 DC 0 ~ 2000 V / 0 ~ 500 A，精度均为 0.5% FS；回路电阻与绝缘电阻离线监测，可记录≥36 次并循环写入，支持 CSV / Excel 导入导出

✓ **回转与弯曲性能：**回转行程 -25° ~ +385°，滚动式运行；交流电缆弯曲半径≥7.5 倍外径、直流电缆≥10 倍外径，弯曲寿命≥500 万次

✓ **电气安全与布线：**动力与信号单槽单缆分层隔离，层间电气间隙≥15 mm；2600 mm 大开口出线口配铜排箱，非闭合式导槽便于布线、检修与散热

✓ **结构与可靠性：**玻璃纤维增强聚酰胺链节 + 铝合金横杆，“四导轮”滚动导槽，运行平稳、磨损低、噪声小，适合长行程、大吨位转台长期往复运行

✓ **智能运维：**自研回转拖链系统智能信息平台，提供保养周期提醒、电气参数可视化、超限预警与历史数据追溯，并可与实验室管理软件互联

2. 系统组成与接口配置

系统由地面接口板（CP1、CP2）、回转拖链、导槽及出线口、拖链电缆、高压连接器、在线监测系统与智能信息平台七部分组成。地面接口板 CP1 与 CP2 安装于暗室地面，是暗室外部电源与转台之间唯一的接插界面，其回路配置如下表。

表 1　CP1 / CP2 地面接口板回路配置

接口板	回路类别	规格	数量	说明
CP1	三相交流动力	690 Vac / 500 A	16 根（4 组 × 4 根）	单芯高压电缆，16 个单芯高压接头；其中两组 500 A 可程控并联
CP1	保护接地	—	2 根	配 2 个专用接地铜排
CP1	单相辅助电源	220 Vac / 16 A、10 A	各 1 路	每路 2 条 2 芯电缆，面板插座
CP1	光纤	FSMA	4 路	FSMA 光纤法兰
CP2	直流动力	1500 Vdc / 300 A	6 根（3 组 × 2 根）	单芯高压电缆，6 个高压接头
CP2	直流动力	1500 Vdc / 500 A	4 根（2 组 × 2 根）	其中两组 500 A 可程控并联
CP2	三相辅助电源	380 Vac / 100 A	1 路（4 根）	工业插座
CP2	单相辅助电源	220 Vac / 16 A、10 A	各 1 路	每路 2 条 2 芯电缆，面板插座
CP2	光纤	FSMA	10 路	FSMA 光纤法兰

CP1 的 4 组 690 Vac / 500 A 三相回路既可独立供电，也可由其中两组经程控接触器并联，组成 1000 A 级三相供电能力；CP2 的 2 组 1500 Vdc / 500 A 直流回路同样支持程控并联，用于整车直流快充、大功率直流负载等测试工况。并联操作由智能信息平台统一控制，具备机械与电气双重互锁及状态反馈，避免误动作。

3. 主要技术指标

（一）拖链及导槽

表 2　拖链及导槽技术参数

参数	指标	说明
拖链回转角度	-25° ~ +385°	覆盖转台全部测试姿态
拖链运行方式	滚动式	摩擦阻力小、磨损低、运行平稳
拖链主材质	玻璃纤维增强聚酰胺（改性尼龙）	高强度、耐磨损、自润滑
拖链横杆材质	铝合金	兼顾刚性与轻量化
拖链阻燃等级	UL94-HB	满足暗室消防安全要求
拖链工作温度	5℃ ~ 90℃	—
拖链安装高度	798 mm	按 12 m 转台结构定制
导槽形式	非闭合式	单侧大开口，便于布线与维护
导槽回转直径	与 ø10000 mm 转台回转轨迹匹配	按项目图纸定制
出线口宽度	2600 mm	大开口，避免电缆扎堆走线
电缆层间电气间隙	≥15 mm	保证电气安全

（二）拖链电缆

表 3　拖链电缆技术参数

参数	指标	说明
电缆布置方式	单槽单缆	动力与信号分槽隔离，降低串扰
电缆导体	高柔性裸铜丝，6 类	耐反复弯曲，导电性能稳定
交流电缆绝缘	中硬度 PVC	满足 690 Vac 绝缘要求
直流电缆绝缘	聚丙烯（PP）	低介电损耗，耐直流电场
电缆护套	特种低粘度 PVC	低摩擦系数，耐磨耐弯
交流电缆电压等级	0.6 / 1 kV	满足 690 Vac 系统电压
直流电缆电压等级	1.8 / 3 kV	满足 1500 Vdc 系统电压
交流电缆工作温度	-5℃ ~ 70℃	—
直流电缆工作温度	-20℃ ~ 80℃	—
电缆弯曲半径	≥7.5 倍外径（交流） / ≥10 倍外径（直流）	正确布置时
电缆弯曲寿命	≥500 万次	正确布置时
芯线识别	分色 + 线号标识	便于接线核对与后期维护

（三）高压连接器与接口

表 4　高压连接器与接口技术参数

参数	指标	说明
交流高压连接器	AC 1000 V / 550 A；插拔次数≥10000 次	满足 690 Vac / 500 A 回路
直流高压连接器（300 A 回路）	DC 1500 V / 350 A；插拔次数≥500 次	满足 1500 Vdc / 300 A 回路
直流高压连接器（500 A 回路）	DC 1500 V / 630 A；插拔次数≥500 次	满足 1500 Vdc / 500 A 回路
三相辅助电源接口	380 Vac / 125 A 工业插座	满足 100 A 三相回路
单相辅助电源接口	220 Vac / 16 A、10 A 面板插座	带防护盖与机械联锁
光纤接口	FSMA 法兰，CP1 4 路 + CP2 10 路	低损耗、抗电磁干扰
接地铜排	2 套，截面满足 500 A 回路接地要求	独立接地回路，降低共模干扰

（四）在线监测与安全防护

表 5　在线监测与安全防护技术参数

监测 / 防护项目	参数指标	备注
温度监测	非接触红外测温，覆盖 CP1 / CP2 全部接头与电缆；量程 -20℃ ~ 150℃（可扩展至 550℃）；精度±2℃或读数的±2%（取较大值）	标配
交流电压监测	AC 0 ~ 1000 V，精度 0.5% FS	标配
交流电流监测	AC 0 ~ 500 A，精度 0.5% FS	标配
直流电压监测	DC 0 ~ 2000 V，精度 0.5% FS	标配
直流电流监测	DC 0 ~ 500 A，精度 0.5% FS	标配
监测通道数量	≥32 路，按 CP1 / CP2 全部动力回路配置，可扩展	标配
回路电阻 / 绝缘电阻	离线监测，可记录≥36 次并循环写入，支持 CSV / Excel 导入导出	标配
运动状态监控	低辐射定焦摄像机≥2 路，实时监视拖链运行	标配
报警输出	本地声光报警 + 干接点输出 + Modbus-TCP / TCP 私有协议	标配
安全保护	运动范围超限双重保护、拖链异常运动保护、转台急停联动	标配

4. 关键技术特点

（一）双环回转布置，电缆全程受控弯曲

系统沿转台回转轨迹布置内外两圈拖链（拖链 1、拖链 2），交流大电流回路与直流回路分环布置，避免不同电压等级、不同性质的回路在同一拖链内相互耦合；两环拖链分别承担 CP1 与 CP2 的回路，任

一环检修时另一环仍可维持供电，提高了系统的可用性。拖链沿 -25° ~ +385° 行程往复运行，电缆弯曲半径由链节结构强制约束，始终不小于规定的最小弯曲半径。

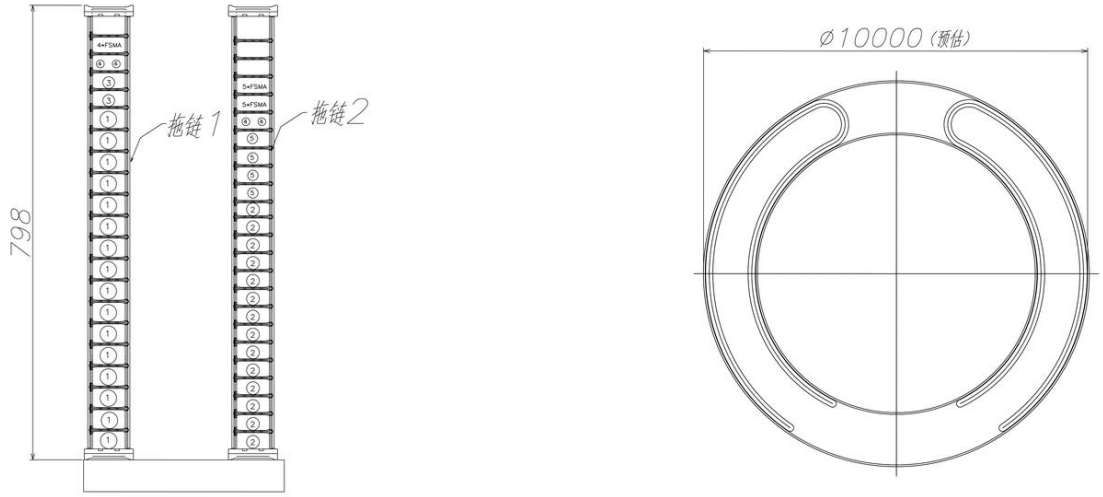


图 1　回转拖链系统布置示意（拖链 1 / 拖链 2 沿 ø10000 mm 回转轨迹布置，安装高度 798 mm）

（二）“四导轮”滚动导槽，运行平稳低磨损

导槽内设置四组导向轮，拖链在导轮约束下以滚动方式运行，将滑动摩擦转变为滚动摩擦，运行阻力与链节磨损显著降低，同时抑制拖链在高速回转时的横向摆动与爬行，保证长行程、大吨位转台运行时的平稳性与低噪声。



图 2　“四导轮”滚动导槽结构

（三）大开口出线口与铜排箱，兼顾散热与电气安全

电缆出线口宽度达 2600 mm，采用非闭合式导槽与铜排箱构造：大空间便于大平方数电缆进出线折弯，避免电缆扎堆走线造成的线间串扰与局部过热；层间电气间隙不小于 15 mm，配合铜排箱的屏蔽与固定，有效保证大电流回路在长期运行中的电气安全。

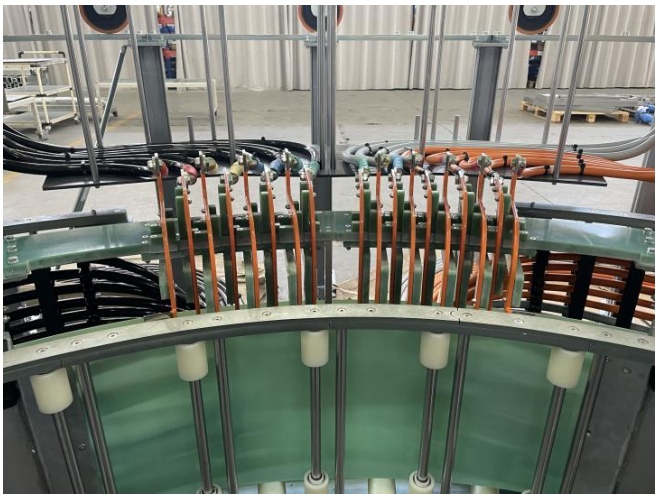


图 3　大开口出线口与铜排箱构造

（四）500 A 回路程控并联

CP1 的两组 690 Vac / 500 A 回路与 CP2 的两组 1500 Vdc / 500 A 回路均配置程控接触器，可在智能信息平台上按测试项目一键切换独立供电或并联供电模式。并联后形成 1000 A 级回路，满足整车大电流充电、大功率直流负载等极端工况的供电需求，无需另行敷设专用电缆，提高了暗室的测试适应性与设备利用率。

（五）全回路在线监测与智能信息平台

系统对 CP1 / CP2 全部动力回路的电压、电流及接头温度实施在线监测，配合低辐射定焦摄像机监视拖链运动状态。自研的回转拖链系统智能信息平台作为系统的智能交互终端，提供保养周期智能管理、电气安全参数可视化、异常状态预警、回路电阻与绝缘电阻历史数据追溯等功能，实现全生命周期运维管理。



图 4　回转拖链系统智能信息平台——电气参数实时监测界面



图 5　智能信息平台——通道与通讯参数配置界面

平台支持通道数量、报警阈值、PLC 通讯地址等参数的自定义设置；温度超限时本地声光报警并输出报警信号，同时开放 Modbus-TCP 协议，实验室管理软件可直接读取实测温度值；电压、电流超限时开放基于 TCP 通信的私有协议，供实验室管理软件读取报警信号。

南京：江苏省南京市江宁区诚信大道 2108 号（211112）
北京：北京市海淀区中关村南大街甲 6 号铸诚大厦 A1716 室（100086）
上海：上海市闵行区申昆路 2177 号 18 号楼 605 室（201106）
Email：info@emcdir.com