

电动汽车换电站安全防护解决方案

李言堂

莱茵技术 - 商检 (青岛) 有限公司, 山东 青岛 266100

DOI:10.61369/ERA.2025090014

摘 要 : 伴随着电动汽车的日益普及, 电动汽车充电产业也在蓬勃发展。作为传导充电、无线充电、电池更换三个充电技术路线之一的电动汽车换电站, 我国在技术、市场等领域具有绝对优势。随着市场保有量的增加, 人员死亡或肢体折断的重大安全事故不断增多, 给家庭, 企业, 社会带来巨大的损失。本文章基于国际安全领域最新标准, 加上多年实际工作中积累的经验, 提出了一套完整的安全防护方案, 并成功地应用在出口欧盟的换电站上, 希望它能为国内市场上的电池更换设备提供借鉴。

关 键 词 : 安全防护; 安全激光扫描; 危险; 事故; 风险; 性能等级

The Safeguarding Solution for Electric Vehicle Battery Swap Station

Li Yantang

TUV Reinland/CCIC (Qingdao) Co., Ltd. Qingdao, Shandong 266100

Abstract : With the increasing popularity of electric vehicles, the electric vehicle charging industry is also booming. As one of the three charging technology routes of conduction charging, inductive charging and battery swapping, China has absolute advantages in technology, market and other fields. With the increase of market ownership, major safety accidents such as deaths or broken limbs are increasing, bringing huge losses to families, enterprises and society. Based on the latest international standards in the field of safety and the experience accumulated in practical work for many years, this article proposes a complete set of safety protection solution, which are successfully applied to equipment exported to the European Union, hoping that it can provide reference for battery swapping equipment in the domestic market.

Keywords : safeguarding; safety laser scanner; hazard; accident; risk; performance level

一、我国机械设备安全发展现状

在安全领域我国的标准大多等同采用国际标准, 可以说紧跟国际标准的更新步伐, 但在实际机械制造和机械使用领域与标准的要求差距依然很大, 以至于在生产生活领域事故频发。究其原因主要是国内缺乏专业的市场监管; 其次传统安全观念的影响根深蒂固。

二、电池更换设备的简介



图1. 电池更换设备外观

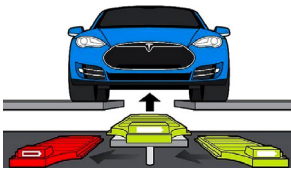


图2. 换电平台

图1是电池更换设备外观, 图2是换电平台的示意图, 图3是换电系统 (换电站) 平面示意图。换电站主要有以下几部分组成: 换电平台、码垛机、电池搬运设备、电池仓、充电系统、控

制系统。

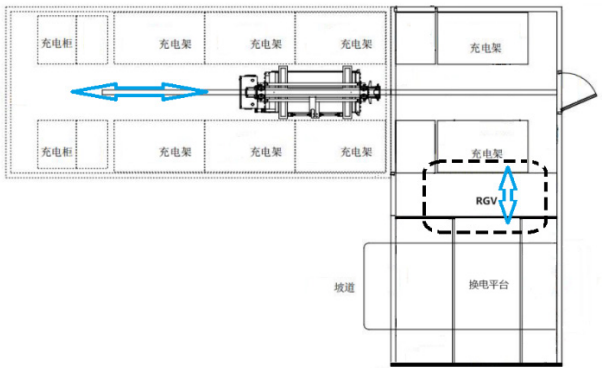


图3. 平面示意图

换电平台: 主要负责车辆空电池的拆卸及满电池的安裝。换电平台上配有车辆导向及调正机构。平台入口会有车辆识别和付费设备;

电池搬运设备: 主要设备是 RGV (轨道小车), 它完成卸载空电池并搬运至电池仓; 从电池仓取满电池并安裝到车上。

电池仓: 主要设备是充电架及码垛机。

充电系统: 主要设备是充电柜, 给电池仓内空电池充电;

控制系统：根据进入车辆的型号，选择匹配的满电池，进行换电池任务^[1]。

三、安全方案设计

(一) 分区及危险识别

换电站的危险区域有两个。一是换电平台区域，RGV 在换电平台往复运动造成的撞击危险，卸装电池升降运动引起的挤压危险。二是电池仓，码垛机往复的造成的撞击风险。

(二) 安全方案设计

从使用方便性、防护有效性、成本经济性观点出发，该换电站的换电平台采用安全激光扫描仪方案。电池仓采用安全互锁门方案。本文主要介绍贯通式换电平台的安全方案（图4）。

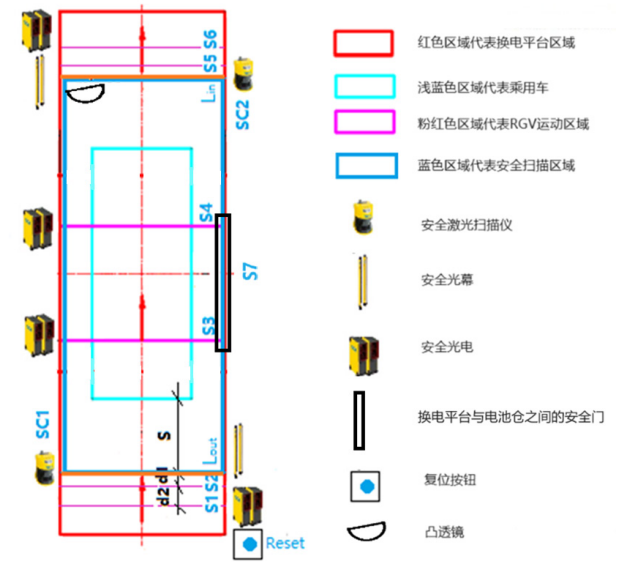


图4. 贯通式换电安全传感器平面布置图

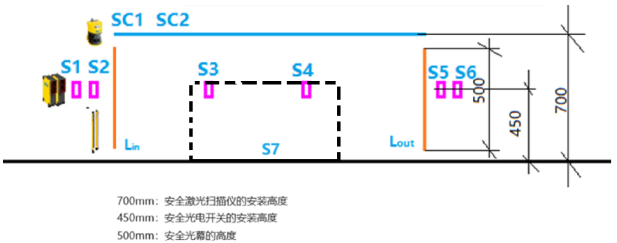


图5. 安全传感器侧视图

(三) 安全传感器的选择及用途介绍

1. 安全激光扫描仪：

图6是激光扫描仪的示意图，其工作原理是当发射的光线遇到物体后返回，并被受光器接收，通过计算光线发射到接收的时间，以此来判断物体和扫描仪之间距离和形状。

换电区域对角安装两台安全扫描仪 SC1 和 SC2，可以扫描整个换电区域，可根据传感器信号不同组合，切换图7所示的任意一种扫描区域。四种扫描区域的用途见1. A 为换电平台无车辆时，安全扫描仪的监控区域；B 区域有个开口，仅允许车辆驶入；C 区域将开口封闭，车辆进行电池更换；D 区域有个开口，仅允许车

辆驶出。



图6. 激光扫描仪示意图

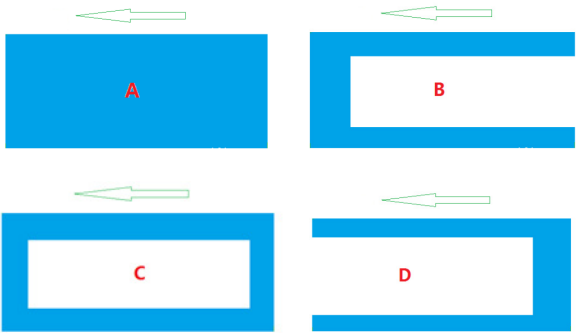


图7. 扫描区域变换图

表1 扫描区域的用途

区域形式	A	B	C	D
作用	换电平台无车辆	车辆驶入换电平台	换电作业	车辆驶出换电平台

2. 安全光幕：

安全光幕由发射端和接收端组成。如果在发射端和接收端之间有物体存在，接收端就接收不到发射端发出的光信号，光幕就会发出报警信号。图5显示激光扫描仪的扫描平面离地高度为700mm，目的是为了能够检测被 RGV 举高的车辆内人员是否有开门下车行为。但是700mm 的高度又没法检测高度低于700mm 的儿童或动物从换电平台的前后两端进入换电区域。因此在换电平台的前后两端增加两个安全光幕 Lin 和 Lout，其长度为500mm。安全光幕选型需具有消隐功能，当传感器的逻辑判断为车辆进出时，短时消隐安全光幕的检测功能，放行车辆^[2]。

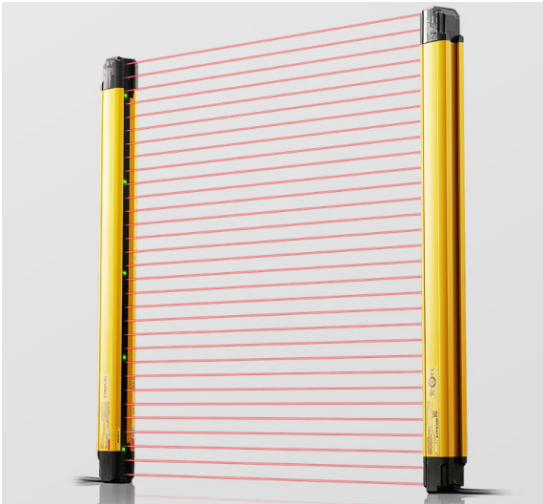


图8. 安全光幕示例

3. 安全门:

换电平台与电池仓之间的安全门 S7, 平时一直关闭, 该安全门有两个目的: 一是保持电池仓内的环境条件恒定; 二是防止人员及动物进入电池仓。只有在换电过程中安全门才被打开, 允许 RGV 进出, 运输电池。

4. 安全光电开关:

安全光电开关 S3/S4 安装在换电平台中部。S1/S2 置于 Lin 的左侧, S5/S6 置于 Lout 的右侧。

参照 IEC 62046, S1 和 S2 的间距不应小于 250mm, 保证这个数值的目的是既能防止人员进入换电区域, 而又能安全放行车辆进入换电区域。由于人的小腿较细, 在人员误闯换电区域时, 间距为 250mm 的 S1 及 S2 或 S5 及 S6 不能被同时阻挡; 而车辆驶入时, S1 及 S2 会同时被阻挡。当 S1 和 S2 按次序被全部阻挡时, 可消隐安全光幕 Lin, 放行车辆。当 S5 和 S6 按次序被全部阻挡时, 而后按次序解除阻挡时, 消隐安全光幕 Lout 恢复检测功能。否则, 光幕一直在执行检测功能, 一旦人员闯入光幕检测区域, 换电系统将报警, 并终止换电工作^[3]。

(四) 安全控制逻辑介绍

表 2 罗列了传感器的不同状态组合所对应的 SC1/SC2 扫描区域, 以及 Lin 和 Lout 的状态。

No. 1 无车辆: 所有传感器均未触发, 这时安全激光扫描仪为扫描区域 A, 换电区域有任何物体被检测到, 换电系统将报警;

No. 2 车辆驶入: 当车辆依次把 S1 和 S2 都遮挡, S1=S2=0, 其他传感器均未触发, 这时 Lin 消隐, 安全激光扫描仪扫描区域 B, 车辆可以驶入安全平台;

No.3 车辆静止: 当 S1 和 S2 依次取消遮挡, S3 和 S4 依次被遮挡, 即 S3=S4=0, 其他传感器均未触发, 证明车辆到达换电位置, Lin 回复检测作用, 安全激光扫描仪为扫描区域 C;

No.4 车辆换电: 换电平台与电池仓之间的安全门打开, S7 和 S8 状态互换, AGV 从电池仓驶出, 从车辆上取下空电池, 送回电池仓; 并从电池仓带来满电池, 装到车辆上;

No.5 车辆驶出: 换电平台与电池仓之间的安全门关闭, S7 和 S8 状态互换, S7 上升沿 \uparrow 及 S8 下降沿 \downarrow 做为 Lout 消隐及安全激光扫描仪切换为扫描区域 D 的条件, 车辆驶出换电平台。

No.1 无车辆: S3、S4、S5 和 S6 依次依次消除遮挡, Lout 恢复检测功能及安全激光扫描仪切换为扫描区域 A。

表 2. 换电安全控制逻辑

No.	阶段	S1	S2	S3	S4	S5	S6	安全门		SC1/ SC2	L _{in}	L _{out}
								S7	S8			
1	无车辆	1	1	1	1	1	1	1	0	A	1	1
2	车辆驶入	0	0	1	1	1	1	1	0	B	0	1
3	车辆静止	1	1	0	0	1	1	1	0	C	1	1
4	车辆换电	1	1	0	0	1	1	0	1	C	1	1
5	车辆驶出	1	1	0	0	1	1	1	0	D	1	0

四、安全电路设计

(一) 安全功能性能等级 (performance level) 的确定

查 ISO 13849-1[6] 附录 A (图 9), 利用 S, F 和 P 三个风险参数 (Risk Parameter) 不同取值, 可以确定每个安全功能的性能等级的要求值如下^[4]:

表 3: 性能级别要求值

	PLr (要求值)
安全激光检测功能	d
安全激光扫描区域切换	d
安全光幕检测功能	d
安全光幕消隐共隐	d

安全性能等级确定过程: 换电区域 RGV 的撞击危险可判为严重伤害, 取 S=2; 在换电过程中, 车上人员不遵守规定下车的情况会存在, 但不普遍, 取 F=1; 一旦发生撞击情况, 人员几乎不可能躲避, 取 P=2。故从 1 点开始沿下图红色线对应的性能等级为 d。

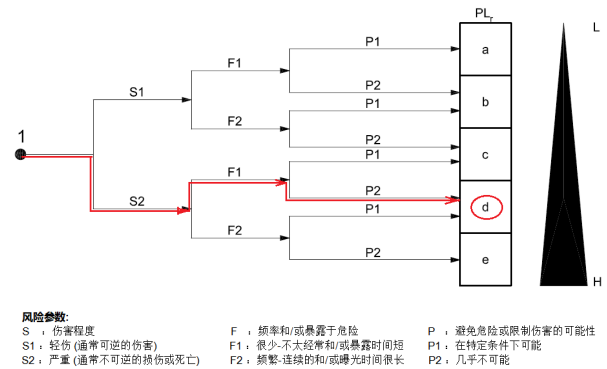


图 9. 安全功能性能等级风险图

(二) 安全电路方块图

图 10 (来自于 ISO 13849-1 图 12) 给出了满足 PLr=d 的几条路径, 我们选择常用的冗余架构设计思路, 设计出图 11 的安全功能方块图。该方块图仅含有信号采集、逻辑判断和执行机构三个模块。四个安全功能均依据 ISO 13849-1 第 6.1.3.2.5 节 3 类架构 (Category 3) 的思路设计^[5]。

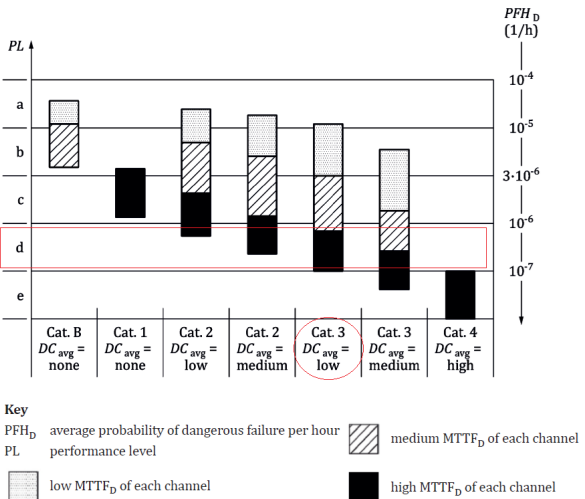


图 10 Categories, DCavg, 通道 MTTFD 与 PL 之间的关系

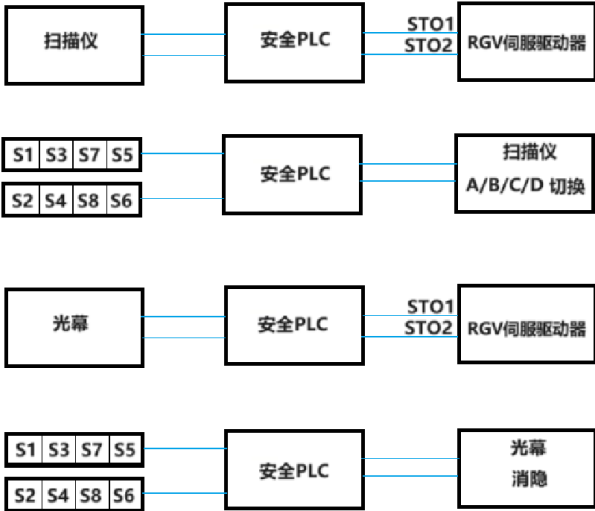


图 11. 安全功能方块图

（三）安全性能的计算

有关安全设备的操作周期做表3假设：

表3 设备操作周期

周期时间（s）	600
每天工作小时数（h）	16
每年工作天数（day）	360
每年操作周期数（nop）	34560

从所用安全器件的规格书中查得其安全参数见表4.

表4 安全设备的清单

安全器件名称	规格	MTTFd	B _{10d}	PL	厂家
安全激光扫描仪	***	/	/	e	***
安全光幕	***	/	/	e	***
安全光电开关	***	1.749E3	/	/	***
安全门开关	***	/	2.0E6	/	***
安全 PLC	***	/	/	e	***
伺服驱动器	***	/	/	e	***

德国社会意外伤害保险职业安全与健康研究所（IFA）于2010年开发了基于 ISO 13849-1性能级别计算软件（Version 2.1.1）。将表4的安全数据输入该软件后的计算结果如图12：

Contained safety functions			
SF Name: 扫描仪安全回路	Required: PLr d	Reached: PL e	PFH [1/h]: 8.79E-8
SF Name: 扫描区域切换回路	Required: PLr d	Reached: PL d	PFH [1/h]: 1.13E-7
SF Name: 光幕安全回路	Required: PLr d	Reached: PL e	PFH [1/h]: 8.79E-8
SF Name: 光幕消隐回路	Required: PLr d	Reached: PL d	PFH [1/h]: 1.13E-7

图 12. 安全回路性能等级计算结果

五、结论

表5. 安全回路性能级别

	PLr（要求值）	PL（计算值）	判断
安全扫描仪检测回路	d	e	合格
扫描区域切换回路	d	d	合格
安全光幕检测回路	d	e	合格
安全光幕消隐回路	d	d	合格

综上所述，图4所示的安全方案，图10所示的安全电路以及表4安全部件的选型满足 ISO 13849-1的要求。

参考文献

[1] 2006/42/EC annex I Essential health and safety requirements relating to the design and construction of machinery.
[2] IEC 62840-2:2019 Electric vehicle battery swap system – Part 2: Safety requirements.
[3] ISO 14119:1998+A1:2007 Safety of machinery — Interlocking devices associated with guards — Principles for design and selection.
[4] IEC 62046:2011 Safety of machinery – Application of protective equipment to detect the presence of persons.
[5] ISO 13849-1:2021 Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design.