

新能源汽车动力电池车间振动分析实例

江海鸿 阮兵 万叶青

中国汽车工业工程有限公司

摘要: 为了解决动力电池生产车间多层厂房的楼面振动问题,以某新能源汽车实际项目为例,根据电池生产车间的工艺条件,基于脉冲理论对生产线机器人工作时的振动特性进行分析,对该工程结构的振动适用性、安全性和舒适性进行了综合评价,由此建立起一套较为完整适用的振动控制设计方法,可供类似工程参考和应用。

关键词: 动力电池车间;楼面振动;冲击作用;振动控制

0 引言

随着新能源汽车技术的快速发展,新能源汽车的产销量不断创历史新高,动力电池需求量随之日益增加,带动了国内动力电池生产厂家不断投入大量资金进行产品研发和扩大生产规模。动力电池生产车间的工程设计要求与燃油车的动力总成车间要求明显不同。

根据生产工艺的需要,电池生产厂房多数是多层框架结构。通常情况,此类厂房的柱距为 12 m,高为 7 m 左右。厂房建筑剖面图如图 1 所示。

1 工艺要求

新能源汽车动力电池主要为锂离子电池,相较于其

他类型的电池,锂离子电池具有电池寿命长、温度适应性强、无记忆效应和能量密度高及自放电率小等特点。单体电池通过堆叠组装成模组,模组再组装成电池包,不同生产对象的工艺要求也会有所不同。现以典型圆柱动力电池模组(图 2)生产工艺为例加以说明,其工艺流程如图 3 所示。

当今的电池包生产线,自动化技术应用得非常多,特别是机器人在生产线中大规模地被使用。当机器人手臂运动时,会产生较大的振动。由机器人引起的振动对厂房的结构安全和车间内的使用环境会造成较大影响。

2 振源特点

在动力电池车间里常用的装配机器人是六自由度机

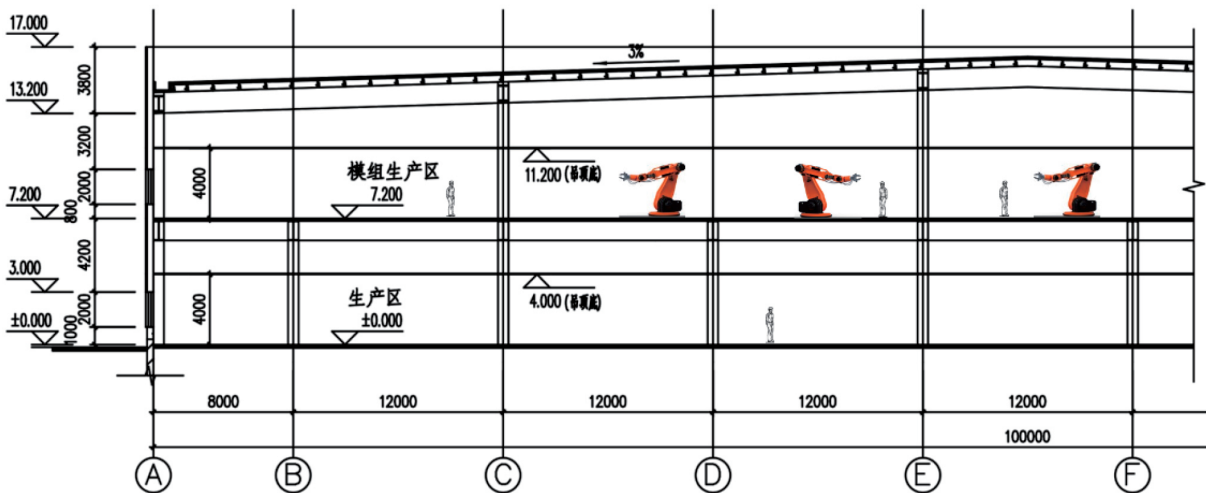


图 1 车间剖面

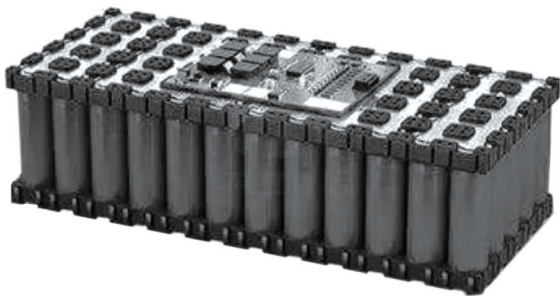


图2 圆柱电池模组

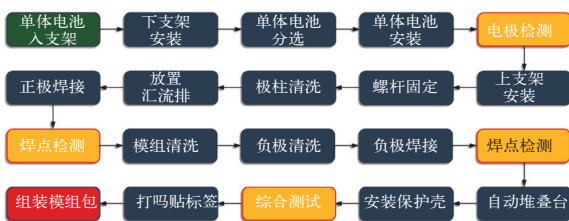


图3 圆柱电池模组生产流程示意

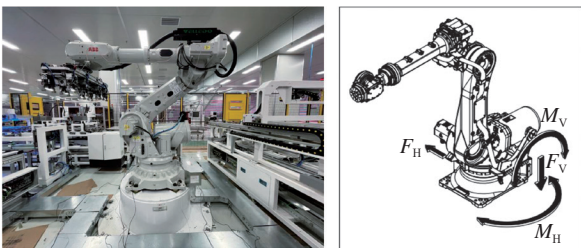


图4 电池包装配机器人

器 人，数量较多。机器人结构形式如图 4 所示。

用户反映，模组装配机器人振动影响最大，表现为激振力连续冲击作用。由于楼面的平面刚度非常大，作用在楼板平面内的激振影响较小。本次分析重点是竖向振动，包括竖向激振力和竖向平面的力矩，并考虑正常运行的工况和异常断电的工况。根据冲击理论，可以用脉冲函数来表示机器人手臂的冲击作用。设定此类冲击作用为正矢脉冲函数，亦即：

$$F(t)=\begin{cases}\frac{F_{\max }}{2}\left(1-\cos \left(\frac{2 \pi t}{t_0}\right)\right) ; & (0 \leq t \leq t_0) \\ 0 & ; \text { (其他) }\end{cases}$$

式中， $F_{\max }$ 为最大激振力； t_0 为激振脉宽。

1) 正常工况：最大激振力为 $F_{z \max }=30 \text{ kN}$ ；最大激振扭矩为 $M_{x \max }=63.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ；脉宽为 $t_0=0.30 \text{ s}$ 。

2) 故障工况：最大激振力为 $F_{z \max }=48.02 \text{ kN}$ ；最大激振扭矩为 $M_{x \max }=100.94 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ；脉宽为 $t_0=0.05 \text{ s}$ 。

冲击作用的振动特性较为复杂，虽然作用时间很短，

激振频率分布较宽，所以冲击作用容易引起楼面结构的共振。冲击作用的分布频率宽度一般为脉宽的倒数，当 $t_0=0.05 \text{ s}$ 时，振动能量分布的频率上限为 $f_c=20 \text{ Hz}$ 。冲击作用时间越短，分布频率越宽。

3 容许振动标准

为了解决动力电池车间的楼面振动问题，需要从如下几个方面入手：

3.1 结构安全性

避免振动过大危害厂房建筑的结构安全或缩短楼面结构的疲劳寿命。参考 GB50190-2020《工业建筑振动控制设计标准》屋盖振动速度的最大值要求为 20 mm/s 。

3.2 结构适用性

为减少结构振动对车间内其他机床的加工精度或精密仪器设备的正常使用，需要限值楼面振动。车间内并无对振动敏感的加工设备，根据 GB50868-2013《建筑工程容许振动标准》，可取振动速度均方根值为 1 mm/s 。

3.3 建筑舒适性

确保车间内操作人员的健康和安全，办公环境的舒适，以免引起工作人员的振动疲劳，相关的参考指标如表所示。

表 建筑振动舒适度指标

序号	建筑功能	加速度 $/(\text{m/s}^2)$	参数	界限	频率 $/\text{Hz}$
1	住宅办公	0.05 ~ 0.07	峰值	舒适度	2 ~ 4
2	公共区域	0.15 ~ 0.22	峰值	舒适度	2 ~ 4
3	工厂公共区	0.315	峰值	舒适度	1 ~ 80
4	设备操作区	0.315	均方根值	疲劳限 8 h 左右	1 ~ 80

4 结构振动分析

根据建筑结构设计给出的结构单元，纵横各为 8 列柱距，钢梁钢柱，楼板为 200 mm 厚度混凝土楼板。激振力作用在中央区域，楼板中心位置，对该结构单元运用 Sap2000 进行建模分析，基本模型如图 5 所示。为了便于比较分析结果，定义振动沿楼板振动传播的方向分别为：沿次梁振动传播的方向 2 和沿主梁振动传播的方向 1。可以按照图 6 表示的箭头分析确定。

根据上述建模方式，考虑冲击振动作用在楼面中心位置，楼板的振动位移响应时程分析结果如图 7 所示。冲击作用下，楼板沿次梁方向的振动位移、速度和加速度响应，其中，振动加速度传播如图 8 所示。

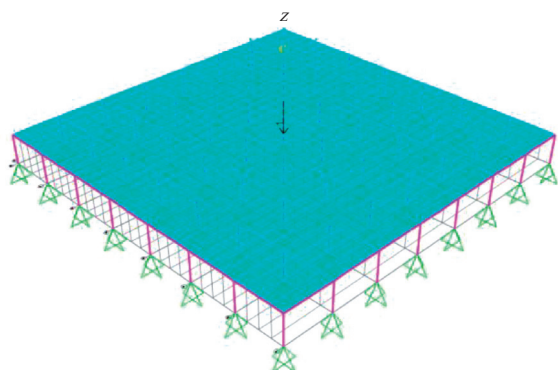


图5 基本模型

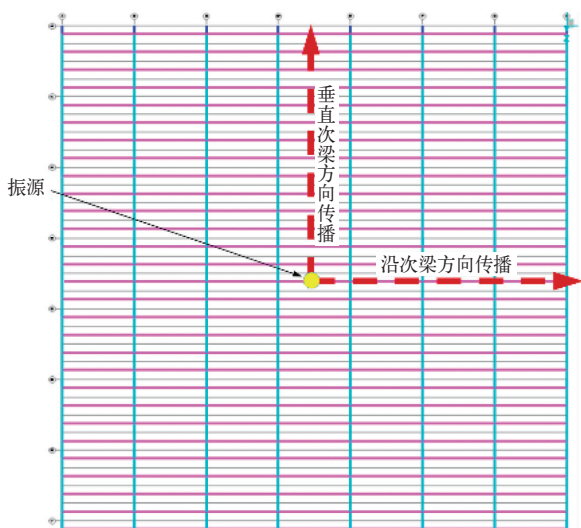


图6 振动传播方向示意

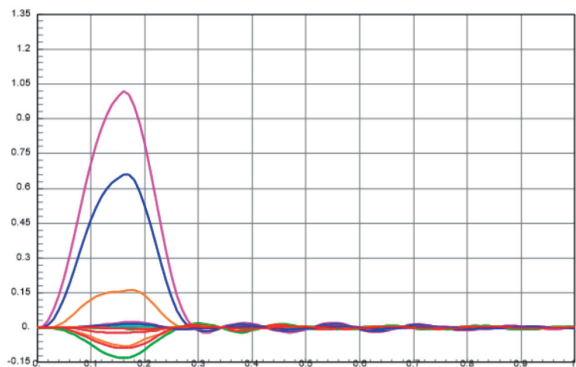


图7 时程分析位移响应

可以看出，楼板振动响应，在振源所在板块，也就是在同一个主梁区格内的振动响应较大。振动沿楼面的振动传播衰减较快，经过第一道主梁后振动迅速衰减。相对而言，沿次梁方向的衰减稍慢一些。

结果表明：按照本项目机器人正常工况的激振条件，振动沿次梁方向传播，振动衰减在相邻楼板达85%以上，到第二区的振动衰减可达95%以上，到第三区格的振

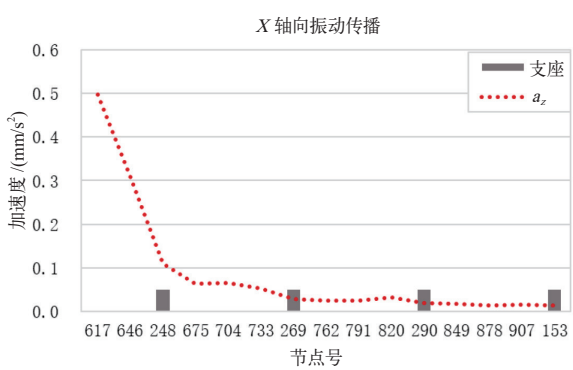


图8 振动加速度传播

动衰减达到99%以上。在本工程项目中，机器人正常工作时产生的振动，在楼层内沿着楼板向外传播时，振动能量消耗较大，经过两跨的传播，振动影响可以忽略，关键是要控制振源处的振动效应，如图9所示。

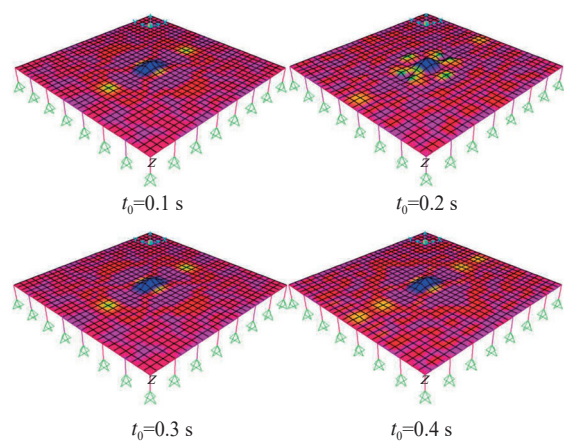


图9 不同脉宽楼板振动

5 结论

新能源汽车动力电池生产车间的生产线上有许多机器人。机器人工作时，会产生较大的振动。振动强度最大的是模组装配机器人，其振动特性表现为一定时间间隔的冲击作用。

本文以竖向振动分析了机器人工作对楼板的激振。设定冲击作用为正矢脉冲。激振作用点位于板跨中央位置，计算结果见表2。从建筑结构的安全性、适用性和舒适性方面分别进行评估，可以看出基本满足使用要求。

需要注意的是，当车间内有振敏设备，或对振动有较高要求时，就需要认真做好振动控制。可采取的措施包括增加楼板厚度、增加梁截面高度及减小柱距等，更有效的措施是采用浮置楼板或隔振基础等被动隔振方案。

(下转第29页)

现象，加工效率及质量都得到了有效保证。

3.3 采用专用冲头加工

现阶段纵梁上最常见的长圆孔规格为 $\phi 60\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ ，经过计算，若采用直接冲裁的方式，为保证孔位的正常冲裁，冲孔主机的吨位要求将大大提高，而且直接加工长圆孔，则至少需占用模座中的两个模位，大孔主机可加工的其他孔径规格将减少一个，整个主机的地基强度需增强，下料通道需增宽，需解决一系列的问题方可实现。

为了降低冲裁力并减少冲裁的次数，减少对模位的占用数量，通过不断比对及试验，我们将长圆孔的加工方式改为分步冲孔，先加工中间的矩形，然后加工两侧的圆形。在设计模具各种规格的位置时，考虑到设备的送进方向及冲孔顺序，将矩形模位放在了 $\phi 60\text{ mm}$ 大孔模位的前面，以保证先加工矩形再加工圆孔。在冲孔程序生成过程中，需解决冲孔位置如何识别问题，通过对矩形孔及圆孔中心做好标记，实现特定的加工顺序及

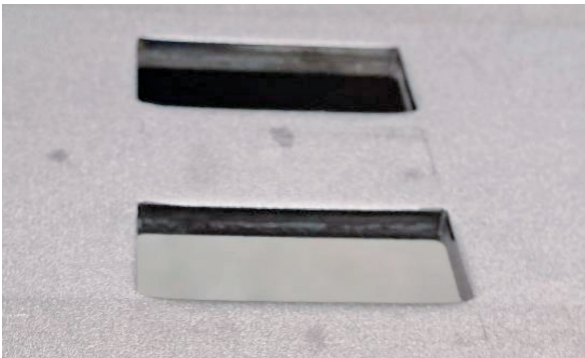


图4 矩形冲头冲孔后效果示意



图5 矩形冲头冲孔后效果示意

内容。加工后长圆孔基本无接茬，加工精度、加工质量都得到了保证，具体如图4、图5所示。

4 总结

纵梁是车架的关键零件，随着数控技术的不断提升以及产品更新换代需求，纵梁成形、制孔设备和加工工艺都得到了很大的提升，通过不断进行工艺革新、设备改进，加工效率与加工质量越来越高，纵梁加工工艺也将会越来越成熟。

参考文献

[1] 乔战林. 汽车U型纵梁三面数控冲孔生产工艺. 科技情报开发与经济, 2011, 21: P221 ~ 222

[2] 迟志波. 汽车纵梁数控冲孔设备在汽车行业的应用. 数控机床市场, 2010, 2: P24 ~ 28

(上接第13页)

表2 楼面振动响应评估结果汇总

位置	代号	单位	数值	界限属性	限值	评估
机器人底座	$u_{\max}$	mm	1.020	适用性	30	满足
机器人底座	$v_{\max}$	mm/s	12.13	安全性	20.00	满足
设备操作区	a_{rms}	mm/s^2	0.0716	舒适性	0.100	满足
车间公共区	$a_{\max}$	mm/s^2	0.1215	舒适度	0.315	满足
其他加工区	v_{rms}	mm/s	0.4619	适用性	0.5 (V级)	满足

参考文献

[1] GB 50868-2013. 建筑工程容许振动标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013

[2] GB/T 51228-2017. 建筑振动荷载标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018

[3] GB 50190-2020. 工业建筑振动控制设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020

[4] 万叶青, 徐建, 杨俭, 等. 冲击式机器有阻尼隔振基础设计方法的研究, 工业建筑杂志(下册)[J]. 2019-05-17: P1673-1676.

[5] 万叶青, 杨俭. 工程振动多振源叠加分析. 工程建设与设计[J]. 2014(12): P31 ~ 33.

[6] 栗海合, 杨平, 万叶青, 等. 涂装车间楼面振动分析实例[J]; 桂林理工大学学报, 2012, 32(03): P73 ~ 76.