

# 铝合金A型车底架加工标准化工艺设计

鲍洪阳 李保国 王 隽 刘明雪 刘 勇

(中车长春轨道客车股份有限公司工程技术部, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 铝合金A型车体是目前我国城市轨道交通车辆中应用最为广泛的典型车体, 其底架承担着吊装部件、传递动力等作用, 技术要求高, 加工制造困难。为此, 通过剖析底架加工技术要求, 设计工艺方法、规划加工工序, 展现底架加工从无到有的详细制造过程。其中, 平面公差分配方法、测量补偿工艺、多工序钻孔循环等加工工艺能为同类产品的制造提供有效借鉴, 是底架加工标准化作业施工的典范。

**关键词** A型车; 底架; 加工工艺; 标准化工艺

**中图分类号** U270.6<sup>+</sup>4; U270.32

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.04.024

## Standardized Design of Underframe Processing for Type-A Aluminum Alloy City Railway Vehicle

BAO Hongyang, LI Baoguo, WANG Jun, LIU Mingxue, LIU Yong

**Abstract** The type-A aluminum alloy city railway car-body is the most typical vehicle structure widely used in city railway vehicle market. Its underframe bears the functions of hoisting components, transmission power and so on, featuring high technical requirements, difficult processing and manufacturing. Through an analysis of the technical requirements for the underframe processing, the design process method and the planning processing procedure, the detailed manufacturing process of the underframe processing is fully displayed. Its plane tolerance distribution method, the measurement compensation technology, the multi-process drilling cycle and so on can provide reference for the manufacture of same products, and serve as the standardized operation of the underframe processing.

**Key words** type-A vehicle; underframe; processing technology; standardized process

**Author's address** CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

底架是铝合金A型车体结构中的主要核心部件, 由地板、边梁、牵引梁、枕梁、端梁等部件组对焊接而成, 制造工艺极其复杂。底架是车辆其他部件

和设备的安装基础, 如吊装各类电器设备和布线, 连接枕梁与转向架, 传递动力, 连接车钩缓冲装置等。车辆各关键部件的装配接口均是在底架组焊合成后整体加工而成, 因此, 如何保证各种接口尺寸以满足技术要求是底架加工工艺的难点所在, 如何规范底架加工标准化作业是解决生产瓶颈和提高产能的关键所在。

## 1 技术要求

### 1.1 牵枕部位加工技术要求

A型车体的底架共有两组牵枕部位, 分别位于车体的两端, 如图1所示。图1中1.1代表空气簧安装平面, 1.2代表枕梁下平面, 1.3代表牵引梁下平面, 1.4代表转向架定位销安装孔, 1.5代表测量块, 1.6代表扭杆座安装平面。牵枕部位的加工技术通用要求为:

- 1) 空气簧安装面1.1与扭杆座安装平面1.6等高(高度差0.3 mm以内), 机加深度最大2 mm;
- 2) 空气簧安装面1.1与枕梁下平面1.2高度差 $\leq 0.5$  mm;
- 3) 枕梁下平面1.2区域开 $16 \times \Phi 28$  mm圆孔;
- 4) 扭杆座安装平面1.6与牵引梁下平面1.3在底架组装完成后加工, 平面度为0.5 mm; 加工后平面距空气簧安装面为 $2_{-0.5}^{+1.0}$  mm; 牵引梁下平面1.3区域开 $8 \times \Phi 18$  mm圆孔, 扭杆座安装平面1.6区域开 $80 \times \Phi 10.5$  mm圆孔;
- 5) 底架共有4个空气簧安装面1.3, 要求其中任意两个高度差 $\leq 2$  mm; 同一枕梁空气簧安装面距测量块1.5的高度差 $\leq 0.5$  mm;
- 6) 转向架定位销安装孔1.4直径为200~250 mm, 精度要求为H8。

### 1.2 底架边梁部位加工技术要求

底架边梁部位开有通孔, 如图2所示。开孔分为两种, 一种为 $\Phi 17.5$  mm圆孔, 主要用于螺栓链

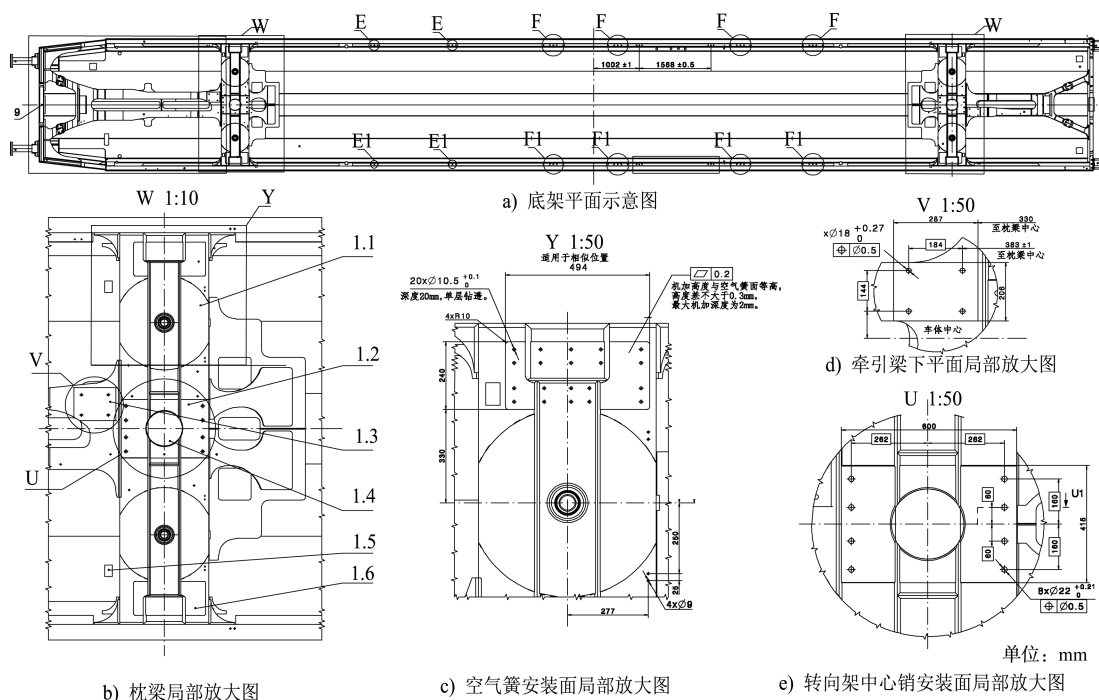


图1 牵枕部位加工示意图

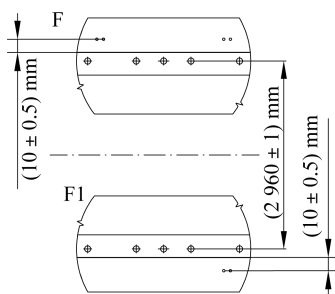


图2 边梁部位加工示意图

接,两侧对称开孔,需要保证孔间距公差为 $(2690 \pm 1)$  mm;另一种为 $\Phi 9.4$  mm丝套安装孔,需要保证孔中心距边梁单侧间距公差为 $(2690 \pm 1)$  mm。

### 1.3 端梁部位加工技术要求

端梁部位开 $10 \times \Phi 15.1$  mm圆孔,如图3所示。要求开孔宽度中心以底架中心为准,高度基准以端梁下边缘为准。

## 2 工艺方法

### 2.1 平面加工工艺分析与工艺设计

由图1可见,空气簧安装面1.1、枕梁下平面1.2、牵引梁下平面1.3、测量块1.5、扭杆座安装平面1.6共计5组部位均涉及平面加工要求,平面度要求均为0.5 mm。根据计算可知,面1.1、面1.2、面1.5、面1.6的最大加工深度均为2 mm,面1.3高于面1.1等各平面1.5~3 mm。由于空气簧位于车体下方的4

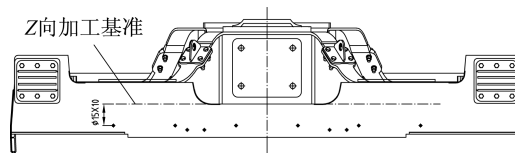


图3 端梁部位加工示意图

个支点处,长度间距为15 700 mm,宽度间距为1500 mm,加工要求为任意两个高度差为2 mm,且底架组焊时要使用空气簧平面辅助定位,因此,面1.1调整到枕梁组焊后、底架组焊前进行加工,从枕梁上表面进行加工,平面边缘最大深度处为 $2^{+0.1}_{-0.1}$  mm,加工刀具可采用 $\Phi 50 \sim 100$  mm的45°平面铣刀,编程方法可采用I、J、K圆弧插补或Pocket 3钻孔循环,注意采用螺旋进刀。

### 2.2 底架定位压紧与加工程序零点设计

图4为底架加工主要工装夹具示意图。图中4.1代表压板,4.2代表螺杆,4.3代表螺旋千斤顶,4.4代表支撑座。该夹具的每组压紧机构的宽度设为100 mm,共设6组,沿车体长度方向分别布置于两个枕梁两侧各一组,车体中间两组,其尺寸分布表如表1所示。底架工装夹具的要求如下:

1) 底架中心 $Y_0$ 位置中心线与数控机床X轴平行度为0.5 mm/m,全长22mm控制在1mm以内以内。

2) 同一枕梁上的两个空气簧高度差在1.5 mm

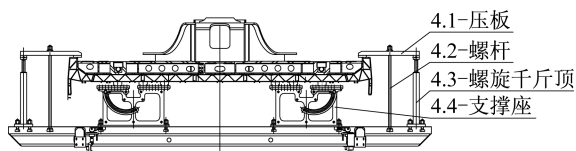


图4 底架加工夹具示意图

以内,且单个空气簧平面度为0.5 mm。

表1 底架加工夹具尺寸分布表

横梁组编号	1	2	3	4	5	6
距二位端/mm	1 000	4 500	8 600	13 200	17 300	20 800

加工程序零点要求如下:零点共设5组,所有 $Y_0$ 均相同,位于底架中心; $X_0$ 分别位于两个枕中,底架长度中心、底架两端外平面; $Z$ 分别位于枕梁空气簧上平面、底架边梁上平面、端梁上平面,可使用机床顶尖巡边输入,也可以采用雷尼绍三坐标测量系统基于机床坐标自动测量后获取。

### 2.3 测量补偿工艺设计

1) 自动获取坐标原点(如使用顶尖巡边,此步骤可以省略)。参见图5、图6,图5中“圆点”代表沿 $Z$ 向测量,“箭头”代表沿 $X$ 向或 $Y$ 向测量。先测量 $Z$

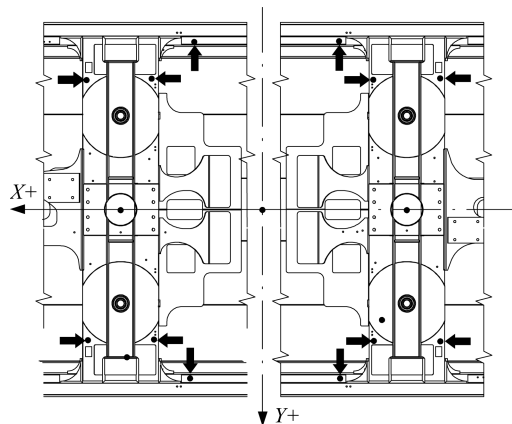


图5 加工程序零点测量点示意图

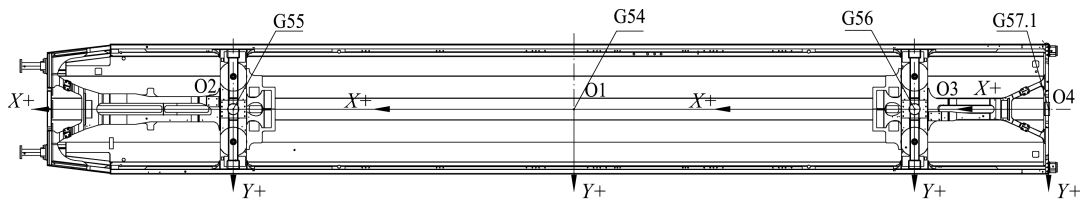


图6 加工程序零点分布示意图

2) 空气簧平面测量。每个空气簧平面测量3个点,计算4个平面的平均值 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ ,则枕梁下平面1.2和牵引梁下平面1.3的加工基准为 $(K_1+K_2)/2$ 或 $(K_3+K_4)/2$ ,扭杆座安装平面1.6加工基准则分别为 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ 。

3) 底架半宽测量。测量位置为距离枕梁中心-200 mm附近,测量时记录实际 $\Delta Y$ 偏差。

### 2.4 底架加工工序设计

1) 底架边梁 $\Phi 17.5$  mm圆孔加工。此孔为通孔(8 mm厚铝板单层钻透),主要用于大部件吊装,采用 $\Phi 17.5$  mm钻头按程序CYCLE81固定循环加工,S3000、F1500,注意 $Y$ 向加工基准为车体宽度中心,孔中心距车体中心为理论尺寸,不考虑焊接变形、底架宽度收缩对孔位置的影响。

2) 底架边梁 $\Phi 9.4$  mm圆孔加工。因此孔为丝

向,从实际 $Z$ 点位置向下5~8 mm测量 $X$ 值和 $Y$ 值,每组枕梁测量4个点,取中值作为枕梁中心G55、G56的 $X$ 值和 $Z$ 值;两个枕梁中心位置求和除以2作为G54的 $X$ 值;G54的 $X$ 值减底架长度的1/2即为G57.1的 $X$ 值;反之相加即为G57.2的 $X$ 值。通过测量底架边梁的 $Y$ 向得到加工原点 $Y_0$ 。通过G55或G56的 $Z$ 值加上空气簧距底架边梁上平面的理论值得到G54的 $Z$ 值;通过测量端梁上平面 $Z$ 向位置得到G57.1的 $Z$ 值。

套安装孔,若直径加工过大会影响丝套安装强度,故采用 $\Phi 9.3$  mm钻头按程序CYCLE81固定循环加工,S2000、F300,注意 $Y$ 向加工基准为底架边梁内侧,必须考虑底架宽度变形, $Y$ 向实际位置尺寸为理论尺寸加上实际 $\Delta Y$ 偏差。

3) 枕梁下平面1.2的加工。加工基准为单侧枕梁两个空气簧平面的中间值,在高度方向分两次粗、精加工完成平面铣削,采用 $\Phi 40$  mm镶焊式端铣刀往复铣削,S8000、F1500—2000。

4) 牵引梁下平面1.4的加工。加工基准为枕梁下平面1.2的加工基准上移2 mm,高度方向分两次加工,采用 $\Phi 20$  mm端铣刀按程序POCKET3固定循环加工,S8000、F1200—1500,注意使用螺旋下刀切入。

5) 扭杆座安装平面1.6的加工。加工基准分别

为与其最近的4个空气簧平面 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 、 $K_4$ ,加工方式同4),加工后使用平尺和塞尺检测,与空气簧高度差为0.3 mm。

6) 转向架安装孔1.4加工。采用粗加工结合镗削工艺,45°坡口,采用成型刀按圆孔加工,通过控制加工深度来控制钝边余量。

7) 16× $\Phi$  28 mm 圆孔加工。采用 $\Phi$  25 mm 端铣刀按程序POCKET4固定循环加工,S8000、F1200—1500,分4次加工,孔透后侧向精铣0.5 mm。

8) 8× $\Phi$  18 mm 圆孔加工。采用 $\Phi$  18 mm 钻头按程序CYCLE81固定循环加工,S3000、F1500。

9) 80× $\Phi$  10.5 mm 圆孔加工。由于扭杆座安装需要配钻扩孔,所以此孔按直径9.3 mm加工,编程时可根据孔的位置关系使用镜像编程方法,加工方式同2)。

10) 端梁10× $\Phi$  15.1 mm 圆孔加工。旋转数控机床主轴和加工坐标系,使加工刀具垂直于端梁平面,加工坐标系Z正向指向主轴和刀具,按3+2定轴加工的方式完成端梁钻孔,加工方式同(2)。

### 3 工艺流程

空气簧安装平面在枕梁合成后,底架组焊前空气簧部位已加工完成,不再赘述。以下为底架加工工序主要工艺流程。

#### 3.1 装夹找正

利用机床顶尖巡边,分别找到一、二位端枕梁中心并划线 $L_1$ 、 $L_2$ ,使用螺旋侧顶校正底架与数控机床X轴平行,保证 $L_1$ 、 $L_2$ 与机床坐标偏差在0.5 mm以内,利用夹具对底架进行装夹固定(见图4)。复检同一枕梁两个空气簧高度差,确保在1.5 mm以内,如超出此范围,则需在底架边梁处使用螺旋千斤顶辅助调整平面高度。

#### 3.2 确定加工原点

利用雷尼绍测量系统编程或采用手动巡边方式输入加工坐标原点。若为头车,只需确定G57.1,若为中间车,则需同时确定G57.1和G57.2。

#### 3.3 调用数控程序加工

1) 确定原点G55、G56。测量空气簧平面,自动计算每个空气簧3个点的最大差值及平均值、同一枕梁两个空气簧的高度平均值,并存入备用地址中。

2) 确定原点G54。测量底架边梁偏差,每组丝套孔位置测量一个Z向偏差值和一个Y向偏差值。

3) 确定原点G54。加工 $\Phi$  17.5 mm 通孔,每组偏移一个位置,并设置一个“dir”作为方向参数。如加工Y+方向底架边梁,则dir=1,反之加工Y-方向底架边梁,则dir=-1。程序代码示例如下:

```
TRANS X=(xxx) y=0
MCALL CYCLE81(RTP,RFP,SDIS,DP,DPR)
g0 X=xxx Y=dir*(xxx) f1500;1
g0 X=xxx Y=dir*(xxx) f1500;2
.....
```

4) 确定原点G54。加工底架边梁 $\Phi$ 9.3 mm 圆孔,注意Y向补偿。程序代码示例如下:

```
TRANS X=(xxx) y=dir*(xxx/2)+DJ_1[2];
MCALL CYCLE81.....
```

其中:

DJ\_1[2]——测量数据 $\Delta Y$ 的存储地址。

5) 确定原点G55、G56。加工枕梁下平面,第一刀加工前在坐标偏置中,手动将Z向提升1.5 mm,加工后测量余量,手动偏置,使平面加工到位。

6) 确定原点G55、G56。加工牵引梁下平面和扭杆座安装平面,分两刀加工,步骤与枕梁下平面加工方法相同。扭杆座安装平面检测方法为:使用平尺紧靠空气簧安全平面并延伸到扭杆座安装平面区域,使用塞尺测量平尺与空气簧安装平面的间隙,或使用平尺靠紧扭杆座安装平面,测量其与空气簧安装面的间隙,保证高度差在0.3 mm以内。

7) 确定原点G55、G56。铣削16× $\Phi$  28 mm 圆孔,刀具为 $\Phi$ 25 mm 铣刀,孔透后提高转速精铣,操作时注意转速变化。

8) 确定原点G55、G56。钻削8× $\Phi$  18 mm、80× $\Phi$  10.5 mm 圆孔,注意刀具分别为 $\Phi$  18 mm 钻头和 $\Phi$  9.3 mm 钻头。每个扭杆座上的20个孔为一组,编写一组后进行镜像编程,孔位置尺寸均复制第一组,镜像程序代码示例如下:

```
TRANS X=(xxx) y=0
MIRRO Y=0;
MCALL CYCLE81.....
```

说明:后续代码与3)相同。

### 4 结语

本文着重从A型车的典型底架技术要求进行分析,重点介绍了保证底架加工工艺方法的工程实践和施工工艺,全面展现了底架加工从无到有的详细制造过程,其平面公差分配方法、测量补偿工艺、



大数量钻孔循环等可为同类产品的制造提供有效借鉴。另外,A型车底架延伸结构要求枕梁空气簧安装平面最大去除深度为5 mm,扭杆座等平面可不加工,故为最大程度地保证空气簧安装面不受底架组焊变形的影响,可在枕梁组焊完成之后加工2 mm,底架合成后再在剩余的3 mm内完成空气簧安装平面的最后加工。

### 参考文献

- [1] 若松义人. 精益改善力[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 姚瑞敏. 铝合金高速加工的研究[J]. 山西冶金, 2009(6): 56.
- [3] 郭力, 刘建宁. 高速加工机床及关键技术的新进展[J]. 新技术新工艺, 2011(3): 3.
- [4] 袁国伟. 高速加工切削用量选择分析[J]. 现代制造技术与装备, 2014(3): 52.
- [5] 鲁祥. 动车组铝合金车体加工自动编程和仿真系统研究[J]. 机械制造, 2013(8): 57.
- [6] 张烘州, 戎斌, 陈洁, 等. 航空铝合金整体结构件数控加工变形控制现状分析[J]. 航空制造技术, 2012(12): 58.

(收稿日期: 2019-08-19)

(上接第80页)

### 3 结语

理论计算结果与仿真分析结果的对比可知, 在车辆隔热壁 $K$ 值计算中, 对于型材结构中密封的空气层, 因结构两侧空气的对流温差小, 无传热

和自然对流传热, 故计算中可看作纯导热; 对于多层复合结构隔热壁, 当其空气层的厚度大于一定比例时(本案例大于20 mm), 按照传统热学公式的理论算法和无自然对流计算的 $K$ 值结果偏差较大, 需要在分析计算中利用 Polynomial Denisity 或 Boussinesq Model 来模拟自然对流对结构隔热性能的影响。

表1 对应不同厚度空气层的计算结果

空气层 厚度/mm	理论 $K$ 值/ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	无自然对流 $K$ 值/ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	多项式计算 $K$ 值/ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	Boussinesq 模型 $K$ 值/ (W/(m <sup>2</sup> ·K))
10	0.388	0.409	0.410	0.410
20	0.338	0.352	0.353	0.353
50	0.243	0.252	0.353	0.352
100	0.166	0.168	0.327	0.327
200	0.101	0.099	0.310	0.312
500	0.047	0.043	0.311	0.313

### 参考文献

- [1] 徐宁. 热工学基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁路客车隔热性能试验方法: TB/T 1674—1993[S]. [2018-05-23]. <http://www.biaozhuns.com/archives/20150926/show-138026-112-1.html>.
- [3] 中华人民共和国铁道部. 客车空调设计参数: TB/T 1951—1987[S]. [2018-08-15]. <http://www.pv265.com/hangye/tb/27291.html>.

(收稿日期: 2019-08-23)

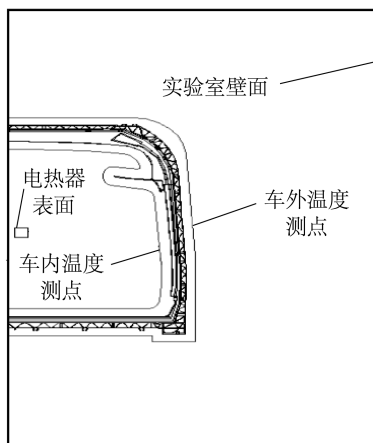


图2 被试车断面示意图

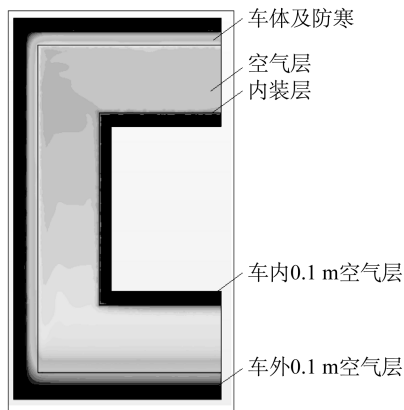


图3 被试车计算模型示意图