土耳其地铁构架加工工艺优化

■ 中车株洲电力机车有限公司技师协会 （湖南 412001） 刘 荣 张 辉

摘要：本文主要针对土耳其地铁构架结构复杂、加工工艺要求高等难点，提出了土耳其构架整体加工方案，并通过对实际的构架进行加工验证、优化工艺、选择合理的刀具及切削参数，来保证构架的质量和生产效率。

中车株洲电力机车有限公司作为电力机车及地铁的制造企业，土耳其地铁是我国轻轨首次登陆欧洲市场，设计上采用了更适合最小转弯半径为30m的铰接式轻轨列车。因土耳其地铁的结构小巧，作为走行部分的转向架结构与A型和B型地铁有很大不同，其构架结构更复杂。所以，作为转向架重要组成部分的构架质量的好坏，将直接影响转向架的行车安全，甚至影响整个地铁车辆的行驶安全，为此，在构架的加工过程中必须采取相应合理的工艺措施，保证构架的加工质量。

1. 土耳其地铁构架介绍

土耳其地铁构架（见图1）属于日字形结构，其由两根侧梁、一根横梁及两根端梁组成。左右侧梁中心距1 880mm，侧梁长2 970mm。由于整个构架结构小巧且附件很多，导致构架在加工时的定位夹紧点比较难找。中间横梁是由两根横向管构成，其组成包括横向止挡、齿轮箱支座、电动机悬挂座、防脱落板和磁轨制动器。侧梁主要由空气簧导筒、空气簧座板、排石器座板和一系簧座板（内、外）组成。上述位置都需要进行重点加工，且加工难度大。端梁结构比较简单，只有制动器支座，虽然制动器支座孔不加工，但是由于制动器支座很重要，所以X、Y、Z向的基准都是以它确定的。

2. 土耳其地铁构架工艺难点分析

（1）土耳其整个构架的梁体以及梁体的板厚，都比较单薄，构架在装夹中容易产生变形。

（2）一系簧座板孔精度为$\phi130^{+0.208}_{+0.145}$mm，深度为$37^{+0.5}_{0}$mm。精度要求比较高，孔底底平面有大于5mm的余量要加工，而且是盲孔，不可以直接进行粗镗孔加工，孔底部要进行倒圆角过渡。

（3）构架侧梁两侧共有4个60mm的U形槽防落装置，由于外配件预留余量过大，而且拐角处是R10mm圆弧拐角，一般的高速钢刀具加工效率不高。

3. 选择工艺方案

通过仔细分析土耳其构架整体加工图样发现构架正面和反面都需要加工，构架反面需要加工一系簧座板（内、外）、磁轨制动器面、排石器座板上孔、齿轮箱支座以及防脱落板，而构架正面只需要加工空气簧座板、电动机悬挂座。我们现有机床设备不能在机床上一次加工成形，

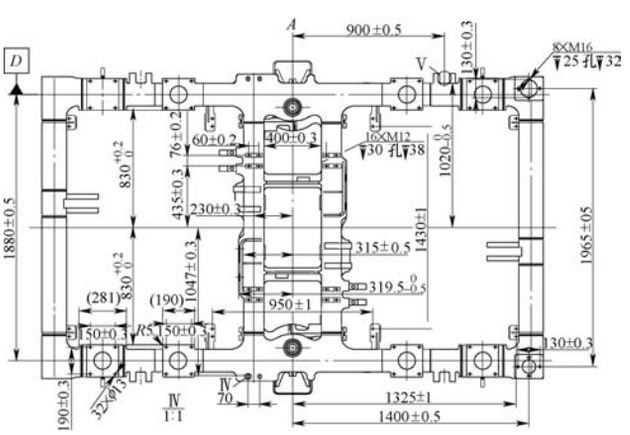

图1 土耳其地铁构架

构架需要进行一次翻边才能加工完成。因为构架反面加工部位较多，且定位、夹紧比较容易，所以决定先加工构架反面，然后再以已加工的一系簧座板（内）平面定位夹紧构架，来加工构架正面。这样做可以使构架因为两次装夹产生的误差减小到最小，以满足图样的设计要求。

4. 解决土耳其地铁构架整体加工中的难点

（1）构架的装夹。因为土耳其构架设计比较单薄，包括侧梁、端梁体乃至整个构架，经过压板装夹后都容易产生变形，关键的加工位置大部分都分布在侧梁体上，而且加工余量都很大，在加工中刀具产生的切削抗力也会比较大，所以我们在综合考虑加工中的干涉后，压装时采用6个压紧点压紧，分别将压板压在侧梁4个60mm防落座内侧位置，以及两前后端梁中间位置（见图2）。

将构架校平校直后，为了防止压紧时整体构架产生压装变形，关键的是构架辅助支撑的位置安放。除了在压板的下方放置外，构架两对角的扫石器下方也分别要打上辅助支撑。用手稍稍带紧各压紧点后，用烟斗扳手先预紧一遍，确定支撑都紧实后，再做最后的夹紧，以在夹紧时确保构架不产生变形。

（2）一系簧座板孔的加工。在构架加工的过程中发现，由于焊接时的变形，导致一系簧座板孔偏心严重，而图样要求一系簧座板孔的精度为$\phi130^{+0.208}_{+0.145}$mm，深度为$37^{+0.5}_{0}$mm（见图3）。

图2 构架的装夹方法

因为孔径精度要求比较高，经过分析决定先用ϕ50mm玉米铣刀，采用螺旋铣铣孔底面至$37^{+0.5}_{0}$mm、孔底直径为100mm，转速n=300～400r/min、进给速度v_f=300～400mm/min；然后Z方向抬高5mm，为倒圆角留出加工余量，再粗铣一系簧座板（内、外）孔至ϕ129.4mm，转速n=400～500r/min、进给速度v_f=300～400mm/min；再使用ϕ32mm的R5mm的圆角刀进行孔底倒圆角；最后采用ϕ130mm精镗刀精镗孔至$\phi130^{+0.208}_{+0.145}$mm，转速$n$=150～200r/min、进给速度$v_f$=30mm/min。这样的顺序安排可以保证精镗刀刀尖不易损坏，只有在精镗刀刀尖不损坏和磨损的情况下，才能使8个一系簧座板（内、外）孔的尺寸均达到图样的设计要求。空气簧孔的加工过程以及加工中所使用的部分刀具如图4所示。

一系簧座板（内、外）孔螺旋铣削加工程序如下：

主程序

O0001

G54G90G17；（建立平面坐标系）

#2214=198.5；（刀具长度值）

#2215=50/2-0.3；（刀具半径补偿值）

G43G90G00Z300H14；（建立刀具长度补偿）

G52X[1350/2]Y-940；（坐标平移）

M03S500；（主轴正转）

G90G0X0Y0；（快速定位到偏移坐标原点）

G00Z-25.25；（刀具快速点定位至子程序Z向起始点）

M98P0002；（调用子程序O0002）

G52X[-1350/2]Y-940；（坐标平移）

M98P0002；（调用子程序O0002）

…

子程序

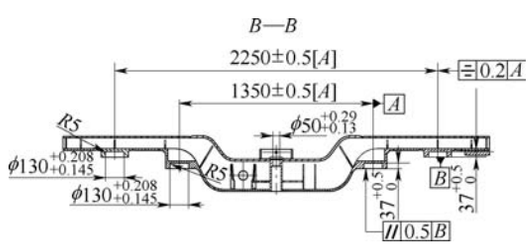

图3 一系簧座板孔

（a）ϕ50mm玉米铣刀粗铣一系簧座板

（b）ϕ130mm精镗刀

图4 一系簧座板孔的加工

O0002

G54G90G17；

G01G91X25F100；（直线插补至螺旋铣削*XY*起始点）

#1=1；（变量赋初值）

WHILE[#1LE12]DO1；（循环判断语句）

G91G03X0Y0Z-1I-25F450；（螺旋铣削）

#1=#1+1；（变量递增值）

END1；（循环结束）

C03X0Y0I-25；（圆弧插补铣平圆底平面）

G90G01X36F100；（直线插补准备扩铣底圆）

G03I-36F200；

（铣底圆至122mm）

G91G01Z5；［Z向抬高5mm（为圆角*R*5mm预留余量）］

G90G01G41X[130/2]YOD15F100；（建立半径补偿）

G03I-[130/2]F400；（粗铣圆至129.4mm）

G90G00G40X0Y0；（取消半径补偿）

G52XOYO；（取消坐标平移）

G90G00Z200；（返回到安全平面）

M99；（子程序调用结束）

（3）防落座60mm U形槽的加工工艺优化。在土耳其地铁整体构架加工中，由于焊接放量比较大，造成加工余量很大，在加工侧梁四周的U形槽防落座板的时候，如果按照一般的加工方法直接进行轮廓铣削加工，加工效率很低，刀具损坏现象严重。因为加工中不可避免地会遇到拐角区域的加工，如果在拐角处采用直线轨迹进刀时，由于刀具加工到圆弧拐角处时，刀具与工件切入角增大，铣刀的切削弧长发生了突变，而每齿平均铣削力与切削弧长相关，因此，平均铣削力在拐角处也发生了突变。使刀具的负荷猛然增加，超过了刀具的承受强度，造成立铣刀频繁折断。

造成立铣刀折断的主要原因是拐角加工时的负荷急剧增加。如果拐角的加工余量小，刀具加工到拐角的时候，立铣刀所受的负荷就会大大减小。那么，在加工防落座U形槽拐角的时候，最主要的是先对其拐角处的余量进行加工，在圆弧拐角处采用ϕ20mm钻铣刀（见图5）将圆弧插铣到*R*10mm尺寸。钻铣刀加工过程中，刀具沿主轴轴线方向做进给运动，利用刀具底部的切削刃进行钻、铣组合切削，因此对拐角加工具有重要意义，从根本上解决拐角加工难题。再利用强度高的整体硬质合金立铣刀，进行剩余部分的直线铣削，来完成防落座U形槽内腔的最后成型铣削。加工效果对比如图6 、图7所示。

5. 结语

通过对土耳其地铁动车构架的工艺分析，通过一系列的改进措施，以及在一些难加工位置的清晰解剖，确定合适的走刀路线，采用合适的加工工艺方案，从而保证了土耳其地铁构架加工的效率与质量。土耳其的空气簧孔的加工方法，为后续的安卡拉构架以及安邦线构架，提供了很好的借鉴作用，为这些类似的大盲孔加工打下了坚实的基础。内腔拐角的加工、立铣刀的合理利用，都大大提高了生产效率。

图5 ϕ20mm钻铣刀

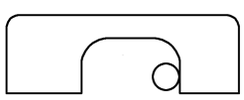

图6 直接加工拐角圆弧抗力增大

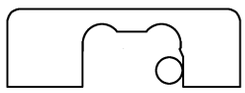

图7 钻铣刀插铣拐角圆弧后再进行直线铣削

参考文献：

[1] 杨黎明. 机床夹具设计手册[M]. 北京：国防工业出版社，1996.

[2] 刘文剑. 夹具工程师手册[M]. 哈尔滨：黑龙江科学技术出版社，1992.

[3] 周泽华. 金属切削原理[M]. 上海：上海科学技术出版社，1993.

MW（收稿日期：20160301）

欢迎关注“机工刀具世界”

“机工刀具世界”是金属加工杂志社旗下的微信订阅号（账号：mw1950ct），定位于指导制造企业一线技术员工如何合理选择和使用数控刀具，介绍数控刀具使用技巧。关注数控刀具行业进展，为广大制造企业推荐先进、实用数控刀具产品。