

# 水轮发电机磁轭键加工工艺研究

闫征

哈尔滨电机厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150040

**[摘要]**文中结合大型水轮发电机磁轭键加工工艺过程, 详细的分析此类宽度和厚度尺寸较小而长度尺寸较大的工件的加工难点, 并提出切实可行的工艺方案, 如合理的选择加工设备、优化加工工艺流程、使用适宜的加工刀具和工具等, 以此保证其加工质量。为工艺技术人员制定此类工件加工技术方案时提供一定的参考和借鉴。

**[关键词]**磁轭键; 变形; 工艺措施

DOI: 10.33142/ec.v5i4.5866

中图分类号: TH162

文献标识码: A

## Study on Machining Technology of Hydro Generator Yoke Key

YAN Zheng

Harbin Electric Machinery Company Limited, Harbin, Heilongjiang, 150040, China

**Abstract:** Combined with the machining process of large hydro generator yoke key, this paper analyzes the machining difficulties of such workpieces with small width and thickness and large length in detail, and puts forward practical process schemes, such as reasonable selection of machining equipment, optimization of machining process, use of appropriate machining tools and tools, so as to ensure their machining quality, and provide a certain reference for the process technicians to formulate the processing scheme of this kind of workpiece.

**Keywords:** yoke key; deformation; technological measures

### 引言

磁轭键是水轮发电机转子系统中非常关键的部件, 其对磁轭的紧度和圆度起着至关重要的作用。如果在加工制造或运输过程中出现较大变形, 会直接导致磁轭热打键时紧量不足或打键后磁轭圆度超差, 从而导致机组运行时磁轭残余变形大或定转子气隙不均匀的现象发生。因此通过采取合理的加工工艺保证其加工质量对机组运行的稳定性具有十分重要的意义。

### 1 磁轭键的结构特点和加工难点

磁轭键结构示意图如图 1 所示

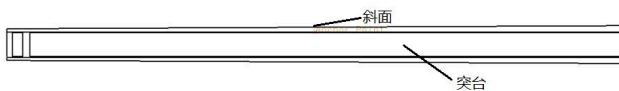


图 1 磁轭键结构示意图

磁轭键是一种宽度和厚度尺寸较小, 而长度尺寸很大的工件, 在以往生产的各类型机组中, 这种工件的长度最大可达 4000mm, 宽度一般在 100mm 左右, 台阶部位最厚的尺寸一般也不会超过 100mm, 而去掉台阶最薄处的厚度一般仅仅只有 20mm-30mm, 这使得其无论是在加工制造还是在吊装运输时均极易变形。同时其还具有严格的形位公差要求, 加工时上、下两面的平行度一般不超过 0.15mm, 直线度一般不超过 0.5mm, 平面度一般不超过 0.1mm, 这样的形位公差要求在抽水蓄能机组中更为严格。磁轭键上述的结构特点和公差要求给其加工和吊装运输均带来了

极大的挑战, 如果没有合理的工艺措施, 很难保证其制造和安装的精度。

### 2 加工工艺措施

基于上述磁轭键的结构特点和加工难点, 为了保证其加工质量, 减小工件变形, 有针对性的采取了如下工艺措施。

#### 2.1 机床的选择

机床是保证加工质量的先决条件, 其选择的合理性直接影响着制造工艺的合理性和先进性。磁轭键常使用龙门刨床或龙门铣床进行加工。传统使用龙门刨床加工时, 由于刨床的切削线速度较低, 因此为了在一定程度上提高加工效率, 加工时每刀常使用较大的切削深度, 进而产生了较大的切削力, 这就使得工件在加工后具有较大的内应力, 经常在内应力释放后出现严重的变形。鉴于刨床在加工中存在的上述问题, 现多使用龙门铣床进行加工, 使用这种设备的关键是其能保证加工时具有较高的转速, 为高速、轻快切削刀具的使用提供了保障, 从而减小由于切削力过大而引起的工件变形。下述工艺过程均以龙门铣床为依据进行安排。

#### 2.2 加工工艺过程的安排

由于磁轭键宽度和厚度尺寸较小, 而长度尺寸过大, 因此加工时至少分成粗铣和精铣两步进行。粗铣时金属去除率较高, 工件的热变形和切削应力较大, 因此粗铣后不宜直接进行精铣, 而是将工件吊离机床放置一段时间, 待应力消除后检查应力引起的变形情况, 根据变形情况重新

找正、装卡再进行精铣。这样在精铣时较小的切削余量的情况下，再配备合适的切削刀具和切削参数，能最大限度的减小工件的变形<sup>[1]</sup>。

### 2.3 加工刀具的选择

为了保证强度，磁轭键的材质多为锻钢，这种材质切削性能相对较好，但受到其结构特点的限制，加工时刀具和切削参数的选择至关重要。为了提高生产效率，节约生产成本，加工时使用可转位硬质合金刀具<sup>[2]</sup>。

#### 2.3.1 粗加工刀具的选择

在粗加工时为了得到较高金属去除率，最大程度上提高生产效率，加工刀具需要有较高的强度，原则上多选择大刃尖圆弧、小前角、小刃倾角或负刃倾角的刀具，这样可以保证在较大切深、高进给的情况下，刀具切削刃依然具有较高的耐用度。依据上述原则，同时综合考虑刀具的成本（尽可能采用标准系列的刀具），磁轭键粗加工刀具选择如下：

磁轭键平面的粗加工可以使用面铣刀盘，刀盘的直径可根据所要加工平面的宽度进行选择，一般加工此类工件使用 $\Phi 80\text{mm}$ 或 $\Phi 100\text{mm}$ 标准系列刀盘即可；为了防止切削力过大而引起工件变形，刀尖圆弧不宜过大，半径 $0.8\text{mm}$ 或 $1.2\text{mm}$ 即可；刀具前角不宜过小， $6^\circ$ 左右即可；为了减小切屑厚度而使切削更加轻快，刀具主偏角宜采用 $60^\circ$ 或 $75^\circ$ ，这样可使得切削深度和进给率两项切削参数匹配更为合理，使刀具具有较为综合的切削性能；同时刀具宜采用梳齿结构，这样可以有效的减小切削力，防止工件变形。

磁轭键台阶的粗加工可使用方肩立铣刀或玉米铣刀，具体使用哪种类型的刀具和刀具直径的选择应根据机床的刚性进行选择，在机床刚性较好的情况下首选玉米铣刀，因为这种刀具的加工效率较高，但是切削抗力与方肩立铣刀相比较，刀具的其他各项参数按粗加工整体原则选择即可。

#### 2.3.2 精加工刀具的选择

在精加工时工件加工余量较小，因此精加工不是为了得到高的金属去除率，而是为了保证尺寸和表面光洁度。原则上选用大前角、正刃倾角、小刃尖圆弧的刀具，这样的刀具具有锋利切削刃，可以使切削过程更加轻快。依据上述原则，磁轭键精加工刀具选择如下：

磁轭键平面的精加工推荐使用快进给铣刀（如图2所示），这种铣刀具有极小的主偏角，切削时薄切屑效应极为明显，一方面可以有效的减小切削抗力过大而引起的工件变形，一方面可以通过大的进给率弥补切削深度不足的劣势，同时此种刀具还具有一定的修光功能，可以有效地提高工件的表面质量，符合现在先进的切削理念，是目前市场上应用非常广泛的切削刀具。

磁轭键台阶的精加工宜使用方肩立铣刀，这种刀具的

主偏角为 $90^\circ$ ，可以保证台阶加工尺寸的精准性，刀具前角选择 $15^\circ$ 左右即可，过大会降低刀具强度；刀尖圆弧半径 $0.4\text{mm}$ 即可，再小会影响工件表面光洁度。



图2 快进给铣刀

#### 2.3.3 斜面加工刀具的选择

斜面的加工有两种加工方法，传统的加工方法是制作专用的加工胎具，胎具的表面加工成与工件最终要求相同的斜度，之后将工件装卡在胎具上，使工件的上表面出现出相同的斜度，之后使用常规的面铣刀或立铣刀将斜面加工成平面即可，这种加工方法的优点是可以有效的减少加工刀具的种类，但是缺点是需要制作专用的胎具，适合批量生产，如果是小量生产，加工成本较高，同时这种加工方法不能有效地利用机床的数控功能；第二种加工方法是利用机床的数控功能，使用具有坡走能力的面铣刀或立铣刀，不需要专用的加工胎具，在工件装卡牢固后，直接将切削表面加工成斜面，此种加工方法是现在较为常用的加工技术，可以有效地利用机床的数控功能，符合现代先进的加工理念。斜面加工其他方面的工艺安排及刀具参的选择与平面和台阶相同。

### 2.4 防变形工艺措施

磁轭键的结构特点使得其在加工制造和吊装运输过程中均容易出现变形，因此采取合理的防变形工艺措施尤为必要。

#### 2.4.1 加工过程中防变形工艺措施

在加工时，除了上述加工工艺过程安排、机床选择、加工刀具的选择等对工件变形有影响外，工件的装卡方式也会对其变形情况有较大影响。磁轭键在加工时使用需使用一个平面形的铣胎，铣胎在长度和宽度方向的尺寸均需大于磁轭键的相关尺寸，加工前将磁轭键槽调整后点焊到铣胎上，之后使用压板等工具将铣胎压紧到机床台面上再进行加工。这种装卡方式与传统的直接使用压板等工具将工件直接装卡到机床台面上相比具有如下三点优势，首先此种装卡方式可以最大限度地保证工件的卡紧质量，可以有效地防止工件在受力时窜动而影响加工精度；其次这种装卡方式可以最大限度地保证工件与铣胎的接触面积，

使得工件在加工时不出现局部悬空的情况,这样就可以有效地防止加工震动和工件受力变形等问题;最后这种装卡方式可以实现一次装卡后加工多个位置,而不像传统的装卡方式那样需要频繁地更换压板的位置,可以有效地减少重复找正积累误差对加工精度的影响,也可以在一定程度上减少找正和装卡时间,提高工作效率。

#### 2.4.2 吊装运输过程防变形工艺措施

工件加工前,在其端头位置加工一螺纹孔,孔的尺寸需根据工件的重量进行选择,用以在加工转运和工地安装时竖直起吊时使用,采用这种起吊方式可有效防止工件变形。

### 3 结语

通过本文所述的工艺措施,顺利的解决了多个大型电

站磁轭键加工难题,保证了工件的加工质量并极大限度的减小了工件变形,为机组稳定运行提供了可靠的保障。本文所述的工艺方法和加工刀具对生产与磁轭键类似的类宽度和厚度尺寸较小而长度尺寸较大的工件均有一定的参考意义,具有很强的推广价值。

#### [参考文献]

[1]孟大伟,胡志强.电机制造工艺学[D].北京:机械工业出版社,2011.

[2]张炳岭.金属材料及加工工艺[D].北京:机械工业出版社,2009.

作者简介:闫征(1984.10-)男,毕业院校:哈尔滨理工大学;现就职单位:哈尔滨电机厂有限责任公司。