移动式镗床在大型钢结构加工中的应用分析

傅鹏

（上海振华重工（集团）股份有限公司长兴分公司　上海　201913）

摘要：重型机械钢结构制造中，由于构件的超大尺寸、极高的转运成本、机械工业产品种类多样化、制造批量小等因素，使得移动式加工设备在大型钢结构制造中占有相当大的比重，并且其加工工艺和参数的选择复杂，加工过程中的影响因素多样。本文根据大型钢结构实际生产加工特点，以移动式镗床为例，分析如何获得更加合理的切削用量及其他加工参数，为保证加工质量、提升加工效率、降低机床故障率提供后备技术支持。

关键词：镗床；钢结构；背吃刀量；缺陷修复

0　引言

切削加工是制造业中的基础手段之一，具备应用范围广、适用产品种类多、制造精度高、可靠性好的特点。在大型钢结构制造行业，产品关键节点的位置、尺寸主要依赖构件整体加工，对于加工设备的灵活性有较高要求，移动式镗床可以很好地满足这类需求。

1　镗床的选择和加工参数

1.1　镗床的选择

大型钢结构制造中的切削加工过程主要有高空、狭小空间、大切削量、加工余量非对称、镗杆长度超长等特点，根据加工的位置、构件的尺寸、加工要求、制作效率等因素，需要选择不同的移动式镗床，有时需要配以不同的辅助工装，如镗杆定位码板、加长镗杆、平面进刀刀架、工作平台等。最为常用移动式镗床有两种：三轴简易镗床（图 1）和便携式镗床（图 2）。

1.2　加工参数

切削用量的合理选择在任何机械加工中都是重中之重，切削加工工艺参数较多且相互影响，如果参数选择不当，不仅可能使产品报废，而且会对刀具、钻杆和机床系统造成严重损害，甚至会造成安全事故。根据不同加工工况，使用匹配的机床设备，选择合理刀具和最优切削参数，是提高工作效率、确保产品质量、降低生产成本的主要手段。切削参数的选择受到镗床基本

图 1　三轴简易镗床

图 2　便携式镗床

46-92 机械工业应用 第01期 1月上 总585期.indd 67　2023/2/14 16:16:19

特性、刀具特性、最大允许切削力、切削功率、主轴转速、进给量、背吃刀量、构件材料性质等因素的限制[1]。在满足约束条件的情况下，切削参数推荐值会依据加工方式不同，参数的主次性有所差别。

以常用的 JD501 型号三轴简易镗床为例，主要加工参数有电动机功率、主轴转速、镗杆进给量和背吃刀量等。主电动机为双功率电动机，分为高、低功率，通过控制面板按钮选择功率档位。主轴转速由低到高分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三档，镗杆进给量由低到高分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三档，背吃刀量通过调整刀具位置来控制。本文以此型号镗床为例，对加工参数的选择方法进行分析。

2　加工参数的计算方法

2.1　背吃刀量的计算

JD501 型号镗床主电动机功率（双速 3.3/4kW，最大切削力 8000N）。

背吃刀量计算公式：

$$a_p = \frac{3P_E \cdot \eta}{\pi \cdot r \cdot K_c \cdot v_{进给}} \times 10^7$$

式中：a_p －背吃刀量（mm）；

r －加工半径（mm）；

K_c －单位切削力（N/mm^2）；

$v_{进给}$－镗杆进给量（mm/min）；

P_E －电动机功率（kW）；

η －传递效率[2]。

钢结构常钢 K_c=1962N/mm^2，由于 JD501 为在使用中需要辅助码板、镗杆等工装，对其传递效率影响较大，选择 η=75%。将变量数据代入公式，可以得到 JD501 型号镗床不同变速档位下加工不同半径轴孔的最大背吃刀量。

当电动机没有达到满负荷状态，而实际机床切削力已经达到最大切削力限制时，计算公式为：

$$a_p = \frac{F_{c\max}}{K_c \cdot f}$$

式中：F_{cmax}=8000N；

f －镗杆单圈进给量。

将电动机功率和最大切削力限制下的最大背吃刀量曲线进行对照（图 3），其中存在交叉点，即为两种限制的转换点，参数选择时应特别注意。

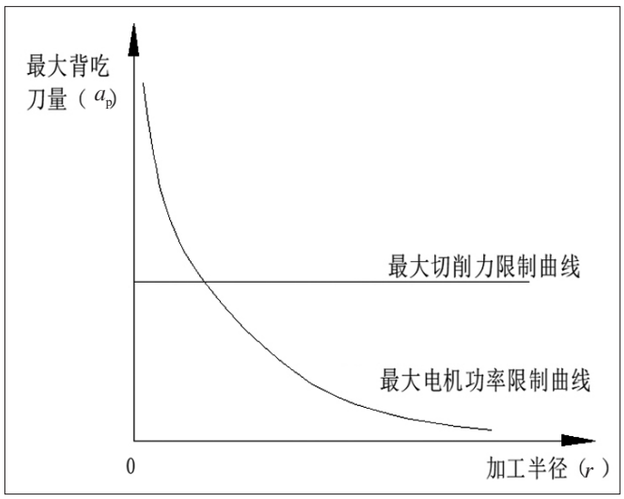

图 3　最大背吃刀量的两种计算曲线

2.2　镗床加工参数

通过计算可以把实际加工过程中用到的主要参数制作成如表 1 所示的参数表。

表 1 中深色部分为满足主轴电动机最大功率与机床最大切削力的最大背吃刀量。浅色部分为最大切削力限制下的最大背吃刀量。分析表格数据可以看到，在主轴转速较低时，限制镗床加工能力的是机床自身强度，而主轴转速较高时，限制镗床加工能力的是电动机功率。

当加工半径超过 150mm 时，其背吃刀量可通过公式 a_p=150 · a_{p150}/r 计算，其中 a_{p150} 为当加工半径为 140 ～ 150mm 时不同状态下对应的背吃刀量。

3　加工参数的选择

3.1　实际施工中的影响因素

背吃刀量在实际工程中的选择较为灵活，在粗镗阶段，为提高生产效率，应尽可能使背吃刀量等于工件的加工余量，一次走刀即可完成加工。但应注意，虽然表 1 中最大背吃刀量可以达到 28mm，但前提必须是机床在低转速、小半径的加工工况下运行，为避免施工人员为追求效率盲目施工，或未全面考虑施工全过程中的工况变化，因此在实际操作中，最大背吃刀量不宜超过 15mm。在满足电动机功率、机床切削能力的基础上，选择适当的档位以实现加工效率的提高。而在精镗阶段，为保持设备稳定，提高加工面粗糙度及尺寸精度，背吃刀量一般不大于 2mm，镗杆进给量也选择较低挡位，通过较大的转速来弥补效率损失。

46-92 机械工业应用 第01期 1月上 总585期.indd 68　　2023/2/14 16:16:20

表 1　镗床加工参数表

电机功率	主轴转速 /（r/min）	镗杆进给量 /（mm/min）	加工半径 /mm				
			100 ~ 110	110 ~ 120	120 ~ 130	130 ~ 140	140 ~ 150
			背吃刀量 /mm				
高功率	27.638（Ⅰ）	3.9（Ⅰ）	28.90	28.90	28.81	26.76	24.97
		6.98（Ⅱ）	16.15	16.15	16.10	14.95	13.95
		10.96（Ⅲ）	10.28	10.28	10.25	9.52	8.89
	75.016（Ⅱ）	10.56（Ⅰ）	12.58	11.53	10.64	9.88	9.22
		18.96（Ⅱ）	7.00	6.42	5.93	5.50	5.14
		29.8（Ⅲ）	4.46	4.09	3.77	3.50	3.27
	101.338（Ⅲ）	14.28（Ⅰ）	9.30	8.53	7.87	7.31	6.82
		25.6（Ⅱ）	5.19	4.76	4.39	4.08	3.80
		40.28（Ⅲ）	3.30	3.02	2.79	2.59	2.42
低功率	13.819（Ⅰ）	1.95（Ⅰ）	28.90	28.90	28.90	28.90	28.90
		3.49（Ⅱ）	16.15	16.15	16.15	16.15	16.15
		10（Ⅲ）	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63
	50.669（Ⅱ）	7.14（Ⅰ）	15.35	14.07	12.98	12.06	11.25
		12.8（Ⅱ）	8.56	7.85	7.24	6.73	6.28
		20.14（Ⅲ）	5.44	4.99	4.60	4.27	3.99
	37.508（Ⅲ）	5.28（Ⅰ）	20.75	19.02	17.56	16.30	15.22
		9.48（Ⅱ）	11.56	10.59	9.78	9.08	8.48
		14.9（Ⅲ）	7.35	6.74	6.22	5.78	5.39

此外，切削能耗与刀具磨损量、刀具前角、刀具斜角角度和工件几何参数等也存在对应关系。在大型钢结构制造现状下，对于刀具角度及材质的选择不宜有太多变化，此处不再讨论。

3.2　镗床参数选择案例

镗床加工时根据需加工构件预先查询图纸中的孔径大小和公差要求，确认构件状态满足加工要求，并根据机加工位置的高度，选择对应规格的加工平台、加长镗杆、刀架、刀具，架好镗床设备[3]。

在轴孔镗孔工作状态下，一般使用高电动机功率、主轴转速Ⅲ档，镗杆进给量常用档位为Ⅰ档，当加工余量较小（小于等于 10mm），背吃刀量较小时，镗杆进给量可以增大到Ⅱ档或Ⅲ档。例如，JD501 镗床加工岸桥梯形架上部滑轮轴孔，图纸半径为 R150mm，加长镗棒（图 4）长约 6m。推荐的参数选择为：高电动机功率、主轴转速Ⅲ档、镗杆进给量Ⅰ档。从表 1 查得其最大背吃刀量为 6.82mm。

在节点板侧面加工平面工作状态下，电动机功率选择高功率，主轴转速根据不同加工直径选择不同档位，作业平面越大，主轴转速越低，一般常用的主轴转速为Ⅱ档。此时镗杆进给量手柄挂空档，无轴向进给。径向进给依靠平面进刀刀架（图 5）实现，根据现场使用的工装规格测算出单圈径向进给量为 0.24mm/（r/min）（近似于附表中进给量Ⅱ档）。

例如，使用 JD501 镗床对直径 400mm 平面进行加工时，推荐的参数选择为：高电动机功率、主轴转速Ⅱ档、镗杆进给量空档。加工半径超过表 1 范围，表 1 中该配置下加工半径为 140 ~ 150mm 时对应的最大背吃刀量为 5.14mm，通过公式 $a_p=150\cdot a_{p150}/r$ 计算，该工况最大背吃刀量为 3.85mm。

46-92 机械工业应用 第01期 1月上 总585期.indd 69　2023/2/14 16:16:20

图 4　不同规格的加长镗棒

图 5　平面进刀刀架

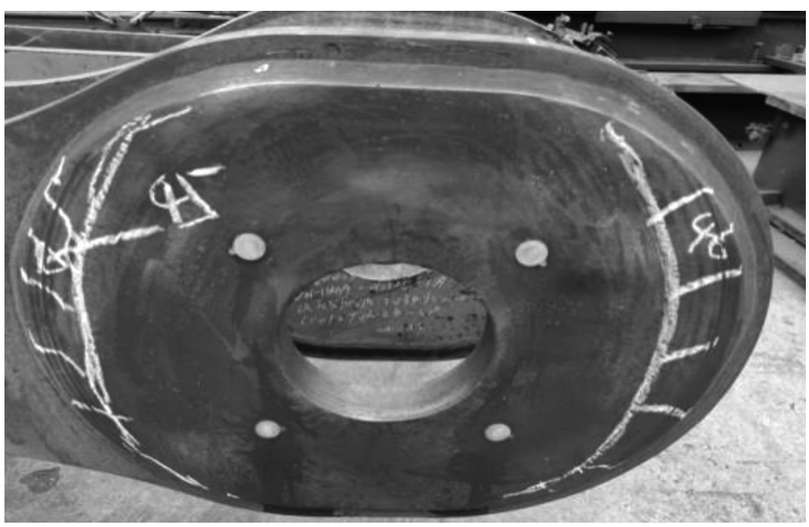

图 6　重磅板平面边缘加工失稳

4　工程中镗床失稳案例及结构修复方法

4.1　典型的镗床失稳案例

工程中采用了不合理的加工参数，往往会损伤构件、刀具、机床，甚至造成安全事故。而大型钢结构制造当中的镗孔环节，所涉及的很多都是关键节点位置，且构件整体已经成型，加工质量事故造成的损失可能是巨大的。因此，除了在加工前必要的参数设计外，加工损伤的修复也尤为重要。以下是两种比较典型的镗床失稳案例。

镗床加工平面时，边缘不完整加工行程容易造成刀具振动，若不及时降低转速，过大的加工半径及刀具振动复合作用下，平面边缘刀痕严重，且相对于平面中心，边缘部分形成下陷（图 6）。

过大的背吃刀量，超过镗床电动机载荷，长期在超载状态下运行的机床会出现突然停机，电动机快速制动，在机床惯性作用下刀具轨迹发生偏移，使得被加工构件产生过度切削损伤，工程中称为“栽刀”（图 7）。

4.2　结构修复方案

当出现上述加工缺陷时，首先要对缺陷可能造成的结构强度、孔轴配合关系、装配难度、产品外观等影响进行充分评估，确需要进行修复的加工面通常考虑两种修复方法：一是对加工面整体采用焊接方式重新生成余量，整体重新加工；二是对缺陷位置局部采用冷焊接点状补焊并抛光成型。

采用整体焊接方式重新生成余量时，需注意原孔加工面继续加工扩孔单边 5mm 以上，避免焊后再次加工时加工面与焊接融合层重叠，焊接方式宜采用对风力不敏感的手工电弧焊方式。重新加工时，加工到孔单边留有 0.5 ～ 1mm 余量时必须停止加工，对加工面进行目测或反差法磁粉探伤检验，如

（下转第75页）

46-92 机械工业应用 第01期 1月上 总585期.indd 70　　2023/2/14 16:16:20

船舱位置动态检测系统以及卸船策略规划等，对智能化卸船作业的生产调度管理、扫描识别、决策分析及执行等系统做到科学设计，合理利用，提高卸船机的作业效率。

参考文献：

[1] 刘盈．桥式抓斗卸船机自动控制系统研究 [D]. 杭州：浙江大学，2008.

[2] 许映明，孔利明，李斌，等．一种港口货轮卸船机的自动防撞系统及方法 :CN 200810201654.5[P].2010-06-09.

[3] 尚领军，樊军，王超．全自动卸船机的控制模式 [J]. 科技信息（科学教研），2008(10):27+70.

[4] 超声波卸船机防碰撞系统在湛江发电厂的成功应用 [Z]. http://www.ca800.com/apply/d_1nrutga2l0klu_1.html.

[5] 严律明，胡光跃，徐静，等．卸船机的自动作业和抓斗摆动控制 [J]. 制冷空调与电力机械，2007,28(06):102-104.

（上接第70页）

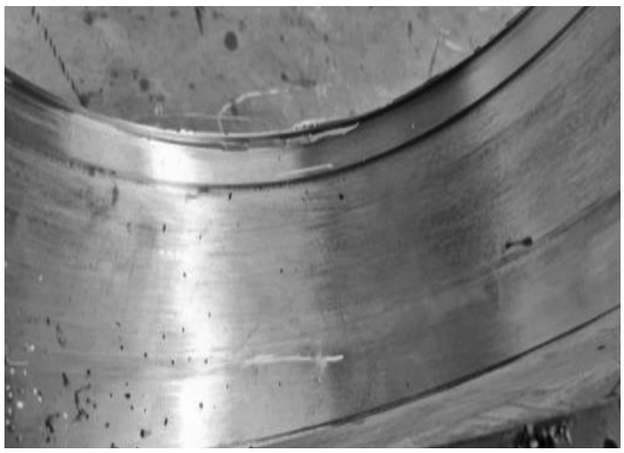

图 7　轴孔内部过度切削

图 8　修复后的镗孔加工面

果出现夹渣、气孔等缺陷，需在最后精刀前进行打磨修补处理。修复后的轴孔平面如图 8 所示。

采用冷焊接方式配合局部抛光可以对局部缺陷位置进行修复，工程中常用氩弧焊，当缺陷面积较小时，这种修复方式较为经济，并且冷焊接对构件整体尺寸精度及材料性能影响相对比较小，是一种可靠的结构修复方法。

值得注意的是，结构修复对材料性能是有影响的，尤其是焊接过程中的热输入及杂质引入等，因此修复的成功率必须要有保障，对焊工、打磨工的技能要求较高，应尽量避免重复返修。

5　结语

本文分析了移动式镗床在大型钢结构加工中的关键影响因素，阐述了加工参数的设计原理，并对常见结构加工状态下的设备档位、配套镗杆、刀架、最大背吃刀量的选择进行了分析，总结了常见加工失稳案例及修复方法，对提高钢结构加工效率、降低加工设备故障率有一定的借鉴作用。

参考文献：

[1] 北京第一通用机械厂．机械工人切削手册 [M]. 北京：机械工业出版社，1994:606-627.

[2] 王先逵．机械加工工艺手册：第 2 版 [M]. 北京：机械工业出版社，2006:44-47.

[3] 北京有色冶金设计研究总院．机械设计手册：第 1 卷 [M]. 北京：化学工业出版社，2002:348.

46-92 机械工业应用 第01期 1月上 总585期.indd 75　2023/2/14 16:16:20