

建筑结构钢管曲面成形工艺的研究与应用

■ 姜殿忠, 操文胜, 张发荣, 何志涛, 程登, 金欣, 王笛

摘要: 随着社会审美观的不断改变与完善, 建筑物造型越来越多地走进人们普通生活的视野, 成为人们生活中一道亮丽的风景线。但在造型背后却涉及到曲面成形复杂工艺、弯曲精度、成形控制方法等诸多难点。主要以工程构件实物加工为例系统剖析建筑钢结构中钢管曲面成形过程中存在的问题及曲面钢管弯制方法及选用原则, 为类似工程的加工制作起到了引领及借鉴意义。

关键词: 曲面钢管; 弯制方法; 成形工艺

近年来, 随着国内建筑钢结构制造技术的迅猛发展, 并伴随钢结构施工周期短、使用寿命长等优点, 在诸多大型体育场馆、

火车站、机场航站楼等钢结构建筑方面得到了很好的应用(见图1)。尤其是在形态及结构造型等方面具有艺术形态感的钢结构

工程中, 曲面成形钢管构件的大量使用成了工程中使用的亮点。此外, 钢管结构的曲面成形工艺的复杂化程度、弯曲精度、成形



图 3

构的改进以提高其强度和刚性; 通过对齿形、齿向的修形, 三维建模时使得渐开线齿面形成鼓形齿, 可任意调整一对齿轮的接触印痕和接触面积, 以提高其接触精度; 通过齿根、齿顶圆角的过渡, 以减少齿轮根切导致齿根部位强度不足, 以减少齿根、齿顶尖角的热处理应力, 综合提高齿轮的强度, 避免齿轮断齿; 通过对齿轮参数的修正、调整, 以减小一对齿轮啮合传动时的单齿跳动和一周跳动, 来增加齿轮副的传动平稳性; 通过改进模具的加工工艺和方法, 提高锻模的精

度和表面粗糙度, 以最终提高所加工齿轮的精度和齿面表面粗糙度, 减少齿轮啮合传动时的疲劳磨损; 通过对齿轮锻后机加工前的抛丸, 使工件表面材料发生弹塑性变形, 延伸及材料表层, 在表层下产生压应力, 从而抵消锻造时不良的拉应力; 通过对齿轮热处理后抛丸, 将表层部分残留奥氏体转化为马氏体, 可增加材料的硬度, 形成压应力, 该残余压应力延缓了疲劳断裂的形成, 从而延长齿轮的安全使用寿命。

通过上述一系列措施的逐步

实施, 使得齿轮寿命不断得到提高, 但比工业发达国家, 我们还相差甚远。尽管国内齿轮行业近年来得到飞跃发展, 在世界上已成为名符其实的第二大齿轮国, 但其总体水平仅相当于发达国家20世纪90年代中后期, 与我国的世界第二大经济体的地位极不相称, 齿轮及齿轮的可靠性研究, 已成为我国高端制造的瓶颈。虽然齿轮的可靠性研究是一个复杂的课题, 是一个漫长的过程, 但只要咱们潜心研究, 瞄准“提质减重、延寿降噪”的目标, 扑下身子实践, 就一定能做到“传动造福人类, 齿轮传动世界”。

作者简介: 孟江涛, 洛阳华冠齿轮股份有限公司。

MW 20170628

方法选择及曲面—相贯型管件成形等成为工厂制作技术中的重要技术难题。

一、曲面成形工艺方法

目前,工厂常用的弯制成形工艺方法有热弯和冷弯两类。其中,热弯成形方法主要有:火工煺弯、中频感应及高频感应弯制;冷弯成形方法主要有:顶弯、拉弯及滚弯等工艺方法。性能并结合外力来进行弯曲弧度的控制,适用于管径较大、弯曲弧度大且壁厚相对较大的管件。采用火工煺弯工艺能够解决管径适中且弯制弧度相对不大的管件弯制问题,但生产效率相对不高。但采用机器热弯工艺方法,虽弯制效率相对比较缓慢,但能够很好地解决大管径、大弧度和厚壁管件的弯制问题,且弯制管件的外观平滑度能够得到很好的保证。此外,采用火工煺弯技术进行加工,费用相对较为低廉,采用中频感应进行钢管弯制,则费用比较昂贵。

冷弯机械弯制主要是采用液压驱动,强劲有力,转角及送料为伺服电动机驱动,迅速、准确。同时加工可灵活切换,方便了品种繁多的产品加工,大幅提高了生产效率。与此同时,采用冷弯机器一般具有自动检测错误及故障的功能,当出现任何危险存在时机器会立即停机并发出报警,帮助操作者排除故障。特别适合于空间角度多、精度高要求高且弯制弧度不大的管件。此外,采用冷弯技术进行钢管的煺弯,加工费用相对较低。

二、曲面成形工艺的研究

1. 直口钢管热弯弯弧关键技术

直口钢管的热弯弯制主要考虑到曲面曲率半径的大小,一般情况下,曲率半径较大时采用此方法进行钢管的弯制成形。相对于带相贯口的钢管弯制而言,直管口钢管的弯制无方向性,且只需控制其矢高和弦长即可。但目前直口钢管热弯弯弧后的构件发往现场,在现场安装及调控的过程中表现出的问题主要有两个:①构件弯弧弧度不够导致现场安装的造型与设计蓝图不符。②构件弯弧后质量达不到要求,导致现场无法安装。对于弯

制过程中出现的问题,热弯改变材料性能导致部分的偏差是一个方面;其次,改进工艺方法是首要任务,但对于操作方面而言,操作工人对于技术参数掌握不足,操作过程中随主观意愿进行弯弧,导致弯弧精度不足。

热弯技术参数:圆管热弯工艺管径最大值 $D=1.4\text{m}$,热弯半径 $R\geq 2.5D$,具体如图2所示。

热弯分为中/高频电加热弯弧和火工煺弯其特点如下:①中/高频电加热弯圆,适用范围:管径最大730mm,壁厚最大50mm,优点:均匀受热、不存在弯曲起皱现象,缺点:弯弧成本较高。②火工煺弯,原理:以一个简单的板件加热来说明,原理如图3所示。

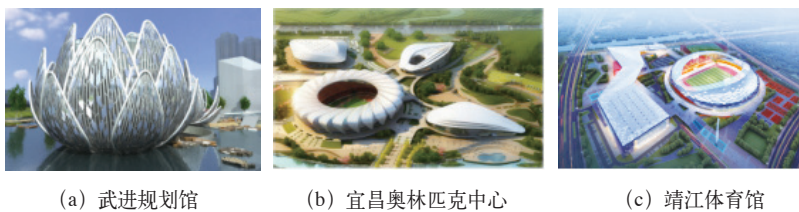


图 1

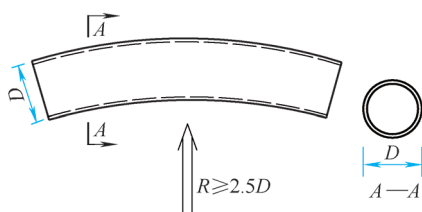


图2 热弯弯弧技术参数

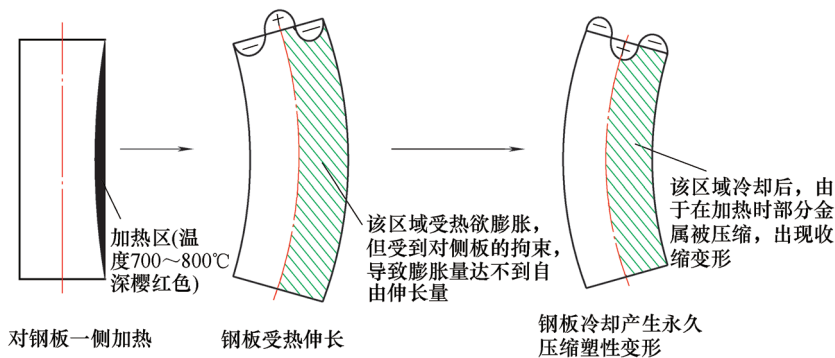


图 3

钢管火焰加热线排布如图4所示,适用范围:当弯曲不大于400mm/m的情况下,其他形式不能实现的弯圆,火焰弯圆基本能实现。优点:可实施性强、操作简单。缺点:钢管加热处有弯曲起皱现象,外观成形差,需后期处理。

生产实际现场如图5所示。

钢管加热区域排布图,每条加热线间距一般在100~150mm,其距离随弯曲矢高的要求而调整,加热温度在780~830℃,颜色呈现橘红色,每条加热线长度为管径的一半左右,上部最宽处为30~40mm

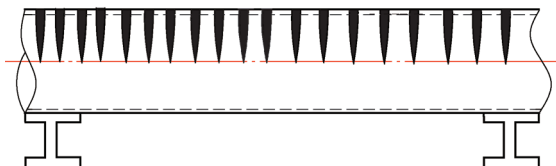


图4



(a) 直口圆管热弯成形(火工热弯)



(b) 直口圆管热弯成形(中频感应及高频感应弯制)

图5

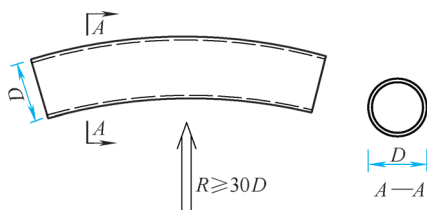


图6 圆管顶弯工艺参数要求

2. 直口圆管冷弯弯弧关键技术

冷弯技术是工厂常用的弯管加工技术,一般对于钢管弯弧曲率半径不大的情况下使用,加工工艺和成本都比较低廉,同时加工效率也比较高。精度相对较热弯技术高,弯制过程中有效控制好材料回弹余量,能够很好地控

制其弯制的精度。采用冷弯技术弯制的钢管其内弧较热弯技术弯制的钢管外观略差,会产生皱皮现象。

直口冷弯主要分为顶弯工艺和拉弯工艺和滚弯,具体参数:顶弯工艺参数极限值,顶弯长度 $L \geq 3.8m$,圆管管径最大值 $D=1.4m$,冷弯半径 $R \geq 30D$,具体如图6所示。生产实际现场如图7所示。

拉弯工艺参数极限值:
 $3.8m \leq \text{拉弯长度} \leq 12m$,一般6m以内;拉弯截面尺寸 $D \leq 300mm$, $R \geq 25D$,具体如图8所示。生产现场如图9所示。

滚弯参数:机械弯圆的适应范围是管径最大 $D \leq 426mm$,壁厚 $T \leq 25mm$ 。优点:过渡圆滑,成本较低,效率较高。缺点:不同规格的钢管,需配特定的模具(见图10)。

3. 相贯口圆管弯弧关键技术

建筑钢结构中诸如航站楼、体育场馆等具有网架结构或桁架结构的工程,带相贯口的钢管运用较多。其加工工艺也较为繁琐,尤其是带相贯口的弯弧技术是钢结构加工中的技术难点。带相贯口钢管的弯制不仅会用到弯制技术,同时还会运用到相贯线技术,对于成品构件而言是两种技术的结合。对于单端头相贯口的钢管弯制时,需要首先对相贯口进行切割,然后对其方向进行标注后再进行弯制,而对于两端头均具有相贯口的钢管弯制时,需对两端头的相贯口和唯一性方向进行准确标注后方可进行弯制。

钢管弯制前,需从设计到制作整个工序的要求进行流程化和统一化,具体表现在:①统一深

化建模模式，对存有相贯口的圆管统一采用以小管贯大管模式。

②加强工人理论培训与技能培训，使其掌握基本的圆管切割技能。③引导、强化操作人员质量意识避免编程时输入错误导致构件返工。④弯弧前应将端头隔板加设在圆管端头（见图11）。

4. 长贯口圆管弯弧关键技术

长贯口圆管弯弧与带有相贯口弯弧技术要求类似，只不过半割透的割痕深度要求更浅。因贯口较长，割痕深度过深，弯弧过程中局部受力，长贯口尺寸将偏移，端头尺寸跑偏，运到现场的构件无法正常安装及调控。因此针对长贯口的圆管弯制只需在贯口部位有切割痕迹即可，最后手动切割贯口，并对工艺桥部位进行打磨，保证现场精度要求具体如图12、图13所示。



(a) 直口圆管冷弯（顶弯工艺）



(b) 大口径钢管冷弯（油压机进行钢管弯曲）

图 7

三、成形技术的综合应用技术

目前，圆管弯弧成形技术多应用于大型体育场馆、机场航站楼、火车站及涉及到造型的大型管件、屋面管桁架、侧面腰桁架、次桁架等。工厂加工的弯曲圆管不仅仅局限于冷弯或者热弯，一种通常圆管弯弧均有冷弯和热线相结合的综合弯管技术，且除了上述所涉及的曲面成形技术外，部分工程还会遇到较复杂的弯曲成形技术，例如双曲弯弧成形技术，其技术要点除上述的基本要点外，操作过程中还需注意以下几点：①弯弧时为了尽量减少焊缝强度的削弱多采用将圆管的纵缝放置于圆管的斜上方。②制作双曲弧时先弯两边圆弧，

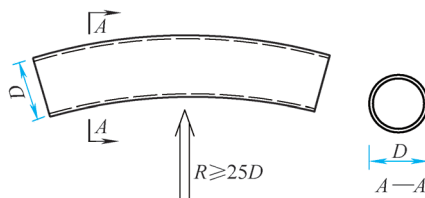


图8 拉弯工艺参数



图9 钢管冷弯（拉弯工艺）



图10 圆管冷弯（滚弯工艺）

再弯中间的拱高，保证切线位置及弯弧精度和起拱值，且圆滑过渡，具体如图14、图15所示。③圆管在切割时定内弧为起割点，且进行标记，以方便后续管对接。④为了保证所有弯弧圆管端口的截面尺寸弯弧时端头多放置一个与圆管内径相当的内隔板做支撑（见图16）。

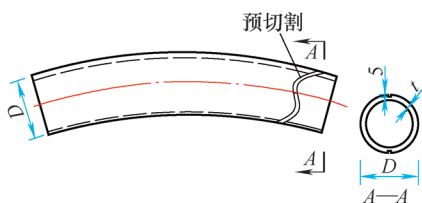


图11 相贯口预切割

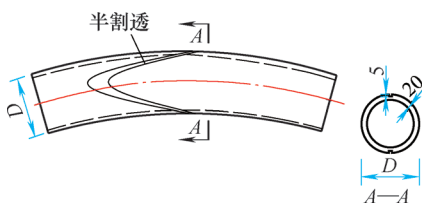


图12 长贯口圆管弯弧技术



图13 长贯口切割

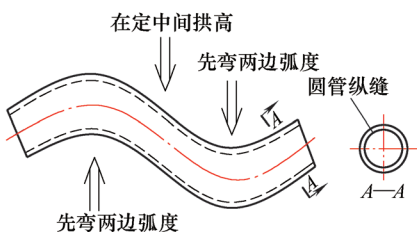


图14 双曲弯弧方法



图15 双曲弯弧圆管



图16 带有贯口曲面桁架工程现场安装

四、结语

通过以上工艺措施及采取相对应的技术参数，成功解决了大跨度构件曲面弯弧中出现的各种问题，确保了钢管弯弧的精度，减小了相贯口变量值。运至现场的构件达到安装要求，减少了工程返工及返厂量，节约了大量生产成本。

参考文献

- [1] 胡小勇, 周发榜. 武汉火车站大跨度异形空间曲面钢结构变形控制技术[J]. 施工技术, 2011.

- [2] 沈才兴, 林颖儒, 白英胜. 大跨度钢管桁架屋盖设计和施工技术[J]. 建筑机械化, 2005.
- [3] 杜世军. 沈阳北站无站台柱雨棚钢管桁架施工技术[J]. 钢结构, 2006.
- [4] 刘曙, 王辉, 刘家华, 等. 武汉火车站多管相贯节点试验研究[J]. 施工技术, 2010.

作者简介：姜殿忠、操文胜、张发荣、何志涛、程登、金欣、王笛，湖北精工钢结构有限公司。

MW 20170703