管材绕弯装置的开发及应用*

桂林电子科技大学机电工程学院 （广西 541004） 刘小锋 杨连发 石松朝

管材弯曲成形技术在工程机械、石油化工、管道工程、航空航天等工业领域都占有十分重要的地位。无论是平面弯管件，还是空间弯管件，除了大量应用于气体、液体的输送管路外，在金属结构中的应用也十分广泛。通过管材弯曲成形技术能获得形状复杂的管材零部件，且易于实现零部件的轻量化、强韧化、低耗高效、精确制造等要求，因此受到精密制造业如汽车、飞机制造等行业的青睐。

在众多的管材弯曲成形技术中，绕弯易于实现机械化，因而成为了广泛使用的弯曲方式，也成为研究热点。目前的弯管机多以绕弯为主。在管材绕弯过程中，外侧壁的变薄、破裂，内侧壁的增厚、起皱、横截面畸变及其演化过程，以及卸载后的回弹与控制，一直是管材绕弯成形中的技术难题，也是塑性加工研究的难点和热点。随着大口径薄壁管、小弯曲半径零件和难变形材料（如钛合金）管件的应用推广，上述问题的解决日益显得重要。

1. 管材绕弯原理

按弯曲时弯曲模是否转动，管材绕弯方式可分为碾压式与拉拔式。

（1）碾压式 碾压式绕弯机主要由手动压轮、弯曲模、挡块组成（见图1）。根据管材的外径选择相应的弯曲模、挡块和手动压轮，固定完各部件和管材后，顺时针转动手柄，压轮迫使管材绕弯曲模成形。

弯管时，压轮在自转的同时绕弯曲模轴心公转，处于压轮和弯曲模中心连线的管材部位受压应力相对较大，导致管材局部受力增大，易产生应力集中现象，对管材成形质量影响较大。当相对弯曲半径 R/D（管材中性层弯曲半径与管径的比）比值较大时，该弯曲方法对管材成形影响不大；但当此比值较小时，管材截面变形严重，易产生“瘪化”现象。

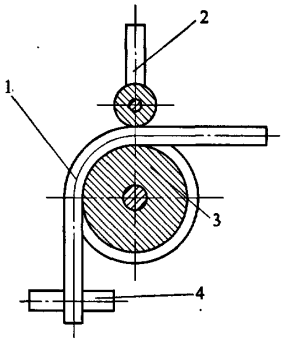


图1 碾压式绕弯

1. 管材 2. 手动压轮 3. 弯曲模 4. 挡块

（2）拉拔式 拉拔式绕弯机主要由弯曲模、压紧模、夹紧模组成（见图2）。根据管径选择导向模、压紧模和弯曲模，装配完各部件及管材后，逆时针转动弯曲模，管材绕弯曲模轴心旋转，管材弯曲成形。

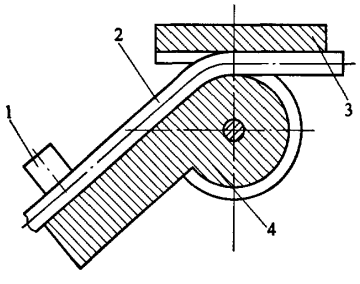


图2 拉拔式绕弯

1. 夹紧模 2. 管材 3. 压紧模 4. 弯曲模

在弯曲过程中，管材弯曲部位与模具接触面积相对较大，载荷分布相对均匀，弯曲模转动力臂相对较长。随着弯曲模的转动，截面上均受到有利于管材成形的拉应力作用（见图3）。同时，管材与模具相接触的外表面虽受到压应力作用，但相对较小，且接触面较大，应力集中现象不易发生，避免了管材产生凹坑、起皱。

*基金项目：广西自然科学基金项目（0832243）、制造系统与先进制造技术广西重点实验室基金项目（0842006-039-K）。

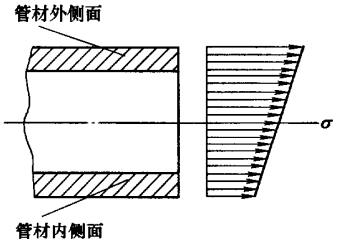


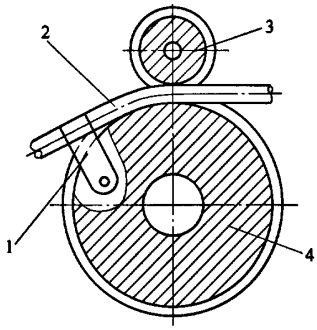
图3 拉拔式绕弯应力示意

2. 典型的管材绕弯装置

随着对弯管质量要求的提高，管材绕弯装置也经历了结构从简单到复杂，功能和可弯管径从单一到多种的发展完善过程。

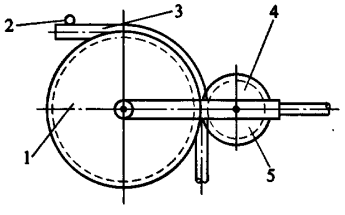
（1）简单管材绕弯装置 目前最典型的管材绕弯装置是样式各异的简单绕弯装置（见图4）。该类装置工作过程为：管坯放在弯曲模和压轮之间的圆槽中，用夹具配合压轮和弯曲模固定管材，然后旋转弯曲模或手柄使管材弯曲成形。

图4a为简单钢管弯曲装置，其中弯曲模绕中心轴转动，压轮固定不动，随着弯曲模的旋转，压轮迫使管材弯曲成形。图4b中，压轮做成绕弯曲模中心轴转动的结构，这样可将滑动摩擦转化为滚动摩擦，可减少管材表面的刮伤现象，但随着弯曲变形的进行，管材易于在弯曲槽内发生扭曲转动，定位销不能很好的抑制扭曲转动。将图4b中定位销改为V形挡轮的结构，如图4c所示，将一点接触变为两点接触，可较好的抑制管材弯曲时的扭曲转动。图4d是一种带模芯的管材弯曲装置，模芯和螺杆联接在一起，模芯的外径由管材决定，太阳轮和行星轮的半径由弯曲半径决定，其槽面形状由管材外径决定，且通过螺杆连成一体。弯曲时行星轮绕太阳轮转动，同时模芯在弯曲力的作用下发生移动，以保证模芯、太阳轮和行星轮的中心线重合，这样通过模芯的内部填充作用来减少管材弯曲时的起皱发生。



（a）简单钢管弯曲装置

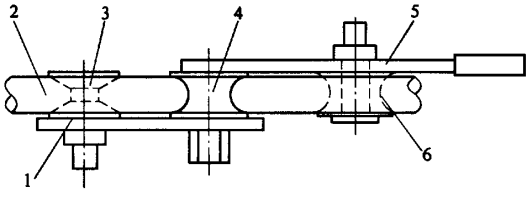
1. U形卡 2. 管材 3. 压轮 4. 弯曲模



（b）U形卡绕弯装置

1. 弯曲模 2. 定位销 3. 管材

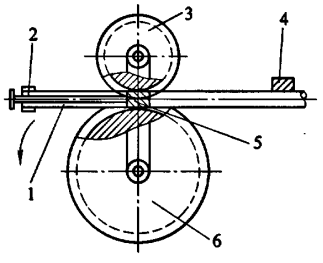
4. 压轮 5. U形卡座



（c）V形轮绕弯装置

1. 底板 2. 管材 3. V形挡轮 4. 弯曲模

5. 弯曲手柄 6. 导向轮



（d）带模芯绕弯装置

1. 管材 2. 螺杆 3. 行星轮 4. 挡块

5. 模芯 6. 太阳轮

图4 简单管材绕弯装置

（2）预压反变形管材绕弯装置 主要由弯曲模、变曲率压轮和导轮等组成（见图5）。

根据管材外径选定好相匹配的弯曲模、压轮和导轮，并安装在底板上，装配好各部件和管材后，顺时针转动手柄，管材在压轮和导轮的共同作用下，绕弯曲模弯曲成形。

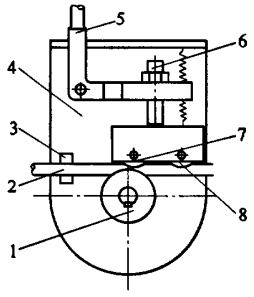
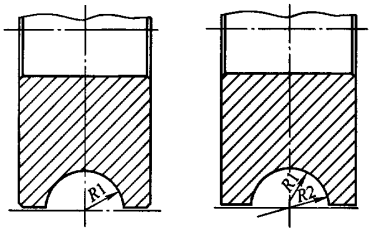


图5 预变形绕弯装置

1. 弯曲模 2. 管材 3. 挡块 4. 底板
5. 手柄 6. 压紧螺杆 7. 变曲率压轮 8. 导轮

此绕弯装置的特点是在结构上增加了变曲率的压轮，即圆弧槽面不同部位的圆弧半径不相同（见图6）。弯曲时由导轮对管材施加压力，使其发生弯曲变形，同时变曲率压轮对管材弯曲部位施加一定压力，并通过弧形槽使之产生一定的反向预压力，以抵消管材弯曲时产生的椭圆变形，使管材内缘与弯曲模弧槽紧密贴合，以强化弯曲部位管壁，消除内壁褶皱，取得较好弯曲效果。



(a) 导轮 (b) 变曲率压轮

图 6

在增加预变形轮的基础上，一些新型绕弯装置相继出现。图7为带活动卡瓦绕弯模具。其中活动卡瓦与固定卡瓦配合使用，导轮和压轮主要是起支撑和引导的作用，顺时针旋转弯曲模，管材在活动卡瓦的压力下弯曲成形。该装置采用了拉拔式绕弯原理，可减少应力集中现象，同时采用变曲率压轮，让弯曲与反变形同时进行，有反变形效果，有利于管材的正确成形。图8为采用了夹紧模和镶块的变曲率轮前置，其把反变形轮前置，这样把反变形和弯曲分步进行，减少了管材弯曲变形的耦合程度，有利于正确预测与分析成形过程和结果。

(3) 带防皱模与活芯的管材绕弯装置 该类装置在结构上增加了防皱模和芯棒，以防止弯曲时内壁起皱和截面瘪化等问题（见图9）。

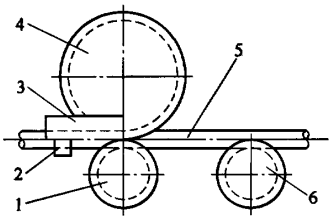


图7 带活动卡瓦绕弯装置

1. 压轮 2. 活动卡瓦 3. 固定卡瓦 4. 弯曲模
5. 管材 6. 导轮

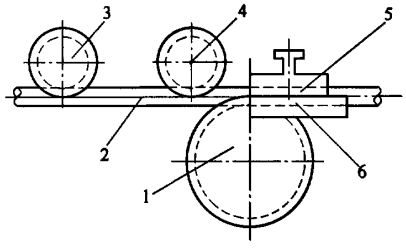


图8 变曲率轮前置绕弯装置

1. 弯曲模 2. 管材 3. 导轮 4. 变曲率轮
5. 夹紧模 6. 镶块

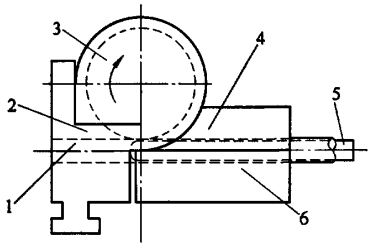


图9 带防皱模绕弯装置

1. 管材 2. 夹紧模 3. 弯曲模 4. 防皱模
5. 芯棒 6. 压紧模

防皱模前端呈圆弧刃口形状，插在弯曲模和管材之间，前端紧靠管壁和弯曲模的相切处，能有效弥补弯曲模与管材弯曲内侧的间隙，防皱模在芯轴的配合下可以有效防止管材弯曲内侧起皱；而芯棒支撑管材弯曲变形截面，可以有效防止其产生畸变。试验表明，增加防皱模与芯棒后，管材的弯曲质量可以得到明显提高。

为改善管材外壁变薄和截面畸变问题，有人设计了组合式绕弯装置（见图10）。其结构特点是在设置有防皱模的基础上，又增设了辅推机构，并采用多节活芯芯棒。辅推机构在导板上施加一外部作用力 F，利用导板与管材之间的摩擦，将推力 F 传递给管材，减小管件弯

曲部位外侧的拉应力，从而起到改善弯头外部的管壁过度拉薄现象。多节活芯配合防皱模可以防止管材弯曲内侧起皱，同时也支撑管材横截面，防止截面畸变，有利于管材的准确成形，效果比普通芯棒好。

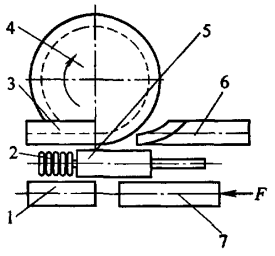


图10 组合式绕弯装置

1. 夹紧模 2. 多节活芯 3. 镶块 4. 弯曲模 5. 管材 6. 防皱块 7. 导板

为进一步减轻管材外壁过度减薄，有人设计了压力模可动绕弯装置（见图11）。其特点是在压力模的外侧加上了滚珠，弯曲时管材和压力模之间的摩擦力将带动压力模向弯曲切向方向运动，变滑动摩擦为滚动摩擦，减少弯曲时外部金属的流动阻力，对减少外壁变薄有较好的效果。

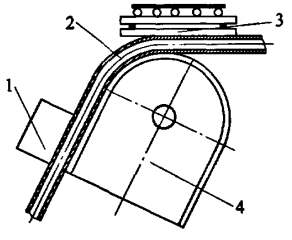


图11 压力模可动绕弯装置

1. 夹紧模 2. 管材 3. 压力模 4. 弯曲模

（4）可弯曲不同管径的绕弯装置 针对弯制一种管材需要一种型号的装置或模具、占用资源等问题，提出了一种管径可调绕弯装置（见图12）。该装置是在传统的绕弯装置上发展而来的，其成形原理与传统的绕弯工艺相同：用压力模与压模镶块将管材压紧后与弯曲模一起绕弯曲模中心作顺时针旋转运动，从而将管材缠绕在弯曲模上并最终弯曲成形。其结构特点为弯曲模、压力模、导向模均一分为二，两模块用螺栓进行联接，通过更换不同厚度的“σ形”弯曲模垫片（见图13）、压力模垫片和导向模垫片，从而改变弯曲模、压力模和导向块凹槽的形状及宽度，使其达到弯制不同直径管材的目的，节约了资源，提高了效率。

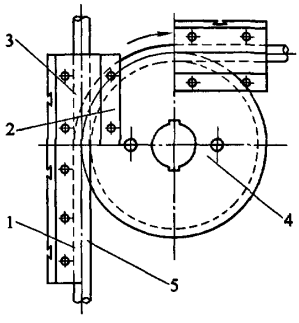


图12 管径可调绕弯模具

1. 导向模 2. 镶块 3. 压力模 4. 弯曲模 5. 管材

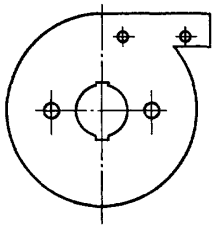


图13 σ形弯曲模垫片

调节垫片可更换一层或几层组合，其中最小的厚度为零（即不夹装调节垫片），在三种调节垫片都为最厚的情况下，弯曲模的截面刚好是正圆；否则弯曲模的槽面是变曲率槽面，有预压反变形的效果，弯曲时有助于管材正确成形。

3. 结语

综上所述，管材绕弯装置经历了几个发展阶段：首先是由弯曲模、夹紧模和压轮组成的简单绕弯模具，但存在截面瘪化、起皱、外壁变薄和内壁变厚等诸多缺陷。其次，针对截面瘪化，出现了变曲率压轮的绕弯装置。针对绕弯内侧起皱问题，从外部采用了防皱模，填补了管材和弯曲模之间的间隙，可以有效地防止起皱。针对外壁变薄问题，在管材或压紧模末端施加轴向推力，抑或在压紧模的外侧添加滚动板，使管材与压紧模的滑动摩擦变为滚动摩擦，减少外侧材料的流动阻力。针对一种外径的管材弯曲时需一副配套的模具，占用资源较大的问题，设计了管径可调绕弯模具，实现了一模多用。

不同绕弯装置各有优缺点，由于各领域对弯管件的质量要求和使用环境不尽相同，这些绕弯装置将并存使用和发展。今后发展趋势将在各种装置的基础上，不断涌现管材绕弯新装置，将有力地促进管材塑性加工业的发展，并推动社会经济发展。**MW** （20101004）