大直径薄壁金属液压导管弯形技术研究

王 威
（长治清华机械厂，长治 046012）

摘要：从影响大直径薄壁金属液压导管弯形因素入手，在工艺分析和试验的基础上，通过改进导管弯形芯头结构形式，摸索芯头与导管内孔的合理间隙值等工艺措施，研制出了大直径薄壁金属液压导管弯形方法，从而解决了此种导管难以弯制成形的问题。

关键词：大直径导管；薄壁金属导管；弯形

Research on Bent Technology of the Large Diameter and Thin-walled Metal Hydraulic Tube

Wang Wei
(Changzhi Qinghua Machinery Factory, Changzhi 046012)

Abstract: Starting from the influencing factors of large diameter and thin-walled metal hydraulic tube bending, based on the process of analysis and experiment, the reasonable space of the bent core head and the hole of tube are found out, by technologic measures such as improving the bent core head structure. The bending method of large diameter and thin-walled metal hydraulic tube has been developed, so as to solve the problem of the tube is hard to bend into shape.

Key words: large diameter tube; thin-walled metal tube; bending

1 引言

大直径薄壁金属液压导管具有通流面积大、重量轻的优点，符合型号产品对液压系统提出的泵出流量大且重量轻的要求，因而在航天领域中被广泛应用。然而，由于大直径薄壁金属液压导管内径大、管壁薄，因而刚度差，弯形时易出现皱纹、凹陷、裂纹、擦伤等缺陷，且多种缺陷经常共同出现。我厂在弯制 Φ53mm×1.5mm 的 1Cr18Ni9Ti 导管时也出现了以上问题，且皱纹缺陷最为严重。为了有效解决这一问题，以 Φ53mm×1.5mm 的 1Cr18Ni9Ti 导管为试验对象，进行了大直径薄壁金属液压导管弯形技术的研究和应用。

2 产品简介

导管的技术要求见表 1。

表 1 导管技术要求

序号	项目	要求		备注
1	材质	1Cr18Ni9Ti		GB/T14976—2002
2	规格	Φ53mm×1.5mm		GB/T14976—2002
3	弯曲部位	椭圆度	≤4mm	QJ919A—1998 中规定椭圆度为导管弯曲处最大与最小直径之差
		壁厚变薄量	≤0.3mm	QJ919A—1998 中规定钢材质导管弯曲处壁厚变薄量不大于导管壁厚的 20%
		压痕	≤0.53mm	QJ919A—1998 中规定钢材质导管弯曲处压痕不大于导管外径的 1%
		皱纹、凹陷、凸起、擦伤、裂纹等疵病	无	图纸技术条件

经对已经弯制的 Φ53mm×1.5mm 大直径薄壁金

作者简介：王威（1975-），高级工程师，机械设计制造及其自动化专业；研究方向：机械制造工艺与设备。
收稿日期：2013-08-11

属液压导管弯形缺陷进行调查，得出统计结果见表 2。

表 2 导管弯形缺陷统计

类别		导管数量	不同缺陷类型件数				
			皱纹	凹陷	凸起	擦伤	裂纹
芯轴头部位置	正常	8	8	8	0	3	0
	超前	8	8	0	8	5	2
	滞后	4	4	4	0	0	0
合计		20	20	12	8	8	2
比率/%			100	60	40	40	10
缺陷率/%		100					
合格率/%		0					

从表 2 可以看出，大直径薄壁金属液压导管弯形缺陷率为 100%、合格率为 0%，其中皱纹缺陷最为严重。

3 问题分析

导管材料为 1Cr18Ni9Ti，由相关手册可知该种材质的钢管适合于弯形作业。导管的结构尺寸为 Φ53mm×1.5mm，其弯制采用的设备为液压弯管机 GDW-27Y-60×5。导管的结构尺寸符合液压弯管机弯制钢管的极限尺寸不大于 Φ76mm×3mm、Φ60mm×5mm 的要求，因而可以采用此液压弯管机进行弯形。

3.1 弯形工艺分析

导管弯制作业具体实施时的基本工艺流程见图 1。弯管工艺符合液压弯管机 GDW-27Y-60×5 操作要求及常规弯管工艺规范要求。

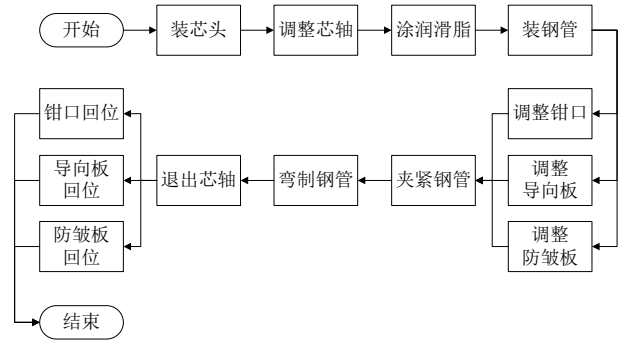

图 1 导管弯制基本工艺流程

3.2 弯形故障问题分析

弯形故障问题分析见表 3。要避免弯形故障问题的发生，应采取在弯形处内孔中加芯头、摸索芯头与钢管内孔的合理间隙等措施。

表 3 弯形故障问题汇总分析

序号	问题	解释	原因	措施
1	弯扁	弯形处被弯扁	Φ53mm×1.5mm 的钢管壁太薄，刚性差	改进弯形芯头，使弯形处内孔中增加芯头支撑，增加钢管的刚度
2	裂纹	弯形处外圆管壁被弯裂	Φ53mm×1.5mm 的钢管壁太薄，由于弯形处管壁的塑性变形量超过 1Cr18Ni9Ti 材料的极限值，导致管壁被拉裂	改进弯形芯头，使弯形处内孔中增加芯头支撑，让弯形处各点均不同程度地产生塑性变形，避免弯形点过度拉伸导致断裂
3	擦伤	钢管内壁在芯头退出时被其擦伤	芯头与钢管内孔在直径方向配合过紧，导致芯头与钢管内壁摩擦力太大，使得芯头退出钢管内孔时将其内壁擦伤	适当加大芯头与钢管内孔在直径方向的间隙
4	起皱	钢管弯形处外圆产生皱纹	芯头与钢管内孔在直径方向配合过松，导致钢管弯形处不均匀变形，产生皱纹	适当减小芯头与钢管内孔在直径方向的间隙

4 方案研究及实施

根据产品分析情况，经反复比较，制定了改进芯模弯管方案，其工艺流程为：选择弯管机→改进芯模→装夹→弯管机弯形→校形。

4.1 改进芯模

常规的弯形芯轴为直芯头，其结构形式见图 2 中上部图形。使用常规直芯轴弯制导管，芯头头部中心与弯曲模中心应平齐，这样就不可能使芯头头部到达弯形圆角处，即达不到以芯头作为内芯从而加强钢管的作用。为了克服直芯轴的这一缺陷，设计了柔性芯轴（柔性芯头的芯轴），其结构见图 2 中下部图形。

图 2 直芯轴与柔性芯轴对比

由图可以看出，将直芯轴分为头部与基体两个部分，头部做成球头，基体保持原状，二者通过球头联接，就成为了柔性芯轴。柔性芯轴的头部可随动，在弯形时能到达弯形圆角处，即可起到提高弯形圆角处刚度的功用。

柔性芯轴弯曲导管时在弯管机中的布置模型见图3，实际布置情况见图4。

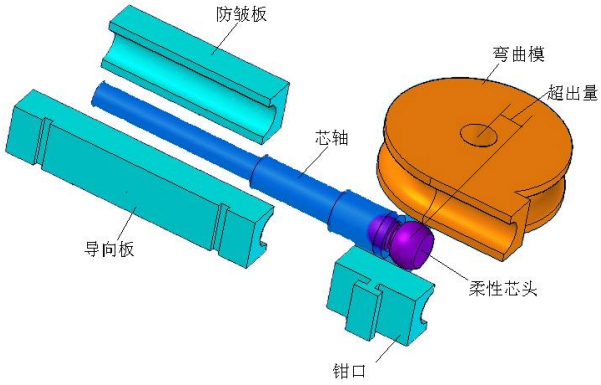

图3 柔性芯轴布置模型

图4 柔性芯轴实际布置

4.2 试验分析

将柔性芯轴应用于导管弯形试验，具体情况见表4。

表4 柔性芯轴试验结果统计 mm

类别		椭圆度（≤4mm）	壁厚变薄量（≤0.3mm）	压痕（≤0.53mm）	皱纹、凹陷、凸起、擦伤、裂纹等疵病（无）	结论
试验件	1	4.91（皱纹波谷） 1.70（皱纹波峰）	0.03	0.02	皱纹（内侧）	不合格
	2	4.40（皱纹波谷） 1.50（皱纹波峰）	0.03	0.02	皱纹（内侧）	不合格
	3	0.5	0.02	0.015	无	合格
	4	4.60（皱纹波谷） 1.90（皱纹波峰）	0.03	0.02	皱纹（内侧）	不合格
	5	0.3	0.02	0.02	无	合格
	6	2.7	0.02	0.02	擦伤（内壁）	不合格
	7	2.8	0.03	0.02	擦伤（内壁）	不合格
	8	1.2	0.03	0.015	无	合格
	9	2.4	0.02	0.015	擦伤（内壁）	不合格
	10	0.9	0.03	0.015	无	合格
合格率		40%				

由表4可以看出，部分试验件弯曲处内侧有皱纹、管内壁有擦伤。试验件合格率偏低，仅为40%，因而试验整体不合格。

根据试验情况可得出结论为：

a. 柔性芯头与导管内径的间隙值（间隙量）不够，芯头易擦伤导管内壁；间隙量过大，导管易起皱；

b. 柔性芯头中心超出弯曲模中心的距离值（超出量）不够，导管易起皱；超出量过多，芯头易擦伤导管内壁；

c. 由于柔性芯头与导管内径值、柔性芯头中心超出弯曲模中心的距离值的合理范围没有完全掌握，从而导致出现了皱纹和内壁擦伤现象；

d. 导管弯制时芯轴与导管间没有采取润滑措施，导致芯轴头部与导管内壁产生了严重的干摩擦，加剧了导管内壁擦伤现象。

4.3 正交试验

为了摸索出间隙量、超出量的合理范围及二者的最优组合，进行了正交试验，结果见表5。

表 5 正交试验结果统计

试验计划			试验结果	
因素	A 间隙量/mm	B 超出量/mm	导管弯形合格率/%	备注
列号 / 试验号	1	2		
1	1（0.1～0.4）	1（1～3）	0	擦伤、皱纹
2	2（0.5～0.8）	1（1～3）	0	皱纹
3	3（1.1～1.4）	1（1～3）	0	皱纹
4	1（0.1～0.4）	2（5～7）	0	擦伤
5	2（0.5～0.8）	2（5～7）	100	
6	3（1.1～1.4）	2（5～7）	0	皱纹
7	1（0.1～0.4）	3（9～11）	0	擦伤
8	2（0.5～0.8）	3（9～11）	0	擦伤
9	3（1.1～1.4）	3（9～11）	0	擦伤、皱纹
Ⅰ＝位级 1 三次合格率之和	0	0	Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ＝100＝总和	
Ⅱ＝位级 2 三次合格率之和	100	100		
Ⅲ＝位级 3 三次合格率之和	0	0		
极差 R＝Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ中，大数－小数	100	100		

根据试验结果，间隙量、超出量的合理范围为：间隙量 0.5～0.8mm、超出量 5～7mm，且二者组合情况下的导管弯形效果最优。

4.4 工艺流程

在导管弯制基本工艺流程的基础上，加入柔性芯轴的弯形要素，得到柔性芯轴弯制导管的工艺流程为：选择弯管机→安装柔性芯轴→柔性芯头涂润滑脂→装夹→弯管机弯形→校形。

5 试验结果

按照改进后的“柔性芯轴弯制导管工艺流程”，对 Φ53mm×1.5mm 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢产品液压导管进行弯制，结果见表 6。

表 6 产品导管弯制结果统计 mm

类别		椭圆度（≤4mm）	壁厚变薄量（≤0.3mm）	压痕（≤0.53mm）	皱纹、凹陷、凸起、擦伤、裂纹等疵病（无）	结论
试验件	1	2.2	0.02	0.02	无	合格
	2	2.8	0.02	0.02	无	合格
	3	1.2	0.03	0.02	无	合格
	4	2.2	0.02	0.02	无	合格
	5	1.8	0.03	0.015	无	合格
	6	2.7	0.03	0.015	无	合格
	7	1.6	0.02	0.02	无	合格
合格率		100%				

由表 6 可以看出，产品液压导管弯形合格率为 100%，柔性芯轴弯制大直径薄壁金属液压导管方法有效。

采用柔性芯轴前后大直径薄壁导管弯制结果对比见图 5。

图 5 导管弯制情况对比

（下转第 31 页）