

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.049

# 柔性直流输电换流阀 IGBT 阀段压接工艺研究

杨一平,吴红艳,孙朋

(许昌职业技术学院 机电与汽车工程学院,河南 许昌 461000)

**摘要:**柔性直流输电系统中,换流阀 IGBT 阀段因制造流程长、工序多、制造技术复杂、涉及难度太高,成为制约我国柔性直流输电事业发展的瓶颈。分析了目前换流阀 IGBT 阀段手动压接过程存在的问题,提出了 IGBT 阀段自动压接工艺的改进方案,阐述了阀段压接工艺设计原理、阀段自动压接工艺要点、压接工艺流程以及手动及自动阀段压接各项指标的对比,分析了使用阀段压接工装后产生的经济效益、社会效益。通过长达一年的生产实践,充分证明了该工艺改进方案的有效性。

**关键词:**柔性直流输电换流阀;IGBT 阀段;压接工装;工艺改进

**中图分类号:**TM721; TH16 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)04-0187-03

## Research on Crimping Technology of IGBT Valve Section of Converter Valves for VSC-HVDC

YANG Yiping, WU Hongyan, SUN Peng

(School of Mechanical Electrical and Automotive Engineering, Xuchang Vocational and Technical College, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** In VSC-HVDC transmission system, the IGBT valve section of converter valves has become the bottleneck of the development of China's VSC-HVDC transmission industry due to its long manufacturing process, multiple operation and complex manufacturing technology. Based on the analysis of current problems in the manual crimping process of IGBT valve, a process improvement scheme of automatic crimping tooling for IGBT valve was proposed, which includes the design principle of valve crimping tooling, the key points of automatic valve crimping technology, the process of automatic crimping, the comparison of various indexes of manual and automatic valve crimping technology, and the analysis of the economic and social benefits produced by the improved valve crimping tooling. The very scheme has been well proven to be effective through a year long production practices.

**Keywords:** converter valves for VSC-HVDC; IGBT valve; crimping tooling; technology improvement

## 0 引言

随着气候变化日益加大、能源紧缺形势日趋严峻,需在全球范围内重点优化能源结构,大力开发和利用可再生能源。以风能、太阳能为代表的可再生能源,具有远离负荷中心、资源分散等特点。我国幅员辽阔,大规模应用可再生能源必须采用远距离大容量输电方式。当输电距离较长时,传统的交流输电技术联网的经济性下降,而直流输电技术就显示出明显的技术、经济优势。因此,构建智能、高效、可靠的直流输电电网,一直是我国电网建设的重点之一<sup>[1-3]</sup>。

基于全控电力电子器件的电压源换流器的柔性直流输电技术,由于其运行灵活、功率解耦,特别是不依赖电网换相的特点,为直流输电技术提供了新的发展途径。

在柔性直流输电系统中,换流阀 IGBT 阀段是整个系统的核心部件,但因制造周期长、工序多、技术复杂、难度太高,成为制约我国柔性直流输电事业发展的瓶颈<sup>[4-10]</sup>。

## 1 换流阀 IGBT 阀段生产面临的问题

1) 采用手动液压泵形式为换流阀 IGBT 阀段加压,工序繁琐,且阀段加压时 IGBT、散热器、晶闸管需在同一中心线上,手动方式的反复调整,难以控制精度,影响质量稳定性。

2) 阀段加压时手动操作,因碟簧变形量大需增加垫片进行压接,且需要多人配合调整,耗费大量人力、物力。

3) 手动液压泵压力误差较大,难以校核压力值是否达到设计压力。

4) 无相应的工艺流程来规范阀段压接过程,需要设计压接工艺流程,控制阀段压接质量。

5) 生产效率低,项目中换流阀阀段数量巨大,批量化生产面临巨大压力。

## 2 换流阀 IGBT 阀段压接工艺研究

针对上述 IGBT 阀段手动压接中面临的工艺问题,为

确保柔性直流输电换流阀的生产质量,从柔性直流输电换流阀阀段压接工装的研发、生产、制造、安装、维护等各个角度,研究阀段压接工装,规划工艺流程,改进阀段压接工艺,实现由手动压接工艺到自动压接工艺的改进。

阀段压接工装采用卧式液压床结构,机架利用计算机优化设计,用钢板焊接而成,提高整体强度。托块轨道采用合金钢板制造,坚固耐用。阀段压接工装示意图如图 1 所示。

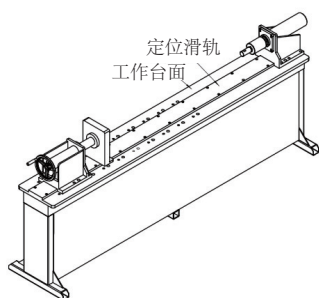


图 1 阀段压接工装示意图

在工作平台一端设计油缸固定座,油缸上配有压力传感器,工件受力状况由控制面板上显示仪直接查看。另一端为活动承力座,可根据阀段的长短调节其安装位置来满足不同长度阀段压接的要求。承力座设有微调机构,便于精确定位。

液压系统配备高精度压力表,实时反映系统液压力。液压存在常态波动,故在压头部配有压力传感器,由传感器显示仪显示阀段的实时受压状况。

油缸的运行具有自动和手动控制两种控制方式,可切换选择,液压控制系统如图 2 所示。

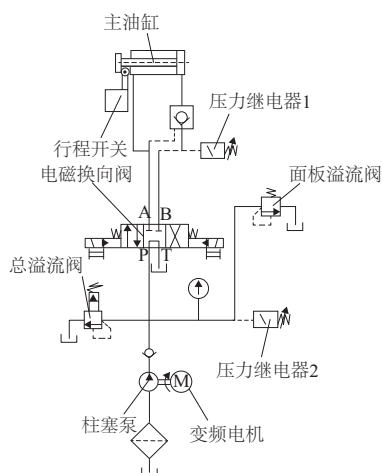


图 2 液压控制系统示意图

油缸自动控制时只需设定压力值,按下起动按钮后,压头自动前行进行加压,达到设定压力值后保压延时器在 0~99 min 可调范围内保压;保压到换向阀换向,压头回缩,回缩到极限时行程开关工作,换向阀失电,油泵停机。

油缸手动控制时,调整好压力,按下前行按钮,压头快速前行加压,当达到调定的压力值时,换向阀失电回至中位,油泵空转回油,油缸由液压锁保压。压头回缩时,按下

回程按钮,压头回缩到极限位时行程开关工作,换向阀失电,油泵停机。

换流阀 IGBT 阀段安装时,应使 IGBT、散热器、晶闸管安装后中心线在一条直线上,元器件尺寸误差可通过 IGBT 阀段加压工装调整,实现均匀加压。如图 3 所示。

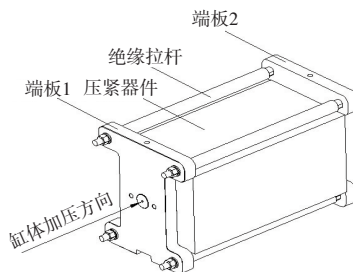


图 3 换流阀阀段示意图

IGBT 阀段在压接工装上安装完毕,用水平尺检查中心度后,设定合适压力进行加压,阀段加压如图 4 所示。

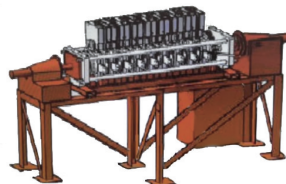


图 4 换流阀阀段压接示意图

根据柔性直流输电换流阀 IGBT 阀段加压原理,结合阀段加压注意事项,进行换流阀阀段加压工艺流程设计,阀段加压工艺流程如图 5 所示。

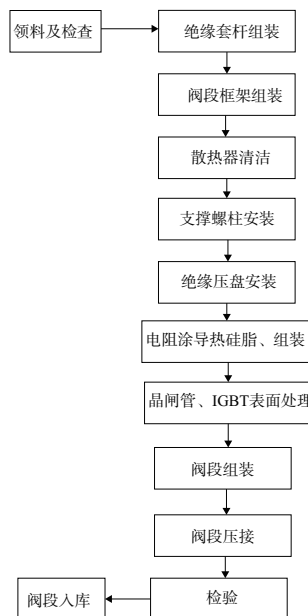


图 5 阀段加压工艺流程图

### 3 IGBT 阀段压接可靠性试验

为了验证使用 IGBT 阀段自动压接工装后,阀段压接

是否可靠,对阀段内部电气元件表面压力进行测试。

在阀段内部电气元件表面放入压力测试纸,通过压接工装对压接阀段在特定的压力范围内加压,保压 30 min 后,泄压并取出压力测试纸;通过与标准试纸对比,判断电器元件表面压力是否均匀,进而判断压接阀段是否可靠。标准试纸样本如图 6 所示,压接实际试纸样品如图 7 所示。

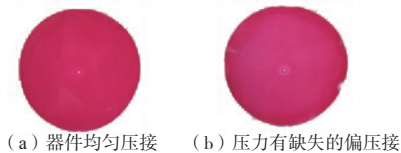


图 6 标准试纸样本

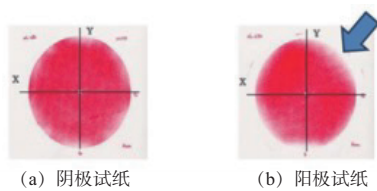


图 7 实际压接试纸样本

通过分析实际压接试纸样品,可以看出压接阀段内电器元件表面压力均匀,压接阀段结构可靠,满足不同元器件压接要求。

## 4 阀段压接工艺改进分析

采用上述 IGBT 阀段压接工艺研究方案,生产实践中节省了大量人力物力,提高了生产效率及产品质量。现从降低劳动强度、提升生产效率、提高产品质量等几方面,对改善前后创效价值进行分析。改善前后各项指标对比见表 1。

表 1 压接工艺改善前后对比表

项目	劳动强度/ (人/阀段)	生产效率/(个/日)	合格率/%
工艺改善前	5	10	98
工艺改善后	2	40	100

### 1) 工艺改善前后劳动强度对比

阀段手动压接时,液压泵需 1 人上下多次挥动手臂,并趴在地上查看压力表。因液压泵行程不够,达到一定压力后另需 2 人在阀段端增加垫块,并有 2 人分别站在阀段左右两侧不停地调整同心度,每个阀段需配备 5 名操作人员。

使用阀段压接工装后,只需 1 人按工艺要求将阀段元器件摆放在工装上,另外 1 人操作工装按钮,实现自动加压。过程中不需要增加垫块、二次加压、上下左右调整同心度,只需配备 2 名操作人员即可完成阀段生产。

可节约 3 名操作人员,同时降低了工人劳动强度。

### 2) 工艺改善前后生产效率对比

柔性直流输电工程原手动压接阀段,因 IGBT、碟簧变形量较大,液压泵单次移动行程无法满足加压要求,需增加垫块二次加压。同时加压过程中垫板很难保证 IGBT、

晶闸管、散热器的同心度,需不停调整各元器件上下左右对齐,导致阀段生产速度较慢,只能日产 10 个阀段。按项目有 10 000 个阀段计算,需 1 000 日才能完成阀段装配。

使用 IGBT 阀段压接工装后,加压时只需按动按钮自动加压,不需增加垫块二次加压。同时工装已经保证了阀段同心度,不需进行上下左右调整。可日产阀段 40 个,仅需 250 天完成阀段装配。

阀段压接工装的使用,生产上可节约:

$$5 \times 1000 - 2 \times 250 = 4500 \text{ (人} \cdot \text{日)}$$

阀段压接生产效率提升 90%。

### 3) 工艺改善前后生产质量对比

因阀段压接工装能实现自动对准同心度,且压力值设置后能自动加压,避免了手动调整同心度的误差,也避免了二次加压带来的压力误差,一次交检合格率由 98% 提升至 100%。

按上述节约的人力物力统计,包含 10 000 个阀段的柔性直流输电工程可节约:

$$[5 \text{ (人)} \times 1000 \text{ (日)} - 2 \text{ (人)} \times 250 \text{ (日)}] \times 500 \text{ (元)} = 225 \text{ (万元)}$$

## 5 结语

自动阀段压接工装节约了生产用时,降低了劳动强度,通过对柔性直流输电换流阀阀段压接工艺技术的提升,提高了现有输电网的安全稳定水平,优化了可再生能源低成本规模化的开发利用,促进了电力产业结构升级和优化,解决了限制柔性直流输电换流阀生产效率的瓶颈问题。

### 参考文献:

- [1] 周小东,成思源,杨雪荣,等. 基于逆向工程的参数化优化设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2016(3):37-40.
- [2] 蒋勇. 一种剪式液压升降台控制及检测系统设计[J]. 机械制造与自动化,2019,48(6):164-167.
- [3] 谢晔源,曹冬明,李继红,等. 一种实现柔直系统快速恢复的自取能故障阻尼器[J]. 电力自动化设备,2017,37(7):142-147,154.
- [4] 朱益华,郭琦,李威,等. 含柔性直流输电系统的电网安全稳定特性和控制策略研究[J]. 电网与清洁能源,2018,34(12):20-26.
- [5] 李大虎,张志杰,张伟晨,等. 背靠背柔性直流接入电网后的影响评估[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(3):71-80.
- [6] 刘树,赵宇明,陈莉,等. 柔性直流配电网控制保护系统设计与策略研究[J]. 供用电,2018,35(1):21-27,39.
- [7] 李晓栋,徐政,胡四全,等. 3 种混合直流输电系统的交流故障特性对比[J]. 电力自动化设备,2019,39(9):228-235.
- [8] 马为民,吴方劼,杨一鸣,等. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 高电压技术,2014,40(8):2429-2439.
- [9] 徐政,薛英林,张哲任. 大容量架空线柔性直流输电关键技术及前景展望[J]. 中国电机工程学报,2014,34(29):5051-5062.
- [10] 韩炜炜. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 电子测试,2018(1):109-110.

收稿日期:2020-07-14