

焊接模拟器在核电站焊工培训中的应用

■ 申浩, 王海东, 冯英超

摘要: 核电站焊接操作模拟器的应用, 可以使焊工得到科学的指导, 进而提高焊工的培训质量、缩短培训周期、提升操作技能、降低培训成本, 对于核电站高质量焊工的培养与输出具有重要意义。

关键词: 核电站; 焊接模拟器; 焊工培训

1. 概述

焊工是核电建设安装工作中技术含量最高、质量要求最严、施工作业最多的工种, 焊工的培训具有周期长、成本高的特点, 而焊工技能水平的高低直接关系到核电建设安装质量水平。传统的焊接技能培训均采用课堂理论教学和实际操作训练相结合的方式完成。这种培训模式存在一些缺点和不足: ①培训质量受教师水平影响较大。②培训单向, 老师告诉学员该怎么做, 但学员错误的操作很少得到反馈。③操作培训现场环境差, 对焊接人员健康损害较大, 容易打击学员的培训积极性。④培训周期长, 能源及材料损耗大。

为丰富公司目前焊工培训水平和方式, 降低培训成本, 缩短培训时间, 提升焊接实力, 将科技成果转化于现实生产力, 公司引进了焊接仿真模拟操作系统用于焊工的培训。

2. 焊接模拟器的特点

焊接操作模拟器基于虚拟现实(VR)技术, 实现了焊接操作动作与焊接场景实时模拟的互动, 学员可以在虚拟的生产环境中进行焊接操作训练, 学员拿着模拟焊枪操作就可观察到真实的电弧产生、焊缝熔化、成形等效果, 系统还可根据学员的动作进行评估打分, 判断可能产生的焊接质量缺陷, 与学员训练有很好的交流和反馈, 如图1所示。

与传统手工焊培训方式相比, 焊接模拟器具有如下特点及优势:



图1 焊接操作模拟器的使用

(1) 适用性广 首先, 多种焊接工艺。模拟器可以模拟训练多种焊接工艺, 包括焊条电弧焊(SMAW)、药芯焊丝活性气体保护焊(FCAW)、熔化极气体保护焊(GMAW)、CO₂气体保护焊(MAG), 一套系统可以实现72份不同的焊接工艺, 应用范围广。

其次, 多种接头形式。模拟器可以设置多种焊接接头形式, 有平直槽、T形接头、开坡口接头、 $\phi 150\text{mm}$ 壁厚4mm管道、 $\phi 50\text{mm}$ 厚壁管道等, 基本覆盖了核电项目焊工培训的焊接接头类型。

最后, 多种焊接位置。模拟器可以灵活地调节多种焊接位置, 有独立的操作台和可调高度的横臂, 可以实现核电项目平、立、横、仰、水平固定、垂直固定、45°固定等各种焊接位置。

(2) 技术创新 首先, 精准定位技术。精确捕捉训练者操作时的焊枪姿态数据, 如角度、

速度、距离等，记录分析其操作柜机，精确的焊位信息所创建的评分记录，可以帮助训练者提高技能，快速转化为实操能力。并且，在真实物理存在的试件上进行焊接操作，焊接操作人员可以感受到现实焊接中的各类触觉感受，这极大地增强了模拟的真实性。该焊接模拟器可模拟电极与母材接触的焊接工艺，比如用焊条焊接管根部焊道时用到的施焊技巧。

最后，真实的焊接熔池模型技术。此技术通过计算机模型生成了生动真实的熔池，焊接操作直观，可以让操作者学习“看懂熔池”；模拟焊接时的火花、焊渣以及焊接冷却的过程，并且可模拟当采用不良焊接手法操作时所形成的缺陷焊缝。

(3) 节能环保 ①无需消耗焊件焊材。模拟器属绿色节能环保产品，训练的过程中无需焊接耗材即能提升操作者焊接水平。②无强电磁污染。③无化学、光污染。

(4) 培训效果可评估 首先，实时可视的操控信息反馈。模拟器具有可视标记功能，可实时提供训练者实时的焊接操控信息反馈。

其次，虚拟焊缝的实时检测指导。模拟器具有实时检测指导功能，当训练者在焊接或对焊成的焊缝进行外观检查时，可以使用教师辅助显示屏，该功能可以形象地检查出焊缝的气孔、咬边及焊道分布情况等。

最后，训练者操作技能的实时评估。模拟器可以设置焊接技能标准，根据训练者操作焊成的每一焊缝进行测评，并能根据虚

拟的焊缝评估确定潜在的缺陷范围和可视标识。

3. 焊接模拟器的应用

我公司将焊接模拟器应用于焊接学员实训中，并与往届学员实训情况进行了对比，即采用焊接模拟器和实际操作相结合方法与实际操作相比，培训周期和材料消耗情况如下。

(1) 培训周期对比 从图2可以看出，采用模拟器与实际操作结合方式进行焊接培训的周期与只采用实际操作方式相比，学生达到相同的培训效果时间缩短了近一半。

(2) 材料消耗对比 从表1可以看出，将焊接模拟器应用于初级焊工培训平均可以节省焊接材料约40%。

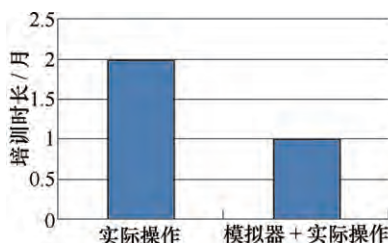


图2 培训周期情况

表1 材料消耗情况

培训内容	母材/kg	焊材/kg		气体/瓶	
	Q235	J422	CHE507	氧气	乙炔
模拟器+实际操作	847.8	90	180	24	15
实际操作	1380	170	340	40	25
节约	532.2	80	160	16	10
节约率(%)	38.57	47.06	47.06	40.00	40.00

表2 成本分析

培训内容	资格	培训周期/月	培训费用(万元/人)	焊工数量(人/a)	合计费用(万元/a)
实际培训	支架/平板	6	4	50	200
模拟器+实际培训	支架/平板	5	3.3	50	165
节约	—	1	0.7	—	35

注：a为年

作者简介：申浩等，核工业工程研究设计有限公司。

以中核二三公司核电项目焊接培训中心为参考，拟将模拟器应用于初级焊工培训，培训后效果应能够达到核电项目支架焊工资格，成本分析数据详如表2所示。由表2可看出，采用模拟器与实际操作培训相结合方式进行初级焊工培训，保守估计每年可以节省培训费用约35万元，17个月即可收回设备成本，而模拟器使用周期为5~10年，并且设备厂家可以对设备进行升级，完善更多的焊接方法和焊接工艺模拟，具有非常可观的经济效益。

4. 结语

核电站焊接操作模拟器在核电焊工培训中的应用，在焊工进行理论培训、考核的基础上，可以实现一对一的操作模拟，培训界面直观，并可以得到科学的指导，进而能在很大程度上提高焊工的培训质量。因此该模拟器具有缩短培训周期、提升操作技能、降低培训成本等优点，可最终实现在短时间内培训出高质量焊工的目的。