

手工电焊作业职业疲劳分析及 疲劳恢复模拟研究

龚成, 张红波*

(湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:以手工电焊作业为研究对象,对其有害气体、光辐射、静态作业会造成疲劳的危害及矿井作业环境危险因素进行了分析并给出相应的对策.使用 JACK 人机模拟从站姿、蹲姿和坐姿 3 个不同的姿态通过疲劳与恢复分析程序得出了连续工作 10,30,50 s 所需恢复时间,并得出蹲姿是手工电焊作业危害最大的姿势而坐姿则对于手工电焊作业疲劳感最小,且不同姿态下背部倾斜角度的改变对恢复时间的变化有所不同.本文为静态作业的人体研究提供了一定的辅助依据.

关键词:手工电焊;危害;疲劳;恢复

中图分类号:X91

文献标志码:A

文章编号:1674-5876(2016)03-0077-04

Analysis of manual welding occupational fatigue and simulation research of fatigue recovery

GONG Cheng, ZHANG Hongbo

(School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Taking the manual welding work as the research object, this paper analyzes its harmful gases, solar radiation, static job hazards, and mine operating environment risk factors. It also puts forward the corresponding countermeasures. It obtained the time required for recovery of 10,30,50 s periods of operation of three different postures of standing, squatting and sitting by using fatigue and recovery analysis program of JACK human-computer simulation. It shows that squatting is most harmful in manual welding work postures, and sitting posture has the smallest fatigue. By changing the angle of inclination of the back under a different posture, the change of the recovery time is different. This paper also provides a supporting evidence for human studies of static operations.

Key words: manual welding; harmful; fatigue; recovery

电焊作业是机械制造业及矿井作业中一个常见且重要的工艺过程,它涉及了车辆制造业、船只制造业、锅炉、化工设备、矿山设备等众多制造领域.而手工电焊则是人工直接参与的一些机械无法完成或没有必要使用机械的电焊工作,它在焊条与被焊金属之间的高温电弧融化金属的同时根据材料的不同会产生不同的有害的气体及气溶胶,电焊的工作过程中也会产生各种种类的光刺激人体,同时长时间的固定姿势的电焊作业会使人发生疲劳并造成下背痛等骨骼肌肉职业病,特别是在井下这种特殊环境下,职业病的病症更容易加重并可能引发严重的事故.

1 岗位疲劳分析

1.1 有害气体分析

电焊作业时焊药和焊芯在高温下会产生一定比例的气溶胶,如铁的氧化物和一定比例的硅、锰、钙等

氧化物,作业的同时也会有少量的刺激性有害气体如 CO, H₂S 等. 电焊的气溶胶分散度及生物活性会明显高于其他的粉尘,根据不同的焊条其气溶胶组成的部分变化也会非常显著. 一般情况电焊的气溶胶颗粒大小从 0.08 ~ 1.00 μm 不等^[1], Yu 等^[2]做了大鼠在某电焊烟发生系统下的呼吸道病理组织检查,实验结果表明了烟尘的粒子直径均数为 0.1 μm 且主要发生在气管、主支气管及肺内的各级支气管. 电焊烟尘在下呼吸道大量积累会随着时间的推移导致免疫能力的衰落且肺功能也会因为长时间接触而降低即造成肺部疲劳.

王先良^[3]在对电焊工体内的微量多种金属与神经系统的关系研究发现了气溶胶进入人体后对人体神经系统的不同损害,并确定了氧化应激在电焊工的神经系统损伤中发挥着重要的作用. 且近期大量研究发现,电焊产生的气体危害会影响人体判断的准确度,例如记忆、分析、判断等外界信息的接收与反馈功能,主要反映在神经性的生理、心理异常,导致精神疲劳.

1.2 光刺激分析

电焊作业时,高温电弧可以产生红外线、可见光及紫外线. 对人体危害最大的是可见光及紫外线,其中紫外线虽不可见,但是照射人体或者生物体后会使其发生生理变化,造成眼部疲劳,包括病变(电光性皮炎及电光性眼炎)等^[4]. 紫外线中的长波紫外线会照成人体皮肤的色素沉着导致皮肤变黑. 徐岩等^[5]研究了电焊紫外线辐射对工人的危害,不仅对眼睛的辐射容易造成眼部疲劳,严重照射对面部及手部皮肤更容易造成损害,体征最多的为灼热刺痛、皮肤痒及色素沉着,眼部损伤体征最多的为疼痛、畏光流泪及视物模糊. 作业时的可见强光如果刺激眼睛会照成偶尔性失明,长久遭受刺激可能会对眼睛照成永久性损害例如光电性眼炎等.

1.3 长时间静态动作危害

手工电焊作业基本为静态作业,经常保持一个姿势较长的时间. 两手一般为左手持防护面罩,右手持焊钳操作. 曲延蓉等^[6]研究了某外企长期坐位手动作业工人的肩痛患病现象并提出中和防护措施. 杨泽等^[7]研究得出坐姿下工人主要是下背部、双肩部疼痛和脚肿,站姿下工人主要是中背部、下背部和小腿部的疼痛,疲乏感及视觉紧张几乎涉及到所有静态作业姿势的手工元件工人. Ayari^[8]等研究了坐姿下震动对腰椎动态应力的改变从而会产生不良健康风险.

手工电焊作业姿势基本可分为蹲姿、坐姿和站姿. 现代电焊面罩多为优质 PP 材质,重量较轻,但焊钳质量从 0.3 ~ 0.8 kg 不等,虽然手持质量不高,瞬间下背部力矩不会超过 NIOSH^[9] 规定限值,长时间的静态操作没有合理时间休息也会照成人体疲劳,工作效率降低,失误率提高等. 手工电焊是在强电流下的高电压高辐射高污染工作,任何工作失误都可能带来极大的安全隐患. 第 3 节笔者就将通过电焊的 3 种基本操作姿势结合 JACK 人机软件给出合理的工作及休息时间.

1.4 矿井手工电焊作业分析

在矿井的手工电焊作业对比地面作业环境有很大的差别,不仅静态作业照成的人体疲劳会带来作业安全隐患,而且矿井作业需考虑周边粉尘、煤尘及瓦斯含量浓度,由于电焊作业产生高温电弧,这些易燃易爆气体粉尘在爆炸最低极限值之上时可能会照成燃爆事故. 同时井下渗水也是矿井常见现象,而电焊作业属于大电流作业,如果在电焊作业前没有确定周边有无水分,那么极有可能发生遇水短路事件,或对人体照成触电伤害. 混合矿井下的易燃易爆气体,在 1.1 中所提到的电焊作业产生的 CO, H₂S 等也将会大大加大矿井安全隐患. 因此,正确对待工人疲劳现象不仅能提高工人的反应能力及时发现隐患,同时也防范了事故的发生.

1.5 应对措施

1) 对于有害气体对人体产生的危害,并造成人体呼吸道及神经疲劳,应当注意呼吸道防护,从人机环 3 个方面考虑:(1) 佩戴安全劳保用品、定期体检、增强工人安全防护意识及气溶胶危害认知;(2) 改善焊接材料,使得产生气体对人体伤害降低;(3) 增强环境通风,不仅要求每个工位有上吸式抽风机,而且在总体整个工作环境下要有一个较大的通风及空气循环系统.

2) 对于光对人体的刺激产生的眼部疲劳及皮肤损伤,可以使用挡光板除去相邻工作岗位上带来的可见光刺痛感;对于紫外线对人体的生理影响,不仅要佩戴防紫外线眼镜,身体方面防护服等劳保用品都必须严格要求.

4) 对于静态手工电焊作业,要选定合适的休息时间及作业时间,让长时间的疲劳感得到合适的释放,避免骨骼肌肉疾病的发生.

5) 对于矿井作业的危害,要做到以下几点应对措施:(1) 实时监控电焊周边易爆气体、粉尘浓度并设

立安全报警装置,一般监控控制在 10 m 以内^[10]; (2) 在电焊工作前确保作业点是否有水分; (3) 工人着装可做防触电处理; (4) 加强手工电焊工作期间的通风。

2 基于 JACK 的 3 种工作姿势疲劳恢复模拟研究

基于手工电焊作业工人经常长时间处于一种姿势, JACK 是现代人机工效学中最常用的人机模拟软件之一, 其中的 Fatigue and Recovery (疲劳恢复分析, 下简称 F&R) 可以分析某一种工作是否给以足够的时间去缓解疲劳。可以在工作实际休息时间数据下计算得出每个工作需要的休息时间并与其对比。F&R (图 1) 可对员工的某一个姿势或者连续的动作导致的疲劳状况进行分析, 帮助人们对工序和设备进行修改并且找出一个连续工作过程中员工最需要休息的动作。

F&R 旨在判断工作时间和休息时间是否安排合理。人一旦停止活动, 就会进入身体恢复过程。通过设置合适的恢复时间就可以使得疲劳消失。

休息时间计算方法:

设作业时机能耗率为 M , 工作日总工时为 T , 实际劳动时间为 T_{work} , 休息时间为 T_{rest} 则有:

$$T = T_{work} + T_{rest};$$

$$T_r = T_{rest}/T_{work};$$

$$T_w = T_{work}/T.$$

式中, T_r : 休息率; T_w : 实际劳动率。

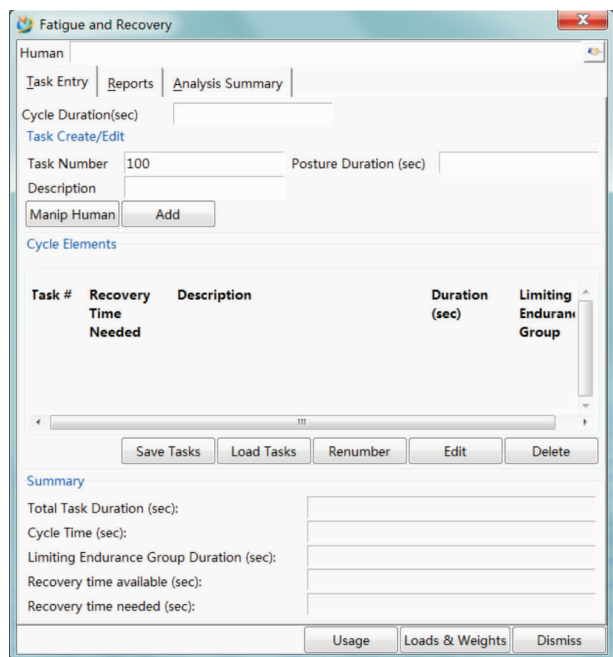


图 1 疲劳恢复分析界面

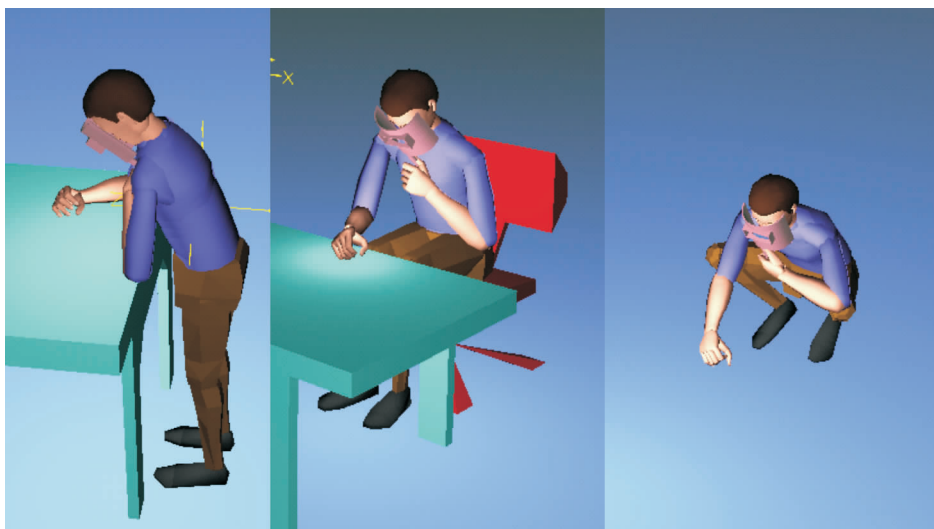


图 2 站姿作业

图 3 坐姿作业

图 4 蹲姿作业

笔者建立 JACK 模拟环境, 模拟人在 3 种姿势下的作业并分析作业时间与恢复时间。人体数据为 1989 年基于中国 18 ~ 60 岁男性的成人男性人体的数据 (国标 10000 - 88), 取 50 百分位身高 (167.8 cm) 及体重 (59 kg)。虽然 JACK 系统里预先设定有站姿、坐姿及各种工作姿势, 但还是要根据手工电焊具体情况进行调整, 本文主要对头部、背部及手肘部进行调节以符合最佳观察姿势。并设置右手持手工焊钳为 0.5 kg, 左手持面罩为 0.2 kg。并设置 10, 30, 50 s 静态工作时间, 可求出疲劳需恢复时间。

2.1 站姿作业疲

站姿作业是较为常见手工电焊工序, 长时间的流水线电焊工作中工人经常以站姿作业, 作业方式灵活, 电焊件通常置于桌面。笔者设置模拟人站立: 背部前倾 30°, 头部前倾 55° 进行分析 (图 2)。通过 F&R 可以得

出,工作 10 s 需要 0.18 s 恢复时间,工作 30 s 需要 2.46 s 恢复时间,工作 50 s 需要 8.40 s 恢复时间.可以看出,工作时间越长,所需恢复时间越多,且恢复时间与工作时间的增长不是线性关系.使用 OWAS 工作姿势评级属于二级即该工作姿势可能对肌肉骨骼系统产生有害影响,但是骨骼肌肉负重并不超过极限,推荐采用更好的工作姿势.于是调整背部前倾程度为 20° ,发现 50 s 工作时间所需恢复时间减短为 3.10 s.

2.2 坐姿作业

一般电焊坐姿作业人体较为轻松,但是拿取材料等常规操作通常没有站姿方便,特别是在高频率的工作条件下坐姿焊接少见,一般见于小型焊件的焊接.笔者设置模拟人坐立姿势:背部前倾 30° ,头部前倾 50° 进行分析(图 3).通过 F&R 得出,无论工作时间为多长,都无需恢复时间.使用 OWAS 评级同样属于二级.当调整坐姿为背部倾斜 0° 时,OWAS 工作姿势评级变为一级即工作姿势正常且自然,该姿势下的骨骼肌肉负重可接受,无需调整.

2.3 蹲姿作业

对于特殊要求的一些手工电焊工序,要求操作人员必须以蹲姿进行操作,例如焊件本身处于较低位置.笔者设置模拟人蹲姿(图 3):背部向前倾斜 45° ,头部与背部平齐,进行分析.通过 F&R 可以得出工作 10 s 需要 10.50 s 恢复时间,工作 30 s 需要 146.30 s 恢复时间,工作 50 s 需要 498.60 s 恢复时间.使用 OWAS 工作姿势评级属于三级即该姿势容易造成骨骼肌肉系统损伤,且需尽快调整.于是调整背部倾斜度为 50° ,头部 50° 倾斜,发现 50 s 工作时间所需恢复时间减短为 484.10 s.而背部倾斜度减小为 20° 时,50 s 工作时间所需恢复时间增加为 664.60 s.

综合以上 3 种作业姿势;坐姿是最好的且无需恢复时间的姿势;蹲姿作业相同工作时间内需恢复时间较高,表明姿势的危害程度较大,且背部倾斜程度越低所需恢复时间越高;站姿作业相同工作时间内需恢复时间较少,虽表明其危害度不大,但也需要安排适当的休息时间,且站姿作业背部倾斜程度越低,所需恢复时间越低,与蹲姿作业相反.

3 结论

1) 静态站姿电焊作业需保证一定的休息时间,工作姿势可能会对肌肉骨骼系统产生有害影响,且静态站姿下背部前倾角度缩小,所需恢复时间也会相应减小;静态坐姿电焊作业无需休息时间,即对人体骨骼肌肉系统基本无影响;静态蹲姿电焊作业需要相对较长的休息时间,即表明其对骨骼肌肉系统影响较大,工作姿势容易造成骨骼肌肉系统损伤,且静态蹲姿下背部前倾角缩小,所需恢复时间会相应增大.

2) 没有具体探究背部前倾角度缩小,站姿与蹲姿的恢复时间变化为何相反.结合人体结构力学可以进一步探讨其中的关系.

3) JACK 人机工效软件还有更多实用工具,例如:下背部分析工具、快速上肢检查工具、能量消耗计算等.进一步使用这些工具做更深层次的研究与观察可以更加全面的了解手工电焊作业的人体疲劳规律,完善整个疲劳体系研究.

参考文献:

- [1] 石小飞. 某金属线切割车间气溶胶颗粒特征分析及其毒效应研究[D]. 衡阳:南华大学,2014.
- [2] 王先良. 电焊对作业工人健康的影响[J]. 国外医学(卫生学分册),2003(1):4-8.
- [3] 王先良. 电焊工体内铅、镉、锰等金属水平与其神经系统改变的关系[D]. 合肥:安徽医科大学,2003.
- [4] 唐立飒. 紫外线对人体的危害[J]. 国外医学(社会医学分册),1998(4):180-181.
- [5] 徐岩,宫曼漫,王姣,等. 电焊紫外辐射对工人危害及防护措施现状调查[J]. 北京大学学报(医学版),2012(3):448-453.
- [6] 曲延蓉,马晓红,徐杰. 某企业静态作业工人肩痛的调查[J]. 中国工业医学杂志,2004(3):195-196.
- [7] 杨泽,于永中,魏一大,等. 静态作业体位对工人身体影响的调查[J]. 卫生研究,1989(3):9-12.
- [8] Ayari H, Thomas M, Dore S, et al. Evaluation of lumbar vertebra injury risk to the seated human body when exposed to vertical vibration[J]. Journal of Sound and Vibration,2009,321(1/2):454-470.
- [9] Jim R. Potvin. Comparing the revised NIOSH lifting equation to the psychophysical, biomechanical and physiological criteria used in its development[J]. International Journal of Industrial Ergonomics,2014,44(2):246-252.
- [10] 马坤. 试析井下电焊安全技术措施[J]. 科技与创新,2015(4):139-140.