

高原地区电力运行维护工人体力劳动强度评价

张尧¹, 刘道福¹, 周鼎伦², 兰亚佳², 黄磊²

摘要: [目的] 测量高原地区工作的电力运行维护(后称“运维”)工人的劳动强度,并评价不同劳动强度的工人心率和血氧饱和度(SaO₂)水平。[方法] 选择不同海拔高原地区的38名在岗变电站运维和线路运维工人作为调查对象,分别测量并计算不同工种、不同动作类型工人劳动强度指标及SaO₂和心率。[结果] 海拔3600m变电站运维工人、4200m变电站运维工人和线路运维工人的劳动强度指数分别为14.1、12.4和23.6;线路运维工人劳动强度最大的动作类型是爬山和爬塔,其单项动作能量消耗率分别为3.48和3.22 kJ/(min·m²)。休息状态下,3600~3900m和4200m海拔作业工人的SaO₂和心率相差不大。工作状态下,变电站运维工人SaO₂和心率均未超过国家卫生学限值;1名线路运维工人的SaO₂低于85%,3名心率超过150次/min。[结论] 高原地区变电站运维和线路运维工人的体力劳动强度分别为Ⅰ级和Ⅲ级;爬山和爬塔两个单项动作的劳动强度大,存在工人心率和SaO₂超出国家卫生学限值的情况。

关键词: 高原; 电力运维工人; 劳动强度; 心率; 血氧饱和度

Evaluation on Physical Work Intensity of Electrical Maintenance Workers in Plateau ZHANG Yao¹, LIU Dao-fu¹, ZHOU Ding-lun², LAN Ya-jia², HUANG Lei² (1. Administration Office of Industrial Hygiene, Sichuan Electrical Power Hospital, Sichuan 610065, China; 2. West China School of Public Health, Sichuan University, Sichuan 610041, China). Address correspondence to ZHOU Ding-lun, E-mail: zhou ding lun@163.com · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To measure the physical work intensity of electrical maintenance workers working in plateau, and evaluate the heart rate and arterial oxygen saturation (SaO₂) in workers performing varied physical work intensities. [Methods] Thirty-eight workers currently performing electrical maintenance tasks in plateaus with different altitudes were recruited, including transformer station maintenance workers and field wire maintenance workers. Physical work intensity indices, SaO₂, and heart rates in workers with different types of work and types of action were measured and calculated respectively. [Results] The intensity indices of physical work of transformer station workers at 3600m altitude and at 4200m altitude and of field wire maintenance workers were 14.1, 12.4, and 23.6 respectively. Mountain hiking and steel tower climbing were the two types of action with extraordinary high energy metabolic rates of 3.48 and 3.22 kJ/(min·m²) respectively. The SaO₂ and heart rate at 3600-3900m altitude were similar to those at 4200m in state of rest. In state of working, the SaO₂ and heart rates were within the national occupational health limits. Instead, one wire maintenance worker reported SaO₂ lower than 85%, and three others' heart rates were more than 150 beats/min. [Conclusion] The physical work intensities of transformer station maintenance workers and field wire maintenance workers in plateaus are classified as Ⅰ and Ⅲ respectively. Specifically, mountain hiking and steel tower climbing have the leading two values in intensity index, which cause heart rate and SaO₂ exceeding relevant national standards.

Key Words: plateau; electrical maintenance worker; work intensity; heart rate; arterial oxygen saturation

在高原低氧环境下从事体力劳动,可加重机体的缺氧程度和生理负荷,使个体的劳动能力下降^[1-5],尤其是重体力劳动,可诱发个体出现重症高原反应,导致肺水肿和脑水肿。目前开展的研究主要集中在军队、青藏铁路建设及列车乘务员等职业^[3-7],尚缺乏

针对电力行业的劳动强度调查。某电网工程地处我国西部,平均海拔3600m以上,地貌以高山大岭为主,山势陡峭,大部分地区处于低气压、缺氧、严寒、大风和强辐射区域,最大风力9~12级,最低温度达-45℃。在此背景下,本调查对在该地区的电力运行维护(以下简称“运维”)工人开展劳动强度调查,并测量其心率、血氧饱和度(SaO₂)等生理指标,从劳动强度指数和生理指标变化两方面评价高原环境下工人的体力劳动强度,为建立适合我国高海拔地区的劳动保护和劳动作业制度提供基础资料。

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2015.15321

[作者简介] 张尧(1987—),男,学士,医师;研究方向:高原劳动卫生;
E-mail: 87499005@qq.com

[通信作者] 周鼎伦, E-mail: zhou ding lun@163.com

[作者单位] 1. 四川电力医院工业卫生管理办公室,四川 610065; 2. 四川大学华西公共卫生学院,四川 610041

1 对象与方法

1.1 研究对象

电力运维主要包括变电站运维和线路运维工种。变电站运维工人主要职责是在变电站监控电网运行情况,巡视、维护变电站内电力设备,工作地点相对固定;线路运维工人更多从事野外工作,主要职责是线路巡视和检修,巡视以地面巡视为基本手段,并辅以带电登塔检查等,工作地点海拔高度随地点不同而不同。本次调查采用整群抽样的方法,抽取调查时在岗的38名工作人员进行检测。两个变电站海拔高度分别为3600m和4200m;工作线路平均海拔高度(3800~3900m)。

1.2 研究方法

1.2.1 劳动强度指数计算 根据GBZ/T 189.10—2007《工作场所物理因素测量第10部分:体力劳动强度分级》^[8]测量劳动时间、肺通气量。并根据GBZ 2.2—2007《工业场所有害因素职业接触限值第2部分:物理因素》^[9]计算能量代谢率,包括单项动作能量代谢率和工作日能量代谢率两种。

用观察法和现场询问法,询问工作班组长及作业人员,并跟班观察、记录工作过程,辨识出变电站运维人员和线路运维人员的全部动作类型和作业时间。考虑到工人的工作安排是每天工作24h,连续工作多天的方式,在计算劳动时间率时将该工作方式折算成国家规定的工作时间(每周5d,每天8h工作制),然后再以工种为单位计算各个工种的平均能量代谢率和劳动强度。用肺通气量仪(FT-1型,北京联谊兴通仪器仪表有限公司)测量休息及不同作业动作时的肺通气量,测定时间均在休息时或某一动作结束后5min。依据休息和各单项动作的持续时间分别计算劳动时间率、单项劳动能量代谢率、工作日平均能量代谢率等指标。

考虑到电力线路运维和变电站运维属于高原环境的野外作业,故根据SYT 6358—2008《石油野外作业体力劳动强度分级》^[10]计算其劳动强度指数。劳动强度指数计算公式: $I=T\times M\times S\times W\times 10+T_3+E+P+Sh$ 。式中, I :体力劳动强度指数; T :劳动时间率,%; M :8h工作日平均能量代谢率,kJ/(min·m²); S :性别指数(男性=1,女性=1.3); W :体力劳动方式系数(搬=1,扛=0.40,推/拉=0.05); T_3 :野外作业时间修正值(≤50,>50~75,>75分别为0,1,2); E :作业区域海拔修正值(≤2500m,>2500~3000m,>3000~3500m,>3500~4000m分别为0,1,2,3.5); P :劳动姿势修正值(难适应姿势作业时间率<25%,≥25%分别为

0.75和1;坐姿或动态立姿,静态立姿分别为0,0.5); Sh :工作班制修正值(常日班,三班运转,二班12h运转或8h常夜班分别为0,0.5,1)。

1.2.2 生理指标测量 按照归类动作测量作业人员单项动作生理指标,主要包括心率和SaO₂(YX300指夹式脉搏血氧仪,上海鱼跃)。

1.3 评价标准

劳动强度评价参照SY/T 6358—2008^[10]将体力劳动强度分为五级,I级(轻级):劳动强度指数≤15;II级(中级):15<劳动强度指数≤20;III级(重级):20<劳动强度指数≤25;IV级(很重级):25<劳动强度指数≤30;V级(极重级):劳动强度指数>30。生理指标的评价参照GBZ 2.2—2007^[9],即工作日内从事任何单项体力劳动时,最大心率值不应超过150次/min;工作日8h总能量消耗不应超过6276kJ或7.824kJ/(min·m²)。另外,SaO₂的标准参考文献^[11],即从事体力劳动时SaO₂不低于85%。

1.4 统计学分析

数据录入采用Excel 2010软件,数据清理后导入SPSS 13.0软件进行统计分析,服从正态分布的资料采用均数、标准差描述,检验采用方差分析或 t 检验;不服从正态分布的采用中位数和百分位数描述,检验采用2个或K个独立样本的秩和检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。各项指标均按实测人数计算。

2 结果

2.1 人口学特征

3个工种作业人群均以中青年为主,年龄范围23~47岁;平均工龄10年左右。3组工人年龄和工龄差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

表1 高原地区不同工种电力运维工人的年龄和工龄分布
Table 1 Distribution of age and working age in electric maintenance workers with different types of job in plateau

工种 Type of job	n	年龄(岁) Age(Years)		工龄(年) Working age(Years)	
		范围 Range	$\bar{x}\pm s$	范围 Range	$\bar{x}\pm s$
变电站运维(3600m) Transformer station maintenance(3600m)	11	25~47	32.9±7.2	2~29	11.9±9.3
变电站运维(4200m) Transformer station maintenance(4200m)	10	23~45	29.9±6.2	1~26	8.5±7.9
线路运维 Field wire maintenance	17	23~45	32.4±7.8	1.5~25	10.7±8.3
F		0.409		0.520	
P		0.668		0.599	

2.2 劳动强度评价

表2可见,两个变电站运维工人的劳动强度均属于Ⅰ级,线路运维工人的劳动强度属于Ⅲ级。为了解不同工种劳动强度差异的可能原因,将整个工作进行动作分类,比较不同动作类型劳动时的能量代谢率,见表3。休息、巡视、下山的单项劳动能量消耗率均不高,而爬山和爬塔的劳动能量消耗率很高。爬山的劳动能量消耗率约为休息时的6倍。不同海拔高度比较,处于4200m的高原环境,工人休息时的劳动能量消耗率与3600~3900m差异无统计学意义($P>0.05$);巡视时,在4200m环境工人的劳动能量消耗率高于3600~3900m($P<0.001$),前者约为后者的3倍。

表2 高原地区不同工种电力运维工人的劳动强度

Table 2 Assessment of physical work intensity in electrical maintenance workers with different types of job in plateau

工种 Type of job	<i>n</i>	劳动时间率 (%) Average working time rate	能量代谢率 [kJ/(min·m ²)] Energy metabolic rate	劳动强度 指数 Intensity index of physical work	劳动强度 等级 Classification of physical work intensity
变电站运维(3600m) Transformer station maintenance(3600m)	10	88.38	1.087	14.1	Ⅰ
变电站运维(4200m) Transformer station maintenance(4200m)	9	59.24	1.330	12.4	Ⅰ
线路运维 Field wire maintenance	10	77.1	2.346	23.6	Ⅲ

表3 高原地区不同海拔电力运维工人各类动作的劳动能量消耗率[kJ/(min·m²)]

Table 3 Energy metabolic rates in electrical maintenance workers with different types of action in plateau with varied altitudes

动作类型 Type of action	3600~3900m			4200m			<i>Z</i>	<i>P</i>
	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅		
休息(Rest)	0.59	0.53	0.74	0.67	0.63	0.89	-1.335	0.193
巡视(Patrol)	0.70	0.53	0.99	2.12	1.58	2.45	-3.400	<0.001
爬山(Mountain hiking)	3.48	2.29	4.78	—	—	—	—	—
爬塔(Steel tower climbing)	3.22	1.80	4.60	—	—	—	—	—
下山(Going downhill)	0.83	0.70	1.00	—	—	—	—	—

2.3 生理指标评价

表4可见,不同工种工人能量消耗值从大到小依次为线路运维、4200m变电站运维和3600m变电站运维($\chi^2=10.077$, $P=0.006$)。线路运维的个体差异很大,最小值为510 kJ,最大值达3018 kJ。计算线路运维工种的单项劳动能量消耗值,共测试10人次,最高的为5.392 kJ/(min·m²),未超过GBZ 2.2—2007规定的上限值^[9]。

表5可见,不同海拔地区作业工人的SaO₂差异不大;但劳动强度更大的线路运维工人SaO₂最低

(90.3%),其中1名工人的SaO₂仅为83%,低于卫生学限值(85%),当时该工人正在线路巡视,处于爬山状态。

表4 高原地区不同工种电力运维工人能量消耗值分布(kJ)

Table 4 Distribution of energy consumption in electrical maintenance workers with different types of job in plateau

工种 Type of job	<i>n</i>	最小值 Min	最大值 Max	<i>M</i>	<i>P</i> ₂₅	<i>P</i> ₇₅
变电站运维(3600m) Transformer station maintenance(3600m)	7	490	1363	743	626	1085
变电站运维(4200m) Transformer station maintenance(4200m)	9	770	1732	1009	843	1126
线路运维 Field wire maintenance	10	510	3018	2017	1214	2364

表5 高原地区不同海拔电力运维工人各类作业状态的SaO₂(%)

Table 5 SaO₂ in electrical maintenance workers with different states of job in plateau

作业状态 State	3600~3900m		4200m		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	<i>n</i>	$\bar{x} \pm s$		
休息状态(Rest)	21	93.8 ± 1.7	9	91.7 ± 2.2	1.034	0.310
工作状态(Working)						
变电站运维 Transformer station maintenance	9	91.7 ± 2.3	9	91.0 ± 3.2	0.512	0.616
线路运维 Field wire maintenance	14	90.3 ± 2.9	—	—	—	—

表6可见,在休息状态下,3600~3900m作业工人心率为86.2次/min,4200m是87.7次/min;工作状态下,线路运维工人的心率增加幅度最大,达129.4次/min。变电站运维方面,4200m作业工人的心率升了10.1次/min,而3600~3900m作业工人的心率未出现明显变化。线路运维工人中3人的心率超过了150次/min,占总人数的30%(3/10)。按照国标GBZ 2.2—2007^[9]对单项体力工作的规定,30%的工人在爬山时超过了卫生学限值。

表6 高原地区不同海拔电力运维工人各类作业状态的心率(次/min)

Table 6 Heart rates in electrical maintenance workers with different states of job in plateau

作业状态 State	3600~3900m		4200m		<i>t</i>	<i>P</i>
	<i>n</i>	$\bar{x} \pm s$	<i>n</i>	$\bar{x} \pm s$		
休息状态(Rest)	21	86.2 ± 9.1	9	87.7 ± 9.1	-0.394	0.696
工作状态(Working)						
变电站运维 Transformer station maintenance	9	86.3 ± 14.3	9	97.8 ± 15.0	-1.655	0.117
线路运维 Field wire maintenance	14	129.4 ± 19.3	—	—	—	—

3 讨论

目前,国内关于体力劳动强度分级有三个标准,分别是GBZ/T 189.10—2007^[8]、SY/T 6358—2008^[10]、TB/T 2607—2006《铁道行业体力劳动强度分级》^[12]。第一个是国家标准,其余两个是行业标准。比较这三个标准发现,其共同点在于能量代谢率的计算方式相同,不同之处在于计算劳动强度指数的方式以及划分劳动强度分级的标准存在差异。本调查在评价作业工人的劳动强度时,采用的是SY/T 6358—2008^[10],理由如下:该标准是在国家标准的基础上,增加了一些影响野外作业的因素,如海拔、工作班等,符合本次调查作业工人的工种性质和工作特点;另外,该标准在国家标准四个层级的基础上增加了一个层级,较国家标准更为细致。然而,该标准没有充分考虑高原环境下电力运维作业的体力劳动特点,不能完全适用于电力行业。本研究在评价高原地区电力运维人员劳动强度的同时,也为研究适用于该行业的技术标准积累基础数据。

劳动强度评价发现,线路运维工人的劳动强度为Ⅲ级,大于变电站运维工人(Ⅰ级)。这种差异是由两种工种的工作方式不同所决定的。变电站运维的作业特点是以视屏监控为主,巡视和检修也多为平地行走;线路运维工人需要野外作业,爬山和爬塔是该工种的两项典型劳动。多数基塔建在半山腰或山顶,距离公路较远,甚至需要工人翻越数座山,这些均增加了工人的劳动强度。另外,线路运维工人爬山时还需要背负一个工具包,里面装有望远镜、步话机、安全绳、扳手等十余样工具,重量约8kg,属于负重劳动。

本次调查发现,线路运维工人的单项动作(爬山和爬塔)的能量消耗率最高,分别为3.48和3.22kJ/(min·m²),均低于GBZ 2.2—2007规定的7.824kJ/(min·m²)。然而,心率和SaO₂指标,10例样本中,分别有3例和1例出现超出卫生学限值的情况,说明劳动强度较大。由此可看出,能量消耗率和生理指标(心率、SaO₂)之间一致性不佳。这种矛盾的结果是否预示着现有的能量消耗率计算公式不一定适用于高原环境,值得进一步开展研究。于永中等^[13]的研究也对我国现行的劳动强度指数计算和评价提出了质疑。另外,目前国家和行业标准在评价体力劳动强度时,均只考虑劳动强度指数。该指标是衡量一个工作日的体力劳动强度,并没有考虑单个动作的劳动强度,对于平原体力劳动来说也许是合适的,但对于高原环境而言就没有考虑到高强度体力劳动强度诱发急性高原反应的情况。由此

建议,在高原环境下,为更好地保护劳动者的身体健康,劳动强度评价除了现有的衡量工作日的劳动强度指数外,还需补充衡量单项动作劳动强度的指标,避免因短时间的高强度劳动诱发急性高原反应。

综上,高原环境下电力运维工人的体力劳动强度存在工种间的差别,变电站运维属于Ⅰ级劳动强度,线路运维属于Ⅲ级等级。线路运维工人爬山和爬塔动作的能量消耗率高,对其生理指标的影响尤其明显。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1] 张世杰, 李建国, 宋长平, 等. 高原体力劳动强度分级标准研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1994, 12(2): 112-114.
- [2] West J B, Boyer S J, Graber D J, et al. Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest[J]. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1983, 9(55): 688-98.
- [3] 叶玉华, 施红生, 赵亚霖, 等. 青藏铁路施工体力劳动强度分级研究[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2004, 31(4): 181-184.
- [4] 李岳, 吴扬帆. 高原地区养路工体力劳动强度分级调查研究[J]. 环境与职业医学, 2006, 23(4): 355-356.
- [5] 齐凯一, 叶新贵, 施红生. 青藏高原铁路施工重点工种、岗位劳动强度调查研究[J]. 卫生研究, 2003, 32(5): 480-482.
- [6] 李文选, 汪济民, 窦兰君, 等. 军事体力劳动强度评价和分级标准的研究[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1997, 15(2): 97-99.
- [7] 周玮, 叶玉华, 施红生, 等. 青藏铁路列车乘务人员体力劳动强度分级的研究[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2008, 35(6): 271-274.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 189.10—2007 工作场所物理因素测量 第10部分: 体力劳动强度分级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GBZ 2.2—2007 工业场所有害因素职业接触限值第2部分: 物理因素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] 国家发展和改革委员会. SY/T 6358—2008 石油野外作业体力劳动强度分级[S]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [11] 张彦博, 汪源, 刘学良, 等. 人与高原[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1996: 320-321.
- [12] 中华人民共和国铁道部. TB/T 2607—2006 铁道行业体力劳动强度分级[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [13] 于永中, 赵容. 体力劳动强度分级标准的商榷[J]. 中国卫生工程学, 2004, 3(1): 14-15.

(收稿日期: 2015-04-27)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 洪琪; 校对: 王晓宇)