

浅谈工作场所工频电磁场的测量方法

徐国勇，陈青松

(广东省职业病防治院/广东省职业病防治重点实验室，广东 广州 510300)

关键词：工频电场；工频磁场；测量
中图分类号：R134.1 **文献标识码：**C
文章编号：1002-221X(2017)01-0067-03
DOI:10.13631/j.cnki.zgggyx.2017.01.027

工频电磁场广泛存在于各种工作环境中^[1]，其中电力行业的发电厂、变电站中的部分设备产生较稳定的工频电场或磁场^[2,3]，而汽车及其零部件等行业中存在的点焊设备则产生变化较大的工频磁场^[4]。针对目前 100 kHz 以下电磁场职业接触限值不完善的现状，课题组前期进行了卫生标准制（修）订项目《100 kHz 以下电磁场职业接触限值》的研制，规定了 100 kHz 以下电场和磁场的短间接触限值和峰值，同时保留了《工作场所所有害因素职业接触限值 第 2 部分：物理因素》（GBZ 2.2—2007）中工频电场的 8 h 职业接触限值。目前，我国并无适用于各种工作场所的工频电磁场的测量方法，而国内外有众多相关的标准。我们前期对国内外有关工频电磁场的测量方法的研究进展进行了综述^[5]，现针对电场和磁场的短间接触限值以及电场 8 h 接触限值，在分析国内外相关标准的基础上，结合我国目前的仪器情况、现场情况和检测现状，从测量仪器、位置、取值方式、注意事项、长时间接触工频电场的调查和计算以及原始记录等六个方面探讨适

用于我国各种工作场所的工频电磁场的测量方法。

1 测量仪器

在仪器类型方面，众多国内外标准均指出应该优先选择三相的能准确响应均方根值的设备。配置三相式感应器的仪器使用较方便，可以直接读数。单相的仪器如满足现场测量的要求也可使用，但需读取三个轴向的值，并通过公式（1）计算三个轴向的加权值。同时，在前期开展的工频电磁场测量仪器比对中发现^[6]，由于邻近效应的影响，未配备远程读数系统的工频电场测量仪器需手持，测量结果明显高于配备远程读数系统的测量仪器。建议职业卫生技术服务机构尽可能购置具有远程读数系统的检测设备。

$$V=\sqrt{V_x^2+V_y^2+V_z^2}$$
 (1)

在仪器量程方面，我国职业卫生标准《工作场所物理因素测量 第 3 部分：工频电场》（GBZ/T 189.3—2007）规定，高灵敏球型偶极子场强仪测量范围为 0.003~100.000 kV/m，其他类型场强仪的最低测量限应低于 0.050 kV/m；电力行业标准《电力行业劳动环境监测技术规范 第 7 部分：工频电场、磁场监测》（DL/T 799.7—2010）规定仪器的测量范围磁场为 10 nT~10 mT，电场为 0.003~100.000 kV/m。

目前常见的工频电场/磁场测量仪器见表 1。

表 1 常用工频电场/磁场测量仪器及参数

仪器型号	公司	响应频率	电场量程	磁场量程
NBM550	德国 NADRA 公司	5Hz~100kHz	0.01V/m~100kV/m	0.001μT~10mT
PMM8053	德国 PMM 公司	5Hz~100kHz	0.01V/m~100kV/m	0.001μT~10mT
HI-3604	美国 Holaday 公司	30Hz~2 000Hz	1V/m~200kV/m	0.02μT~2mT
NF-5035	德国 AARONIA 公司	1Hz~30MHz	0.1V/m~20kV/m	0.001μT~2mT
RJ-5	建德梅城公司	30Hz~2000Hz	1V/m~20kV/m	—
H-3A	北京宏昌信公司	30Hz~100Hz	20V/m~200kV/m	—

由表 1 可以看出，目前常见的工频电场/磁场测量仪器中只有 NBM550 和 PMM8053 能完全满足 DL/T 799.7—2010 规定的仪器量程范围。为了能够较方便地开展测量工作，仪器量程可只需符合现有工频电磁场测量标准或规范所规定的限值要求。

2 测量位置

测量位置应布置在存在电磁场的有代表性的作业点。不同国家和组织对测量时探头的高度要求不同，可针对不同工

作场所的电磁场源确定测量位置。如电力行业的电磁场源主要为巡检位上方的高压输电线，作业人员头部接触的电磁场强度最高，因此可只测量头部位^[2,3]；点焊作业的电磁场源主要为焊机电极，作业人员操作悬挂式点焊机时头、胸、腹部位均可能接触到较高的磁场，前期调查测量结果提示点焊作业岗位腹部位的工频磁场高于头、胸部位（ $P<0.05$ ），但部分岗位最高值出现在头部或胸部^[4]，因此建议对于点焊作业，特别是使用悬挂式点焊机的作业，应对头、胸、腹三个部位分别进行测量。

3 取值方式

大多数测量标准均规定测量时取均方根值。部分标准规定在稳定状态可以直接取值，但未说明何种情况为稳定状态。电力行业中的电磁场源电流、电压均较稳定，其产生的电磁

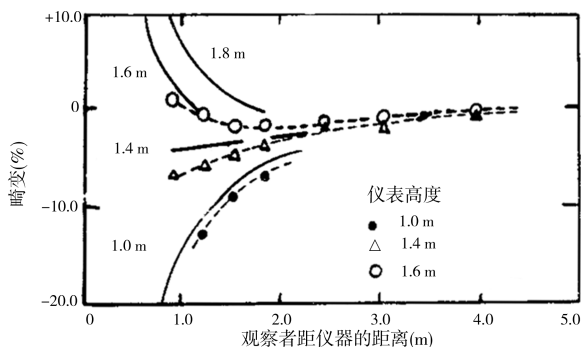
收稿日期：2016-04-15；修回日期：2016-09-20
基金项目：2013 年卫生标准制（修）订项目（20130203）；广东省职业病防治重点实验室（2012A061400007）
作者简介：徐国勇（1983—），男，医学硕士，副主任医师，主要从事职业卫生相关工作。
通信作者：陈青松，副主任医师，E-mail: qingsongchen@aliyun.com。

场亦较稳定,因此每个测点可直接读取稳定状态的值^[2,3];而点焊作业因瞬间电流升高造成磁场瞬间升高,读数起伏较大,现场环境工频电磁场不稳定,在这种情况下应读取电磁场 6 min 的均方根值^[4]。

4 注意事项

4.1 邻近效应的影响

工频电场强度在空间任一点都是一个有大小和方向的矢量,当有导电物体(包括人体)介入其间的情况下,原电场在量值和方向上都会发生改变,并形成变异的新电场,使原电场在物体表面及其附近产生很大的畸变,所谓邻近效应。不同标准规定的为避免邻近效应的距离不同。《Measurement of power-frequency electric field》(IEC 60833—1987)和我国国家标准《工频电场测量》[GB/T 12720—91(参考 IEC 60833)]提到,当观察者距离探头位置约 2 m,探头位置高于地面 1.4 m 时会产生 3% 的邻近效应。见图 1。



注:—为理论值;---为在输电线下实测值。

图 1 1.8 m 观察者与仪器的距离、探头高度和引起相应畸变率的关系

在测量电场时,建议测量者尽可能使用具有远程读数系统的检测设备,将探头支撑在绝缘柱体上,做到人体和探头的分隔,且测量者和其他人应远离测量探头 2 m 以外,以避免或减少电场的畸变。人的存在不影响磁场测量结果,因此测量磁场时不需要考虑人与探头之间的距离。

4.2 环境温湿度

众多标准均提到测量电磁场时环境温度 $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会对结果产生一定的影响,因此建议测量时环境温度在 $0\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

关于环境湿度,GBZ/T 189.3—2007 规定测量时相对湿度应小于 60%。《Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings—special requirements for instruments and guidance for measurement》(IEC 61786—1998)则建议仪器应在湿度为 5%~95% 的环境中操作,与测量仪器说明书探头不冷凝的相对湿度一致。IEC 60833—1987 认为,在高湿度情况下仪器探头外壳表面会形成凝露层,可能使场强仪的两个传感电极之间产生很大的泄漏电流,导致内部的测量回路局部短路,建议测量电磁场时的相对湿度应低于 80%。《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》(DL/T 988—2005)和 DL/T 799.7—2010 亦规定为避免通过测量仪表的支架泄漏电流,测量电磁场时的相对湿度应低于

80%。各标准的规定并不统一。

我国东南沿海多个地方的相对湿度长期在 60% 以上,如果按照 GBZ/T 189.3—2007 的规定执行,则对东南沿海地区工频电磁场的测量工作带来很大的不便。相对湿度较高时作业人员在高压输电线附近进行测量可能会有触电的风险,因此不能完全按照 IEC 61786—1998 的规定。而按照另外 3 份标准相对湿度低于 80% 的规定,既可避免湿度造成的影响,又可在仪器不冷凝的范围内,保证操作人员的安全。建议测量时环境相对湿度应低于 80%,以利于测量方法的普及。

4.3 测量电场时的其它干扰

根据电磁场物理特性,周围环境中带电传导的物体会引起电场的畸变,以致测量结果不准确。因此,为减少误差,测量仪器应选择没有电传导的支架(如干燥的木质、塑料支架等)进行固定。同时测量地点应比较平坦,且无多余的物体。对不能移开的物体应记录其尺寸及其与探头的相对位置,并补充测量离物体不同距离处的场强。国内外众多标准均对该条款进行了规定。

5 长时间接触工频电场的调查及计算

为了解类似发电厂、供电企业等巡检作业人员 8 h 接触的电场强度,需在测量前进行现场调查,了解电磁场源位置、大小、电流、电压等,接触人员作业方式、工作制度、防护情况等。通过调查结果选择测量对象和数量,确定测量评估方案。相同或类似的测点可依据 GBZ/T 189.3—2007 按电磁场源进行抽样,参考《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ/T 159—2004)的抽样原则,相同型号、相同防护、相同电流电压的设备,数量为 1~3 台时测量 1 台设备附近的测点,4~10 台时测量 2 台,10 台以上至少测量 3 台。依据 GBZ/T 189.3—2007 不同型号、不同防护或不同电流电压的设备应分别测量。根据现场测量结果及调查所得的作业人员在不同设备或不同区域的停留时间,根据电磁场的特性,以均方根的计算方法通过公式(2)计算作业人员接触的工频电场 8 h 时间加权平均值。

$$E_8 = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n E_i^2 \cdot T_i} \quad (2)$$

式中: E_8 为工频电场 8 h 时间加权平均值; E_i 为时间段 T_i 内的工频电场强度; T_i 为 i 时间段的接触时间; T_0 取 8 h。

6 测量原始记录的主要内容

为保证测量结果的可追溯性,测量时除应满足计量认证的要求外还需记录可能影响测量结果的其它因素,如测量所用的仪器和探头型号、最近一次校准日期、测量部位(头、胸或腹部)、测点与电磁场源的距离、测量时的周围环境和气象条件、物体的平面布局图等。

参考文献:

- [1] 陈青松,晏华,徐国勇,等. 50 家企业工频电磁场职业暴露现状调查 [J]. 中国职业医学, 2009, 36 (1): 27-29.
- [2] 黎世林,徐国勇,陈青松,等. 发电厂作业人员工频电磁场职业暴露现状调查 [J]. 职业卫生与应急救援, 2012, 30 (3): 131-133, 146.
- [3] 陈青松,杨晓瑛,李润琴,等. 供电企业工频电磁场职业暴露现

- 况的调查研究 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2012, 30 (8): 575-578.
- [4] 徐国勇, 陈青松, 赖明珍, 等. 汽车制造相关企业点焊作业工频磁场职业接触现状调查 [J]. 中国职业医学, 2014, 41 (3): 255-259.

- [5] 徐国勇, 陈青松, 黄汉林. 工频电磁场测量方法研究进展 [J]. 中国职业医学, 2015, 42 (2): 221-224.
- [6] 徐国勇, 陈青松, 赖明珍, 等. 工作场所工频电磁场测量仪器实验室间比对研究 [J]. 中国职业医学, 2016, 43 (1): 65-68.

我国职业性尘肺病诊断标准的演变和发展

王峥, 张建芳, 钱青俊

(国家安全生产监督管理总局职业安全卫生研究中心, 北京 102308)

关键词: 尘肺; 诊断标准

中图分类号: R135.2 **文献标识码:** C

文章编号: 1002-221X(2017)01-0069-03

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2017.01.028

根据国家卫生计生委的统计, 2014 年全国 30 个省 (自治区)、直辖市共报告职业病 29 972 例, 其中职业性尘肺病 26 873 例, 职业性尘肺病约占全部职业病病例的九成, 并且每年还以近 30 000 例的速度递增^[1]。由此可见职业性尘肺病仍是我国职业危害最严重的职业病。为保障广大劳动者的权益, 我国早在 1963 年就出台了《矽肺 X 线分期及其诊断标准》, 并先后修订了 5 次, 最近一次修订的《职业性尘肺病的诊断》(GBZ 70—2015) 于 2016 年 5 月 1 日正式实施。至此, 我国已经形成了一整套既与国际尘肺病 X 线分类接轨、又有中国特色的较为完善的尘肺病诊断标准体系。为更好地理解和准确应用 GBZ 70—2015, 现对我国尘肺病 X 线诊断标准历次修订情况及主要内容作简要的回顾。

1 《矽肺 X 线分期及其诊断标准》(1963 年)

国际上最早制定矽肺分类法的国家为南非 (1916 年), 1930 年以后国际劳工组织 (International Labor Organization, ILO) 多次召开会议, 对矽肺病的分类办法进行了数次讨论, 希望达成一个国际通用的标准, 直到 1950 年才形成了矽肺病 X 线分类的雏形 (ILO 1950)^[2], 使矽肺的分类由综合分类向单一 X 线影像分类转变。在我国, 经过老一辈医学专家的不懈努力, 1963 年《矽肺 X 线分期及其诊断标准》正式公布, 确定了我国矽肺病三期分级的基本框架。此标准不仅为矽肺病诊断和分期提供了科学依据, 同时也成为矽肺病人获得工伤赔偿的重要依据。

《矽肺 X 线分期及其诊断标准》(1963 年) 诊断分期以职业史和质量合格的 X 线片为依据, 以两肺内是否出现肯定的特征性小结节作为确诊矽肺的最基本标准, 以小结节分布范围的多少和有无直径 > 2 cm 的融合块将矽肺级别分成三期。这种分期大致与疾病的发展过程和病理改变一致, 基本上体现了矽肺病的轻重程度^[3]。

2 《尘肺 X 线诊断及处理原则》(GB 5906—1986)

随着矽肺诊断工作的不断开展, 实践中发现 1963 年版有

很多不足之处, 在此分期中只考虑了小结节的分布范围和是否形成大阴影, 忽视了结节的大小、形态、多少等因素对肺组织病理改变的影响, 分期过于笼统简单。同时 1963 年版未考虑其他类型尘肺病, 虽然提出石棉肺和煤工尘肺可以参考矽肺标准进行诊断, 但由于其与矽肺肺内的病理过程有所不同, 胸片表现也有很大差异, 所以在诊断中引起了很多异议^[4]。另外, 标准的分期仅有文字描述, 缺乏直观的影像学标准, 极易造成诊断机构之间读片差异。随着我国与国际接轨及学术交流的需要, 有必要制定一个更为贴近国际尘肺病 X 线分类法 (ILO 1980) 的新标准^[5]。1986 年我国卫生部颁布了《尘肺 X 线诊断及处理原则》(GB 5906—1986), 引入了密集度等一系列国际通用的专业术语, 使诊断中的分期描述更加简练、准确、国际化。

小阴影密集度是指胸片上一定范围内小阴影的数量。密集度的引入使我国尘肺 X 线诊断标准中关于尘肺的分期有了两个依据, 即小阴影的密集度及其分布范围。密集度既与小阴影在肺区的分布多少有关, 又与小阴影的形态和大小有关, 基本上可以对所有不同类型尘肺病引起的肺内 X 线表现进行较准确的描述。GB 5906—1986 在附录 A 中将小阴影的形态分为类圆形小阴影和不规则形小阴影两大类, 并用国际上通用的 p、q、r、s、t、u 符号对小阴影大小进行分类, 使密集度的含义更加丰富和具体。由于密集度是一种视觉上的感知反映, 用文字难以描述清楚, 只有用具体影像学方式表达才更直观、更易理解和接受, 所以我国在 GB 5906—1986 中参照 ILO 1980 的经验制定了诊断标准片, 使文字难以表达的影像学表现有了特有的表达形式, 对提高尘肺诊断质量是一个很大的贡献。

由于 1986 版本对于全肺密集度的判定是以大多数肺区内密集度和以分布范围不少于两个肺区的较高级别密集度为主要判定依据, 与 1963 年的标准相比, 客观上提高了尘肺病的诊断门槛, 如尘肺病壹期的诊断在 1963 年版本中只需要某一肺区内出现确定的小阴影就可以确诊, 但 1986 年壹期尘肺的诊断标准为有密集度 1 级的类圆形小阴影, 分布范围至少在两个肺区内各有一处, 每处直径不小于 2 cm^[6]。

3 《尘肺 X 线诊断及处理原则》(GB 5906—1997)

尽管 GB 5906—1986 诊断标准在原来基础上已经有了很大改进, 但是在 GB 5906—1986 中对胸片质量的要求还不够完善和规范, 采用普通技术拍摄的胸片, 清晰度差, 不利于尘肺病

收稿日期: 2016-08-28; 修回日期: 2016-12-07

作者简介: 王峥 (1978—), 男, 副主任医师, 从事尘肺影像学诊断研究。