

雷达作业环境电磁辐射场强分布特点与防护对策研究

王修德 李奇慧 唐木涛 王骞 顾怡敏

济南军区联勤部疾病预防控制中心 山东 济南 250014

摘要: 目的 了解雷达作业时电磁辐射场强分布特点,为制定卫生防护对策提供依据。方法 按照军用标准有关电磁辐射测量方法,使用电磁辐射场强仪对雷达站作业区和周围环境进行检测评价,计算天线主波束影响范围和安全距离。结果 5 个雷达站作业区机房内有 2 个检测点、机房外有 3 个检测点超过职业暴露限值,生活区 1 个检测点超过环境容许值;雷达周围建筑物均符合主波束安全距离要求。结论 雷达站内辐射主要来自发射设备的泄漏,站外辐射主要来自天线的主波束和副波束影响,随天线旋转而变化。防护对策应包括天线架设、分区管理、设备维护和职业健康监护等。
关键词: 雷达;电磁辐射;场强;防护

Studies of Field Strength Distribution and Protection Strategy on Electromagnetic Radiation of Radar. WANG Xiu-de, LI Qi-hui, TANG Mu-tao, WANG Qian, GU Qia-min. Center for Disease Control and Prevention of Jinan Military Area Command, Jinan 250014 China.

Abstract: **Objective** To investigate the electromagnetic radiation distribution of radar for establishing hygienic protection strategy. **Methods** The power densities were measured in work areas and surroundings of radar stations by electromagnetic field meter according to the relative military standards, and the safe distances from antenna systems were calculated. **Results** The power densities of 2 points inside radar rooms and 3 points outside rooms exceeded the exposure limits in work areas, while 1 point in inhabitant areas exceeded the environment limits in 5 radar stations measured. All buildings surrounding radar stations met the requirements of safe distances. **Conclusion** The radiation in radar room is mainly from the radar equipment leak. But in surrounding environment, the radiation comes from antenna, and varieties with the antenna rotating. The protection strategy should include antenna construction, work-area management, equipment safeguard and occupational health guard.

Key words: Radar; Electromagnetic Radiation; Field Strength; Protection

中图分类号: TL75⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2015)03-03-0193

DOI:10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2015.03.001

雷达在军事、气象、导航等许多领域应用广泛,是重要的军事装备,也是军事作业环境中重要的电磁辐射源。它主要涉及波长为 1 m ~ 1 mm (频率 300 MHz ~ 300 GHz) 的微波段电磁辐射,是雷达作业环境主要的职业危害因素。调查发现长期接触微波辐射的雷达作业人员,可出现眼晶体、外周血象、心电图、生殖系统及神经行为功能改变^[1-2]。了解雷达作业环境电磁辐射分布特点和防护状况,制定有效的防护方案,是保护雷达作业人员健康的根本途径。为此我们对部分类型雷达作业区和周围环境辐射进行了检测与评价,并针对调查与检测发现的问题提出了防护对策和措施。

1 调查对象与方法

1.1 调查对象 共调查 5 个雷达站工作区和生活区环境电磁辐射场强分布状况。雷达均为脉冲辐射雷达,电磁波段包括 X、S 和 C 波段,峰值功率从 5 kW 到 750 kW,雷达天线波束宽度 < 1°。天线扫描方式:平面位置扫描(PPI),即天线方位角作 0° ~ 360°转动扫描;距离高度扫描(RHI),即方位角设定在某一位置,仰角自下而上扫描,扫描范围 0.5° ~ 30°。

1.2 检测仪器 NBM 550 型宽频电磁辐射场强仪(配有 EF1891 探头),德国 Narda。

1.3 检测方法 依据国家军用标准 GJB 5313-2004^[3]的有关要求进行监测。作业区主要监测点为:雷达操作室、雷达发射机房等辐射设备作业人员和辅助设施作业人员经常操作的位置,及天线附近的固定哨位、值勤点和办公室。环境监测点:主要为雷达站外周围非雷达作业人员的工作区或生活区,雷达天线作为中心,基准为正北,45°间隔,选择 8 方位作为测

基金项目:济南军区医学科研计划课题(J1152048)

作者简介:王修德(1964-)男,硕士,副研究员,主要从事核化医学防护方面的研究工作。

量线 测量点数根据生活区位置和场强情况而定。主要操作位测量高度选 1.5 m、1.2 m、0.8 m 三点,在雷达正常工作时间内进行测量,每个位置以三点测量的最大值计;设备辐射测量离开表面 5 cm,测量高度 1.5 m;环境辐射测量高度 1.5 m。每个测量点连续测 3 次并取平均值。

1.4 天线主波束方向上的场强估算 由于天线主波束方向上功率密度较大,实际测量有危险也有难度,一般用理论公式进行估算。估算方法参照国家标准 GB 9175-88^[4]附录中的雷达等微波功率密度公式计算:

$$S(\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) = P_{\text{av}} \cdot G / 4\pi \cdot r^2$$

式中: P_{av} 为雷达发射机的平均功率(W), G 为天

线增益(dB 转化为放大倍数), r 为被测点离天线轴向上的距离(m)。

1.5 评价方法 作业区评价依据^[3,5]:对脉冲微波接触限值 8 h 平均功率密度 $25 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,间断暴露最高允许限值 $25 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。生活区环境评价^[4]:环境一级(安全区)容许场强为 $0.1 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($10 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$),二级(中间区)容许场强为 $0.4 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($40 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)。辐射场强与天线旋转有关的区域评价时应考虑辐射占空比。

2 结果

雷达作业区和生活区电磁辐射场强检测结果见表 1。

表 1 雷达作业区和生活区电磁辐射场强检测结果

	检测位置	测量点数	场强范围($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	平均值($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)	超限值数量
作业区	操作位	8	0.10 ~ 19.17	6.92 ± 8.14	0
	调制器	5	0.20 ~ 35.01	12.58 ± 15.30	1
	功控开关	5	0.38 ~ 133.6	29.60 ± 58.18	1
	发射机房(方仓)门外	5	0.20 ~ 26.01	5.81 ± 11.33	1
	办公区	10	0.10 ~ 38.00	9.14 ± 13.81	2
生活区	道路	29	0.35 ~ 41.00	9.10 ± 9.88	1
	宿舍楼	9	0.01 ~ 3.82	0.54 ± 1.23	0

2.1 作业区电磁辐射场强检测结果 在作业区超过限值的检测点中,在站内主要为发射机调制器、功控开关附近,在发射方仓外主要是靠近雷达天线的办公区和值班点。雷达作业人员操作位置没有发现超限值者。

2.2 生活区电磁辐射检测结果 在雷达站附近道路以环境二级(中间区)容许场强为标准,有一个检测点超过限值;宿舍楼以一级(安全区)容许场强为标准,均在标准要求范围内。生活区位置、建筑物高度均处于天线扫描盲区,但离天线越近辐射越强。

2.3 雷达天线主波束方向场强估算 应用 1.4 所述方法对两个峰值功率较高(P_p 分别为 250 kW、750 kW)的雷达主波束场强分布进行了估算。天线轴向上微波功率密度随距离的变化曲线见图 1,距 P_p (250 kW)雷达天线 120 m 以外、 P_p (750 kW)雷达天线 300 m 以外功率密度小于间断暴露最高允许限值 $25 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

雷达天线扫描方式不同,对某一点的辐射时间也不同,一般以占空比来衡量。PPI 扫描主波束占空比 1/360, RHI 扫描主波束占空比 1/29.5。按不同扫描方式计算雷达天线主波束辐射的安全距离,结果见表 2。若不考虑辐射占空比,峰值为 750 kW 雷达在距离

天线 4744 m 外才能达到一级安全标准,但雷达实际工作天线都作转动,就占空比最大的 RHI 扫描,在 873 m 外也是安全的。如果建筑物或所处区域低于主波束,安全距离并不限于表中所示。调查雷达周围建筑物均符合安全距离要求。

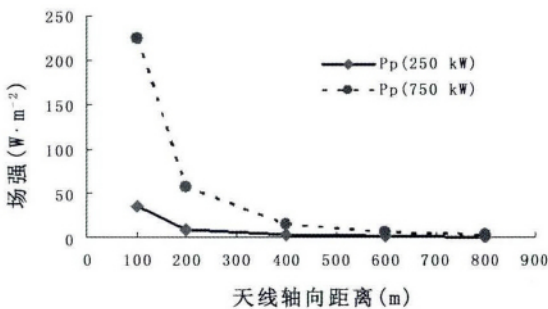


图 1 雷达天线轴向上场强与距离关系图

表 2 雷达天线主波束辐射安全距离

环境分级	扫描方式	安全距离(m)	
		P_p (250kW)	P_p (750kW)
一级(安全区)	固定扫描	1890	4744
	PPI	100	250
	RHI	348	873
二级(中间区)	固定扫描	945	2372
	PPI	50	125
	RHI	174	436

3 讨论

3.1 雷达辐射主要场源 雷达装备一般由天线系统、发射系统、接收系统和信号处理系统等部分组成。其中发射系统和天线系统是形成雷达站内和站外周围环境微波辐射的主要场源。发射机向空间发出大的电磁波,天线镜子造成方向性,发现目标时,接收装置就把目标反射的电磁波信号接收下来。由于天线系统的旋转,在其主波束方向上会使周围环境有较大的场强,其强度由几瓦每平方米到数百瓦每平方米,甚至更大些。

3.2 工作区场强分布特点 雷达站内及相关工作区域辐射一般来自两个方面:一是来自发射机,另一个是天线发射的微波辐射。发射机柜有闭合型板状金属屏蔽结构,有良好的保护作用,只要波导管、馈线、法兰盘不损伤,微波也极少泄漏^[6]。但在雷达站内存在辐射超标或较高的区域,主要来自发射机磁控管、功控开关调管、调制器等部位的微波泄漏,发射机机壳门打开泄漏辐射强度增加约 70 倍^[7]。本次调查发现调制器和功控开关等部位有超限值的测量点,一台雷达功控开关处微波场强高达 $133.6 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,主要是由于屏蔽、接地不当等原因造成的。雷达站内场强不随天线旋转而变化,说明由于天线安装位置及雷达方仓、建筑物的屏蔽作用,站内辐射主要来自发射机泄露,而天线的贡献较小。发射方仓外的办公区、哨位微波辐射主要来自天线主波瓣散射和副瓣辐射,其场强随天线旋转而发生变化。本次调查发现一野外雷达站因办公区和值勤点设置距天线较近(30 m 以内),天线坐高不足,有 2 个测量点场强较高。

3.3 环境场强分布特点 雷达辐射对环境的影响主要来自天线主波束,在天线轴线上的场强可以用理论公式估算确定安全距离^[8],在安全距离以内不能有高于天线的建筑物。在距天线较近的区域,处于天线扫描盲区,辐射主要来自主波瓣散射和副瓣的影响。文献报道^[9]在天线 10 m 以内微波功率密度 $2.5 \sim 1000 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$,本调查结果距天线 10 m 处最高达 $41 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。由于辐射来自天线,其场强是随着天线旋转而变化的,若考虑天线扫描的占空比,平均功率密度并不达到限值要求,但其长期暴露对人体健康的影响不容忽视^[10]。

4 雷达电磁辐射防护对策

4.1 雷达站布局要合理,天线架设应符合要求 对

雷达辐射场所管理可以参考放射工作场所管理的做法,即对新建雷达站布局、天线架设及对周围环境的影响要进行预防性审查和验收。办公区和值勤点要避开天线辐射区,天线的架设应利用地形地貌,高度应在建筑物最高层 3 ~ 5 m 高度以上,不允许雷达发射天线近距离范围内正对其他高层建筑物。

4.2 对雷达作业场所实行分区管理 根据发射机可能的微波漏能区域、天线主波束辐射规律将作业环境划分为安全区、监督区、控制区和危险区,实行场所分区管理。并在确定的危险区、控制区设立防护栅栏(或警戒带)和电磁辐射警示标志,标注区域名称和注意事项,控制人员进入与停留时间。①安全区,参照国标 GB 9175-88^[4]环境一级标准划定。②监督区,高于安全区限值但低于作业区职业接触限值,可能会因设备及操作的原因造成较高的接触,此区应定期进行监督监测。③控制区,为受限工作区,当某个空间环境场强超出职业限值,但小于间断暴露最高允许限值,则应当依据辐射功率密度的大小控制作业时间。④危险区,当功率密度大于间断暴露最高允许限值,辐射强度远远超过职业暴露限值,存在辐射危险,该区域严禁作业。

4.3 安全操作,定期对雷达设备进行维护与漏能检测 雷达工作时禁止打开发射机壳门,在没有确认发射机是否关掉之前不得攀登位于高强度辐射波束通道范围内的铁塔或其他高层建筑,加高压时,不要直看或检查任何发射器件,如喇叭、天线、开口波导、辐射元件等。对所有存在漏能的环节,都必须采取行之有效的屏蔽、吸收或隔离等措施。

4.4 采取必要的防护措施 避开和减少辐射源的直接辐射,屏蔽辐射源或辐射源附近的作业点;加大作业点与辐射源之间的距离,减少微波辐射的作用;尽量缩短在辐射区停留时间;必要时使用个人防护用具,包括屏蔽、专门防护衣和护目镜等。

4.5 加强雷达作业人员的职业健康监护 对作业人员经常进行健康教育,了解雷达辐射危害与防护方法;就业前和工作后定期对作业人员进行健康检查,发现异常及时进行医学处理;对症状较重者暂时脱离接触,并给予扶正固本中药和提高免疫力药物,对症治疗;加强营养,平衡膳食,注意补充维生素。

参考文献

- [1] 张清俊,杨昌林,辛益妹,等.雷达兵自觉症状和工作环境调查[J].解放军预防医学杂志,2010,28(6):437-438.

(下转第 198 页)

表 4 ¹³⁷Cs γ 射线 4.0 Gy 照射不同品系小鼠免疫及造血功能结果

组别	BMNC(×10 ⁶) /股骨	胸腺指数	脾重指数
IRM - 2 + 照射	19.10 ± 2.12	1.84 ± 0.21	3.89 ± 0.39
ICR + 照射	11.81 ± 2.36 ¹⁾	2.05 ± 0.42	3.96 ± 0.35
615 + 照射	9.34 ± 3.78 ¹⁾	1.77 ± 0.38	2.78 ± 0.42
C57BL/6 + 照射	12.15 ± 1.82 ¹⁾	2.23 ± 1.16	3.61 ± 0.29

注: 1) IRM - 2 与 ICR、615、C57BL/6 小鼠比较 *P* < 0.01。

2.5 不同品系小鼠巨噬细胞吞噬功能(结果见图 1)

IRM - 2 小鼠的巨噬细胞吞噬率均高于其他三品系小鼠, 与 615、ICR、C57BL/6J 三品系小鼠比较差异有统计学意义(*P* < 0.01) , 615 小鼠与 C57BL/6 小鼠比较, 差异有统计学意义(*P* < 0.01) 。ICR 小鼠与 C57BL/6J 小鼠比较, 差异有统计学意义(*P* < 0.01) 。

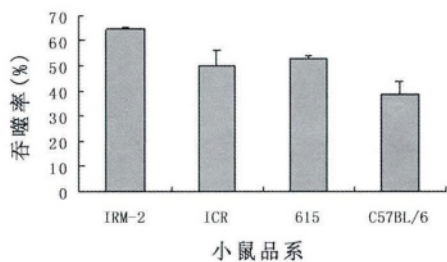


图 1 不同品系小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能比较

3 讨论

实验动物是保证现代科学实验研究的一个必不可少的条件。其贯通于多科学, 诸如生物学、遗传学、生殖生理学、人类营养学、免疫学及疾病的预防、诊断和治疗中^[3-4], 由于小鼠的基因与人类具有良好的同源性且其在生命科学和医药研究方面的应用颇为广泛^[5-6], 白细胞对机体具有重要的保护作用, 是机体免疫系统的重要组成部分^[8]。其中中性粒细胞和单核细胞都具有较强的吞噬功能。它们担负着吞噬细

菌、病毒等功能, 机体受到辐照后, 骨髓细胞的增殖、分裂功能受到损伤, 导致血细胞来源减少, 从而引起外周血象不同程度的变化。但各类细胞寿命不同, 辐射敏感性不同, 其中淋巴细胞变化最为明显^[7-8], 本研究结果显示, IRM - 2 小鼠白细胞总数明显高于 ICR、615 和 C57BL 小鼠。骨髓有核细胞数则是反映骨髓损伤的较敏感指标, 骨髓有核细胞的变化代表机体造血组织恢复的能力。小鼠骨髓有核细胞主要是提高造血功能^[4-9]。本实验显示 IRM - 2 小鼠骨髓有核细胞明显高于 ICR、615 和 C57BL 小鼠。同时 IRM - 2 小鼠具有很强的吞噬功能, 提示 IRM - 2 小鼠非特异性免疫功能可能较强。

参考文献

[1] 杜祥月, 李永亮, 张俊, 等. 肺气虚证小鼠模型造模方法及其对小鼠免疫功能的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(5): 92 - 98.

[2] 王月英, 周继文, 王汝勤, 等. IRM - 2 近交系小鼠的生殖生长特性[J]. 中国实验动物学报, 2001, 9: 103 - 106.

[3] 李雪萍, 高永翔, 王强, 等. 浅谈实验动物的保护及其福利[J]. 中西医结合研究, 2012, 4(5): 276 - 278.

[4] Traka MH, Mithen RF. Plant science and human nutrition: challenges in assessing health - promoting properties of phytochemicals[J]. Plant Cell, 2011, 23(7): 2483 - 2497.

[5] Mouse Genome Sequencing Consortium, Waterston RH, Lindblad Toh K, et al. Initial sequencing and comparative analysis of the mouse genome[J]. Nature, 2002, 420(6915): 520 - 562.

[6] 张连峰. 我国常用实验动物资源的现状及对未来发展的思考[J]. 中国比较医学杂志, 2011, 21(10): 39 - 44.

[7] 李德冠, 王月英, 王小春, 等. p38 抑制剂对辐射损伤小鼠中免疫细胞的作用[J]. 天津医药, 2011, 39(10): 933 - 935.

[8] 刘晓冬, 金顺子. 辐射免疫学研究[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2005: 8 - 40.

[9] 王月英, 吴红英, 李德冠, 等. IRM - 2 近交系小鼠血液学常规指标的测定[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(1): 24 - 25.

收稿日期: 2015 - 02 - 17 修回日期: 2015 - 04 - 18

(上接第 195 页)

[2] 索永善, 叶玲玲, 马川花, 等. 雷达微波辐射对精子形态的影响[J]. 中华男科学杂志, 2007, 13(12): 1132 - 1133.

[3] 中国人民解放军装备部. GJB 5313 - 2004 电磁辐射暴露限值与测量方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

[4] 中华人民共和国卫生部. GB 9175 - 88 环境电磁波卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1988.

[5] 中华人民共和国卫生部. GBZ 2.2 - 2007 工作场所所有害因素职业接触限值[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[6] 黎鳌. 战时军医手册[M]. 北京: 人民军医出版社, 1991, 219 - 225.

[7] 贺明生, 聂士民, 蔡鸿儒, 等. 雷达发射机微波漏能强度及 X 线剂量监测与分析[J]. 解放军预防医学杂志, 1995, 13(6): 454 - 456.

[8] 葛润生, 朱小燕. 新一代天气雷达电磁辐射防护[J]. 气象科学, 2002, 30(4): 233 - 236.

[9] 刘志昂, 曹步清, 万海珍, 等. 微波辐射对人体血液生化指标的影响[J]. 华南国防医学杂志, 2005, 19(2): 34 - 35.

[10] Vera GV, Goran G, Senijo P, et al. Assessment of cytogenetic damage and oxidative stress in personnel occupationally exposed to the pulsed microwave radiation of marine radar equipment[J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2010, 214(2011): 59 - 65.

收稿日期: 2014 - 12 - 15 修回日期: 2015 - 03 - 22