

火炮系统高原环境适应性及防护措施分析

王保贵, 王坚

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

摘要: 在分析高原环境特点和高原对装备典型环境效应的基础上, 结合火炮结构特点和部件类型, 从不同部件受高原环境影响因素和影响结果不同的角度, 对火炮的动力部分、机械部件、电子器件、液压密封部件和弹簧器件等进行了分类分析, 分析了高原环境对火炮各部件的影响情况, 并针对性地分析提出了火炮在高原环境下的防护措施。

关键词: 火炮; 高原环境; 环境效应; 防护措施

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.03.012

中图分类号: E917 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)03-0056-05

Analysis of Plateau Environmental Worthiness and Safeguard Procedures on Artillery System

WANG Bao-gui, WANG Jian

(Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing 100094, China)

ABSTRACT: On the basis of analyzing plateau general environmental characteristics and typical environmental effects of the equipment, the paper classified the artillery parts from aspects of different plateau environmental factors and influences combined with artillery configuration characteristics and component type, and analyzed plateau environmental influences on artillery power section, mechanical parts, electron device, hydraulic and sealing element and spring parts. Then the paper put forward safeguard procedures of artillery in plateau environment. It could be used for artillery to improve its plateau environmental adaptability.

KEY WORDS: artillery; plateau environment; environmental effect; safeguard procedures

我国高原面积广阔、地形复杂、多变的高原环境条件对高原地区使用的装备和人员都会产生许多不良的影响,引起多种故障。为保证高原环境下装备的使用性能,必须要充分考虑其对高原环境的适应

性,并针对高原环境对其影响的特点,进行相应的防护处理。为此,文中以高原使用的火炮为例,对高原环境对其性能的影响进行了分析,总结提出了高原环境条件下的防护措施。

收稿日期: 2014-02-13; 修订日期: 2014-04-28

Received : 2014-02-13; Revised: 2014-04-28

作者简介: 王保贵(1971—),男,山西吕梁人,硕士,工程师,主要研究方向为常规兵器测试。

Biography: WANG Bao-gui(1971—), Male, from Lyuliang, Shanxi, Master, Engineer, Research focus: conventional weapon test.

1 高原环境特点

高原气候环境的典型特点表现为以下几个方面^[1-3]。

1) 海拔高、气压低、空气密度低、含氧量低。高原条件下,随着海拔的增加,大气压力逐渐下降,空气越稀薄,空气中含氧量也随之减少。通常海拔每升高 1 km,大气压力则下降约 9%,空气密度下降约为 10%~6%,含氧量下降约 10%。在海拔 5 km 的地方,其空气中的含氧量仅为海平面的 53%。在 20℃ 条件下,不同海拔高度大气压、空气密度和含氧量的关系见表 1。

表 1 不同海拔高度大气压、空气密度及含氧量

Table 1 Atmospheric pressure, air density and oxygen content at different altitude

| 海拔高度/ km | 年平均 气压/ kPa | 空气密度/ ($g \cdot m^{-3}$) | 氧的质 量浓度/ ($g \cdot m^{-3}$) | 与 0 m 海 拔氧含量 比例/% |
|-------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 0 | 101.5 | 1293 | 299.3 | 100 |
| 1 | 90.7 | 1167 | 265.5 | 89 |
| 2 | 79.5 | 1050 | 234.8 | 78 |
| 3 | 70.0 | 892 | 209.63 | 70 |
| 4 | 61.5 | 802 | 182.08 | 61 |
| 5 | 54.0 | 719 | 159.71 | 53 |

2) 平均气温低、昼夜温差大、年低温期长。大气温度是距离地面 1.5 m 高度处测得的空气温度。大气对流层的最大特点是气温随海拔的升高而降低。同纬度地区海拔每上升 1 km,大气温度则下降 6.5℃。气温变化主要取决于纬度和海拔高度,同纬度地区海拔越高气温越低,而最大气温日温差的大小与纬度、云量、海陆分布、地势、地表性质、海拔高度和季节等因素有关。高海拔地区,地势复杂,气候多变,昼夜温差变化较大,与同纬度平原相比,高原上昼夜温差增大一倍左右。同样的,海拔越高,年低温期也越长。海拔 4 km 以上的地区为常年固定冷区,年平均气温在 -4℃ 以下,冷期大于 5 个月,昼夜温差越大,日温差可高达 30℃,极端最低气温可达 -27~-45℃。

3) 日照辐射强、风沙大。地球上不同的气候决定于太阳辐射,而太阳辐射强度决定于地理纬度。

随着海拔高度的增加,太阳光线通过大气的厚度、空气密度、水汽和悬浮物质都相应减少,太阳光透过度愈大,到达地面的辐射较强。随着海拔的增加,太阳直接辐射强度增大,海拔高度增加 1 km,太阳直接辐射强度约增加 54 W/m²。

4) 高原环境,风力大、风速高、风压小、沙尘多。年大风期长,最高风速为 20~28 m/s,年平均风速为 3 m/s。海拔每升高 1 km,风压则下降 9%。由于植被少、土壤及大气湿度小,因此沙尘量大。沙尘量按地区不同,是低海拔多尘空气含尘密度的 5 倍以上。沙尘的大小和风速密切相关,随着风速增大,刮起沙尘颗粒直径也愈大。

2 高原典型环境效应^[4-8]

高原环境对装备的影响因素主要体现在:低气压缺氧、低温、辐射、沙尘等。

低气压缺氧引起的环境效应主要体现在:功率下降,发动机启动与燃烧不正常;气密设备应力增大,造成密封外壳变形,焊接开裂,结构损坏,设备泄漏;空气抗电强度降低,产生电弧,电晕放电等现象;空气介电常数降低,电参数发生变化;低密度材料物理和化学性能发生改变;热传导降低,引起装备过热。

低温环境效应主要体现在:热胀冷缩引起机械接触部件卡死、破裂脆裂;弹簧部件弹性性能下降;电子器件及机电部件性能改变;材料低温硬化与脆化;润滑剂粘度增加导致传动失效;密封件硬化脆化老化引起泄漏等。

温差变化引起的温度冲击效应主要体现在:机械零部件的变形或破裂,运动部件的卡紧或松弛;金属材料腐蚀或非金属材料老化;表面涂层开裂;密封舱泄漏;绝缘保护失效等。

太阳辐射效应主要体现在:活动部件受热不均匀而卡死或松动;电子器件和机电部件性能发生变化;复合材料物理化学性质改变,强度和弹性发生变化;涂层材料起泡、剥落、分层;绝缘材料介电性能改变,绝缘性能下降;密封材料稳定性下降,丧失密封性能。

沙尘效应主要体现在:沙尘进入装备内部会使活动部件卡死,过滤装置阻塞;使电接触不良,电路劣化;表面磨蚀加剧,沙尘上带的各类盐分、

有机物和有害气体还能加速金属腐蚀和材料变质;静电荷增大,产生电噪声;吸附水分,降低材料的绝缘性能;热传导下降,干扰光学装置的光学特性。

3 高原环境对火炮系统的影响分析

3.1 火炮结构特点分析^[9]

火炮是利用火药在管形内膛燃烧形成燃气压力来发射弹丸的一种射击武器。对于自行火炮而言,主要由火力与控制系统、推进系统和辅助系统组成。其中火力与控制系统由火力系统、火控系统和辅助武器等组成;推进系统由动力装置、传动装置、操纵装置、行动装置、车体等组成;辅助系统由电气系统、通信系统、夜视仪器、三防装置、烟幕装置、液压系统等组成。

从火炮结构组成可以看出,火炮是一种特殊的机电装备,大量采用机械、电子、液压、气动等部件,采用了多种金属、非金属材料。从受高原环境影响不同的角度,可以将火炮部件归纳为:动力部分、机械配合及传动件、电子器件、液压部件、密封件、弹簧等几类。

3.2 高原环境对火炮动力部分的影响^[2-3,10-18]

动力部分为自行火炮提供机动的动力。高原恶劣环境会对其产生很大的影响,具体表现为以下几个方面。

1) 低压缺氧的环境,使发动机气缸所充空气密度降低,燃烧不充分,燃油消耗量大,排气黑烟严重,废气有害物排放量大大增加。

2) 功率下降,海拔在 2 km 以上时,每升高 300 m,功率下降 4%,发动机动力不足。

3) 空气密度低,发动机冷却风扇流量少,散热效果下降,多余热量不能及时散发,发动机、传动系统、液压系统容易过热。

4) 海拔越高,气压越低,水的沸点下降。通常海拔在 4 km 时,水的沸点为 85℃左右,而冷却系统防冻液正常工作温度应在 90℃左右,冷却系统不能正常工作。

5) 高原气温低,空气温度达不到发动机气缸所

需启动温度,且气缸内压缩空气压力明显低于正常启动时所要求的压力,使得发动机启动困难。

6) 气温低,蓄电池工作能力下降。通常气温每降 1℃,蓄电池容量下降 1%~1.5%,蓄电池总电量不足,启动时电能不足。

7) 高原空气稀薄,发动机增压后空气量和增压压力相应发生变化,导致增压器压气轮出现喘振、废气涡轮出现阻塞,发动机排气温度过高等问题。

8) 液压系统与发动机匹配发生变化,各液压阀、液压缸等执行元件的动作时间随海拔高度增加而动作迟缓,液力传动受发动机外特性影响较大,机械功率转变成热量,散热差,作业油温高,严重影响动力的有效传动。

3.3 高原环境对火炮机械配合及传动件的影响

火炮武器系统中存在大量的机械配合及传动接触部件,如炮身在摇架内的后坐复进直线运动,高低机和方向机起落、回转时的旋转运动,瞄准装置的瞄准过程,炮门的击发过程等,其传动形式主要有摩擦滑动、齿轮传动、涡轮蜗杆的螺旋传动等。高原恶劣的环境条件会对接触部件产生很大的影响,表现为:因温差变化大,各类接触部件金属热膨胀或收缩不均匀,引起结构件变形,接触间隙改变,使得接触受力和接触部位产生改变,带来了运动摩擦增大,部件局部受力不均匀,造成接触部位发生过度磨损甚至损坏等现象;同时高原地区风沙大,特别是在干燥环境下微小尘埃含量加大,造成接触部件大量带入沙尘,运动摩擦增大,同样会造成接触部位发生过度磨损甚至损坏的现象。在以上的影响下,火炮瞄准精度下降,传动部件受力状况进一步恶劣,造成部件受力增大,传动部件损坏,火炮结构部件接触部位磨损加大。

3.4 高原环境对火炮电子器件的影响

火炮上大量使用了各类电子器件,既有电源设备,也有各类数字信息、通信设备,高原环境会对其产生一定影响。高原环境下,蓄电池低温使用性能降低,电源线路效率降低。高原空气密度低,空气干燥,电气设备绝缘强度降低。同时高原日照强烈,紫外线强度大,会促使绝缘材料老化加快,特别是有机绝缘材料,会加速油漆涂层的老化和龟裂。空气密

度小,电子器件表面散热性能下降,导致器件的性能下降或运行不稳定等现象。

3.5 高原环境对火炮液压、密封部件的影响^[3,19]

火炮系统上大量采用了液压部件和密封件,火炮上最重要的部件之一是反后坐装置,通常都采用液压式结构,包括制退机和复进机等。火炮的其他部件也大量采用了液压结构,如用于传动的液压式高低机、用于改善起落部分受力不均的平衡机等,各种武器还大量使用了液压千斤顶来承担火炮发射时的受力。同时由于大量液压部件的使用,必然对密封结构提出了更高的要求,大部分密封器件采用了非金属材料,如橡胶、尼龙、塑料等。

受高原低气压的影响,液压油箱内压力不足,液压油粘度大,液压油泵的吸油性能变差。液压缸、液压马达等执行元件磨损量增大,密封件磨损老化严重,液压泄漏量增大。沙粒或尘埃进入液压系统,又会加速各元件的磨损或堵塞,导致液压系统出现功能障碍,从而影响反后坐装置、平衡机、液压千斤顶等设备的使用可靠性。

高原低气压同样会使得密封部件承受向外膨胀的压力,使得外壳变形,密封件破裂造成密封器件失效。低温及温度变化又会造成材料脆性、塑性等特性变化,增加了密封部件低温低压下产生变形或开裂的危险。同时由于高原高紫外线的辐射,常用的橡胶、尼龙、塑料基底制作的密封器件都会出现老化硬化、失去弹性等现象,引起密封部件失效、泄漏和损坏等,从而影响反后坐装置、平衡机和千斤顶等部件的工作性能。

3.6 高原环境对火炮弹簧类器件的影响

火炮大量使用了各类弹簧元器件,从重要的击发机构、保险机构到平衡机、悬挂弹簧到搭扣、卡锁、铰链、开关、手柄、杠杆、防转垫圈等器件。高原环境会对此类部件造成影响。主要体现为:低温冷脆效应,使得弹簧器件在低温条件下出现弹性性能降低,刚度下降、行程缩短等现象,造成工作不可靠;弹簧导向筒、导向杆等弹簧导向、定位零部件在低温情况下膨胀收缩变形、润滑不佳以及受沙尘侵入影响,会造成弹簧部件失效现象频发;温度的交替变化,使得弹簧材料产生时效退化效应,导致弹簧性能降低,紧

固件松脱,卡锁失灵等。以上因素会导致击发机构失灵、反后坐装置作用不可靠、自动机异常、各类关卡机构异常和弹簧垫圈等防松零部件失效等现象的发生。

4 火炮系统高原环境下防护措施^[20]

为避免高原环境对火炮系统的影响,火炮系统需要采取针对性的防护措施。

动力部分需配备大容量蓄电池,并采取防寒措施,对发动机进行涡轮增压,提高发动机功率。增加散热器散热面积,改善散热条件,降低热负荷。采用大流量、低阻力、滤清效率高的空气滤清器。选用耐低温的润滑油、防冻液和机油。

机械配合及传动件应选用有良好冲击韧性的耐低温结构件,活动件之间留出足够的膨胀间隙。选用耐低温的电子元器件,空气绝缘部分采用绝缘胶层,避免尖端结构与残留毛刺,防止尖端放电发生。弹簧元器件选择适应高原低温及温差变化环境的器件。

对于液压、密封部件,增大液压系统散热面积,必要时采取强制冷却措施。液压泵采取相应措施,消除低气压引起的液压泵容积效率下降的问题。液压油箱应采用防止沙尘和水进入的措施。合理选用密封件和橡胶件,提高密封性能。液压油管应选用抗紫外线和耐寒性能强的材料,选择耐老化、抗紫外线、耐低温的密封件。

5 结语

从高原环境特点和环境效应入手,分析了高原环境对火炮系统的影响因素和影响程度,提出高原环境下火炮系统的一些防护措施,为提高火炮系统高原环境适应性进行了一些有益的探讨。分析结果对提高高原环境下试验和使用的火炮系统整体性能和环境适应性能具有参考价值。

参考文献:

[1] 刘奎芳,毛海荣.高原环境条件及其对机电产品的影响[J].环境技术,1999(5):18—19.

LIU Kui-fang, MAO Hai-rong. Plateau Environment Con-

- dition and Its Influence on Mechanical and Electrical Products[J]. *Environmental Technology*, 1999(5):18—19.
- [2] 郑卫国, 田建震, 白树华, 等. 西藏高原环境对装甲车辆动力性能的影响[J]. *装备指挥技术学院学报*, 2008, 19(5):114—115.
ZHENG Wei-guo, TIAN Jian-zhen, BAI Shu-hua, et al. Influences of Tibet Plateau on the Armored Vehicle Power Performance[J]. *Journal of Equipment Command & Technology*, 2008, 19(5):114—115.
- [3] 李思鼎, 陈国安. 高原和高寒环境对车辆的影响分析[J]. *城市车辆*, 2009(2):43—44.
LI Si-ding, CHEN Guo-an. The Influence Analysis of Plateau and Alpine Environment to Vehicle[J]. *Urban Vehicles*, 2009(2):43—44.
- [4] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150A—2009, Military Equipment Laboratory Test Method[S].
- [5] 宣兆龙, 易建政. 装备环境工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
XUAN Zhao-long, YI Jian-zheng. *Equipment Environmental Engineering*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011.
- [6] 汪学华. 自然环境试验技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
WANG Xue-hua. *Natural Environmental Test Technique*[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003.
- [7] 王浚, 曹本诚, 万才大, 等. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
WANG Jun, CAO Ben-cheng, WAN Cai-da, et al. *Environment Simulation Technology*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1998.
- [8] 马力. 常规兵器环境模拟实验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
MA Li. *Conventional Weapon Environment Simulation Technology*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.
- [9] 曹红松, 张亚, 高跃飞. 兵器概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
CAO Hong-song, ZHANG Ya, GAO Yue-fei. *Introduction to Weapons*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2008.
- [10] 宋泽勇. 机械设备高原使用问题探析[J]. *山西建筑*, 2009, 35(14):332—333.
SONG Ze-yong. On Application of Vehicle on Plateau[J]. *Shanxi Architecture*, 2009, 35(14):332—333.
- [11] 李丽荣. 工程机械在高原环境作业中存在的问题及解决途径探讨[J]. *机械*, 2005, 32(8):58.
LI Li-rong. Discussing the Solving Ways of the Main Problems of Engineering Machine Lie in Highland Working[J]. *Machinery*, 2005, 32(8):58.
- [12] 冯辉生. 工程机械高原环境适应性关键技术[J]. *工程机械与维修*, 2001(7):50—51.
FENG Hui-sheng. Key Technology of Engineering Machinery Plateau Environment Adaptability[J]. *Construction Machinery & Maintenance*, 2001(7):50—51.
- [13] 李务平. 高原环境用机械产品环境保护措施初探[J]. *环境技术*, 1999(4):18—19.
LI Wu-ping. Environmental Protection Measures Discuss of Mechanical Product Used in Plateau Environment[J]. *Environmental Technology*, 1999(4):18—19.
- [14] 许翔, 刘瑞林, 董素荣, 等. 车用柴油机高原性能模拟试验及性能提升策略[J]. *中国机械工程*, 2013, 24(17):2404—2405.
XU Xiang, LIU Rui-lin, DONG Su-rong, et al. Simulation Test and Performance Improvement Strategy of Vehicle Diesel Engine at Plateau Area[J]. *China Mechanical Engineering*, 2013, 24(17):2404—2405.
- [15] 韩恺, 朱振夏, 张付军, 等. 可调复合增压柴油机高原功率恢复方案研究[J]. *兵工学报*, 2013, 34(2):129—130.
HAN Kai, ZHU Zhen-xia, ZHANG Fu-jun, et al. Research on Composite Adjustable Supercharged Program of Diesel Engine for Power[J]. *Acta Armamentarii*, 2013, 34(2):129—130.
- [16] 许翔, 刘瑞林, 董素荣, 等. 车辆高原环境模拟实验技术发展现状综述[J]. *装备环境工程*, 2012, 9(6):64.
XU Xiang, LIU Rui-lin, DONG Su-rong, et al. On Development of Vehicle Simulated Plateau Environment Test Technology[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2012, 9(6):64.
- [17] 董素荣, 许翔, 周广猛, 等. 车用柴油机高原性能提升技术研究现状与发展[J]. *装备环境工程*, 2013, 10(2):68—69.
DONG Su-rong, XU Xiang, ZHOU Guang-meng, et al. Present Status and Development of Performance Advancing Technology of Vehicle Diesel Engine at Plateaus[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2013, 10(2):68—69.
- [18] 王高远, 李国强. 对高原工程机械的要求[J]. *工程机械与维修*, 2003, (7):103—104.

- [7] 湖北省电磁兼容学会. 电磁兼容性原理与应用[M]. 北京:国防工业出版社,1996.
EMC Institute of Hubei Province. Theory and Application of EMC[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1996.
- [8] 王庆斌,刘萍,尤利文,等. 电磁干扰与电磁兼容技术[M]. 大连:大连海事出版社,1999.
WANG Qing-bin, LIU Ping, YOU Li-wen, et al. EMI and EMC[M]. Dalian: Dalian Maritime Affair Press, 1999.
- [9] 赵兴录,何新亮,盛松林,等. 雷达发射机辐射发射测试研究[J]. 雷达与对抗,2010,30(3):51—55.
ZHAO Xing-lu, HE Xin-liang, SHENG Song-lin, et al. The Test of Radiation Transmission of Radar Transmitters[J]. Radar & ECM, 2010, 30(3): 51—55.
- [10] 何新亮,盛松林. 雷达发射机信号谐波带宽模型分析[J]. 信息与电子工程,2011,9(4):409—412.
HE Xin-liang, SHENG Song-lin. Analysis on Harmonic Wave Bandwidth Models of Radar Transmitter Signals[J]. Information and Electronic Engineering, 2011, 9(4): 409—412.
- [11] 王海波. 系统间电磁兼容性预测分析软件的开发与研究[D]. 成都:电子科技大学,2008.
WANG Hai-bo. Research and Development of Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction and Analysis [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2008.
- [12] 贾传钊. 通信系统间电磁兼容性预测分析技术[D]. 成都:电子科技大学,2009.
JIA Chuan-zhao. Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction and Analysis Technique about Communication [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2009.
- [13] 陈鸿. 系统间电磁兼容性预测分析与仿真[D]. 成都:电子科技大学,2006.
CHEN Hong. Analysis and Simulation of Intersystem Electromagnetic Compatibility Prediction [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2006.
- [14] 郭占涛. 移动通信系统中三阶互调干扰的研究和分析[J]. 移动通信,2011,35(24):51—55.
GUO Zhan-tao. Analysis and Study on Third-order Intermodulation in Mobile Communication Systems[J]. Mobile Communications, 2011, 35(24): 51—55.
- [15] 李育林. 分析“交调”与“互调”干扰产生的原因及其抑制方法[J]. 黄冈师范学院学报,1999,19(6):14—17.
LI Yu-lin. Analysis on The Origin and Suppression Method of Intermodulation and Cross Modulation [J]. Journal of Huanggang Normal University, 1999, 19(6): 14—17.
- [16] 何新亮,盛松林,刘列,等. 频谱仪测量发射机带外杂散信号的分析[J]. 无线电工程,2010,40(11):30—32.
HE Xin-liang, SHENG Song-lin, LIU Lie, et al. Analysis on Testing Spurious Signals of Transmitters by Spectrum Analyzer[J]. Radio Engineering, 2010, 40(11): 30—32.
- [17] 郭艳辉,李子森. 武器装备电磁兼容性预测试技术初探[J]. 装备环境工程,2008,5(1):88—91.
GUO Yan-hui, LI Zi-sen. Discussion on Weaponry EMC Pretest Technology [J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(1): 88—91.

(上接第60页)

- WANG Gao-yuan, LI Guo-qiang. The Requirements of Construction Machinery on the Plateau [J]. Construction Machinery & Maintenance, 2003, (7): 103—104.
- [19] 许翔,周广猛,郑智,等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程,2010,7(5):100—103.
XU Xiang, ZHOU Guang-meng, ZHENG Zhi, et al. Research on Influence of Plateau Environment on Support Equipment and Its Environmental Worthiness [J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 100—103.
- [20] 廖清德. XGL50 高原装卸机的高原环境适应性研究[J]. 中国工程机械学报,2004,2(2):231—232.
LIAO Qing-de. Study of XGL50 Highland Loader Acclimated to the Plateau [J]. Chinese Journal of Construction Machinery, 2004, 2(2): 231—232.