

doi: 10.7690/bgzd.2021.07.010

地理环境要素对机电设备通用零部件适应性的影响

刘恩山, 李 恒, 孙春然

(中国北方工业有限公司军贸技术研究院, 北京 100053)

摘要: 为提高设备环境适应性, 本文针对地理环境对于机电设备通用零部件适应性的影响进行了研究。采用文献萃取法, 整理以往设备适应性实验的研究成果, 梳理不同地理气候要素对散热产品、发动机、电子设备、密封设备、液体物质、材料性能、机械系统以及蓄电池的定性或定量影响。结果表明: 该方法有效提升了地理环境对机电设备影响的认知, 对精准设计装备适应性的控制实验有较为重要的意义。

关键词: 地理环境; 机电设备; 环境适应性

中图分类号: TJ0 **文献标志码:** A

Impact of Geographic Environment Features on Adaptability of General Components of Electromechanical Equipment

Liu Enshan, Li Heng, Sun Chunran

(International Armament Research & Development Institute, China North Industries Corp. Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: In order to improve the environmental adaptability of equipment, the impact of geographic environment on adaptability of general components of electromechanical equipment is studied. Based on the paper extraction method, this paper collects the research results of the previous equipment adaptability experiments, and sorts out the qualitative or quantitative effects of different geographic and climatic factors on heat dissipation products, engines, electronic equipment, sealing equipment, liquid substances, material properties, mechanical systems, and storage batteries. The results show that this method can effectively improve the cognition of the impact of the geographic environment on electromechanical equipment, and it has vital significance to accurately design the controlled experiment of equipment adaptability.

Keywords: geographic environment; electromechanical equipment; environmental adaptability

0 引言

随着对地观测技术和全球地理环境数据的不断积累, 人们对地理环境要素的认知日益广泛化、细致化、量化, 为相关研究奠定了扎实的数据基础。地理环境具有要素多样性、时空组合复杂性等特点, 导致设备野外试验成本高、效率低、周期长等问题, 地理环境对设备的影响以及设备环境适应性^[1]逐步成为近年研究热点^[2-3]。地理环境要素对机电设备通用零部件适应性的影响是开展设备环境适应性研究的前提^[4]。笔者梳理了装备适应性实验和相关研究成果, 以及不同地理气候要素对散热产品、发动机、电子设备、密封设备、液体物质、材料性能、机械系统和蓄电池的定性或定量影响, 可提升地理环境对机电设备影响的认知, 对精准设计装备适应性的控制实验有重要意义。

1 地理环境要素对机电设备部件的影响

1.1 电机、变压器等散热设备

海拔、气压、温度对电机、变压器等设备的散热性能存在影响。电机、变压器等设备主要依靠自然对流和强制通风散热。当体积保持不变时, 随着海拔升高, 气压和空气密度都会降低; 空气密度的改变将直接降低强制通风散热的性能, 导致散热设备的温升。海拔高度与散热设备的温升大致呈线性关系^[5]。图 1 是小型三相异步电动机在自由空气条件下(没有强制空气流通时)温升随海拔高度的变化, 其中斜率大小将受设备散热情况、本身结构以及环境温度等因素影响。

1.2 发动机

影响发动机的地理环境要素较多, 下面分别针

收稿日期: 2021-05-13; 修回日期: 2021-05-18

作者简介: 刘恩山(1976—), 男, 山东人, 硕士, 高级工程师, 从事装备国别市场适应研究。E-mail: 252017646@qq.com。

对不同地理环境要素分析其对发动机的具体影响。

低气压、低温对发动机的影响主要集中在 2 方面：1) 发动机着火，导致启动阻力增加、启动困难，甚至燃料冻结。燃烧速率随着压力的降低而降低，导致燃烧不充分，排放恶化，其功率随之减低。通常海拔低于 1 km、气温低于 30 °C 时，气压和温度不会对发动机的功率造成影响；但海拔高于 1 km 后，需要结合海拔和气温的共同变化折算发动机的功率。表 1 分别列举了不同海拔、不同环境问题的情况下，某型号发动机功率的折算系数。例如，在海拔 4 km、环境温度 30 °C 时，发动机功率下降至 72%。2) 海拔升高、气压降低导致水的沸点降低，还易造成发动机开锅的问题^[6]。

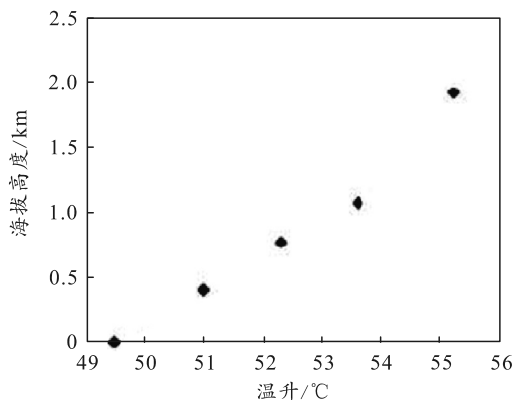


图 1 温度变化与海拔高度关系

表 1 不同海拔高度及环境温度条件下某型发动机的功率折算系数

海拔/ km	环境温度/°C					
	0	10	20	30	40	50
3.0	0.960	0.900	0.850	0.780	0.730	0.680
3.5	0.925	0.870	0.820	0.750	0.700	0.650
4.0	0.880	0.830	0.775	0.720	0.660	0.610
4.5	0.850	0.780	0.730	0.675	0.625	0.575
5.0	0.810	0.755	0.700	0.640	0.590	0.530

空气中含氧量对发动机的影响主要表现在：内燃机气缸内充气量减少，发动机耗油量增加，装载质量减少，时速降低，导致工作效率大幅度降低。同时，发动机工作粗暴，燃烧室内积碳严重，磨损消耗更大，从而导致故障率更高^[7]。

此外，发动机中压气机转子的叶片在盐雾环境下易遭受点腐蚀损伤，继而引发应力腐蚀裂纹，最终导致疲劳断裂失效^[8]。干燥炎热的地理环境会降低发动机的充气系数，导致发动机过热。环境中空气密度过小易导致散热能力减弱，致使柴油机过热^[9]。同时，空气中的沙尘会堵塞滤清，导致发动机供气不足；发动机吸入尘埃颗粒增多，也加剧了发动机的磨损。

1.3 电子设备

海拔和气压对采用空气作为绝缘介质的电子设备有很大的影响。高海拔地区、气压降低易引发空气电介质强度的降低，使电晕起始电压和击穿电压明显降低，即高压绝缘距离随着气压值的降低而大幅度减小，从而增加了飞狐、表面放电或电晕放电的风险。尤其是在电场强度较强的电极附近，存在更为严重的局部打火和放电现象，甚至有时会发生空气间隙击穿，使设备无法正常工作。雷达设备对此较为敏感，由于高压部件绝缘下降，雷达发射机可能会出现放电和打火现象，导致设备异常。文献[7]对其进行了定量研究：在海拔 5 km 之内，海拔每增高 1 km，气压通常会降低 12%，外绝缘强度和电晕电压降低 8~13%。此外，因海拔升高、空气散热能力下降、热动作时间变短，低压电器的分断能力会受到影响。在继电器触头分断电流时，介质恢复强度将会下降，致使电弧较难熄灭，易引起电弧重燃，由于燃弧时间延长，使触头的寿命下降^[10]。

湿度对电子设备的影响主要表现在 2 方面：1) 海拔升高导致平均相对湿度下降，湿度的降低将会影响电子设备的外绝缘强度和干弧放电电压的下降。经研究，海拔每升高 0.1 km 时，电子产品的干弧、湿弧、工频电晕、冲击放电电压等指标通常比标准状态下降 1%。2) 在湿度较大的环境下，湿气易凝结在套管、绝缘子表面或侵入电子设备内部，造成电晕放电、诱发雾闪、潮气侵入也易使设备绝缘老化。

低温对电子设备的影响主要表现在 2 方面：1) 低温易使晶体管电容器变压器性能发生变化，致使电子元器件的参数产生漂移，例如电子管参数的改变，将导致设备参数不稳，无法正常工作。2) 对于雷达设备，其关机后的温度剧降会导致其运行中产生的水汽凝结在电器元件、机件表面形成水珠，导致绝缘性能下降^[11]。朝鲜战场中低温使美军电子探测系统设备故障率高达 80%，直接导致作战指挥系统的失灵^[12]；这充分说明了低温对电子设备的影响极大。

高温对电子设备的影响主要表现在 2 方面：1) 设备过热会导致设备元件损坏、参数漂移、低熔点焊锡断裂等情况。特别是功率较大的电子管，散热不佳会直接导致其损坏或缩短寿命。2) 温度上升致使绝缘材料电阻显著下降、绝缘性能降低，故在高温情况下电机、变压器、电容器等绝缘较易被击穿。

雨、雾等状况将导致雷达相关设备工作异常。雷达发出的电磁波在大气传输时, 雷达探测距离会因大气折射而发生改变, 造成探测误差。此外, 由于大气气体及水的合成物(雨、雾、云、冰雹等)对电磁波的吸收和散射作用, 致使电磁波的能量受到衰减, 从而缩短了探测距离并在屏幕上产生气象回波, 导致无法正常工作。以波长 3 cm 雷达波为例, 正常空气可使其探测距离下降 10~15%, 能见度 150 m 的浓雾则可使其缩短 35~40%, 4 mm/h 的中雨则使其缩短 60~65%, 雷达波的折射指数受阴雨天空中水粒散射的影响, 在雷达屏上将出现“气候干扰回波”, 加大了辨认目标的难度。

此外, 二氧化碳、二氧化硫等大气排放物与湿气形成的酸性湿尘易附着于设备的表面, 经过电场作用易发生电化学腐蚀^[13]。干燥炎热的地理环境会导致电子系统容易积聚静电荷, 易引起电路故障。强太阳辐射会引起电气电子元件热老化损坏。沙漠环境会导致瞄准系统偏差大造成打不中目标, 红外夜视装置不能清楚识别敌我而造成误伤^[14]。最后, 沙尘进入电气电子设备后会导致通风冷却通道受阻, 致使设备温度升高, 导致电路磨损^[9]。

1.4 密封产品

气压降低影响密封设备内外的压差, 从而影响密封性能, 甚至造成密封件的损坏。特别是在高原环境下, 产品周围气压下降, 其外壳会受到一个向外的张力, 当张力超出产品承受范围, 将导致外壳变形或密封件损坏, 影响密封性能并造成产品失效。

1.5 液体物质

对于在海平面正常大气条件下有较高饱和蒸汽压的液体, 由于海拔增加、压力降低, 会导致液体易于蒸发、沸点降低。例如, 压力降低会加快润滑油(或润滑脂)等液体的挥发速度, 从而加剧部件的磨损或活动部件表面的腐蚀, 加速设备的老化; 气压变低会导致有机材料中增塑剂的加速挥发, 致使有机材料老化, 使其机械及电气性能发生改变, 加速产品的损坏。此外, 受挥发加剧的影响, 产品及其周围物件将受到污染甚至腐蚀破坏, 增大了易燃气体的燃爆风险。

低温将增大润滑脂等液体物质的稠度, 使静态阻力增加, 导致起动困难。温度过低时, 润滑脂冻结, 丧失了原本的润滑能力, 活动部件与轴承摩擦时发出尖哨声, 加剧轴承磨损^[10]。

高温对设备内液体物质的影响主要表现在 2 方面: 1) 温度过高易造成密封产品内压力过大, 导致密封件的破裂或损坏, 出现气体或液体的溢出使得设备内介质变薄, 最终影响设备的介电性能和散热效果^[11]。2) 高温使得润滑脂、机油变质加快, 油性变差, 粘度下降, 易于流失, 影响机械的润滑, 致使系统工作性能降低。

1.6 材料性能

低温对设备材料性能的影响主要表现在 3 方面: 1) 低温使材料收缩、变脆、变硬。2) 由于不同材料收缩率不同, 可能导致不同材料零部件的间隙发生变化, 甚至出现互相咬死的现象, 增加产品损坏的风险; 同时由于材料收缩, 也会造成振荡频率的漂移^[11]。3) 温度过低将引起橡胶密封件机械性能的降低。研究表明, 在零下 30 °C 情况下, 苯基天然橡胶电缆护套更易剥裂和折断^[5]。

高温对设备材料性能的影响主要表现在以下 4 方面: 1) 温度升高会增加材料的电阻, 导致点路及传感器发生温漂。2) 温度过高会影响散热性能, 加剧绝缘体的老化速度, 引起热击穿。3) 高温将影响半导体器件的电参数, 造成器件工作点不稳定, 引起器件失效。4) 高温使得电缆、轮胎等橡胶制品产生发粘和老化情况, 绝缘胶布和腊布更易融化, 导致绝缘性能下降。此外, 强太阳辐射易引起材料绝缘性能降低、橡胶性能变化等部件损伤^[9]。

1.7 机械系统

风沙对设备机械系统的影响主要表现在: 风沙在设备上沉积造成污染, 加速机械阻塞, 使零部件磨损严重, 容易发生故障, 机械系统的可靠性下降。同时给保养带来了较大困难, 使武器装备的保养频率大大增加, 不仅缩短了装备的使用寿命, 还降低了工作效率。

温度对设备机械系统的影响主要表现在以下 3 方面: 1) 当温度改变时, 由于膨胀程度不同, 易造成裂缝和螺丝松动, 致使功能失效和被破坏。2) 装备中各种材料的物理性能会因温度发生变化, 机械强度受到影响, 造成失效。3) 高温将导致材料软化以及金属膨胀与氧化, 减弱结构强度, 使机械部分出现松动、表面增大、接触不良等现象。

此外, 复杂的地形条件造成了机械系统的磨损加剧, 增加了机械系统损伤的概率, 机动性能明显降低。