

doi: 10.7690/bgzdh.2020.11.005

某型混联微光像增强器增益漂移问题研究

杨 壮¹, 唐 钦¹, 李 瑾², 叶洪伟¹

(1. 重庆地区军事代表局驻昆明地区第二军事代表室, 昆明 650032; 2. 重庆地区军事代表局, 重庆 400000)

摘要: 为解决某型混联微光像增强器在生产过程中出现高、低温增益超占比较高的问题, 分析像增强器增益产生温度漂移的原理, 研究常温、低温和高温条件下的增益变化规律, 并采用 Minitab 软件分析像增强器的增益与温度相关性, 拟合出增益-温度回归函数, 据此确定常温增益的调节范围。结果表明: 该方法能降低该型微光像增强器增益漂移超范围的风险, 有效提高产品质量。

关键词: 混联微光像增强器; 高温实验; 低温实验; 增益漂移; 相关性

中图分类号: TP311.56 **文献标志码:** A

Research on Gain Drift of Certain Type Hybrid Image Intensifier

Yang Zhuang¹, Tang Qing¹, Li Chui², Ye Hongwei¹

(1. No. 2 Military Representative Office in Kunming, Chongqing Military Representative Bureau, Kunming 650032, China; 2. Chongqing Military Representative Bureau, Chongqing 400000, China)

Abstract: In order to solve the problem of certain type hybrid image intensifier device in the process of production of high gain in high and low temperature, analyze the principle of temperature drift, and research on gain changing principle under room temperature, low temperature and high temperature, then use Minitab to analyze the correlation between the gain of the image intensifier and the temperature. Based on gain-temperature regression function fitting, we determined adjustment range of gain under room temperature. The results show that the risk of the gain drifting out of specified range was reduced, and the quality of the production were improved.

Keywords: hybrid image intensifier; high temperature test; low temperature test; gain drift; correlation

0 引言

某型混联微光像增强器是国内依据引进技术和资料进行设计, 由于对技术资料学习转化不彻底, 工艺要求不细致, 致使在生产和使用过程中, 存在质量不稳定的情况, 退管比例较高, 其中增益漂移大的问题占比极高。在近期检验过程中, 连续出现多批次高、低温增益漂移超出合格范围(30 000~100 000 cd·m⁻²·Lx⁻¹)的情况。为此, 成立项目组对发生问题的像增强器进行解剖: 像增强器灌封正常, 硅橡胶饱满, 无空胶、气泡等缺陷, 电源常温、高温、低温均能正常工作。进一步排查发现: 出现问题的像增强器普遍存在常温增益调节偏高的现象, 经实验验证并依据相关性检验结果, 判定是常温增益调节偏高造成像增强器高、低温增益漂移超出合格范围。为解决这一问题, 项目组采用数理统计方法, 对增益变化进行回归分析, 结合生产实际将常温增益的调节范围值确定为 59 000~68 000 cd·m⁻²·Lx⁻¹, 并进行温度筛选验证。通过合理控制常温增益调节范围, 能有效保证像增强器高、低温

增益漂移处于合格范围, 确保像增强器质量稳定。

1 原因分析

1.1 微光像增强器增益漂移原理分析

从材料学相关知识可知: 绝大多数的绝缘材料、元器件在温度变化时, 电阻值会发生相应变化, 变化的大小与电阻温度系数(temperature coefficient of resistance, TCR)有关。如果温度系数为正值, 表明电阻值随温度升高而增大; 反之, 如果温度系数为负值, 则表明电阻值随温度升高而减小^[1]。微光像增强器随着温度的变化, 其零部件阻值也发生相应变化, 在增益上表现为温度越高, 增益越小; 温度越低, 增益越大^[2]。通常情况下, 根据理论分析及实验验证, 微光像增强器技术规范规定高低温增益范围时, 都会适当降低高温增益下限, 提高低温增益上限, 而该型微光像增强器技术规范却规定常温、高温和低温增益均为 30 000~100 000 cd·m⁻²·Lx⁻¹, 对增益的调节范围和精度要求更高。如果常温增益调节过低, 可能会导致高温增益小于

收稿日期: 2020-06-29; 修回日期: 2020-07-09

作者简介: 杨 壮(1987—), 男, 云南人, 双学士, 助理工程师, 从事军用光电装备检验验收研究。E-mail: 1032381341@qq.com。

下限值 $30\ 000\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ ；反之，如果常温增益调节过高，可能会导致低温增益超过上限值 $100\ 000\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 。

1.2 增益与温度相关性分析验证

经查阅设计资料，业界在确定微光像增强器增益范围时，普遍采用实际测量值进行大致估算的方法^[3]。该型微光像增强器在确定增益范围时设计阈值较大，只要常温增益调节合理，不会出现增益漂

移超出设计范围的情况。为进一步分析验证该型微光像增强器增益与温度的变化规律，对该型微光像增强器常温增益的分布及低温增益漂移超的故障情况进行统计分析，并对常温增益与低温增益、高温增益的变化规律进行拟合回归分析^[4]。

1.2.1 增益分布及增益漂移超统计分析

经实验统计，524 具该型微光像增强器的常温增益调节情况和增益超比例分布情况如表 1 和图 1。

表 1 常温增益调节及温度实验情况

序号	常温增益范围/($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$)	样本数量	低温增益超数量	比例/%
1	$\leq 65\ 000$	15	0	0
2	$> 65\ 000\sim 68\ 000$	26	0	0
3	$> 68\ 000\sim 70\ 000$	67	0	0
4	$> 70\ 000\sim 72\ 000$	99	0	0
5	$> 72\ 000\sim 74\ 000$	89	1	1.12
6	$> 74\ 000\sim 76\ 000$	87	1	1.14
7	$> 76\ 000\sim 78\ 000$	71	0	0
8	$> 78\ 000\sim 80\ 000$	51	1	1.96
9	$> 80\ 000$	19	4	21.05

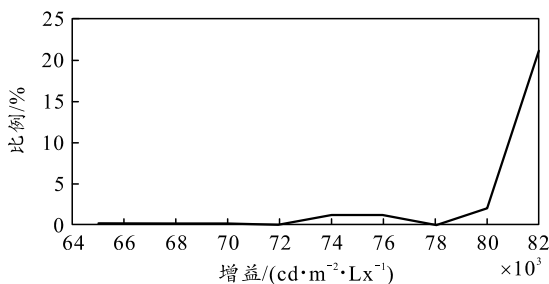


图 1 增益超比例分布情况

从图中可以看出：常温增益为 $72\ 000\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 以下时，低温增益漂移超的比例为 0；常温增益为 $72\ 000\sim 80\ 000\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 时，开始出现低温增益漂移超的故障，概率较低，比例小于 2%；常温增益大于 $80\ 000\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 时，低温增益漂移超的故障比例急剧上升，比例为 21.05%。

1.2.2 增益变化拟合回归分析

为研究该型微光像增强器常温增益与低温增益、高温增益的变化规律是否存在相关性，从 524 具样品中随机选取 150 具的增益数据进行分析。

1.2.2.1 相关性检验

依据统计学相关知识可知，样本的相关性由相关系数 r 决定，相关系数数值范围为 $|r|\leq 1$ ， $|r|$ 值越小，则相关性越小， $|r|$ 值越大，则相关性越大；当样本量 $n>25$ 时，如果 $|r|\geq 0.4$ ，说明样本变量确实相关。

假设低温增益为 L ，高温增益为 H ，常温增益值为 G 。为了验证 L 、 H 和 G 之间是否相关及其相关程度，应用软件 Minitab 对样本增益数据进行相

关性检验，得出 $C5$ 和 $C6$ 的相关系数为 0.586， $C5$ 和 $C7$ 的相关系数为 0.418，相关系数均大于 0.4，说明 L 、 H 与 G 相关。相关性检验结果如图 2 所示。

相关： $C5, C6$

$C5$ 和 $C6$ 的 Pearson 相关系数=0.586

相关： $C5, C7$

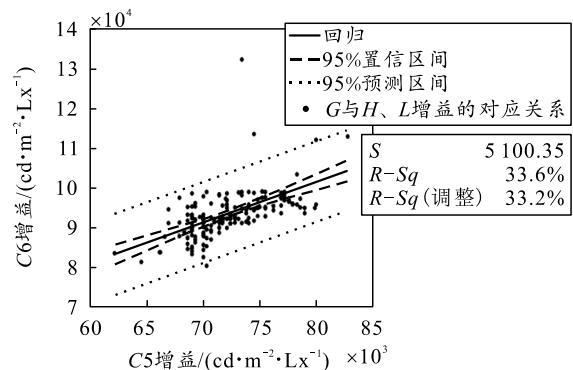
$C5$ 和 $C7$ 的 Pearson 相关系数=0.418

图 2 相关性检验结果

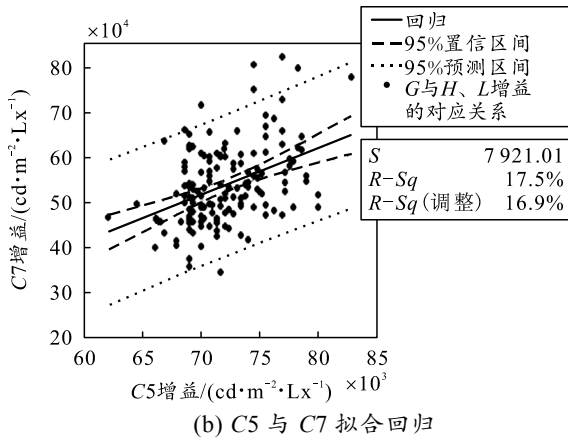
图中 $C5$ 为常温增益变量 G ， $C6$ 为低温增益变量 L ， $C7$ 为高温增益变量 H 。

1.2.2.2 回归分析

因 L 、 H 与 G 均相关，可应用回归理论进行分析。根据拟合回归理论，假设 L 为因变量， g 为自变量，其变化规律满足方程： $L=f(g)$ ； H 为因变量， g 为自变量，其变化规律满足方程： $H=f(g)$ 。应用 Minitab 软件进行拟合回归分析，结果如图 3 和图 4。



(a) $C5$ 与 $C6$ 拟合回归



(b) C5 与 C7 拟合回归

图 3 拟合回归

回归分析: C6 与 C5

回归方程为

$$C6 = 19\ 608 + 1.026\ C5$$

$S = 4\ 972.28$ $R-Sq = 34.4\%$ $R-Sq(\text{调整}) = 33.9\%$

方差分析

来源	自由度	SS	MS	F	P
回归	1	1 915 970 081	1 915 970 081	77.50	0.000
误差	148	3 659 087 070	24 723 561		
合计	149	5 575 057 151			

(a) C5 与 C6 拟合回归数据

回归分析: C7 与 C5

回归方程为

$$C7 = -21\ 235 + 1.040\ C5$$

$S = 7\ 921.01$ $R-Sq = 17.5\%$ $R-Sq(\text{调整}) = 16.9\%$

方差分析

来源	自由度	SS	MS	F	P
回归	1	1.96 554E+09	1 965 540 989	31.33	0.000
误差	148	9.28 588E+09	62 742 447		
合计	149	1.12 514E+10			

(b) C5 与 C7 拟合回归数据

图 4 拟合回归数据结果

根据回归理论, 由于 P 值均 < 0.001 , 说明回归方程有意义; 因此, $L = f(g)$ 和 $H = f(g)$, 满足回归方程式(1)和式(2)。

$$L = 1.026g + 19\ 608, \tag{1}$$

$$H = 1.04g - 21\ 235. \tag{2}$$

经上述分析可以确定: 造成该型微光像增强器高、低温增益漂移超的主要原因是设计时未充分考虑增益漂移幅度, 将常温、高温和低温增益的范围规定为同一数值, 致使在高、低温环境下增益漂移超出合格范围。

图 3 中, 95%的置信区间: 意味着从总体中随

机抽取若干个样本, 平均值会落在这个范围内。95%的预测区间: 意味着在总体中随机抽取 100 个样本, 其中大概有 95 个样本的个别值会落在这个范围内。图 4 中: S 为回归模型误差的标准方差; $R-Sq$ 为回归模型误差占总误差百分比, 取值在 $0\% \sim 100\%$ 之间; $R-Sq(\text{调整})$ 调整的 $R-Sq$, 取值也在 $0\% \sim 100\%$ 之间, $R-Sq(\text{调整})$ 与 $R-Sq$ 越接近, 表明回归模型越可靠; SS 为离散差平方和; MS 为均方差; $F = MS1/MS2$; P 为显著性水平, 当 P 值小于 0.05 时, 存在显著性相关。

2 采取措施

目前, 该型微光像增强器已定型量产, 选择调整高、低温时的增益范围来解决该问题, 因涉及改变技术指标, 操作难度较大。为此, 在不改变高、低温时增益范围的前提下, 根据拟合的回归方程, 可通过将常温增益限定在一个更小的范围内, 以达到控制高、低温增益漂移范围的目的。由此可以确定, 只需在工艺上进行调整即可实现预期结果, 不会增加生产成本。

2.1 常温增益调节范围的确定

该型微光像增强器随着温度的变化, 其内部零部件、电子倍增器的物理特性也会随之发生变化, 所引起的增益值变化规律由式(1)和式(2)决定。将增益上限 $100\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 代入式(1): $L = 1.026g + 19\ 608$, 可求得常温增益调节的上限值为 $78\ 354\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$; 将增益下限 $30\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 代入式(2): $H = 1.04g - 21\ 235$, 可求得常温增益调节的下限值为 $49\ 264\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 。如果要求高、低温增益均满足该型微光像增强器技术规范的规定值, 则常温增益 g 的调节范围为 $49\ 264 \sim 78\ 354\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$, 考虑到统计分析结果可能与生产实际存在差异; 因此, 常温增益 g 调节范围应考虑留有一定余量。

由增益分布及增益漂移超的情况统计与分析可知, 当常温增益调节至 $72\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 以上时, 开始出现低温增益超的故障; 因此, 推断常温增益调节的上限应小于 $72\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 。结合生产经验, 取计算的上限值减去 $10\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$, 取计算的下限值加上 $10\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$, 经四舍五入后, 确定常温增益的调节范围为 $59\ 000 \sim 68\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$ 。

2.2 实验验证

为验证该型微光像增强器经计算得出的常温增

益调节范围是否合理,于生产现场随机抽取 18 具该型微光像增强器,按该范围进行增益调节,并按该型微光像增强器的温度筛选方案进行实验结果如表 2 所示。

表 2 常温增益调整后温度实验情况

 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Lx}^{-1}$

序号	像增强器管号	常温增益	高温增益	低温增益	实验结果
1	194 031	65 000	44 631	81 648	合格
2	194 025	66 500	45 945	91 847	合格
3	194 024	66 500	44 791	86 950	合格
4	194 022	65 000	38 825	87 200	合格
5	194 028	64 000	40 727	98 121	合格
6	193 994	63 500	38 682	97 896	合格
7	193 996	66 000	46 003	77 627	合格
8	194 000	64 500	43 126	94 915	合格
9	194 001	66 500	43 604	94 855	合格
10	193 997	63 000	42 386	92 994	合格
11	194 002	67 000	45 617	86 557	合格
12	194 008	64 500	44 013	93 197	合格
13	194 010	65 000	48 300	90 931	合格
14	194 012	65 000	41 982	92 417	合格
15	194 003	66 000	46 162	93 822	合格
16	194 004	64 500	46 702	79 547	合格
17	194 006	67 500	49 104	91 343	合格
18	194 001	63 500	48 512	97 395	合格

从表中可以看出:抽取的 18 具微光像增强器按该范围进行调节后,经实验高、低温增益均满足要求,说明常温增益调节范围确定合理。

3 结束语

笔者对该型微光像增强器常温增益与低温增益、高温增益的变化规律进行分析,对常温增益与低温增益、高温增益的相关性及其变化规律进行拟合回归分析,并据此确定常温增益的调节范围,在满足技术规范要求的前提下将增益调节范围缩小,有效降低了该型像增强器在低温和高温环境下出现增益漂移超范围的风险,并在后续的生产实践中得到验证,大大提升了整机产品在复杂环境条件下的工作稳定性,对提升装备在复杂环境条件下的效能有重要意义。同时,采用软件 Minitab 为像增强器拟

合出增益漂移函数,为将来进一步精确确定其他型号微光像增强器的战术技术指标进行了有益探索。

参考文献:

- [1] 周立伟. 关于微光像增强器的品质因数[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(4): 331-337.
- [2] 钱芸生. 微光像增强器亮度增益和等效背景照度测试技术[J]. 真空电子技术, 2004(2): 34-37.
- [3] 何振华. 微光像增强器环境应力筛选故障分析研究[C]//第五届全国夜视技术交流会暨 2005 年全国瞬态光学与光电子技术交流会会议论文集. 中国兵工学会, 中国光学学会, 2005: 58-60.
- [4] 谭新华, 李敬岗. 1XZ20/30W 二代微光像增强器的设计与研制[J]. 红外技术, 1994(2): 28-30.
- [5] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 2-55.