

海洋测量技术与测量仪器

论文集

国家海洋局海洋技术研究所 编

1983



海洋出版社

海洋测量技术及测量仪器论文集

1983

国家海洋局海洋技术研究所编

海洋出版社

1985年·北京

内 容 简 介

本文集汇集了国家海洋局海洋技术研究所历年的研究成果论文，集中反映了该所在海洋测量技术和海洋测量仪器研究中的主要工作。内容有：海洋要素的测量技术和测量仪器、元件、工艺以及有关的情报研究论文。

本论文集可供从事海洋科学及海洋技术研究的科技人员参考，也可作为高等院校有关专业教师、研究生及高年级学生参考用书。

海洋测量技术及测量仪器论文集

1983

国家海洋局海洋技术研究所编

海 洋 出 版 社 出 版

(北京复兴门外海贸大楼)

海洋出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1985年3月第1版 1985年3月第1次印刷

开本：787×1092 1/16 印张：17

字数：2804千字 印数：1-1400

统一书号：13193·0331 定价：3.40元

版权所有·不得翻印

主 编： 李允武

编 辑： 廖云和 刘从信 吴自然 傅鸿才

前 言

海洋拥有丰富的自然资源：海底蕴藏着大量的石油、天然气和砂矿，海洋底上分布着含有多种金属的锰结核和软泥；海水中除了含有人类已经利用了几千年的食盐之外，还有很多种宝贵的元素及它们的化合物；海中繁衍着众多的有经济价值的动、植物；海洋的波浪、潮汐、海流、温度差、盐度差蕴藏着巨大的能量。随着陆地资源的大量消耗，人类将向浩瀚的海洋索取生存所需的能源、矿产和食物。人类社会科学技术的发展已经为开发海洋提供了越来越大的可能。自六十年代以来，发达国家先后都把开发、利用海洋列为经济发展的重点，形成了世界性的“海洋热”。当然，海洋资源是分散的，海洋环境是十分严酷的，现在还不能完全靠海洋提供人类衣食之利。

开发海洋的先决条件是技术，是装备和仪器，不具备这些条件，开发海洋只能是儒勒·凡尔纳笔下的美妙理想。要开发海洋，首先要了解海洋，对海洋进行调查、研究、监测，这就需要拥有先进的海洋测量技术和仪器。

我国濒临太平洋边缘的渤海、黄海、东海和南海，海岸线长达一万八千余公里，有宽广的大陆架，油气、砂矿资源、海洋能源和渔盐等相当丰富的资源。开发海洋是我国社会主义现代化建设的战略任务之一，急需大力发展开发海洋的先锋——海洋测量技术和海洋测量仪器。

国家海洋局海洋技术研究所海洋测量技术和海洋测量仪器的发展中做了一些工作，但和社会主义现代化建设的要求相距很远。为了交流经验，促进发展，我们把历年来的成果汇编成这本集子，供专家、读者参考。有一部分论文已在别的刊物上刊载过。涉及内容有海洋要素的测量技术和测量仪器，海洋仪器的计量，有关的技术和仪器、元件、工艺，还包括一些有关的情报研究论文。限于水平，谬误在所难免，敬希赐教。

李 允 武

1983年1月

目 录

储备技术在潜标系统中的应用	王恒慧 (1)
HWL2型航空红外测温仪研究	康长庚 (8)
红外测温仪在地质遥感中的应用	熊仕林 (16)
红外测温仪在鱼群侦察及油污探测方面的应用	陈清莲 (25)
超声驻波光强调制器	于连生 (33)
一种自动消隐控制电路	刘亦莉 (43)
三通道声学应答器	孙思萍 (56)
颠倒温度表的基本属性与评价	秦嗣仁 (63)
一种宽线性测温电路	刘海坤 (85)
SYC1-1型感应式盐度计的性能评价	罗九如 张焕臣 周 铮 (92)
低温度系数振弦压力传感器的分析与设计	韩天祥 (99)
HLL2-A型电磁海流计及其测量资料使用的几个问题	梁凌吾 (108)
萨沃纽斯转子的试验及误差计算	林恢勇 (121)
岸用光学测波仪测波精度浅析	李明钊 (131)
没有外加能源的无井验潮仪	孟宪义 (136)
声学水下位移计	李允武 黄丽良 (145)
潮汐测量中的一种新型消波法	王德贵 (148)
单芯铠装深海拉力电缆性能计算	王文彬 (157)
水下系留钢丝绳性态的计算	宋铭航 (169)
95玻璃浮球耐压强度研究	侯正田 (175)
玻璃浮球的初步试验研究	邹志杰 (181)
铝牺牲阳极在低盐度海水中的性能	袁钟才 (187)
可变相移振荡器	王云泉 (198)
移相振荡器的频率表达式及其线性化	廉双喜 (207)
高稳定低漂移的直流放大器	于家贵 (218)
台站应用硅光电源探讨	李颖达 (224)
JG-1型多路稳定电源	李秀英 (229)
海洋仪器用 I 级精度电源	袁江涛 (235)
海上荧光测量技术	常茂森 史玉梅 (243)
海洋污染的遥感监测技术	许祖美 (249)
国外船舶调查自动化系统	霍树梅 彭秀莲 (256)

储备技术在潜标系统中的应用

王 恒 慧

提 要

本文论述了应用可靠性储备技术来提高潜标系统工作可靠性的经济合理性,给出了几种储备方案及计算表达式,最后指出了潜标系统采用定时释放器的必要性。

一、前 言

水下潜标系统是海洋立体调查和监测系统中的重要组成部分之一,它可以对海面以下的多种海洋环境要素进行长期的监测,连续取得海洋剖面的同步资料。潜标系统对海洋研究工作起着重要作用。

通常需要潜标系统能在水下长期(几个月到半年)工作,但由于使用条件的限制,该系统的任何部分在执行任务过程中出现故障或损坏都无法及时进行修理,因此要求系统的每个部分都应有相当高的可靠性。

潜标系统采用自容式记录系统。为了最终获得记录的资料,必须将系统回收之后才能实现,因此,系统回收是获得资料的最后的关键一环。该系统比较复杂,成本很高,且能否回收直接关系到该系统的经济效益,因此对系统回收率的要求就显得尤为突出。

影响潜标系统回收率的主要因素可用因果图表示(图1)。

应答释放器是决定回收率的关键部件,如果它不能可靠工作,就会使整个潜标系统丢失,从而使整个任务失败,并直接造成重大经济损失。所以在设计潜标系统时,必须特别重视释放器的设计。

本文主要就如何运用储备技术提高潜标系统的释放可靠性谈些粗浅的看法。

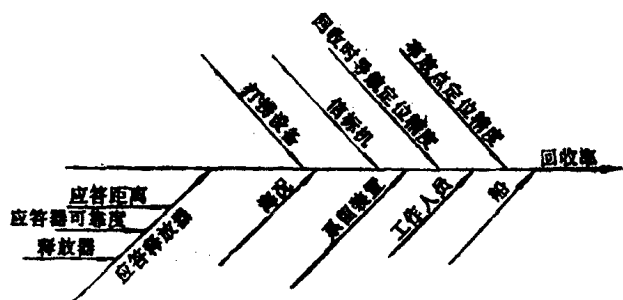


图 1

二、采用储备的合理性

通常，采用储备设备可以明显地提高工作可靠性，但它会使设备变得笨重，增加成本。是否值得采用储备，应当从经济观点加以权衡。

这里谈的储备，是指整个设备或者系统的储备。具体讲，就是指释放器的储备。应当回答这样一个问题：虽然采用两个释放器并联储备后可靠性将有明显提高，然而成本却增加了，这样是否合理？为了回答这一问题，做出下列分析。

假设整个潜标系统的成本为C，

$$C = Q_s + Q \quad (1)$$

式中 Q_s ——不包括释放器在内的整个系统的成本；

Q ——释放器自身的成本。

潜标系统及释放器均为多次使用的产品，则平均一次任务中的折合损耗费用为

$$C_1 = \frac{Q_s}{n_s} + \frac{Q}{n} + q_0 \quad (2)$$

式中 n_s ——潜标系统的寿命次数；

n ——释放器的寿命次数；

q_0 ——执行一次任务的操作费用。

系统完成任务的成功概率为

$$P_1 = R \cdot R_s \quad (3)$$

式中 R_s ——不包括释放器在内的整个系统的可靠度；

R ——释放器的可靠度。

系统平均成功的完成一次任务的总费用为

$$\bar{C}_1 = \frac{C_1}{P_1} = \frac{\frac{Q_s}{n_s} + q_0 + \frac{Q}{n}}{R \cdot R_s} \quad (4)$$

假设有两种释放器，其成本分别为 Q_1 和 Q_2 ，可靠度分别为 R_1 和 R_2 ，寿命次数分别为 n_1 和 n_2 。分别装有不同释放器的同类潜标系统，在总消耗相同的条件下，可用(4)式导出下列关系式：

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left[\frac{R_2}{R_1} (K+1) - K \right] \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (5)$$

式中 $K = K_1 + K_2$ 。

$$K_1 = \frac{\frac{Q_s}{n_s}}{n_1} \quad (6)$$

$$K_2 = \frac{q_0}{\frac{Q_1}{n_1}}$$

如果以释放器 I 为基准, 则选择释放器 II 来代替释放器 I 的合理性应当以满足下式为准则:

$$\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)_{\text{实际}} < \frac{Q_2}{Q_1} = \left[\frac{R_2}{R_1} (K+1) - K\right] \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (7)$$

例 潜标系统可采用单一的释放器, 也可采用两个释放器并联储备, 已知单个释放器的可靠度 $R_1=0.8$, $K=30$, 两种释放器的寿命次数相等, 即 $n_1=n_2$ 。试问采用储备是否合理?

解 并联工作储备的可靠度为

$$R_2 = 1 - (1 - R_1)^2 = 0.96$$

则 $\frac{R_2}{R_1} = \frac{0.96}{0.8} = 1.2$, 又实际两种释放器的成本比为 $\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)_{\text{实际}} = \frac{2Q_1}{Q_1} = 2$, 代入(7)

式可得 $\frac{Q_2}{Q_1} = 7.2$ 。可见 $\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)_{\text{实际}} < \frac{Q_2}{Q_1}$, 因此采用储备方式工作的释放器是合理的, 它

可以增加系统的经济效益。

三、释放器的储备方案

释放器的可靠度, 是指在声学释放指令的作用下能够适时释放的概率。由于释放器的虚警概率很低, 在此略而不计。

两个并联储备的声学释放器可以按照图2所示的时间程序进入工作状态。从以后的分析可以看到, 由于各个时间选择的不同, 将会给释放器正常释放的可靠度带来明显的影响, 因此, 选择什么样的程序进入工作状态, 是选择储备方案时必须加以解决的问题。

图中假定了 $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq t_{K1} \leq t_{K2}$ 。在此条件下, 并联储备的释放器正常释放的可靠度 $R(t)$ 可由下式求出:

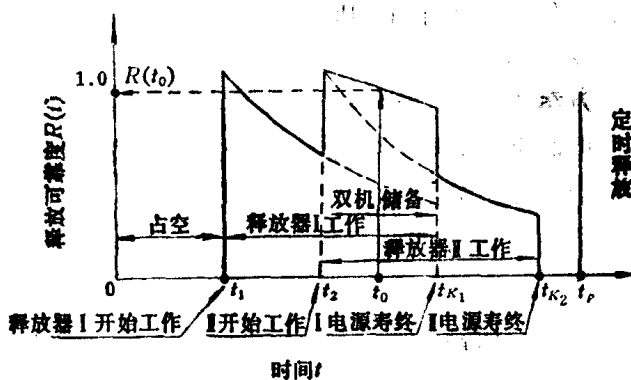


图2

- t_1 释放器 I 转入工作状态的时间; t_2 释放器 II 转入工作状态的时间;
- t_{K1} 释放器 I 电源寿终时间; t_{K2} 释放器 II 电源寿终时间;
- t_0 规定的潜标系统的任务执行时间; $R(t_0)$ 在 t_0 时释放器释放可靠度

$$R(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t_1 \\ R_{w1} e^{-\lambda_1(t-t_1)} & t_1 \leq t < t_2 \\ 1 - [1 - R_{w1} e^{-\lambda_1(t-t_1)}] [1 - R_{w2} e^{-\lambda_2(t-t_2)}] & t_2 \leq t < t_{K1} \\ R_{w2} e^{-\lambda_2(t-t_2)} & t_{K1} \leq t < t_{K2} \\ 0 & t_{K2} \leq t \end{cases} \quad (8)$$

式中 λ_1, λ_2 —— 分别为 I, II 释放器的失效率;

R_{w1}, R_{w2} —— 分别为 I, II 释放器工作转换开关的工作可靠度;

$$t_{K1} = t_1 + T_{K1}$$

$$t_{K2} = t_2 + T_{K2}$$

T_{K1}, T_{K2} —— 分别为 I, II 释放器电源的实际寿命时间。

根据时间程序的不同, 可提供出四种供选择的基本方案。

方案 1 $t_1 = t_2 = 0$

即在任务一开始两个释放器便进入并联工作储备状态, 因此不需要转换开关, 则 $R_{w1} = R_{w2} = 1.0$, 且没有占空时间。在此情况下, 正常释放的可靠度为

$$R(t) = \begin{cases} 1 - [1 - e^{-\lambda_1 t}] [1 - e^{-\lambda_2 t}] & 0 \leq t \leq T_K \\ 0 & T_K \leq t \end{cases} \quad (9)$$

采用这种方案可以提高释放器的释放可靠度, 但不能保证很长任务时间内的高可靠度。由于不存在占空时间, 因而在任务时间内随时可以回收, 不需要定时转换开关, 因此结构上比较简单。

方案 2 $t_1 = t_2 = t^* \neq 0$

即两个释放器共同经过 t^* 占空时间之后进入并联储备状态下工作。在此情况下, 正常释放的可靠度为

$$R(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < t^* \\ 1 - [1 - R_{w1} e^{-\lambda_1(t-t^*)}] [1 - R_{w2} e^{-\lambda_2(t-t^*)}] & t^* \leq t < t_K \\ 0 & t_K \leq t \end{cases} \quad (10)$$

式中 $t_K = t^* + T_K$

这种方案可以提高长期任务时间内的释放可靠度, 但必需有转换开关, 并且转换开关应当有足够高的可靠度, 从而使释放器结构变得复杂。由于存在占空时间 t^* , 即在这段时间内不能进行回收, 因此不具有随时回收的可能。

方案 3 $t_1 = 0; t_2 = 0; t_2 < T_{K1}$

即释放器 I 在任务一开始便工作, 释放器 II 在 t_2 时刻开始工作。在 t_2 时刻以前由一个释放器单独工作; t_2 时刻以后则两个释放器同时处于工作状态。正常释放的可靠度为

$$R(t) = \begin{cases} e^{-\lambda_1 t} & 0 \leq t < t_2 \\ 1 - [1 - e^{-\lambda_1 t}] [1 - R_{w_2} e^{-\lambda_2 (t - t_2)}] & t_2 \leq t \leq t_{K1} \\ R_{w_2} e^{-\lambda_2 (t - t_2)} & t_{K1} \leq t < t_{K2} \\ 0 & t_{K2} \leq t \end{cases} \quad (11)$$

式中 $t_{K1} = T_{K1}$
 $t_{K2} = t_2 + T_{K2}$

这种方案可以保证在任务时间很长时的正常释放可靠度，并且由于整个系统不存在占空时间，因而在工作过程中随时可以回收。

方案4 $0 < t_1 < t_2 < (t_1 + T_{K1})$

即两个释放器分别在不同的时刻 t_1 和 t_2 开始进入工作状态，并且释放器Ⅱ是在释放器Ⅰ电源寿终之前转入工作状态。这种情况下的 $R(t)$ 可由(8)式求出。只要适当的选 t_1 、 t_2 和 t_K 便可以获得最高的可靠度，同时又满足占空时间的要求。

四、定时释放器

考虑到潜标系统的实际使用情况，应当采用定时释放器做为声学释放器的辅助备份。理由有三点：

- (1) 声学应答器失效，因而在回收时不可能发现潜标所处的位置；
- (2) 声学释放器的可靠性不能得到保证，因而产生失效；
- (3) 导航定位偏差过大，不能将回收船导航到应答器作用距离所限定的范围内。

在研制潜标系统过程中，上述情况都处于无把握的状态，为了做得万无一失，应当辅之以定时释放。这样，一旦上述情况出现时，就可以通过定时释放达到回收潜标系统的目的从而减少经济损失。

定时释放的时机应当选定在确实认定声学释放的可能性为零之后，即选定在声学释放器电源寿终时刻做为定时释放时刻。

$$t_{\text{定时}} \geq t_2 + T_{K2} \quad (12)$$

式中 $t_{\text{定时}}$ ——选定的定时释放时刻。

五、潜标系统回收率

这里并不对潜标系统的回收率进行全面分析，只是通过初步分析声学释放器和定时释放器对系统回收率的影响，进一步证明在潜标系统中采用定时释放器的必要性。

图3简单地给出了潜标系统回收概率分析树。该图是假定在回收时，潜标系统的系留装置是完好的，并且船上回收设备也是完全良好的情况下做出的。

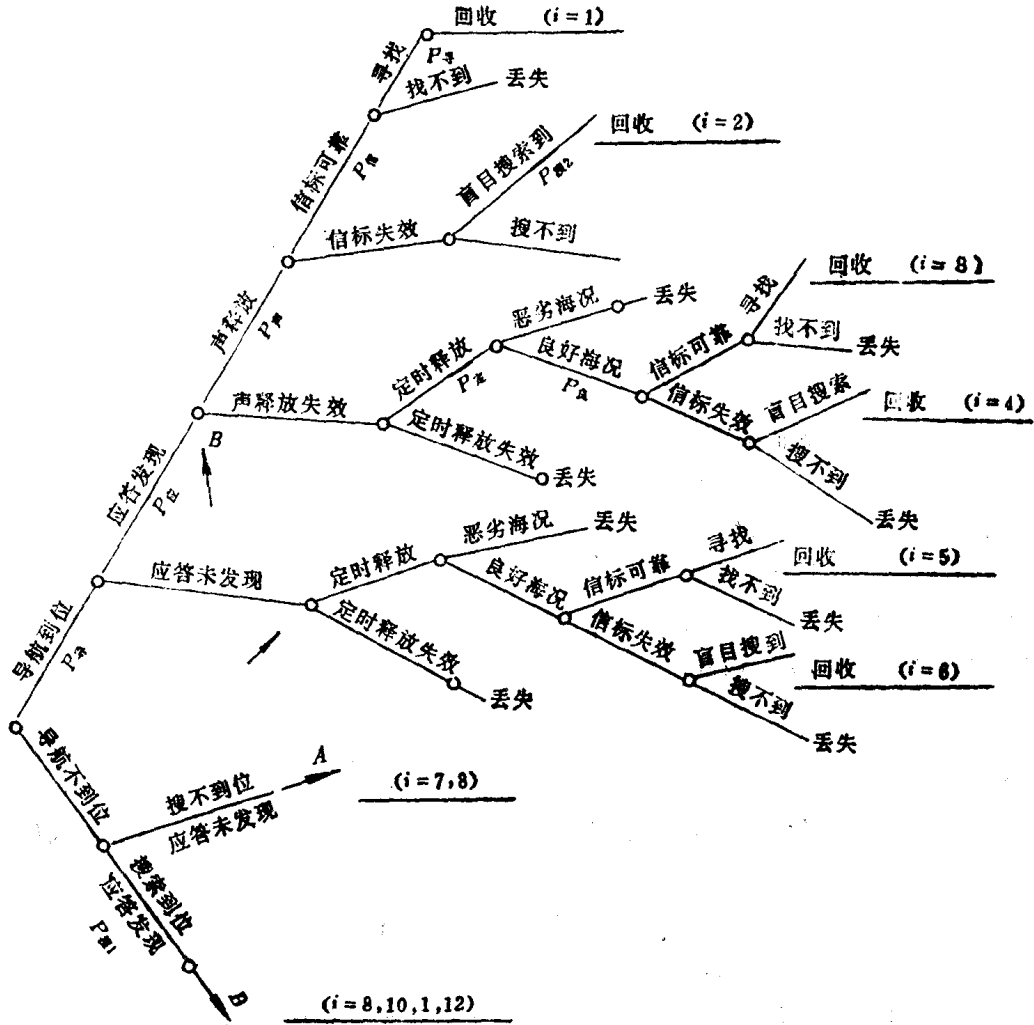


图3

图中各事件的概率为

$P_{导}$ ——导航回收船进入声学应答器作用范围内的概率；

$P_{应}$ ——在应答器作用区域内，应答器发现潜标的概率；

$P_{声}$ ——声学释放器收到释放指令后正常释放的概率（即声学释放器释放可靠度 $R(t)$ ）；

$P_{信}$ ——信标机可靠度；

$P_{导}$ ——用信标机寻找发现浮出海面的潜标系统的概率；

$P_{定}$ ——定时释放器可靠度；

$P_{良}$ ——回收时海况低于允许值以下的概率；

$P_{搜1}$ ——导航不到位的情况下，靠盲目搜索的方法进入应答器作用区域内并为应答器所发现的概率；

$P_{搜2}$ ——在信标机失效的情况下，靠盲目搜索而发现浮出海面的潜标系统的概率。

潜标系统回收率可由下式求出：

$$W = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^m P_{i,j} \quad (13)$$

式中 W —— 潜标系统回收率;

$P_{i,j}$ —— 第 i 种可能回收状态下的第 j 个事件概率。

由图 3 可知: $n=12$, m 随状态 i 的不同而异。

例如 当 $i=4$ 时, $m=7$, 则

$$\prod_{j=1}^m P_{i,j} = \prod_{j=1}^7 P_{i,j} = P_{导} \cdot P_{答} \cdot (1 - P_{声}) \cdot P_{定} \cdot P_{良} \cdot (1 - P_{信}) \cdot P_{搜}^2$$

当 $i=1$ 时, $m=5$, 则

$$\prod_{j=1}^m P_{i,j} = \prod_{j=1}^5 P_{i,j} = P_{导} \cdot P_{答} \cdot P_{声} \cdot P_{信} \cdot P_{寻}$$

由图 3 可明显看出采用定时释放器的必要性。同时也可以看出, 在定时释放的情况下, 其回收的可能性主要取决于当时的海况。当海况大于四级以上时, 由于无法进行海上回收作业, 尽管潜标系统已定时释放浮出水面, 也是无法回收的。用 $P_{良}$ 表示海况小于或等于四级时出现的概率, 即 $P_{良} = P(\text{海况} \leq \text{四级海况})$ 。根据统计资料, 在我国近海海域内全年出现的 $P_{良}$ 可达 70%—75%, 因此定时释放器对系统的回收总是有所贡献的。

六、结 语

以上分析表明, 采用储备的办法无疑会给整个潜标系统的可靠性带来显著益处。当然, 它会使系统体积重量增加, 成本有所提高, 但只要设计合理, 从整个潜标系统的经济效益分析是会带来好处的, 因此, 对于直接会给整个系统带来重大经济损失的那些部件、分机或仪器设备应当进行适当的储备。

参 考 文 献

- (1) 斎藤嘉博, 信頼性の基礎数学, 東京電機大学出版局, 1972.
中译本: 可靠性基础数学, 国防出版社, 1977.
- (2) Amstadter, B. L., Reliability Mathematics, McGraw-Hill.
中译本: 可靠性数学, 科学出版社, 1978.
- (3) Ццшонка, Н. А., Основы Теории Надежности, Советское радио, 1964.

HWL2型航空红外测温仪研究

康 长 赓

提 要

本文从理论上阐述了航空红外测温仪的系统工作原理；推导了系统功能方程，并给出了对仪器NETD的计算结果；分析了仪器的主要特点；讨论了影响测量精度的各种环境因素，并介绍了几种典型的环境误差修正方法及其机载试验情况。

一、前 言

海洋是人类日益重要的活动场所之一。为了能有效地估价大范围海面温度的变化对环境的影响，并适时地提供海面温度资料，为国民经济和国防服务，快速简便地获取海洋表面温度资料是非常重要的。

近年来星载扫描辐射计有了很大的发展。它较之机载遥感仪器可以获取更多的信息。然而，机载辐射计具有测量精度高、使用方便等优点。同时作为星载仪器的辅助研究手段，它们在中小（时空）尺度内“海-气”相互作用和其它领域的研究中仍显示出重要的作用。HWL2型航空红外测温仪是一种机载遥感仪器，主要用于航空测量海面温度，也可以用于其它目的的红外辐射测量。

二、仪器工作原理

（一） 海洋表面红外辐射特性和大气“窗口”

海洋表面的红外辐射遵循普朗克定律。温度不同其辐射能量的光谱分布情况差异较大。海水温度范围是由 -2°C (271K)到 $+35^{\circ}\text{C}$ (308K)。根据维恩定律可知，对应上述温度的海水红外辐射光谱特性曲线的峰值分别在 $10.7\mu\text{m}$ (-2°C)和 $9.4\mu\text{m}$ ($+35^{\circ}\text{C}$)。计算表明在 $8-13\mu\text{m}$ 谱区，海表面的红外辐射能量约占其全光谱辐射能量的30%，即自然界中海水的红外辐射能量主要集中在 $8-13\mu\text{m}$ 谱区。另一方面，大气的红外透过率与波长有关。根据透过率大小可以确定三个大气“透明窗口”， $8-13\mu\text{m}$ 谱区是其中典型“窗口”之一。结合海水红外辐射能量的分布情况，本仪器选择 $8-13\mu\text{m}$ 为工作谱区。

(二) 仪器工作原理

图1是系统原理框图，由光学探头和电子控制单元两部分构成。在光学探头中，有对红外辐射敏感的探测器5——热敏电阻测辐射热计，它位于参考辐射源腔体6的底部。调制片2打开时，海面的红外辐射能 $W_\lambda(\lambda, T_s)$ 由光学元件4等汇聚到探测器5上。由于参考辐射方向与光学系统是同轴的，当调制片2遮挡了入射光路时，调制片镀金反射面将参考辐射源的辐射能量 $W_\lambda(\lambda, T_b)$ 反射回来投射到探测器上。调制片由同步电机10驱动而恒速转动时，探测器就周期地接收目标和参考辐射源的辐照。

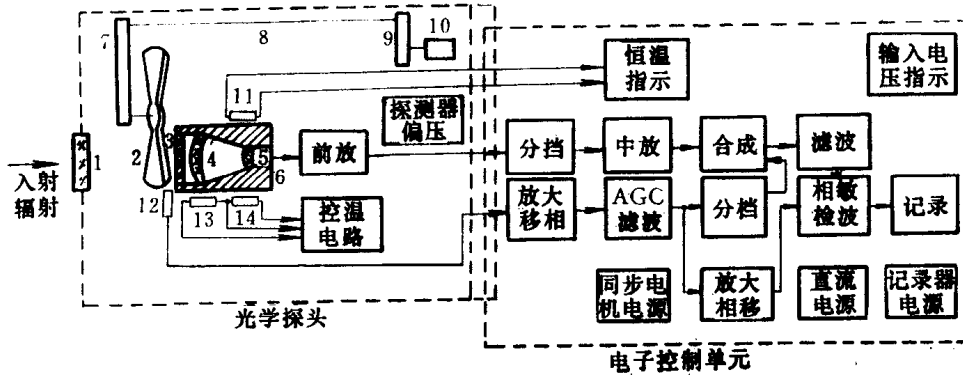


图1 HWL2型航空红外测温仪系统原理框图

1.——锗平镜；2.——调制片；3.——滤光片；4.——锗透镜；5.——探测器；6.——参考辐射源；7.——前齿轮箱；8.软轴；9.——后齿轮箱；10.——同步电机；11.——监视热敏电阻；12.——磁头；13.——加热丝；14.——控温热敏电阻

探测器上光谱辐照度的峰值为参考辐射源和目标辐照的差值

$$\Delta H_\lambda(\lambda, T) = H_\lambda(\lambda, T_b) - H_\lambda(\lambda, T_s) \quad (1)$$

当参考辐射源辐射能量近似恒定时，上式中探测器上的光谱辐照度峰值可以认为仅随着由目标产生的辐照度的变化而改变。

当通光孔径打开时，海面的光谱辐照度为

$$W_\lambda(\lambda, T_s) = C_1 \lambda^{-5} (\exp C_2 / \lambda T_s - 1)^{-1} \quad (2)$$

式中 $W_\lambda(\lambda, T_s)$ ——按黑体计算的海面光谱辐射度($W \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)；

C_1 ——第一辐射常数($3.7415 \times 10^4 W \cdot \text{cm}^{-2} \mu\text{m}^4$)

C_2 ——第二辐射常数($1.4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$)

光谱面辐射强度为

$$N_\lambda(\lambda, T_s) = \frac{1}{\pi} W_\lambda(\lambda, T_s) \quad W \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$$

此时探测器表面的光谱辐照度为

$$H_\lambda(\lambda, T_s) = \tau_\lambda(\lambda, T_s) \eta(\lambda) \Omega \varepsilon_\lambda(\lambda, T_s) N_\lambda(\lambda, T_s) W \cdot \text{cm}^{-2} \quad (3)$$

式中 $\tau_\lambda(\lambda, T_s)$ ——大气的光谱透过率；

$\eta(\lambda)$ ——光学系统的光谱透过；

Ω ——系统的视场角;

$\epsilon_\lambda(\lambda, T_s)$ ——海水的光谱比辐射率。

若暂不计温度的影响且在 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ 分谱内 $\tau_\lambda(\lambda, T_s)$, $\eta(\lambda)$, $\epsilon_\lambda(\lambda, T_s)$ 分别用其平均值 τ_s , η 和 ϵ_s 代替, 则在 $\Delta\lambda$ 的分谱辐照度为

$$H_{\Delta\lambda}(\lambda, T_s) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_\lambda(\lambda, T_s) d\lambda$$

$$= \frac{1}{\pi} \tau_s \cdot \eta \cdot \Omega \cdot \epsilon_s \cdot e(\Delta\lambda, T_s) \sigma T_s^4 \quad (4)$$

式中 $e(\Delta\lambda, T_s)$ —— $\Delta\lambda$ 分谱内能量占全辐射能量的百分数;

σ ——斯忒藩-玻尔兹曼常数

$$5.6697 \times 10^{-12} \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

当入射光路为调制片遮挡时, 经过类似推导可得参考辐射源在探测器表面的辐照度为

$$H_{\Delta\lambda}(\lambda, T_s) = \frac{1}{\pi} r_s \eta' \Omega \rho(\Delta\lambda, T_s) \sigma T_s^4 \quad (5)$$

式中 r_s ——调制片在 $\Delta\lambda$ 谱区内的平均反射率;

η' ——部分光路的平均透过率;

$\rho(\Delta\lambda, T_s)$ ——温度为 T_s 时分谱内能量占全辐射能量的百分数。

设系统通光孔径为 A_s , 则探测器上的辐照功率为

$$P = A_s \cdot \Delta H_{\Delta\lambda}(\lambda, T) \quad (6)$$

令 R 为探测器响应率在谱区内的平均值, K 和 C 分别为调制因子和电路因子, 则探测器输出信号的有效值为

$$V_s = \frac{1}{\pi} K C R A_s \Omega \sigma [r_s \eta' \rho(\Delta\lambda, T_s) T_s^4 - \tau_s \eta \rho(\Delta\lambda, T_s) \epsilon_s T_s^4] \quad (7)$$

上式说明当系统参数给定, 且环境条件近似不变时; 探测器输出信号有效值仅是目标温度 T_s 的函数。此信号经过处理即可得海表面温度。

三、系统功能方程和温度分辨率

系统噪声等效通量密度 $NEFD(\text{W} \cdot \text{cm}^{-2})$ 亦即系统灵敏度定义为外来目标辐照在探测器上产生的信号恰等于探测器固有噪声时的目标在系统接收孔径上的辐照度。

探测器的噪声等效功率为

$$NEP = \frac{(A_s)^{1/2} (\Delta f)^{1/2}}{D^*} \quad (8)$$

式中 A_s ——探测器有效工作面积 (cm^2);

Δf ——电子学系统等效噪声带宽 (Hz);

D^* ——探测器探测率 ($\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} \text{W}^{-1}$)。

由此可得系统的噪声等效通量密度为

$$NEFD = \frac{NE\sqrt{D}}{\eta \cdot A_s \cdot G} \quad (\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (9)$$

式中 G ——系统的信号变换效率。

系统功能方程描述了当被测目标温度变化所引起的探测器表面辐照度的变化等于噪声等效通量密度时，目标温度变化增量 ΔT_s 和系统参数的关系。

海面目标温度改变 ΔT_s 时，系统接收孔径上的照度的变化为

$$\Delta H_{\Delta\lambda}(\lambda, T_s) = \frac{4}{\pi} \tau_a \Omega \rho(\Delta\lambda, T_s) \varepsilon_s \sigma T_s \Delta T_s$$

令 $\Delta H_{\Delta\lambda}(\lambda, T_s)$ 与 $NEFD$ 相等，并用组合焦距 f 和探测器工作元件面积 A_s 表示 Ω ，则可得噪声等效温差 $NETD$ ，也即系统功能方程为

$$NETD = \Delta T_s = G \cdot \tau_a \cdot \varepsilon_s \cdot \rho(\Delta\lambda, T_s) \cdot \sigma \cdot T_s \cdot \left(\frac{1}{\eta D^*} \right) \left(\frac{\Delta f}{A_s} \right)^{1/2} \left(\frac{f}{D_s} \right)^2 \quad (10)$$

分析系统功能方程可知，在进行系统设计时可以通过调整系统有关参数得到较高的温度分辨率。

四、仪器的主要特点

(一) 用参考辐射源作测量基准

在进行低温辐射测量时，除目标外，由于背景的附加辐射也投射到探测器上，因而带来测量误差。本仪器在解决这一技术问题时，除了合理地设计光机结构，减少杂散辐射的影响，采取措施将热源尽量远离调制片使后者本身温度尽量稳定外，最主要的是本仪器探头内有恒温的参考辐射源作测量基准。

由参考辐射源 $W_\lambda(\lambda, T_b)$ 可得

$$\frac{\Delta W_\lambda(\lambda, T_b)}{W_\lambda(\lambda, T_b)} = \frac{\Delta \varepsilon_b}{\varepsilon_b} + 4 \cdot \frac{\Delta T_b}{T_b} \quad (11)$$

由此可知，参考辐射源工作温度 T_b 的微小变化对其辐射度影响较大。为使 T_b 恒定，采用了双层结构的恒温槽装置。

如图 2 所示，参考辐射源腔体 8 连同探测器 9 及滤光片 6 和锗透镜 7 等置于内槽。整个部件又用玻璃杜瓦瓶 19 保温。杜瓦瓶外有外槽，两槽控温电路 11 也在外槽中，使其受环境温度影响较小。

采用恒温的参考辐射源作绝对测量基准可以使仪器具有较高的测量精度。在 1976—1977 年经二百余次测量其均方根误差为 $\pm 0.13^\circ\text{C}$ $\pm 0.20^\circ\text{C}$ 。