

国产 XBT 海上测试及实际使用效果分析

张 平¹, 唐锁夫², 屈 科¹, 张 强¹

(1. 中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032; 2. 702 厂, 上海 200434)

摘要: 投弃式温度探头(XBT)是一种国内外广泛应用的海洋温度剖面测量工具, 其国产化对于我国的海洋探测与科学考察具有重大意义。比较了国产与进口 XBT 的技术参数。结合海洋调查的实际使用情况进行了海上综合对比测试。试验结果表明: 国产 XBT 在测量效果及可靠性上足以媲美国外同等规格产品。同时分析了存在的问题, 为进一步完善产品提出了建议。

关键词: 国产投弃式温度探头 XBT; 标准差; 可靠性; 问题与建议

中图分类号: TB533

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2012)-06-0570-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2012.06.007

Test and analysis on domestic-made XBT probe

ZHANG Ping¹, TANG Suo-fu², QU Ke¹, ZHANG Qiang¹

(1. Shanghai Acoustics Laboratory, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China;
2. 702 Workshop, Shanghai 200434, China)

Abstract: The expendable bathythermograph (XBT) is widely used in ocean temperature profile measurement. Its nationalization is important for China's ocean exploration and scientific survey. In this paper, the technical parameters of domestic-made and imported XBT are compared. Taking advantage of the chance of other sea trials, comparative experiment was carried out. The results show that the performance and reliability of the domestic-made XBT are as good as the imported one. The existing problems are analyzed and recommendations to further improve the domestic-made product are given.

Key words: domestic-made XBT probe; standard deviation; reliability; problems and suggestion

0 引言

为了解决船舰在机动状态下的海洋环境参数测量问题, 上世纪 60 年代, 国外开发了应用于船舰平台的投弃式海洋环境测量探头, 例如投弃式温度探头 XBT(Expendable Bathythermograph), 可以在不影响船舰航行状态下, 快速获取海洋温度剖面。时至今日, XBT、XCTD(Expendable Conductance Temperature Depth)等投弃式测量仪器, 仍然是海洋调查、水声探测等方面非常重要的测量装备和测量手段^[1]。

在各类投弃式海洋环境测量探头中, 使用最为广泛的是 XBT, 其主要由姿态控制部件、温度传感器、信号传输线等组成。

探头上的姿态控制部件, 使探头按照一定的规律在海水中下降。投放 XBT 后, 当探头到达海面

时, 数据采集板上的计时器开始计时, 这样由探头的下降速度和下降时间, 就可以计算出探头在海水中的深度值; 同时, 装在探头前端的温度传感器, 把海水的温度值按一定的规律, 转换成相应的电阻值, 并通过信号传输线, 把温度传感器的电阻值, 实时地传输到数据采集器中用于采样。根据电阻值就可以计算出当前海水的温度值, 从而得到海水的温度深度剖面。

我国从上世纪 80 年代, 就开始了 XBT 的研制工作, 但限于国内的传感器技术水平落后, 所以进展缓慢。同时, XBT 属一次性消耗性的测量设备, 既要保证测量的准确性, 制造成本又要尽可能的低, 这就对其系统设计和生产工艺提出了较高的要求。直到上世纪 90 年代后期, 国内的温度传感器设计和制造水平有了较大的发展后, 国产 XBT 才逐步进入设计定型阶段。通过近十年的发展, 至今, 国产 XBT 在各个环节均日臻成熟。

长期以来, 我国在海洋调查中, 主要使用进口的 T-10 和 T-7 两种型号 XBT, 对其性能、特点、使用等方面都比较了解, 对数据的处理也有比较完善的方法。最近几年开始, 随着国产 XBT 的性能

收稿日期: 2012-02-06; 修回日期: 2012-05-23

作者简介: 张平(1981—), 男, 宁夏固原人, 工程师, 研究方向为海洋仪器。

通讯作者: 张平, E-mail: zp@mail.ioa.ac.cn

提高，其测量效果正在被越来越多的用户所认可，使用范围和规模也逐步扩大，所以有必要对国产 XBT 的性能和实际使用情况进行分析和总结。

本文以 2011 年 7 月进行的 XBT 海上综合测试对比实验结果，及近两年来的几次海上调查中实际使用情况为基础，对国产 XBT 的性能、使用效果、存在问题等情况进行分析。

1 国内主要使用的 XBT 类型及指标

目前，国内使用的 XBT，主要有中国科学院声学研究所东海研究站所生产的 D3、D5、D7 三个型号的 XBT，及日本 TSK 公司在亚洲地区销售的 T-10、T-6、T-7 三个型号的 XBT。几种 XBT 的主要技术指标如下表 1 所示。

表 1 几种型号的 XBT 主要技术指标对比
Table 1 Technical parameter comparison of several XBT probes

厂家	型号	温度测量范围/°C	温度测量误差/°C	深度测量范围/m	深度测量误差/m
日本, TSK	T-10	-2~35	±0.2	0~200	±2%或 5
	T-6	-2~35	±0.2	0~460	±2%或 5
	T-7	-2~35	±0.2	0~760	±2%或 5
中国科学院声学研究所东海研究站	D3	-2~35	±0.2	0~300	±2%或 5
	D5	-2~35	±0.2	0~500	±2%或 5
	D7	-2~35	±0.2	0~760	±2%或 5

2 海上综合测试对比实验及分析

2011 年 7 月 19 日至 27 日，搭载中国科学院声学研究所“实验 1 号”科考船，在南海进行了 XBT 的海上综合测试对比实验。整个实验包括两次定点对比实验和三次走航对比实验，分别在实验船走航和漂泊状态下，投放了 D3、D5 型 XBT 各 6 只，D7 型 XBT 共 20 只，T-10 型 XBT 共 7 只，并与温盐深仪(Conductance Temperature Depth, CTD)测量数据进行对比。

2.1 第一次定点对比实验描述及分析

第一次定点对比实验中，在进行 CTD 测量的同时，投放 D7 型 XBT 共 7 只，然后依次投放 T-10 型 XBT 和国产 D3、D5 型 XBT 各 1 只，整个实验过程共持续 70 min。以 CTD 测量曲线作为真值(实线)进行测量效果分析。各类型 XBT 与 CTD 测量曲线如图 1 所示(为了对比效果，只选择 300m 深度进行对比)。

投放的 7 只 D7 型 XBT 中，除 1 只 XBT 因为

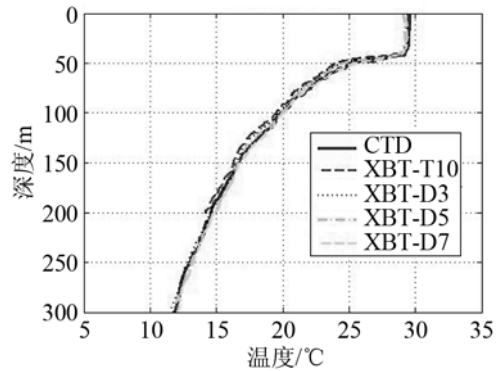


图 1 第一次实验：四型 XBT 与 CTD 测量曲线对比
Fig.1 The first experiment: four types of XBT and CTD measurement curves

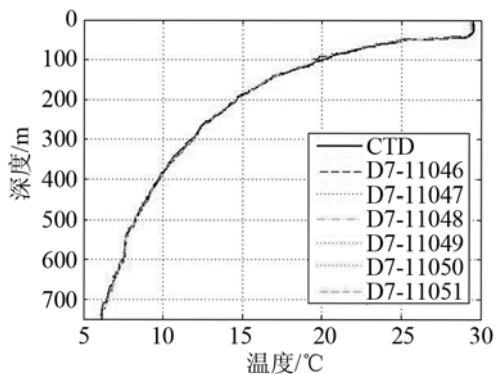


图 2 第一次实验：6 只 D7 型 XBT 与 CTD 测量曲线对比
Fig.2 The first experiment: six D7 XBT and CTD measurement curves

操作失误没有取得数据以外，共取得 6 组完整的数据，与 CTD 的曲线对比如图 2 所示。

对于第一次定点实验中得到的数据，选择前 200 m 深度的测量数据、全部测量数据，分别计算每只 XBT 测量的标准差。

计算方法为：利用 CTD 数据对 XBT 深度读数点进行插值，求出插值点深度对应的温度数据，作为计算统计误差的真值；然后与 XBT 对应深度的测量温度值进行误差计算^[2,3]。计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots + \epsilon_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum \epsilon_i^2}{n}}$$

其中： $\epsilon_i = X_i - T$ ， ϵ_i 为误差； X_i 为测定值； T 为真实值。

对每只 XBT 测量数据计算标准差，计算结果如表 2 所示。

T-10 型 XBT 由于深度测量范围为 0~200m，所以表 2 中的前 200 m 测量标准差与全深度测量标准差相同。表 3 中与此类同。

2.2 第二次定点对比实验描述及分析

第二次定点对比实验与第一次试验过程类似，首先进行 CTD 测量，在进行 CTD 测量的同时，投放 D7 型 XBT 共 6 只，然后投放 2 只 T-10 型 XBT，

表 2 第一次定点实验中 XBT 测量数据的标准差

Table 2 Calculation results of XBT data standard deviation from the first fixed point test

型号	XBT 编号	前 200m 测量标准差/°C	全部深度测量标准差/°C
T-10	34	0.603	0.603
D3	11159	0.398	0.342
D5	11952	0.331	0.279
D7	11046	0.167	0.133
	11047	0.130	0.099
	11048	0.163	0.112
	11049	0.144	0.124
	11050	0.165	0.120
	11051	0.182	0.112

D3、D5 型 XBT 各 1 只，整个实验过程共持续 40 min。各类型 XBT 与 CTD 测量曲线如图 3 所示(选择 300 m 深度进行对比)。

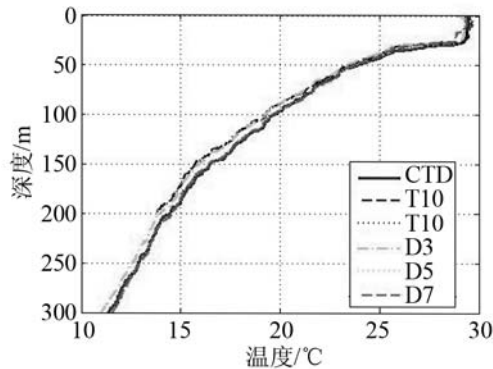


图 3 第二次实验：四型 XBT 与 CTD 测量曲线对比
Fig.3 The second experiment : four types of XBT and CTD measurement curves

投放的 6 只 D7 型 XBT 中，除编号为 11057 的 XBT 在 110 m 处断线以外，共取得 5 组完整的数据，与 CTD 的曲线对比如图 4 所示。

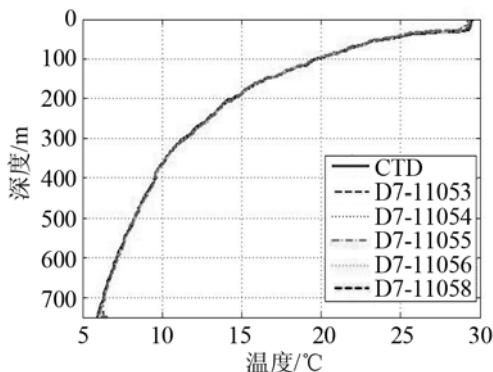


图 4 第二次实验：5 只 D7 型 XBT 与 CTD 测量曲线对比
Fig.4 The second experiment: five D7 XBT and CTD measurement curves

与第一组试验数据误差计算方法相同，对于第二次定点实验所得到的测量数据，分别选择前 200 m 深度的测量数据与全部测量数据，计算每只 XBT 测量数据的标准差，计算结果如表 3 所示。

表 3 第二次定点实验中 XBT 测量数据的标准差计算结果

Table 3 Calculation results of XBT data standard deviation from the second fixed point test

型号	XBT 编号	前 200m 测量标准差/°C	全部深度测量标准差/°C
T-10	36	0.622	0.622
	37	0.592	0.592
D3	11162	0.586	0.517
D5	11954	0.183	0.141
	11054	0.157	0.123
	11055	0.145	0.087
	11056	0.121	0.097
	11058	0.398	0.205
	11059	0.291	0.167

2.3 走航实验说明

走航实验中，实验船的航速为 10~11 kn，均为 2 级海况。第一次和第二次走航实验中，每次实验投放上述四个型号的 XBT 各 1 只，均取得完整有效数据；第三次走航实验中，投放 D3、D5、T-10 型 XBT 各 2 只，D7 型 XBT 共 5 只，全部取得有效数据。

2.4 由测试对比实验结果可以得到的结论

根据上述实验结果，结合以往海洋调查时国内外 XBT 的使用情况，可以得到以下结论：

(1) 相同的使用条件下，对于海洋表层温度测量，进口 XBT(以日本 TSK 公司生产的 T-10、T-7 为对象)比国产 XBT 测量效果更优。

通常情况下，水面部分温度测量误差，同 XBT 的使用条件关联，水面温度与 XBT 测量探头自身的温差越大，测温误差越大。在此次对比实验中，国外 XBT 在第一个测量点(深度 0.6 m 左右)，温度误差较大，当深度变化到 3 m 以后，温度测量基本能够完全跟随温度变化；而国产 XBT 除了在深度 1 m 内温度测量误差较大外，一般在深度 5 m 后，才能完全跟随温度的变化。

(2) 进口同批次 XBT 在测量一致性上优于国内产品。在定点测量中，相同型号的几个进口 XBT 的测量曲线基本完全重合，相对而言，国产 XBT 的测量曲线更离散些。

(3) 就整个 XBT 测量系统而言，在与 CTD 测量结果(作为真值)的对比中，进口 XBT 测量系统可能存在系统误差，与此同时，国产 XBT 测量精度并不低于国外产品。

3 可靠性分析

在需要大规模使用 XBT 的海上调查时，产品

的稳定性和可靠性, 对于能否获得优质调查数据和取得此次任务的成功尤为重要。一般来说, XBT 的可靠性, 除了由产品本身的设计及生产过程决定外, 还跟使用条件紧密相关, 比如船只的状况、海况、操作人员等。下面, 对国产 XBT 的可靠性进行初步分析。

在 2011 年 7 月进行的海上综合测试对比实验中, 共投放 32 只三个型号的国产 XBT, 其中除 1 只操作失误、1 只没有达到指定深度以外, 其余 30 只工作正常, 获取有效数据的成功率为 93.75%;

在 2010 年 5 月, 某单位组织的海上测试中, 共投放 D5 型 XBT 共 30 只, 其中取得 29 组有效数据, 获取有效数据的成功率为 96.67%;

在 2010 年, 某研究所海洋调查中, 共投放 D3 型和 D5 型 XBT 共约 200 只, 获取有效数据的成功率在 95%以上;

在 2011 年 3 月, 某研究所组织的印度洋科考中, 共投放 D3 型和 D5 型 XBT 共 200 只左右, 获取有效数据的成功率在 95%以上;

在 2011 年 11 月, 某专项在南海调查中, 共投放 300 只 D5 型 XBT, 包括 7 只人员操作失误在内, 无效投放总数为 13 只, 共取得 287 组有效数据, 获取有效数据的成功率为 95.67%。

以上所述结果统计为表 4:

表 4 国产 XBT 的有效性统计
Table 4 Effectiveness statistical results of domestic-made XBT in recent experiments

使用说明	XBT 型号及数量	成功率
2011 年 7 月海上综合测试对比实验	D3、D5、D7 三个型号, 共 32 只	93.75%
2010 年 5 月某单位组织的海上测试	D5 型, 30 只	96.67%
2010 年某研究所大洋科考	D5 型, 约 200 只	95%以上
2011 年 3 月某研究所印度洋科考	D3 型和 D5 型, 共 200 只左右	95%以上
2011 年 11 月南海某专项调查	D5 型, 300 只	95.67%

从以上统计数据来看, 国产 XBT 海上实际使用的可靠性达到 90%以上, 并且在几次测试和批量

使用中表现一致。在与进口 XBT 实际使用中的统计数据相比, 国产 XBT 在可靠性上与进口 XBT 表现相当, 甚至优于进口产品;

同时, 国产 XBT 无效投放的原因中, 人为操作失误所占比例在 1/3 以上; 但进口产品中, 这一比例较小。

4 国产 XBT 改进建议

根据前面的海上综合对比测试结果, 结合其它海上使用经验, 对国产 XBT 建议从以下几个方面进行改进:

(1) 优化结构设计和数据采集电路设计, 克服可能存在较大测量误差的表层温度测量;

与此同时, 在实际的使用当中, 应该强调, 将要投放的 XBT, 提前存放在环境温度与海洋表层温度相差不大的地方, 减小因为两者温差过大引起的海洋表层测量误差。

(2) 优化生产工艺并严格过程控制, 提高产品的一致性;

(3) 优化系统设计, 改进操作方式, 减少人为失误。

5 总结

总之, 在测试实验和实际应用中, 国产 XBT 都有着良好的表现, 特别在测量效果和可靠性方面, 足以媲美国外同等规格的产品。并且填补了国产投弃式测量产品空白, 有很好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Hallock Z R, Teague W. J. The fall rate of the T-7 XBT[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1992, 9: 470-483.
- [2] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [3] 吕国涛, 胡长青, 张平. 利用二次拟合对 XBT 探头相关参数的改进[J]. 声学技术, 2009, 28(2, pt.2): 28-30.
LÜ Guotao, HU Changqing, ZHANG Ping. Research on improving related parameters of XBT based on quadratic fitting[J]. Technical Acoustics, 28(2, pt.2), 2009: 28-30.