

海洋环境自动观测系统气压现场校准方法及 不确定度评定

苏继琨,林雪丽,张涛,高昆,孙蕾,谷贝,辛阿阿

(国家海洋局北海标准计量中心 青岛 266033)

摘要:文章依据 JJG(海洋)01—1994《海洋资料浮标传感器检定规程》^[1]、JJG860—1994《压力传感器(静态)检定规程》以及 2013 年 8 月 13 日最新实施的 JJG1084—2013《数字式气压计检定规程》,结合海洋环境监测站和海洋资料浮标的海洋环境自动观测系统设备现场校准工作,研究总结了应用 0.02 级数字式气压计在现场校准 0.1 级气压传感器的校准方法,并在实际工作中得到使用,结果准确可靠。依据 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》,运用测量结果不确定度评定与表示方法,对测量结果不确定度进行了评定。符合条件要求的测量结果,一般可参照使用本不确定度的评定方法。

关键词:海洋环境自动观测系统;气压传感器;校准方法;不确定度

中图分类号:P71 **文献标志码:**A **文章编号:**1005—9857(2015)08—0092—04

历年来,国家海洋局北海标准计量中心承担着对北海区已纳入全国观测预报业务系统运行的海洋环境监测站自动观测系统和海洋资料浮标传感器开展现场计量校准工作。派遣优秀的技术人员,脚步遍及海洋台站的每一座山、每一个岛、每一个海上浮标,对自动观测系统的所有传感器进行现场示值比对校准,确保了量值溯源,保证了监测设备的准确可靠,为海洋环境观测预报提供了有力保障。

现场实际比对校准工作与实验室检测工作不同,在符合规程对实验环境的要求同时,所采取的实验方法应依据检定规程结合实际现场环境进行。本文基于海洋环境监测站和海洋资料浮标的海洋环境自动观测系统设备现场校准工作,依据 JJG(海洋)01—1994《海洋资料浮标传感器检定规程》^[1]、JJG860—1994《压力传感器(静态)检定规程》^[2]以及 2013 年 8 月 13 日最新实施的 JJG1084—2013《数字式气压计检定规程》^[3],把气压传感器实验室检定方法与现场校准工作进行比较,从而研究讨论适用于现场校准气压传感器的方法和不确定度评定。

1 气压传感器的现场校准方法

在实验室中检定气压传感器依据 JJG(海洋)

01—1994《海洋资料浮标传感器检定规程》^[1]和 JJG860—1994《压力传感器(静态)检定规程》^[2]。规程要求使用双管水银气压表或数字式气压计作为标准器,要求单独取气压传感器对其进行输出电压测量。而现场实际情况是适宜要求便携和精确的气压标准器,且自动观测系统为各种气象数据传感器的集成设备,单独的传感器不宜拆卸。所以在实际现场校准自动观测系统的 0.1 级气压传感器时,我们采用 0.02 级数字气压计作为标准器,利用自动观测系统设备为实时数字显示的特性,结合 JJG1084—2013《数字式气压计检定规程》^[3],总结了现场校准方法。

1.1 范围

本校准方法适用于测量范围在 800 ~ 1 100 hPa 内海洋环境自动观测系统气压传感器的使用中校准。

1.2 引用文件

JJG1084—2013 数字式气压计^[3];JJG(海洋)01—1994 海洋资料浮标传感器^[1];JJG860—1994 压力传感器(静态)^[2]。

1.3 技术要求

(1)传感器结构应完整,接口明显,内部结构密闭,接(插)件应牢固,不应有松动现象。

(2) 传感器应标明型号、编号、测量范围、制造单位或商标等信息。

(3) 采集数据应在自动观测系统显示界面实时显示,要求更新时间不大于 2 s。

1.4 标准器及辅助设备

标准器为数字气压计,测量范围应覆盖被测设备的测量范围,最大允许误差的绝对值应不大于被测设备最大允许误差绝对值的 1/3。辅助设备为压力控制装置。

1.5 环境条件

环境温度: $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 环境湿度: 不大于 80% RH。

1.6 校准方法

校准方法包括:① 外观及功能检测;② 校准时传压介质选用洁净干燥的空气;③ 传感器示值误差的校准按图 1 所示的方式连接;④ 校准时应尽量使气压传感器压力参考位置与标准器压力参考位置在同一水平面上;⑤ 校准前应对校准系统进行密封性检测;⑥ 在传感器测量范围内均匀选取不少于 6 个整 10 hPa 检定点,逐点对传感器进行升压(降压)试验,压力控制装置在校准点稳压波动在 ± 1 hPa 内,待被测系统显示数字不变时记录数据。此工作重复不少于 3 次循环。

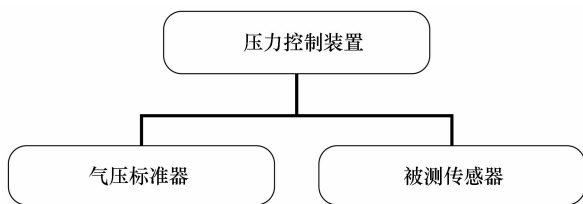


图 1 传感器示值误差校准气路连接方式

1.7 计算被测传感器各校准点的示值误差

按式(1)和式(2)分别计算气压传感器各校准点正行程、反行程示值误差,即

$$\Delta p'_{ij} = p'_{ij} - (p_{ij} + c_i) + \delta p_{Hi} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

$$\Delta p'_{Di} = p'_{Di} - (p_{Di} + c_i) + \delta p_{Hi} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中: $\Delta p'_{ij}$ 为传感器正行程第 i 个校准点第 j 次校准示值误差, hPa; c_i 为标准器第 i 各校准点示值修正值, hPa; δp_{Hi} 为传感器第 i 个校准点由高度差引起的示值误差修正值, hPa; $\Delta p'_{Di}$ 为传

感器反行程第 i 个校准点第 j 次校准示值误差, hPa。

按式(3)和式(4)分别计算气压传感器各校准点正行程、反行程示值误差的平均值,即

$$\overline{\Delta p'_{i}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta p'_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$\overline{\Delta p'_{Di}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta p'_{Dij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

式中: $\overline{\Delta p'_{i}}$ 为传感器正行程第 i 个校准点示值误差平均值, hPa; $\overline{\Delta p'_{Di}}$ 为传感器反行程第 i 个校准点示值误差平均值, hPa。

按式(5)分别计算气压传感器各校准点示值误差的平均值,即

$$\overline{\Delta p'_i} = \frac{1}{2} (\overline{\Delta p'_{i}} + \overline{\Delta p'_{Di}}) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

式中: $\overline{\Delta p'_i}$ 为传感器第 i 个校准点示值误差平均值, hPa。

2 不确定度评定

2.1 测量依据

依据 JJG1084—2013《数字式气压计检定规程》^[2] 和 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》^[4] 进行测量。

2.2 测量标准

0.02 级数字气压计, 测量范围为 600 ~ 1 100 hPa, 最大允许误差为 0.02% FS。

2.3 测量方法

选定一台 0.1 级气压传感器, 其测量范围为 800 ~ 1 100 hPa, 最大允许误差为 0.1% FS。用标准器在要求环境下对其进行升降压比对。逐点读取被测传感器响应示值, 被测传感器响应示值与标准器产生的压力值之差为该传感器的示值误差。

2.4 评定结果的使用

符合上述条件的测量结果, 一般可参照使用本不确定度的评定方法。

2.5 数学模型

建立不确定度计算的数学模型, 即

$$\Delta p = p_R - p_S + \delta p_H \quad (6)$$

式中: Δp 为传感器各校准点的示值误差; p_R 为

传感器各校准点正反行程示值； p_s 为标准器修正后各校准点正反行程示值； δp_H 为传感器各校准点由高度差引起的示值误差修正值。

2.6 不确定度分量的来源及其评定

2.6.1 示值重复性引起的不确定度分量

$u_1(p_R)$

在 被测气压传感器量程范围内均匀选取 7 个校准点,每个校准点正反行程循环比对 5 次。此项不确定度类型为 A 类,概率分布为正态分布,由示值重复性引起的不确定度分量

$$u_1(p_R) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n(n-1)}} \tag{7}$$

式中： p_i 为压力校准点上被测传感器的第 i 个示值； $\bar{p}$ 为压力校准点上被测传感器的示值平均值。

不确定度分量见表 1 所示。

表 1 示值重复性引起的不确定度分量

标准值/hPa	平均值/hPa	不确定度分量 $u_1(p_R)$ /hPa
800.0	800.16	0.038
850.0	850.15	0.037
900.0	900.19	0.038
950.0	950.13	0.037
1 000.0	1 000.20	0.038
1 050.0	1 050.21	0.038
1 100.0	1 100.20	0.039

2.6.2 被测数字气压计分辨力引起不确定度分量 $u_2(p_R)$

被测数字气压计的分辨力为 0.1 hPa,此项不确定度类型为 B 类,概率分布为均匀分布。由此引起的不确定度分量为

$$u_2(p_R) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.057\ 7 \tag{8}$$

2.6.3 标准器最大允许误差所产生的不确定度分量 $u_3(p_S)$

选用的标准器最大允许误差为 0.2 hPa,此项不确定度类型为 B 类,概率分布为均匀分布。

由此引起的不确定度分量为

$$u_3(p_S) = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115\ 5\ \text{hPa} \tag{9}$$

2.6.4 工作介质高度差误差修正值引起的不确定度分量 $u_4(p_H)$

依据 JJG1084—2013《数字式气压计检定规程》^[3],由参考位置高度差引起的示值误差应不超过被测气压计最大允许误差的 1/10,在此为 0.1 hPa。此项不确定度类型为 B 类,概率分布为均匀分布,由此引起的不确定度分量为

$$u_4(p_H) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.057\ 7\ \text{hPa} \tag{10}$$

2.7 合成测量不确定度

不确定度分量汇总见表 2 所示。

表 2 合成测量不确定度

不确定度来源	分布	包含因子	类型	不确定度分量/ hPa
测量重复性	正态	1	A	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}{n(n-1)}}$
被测仪器分辨力	均匀	$\sqrt{3}$	B	0.058
标准器最大 允许误差	均匀	$\sqrt{3}$	B	0.116
工作介质高度 差误差修正值	均匀	$\sqrt{3}$	B	0.058

以上各量互不相关,故合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta p) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (c_i u_i)^2} = \sqrt{u_1^2(p_R) + u_2^2(p_R) + u_3^2(p_S) + u_4^2(p_H)} \tag{11}$$

2.8 扩展不确定度

被测气压传感器示值误差的测量结果符合正态分布,置信概率为 95%,此时扩展因子 $k=2$,扩展不确定度为

$$U = 2u_c(\Delta p) \tag{12}$$

示值误差测量结果不确定度报告见表 3。

2.9 不确定度验证

采用传递比较法^[5],用该标准器对经上级标准器校准符合要求的气压传感器进行校准(表 4)。

表 3 扩展不确定度

测量点 /hPa	测量重复性引 入不确定度分 量/hPa	被测仪器分辨 力引入不确定 度分量/hPa	标准器最大允 许误差引入不 确 定 度 分 量/hPa	工作介质高度 差误差修正值 引入不确定度 分量/hPa	公式	U_i /hPa
800.0	0.038	0.058	0.116	0.058	$u_c(\Delta p) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (c_i u_i)^2}$ $U=2 u_c(\Delta p)$	0.294
850.0	0.037	0.058	0.116	0.058		0.294
900.0	0.038	0.058	0.116	0.058		0.294
950.0	0.037	0.058	0.116	0.058		0.294
1 000.0	0.038	0.058	0.116	0.058		0.294
1 050.0	0.038	0.058	0.116	0.058		0.294
1 100.0	0.039	0.058	0.116	0.058		0.294

表 4 不确定度验证

被测标称 值/hPa	上级标准器 示值/hPa	本标准器 示值/hPa	对比结果 差值/hPa
800.0	799.98	800.01	−0.03
850.0	849.98	850.01	−0.03
900.0	899.99	900.02	−0.03
950.0	949.97	950.02	−0.05
1 000.0	999.98	1 000.01	−0.03
1 050.0	1 049.97	1 050.01	−0.04
1 100.0	1 099.98	1 100.02	−0.04

如表 4 所示,对比结果最大差值为0.04 hPa,满足 $|y-y_0| \leq U$ 的条件,所以该测量不确定度得到验证。

3 结论

通过实验验证,该应用 0.02 级数字式气压计在现场校准 0.1 级气压传感器的校准方法及示值误差测量不确定度评定符合 JG1084—2013《数字式气压计检定规程》^[3]和 JJF1059—1999《测量不确定度评定与表示》^[4]的要求,可以开展相关工作。

参考文献

[1] 国家海洋局. JJG(海洋)01—1994 海洋资料浮标传感器[S]. 1994.
[2] 国家技术监督局. JJG860—1994 压力传感器(静态)[S]. 1994.
[3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG1084—2013 数字式气压计[S]. 2013.
[4] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1059—1999 测量不确定度评定与表示[S]. 1999.
[5] 中国计量测试学会压力专业委员会. 压力测量不确定度评定[M]. 北京:中国计量出版社,2006.