

国内外应用水文仪器简析

姚永熙

(南京水利水电自动化研究所, 江苏 南京 210012)

摘 要: 国际标准化组织(ISO)和世界气象组织(WMO)对监测水文参数的仪器和方法发布了比较全面的标准要求。国内也已有基本符合国际标准的水文仪器标准和水文测验规范体系。比较起来,国内外对在用水文仪器的技术要求有一些不同,一些不同是合理和可以接受的,有不少差别体现了国内的不足,应该注意改进,以利于水文测验的发展。

关键词: 水文仪器;国内外标准要求;比较分析

中图分类号: P335

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)04-0025-04

自然界的水文要素随时间而变化,具有不可重复性。在研究水文规律中,需要准确的历史水文要素资料。在处理国际河流和区域水资源问题时,也必须依据各方都认可的水文要素资料。除了测验方法外,应用的水文仪器应达到统一规定的技术要求,测得的水文要素才能被普遍应用。为此,国际标准化协会(ISO)早在1970年代就制订了30多项各类水文仪器设备标准,规定了所有主要水文仪器的技术要求。国际气象组织(WMO)也制订了气象水文仪器的技术标准要求。这些国际标准和技术要求,已基本被各国认可。我国早已成为ISO TC113(国际标准化组织113技术委员会)成员,参与制订水文仪器国际标准。同时也在1970年代以后开始制订我国水文仪器标准。我国水文仪器标准基本都符合相应的国际标准要求,但由于国内一些应用技术环境不同,实际应用的水文仪器及其技术要求和国外应用的有一些差别。一部分差别体现了国内的水文实际情况,有其合理性。另一部分差别可能是国内外技术发展的不同,也许是我们应该考虑发展的。也有一些差别体现了国内的不足,是应该注意改进的。

1940年代,我国按照美国德国当时的水文仪器,仿制了转子式流速仪、水位计、泥沙采样器等水文仪器,这些仪器可以认为符合当时的国际水平技术要求。1950年代后,全盘接受前苏联的发展思路,直至1970年代,除了早已成功生产的仿美旋杯式流速仪外,大批

生产应用的旋桨流速仪、自记水位计、横式采样器基本都和前苏联的仪器相似。1970年代后,开始以ISO水文仪器标准为主要依据,制订国内水文仪器标准和发展水文仪器。目前,国内水文仪器主要系列已形成。本文对一些成熟应用的主要水文仪器在国内外的应用情况作简要比较,以说明一些差别。国外仪器情况以ISO TC113有关水文仪器设备标准,WMO对一些气象水文仪器的技术要求,以及美国为主的国外水文仪器应用情况为依据。

1 水位测量仪器

水位测量仪器分为地表水水位和地下水水位测量二类。对于地表水位测量,ISO4373《水文测验—水位测量设施》^[1]要求应用浮子式水位计、压力式水位计、气泡式水位计、超声波水位计、雷达水位计,这些也是国内所熟悉应用的水位计。但ISO4373还提出了洪峰水尺、电容式水位计、钩形测针的技术要求。国内基本不应用这些仪器,也并无太多应用必要。对水位记录方式,国内外都应用模拟(划线)记录和数字式记录二种方式,没什么差别,只是国内只应用单一的固态存贮数字记录方式。总的讲,对地表水水位的测量,国内外标准要求以及实际应用仪器情况差别不大。

对于地下水位测量,ISO21413《人工测量测井中的地下水位》^[2]规定了四种人工测量地下水位的方法

及应用的仪器设施,并分别给出了测量性能分析。ISO/TR 23211《应用压力式水位计测量测井中地下水位》^[3]规定了应用压力式地下水位计自动测量地下水位仪器性能。国内现行有效的《地下水测验规范》^[4]并没有规定人工测量地下水位的方法,只提了测尺等测具的长度精度要求。对自动测量地下水位的仪器要求完全同于地表水水位计,没有体现地下水位观测的特点。但是已执行的国家地下水监测项目^[5]中地下水位观测的设计,符合上述二个国际标准要求。水利部编写,目前仍有效的 GB/T11828.3—2012《地下水位计》标准已显落后,没有体现和国际标准接轨。无论是仪器设备还是测验方法,国内的地下水位观测都和国外差得很远。当国家地下水监测项目建成后,这一情况将彻底改变。但现有的地下水测验规范和仪器标准的一些内容应当尽快修订。

2 流速流量仪器

流速流量已有“转子式流速仪”、“声学多普勒剖面流速仪(ADCP)”、“时差法流速仪”等国际标准和相应的流量测验规范,这些仪器已在国内外普遍应用。除转子式流速仪外,国外应用时差法测流系统较多,已应用了数十年。目前国内水文系统应用 ADCP 较多,很少应用时差法测流系统,而在水文系统外的引水和渠道的流量测验中,时差法测流系统应用很多。ISO 2425:2010《潮汐条件下明渠流量的测量》^[6]认为连续测量潮汐河流流量时宜采用超声波时差法、电磁法和固定式 ADCP 法。但 SL732-2015《感潮水文测验规范》对连续测量潮汐河流流量只提了几种 ADCP 方法,没有提到国外常用的超声波时差法和电磁法,局限性明显。

国内外对上述流速流量仪器和应用方法都比较熟悉,尤其是转子式流速仪的流速流量测量。但水利部没有时差法测流规范,也没有颁布的 ADCP 仪器标准。影响这二类自动测速测流方法的应用,水文系统应适当引起重视。

已有 GB/T24558-2009《声学多普勒流速剖面仪》标准,是海洋部门编写的,此国标并未重视河流应用 ADCP 的技术要求,并不适用于陆地水文领域。电波流速仪和电磁流速仪也开始普遍应用,需要相应的仪器标准,测流方法规范等。国际标准已对电磁流速仪作了技术、检定要求规定^[7],水利部已列入标准编制计划。

应用转子式流速仪,需要计测流速仪的信号和计时,国外大量使用流速仪计时计数器,这类仪器曾经在

国内被各部门研制应用,但一直没有生产出被普遍应用的成熟产品。

3 降水、水面蒸发、墒情仪器

水文、气象部门都应用这三类仪器,在国际上由国际气象组织(WMO)管理这三类仪器,WMO 也提出了相应的技术要求,但水文部门并没有太重视 WMO 的要求。

3.1 降水仪器

WMO8-Ed2008 第一部分第 6 章《降水测量》^[8]中要求应用的自记雨量计是称重式、翻斗式、浮子式(虹吸式)这三种,称重式排在最前,评价也优于另二种。国内最近几年才开始应用称重式雨量计,现行的降水观测规范已收录了称重式雨量计的应用,但国内水文部门还没有称重式雨量计仪器标准。国内气象部门应用的称重式雨量计较多,已编写了标准。

国外对雨量计的测量准确性要求与国内不同,以翻斗式雨量计为例,国内要求在 0~4mm/min 的降雨强度范围内,雨量计的翻斗计量误差都要达到 $\pm 4\%$ 以内。因为翻斗计量误差和降雨强度关系很大,实际上,在翻斗分辨力为 0.1mm 时,能应用的产品达不到这样的误差要求。而国外只要求在某一降雨强度,如 1mm/min 时达到某一要求,而这是很容易做到的。

3.2 水面蒸发器

WMO8-Ed2008 第一部分第 10 章《蒸发观测》^[9]中提出的水面蒸发器是美国的 A 级蒸发器(class A pan)和俄罗斯的 GGI-3000 蒸发器(GGI-3000 Pan),还有俄罗斯的 20m² 漂浮蒸发器。国内应用的 E601-B 型玻璃钢水面蒸发器,是在前苏联引进的 GGI-3000 水面蒸发器基础上改进的,现已成为国内水文、气象通用的标准水面蒸发器。值得注意的是,E601B 水面蒸发器的蒸发桶应用隔热性能好的树脂材料,又埋入土内,以使其水体热稳定性好,蒸发折算系数稳定,应用中确已达到了这些目的。而国外通用的美国 A 级蒸发器用不锈钢制造,直径 120.7cm,深 25.4cm。整体高出地面安放在木支架上,同样也被认为蒸发性能是稳定的。

WMO 要求水面蒸发器的水面水位测量准确性为 0.1~0.01mm,但还要求水面蒸发器的水面蒸发误差在 95%置信水平时,蒸发量小于 5mm 时,水面蒸发观测误差应小于 0.1mm。蒸发量大于 5mm 时,水面蒸发观测误差值应小于蒸发量的 $\pm 2\%$ 。国内水面蒸发规范只规定了水面蒸发量要“读到 0.1mm”,没有水面蒸发

器总的蒸发观测误差要求。E601B 水面蒸发器的早期标准有“水面蒸发误差 $\pm 3\%$ ”要求,2007 年后只对自记/遥测蒸发器提出了“蒸发传感器相对偏差 $\leq \pm 3\%$ ”的要求,2015 年修订报批的《水面蒸发器》标准稿要求为“自记/遥测蒸发器蒸发量观测的相对误差应在 $-3\% \sim 3\%$ 范围内”,误差规定都不明确,且只适用于自记遥测蒸发器。而气象部门一直有 $\pm 3\%$ 的水面蒸发误差要求,也包括人工观测的水面蒸发器。

3.3 墒情仪器

WMO8-Ed2008 第一部分第 11 章《土壤水分观测》^[10]中提出的人工直接测量土壤水分的方法是烘干法,和国内相同。自动测量方法包括中子法(幅射法)、介电法(TDR、FD)。非直接测量方法包括张力计法、电阻块法等。国内外都以烘干法为基准,国外较早使用介电法自动测量土壤含水量,且较多应用时域反射法(TDR),应用的频域反射法仪器(FDR)性能也较高。还应用一些稳定性好的中子法仪器。国内防汛抗旱系统已开始使用墒情自动测量仪器,大多数应用的是频域法仪器,且档次不高。时域反射法仪器应用极少,也没有应用中子法仪器。墒情自动测量受土壤、环境影响很大,一般的频域法仪器很难保证较高的稳定性,应注意仪器类型的选择。农业部门较多应用张力计法。

总的讲,在降雨观测仪器方面,国内外都还以翻斗式雨量计为主,但国外和国内气象部门已扩大应用称重式雨量计。虹吸式雨量计本来就没有几个国家应用,现在国内也在逐步淘汰。国外高寒地区很重视冰情仪器和降雪量观测仪器,尤其是自记雪量计,有很多应用产品。国内气象部门应用称重式雨雪量计和其他降雪仪器较为普遍。国内水文部门应注意这方面的差距。

国内已统一了水面蒸发仪器,也基本符合 WMO 要求。但国内水文系统对蒸发仪器以及观测准确性要求不明确,宜作定量限制。另外,国内对自记蒸发器的重视程度较高,标准要求不明确也增加了自记蒸发器的研制困难。

国内外墒情测量方法基本相同,近年来国内开始的墒情自动测量都应用介电法仪器,应用的一些档次不高的频域法仪器影响了墒情自动测量的推广。

4 泥沙采样仪器

ISO/TS 3716《悬移质泥沙采样器功能和特性》^[11]建议使用几种瓶式采样器、调压式积时采样器、调压式垂线混合采样器。另外还可使用泵式采样器、单水位采样

器(single-stage samplers)。悬移质水样采集的根本性要求是仪器能自动调压和积时采样。国内常用的横式采样器是瞬时采样,不具备积时采样性能;国内使用的瓶式采样器没有调压功能;两种采样器都不在国际标准要求的范围内。数十年来,国内一直在研制采样性能较好的调压式积时采样器,因结构复杂,一直没能推广应用。

美国目前应用调压式积时积点采样器,如 P-61 型,这是我国 1950 年代就开始仿制的。而美国较多应用的是一种简易的调压式垂线混合采样器,结构简单,符合调压和垂线混合采样要求,国内宜注意可否研制应用。

对推移质、河床质采样仪器,ISO4364《河床质取样》^[12]和 ISO/TR9212《河床推移质流量的测定方法》^[13]有明确的技术要求规定,国内水文仪器标准中有一些对仪器的主要要求规定^[14],但国内还极少使用正规的推移质、河床质采样仪器。

5 水质水样采样仪器

5.1 地表水水质水样采样器

SL219-2013《水环境监测规范》中列出了水质采样器的类型,实际应用较多的是有机玻璃(或不锈钢)采样器(属排空式采样器)和采样瓶。市场上有多种泵式自动采样器,但没有在水文行业普遍应用,一些自动水质站直接使用一般水泵抽水采样。目前水利部还没有地表水水质采样器的标准要求,各类规范,包括其它部门的规范也没有明确各类水质采样器的具体技术要求。和地下水水质采样器类似,国内外存在差距。

5.2 地下水水质水样采样器

美国材料试验学会的 ASTM D448《地下水水井中采样标准导则》^[15]中规定了地下水水样采样器的总技术要求和建议的五种采样器、九种采样泵的各自结构要求,此标准也是先进国家应用的标准和产品设计依据。国内的《地下水监测规范》只简单地要求地下水水质采样应符合 GB12998《水质采样技术指导》要求,实际上 GB12998 只原则地规定了各类水样采样器的分类和性能要求,没有地下水采样器的具体技术规定。因此我国地下水水质采样仍无明确标准依据,仍大量地应用抽出地面再取水分析的粗放方式。近期实施的国家地下水监测项目已规定使用贝勒管采取地下水水样,将使我国地下水采样符合国际标准,有关规范应尽快作相应修改。

6 水下信号传输

ISO4375《水文测验——河流水文站的缆道系统》^[16]规定悬吊索“可具有一绝缘信号线”传输水下仪器信号,在信号传输部分明确要求悬吊索需要有一电信号传输芯线。实际上国外的缆道和测船几乎全部使用内包信号传输线的钢丝绳(国内称“铠装电缆”)悬吊水下仪器,不使用国内的以悬索和水体构成信号传输通路的“无线”信号传输方式。国外使用铠装电缆,信号传输可靠,可传输各类仪器信号,有利于水下水文仪器的发展应用。国内使用“无线”方式,简化了悬吊机构,节约缆道成本,在1960年代成为国内水文部门的一个创造,但一直只能比较可靠地应用于转子式流速仪信号的传输接收。这种信号传输方式给调压积时式采样器、缆道超声测深仪器的研制增加了困难,一定程度上成为研制缆道取沙、缆道测深仪器的主要困难。以前的铠装电缆昂贵,自制的质量有问题,而“无线”信号传输也能解决缆道船测的流量测量主要任务,所以对其的研究应用关注不够。现在的铠装电缆早已工业化生产,石油、海洋、地质等部门早已在更恶劣的环境中成功应用,少量水文站点也有所应用。水文部门应致力于铠装电缆的应用研究,改变部分缆道、测船测流的仪器设备,提高测流测沙性能。

7 水文参数测量准确性要求

ISO/TS 25377-2007《水文测验测量不确定性导则》^[17]规定了水文参数应该用不确定度(uncertainty)表示其测量准确性。水文参数的取得过程方法由相应的水文测验规范作了具体规定,规定了各水文参数的测量不确定度要求和计算方法,这些方法符合相应国际标准要求。ISO/TS 25377也要求所使用的水文仪器应该用明确的标准不确定度,或用相应置信水平的不确定度表示仪器的测量准确性。必要时需要说明其误差分布形式。各水文仪器国际标准都用不确定度提出了水文仪器的测量准确性要求,多数用95%置信水平的不确定度要求。但国内水文仪器标准基本上都没有应用不确定度的测量准确性指标。实际上从2003年开始,已注意了这问题,但只有GB/T11828.1-2002《浮子式水位计》标准基本以95%置信水平的不确定度作为水位测量误差要求。事实上各类水文仪器的测量准确性指标很混乱,各标准中出现的误差名词有允许误差、计量误差、记录误差、准确度、最大允许误差、测量精

度、相对误差、绝对误差等。严格地讲这些名称各有不同意义,虽然也有各类仪器的准确性含义,但都与不确定度不同。水文测验规范中将各类准确度都用不确定度表示,合成测量结果的总不确定度,符合计量要求,也符合误差合成理论。现在一个重要误差分量——仪器测量误差没有用不确定度表示,就得不到正确的测量结果的总不确定度。这对水资源水量测量误差的评价很有影响。

应该将各水文仪器标准中的测量误差都用不确定度表示,并说明其置信水平。这项工作必须建立在一定研究的基础上,不能只是简单更改一下原有误差名称。

8 结语

国内外应用水文仪器的差别中,不少国外仪器标准的要求比国内更合理和完整。在水文测验、水文仪器设备的发展中应注意与国际国外标准合理接轨:水文仪器测量准确性宜使用不确定度表示;在泥沙、水质采样器、水下信号传输方式、地下水监测方面应注意国内外一些合理方法仪器的采用;对流量、蒸发、降水量等参数的观测规范和仪器标准要求,应注意其完整性和合理性。

参考文献:

- [1] ISO 4373:2008, Hydrometry -- Water Level Measuring[S].
- [2] ISO 21413:2005, Manual Methods for the Measurement of A Groundwater Level in A Well[S].
- [3] ISO/TR 23211:2009, Hydrometry -- Measuring the Water Level in A Well Using Automated Pressure Transducer Methods[S].
- [4] SL183-2005, 地下水监测规范 [S]. (SL183-2005, Standard for Groundwater Monitoring[S]. (in Chinese))
- [5] 水利部. 国家地下水监测工程可行性研究报告[R]. 2014. (Ministry of Water Resources. Feasibility study report of state groundwater monitoring system [R]. 2014. (in Chinese))
- [6] ISO 2425: 2010, Hydrometry -- Measurement of Liquid Flow in Open Channels under Tidal Conditions[S].
- [7] ISO 3455: 2007, Hydrometry -- Calibration of Current-meters in Straight Open Tanks [S].
- [8] WMO8-Ed2008-part1-ch6, Measurement of Precipitation[S].
- [9] WMO8-Ed2008-part1-ch10, Measurement of Evaporation[S].
- [10] WMO8-Ed2008-part1-ch11, Measurement of Soil Moisture[S].
- [11] ISO/TS3716: 2006, Hydrometry -- Functional Requirements and Characteristics of Suspended-sediment Samplers[S].
- [12] ISO 4364: 1997, Measurement of Liquid Flow in Open Channels -- Bed Material Sampling[S].
- [13] ISO/TR 9212: 2006, Hydrometry -- Measurement of Liquid Flow in Open Channels -- Methods of Measurement of Bedload Discharge[S].

(下转第54页)

- Northwest University, 2006. (in Chinese))
- [23] 申维. 初论分形地质学 [J]. 世界地质, 1998, 17(4): 76–85. (SHEN Wei. A preliminary view on fractal geology [J]. Global Geology, 1998, 17(4): 76–85. (in Chinese))
- [24] 李景星. 基于 DEM 的黄土区河网水系特征研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012. (LI Jingxing. DEM-based River Network Characteristics of the Loess Region [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese))
- [25] 冷佩, 宋小宁, 李新辉. 复杂山区小流域径流模拟影响因素分析 [J]. 水文, 2010, 30(6): 5–9. (LENG Pei, SONG Xiaoning, LI Xinhui. Analysis of influencing factors in runoff simulation for complicated mountain area [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(6): 5–9. (in Chinese))
- [26] 韩海辉, 高婷, 易欢, 等. 基于变点分析法提取地势起伏度—以青藏高原为例 [J]. 地理科学, 2012, 32(1): 101–104. (HAN Haihui, GAO Ting, YI Huan, et al. Extraction of relief amplitude based on change point method: a case study on the Tibetan plateau [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(1): 101–104. (in Chinese))
- [27] 杜婷. 坡度统计分布随地形复杂程度的变化 [D]. 西安: 西北大学, 2015. (DU Ting. Changes of Slope Statistical Distribution with the Complexity of the Terrain [D]. Xi'an: Northwest University, 2015. (in Chinese))
- [28] 白雷超, 陈珂, 罗明良, 等. 地表高程剖面特征及其在起伏度分析中的应用—以平行岭谷区华蓥市为例 [J]. 遥感信息, 2016, 31(4): 1–6. (BAI Leichao, CHEN Ke, LUO Mingliang, et al. Multi scale analysis of elevation profiles and its application in research of relief amplitude of terrain: a case study in Huaying county based on ASTER GDEMs [J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(4): 1–6. (in Chinese))

Research on River Morphology Characteristics in Typical Geomorphologic Areas Based on DEM

LEI Xue^{1,2}, LUO Mingliang^{2,3}, ZHOU Yi¹, XU Yali^{2,3}, MU Kai^{2,3}

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710000, China;

2. School of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong 637000, China;

3. Institute of Landform Surface Processes and Environmental Changes, China West Normal University, Nanchong 637000, China)

Abstract: Three different kinds of landforms in hilly area of central Sichuan basin, Loess plateau and Liaohe plain were chosen to analyze the difference of stream morphorogy characteristic. Based on digital terrain analysis, this paper selected the rivers of Xijiang, Qingshuichun and Shahe to calculate the different fractal dimensions, land reliefs and mean slopes, and compare the difference of mountain river network configuration. The results show that the stream ramification ratios are 3.46, 4.45, 4.20, and the length ratios are 1.87, 2.48, 2.05 in three areas. The fractal dimension values are 1.99, 1.64 and 1.99. The research confirm that the developmental situation of river reflected by Horton parameters can provide methods for river morphology feature analysis of different geomorphic types.

Key words: hydrological analysis; stream order; fractal dimension; Horton law

(上接第 28 页)

- [14] GB/T18185–2014, 河流泥沙测验及颗粒分析仪器基本技术条件[S]. (GB/T 18185–2014, Basic Technical Conditions for Sediment Measurement and Particle Size Analysis Instrument in Open Channel [S]. (in Chinese))
- [15] ASTM D 4448–2001, Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells [S].
- [16] ISO 4375: 2000, Hydrometric Determinations—Cableway Systems for Stream Gauging [S].
- [17] ISO/TS 25377: 2007, Hydrometric Uncertainty Guidance (HUG) [S].

Analysis of Applied Hydrometric Instruments in China and Abroad

YAO Yongxi

(Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Nanjing 210012, China)

Abstract: The International Organization for Standardization (ISO) and World Meteorological Organization (WMO) have published the comprehensive standards of hydrometry and hydrometric instruments for monitoring the hydrological parameters. In China, the hydrometry and hydrometric instruments standards are mainly in line with international standards. By comparison, there are some differences in the requirements for hydrometric instruments at home and abroad. Some differences are reasonable and acceptable. However, there are many differences showing the domestic problems, which should be paid attention, so as for the development of hydrometry.

Key words: hydrometric instrument; specification of standards at home and abroad; comparative analysis