

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220255

# 对国标《地下水监测工程技术标准》认识与研究

章树安<sup>1,2</sup>, 卢洪健<sup>1,2</sup>, 孙 龙<sup>1,2</sup>

(1. 水利部信息中心, 北京 100053; 2. 水利部国家地下水监测中心, 北京 100053)

**摘要:** 概要介绍了国家标准《地下水监测工程技术标准》修订背景, 对比分析了监测站与自动监测系统建设、信息监测与资料整编、信息服务系统建设及监测系统运行维护等主要内容。重点对标准修订编制过程中所涉及的县级行政区地下水监测站网全覆盖、井口固定点设置、人工与自动监测比测误差精度、地下水水位处理方法等技术问题进行了探讨。本标准实施后, 将进一步提升我国地下水站网布设、成井、信息自动监测、资料整编、信息服务和运维技术水平, 为国家地下水监测二期工程实施及水利高质量发展提供重要的技术支持。

**关键词:** 地下水; 监测工程; 技术标准; 认识与研究

**中图分类号:** P641.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2023)01-0001-05

## 0 引言

地下水监测是对地下水水位、水温、水量和水质等动态要素进行监测和调查的过程, 是地下水管理和开发利用不可或缺的基础工作和重要技术支撑<sup>[1-5]</sup>。已颁布的《地下水监测工程技术规范》(GB/T 51040—2014)(以下简称原规范)实施以来, 为规范我国地下水监测工作发挥了很好的指导作用。但在原规范编制时, 我国的地下水自动监测应用还不普及、应用需求还不够明确, 国家地下水监测工程尚未建设, 工程建设与运行维护技术经验积累不多。随着国家地下水监测工程建设完成和运维经验积累<sup>[6-9]</sup>, 原规范存在着内容不全面、部分技术指标要求不尽科学合理, 与经济社会和水利高质量发展要求以及水资源管理、生态保护要求还有较大差距, 亟需修订<sup>[1,10-11]</sup>。

针对上述问题, 水利部及时启动了对原规范的修订工作。主编单位水利部信息中心组织标准编制组开展调查研究、系统总结实践经验, 参考国内外有关先进标准, 经广泛征求意见并通过专家审查, 于2021年8月向住房和城乡建设部报批。经住房和城乡建设

部标准定额司同意, 原规范更名为《地下水监测工程技术标准》(以下简称新标准), 即将颁布实施。为使从事地下水监测与分析评价技术人员以及地下水管理人员更好了解和掌握新标准, 本文除介绍修订背景和主要内容外, 重点对几个关键技术应用和把握进行了较系统分析。

## 1 对新标准主要内容的认识

新标准主要技术内容包括总则、术语、站网规划与布设、监测站建设、自动监测系统建设、信息监测、资料整编与刊印、信息服务系统建设、监测系统运行与维护, 共9章54节, 以及6个附录。

### 1.1 监测站与自动监测系统建设

站网规划与布设方面。具体规定了地下水监测类型区划分、地下水监测站分类、站网规划、监测站布设原则、基本站布设、专用站布设、统测站布设、实验站布设、站网评价与调整等相关技术要求。新标准增加了站网规划、站网评价与调整基本要求以及县级行政区站网布设要求; 修订了基本类型区、特殊类型区站网布设密度技术指标, 特别是新增了水源涵

收稿日期: 2022-07-15

网络首发日期: 2023-01-19

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1814.P.20230117.1817.003.html>

基金项目: 国家重点研发计划项目“黄淮海地区地下水超采治理与保护关键技术及应用示范”(2021YFC3200501)

作者简介: 章树安(1963—), 男, 安徽来安人, 正高级工程师, 主要从事水文水资源监测评价工作。E-mail: sazhang@mwr.gov.cn

养区、生态补水区站网布设密度要求等。新标准站网布设有关技术要求,应该能更好适应与满足新时期地下水资源管理、地质灾害防治、地质环境保护和生态环境修复等需求<sup>[1]</sup>。

监测站建设方面。具体规定了监测站站址选择、监测井设计、监测井施工、地层鉴别与地质编录、抽水试验、水样采集与送检、监测站附属设施、高程测量、地下水实验站、监测站建设报告书等内容及相关技术要求。基于国家地下水监测工程建设经验,新标准修订了站址选择原则、井深设计、井径与管材等技术要求;明确了监测站保护设施类型、监测站标示牌、水准标石等附属设施内容;增加了自流井建设技术方法和要求;补充完善了改建站、实验站等建设内容。新标准能更加完整体现国家地下水监测工程监测站建设成果和技术要求,内容更全面、完整<sup>[8,9]</sup>。

自动监测系统建设方面。具体规定了传感器、遥测终端机、信息传输、信息接收、设备进场、设备安装和调试、自动监测系统试运行等内容及相关技术指标与要求。新标准要求地下水自动监测系统数据接收中心实现监测信息自动接收处理与存储,在公网信号不稳定区域,增加了可选择卫星通信传输方式,推荐使用一体式自动监测设备,采用统一通信规约。对传感器和遥测终端机、设备进场与安装调试、自动水位监测的比测误差等有关性能指标进行了修订;增加了气候环境适应性、机械环境适应性、密封性与耐压性等性能指标要求,以使监测仪器设备稳定性、可靠性更高,更能适应恶劣环境条件<sup>[9]</sup>。

### 1.2 信息监测与资料整编

信息监测方面。包括水位监测、水温监测、水量监测与调查、水质监测等内容及相关技术要求。新标准增加了人工水位监测与自动水位监测的记录技术要求,规定了自动监测故障时的人工补测要求;根据生产经验,增加了地下水样品采集、采样设备、采样方法、样品保存和运输、水质指标检测方法等技术内容与要求;首次提出了自动与人工监测比测误差按地下水埋深进行分级。这些规定,补充与完善了地下水信息监测的技术要求,其技术指标确定更加符合实际,其合理性、科学性更强。

资料整编与年鉴刊印方面。规定了基本资料考证,监测资料审核,水位、水温、水量、水质、实验站和专用站资料整编,以及整编说明、成果审查与年鉴刊印等内容及技术要求。新标准增加了水位资料插补

与统计方法,修订和明确了整编符号规定、日均水位计算方法等。规定了对每日多次且时点分布均匀的,取算术平均值作为日水位;对于缺测情况,可根据实际情况进行插补或修正,定义了异常监测数据类型并赋予相应符号;根据影响因素和变化规律,首次提出了动水位处理方法;首次规定了地下水年鉴刊印技术要求等。这些规定,为保障整编数据质量、规范性以及时效性等,将起到很好作用。

### 1.3 信息服务系统建设

地下水信息服务系统建设明确了信息存储、不同信息节点间的信息共享交换、各级监测中心软硬件设备配置等技术要求,信息服务系统建设应符合国家信息安全等级三级保护等要求。新标准更加突出信息系统的网络、数据等安全性要求。

在信息存储、交换等方面。明确了地下水基础资料、监测信息、整编信息、空间信息和分析评价成果信息等存储与管理要求;开发应用的资料整编软件,能够实现地下水水位/埋深、水温、水量、水质等监测要素整编、复核、审查、排版等功能要求。规定了信息共享交换技术要求。新标准将引导与推进地下水信息自动化处理与信息化管理能力提升。

在动态分析评价方面。增加了地下水动态评价、预测预警与信息发布的的基本内容与技术要求。原则规定了在不同时间尺度上实现区域内地下水水位、水温、蓄变量、开采量、泉流量、水质等监测要素的动态分析评价,包括水文地质单元的区域性评价和行政区或地下水水源地的地段性评价;特殊类型区根据需要,可开展年或季度水位变化分析。在预测预警方面,要求采用科学模型方法,基于监测数据及动态分析评价成果,进行地下水水位、水量和水质等要素预测等内容。以促进对于不同应用主题的地下水分析评价能力提高,以及不断推进地下水“四预”实现。

### 1.4 监测系统运行维护

与原规范相比,新标准新增了监测系统运行维护内容。明确了系统运维对象应为地下水监测站和各级监测中心设备设施等,应定期开展监测站和各级监测中心设备设施巡检、保养、维修、更换和升级等工作内容。对井深测量、洗井清淤和透水灵敏度试验;储备充足的备品备件,及时完成故障处置,设施损毁修复纳入固定资产管理;信息服务系统符合相应的安全等级保护要求等提出了基本技术要求。以期解决监测井出现的淤积、监测仪器设备老化和故障、水毁和

人为破坏、信息服务系统不安全等问题,保障系统正常运行,充分发挥工程效益。

与原规范相比,新标准内容更加全面,技术指标与要求更加科学合理,解决了原规范中一些不足与问题,能更好适应当前地下水监测技术发展和信息服务需求。标准修订前后主要内容比较及其应用与意义见表1。

## 2 对新标准中主要技术问题认识研究

### 2.1 站网布设要求分析

过去地下水站网布设主要依据水文地质单元分区以及地下水开发利用程度来考虑站网布设以及布设密度,应该说这些原则和考虑是能够满足以前地下水监测与管理需求<sup>[5]</sup>。进入新发展阶段,要实现新时代社会经济和水利高质量发展,全面提升国家水安全保障能力,就要不断强化水资源刚性约束,努力实现对全国各县水资源承载力评价,建立地下水承载力监测预警机制,从而为地下水合理开发利用、节约与保护以及超采治理修复提供科学依据<sup>[6]</sup>。

据统计,国家地下水监测工程完工后,包括水利部、自然资源部和地方已建的自动监测站点,目前全国仍然有517个县级行政区地下水监测站点为空白,这显然与地下水管理主要为县级行政区管理对象要求不相适应。需要地下水监测站网布设从水文地质

单元分区向水文地质单元与行政区划相结合转变。新标准首次提出了在县级及以上行政区布设地下水监测站的基本原则与密度布设要求。具体规定为:以平原区为主的县,可布设5~10个站;南方地区取中下限值,北方地区取中上限值;以山丘区为主的县,可布设1~5个站;人口数量较少、管理需求较弱的县取中下限值;人口数量较多、管理需求较大的县取中上限值。在此基础上,再按基本类型区、特殊类型区有关布设密度要求进行布设,从而实现县级行政区全覆盖,同时又能满足按水文地质单元分区站网布设要求。

### 2.2 地下水实际埋深计算方法

按照新标准术语定义,地下水埋深是监测井中地下水自由水面距井口地面的垂直距离;地下水水位是监测井中地下水自由水面的高程。也就是说当测站没有引测高程时,无法测量地下水水位,只能测量地下水埋深。

地下水埋深/水位监测具有一定特殊性,主要是施测点一般在井台或某一固定点位置开始测量,而不是从地面开始施测。所以,需要在地下水监测井口或附属设施上设置一个固定点位,作为埋深/水位测量的起始点,即井口固定点。因此在计算实际埋深时,必须减去井台高或固定点高<sup>[4]</sup>。原规范中,对于地下水监测这种特殊性认识不足,存在一定误区。如原规范

表1 标准修订前后主要内容比较及其应用与意义

Table1 Comparison of the main contents before and after the revision of the standard and its application and significance

主要内容	原规范	新标准	应用与意义
站网规划与布设	缺乏县级行政区布设规定,特殊类型区覆盖类型不全、站网布设密度偏低;缺乏站网规划与评价内容要求	增加了站网规划、站网评价以及县级行政区站网布设要求;补充了特殊类型区的类型,显著提高了特殊类型区站网布设密度	适应与满足县级行政区地下水双控管理以及超采区综合治理、地质灾害防治和生态环境修复等需求
自动监测系统建设	缺乏传感器和遥测终端机环境适应性和检测技术要求,缺乏统一通信规约和信息接收要求,完善了有关安装与调试技术要求	增加了监测仪器设备环境适应性和检测技术要求、通信规约和信息接收要求,补充完善了安装与调试技术要求	提高了监测仪器设备稳定性、可靠性以及监测数据共享交换,解决了监测仪器安装调试中可能出现假埋深问题
信息监测	人工与自动水位监测有关技术规定不准确,自动与人工监测比测误差规定不科学,地下水水质监测内容要求不够完善	增加人工与自动水位监测记录技术要求,明确了水位、埋深计算方法,提出自动与人工监测比测误差按地下水埋深进行分级,补充完善地下水水质监测内容要求	地下水信息监测技术要求更加完善,比测误差技术要求更加符合当前技术水平实际,水质采样、保存、运输与检测更加明确与完善,提高了监测质量
资料整编与刊印	缺乏水位资料插补与统计、日均水位计算、动水位处理、地下水年鉴刊印等技术方法和要求	增加水位资料插补与统计方法,明确日均水位计算方法,提出动水位处理方法,规定地下水年鉴刊印技术要求	保障资料整编与刊印质量和规范性,解决了以前大部分地下水监测资料不整编刊印问题
信息服务系统建设	缺乏地下水信息系统安全等级保护要求,缺乏地下水动态评价、预测预警与信息发布基本内容与技术要求	明确信息存储、共享交换、软硬件设备配置及系统信息安全等级要求,增加地下水动态评价、预测预警与信息发布基本内容与技术要求	提高信息系统网络和数据安全以及不同节点共享交换能力,提升面向应用主题的地下水分析评价能力
监测系统运行维护	没有监测系统运行维护方面的内容	新增监测系统运行维护内容,明确了地下水监测站和各级监测中心设备设施以及信息服务系统运行维护技术要求	保障国家地下水监测系统安全稳定运行,充分发挥工程效益

6.2.3条第3款规定“人工监测水位,每次监测应测量井口固定点至地下水水面距离两次,当两次测量数值之差超过2 cm时,应重新测量,取两次数据平均值作为监测值”。很显然,原规范中此规定存在一定错误,一是对水位定义理解有误,通过上述两次测量的平均值并不代表水位;二是对埋深值计算规定有误,即没有考虑井台高,使埋深值偏大,造成“假埋深”,实际埋深值应等于监测值减去井台高或固定点高。

为解决上述问题,新标准对人工监测和自动监测具体做法做出了明确规定。①对于人工监测,当井口固定点有高程值时,用井口固定点高程值减去监测值,即得到水位值,用监测值减去井口固定点到地面高度后,即为埋深值;当井口固定点无高程值时,只能用监测值减去井口固定点到地面高度,得到埋深值。②对于自动监测,当井口固定点有高程值时,用井口固定点高程值减去自动仪器读数,即得到水位值,用自动仪器读数减去井口固定点到地面高度,即为埋深值;当井口固定点无高程值时,只能用自动仪器读数减去井口固定点到地面高度,得到埋深值。因此,在实际监测工作中,需充分掌握这些规定,才能避免“假埋深”的出现。

### 2.3 人工与自动监测比测误差分析

目前,地下水埋深测量主要采用悬锤式水位计人工测量值作为假定真值,用以校准地下水自动监测仪器设备。目前自动监测仪器主要有压力式水位计和浮子式水位计两种,非接触式水位计,如激光水位计、雷达水位计和超声波水位计实际应用很少<sup>[3,4]</sup>。原规范中第6.2.5条第2款规定:自动监测仪器应每年校准1次,当校测的水位监测误差大于 $\pm 1$  cm时(此规定要求过高,实际很难达到),应对自动监测仪器进行检定。

主要理由如下:①采用悬锤式水位计测量地下水埋深,影响其准确度的因素有测尺刻度示值误差;链接测锤后,测锤接触点相对于测尺刻度的零位误差;触点接触水面时的信号感应灵敏度误差以及人为测量误差,另外还有热伸缩影响和重力应力伸长影响等;由于这些影响,当采用悬锤式水位计测量地下水埋深时,其测量误差也和埋深数值有关,埋深愈大,其测量误差愈大。②对于自动监测,如压力式水位计的准确度会受到压力传感器的分辨力、重复性、零点漂移等内在性能以及外部大气压力、温度等环境因素的影响,从而产生测量误差,且测量误差因量程的差异

而不同<sup>[4,10]</sup>。因此,人工观测和自动监测的比测误差来源于上述两方面,最后的埋深/水位测量误差,实际上是人工测量地下水埋深和自动监测仪器测量地下水埋深/水位变化量的测量误差的综合误差,其允许误差一般不能用一个单一范围来要求,如式(1)所示。

$$\Delta H = \overline{H}_p - \overline{H}_w \quad (1)$$

式中: $\Delta H$ 为比测示值误差; $\overline{H}_p$ 为压力式水位计读数(埋深值); $\overline{H}_w$ 为悬锤式水位计读数(埋深值),各误差分量及不确定度来源如表2所示。

表2 比测误差分量及不确定度来源

Table2 Error components of comparative measurements and uncertainty sources

误差分量	不确定度来源
压力式水位计测量值 $u(\overline{H}_p)$	压力水位计重复测量
	尺带示值误差
	拉力引入的不确定度
悬锤式水位计测量值 $u(\overline{H}_w)$	温度偏差引入的不确定度
	分辨力引入的不确定度
	重复测量引入的不确定度
	测井倾角引入的不确定度

通过对国家地下水监测工程自动监测设备大量比测分析以及对不同悬锤式水位计产品特性的研究与试验分析,综合考虑各类误差来源,新标准按地下水监测埋深分级,修订了人工与自动监测比测允许误差规定,以使其更加符合实际,具体见表3。

表3 人工与自动监测比测允许误差

Table3 Permissible errors of comparative measurements from manual and automatic methods

埋深 $H$ 分级	允许误差绝对值 $\Delta H$
$0 \text{ m} < H \leq 10 \text{ m}$	$\Delta H \leq 2 \text{ cm}$
$10 \text{ m} < H \leq 30 \text{ m}$	$\Delta H \leq 3 \text{ cm}$
$30 \text{ m} < H \leq 50 \text{ m}$	$\Delta H \leq 4 \text{ cm}$
$H > 50 \text{ m}$	$\Delta H \leq 5 \text{ cm}$

### 2.4 动水位数据处理方法

地下水动水位是指因地下水取用、回灌、抽水试验等人为活动造成监测井当次或短期水位较相邻测次、时段差异明显的波动性或律动性水位,根据水位变化特征,通常可分为规律型和突变型两类动水位。新标准首次提出了动水位处理遵循原则和分类解决方法。

对于规律性动水位,如由于抽水引起水位临时性明显下降,但停止抽水后当日水位能迅速恢复(如学校、定时的农村供水等),可取地下水恢复后的高水位作为基准值,对抽水期间的动水位进行插补、修正。

对于突变型动水位,应根据实际情况确定处理方法,如由于开采等原因造成水位突变,水位过程线陡然变化,不平滑、不连续,相应突变监测数据应进行插补、修正;如由于洗井造成水位突变,稳定前水位恢复期内的动水位监测数据应进行插补、修正,当水位稳定后,由于洗井造成水位阶梯状变化,但洗井前后监测数据准确,不宜进行插补、修正。水位资料插补可选用直线插补、趋势插补、等值线插补等方法,水位资料修正可选用阶梯型修正、渐变型修正、混合型修正等方法。

### 2.5 信息报送评价指标和方法

建成的国家地下水监测系统具有信息采集点多、层次结构复杂、数据量大、规范性和安全性要求高等特点,涉及全国 10298 个站数据自动采集传输,国家、流域、省(自治区、直辖市)和地市四级中心数据共享交换以及分析评价成果应用,其运维管理难度大,需要制定量化指标,对系统运维情况进行测评和及时维护<sup>[10]</sup>。因此,在新标准中,将已经在实际应用的一些做法吸收进来,作为标准规定,来进一步保障监测系统正常运行,发挥工程效益。

对于国家地下水监测系统总体运行维护质量评价,制定了到报率、完整率、交换率和总体评价的量化指标及指标计算方法,明确了等级要求。其具体要求如下:

(1)到报率:月到报率( $A$ ),指月时段内省级中心接收到数据的测站总数与应参与量化的测站总数的百分比,要求达到95%以上;月内日均到报率( $B$ ),指月时段内每天省级中心接收到数据的测站总数与应参与量化的测站总数的百分比的平均值,要求达到90%以上。

(2)完整率( $C$ ):指月时段内省级中心收到的数据总量与应收到数据总量(应参与量化站数\*日条数\*日数)的百分比,埋深(水位)、水温日条数同监测频次,要求达到90%以上。

(3)交换率( $D$ ):指月时段内从省级中心接收到的测站数与数据条数成功交换到国家中心、流域中心与地市中心测站数与数据条数的百分比,要求达到95%以上。

(4)总体评价( $X$ ):采用上述 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 四项的算术平均值表征,其中月内日均到报率、月完整率需进行折算,具体计算方法如式(2):

$$X = (A + B + C + D) / 4 \quad (2)$$

式中:当 $B \geq 90\%$ , $B = 50\% + B/2$ ,当 $B < 90\%$ , $B = B + 5\%$ ;当 $C \geq 90\%$ , $C = 50\% + C/2$ ,当 $C < 90\%$ , $C = C + 5\%$ 。总体评价等级规定: $X \geq 95\%$ 为优秀, $90\% \leq X < 95\%$ 为合格, $X < 90\%$ 为不合格。通过两年多逐月量化评价和通报考核,对运维单位起到了较好的监督管理作用,提升了信息报送水平。

### 3 结论与展望

新标准在编制过程中充分总结了国家地下水监测工程的建设与运维经验<sup>[8,9]</sup>,进行了广泛调研,在此基础上,对原规范进行了全面修订,其指导性、科学性、针对性、可操作性更强。需要我们充分认识与掌握新标准增加和修订的内容,在实际工作认真贯彻。

新标准实施后,将进一步提升我国地下水监测站网规划与布设,地下水自动监测系统建设,以及信息监测、资料整编和信息服务水平,为推进国家地下水监测二期工程的实施,建设与水资源管理需求相适应的监测站网体系、与技术进步相适应的监测技术装备体系、与应用需求相适应的信息共享与服务体系以及与地下水科学基础研究相适应的野外实验体系发挥重要的作用<sup>[1]</sup>。

新标准是贯彻落实《地下水管理条例》<sup>[12]</sup>的重要技术支撑,将为推动建立统一的国家地下水监测站网,以及水利、自然资源和生态环境等不同部门间地下水监测信息共享机制等发挥重要指导作用。此外,新标准将为保障国家地下水监测系统长期稳定运行,促进水利高质量发展,以及持续发挥显著社会经济和生态环境效益提供基础支撑。

#### 参考文献:

- [1] 章树安,孙龙,杨桂莲.关于提升国家地下水监测体系和综合分析能力的研究与思考[J].中国水利,2021(7):9-12.
- [2] 杨建青,章树安,陈喜,等.国内外地下水监测技术与管理比较研究[J].水文,2013,33(3):18-24.
- [3] 姚永熙.地下水监测方法和仪器概述[J].水利水文自动化,2010(1):6-13.
- [4] 姚永熙,章树安,杨建青,等.地下水信息采集与传输应用技术[M].南京:河海大学出版社,2011.
- [5] 李砚阁,章树安.地下水监测井布局及井结构研究[M].北京:中国环境出版社,2012.
- [6] 严宇红,周政辉.国家地下水监测工程站网布设成果综述[J].水文,2017,37(5):74-78.

(下转第23页)