

# 水利行业地下水监测系统水位埋深 数据质量评估与对比

邱磊<sup>1</sup>, 孙龙<sup>2</sup>, 于钊<sup>2</sup>, 王卓然<sup>2</sup>, 李伟<sup>3</sup>, 林锦<sup>3</sup>, 鲁程鹏<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏南京 210098; 2. 水利部信息中心, 北京 100053;  
3. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029)

**摘要:** 目前,我国水利行业有人工报送(人工站)和自动传输(自动站)两套地下水监测数据。地下水监测数据对展现地下水动态分布特征和提供超采治理依据起着重要作用,因此,对地下水水位埋深监测数据进行质量评估与对比具有重要意义。基于2 800个人工站和10 298个自动站的2018年同期地下水水位埋深资料,采用统计学方法,从完整性、合理性、代表性、一致性4个方面对两套地下水埋深数据进行质量评估和对比。结果表明:自动站与人工站相比,水位埋深数据缺失率由13.53%降为6.39%,异常率由1.63%降为0.84%,两套监测数据空间分布特征的差异及动态变化趋势的可比性表明,国家地下水监测工程水位埋深数据质量优于人工站。

**关键词:** 地下水埋深; 国家地下水监测工程; 动态监测; 统计学; 质量评估

中图分类号:P641.74

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2021)03-0058-06

## Quality assessment and comparison of groundwater depth data measured by groundwater monitoring systems

QIU Lei<sup>1</sup>, SUN Long<sup>2</sup>, YU Po<sup>2</sup>, WANG Zhuoran<sup>2</sup>, LI Wei<sup>3</sup>, LIN Jin<sup>3</sup>, LU Chengpeng<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Information Center of Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** At present, there are two sets of groundwater monitoring data in China, which are manual submission (manual stations) data and automatic transmission (automatic stations) data. Groundwater monitoring data plays an important role in revealing the dynamic distribution characteristics of groundwater and providing statistical support for the control of its overexploitation. Therefore, it is necessary to evaluate and compare the quality of the groundwater depth data measured by different monitoring systems. Based on the measured data of groundwater depth from 2 800 manual stations and 1 0298 automatic stations in the same period of 2018, we adopted statistical methods to evaluate the quality of groundwater monitoring system data from four aspects of integrity, rationality, representativeness and consistency. The results show that the average missing rate of groundwater depth data of automatic stations was reduced from 13.53% to 6.39%, and the abnormal rate was reduced from 1.63% to 0.84% compared with that of the manual stations. The difference of spatial distribution characteristics of the two sets of data, and its comparability of dynamic change trends all indicate that the quality of groundwater depth data of the National Groundwater Monitoring Project is better than that of the original manual stations.

**Key words:** groundwater depth; National Groundwater Monitoring Project; dynamic monitoring; statistics; quality assessment

收稿日期:2020-09-15; 修回日期:2021-04-24

基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFC0407701);河海大学中央高校基本科研业务费项目(B200202025)

作者简介:邱磊(1992-),女,河南周口人,在读硕士研究生,研究方向为地下水资源评价与管理。

通讯作者:鲁程鹏(1984-),男,安徽肥东人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为地下水资源评价与管理。

## 1 研究背景

为水利部门编制《地下水动态月报》服务的地下水观测站(采用数据人工报送方式,下文简称“人工站”)分布在全国地下水开发利用主要平原区,共布设2 800个人工观测站,水利部将获得的地下水信息以单站月报形式延迟1~2个月进行传输归档。这种原有地下水监测方式存在传输手段落后、数据传输时效性差、机民井占比较多、监测能力和监测数据质量低等问题<sup>[1]</sup>,给需要实时获得地下水水情的相关研究造成诸多不便。为了总体上提高地下水监测数据的时效性和准确性,2014年,我国启动建设国家地下水监测工程<sup>[2]</sup>,该工程共建设监测站20 401个,其中水利部建设监测站10 298个(下文简称“自动站”)<sup>[3]</sup>,基本实现了对全国大型平原、盆地地下水动态的区域性监控<sup>[4]</sup>。与人工站相比,自动站采用先进的信息采集监测设备和技术传输,实现了数据采集、传输、存储的自动化,有效提高了监测能力和监测数据质量<sup>[1-5]</sup>。

数据质量决定了它的价值。目前,国内外本领域技术研究人员在数据质量方面做了许多相关研究。若对数据量庞大的全部统计数据进行分析,则效率极低,可采用部分抽样的方法进行质量评估<sup>[6]</sup>。数据质量问题产生于数据在监测、远程传输、汇编过程中的各个环节。数据质量评估首先明确数据质量问题产生的来源及其分类<sup>[7]</sup>,其次从时间和空间两个维度,从合理性<sup>[8-10]</sup>、完整性<sup>[9,11]</sup>、差异性<sup>[11]</sup>、一致性<sup>[12]</sup>、代表性<sup>[13]</sup>等多方面进行分析。每个方面给定评价水平量化标准,进而建立相对完整的数据质量评估体系。

近年来,不同领域相继开展了人工观测站和自动监测站的数据质量对比分析<sup>[14-16]</sup>,但是关于地下水人工站和自动站的水位埋深数据质量对比分析几乎未见报道<sup>[17]</sup>。地下水监测数据是观察地下水超采治理成效、实施地下水管理与决策的基础,全国不同系统为不同功能建设的地下水观测站数量众多,自动站与人工站数据监测位置不同,很难在单站监测数据上进行直接对比。本文利用布站位置不同的人工站和自动站2018年同期水位埋深资料,采用统计学方法,从完整性、合理性、代表性、一致性4个方面对水位埋深数据进行质量评估及对比分析,旨在说明自动站与人工站监测数据在统计意义上的差别,同时比较国家地下水监测工程水位埋深数据和原人工站监测数据的质量优劣,从而发现目前我国

地下水水位埋深数据的质量问题,并提出提升数据质量的方法<sup>[18]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

收集整理人工站和自动站2018年地下水埋深数据,根据空间连续性、历史延续性和地缘政治地位,将地下水观测站按流域进行分割。如果对全部的自动站水位埋深数据进行完整性、合理性分析,则工作量大、耗时长,因而按实有水位埋深数据站点总数的5%,结合随机抽样、分层抽样的方法,确定了499个样本站点,对全部人工站和代表性自动站进行地下水埋深数据完整性、合理性评估,各类型站点分布见表1。

表1 各流域地下水观测人工站、自动站及所选取的抽样自动站数量

流域	人工站点 总数	自动站点 总数	抽样自动 站点数
长江流域	37	1195	60
黄河流域	594	1508	75
淮河流域	764	1614	81
海河流域	683	2321	116
松辽流域	557	2121	106
珠江流域	0	263	13
东南沿海	0	135	7
西北诸河	148	828	41

### 2.2 评估指标

数据质量是指监测的数据能否满足预期要求<sup>[19]</sup>。本文从完整性、合理性、代表性、一致性4个方面对两套地下水水位埋深数据进行质量评估和对比分析。

(1)完整性。完整性是指监测系统在研究时段内监测的数据频次和总量是否满足预期要求,数据有无缺失<sup>[20]</sup>,缺失率可以衡量数据的完整性程度<sup>[21]</sup>。数据缺失率计算公式如下:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n B_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中:W为研究流域监测数据缺失率;n为流域内观测站点总数;A<sub>i</sub>为站点i的缺失数据量;B<sub>i</sub>为站点i的理论数据量。

(2)合理性。合理性是指实测的地下水位埋深

数据是否在合理范围之内,有没有数据录入错误现象。数据异常率最能直接反映出研究时段内监测到的地下水位埋深数据的合理程度,异常率是指监测数据中的异常数据量与实际监测总数据量的比值,其计算公式如下:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $Q$ 为研究流域监测数据异常率; $n$ 为流域内站点总数; $M_i$ 为站点 $i$ 的异常数据量; $N_i$ 为站点 $i$ 的实际数据量。

本文结合统计模型和距离模型检测出全部地下水水位埋深数据异常值。

基于统计模型对异常值检测,首先给定一个置信区间,超过此置信区间的数据即为异常值。计算数据集的最小值 $Q_{\min}$ 、第1四分位数 $Q_1$ 、中位数 $Q_2$ 、第3四分位数 $Q_3$ 、最大值 $Q_{\max}$ 这5个统计量,绘制出箱型图,箱内包含了大多数的正常数据,处于箱体的上边界和下边界之外的数据,视为统计上的异常数据<sup>[22]</sup>,其上、下边界的计算公式如下:

$$\max = Q_3 + (Q_3 - Q_1) \times 1.5 \quad (3)$$

$$\min = Q_1 - (Q_3 - Q_1) \times 1.5 \quad (4)$$

箱型图在非正态分布数据中判断异常值的时效性是有限的,故本文仅采用箱型图对地下水埋深数据进行初步异常值检测,还需采用基于水位埋深差的距离模型对异常值进行精细检测。

地下水埋深时间序列前后数据应具有较高的关联性,即前后数据在正常情况下的差值应在一定的阈值内,采用基于水位埋深差的距离模型对时间序列数据的异常值进行精细检测,是在计算水位埋深时间序列变化率的基础上,事先给定速率变化界限,通过计算检验,得到异常值发生的位置。其具体方法步骤如下:

步骤1:读入地下水水位埋深时间序列数据 $\{y(t)\}$ 。

步骤2:计算相邻时间序列地下水水位埋深变化率 $\Delta y(t)$ :

$$\Delta y(t) = y(t+1) - y(t) \quad (5)$$

步骤3:求出变化率 $\Delta y(t)$ 的均值 $\mu$ 和方差 $\sigma$ :

$$\mu = \frac{\sum_{t=1}^T \Delta y(t)}{T} \quad (6)$$

式中: $T$ 为水位埋深监测时间序列( $T = 1, 2, \dots, N$ )。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{T}(\Delta y(t) - \mu)^2} \quad (7)$$

步骤4:异常值发生的位置位于:

$$\hat{k} \in \{ | \Delta y(t) - \mu | > n\sigma \} \quad (8)$$

式中: $\hat{k}$ 为水位埋深异常值发生的时间序列位置; $n$ 为系统的检测增益,按照经验取 $n = 3$ 。

(3)代表性。代表性是指监测的水位埋深数据能够在多大程度上反映研究区域内水位埋深要素的真实空间变化特征。本文分别计算人工站、自动站2018年的年内水位埋深变化,并绘制松辽流域、黄河流域、淮河流域、海河流域的人工站、自动站水位埋深变化等值面图,进而评估自动站的水位埋深在空间上的变化是否能够真实地反映地下水埋深要素的变化特征。

(4)一致性。一致性是指在一定显著性水平下各流域两套监测系统地下水月平均埋深以及2018年年内水位埋深的变化趋势是否一致。本文以黄河流域、淮河流域、海河流域、松辽流域为研究单元,在对各研究流域内人工站、自动站的月平均水位埋深进行一致性检验时,由于并不了解总体的分布类型,因此采用非参数检验中的曼-惠特尼检验法(Mann-Whitney)。曼-惠特尼检验需要借助于渐近显著性(双侧) $P$ 值来进行判断。当渐近显著性值 $p < p_{0.05}$ 时,表明人工站和自动站在各研究流域内的月平均水位埋深在统计学上有显著差异,不具有有一致性,否则具有一致性。

对水文时间序列进行变化趋势分析能够掌握水文要素变化发展规律<sup>[23]</sup>。本文结合线性趋势法和Mann-Kendall检验法判断水位埋深变化趋势及趋势显著与否。Mann-Kendall检验借助于统计量 $Z$ ,统计量 $Z > 0$ 为上升趋势; $Z < 0$ 为下降趋势<sup>[24-25]</sup>。当 $|Z| \geq 1.64$ 时,表示统计量通过了置信度为95%的显著性检验<sup>[26]</sup>,在统计期内水位埋深变化趋势显著,否则变化趋势不显著。

## 3 结果与分析

### 3.1 完整性及合理性评估结果

逐个检测各流域代表性自动站和全部人工站2018年水位埋深缺失数据,人工监测站每5d监测1次数据,自动监测站每4h监测1次,每日监测6次<sup>[17]</sup>。结合统计模型和距离模型检测出全部异常值,各流域的缺失率和异常率如表2所示。

由表2可知,与人工站相比,自动站各流域整体

缺失率和异常率均有所减小,水位埋深数据的完整性及合理性较好。自动站的仪器设备更加先进,实现了整个监测过程的全自动化,仪器稳定性良好,监测精度更高。

### 3.2 代表性评估结果

选取黄河流域、淮河流域、海河流域、松辽流域

为本次代表性评估的研究单元,计算各流域人工站和自动站2018年的年内地下水水位埋深变化,并采用反距离权重插值法绘制地下水水位埋深变化幅度等值面图,分析各代表性流域人工站、自动站地下水水位埋深减小、稳定和增大区域的面积,其结果如表3所示。

表2 所选流域代表性自动站和全部人工站2018年水位埋深数据缺失率和异常率

流域	人工站 站点数	自动站 站点数	人工站 平均缺失率/%	自动站 平均缺失率/%	人工站 平均异常率/%	自动站 平均异常率/%
长江流域	37	1195	9.68	6.39	1.35	0.66
黄河流域	594	1508	11.94	5.95	1.40	0.70
淮河流域	764	1614	21.12	5.82	1.58	0.67
海河流域	683	2321	13.32	5.79	1.89	0.90
松辽流域	557	2121	14.05	5.91	1.27	0.83
西北诸河	148	828	11.04	8.49	2.31	1.30

表3 所选流域人工站和自动站2018年地下水水位埋深年内不同变化区域面积  $10^4 \text{ km}^2$

流域	流域 面积	人工站水位埋深		自动站水位埋深		自动站水位埋深	
		减小区域面积	稳定区域面积	减小区域面积	稳定区域面积	增大区域面积	增大区域面积
黄河流域	179.61	44.15	113.51	21.95	77.81	71.72	30.08
淮河流域	32.83	6.03	18.38	8.42	13.52	16.45	2.86
海河流域	31.77	10.63	7.80	13.34	13.50	10.17	8.10
松辽流域	123.73	52.63	60.21	10.89	71.66	38.27	13.80

将地下水埋深变幅分为3个等级。地下水埋深变幅在 $-0.5 \sim 0.5 \text{ m}$ 之间属于稳定区;大于 $0.5 \text{ m}$ 为埋深增大区;小于 $0.5 \text{ m}$ 为埋深减小区<sup>[27]</sup>。由表3可知:(1)黄河流域、淮河流域、海河流域、松辽流域这4大研究流域,人工站水位埋深增大区域占各自流域总面积比例的范围为 $8.80\% \sim 42.00\%$ ,其中,占比最大的为海河流域,其次为淮河流域、黄河流域、松辽流域;人工站水位埋深稳定区域占各自流域总面积比例的范围为 $24.55\% \sim 63.20\%$ ,其中,占比最大的为黄河流域,其次为淮河流域、松辽流域、海河流域;人工站水位埋深减小区域占各自流域总面积比例的范围为 $18.37\% \sim 42.54\%$ ,其中,占比最大的为松辽流域,其次为海河流域、黄河流域、淮河流域。(2)黄河流域、淮河流域、海河流域、松辽流域这4大研究流域,自动站水位埋深增大区域占各自流域总面积比例的范围为 $8.71\% \sim 25.50\%$ ,其中,占比最大的为海河流域,其次为黄河流域、松辽流域、淮河流域;自动站水位埋深稳定区域占各自流域总面积比例的范围为 $30.93\% \sim$

$50.11\%$ ,其中,占比最大的为淮河流域,其次为黄河流域、海河流域、松辽流域;自动站水位埋深减小区域占各自流域总面积比例的范围为 $41.18\% \sim 57.92\%$ ,其中,占比最大的为松辽流域,其次为黄河流域、海河流域、淮河流域。(3)从所选的4个流域整体分析,人工站水位埋深增大区域面积占研究区总面积的比例为 $14.84\%$ ,埋深稳定区域面积占研究区总面积的比例为 $54.33\%$ ,埋深减小区域面积占研究区总面积的比例为 $30.83\%$ ;自动站水位埋深增大区域面积占研究区总面积比例为 $14.90\%$ ,埋深稳定区域面积占研究区总面积比例为 $37.13\%$ ,埋深减小区域面积占研究区总面积比例为 $47.97\%$ 。自动站与人工站在3个埋深变幅等级中,埋深稳定区面积占研究区总面积的比例相差最大,差值为 $17.20\%$ 。由此可知,两种数据源绘制得到的各流域各等级水位埋深变幅均存在差异。

地下水自动站全部采用一体化的自动监测设备<sup>[28]</sup>,实现了数据的自动接收、传输与归档,监测系统的稳定性及监测技术远远高于人工站,此外,两种

不同类型的监测站点所处地理位置不同,人工站监测密度不及自动站的1/4,地下水监测自动站的覆盖范围明显大于人工站,结合文献[17]、[29]可知,自动站监测结果相比于人工站更具有代表性,更能表征我国地下水埋深的空间分布特点。

### 3.3 一致性评估结果

3.3.1 水位埋深月平均值一致性评估 利用非参数 Mann-Whitney 检验(统计量为  $U$ )比较各流域两套地下水监测系统2018年月平均水位埋深数据的一致性,分析结果如表4所示。

由表4可知,在所选的研究流域内,人工站与自动站2018年月平均地下水埋深不具有 consistency。原因可能是两套监测系统站点布设位置不尽相同,地下水埋深受站点所在地势影响较大,处于不同地理位置站点的地下水埋深可能会相差很大。

3.3.2 变化趋势一致性评估 结合线性趋势法和 Mann-Kendall 检验<sup>[31]</sup>,判断所选流域人工站与自动站2018年地下水埋深月变化幅值和趋势性,结果如图1所示。

表4 所选流域人工站与自动站2018年月平均地下水水位埋深一致性分析结果

流域	自动站 站点数	人工站 站点数	$U$ 统 计量	渐进显 著值 $P$	两样本是否 有显著差异
长江流域	1195	37	0	0.000	是
黄河流域	1508	594	0	0.000	是
淮河流域	1614	761	0	0.000	是
海河流域	2321	683	0	0.000	是
松辽流域	2121	557	0	0.000	是

注:当渐进显著性值  $p < 0.05$  时,两样本有显著性差异;当渐进显著性值  $p \geq 0.05$  时,两样本无显著性差异<sup>[30]</sup>。

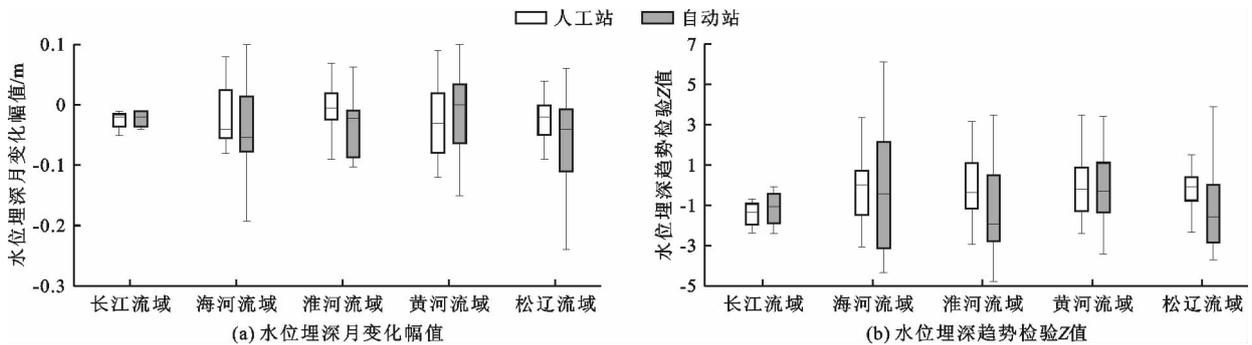


图1 所选流域人工站与自动站2018年地下水埋深月变化幅值和趋势性检验

由图1可知,2018年各研究流域内人工站水位埋深月变化幅值在  $-0.12 \sim 0.09$  m 之间,月平均变化幅值为  $-0.014$  m,人工站水位埋深趋势性检验  $Z$  值为  $-3.09 \sim 3.50$ ,平均  $Z$  值为  $-0.19$ ;自动站水位埋深月变化幅值在  $-0.24 \sim 0.10$  m 之间,月平均变化幅值为  $-0.046$  m,自动站水位埋深趋势性检验  $Z$  值为  $-4.79 \sim 6.10$ ,平均  $Z$  值为  $-0.82$ 。全流域内人工站和自动站水位埋深均呈减小趋势,且减小趋势均不显著,两套监测系统地下水位埋深变化趋势一致,并且各个流域人工站与自动站的地下水埋深变化趋势也相同,均呈减小趋势,但变化趋势并不显著。由此可知,人工站与自动站2018年水位埋深在时间上的变化趋势具有一致性。

## 4 讨论

地下水自动站覆盖了全国主要平原盆地和人类活动区,监测频率为  $4 \text{ h}$ <sup>[32]</sup>,与人工站相比,自动站的站点密度在一定程度上得到了优化,覆盖面更广,监测频次显著增加,实现了监测数据自动化传输,国家

地下水自动监测站水位埋深数据质量高于人工站。

目前,我国地下水数据库的建设仍处于初步阶段,部分地区的地下水监测网布局不够科学合理,监测设备未及时更新,导致部分自动站站点数据质量不高。可以通过全面统筹规划地下水自动监测网,在重要地区和地下水超采区增设更加专业的监测井,不断更新地下水监测设备,进一步提高监测数据质量。此外,增加人工站与自动站监测网之间的有效融合也有待于进一步研究。

## 5 结论

基于全国地下水人工站和国家地下水监测工程(水利部分)地下水自动站2018年同期水位埋深实测资料,采用总体评估和抽样分析相结合的方法,从完整性、合理性、代表性、一致性4个方面对两套地下水埋深数据质量进行评估与对比,分析结果表明:

(1) 自动站与人工站相比,水位埋深数据平均缺失率由  $13.53\%$  降为  $6.39\%$ ,异常率由  $1.63\%$  降为  $0.84\%$ ,自动站的水位埋深数据完整性和准确性

均高于人工站。

(2)自动站监测水位埋深与人工站存在显著差异,两套地下水监测系统2018年各流域平均水位埋深数据不具有-致性,两套数据在水位埋深动态变化趋势上基本-致,具有较好的可比性。鉴于地下水自动站采用的监测设备更加先进、监测水平更高,且自动站站点的密度和覆盖范围较人工站显著增加,因而自动站监测数据更具有代表性。

(3)总体来看,国家地下水监测工程(水利部分)水位埋深数据质量高于原人工站的监测数据,但鉴于部分站点数据缺失率较高,因此,对监测设备及监测技术进行持续性改进提升仍是必要的。

### 参考文献:

- [1] 陈秀清. 福州市新增国家地下水监测站点实施探析[J]. 福建建筑, 2020(7): 46-50.
- [2] 穆恩林, 欧阳如琳, 董四方, 等. 地下水水位管理研究进展综述[J]. 地下水, 2019, 41(03): 33-34+58.
- [3] 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.
- [4] 高志. 国家地下水监测工程站网布设浅析[J]. 地下水, 2012, 34(5): 71-72.
- [5] 黄维东, 李计生, 王毓森, 等. 国家地下水监测工程(水利部分)甘肃省建设项目概述[J]. 甘肃水利水电技术, 2016, 52(10): 1-6.
- [6] SENG Y P. Historical survey of the development of sampling theories and practice[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1951, 114(2): 214-231.
- [7] 余宇峰, 张建新, 朱跃龙, 等. 水文数据库数据质量控制与管理应用研究[J]. 水文, 2013, 33(3): 65-68.
- [8] 王晓东, 安冬妮, 王冉昕, 等. 污水处理厂自行监测数据准确性评估——基于时间序列及相关性分析[J]. 环境与发展, 2018, 30(8): 164-165+167.
- [9] 郑琳, 刘艳, 崔文林, 等. 海洋监测数据质量评估研究[J]. 海洋通报, 2014, 33(2): 228-234.
- [10] 高熠飞, 王建平, 李林峰. 基于柯西分布的水文序列异常值检测方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(4): 307-313.
- [11] 高蒙, 赖俊滨, 刘明, 等. 北京大气试验站双套自动气象站数据评估与对比分析[J]. 环境技术, 2020, 38(6): 142-146.
- [12] 梅建东. 亚太与极地地区北斗双频数据质量评估[J]. 测绘技术装备, 2021, 23(1): 22-25.
- [13] 范海晶, 禹光波. 汪清气象站新站址气象资料代表性分析[J]. 吉林气象, 2012(1): 27-30.
- [14] 陈东东, 王明田, 张玉芳. 四川省土壤湿度自动站和人工观测数据对比分析[J]. 安徽农业科技, 2011, 39(29): 18066-18068+18147.
- [15] 史晓霞. 自动站与人工站观测数据的差异对比分析[J]. 甘肃农业, 2012(11): 48-50.
- [16] 许剑锋, 刘丽, 李书啸. 人工站和自动站的观测数据对比分析[J]. 北京农业, 2013(2): 133-134.
- [17] 刘文静. 廊坊市地下水人工观测与自动监测方法对比分析[J]. 地下水, 2021, 43(1): 51-52+132.
- [18] 汤丹丹, 程习锋, 万定生, 等. 连续型水文数据质量控制方法研究与应用[J]. 信息技术, 2017(4): 8-12+16.
- [19] 周丽勤. 实现环境监测数据质量“五性”要求研究[J]. 环境与发展, 2018, 30(6): 156+158.
- [20] 李显凤, 周自江, 李志鹏, 等. 基于江西省水文资料对中国融合降水产品的质量评估[J]. 气象, 2017, 43(12): 1534-1546.
- [21] 刘志杰, 孔敏, 舒雨婷, 等. 海洋地质地球物理数据分类与组织[J]. 海洋通报, 2019, 38(4): 415-421.
- [22] 麻鹏飞. 雷达辐射源个体识别技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
- [23] 杨云川, 程根伟, 范继辉, 等. 卫星降雨数据在高山峡谷地区的代表性与可靠性[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): 24-33.
- [24] 徐泽华, 韩美. 山东省干旱时空分布特征及其与 ENSO 的相关性[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(8): 1236-1248.
- [25] 刘森, 刘酌希, 周毅, 等. 常州市降水时程演变及小波变化特征分析[J]. 江苏水利, 2018(8): 20-24.
- [26] 陆志华, 夏自强, 于岚岚, 等. 松花江流域年降水和四季降水变化特征分析[J]. 水文, 2012, 32(2): 62-71.
- [27] 孟春丽, 王闯, 魏雅琴. 2013年中牟县地下水动态及水量平衡分析[J]. 河南水利与南水北调, 2014(14): 9-10.
- [28] 樊冰, 张联洲, 杜文贞, 等. 地下水动态监测系统开发背景与建设内容[J]. 现代农业科技, 2015(21): 339-340.
- [29] 杨桂莲, 宋凡, 鲁程鹏, 等. 国家地下水监测工程数据在地下水动态月报评价中的应用效果浅析[J]. 水文, 2019, 39(5): 45-49+24.
- [30] 何飞, 廖铭超, 韦继忠. 贺州自动站替换人工观测对资料连续性影响分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(1): 55-57.
- [31] 刘翠善, 张建云, 王国庆, 等. 近50年来我国降水的变化趋势分析[C]//中国水利学会. 中国水利学会2008学术年会论文集(下册). 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [32] 姜媛, 杨庆. 潜伏的“城市血液病”——地下水污染[J]. 大自然, 2019(6): 26-29.