

国内外地下水监测技术与管理比较研究

杨建青^{1,2}, 章树安^{1,2}, 陈喜³, 杨艳燕¹, 章雨乾³

(1.水利部水文局,北京 100053;2.水利部地下水监测中心,北京 100053;3.河海大学,江苏 南京 210098)

摘要:受自然地理、气候环境和经济社会等影响,不同地区、各国之间对地下水的开发利用程度不同,对地下水的监测管理差别很大。作者在系统收集整理欧美等主要国家地下水监测管理的有关论文和成果基础上,结合多年从事地下水工作的实践与心得体会,根据我国地下水监测与管理的实际情况,就我国与欧美等主要国家在地下水监测网布设、监测技术方法、监测数据处理和信息成果应用、地下水法规管理等方面的做法进行系统的对比和分析,以期寻找差距、借鉴经验,并对如何提高和促进我国地下水监测与管理工作进行了展望。

关键词:地下水;监测技术;管理;比较研究

中图分类号:P641.7

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)03-0018-07

1 引言

地下水是人类重要的自然资源,是经济社会可持续发展的基础。根据《世界水评估计划》(UN/WWAP, 2003),世界上大约98%的液态淡水储存在地下含水层中,全球有超过15亿的城市居民依赖地下水生活,地下水是许多国家农业灌溉的主要水源。与地表水相比,地下水分布范围广、分布相对均匀;地下水不易受季节等因素影响,供水保证程度高,是抵御干旱的主要手段;地下水水质一般要优于地表水,开发成本比较低。但是,长期以来,由于水文地质条件的复杂性和埋藏于地下不被人们直接发现等特点,人类对地下水缺乏足够的认识和重视。许多国家普遍面临一个突出的问题,即,当开发利用地下水时,相关的数据非常匮乏。一般来说,由于收集地下水数据的成本比地表水高,其专业技术花费大,在大多数国家,地下水水量与水质方面的数据比地表水要少得多。

我国是一个人均水资源短缺的国家,地下水是工农业生产和城乡生活的重要水源。在我国660多个建制市中,利用地下水供水的有400多个;地下水灌溉面积占耕地面积的40%以上;北方农村普遍利用地下水作为饮用水源。随着全球气候变化以及中国经济发展和人口增长,用水量也在日益增长,自21世纪以来,我国地下水年开采量持续超过 $1\ 000\times 10^8\text{m}^3$ ^[1]。地下水的

开发利用为区域经济和社会发展提供了重要保障。然而,由于一些地区地下水不合理开发,造成局部地区地下水采补失衡,地下水位大幅下降,引发地面沉降、地下水污染、生态环境退化等一系列问题。因此,迫切需加强地下水动态监测,开展地下水动态模拟和分析预测,全面加强对地下水的管理,以掌握地下水数量和质量的时空分布和变化规律,科学合理配置地下水资源,实现对地下水的可持续开发利用和有效保护。

目前,全国水利(水文)部门共有地下水监测站24 515处,其中,基本监测站12 859处(10%左右兼水质监测任务),初步形成了覆盖北方各主要平原区的地下水监测站网。但我国地下水监测与管理总体比较薄弱,还存在着站网布局不完善、地下水监测站网密度总体偏低、缺乏地下水专用监测井、监测技术手段落后、信息分析服务能力弱、法规保障机制不健全等问题^[2]。

受自然地理、气候环境和经济社会等影响,不同地区、各国之间对地下水的开发利用程度不同,对地下水的监测管理差别很大。近年,联合国机构和各国政府以及有关科研人员在地下水监测与管理方面开展了大量的实践研究,取得了许多成果。作者在收集整理欧美等主要国家地下水监测管理的有关论文成果和《国外地下水监测与管理》书稿的基础上,结合多年从事地下水工作的实践与心得体会,根据我国地下水监测与管理

收稿日期:2012-06-02

作者简介:杨建青(1971-),男,江苏常熟人,博士,主要从事水文水资源监测与评价业务工作。E-mail: jianqing.yang@mwr.gov.cn

的实际情况,就我国与欧美等主要国家在地下水监测网布设、监测技术方法、监测数据处理和信息成果应用、地下水法规管理等方面的做法进行系统的对比和分析,以期寻找差距、借鉴经验。

2 国内外地下水监测技术与管理比较

2.1 站网分类

世界许多国家对地下水的监测站网都有明确的分类,其分类方法主要有两种:一是根据监测目的;二是根据管理权属。如丹麦有全国地下水量监测网和全国地下水水质监测网,并将地下水位监测站网分为地方性监测网(由供水系统负责)、地区性监测网(由县级负责)和全国性监测网(由丹麦数据中心 GEUS 负责)。美国把地下水监测网分成两类,第一类为水文地质基准网,其主要目的是研究水资源以及审核与地表水地下水的形成有关的各种科技问题;第二类为建立在各个工程项目上的设计网,用来解决设计中的具体问题。但是美国没有国家地下水监测站网,地下水监测站网由各州管理,各州的实际情况也各不相同。

根据水利行业标准《地下水监测规范》,我国的地下

水监测站网按监测目的可分为基本站、统测站和实验站三大类;按照监测方式将基本监测站分为人工和自动监测站两类,按管理模式将水位、水质基本监测站分为国家级监测站、省级行政区重点监测站和普通基本监测站。

从监测目的上看,荷兰等一些欧洲国家的基本站主要是政府部门为规划管理提供长期监测数据,包括国家站和区域站,主要监测水量和水质要素;专用站主要是市政机构、非政府组织或者用水户为某种特定的目的而设置的短期专门监测站,包括水量和水质要素;临时站主要是科研院所等为研究目的临时设置的监测站,监测要素根据实际需要确定。我国与部分国家地下水监测站网分类比较见表 1^[3-5]。

2.2 站网布设和密度

2.2.1 站网布设

各国对地下水监测站网的布设都有严格要求。《欧盟水框架指令》(Water Framework Directive, WFD)^[6]对地下水监测站网的布设提出了明确的指导性意见如下:

(1)对于多层含水层,要求在同一位置应考虑每个含水层都要有监测井;考虑含水层的空间不均匀性,要求每个含水层应划分为特性相同的各个水文地质单

表1 我国与部分国家地下水监测站网分类对比
Table1 Comparison between China and other countries on groundwater monitoring network classification

国家	分类		备注
中国	基本站(专用站): 政府管理; 主要用于收集基础数据对水资源进行管理; 长期监测。	统测站: 政府管理; 主要用于补充收集基础数据; 长期监测。	实验站: 政府管理; 地下水垂向和侧向补排关系、 四水转换关系等的分析研究; 确定地下水参数; 长期监测。
美国	水文地质基准网: 各州负责; 主要用于水资源及与地表水地下水的形成有关的技术问题; 长期监测。	工程项目设计网: 主要用于工程设计。	
荷兰	基本站: 国家和政府层面; 主要用于规划管理; 长期监测。	专用站: 非政府层面; 主要用于特定目的(如,评价或监测某个区域的地下水系统); 短期监测。	临时站: 科研院所层面; 主要用于研究目的; 短期监测。
英国	国家监测网: 英国河流管理机构负责; 主要用于收集基础数据对水资源进行管理。	地方监测网: 地区或地方机构共同负责。	参考监测网: 水质监测站网
瑞典	国家标准监测网: 主要用于分析水量水质与地质地形和气候条件的变化关系。	地方监测网: 主要与自治区水利工程联系。	
丹麦	全国性监测网: 由丹麦数据中心 GEUS 负责。	地区性监测网: 由县级负责; 规划不同部门使用地下水; 负责(水质)数据收集、评价和报告。	地方性监测网: 由供水系统负责。 有全国地下水水质监测网。
原苏联	区域性监测网: 注重地下水开发过程中的监测。	局部性监测网:	

元,每个单元至少应有一个监测井。

(2)考虑水文地质条件的连续性,要求监测井之间的距离应不小于空间不均匀性的尺度范围。

(3)考虑覆盖边界条件的需要,要求监测井群的分布应垂直于边界。

(4)考虑水文应力范围,要求监测井群的分布应垂直于河流,覆盖补给与排泄的区域。

(5)考虑对现有地下水井的利用,提出生产井可用于水质取样,但不能用于地下水位监测;开采井可以考虑将其转化为监测井。

(6)关于含水层的几何结构,要求应努力监测到地下水的空间变化趋势,为地下水数值模拟提供便利。

(7)关于地下水井的协同定位,要求水位和水质监测应在同一位置。

(8)此外,布设地下水监测站网时还应考虑便于监测的条件,并要首先消除短期水位波动的影响。

美国各州在布置地下水监测点时,还利用航空照片和优化理论进行规划,以确保站网布设的合理性。除了水位水质监测站网,美国还建立了响应气候变化的地下水监测站网。

我们国家水利部门对站网布设主要从地下水的开发利用角度,根据水利行业标准《地下水监测规范》,除了对基本类型区进行规定外,重点对特殊类型区的布设提出了详细分类要求。

相比之下,国外主要根据水文地质条件进行的站网布局可以很好地掌握地下水内在的运移规律和变化

特性,站网布设更加科学、合理。我国水利部门主要从水资源开发利用出发进行站网布设,在一定时期内可以更好地与生产需要结合起来,但随着地下水开发利用程度的变化,一些监测站点可能会失去其原有功能;同时由于地下水的运移变化还主要受水文地质条件的制约,不利于全面监控地下水的自然特性变化。

2.2.2 站网布设密度

站网布设密度主要取决于含水层的水文地质和水化学方面的复杂性。一般而言,含水层特性、地下水开采、水资源与土地利用状况、人力资源等因素都可以作为站网设计的参考因素。此外,还需考虑经济成本等因素,地下水水质基本站网密度通常要比地下水水位站网低。

对欧洲10个国家的调查表明,地下水水位站网密度,各国从0.02/100km²到10.70/100km²个测站不等,荷兰为世界上地下水监测站网密度最高的国家;地下水水质站网密度,各国从0.02/100m²到1.61/100 km²个测站不等。我国与部分国家站网密度与监测频次对比见表2。

站网密度的不同反映了国家的大小、人口密度、经济条件、地下水系统抗污染性、地下水开采强度和 Related 利益冲突、以及环境保护优先权的不同。国外主要发达国家站网密度普遍高于我们国家,特别是地下水开发利用程度高的国家或区域,其站网密度明显较高。我国站网密度与美国相近,但是监测能力相对薄弱,最突出的一个问题是缺少专用监测井。

2.3 监测内容和要求

《欧盟水框架指令》提出的欧洲国家地下水监测主

表2 我国与部分国家站网密度对比
Table2 Comparison between China and other countries on groundwater monitoring network density

国家	地下水水位		地下水水质	
	站网密度 (个/100km ²)	监测频次	站网密度 (个/100km ²)	监测频次
中国	监测区 0.37	一般 1 次/5 天	0.01	一般 2 次/年
美国	监测区 0.3	自动监测 1 次/天,人工监测按实际变化	监测区 0.1	一般 4 次/半年
法国	监测区 1.6	主要取决于含水层的水文地质 和水化学方面的复杂性	由不同地区、不同地方 或不同流域的监测网组成	0.5~4 次/年
瑞典	0.11	2 次/月	0.04	
芬兰	0.02	26 次/年	0.02	6 次/年
丹麦	0.15	1 次/月	0.26	2~4 次/年
英国	监测区 1.2	一般 2~12 次/年	0.40	0.5~4 次/年
荷兰	10.70	一般 2 次/月	1.07	1 次/年
比利时/弗兰德	1.61		1.61	
德国/Bavaria	1.00	一般 1 次/周	0.47	
匈牙利	2.27		0.55	
西班牙	1.95	2~6 次/年	0.22	

要有以下内容:

- (1)评价地下水水体水量状况;
- (2)估算跨界地下水流向流速;
- (3)验证地下水影响评价程序;
- (4)评价地下水动态长期趋势;
- (5)监测受威胁的地下水水体化学状况;
- (6)监测污染物浓度持续上升趋势;
- (7)评价这种趋势的逆向变化。

美国地质调查局自 1991 年起执行《国家水体质量评价指南(NAWQA)》有关规定,对包括地下水在内的水体水质进行监测,主要目标是掌握地表和地下水体的质量状况、水质变化趋势、变化原因和影响等。

我们国家目前还没有专门的地下水水质监测规范。根据《地下水监测规范》的规定,地下水水质监测按《水环境监测规范》^[7]要求执行,基本原则为:反映本地区地下水主要水质污染状况,满足地下水质量评价与保护需要,按本地区地下水功能用途选择,矿区或地球化学高背景区可根据矿物成份、丰度来选测,专用站按监测目的与要求选择。

如上所述,《欧盟水框架指令》对开展地下水水质监测从开始准备到设计、评价,再到实施监测、完成一个监测循环的各个阶段都进行了非常详细的划分,提出了非常明确的要求和规定,有利于贯彻实施和具体操作。这是我们今后在制定或修订相应的监测规范、开展相关的监测工作中值得学习和借鉴的地方。

2.4 监测方式和技术

地下水的监测方式可分为人工和自动监测两种。发达国家已经开展了地下水水位的自动监测,监测设备既有一体式的,也有分体式的。美国的实时监测井基本为 20 年前所建,大多为分体式的,带有太阳能电池版仪器设备置于地上的一个铁盒内,与我国的自动监测井很相像;近年来传感器、存储器和电源一体化的设备也逐渐被应用于地下水监测中。美国各种地下水监测井数据的采集频次分为一年一次、半年一次、一个季度一次、一个月一次、一周一次和一天一次几种。地下水监测井中约 11 061 个有长系列监测资料,其中实时地下水监测井约 1 189 个,每天采集一次数据,通过美国国家海洋和大气署(NOAA)的卫星将数据传输至地质调查局的数据库。荷兰主要是人工监测,主要通过志愿者平均每月两次到现场测量,记录读数,随后通过邮局以电话方式或标准卡片等向当地管理部门报送,管理部门对报送的数据进行人工录入,要求两个技

术人员同时录入,两组录入的数据完全一致、并经校对无误后再存入数据库。在监测频次方面,荷兰大约 70%的地下水位监测井平均每二周监测一次,10%的每月监测一次,20%的每年监测四次。

我们国家大多以人工监测、人工报送为主,传统水位人工监测设备包括测绳、皮尺、测钟或音响器等,主要以委托观测员或水文站职工进行定期收集、记录,通过电话、邮件等方式向当地主管部门报送,监测频次主要有逐日、五日、十日一次等。近年来,各地水利部门特别是北方地区开始试点建设地下水自动监测系统,开展了水位自动监测。

从技术手段上看,发达国家地下水监测的自动化程度要高于我国,特别是地下水位的自动监测比较普及;水质监测由于其监测频次要求低、监测要素复杂、监测费用昂贵等,不论在国外还是国内,一般都是人工取样监测方式。从监测频次上看,因站网类别、设站目的、监测用途不同而不同,但我们国家有一支完整的水文专业技术队伍,地下水监测频次总体上要高于国外(见表 2)。我们国家的监测频次高,可以更好地反映地下水位动态,掌握地下水运移变化规律,有利于指导生产实践和管理,但与此同时开展监测和运行维护的成本较高。由于缺乏经费支持,目前国内一些地下水监测站点堵损严重却无力维护,许多委托监测员不愿意承担监测任务,造成监测资料缺失、监测质量下降等问题。我国与部分国家监测方式对比见表 3^[8-9]。

表3 我国与部分国家监测方式对比
Table3 Comparison between China and other countries on groundwater monitoring methods

国家	地下水水位		地下水水质		备注
	人工	自动	人工	自动	
中国	√	√	√		人工为主
美国	√	√	√	√	
法国		√	√		
瑞典	√		√		
芬兰	√		√		
丹麦	√		√		
英国	√	√	√		
荷兰	√	√	√		人工为主
爱尔兰	√		√		
德国/Bavaria	√	√	√		
奥地利	√		√		
葡萄牙		√	√		

2.5 监测管理与应用服务

2.5.1 数据管理

荷兰的全国地下水监测数据储存在荷兰应用地学研究所-国家地质调查局(Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO-National Geological Survey)开发的OLGA信息系统中,通过该系统对地下水数据进行储存、处理、显示和管理,由质量控制系统检查监测质量,包括规则性检查、相容性检查、统计检查和交叉式检查等。系统储存的数据包括地下水位、化学分析、水文地质、各站点的技术和管理状况、地下水位动态影响因素(降雨量、河道水位、开采量、蒸发量等),并向用户提供各种有用的数据,主要用于水管理、土木工程和农业等方面。丹麦数据中心负责地下水监测项目的设计和组织的报告。丹麦地下水水质的数据由14个县负责收集、评价和报告,然后把所有数据和报告递交地下水资料给丹麦数据中心的GEUS;地下水量数据的收集通过所有的供水系统来完成,市政府和14个县完成对数据的评价和保存,并发送到GEUS。GEUS和所有的县可以发表关于地下水使用的年度报告,县政府可以规划不同部门使用地下水,如日常生活、工业或农业用水,县政府授权大幅度抽取地下水,而市政府只能较小幅度抽取。

美国地质调查局(USGS)是收集水资料的中心,美国地质调查局国家数据库系统中约有85 000个监测井的数据,主要来自各个州和联邦政府的监测井,其中约有20 000多个监测井保持每年的常规监测,资料年限最长的监测井有超过100年的资料。美国地质调查局设有国家水资料储存和检索系统(WATSTORE),监测资料由设在各州的测点经过卫星等自动化装置采集输送到系统中心,WATSTORE储存全国的地下水监测数据。

2.5.2 应用服务

发达国家十分重视地下水监测资料的应用服务。如,法国将定期监测的结果通过三年出版一次的水文形势和低水位预报的国家简报方式提供服务,并在一些地区建立了数学模型,评价地下水动态变化的影响等。英国在地科院地球物理与水文地质研究所内建立有数据库,对全国一百多年来的水井资料收集、编录成信息化系统储存和利用,并定期发布地下水情预报。另外,英国的水资源处理中心储存并检索地表水、地下水位、水质等数据,并开展咨询服务。美国不仅将每天的地下水监测数据在地质调查局网站进行公布,而且用户可访问地质调查局的数据库免费查询到库

中地监测数据,全民共享。

我们国家目前水利部门通过地下水动态信息系统在网上发布北方17个省份典型区域地下水动态信息,并以地下水通报、动态月报等方式提供动态信息和成果,为各级政府、有关部门和社会公众进行共享和服务。但总体上我国的地下水数据库的建设刚刚起步,在系统建设、数据存储、分析处理和维持管理方面还很不完善;现有的国家地下水数据库中也仅收集了少量地下水监测数据,数据资料不完整,数据全面共享的条件还不成熟。

从地下水的监测资料管理上看,发达国家由于其经济和技术发达,管理工作起步早,工作比较规范和完善,政府的服务意识强,信息共享程度普遍要比我国高,数据的利用率和应用程度比我国好。

此外,国内外对地下水动态预测研究开展的比较多。前苏联等国最早从20世纪初就开展了对地下水动态水位的分析预测,到20世纪80年代后期,各种预测方法得到迅速发展,美国、日本、荷兰等国还根据动态研究开始推广利用地下水库调蓄水资源,并将其视为水资源管理的一个重要策略。在国内,由于缺乏复杂的水文地质条件等基础资料,在地下水动态预测方面的研究比较薄弱,起步较晚,20世纪70年代中后期开始相关工作。随着地下水开采量不断地增长,特别是对北方平原区地下水超采引发生态环境问题的关注,不同的预测方法相继出现并试点应用。近年来计算机模拟技术的快速发展,把地下水动态预测工作推向了一个新的阶段,但在数值模拟方面我们国家比较多的是应用国外比较成熟的地下水专业软件。

2.6 法律法规与制度建设

在法规和制度建设方面,多数国家根据实际需要建立起了各自的管理制度,形成了各自的管理模式,颁布了相关的法令法规。《欧盟地下水指令》可以说是目前地下水管理方面第一部最完整、最有权威性的国际性法令。韩国于1994年颁布的《地下水法》,是由国家正式颁布的完整的专门的地下水法律;澳大利亚一些州于20世纪初就有地下水的立法,是世界上最早关于地下水立法的国家之一。许多国家在水法规、环境法规等其他法律法规框架内对地下水也作了法律规定。在制度建设上,许多国家如欧洲等国通过地下水监测、取样、分析、评价方法等的相关标准和规范来管理和保证地下水监测工作的开展。

我们国家1998年《国务院关于机构设置的通知》

(国发[1998] 5号)明确地下水行政管理职能由水利部承担,2002年修订的《中华人民共和国水法》明确水资源统一管理和加强动态监测,2007年《中华人民共和国水文条例》明确地下水监测是水文监测的一个要素,进一步加强了对地下水的监测和管理,促进了地下水监测工作的全面开展。

与国外相比,在法律法规和制度建设方面存在一定差距。目前我国国家还没有一部有关地下水方面的专门法规,现有的《水法》、《水文条例》中对地下水仅提出了原则性的规定,缺乏明确和详细的法律条文。有关地下水监测站网管理规章制度的建设滞后,现有相关技术规范的要求粗放,不能满足水资源科学管理和经济社会可持续发展对地下水监测管理的需要。作者认为可以借鉴《欧盟地下水指令》等法令,加强地下水的

相关监测标准、管理制度和法律法规建设,促进地下水监测管理工作发展。我国与部分国家地下水法规及制度建设对比见表4^[10-13]。

3 认识与建议

通过对国内外地下水监测管理工作的分析比较可以看到,国外对地下水的监测与管理根据其开发利用程度以及经济发展状况不同而各异,但普遍比较重视这项工作,大多数具有专门的监测站网,对监测资料的管理精细、规范,资料应用和信息共享程度高。我国也有基本覆盖全国的监测站网,有一支专业技术队伍和相应的管理措施,但总体还比较薄弱。归纳起来,建议应重点从以下4个方面进一步加强:

(1)加强地下水监测站网建设。建设监测地下水的

表4 我国与部分国家地下水法规及制度建设对比
Table4 Comparison between China and other countries on groundwater regulations

国家	法律法规	管理制度/规范标准	国家数据库/ 数据管理中心
中国	《中华人民共和国水法》,2002年; 《中华人民共和国水文条例》,2007年。	《关于加强地下水超采区水资源管理工作的意见》,水利部2003年; 水利行业标准《地下水监测规范》; 水利行业标准《地下水监测站建设技术规范》。	√(在建)
美国	《清洁水资源法(Clean Water Act, CWA)》,2007年修订; 《资源保护和回收法(Resources Conservation and Recovery)》,1976年; 《水资源治理法》,1972年。	《V类地下回灌井控制导则》,1999年;《地下水规程》,2000年。	√
欧盟	《欧盟地下水指令》,2007年。		
法国	89-3 法令(饮用水水质准则)		√
瑞典	《水法》,1918、1939、1964年; 《自然资源保护法》,1964年; 《环境保护法》,1969年。		√
芬兰	《水法》,1962年。		√
丹麦			√
英国	《地下水管理条例》,1998年; 《水资源法》,1991年; 《环境保护法》,1991年。	《地下水水质评价》,1994年。	√
荷兰	《水法》,1900年; 《地下水法》,1982年; 《水管理法》,1989年。	质量保证方法(ISO 900, EN4500)。	√
德国	《水法》; 《水井控制法》。	《德国工业标准操作规范》38402(地下水的取样); 《地下水的观测和评价指南》; 《地下水取样和监测范围的规定》。	
西班牙	《水法》,1985年; 《国家水资源规划法》,2001年。	实验室相关标准规范。	√
奥地利	《水法》,1990年(原“水文法”)。		√
以色列	《水法》,1959年; 《量水法》,1955年; 《水井控制法》,1955年。		
澳大利亚	《水法》(新南威尔士州),1912年。		
韩国	《地下水法》,1994年。		
日本	《关于限制建筑工程开采地下水法》,1962年。	《预防地面下沉的对策纲要》,1995年修订。	

专用站网,提高站网密度、监测能力和监测质量。在站网建设中要考虑将地下水的开发利用与水文地质条件进行结合,科学布设。建立地下水站网管理制度,加强地下水站网管理。

(2)加强地下水监测技术管理。在现有相关监测规范的基础上,加强制定和修订工作,建立和完善地下水监测标准体系,规范技术要求。加强地下水监测仪器设备的应用研究,提高自动化监测能力。

(3)加强地下水监测资料管理。加强地下水数据库建设,统一库表结构,加强数据管理。加强对资料的分析应用,提高资料利用效率,实现资料和成果的定期发布和信息共享。

(4)加强地下水分析应用服务能力。加强地下水信息系统建设,加强并开展对地下水动态的模拟分析和预测评价,为合理开发地下水资源、改善生态环境提供技术支持,为缓解区域水资源短缺,实现经济社会的可持续发展提供技术含量高、应用价值好的信息服务。

参考文献:

- [1] 章树安,陈喜,杨建青,等. 国外地下水监测与管理[M].南京:河海大学出版社,2011.(ZHANG Shu-an, CHEN Xi, YANG Jianqing, et al. Groundwater Monitoring and Management in Foreign Countries [M]. Nanjing: Hohai University Press, 2011. (in Chinese))
- [2] 杨建青,章树安. 关于我国地下水监测与预测预报研究的几点思考[A]. 水生态监测与分析论文集 [C]. 济南:山东省地图出版社,2008,207-211.(YANG Jianqing, ZHANG Shu-an. A tentative discussion on groundwater monitoring and prediction practice in China[A]. Symposium on Aquatic Ecological Monitoring and Analysis [C]. Jinan: Shandong Atlas Publishing House, 2008, 207-211. (in Chinese))
- [3] 周仰效,李文鹏. 区域地下水位监测网优化设计方法[J]. 水文地质工程地质,2007,(1).(ZHOU Yangxiao, LI Wenpeng. Optimization methods on regional groundwater monitoring network[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2007,(1). (in Chinese))
- [4] SL183-2005,地下水监测规范[S].(SL183-2005, Technical Standards for Groundwater Monitoring [S]. (in Chinese))
- [5] SL360-2006,地下水监测站建设技术规范[S].(SL360-2006. Technical Specification for the Construction of Groundwater Monitoring Station [S]. (in Chinese))
- [6] 马丁. 格里菲斯编著,水利部国际经济技术合作交流中心组织翻译. 欧盟水框架指令手册 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2008. (Martin Griffiths (editor), the International Economic & Technical Cooperation and Exchange Center (translation). The EU Water Framework Directive Handbook [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))
- [7] SL219-98,水环境监测规范[S]. (SL219-98, Regulation for Water Environmental Monitoring[S]. (in Chinese))
- [8] 束龙仓,杨建青,王爱平,等. 地下水动态预测方法及其应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010. (SHU Longcang, YANG Jianqing, WANG Aiping, et al. Prediction Applications on Groundwater Dynamic[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2010. (in Chinese))
- [9] Technical Guide to Ground Water Resource Management[R]. USDA.
- [10] Salman A. Groundwater-legal policy perspectives [A]. Proceedings of a World Bank Seminar[C]. World Bank Technical Paper No.456.
- [11] Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwater [A]. UNECE Task Force on Monitoring & Assessment Work Programme 1996-1999 [C]. ISBN 9036953154, Lelystad, March 2000.
- [12] 郭孟卓,赵辉. 世界地下水资源利用与管理[J]. 中国水利,2005,(3). (GUO Mengzhuo, ZHAO Hui. Groundwater utilization and management around world[J]. China Water Resources, 2005, (3). (in Chinese))
- [13] 蔡建元,林祚顶主编. 杨建青译. 全球的水利用:现状和未来的需求(联合国教科文组织2000年世界水日学术报告)[A]. 水文水资源译文集 [C]. 2002:20-27. (CAI Jianyuan, LIN Zuoding(editors), YANG Jianqing (translation). Global water utilization: current situation and future demand (UNCESCO report on world water day 2000) [A]. Translations of Hydrology and Water Resources [C]. 2002:20-27. (in Chinese))

Comparison between China and Other Countries on Groundwater Monitoring and Management Practices

YANG Jianqing^{1,2}, ZHANG Shu-an^{1,2}, CHEN Xi³, YANG Yanyan¹, ZHANG Yuqian³

(1. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;

2. Centre for Groundwater Monitoring, MWR, Beijing 100053, China; 3. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Monitoring and management of groundwater in different countries differ from each other due to the diversity of their territorial geography, climate and social economics. This paper investigated groundwater monitoring and management practices in main countries around world. Together with the experiences gained in China, we compared the groundwater monitoring network distribution, monitoring technique, monitoring management and data application between China and other countries. Analysis and suggestions were made for further improvement of the groundwater management in China.

Key words: groundwater; monitoring technology; management; comparison study