

中国水文站网

何惠

(水利部水文局, 北京 100053)

摘要: 简要回顾了我国水文站网和观测技术的发展过程。根据2005年全国水文站网普查数据, 分析了我国水文站网测报自动化水平和水文站网密度与布局现状, 结合500 km²以上河流水文站网设立情况调查, 客观评价了水文站网对江河的水文控制程度。在评估中, 与有关国家情况做了对比, 以进一步认识我国水文站网现状。

关键词: 水文站网; 测验技术; 中国

中图分类号: P332 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2010)04-0460-06

水文站网是按照一定原则布设的水文测站体系, 是水文测站组成的有机集合体^[1]。按目的和作用分为基本站、实验站、专用站和辅助站。基本站按照测验工作内容分为流量站(通常称作水文站)、水位站、雨量站、水质站、地下水水位观测井等^[2]。基本站是综合国民经济各方面的需要, 由国家统一规划而建立, 其任务为收集基本水文资料, 探索基本水文规律, 满足各方面的共同需求。1949年后, 我国水文站网迅速发展, 测验设施逐步完善, 测验方法和技术不断改进。通过水文测验采集的大量水文、水情及水资源数据, 为防汛抗旱、水资源开发利用和水环境保护提供了准确可靠的科学依据。

1 水文站网发展

我国很早就有水位、雨量观测。清代末期, 开始有正式连续纪录的水位、雨量观测, 并开始有流量观测。到1937年, 除台湾省外, 全国有水文站、水位站、雨量站、实验站等共2637处, 是民国时期测站最多的年份。此后, 由于连年战乱, 遭受破坏, 到1949年中华人民共和国成立时, 接管的水文测站仅353处, 其中基本水文站(也称流量站)仅148处。民国时期的水文测站, 缺乏统一规划, 机构变动频繁, 隶属关系更迭转移甚多, 站点设置不稳定, 设备简陋, 记录不全, 资料也很少整编刊印。

中华人民共和国成立后, 政府大力兴修水利和进行经济建设, 迫切需要水文资料, 水文站网得到了迅速发展。以基本水文站为例, 1949~1959年, 每年都增建数百处, 到1960年, 国家基本水文站已达到3611处, 这是我国水文站网建设史上的巅峰时期, 此后经历了两次低谷。第1次出现在20世纪60年代初。1957年以前, 水文工作以省一级管理为主; 1958~1959年, 由于当时特殊的时代背景, 测站管理权限被下放到专县; 从1959年起, 由于“大跃进”和天灾人祸, 全国出现严重经济困难, 水文管理权限下放后的矛盾突出表现出来, 水文测站被大批裁撤, 基本水文站到1963年减少到2664处, 出现第1次站网建设的低谷。以后随着国家对国民经济建设进行调整, 1963年底, 水文管理权限被上收, 全国水文站网建设开始得到缓慢恢复, 到1966年前, 水文站恢复到2883处。“文革”开始(1966年)后, 水文工作管理权限再次被下放, 水文站网建设重遭打击, 测站规模持续下滑, 出现了第2次低谷。“文革”结束(1976年)后, 随着改革开放和国家经济的复苏, 站网建设也开始恢复, 进入20世纪80年代, 站网规模出现了继1960年后的第2个峰值, 达到了3400多处, 以后一直在稳定中调整和发展(图1)。

截止到2009年, 按独立站统计, 我国有基本水文站3183个, 水位站1407个, 雨量站15750个, 水质站6097个, 地下水观测井12522个。已建成布局比较合理、项目比较齐全的水文站网, 在历年的防汛抗旱、水工程设计与运行调度, 以及水资源管理工作中都发挥着巨大的作用。

收稿日期: 2009-12-21

作者简介: 何惠(1956-), 女, 江苏南京人, 教授级高级工程师, 主要从事水文站网研究、规划与管理。

E-mail: hehui@mwr.gov.cn

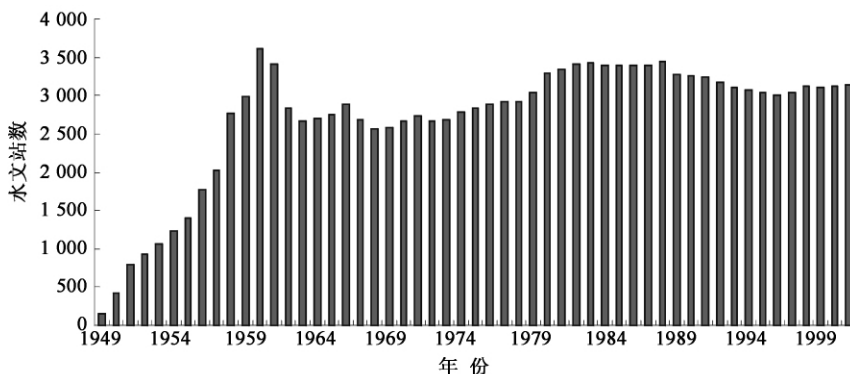


图1 基本水文站网发展过程

Fig. 1 Gauging station network development in China

2 水文测验技术发展

1949年以来,中国水文测验工作经历了由简到精、由粗到细、由少到多的发展历程,各项要素监测都因地制宜地形成了较为成熟的观测技术,尤其是水位、流量、雨量的观测,近20年来,逐步引入现代化技术。

2.1 水位观测

20世纪60年代以前是以直读式水尺观测为主的阶段。20世纪70~80年代是以建立浮子-测井式自记水位计为主的阶段。20世纪90年代以后,非接触式水位计、压力式水位计得到较多地应用。

根据水文站网普查资料,截止2005年,按观测项目统计(注:独立站往往包含多个测验项目,因此按测验项目统计的站数一般大于按独立站统计的站数,下同),中国5286个水位站中自记的比例达到53%,其中,浮子式占48%,超声波占3%,压力式占2%,完全人工观读的水尺方式仍占41%。水位站中69%的观测断面有实时报送资料的需求,其中实现自动测报的占44%,仍有一半以上需要采用人工测报方式。

2.2 流量观测

20世纪60年代中期以前多以人力为主,采用较为原始的测验方法。大河流的干流及较大支流主要用木船测流,采用人力拉纤,费时费力,精度较低;小支流多采用人力投放浮标法、涉水测流法。70~80年代,为提高流量测验精度,水文部门不断改善设施、设备的技术水平,在干流及较大支流建设大跨度吊船缆道,重要站配备动力船;中小河流普遍建成过河索升降缆车、流速仪过河缆道。浮标投放发展由人力变为电动循环。90年代,在水文绞车、浮标投放器及缆车动力方面采用变频调速控制技术,建设流速仪自动测流缆道,在暴涨暴落河段使用电波流速仪、雷达测速枪,利用计算机软件计算实测流量。进入21世纪,流量测验根据不同河段、不同量级和不同特性洪水,因地制宜选用不同的测验方法和仪器,在水流条件较好的水文测站用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)测流,自动测得断面流量。

2005年,按测验项目统计,4195个流量测验断面中,采用缆道测流方式的占49.6%(其中,自动控制缆道占缆道测流断面的4.4%;机动或电动缆道占缆道测流断面的25.1%,为流方式;手摇缆道占缆道测流断面的12.8%;缆车与吊箱占缆道测流断面的7.3%)。采用测船测流的占11.1%;采用水工建筑物测流的占6.2%;采用ADCP的占0.5%;其它方式的占32.7%。上述断面中有1.2%的断面,在以传统方式测流为主的同时,辅以ADCP对比测流,ADCP的实际覆盖面达到断面的1.7%。

2.3 雨量观测

20世纪60年代以前以人工雨量筒观测为主。70~80年代,为了解掌握降水量的瞬时变化过程,逐步使用日记式虹吸式自记雨量计,但虹吸部分容易发生故障,雨量自记成果需进行改正,使其使用受到一定限制。后采用双翻斗日记式自记雨量计,观测精度比较好。但这两种仪器都需人工从自记纸上摘录并整理,分

析得到降水成果。随着技术的发展,90年代开始使用翻斗式自记+固态存储雨量计,能够进行连续长期观测并可用计算机进行降水资料处理,在全国范围得到广泛应用。

2005年,按测验项目统计,全国17411个雨量站的雨量计中,翻斗式占37%,虹吸式占31%,完全依靠雨量器的占32%。信息记录方式采用自动测报的占14%,固态存储的占23%,普通自记的占31%,人工记录的占32%。现有降水观测站中有信息实时传输要求的为7049个,占总断面数的40.5%,其中采用自动传输方式的仅占37%。

2.4 水文测验技术评价

总体上看,中国水文测报系统的先进程度和自动化程度还处于较低的水平。从水位、雨量信息采集、记录和传输一体化自动测报角度衡量,在2005年调查的需要实时传输信息的3648个水位站和7049个雨量站中,采用自动测报传输方式的比例仅为36.9%~43.6%,遥测程度偏低。而美国的自动测报主要利用卫星遥测方式实现。美国1983年遥测站仅占全部测站的14%,14年后的1997年该比例就达到了64%,凡有实时传输资料需求的测站基本都实现了遥测^[3-4]。与中国相比,最大的不同是,美国的实时流量全部通过水位流量关系推算,其遥测相当于流量、水位的同时遥测,信息综合传递的时效性大大提高。中国目前需实时传输资料的断面约占全部断面的50%,小于美国的64%,且其中只有40%左右实现了遥测。

3 站网密度与布局评价

全国基本水文站网平均密度为3202 km²/站,达到世界气象组织(WMO)标准困难条件下的最稀站网密度^[5],其中东部密度为1163 km²/站,中部密度为1761 km²/站,均高于全国平均密度,西部地区密度大大低于全国平均值,为6117 km²/站。密度在空间分布随东、中、西经济区划呈现明显的由密至稀渐变规律。东、中部水文站平均密度已达到WMO推荐的平原区最稀站网密度标准(1000~2500 km²/站),其中京、津、沪、苏已大大超过最稀密度的上限,显示出站网已跨越初级阶段,进入与经济需求相适应的稳定发展阶段。西部地区由于藏、青、新、内蒙古等站网较稀,仅达到WMO推荐的干旱区站网密度标准(5000~20000 km²/站)。

可以认为,中国基本水文站网与区域经济发展和水利工程建设格局基本保持一致,布局是合理的,但站网密度尤其是西部站网密度需要有较大程度的提高。

从站网密度指标看,东、中部地区水文站网已能控制中等尺度空间水文要素变化规律,其中京、津、沪、苏站网已转向中小尺度空间的控制,西部地区水文站网仍以中大尺度空间控制为主。根据WMO推荐的最稀站网密度标准,山区密度应高于平原地区,但由于中国水文站网总体规模仍然偏小,主要以满足区域经济发展基本需求为主,站网密度呈现平原区高而山区低的现象。随着中国经济向更高层次发展,国家越来越重视以人为本,提出和谐发展的科学发展观,对频繁发生的具有突发性和高死亡率的中小河流暴雨洪水山地灾害,明确提出加强预警预报和防范能力建设的要求。中小河流主要位于山区,因此加强中、西部人口相对密集地区的山区水文站网建设应成为站网布局中重点考虑的对象。

中国泥沙站占流量站比例为33%,达到WMO推荐的最稀站网密度。黄河、太湖流域需要进一步在水文站中增设泥沙观测项目,提高站网密度。目前,黄河流域泥沙站占流量站比例为81%,居辽河流域之后,位于11个流域中的第2位,但是由于流域处于黄土高原的强侵蚀地带,泥沙问题突出,所要求的标准值也相对较高,因此泥沙站仍未达到《水文站网规划技术导则》^[2]标准(以下简称《导则》)的下限。

中国雨量站平均密度为500多 km²/站,其中69%小于300 km²/站,达到《导则》关于面雨量站密度标准,大部分位于东、中部地区。从布局上看,雨量站分布由东至西呈逐步递减态势,大体与中国经济区划、降雨量和气候带分布格局相一致。大多数流域面上雨量站分布较均匀,基本能控制暴雨中心。局部地区、局部水系,还存在站点偏稀情况,尤其高山区的雨量站点密度偏低,难以掌握水量沿高程垂直变化等规律,同时也降低了山地灾害预警预报能力。在黄河上游水力侵蚀较强的地区,雨量站的匮乏,降低了水土流失问题的研究与治理能力。

中国蒸发站平均密度接近5800 km²/站。11个流域中,除黄河流域、黑龙江流域和内陆河湖、藏南滇西河流域单站面积大于对应的WMO和《导则》所要求的标准值外,其它流域均已满足最低标准,其中淮河、太

湖流域、浙闽河流均小于 $2500 \text{ km}^2/\text{站}$, 密度较高。从布局上看, 中国西部地区尤其是干旱地区应进一步加强独立蒸发站的建设, 减小东密西疏的差距, 满足干旱地区水量平衡计算的需要。

关于水质站密度, 《导则》未提出相关指标, WMO 也仅提出水化学站占水文站的比率: 干旱地区占 25%, 湿润地区占 5%, 与今天水质站的含义和功能相差甚远。由于水质污染系人为造成, 污染源的出现和分布带有很大的不确定性, 难以预测。此外, 水质站以断面水样采集点的形式出现, 成本低, 设置简单灵活, 根据需要, 短时间可增加较多站点。因此针对水体污染进行观测的水质站的密度很难提出。WMO 深知这一困难, 在提出上述水化学站网密度标准的同时也指出: 在高度工业化地区, 这些比率可能太低。根据水利部为满足不同水域管理目标提出的水功能区规划, 全国水文站网普查与评价提出水质站网按满足水功能区单位河长(45 km)为基本评价标准。水质站单站控制河长与 45 km 的比值为 1, 视为最稀站网密度比值, 小于 1 表示水质站网相对较密, 大于 1 则站网较稀。据此评价, 全国水质站网密度比值为 1.4, 距最稀站网密度相差 40%。其中淮河、藏南滇西河流、浙闽、海河流域达到最稀密度要求, 长江、内陆河、太湖、珠江距最稀站网密度相差 20%~60%, 黄河流域的密度比率为 2.4, 黑龙江、辽河流域的密度比率为 4。黄河流域水资源匮乏, 水质污染严重, 需要大力加强水质站网建设。

中国地下水井/站平均密度为每 1000 km^2 1.22 眼, 未达到国家标准下限^[6]。空白区占 25.8%, 未达标的占 41.9%, 达到标准中下限的占 22.6%, 达到标准上限和超标准的仅占 9.7%(京津鲁)。布局基本符合平原密山区稀、沿海密内陆稀、超采区密低采区稀的规律, 但空白区过多, 难以完整掌握中国各类地质单元的地下含水层分布状况。在井类构成上, 生产井占绝对多数, 达 81%, 造成井网质量偏低。中国地下水在很多地区超采越来越严重, 目前的井站规模远不能满足需要, 应大力加强专用井建设。

综上所述, 中国各类水文测站的平均密度很低, 在反映水文特征值的站类方面, 大多处于接近或勉强达到容许最稀密度标准的状态, 而水质站和地下水井站还远未达到标准。在地区或流域分布上, 东、中部普遍达到最稀标准下限, 太湖、浙闽、海河等小流域可以达到最稀标准中上限, 甚至超标准。这种空间布局符合中国水资源分布、水利工程建设和社会经济发展格局关系。

参照相关发达国家尤其是美国的站网密度和发展历程, 以中国这样近 20 年 GDP 持续保持高速发展, 而水文站网发展却与其呈现剪刀差态势的并不多见。美国 20 世纪 20~30 年代 GDP 接近和超过 3000 美元时基本水文站就已达 3000 多个(中国目前水平), 到 60 年代已快速发展至 7500 个, 70~80 年代更甚至达到 8000~9000 个, 此后在优化调整中缓慢下降, 从 90 年代后基本稳定在目前的规模, 约 7200 个基本水文站, 密度 $1299 \text{ km}^2/\text{站}$ 。相比而言, 中国水文站网发展与美国相差了近 80 年。中国现状人均 GDP 虽处于 2000~3000 美元阶段, 但人口、经济活动强度都远胜于美国 20 世纪 20~30 年代, 随着可以预见的未来 10~20 年继续持续稳健的发展, 单位国土面积 GDP 必将大幅增加, 从社会可持续发展和风险控制角度看, 必须要求能够提供更加广泛、可靠性和时效性更高的水文资料, 使社会处于一个具备饮水安全、用水安全和有效管理洪旱灾害的和谐环境。而中国现行水文站网在站点的覆盖率和信息采集的时效性方面都远不能满足经济快速发展时期的需求, 只有突破 20 年来的徘徊状态, 以跨越式方式向前迈进, 中国水文才能迎来革命性发展。

4 江河水文控制评价

水文测站设立在河流上, 除了提供本河流测站断面上的水文要素外, 还与其它河流上的水文测站一起, 通过一定的规则与方法, 计算并形成水文要素或特征值的空间分布关系, 用于无资料地区的水文分析计算。水文测站在河流上覆盖的程度越高, 水文特征值在空间的分布状态就被描绘得越准确。江河水文控制评价就是针对测站对河流的覆盖程度进行的评价, 也就是对测站支撑水文特征值空间关系描绘能力的评价。

在全国水文站网普查时, 调查了流域面积在 500 km^2 以上的河流(3742 条)及其水文站网设置的情况, 并以此作为评价对象。

根据河流上设站的类别将河流划分为完全水文空白河流、流量测验空白河流、出流口附近已设水文站河流等。完全水文空白河流是指流域内未设立任何类型的水文观测站, 包括雨量站、水位站、流量站等, 不能掌握

任何水文要素。流量测验空白河流是指流域内未设流量站的河流,既包括完全水文空白河流,也包括无流量测验但设有雨量站或水位站,可以掌握一定的降水或水位要素的河流。出口附近已设水文站河流是指水文(流量)站断面设在河流出口附近,能基本控制河流水资源量(70%~80%以上)的河流,这些河流一般被认为可以基本算清水账。用满足上述条件的河流数量分别占河流总数量的百分比作为评价方法,比值越高越好。

测算结果表明,东中部经济相对发达的流域水文控制情况相对较好,西部的藏南滇西河流、内陆河湖、黑龙江流域较差,长江、黄河流域面积较大,经纬度跨距大,穿越东中西部地区,各项水文控制指标趋于或低于平均。

(1) 完全水文空白河流 3742条500 km²以上流域面积的河流中,完全水文空白河流比例平均为37%,也就是说有超过1/3的500 km²以上的河流完全没有设立任何性质的水文测站(图2)。其中低于全国平均数的有浙闽台(0%)、太湖、海河、淮河、辽河、珠江,空白河流相对较少;长江、黄河基本接近全国平均数;而藏南滇西河流(70.5%)、内陆河湖(70.4%)、黑龙江(51.2%)则高于全国平均数,有大量空白区。

(2) 流量测验空白河流 全国流量测验空白河流比例平均为59.5%,3742条500 km²以上流域面积的河流中,有59.5%的河流没有流量站,不能掌握任何水量信息,这些河流中包括了完全空白河流(图2)。换句话说,到目前为止,仅有40.5%的河流上已经设有流量站,水文控制率是相当低的。在流量空白河流中,除藏南滇西河流(83.7%)和内陆河湖(75.0%)空白比例高于全国平均值外,其它流域均低于全国平均值,最低为太湖,比例为15.8%。

(3) 流量空白水位或雨量非空白河流 全国约有22%的河流属于此类河流,珠江、浙闽、海河、淮河、长江、黄河大部分流域比率超过25%(图2)。雨量站、水位站在条件困难的山区可以起到山洪预警作用。

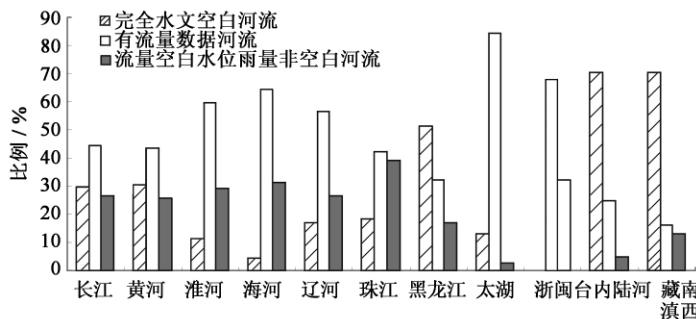


图2 中国主要江河水文控制图

Fig. 2 Control scales of different types gauging station of major rivers in China

(4) 河流出口已设水文站河流 在全国500 km²以上河流中,有40.5%的河流设有水文站(图3),但是如果水文站未设立在河口附近,将不能完整、准确地计算出河流的水量,大多需要采用估算的方式。为此,进一步统计了每条河流的河口流量站。设有河口流量站的河流比例从全国来看是相当低的,仅22.0%。设有河口站河流的比例中,从高到低依次为浙闽河流(42.0%)、海河(36%),辽河(35.8%),黄河(32.0%),其它流域均低于30.0%,最低为藏南滇西河流(5.4%)及内陆河湖(7.3%)。

从全国历年河流水量控制程度图(图4)可见,全国平均控制率总的趋势是稳中有升。1950年前,全国河流控制率相当低,不足3%;1950~1960年,控制率大幅上升,控制率由1950年的不足10%上升至1960年的13.9%;1960~1980年,平均控制率保持小幅增长;1980~1985年有较大增长,跃升至近20%;1985年后基本维持在略高于20%。

上述过程与整个水文站网的发展是十分相似的,从解放(1949年)初期近乎零的基础至20世纪60年代的大跨进,以后基本处于稳中有升但升幅不大的状态,显示出站网在基本框架建设完成后,发展动力有所减退。

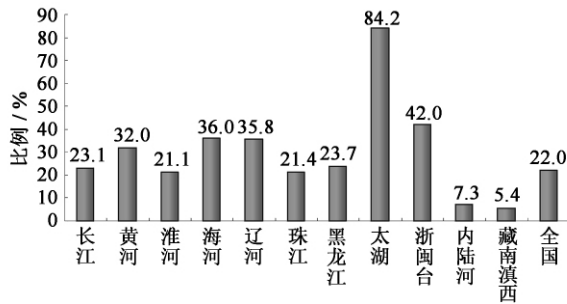


图3 河流出口已设水文站比例

Fig. 3 Control scales of gauging station of major river outfall in China

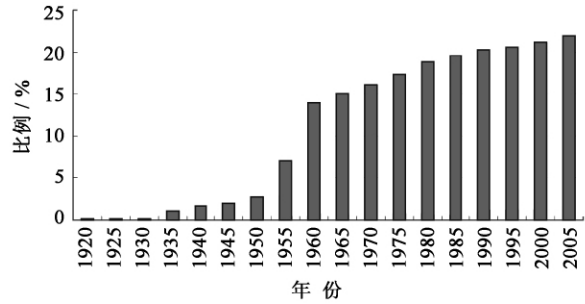


图4 全国历年河流水量控制程度图

Fig. 4 Discharges control scales of gauging station in China

5 结 语

(1) 中国各类水文站网平均密度达到了 WMO 推荐的困难条件下的最稀站网密度或水文站网规划技术导则所要求的最低标准。东部沿海地区站网密度已趋向小尺度空间, 西部地区仍达不到最稀标准, 地区差异较大。总体上看, 中国水文站网仍是一个规模偏小的站网, 需要大力发展建设。

(2) 中国水文测报自动化经过多年建设已有了较大提高。水位与降水监测超过一半实现自动采集和固态存储记录, 由于电子技术的发展和 ADCP 多普勒剖面流速仪的引进, 流量测验自动化程度有一定的提高。水文信息的自动传输系统经过多年建设已初具规模, 但在满足社会需求方面仍有很大差距, 迫切需要加大水文现代化建设力度。

(3) 中国江河的水文控制程度仍然偏低, 西部地区河流存在大量的水文空白区, 有接近 60% 的河流目前还没有流量观测数据, 无法准确测算河流水资源状况。

参考文献:

- [1] 陈志恺. 中国水利百科全书: 水文与水资源分册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 92-95. (CHEN Zhi-kai. Chinese encyclopedia of water resources: Hydrology and water resources [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2004: 92-95. (in Chinese))
- [2] 水利部水文司. SL34—92 水文站网规划技术导则[S]. 1992. (Bureau of hydrology, Ministry of water resources. SL34—92 Technical regulations for hydrologic network design[S]. 1992. (in Chinese))
- [3] Kenneth L. Hydrological monitoring work of United States Geological Survey[R]. Washington DC: USGS, 2006.
- [4] 美国地质调查局. 水文站网的新评价[R]. 王研, 译. 华盛顿: 美国地质调查局, 2008. (USGS. Gauging Station Network as-assessment[R]. Washington DC: United States Geological Survey, 2008. (in Chinese))
- [5] WMO. Guide to hydrological practices Vol 1: Data acquisition and processing[G]. Geneva: WMO, 1987.
- [6] 水利部水文局. SL183—2005 地下水监测规范[S]. 2005. (Bureau of hydrology, Ministry of water resources. SL183—2005 Technical standard for groundwater monitoring [S]. 2005. (in Chinese))

China gauging station network

HE Hui

(Bureau of Hydrology, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: This paper reviews the developmental milestones in China gauging station network. Using data from the 2005 China hydrological survey, the status quo of automation of hydrologic data collection and density of gauging station network is presented. An evaluation of gauging station networks is done for rivers with drainage areas greater than 500 km². The current situation is objectively assessed for the monitoring of hydrological conditions using gauging station networks. The assessment is also done in comparison with situations in other countries, which can guide future improvements on the subject.

Key words: gauging station network; hydrometric technique; China