

青草沙水库围堤龙口截流工程水文监测系统的研制

杜亚南,吴敬文,李 保

(长江水利委员会水文局长江口水文水资源勘测局,上海 200136)

摘要:为确保青草沙水库围堤龙口截流工程的顺利进行,设计并研制了专用于高流速、高落差水域进行水位、流速及流向测量的水文监测系统。系统将GPS移动台置于密封的浮球内,浮球内安置姿态传感器、数字罗经以及数据存储设备,利用GPS实测数据,结合浮球姿态参数、GPS天线在船体坐标系下的坐标、船体坐标系到水面的垂直距离,通过PPK解算、姿态改正等处理,联合确定水面的高程和流速。实际监测结果表明,系统性能稳定,测量结果与实际情况一致,有效地解决了高流速、高落差龙口水域流速、流向和水位难以确定的问题。

关键词:龙口截流工程;水文监测系统;流速;流向;水位;青草沙水库

中图分类号:TV123

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2013)03-0054-05

Development of hydrological monitoring system for closure gap engineering of Qingcaosha Reservoir//DU Yanan, WU Jingwen, LI Bao (*Yangtze River Estuary Survey Bureau of Hydrology and Water Resource, Changjiang Water Resources Commission, Shanghai 200136, China*)

Abstract: To ensure the running smoothly of closure gap engineering of Qingcaosha Reservoir, a hydrological monitoring system was designed for measuring water levels and flow velocity and direction of water surface with high speed and high drop. In this system, a mobile GPS station, attitude sensors, digital compass, and storage devices are all installed in a sealed float. Based on the GPS observed data, attitude parameters of the sealed float, coordinates of GPS antenna in the hull coordinate system, and the vertical distance from the hull coordinate system to water surface, the water surface elevation and velocity were obtained using PPK calculating and correcting methods. The results show that the monitoring data of the system is in good agreement with the actual situation, indicating that the system is reliable, and can solve the problems of measuring water levels and surface velocity of closure gap water area with high speed and high drop.

Key words: closure gap engineering; hydrological monitoring system; flow velocity; flow direction; water level; Qingcaosha Reservoir

长江口青草沙水库原水工程是造福上海市民饮用水安全的民生工程。青草沙水库圈围面积近70 km²,新建围堤长达22 km,工程于2007年12月正式开工,2009年1月新建大堤合龙,2010年12月完工。截流是工程的关键环节,截流顺利与否直接关系到建设的整体进度。因此,在截流期对龙口进行实时水文监测,掌握龙口水文要素的动态变化,可以为施工组织决策提供重要的科学依据。

目前龙口水域的流速、流向测量多采用声学多普勒流速剖面仪(acoustic doppler current profilers, ADCP),但ADCP难以提供水面流速和流向^[1],且载有ADCP的测量船难以在龙口高流速(最大流速达6 m/s^[2])、高落差(最大落差达1.1 m^[2])的水域进行测量。目前国内外还没有能够在高流速、高落差水域进行水位、流速和流向测量的方法和系统,国

内诸多截流工程均因技术原因难以实施水位、流速及流向的测量,因此,必须开展相关技术创新。为此,组织成立了专门的科研队伍和测量小组,研制了专用于高流速、高落差水域进行水位、流速及流向测量的水文监测系统,并通过GPS动态后处理(post processed kinematic, PPK)解算、姿态改正等处理,联合确定水面的高程和流速。

1 水文监测系统的设计

1.1 水文监测系统的组成

截流区龙口水域流速和水位落差均较大,改变了自然河流水位和流速的特性,形成了复杂的局部水文特征,使水力学指标发生变化,带来较显著的泥沙冲刷和明显的河床变迁,并给截流工程带来安全隐患^[3,4]。龙口水域流速和落差大,测量船航行

不安全,难以采用船载 GPS 进行潮位测量^[5-6]以及水面流速、流向测量。为确保项目的顺利实施,设计了专用于该特征水文条件下的浮标测量系统。水文监测系统的组成如下:浮球 3 个(大浮球 2 个,小浮球 1 个),用于承载测量设备和漂流;配重块 5 个(每个大浮球有 2 个配重块,小浮球有 1 个配重块),用于稳定浮球;GPS 双频接收机 2 台,一台在基准站,另一台在流动站,进行 GPS PPK 测量;姿态传感器 TSS 1 套,其功能是检测浮球姿态变化;数字罗经 1 个,用于检测航向;数据采集系统和存储系统 1 套,用于采集和存储浮标内各传感器的测量数据;全站仪及附属设备 1 套,用于测量浮球内各设备在浮球坐标系内的坐标及船体坐标系到水面的垂直距离;吊车 1 辆,用于下放和吊起浮球。

1.2 水文监测系统的设计及安装

水文监测系统如图 1 所示,将一台 GPS 接收机安置在基准站上,将另一台 GPS 接收机天线安置在浮球水面上,主机置于浮球内。在浮球下底面中心位置安装姿态传感器 MRU(motion reference unite),将数字罗经安置在 MRU 上方,然后安置数据存储设备,并将配重块悬浮于水面下。

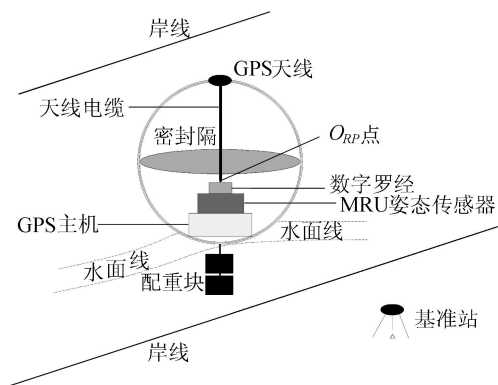


图 1 水文监测系统

水文监测系统安装后,需要做好以下准备工作:
①定义浮球坐标系(buoy frame system, BFS);
②测定浮球顶部 GPS 天线 O_{RP} 点在 BFS 中的相对坐标;
③确定浮球吃水线位置;
④浮球自然悬垂时,测定浮球吃水线相对浮球顶部 GPS 天线相位中心的垂距以及相对 MRU 中心的垂距;
⑤对 MRU 进行初始化,确定 MRU 的安装偏差;
⑥对数字罗经进行初始化,为数字罗经提供真北方位。

2 水文监测系统的工作原理和数据处理

水文监测系统的工作原理是利用 GPS 实测数据,结合浮球姿态参数、GPS 天线在船体坐标系下的坐标、船体坐标系到水面的垂直距离,通过 PPK 解算、姿态改正等处理,联合确定水面的高程和流速。

2.1 PPK 定位

考虑到龙口截流期施工条件复杂,使用 RTK 技术差分数据链容易被遮挡而失锁。PPK 与 RTK 工作模式不同,基准站与流动站只需将 GPS 的原始数据记录下来,无需数据通讯。事后利用国际 GPS 服务组织(IGS)提供的精密星历、原始记录数据和基准站的已知坐标,解算出基准站的相位改正数。由于基准站和流动站间的定位误差具有很好的空间相关性,因此,利用基准站的相位改正数对流动站的相位观测数据进行改正,进而获得流动站的准确三维位置^[3-6]。

2.2 姿态改正

浮标自由漂流时,由于风浪的作用会发生横摇、纵摇等姿态变化。这些变化改变了 GPS 天线在理想船体坐标系 VFS 下的坐标,为了获得准确的瞬时水面高程,必须进行姿态处理。姿态参数利用 MRU 获得,姿态改正点在船体(浮球)坐标系下进行^[7-9]。

若 GPS 接收机天线在浮球坐标系 BFS 下的坐标为 (dX_G, dY_G, dh_G) , 瞬时姿态参数横摇和纵摇分别是 R_p 、 R_r , 则 GPS 天线在 BFS 下的瞬时坐标 $(dX_{G-BFS}, dY_{G-BFS}, dh_{G-BFS})$ 为

$$\begin{bmatrix} dX_{G-BFS} \\ dY_{G-BFS} \\ dh_{G-BFS} \end{bmatrix} = \mathbf{R}_p \mathbf{R}_r \begin{bmatrix} dX_G \\ dY_G \\ dh_G \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{R}_p$ 和 $\mathbf{R}_r$ 分别为由横摇和纵摇构成的旋转矩阵。

理想情况下,若 BFS 原点 O_{RP} 在水面的投影点 p 的坐标为 (dX_p, dY_p, dh_p) , 则 p 在 BFS 下的瞬时坐标 $(dX_{p-BFS}, dY_{p-BFS}, dh_{p-BFS})$ 为

$$\begin{bmatrix} dX_{p-BFS} \\ dY_{p-BFS} \\ dh_{p-BFS} \end{bmatrix} = \mathbf{R}_p \mathbf{R}_r \begin{bmatrix} dX_p \\ dY_p \\ dh_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

上述姿态改正起到了以下 3 方面的作用:①获取瞬时海面高程,用于后续在航水位的提取;②获取 GPS 在水面上的投影,用于后续流速和流向的确定;③消除姿态影响,提高定位精度,用于后续水位、流速、流向的精确确定。

2.3 水面高程、流速、流向的确定

根据姿态改正结果,获得了 GPS 天线相位中心、GPS 天线在浮球吃水面上投影点相对 BFS 的坐标,利用坐标之间的关系,可以得到 GPS 天线在水面投影点的坐标,根据转换和计算,水面投影点 p 在地理坐标系 GFS 中的坐标为

$$\begin{bmatrix} X_{p-GFS} \\ Y_{p-GFS} \\ h_{p-GFS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{RP} \\ Y_{RP} \\ h_{RP} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} dX_{p-GFS} \\ dY_{p-GFS} \\ dh_{p-GFS} \end{bmatrix} \quad (3)$$

t 时刻投影点实际上是水面某质点,该点的运

动特性反映了水面的运动特征,基于此,从该质点运动的时序中提取出不同位置的水位。

a. 水位的确定^[3-9]。水位提取主要利用 p 点的高程序列来实现。理想状态下, p 点的高程序列反映了水面的起伏变化,但由于波浪、浮球自身因为水体的冲击造成的上下起伏变化,该点高程序列并不完全代表水位,需要进行滤波处理,以消除波浪等因素的影响。由于波浪的周期远小于水位的变化周期,因此需要设计一个低通滤波器。采用快速傅里叶变换(FFT)来设计低通滤波器,以实现水位的提取。越接近龙口,水位变化周期越短,落差越大,该特征决定了基于 FFT 低通滤波提取水位不能采用单一截止周期,需根据区段水位变化自适应地给出截止周期,因此对漂流区域的时序数据进行区段划分和频谱分析,并计算相应的截止周期。获得了各个区段的截止周期后可实现水位的提取。确定了水位后,根据式(3)提供的平面坐标,换算到经过姿态改正后的地理坐标系 GRF 下的坐标(X_{p-GRF}, Y_{p-GRF}),便可以得到不同位置处的水位。

b. 流速的确定。利用式(3)获得不同时刻投影点 p 的三维坐标,进一步换算得到经过姿态改正后的 GRF 坐标系下的坐标($X_{p-GRF}, Y_{p-GRF}, h_{p-GRF}$),便可确定该质点在相邻两个时刻的运动速度 v :

$$v = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{dt}$$

(4)

其中

$$\Delta x = X_{p-GRF}^{t+dt} - X_{p-GRF}^t$$

$$\Delta y = Y_{p-GRF}^{t+dt} - Y_{p-GRF}^t$$

由于 GPS 采样更新率为 20 Hz,则得到的 p 点的运动速度更新率也为 20 Hz,这样的更新率完全可以反映水面的瞬时流速和流向。

c. 流向的确定。水流的方向即浮球的航向,可以通过 GPS 来确定,也可以通过数字罗经确定。水流方向 A 为

$$A = A_G Q_{GA} + A_C Q_{CA}$$

(5)

其中

$$A_G = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

式中: A_G 为 GPS 确定的浮标航向, ($^{\circ}$); A_C 为数字罗经确定的航向, ($^{\circ}$); Q_{GA} 和 Q_{CA} 分别为加权融合给出的 GPS 航向和罗经航向的权值。

3 水文监测系统测量步骤及验证

3.1 测量步骤

步骤 1:在测区内岸边已知点上架设基准站,利用 GPS 进行静态数据采集,采样频率设置为 20 Hz。

步骤 2:每次测量前,浮球上 GPS 接收机进行 PPK 测量,采样频率设置为 20 Hz。在将设备置入浮球之前需要进行 GPS 初始化和罗经初始化。

步骤 3:将 GPS 主机、MRU 和数字罗经安放在浮球内,安置时要确保数字罗经的轴向与 MRU 的 X 轴平行;用隔离板隔离,确保其不被水浸入。

步骤 4:利用吊车将浮球吊起,并观测数据,用于 MRU 安置偏差的探测。

步骤 5:在将浮球放入水中之前采集 MRU 姿态数据、罗经数据和 GPS 定位数据。

步骤 6:封闭浮球上口,悬挂配重块,在急流水道始端下放浮球,让其自然漂流。

步骤 7:完成龙口急流水道漂流后,收回浮球,停止数据采集,关闭 GPS、MRU 及数字罗经。

步骤 8:确认数据正确后,提取数据。

步骤 9:处理数据,计算不同时刻和不同位置的流速、流向及水面高程。

步骤 10:提交成果。

3.2 水位比较

为了验证上述理论和方法的正确性,在漂流开始和结束时刻将每期浮球测得水位与库区内、外设立的潮位站水位数据进行比较,见表 1。从统计结

表 1 浮球水位与潮位站水位的比较

日 期	潮汐特征	库外				库内			
		时间	潮位站水位/m	浮球水位/m	差值/m	时间	潮位站水位/m	浮球水位/m	差值/m
2008-12-18	涨潮	14:19	2.82	2.85	0.03	14:28	2.53	2.56	0.03
2008-12-19	落潮	09:10	1.29	1.30	0.01	09:15	1.46	1.50	0.04
2008-12-19	涨潮	14:19	1.96	2.00	0.04	14:28	1.73	1.73	0
2008-12-20	落潮	10:36	1.68	1.66	-0.02	10:28	1.88	1.77	-0.11
2008-12-20	涨潮	15:36	2.45	2.48	0.03	15:45	2.36	2.36	0
2008-12-23	涨潮	08:34	2.65	2.57	-0.08	08:43	2.55	2.48	-0.07
2008-12-23	落潮	12:24	1.91	1.89	-0.02	12:17	2.09	2.02	-0.07
2008-12-23	落潮	14:09	1.28	1.29	0.01	13:59	1.54	1.52	0.02
2008-12-23	落潮	15:33	0.85	0.74	-0.11	15:27	1.01	0.97	-0.04
2008-12-24	涨潮	07:52	2.15	2.06	-0.09	07:57	1.57	1.60	0.03
2008-12-24	涨潮	08:37	2.59	2.55	-0.04	08:39	2.01	2.05	0.04
2008-12-24	落潮	13:08	2.24	2.20	-0.04	13:02	2.24	2.27	0.03
2008-12-24	落潮	14:56	1.57	1.45	-0.12	14:52	1.83	1.70	-0.13
2008-12-24	落潮	16:26	1.06	0.95	-0.11				

果看,除某个别时间因潮位站附近船只活动引起水位异常,并导致较大水位偏差外,其他时刻水位偏差均在 10 cm 以内。

相对潮位站水位,浮球水位最大偏差为 13.0 cm,最小偏差为 0 cm,平均偏差为 3.2 cm,标准偏差为 5.7 cm。这表明系统所采用的技术路线和实施方法是正确的,保持了较高的水位测量精度,可满足实际工程需求。

3.3 流速和流向比较

为了进一步说明该系统确定流速的准确性,将利用本文系统测得的 GPS 流速与高速流速仪测得的流速进行比较。从比较结果来看,基于 GPS 浮球的水文监测系统测得的流速与高速流速仪测得的表层流速保持了很高的一致性,将二者差值进行统计分析,见表 2,可知最小偏差为 0.01 m/s,最大偏差为 0.07 m/s,平均偏差为 0.02 m/s,系统标准偏差为 0.037 m/s。

由此可知,基于 GPS 浮球的水文监测系统测量青草沙水库龙口水域的水位和流速具有很高的精度,系统性能稳定,可以承担龙口高流速、高落差水

文条件下的水面水位、流速和流向的测量。

4 水文监测系统的应用实践

2008 年 12 月 18—24 日在龙口截流期间共进行了 18 次浮球漂流监测,成功计算出结果的测次为 14 次,成功率为 78%,其余几个测次由于仪器的碰撞和施工船只的干扰未能计算出结果。

每次漂流流程如下:在每次测量前安置基准站。漂流前首先对流动站进行初始化,时间为 10 min;将设备置于浮球内,用密封层隔离,并用外盖密封。将密封好的浮球系在船舷边,拖到施放点施放,浮球随水流自然漂流,直至进入缓水区。监测结束后将浮球拖曳到船舷边,停止数据采集,提取测量数据,并进行数据处理。最后统计处理结果。各测次水文监测时间、潮汐特征、水位变化、流速变化以及流向变化如表 3 所示。由表 3 可知,测量结果与实际情况一致,系统性能稳定,数据处理方法正确,有效地解决了高流速、高落差龙口水域流速、流向和水位难以确定的问题。

表 2 GPS 流速与高速流速仪表层流速的比较

时 间	位 置	ADCP 流速/(m·s ⁻¹)	GPS 流速/(m·s ⁻¹)	差值/(m·s ⁻¹)
2008-12-18T14:23:40	31+769 堤轴线外 14 m	2.90	2.97	0.07
2008-12-19T09:13:20	31+778 堤轴线内 15 m	0.95	0.97	0.02
2008-12-19T14:24:00	31+710 堤轴线内 12 m	2.12	2.16	0.04
2008-12-20T15:43:30	31+529 堤轴线外 10 m	1.98	2.02	0.04
2008-12-23T08:39:30	31+650 堤轴线内 8 m	1.37	1.39	0.02
2008-12-23T12:20:50	31+540 堤轴线外 25 m	1.37	1.38	0.01
2008-12-23T14:04:30	31+540 堤轴线外 25 m	1.44	1.47	0.03
2008-12-23T15:30:00	31+540 堤轴线外 25 m	1.48	1.51	0.03
2008-12-24T07:54:40	31+539 堤轴线外 10 m	3.29	3.34	0.05
2008-12-24T08:39:30	31+539 堤轴线外 10 m	2.76	2.83	0.07
2008-12-24T13:03:10	31+500 堤轴线外 100 m	1.66	1.61	-0.05
2008-12-24T14:53:30	31+500 堤轴线外 100 m	2.12	2.10	-0.02
2008-12-24T16:22:50	31+500 堤轴线外 100 m	1.96	1.92	-0.04

表 3 不同测次时间安排及统计参数

测次	时 间	潮汐特征	库外水位/m	库内水位/m	最大水位 落差/m	平均流速/ (m·s ⁻¹)	最大流速/ (m·s ⁻¹)	平均流向/ (°)
1	2008-12-18T14:19—14:28	涨急	2.85	2.53	0.60	1.5	3.3	290
2	2008-12-19T09:10—09:15	落潮	1.30	1.50	0.25	1.0	1.4	105
3	2008-12-19T14:19—14:28	涨急	2.00	1.73	0.41	1.5	2.8	290
4	2008-12-20T10:28—10:36	落急	1.66	1.77	0.13	0.8	1.4	105
5	2008-12-20T15:36—15:45	涨急	2.53	2.36	0.25	1.5	2.3	290
6	2008-12-23T08:34—08:43	涨潮	2.57	2.48	0.17	1.5	1.9	289
7	2008-12-23T12:17—12:24	落潮	1.89	2.02	0.15	1.2	1.7	114
8	2008-12-23T13:59—14:09	落潮	1.29	1.52	0.25	1.2	1.9	115
9	2008-12-23T15:27—15:33	落潮	0.75	0.95	0.25	1.4	2.0	105
10	2008-12-24T07:52—07:57	涨潮	2.05	1.60	0.70	2.0	3.5	290
11	2008-12-24T08:37—08:39	涨潮	2.55	2.05	0.60	2.3	3.6	293
12	2008-12-24T13:02—13:08	落潮	2.20	2.27	0.10	1.3	1.9	113
13	2008-12-24T14:52—14:56	落潮	1.45	1.70	0.28	1.6	2.2	120
14	2008-12-24T16:21—16:26	落潮	0.98	1.20	0.30	1.5	2.2	115

水文监测系统的研制提供了一种水面流速、流向自动获取的方法,有效地解决了高流速、高落差龙口水域流速、流向和水位难以确定的问题。该系统采用集成的数据处理系统,利用 GPS 实测数据,结合浮球姿态参数、GPS 天线在船体坐标系下的坐标、船体坐标系到水面的垂直距离,通过 PPK 解算、姿态改正等处理,联合确定水面的高程和流速。系统采用多源信息融合技术,弥补了单一设备测量的不足,增强了参数计算的可靠性和稳定性,且操作简单、耗费低廉,是一项技术革新。该系统在青草沙水库龙口高流速、高落差水文条件下的水位、流速、流向测量结果表明,系统性能稳定,数据处理方法正确,测量方法可靠,测量成果与实际一致,获取的数据可为龙口截流期的科学施工与数模反演提供原型观测资料,可在其他工程龙口水文监测中推广应用。

参考文献:

[1] 田淳,刘少华. 声学多普勒测流原理及其应用[M]. 郑州:黄河水利出版社,2003:54-55.
[2] 程海云,葛守西. 三峡工程明渠截流龙口水文预报实践[J]. 人民长江, 2000(3):11-18. (CHEN Haiyun, GOU Shouxi. Hydrological forecast and practice of closure of open channel of the Three Gorges[J]. Yangtze River, 2003(3): 11-18. (in Chinese))
[3] 张红梅,顾玉亮,乐勤,等. 基于 PPK 的龙口水位测量及自适应提取方法研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2011,36(1):44-47. (ZHANG Hongmei, GU Yuliang, LE Qin, et al. Study on measurement system and adaptive

extraction of closure-gap water level[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2011,36(1):44-47. (in Chinese))
[4] 于东生. 基于 ADCP 的长江口水沙运动分析及三维水流数学模型[D]. 南京:河海大学,2005.
[5] 赵建虎,王胜平,张红梅,等. 基于 GPS PPK/PPP 的长距离潮位测量[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2008,33(9):910-913. (ZHAO Jianhu, WANG Shengping, ZHANG Hongmei, et al. Long-distance and on-the-fly GPS tidal level measurement based on GPS PPK/PPP [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008,33(9):910-913. (in Chinese))
[6] 阳凡林,赵建虎,张红梅,等. RTK 高程和 Heave 信号的融合及精度分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2007, 32(3):228-255. (YANG Fanlin, ZHAO Jianhu, ZHANG Hongmei, et al. Blend of RTK height signal and heave signal and accuracy analysis[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007,32(3):228-255. (in Chinese))
[7] 张红梅,赵建虎. 精密多波束测量中 GPS 高程误差的综合修正法[J]. 测绘学报,2009, 38(1):22-27. (ZHANG Hongmei, ZHAO Jianhu. Quality control of GPS height in precise MBS measurement[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009,38(1):22-27. (in Chinese))
[8] 周丰年,田淳. 利用 GPS 在无验潮模式下进行江河水下地形测量[J]. 测绘通报,2001(5):28-30. (ZHOU Fengnian, TIAN Chun. Surveying of underwater topography without tidal observation by using GPS [J]. Bulletin of Surveying and Mapping,2001(5):28-30. (in Chinese))
[9] 赵建虎. 多波束深度及图像数据处理方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2002.

(收稿日期:2012-11-29 编辑:骆超)



· 简讯 ·

水文水资源与水利工程科学国家重点实验室接受科技部现场评估

2013 年 3 月,受国家科技部委托,国家自然科学基金委组织专家对水文水资源与水利工程科学国家重点实验室进行现场评估。专家组召开了评估报告会,实验室主任彭世彰教授就 5 年来实验室的研究水平与贡献、队伍建设与人才培养、开放交流与运行管理等作了工作汇报,张建云院士、任立良教授、唐洪武教授、陆永军教高、顾冲时教授分别作代表性成果学术报告。河海大学校长王乘教授、副校长徐卫亚教授、南京水利科学研究院院长张建云院士、副院长李云教高、副院长戴济群教高等依托单位领导出席了现场评估报告会,吴中如院士和团队学术带头人以及研究骨干参加会议。在现场考察中,评估专家组分别考察了实验室公共实验平台、水环境综合治理实验厅和水工新材料试验厅以及铁心桥试验基地等,对实验室的工作状态、研究工作情况、仪器设备运行和共享、人才队伍建设和对外开放、管理工作等进行检查,核实科研成果,抽查实验记录,并进行个别访谈等。

国家重点实验室在本评估期围绕 5 个研究方向开展水科学应用基础研究,突出重大工程关键技术创新。实验室主持了“973”计划项目、国家自然科学基金重大项目等一批具有重大影响的国家级科研项目,在水资源演变及其对气候变化的响应评估、不同陆面特征的水文过程机理及模拟、平原河流水动力过程及防洪安全调控、河口海岸滩涂高强度开发与治理关键技术、重大水工程服役风险分析与调控理论和方法等方面取得了突出研究成果,尤其在气候变化和人类活动对流域水文过程的影响规律的探索、产汇流理论与水文模型的发展方面,为水文学领域的研究作出了重要贡献,在本学科领域具有突出的学术地位。

(本刊编辑部供稿)