

RTD实时动态 GPS 测量系统在三峡工程中的应用

邱章云

(葛洲坝集团测绘总队,湖北 葛洲坝 443002)

[摘要] 介绍了 RTD 实时动态 GPS 测量系统在三峡导流明渠截流及三期土石围堰工程中的应用情况。主要用于水下地形测绘和明渠下游合金网石兜抛投的动态导航定位。将 GPS 技术应用于大型施工项目,能极大提高生产效率,创造出更好的经济效益和社会效益。GPS 定位技术总的趋势是向高精度、实时性、自动化、和可靠性方向发展,随着它的广泛应用,测绘技术也将会发生深远的变革。

[关键词] 导流明渠截流;三期土石围堰工程;DGPS 导航定位;水下地形图测绘;水下边坡检测验收

[中图分类号] P228.4

[文献标识码] B

[文章编号] 1007-3000(2004)01-05

三峡工程导流明渠截流是二、三期工程衔接的关键性控制工程。截流总体难度在世界截流史上十分罕见,具有截流流量大、截流落差大、龙口流速大、抛投强度大以及施工时间紧、后续工程多等特点。截流当天长江水通过三峡坝址流量每秒 8600 立方米,由导流底孔分流比达 98.2%,通过龙口流量每秒达 120 米,截流总落差 2.17 米,上游龙口流速每秒 3.1 米,截流水力学指标高于 1997 年的三峡工程大江截流。截流采用双戗立堵截流方案,上游双向进占,下游单向从右端进占。按上游戗堤承担三分之二落差、下游戗堤承担三分之一落差控制上、下游进占宽度,上下戗堤协调配合。截流准备工作受通航条件制约,导流明渠截流需在进占前进行水下垫底加糙拦石坎施工,上游抛投钢架石笼,下游抛投合金网石兜。施工须确保明渠通航,因此增大了加糙拦石坎水上作业的难度。截流与三期土石围堰填筑工程量设计为 310.48 万立方米,其中水下抛填占填筑总量的 85%。

所有这些都对测绘配合工作提出更高要求,而测绘工作的难点在于水上作业。葛洲坝集团测绘总队早在 1997 年大江截流时从南方测绘仪器公司引进了 NGD-60 动态实时差分 GPS 测量系统,后根据需要在三期工程初期又引进了“9700

海王星”RTD 动态测量系统(DGPS)。该系统主要用来实施水下地形测量及动态精确定位。现就其在导流明渠截流及三期土石围堰填筑工程中的应用逐一叙述。

1 DGPS 系统工作原理、系统组成及实施水下地形测量的一般过程

1.1 系统工作原理

全球定位系统(GPS)是一种采用距离交会法的卫星导航定位系统,与传统的距离交会法不同之处在于 GPS 定位中已知点是高速运动的卫星(其位置由地面控制系统以导航电文的形式通过卫星播发),此外,测距的方法与传统测距方法也有很大不同,一般采用测距码(分粗码/捕获码(C/A 码)和精码(P 码或 Y 码))及载波相位来测距。具体工作时在一个精确已知位置设基准站,基准站对在视场的 GPS 卫星(一般需要 4 颗以上)进行连续跟踪测量,以监测 GPS 的系统误差,并按规定的的时间间隔,定时地把误差校正量等数据通过无线数据链播发出去,移动台利用收到的信息,对 GPS 观测值进行校正,以达到消除星历误差,星钟误差,大气层延迟误差等公共误差,从而获得高精度的位置。移动台的计算机用于采集 GPS 的位置数据(测点平面数据)和

*[收稿日期] 2003-09-10

[作者简介] 邱章云(1974-),男,工程师,研究方向:水电工程测量。

表 1 三峡三期工程一阶段施工测量工作表

项目	时间(2002年)	测绘内容	测量方法或手段
1	9月初	加密控制测量	三维测边网, WILD T2 经纬仪+WILD DI2002 测距仪
2	9月上旬	截流基地及各料场实测 1:500 收方地形图	全站仪内存记录, 数字化制图
3	9月13日~9月14日	截流施工前导流明渠水下原始地形图测绘	RTD 动态测量系统 (DGPS), 数字化制图
4	9月14日	导流明渠下游垫底加糙拦石坎抛投试验 (合金网兜)	DGPS 导航定位 + 水下地形图测绘
5	9月20日~10月14日	导流明渠下游合金网兜抛投定位	DGPS 导航定位 + 水下地形图测绘
6	10月6日~10月16日	上游垫底加糙拦石坎吊抛定位 (钢筋石笼)	Trimble 5602 型全站仪 (免合作目标) 相对静态定位测量
7	10月15日~11月13日	导流明渠截流及三期土石围堰填筑工程施工测量	DGPS 水下地形图测绘 + 全站仪测量放样
8	11月14日~11月15日	三期土石围堰填筑工程阶段性竣工测量	DGPS 水下地形图测绘 + 全站仪岸上地形图测绘

测深仪的水深数据, 起到导航和记录数据的作用, 计算机记录的数据经过后处理, 用于数字化编绘成图。

1.2 系统组成

基准站: GPS 主机, 电源, GPS 天线, 电台天线。

移动台: GPS 主机, 电源, GPS 天线, 电台天线, 笔记本电脑, 数字化测深仪, 对中杆及支架, 各连接电缆及其它配件。

软件配置: NGD-60 海洋测量软件 3.0、海洋导航测量软件 5.0、S-CASS 海洋成图软件 3.0、地形地籍成图软件 CASS5.0

“9700 海王星” 是实时定位精度亚米级的 GPS 接收机, 其接收机指标:

- 12 通道, L1、C/A 码, 载波相位接收机;
- 水平精度: 0.75(2DRMS);
- 静态精度: $5\text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$;
- 作用距离: 实时 DGPS 作用距离 30 KM (与环境有关)

DGPS 测量系统作业方式示意图

1.3 DGPS 实施水下地形测量的一般过程

明确测图区域及测图比例, 将测图范围输入笔记本电脑, 选择合适图幅, 建立导航图。

设置基准站, 输入基准站参数, 在更换基准站位置时需要进行参数的重新设置。

将移动台设置在测船上, GPS 天线与数字化测深仪的换能器应处于同一平面位置, 连接好各

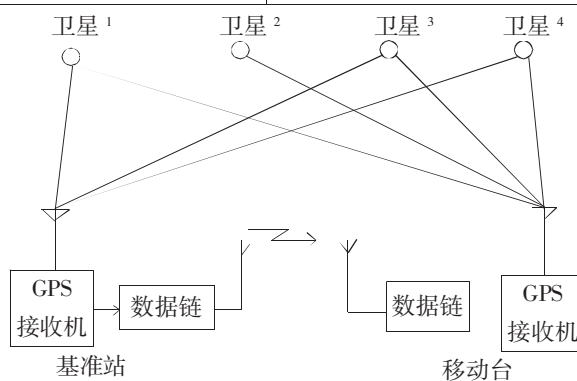


图 1 DGPS 测量系统作业方式示意图

电缆, 开机进入测图方式, 根据计算机屏幕上显示的导航图自动采集水深数据和定位数据。测完后退出关机, 实测当时水面高程(水位)。

内业成图, 应用专业软件数字化成图。

2 导流明渠截流前水下原始地形图的测绘

根据施工要求, 需对导流明渠截流前水下地形图进行测绘。具体作业时以三峡坝区控制点“测绘楼”作为基准站, 在“基准站设置”窗口中设置:

- 选择图幅 (输入施工测量系坐标与北京-54 坐标系的转换参数)
- 查看 GPS 通道跟踪窗口实时显示的各通道卫星跟踪情况, 须有三颗以上卫星被采用、PDOP 值 < 5.0
- 输入基准站坐标 (可直接输入施工测量系坐标或大地坐标)

发射时间一般为 2 秒。

移动台的操作较为简单;运行软件自动进入测量方式,确定各项设置:如记录设置、串口设置、测深仪设置等,屏幕上显示“有效位置”和“收到差分”及有瞬时水深值,可开始记录。中途可停止记录、换线。数字化测深仪测前需要进行对比试验检校。

内业成图时,利用 S-CASS 海洋成图软件对野外采集的数据进行后处理后,将所有数据(包括岸上观测数据)转换为地形地籍成图软件 CASS5.0 所能识别的格式,在 AutoCAD2000 平台下数字化成图,经检查处理后即可提交成果。下表为一般作业流程图。

表 2 水下地形内业处理一般作业流程图

编号	操 作	操作文件	运行的程序
1	运行 S-CASS 海洋成图软件建立图幅参数表	CLCS.DAT	图幅表
2	进入后处理、选择图幅		后处理
3	建立测深改正和动态吃水改正	*.CXY *.SPD	后处理
4	输入水位数据	*.CXX	后处理
5	建立验潮站要素(单站改正可不处理)		后处理
6	编排水位改正方案(单站改正可不处理)		后处理
7	采集水深取样(每个 SS 文件都要处理)	*.HTT	后处理
8	批量水位改正	*.HTT	后处理
9	检查改正记录文件,有错回到 8	*.LOG	后处理
10	进入绘图、选择图幅		绘图
11	录入水深	*.HTT	绘图
12	多余水深删除		绘图
13	存储图文件	*.GRP	绘图
14	进入地形地籍成图软件 CASS5.0		绘图
15	将图文件 *.GRP 转化为 *.dat	*.dat	绘图
16	将水下测点文件 *.dat 和岸上测点文件合并展点	*.dat	绘图
17	建立 DTM,绘制等深线,编辑、修饰、分幅	*.dwg	绘图
18	存储图文件	*.dwg	绘图
19	绘图机设置		绘图
20	出图	*.dwg	绘图

此次导流明渠截流前水下地形图测图面积约 0.74K m²,外业测量一天半,内业数据处理及绘图一天,提供 50 cm×50 cm 标准图幅数字化地形图 18 张(1:500)。较之以往常规的前方交会方法,精度和效率都有极大提高。

3 导流明渠下游截流前水下垫底加糙拦石坎定位测量(抛投合金钢网石兜)

为降低截流难度、减少戽堤进占时截流材料的流失,截流进占前需完成垫底加糙拦石坎施工。上游拦石坎由 318 个长、宽、高均为 2.5 m 的钢架石笼组成,拦石坎沿戽堤轴线长 132.5 m,坎高 2.5 m。由于下游围堰的水下拦石坎在三期工程完工后需要全部拆除,为便于水下拆除,下游戽堤的水下拦石坎是用 1 000 多个单重 5~10 吨的柔性合金网石兜垒成的。拦石坎长 90 m、坎宽 15 m、高 3 m。

此次导流明渠截流下游垫底加糙抛投是在 11 400 m³/s 的流量下进行,为确保明渠通航,水上作业由航运部门限制时间和航行路线。施工中采用一底部可以开启,承载量为 500 m³ 的驳船和一动力拖轮(指挥船)编队,将装有石料的合金钢网兜抛投于下游截流龙口部位,每次抛投一个条带 1.5 m(约三层 8+7+6=21 个合金钢网兜,用钢丝绳串在一起),在抛投过程中,采用 RTD 实时动态测量系统进行动态导航定位以保证抛投精度。

正式作业前进行了抛投试验:即记录合金网石兜条带入水瞬间的坐标,抛投试验结束后实测该区域的水下地形图,确定合金网石兜实地位置以计算在特定水文条件下合金网石兜在下沉过程中的漂距,综合各种情况取此次合金钢网石兜抛投的漂距为 3 m。

具体作业时,先计算设计抛投坐标(考虑漂距

影响),进入软件作图工作方式,利用设计坐标作测量点、计划线(导航线)。整个导航图显示在微机屏幕上,实时坐标、航向航速、定位精度等信息都一目了然,便于指挥施工作业。当指挥船沿导航线航行至设计抛投点附近时,施工人员指挥驳船开驳抛投,记录入水前瞬间坐标,并与设计值比较。抛投的精度与船队航向、速度调整及指挥开驳时

机有关,整体统计上下游偏差平均在2 m以内,左右岸偏差平均在1.5 m以内。整个拦石坎区域抛投完毕后测量该水域的水下地形图,检测抛投效果。对照抛投前后实测水下地形图及《垫底加糙施工技术措施》的相关规定,要求在高度未达到设计要求的区段进行再次补抛。直到拦石坎达到设计高程,其后实测拦石坎验收水下地形图。

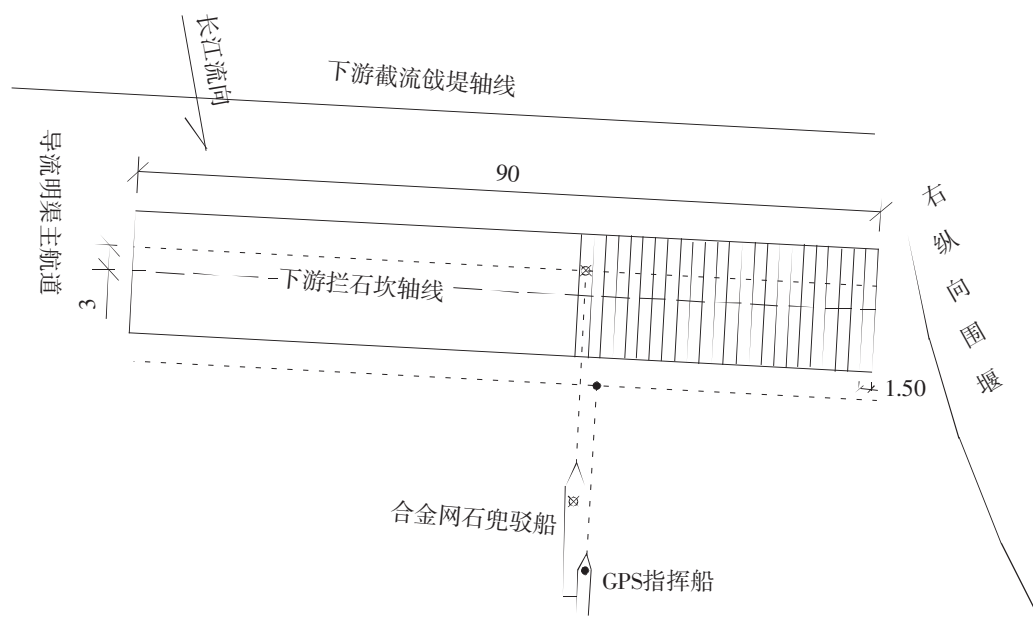


图2 导流明渠下游拦石坎合金网石兜抛投示意图

4 DGPS 在导流明渠截流及三期土石围堰填筑工程施工测量的应用

三期土石围堰为IV级临时建筑物,由上、下游土石围堰构成。其中,下游围堰轴线呈折线布置,上游围堰轴线呈直线布置。下游围堰位于三峡大坝坝轴线下游890至595 m,围堰轴线全长415 m,左接右岸混凝土纵向围堰,右接导流明渠右边坡,围堰顶高程为81.5 m,顶宽为15 m。上游围堰位于三峡大坝坝轴线上游340 m至270 m,围堰轴线全长约427 m,左接右岸混凝土纵向围堰,右接导流明渠右边坡。 $\nabla 72.0$ m以下边坡为:迎水侧1:1.5,背水侧1:1.3。土石围堰主要由风化砂、反滤料、石渣、石渣混合物和块石填筑而成。

围堰正式填筑进占时,施工测量的重点是每隔一定时间段实测施工进度情况:桩号、进尺、填筑方量、边坡检测等内容。水下测量的工作中心转移到围堰堤头水下地形测绘和各种填筑料边坡断面的验收。每次测量内外业只需要2小时左右,可24小时跟踪检测,满足了施工指挥和业主对堤头进占水下地形变化的知情要求。

可根据实测地形图在微机上自动剖绘断面,或在野外做计划线(断面线)直接实测断面数据,与设计断面进行比较判断水下边坡是否满足下一步施工要求。根据实测堤头进占水下地形的变化和堤头进尺的情况掌握施工动态;依据实测地形图绘制堤头沿轴线方向和垂直轴线方向的断面图,综合堤头进尺情况和断面变化情况分析堤头在不同抛填强度下的变化规律,用以指导施工;并对堤头进占时发生的坍塌情况提供快速准确的数据,用以提前预警。为有关研究、决策部门提供第一手的测绘资料,用来进行正确评估或决策。为截流工程的胜利完成提供了优质高效的测绘保障。

5 三期基坑及三期土石围堰阶段性竣工验收水下地形图的测绘

三期基坑开始抽水前,须进行阶段性验收($\nabla 72.0$ m以下)。本单位用一天时间完成三期上游土石围堰迎水面边坡、背水面边坡、三期下游土石围堰迎水面边坡及三期基坑水下地形图的外业数据采集工作。与岸上竣工地形合并处理后共提供1:500(50 cm \times 50 cm)标准图幅数字化地

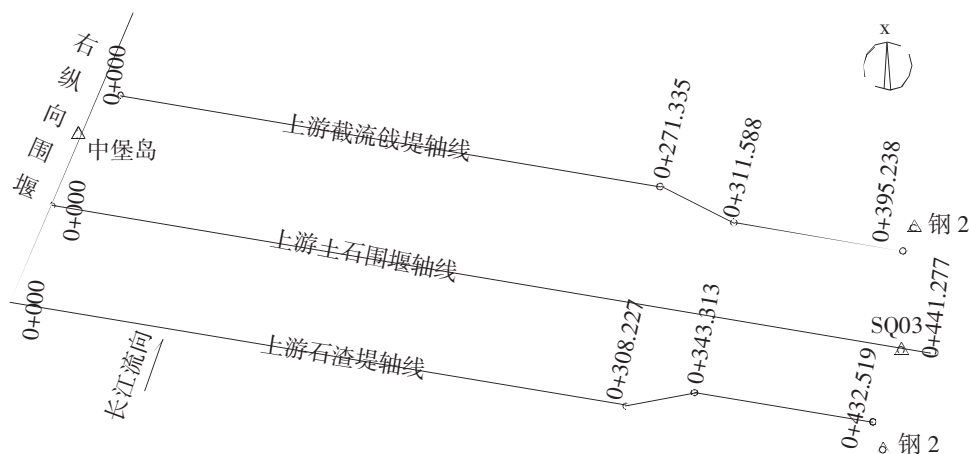


图3 三期上游土石围堰结构线及控制点略图

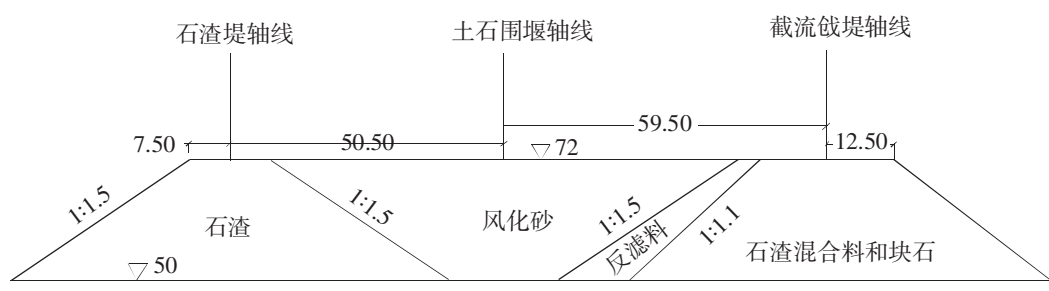


图4 三期上游土石围堰低渠段典型断面图

形图 16 张。

此次阶段性竣工验收测量主要目的是工程量核算。即通过截流前导流明渠原始地形与竣工地形比较、对所有备料场进行收方地形测绘,以核定三期土石围堰填筑工程的备料利用率、实际竣工工程量、各种土石料在水下的流失量等。为相关部门提供详实准确的测绘数据,为今后类似工程的备料、施工组织设计提供参考。

6 结束语

采用 RTD 动态 GPS 测量系统实施水下地形测量及动态导航定位,精度和效率都较以前有很大提高。与传统交会手段比较,具有较明显的特点,总结如下:

- 具有实时导航功能,避免出现重测或漏测现象。
- 具有较高的精度,能满足大比例尺水下测图的精度要求,而且可全天候测量,突破空间、通视、气候的限制,满足了现代化施工对测绘要求。

c.野外采集数据操作简单,室内成图方便,数字化制图效率高。

需要注意的三个问题:

- 数据链采用直达波,很难穿越高山高建筑物的阻挡,基准站应选择地势开阔的地方,100 米内无强电磁波辐射源,10 度仰角以上无大片障碍物,差分信息保证畅通。
- 施测水下地形时卫星跟踪情况个别时段不好,PDOP 值太大时应停止测量,以免测量精度不够。

c.数字化测深仪的状态直接影响高程测量的精度。而截流及土石围堰填筑期间水流情况复杂,需要及时准确调校好测深仪的测量状态。

总体而言,随着 RTD 技术的日趋完善和广泛应用,DGPS 在测量领域将具有更广阔的应有前景。同时随着测绘新技术的不断发展,应用高科技测绘手段实时监测大型复杂工程的施工,对保证工程质量、进度和效益将发挥越来越大的作用。