

文章编号:1001-4810(2001)04-0301-04

位于岩溶区的某县城防洪工程 GPS 控制测量^①

邱 斌,贺跃光

(中南大学测绘与国土信息工程系,长沙 410083)

摘 要:针对岩溶地区的地形地质条件,结合防洪工程的实际需要,采用 GPS 定位技术建立工程控制网,该网体现了 GPS 测量的高效率、高精度及低成本等特点,为工程的总体布局及骨干工程的贯通提供了可靠的控制。

关键词:防洪工程;岩溶区;GPS;控制测量

中图分类号:P21

文献标识码:A

我国碳酸盐岩区分布面积积极广,达 340 万 km^2 ,其中裸露型岩溶区达 125 万 km^2 ,覆盖型和埋藏型岩溶达 215 万 km^2 ,主要集中在广西、贵州、湖南、湖北、四川、重庆、广东、江西、云南、辽宁、河北、安徽、山东、山西等省区。岩溶区的防洪与治水一直是困扰区域经济发展的关键因素之一。由于岩溶区独特的水文、地质条件,小流域、小沟谷丛生,地形崎岖、洞穴遍布,这又给水利工程的整体布局与控制带来了巨大困难。设计与施工中,常规的控制测量方法不仅工程大,费用可观,而且往往由于某些地形、地貌障碍而难于实现。而应用 GPS(Global Positioning System)控制测量来解决这一类问题则是那样的轻而易举。作者应邀对某县城防洪工程的主明渠、泄水隧洞沿线施工、设计进行 GPS 控制测量,并在此基础上进行了两条隧洞开挖口的 1:500 地形图测绘。

1 某县城防洪工程概况

某县城地处重庆东南,位于渝、黔、湘、鄂四省市结合部位,属酉水与乌江两大水系的分水岭地块。酉阳河为盲谷,北起黑水乡大垭口,流经县城,南止大余坑进入伏流区,河道全长 14.3km。近年来,随县城建设规模的日益扩大,酉阳河行洪断面不断缩小,下游岩溶消水系统逐年淤积,防洪形势十分严峻。

该县城防洪标准仅为 2 年一遇,建国以来发生较大洪水灾害共 22 次,其中 1999 年 6 月发生的洪水造成县城除 100m 长的街道未进水外,其余城区全部淹水,直接经济损失达 4 亿元左右。因此,修建县城防洪工程,提高城区防洪标准十分迫切。

酉阳河明流区,按《四川省中小流域暴雨洪水计算》推荐公式与综合单位线法计算,20 年一遇的设计洪水流量为 $350\text{m}^3/\text{s}$,洪水洪峰流量为 $450\text{m}^3/\text{s}$;而酉阳河泉孔伏流区,采用水力学计算,最大出流流量为 $100\text{m}^3/\text{s}$,通过调洪演算方法计算,泉孔消流能力只有 $108\sim 132\text{m}^3/\text{s}$ 。因此,解决县城防洪问题的关键是提高河道本身行洪能力,另找排除多余洪水的出路。经排杨楠河、排铜鼓河、排龙潭河三方案的技术经济比较,确定采取排杨楠河的方案。

防洪方案的主要工程有:(1)扩宽、筑堤、深挖泉孔至消 7 洞河段,长 9.55km;(2)新修大余坑至洞底排洪渠河段,长 3.26km;(3)新开洞底至清泥坨隧洞,长 2km,采用圆拱直墙断面,尺寸为 $9.0\text{m}\times 9.2\text{m}$;(4)清泥坨、陈家坨和大坑间新开明渠;(5)新开鬼坑—杨楠河大坨坝隧洞,长 5.7km,圆拱直墙断面,尺寸为 $8.5\text{m}\times 9.0\text{m}$,出口处设消力池。

GPS 控制测量的目的在于对整个防洪工程布局与两条大型过水隧洞贯通提供可靠控制。

^① 作者简介:邱斌(1968—),男,湖南省衡阳县人,中南大学测绘与国土信息工程研究所,讲师、在读博士,现主要从事测量数据处理及全球定位系统方面研究与教学工作。
收稿日期:2001-05-14

2 GPS 控制测量

2.1 测区地形地貌特征

工程区分布有中上寒武统、奥陶系各统以及志留系下统和第四系等地层,其中碳酸盐岩类地层分布十分广泛,区内河谷形态多为嶂谷,谷底宽 300~500m,河道呈蛇曲状。沿河两侧有Ⅰ级阶地,阶面高程 660m 左右;Ⅱ级阶地仅部分残留,阶面高程 668m 左右,河谷岩溶十分发育,有悬挂式溶洞 21 个,谷底消水洞 10 多个,落水洞(漏斗)20 多处,泉水 8 股,溶沟、溶槽重叠,溶蚀洼地与地下伏流互相呼应,漏斗、落水洞、溶洞、干谷、半干谷随处可见。

从大区域看,测区位于大娄山脉与武陵山脉间,属中低山区,处于沅水和乌江两大水系的分水岭地块。东为沅水支流酉水的二级支流龙潭河,西为乌江二级支流铜鼓河,两河相距 25km。主分水岭在二庚湾、大垭口、双坨、脑壳顶、分向坡、石垭子、李家湾、香炉岩一线。沿线峰顶标高 1100~1650m。酉阳河在两河之间,靠近分水岭西侧,属乌江水系,源头大溪标高 1175m,出口在乌江三级支流杨楠河桥子洞(标高 440m)。明流段处于标高 630~670m 山间盆地。铜鼓河、酉阳河、龙潭河总体上自北向南平行展布。

从区内看,地块属台原式地貌,西北高、东南低,顶部有两条垄脊状次级分水岭:铜鼓河与干溪沟、小坝河分水岭;酉阳河流域与干溪沟分水岭。二者均呈 NNE 向延伸,两侧山坡为 10°~30°,呈 4 级夷平面:一级 1500~1600m,二级 1100~1200m,三级 800~900m,四级 600~650m。

在这样地形地貌复杂的地区建立控制网,应用传

统的三角测量、边角测量或导线测量手段主要存在两个问题:一是由于通视困难,选点时必需寻找位置高的地点甚至要建立较高的觇标,致使工期延长、费用提高;二是工程性质决定了控制网的布设形式一定是狭长延伸形,从而减弱了控制网的图形强度,致使点位精度很难提高。而应用 GPS 技术建立控制网无需控制点之间通视,不需要建造觇标,定位精度高,且定位精度不受构成网本身的几何条件的制约,可以根据需要以不同的边长来布网,并以相同的精度将网点一次扩展到所需要的密度。相对于传统的控制网,GPS 控制网还有观测时间短、操作简便、全天候作业等特点。因此,该县城防洪工程平面控制测量选用 GPS 网布设。

2.2 起算数据及坐标系统

县城附近尚存国家三等三角控制点两个,属 1954 年北京坐标系,其投影带为东经 108°的 3°带。高程系统采用 1956 年黄海高程系。

该防洪工程位于北纬 28°46′,东经 108°47′,离 3°带(第 36 带)的中央子午线较近,测区范围内的最大投影变形为 1/15000,已能满足 1:500 地形图测绘及防洪工程施工放样的要求,故新建的 GPS 网仍采用 3°带,投影带的中央子午线经度为 108°00′,其参考椭球同于 1954 年北京坐标系($a=6378245\text{m}$, $\alpha=1/298.3$),同时,考虑到明渠及隧洞的平均设计高程为 600m,因此投影高程面亦选择 600m 高程面,以满足设计、施工的要求。

2.3 网形设计

根据该防洪工程的特点,拟将所设 GPS 控制测量网在工程沿线布成导线形状。在团山堡、冉家天二个国家三等三角控制点下布设如图 1 所示的 10 个点构成的 GPS 控制网,平均边长 2km。

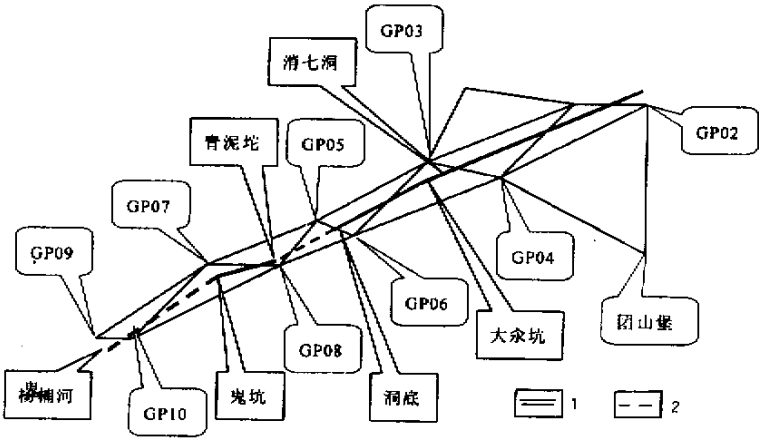


图 1 防洪工程 GPS 控制网示意图

Fig.1 The sketch map of the GPS control network of the flood control works

万方数据 1. 河渠; 2. 隧洞

点位的选择除遵照 1992 年国家测绘局颁发的《全球定位系统(GPS)测量规范》外,还应满足工程的实际需要,即:

(1)两条大型过水隧洞是该防洪工程的关键,其进出口处应各布设一对通视点,以保证其贯通的需要,如图中 GP05、GP06 位于洞底至清泥坨隧洞进水口附近,GP07、GP08 控制了洞底至清泥坨隧洞的出口及鬼坑—杨楠河大坨坝隧洞的进口处,同时又满足连接两隧洞所开挖的明渠施工的需要,GP09、GP10 控制了鬼坑—杨楠河大坨坝隧洞的出口;

(2)GPS 测量虽不要求点与点之间通视,但为了满足工程施工对一级导线加密要求,每隔 4~5km 应布设一对通视点;

(3)为确保点位稳定,埋设的 GPS 控制点应避开地下岩溶空洞区;同时为便于防洪工程建设与点位的长期使用,宜采用普通标石,其埋设深度为 0.8m 左右。

为了确保 GPS 观测效果的可靠性,有效地发现观测成果中的粗差,必须使 GPS 网中的独立边构成恰当的几何图形。这种几何图形,可以由数条 GPS 独立边构成的非同步多边形(或称为非同步闭合环)。当 GPS 网中有若干个起算点时,也可以是由两个起算点之间的数条 GPS 独立边构成的附和路线。GPS 网的网形设计,是以满足所布设的 GPS 网的精度要求以及工程施工要求,而设计由独立 GPS 边构成的多边形网(或称为环形网)。

2.4 数据采集

在进行 GPS 外业观测之前,编制了 GPS 卫星可见性预报图表及观测调度计划,从而为 GPS 作业观测工作顺利完成及达到预定观测精度提供了保障。

观测时,采用 3 台 TRIMBLE 4000SE 单频 GPS 接收机同步采集数据,同时查看测站信息,包括所跟踪的卫星个数及编号、信噪比、高度角、方位角、实时定位结果等,并进行记录。安置天线时,天线的定向标志大致指北,用小钢尺量取天线斜高,测前测后各量一次,两次较差小于 3mm 时,取其平均值作为天线高,在数据处理时程序将所量取的斜高自动改正为垂直高度。

为保证 GPS 测量的可靠性与精度,采用边连接方式及载波相位静态相对定位模式进行作业。正确确定载波相位测量中的整周未知数是获得高精度定位结果的必要条件。通过长期的 GPS 测量实践,每测段观测时间长度取 45~90min,可以有效地固定整周未知数,具体时间视距离长短及测站周围障碍等情况而定。

2.5 数据处理及结果分析

数据处理使用原武汉测绘科技大学 GPS 数据处

理软件 LIP3.3 进行,整个处理过程分为基线处理和控制网平差两部分。

2.5.1 基线质量

全网共测 10 个同步环共 30 条基线,计算结果统计为:每条基线双差固定解的单位权中误差(RMS)均小于 0.008m,模糊度检验倍率(Ratio)均大于 5;同步环闭合差均小于 4mm,相对闭合差全部小于 1.0×10^{-6} ,表明本网基线质量优良,完全满足 GPS 测量规范中 D、E 级网的要求;全网形成的所有异步环相对闭合差最大为 6.7×10^{-6} ,最小为 0.4×10^{-6} ,均小于相应限差,基线观测结果可靠。

2.5.2 平差结果分析

平差过程中,把经处理的独立基线向量作为观测值,根据各基线向量的方差—协方差阵定权,然后进行平差计算。

在三维无约束平差剔除可能存在的粗差基线后,以两个国家三等平面控制点(团山堡、冉家天)作为约束条件,进行二维约束平差,并得到最终平差结果。

(1)平面点位精度

全网最弱点为 GP09 点,其点位中误差为 $\pm 0.83\text{cm}$ 。网中各点平均点位中误差为 $\pm 0.61\text{cm}$ 。二维平差点位精度如表 1。

表 1 平面点位精度和误差椭圆元素
Tab.1 The precision of point positions in a plane and the elements of error ellipse

点号	点位中误差 (mm)	误差椭圆长 半轴(mm)	误差椭圆短 半轴(mm)	误差椭圆长 轴方向($^{\circ}$ ' ")
GP01	4.6	4.4	1.4	37 19 44
GP02	4.5	4.3	1.4	37 36 54
GP03	4.6	4.4	1.2	46 19 46
GP04	4.7	4.5	1.5	31 43 31
GP05	5.9	5.1	2.9	31 23 14
GP06	6.5	5.8	3.0	30 54 04
GP07	6.5	5.7	3.1	29 42 53
GP08	7.6	6.6	3.7	17 02 05
GP09	8.3	7.4	3.7	15 52 54
GP10	8.2	7.3	3.6	14 22 34

(2)方向精度要素

方位角中误差最大值为 $\pm 1.00''$,最小值为 $\pm 0.03''$,平均 $\pm 0.25''$,满足相应四等控制网精度对方向精度的要求。对所布设的 GPS 控制网所有方向的精度统计结果如表 2。

表 2 方向精度统计结果

Tab. 2 The statistics of direction precision

误差区间(s)	方向数	百分率(%)
0.0~0.5	23	76.7
0.5~1.0	7	23.3

(3)距离精度

距离中误差最大值为±0.36cm,最小值为±0.01cm。最弱边相对中误差为1/450000,边长平均相对中误差为1/750000,远远优于《工程测量规范》四等控制网对最弱边相对精度1/40000的标准。实际距离相对精度统计结果如表3。

表 3 距离精度统计

Tab. 3 The statistics of distance relative precision

相对精度区间(1×10^{-6})	边数	百分率(%)
0.0~1.0	3	10.0
1.0~2.0	25	83.3
2.0~3.0	2	6.7

3 结 语

(1)某县城区防洪工程位于岩溶发育区,沿线地形地貌极为复杂,工程实践表明,采用GPS测量技

术建立控制网,具有高效率、高精度、费用省、收效快的特点。

(2)该防洪工程包含两个大型过水隧洞,其中鬼坑—杨楠河大坨坝隧洞长达5.7km,为了保证隧洞的贯通,因此GPS控制测量精度是关键。而GPS网的质量在于基线观测质量,一般20km以下的基线以固定双差解最好。实践表明,欲达到此效果,对不同长度的基线应采取不同的观测时段长度。作者认为基线在6km以下取30~45min,6~15km取60min,15~20km取90min的时段长度比较适宜。如果时段中接收的卫星数较少,PDOP值偏高时应适当调整观测时间。多余基线数量足够,可保证构成足够的异步环图形,使网形内部结构更加坚强。采取的技术措施应当与施测的等级、精度要求相匹配,不必盲目追求高精度,否则将造成人力、物力、时间上的浪费。

(3)GPS卫星定位不要求站间通视,不必建立觇标,选点灵活,可更好地满足工程建设的需要;同时GPS测量可进行全天候观测,工作更具计划性。

参考文献:

[1] 刘大杰,等. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理[M]. 上海: 同济大学出版社,1996.

[2] 刘基余,等. 全球定位系统原理及其应用[M]. 北京: 测绘出版社,1993.

[3] 国家测绘局. 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 测绘出版社,1992.

[4] 国家测绘局. 工程测量规范[S]. 北京: 测绘出版社,1993.

GPS CONTROL SURVEYING APPLIED TO THE FLOOD CONTROL ENGINEERING IN A COUNTY LOCATED IN THE KARST AREA

QUI Bin, HE Yue-guang

(Central-South University, Changsha 410083, China)

Abstract:A control network is set up by using GPS technology according to the topographical and geologic condition in the karst area and practical requirement of the flood control works. The network has many merits of the GPS survey, such as high efficiency, high precision and low cost. It offers reliable control for the overall layout of the works and the completion of the main project.

Key words: Flood control works; Karst area; GPS; Control survey