

基于 RTK 的水文地质勘察测量研究^{*}

韩 正¹, 薄怀志¹, 宋朝辉²

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州, 272100; 2. 兖州市国土资源局, 山东 兖州, 272100)

摘 要:在水文地质勘察中需要测量水文地质观测点的平面坐标与高程, RTK 测量可以满足其平面坐标精度, 而能否满足、怎样满足其高程精度值得探讨。将 RTK 测高技术应用于水文地质勘察测量中, 通过对测量成果统计与检核, 发现只要采取一定的质量控制措施, 满足 RTK 测量条件, 在测量过程中注意检核, RTK 高程就可满足水文地质勘察测量的精度要求, 并明显提高了工作效率。

关键词:RTK; 水文地质勘察; 精度; 质量控制

中图分类号:P224 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-9268(2009)02-0047-04

引 言

水文地质勘察中需测量水文孔、地质孔、泉和居民井等水文地质观测点的平面坐标与高程, 用以绘制等水位线图, 了解地下水的流向、补给范围、迳流区域及地表水与地下水的关系等, 这是水文地质勘察的一项重要工作。

山东省汶上县邵庄济宁任城区双庙水源地, 地理坐标东经 116°20'00" ~ 116°41'00", 北纬 35°27'00" ~ 35°39'00"。工作区面积约 704.22 km², 共布设水文地质观测点 133 个。由于工作区面积大, 水文地质观测点分布零散, 使用常规测量仪器需分别测量平面坐标与高程, 工作量和劳动强度非常大, 且工作效率很低。使用 RTK 进行测量, 能同时获得观测点的平面坐标和高程, 达到缩短工期、减轻外业劳动强度、提高工作效率的目的。

1 RTK 进行水文地质勘察测量的可行性分析

水文地质勘察对高程精度要求较高, 而对平面坐标精度要求较低。《地质矿产勘查测量规范》^[1]规定, 精度要求最高的钻孔允许平面中误差为图上 0.15 mm, 按水文地质勘察图比例尺为 1:10000 计算, 实地平面中误差为 1.5 m, RTK 可以轻松满足水文地质勘察平面坐标要求; 而高程要求为排泄区域的高程中误差应 4 cm, 迳流区域应 8 cm, 补给

区域应 20 cm^[2], 精度要求较高, 因此本文主要探讨如何使 RTK 高程满足水文地质勘察测量的要求。

文献[3]中用四等水准测量对 RTK 高程做了检核, 以四等水准高程为真值, 计算出 RTK 高程中误差为 1.56 cm。文献[4]研究了 RTK 高程拟合精度与起算点的空间分布、数量及拟合方法的关系, 认为只要起算点的数量及精度满足要求, 位置合理, 分布均匀, 拟合方法恰当, 即可满足普通水准的限差要求。《工程测量规范》^[5]条文说明中提出 RTK 的高程中误差通常是平面中误差的 2 倍, 且与到参考站之间的距离成正比, 此前多个工程证实在 RTK 作业半径适当的情况下, 平面中误差一般小于 2 cm, 很多文献也得出了同样的结论^[6]。据此推理, RTK 高程中误差应小于 4 cm, 与前文吻合。

由此可见, 只要满足 RTK 测量要求, 方法得当, 并采取一定质量控制措施, RTK 高程可以满足水文地质勘察测量的要求。

2 RTK 进行水文地质勘察测量的方法及步骤

2.1 收集资料

测量前, 我们搜集整理了相关资料, 收集的资料主要为控制点资料。由于此前在该区域进行过多次测量工作, 如济宁市地面沉降测量、任城区及嘉祥县地形测量等项目, 存有较多的控制测量资

^{*} 收稿日期: 2008-09-09

料。通过实地查看测区周围及测区内的控制点,对其可利用情况进行了统计分析。

2.2 网型设计

由于工作区面积大,而 RTK 的作业半径有限,且测量精度随着作业半径的增大而降低,因此,为保证 RTK 测量精度及稳定性,提高工作效率,必须进行分区测量。

RTK 的数据链是一个球面波,在水平面上的投影是圆,半径为数据链作用的有效长度。但是圆不能无重叠无缝隙覆盖一不规则区域,在实际布设工程中可以考虑用圆内接正多边形代替圆,常用的图形有正三角形、正方形和正六边形。从布网的角度出发,将这三点的特点列出,如图 1 所示^[7]。







名称	图形	多边形占圆面积的比例	连接方式
正三角形		41%	
正四边形		64%	
正六边形		83%	

图 1 RTK 测量最有利图形分析

从图 1 可以看出正六边形具有明显的优势,同时整个控制网的精度比较均匀,适合面状测量区域。因此,本项目采用正六边形法分区。

以 RTK 作业半径为 6km 计算,本着尽可能少分区及各小区中控制点尽可能均匀分布的原则,将工作区分为十个正六边形小区,利用 RTK 分区测量。

2.3 控制点加密

由于收集到的控制点资料分布不均匀,有些正六边形小区只有一个甚至没有控制点,因此需加密控制点。根据已有控制点分布情况采用静态 GPS 测量法进行控制点加密,并联测水准高程。加密控制点应考虑 RTK 测量时参考站点的分布及位置。

2.4 转换参数

由于 RTK 获得的是 WGS-84 坐标,而工程要求是 1954 年北京坐标系,需要坐标转换。由于已经进行了控制点收集及加密工作,我们采用七参数转换法求解转换参数,将控制点资料及椭球参数等输入到 RTK 流动站接收机中求出转换参数。

因为控制点较多,可能有个别控制点残差较大,说明该点精度较低或与其他控制点不匹配,此时可以进行其他点的选择,用以剔除存在粗差的控制点,通常转换参数的残差在 $\pm 2\text{cm}$ 以内,可以认为参数是正确的^[8]。

2.5 水文地质观测点测量

1) 测前比测已知控制点。到已知控制点上比测,检测作业区的坐标基准转换及参考站预置信息的正确性。检测结果,平面较差不应大于 5cm,高程较差不应大于 $30\sqrt{D}\text{mm}$ (D 为参考站到检查点的距离,单位为 km)^[5],较差在允许范围内再进行下一步。

2) 水文地质观测点测量。流动站作业时有效卫星数不少于 5 个,PDOP 值应小于 6,并采用固定解成果。每个水文地质观测点都独立测定两次,即观测完毕后,将流动站天线倒置或关机后再重新初始化,重新观测。两次观测的高程较差应小于 5cm,否则应重测。取两次测量成果平均值使用。RTK 测定时的数据记录,不但要记三维坐标成果,还应记录原始的观测数据。不同参考站作业时,流动站应检核一定数量的重合点。

3) 测后比测已知控制点。每参考站施测完毕后,应到已知控制点上进行比较,校验作业过程中有无异常。

3 RTK 高程精度评定及检核

3.1 RTK 高程精度评定

视控制点数据为真值,RTK 高程误差主要有以下几个方面:

1) RTK 测量在获得 WGS-84 坐标的过程中,由于受到电离层和对流层传播延迟误差、接收机钟差、接收机内部噪声、通道延迟、多路径效应、数据链内部噪声、外部无线电干扰等因素的影响,导致 RTK 观测误差的产生,此类误差在 RTK 系统的控制终端中是可以实时显示的,称之为 GPS。

2) RTK 测量获得的是 WGS-84 坐标,必须进行转换。获得转换参数时,受转换模型的影响,必然产生误差,称之为 转换模型。

RTK 平面误差 平面由 GPS 和 转换模型 组成,即

$$\text{平面} = \text{GPS} + \text{转换模型}$$

在 RTK 测量操作过程中,设置参考站完毕,为了检验基准站已知控制点坐标输入正确与否,参考站的天线高是否正确以及转换参数是否无误,需要检测已知控制点,这样便可求得 平面^[8]。

3) 利用高程拟合等方法得出测区高程拟合模型时产生的误差,可利用未参加建模的点来评定模型的精度,记为 高程拟合模型。

RTK 测量的高程误差:

$$\text{高程} = \text{GPS} + \text{转换模型} + \text{高程拟合模型}$$

由误差传播定律得:

$$m_{\text{高程}}^2 = m_{\text{GPS}}^2 + m_{\text{转换模型}}^2 + m_{\text{高程拟合模型}}^2$$

由此可以计算出 RTK 的高程精度。

3.2 RTK 高程检核

3.2.1 RTK 高程已知点检核

测量时多次进行已知点比测,并对部分水文地质观测点使用四等水准检核,检核结果见表 1。

表 1 RTK 高程已知点检核

序号	点号	高程较差/mm
1	GC - 2	9
2	DNP - 1	12
3	WS - 3	32
4	WS - 5	18
5	WS - 7	4
6	JN - 2	21
7	JN - 6	15
8	JX - 4	28

以水准高程为真值,按双观测值之差计算高程中误差:

$$M = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n}} = \pm 19.5 \text{mm}。$$

3.2.2 RTK 高程重合点检核

由于每个水文地质观测点均观测两次,两次观测值高程较差见表 2。

表 2 RTK 高程重合点检核

较差范围/mm	个数	%
0 ~ 19	59	44.4
20 ~ 39	45	33.8
40 ~ 59	21	15.8
60 ~ 79	6	4.5
80 以上	2	1.5

备注:为反应 RTK 高程真实精度,对较差大于 5cm 的观测点使用重测前的原始数据统计。

水文地质勘察中高程精度要求最高的排泄区
2009. 2/ 全球定位系统

域中误差应 4cm,以两倍中误差为限差,在重合点检测中有两点超限,占 1.5%,大部分高程较差在 40mm 以内,占 78.2%。为保证精度对高程较差大于 50mm 的水文地质观测点全部重测。以重测前数据按同精度两次观测中误差的计算公式 M

$$= \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$$
 计算出高程中误差为 29.2mm。

由上可以看出,对高程较差大于 50mm 的水文地质观测点重测后 RTK 高程满足水文地质勘察测量的要求。

4 RTK 高程的质量控制

RTK 高程在水文地质勘察测量中具有很大的优越性,但其缺乏必要的检核条件,为了保证 RTK 作业的精度和稳定性,充分发挥 RTK 技术的优势,必须进行质量控制。RTK 质量控制的方法主要有以下几个方面:

1) 已知点检核比较法。即布设控制网时用静态 GPS 多测出一些控制点,并联测水准高程,批量作业前用 RTK 测出这些控制点的坐标及高程进行检核,检核较差在精度允许范围内再进行后续 RTK 测量。每参考站施测完毕后,到已知控制点上进行比较,校验作业过程中有无异常。

2) 重测比较法。每次初始化成功后,先重测 1 - 2 个在其它基准站上测过的 RTK 点,确定无误后再进行 RTK 测量。每个水文地质观测点都独立的测定两次,即观测完毕后,将流动站天线倒置或关机后再初始化,重新观测,两次观测的高程较差应小于 5cm。

3) 电台变频实时检测法。设置两个参考站,每个参考站采用不同的频率发送改正数据,流动站用变频开关选择性地分别接收每个参考站的改正数据,从而得到两个计算结果,比较这些结果就可判断 RTK 的稳定性及测量精度。

4) 常规测量方式抽测法。RTK 测量精度随着到参考站距离的增大而降低,利用常规水准测量方法对离参考站最远位置的 RTK 高程进行抽测,可以反应整个区域的精度。

以上方法中,最可靠的是已知点检核比较法,但控制点的数量总是有限的,在缺少控制点的地方需要用重测比较法来检验测量成果,电台变频实时检测法的实时性好,但它需具备一定的仪器条件,实际应用价值不大,使用常规水准测量方式抽测,可以较好的评定整个区域的测量精度,但费时费

力,一般只在检核时使用。

5 结 论

利用 RTK 方法进行水文地质勘察测量方便、快捷、工作效率高,并且能提高经济效益,通过一定的质量控制,精度满足要求。

随着 RTK 测量技术的发展,其精确度和稳定性也将不断提高,抗干扰性将会增强,对环境的要求也会降低。相信在不远的将来用 RTK 测量代替传统的水准测量成为可能。

参考文献

- [1] ZBD10001 - 89,地质矿产勘查测量规范[S].北京:测绘出版社,1989.
- [2] 胡照普.供水水文地质勘察高程测量精度分析[J].地

质测绘,1989,5(3 - 4):43 - 48

- [3] 蒋诗洋.实时获取 GPS 高程拟合关系研究[J].测绘通报,2007,(4):49 - 50.
- [4] 于小平,杨国东,许惠平等. GPS RTK 高程拟合方法精度研究[J].测绘通报,2006,(11):19 - 21.
- [5] GB 50026 - 2007,工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [6] 周晓华,李永兴,吴根姣等. RTK 技术在控制测量中的应用探讨[J].测绘通报,2007,(7):41 - 42.
- [7] 王继刚,焦明连,吕秀健.基于 RTK 加密的 GPS 工程平面控制网布设[J].地矿测绘,2008,24(1):23 - 25.
- [8] 喻 华. GPS RTK 技术在地籍测量中的应用[J].测绘通报,2007,(4):51 - 52.
- [9] 张振军,谢中华,冯传勇. RTK 测量精度评定方法研究[J].测绘通报,2007,(1):26 - 28.

Study on the Hydrogeological Investigation Surveying Based on RTK

HAN Zheng¹, BO Hua-zhi¹, SONG Chao-hui²

(1. Lunan Georengineering Exploration Institute, Shandong Yanzhou 272100 China;

2. Yanzhou Bureau of Land and Resources, Yanzhou Shandong 272100 China)

Abstract: The plane coordinate and height of hydrogeological observation points need to be determined in hydrogeological investigation. The RTK technology can meet the requirements of precision of the plane coordinate. Here, we have discussed whether it could meet and how to meet the requirements of precision of the height. In the process of the application of RTK technology in hydrogeological investigation, it is found that the RTK height can meet the precision requirement of the Hydrogeological investigation as long as the quality control is implemented and the environment meets the RTK measurement condition, which are based on the statistics and checking the measurement data. The result shows that this method can obviously improve the efficiency of the field work.

Key words: RTK ;hydro-geological investigation ;precision ;quality control

作者简介:

韩 正 (1970 -),男,山东滕州人,工程师,主要从事工程测量工作。

薄怀志 (1983 -),男,山东日照人,助理工程师,主要从事工程测量工作。