

Application of GNSS-RTX Technology in Offshore Wind Power Construction Projects

Yongke Li

CCCC Haifeng Wind Power Development Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350000, China

Abstract

With the development of GNSS technology, GNSS-RTK technology has been widely used in engineering, surveying and mapping, agriculture, mining and other fields, in the offshore wind power construction project due to the influence of external environmental factors, the technology cannot be applied, the emergence of RTX solved this technical problem, the technology is the use of satellite as a reference station, through the geostationary orbit (GEO) satellite carrying satellite navigation enhanced signal forwarding, can broadcast to the user calendar error, satellite clock, delay ionosphere correction information. This paper takes a wind power erosion prevention project as an example to briefly describe the application of RTX technology in offshore wind power construction projects.

Keywords

RTX technology; offshore wind power construction project; application

GNSS-RTX 技术在海上风电施工项目中的应用

李永科

中交海峰风电发展股份有限公司, 中国·福建 福州 350000

摘要

随着GNSS技术的大力发展, GNSS-RTK技术已广泛应用于工程、测绘、农业、矿业和其他一些领域, 在海上风电施工项目中由于受外界环境因素的影响, 此项技术无法应用, RTX技术的出现解决了这一技术难题, 此技术是使用卫星当做基准站, 通过地球静止轨道(GEO)卫星搭载卫星导航增强信号转发器, 可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息。论文以某风电防冲刷项目为例, 简述了RTX技术在海上风电施工项目中的应用。

关键词

RTX技术; 海上风电施工项目; 应用

1 GNSS-RTX 技术测量原理及优点

GNSS-RTK 技术是 GPS 测量技术与数据传输技术相结合而构成的组合技术, 是实时处理两个测量站载波相位观测量的差分方法, 就是将基准站采集的载波相位发送给移动站接收机, 进行求差解算坐标以达到高精度定位。RTK 系统用户端主要由基准站, 移动站, 数据链组成^[1]。GNSS-RTX 技术是 GNSS 中的星站差分技术, 也称星基增强。星站差分的原理与 RTK 技术原理大致相同, 但不同的使用卫星来代替 RTK 基准站或者 CORS 站, 通过卫星直接把改正数据传输给移动站。

常规的 RTK 基站或 CORS 站都是在地面上, 而“星站差分”是使用卫星做基站, 基站是在天上, 星站差分系统的原理是将每颗 GNSS 卫星的误差源都作为独立变量解算, 通过遍布全球的双频接收机观测网来跟踪并解算卫星轨道

误差、时钟误差、电离层、对流层误差、多路径效应等解算结果再使用卫星数据链直接发送到接收机用户, 所以不需要地面基准站, 也就是我们只需要那个流动站就可以出去作业了。而且星站差分系统对测量范围可以说没限制(覆盖范围大概在南纬 76° ~ 北纬 76° 之间), 可以是全球任何位置。利用单台的终端设备就可以在全球实时获得高精度的定位信息。

对于海上风电施工项目来说, 海上施工的地点距离海岸较远, 一般都在几十上百公里, 再加上当前海上通信基站基本没有, 使得常规的 RTK 技术无法在此类项目中使用。

2 GNSS-RTX 技术的应用

2.1 测区概况

本项目业主单位为某风电运维有限公司, 项目作业面分布较广, 位于海上某几个风电场, 主要进行的项目内容为海上风力发电机桩机基础冲刷修复。测区已有控制点主要分布在盐城市区, 需新增引测的控制点位于海上, 交通方式主要为船舶。

【作者简介】李永科(1982-), 男, 中国江苏常州人, 本科, 工程师, 从事工程测量研究。

2.2 测量作业内容

本次测量作业内容为工程控制网的平面及高程复测,依据设计交桩情况,平面与高程共点,控制点共计50个。根据业主提供的《某风电场工程测量成果资料(测量控制点)》控制点成果资料,某海上风电工程WGS84坐标成果、CGCS2000坐标成果+1985高程成果、WGS84到CGCS2000坐标系的转换七参数及椭球、投影、中央子午线经度、假东等转换信息。

①控制网布设及测量前,对业主交桩成果进行检核验证。控制点现状如下:

除D01与D04、4037三点已破坏外,其余点均保存完好;3114、3142点位上方有树木遮挡,信号长时间无法锁定;3145点位上方有铁架子遮挡,信号不是很稳定,其余点位均信号良好。

根据现场踏勘情况,利用天宝SPS986接收机连接RTX信号,对保存较好的、观测效果良好的控制点进行数据采集,检验点位稳定性和七参数在本区域的匹配性。

②根据现场实际情况和施工控制需要,在某风场海上升压站上面布设F01、F02两个施工控制点,采用静态和RTX同时观测,获得两点的平面坐标和高程。

2.3 执行的技术规范、标准

①国家标准GB/T18314—2009《全球定位系统(GPS)测量规范》。②国家标准GB50026—2020《工程测量标准》。③交通运输部JTS257-2008《水运工程质量检验标准》。④交通运输部JTS258—2008《水运工程测量质量检验标准》。⑤交通运输部JTS131—2012《水运工程测量规范》。⑥业主提供的其他文件。

2.4 平面坐标和高程系统

2.4.1 平面基准

坐标系统:CGCS2000坐标系。

高斯克吕格投影:中央子午线 120° E,东向加常数500000m,北向加常数0。

2.4.2 高程(深度)基准

水深测量基准采用1985国家高程基准。

2.5 控制网等级

平面控制网复测按C级GPS网精度施测。

复测前将控制点平面坐标利用快速展点小程序展点进AutoCAD当中,利用七参数导入到奥维地图中,便于现场找点和观测。

考虑到本项目首级控制网点位分散,海上升压站离岸距离较远,布设点位和观测工作量庞大,首级控制网采用目前较先进的星基差分RTX技术,星基差分是结合了地面的差分增强与卫星广播,利用卫星来代替RTK基准站,改正信号的覆盖范围更广。其收敛时间较长(约15min左右)。精度已经达到厘米级精度。精度完全能够满足C级控制网边长相对中误差要求。

升压站上加密控制点采用静态和RTX同时采集的方法

进行,静态观测与陆上复核相对较好的3147、D03两个点按照D级网精度进行施测。

2.5.1 GPS-RTX 施测

①C级控制网复测采用RTX施测,对点位保存较好,对周边没有遮挡的控制点进行RTX数据采集。②在控制网复测前对GPS进行采集参数设置,检查基座对中情况。③GPS接收机架好后,开机等数据收敛后持续观测30min,作为一次观测。每个点进行两次。两次观测期间关机1min。④每次观测前后均在三个方向量取仪器高一次,量取高差在2mm以内取平均值作为本次仪器高值。⑤两次观测期间重新架设GPS接收机。⑥采集过程中10m内不使用电台、对讲机和手机等通讯设备。

2.5.2 升压站 GPS 网施测

平面控制网按《全球定位系统(GPS)测量规范》D级网精度要求执行,采用GPS静态定位技术施测,按GPS测量精度要求,构网形式与原测类似,同步作业图形之间采用边连接形式,由大地四边形组成的带状网,每个观测时段至少大于等于60min,观测两个时段。

GPS测量前的准备工作:

①测量前首先进行现场勘查,检查标石的完好性。②对仪器进行检定,检查技术参数设置,检查脚架是否松动、基座水准器、光学对点器状态是否正常。③准备交桩资料、点之记、测量记录等。

观测过程中要严格按照规范要求进行操作,按规定填写观测手簿,对观测点名、仪器高、仪器号、时间、日期以及观测者姓名均进行详细记录。每天测量结束后,当晚必须将观测数据传输到电脑中,数据传输完后首先把原始数据通过随机软件Convert To RINEX转换成RINEX标准格式。

2.6 平面控制网数据处理及精度分析

2.6.1 C级网 RTX 精度分析

由表1可知,X分量差值较小,最大值为1653点的17mm,Y分量差值最大为1646点的-78mm,高程差值最大为3145点的-64mm。经检验,RTX星基差分的精度确实能够达到厘米级。给定的C级控制点和高程点的稳定性较好。其参数精度可靠,可以作为本次风场施工的控制基准。

2.6.2 升压站 D级网精度分析

采用陆上3147和D03两个和本次升压站上两个加密点DF01、DF02四个点构成一个大地四边形环进行观测。当天外业采集的数据采集传到计算机上之后,通过Convert To RINEX3.02软件,将所采集的数据转换成标准的RINEX格式。

2.6.3 基线向量解算及精度分析

基线解算使用商用软件LGO按静态相对定位模式进行,采用广播星历,多基线向量的双差固定解求解模式。利用观测值残差的均方差(RMS)统计结果,对所有观测值残差绝对值大于3倍的RMS的观测值进行数据屏蔽,不让其参与平差。同一时段观测值的数据剔除率小于10%。

表 1 复测坐标与交桩坐标比较表

点号	交桩数据			采集数据			差值(采集—交桩)		
	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	H (m)	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	H (m)	Δ X(mm)	Δ Y (mm)	Δ H (mm)
D03	3669277.606	578477.936	7.060	3669277.595	578477.993	7.071	-11	57	11
3145	3676008.765	560217.304	5.402	3676008.779	560217.337	5.288	14	-27	-64
D02	3669638.276	578274.110	7.369	3669638.267	578274.164	7.353	-9	54	-16
3147	3686365.800	533007.216	2.028	3686365.787	533007.14	2.055	-13	-76	27
4039	3650215.882	559736.525	3.978	3650215.869	559736.588	3.926	-13	63	-52
3144	3660149.716	573398.606	5.526	3660149.717	573398.657	5.569	1	51	43
1646	3701461.770	547373.672	2.445	3701461.786	547373.594	2.483	16	-78	38
1653	3667876.951	527004.183	3.525	3667876.968	527004.139	3.498	17	-44	-27

①异步环闭合差检验。

在解算出整网的基线向量后,以三角形作为构环图形,并计算闭合环坐标分量闭合差,各坐标分量及全长闭合差应符合下式规定^[1]:

$$V_x \leq (\sqrt{\frac{4n}{3}}) \delta, V_y \leq (\sqrt{\frac{4n}{3}}) \delta$$

$$V_z \leq (\sqrt{\frac{4n}{3}}) \delta, V \leq (2\sqrt{n}) \delta$$

GPS 控制网共构成 3 个异步环,所有闭合环的闭合差均符合限差要求。

经计算,异步环闭合差最大为 DF02~3147~D03,闭合差 W_x=19.7mm, W_y=34.3mm, W_z=30.9mm,均小于限差 294.06mm, W_s=50.19mm < 限差 509.33mm。因此,基线向量分量和全长闭合差均满足规范要求。

②重复基线较差检验。

控制网复测共观测重复基线 4 组。经计算,所有重复基线的较差均满足(其中, d 为基线或环的平均边长,单位 km,以下均同)的限差要求。经计算,相对较差最大为 3147~D03 边, S=48.6km,边长较差 ds=44.6865mm < 限差 Δs=138.0925mm,合格。

2.6.4 网平差及精度分析

控制网平差采用武汉大学的 COSA GPS (6.0 版本) 后处理软件进行平差处理。

①三维无约束平差结果。

以 D03 的 WGS84 坐标成果作为起算数据,对复测网

进行三维无约束平差。三维无约束平差中,所有基线分量的改正数绝对值均满足下式要求^[2]:

$$V_{\Delta x} \leq 3\sigma, V_{\Delta y} \leq 3\sigma, V_{\Delta z} \leq 3\sigma$$

经计算,该控制网基线向量改正数最大为 D03~DF02 边, V_{Δz}=-3.02cm < 限差 12.76cm,合格,控制网三维基线向量改正数均满足 D 级网精度的规范要求。

②三维约束平差。

以 D03、3147 的 WGS84 坐标成果作为起算点,对 D 级网进行三维约束平差计算。约束平差中,基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值满足^[2]:

$$dV_{\Delta x} \leq 2\sigma, dV_{\Delta y} \leq 2\sigma。$$

D 级网经三维约束平差计算后,单位权中误差 m0=3.99cm 最弱点 DF02 的点位误差为 M_x=1.32cm, M_y=1.95cm, M_z=2.12cm, M_p= 3.60cm,小于限差 10cm,由于 DF01-DF02 距离较短,它的边长精度较高为 1.37cm,但由于两点距离只有 3m 左右,所以本次约束平差不能以边长相对中误差来评定。

③成果换算。

利用验证满足本工程使用的七参数成果,对三维约束平差后所得 WGS84 坐标进行换算,得到本工程需要的 CGCS2000 坐标。将所得坐标和星站差分成果进行比对。在限差内则采用两者的平均值作为本次 D 级网成果。

由表 2 可知,本次升压站控制点加密的各项指标均满足规范要求,达到 D 级 GPS 控制网的精度要求。

表 2 静态成果与差分成果比较表

点号	静态成果			差分成果			差值(差分-静态)		
	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	H (m)	X 坐标 (m)	Y 坐标 (m)	H (m)	Δ X(mm)	Δ Y (mm)	Δ (mm)
DF01	3696693.1008	610625.2986	32.8730	3696693.0861	610625.2861	32.9006	-14.7	-12.5	27.6
DF02	3696690.1850	610625.8905	32.2930	3696690.1845	610625.8830	32.3005	-0.5	-7.5	7.5

3 结论

由上述案例可知,测量过程严格按照规范要求操作,控制测量成果均满足施工精度要求,可投入现场使用。星站差分 RTX 在陆地和海测,在经过约 20min 的收敛后,再持续半小时以上时间观测,点位精度能达到 5cm 左右。星站差分 RTX 技术在海上风电施工项目及无网络信号的地方测

量中非常值得推广应用。

参考文献

[1] 李征航,黄劲松.GPS测量与数据处理[M].武汉:武汉大学出版社,2005.
[2] 中国有色金属工业协会.工程测量标准[M].北京:中国计划出版社,2020.