

GNSS技术在工程中的应用

苏鹏, 柳郁青, 吕涛

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司, 陕西 西安 710000

摘 要 : 随着科学技术的不断进步, 全球导航卫星系统 (GNSS) 测量技术已经成为现代工程测量领域中不可或缺的关键工具。与传统测量方法相比, GNSS技术在覆盖范围广泛、全天候作业能力、实时性强以及高精度等方面展现了显著的优势。在基础设施建设、土地测绘、交通规划、灾害监测等多个关键领域, GNSS技术的应用显著提升了工作效率和测量精度。基于此, 本文旨在深入探讨 GNSS测量技术在工程测量领域的具体应用情况。

关 键 词 : GNSS技术; 工程测量; 变形监测; GNSS连续运行基准站; 精度; 效率

Application of GNSS Technology in Engineering

Su Peng, Liu Yuqing, Lv Tao

China hydro Construction Engineering Consulting Northwest Co., LTD. Xi'an, Shaanxi 710000

Abstract : With the continuous progress of science and technology, the global navigation satellite system (GNSS) measurement technology has become an indispensable key tool in the field of modern engineering measurement. Compared with traditional measurement methods, GNSS technology shows significant advantages in terms of wide coverage, all-weather operation capability, strong real-time performance and high precision. In infrastructure construction, land mapping, traffic planning, disaster monitoring and other key fields, the application of GNSS technology has significantly improved work efficiency and measurement accuracy. Based on this, this paper aims to discuss the specific application of GNSS measurement technology in the field of engineering survey.

Keywords : GNSS technology; engineering measurement; deformation monitoring; GNSS continuous operation datum station; accuracy; efficiency

一、GNSS系统的概述

GNSS系统由卫星、地面控制系统和接收系统组成, 其基本原理是根据卫星与接收机之间的距离, 采用空间距离后方交会的方式, 获得接收机所在位置。GNSS卫星是连续在太空中运行, 为地面控制系统播发星历数据、卫星运行速度等信息的设备。部署在地面的控制系统主要用于收集卫星信号、贮存数据、处理卫星发送的观测数据, 计算卫星星历与地面的相对距离、校正电离层、对流层等大气层影响造成的误差, 并为卫星输入修正参数, 控制卫星稳定运行。接收系统是指用户使用 GNSS信号接收机 (RTK), 通过接收卫星信号和地面控制中心发送的改正参数, 获得坐标位置信息^[1]。

二、GNSS在工程测量中的应用

(一) 基础设施建设项目

在全球基础设施建设领域, 诸如道路、桥梁、隧道等重大工程的建设中, 全球导航卫星系统 (GNSS) 技术得到了广泛而深入的应用。该技术在施工放样阶段发挥着至关重要的作用, 同时在施工监测和竣工测量过程中展现出其独特的优势。通过应用实时动态测量 (RTK) 技术, 工程师们能够迅速且精确地确定施工的确切坐标, 确保整个工程严格遵循设计图纸的要求进行精确施工, 以满足既定的精度和质量标准。具体而言, 全球导航卫星系

统 (GNSS) 技术通过接收多颗卫星的信号, 提供高精度的三维坐标信息。在施工放样阶段, 工程师利用这些坐标信息, 能够迅速在施工现场标定出各个关键点的位置, 为后续施工活动提供精确的参考依据。此外, GNSS技术还可应用于施工监测, 实时监控施工过程中结构的变形和位移情况, 确保施工安全和工程质量。在竣工测量阶段, GNSS技术同样能够提供高精度的测量数据, 帮助工程师对工程的最终成果进行精确的评估和验收^[2]。

(二) 土地测绘与管理

在土地测量与管理领域, 全球导航卫星系统 (GNSS) 测量技术发挥着至关重要的作用。土地测量作为获取土地资源信息、进行土地规划和管理的基础性工作, 其效率和精度的提升对于国土资源的合理利用和保护具有重大意义。GNSS技术的应用, 使得测量人员能够在广阔的野外环境中迅速获取精确的地理坐标信息, 极大地提升了工作效率, 同时确保了数据的准确性和可靠性。以土地边界测量为例, 全球导航卫星系统 (GNSS) 技术能够迅速且精确地确定边界点的位置, 有效降低因地形复杂或视线受阻等因素导致的测量误差。此外, GNSS技术在土地资源调查、土地利用规划、土地变更测量等多个领域均展现出广泛的应用潜力。在土地资源调查中, GNSS技术能够迅速获取地形地貌的三维坐标, 为土地资源的分类和评估提供坚实的数据支持。在土地利用规划中, GNSS技术协助规划人员精确绘制土地利用现状图和规划图, 为土地资源的合理配置提供了科学依据。在土地变更测量中, GNSS技术能够实时监测土地使用情况的变化, 为土地管理提供了动态的数据支持^[3]。

（三）交通规划与管理

在全球交通规划与管理的宏伟蓝图中，全球导航卫星系统（GNSS）技术凭借其卓越性能，发挥着至关重要的核心作用。GNSS技术提供的精确地理位置信息，为规划者绘制道路网络布局 and 结构提供了强有力的技术支持。这不仅为新道路的规划与建设提供了坚实基础，更为现有道路的维护与升级提供了宝贵的参考依据。同时，GNSS技术在实时监测交通流量方面展现出显著优势，能够精确捕捉交通高峰时段的拥堵状况，深入分析交通流量的分布与变化规律，为交通流量调控提供了坚实的数据支持。在车辆导航系统领域，GNSS技术的应用使得导航设备能够提供实时路线规划与导航服务，助力驾驶员规避拥堵路段，选择最优行驶路径。这不仅极大地提升了驾驶的便捷性和安全性，还显著提高了整体交通系统的运行效率。通过优化路线选择，GNSS技术有助于减少车辆在道路上的停留时间，降低燃油消耗和尾气排放，从而在环保和节能方面也展现了其积极的贡献^[4]。

（四）灾害监测与应急响应

全球导航卫星系统（GNSS）技术在变形监测、灾害监测与应急响应领域扮演着至关重要的角色。得益于其精确的定位和时间同步能力，GNSS技术能够实时捕捉地表的细微变化，从而及时识别潜在的灾害迹象。以地震频发地区为例，GNSS系统能够实时监测地壳的微小位移，科学家通过分析这些数据，能够预测地震的发生，并采取相应的预防措施。全球导航卫星系统（GNSS）技术在地质灾害监测领域扮演着至关重要的角色，尤其在滑坡和泥石流的预警与监测方面。在地质灾害频发区域部署GNSS接收器，能够实现对地表位移的实时监控。一旦发现异常位移，系统将立即启动预警机制，为当地居民和相关部门提供宝贵的撤离时间，有效降低人员伤亡和财产损失。灾害发生后，GNSS技术同样发挥着关键作用。救援人员可以利用GNSS设备进行精准定位，迅速确定受灾最严重的区域，从而制定出最有效的救援方案。同时，GNSS技术还能救援队伍提供实时导航服务，确保他们能在复杂多变的灾害现场中迅速找到最佳救援路线。此外，GNSS技术亦可用于灾后重建的规划与实施。通过精确测量受灾区域的地形地貌变化，救援人员能够更准确地评估灾情，制定出科学合理重建计划，为灾区的恢复与重建提供强有力的技术支持。

三、GNSS技术的发展趋势

（一）高精度与实时性

随着全球导航卫星系统（GNSS）技术的不断进步，高精度和实时性已成为其发展的主要趋势之一。展望未来，GNSS测量设备将变得更加轻便、高效，能够提供更高精度的定位数据，以满足各种工程测量的需求。与此同时，实时数据传输技术的提升将使得测量结果能够实时反馈给施工人员和管理人员，从而提升工程效率和质量。

（二）多系统融合

为深入贯彻科学发展观，进一步提高全球导航卫星系统（GNSS）测量技术的定位精度与可靠性，多系统融合技术将成为该领域发展的战略方向。通过深度整合全球定位系统（GPS）、俄罗斯GLONASS系统、欧洲伽利略（Galileo）系统以及我国自

主研发的北斗（BDS）系统等多元卫星导航系统数据资源，能够有效避免单一系统潜在的误差问题，显著提升测量成果的精确度和可靠性，为测绘地理信息事业的发展提供坚实的技术支持^[5]。

（三）人工智能与机器学习

人工智能（AI）与机器学习技术的引入，将为全球导航卫星系统（GNSS）测量技术带来前所未有的革新。通过运用AI算法对海量测量数据进行深入分析与处理，能够实现更为智能化的测量结果评估与精准预测。同时，机器学习技术亦将助力于测量设备性能的优化，进一步提升数据处理的效率与精确度。

四、工程应用

（一）工程概述

双江口水电站枢纽区建立GNSS连续运行基准站，目的是为应用GNSS技术进行自动化监测建立基准；该基准站的技术原理为：GNSS基准站建设在地质条件良好的基准上，使用GNSS设备采集并修正相关卫星数据，然后利用通讯链路传回控制中心，在监测软件（T4D Control）内进行结算处理，通过三个基准点之间的基线后进行解算，独立解算出各个天线坐标及位移变化量，并设置报警阈值及报警方式，这样；既实现对基准站进行有效的监测，同时也为监测站建立后的整体自动化监测提供基准。

（二）组成

GNSS基准站系统包括：GNSS数据接收系统、供电系统、通讯系统、防雷系统和数据处理系统构成。

（三）数据处理

利用整理好的静态数据导入Trimble Business Center软件进行基线处理，同步异步闭合环检测、无约束平差，最后利用枢纽区平面监测控制网坐标系统下的TN01、TN04、TN09控制点坐标进行工地校正，最终求得GNSS连续运行基准站点在双江口水电站独立坐标系下的坐标。

（1）基线处理

根据全球定位系统（GPS）测量规范E级网要求，要求水平分量20mm，垂直分量40mm。经过处理基线处理结果完全满足规范要求详见基线处理报告（图1）。

（2）闭合差检验

经过基线处理完成后，进行同步环、异步环闭合差检验，按照规范要求水平+垂直分量小于0.5m，经过检验满足规范要求。详见控制网同步闭合环计算表、控制网异步环计算表（图2、3）。

（3）网平差计算

进行无约束平差，平面和高程小于±10mm。无约束平差后，利用双江口水电站独立坐标系下的坐标进行工地校正，通过已知点坐标解算出3个基准点在双江口水电站独立坐标系下的坐标（图3）。

（四）结论

双江口水电站枢纽区山高谷深、气象条件复杂多变，交通极为不便，GNSS连续运行基准站选点、埋设等工作难度大。经过接收信号测试，综合考虑地质、地形条件以及点位分布因素，3个GNSS连续运行基准站分别选择在相对条件较好的可尔因沟口下游侧山脊（GTB01）、下游临时桥左岸山脊（GTB01）、高尔达村

加常数a(米)		0.008		PPM		1.000		
序号	起点	终点	DX(米)	DY(米)	DZ(米)	测球距离(米)	测球距离差(毫米)	备注
B1	GTB2	GTB1	1685.150	639.427	-257.943	1817.293	-0.835	23.204 合格
B2	GTB2	GTB1	1685.150	639.434	-257.942	1817.294	0.835	23.204 合格
B7	GTB3	TN01	7592.348	-642.662	2808.577	8107.651	-3.428	32.216 合格
B8	GTB2	TN01	1508.951	182.129	370.122	1561.586	-1.208	23.054 合格
B9	GTB1	TN01	-176.196	-457.309	628.062	796.107	-0.474	22.739 合格
B10	GTB3	TN01	7592.352	-642.674	2808.586	8107.658	3.428	32.216 合格
B11	GTB2	TN01	1508.954	182.117	370.121	1561.588	1.208	23.054 合格
B12	GTB1	TN01	-176.195	-457.310	628.063	796.108	0.474	22.739 合格
B14	GTB3	TN04	8853.449	-461.152	2016.137	7136.114	-0.041	30.321 合格
B15	GTB2	TN04	770.049	363.657	-422.306	948.580	1.223	22.786 合格
B16	GTB1	TN04	-915.098	-275.794	-164.375	956.903	-0.737	22.789 合格
B18	GTB3	TN04	8853.445	-461.144	2016.151	7136.115	0.041	30.321 合格
B19	GTB2	TN04	770.050	363.640	-422.316	948.578	-1.223	22.786 合格
B20	GTB1	TN04	-915.100	-275.786	-164.375	956.904	0.737	22.789 合格
B23	GTB3	TN09	5526.908	-838.551	2060.769	5926.497	1.604	28.160 合格
B24	GTB2	TN09	-556.498	-13.757	-377.685	662.956	-0.597	22.705 合格
B25	GTB1	TN09	-2241.637	-653.193	-119.743	2327.366	-0.294	23.566 合格
B28	GTB3	TN09	5526.901	-838.540	2060.780	5926.493	-1.604	28.160 合格
B29	GTB2	TN09	-556.491	-13.757	-377.684	662.957	0.597	22.705 合格
B30	GTB1	TN09	-2241.639	-653.189	-119.745	2327.366	0.294	23.566 合格

图1控制网重复性基线较差计算表

加常数 a(米)		0.008		PPM		1.000		
合格与不合格判定标准		水平差+垂直差		闭合环边数		3		
序号	线路点号	DX 闭合差 (毫米)	DY 闭合差 (毫米)	DZ 闭合差 (毫米)	长度闭合差 (毫米)	环总长度 (米)	相对闭合差 (ppm)	备注
1	TN04-GTB2-GTB1	-0.1	0.5	-1.2	1.3	3741.091	0.35	合格
	闭合差限值(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
2	TN01-GTB1-GTB2	0.9	0.7	-1.4	1.8	4181.720	0.2	合格
	闭合差限值(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
3	TN09-GTB1-GTB2	1.5	-1.5	-0.4	3.1	4831.367	2.4	合格
	闭合差限值(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.2			
4	GTB1-GTB2-GTB3	2.4	-2.1	-2.1	3.9	16497.247	2.5	合格
	闭合差限值(毫米)	2.6	2.6	2.6	4.5			
5	TN04-GTB2-GTB3	2.9	-3.5	-3.3	4.2	14714.876	2.5	合格
	闭合差限值(毫米)	3.5	3.5	3.5	4.6			
6	TN01-GTB2-GTB3	2.4	2.4	4.1	3.7	16290.581	0.3	合格
	闭合差限值(毫米)	4.6	4.6	4.6	4.4			
7	TN09-GTB2-GTB3	3.0	-2.9	-2.9	2.8	13236.192	2.4	合格
	闭合差限值(毫米)	3.3	3.3	3.3	4.1			
8	TN09-GTB2-TN04	1.8	1.6	1.7	2.8	3003.141	2.0	合格
	闭合差限值(毫米)	1.8	1.8	1.8	3.1			
9	TN04-GTB2-	-0.6	-1.0	0.9	1.5	3613.463	0.41	合格

图2控制网同步闭合环计算表

(GTB03)。GNSS连续运行基准站位置选择合理,观测墩和保护房的修建满足设计要求;按B级网精度要求,将3个基准站与6个IGS永久跟踪站(CHAN长春、TWTF台湾、BJFS北京、JFNG武汉九峰、HKWS香港、LHAZ拉萨)进行联测,在ITRF框架下进行三维约束平差获得ITRF框架下坐标。将新建的3个GNSS

参考文献

[1]张盟. GNSS测绘技术的特点及其在工程测绘中的运用[J]. 科技资讯. 2021,19(36).
[2]王辉. GNSS测量技术在地下水监测工程中的应用探讨[J]. 内蒙古水利. 2023,(5).39-40.
[3]堵景林, 卢金存, 刘海南, 等. 基于GNSS的工程测量方法研究[J]. 黑龙江科学. 2022,13(10).
[4]杨龙. GPS技术在建筑测绘领域中的应用探索[J]. 智能建筑与工程机械. 2022,4(6).
[5]郑一涛. GNSS测绘技术在工程测绘中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2023,(02): 99-101.

后处理矢量统计
参考因子: 1.00
冗余号: 75.00
先验验量: 1.74

控制坐标比较

显示的值是控制坐标减去平差坐标。

点ID	Δ东坐标 (米)	Δ北坐标 (米)	Δ高程 (米)	Δ高度 (米)
GTB1	0.005	0.002	?	-0.059
GTB2	-0.003	-0.002	?	0.032
GTB3	0.005	0.004	?	-0.070

控制点约束

点ID	类型	东σ (米)	北σ (米)	高度σ (米)	高程σ (米)
固定 = 0.000001(米)					

已平差网格坐标

点ID	东坐标 (米)	东坐标 误差 (米)	北坐标 (米)	北坐标 误差 (米)	高程 (米)	高程 误差 (米)	约束
GTB1	0.047	0.001	-0.001	0.001	?	?	
GTB2	1780.232	0.001	365.367	0.001	?	?	
GTB3	7559.361	0.001	-2792.827	0.001	?	?	
TN01	266.778	0.001	750.094	0.001	?	?	
TN04	952.013	0.001	-97.077	0.001	?	?	
TN09	2327.396	0.001	-8.962	0.001	?	?	

通过自由平差得到的坐标仅用于网内部精度分析,不应用作最终结果。

file:///C:/Users/libao/AppData/Local/Temp/TBCTemporal/a1jhhghg.gcg/a391f6cd.html 2019/11/6

图3无约束网平差报告

连续运行基准站点与双江口水电站枢纽区3个平面监测控制网点TN01、TN04、TN09进行组网联测,获取GNSS连续运行基准站点在双江口水电站独立坐标系下的坐标(与枢纽区平面监测控制网坐标系一致)。

综上所述,双江口水电站枢纽区GNSS连续运行基准站建设过程中,点位选择合理,使用仪器设备先进可靠,作业过程规范,相关内业数据处理科学、严密,系统经过调试、试运行,总体运行情况良好,没有故障发生,在技术、功能等方面达到了设计和规范要求,成果质量合格,满足双江口水电站枢纽区GNSS自动化监测的需要。

五、结语

全球导航卫星系统(GNSS)测量技术在工程测量领域的广泛应用,显著推动了测绘行业的技术革新与进步。随着技术的持续优化与创新,GNSS技术必将持续提升测量精度、提高工作效率以及降低相关成本方面发挥其关键作用,为我国工程建设和社会发展提供坚实的技术支持。