

# 基于 EGM2008 的 RTK 高程测量探析

唐样

天津华北地质勘查局核工业二四七大队

DOI: 10.12238/ems.v6i10.9347

[摘要] RTK 是当前工程测量中应用的关键技术之一, 该技术有利于提升水准面测量精度, 控制单稀少情况。本文针对工程 RTK 高程测量进行分析研究, 文章实施研究 EGM2008 模型在 RTK 高程测量中应用, 深入了解 EGM2008 模型后, 结合具体项目, 研究 EGM2008 在 RTK 高层测量中具体应用。通过研究发现, EGM2008 模型在测量中应用能够对单点误差进行校准, 从而使 RTK 工程测量精度更高, 值得推广应用。

[关键词] EGM2008 模型; RTK; 高程测量

## Exploration of RTK elevation measurement based on EGM2008

Tang Yang

Nuclear Industry 247th Brigade, North China Geological Survey Bureau, Tianjin

[Abstract] RTK is one of the key technologies currently applied in engineering surveying, which is beneficial for improving the accuracy of leveling surface measurement and controlling rare cases. This article analyzes and studies the engineering RTK elevation measurement, and implements the research on the application of the EGM2008 model in RTK elevation measurement. After a deep understanding of the EGM2008 model, combined with specific projects, the specific application of EGM2008 in RTK high-rise measurement is studied. Through research, it has been found that the EGM2008 model can calibrate single point errors in measurement, thereby improving the accuracy of RTK engineering measurements, and is worthy of promotion and application.

[Keywords] EGM2008 model; RTK; Elevation measurement

我国工程测量中, 以正常高系统为测量标准, 在应用 GNSS 测量之时需要在测量后完成大地高到正常高的转换。目前来看, 我国在实施大地高转换之时, 主要利用高程异常实施转换, 或者利用 GNSS 水准数据和数学模型形成高程拟合, 确认正常高后, 通过模型数据拟合以及校准, 提升高程的总体测量精度。而通过不断的研究发现, 利用 EGM2008 模型也可以实现高程测量数据整理, 将大地高精准转换为正常高, 为日后数据测量应用奠定基础, 提升数据测量应用效果。

### 一、EGM2008模型及其应用原理

EGM2008 模型, 即地球重力模型 2008, 是一个全球性的地球重力场模型。它由美国国家地理空间情报局 (NGA) 和德国地学研究中心 (GFZ) 合作研发, 目的是提供一个高精度的地球重力场描述。EGM2008 模型覆盖了从地球表面到高度约

200 公里的空间范围, 其精度在地球表面达到约 10cm。该模型广泛应用于地球科学、海洋学、导航、测绘学以及地球物理学等领域。EGM2008 模型研究应用, 标志着地球重力场模型研究的一个重要进步, 为社会生产生活领域研究和应用提供了重要的数据支持<sup>[1]</sup>。

EGM2008 模型已经在现代社会中广泛应用, 而其在高精度高程测量中应用已经得到认可。该模型在高程测量中实践应用研究发现, 系统的高程异常与 GPS 水准高程异常存在一定的差距, 在多个方面展现出优势, 以下表 1 为两种高程测量误差对比分析。其实通过实践反馈来看, EGM2008 模型在测量中, 其模型分辨率、精度以及阶次都比 GPS 更好, 并且也是重力场模型中精度最高的, 所以该模型在测量系统中已经广泛, 并且成为重点研究对象。

表 1 EGM2008 模型高程误差与 GPS 水准高程误差对比

	华北	华南	华东	西部	全国
最小值 (m)	-0.42	-0.48	-0.57	-0.57	-1.06

最大值 (m)	0.36	0.71	0.30	0.55	0.71
平均值 (m)	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.12
标准差 (m)	0.09	0.13	0.12	0.24	0.20

## 二、EGM2008模型在RTK高程测量中具体应用研究

### (一) 工程案例

新疆某地 1:2000 带状地形图测量项目, 测量范围长约 30 km, 宽度 600 m。测区自然环境恶劣, 地形以荒漠、戈壁滩为主, 平均海拔约 1 300 m, 地势较平坦, 控制点较为稀少, 水准测量的难度大。经综合考虑, 直接采用 RTK 进行地形测量工作。

### (二) EGM2008 模型在 RTK 高程测量中应用的基本原理

EGM2008 模型在测量中应用主要是对 RTK 高程测量模型进行分析, 整个高程测量实施的过程中, 借助 RTK 先完成大地高的快速精准测量, 之后利用模型对 RTK 高程测量的数据进行拟合校正, 如此一来, 能够全面提升高程测量拟合校正的应用精度与效率, 保证测量高效开展<sup>[2]</sup>。

### (三) EGM2008 模型与二次曲面拟合比较

本次 RTK 测量研究中发现, 在实施测量高程数据拟合的过程中, 也可采用二次曲面拟合数据, 该拟合技术是 RTK 传统测量工作中应用的一种特殊方法, 本次研究中, 该工程提前对两种方法进行了方案比选, 以确保研究更加精准高效。

EGM2008 模型为地球重力场模型, 该模型可提供全球范围内重力异常数据, 已经在地球科学、定位导航和测绘等领域。二次曲面拟合是一种数学数据处理方法, 用于二次方程来近似描述一组数据点。

1. 比较两种方法的精度与适用范围: EGM2008 模型是以高精度全球重力场信息为核心的拟合数据处理功能, 适用大范围地球科学研究。二次曲面拟合可用于局部区域数据处理, 精度取决于二次方程复杂度以及数据点分布情况。从此方面而言, EGM2008 模型的处理更科学, 本身受到数据精度的影响比较少, 所以理论上其工作精度更高。

2. 比较二者数据处理能力: EGM2008 模型在实施数据处理的过程中主要利用大量观测数据, 将观测数据直接带到复杂数学模型, 从而使数据处理的工作效率更高, 可切实提升数据处理精度, 而二次曲面拟合则以局部数据点统计分析为主要方法, 该方法背景之下, 依然对数据量和分布情况有所依赖, 所以从数据处理方面的对比也可发现问题。

3. 对应用场景进行分析: 应用场景代表两种方法的适用性, 场景适应性较强, 应用效果越好。EGM2008 模型适用于需要全球重力场信息的场景, 如卫星轨道计算、大地测量等多个方案, 适用场景比较多。二次曲面拟合则适用于需要对特定区域进行精确建模的情况, 如地形分析、工程设计等方面, 相比于 EGM2008 模型, 二次曲面拟合方法的场景比较小,

适用性等级较低, 无法满足需求, 所以更适合应用。

4. 比较二者的计算复杂度: 复杂程度代表二者的应用便利性, 计算越简单, 代表二者工作方式越简单。通过对比分析发现 EGM2008 模型的构建和应用涉及复杂的数学运算和大量的数据处理, 计算量较大。二次曲面拟合相对简单, 计算效率较高, 适合快速处理局部数据。

在实际应用中, 选择 EGM2008 模型还是二次曲面拟合, 需要根据具体的研究目标、数据可用性和精度要求来决定。对于需要全球视角和高精度重力场信息的研究, EGM2008 模型是更合适的选择。而对于局部区域的精确建模, 二次曲面拟合可能更为高效和适用。本次研究的工程, 工程测量范围比较大, 数据量比较多, 所以适合应用 EGM2008 模型。

### (四) EGM2008 模型在 RTK 高程测量中具体应用要点分析

EGM2008 模型在 RTK 高程测量中应用是一种提升精度的方法, 在上述工程中, RTK 测量后可利用 EGM2008 模型进行数据拟合分析。以下是对应用要点研究。

#### 1. 创建 EGM2008 模型的高程数据转换方法

创建模型高程转换方案为后续测量管理奠定基础。在转换方案研究中, 分别设置基站点、流动点为 O 和 P, 将两点的大地高、正常高、高程异常、高程误差的综合数据设置为  $H_0$ 、 $h_0$ 、 $C_0$ 、 $D_0$  和  $HP$ 、 $h_P$ 、 $CP$  和  $DP$ , 按照此数据设置正常高计算公式。

其中 P 点正常高公式为  $h_P = h_0 + \Delta h_{0P} - \Delta h_{0P} = \Delta H_{0P} - \Delta D_{0P}$

在公式中  $\Delta h_{0P}$  为流动点正常高与基站点差值,  $\Delta h_{0P}$  为基站点与流动点的高程误差。

按照该公式如果此时已知  $H_0$ 、 $h_0$  以及  $D_0$  等数据, 便可直接获取 RTK 测量值, 从而计算流动点的正常高。在实施设计的过程中, 本文利用 EGM2008 模型已经创建了多个高程情形, 设定地面高程误差为  $D_i$ , 可将异常分为短波和长波两大部分, 其中短波设定为  $D_{ig}$ 、长波则设定为  $D_{idm}$ , 获取长波与短波的相关数据之后, 利用全球大地水准面和国家高程基准偏差常数设定两大组成部分, 同一点设计  $D_{ig}$  相等<sup>[3]</sup>。

转换计算之时, 如果能够利用 RTK 测量数据直接精准获取  $H_0$  和  $HP$  数据, 确认数则需要转换与校准, 将二者差值设置为  $\Delta h_{0P}$ , 计算该差值获得数据就是大地高与正常高的差值, 此时便能够利用 RTK 测量数据, 精准计算正常高数据。按照上述公式  $\Delta h_{0P} = \Delta H_{0P} - \Delta D_{0P} - \Delta D_{dm}$ 。

#### 2. 近似正常高差精度估算

近似正常高差精度估算是 EGM2008 模型应用关键, 对于

系统应用有非常重要的作用。通过对正常高差精度估算进行分析研究可知,目前模型估算实施极为关键,可切实提升高程精度估算应用效率。在研究正常高差精度估算之时,确定高差精度估算公式为 $m^2\Delta H0p=m^2\Delta 0p+m^2\Delta 10p+m^2\Delta J0p+m^2\Delta D0p$ ,在公式中 $m$ 代表定位偏差,通过高程根据转换以及高差精度估算,实施拟合分析,最后进行拟合评定,确定测量误差<sup>[4]</sup>。

### 3. 测量数据采集与分析

测量数据采集极为重要,工程中先用RTK系统获取基础高程数据,之后再利用EGM2008模型实施数据转换。实际上,在系统应用的过程中,要求创建新模块,才可以保证系统应用高效执行。(1)选择RTK系统设备。在实施RTK测量前,按照测量工程基本情况合理选择测量设备,才能够确保后续测量高效开展。在本项目实施测量的过程中,准备RTK设备接收机为拓普康HIPER接收机,该接收机具有高性能优势,将GPS天线、主板、锂电池以及通信板设置为一个主体,设置为24通道、实现双频测量、创建锂电池集成。发射和接收机在应用的过程中,可设置发射和接收电台、构建UHF和CDMA通讯、创建作业半径可超过15km。实际上,RTK技术可实现平面10mm和1.5ppmD定位。(2)RTK设备应用测量的过程中,采用《全球定位系统实时动态测量(RTK)技术规范》,该规范的应用主要是明确RTK技术的使用要点,该技术应用中需要按照上述标准设计相关作业方案,明确具体作业要点,实施项目的多元化管理管控工作,发现项目测量测绘出现问题则可实施多元化管理,解决实际管理中存在的问题。(3)测量前首先进行精度检核,到远离校正点的其他控制点检核测量的精度。选择线路方向远离校正点15km的控制点进行检核,经检核,平面较差为4.6cm,高程较差为-5.7cm,可以满足1:2000比例尺地形图图根点、地形点测量的精度要求。(4)准确把握测量要点。测量基准站需要科学设置。按照测量要求和相关规范,将RTK接收机、发射电台以及天线等重要结构安装到指定位置,设置为专业测量基准站;要求将基准站设置于测区高位、清理周边障碍物,并对控制点数据实施校准。校准完成后,设置已知点和检查点,在实施检查的过程中,观测卫星数量,将其设置为颗。(5)对于满足RTK测量要求的大部分区域,直接使用RTK进行碎部测量,效率较高;卫星信号遮挡等不能满足RTK测量要求的区域,首先布设RTK图根点,使用全站仪以图根点为起算点进行碎部测量。全站仪和RTK配合测量,提高了地形测量的工作效率<sup>[5]</sup>。

### 4. 拟合数据研究

利用RTK测量完成后采集数据坐标,了解数据高程异常

之后,明确测量工作要点,整个测量工作开展的过程中,必须要明确目标,为后续的测量管理奠定基础。在项目实施测量的过程中,设置5个测量点,利用RKT技术获取测量坐标后利用EGM2008模型进行数据拟合,同时也采用传统RTK测量数据拟合方法进行数据分析,通过此种方式,对比两种拟合数据,确认EGM2008模型的应用效果,以下表2是对RTK高程测量拟合数据对比进行分析。通过对已知点和检验点的拟合精度计算比较而言,二次曲面拟合内符合、外符合精度均达到1.10940/1.00510、EGM2008拟合精度则可以达到1.30207/1.19976,通过两组数据对比研究可知,EGM2008模型的计算方法精度更高,更适合符合RTK测量,完成高程测量与控制。

表2 两种拟合方法的应用结果

已知点	二次曲面拟合	EGM2008 拟合结果
A1	0. 122 55	0. 231 62
A2	- 1. 893 00	- 1. 704 24
A3	0. 413 54	0. 338 53
A4	- 0. 782 75	- 0. 960 55
A5	0. 119 96	0. 148 72
检验点		
B1	1. 019 5	- 0. 676 15
B2	- 1. 416	- 0. 259 32
B3	0. 613 06	0. 439 76
B4	- 1. 905 75	- 1. 252 49
B5	2. 290 54	1. 780 32

### 结束语

本文全面总结RTK高程测量中EGM2008模型的具体应用,实践证明,该测量工作适合在工程测量中应用,比传统RTK数据测量数据处理方法的精度更高,更适合在高程测量工程中应用。希望本文研究能够对RTK测量技术发展有所帮助。

### [参考文献]

- [1]李嘉豪,洪亮,刘仁钊,等.基于EGM2008精化模型的无人机免像控地形测量应用研究[J].城市勘测,2023(5):130-133.
- [2]翟兴华,许文婧,吴学文,等.RTK高程测量精度验证[J].测绘标准化,2022(002):105-108.
- [3]金飞,罗保林,张怀阳,等.多源融合的RTK测量数据处理系统的设计与实现[J].测绘与空间地理信息,2023,46(10):65-67.
- [4]梁旺.基于千寻定位的铁路定测GNSS RTK中线测量数据分析[J].铁道勘察,2022,48(4):20-23.
- [5]韦子豪.GNSS接收机动态测量精度检定系统的研究[D].华北理工大学,2022.