

铁路勘测中几种常用高程拟合模型研究

王万祥

陕西铁道工程勘察有限公司 西安 710000

摘要: 在铁路勘测中, GPS-RTK 作业常用到几种高程拟合模型, 每种模型都有自己的适用范围, 且精度不一, 选取哪一种模型最优是困扰测绘人员的难题之一, 文中通过工程实例对几种模型精度进行对比分析, 得出有益结论。

关键词: 高程拟合; 固定差; 平面拟合; 曲面拟合

Study on several common elevation fitting models in railway survey

Wanxiang Wang

Shaanxi Railway Engineering Survey Co., LTD., Xi 'an 710000

Abstract: In railway surveys, several elevation fitting models are commonly used in GPS-RTK operation. Each model has its scope of application, and the accuracy is different. Which model to choose is the best is one of the difficult problems for surveying and mapping personnel. In this paper, the accuracy of several models is compared and analyzed by engineering examples, and some useful conclusions are drawn.

Keywords: elevation fitting; fixed difference; plane fitting; surface fitting

在铁路初定测中, 常常利用GPS-RTK进行中线放样、断面测量等工作。GPS-RTK作业前会选择若干控制点求取校正参数。控制点的选择直接影响参数的精度, 进而影响观测数据质量。林春峰通过研究证明: 平面转换精度与控制点的选取关系不大, 但高程拟合精度却与高程控制点数量、位置分布等影响因素紧密相关^[1]。郝玉珠等从原理、算法上对GNSS高程拟合进行阐述^[2]。文中利用某项目精密控制网对GPS-RTK高程拟合的3种常用模型进行分析研究, 得出有益结论。

1 高程拟合

由于地球表面地形复杂, 各处重力不等, 无法用一个精确的模型来模拟地球。虽然可以通过水准测量、重力测量、似大地水准面精化等方法获得正常高^[3], 但成本、效率和适用范围是制约之处。

在较小面积工程实施中, 利用少量控制点的正常高和大地高成果, 可以快速获得该区域内任意点一定精度的正常高成果^[4]。因此在日常工作中应用广泛。铁路勘测中常用拟合模型有固定差、平面拟合和二次曲面拟合。

1.1 固定差模型

固定差顾名思义, 将测区内高程异常 ζ 假定为一个

常数, 高程异常 ζ 、大地高 H 和正常高 h 之间的关系为

$$\zeta = H - h \quad (1)$$

根据该高程异常 ζ 很容易求取其他点位的正常高 h 。

实际工作中, 控制点往往选择3个以上, 因此固定差拟合通常会若若干个控制点的高程异常求取平均值, 然后对实测点的大地高进行实时改正, 得到点位的正常高。公式如下:

$$h_i = H_i - \zeta_{\text{平均}} \quad i=1, 2, 3 \dots n, n \text{ 为整数} \quad (2)$$

如果各点的高程异常差别较大时, 往往拟合后的高程残差大, 导致精度较低, 该方法不建议使用。

1.2 平面拟合

平面拟合模型是将测区看成一个平面, 利用既有的若干个控制点的坐标 (x, y) , 建立该平面函数, 然后内插平面内各个点的正常高。每个点的正常高是其平面坐标的函数, 如下:

$$H_i = ax_i + by_i + c, \quad i=1, 2 \dots n, n \text{ 为整数} \quad a, b, c \text{ 为其系数} \quad (3)$$

可以由3个以上点求出系数 a, b, c , 然后根据公式(3)将其他待求点坐标代入公式即可求得该点的正常高。

1.3 曲面拟合

GPS-RTK 中默认的曲面拟合为二次曲面拟合, 其原理为:

$$Z = AX + B \quad (4)$$

$$Z = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_n \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_n y_n & y_n^2 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_6 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} \quad \text{式中 } n \geq 6 \text{ 且 } n \text{ 为正整数。} \quad (5)$$

上式可以看出有6个未知数, 至少需要6个点才能进行曲面拟合计算。

从公式看, 曲面拟合效果最好, 真实情况如何? 我们进行实例分析。从某项目精密控制网中挑选一段控制网, 其控制点均包含精确的大地高和正常高, 从其中挑选若干点作为拟合点, 其余点位作为检核点, 通过对比

检查点拟合高程与其正常高的较差来判断模型优劣。

2 数据分析

利用西南某高铁项目的精密控制网成果进行分析。收集到某区域控制点如图分布:

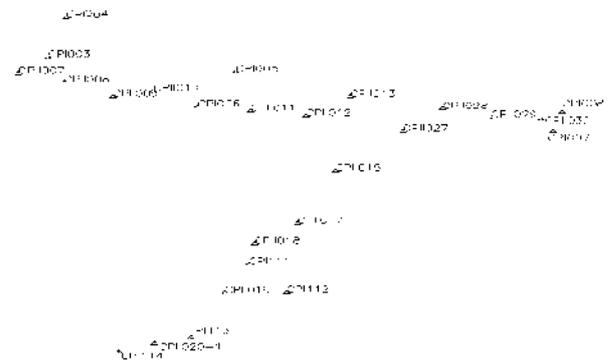


图1 某区域点位分布图

利用最外围的6个点CPI003、CPI004、CPI007、CPI008、CPI113、CPI114的成果拟合内部其余点, 通过对比拟合高程与正常高的较差来评判模型的优劣。对比结果见下表1:

表1 某区域拟合高程较差统计表

点号	CPI005	CPI006	CPI111	CPI112	CPI007	CPI008	CPI009	CPI010	CPI011	CPI012
固定差拟合较差 (m)	-0.054	-0.048	0.041	0.071	-0.157	-0.136	-0.08	-0.083	-0.017	0.008
平面拟合较差 (m)	0.001	0.012	0	-0.003	0.012	0.005	0.029	0.007	0.013	0.006
曲面拟合较差 (m)	-0.006	0.005	0.003	0.007	0.01	0.001	0.022	0	0.007	0
点号	CPI013	CPI015	CPI017	CPI018	CPI019	CPI020-1	CPI027	CPI028	CPI029	CPI030
固定差拟合较差 (m)	0.047	0.058	0.055	0.04	0.043	0.03	0.071	0.093	0.1	0.145
平面拟合较差 (m)	0.03	0.015	0.008	0.005	0.001	0.001	0.011	0.022	0	0.019
曲面拟合较差 (m)	0.023	0.015	0.011	0.006	0.005	0.002	0.008	0.017	-0.003	0.017



图2 某区域三种不同拟合模型高程较差统计

从该数据对比可以分析得:

- (1) 固定差拟合高程精度最差, 高程异常误差最大可达0.157m;
- (2) 平面拟合精度和曲面拟合精度相当, 但曲面拟

合高程精度最高且更接近其正常高。

3 项目实例

数据分析后, 我们基本确定曲面拟合精度最高。对此进一步验证, 以西部某高铁项目为例, 通过对某段中线, 采用不同的拟合模型放样, 对比放样结果, 来进一步判断结论的正确性。

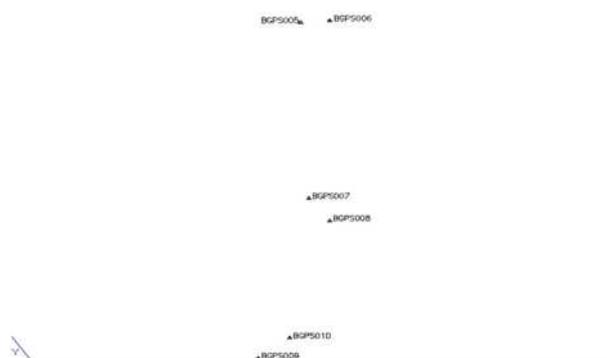


图3 中线放样采用控制点分布示意图

在分析对比时,我们使用中海达V90GNSS接收机,采用单基站RTK作业方式,导入对应的控制点。分别采用固定差模型、平面拟合模型、曲面拟合模型,对比各种模型下控制点的残差,同时利用BGPS005进行点检验,检核BGPS008对比其较差。采用固定差模型时,高程精度最差,控制点残差达到-51.6mm,点校验后检核控制点BGPS008高程较差达到99mm,远超《高速铁路工程测

量规范》TB10601-2009限差要求,因此不能采用。

平面拟合和曲面拟合模型,求取的基准转换参数均满足规范要求,并且流动站检核已知点BGPS008时,平面较差和高程较差均小于限差。

由于固定差模型高程精度差,中线放样不采用该模型。只对比平面拟合模型和曲面拟合模型。放样中线长度为200米,对比5个中线点,对比结果见表2:

表2 平面拟合模型和曲面拟合模型放样中线较差统计表

中线成果									
里程	平面拟合模型 (m)			平面拟合模型 (m)			残差 (mm)		
	N	E	H	N	E	H	N	E	H
DK119+687.0	3673115.070	506527.766	417.600	3673115.066	506527.778	417.614	-4	12	14
DK119+710.0	3673092.224	506524.902	435.744	3673092.231	506524.920	435.736	7	18	-8
DK119+766.5	3673036.184	506517.641	457.003	3673036.197	506517.661	457.013	13	20	10
DK119+837.6	3672965.786	506508.027	495.966	3672965.775	506508.013	495.994	-11	-14	28
DK119+877.8	3672925.921	506502.358	516.760	3672925.929	506502.370	516.770	8	12	10

通过上对比,可以发现平面拟合和曲面拟合模型二者精度相当,放样中线较差较小,满足《高速铁路工程测量规范》TB10601-2009限差要求。

4 结论

经过数据分析和项目实例对比验证,我们可以得出以下结论:

- 1) 参与高程拟合的控制点,正常高和GPS大地高必须有足够的精度,否则自身误差将影响拟合效果;
 - 2) 一般较小面积区域,平面拟合和曲面拟合两种模型精度相当,均可以满足铁路勘测工作要求;
 - 3) 曲面拟合模型的精度相对更高。
- 针对较小区域,我们已有结论,但是在地形复杂区

域、控制点分布状况较差区域,或者是高程异常变化剧烈的高原地区,该结论是否继续适用,我们后续将进一步研究。

参考文献:

- [1]林春峰.GNSS RTK 高程拟合控制点选取工具设计与实现[J].铁道勘察, 2021, 05 (06): 21-23.
- [2]郝玉珠,罗竹,张俊.几种常用GPS高程拟合模型对比分析[J].四川地质学报, 2017, 06 (37): 335-337.
- [3]张红华,孙月文.GPS高程拟合方法及精度分析[J].测绘与空间地理信息, 2014, 37 (2): 132-134.
- [4]杨江波,李为乐,余代俊,等.GPS高程拟合方法的实验研究[J].测绘科学, 2009, 34 (3): 54-57.