

# 2005 珠峰测高 GPS 测量及其数据处理

党亚民<sup>1</sup> 程传录<sup>2</sup> 陈俊勇<sup>3</sup> 张 鹏<sup>4</sup>

- (1 中国测绘科学研究院, 北京市海淀区北太平路 16 号, 100039)
- (2 国家测绘局大地测量数据处理中心, 西安市友谊东路 334 号, 710054)
- (3 国家测绘局办公室, 北京市百万庄三里河路 9 号, 100083)
- (4 国家基础地理信息中心, 北京市紫竹院百胜村 1 号, 100044)

**摘 要:**介绍了各种不同 GPS 测量的特点和数据处理方法, 结合珠峰峰顶 GPS 观测自然环境恶劣的特点, 分析了各种计算方案, 确定了一种合理的解算珠峰高程的 GPS 数据处理方案, 取得了较为满意的计算结果。  
**关键词:**珠穆朗玛峰; GPS; 高程; 测量  
**中图法分类号:**P228.41

1975 年, 我国第一次对珠峰海拔高程进行了正式测量, 这次珠峰高程测量采用了包括天文、三角、水准、重力、三角高程等大地测量技术<sup>[1,2]</sup>。此外, 还利用高空探测气球实际测量气象元素, 对大气折射、山顶覆雪等因素进行了研究和综合考虑。自 1975 年以后, 随着新的大地测量技术在珠峰高程测量中的广泛应用, 珠峰高程测量又成为一个新的研究热点。我国科研人员先后在 1992 年、1998 年和 1999 年利用 GPS 技术, 结合常规大地测量手段, 单独或通过国际合作, 在珠峰地区进行了多次以珠峰高程测量为主要目标的科研项目, 获得了一批重要科研成果<sup>[4-9]</sup>。2005 年, 国家测绘局组织了自 1975 年以来最具权威的一次珠峰高程复测, 这次珠峰测量和 1975 年第一次对珠峰海拔高程测量最大的不同是 GPS 技术的引入。众所周知, GPS 具有很高的定位精度, 但由于珠峰恶劣的观测环境, 珠峰 GPS 测量和数据处理也成为珠峰高程测定的一个关键技术问题。

## 1 2005 珠峰测高 GPS 测量

2005 珠峰测高 GPS 测量包括青藏地区地壳运动 GPS 监测网以及 GPS 网之间的联测工作, 珠峰地区 GPS 控制网测量, 珠峰峰顶高程 GPS 联测。不同的 GPS 测量根据其具体的要求和观

测环境, 观测时间从数十 h、数 h 到数十 min 不等。测量仪器使用了 ASHTECH Z-3、TRIMBLE 5700 高精度的 GPS 接收机, 确保了珠峰测高 GPS 测量结果的精度。

### 1.1 青藏地区地壳运动 GPS 监测网测量

在 2005 珠峰测高中, 青藏地区地壳运动 GPS 监测网观测是其中最重要的工作之一, 也是开展珠峰 GPS 高程测量前期基础性的测绘任务。青藏地区地壳运动 GPS 监测网由 30 个点组成, 该网测量的目的主要是为了监测青藏地区的地壳运动特征, 开展相关的地球动力学研究, 同时也为后期开展的 2005 珠峰 GPS 控制测量提供基准和控制作用。此外, 为了更好地研究青藏地区现今的地壳运动特征, 更有效地利用青藏地区过去积累的 GPS 地壳监测资料, 此次 2005 珠峰测高还进行了该 GPS 监测网与中国地壳运动观测网络工程 GPS 网及原青藏地区 GPS 监测网的联测工作, 联测点共有 18 个(见图 1)。

青藏地区地壳运动 GPS 监测网北起青海的格尔木、五道梁, 其中格尔木也是监测网最东端的一个点; 青藏地区地壳运动监测网的大多数监测点在西藏, 主要包括安多、温泉、当雄、洞错、日喀则、嘎拉、定日、珠峰北、拉孜、岗巴等点, 其中定日、珠峰北、拉孜、岗巴等点位于珠峰高海拔地区。该监测网观测从 2005 年 3 月 16 日开始, 4 月 8

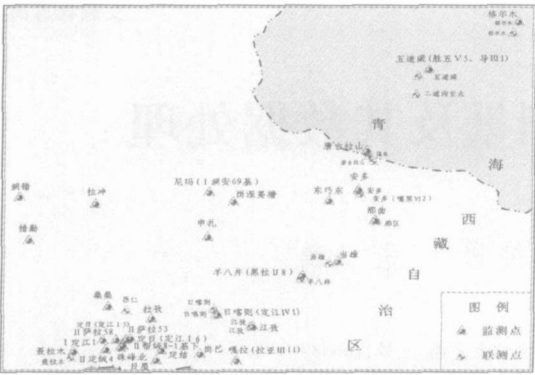


图1 2005 年珠峰测高 GPS 监测网及联测网  
Fig.1 GPS Crustal Deformation Network of the 2005' Qomolangma Height Surveying

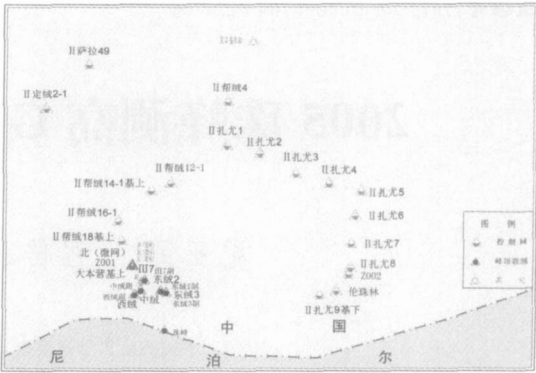


图2 2005 年珠峰测高 GPS 控制网及峰顶联测  
Fig.2 GPS Geodetic Control Network and GPS Measurements on the Peak of Qomolangma

日结束。观测采用了 GPS 连续运行站的观测模式, 每点观测 48 h, 实际测量时, 利用多台 GPS 接收机同步进行观测。

在开展青藏地区地壳运动 GPS 监测网观测的同时, 还开展了该监测网与中国地壳运动观测网络工程 GPS 网及原青藏地区 GPS 监测网 18 个 GPS 联测点的联测工作, 其中每个联测点的观测时间为 8 h。

1.2 2005 珠峰测高 GPS 控制网测量

在完成了青藏地区地壳运动 GPS 监测网的观测任务后, 同时也为珠峰高程测量奠定了良好的基础。但由于珠峰复杂的地貌以及这次珠峰测高本身也是复杂庞大的系统大地测量工程, 所有这些都要除了建立用于青藏地区地壳特征和地球动力学研究的 GPS 监测网之外, 还需要建立一个用于珠峰地区综合大地测量目的的 GPS 控制网, 这些 GPS 控制网可以形成 GPS/ 水准点, 辅以加密重力测量等, 精确确定珠峰高程测量的起算点, 并用于大地水准面精化。此外, 这些 GPS 控制测量网点也是后期开展珠峰 GPS 高程测量的基准点(见图 2)。

珠峰 GPS 控制网由 32 点组成, 其中和 GPS 监测网重合的点有 6 个。珠峰 GPS 控制网的观测从 2005 年 5 月 9 日开始, 6 月 4 日结束, 每点观测 8 h。

1.3 2005 珠峰测高 GPS 高程测量

GPS 高程测量是 2005 年珠峰高程测量最关键和最重要的观测任务。峰顶的 GPS 接收机于 2005 年 5 月 22 日 11:43:55 开始工作, 12:19:32 观测结束。

峰顶 GPS 联测共有 8 个点, 其中包括 2 个 GPS 控制网点, 峰顶 GPS 观测点的观测时间长度为 35 min 37 s, 其他测站的观测时间为 8 h。为

了获得尽量多的 GPS 观测数据, 2005 年珠峰峰顶 GPS 联测首次将数据采样率设为 1 s。

2 2005 珠峰测高 GPS 数据处理

如上所述, 2005 珠峰 GPS 测量的数据处理也包括三个方面的内容, 即青藏地区地壳运动 GPS 监测网数据处理、珠峰地区 GPS 控制网数据处理和珠峰 GPS 高程测量数据处理等。

2005 珠峰测高 GPS 测量数据处理利用了著名的 GAMIT/GLOBK 软件, 采用了 IGS 精密星历, 并以 ITRF2000 为参考框架。利用 GAMIT 软件进行数据处理时, 各点先验坐标的确定是保证数据处理的一个关键环节。在 2005 珠峰测高 GPS 测量数据处理中, 先验坐标采用差分的方法获得, 即以北京房山(BJFS)、武汉(WUHN)、拉萨(LHAS)和乌鲁木齐(URUM)等 GPS 连续运行站为基准站进行差分, 求得 GPS 观测站的先验坐标。此外, 根据 2005 珠峰测量三种 GPS 网各自的特点, 数据处理中数据采样间隔也各有不同, 其中 GPS 监测网数据采样间隔为 30 s, GPS 联测点数据采样间隔为 15 s, GPS 控制网数据采样间隔为 15 s。峰顶 GPS 联测数据处理时, 由于观测数据采样为 1 s, 因此为选用各种采样间隔进行数据预处理提供了便利。经过比较分析, 峰顶大地高最终解算数据采样间隔确定为 2 s。

青藏地区地壳运动 GPS 监测网和珠峰 GPS 控制网数据处理时, 将周边地区的 GPS 连续运行站纳入其中。也就是说, 在三种 GPS 网数据处理中, 青藏地区地壳运动 GPS 监测网选择以 GPS 连续运行站为框架点, 珠峰 GPS 控制网以青藏地区地壳运动 GPS 监测网部分点和 GPS 连续运行站为基准点, 而峰顶 GPS 联测网则以珠峰 GPS

控制网部分点为基准点。具体地说, 青藏地区地壳运动 GPS 监测网数据处理选取了珠峰周围地区 17 个 GPS 连续运行站作为参考点。2005 珠峰测高 GPS 控制网数据处理选取靠近珠峰地区的 13 个 GPS 连续运行站点, 将其作为参考站一起纳入到数据处理中。

利用 GAMIT/ GLOBK 软件进行数据处理的流程可概括为: 首先利用 GAMIT 处理每天的 GPS 观测数据, 即对每天的 GPS 相位观测值利用 GAMIT 软件解算出各个测站的坐标、大气延迟以及轨道参数等, 在数据处理中, 还包括了上面所提及的珠峰周边地区的 IGS 观测站数据; 然后利用 GLOBK 进行平差解算, 即利用第一步解算的站坐标、卫星轨道和其他参数及其协方差阵, 将其视作准观测值, 利用卡尔曼滤波方法估计一组统一的站坐标和速度场<sup>[11, 12]</sup>。

### 3 2005 珠峰测高 GPS 高程联测数据处理及分析

针对 2005 年珠峰高程联测的实际观测情况, 制定了详细的数据处理方案, 并对各种方案的结果进行了比较分析, 以期获得最合理、最满意和最准确的珠峰高程解算结果。

在峰顶 GPS 联测网的数据处理时, 因为峰顶 GPS 联测网的数据采样间隔为 1 s, 而 GPS 连续运行站的采样间隔为 30 s, 所以峰顶 GPS 联测网的数据处理不加入珠峰周边地区的 GPS 连续运行站, 仅包括了参与联测的临时 GPS 基准站。

#### 3.1 峰顶 GPS 联测数据预处理和分析

数据预处理时, 首先对峰顶的 GPS 观测数据进行动态数据处理, 并将其结果作为参考, 对峰顶数据进行检查处理和分析。数据预处理的静态数据部分, 考虑到峰顶观测条件的恶劣, 数据观测的起始阶段数据很不稳定, 因此, 选择不同的数据起始观测点, 即每隔 1 min 选择一个起始点, 取 10 min 的数据采样长度(开始时间段为 3: 43~ 3: 55, 结束时间段为 3: 53~ 4: 05), 每次都对峰顶点的水平和高程计算结果进行比较分析, 计算结果见表 1 中方案 (ITRF2000 框架, 历元为 2005. 315, 采样间隔为 2 s), 表中,  $N$ 、 $E$  和  $U$  分别表示峰顶点解算在南北方向、东西方向和垂直方向的中误差。每隔 1 min 选择一个起始点, 取 15 min 的数据采样长度(开始时间段为 3: 43~ 3: 55, 结束时间段为 3: 58~ 4: 10), 每次都对峰顶点的水平和高程计算结果进行比较分析, 计算结果见

表 1 中方案 (采样间隔为 2 s)。

通过对静态数据预处理结果的分析不难看出, 在方案 F349 即 3: 49 时, 数据已趋于稳定。考虑到利用 10 min 的数据即可以获得比较准确的计算结果, 为稳妥起见, 确定以 3: 50 为这次数据处理的起始采样点。同样地, 每隔 1 min 选择一个结束点(结束时间分别为 4: 19、4: 18、...、4: 15), 每次都对峰顶点的水平和高程计算结果进行比较分析, 计算结果见表 1 中方案 (采样间隔为 2 s)。

表 1 数据预处理大地高计算结果及精度/m

Tab. 1 Preliminary Geodetic Height Result and Precision

	大地高	$N$	$E$	$U$
方 案	F343 8 817. 348 3	0. 056 24	0. 173 86	0. 097 62
	F344 8 817. 830 1	0. 049 81	0. 150 52	0. 085 16
	F345 8 818. 292 2	0. 049 26	0. 151 71	0. 085 31
	F346 8 820. 987 6	0. 034 42	0. 109 18	0. 063 95
	F347 8 820. 901 8	0. 049 54	0. 155 41	0. 089 55
	F348 8 821. 102 3	0. 048 23	0. 149 89	0. 085 94
	F349 8 821. 473 1	0. 048 27	0. 146 42	0. 085 99
	F350 8 821. 453 4	0. 047 88	0. 143 91	0. 085 01
	F351 8 821. 443 1	0. 049 36	0. 146 22	0. 089 14
	F352 8 821. 461 7	0. 048 11	0. 145 06	0. 086 07
	F353 8 821. 486 2	0. 047 78	0. 142 47	0. 085 45
	F354 8 821. 473 2	0. 047 59	0. 139 97	0. 084 90
	F355 8 821. 434 1	0. 047 62	0. 139 00	0. 085 13
	S343 8 819. 660 4	0. 030 62	0. 095 14	0. 053 54
	S344 8 819. 963 9	0. 028 74	0. 085 25	0. 049 14
方 案	S345 8 820. 530 8	0. 028 57	0. 087 74	0. 050 50
	S346 8 821. 006 5	0. 029 34	0. 087 12	0. 051 49
	S347 8 821. 270 5	0. 027 22	0. 082 61	0. 048 95
	S348 8 821. 351 2	0. 026 58	0. 081 75	0. 047 82
	S349 8 821. 493 7	0. 026 44	0. 079 32	0. 047 36
	S350 8 821. 489 5	0. 026 41	0. 078 46	0. 047 12
	S351 8 821. 472 2	0. 027 24	0. 079 47	0. 048 25
	S352 8 821. 431 2	0. 027 37	0. 079 23	0. 048 42
	S353 8 821. 423 2	0. 028 25	0. 080 17	0. 049 26
	S354 8 821. 419 2	0. 029 38	0. 080 66	0. 049 93
	S355 8 821. 390 4	0. 030 59	0. 081 66	0. 050 80
	F419 8 821. 419 0	0. 035 0	0. 024 4	0. 011 9
	F418 8 821. 418 9	0. 036 4	0. 025 2	0. 012 3
	F417 8 821. 415 6	0. 037 9	0. 026 2	0. 012 8
	F416 8 821. 413 3	0. 039 5	0. 026 9	0. 013 3
	F415 8 821. 416 7	0. 041 3	0. 028 0	0. 013 9

通过表 1 中方案 可以看出, 取几个不同的采样结束点, 计算结果有很好的 consistency。此次珠峰数据处理采样结束点时间确定为 4: 19。

#### 3.2 基于全球跟踪站珠峰雪面高程 GPS 数据处理

由于峰顶 GPS 观测站的数据采样为 1 s, 且通过数据的预处理发现, 峰顶的有效观测时间为 29 min, 为了确保数据处理结果的可靠性, 利用全

球参考站数据作基准,直接解算峰顶的 GPS 高程。具体解算中,选择 LHAS、DLHA、TASH、BAHR、HISC、KIT3 为基准站。由于全球跟踪站数据采样间隔为 30 s,所以在此计算方案中,数据采样间隔确定为 30 s,数据段为 3: 50~ 4: 19,峰顶 GPS 点高程计算结果见表 2(采样间隔为 30 s)。

表 2 基于全球跟踪站珠峰雪面大地高计算结果及精度/m

Tab. 2 Geodetic Height and Precision on Snow Peak of Qomolangma Based on Global Tracking Stations

点号	大地高	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>U</i>
000 F	8 821. 254 4	0. 062 1	0. 143 5	0. 095 5

3.3 珠峰雪面高程逐级控制 GPS 数据处理

为了更加有效地利用 1 s 采样间隔的峰顶 GPS 观测数据,同时考虑 GPS 全球跟踪站数据采样间隔为 30 s,因此,在珠峰联测 GPS 数据处理中,采用各等级控制网独立平差,高等级 GPS 网控制低等级网的原则。

珠峰 GPS 监测网平差数据采用全球 IGS 站的 H 文件、珠峰 GPS 监测网的 H 文件。在 ITRF2000 框架下,首先选取全球比较稳定的 55 个 IGS 站作为监测网的框架点,将 IGS 站点固定,进行三维约束平差解算,求出 GPS 监测网点在 ITRF2000 框架下平均瞬时观测历元的坐标。

联测点和控制网在 ITRF2000 框架下,将 IGS 站和监测网点固定,进行三维约束平差,求出珠峰 GPS 控制网点在 ITRF2000 框架下平均瞬时观测历元的坐标。

峰顶 GPS 观测网在 ITRF2000 框架下,将临时基准站和珠峰 GPS 控制网点固定,进行三维约束平差,求出峰顶 GPS 观测网点在 ITRF2000 框架下平均瞬时观测历元的坐标。由表 1 中方案、可以看出,随着观测时间的延长,观测精度也不断提高,因此,最终静态数据处理利用完整的 3: 50~ 4: 19 数据段计算,解算结果(平均瞬时观测历元为 2005. 315)见表 3(采样间隔为 2 s)。

表 3 珠峰雪面大地高解算结果及精度/m

Tab. 3 Geodetic Height and Precision on Snow Peak of Qomolangma

点号	大地高	<i>N</i>	<i>E</i>	<i>U</i>
000 F	8 821. 401 6	0. 019 9	0. 045 8	0. 030 3

4 结 语

和常规的 GPS 数据处理不同,珠峰峰顶 GPS

联测由于峰顶环境极端恶劣,采样数据时间短,因此,这次珠峰测量首次将数据采样设为 1 s。在数据处理中,如果联合全球站数据进行直接计算,必然会损失大量的 GPS 观测数据,为此,此次数据处理中采用了逐级控制、高等级 GPS 网控制低等级 GPS 网的原则,在珠峰峰顶 GPS 联测数据处理中,利用其余 7 个同样将数据采样设为 1 s 的同步控制点(其中两个控制点为此次珠峰 GPS 测量的上一级控制网)一起进行数据计算,确保了解算精度,这也为今后此类极端环境下的 GPS 测量和数据处理提供了一套行之有效的方法。

致谢:参加 2005 珠峰测高 GPS 测量工作的人员还有王小瑞、张江齐、陈现军、孙占义、岳建利和陈永军等,在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 陈俊勇. 珠穆朗玛峰高程计算[J]. 测绘通报, 1975 (4): 19-27

[2] 朱亮. 珠穆朗玛峰高程测定[J]. 中国科学, 1976 (2): 74-84

[3] 张赤军. 珠峰高程测定中的有关问题及思考[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 23(6): 675-678

[4] 陈俊勇, 张骥, 刘永诺, 等. 我国对世界最高峰高程的第三次测量[J]. 地球科学进展, 1994(4): 91-93

[5] 陈俊勇. 珠穆朗玛峰高程的一次最新测定[J]. 测绘通报, 1993(6): 3-6

[6] 党亚民. 珠峰高程复测有关问题的探讨[J]. 测绘科学, 2005(3): 101-103

[7] 张全德, 陈俊勇, 庞尚益, 等. 珠峰及邻近区域第四次大地测量[J]. 测绘科学, 2001(1): 10-15

[8] 陈俊勇. 我国 35 年来珠峰高程测定的思考[J]. 测绘学报, 2001(1): 1-5

[9] 陈俊勇, 张骥, 薛璋, 等. 珠穆朗玛峰地区的地壳运动及有关问题的探讨[J]. 地球物理学报, 1996(1): 58-67

[10] 陈俊勇, 庞尚益, 张骥, 等. 珠峰峰顶雪面高程和全球变暖[J]. 地球科学进展, 2001(1): 12-14

[11] 党亚民, 陈俊勇, 张燕平, 等. 利用 GPS 资料分析南天山地区的地壳形变特征[J]. 测绘科学, 2002(4): 13-15

[12] McClusky S. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus [J]. J. Geophys. Res., 2000(5): 5 695-5 720

第一作者简介:党亚民,研究员,博士,博士生导师。现主要从事 GPS 和地球动力学领域的研究工作。

E-mail: dangym@casm.ac.cn

(下转第 320 页)

## Classification of Remot Sensing Image Based on Object Oriented and Class Rules

CHEN Yunhao<sup>1,2</sup> FENG Tong<sup>2</sup> SHI Peijun<sup>1</sup> WANG Jinfei<sup>3</sup>

(1 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, 19 Xijiekou Street, Beijing 100875, China)

(2 Department of Geography & Resource Management, Chinese University of Hong Kong, Shatin, N.T., Hong Kong)

(3 Department of Geography, The University of Western Ontario, Canada, N6A 5C2)

**Abstract:** A classification method for remote sensing image based on object oriented and class rules is presented in this paper. The whole image is firstly segmented into image objects and object hierarchy is built using multi-resolution segmentation. Then, the features of objects, such as spectral, geometrical and topological characteristics, are measured. The class rules are constructed based on these features. Classification of remote sensing image is carried out using the rules and information transferring and merging among these objects. The accuracy of the classification approach based on object oriented and class rules is checked by a case study of land use classification of Beijing.

**Key words:** object oriented; multi-resolution segmentation; class rules; classification

---

**About the first author:** CHEN Yunhao, Ph. D, associate professor. His main research interest includes remote sensing of resources and environment.

E mail: cyh@ires.cn

---

(上接第 300 页)

## GPS Data Processing of the 2005 Qomolangma Height Surveying

DANG Yamin<sup>1</sup> CHENG Chuanlu<sup>2</sup> CHEN Junyong<sup>3</sup> ZHANG Peng<sup>4</sup>

(1 Chinese Academy of Surveying and Mapping, 16 Beitaping Road, Beijing 100039, China)

(2 Geodetic Data Processing Center, State Bureau of Surveying and Mapping,  
334 East Youyi Road, Xi'an 710054, China)

(3 State Bureau of Surveying and Mapping, 9 Sanlihe Road, Baiwanzhuang, Beijing 100830, China)

(4 National Geomatics Center of China, 1 Baishengcun, Zizhuyuan, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The determination of geodetic height at the Qomolangma peak is one of the very important tasks in the 2005' Qomolangma height surveying. There are three GPS networks in the 2005' Qomolangma height surveying, regional GPS crustal deformation network, geodetic GPS control network, and GPS measurement at the Qomolangma peak. The data collection and data processing were introduced in the paper. The final data processing strategy and reasonable geodetic height were fairly determined based on the careful data analysis.

**Key words:** Qomolangma; GPS; height; measurement

---

**About the first author:** DANG Yamin, researcher, Ph. D, Ph. D supervisor, majors in geodesy and geodynamics.

E mail: dangym@casm.ac.cn