

中国的珠峰高程测定

Height Determination of Qumolongma Feng (Mt. Everest) in China

陈俊勇/CHEN Jun-yong

国家测绘局,北京 100830

State Bureau of Surveying & Mapping, Beijing 100830, China

[摘要] 20 世纪 60 年代以来,我国曾单独或与外国合作,在 1966 年、1975 年、1992 年、1998 年、1999 年和 2005 年对珠穆朗玛峰高程进行了 6 次测定,开展了大规模的大地测量外业作业、数据处理和科学研究。介绍了我国近 40 年来珠峰高程测定的成果和进展,其中重点介绍了最新的 2005 年我国对珠穆朗玛峰高程测定的进展。相对于以前的珠峰测高,2005 年在珠峰以北地区的地面控制和珠峰高程测定中,采用了较大规模和精密的 GPS 三维定位技术,采用了雷达探测技术测定珠峰峰顶冰雪覆盖层的深度,提高了测量珠峰高程和探测峰顶冰雪覆盖层深度的精度和可靠性。由此测得珠峰峰顶雪面正高(海拔高)为 8 847.93 m,珠峰峰顶岩面正高为 8 844.43 m,珠峰峰顶相应点的冰雪层厚度为 3.50 m。

[关键词] 珠穆朗玛峰;高程测量;雷达测深

[中图分类号] P216

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)05-0008-04

Abstract: Since the 1960s, China has carried out six geodetic campaigns (in 1966, 1975, 1992, 1998, 1999 and 2005 respectively) for the height determination of Qumolongma Feng (Mt. Everest, QF in short) independently or in cooperation with foreign countries. Geodetic field work, data processing and scientific researches have been executed in the campaigns. The height determination results of QF obtained by China in the past 40 years have been briefly introduced and reviewed in the paper. Emphases are given to the technical progress in the 2005 campaign. For example, GPS technique has been widely and precisely used, and the thickness of the snow-ice cover on the QF summit is measured by ground penetrating radar integrated with GPS. All these technical measurements really raise the accuracy and reliability for the height determination of QF and the thickness of the snow-ice layer on the QF summit. The orthometric height (height above sea level) of the snow surface of the QF summit is 8 847.93 m. The orthometric height of rock surface of the QF summit is determined as 8 844.43 m, and the thickness of the snow-ice layer on the QF summit is 3.50 m.

Key Words: Qumolongma Feng (Mt. Everest); height determination; ground penetrating radar

CLC Number: P216

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)05-0008-04

珠穆朗玛峰(以下简称珠峰)是中国的最高峰,也是世界的最高峰。它位于欧亚板块和印度板块边缘的碰撞地带,一直是世界地学工作者关注和研究的焦点^[1-4]。测定珠峰的高程不仅是人类认识地球的一个标志,而且通过测定珠峰高程及邻近区域地壳运动的变化,了解它们的运动规律,对研究青藏高原增厚隆升机制,发展地球科学理论,阐明全球构造运动,探索欧亚板块与印度板块应力变化都具有重要的科学意义。同时,珠峰高程值的确认一直面对国外的挑战,我国大地测量工作者科学地确定珠峰高程值,不仅维护了我国的尊严,而且为研究珠峰及邻近地区的地壳运动积累了丰富的资料。1966 年以来我国曾对珠峰高程及其邻近地区进行了多次测量^[5]。1975 年国家将珠峰高程进行了正式测定^[6-8]。30 年后我国决定在 2005 年对珠峰高程进行新的测定。

1 中国珠峰高程测定的历程

40 年来我国单独或与国际合作,分别在 1966、1975、1992、1998、1999 和 2005 年对珠峰高程进行了 6 次大规模的测量、数据处理和相应的研究工作,其中包括天文、重力、平面、高程、大气折射等测量项目,既采用了常规技术,也从 1992 年起采用了 GPS

技术。

从中国高程基准(青岛黄海海面)出发,以 5 000 余 km 的一等水准联测至珠峰北 70 km 处(绝对误差小于 10 cm),再以二等、三等水准联测至珠峰北坡毗邻地区(以下简称珠峰地区),离珠峰最近的水准点只相距约 13 km。以这一水准点为基础,将高程传递至测定珠峰高程的各地面测站。

1966 年建立珠峰测量控制网,用三角测高方法测定了珠峰峰顶。首次在珠峰地区进行了高空折光系数探测和重力场求定。

1975 年在珠峰顶树立了测量觇标(参见图 1),采用三角高程测量方法测定了珠峰高程,重力点测至离珠峰峰顶 1.9 km 的 7 790 m;天文点测至离珠峰峰顶 5 km 的 6 336 m;在珠峰峰顶上进行了冰雪层厚度探测。这些均是世界上珠峰高程测量史上的第一次^[6-8]。

1992 年中意合作,在峰顶再次设立了觇标(参见图 2),并首次设立测距棱镜和 GPS 接收机,同时在珠峰南坡、北坡两边,综合利用测距、三角高程、GPS 定位和 GPS 水准等技术测定了珠峰高程,并再次在珠峰峰顶上进行了冰雪层厚度探测^[9,10]。

1998 年中美合作测定珠峰高程,由于登顶失败,未能将 GPS

来稿日期:2006-04-04

作者简介:陈俊勇,男,中国科学院院士,北京市海淀区三里河路 9 号国家测绘局科技委主任,教授,主要研究方向为大地测量;

E-mail: jychen@mail.ihep.ac.cn



图 1 1975 年在珠峰顶树立了测量觇标
Fig. 1 A surveyor's beacon was settled on the QF in 1975

仪器置于珠峰峰顶,因此只有用三角测高方法测定珠峰高程。
1999 年美国进行了珠峰南坡和峰顶的 GPS 测量,中美双方利用南坡、北坡同步观测的 GPS 数据,进行了珠峰高程计算。
2005 年我国对珠穆朗玛峰高程进行了新的测定。总结了以往珠峰峰顶 GPS 测量的经验教训,采取多种技术措施,大幅度提高了峰顶 GPS 测高的精度;采用结合 GPS 的雷达探测技术,测定珠峰峰顶冰雪覆盖层的厚度,提高了测量峰顶冰雪覆盖层厚度的精度和可靠性^[1]。

2 2005 年珠峰测高中的平面测量数据的获取与处理
2005 年珠峰测高中的平面测量数据主要通过珠峰地区 3 个网进行测定。这 3 个网分别是 GPS 监测网、GPS 控制网和 GPS 联测网。GPS 监测网以青藏周边地区的 17 个 GPS 连续运行站为框架点,GPS 控制网以 GPS 监测网点为基准,GPS 联测网(参见图 3)由包括珠峰峰顶 1 个 GPS 点和地面交会珠峰的 7 个 GPS 点构成(其中定日点系珠峰地区临时性 GPS 连续运行站)。

珠峰地区 3 个 GPS 网的数据进行处理时,GPS 联测网则以

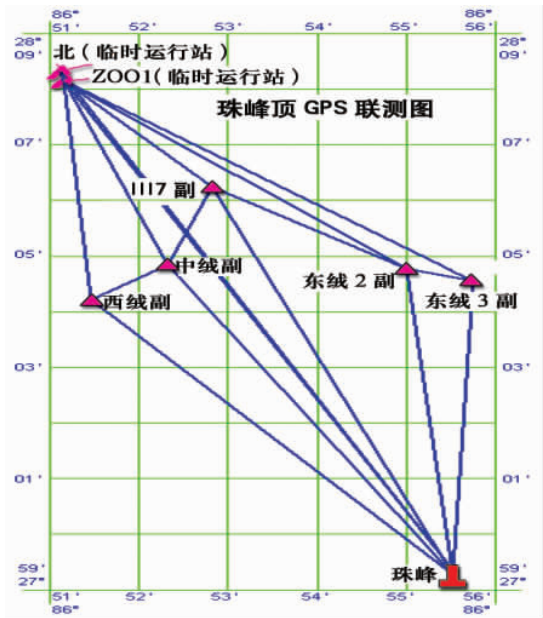


图 3 GPS 联测网
Fig. 3 GPS Network for measuring the QF's height



图 2 1992 年在珠峰顶树立了测量觇标
Fig. 2 Another surveyor's beacon was settled on the QF in 1982

GPS 控制网为基准。所有这些 GPS 网的数据进行处理时,采用 IGS 精密星历、WGS-84 坐标系统和 GLOBK10.2 版软件进行整体平差;坐标框架采用 ITRF2000,历元采用平均瞬时观测历元。数据处理后的上述 3 个 GPS 网点的精度列出于表 1。

表 1 2005 年珠峰测高中珠峰地区 3 个 GPS 网的精度 Tbl. 1 Precisions of three GPS networks in the height determination 2005		
GPS 网名	水平方向精度/mm	高程方向精度/mm
GPS 监测网	±1.2	±3.5
GPS 控制网	±4.9	±12.8
GPS 联测网	±46	±30

3 2005 年珠峰测高中的高程数据的获取与处理
2005 年珠峰测高的高程控制数据的获取与处理分为 2 个部分,一是从相距珠峰约 160 km 的国家一等水准点“拉萨 40 基”开始的高程传递,用二等、三等水准将我国黄海高程基准通过该点传递至测定珠峰高程的地面测站。各种等级的水准路线长度累计约 400 km(参见图 4)。此外,在水准无法工作的地区,还施测了测距高程导线(参见图 5)以传递高程,总长 20.5 km。
2005 年珠峰测高中峰顶的高程必须由珠峰地区的大地水准面起算。因此,2005 年珠峰测高的高程控制数据的获取与处理的

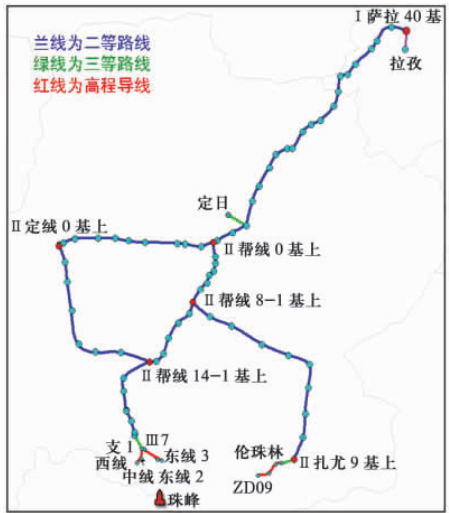


图 4 2005 年珠峰测高水准路线
Fig. 4 Geoidal routes of height determination 2005



图5 2005年测距高程导线水准路线
Fig. 5 Geoidal route of traversing

第二个部分工作是精化该地区的局域大地水准面^[11]。

这项工作的基础是推算具有较高分辨率的栅格重力值,由于珠峰地区地形崎岖,重力资料稀缺,因此,在归算和推估珠峰地区重力时,必须充分利用地形资料和均衡模型。经过试算比较,决定在2005珠峰重力推估中,采用爱黎-海斯卡宁均衡模型和34 km的均衡低偿深度。在利用栅格数字地形模型(DTM)方面,国内部分主要采用国家测绘局珠峰地区的1"×1"DTM,国外部分以SRTM3的DSM为基础,结合GTOPO30(30"×30")的DTM。最后计算了珠峰地区两种栅格(30"×30"和2.5'×2.5')形式的重力空间异常。

利用这一栅格重力资料,采用移去恢复法,精化与EGM96相应的珠峰地区的重力大地水准面。为了将这一精化后的珠峰地区的重力大地水准面定位于我国黄海高程基准,由此选用珠峰地区的44个GPS/水准点与该重力大地水准面进行拟合,作为在2005年珠峰测高计算中最终采用的似大地水准面。经过外部检测其精度为±0.09 m。

4 2005年珠峰峰顶冰雪层厚度测量

珠峰峰顶常年冰雪覆盖,对珠峰峰顶雪面到岩石面(以下简

称冰雪层)的厚度测量,过去一直采用探杆测深的方法^[6-10]。2005年使用了由我国技术人员集成的便携式GPS雷达探测仪(GPS-GPR,以下简称雷达)精确探测珠峰峰顶冰雪层厚度。根据雷达的动态解算并换算至海拔高程,可描绘出该雷达探测范围内的珠峰峰顶雪面地形(参见图6)。用雷达对峰顶觇标处进行剖面深度测量,获得觇标处的冰雪层厚度值为3.50 m,精度为±0.10 m(参见图7)。

5 2005年珠峰高程数据的获取与处理

2005年采用GPS技术和经典大地测量技术综合进行珠峰高程测量。因此在珠峰峰顶上树立了测量觇标,以供三角高程测量精确照准之用之外,在该觇标上还架设了GPS天线和激光测距的反射棱镜,供GPS测量和激光测距仪照准之用。

经典大地测量技术测定珠峰峰顶(即峰顶测量觇标处,以下同)雪面大地高时,采用单向三角高程结合激光测距这二种技术进行,与GPS技术测得的珠峰峰顶雪面大地高的值取权平均值,最终求得珠峰顶雪面大地高。顾及该处的大地水准面,由此求得珠峰顶雪面的正高(海拔高)为8 847.93 m,该处相应的冰雪层厚度为3.50 m。根据上面的计算,2005年珠峰测高中珠峰峰顶岩面正高(海拔高)的国家采用值为8 844.43 m,精度为±0.21 m。

6 历次珠峰高程测量值的回顾

历次珠峰高程测定成果,若以中国黄海85高程基准为参考面,则珠峰高程的测定值可参见表2。

表2 我国历次珠峰高程测定值
Tbl. 2 The obtained heights in all previous determinations

施测时间	珠峰雪面 测定值(正高)/m	珠峰高程 采用值/m	备注
1966年	8 849.75	8 849.75	三角测交会山头,未测峰顶雪深
1975年	8 849.05	8 848.13	三角测交会峰顶觇标,采用值为测定值减去当年所测峰顶雪深0.92 m
1992年	8 849.04	8 846.49	三角测高和测距交会峰顶觇标与GPS测定,采用值为测定值减去当年所测峰顶雪深2.55 m
1998年	8 848.58	8 848.58	三角测交会山头,未测峰顶雪深
1999年	8 848.45	8 848.45	GPS测定,未测峰顶雪深
2005年	8 847.93	8 844.43	三角测高和测距交会峰顶觇标与GPS测定,采用值为测定值减去当年所测峰顶雪深3.50 m

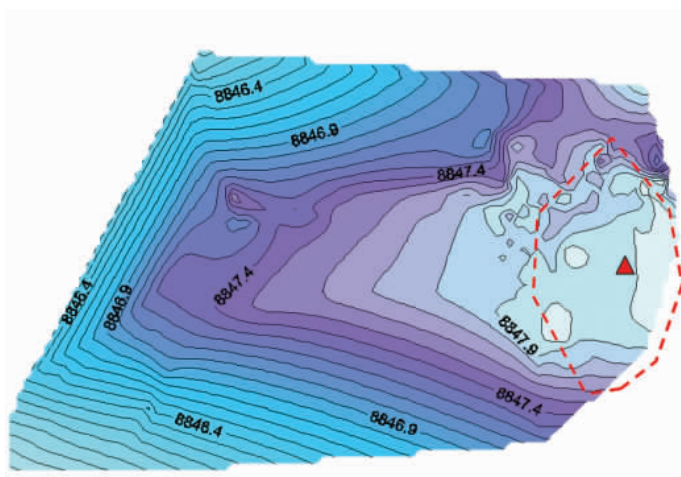


图6 珠峰峰顶(局部)岩面地形(图中红三角为觇标位置)
Fig. 6 Topography of scar on the summit of QF (in part)
(the red triangle represents the surveyor's beacon)

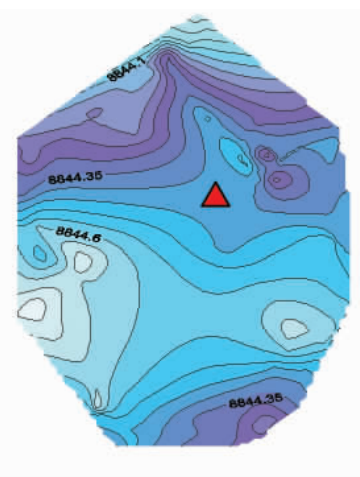


图7 珠峰峰顶(局部)雪面地形
(图中红三角为觇标位置)
Fig. 7 Topography of ice on the summit of QF(in part)
(the red triangle represents the surveyor's beacon)

复杂系统的 Scale-free 性及其宏观调控问题

Scale-free Property of Complex Systems and its Macro-control

戴冠中/DAI Guan-zhong¹, 王 林/WANG Lin^{1,2}, 覃 森/QIN Sen¹

1. 西北工业大学自动化学院, 西安 710071

2. 西安理工大学自动化学院, 西安 710048

1. School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710071, China

2. School of Automation, Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, China

[摘要] 系统研究了复杂系统的 Scale-free 问题,包括复杂系统的 Scale-free 性、幂律分布的分析、Scale-free 性的形成机制、复杂系统的 Scale-free 现象,以及复杂系统 Scale-free 性的宏观调控等问题。研究结果强调:(1)从广义上说,Scale-free 性是描述大量复杂系统整体上严重不均匀分布的一种内在性质;(2)证明了只有当幂律指数在 2~3 之间时,用幂律分布所描述的大量复杂系统才具有严重的不均匀分布特性;(3)对于国计民生有重大影响的复杂系统,提出了 Scale-free 性的宏观调控的原则方法。

[关键词] 复杂系统;复杂网络;Scale-free 性;幂律分布;Scale-free 现象;宏观调控 **[中图分类号]** N94

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)05-0011-05

Abstract: Scale-free issues of complex systems, including scale-free property of complex systems, analysis of power law distribution, the evolving mechanisms for scale-free property, scale-free phenomena of complex systems, and macro-control of scale-free property, are systemically researched in this paper. We emphasize that: ① Generally speaking, scale-free property is one of the intrinsic characteristics of complex systems, which describes their overall extremely uneven asymmetry distributions; ② Various complex systems with power-law distribution are highly heterogeneous only when their scaling exponents are between 2 and 3, which is proved theoretically by the authors; ③ The macro-control principle for the scale-free property of the very important complex systems involved in the national economy and the people's livelihood is proposed.

Key Words: complex system; complex network; scale-free property; power-law distribution; scale-free phenomenon; macro-control

CLC Number: N94

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)05-0011-05

1 问题的提出

自然界、生物界、工程界、经济界和社会界中的大量复杂系统是由在微观层次上的海量个体所组成,个体之间存在着作用,如物理作用、化学作用、实际(real)连接、虚拟(virtual)联系等等。如果把个体抽象为网络节点,而个体之间的作用抽象为节点之间的

边,则复杂系统就可用一个复杂网络来描述。复杂网络描述了复杂系统的拓扑结构特性,研究复杂网络往往是研究复杂系统的一个切入点。

复杂系统主要研究其个体之间相互作用所产生的系统的整体性质与行为。复杂系统的复杂性体现在系统的整体性质与行为

收稿日期:2006-03-08

作者简介:戴冠中,男,西安市友谊西路127号西北工业大学自动化学院,教授,主要研究方向为复杂系统及其控制、信息安全;

E-mail: daigz@nwpu.edu.cn

(致谢:历次珠峰测高都是由国家测绘局和总参测绘局所属大地测量大队在西藏登山队的协助下完成的。本文作者向为这一项目做出牺牲和贡献的测绘队员们、登山队员们表示衷心的感谢。)

参考文献 (References)

- [1] ANGUSLEPPAN P V. The height of Mt. Everest [J]. Survey Rev, 1982, (26): 367-385.
- [2] GULATEE B L. The height of Mt. Everest: A new determination (1952 - 1954)[M]. New Delhi: Survey of India, 1954.
- [3] PORETTI G, MARCHESINIE C, BEINAT A. GPS Surveys Mount Everest [J]. GPS World, 1994, (10): 32-44.
- [4] WASHBURN B., New official height of Everest [J]. National Geo-

graphic, 1999, (11): 76.

- [5] 陈俊勇, 庞尚益, 张骥, 等. 对我国 35 年来珠峰高程测定的思考[J]. 测绘学报, 2001, 30(1): 1-5.
- [6] 陈俊勇. 珠穆朗玛峰高程计算[J]. 测绘通报, 1975, (4): 19-27.
- [7] 朱亮. 珠穆朗玛峰高程测定[J]. 中国科学, 1976, 19(2): 74-77.
- [8] CHEN J Y. A new determination of the height of the World Highest Peak[J]. OZIV, 1980, (1): 1-6.
- [9] 陈俊勇, 张骥, 刘允诺, 等. 珠穆朗玛峰高程的一次最新测定[J]. 测绘通报, 1993, (6): 3-6.
- [10] CHEN J Y. The newest height determination for the world's highest peak: Mt. Everest [J]. Bull Di Geod E Scien Affini, 1994, (4): 367-374.
- [11] 陈俊勇, 岳建利, 郭春喜, 等. 2005 珠峰高程测定的技术进展[J]. 中国科学, 2006, 36(3): 280-286.

(责任编辑 苏 青)