



中华人民共和国国家标准

GB/T 23709—2009

区域似大地水准面精化基本技术规定

Basic specifications for region quasi-geoid determination

2009-05-06 发布

2009-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
4.1 区域似大地水准面的参考基准	2
4.2 似大地水准面精度与分辨率	2
4.3 格网平均重力异常及分辨率	2
4.4 数字高程模型(DEM)的分辨率和精度	3
4.5 高程异常控制点测量精度	3
4.6 仪器的技术要求	3
5 高程异常控制点的布设	3
5.1 技术设计	3
5.2 高程异常控制点选点与埋石	4
6 外业观测	4
6.1 GPS 观测	4
6.2 水准测量	4
6.3 重力测量	4
7 数据处理	4
7.1 高程异常控制点数据处理	4
7.2 似大地水准面计算	5
8 似大地水准面精度检验	5
8.1 检验点布设原则	5
8.2 检验点观测	6
8.3 检验点数据处理	6
8.4 似大地水准面精度评定	6
9 成果检查验收	6
10 成果上交	6
附录 A (资料性附录) 相邻高程异常控制点的最大间距计算	7
附录 B (资料性附录) 重力归算与格网平均重力异常计算	8
附录 C (资料性附录) 重力似大地水准面计算	10
附录 D (资料性附录) 重力似大地水准面与高程异常控制网的多项式与多面函数拟合	12

前 言

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 都是资料性附录。

本标准由国家测绘局提出。

本标准由全国地理信息标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：国家测绘局测绘标准化研究所，国家测绘局大地测量数据处理中心，国家基础地理信息中心。

本标准主要起草人：郭春喜、肖学年、王斌、章磊。

引 言

区域似大地水准面精化的目的是综合利用重力资料、地形资料、重力场模型与 GPS/水准成果,采用物理大地测量理论与方法,应用移去-恢复技术确定区域性精密似大地水准面。通过似大地水准面精化,利用 GPS 技术结合高精度高分辨率似大地水准面模型,已成为高程测量的一种方式。

本标准依据国家强制性标准 GB 22021—2008《国家大地测量基本技术规定》中规定的国家、省级、城市似大地水准面的精度和基本技术指标,结合我国已有的似大地水准面精化工程成果的经验,参考国内外该领域的研究成果,制定了本标准,用于规范和指导我国的区域似大地水准面精化。



区域似大地水准面精化基本技术规定

1 范围

本标准规定了我国国家、省级和城市区域似大地水准面精化的精度、布测原则、数据处理、精度检查等内容。

本标准适用于我国国家、省级和城市等区域似大地水准面精化。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条文。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范

GB/T 12898 国家三、四等水准测量规范

GB/T 17944 加密重力测量规范

GB/T 18314 全球定位系统(GPS)测量规范

CH 1002 测绘产品检查验收规定

CH 1003 测绘产品质量评定标准

CH/T 1004 测绘技术设计规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

似大地水准面 quasi-geoid

从地面点沿正常重力方向至正常高端点所构成的曲面。

3.2

似大地水准面分辨率 resolution of quasi-geoid

似大地水准面模型采用的格网尺寸。

3.3

高程异常 height anomaly

似大地水准面相对于地球椭球面的高度。

3.4

高程异常控制点 control point of height anomaly

GPS/水准点 GPS/levelling point

大地高由 GPS 测定、正常高由水准测量测定的大地点。

3.5

平均重力异常分辨率 resolution of average gravity anomaly

平均重力异常数字模型采用的格网。

3.6

重力似大地水准面 gravity quasi-geoid

先利用地球重力场模型、数字地形模型和地面重力资料获得该地区高分辨率剩余重力异常，然后利

用移去-恢复技术确定的区域似大地水准面称为重力似大地水准面,其实质是利用重力观测数据和数字地形模型改进由地球重力场模型确定的模型似大地水准面。

4 总则

4.1 区域似大地水准面的参考基准

大地坐标系:2000 国家大地坐标系。

高程基准:1985 国家高程基准。

重力基准:2000 国家重力基本网。

4.2 似大地水准面精度与分辨率

4.2.1 似大地水准面的精度由格网平均高程异常相对于本区域内各高程异常控制点的高程异常平均中误差表示。

4.2.2 似大地水准面的分辨率由似大地水准面模型采用的等角格网间距表示。

4.2.3 我国似大地水准面按范围和精度,分为国家似大地水准面、省级似大地水准面和城市似大地水准面。各级似大地水准面的精度和分辨率应不低于表 1 的规定。

表 1 各级似大地水准面精度和分辨率

等 级	似大地水准面精度		似大地水准面分辨率
	平地、丘陵地	山地、高山地	
国家	±0.3 m	±0.6 m	15'×15'
省级	±0.1 m	±0.3 m	5'×5'
城市	±0.05 m		2.5'×2.5'

4.2.4 地理区域较小的城市或局部的似大地水准面的精度和分辨率在满足表 1 中城市似大地水准面要求的前提下,可根据应用需要设计。

4.3 格网平均重力异常及分辨率

4.3.1 在似大地水准面计算时,应利用已有的或通过实测重力资料确定的格网平均重力异常,作为重力似大地水准面计算的基础数据。

4.3.2 格网平均重力异常的分辨率应与似大地水准面分辨率及该区域内重力点的密度相匹配。每个平均重力异常格网中宜有一个实测重力点,其精度应不低于加密重力点的精度。

4.3.3 各级似大地水准面计算采用的格网平均重力异常分辨率应不低于表 2 的规定。

表 2 各级似大地水准面格网平均重力异常分辨率

级 别	平均重力异常分辨率	
	平地、丘陵地	山地、高山地
国家	5'×5'	15'×15'
省级	2.5'×2.5'	5'×5'
城市	2.5'×2.5'	

4.3.4 格网平均重力异常的精度以格网平均重力异常的代表误差表示,格网平均重力异常的代表误差计算如公式(1):

$$\delta g = 2.7c\sqrt{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

δg ——格网平均重力异常代表误差,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

λ ——平均重力异常格网分辨率,单位为角分(');

c ——平均重力异常代表误差系数,各种地形类别对应平均重力异常代表误差系数按表 3 规定执行。

表 3 地形类别与格网平均重力异常代表误差系数

地 形 类 别	重力异常代表误差系数
平原	0.54
丘陵	0.81
山地	1.08
高山地	1.50

4.4 数字高程模型(DEM)的分辨率和精度

4.4.1 所采用的数字高程模型分辨率应不低于表 4 的规定。

表 4 各级似大地水准面数字高程模型分辨率

级 别	数字高程模型分辨率
国 家	30"×30"
省 级	3"×3"
城 市	3"×3"

4.4.2 数字高程模型应使用精度不低于国家 1:50 000 比例尺数字高程模型的数据,其格网间距不大于 25 m×25 m,格网高程中误差不大于表 5 的要求。

表 5 基础数据格网高程中误差

类 别	格网高程中误差
平原	±4 m
丘陵	±7 m
山地	±11 m
高山地	±19 m

4.5 高程异常控制点测量精度

4.5.1 用于精化国家似大地水准面的高程异常控制点,其坐标和高程精度应不低于 B 级 GPS 网点和国家二等水准网点的精度。

4.5.2 用于精化省级似大地水准面的高程异常控制点,其坐标和高程精度应不低于 C 级 GPS 网点和国家三等水准网点的精度。

4.5.3 用于精化城市似大地水准面的高程异常控制点,其坐标和高程精度应不低于 C 级 GPS 网点和国家三等水准网点的精度。

4.6 仪器的技术要求

似大地水准面精化所用仪器应经过法定计量检定部门检验合格后,在有效期内使用。其检验方法和技术要求按相关标准执行。

5 高程异常控制点的布设

5.1 技术设计

5.1.1 技术设计的基本要求

高程异常控制点布测前应进行技术设计,以得到最优的布测方案。技术设计书的格式、内容、要求与审批程序按照 CH/T 1004 执行。

5.1.2 技术设计准备

- 根据需要,收集测区范围已有的大地测量成果和资料。
- 搜集测区范围内有关的地形图、交通图等资料;必要时,还应搜集有关的地震、地质资料等。

c) 技术设计前,应对上述资料进行分析研究,必要时进行实地勘察,然后进行图上设计。

5.1.3 高程异常控制点位布设

- a) 高程异常控制点应均匀分布于似大地水准面精化区域;
- b) 高程异常控制点应具有代表性,点位分布应顾及平原、丘陵和山地等不同的地形类别区域,点位在不同地形类别均应占有一定的比例,在可能的情况下,对丘陵和山地等地形变化剧烈地区应适当加大高程异常控制点分布密度;
- c) 各级似大地水准面的高程异常控制点宜利用不低于 4.5 规定精度的大地控制网点和水准网点;
- d) 相邻高程异常控制点最大间距不宜大于公式(2)计算结果。

$$d = 7.19m_{\zeta}c^{-1}\lambda^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

d ——相邻高程异常控制网点最大间距,单位为千米(km);

m_{ζ} ——似大地水准面的精度,单位为厘米(cm);

c ——平均重力异常代表误差系数,按表 3 规定执行;

λ ——平均重力异常格网分辨率,单位为角分(')。

5.1.4 技术设计完成后应编写并上交技术设计书。

5.2 高程异常控制点选点与埋石

高程异常控制点的选点与埋石应符合以下要求:

- a) 高程异常控制点应满足 GB/T 18314 规定的相应等级大地控制点点位要求,以及 GB/T 12897 或 GB/T 12898 规定的相应等级的水准点点位要求;
- b) 新埋设的高程异常控制点,其标石可采用 GB/T 18314 规定的天线墩,其上埋设满足 GPS 和水准测量的标志;
- c) 当利用已有大地控制点和水准点时,应检查该点的稳定性、可靠性和完好性,符合要求方可利用;
- d) 选点与埋石工作结束后应上交选点工作总结、高程异常控制点选点图、点之记、选点搜集的各种资料等。

6 外业观测

6.1 GPS 观测

高程异常控制点 GPS 测量等级按 4.5 规定执行,GPS 观测的技术要求、观测的作业要求、外业成果记录整理、外业数据质量检核以及成果验收与上交资料,应符合 GB/T 18314 的相关规定。

6.2 水准测量

6.2.1 高程异常控制点的正常高程应以国家一等或二等水准点作为起算点,其点位应保存完好、观测资料与成果齐全且地质条件稳定。

6.2.2 高程异常控制点水准测量等级按 4.5 规定执行,水准观测的技术要求和外业成果的记录整理应符合 GB/T 12897 或 GB/T 12898 的相关规定。

6.3 重力测量

采用加密重力测量方法实测重力点,其技术要求按 GB/T 17944 执行;采用航空重力测量方法获取的地面平均重力异常值应满足公式(1)的要求。

7 数据处理

7.1 高程异常控制点数据处理

7.1.1 高程异常控制点 GPS 测量数据处理按照 GB/T 18314 的要求执行。

7.1.2 高程异常控制点水准测量数据处理按照 GB/T 12897 或 GB/T 12898 的要求执行。

7.1.3 计算高程异常控制点的高程异常,按公式(3)执行。

$$\zeta_{\text{GPS}} = H - h \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

ζ_{GPS} ——高程异常,单位为米(m);

H ——大地高,由 GPS 测量方法获得,单位为米(m);

h ——正常高,由水准测量方法获得,单位为米(m)。

7.2 似大地水准面计算

7.2.1 似大地水准面计算流程

似大地水准面计算流程见图 1。

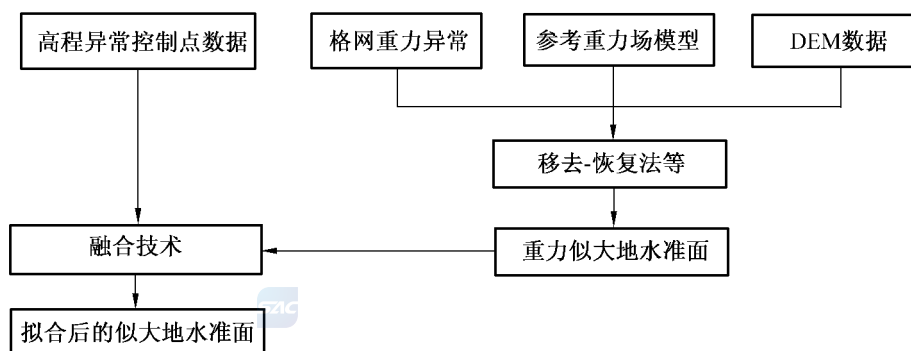


图 1 似大地水准面计算流程

7.2.2 收集似大地水准面精化区域的重力资料与数字高程模型资料,并按格网平均重力异常计算要求对数据进行处理。

7.2.3 可采用地形均衡重力归算等方法完成重力点重力归算与格网平均重力异常计算。重力归算与格网平均重力异常计算可参照附录 B。

7.2.4 根据不同情况选择适当的参考重力场模型,采用移去-恢复技术,完成重力似大地水准面计算。重力似大地水准面计算可参照附录 C。

7.2.5 采用融合技术消除或削弱高程异常控制点与对应的重力似大地水准面的不符值,完成与国家高程系统一致的似大地水准面计算。重力似大地水准面与高程异常控制点的多项式与多面函数拟合法参见附录 D。

8 似大地水准面精度检验

8.1 检验点布设原则

- 检验点的点位应分布均匀,在平原、丘陵和山区等不同的地形类别以及有效区域边缘地区均应布设检验点;应采用未参加似大地水准面计算的实测高程异常点作为检验点。
- 国家似大地水准面检验点的间距不宜超过 300 km,检验点总数不应少于 200 个;省级似大地水准面相邻检验点的间距不宜超过 100 km,检验点总数不应少于 50 个;城市似大地水准面相邻检验点的间距不宜超过 30 km,检验点总数不应少于 20 个。
- 检验点与用于区域似大地水准面精化的高程异常控制点间的距离应不小于似大地水准面格网间距。
- 检验点应满足 GPS 观测与水准联测条件。
- 在利用旧点作为检验点时,应检查旧点的稳定性、可靠性和完好性,以及是否满足 GPS 观测与水准观测,符合要求方可利用。

8.2 检验点观测

- a) 检验点的测量精度应不低于区域似大地水准面精化时高程异常控制点的测量精度；
- b) 检验点的外业观测与区域似大地水准面精化时高程异常控制点的测量要求一致。

8.3 检验点数据处理

- a) GPS 数据处理按照 GB/T 18314 的要求执行；
- b) 水准数据处理按照 GB/T 12897 和 GB/T 12898 的要求执行；
- c) 按公式(3)计算检验点的实测高程异常；
- d) 利用检验点的大地坐标和拟合后似大地水准面模型计算各检验点的高程异常。

8.4 似大地水准面精度评定

由似大地水准面模型计算的各检验点高程异常与其实测高程异常不符值计算的中误差,作为似大地水准面精度。

9 成果检查验收

9.1 区域似大地水准面精化成果应采用二级检查一级验收制。

9.2 GPS 测量、水准测量、重力测量等成果检查验收按 CH 1002 和 CH 1003 执行。

10 成果上交

区域似大地水准面精化工作完成后应上交成果,主要包括:

- a) 技术设计书；
- b) 数据处理方案；
- c) GPS 观测数据及成果；
- d) 水准观测数据及成果；
- e) 高程异常控制点成果表；
- f) 区域似大地水准面模型成果；
- g) 技术总结；
- h) 精度检验报告；
- i) 检查验收报告。



附 录 A
(资料性附录)

相邻高程异常控制点的最大间距计算

根据似大地水准面精化的精度要求,按公式(2)计算的相邻高程异常控制点的最大间距见表 A.1,供似大地水准面精化设计时参考。

表 A.1 相邻高程异常控制点的最大间距

地形类别	m_{ζ}/m	高程异常控制点的最大间距/km		
		$\lambda=15'$	$\lambda=5'$	$\lambda=2.5'$
平地	0.3	103	179	253
	0.2	69	119	168
	0.1	34	60	84
	0.05	17	30	42
丘陵地	0.3	69	119	168
	0.2	46	79	112
	0.1	23	40	56
	0.05	12	20	28
山地	0.6	103	179	253
	0.5	86	149	211
	0.4	69	119	168
	0.3	51	89	126
	0.2	34	60	84
	0.1	17	30	42
	0.05	9	15	21
高山地	0.6	74	129	182
	0.5	62	107	152
	0.4	50	86	121
	0.3	37	64	91
	0.2	25	43	61
	0.1	12	21	30
	0.05	6	11	15
注 1: m_{ζ} 表示似大地水准面的精度; 注 2: λ 表示平均重力异常格网分辨率。				

附录 B

(资料性附录)

重力归算与格网平均重力异常计算

B.1 重力观测值归算

根据我国地形和重力分辨率情况,在重力归算时一般采用地形均衡异常归算方法。

空间重力异常的定义为式(B.1):

$$\Delta g = g - \gamma + \delta g_1 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

g ——重力观测值,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

γ ——椭球面上正常重力值,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

δg_1 ——空间改正,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。

且

$$\delta g_1 = 0.3086h - 0.72 \times 10^{-7}h^2$$

式中:

h ——海拔高程,单位为米(m)。

布格重力异常的定义为式(B.2):

$$\begin{aligned} \Delta g_B &= g - \gamma + \delta g_1 + \delta g_2 \\ &= \Delta g + \delta g_2 \quad \dots\dots\dots (B.2) \end{aligned}$$

式中:

δg_2 ——层间改正,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。

且

$$\delta g_2 = -2\pi G\rho h = -0.1119h$$

式中:

G ——地心引力常数;

ρ ——地壳密度。

地形均衡重力异常的定义为式(B.3):

$$\begin{aligned} \Delta g_{IS} &= g - \gamma + \delta g_1 + \delta g_2 + \delta g_{TC} + \delta g_{IS} \\ &= \Delta g_B + \delta g_{TC} + \delta g_{IS} \quad \dots\dots\dots (B.3) \end{aligned}$$

式中:

δg_{TC} ——局部地形改正,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

δg_{IS} ——均衡改正,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。

地形及均衡改正采用四棱柱法计算,其形式为式(B.4):

$$\delta g = G\rho \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

积分后变为式(B.5):

$$\delta g = -G\rho \left\{ x \ln(y+r) + y \ln(x+r) + z \arctan \frac{zr}{xy} \right\} \bigg|_{x_1}^{x_2} \bigg|_{y_1}^{y_2} \bigg|_{z_1}^{z_2} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式(B.5)中,令 $z_1=0, z_2=H-H_0=\Delta h$ 就是地形改正 δg_{TC} 。

式(B.5)中,令 $z_1 = -(H_0 + T)$, $z_2 = -(H_0 + T + 4.45H)$,并用补偿密度 $\Delta\rho$ 代替 ρ ,即为均衡改正 δg_{IS} , T 为均衡深度。

B.2 格网地形及均衡改正计算

可采用传统积分法与谱方法相结合的组合完成计算。

格网地形改正的计算公式为:

$$\delta g_{TC} = \delta g_{TC0} + \delta g_{TC1} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

δg_{TC0} ——中央区部分格网地形改正,可采用四棱法计算,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

δg_{TC1} ——积分区域内中央区以外部分格网地形改正,可采用谱方法计算,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。

格网均衡改正的计算公式为:

$$\delta g_{IS} = \delta g_{IS0} + \delta g_{IS1} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

δg_{IS0} ——最小计算区域内(一般取 $1^\circ \times 1^\circ$ 区域)公共山根部分对均衡改正的影响(一个计算区域计算一次),用四棱柱法计算,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});

δg_{IS1} ——公共山根以外区域的影响,采用谱方法计算,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。

B.3 重力异常拟合计算

利用离散点的均衡重力异常值作为已知值,可采用线性移动拟合或 Shepard 拟合等方法计算格网均衡异常。

B.4 格网平均异常的计算实施

在格网平均空间异常计算时,可按以下步骤实施:

- a) 利用数字地形模型完成格网点的层间改正、局部地形改正和均衡改正计算;
- b) 完成离散点重力观测值的布格、均衡异常归算;
- c) 利用离散点的均衡重力异常值作为已知值,采用线性移动拟合法计算格网点的均衡异常;
- d) 由格网点的均衡异常恢复格网点的空间异常;
- e) 由格网点的空间异常,计算格网平均空间异常。

附录 C

(资料性附录)

重力似大地水准面计算

C.1 利用地球重力场模型计算模型似大地水准面

由地球重力场模型计算扰动位的球谐表达式为：

$$T(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r} \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

r, θ, λ ——计算点的地心距离、余纬和经度；

GM ——地心引力常数与地球质量的乘积；

a ——参考椭球长半轴，单位为米(m)；

$\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ ——完全规格化位系数；

$P_{nm}(\cos \theta)$ ——完全规格化缔合 Legendre 函数；

N_{\max} ——地球重力场模型展开的最高阶数。

已知位系数，根据 Bruns 公式来确定模型似大地水准面，即

$$\zeta_M(r, \theta, \lambda) = \frac{T}{\gamma} = \frac{GM}{r\gamma} \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

γ ——计算点正常重力。

C.2 利用地球重力场模型计算模型重力异常

重力异常 Δg 与扰动位 T 关系为：

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2T}{r} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

将式(C.1)代入式(C.3)可得：

$$\Delta g(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{N_{\max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \quad \dots\dots (C.4)$$

C.3 由移去-恢复(remove-restore)技术计算重力似大地水准面

似大地水准面的计算公式：

$$\zeta = \frac{R}{4\pi\gamma_V} \int S(\varphi) (\Delta g_{\text{res}} + TC) d\sigma - \frac{1}{\gamma_N} h (\Delta g - \pi G \rho h) - \frac{1}{\gamma_N} \pi G \rho \delta h^2 + \zeta_M \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

$$S(\varphi) = \frac{1}{s} - 6s - 4 + 10s^2 - 3(1 - 2s^2) \ln(s + s^2)$$

$$s = \sin(\varphi/2)$$

$$\delta h^2 = 0.453 - 0.018 \sin(B) + 0.087 \cos(B) \cos(L) + 0.204 \cos(B) \sin(L)$$

$$\gamma_N = \gamma_0 - 0.3086h$$

TC ——地形改正，单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})；

h ——计算点高程，单位为米(m)；

- γ_0 ——椭球面上的正常重力,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2})。
 R ——地球的平均曲率半径,单位为米(m);
 γ_N ——地球平均正常重力,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});
 Δg_{res} ——剩余空间异常(实际值与模型值的差值),单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});
 $d\sigma$ ——单位球面 σ 上的面元;
 Δg ——重力异常,单位为毫伽(10^{-5}ms^{-2});
 G ——地心引力常数;
 ρ ——地球平均密度;
 ζ_M ——利用重力场模型计算的模型似大地水准面;
 $S(\varphi)$ ——Stokes 函数;
 φ ——球面角距;
 B ——大地纬度;
 L ——大地经度。

附录 D

(资料性附录)

重力似大地水准面与高程异常控制网的多项式与多面函数拟合

完成与似大地水准面分辨率一致的规则格网重力似大地水准面计算后,需要利用高程异常控制网成果作为控制,对重力似大地水准面进行拟合,获得适配于该区域与国家正常高系统定义一致的拟合似大地水准面。拟合方法如下:

D.1 高程异常控制点重力似大地水准计算

在完成规则格网重力似大地水准面计算后,可采用 Shepard 插值法、双线性内插等方法内插各高程异常控制点的重力似大地水准面。

D.2 拟合模型

重力似大地水准面与高程异常控制网的拟合时,可根据实际情况选择多项式、多面函数等拟合方法。

a) 三次多项式数学模型见式(D.1)和式(D.2):

$$\Delta\zeta = \alpha_0 + \alpha_1(\varphi - \varphi_m) + \alpha_2(\lambda - \lambda_m) + \alpha_3(\varphi - \varphi_m)^2 + \alpha_4(\varphi - \varphi_m)(\lambda - \lambda_m) + \alpha_5(\lambda - \lambda_m)^2 + \alpha_6(\varphi - \varphi_m)^3 + \alpha_7(\varphi - \varphi_m)^2(\lambda - \lambda_m) + \alpha_8(\varphi - \varphi_m)(\lambda - \lambda_m)^2 + \alpha_9(\lambda - \lambda_m)^3 \quad \cdots (D.1)$$

$$\Delta\zeta = \zeta_{\text{GPS}} - \zeta_{\text{G}} \quad \cdots (D.2)$$

式中:

$\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_9$ ——为多项式拟合系数;

$\Delta\zeta$ ——实测高程异常与重力似大地水准面之差,单位为米(m);

$\zeta_{\text{GPS}}, \zeta_{\text{G}}$ ——分别为实测高程异常和重力似大地水准面高,单位为米(m);

φ_m, λ_m ——分别为拟合区的中心纬度和经度。

b) 多面函数方程的一般形式为式(D.3):

$$\theta = \sum_{i=1}^n \alpha_i q(x, y, x_i, y_i) \quad \cdots (D.3)$$

式中:

α_i ——待定系数;

$q(x, y, x_i, y_i)$ —— x, y 的二次函数。

D.3 拟合方案

重力似大地水准面与高程异常控制网的拟合时,一般可采用以下三种拟合方案:

a) 全网一次性拟合,求解一套全区域拟合系数。

该方案适用于全区高程异常控制点分布均匀,重力似大地水准面与高程异常控制网分辨率和精度大致一致,且全区范围不是过大(如一般城市)。

b) 将全网适当分成若干个子区域,分区求解各区拟合系数。

该方案适用于全区高程异常控制点的分布有地区性差异,重力似大地水准面与高程异常控制网的分辨率和精度都有明显的分区特点,且全区范围很大,全区用一个拟合多项式难于描述这种区域性差异。

当采用分区拟合时,对于接边问题的处理,采取对每个分区向邻区扩大一个重叠宽度,所求解的拟合系数规定只属于本区,这样可以避免或减弱边界两边拟合系数的突变现象,形成平滑过渡。

- c) 为避免分区拟合出现的相邻区的接边问题,以一个点为中心,确定一个适当的球冠或方块形拟合区域,其中分布有必要数量的高程异常控制点,将求解的拟合系数定义为中心点的转换参数。

该方案适用于中等大小区域的拟合。

D.4 拟合系数求解

- a) 由高程异常控制点上的重力似大地水准面高与实测高程异常的差值,组成不符值序列;
- b) 由不符值序列和相应高程异常控制点的坐标组成多项式拟合“观测方程”,其中未知参数为多项式系数;
- c) 按最小二乘原理求解拟合多项式系数。

D.5 推算拟合后的似大地水准面格网值



由拟合多项式系数和格网中心点坐标,对重力似大地水准面进行拟合纠正,获得与国家正常高系统定义一致的格网似大地水准面模型。
