

滑坡、崩塌监测测量规范

1 范围

本标准规定了用地表测量的方法监测滑坡、崩塌的原则，施测方法和精度要求。

本标准适用对滑坡、崩塌的监测。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB12897—91 国家一、二等水准测量规范

GB12898—91 国家三、四等水准测量规范

GB/T15314—94 精密工程测量规范

GB 50026—93 工程测量规范

CH 2001—92 全球定位系统(GPS)测量规范

3 定义

本标准采用下列定义：

基准点：建在稳定的岩层或原土层上的经确认固定不动的点，它是监测测量工作的基准和依据。

控制点：用来联测工作基点和形变监测点的相对稳定的点，基准点可以用作为控制点。

工作基点：用于直接对形变监测点联测的相对稳定的控制点。

形变监测点：建在能够反映滑坡(崩塌)体变形特征位置上的点，它的位置变化基本上反映了滑坡(崩塌)体的变形。

滑坡：斜坡岩土体在重力、滑移摩擦力及各种应力的作用下，以某种形式向下滑动的过程和现象。

崩塌：斜坡前缘的部分岩体，被脆弱结构面分割，在重力和各种应力的作用下，以突然的方式脱离母体，翻滚而下，最后堆积于坡脚而形成岩堆的过程与现象。

蠕变：斜坡岩土体在坡体压力(重力为主)的长期作用下，向临空方向缓慢的持续历时比较长的变形。年移动量不超过 1 厘米的滑坡体和年移动量不超过 1 毫米的崩塌体可视为蠕变。

低速变形：滑坡、崩塌体初始显露移动迹象。滑坡体年移动量不超过 2 厘米，崩塌体年相对移动量不超过 2 毫米，均可视为低速变形。

等速变形：滑坡(崩塌)体有明显的移动现象，其移动方式接近于等速变形。同方向加速度甚小接近于零。滑坡体年移动量 2 厘米至 5 厘米，崩塌体年相对移动量 2 毫米至 5 毫米也可以视作等速变形。

加速变形：滑坡(崩塌)体有很明显的移动现象，其移动量有明显的同向加速运动反映。

临滑突变：滑坡(崩塌)体发生剧变，在此阶段滑坡(崩塌)体在急剧滑落(崩塌)中整体遭破坏，滑移至低处相对稳定的位置。

形变平均速率：以复测周期为单位，累计若干周期移动量绝对值之和的平均值。一般可按每年、每月、每日或每小时给出其速率值，但在依据其确定测定精度时，应化算为复测周期的速率值。

4 总则

4.1 滑坡、崩塌监测测量的目的

滑坡、崩塌监测测量的目的是：用常规的或先进的仪器和设备在野外滑坡、崩塌现场及其周边地区进行连续或定期重复的测量工作，准确测定监测网和形变监测点的平面坐标、高程或空间三维相对位移值，经合理的数据处理提供监测网和形变监测点水平位移、垂直位移、裂缝及滑带相对位移等动态数据，为掌握滑坡变形规律、险情预报、灾害防治、治理效果评估以及有关部门和政府决策等服务。

4.2 滑坡、崩塌监测测量的精度指标

滑坡、崩塌监测网点空间位置均以相对点位中误差和相对高程中误差作为基本的精度指标。二倍中误差作为最大误差。

形变监测点的点位中误差和高程中误差，除特别说明外，均系相对于直接的工作基点而言。

裂缝变形、滑带相对位移、基岩与覆盖层面以及重大断层结构面的错动，采用相对测量中误差作为精度指标。三倍测量中误差作为最大误差。

4.3 滑坡、崩塌监测工作的平面坐标及高程

4.3.1 平面坐标宜采用高斯——克吕格投影 3 度带(或任意带)平面直角坐标系以滑坡、崩塌体的平均高程面(或测区平均高程面，或抵偿高程面)为投影面。一般应选用国家控制网中的一个点坐标及一条边的方位角作为平面监测控制网的起算数据。

当无法满足上述条件或需要时，允许采用独立的或其他平面坐标系。

4.3.2 滑坡、崩塌监测测量的高程系统，宜采用正常高系统和 1985 国家高程基准。如果实际需要也可以采用大地高或其它高程系统及基准。

4.4 滑坡、崩塌监测测量工作的复测周期

4.4.1 基准控制网(包含基准点)的复测周期宜安排一年或半年复测一次，当复测中发现基准控制网点有显著的位移时，应找出有问题的点位，重新选点并相应缩短复测周期：当三次及以上的复测证明控制网点无显著位移时，可适当延长复测周期。

4.4.2 地表形变监测点的复测周期

- 4.4.2.1 蠕变和低速变形阶段，地表形变监测点宜安排一年或半年复测一次。
- 4.4.2.2 等速变形阶段，地表形变监测点宜安排三个月或一个月复测一次。
- 4.4.2.3 加速变形阶段，形变监测点的复测周期应视情况监测，两天~两周复测一次。
- 4.4.2.4 临滑突变阶段，地表形变监测点的复测周期宜视情况随时安排监测，每天至少一次，
- 4.4.3 装有自动记录或遥测装置的形变监测点，应根据仪器的性能和实际的需要确定是连续监测或周期监测。
- 4.4.4 为避免观测数据丢失，对装有自动记录或遥测装置的监测点，应按 4.5.2 的周期要求进行人工抄录有关数据。如能确保数据不会丢失，也可以不抄录。
- 4.5 基准控制网和地表形变监测点的复测
- 复测时，宜满足下列条件：
- a. 使用同一仪器和设备；
 - b. 固定观测人员；
 - c. 采用相同的图形(观测路线)和观测方法。
- 4.6 滑坡、崩塌监测测量工作前，应对所使用的仪器和设备进行检验和校正。
- 4.7 滑坡、崩塌监测测量工作应制定优化的监测设计方案。
- 监测设计方案宜根据如下方案选用：
- a. 设计方案宜采用电子计算机辅助优化设计的方法；
 - b. 主要针对监测网的图形设计、路线设计、观测方案设计及旧网改造的设计等进行优化；
 - c. 优化的原则是必须满足规范的精度要求， 兼顾可靠性、经济性和灵敏度等要求；
 - d. 应对形变监测点的最终精度进行评估，必须满足本标准的要求。
- 4.8 在整个滑坡、崩塌监测期间，应经常对滑坡区域的基准点、控制点、工作基

点、形变监测点和监测区域的地形地貌变化进行巡视检查，发现异常应采取必要的补救措施或对策。

5 监测控制网的测量

5.1 选点

5.1.1 基准点选点要求：

- a. 应选在离滑坡、崩塌体 30 米以外的稳定岩层或稳定原土层上；
- b. 一般监测区域应布设不少于 3 个的基准点(平面和高程基准分别要求，但点位可以合并)；重要地区应再增设 1~2 个基准点；
- c. 基准点应选在视线开阔地区，便于发展和联测。

5.1.2 控制点和工作基点选点要求：

- a. 宜选在稳定岩层或稳定原土层上；
- b. 应与基准点构成合理的网形，以保证监测网点的精度；
- c. 应便于联测形变监测点。

5.1.3 基准点、控制点和工作基点应填写点之记。

5.2 埋石

5.2.1 平面坐标基准点和首级控制网点宜设置观测墩，观测墩结构可参照附录 A 之 A2。不设置观测墩的应按三角点(导线点)的形式埋设两层标志，两层标志中心垂直投影偏差不得大于 3 毫米。如附录 A 之 A3 所示。

5.2.2 其它平面控制网点可设立观测墩或者是埋设单标志的三角(导线)点标石。

5.2.3 高程基准点埋石可参照 GB 12897—91(国家一、二等水准测量规范)附录 A 之 A2、A3、A4、A5 执行。

5.2.4 高程控制点和高程工作基点的标石可参照附录 A 之 A3 埋设，亦可埋设在观测墩上。

5.2.3 水平位移监测控制网(以下简称平面监测网)及其施测。

5.3.1 平面监测网的主要精度指标，应符合表 1 的规定。

表 1

等 级	相邻点位中误差(mm)	测角中误差 (″)	相邻边相对中误差	备 注
一	0.7	± 0.7	1/1400000	相邻点位中误差必需保证，其它两项宜满足。
二	1.5	± 1.0	1/670000	
三		± 1.8	1/330000	
四	3.0	± 2.5	1/170000	
	6.0			

5.3.2 平面监测网的等级一般不具有上级网控制下级网的意义，主要是保证形变监测点的直接测量精度要求。在特殊情况下，也允许逐级发展。

5.3.3 平面监测网一般由基准线、三角形、大地四边形及中点多边形等基本图形构成，根据测区情况布设成基准线、三角网、测边网、边角网或 GPS 控制网。对网形(包括边长和角度)不作具体要求，但设计时估算其最终精度应满足本规范的要求。

5.3.4 平面监测网点宜采用带有强制归心装置的观测墩；照准标志宜采用强制对中装置的觇牌，强制归心时对中中误差不得大于 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

5.3.5 平面监测网水平角观测的主要技术要求

5.3.5.1 水平角观测可采用方向观测法，全组合测角法或其它能满足精度要求的方法。采用方向观测时若方向数不超过三个可以不归零。

5.3.5.2 方向观测法一测回的操作程序如下：

- 将仪器照准零方向标的，按观测度盘表对好度盘和测微器；
- 顺时针方向旋转照准部 1~2 周后精确照准零方向标的，进行水平度盘测微器读数(对径分划线重合二次)；
- 顺时针方向旋转照准部，精确照准 2 方向标的，按 b)方法进行读数：顺时针方向旋转照准部依次进行 3、4、……、n 方向的观测，最后闭合至零方向；
- 纵转望远镜(有跨乘水准器的经纬仪可不纵转，但一个时间段用盘左和盘右观测的测回数应大致相等)，逆时针方向旋转照准部 1—2 周后，精确照准零方向，

按 b) 方法进行读数；

- e. 逆时针方向旋转照准部，按上半测回观测的相反次序依次观测至零方向。
以上操作为一测回。

5.3.5.3 全组合一测回的操作程序如下：

- a. 使用 J07 型仪器观测：

- (1) 将仪器照准左方目标按观测度盘表对好度盘和测微器；
- (2) 顺时针方向旋转照准部一周，重新照准左方目标，首先进行水平度盘测微器读数(对径分划重合两次)，然后再用主望远镜目镜测微器精确照准目标三次并读数；
- (3) 顺时针方向旋转照准部，照准右方目标，首先用主望远镜目镜测微器精确照准目标三次并读数，然后进行水平度盘测微器读数；
- (4) 纵转望远镜顺时针方向旋转照准部一周，重新照准右方目标，按(2)款规定顺序进行照准和读数；
- (5) 顺时针方向旋转照准部至左方目标，按(3)的规定顺序进行照准和读数。

以上操作为一测回，当使用有跨乘水准器的仪器观测时，在上下半测回间不纵转望远镜，但在每个观测时间段内测至半数测回时，须纵转望远镜，同时改变照准部的旋转方向。整份成果和各单角用盘左和盘右观测的测回数应大致相等。

- b. 使用 J1 型仪器观测：

- (1) 将仪器照准左方目标，按观测度盘表对好度盘和测微器；
- (2) 顺时针方向旋转照准部一周，精确照准左方目标进行水平度盘测微器读数一次，然后转动照准部水平微动螺旋，再精确照准目标一次，并进行测微器读数一次(即照准目标 2 次，读数 2 次)；
- (3) 顺时针方向旋转照准部至右方目标，精确照准目标两次并读数(方法同 2)；
- (4) 纵转望远镜；
- (5) 顺时针方向旋转照准部至右方目标，精确照准目标二次并读数；
- (6) 顺时针方向旋转照准部至左方目标，精确照准目标二次并读数。

以上操作为一测回。

在每一观测时间段内测至半数测回时，应改变照准部的旋转方向，或采用测回间改变照准部的旋转方向，交替进行。

5.3.5.4 水平角观测限差

a. 方向观测法各项误差不得超过表2的规定

表 2

经纬仪类型	测微器两次重合读数差、 电子经纬仪两次照准读数差	半测回归零差	一测回 2C 互差	各测回互差
J07	1	5	9	5
J1	1	6	9	6
J2	3	8	13	9

b. 全组合测角法各项误差不得超过表3的规定

表 3

经纬仪类型	二次照准目标法读数	上下半测回角值互差	各测回角值互差
J07	3	5	4
J1	4	6	5
J2	6	10	8

5.3.5.5 各级平面监测网水平角观测宜执行表 4 的规定：

表 4

等级	方向观测法测回数			全组合测角法方向权 P			三角形闭合差 (")
	J07	J1	J2	J07	J1	J2	
一	15			30			±2.5
二	12	15		24	30		±3.5
三	6	9	12	12	18	24	±7

四	4	6	9	8	12	18	± 9
---	---	---	---	---	----	----	---------

注： 1、 $P=m \times n$ ， m 为测回数， n 为方向数； 2、三角形闭合差要求必须执行。

5.3.5.6 内业计算数字取位应执行表5的规定：

表 5

等级	观测方向值及各项 修正数(″)	边长观测值及各项 修正数(m)	边长与坐标(m)	方位角(″)
一、二	0.01	0.0001	0.0001	0.01
三	0.01	0.001	0.001	0.01
四	0.1	0.001	0.001	0.1

5.3.5.7 平面监测网水平角观测成果的重测与取舍应按 GBFF15314—94 第 7.3.9 条执行。

5.3.6 平面监测网导线测量的主要技术要求

5.3.6.1 24 米铟瓦线尺测距应按 GB / T15314—94 第 8.9.4 条执行。

5.3.6.2 电磁波及红外测距仪应按 GB / T15314—94 第 8.9.5 条执行。

5.3.6.3 导线测量水平角观测宜执行表 6 的规定。

表 6

等 级	测 回 数			方位角闭合差 (″)	备 注
	J07	J1	J2		
二	12	15		$\pm 1.4\sqrt{n}$	n 为测站数
三	6	9	12	$\pm 3.6\sqrt{n}$	
四	4	6	9	$\pm 5.0\sqrt{n}$	

5.3.7 平面监测网 GPS(全球定位系统)测量的主要技术要求

5.3.7.1 GPS 接收机的选用，应符合表 7 的规定。

5.3.7.2 GPS 测量作业参照 GB / T15314—94 附录 L 的有关条款执行。

5.3.8 当基本的平面监测网不能满足形变监测点连测需要时，三、四级网允许采用单插点或双插点的形式加密控制网。插点均要求有足够的多余条件，并采用严密

表 7

等 级	单频 / 双频	标称精度	测 量 量	同步接收机数
二	双频	$\leq 5\text{mm}+1\text{ppm}$	裁波相位	≥ 4
三	双频	$\leq 5\text{mm}+2\text{ppm}$	裁波相位	≥ 3
四	双频或单频	$\leq 5\text{mm}+3\text{ppm}$	裁波相位	≥ 3

平差的方法对插点进行精度词进行精度评定。

插点应满足下列条件：

a. 采用单插点， 应有不少于 5 个内外交会方向， 当图形欠佳时其中至少应有外交会方向：双插点的交会方向数为单插点的二倍，但其中不应包括两待定点间的双向观测方向。当采用边角联合交会时，多余观测数必须与上述插点规定相同。

b. 插点的水平角观测、导线边(交会边)观测和相邻点位中误差的要求均同于同级网点。

5.4 垂直位移监测控制网(以下简称高程监测网)

5.4.1 高程监测网的精度，应符合表 8 的规定：

表 8

等级	相邻基准点、控制点、工作 基点高差中误差	往返较差、附合或 环线闭合差限差	检测已测高差 较差限差
一	$\leq \pm 0.5$	$0.3\sqrt{n}$	$0.5\sqrt{n}$
二	$\leq \pm 1.0$	$0.6\sqrt{n}$	$1.0\sqrt{n}$
三	$\leq \pm 2.0$	$1.4\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$
四	$\leq \pm 3.0$	$2.0\sqrt{n}$	$3.0\sqrt{n}$

注：表中 n 为测站数。

5.4.2 高程监测网宜布设成闭合环、结点网或附合路线等形式。

5.4.3 几何水准测量的主要技术要求

5.4.3.1 高程监测一等水准网的施测按 GB12897—91 之 7 对国家一等水准测量的

技术要求进行。

5.4.3.2 高程监测二等水准网的施测按 GB12897—91 之 7 对国家二等水准测量的技术要求进行。

5.4.3.3 高程监测三、四等水准网的施测按 GB12898—91 之 6 对国家三等水准测量的技术要求进行。

5.4.3.4 当几何水准跨越江河(或湖塘、宽沟、洼地、山谷等)时可以采用跨河水准测量。一、二等精度按 GB12897—91 之 8 的规定执行；三、四等精度按 GB12898—91 之 7 的规定执行。

5.4.3.5 各等级高程监测网宜采用的仪器及相应的技术要求见表 9。

表 9

等级	水准仪型号	视线长度 (m)	前后视较差 (m)	前后视累积差 (m)	视线离地面高度 (m)	基本分划、辅助分划或黑红面	
						读数较差 (mm)	高差较差 (m)
一	DS05 DS1	50	1	3	>0.5	0.5	0.7
二	DS1	100	3	6	>0.3	1.0	1.5
三	DS1 DS3	100	5	10	>0.2	3.0	5.0
四	DS3	100	5	10	>0.2	5.0	7.0

5.4.3.6 观测记录和计算取位应符合表 10 的规定：

表 10

等级	中丝读数	测站距离 (m)	测段距离 (m)	测站高差 (mm)	测段高差 (mm)	精度计算 (mm)	水准点高程 (mm)
一	测微器量小分划 1/10	0.1	1	0.01	0.01	0.01	0.01
二	测微器最小分划	0.1	10	0.1	0.1	0.01.	0.1
三		0.1	10	0.1	0.1	0.1	0.1

四		0.1	10	0.1	0.1	0.1	1
---	--	-----	----	-----	-----	-----	---

5.4.4 电磁波测距三角高程导线的主要技术要求

5.4.4.1 当受地形条件限制无法进行几何水准作业时，可采用电磁波测距三角高程导线，施测三、四等高程监测网。同等级的电磁波测距三角高程导线和几何水准可以混合布设。

5.4.4.2 电磁波测距三角高程导线应遵循如下的规定：

(1) 高程导线视线长度宜控制在 700m 以内，个别最长不得超过 1000m，视线高度离地面不得小于 1.2m。高程导线可以是每点设站对向观测的路线，也可以是隔点设站单程双测法的路线。

(2) 应在成像清晰和信号稳定时进行垂直角和斜距的观测。斜距观测两测回(每测回读数四次)，各读数较差和测回中数较差均不得超过 10mm，每站应量取气温、气压值。

垂直角采用中丝法观测四个测回，测回差和指标差互差均不得大于 5″，仪器高、觇牌高应在测前测后用经过检验的量标各量测一次，两次互差不得大于 1mm。

(3) 观测读数和计算取位宜按表 11 执行。

表 11

项目	斜距 (m)	垂直角 (″)	仪器高觇牌高 (mm)	气温 (℃)	气压 (Pa)	测站高差 (mm)	测段调养 (mm)
观测值	0.001	0.1	0.1	0.2	50	—	—
计算值	0.001	0.1	0.1	—	—	三等 0.1	0.1
						四等 1	1

(4) 由高程导线测定的固定点高差，应加入正常水准面不平行改正，计算方法同水准测量。

5.5 野外观测成果的记录与整理

5.5.1 一切原始观测值和记录事项均要在现场直接记录于手簿(电子手簿或人工记录手簿)，每天观测开始和结束均需记录观测日期、时间、温度、天气、呈象情况、

仪器型号、作业者、记录者等。

5.5.2 观测手簿中任何原始记录均不许擦去和任意涂改。角度测量记录的度，几何水准测量 1/10m 以上的读数和说明性文字有误时，应以单线划去，在其上方写出正确的数字与文字，并注明原因。作废的观测成果应以单线划去，并说明原因及重测成果记录于何处。重测记录需加注“重测”二字，并注明原作废成果记录于何处。

5.5.3 电子手簿中所有原始记录均不能修改，错误成果只能注明原因和重测数据位于何处。

5.6 观测数据预处理

5.6.1 电磁波测距成果的归算

5.6.1.1 倾斜边长的计算：

- a. 气象改正值计算应按所用仪器给定的图表或公式进行；
- b. 频率改正值计算：

$$\text{编}S_f = \frac{(f_{\text{测}} - f_0)}{f_0} \quad (1)$$

式中： f_0 —测距仪标称测距频率，(Hz)；

$f_{\text{测}}$ —频率计测定的测距频率，(Hz)；

S—观测距离，(m)。

- c. 仪器加常数、乘常数的改正值应根据仪器检测结果计算；
- d. 周期误差的改正值：

$$\text{编}S_0 = A \sin \left[0 + \frac{2S}{\lambda} 360^\circ \right]$$

(2)

式中：A—周期误差振幅，(m)；

ϕ —周期误差的初相角, ($^{\circ}$);

λ —测距仪精测调制波长, (m);

S—观测边长, (m)。

5.6.1.2 测距仪与反光镜的平均高程面上水平距离计算

$$DP = \sqrt{S^2 - h^2}$$

式中: DP—水平距离, (m);

S—经改正后的斜距, (m);

h—仪器与反光器之间的高差, (m)。

5.6.1.3 测距长度的归化投影计算:

a. 归算到测区平均高程面上的测距边长

$$D = DP \left(1 + \frac{HP - H_m}{R_A} \right)$$

式中: D—测区平均高程面的测距边长, (m);

HP—测区平均(或补偿面)高程, (m);

H_m—测距两端的平均高程, (m);

R_A—参考椭球体在测距方向法截弧的曲率半径, (m)。

b. 归算到参考椭球体面上的测距边长:

$$D_1 = DP \left(1 - \frac{H_m + h_m}{R_A + H_m + h_m} \right)$$

式中: D₁—归算到参考椭球面上的测距边长, (m);

h_m—测区大地水准面高出参考椭球面的高差, (m);

c. 归算到高斯投影面上的边长:

(5)

(3)

(6)

(4)

式中： D_2 —测距边在高斯投影面上的长度，(m)；

Y_m —测距边两端点横坐标的平均值，(m)；

R_m —测距边中点的平均曲率半径，(m)；

ΔY —测距边两端点近似横坐标的增量，(m)。

5.6.2 平差前单位权中误差的计算

5.6.2.1 水平角测角中误差的计算

a. 三角网、边角网测角中误差

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{3n}}$$

式中： m_1 —测角中误差，(″)；

$[]$ —累计和符号；

w —三角形闭合差；(″)；

n —三角形个数。

b. 导线(网)测角中误差：

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{1}{N} [f_a f_a]}$$

式中： m_2 —测角中误差，(″)；

f_a —附和导线或闭合环的方位角闭合差，

n —计算 f 时的测站数；

N —附和导线及闭合环总的个数。

5.6.2.2 测距边单位权中误差的计算：

a. 单位权中误差

$$m_{d0} = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}}$$

式中：
 m_{d0} ——单位权中误差，(m)；

(9)

(7)

(8)

d——往、返测各边的较差，(mm)：

P——各边距离测量先验权，取值 $1/\sigma^2$ ， σ 为测距先验中误差，可按标称精度计算；

n——往返测测距边数。

b. 平均测距中误差

当网中的边长相差不大时，可按下式计算平均测距中误差：

$$m_{dl} = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (10)$$

式中： m_{dl} ——平均测距中误差，(mm)。

5.6.2.3 高差中误差的计算

a. 每条水准若分测段进行施测时，应按水准路线往返测段高差较差计算每千米水准测量的高差偶然中误差($n \leq 20$ 时可不计算)：

$$m_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{dd}{L} \right]} \quad (11)$$

式中： m_{Δ} ——每千米高差偶然中误差，(mm/km)；

d——水准路线测段往返高差较差，(mm)；

L——水准测段长度，(km)；

n——往返测水准路线测段数。

b. 水准网应按附和路线和环行闭合差计算每千米水准测量高差全中误差($N \leq 20$ 时可不计算)：

$$m_w = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{ww}{L} \right]} \quad (12)$$

式中： m_w ——每千米高差全中误差，(mm / km)；

w——闭合差，(mm)；

L——计算 w 时相应的路线长度，(km)

N——附和路线和闭合环的总数。

c. 测站高差中误差:

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{f_h f_h}{n} \right]} \quad (13)$$

式中: m_z ——站高差中误差, (mm):

f_h ——站间往返测高差较差, (mm)

n ——附和路线或闭合环内测站个数;

N——附和路线和闭合环的总数。

5.7 数据处理

5.7.1 应经常注意观测成果中出现的异常现象和可疑的问题, 综合分析各种干扰因素, 用几何的或物理的方法来消除观测值中的错误和易发现的系统误差和粗差。

5.7.2 监测控制网的平差

5.7.2.1 首次建立的(或经检验点位稳定的) • 监测控制网, 宜采用固定基准下的参数平差法(包括带有限制条件的参数平差法)。

5.7.2.2 对于个别点位不稳定的监测控制网, 宜采用秩亏自由网平差, 平差中各期资料应采用同一坐标系统, 并选择一个适当的稳定的起算基准。

5.7.2.3 用于平差的计算机软件应具备的输出和存贮功能:

- a. 参与平差计算的观测值;
- b. 平差值和改正数;
- c. 单位权中误差;
- d. 最弱点点位中误差(及高程中误差)和最弱边的边长相对中误差;
- e. 最弱相邻点点位中误差;
- f. 平差结果的方差—协方差阵;
- g. 平差结果的相关系数阵。

5.7.2.4 用于平差的计算机软件宜具备的输出和存贮功能:

- a. 粗差探测与定位;
- b. 全部点位中误差、高程中误差;
- c. 相对边长中误差;
- d. 相邻点相对点位中误差及误差椭圆参数。

5.7.3 监测控制网的稳定性检验

5.7.3.1 采用经典最小二乘严密平差时，复测后两次平差值的较差满足如下要求：

$$\Delta < 2.83m_0\sqrt{Q} \quad (14)$$

式中： Δ ——两次平差值较差，（″）

m_0 ——单位权中权差，（″）

Q ——权系数。

则可以认为监测控制网稳定，平差成果可以使用。

5.7.3.2 采用自由网平差时，对两期平差值宜先采用F检验(平均间隙法)对监测控制网点进行整体检验，若多余观测数很少；则宜用 X^2 检验法代替F检验。

若检验结果为监测控制网存在显著位移，则应作 t 检验(点估计法或区间估计法)，依较差由大到小逐点检验。直到第一个位移不显著点出现为止。

5.7.3.3 允许采用新的更先进的或等效的其它检验方法，但必须经主管部门批准或委托部门同意。

5.7.3.4 对于不稳定的监测控制网点，应分析原因，采取更换点位或其它补救措施完善监测控制网。

5.7.4 GPS 监测控制网

5.7.4.1 GPS 监测宜将监测控制网点和形变监测点连成一个整体进行处理，或者配合其它观测技术建立监测控制网。

5.7.4.2 GPS 观测数据的处理原则。

- a. 每个时段同步边，观测值的数据剔除率应小于 10%。

b. 同一条边任意两个时段的结果互差，应小于仪器标称精度的 2.8 倍。

c. 独立观测边组成闭合环，各坐标差分量闭合差应符合下式规定：

$$\begin{aligned} |W_x| &\leq 2\sqrt{n}\sigma \\ |W_y| &\leq 2\sqrt{n}\sigma \\ |W_z| &\leq 2\sqrt{n}\sigma \end{aligned} \quad (15)$$

式中：n—— 闭合环中的边数；

σ ——相应级别规定的精度(按平均边长计算)；

W_x, W_y, W_z ——x、y、z 分量闭合差。

5.7.4.3 同步观测环应满足的检核条件：

a. 三边同步环，其第三边处理结果与前面两边的代数和应满足：

$$W_x \leq 0.35\sigma$$

$$|W_y| \leq 0.35\sigma$$

$$W_z \leq 0.35\sigma$$

(16)

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2}$$

式中：w——空间三维闭合差。

b. 多边同步环，其所有闭合环的闭合差均应满足

$$|W_x| \leq 0.2\sqrt{n}\sigma$$

$$|W_y| \leq 0.2\sqrt{n}\sigma$$

(17)

$$|W_z| \leq 0.2\sqrt{n}\sigma$$

$$= \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq 0.35\sqrt{n}\sigma$$