



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113723531 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 30

(21) 申请号 202111024648.9

(22) 申请日 2021.09.02

(71) 申请人 淮阴师范学院

地址 223300 江苏省淮安市长江西路111号

(72) 发明人 陶叶青 杨娟 严琰

(74) 专利代理机构 淮安市科翔专利商标事务所

32110

代理人 韩晓斌

(51) Int. Cl.

G06K 9/62 (2006.01)

G01C 15/00 (2006.01)

G01B 21/32 (2006.01)

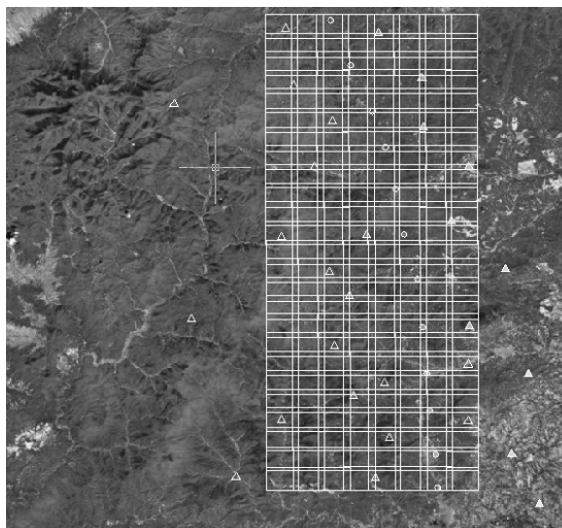
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,根据方差分量估计理论,定义几何空间尺度,建立时/空序列模型途径,构建面向多源观测数据融合的矿区地表形变监测数据程序化处理方法。本发明应用信息化对地观测技术实现矿区的基建-开采-闭坑全运行周期地表形变监测建立完善的解决方案,多种观测技术融合实现矿区地表形变实时/准实时监测数据的一致性评价,解决不同观测技术融合引起数据异质、异构与尺度差异而无法对监测精度做出准确评价的技术瓶颈。



1. 面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是该方法的步骤如下:针对空基/天基/地基对地观测技术获取的面状、线状、点状异构数据融合,应用区域性椭球理论构建矿区地表形变监测的系统框架与转换模型;根据空间尺度理论统一异质数据精度尺度,结合两种典型平差模型的几何意义分析不同几何尺度对模型稳健性、几何尺度不一致对异质数据融合的影响,建立数据处理模型一致性评价手段;应用方差分量估计理论,建立异质数据融合的平差模型;根据矿区地表形变的沉降-失衡-塌陷的基本规律,离散监测区域形成时/空格网,结合不同观测技术获取数据的时/空分辨率互补性对缺失监测区域/监测时段进行插值,应用序列模型对不同时段、不同空域的监测数据进行融合,实现覆盖矿区基建-开采-闭坑全运行周期的地表形变实时/准实时自主化监测。

2. 根据权利要求1所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是该方法的具体步骤如下:

Step1. 构建面向多种对地观测技术获取异构数据融合的矿区参考框架;

Step2. M_{split} 估计理论与S转换模型对基于多种观测技术的异质监测数据一致性检测;

Step3. 空间尺度理论定义函数模型几何空间尺度进行模型可靠性检测;

Step4. 方差分量估计理论建立异质数据融合模型,基于地表形变状态域的监测数据一致性检测;

Step5. 监测区域分别进行时/空格网离散化处理,对缺失监测点的格网单元进行插值;

Step6. 监测区格网平滑,矿区地表形变四维建模,实现矿区地表形变实时/准实时动态自主监测。

3. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step1中,根据矿区的平均高程面确定监测区域的参考椭球,椭球几何参数选择国家坐标系统椭球参数或者地方坐标系统椭球参考,以经过监测区域中心位置的子午线为坐标投影的中央子午线,投影带度数根据矿区区域确定,其跨度至少覆盖形变监测区域;应用具有大旋转角的Bursa模型建立坐标系统转换模型,构建监测区域统一参考框架;转换模型中的坐标观测值应进行重心化处理,并进行病态性检测;天基/空基获取的遥感影像或者雷达干涉影像干涉点,以及地基三维激光扫描的测站点选择,应优先选用地表已经布设的监测点,若监测点缺乏,则选用矿区不局限于井筒的需要进行形变监测的重要构筑物的特征点,进行地面三维控制测量;控制测量的平面精度不低于《全球定位系统测量规范》(GB/T18314-2009)中B级GPS测量的精度要求,高程精度不低于《国家一、二等水准测量规范》(GB/T12897-2006)中二等水准测量的精度要求。

4. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step2中,异质数据一致性检测主要针对不同观测技术获取的监测数据,包括矿区地表形变常用监测手段获取的监测数据,也包括新兴监测手段;结合矿区地表形变监测的基本规律,定义粗差为一致性检测的指标,将其分为两类情况:(1)同一监测点有两类或两期及以上监测数据,应用 M_{split} 估计理论与S转换模型对监测数据进行粗差的检测-识别-调整;其中,粗差检测的目标函数由 M_{split} 构建,粗差的识别由t分布构建统计模型,粗差的调整由IGG权函数构建模型;(2)同一监测点仅有一类一期监测数据,围绕平差模型的内部可靠性,根据平差模型得到的单位权方差,应用t分布构建统计模型对监测数据的粗差进行检测;矿区地表形变监测是通过多期监测数据的对比分析,揭示其形变过程与形变规律,因此,一类

一期监测数据的粗差检测是对原始观测数据质量的初步检核,随着监测数据量的积累,这类数据须纳入到第一类情况处理。

5. 根据权利要求4所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:常用监测手段不局限于GNSS、导线测量、水准测量;新兴监测手段不局限于雷达干涉测量、三维激光扫描;粗差的识别不局限于t分布构建的统计模型,粗差的调整不局限于IGG权函数构建的模型。

6. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step3中,针对矿区形变特征,判别、选择合适的融合模型,至少对线性与非线性这两类模型进行比较;根据模型的几何意义,定义模型的几何空间尺度,度量不同尺度标准对模型可靠性的影响与可靠性模型的识别;基于观测误差服从正态分布的假设,应用F分布构建统计模型检测不同尺度标准对模型可靠性影响;根据模型几何意义定义的几何空间尺度为指标,度量模型的可靠性,选择适用于所监测矿区的数据处理模型。

7. 根据权利要求6所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:线性模型不局限于G-M模型,非线性模型不局限于G-H模型;应用不局限于F分布构建的统计模型检测不同尺度标准对模型可靠性影响。

8. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step4中,针对不同观测技术获取异质数据具有的异方差性,应用方差分量估计理论对具有异方差的监测数据进行融合;同时,须对方差分量估计构建的平差模型进行病态性分析:(1)当观测数据多于两种,即单位权中误差因子数量大于二时,应用量化的条件数指标对方差分量估计模型进行病态性检测,当方差分量估计模型病态,应用Tikhonov函数对病态模型进行正则化;(2)当方差分量估计模型含有两类观测数据时,不对模型进行病态性检测;应用监测数据构建矿区地表形变时间序列模型,根据序列模型预测形变值,对需要融合的监测数据进行一致性检测;具体方法为,应用预测值与监测值的差值构建统计量,应用t分布构建统计函数,进行融合数据的一致性检测。

9. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step5中,依据矿区已实施监测的时间与空间分辨率,对矿区形变监测区域进行格网处理,格网的空间分辨率根据矿区地表的地貌特征进行划分,总体原则是地貌越复杂格网越精细,并且其分辨率不得小于 $5\text{m} \times 5\text{m}$;时间分辨率根据矿区基建-开采-闭坑的运行周期进行划分,执行标准为《煤矿测量规程》、《工程测量规范》国家标准;格网的空间形状采用三角网/四边网,但至少应确保每个网格单元有一个监测点;若网格缺失监测点形变数据,则通过邻近区域已有监测数据构建形变模型,对形变模型应用克里金插值算法进行插值处理,推估监测点形变数据。

10. 根据权利要求2所述的面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法,其特征是:Step6中,以单个格网为单元,应用多面函数构建矿区地表形变四维模型;在形变模型的构建中,单元格网的权值由格网内的监测点一致性检测结果作为先验信息确定;形变模型的参数是空间与时间构成的四维自变量,地表形变值为应变量;根据矿区地表形变的基本特征,自变量中的时间维度(t)以日为计量单位;空间维度采用空间三维直角坐标(X Y Z)或者平面坐标加高程(x y H),以米为计量单位,监测点平面坐标由其空间三维直角坐标经定义的矿区区域性椭球投影变换得到;地表形变值以毫米为计量单位。

面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法

技术领域

[0001] 本发明属于矿业工程、测绘工程、安全工程等行业涉及的矿区地表形变监测方法，具体涉及一种融合多种观测技术的矿区基建-开采-闭坑全运行周期的地表形变监测数据一致性评价方案，实施矿区地表形变实时/准实时的监测。

背景技术

[0002] 地表形变监测是保障矿区安全生产的必要措施，是保证地表生命财产安全与井下作业安全的有效途径。同时，对矿区地表形变进行有效监测，是矿区土地复垦、矿区生态修复等矿区治理的前提条件。近年，随着信息化对地观测技术的不断发展，地理空间数据获取呈现出空基、天基、地基多种方式并存并用的局面。特别是我国北斗卫星导航定位系统、高分辨率对地观测卫星系统等空间信息工程软硬件设施的建设与完善，覆盖矿区基建-开采-闭坑全生命周期的矿区地表形变实时/准实时监测的条件已经具备。但是，融合多种观测技术实施矿区地表形变监测缺乏完善的技术实施方案与数据处理方法，甚至出现“真观测、假融合”的现象。

发明内容

[0003] 本发明的目的：针对矿区地表形变监测技术的应用现状，围绕多种对地观测技术融合产生的异质/异构数据处理面临的技术难题，提供一种面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法，为突破矿区全运行周期的地表形变实时/准实时动态自主监测存在的技术瓶颈提供程序化解决方案，解决以下问题：1. 面状/线状/点状三类异构数据融合的特征提取与匹配问题；2. 不同观测精度的异质数据融合的空间尺度问题；3. 多种观测手段的不同时间/空间分辨率数据融合问题。

[0004] 本发明的原理：针对雷达干涉测量、三维激光扫描获取的面状数据特征点提取，与GNSS、水准测量获取点状数据的一致性匹配，应用M估计理论建立特征点提取的平差模型与特征点匹配的一致性评价方法；根据空间尺度理论定义测绘数据与数据处理模型精度尺度，应用方差分量估计理论建立异质数据融合的平差模型，结合G-M线性模型与G-H非线性模型的几何意义分析几何尺度不一致对异质数据融合的影响；根据矿区地表形变的沉降-失衡-塌陷的基本规律，离散监测区域形成时/空格网，应用典型序列模型对不同时域、不同空域的监测数据进行融合，实现矿区地表形变全周期、自主化监测。

[0005] 本发明的技术解决方案：面向全运行周期的矿区地表形变实时/准实时监测方法，该方法的步骤如下：针对空基/天基/地基对地观测技术获取的面状、线状、点状异构数据融合，应用区域性椭球理论构建矿区地表形变监测的系统框架与转换模型；根据空间尺度理论统一异质数据精度尺度，结合两种典型平差模型的几何意义分析不同几何尺度对模型稳健性、几何尺度不一致对异质数据融合的影响，建立数据处理模型一致性评价手段；应用方差分量估计理论，建立异质数据融合的平差模型；根据矿区地表形变的沉降-失衡-塌陷的基本规律，离散监测区域形成时/空格网，结合不同观测技术获取数据的时/空分辨率互补

性对缺失监测区域 / 监测时段进行插值,应用序列模型对不同时域、不同空域的监测数据进行融合,实现覆盖矿区基建-开采-闭坑全运行周期的地表形变实时/准实时自主化监测。

[0006] 其中,该方法的具体步骤如下:

[0007] Step1. 构建面向多种对地观测技术获取异构数据融合的矿区参考框架;

[0008] Step2. M_{split} 估计理论与S转换模型对基于多种观测技术的异质监测数据一致性检测;

[0009] Step3. 空间尺度理论定义函数模型几何空间尺度进行模型可靠性检测;

[0010] Step4. 方差分量估计理论建立异质数据融合模型,基于地表形变状态域的监测数据一致性检测;

[0011] Step5. 监测区域分别进行时/空格网离散化处理,对缺失监测点的格网单元进行插值;

[0012] Step6. 监测区格网平滑,矿区地表形变四维建模,实现矿区地表形变实时/准实时动态自主监测。

[0013] Step1中,根据矿区的平均高程面确定监测区域的参考椭球,椭球几何参数选择国家坐标系椭球参数或者地方坐标系椭球参考,以经过监测区域中心位置的子午线为坐标投影的中央子午线,投影带度数根据矿区区域确定,其跨度至少覆盖形变监测区域;应用具有大旋转角的Bursa模型建立坐标系转换模型,构建监测区域统一参考框架;转换模型中的坐标观测值应进行重心化处理,并进行病态性检测;天基/空基获取的遥感影像或者雷达干涉影像干涉点,以及地基三维激光扫描的测站点选择,应优先选用地表已经布设的监测点,若监测点缺乏,则选用矿区不局限于井筒的需要进行形变监测的重要构筑物的特征点,进行地面三维控制测量;控制测量的平面精度不低于《全球定位系统测量规范》(GB/T18314-2009)中B级GPS测量的精度要求,高程精度不低于《国家一、二等水准测量规范》(GB/T12897-2006)中二等水准测量的精度要求。

[0014] Step2中,异质数据一致性检测主要针对不同观测技术获取的监测数据,包括矿区地表形变常用监测手段获取的监测数据,也包括新兴监测手段;结合矿区地表形变监测的基本规律,定义粗差为一致性检测的指标,将其分为两类情况:(1) 同一监测点有两类或两期及以上监测数据,应用 M_{split} 估计理论与S转换模型对监测数据进行粗差的检测-识别-调整;其中,粗差检测的目标函数由 M_{split} 构建,粗差的识别由t分布构建统计模型,粗差的调整由IGG权函数构建模型;(2) 同一监测点仅有一类一期监测数据,围绕平差模型的内部可靠性,根据平差模型得到的单位权方差,应用t分布构建统计模型对监测数据的粗差进行检测;矿区地表形变监测是通过多期监测数据的对比分析,揭示其形变过程与形变规律,因此,一类一期监测数据的粗差检测是对原始观测数据质量的初步检核,随着监测数据量的积累,这类数据须纳入到第一类情况处理。

[0015] 更进一步的是,常用监测手段不局限于GNSS、导线测量、水准测量;新兴监测手段不局限于雷达干涉测量、三维激光扫描;粗差的识别不局限于t分布构建的统计模型,粗差的调整不局限于IGG权函数构建的模型。

[0016] Step3中,针对矿区形变特征,判别、选择合适的数据融合模型,至少对线性与非线性这两类模型进行比较;根据模型的几何意义,定义模型的几何空间尺度,度量不同尺度标准对模型可靠性的影响与可靠性模型的识别;基于观测误差服从正态分布的假设,应用F分

布构建统计模型检测不同尺度标准对模型可靠性影响;根据模型几何意义定义的几何空间尺度为指标,度量模型的可靠性,选择适用于所监测矿区的数据处理模型。

[0017] 更进一步的是,线性模型不局限于G-M模型,非线性模型不局限于G-H模型;应用不局限于F分布构建的统计模型检测不同尺度标准对模型可靠性影响。

[0018] Step4中,针对不同观测技术获取异质数据具有的异方差性,应用方差分量估计理论对具有异方差的监测数据进行融合;同时,须对方差分量估计构建的平差模型进行病态性分析:(1)当观测数据多于两种,即单位权中误差因子数量大于二时,应用量化的条件数指标对方差分量估计模型进行病态性检测,当方差分量估计模型病态,应用Tikhonov函数对病态模型进行正则化;(2)当方差分量估计模型含有两类观测数据时,不对模型进行病态性检测;应用监测数据构建矿区地表形变时间序列模型,根据序列模型预测形变值,对需要融合的监测数据进行一致性检测;具体方法为,应用预测值与监测值的差值构建统计量,应用t分布构建统计函数,进行融合数据的一致性检测。

[0019] Step5中,依据矿区已实施监测的时间与空间分辨率,对矿区形变监测区域进行格网处理,格网的空间分辨率根据矿区地表的地貌特征进行划分,总体原则是地貌越复杂格网越精细,并且其分辨率不得小于 $5m \times 5m$;时间分辨率根据矿区基建-开采-闭坑的运行周期进行划分,执行标准为《煤矿测量规程》、《工程测量规范》国家规范;格网的空间形状采用三角网/四边网,但至少应确保每个网格单元有一个监测点;若网格缺失监测点形变数据,则通过邻近区域已有监测数据构建形变模型,对形变模型应用克里金插值算法进行插值处理,推估监测点形变数据。

[0020] Step6中,以单个格网为单元,应用多面函数构建矿区地表形变四维模型;在形变模型的构建中,单元格网的权值由格网内的监测点一致性检测结果作为先验信息确定;形变模型的参数是空间与时间构成的四维自变量,地表形变值为应变量;根据矿区地表形变的基本特征,自变量中的时间维度(t)以日为计量单位;空间维度采用空间三维直角坐标(X Y Z)或者平面坐标加高程(x y H),以米为计量单位,监测点平面坐标由其空间三维直角坐标经定义的矿区区域性椭球投影变换得到;地表形变值以毫米为计量单位。

[0021] 本发明具有以下优点:

[0022] 1.实现基于空基/天基/地基多种观测技术组合的矿区地表形变实时/准实时的自主化监测,克服单一观测技术时/空分辨率低、可靠性差,地表形变需要人工干预判断等缺陷。

[0023] 2.建立基于多种观测技术组合的异质/异构数据融合的一致性评价方案与方法,实现顾及观测技术、数学模型等要素的观测数据可靠性融合。

[0024] 3.从空间尺度的角度定义矿区观测数据处理模型的几何空间尺度,实现不同矿区最优数据处理模型的自主化选择。

附图说明

[0025] 图1为某煤矿生产作业面地表形变监测图;

[0026] 图2为平均高程面与投影变形的关系图;

[0027] 图3为本发明监测方法的流程框图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图以我国山西省大同市某煤矿井下作业面的地表形变监测为例,说明本发明的技术实施方案,不应理解为是对本发明技术方案的限制。该井下作业面的地表形变监测时间跨度为二十七个月,矿区的坐标参考框架为国家某参心坐标系统。

[0029] 地表形变监测涉及的观测手段包括:

[0030] (1) 沿井下作业面布测的水准测量,作业精度为二等高程控制测量,共开展二十一期观测;

[0031] (2) GNSS控制测量,控制点为企业布设的CORS站点,作业精度为B级GPS 控制网,共开展九期观测;

[0032] (3) 天基SAR干涉影像,共十二景;

[0033] (4) 空基SAR干涉影像,共四十景;

[0034] (5) 五个滑坡体形变三维激光扫描数据,共六期。

[0035] 如图1所示,某煤矿生产作业面地表形变监测图,图注:●沿井下作业面布测的水准点;▲井下作业面邻近区域布设的GNSS控制点;□单元格网,格网间的重叠度为15%。

[0036] 矿区使用的坐标参考框架为国家某参心坐标系统,部分控制点坐标列举如下表1。

[0037] 表1矿区部分控制点坐标

点号	x/m	y/m	点号	x/m	y/m
1	597.707	747.237	6	374.695	1306.454
2	522.761	825.761	7	372.883	1472.833
3	436.213	917.615	8	373.977	1667.177
4	371.962	981.370	9	372.954	1760.555
5	375.486	1163.941	10	372.769	1853.705

[0039] 根据矿区所在区域的地形地貌特征,分析平均高程面与投影变形的关系,如图2所示,并据此建立矿区区域性参考椭球。

[0040] 应用Bursa模型(不局限于此模型)实现具有大旋转角的国家坐标系统坐标(X_0 Y_0 Z_0)与矿区区域坐标系统坐标(X_1 Y_1 Z_1)转换:

$$[0041] \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z_0 & Y_0 \\ Z_0 & 0 & -X_0 \\ -Y_0 & X_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_x \\ \xi_y \\ \xi_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0042] 如图3所示,为本发明监测方法的流程框图,根据此框图对山西省大同市某煤矿井下作业面的地表形变进行监测,部分监测点累积沉降量列于表2。

[0043] 表2部分监测点累积沉降量

[0044]

点号	十一期	十二期	十三期	十四期	十五期
	累计 沉降量(dm)	累计 沉降量(dm)	累计 沉降量(dm)	累计 沉降量(dm)	累计 沉降量(dm)
1	-0.9	0.6	-2.9	-3.4	-1.3
2	-2	-1	-2.6	-3.3	-1.8
3	-1.2	0.1	-4.5	-4.9	-3.2
4	0.9	1.3	0.8	-0.6	1.1
5	-0.8	-0.9	-1.1	-2.9	-0.1
6	1.1	0.4	0.4	0.4	0.9
7	-1.4	-1.2	-1.8	-2.5	-1.3
8	-1.4	-1.1	-1.3	-2.4	-1.2
9	-2.1	-1.2	-3.1	-3.5	-2.4
10	-1.5	-1.3	-2.5	-3	-1.5

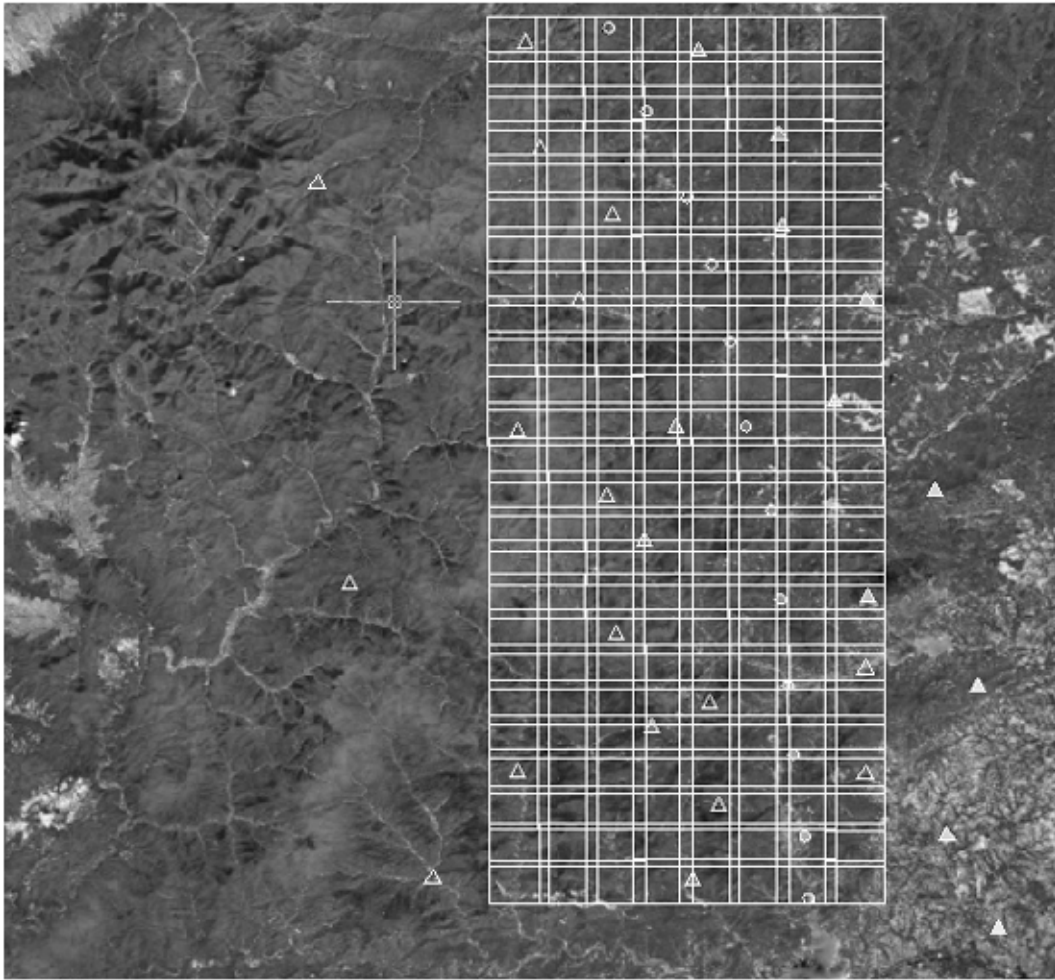


图1

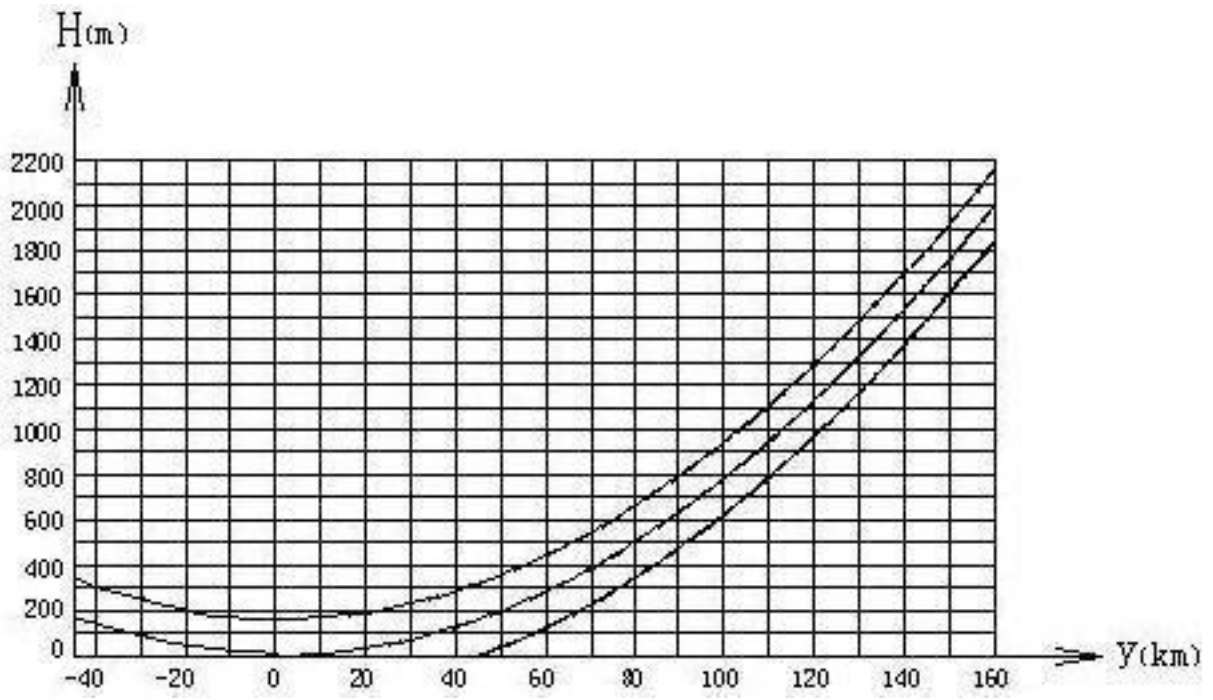


图2

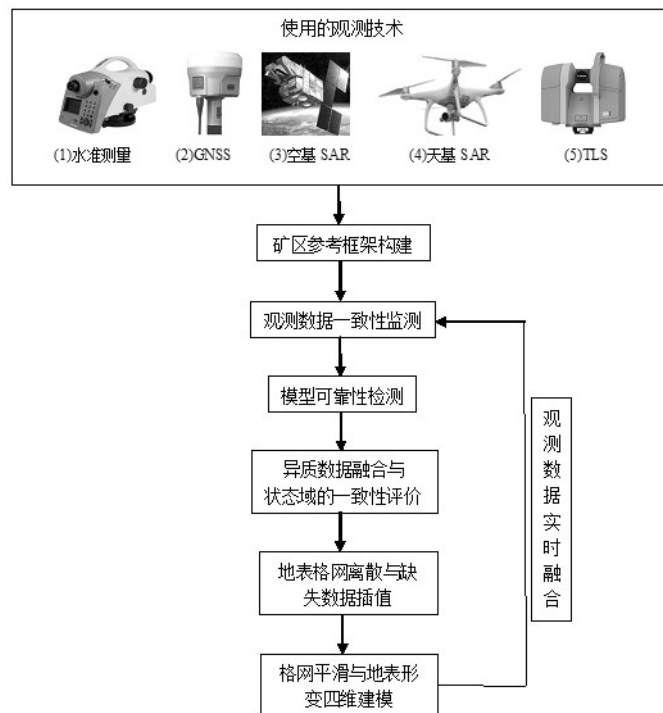


图3