

天津市地面沉降及有关问题的讨论

胡惠民 (国家地震局测量大队)

提 要

天津市地面沉降幅度大、范围广,年最大沉降平均速率达80毫米,如不控制地下水的大量开采,还有发展的趋势。对京津唐地区十几期精密水准复测资料的分析,宝坻基岩标年平均上升速率为1.7毫米,属相对稳定的基岩标点,目前可作为监测市区地面沉降的参考点。天津及其周围地区现今构造活动仍较强烈,受北东向和近东西向构造控制,现代地壳变形出现南降北升。综合海平面、水准测量等资料,天津地区年平均下降速率约1—2毫米。

一、地面沉降的现状

天津市为我国地面沉降最严重城市之一,不仅幅度大、幅面广,而且与周围大小漏斗区已连成一片。目前天津市漏斗范围已超过8000km²,并有继续加速扩大之势。从1959—1985年的年平均沉降速率图(图1)可见,市区出现了五个漏斗中心,漏斗区累计沉降量一般大于2米,其中白庙工业区累计沉降速率最大,市内大部分地区年沉降速率已超过50毫米。

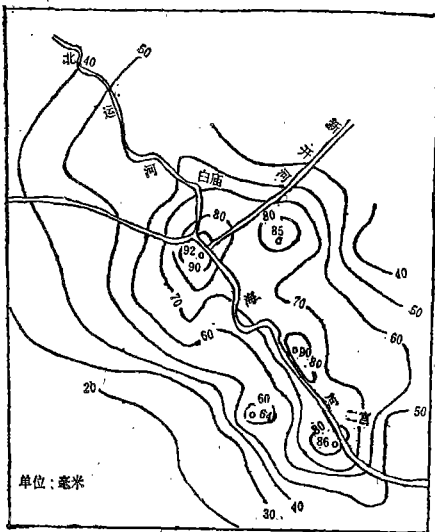


图1 天津市地面沉降年平均速率图

据1985年测量资料,市区东北方向东局子一带出现新的沉降区,年平均沉降速率达140毫米,发展下去则可能与大直沽漏斗相连。塘沽从1966—1985年地面沉降日益增加,也出现了三个漏斗中心,其中人民

公园漏斗中心的最大年沉降速率为80多毫米,这对海拔很低的塘沽来说是一个严重的问题。

二、地面沉降参考点的问题

天津市的地面沉降已做过大量工作,但因采用参考点不同,对地面沉降的认识亦有差异。如有的部门曾用大沽海平面作为相对稳定的参考点;地震测量部门一般用北京原点做为相对稳定点,但此点离天津市区较远,测量传递误差较大,不宜直接做为参考点用;天津市测绘部门则采用宝坻浅层基岩标做为参考点等。现将有关情况简述如下:

1. 天津塘沽北炮台海平面验潮站,已积累了七十多年资料,根据1910年至1977年海平面变化,用回归计算方法所得年平均海平面变化值看出,海平面以每年平均4.3毫米的速率呈趋势性上升。(图2)由于海平面观测精度较低,存在气象、海洋水文、海底地貌和周期性等条件的影响,塘沽地区本身又存在着地面沉降问题,给应用海平面观测资料带来很多不利因素。但该观测资料累积时间长,对研究周围地区的相对变化仍有一定的参考价值。

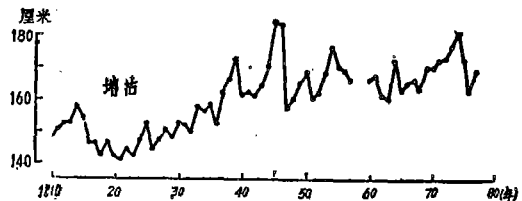


图2 天津海平面年变图

2. 北京原点是一个很坚实的基准点,六十年代起即作为研究区域现代构造活动和北京市城市建设和规划部门使用,七十年代初发现该点并不很稳定,以后根据不少部门研究,该点存在着趋势性下沉。以较稳定的兴武21甲(宝坻县境内)水准点为准计算,从1969—1983年中,北京原点年下沉量为-1.9毫米。这种变化与北京城区开采地下水有关外,可能还反映了北京凹陷的长期继承性下沉。

3. 宝坻基岩标建于1968年,钢管标深159.61米,至今已积累十几年观测资料。为更好地评定和研究该标的稳定性,我们把计算网形扩大到京津唐范围,使用不同年限的多期观测成果。采用的基本方法是“相

对“稳定度”的概念，也就是描述地面两水准点间相对稳定性^[1]，进而找出相对稳定的参考基准，研究基准点不同时期的稳定性及运动状态，然后采用有关公式计算求得区内各点的稳定度（图3）。

从图3可以看出，圆圈愈大，水准点稳定度愈高。图中怀兴18甲、蓟深7乙水准集点稳定度较高，但由于复测周期次数少，不便对比使用。我们以兴武21甲水准点作为对比研究宝坻原点的参考基准点，从1969—1983年求得宝坻原点平均速率是上升的，年上升速率为1.7毫米（图4）。图中可以清楚地看出，北京原点基本上为下降的，而位于天津市漏斗区的京津23甲

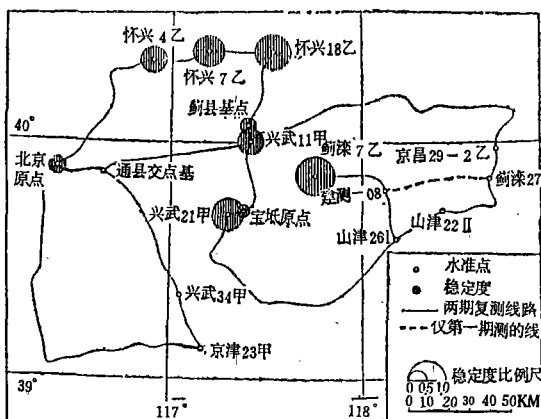


图3 各点的稳定度图（1975—1983）

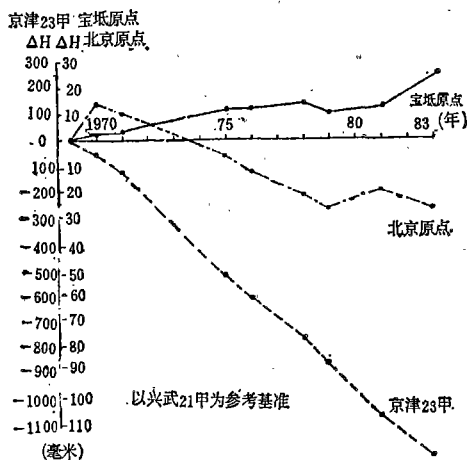


图4 宝坻原点平均速率图（1961—1983）

水准点，却出现长趋势下降，年下降速率为-87毫米。

为了更好地研究宝坻基岩标的稳定性，我们剖析了该内外套管点（即上下点）历年测量资料，总的来

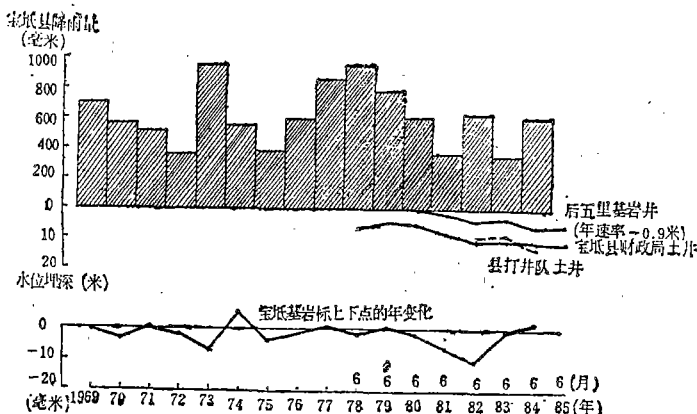


图5 宝坻基岩标高差变化图

看其两点高差变化不大（图5），但在1973年和1982年变化较为突出，变化量分别为8和11毫米（图5）。

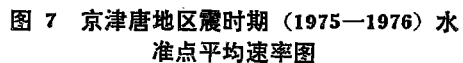
通过与宝坻县降雨量资料对比，发现其前一年即1972年和1981年正是降雨量较少的年份、可能存在着滞后效应。由于该点附近缺乏长期地下水观测资料，目前还无法证实。从周围地下水观测资料来看，水位均呈下降形态。至于有的降雨较少年份、为何对高差没有发生滞后效应，尚待研究。

三、现代构造活动问题

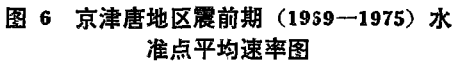
天津市位于华北拗陷的沧县隆起部位，第三纪以来长期沉降，新生代沉积物超过千米，最厚处可达3000多米。如按天津地区第四纪沉积厚度500—600米，第四纪下限年代300万年计算，年沉降速率约为0.17—0.2毫米，与邵世雄根据河北平原第四纪地层原度等资料，推算出平原地区速率为0.17—0.38毫米的数据相近。当然应用这些数据中，要考虑到天然土层的压密，含水量减少以及人为压实等因素，显然这些数据要小于现代所能测到的构造形变。

不少学者对渤海西岸新构造活动研究，所得到的构造形变速率说法不一，但基本上认为天津地区属下降型海岸。重复高精度的水准测量可以较直观地测到现代地壳形变变化幅值。研究天津地区的构造活动，应着眼较大范围，并与近期地震活动性综合考虑。如1967年6.3级的河间地震；1969年7.4级渤海地震，1975年7.3级海城地震，以及1976年7.8级唐山地震，无疑这些地震活动对天津地区的地壳构造形变会带来很大影响。尤其是唐山地震，使天津市的建筑物遭到很大破坏，并使市区地面沉降量进一步增加。为研究天津地区不同时期的构造活动的特点，将14期重复测量成果，以唐山地震为时段，划分为震前，震时和震

1. 1969—1975年的震前期 从测量和计算平差资料(图6),除天津市和宁河县受开采地下水影响,出现下沉中心外,大部分水准点变化速率均在 $-1.5—+2.5$ 毫米间,反映出唐山地震震前西部地区处于相对稳定(仅个别点变化达 -6.3 毫米。唐山以东地区:出现一定范围的上升区,大致呈北东向展布,说明此期间在唐山震区附近,地壳应力相对集中而出现的震前趋势变化。此时位于宝坻凸起上的宝坻原点呈现上升,年平均速率为 $+1.3$ 毫米。位于北京凹陷区内的北京原点则出现持续下降,年平均速率为 -1.5 毫米。天津市沉降区内平均下降速率达 -87.3 毫米。



壳应力调正期, 随余震减少, 大部水准点趋向平稳。从图 8 看出, 大致以宝坻南断裂为界, 北部宝坻凸起、唐山隆起大部分点仍有上升趋势, 其中宝坻基岩标却出现反常变化、年平均上升速率为 4.0 毫米。北京原点也呈现出微弱上升。这些变化的原因尚待研究, 但初步认为唐山地震后应力释放不均衡, 可能反映了各断块间出现的局部均衡调正。南部的冀中拗陷区水准点以下降为主, (西侧出现的局部上升水准点位于大兴凸起) 此时天津市区年下降平均速率为 -83.3 毫米, 与震前变化相近。市区外围有些点也出现较大幅度沉降, 可能与漏斗区范围扩大有关。



2. 1975年—1976年的震时期 由于发生唐山7.6级强震和滦县7.1级、宁河6.9级余震,使京津唐地区地壳形变有很大变化,除唐山西北地区出现上升区外,大部分均属下沉区。唐山地震使宁河—唐山、古冶—滦县一线出现三个下沉中心,以宁河下沉幅值最大,年速率达-1358毫米。三个下沉中心的展布方向与唐山北30°东向发展断层主破裂面大体一致。震前唐山以东地区出现的上升已经消失,转为下降,可能说明深部地壳应力突然松弛所造成。(图7)这个时期出现的大部分下沉点,主要是震后效应所致,包括震动后土层压密,局部应力调整等。凡第四系厚度愈大地区,下沉幅值变化愈大。如北京原点年变化速率仅为-7.0毫米。天津沉降区的京津23甲水准点,由于地震瞬时作用,出现了加速变化,年速率达-101毫米。以上情况反映唐山地震波及范围之广,影响幅度之大,是长期缓慢地壳变动无法比拟的。

图 8 京津唐地区震后期 (1976—1983) 水准点平均速率图

综观上述, 本区大致以宝抵南断裂为界, 北部隆起区相对较为稳定, 近期地壳形变以上升为主, 宝抵基岩标点即位于此部位。南部则以下降为主, 除区域构造因素外, 有些点受强烈开采地下水影响。本区三

长江葛洲坝工程基坑卸荷效应断裂力学模型分析

李宗华(葛洲坝水电工程学院)

提 要

在一些大坝工程中,有关岩体应力的现象引起人们的关注。J. Müller (奥地利, 1963) 曾以瓦依昂坝失事为例,说明残余应力对地面工程的影响,并提出一些相应的处理方法。在第八届国际大坝会议上(1966), N. Hast (瑞典)指出,在修筑大坝前必须充分分析坝基岩体的应力状态,并预测建坝后的应力状态的变化。在第三届国际岩石力学会议上(1974),一些欧洲学者如Manuel Rocha 陈述过开挖基坑将引起基坑底板岩石斜交地表的剪切断裂和水平分离。关于地表和地下大尺寸开挖及其有关应力问题被列为国际工程地质协会第五层会议的主要议题之一,这表明人们的认识日益深化且受到重视。

全世界地壳应力实测的上万数据表明,水平应力大于垂直应力且大于按自重计算应力的例子大约占75%。我国几个大尺寸开挖的水电工程现场如葛洲坝、三峡和二滩工程等亦属此类。在大的初始水平应力作用下,决定大尺寸开挖或自然侵蚀而引起的应力~应变变化的主要因素是地表几何形态随开挖或侵蚀过程的变化。

本文以葛洲坝工程二江电厂基坑为实例,视发生卸荷效应的地表人工坑槽和自然侵蚀河谷为半无限空间弹性体的边缘缺口,建立其卸荷效应的线弹性断裂力学模型。本模型用于岩质高边坡和坝基稳定分析可能是可取的简便方法。

个时期的地壳形变,受北东向和东西向构造线控制,7.8级唐山地震就是在此两组构造交会处发生的。

四、几点认识

1. 天津市区地面沉降年平均速率在-80毫米以上,如不大量减少地下水开采量,对沉降区采取回灌措施,就不能减缓天津市地面沉降。

2. 通过京津唐地区十几期精密水准复测资料分析,区内不存在绝对稳定点,但有些点位相对稳定性较好,如宝坻基岩标点年平均上升速率1.7毫米,蓟县基岩点年平均上升速率为1.4—1.8毫米,以此作为天津市地面沉降参考点目前是完全可以用的。如采取措施天津市地面沉降速度减缓,要求今后选择精度更高、稳定性更好的相对参考点。

3. 京津唐地区近期的地壳形变明显受北东向和东西向构造控制,出现了北升南降的形变概貌,表明本区第四纪以来具有明显的继承性。天津地区横跨几

一、模型的基本假设

由于地面、地下大尺寸开挖或侵蚀卸荷引起的地表缺口围岩应力、变形和破坏,在下述条件下可用本模型分析:

1. 岩石是均质各向同性或横观各向同性的弹性体或粘弹性体;

2. 远场存在着相对岩石垂直应力和自重应力都是较大的水平应力作用;

3. 缺口前缘轮廓曲率足够大,以致可以忽略垂直方向和平行于缺口长轴的水平方向的卸荷影响;

4. 塑性区相对于缺口尺寸局限在小范围。

二、模型的建立及其实例分析

(一) 以二次曲线拟合缺口断面轮廓

1. 缺口纵断面的半椭圆曲线拟合 如图1.a,实例基坑长 $2L=259.00\text{m}$,两端各以陡壁下切至7.80m和4.50米高程,而其中段最深达0.00m高程,即在原基岩面平均高程以下 $h=42.00\text{m}$ 深处。令等效半椭圆长半轴 $C=(1+\alpha)\cdot L$,短半轴 $a=(1+\alpha)\cdot h$,其面积等于实际开挖基坑纵断面面积。据此精心计算得

个构造单元,现代构造活动的强度也是不同的。位于黄骅拗陷的渤海沿岸是下降的。如以海平面年平均上升4.3毫米计算,显然过大。若能扣除近年世界海面上升平均年速率1.4—1.5毫米⁽²⁾,则沿海地区年下沉速率约2毫米较为可信。位于沧县隆起的天津市区,由于干扰因素强烈,无法确切估计下降速率,考虑到周围地区的资料,年下降平均速率约在1—2毫米之间较为合适。

注:本文中应用的不少资料,由天津测绘处提供,计算工作由黄立人、赵承坤同志完成,在此表示感谢。

主要参考文献

[1] 黄立人等,1985年,带权基准方程平差在垂直形变分析中的应用,大地形变测量,第四期。

[2] 章大初,1986,地面沉降监测中的海洋相对稳定参考面,测绘通报,第三期。