

# 建筑物安全监测必要精度的确定方法

林文介

(桂林工学院国土开发与测绘系)

**摘要** 当前确定建筑物变形观测必要精度的方法存在局限性,提出3个观点,基于观测误差不应影响对建筑物安危的判断,以允许变形值的安全度为依据较为合理;安全度应指结构验算中的强度储备;可将观测误差视作荷载误差,与其他影响结构强度的因素共同组合成结构强度偏差以反演观测精度指标。

**关键词** 安全监测, 必要精度; 临危变形值; 允许变形值; 结构强度储备

**中图分类号** TU196.1; TU433; TU196.4

确定必要合理的观测精度,与正确选择观测点和观测时机一样,是为使观测成果能真实地反映出建筑物的变形特征、变形过程和变形状态的3项重大技术问题。而前者显得更为重要、更为复杂。因为变形观测的精度决定着观测成果以及由此而得出的建筑物安全状态结论的可靠性和真实性,并涉及到观测方法的选择、观测仪器的选型、技术措施的制定以至观测技术的发展,无论于测量人员还是建筑物的设计和管理人员都是十分重要的。说其复杂,因为变形观测的对象是一庞大的承载于地基上的建筑体,建筑物本身结构复杂,又建筑于成分复杂的地基上,在变形量与变形因素间的关系方面,很难用一确定性关系式来表述。所以实际工作中往往出现这种情况,或提出和采用了没有充分根据的测量精度,或对不同观测周期和同一建筑物的不同部位采用相同精度观测,无论在经济上还是安全上都是不利的。针对此况,当前国内外工程测量界就这一重大课题仍在进行着深入的探索研究,意在选择一个科学、合理、可靠而又简便的方法。本文将着重研究以允许变形值及其安全度为依据确定变形观测必要精度指标问题。

## 1 确定建筑物安全监测精度指标的几种方法

### 1.1 几种方法

国内外工程测量界对以“保障安全”为目的的建筑物变形观测,主要按下列方法确定观测精度指标:①以阶段平均变形量为依据;②以“固定”值为依据;③以最小变形值为依据;④以实际变形速度值为依据;⑤以予期变形值为依据;⑥以允许变形值为依据;⑦以允许变形值的安全度为依据。

### 1.2 几种方法的综合述评

1.2.1 关于以建筑物阶段平均变形量为依据 该提法的含义是将建筑物变形过程划分

1995年3月3日收稿,4月30日改回。

作者简介:林文介,男,1938年出生,副教授,工程测量专业。

为若干阶段, 每个阶段的变形观测精度指标则根据阶段平均变形量依一定比例求出<sup>(1)</sup>, 阶段变形量一般指阶段平均沉降量, 即两周期间各观测点沉降量的算术平均值, 为可靠地反映阶段平均沉降量, 有关文献提出按平均沉降量的20%作为观测精度指标。

作为变形特征值, 平均沉降量在一定程度上表达了建筑物的总体沉降状态, 在安全监测中, 当需要研究建(构)筑物间相关关系时其具有重要的实际意义, 如在排水困难地区或建筑物间有连系生产设备时, 为研究排水或管道及连续生产线的正常运行, 需关注建筑物室内地坪与室外地坪间或建(构)筑物之间高程的相对变化。另外, 作为平均沉降量的均方差也在某种程度上间接地反映了不均匀沉降的状况, 若能同时指出最大沉降量和最小沉降量的值和点, 则更能充分反映建筑物总的变形特征, 其具有特定的实际意义。但为了安全运营, 更为关注的应是建筑物本身的结构稳定, 因为建筑物结构破坏的主要原因是由于不均匀沉降引起的剪应力和挠曲应力, 差异沉降超过其容许值会造成建筑物的破坏, 危及安全。因此建筑物地基的安全主要应由差异沉降来控制, 作为安全监测, 应特别注意建筑物本身各部位的差异沉降状况。因而该观点只能在某些特定条件下使用。

1.2.2 关于以某些固定值为依据的提法 其以某一“确定值”作为确定观测精度的标准, 此“确定值”一般多由经验数据获得, 为一绝对精度指标。如在《水利水电工程施工测量规范》中, 就曾提出大坝沉降点的观测中误差应小于1 mm(砼坝)或3 mm(土坝), 这个值就是根据大量数据统计分析而得。还有, 如文献〔2〕所述的“各种构筑物点位标高的容许测定误差要求在0.2~0.4cm范围之内。”实际工作中, 对于那些建筑结构和地基条件复杂, 外界条件(或荷载)变化随机性大的建筑物(尤其是庞大建筑物)来说, 由于其基础的实际弹性模量与计算值相比出入较大而无法准确可靠地求取允许变形值。故只能从实际出发, 根据一些实测数据经统计分析后提出某一确定的固定值作为观测精度指标, 才能符合实际。问题是对工程建筑物来说, 不仅不同建筑物其结构组合与地基状况各异, 所取样的变形数据也来自不同的变形阶段; 而同一类型的建筑物其结构形式、规格以及荷载组合也不尽相同。因此, 其变形状况十分复杂, 其观测精度指标是很难用一个固定值概括的。显然, 该观点的实用范围也只限于某些特定条件。

1.2.3 关于以建筑物最小变形值为依据的观点 据文献〔1〕介绍, 有的文献提出以“两倍的沉降观测中误差不得超过最小沉降值”作为沉降观测精度标准, 即沉降点高程的观测中误差应小于最小沉降值的1/4。在国内一些大中城市(如北京、天津等等), 也曾规定建筑物的最小沉降量(指周期稳定指标值)取值为1~2 mm/100 d(即日均沉降速率0.1~0.2 mm)。因而, 在以100天为观测周期时, 观测点的高程中误差应小于0.25 mm或0.5 mm, 其实质也是“观测误差不能大于最小变形值。”但是对于最小变形值的含义及如何确定最小变形值, 并不明确。至于所谓周期稳定指标值, 可以作为最小变形值的一种标志, 在国内的不少论文及著作中也确有以日均沉降速率小于0.1或0.2mm作为判断建筑物稳定的标准, 但该指标的依据何在? 尚未见有文献予以说明, 而其精度指标还与观测周期相关。显然, 不论变形速度和变形状态如何, 一律规定观测误差小于最小变形值或稳定标准, 是欠经济的。

1.2.4 关于以预估的变形量或变形速度为依据的观点 这里涉及到以变形的绝对值为

依据和以变形的速度值为依据的问题, 由于其实质相同只表述形式各异故一并讨论。

以予估的变形量或变形速度为依据的观点与下面将讨论的以允许变形值为依据的观点, 目前为国内外文献经常引用和应用的两个观点。其思路是: 所确定的必要精度无论在规定时间段内变形值的本身方面还是变形速度方面, 都应是在所确定的精度下测得的变形值是可靠的, 即符合“实际上可靠”的原则。亦是

$$\Delta \geq m \cdot K \quad (1)$$

式中:  $\Delta$  为予期变形值;  $m$  为其观测精度指标;  $K$  为由误差分布类型和置信概率决定的系数, 当取置信概率  $\alpha=0.05$  或  $0.01$  时, 一般取  $K=4\sim 6$ 。

$$\text{即 } m < \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}\right) \Delta_{\mp} \quad (2)$$

文献〔3〕在研究变形观测精度与复测周期及变形速度间的关系时也曾推导出由已知变形速度  $v$  与复测时间间隔  $\Delta t$  计算必要观测精度的公式:

$$m \leq \frac{\Delta t \cdot v}{\sqrt{2} \cdot K} \quad (3)$$

比较 (3) 式与 (2) 式, 实质上是一致的。

上述方法的最大优点是体现了“实际上可靠的原则”, 使观测值能以一定置信概率反映了变形状态, 其立论是正确的。但是在实际工作中, 要准确确定予期变形值或予期变形速度具有一定困难, 因为不同阶段变形速度不同, 不同部位变形速度也不同, 予估变形值还也所确立的时间间隔相关, 其是一个变量。一般情况下, 予期变形速度或予期变形值, 往往只能根据地基验算资料或动荷载的予期值来确定, 或者依据前一阶段的实测成果加以一定修正值取用。因而对不同的观测阶段或不同的观测部位需予以不同的观测精度并应随时予以调整。显然, 观测精度指标变动过大过频繁, 于实际作业就有许多不便。故当前国内外较为经常引用并纳入有关规范中的仍是以允许变形值为依据的观点。

## 2 关于以允许变形值为依据问题的讨论

在国际测量师联合会 (FIG) 的第 13 次大会 (1971) 上, 变形观测研究小组提出“如果观测的目的是为了使变形值不超过某一允许的数值而确保建筑物的安全, 则其观测的中误差应小于允许变形值的  $1/10\sim 1/20$ ”。这是当今国内外应用较广的观点。根据这一观点, 所需的观测精度取决于允许变形值的大小, 如果允许变形值大则观测精度要求低, 反之观测精度要求高。

允许变形值, 意指建筑物接近临危状态时的变形量。由材料力学观点知, 当其内应力处于弹性极限点时, 其变形量应是建筑物安危的界限, 若变形超过了这个界限, 建筑物将遭受破坏或影响使用。例如在各类工程建(构)筑物中, 当基础挠曲应力和墙体剪应力发展到应力极限状态时会使基础和墙体产生裂缝。产生此种现象的根本原因是基础的不均匀沉降。在美国, 曾有人对 95 座建筑物的差异沉降和破坏情况作过统计报导, 当两点间差异沉降  $\delta/L > 1/300$  时, 墙壁出现了裂缝; 当  $\delta/L > 1/150$  时结构开始破坏。因此建议取  $\delta/L > 1/500$  为允许变形值, 此时  $\delta/L > 1/300$  为临危界限。我国《建筑地基基础设计规范》中曾在结构分析基础上对地基允许变形值作有规定(附表), 为使观测误差在变形观测值中所占比重很小, 不致于影响对建筑物安危的判断, 取允许变形值

附表 房屋和构筑物的地基容许变形值

Appendix table The allowable deformation of ground about buildings and structures

变 形 特 征	地 基 土 类 别	
	砂土, 中、低压缩性 粘 性 土	高压缩性 粘 性 土
砖石承重基础的局部倾斜	0.002	0.003
工业与民用建筑相邻柱基的沉降差, (1)框架结构 (2)砖石墙填充的边排柱 (3)当基础不均匀沉降时不产生附加应力的结构	0.002L 0.0007L 0.005L	0.003L 0.001L 0.005L
单层排架结构(柱距为6m)柱基的沉降量(cm)	(12)	20
桥式吊车面的倾斜(按不调整轨道考虑) 纵 向 横 向		0.004 0.003
高耸构筑物基础的倾斜 $h < 20$ $20 < h < 50$ $50 < h < 100$		$< 0.008$ $< 0.006$ $< 0.005$
高炉基础的倾斜		0.0015
高耸构筑物基础的沉降量(cm)	(20)	40

表中: 有括号者仅适用于中压缩性粘性土;  $L$  为相邻柱基的中心距离(cm);  $h$  为自室外地面起算的构筑物高度(m)。

(1/10~1/20) 作为观测精度指标是合理的。

李青岳教授认为: 允许变形值“应根据建筑物的性质与作用来确定, 例如对于建筑在土基上的民用建筑物可以容许的倾斜或不发生裂缝的差异沉降值作为容许值; 对位于排水困难地区(亦即容易积水的地区)的建筑物则可以容许的平均沉降量作为限值; 对于工业建筑物的变形观测, 应以保证机电设备的正常运转所允许的偏差为依据, 推导观测值的容许误差。”<sup>[4]</sup> 这就是说, 允许变形值的确定不仅以建筑结构受到破坏为界限, 也可以是否影响建筑物的正常使用为准, 如建筑物的整体下沉不影响排水及不影响建筑物间连系生产设备和各类管线设施的正常使用。

以允许变形值为依据的观点, 是目前国内外引用较多应用较广的一种确定变形观测必要精度的方法, 从有利于根据观测值判断建筑物安危角度看, 具有一定的实用价值。但从理论上讲, 根据允许变形值大小来取值观测必要精度的作法在概念上也还有值得商榷之处。因为, 允许变形值为接近临界状态时的变形量, 其距临界界限有一允许的偏差, 此偏差大小并非与临危变形值大小成比例。因此当某类建筑物其允许变形值的数值较大时, 有可能出现按允许变形值依比例计取的允许观测误差大于允许变形值的允许偏差, 这就影响到对建筑物安危的判断, 也即“观测精度取决于允许变形值大小”的说法没有考虑到允许变形值的安全度。因此, 应研究以允许变形值的安全度作为确定变形观测精度依据问题。

### 3 依据允许变形值的安全度确定变形观测精度指标

#### 3.1 立论

允许变形值是在保留一定安全度条件下临危变形值的近似值,它对建筑物安危的判断是在本身含有一定误差情况下作出的。取值观测限差的大小,要在安全度范围内以“不影响允许变形值对建筑物安危的判断”为原则。只有这样,才能保证所测出的变形值于安全监测可靠有用,否则是不安全的。即

$$\delta_{允} + F = \delta_{临} \quad (4)$$

$$m \leq \frac{1}{K} \cdot F \quad (5)$$

式中,  $\delta_{允}$  为允许变形值;  $\delta_{临}$  为临危变形值,  $F$  为安全度;  $m$  为观测精度指标;  $K$  为系数,与结构安全储备的荷载影响因子数及概率置信水平相关。

由于观测误差只占安全储备的若干分之一,不至于影响根据观测成果对建筑物安危的判断,加上安全度的求取相对允许变形值来说要便捷些。可以肯定,用允许变形值的安全度作为确定变形观测精度指标的依据,其立论是正确的,其方法也较为合理可靠,在如何确定建筑物变形观测必要精度方面,较之国际测量师联合会(FIG)1971年提出的以允许变形值为依据的观点是深入了一步。该观点能否真正合理可靠,取决于如何正确定义安全度及怎样由安全度确定观测精度指标。

#### 3.2 安全度的定义

文献〔1〕曾建议将《建筑地基基础设计规范》在确定允许变形值时所留有的安全储备定义为安全度。如据统计资料,若干幢处于高压缩粘性土地区的建筑物,当墙体出现裂缝时其差异沉降值均大于  $0.0035L$ ,若取  $0.003L$  为差异沉降允许值,则所舍尾数  $0.0005L$  即为安全度  $F$ 。文献〔6〕也曾这样认为当实测变形值  $\delta_{测}$  加上观测误差  $\Delta$  小于临界变形值  $\delta_{临}$  时,建筑物才是安全的,亦即

$$\delta_{测} + \Delta \leq \delta_{允} + F \quad (6)$$

临危状态时

$$\delta_{测} = \delta_{允}$$

则

$$\Delta \leq F \quad (7)$$

显然文献〔1〕、〔6〕将确定允许变形值时所舍去的尾值或测量极限误差定义为安全度,这种单纯用测量误差理论来研究工程结构问题的方法是值得商榷的。

首先,既然允许变形值是在保留一定安全度条件下临危变形值的近似值,如(4)式其二者之差异应定义为安全度。如上述国外资料对建筑物裂缝状况的统计中,当差异沉降达  $1/300$  时墙体产生裂缝(结构破坏)而取  $1/500$  为允许变形值就是一例。此时  $1/500$  与  $1/300$  之差即为安全储备,可定义为安全度。

另外,从结构强度理论看,允许变形值是指建筑材料处于弹性阶段工作,其应力强度临近屈服强度(临危强度)值  $\sigma_s$  时的最大变形,其安全储备则应指建筑物结构设计中的强度储备。如一般结构验算时,设计容许应力值  $[\sigma] = \frac{1}{n} \sigma_s = \Phi \cdot \sigma_s$ ,其中  $n$  为安全系数,为永远大于1的值;  $\sigma_s$  为材料的屈服强度值。容许应力与屈服强度间之差异即体现

了材料的强度储备。如压力钢管设计时,基本荷载组合取 $(\sigma) = 0.55\sigma_s$ ,特殊荷载组合取 $(\sigma) = 0.7\sigma_s$ ,这意味着压力钢管的强度储备至少为 $0.3\sigma_s$ ,即有30%的安全度。从结构设计角度来说,对不同性质和型式的建筑、结构的不同部位和不同材料,安全系数的取值是不相同的,而且同一建筑物中结构的组合状况也是较复杂的,其安全系数很难用一个数值表述。但是,就多数的工业与民用建筑来说,其结构强度都是留有20%~30%的强度储备的,因此定义材料屈服强度的20%~30%作为安全度用以计算观测精度指标是合理的,体现了“实际上可靠”原则。而以“允许变形值舍去的尾值”或测量极限误差来确定观测精度指标显然不尽合理也不可靠,因为其实质上是数据凑整误差或测量误差而非安全储备。

### 3.3 由安全度求观测精度指标问题

怎样根据安全度确定观测精度指标,仍是较为复杂的问题。笔者研究认为可将变形观测误差视作荷载误差,与其他影响强度的因素共同组合成强度偏差以反演观测精度指标。

由材料力学理论知,结构设计中留有强度储备的目的,主要是为了能容纳下列因素的影响,以保证材料正常工作。①材料组织不是理想均匀;②计算公式近似欠严密;③荷载估计不十分准确以及荷载状态的变化;④工作条件的不均匀性,随机性及随机变化。

笔者认为,这种材料的非匀质性、公式的近似性、条件的随机性、以及荷载状态的超载变化,其组合构成了结构强度验算中的强度偏差。若加上施工质量(构件的制造安装等)和地基地质条件的变化以及变形观测误差等,都可以统一视为“荷载误差”共同组合成影响建筑物“强度偏差”(强度储备)的“误差源”,其传播关系遵循着非等影响原则。因此,可以在特殊荷载组合条件下,把变形观测误差作为“荷载误差”之一,与其他影响因素共同组合,依结构强度验算时的荷载—应力关系组成荷载误差与强度偏差的传播关系式,从而反演出变形观测误差的极限值。

例如,笔者在研究高水头引水式水电站压力管道镇支墩垂直位移观测精度指标时,就曾对此作过一些尝试<sup>[5]</sup>。提出从“钢管结构设计特殊荷载组合包含有12项荷载,支座不均匀沉陷为其中之一”这一实际出发,把沉降差观测误差作为荷载误差,定义其对结构强度偏差的影响(即所产的附加应力)为“不超过强度储备 $F$ 的 $1/20$ ,亦即,轴向附加应力为

$$\sigma_x \leq \frac{1}{20} F = (0.010 \sim 0.015)\sigma_s \quad (10)$$

然后,根据著名的三弯矩方程用下式即可求出沉降差误差的极限值

$$\sigma_{\kappa} = \pm \frac{7 \sigma_x \cdot L^2}{30 E \cdot r} \quad (11)$$

式中 $L$ 为管节长, $E$ 为钢材弹性模量, $r$ 为钢管半径。

实践证明,把强度储备定义为安全度,将包含变形观测误差在内的各种影响因素视为“荷载误差”,利用荷载—应力关系组成荷载误差与强度偏差的传播关系,从而反演变形观测精度指标,是合理、切实、可靠、便捷的方法,是确定变形观测精度指标的新途径。

## 4 结束语

变形观测精度指标的研究,面对着一个庞大而又复杂的建筑结构体以及变化着的外界条件,又涉及到建筑、地质和测量等许多相关学科的理论和技术,确实是一个相当复杂的课

题, 建筑结构不同、地基条件不同, 观测目的不同, 要统一一个精度指标或定一个关系式是不现实的。以允许变形值安全度为依据的观点, 提出了确定变形观测精度指标的新思路和方法, 尽管仍尚有这样或那样不尽完善之处, 但对于建立一个科学、合理、可靠而又简便的变形观测精度指标确定方法体系这一目标来说, 无疑其探索和成果都是有益的, 有一定的实用意义的。在实施应用时, 应从工程建筑物的实际出发, 本着“实际上可靠”(必要性)和“尽可能精确”(可能性)相结合的原则选取观测精度指标项目和指标值, 以期合理、可靠、顺利地完成任务。至于对某些重要的工程和对变形特别敏感的建筑物, 如大江大河上的水工建筑物, 超高层建(构)筑物、重要古建筑、工业建筑和精密工程设施等, 则应从确保安全出发, 以当时能达到的最高精度为标准进行变形观测。

### 参考文献

- 1 李瑞气. 监视建筑物安全的沉降观测精度指标的探讨. 工程勘察, 1982(5): 66~69
- 2 H. T. 维都耶夫等. 建筑物地上的测量工作. 北京: 中国工业出版社, 1962. 177~178
- 3 陈龙飞等. 工程测量. 上海: 同济大学出版社, 1990. 237~238
- 4 李青岳等. 工业与民用建筑工程的施工测量与变形观测综述. 第二届工程勘察学术交流会论文选集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984. 467~468
- 5 林文介. 关于高水头水电站压力管道安全监测中镇墩位移观测精度指标的研讨. 测绘技术, 1993, (4): 23~28
- 6 邱山鸣. 混凝土坝变形观测必要精度的探讨. 大坝观测与土工测试, 1989, (4): 8~13

## THE METHOD OF DETERMINING THE NECESSARY ACCURACY OF THE BUILDING SAFETY MONITORING

Lin Wenjie

(Department of Land Development and Surveying and Mapping, Guilin Institute of Technology)

### Abstract

There is some limitation in the present methods about how to determine the necessary accuracy of the deformation observation. The point of view based on allowable deformation which is fashionable at home and abroad is still open to question in concept. Three viewpoints are put forward in this paper. That the degree of safety is determined by allowable deformation is more reasonable when based on the determination of building safety being not influenced by observation errors. The degree of safety should be the reserve of structural strength in structural checking computations. The observation errors being regarded as load errors and other factors affecting structural strength make up the deviation of structural strength through which the index of observation accuracy can be inversed.

**Key words** safety monitoring; necessary accuracy; critical deformation; allowable deformation; reserve of structural strength