

# 结构物倾斜原因与纠倾方法分类特点分析

宋 彧<sup>1</sup>, 宋 蛟<sup>2</sup>

(1. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃白银公司, 甘肃 白银 730910)

**摘要:**针对结构病害处理学科对技术概念的分类繁乱的现象,提出了纠倾技术分技术途径、技术原理、施工方法三个层次。按照技术途径,纠倾技术分迫降和顶升两种;按技术原理,迫降技术有应力解除法、应力附加法、地基刚度软化法、卸荷法等四种;顶升技术又有截断顶升和膨胀顶升两种,最后对纠倾技术的分类进行了汇总,对结构纠倾技术的层次进行了系统化,以方便对照原因对结构进行纠倾处理。

**关键词:**土木工程;教学内容;纠倾;概念;分类

**中图分类号:**TU478-4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2009)05-0082-04

建筑结构的倾斜是结构病害常见的现象,在建筑艺术的长廊中,出现过倾斜病害的艺术作品不计其数。意大利比萨斜塔、中国虎丘塔、加拿大特朗斯康粮库、中国应县木塔等,这些是均为建筑艺术中最典型的倾斜病害的例证<sup>[1-2]</sup>。

拯救倾斜病害艺术品和建筑的技术手段就是纠倾。和结构加固技术一样,纠倾技术也应该有一个能够提纲挈领的技术分类。在结构纠倾一般的处理程序中均少不了结构倾斜原因的分析,所以,纠倾技术的分类也就从分析结构倾斜原因的种类开始。

## 一、结构倾斜的原因

### (一) 倾斜的内因

(1) 荷载偏心。造成结构物荷载偏心的主要原因大致有二种。一是结构设计时,几何形心与结构物重心不重合,使附加弯矩过大;二是施工组织时,施工荷载分布不均匀。

(2) 基础的地基应力不均匀。应力高的沉降多;反之则小。

(3) 地基承载能力不均匀。在地质比较复杂的地区,同一结构物的地基土薄厚不均匀或地基土的承载能力存在明显差异。比如:某结构物基础的一部分在开挖区,而另一部分在填方区。地基土的软硬不均匀,会使结构物基础产生不均匀沉降。

(4) 勘察与设计有误,过高估计地基土的承载能力。对于软土地基、可塑性粘土、高压缩性淤泥质土等土质条件,荷载对其沉降的影响较大;或漏算荷载,基础尺寸不足等。

收稿日期:2009-08-03

作者简介:宋彧(1962-),男,兰州理工大学土木工程学院教授,主要从事土木工程研究,(E-mail) songy@lut.cn.

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

## (二) 倾斜的外因

(1) 地面水对地基土的作用。地面水对土体的软化作用比较明显, 特别是在湿陷性某土地区, 地面水对地基土的影响更显著。水对湿膨胀土的作用也比较敏感。

(2) 相邻的新结构物对旧结构物的影响, 特别是浅埋基础结构物在前, 而深埋基础的结构物在后时, 其影响更为显著。

(3) 地震灾害的影响。一是, 地震时会发生地基土液化, 地基承载能力急剧下降, 地面开裂、山体滑坡等不良现象; 二是在振动作用下, 地基土变形加快, 结构物下沉加剧。

(4) 人为破坏地质构造。矿山的大量开采、地下空间开发、深基坑工程开挖以及抽水也常使临近地面结构物不均匀下沉, 造成地面结构物开裂、倾斜等现象的病害。

(5) 施工质量低劣的影响。

(6) 气候变化的影响。地基土的冻胀是最典型的一类。当地面有结构物存在时, 地面就有阴面与阳面之分, 阳面冻土浅, 而阴面冻土厚。当一浅一厚依次正好在基础底面的一上一下时, 基础的竖向变形量就不能均匀。相对地, 冻土较厚一侧的基础会被抬高。

(7) 大量长期堆载, 使地基下沉, 造成结构物倾斜下沉。

(8) 综合因素影响。上述若干因素的叠加。

## 二、纠倾技术的分类

### (一) 纠倾途径

倾斜结构物的纠倾方法按照纠倾途径不同可分为两大类: 一为迫降法, 即经过人为措施强迫倾斜结构物的较高侧下沉; 一为顶升法, 即经过人为措施使结构物的较低侧升高。

迫降法和顶升法二者相结合的技术就叫升降综合法, 在一座结构物上, 一边进行迫降, 一边进行顶升的方法在实际也有应用。结构物纠倾途径见图 1 所示。



图 1 迫降、顶升、综合纠倾示意图

### (二) 纠倾原理

#### 1. 迫降法

在使用迫降法有一个前提, 即倾斜结构物的竖向

有足够的下沉空间。比如: 内外高差的要求, 地下管网的要求等。从力学原理的观点出发, 迫降纠倾的方法有解除应力法、附加应力法、软化地基法, 以及截断法四种。把这其中的两种或两种以上方法综合使用的技术叫综合迫降法。综合迫降法在实际中应用比较普遍。

(1) 解除应力法, 即在倾斜结构物的较高一侧的地基上开槽或挖竖向井, 地基土体在这一侧形成自由端, 以解除地基土体的环向应力, 使地基土产生竖向变形。应力解除法的技术如图 2 所示, 竖向剖面如图 2c 所示。

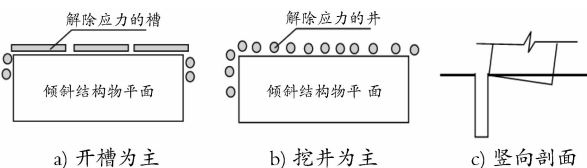


图 2 应力解除法示意图

解除应力法纠倾时, 回倾平稳, 速度较慢, 措施简单, 容易操作, 适用于在软弱地基上使用。同时也是水平孔方式附加应力法的第一步工作<sup>[3-6]</sup>。

(2) 附加应力法, 即在倾斜结构物较高一侧的地基土上采用附加重量或削弱承压面积等措施使地基土的应力增大的方法。削弱承压面积法又有两种技术, 一为地下水平成孔法; 一为地面竖向成孔法。附加应力法的技术见图 3 所示。

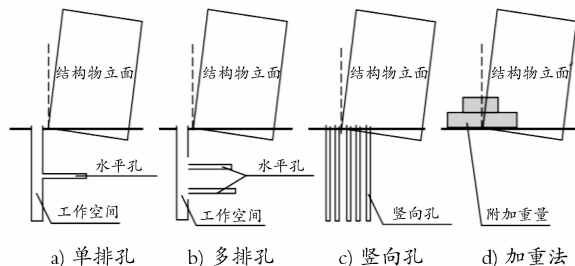


图 3 附加应力法纠倾原理示意图

附加应力法纠倾时, 回倾比较平稳, 速度相对较慢, 措施简单, 容易操作, 也适用于在软弱地基上使用。同时, 成孔方式又是软化地基法的第一步工作。

竖向成孔法对桩基工程纠倾最为合适, 配合软化地基法其纠倾效果理想。

配重附加应力法、解除应力法, 以及成孔附加应力法综合使用, 其纠倾效果更佳。比萨斜塔的纠倾就是成功的一例。

(3) 软化地基法, 即在倾斜结构物高一侧的地基土上浸水, 使土体的强度下降, 刚度也下降的方法。(专利技术, 专利号: ZL 02139571.3)。图 3 中, 在

a)、b) 以及 c) 的水平孔或竖向孔中, 按照一定的技

术要求注入一定量的水,其地基自然软化,承载能力肯定下降。

软化地基法纠倾,回倾速度相对较快,技术难度大,不容易操作,适用于在黄土地基上,特别是湿陷性黄土地基上使用。在槽或井等工作空间内注水的迫降纠倾方法,有较多的报告,但这种技术的副作用明显,不宜提倡,特别是在湿陷性黄土地区更不宜采用。

(4)基础卸荷法,即把荷载转嫁给软弱层。卸荷法又有截断法和水冲法两种技术。截断法即把结构物较高一侧结构的竖向构件按照一定的技术截断,迫使结构物下降的一种纠倾方法。截断法的前提就是竖向构件的地基相对稳定,有足够的承载能力。故这种方法适用于在岩石地基层使用,其纠倾效果理想,但操作技术难度大。卸荷纠倾原理见图4所示。水冲法适用于软弱地基层。

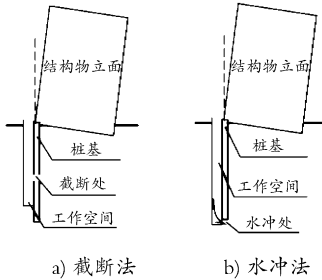


图4 卸荷纠倾原理示意图

## 2. 顶升法

倾斜结构物的纠倾顶升法有两种,即膨胀顶升和截断顶升。

(1)膨胀顶升,即把膨胀材料(如:生石灰)强行放入倾斜结构物较低一侧基础下方的地基土内,膨胀材料膨胀时,就顶升地基土以及上部相应位置的结构物(如图5所示)。

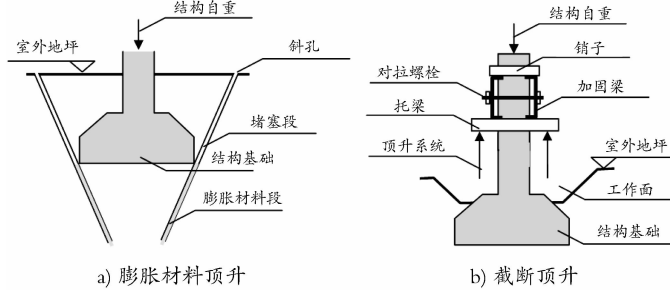


图5 顶升纠倾工作原理示意图

(2)截断顶升就是把结构从某一水平位置截断,然后将顶升设备(如:千斤顶)安置在截断部位,顶升设备升高,使对应位置的上部结构同步升高<sup>[7]</sup>。

(3)综合顶升,即同时应用这两种手段进行顶升的方法叫综合顶升法,在实际纠倾应用中不多见。

## 三、纠倾技术汇总

纠倾技术概念汇总如表1所示。

表1 纠倾技术概念汇总表

纠倾技术途径	纠倾技术原理	纠倾施工方法	技术特点及工具	适用范围
解除应力法		室外地基旁开槽纠倾	人工或微型挖土机	是掏土附加应力法纠倾的前序
		室外竖向井纠倾	人工或钻机	
	附加应力法	室内竖向孔掏土纠倾	钻机或洛阳铲	是软化地基纠倾的前序,高压水冲技术不适用于湿陷性黄土地区
		基底水平孔掏土纠倾	孔有单排与多排之分,掏土分人工与高压水冲两种	
迫降		配重加压纠倾	增层或堆积重物	
		地基降水纠倾	制造流沙及增加自重	
	软化地基法	地基旁开槽注水纠倾	降低地基承载能力	湿陷性黄土地区更佳 适用于软弱地基层
		室外竖向井注水纠倾		
		基底水平孔注水纠倾		
基础卸荷法	截断桩基纠倾	人工、钻机、切割机	适用于岩石地基层	
	水冲状尖纠倾	人工、高压水泵	适用于软弱地基层	
综合迫降法	将上述各迫降纠倾技术综合使用,纠倾效果更佳。			

续表 1

纠倾技术途径	纠倾技术原理	纠倾施工方法	技术特点及工具	适用范围
顶升	膨胀顶升法	固体膨胀材料顶升纠倾		湿陷性黄土地区慎用
		液体膨胀材料顶升纠倾		
	截断顶升法	基础底面截断顶升纠倾	结构不受干扰	
		基础顶面截断顶升纠倾	结构在某一水平面分开	
综合顶升法	膨胀法以加固地基为主,截断顶升单纯为纠倾服务,二者结合成本较高			
升降综合	对于纵向较长的结构物,地基变形复杂,多处局部变形显著,结构受扭时,升降结合效果为佳			

#### 四、结语

纠倾技术的分类具有层次性,纠倾的技术途径是第一层次,为总纲;纠倾的技术原理是第二层次,为次纲;纠倾的施工方法是第三层次,为目。只有经过技术途径、技术原理、施工方法所建立的纠倾技术的各个概念才具有系统性。

#### 参考文献:

- [1] 袁建新. 关于比萨斜塔的整治情况[J]. 岩土力学, 1994, 15(2): 70-76.
- [2] 李大华. 山西应县木塔修缮中的问题及对策[J]. 山西地震, 2002, 109(2): 32-34.

- [3] 宋 彧, 张贵文, 李春燕. 湿陷性黄土地区条形基础砖混结构六层住宅楼纠倾的实践[J]. 建筑结构, 2002, 32(11): 8-10.
- [4] 张贵文, 朱彦鹏, 衡涛, 等. 湿陷性黄土地基应力解除法迫降纠倾试验研究(I)[J]. 建筑科学, 2007(3): 38-43.
- [5] 张贵文, 朱彦鹏, 曹辉, 等. 湿陷性黄土地基应力附加法迫降纠倾试验研究(II)[J]. 建筑科学, 2007(3): 43-47.
- [6] 宋 彧, 朱彦鹏, 张贵文, 等. 湿陷性黄土地基刚度软化法迫降纠倾试验研究(III)[J]. 建筑科学, 2007(3): 47-52.
- [7] 宋 彧, 党星海, 罗维刚. 某四层砖混结构千斤顶顶升纠倾方案研究与应用[J]. 建筑结构, 2008, 38(5): 37-35.

## Structure tilting reasons and analysis on sorts and characteristics of rectification measures

SONG Yu<sup>1</sup>, SONG Jiao<sup>2</sup>

(1. Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, P. R. China;

2. Company of Gansu Beiyin, Beiyin 730910, P. R. China)

**Abstract:** Classification of the technical concept in structural defect treatment is very complicated and disorganized. We proposed that rectification measures of tilted structures can be classified into three stages, which were technical approaches, technical principles, and construction methods. Based on technical approaches, rectification measures were divided into forced settlement and lift-up technologies. The former included stress relief, stress addition, foundation stiffness softening, and unloading methods based on technical principles. The latter included truncation lift-up and expansion lift-up. At last, we summed up different sorts of rectification measures and systemized sorting administrative levels.

**Keywords:** civil engineering; teaching content; rectification; concept; classification

(编辑 梁远华)