

绪 论

土力学和地基基础是高等院校土木工程专业四年制本科的必修专业基础课。当人们开始学习这门课程时,不免思考:为什么要学本课程?本课程有什么特点?在土木建筑有关专业中究竟起到什么作用?倘若土力学理论掌握不好,地基基础工程设计处理不当,将会发生什么样的后果?

当人们了解国内外工程事故实例和成功的经验时,上述问题便可以获得答案。

0.1 国内外地基基础工程成败实例

1. 建筑物倾斜

(1) 意大利比萨斜塔(图 0.1):这是举世闻名的建筑物倾斜的典型实例。该塔自 1173 年 9 月 8 日动工,至 1178 年建至第 4 层中部,高度约 29m 时,因塔明显倾斜而停工。94 年后,于 1272 年复工,经 6 年时间,建完第 7 层,高 48m,再次停工中断 82 年。于 1360 年再复工,至 1370 年竣工。全塔共 8 层,高度为 55m。

塔身呈圆筒形,1~6 层由优质大理石砌成,顶部 7~8 层采用砖和轻石料。塔身每层都有精美的圆柱与花纹图案,是一座宏伟而精致的艺术品。1590 年伽利略曾在此塔做落体实验,创建了物理学上著名的落体定律。斜塔成为世界上最珍贵的历史文物,吸引无数世界各地游客。

全塔总荷重约 145MN,基础底面平均压力约 50kPa。地基持力层为粉砂,下面为粉土和黏土层。塔曾向南倾斜,南北两端沉降差 1.80m,塔顶离中心线已达 5.27m,倾斜 5.5° ,成为危险建筑。1990 年被封闭。

(2) 苏州市虎丘塔(图 0.2)^[10]:此塔位于苏州市虎丘公园山顶,落成于宋太祖建隆二年(公元 961 年),距今已有千余年的历史。全塔 7 层,高 47.5m。

塔的平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组成。塔身全部用青砖砌筑,外形仿楼阁式木塔,每层都有8个壶门,拐角处的砖特制成圆弧形,建筑精美。1961年3月4日,国务院将此塔列为全国重点文物保护单位。

1980年进行的一项现场调查表明,塔身已向东北方向严重倾斜,不仅塔顶离中心线已达2.31m,而且底层塔身发生不少裂缝,成为危险建筑而封闭。塔身的裂缝东北方向为竖直向,西南方向为水平向。勘察结果表明宝塔倾斜是由于地基覆盖层相差悬殊等原因造成的。

通过在塔四周建造一圈桩排式地下连续墙并对塔周围与塔基进行钻孔注浆和树根桩加固塔基等措施,对塔身倾斜的发展进行了有效控制。

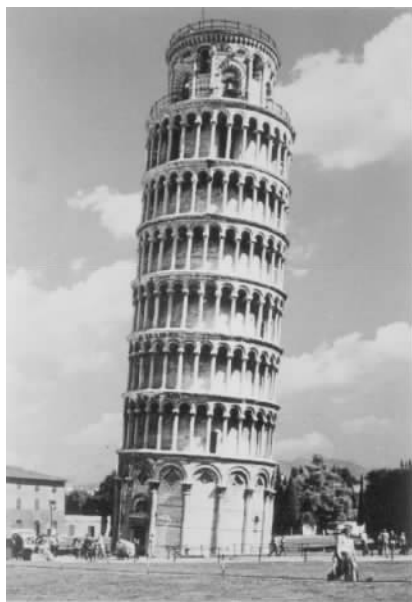


图 0.1 意大利比萨斜塔



图 0.2 苏州市虎丘塔

(3) 南昌钢铁厂一烟囱(图 0.3、图 0.4): 南昌钢铁厂一轧车间东侧有一座大烟囱,1971 年建成,1975 年投产,使用正常。1981 年发现烟囱开裂与倾斜。1984 年该烟囱已发生 4 条大裂缝,缝长 2~5m,缝宽 10~20mm。烟囱的倾斜与开裂是因加热炉烟道高温烘烤引起的。

(4) 2007 年 7 月,武汉市长富公寓(2000 年建成)整栋楼向香港路方向倾斜 15° 左右。据称是由于附近的中华世纪城施工降水,造成周边多处地面下沉所致。(图 0.5)

2. 建筑地基严重下沉

(1) 上海展览中心馆(图 0.6): 上海展览中心馆原称上海工业展览馆,位于上海市区延安中路北侧。展览馆中央大厅为框架结构,箱形基础;展览馆两翼采用条形基础。箱形基础为两层,埋深 7.27m。箱基顶面至中央大厅顶部塔尖,总高 96.63m。地基为高压缩性淤泥质软土。展览

馆于 1954 年 5 月开工,当年年底实测地基平均沉降量为 60cm。1957 年 6 月,中央大厅四周的沉降量最大达 146.55cm,最小为 122.8cm。



图 0.3 南昌钢铁厂烟囱倾斜



图 0.4 南昌钢铁厂烟囱开裂



图 0.5 武汉市长富公寓倾斜(图片来源:新浪网)

1957年7月,在仔细观察展览馆内严重的裂缝情况,分析沉降观测资料并研究展览馆勘察报告和设计图纸后,专家们作出展览馆将裂缝修补后可以继续使用的结论。

1979年9月,展览馆中央大厅累计平均沉降量为160cm。从1957年至1979年共22年的沉降量仅约20cm,不及1954年下半年沉降量的一半,说明沉降已趋向稳定,展览馆开放使用情况良好。

但由于地基严重下沉,不仅使散水倒坡,而且建筑物室内外联结,内外网之间的水、暖、电管道断裂,都需付出相当的代价。

(2) 墨西哥市艺术宫(图0.7)^[11]:墨西哥国家首都墨西哥市艺术宫,是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。此艺术宫于1904年落成,至今已有一百余年的历史。该市处于四面环山的盆地中,古代原是一个大湖泊。因周围火山喷发的火山灰沉积和湖水蒸发,经漫长年代,湖水干涸形成目前的盆地。



图 0.6 上海展览中心馆



图 0.7 墨西哥市艺术宫^[11]

艺术宫地基表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层,厚度5m;其下为超高压缩性淤泥,天然孔隙比 e 高达7~12,天然含水率 w 高达150%~600%,为世界罕见的软弱土,层厚达25m。因此,这座艺术宫严重下沉,沉降量竟高达4m。临近的公路下沉2m,公路路面至艺术宫门前高差达2m。参观者需步行下9级台阶,才能从公路进入艺术宫。这是地基严重沉降的典型实例。下沉量为一般房屋的一层楼有余,造成室内外联结困难和交通不便,内外网管道修理工程量增加。

3. 建筑物墙体开裂

(1) 匈牙利一码头建筑物(图 0.8)^[12]: 匈牙利达纳畔特码头, 位于多瑙河旁一座岛上的斜岸上。建筑物包括一个仓库和几个车间, 宽约 24m, 高 6m, 为单层框架结构, 建于 1952 年。

设计采用圆柱形独立基础, 基础上置钢筋混凝土连续梁, 承受外墙荷重。建筑物内墙采用条形基础。工程建成不久, 所有内隔墙都严重开裂。

该建筑物地基表层为人工填土, 厚约 3.8m; 第二层为细砂与有机粉土, 厚约 1.7m; 第三层为密实粗砂层。上述建筑物外墙下独立基础埋深 6.5m, 基础底面为粗砂层, 沉降量很小。而内墙的条形基础埋深仅 0.8m, 位于人工填土层, 沉降量大。显然, 一幢建筑物采用两类不同基础, 埋深相差悬殊, 持力层土质压缩性高低相差悬殊, 引起严重的不均匀沉降, 导致墙体严重开裂事故。



图 0.8 匈牙利一码头建筑物开裂

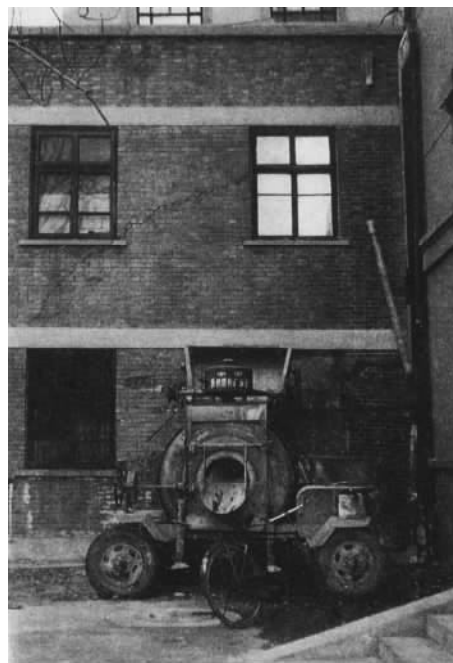


图 0.9 天津市人民会堂办公楼开裂

(2) 天津市人民会堂办公楼(图 0.9): 此办公楼东西向 7 个开间, 长约 27.0m, 南北向宽约 5.0m, 高约 5.6m, 为两层楼房。工程建成后, 使用正常。

1984 年 7 月, 在办公楼西侧, 新建天津市科学会堂学术楼。此学术楼东西向 8 个开间, 长约 34.0m, 南北宽约 18.0m, 高约 22.0m, 为 6 层大楼。两楼外墙净距仅 30cm。当年年底, 人民会堂办公楼西侧北墙发现裂缝, 此后, 裂缝不断加长、展宽。最大的一条裂缝, 位于办公楼西北角, 上下墙体断开并错位 150mm。在地面以上高 2.3m 处, 开裂宽度超过 100mm, 握拳可在裂缝处自由

出入。这条裂缝朝东向下斜向延伸至地面,长度超过 6m。另一条裂缝,从北墙二层西起第一扇窗中部朝东向下斜向延伸至第二扇窗下部直至圈梁,长度超过 3m。

上述裂缝的原因是由于新建天津市科学会堂学术楼的附加应力扩散至原有人民会堂办公楼西侧软弱地基,引起严重下沉所致。这是相邻荷载影响导致事故的典型实例。

4. 建筑物基础开裂

(1) 南京分析仪器厂职工住宅(图 0.10):该住宅位于南京市西部秦淮河以南太平南路西侧西一新村。住宅楼东西向长 37.64m,南北向宽 8.94m,5 层,建筑面积 1721m²。建筑场地地表为杂填土,较厚,设计采用无埋式筏板基础。1977 年 12 月开工,次年 5 月住宅楼主体工程施工至第 5 层时,于 5 月 13 日发现东起第五开间中部钢筋混凝土筏板基础南北向断裂。5 月 15 日工程停工。

经重新勘察和调查,当地原为一个大水塘,南北长 70m,东西宽 40~50m。附近的饭馆、茶炉、浴室用稻壳作燃料,烧烬的稻壳灰倾倒入塘,经几十年填平。1972 年曾作烧砖窑场,1977 年初整平,同年年底动工修建住宅楼。

第一次勘察,误将稻壳灰鉴别为一般杂填土。由于住宅楼西半部置于古水塘内,东半部坐落岸上,土质突变,造成钢筋混凝土筏板基础拦腰断裂的严重事故。

经有关方面多次研究讨论,比较四个方案后,最终采用卸荷处理方案,即拆去一层,后又拆去一层,将原 5 层住宅改为 3 层住宅。

(2) 北京大学汽轮机基座(图 0.11):北京大学一座自备电厂,配套有 IC62 型汽轮机和 QF1.5-4 型发电机。汽轮机基座设计为 C20 混凝土,要求现场浇筑、留出的洞孔与预埋件位置正确。1990 年电厂施工,当年 11 月汽轮机基座完工拆模,发现基座混凝土有裂缝。1991 年 6 月准备安装汽轮机。经现场调查观测,发现汽轮机基座北起第二排两个预留洞孔混凝土开裂,裂缝长超过 400mm,缝宽 1mm 左右,东侧洞孔裂缝贯穿整个孔旁结构,局部有蜂窝。用回弹仪实测上述裂缝周围,混凝土强度等级低于 C8,低于设计要求 C20。尤其汽轮机地脚螺栓预留孔位置偏离 10~40mm,无法安装汽轮机,而且基座顶板明显凹凸不平,高差超过 20mm,不满足设计要求施工偏差不得超过 +0mm 与 -10mm 的标准。造成上述事故的原因,是施工队没有工业建筑的经验,且技术力量薄弱,不了解汽轮机基座的特性,没有质量监督制度,也无专人负责质量工作。

对于汽轮机基座事故的处理,首先清除混凝土开裂与质量低劣部位;然后在汽轮机预留洞孔



图 0.10 南京分析仪器厂住宅板基断裂



图 0.11 北京大学汽轮机基座处理

外缘增补钢筋,用高强早强混凝土修复凿去部分;最后采用新材料界面剂,使新老混凝土之间牢固联结。处理圆满成功,汽轮机顺利安装并正常运行。

5. 建筑物地基滑动

(1) 加拿大特朗斯康谷仓(图 0.12)^[12]:该谷仓平面呈矩形,南北向长 59.44m,东西向宽 23.47m,高 31.00m,容积 36 368m³。谷仓为圆筒仓,每排 13 个圆筒仓,5 排共计 65 个圆筒仓。谷仓基础为钢筋混凝土筏板基础,厚度 61cm,埋深 3.66m。

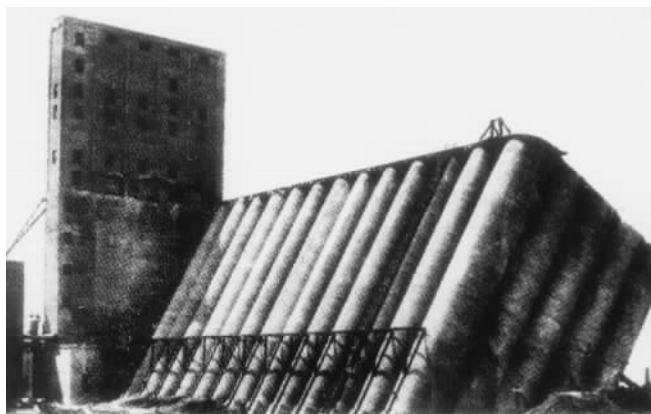


图 0.12 加拿大谷仓因地基滑动而倾侧

谷仓于 1911 年动工,1913 年秋完工。谷仓自身有 20 000t,相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1913 年 9 月装谷物,10 月 17 日当谷仓已装了 31 822m³ 谷物时,发现 1 小时内竖向沉降达 30.5cm。结构物向西倾斜,并在 24 小时内谷仓倾侧,倾斜度离垂线达 26°53',谷仓西端下沉 7.32m,东端上抬 1.52m,上部钢筋混凝土筒仓坚如磐石。

谷仓地基土事先未进行调查研究,而是根据邻近结构物基槽开挖试验结果,计算得到地基承载力为 352kPa,并应用到此谷仓。1952 年经勘察试验与计算,谷仓地基实际承载力为 194~277kPa,远小于谷仓破坏时发生的压力 329.4kPa,因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。

(2) 美国纽约某水泥仓库(图 0.13)^[13]: 这座水泥仓库位于纽约市汉森河旁,水泥仓库呈圆筒形,高约 21m,仓库直径 $d = 13\text{m}$ 。一排圆筒仓库下部的基础为整块筏板基础,埋深 2.8m。



图 0.13 美国纽约水泥仓库超载倾倒

1940 年水泥仓库装载水泥,使黏土地基超载,引起地基土剪切破坏而滑动。

水泥仓库地基滑动,使水泥筒仓倾倒呈 45° ,地基土被挤出地面高达 5.18m。与此同时,离筒仓净距 23m 以外的办公楼受地基滑动影响,也发生了倾斜。

(3) 2009 年 6 月 27 日,上海市闵行区莲花河畔景苑小区,一栋即将竣工的 13 层住宅楼轰然倒塌(图 0.14),造成一名工人死亡,由于该楼在主体完工后又在楼前挖地下车库,而把土方堆在房后达 10m 高,造成地基失稳。该楼 6 月 26 日发生倾斜,27 日晨 6 时即行倒塌。



图 0.14 上海闵行莲花河畔景苑小区一栋楼房倒塌(图片来源:新浪网)

6. 建筑物地基溶蚀

(1) 美国东南部亚拉巴马州净水工厂(图 0.15)^[13]: 它建在一座小山旁, 厂区地基为残积土, 下部基岩为石灰岩, 裂隙发育。工厂开工一个月后, 忽然听到隆隆声, 过滤建筑物发生摇动。值班人员发现建筑物发生严重开裂, 从屋顶一直裂到底部, 同时建筑物一半发生倾斜。沉淀池底部出现宽达 1.5~3.0m 的大洞穴。

施工期间打破自来水总管, 将容量 226m³ 的大水箱放空。大量水渗入地下, 把残积土中的细颗粒带走, 发生侵蚀破坏, 导致这场灾难。这座净水工厂已完全破坏, 无法使用。

(2) 徐州市区塌陷(图 0.16): 徐州市区东部新生街居民密集区, 于 1992 年 4 月 12 日发生一次大塌陷。最大的塌陷长 25m、宽 19m, 最小的塌陷直径 3m, 共 7 处塌陷, 深度普遍为 4m 左右。整个塌陷范围长达 210m, 宽达 140m。

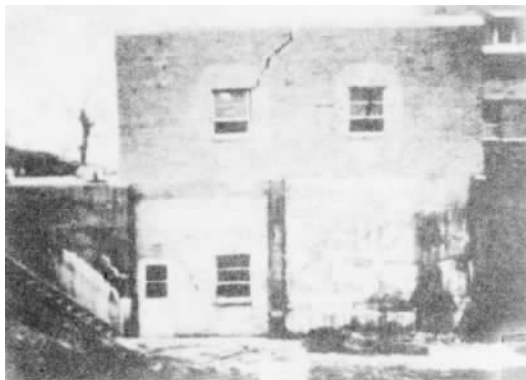


图 0.15 美国净水工厂墙体开裂、倾倒^[13]



图 0.16 徐州市区发生塌陷
(刘成华摄)

塌陷造成灾情严重: 位于塌陷内的房屋 78 间全部陷落倒塌。邻近塌陷周围的房屋墙体开裂达数百间。

1992 年 8 月上旬, 发生第二次塌陷。塌陷区位于徐州市区东北部地藏里, 大小塌陷十余处。

塌陷区地基为故黄河泛滥沉积的粉砂与粉土, 厚达 22m。其底部即为古生代奥陶系灰岩, 中间缺失老黏土隔水层, 灰岩中存在大量溶洞与裂隙。徐州市过量开采地下水, 水位下降使灰岩上的覆盖层粉土与粉砂形成潜蚀与空洞, 并不断扩大。下大雨后雨水渗入地下, 导致大型空洞上方土体失去支承而塌陷。

7. 建筑物基槽变位滑动

(1) 国外一座四层厚板结构楼(图 0.17)^[12]: 它在浇注二层地板时发生倒塌。其原因是边柱旁进行深挖方, 使边柱侧向变位下沉, 新浇筑的混凝土楼板荷重大部分落在第 2 根支柱上, 造成超载而破坏, 导致脚手架倒塌和混凝土楼板折断破坏。

图 0.17 国外一座厚板结构楼倒塌^[12]

(2) 上海一幢 18 层科研楼(图 0.18)^[14]: 上海市区西南徐家汇地区,某研究所新建一幢 18 层科研楼,地下 1 层,采用箱基加桩基方案。基槽开挖平面 $37\text{m} \times 26\text{m}$,深 5.4m。采用灌注桩护坡,灌注桩 $\phi 650\text{mm}$,长 10m,中心距 950mm。在桩净距 300mm 中加做 $\phi 200\text{mm}$ 树根桩,长 10m。护坡桩后设斜拉桩 $\phi 180\text{mm}$,长 20m,间距 1.5m。桩顶设置一道 $100\text{cm} \times 80\text{cm}$ 钢筋混凝土圈梁,连成整体。1988 年 10 月基槽开挖后不久,发现护坡桩内倾,基槽西侧三幢辅楼内产生 3 道大裂缝,缝宽靠基槽的两道为 $30 \sim 50\text{mm}$,另一道 $5 \sim 10\text{mm}$ 。墙体严重开裂,最大缝宽 $100 \sim 150\text{mm}$,屋面开裂,严重漏雨,楼房 150mm 的上水管也被拉断。

图 0.18 基槽旁辅楼墙体开裂^[14]

当地淤泥质软弱土厚度超过 12m,护坡桩原设计桩长 15m,为省钱将桩长改为 10m。滑动圆弧从桩底通过,使扩坡桩失去作用,基槽边离辅楼仅 $2.5 \sim 5.0\text{m}$,太近。楼房荷重促使土坡滑动,边坡稳定安全系数 $K = 0.32 \sim 0.50$,必然发生滑动。

8. 土坡滑动

(1) 南京江南水泥厂(图 0.19): 该厂位于南京市东北部、长江南岸栖霞山麓。山坡多次滑动。1975 年夏,滑动土体达数万立方米,危及水泥厂 3 号窑头厂房,工厂停产处理滑坡事故。

栖霞山的山坡原是稳定的。建厂平整场地开挖坡脚,使山坡土体失去平衡。夏季雨量集中,