

内 容 简 介

本书系统地阐述了国内外大量建筑地基基础事故实例,分10种事故类型,介绍工程名称、规模、地点与事故情况。联系场地地质条件和地基土的特性,运用现代土力学理论,分析事故发生的原因。针对不同事故的情况,评述了事故处理的方法与效果。本书同时阐述了在不良地基、不良环境与不良荷载条件下,防止事故发生的先进工程实例。

这些失败的教训与成功的经验,都是我们共同的宝贵财富,可供土木、建筑、水利、铁道、交通、冶金、石油、化工、机械、农林和国防等有关高等院校师生和规划、勘察、设计、施工技术人员学习参考。

本书全部工程实例都制成幻灯片。其中一小部分幻灯片经全国一百多所院校教学实践,普遍反映生动、形象,效果良好。本书可与作者编著的高校教材《土力学地基基础》(第二版)一书配套使用。

(京)新登字 158 号

地 基 事 故 与 预 防

国内外建筑工程实例

陈希哲 著

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

前 言

随着我国经济建设的发展与对外开放的需要,不断地兴建各类工厂企业、商业大厦、宾馆饭店、多层与高层住宅、保健医院、办公大楼、剧场影院、文化艺术宫、体育场馆以及立交桥等工程,良好的地基条件越来越少,一些建筑物不得不坐落在不良的场地上。据调查统计,世界各国发生的建筑工程事故中,以地基基础失事占多数。而且,地基基础是建筑物的地下隐蔽工程,事故的苗头不易察觉;一旦失事,难以补救,甚至造成灾难性的后果。

为使今后的建筑工程中避免发生重大的工程事故,对国内外建筑地基基础事故实例进行研究十分重要;对不良地基条件下防止事故发生的先进工程经验,更值得学习与借鉴。

本书分 10 类系统地阐述了国内外地基事故,包括:建筑物倾斜、地基严重下沉、墙体开裂、基础开裂、地基滑动、地基溶蚀、基槽失稳、土坡滑动、地基液化失效和其它事故等等。同时阐述了不良地基、不良环境与不良荷载条件下,防止事故的先进工程实例。所有这些失败的教训与成功的经验,都是我们宝贵的财富,可以作为今后工作的有益借鉴。

书中每一个事故工程实例,分别介绍了其规模、用途、建造的时间、地点并联系地基土的分布与工程特性,运用土力学理论,对发生事故的原因进行客观分析,同时评述了事故处理方法。本书全部工程实例都已制成幻灯片,提供各高校、勘察院、设计院、建筑工程公司使用参考。幻灯片由清华大学音像出版社发行。

书中的各类工程实例,除一小部分注明来源外,其余大部分实例均为作者结合主讲高校《土力学子地基基础》课程、主持工程勘察、事故处理、应邀在国内外讲学以及参加国际、国内各类学术活动时,赴现场进行调查研究、拍摄照片,总结编著而成。

本书的地基事故实例中,除大部分为我国的实例以外,还有意大利、美国、英国、加拿大、日本、匈牙利、墨西哥、瑞典、挪威及香港等 10 个国家与地区的著名事故实例。

在收集各类工程实例过程中,得到北京市勘察院、北京市机械施工公司、冶金部冶金建筑研究总院、北京市城建设计研究院、中国建筑地下工程公司、中国兵器工业勘察研究院、一机部勘测公司、三机部勘测公司、国家旅游局、北京市第二建筑公司、北京市第三建筑公司、北京市第五建筑公司、北京市第六建筑公司、上海市基础工程公司、上海宝钢建设指挥部、同济大学、上海锦江饭店、上海无线电三十厂、南京市建委、南京市城建局、南京市建工局、南京市勘测设计院、东南大学、江苏省建筑设计院、江苏省建筑科学研究所、南京江南水泥厂、苏州市房地产管理局、苏州市建工局、苏州市建筑设计院、苏州市民用设计所、苏州市虎丘塔修建办公室、浙江省建筑设计院、浙江省建筑总公司、天津市建委、天津市建筑设计院、天津市结核病防治院、塘沽海洋石油指挥部、一航局科学研究所、唐山市建委、唐山矿冶学院、湖南大学、华南理工大学、河北建筑工程学院、云南省建筑设计院、云南民族学院、宁夏建筑设计院、盘锦市建委、盘锦市科委、盘锦市城建局、铁岭市住宅建设公司、南昌钢铁厂、武汉中南勘察设计院、航空工业勘察设计研究院、徐州市第二建筑设计院、陕西省渭南工程勘察院、西北电管局秦岭发电厂、浙江大学、大连市勘测处与清华大学建筑设计研究院等 60 多个单位的大力协助。其中部分工程实例是美国里海大学方晓阳教

目 录

前 言

第 1 章 建筑物倾斜	1
1.1 意大利比萨斜塔 [*]	1
1.2 苏州市虎丘塔 [*]	5
1.3 南昌钢铁厂一烟囱 [*]	8
1.4 国外某玻璃工厂烟囱.....	10
1.5 上海某研究所沉井 [*]	11
1.6 江西省招生办公大楼 [*]	12
1.7 上海无线电三十厂大楼 [*]	13
1.8 温州市水心住宅区 8 [#] 楼 [*]	15
1.9 杭州市运输公司营业楼 [*]	18
1.10 瑞典皇宫	21
1.11 汉口新华下路取水楼住宅楼	22
1.12 湖南某高架灌渠	24
第 2 章 地基严重下沉	26
2.1 上海展览中心馆 [*]	26
2.2 上海锦江饭店 [*]	27
2.3 墨西哥市艺术宫.....	28
2.4 塘沽新港码头仓库 [*]	29
2.5 美国波特兰市仓库.....	30
第 3 章 建筑物墙体开裂	33
3.1 清华大学环境工程实验室 [*]	33
3.2 天津市人民会堂办公楼 [*]	37
3.3 云南民族学院教工住宅 [*]	38
3.4 清华大学第一教室楼 [*]	40
3.5 清华大学供应科库房 [*]	45
3.6 布达佩斯市郊浴室.....	49
3.7 北京师范大学附中教学楼 [*]	51
3.8 山东蓬莱城墙 [*]	53
3.9 铁岭市统建职工住宅楼 [*]	54
3.10 清华大学第三教室楼配电站 [*]	57
3.11 北京工人体育馆票房 [*]	58
3.12 清华大学原基建办公室 [*]	59
3.13 布达佩斯大医院	61
3.14 布达佩斯技术大学锅炉房	62

3.15	匈牙利达纳畔特码头建筑物	64
3.16	布达佩斯一小楼	65
3.17	清华大学第三教室楼	67
3.18	涿鹿县林业中学校舍	70
第4章	建筑物基础开裂	72
4.1	南京分析仪器厂职工住宅	72
4.2	东南大学教工住宅	74
4.3	上海电化厂2号盐仓	75
4.4	北京大学汽轮机基座	77
第5章	建筑物地基滑动	80
5.1	加拿大特朗斯康谷仓	81
5.2	美国纽约某水泥仓库	83
5.3	天津市塘沽轮机车间	84
5.4	挪威T8号油罐	85
5.5	天津市结核病防治院	86
5.6	南京锅炉厂氧气瓶车间	87
第6章	建筑物地基溶蚀与管涌	89
6.1	美国一净水工厂	89
6.2	美国伯明翰市坍塌	90
6.3	湖南煤矿矿区塌陷	91
6.4	匈牙利卡斯尼坦水电站	92
6.5	徐州市区塌陷	94
6.6	浙江大学第六教学大楼	96
第7章	建筑物基槽变位滑动	99
7.1	国外一座厚板结构楼	99
7.2	北京昆仑饭店基槽	100
7.3	上海一幢18层科研楼	101
7.4	多瑙河煤码头围堰	104
第8章	土坡滑动	106
8.1	南京江南水泥厂	106
8.2	香港宝城大厦	107
8.3	多瑙河码头岸墙	109
8.4	梯塞河支流公路桥	111
8.5	唐山市陡河	112
8.6	伦敦铁路挡土墙	113
8.7	加拿大土坡崩塌	114
8.8	重庆市制药五厂	115
8.9	大连市南山滑坡	117

8.10	挪威的滑坡	120
8.11	瑞典的滑坡	121
8.12	哥伦比亚比斯河桥	123
8.13	秦岭电厂一分厂变电站	124
第9章	建筑物地基液化失效	127
9.1	日本新潟市3号公寓	127
9.2	河北省唐山矿冶学院书库	128
9.3	墨西哥油箱	129
第10章	冻胀及其它事故	130
10.1	辽宁省盘锦市住宅	130
10.2	北京朗庆园小区住宅	131
10.3	清华大学第十一食堂	132
10.4	唐山市工厂	133
10.5	大连市金州石棉矿	134
10.6	匈牙利一工厂	135
10.7	青岛市南区东海一幢住宅	136
10.8	欧洲一钢厂的起重机门架	138
10.9	辽宁双台子河大桥	139
第11章	不良地基处理成功实例	141
11.1	清华大学第四教室楼(河道贯穿场地)	141
11.2	清华大学学生宿舍21#楼(场地有两个大型化粪池)	142
11.3	清华大学学生宿舍22#楼(基槽底部有一口大古井)	144
11.4	北京市第一铜管厂办公楼(基槽中有一个大烟囱基础)	146
11.5	盘锦市天然浅基房屋(地基为淤泥质土冻深大)	147
11.6	清华大学木工厂(地基为水稻田)	149
11.7	世界最早最长石拱桥——河北省赵州桥	150
11.8	苏州市南园新邨住宅(场地为新堆积杂填土)	151
11.9	苏州市里河桥新村住宅(地基为茭白田淤泥质土)	152
11.10	上海市龙华塔(软弱地基千年木桩)	153
11.11	北京京城大厦(超高层深基槽)	154
11.12	北京长城饭店(高低层无沉降缝)	157
11.13	上海宝钢一号高炉(超重型设备软弱地基)	158
11.14	上海宝钢码头栈桥(深水码头1600m远)	159
11.15	北京中央彩色电视中心(大直径扩底桩)	160
11.16	上海宝钢电厂水泵房(地基为高压缩性软土)	162
11.17	杭州钱塘江大桥(深水双向水冲力)	163
11.18	上海闸北电厂水泵房(黄浦江边块石护坡0.62m)	164
11.19	北京市密云水库防渗墙(深厚卵石透水层)	166

11.20	上海钢铁一厂沉渣池(场地为密集建筑)*	168
11.21	上海黄浦江过江引水管(大直径钢管横穿江底)*	170
11.22	天津市塘沽新港(深厚淤泥与淤泥质土)*	172
11.23	连云港碱厂(海相淤泥地基)	174
11.24	地质勘探队食堂(厚层新近回填土)*	176
11.25	北京市大兴面粉厂(场地为疏松粉细砂)*	177
11.26	烟台大学教师住宅(地基为海积淤泥质土)*	178
11.27	上海宝钢矿石堆料场(深厚淤泥质场地)*	180
11.28	南京市金陵饭店(基岩面严重倾斜)*	182
11.29	天津大无缝钢管总厂(深厚淤泥质软弱土)*	184
11.30	上海宝钢初轧厂铁皮坑(邻近厂房淤泥质土深挖方)*	185
参考文献		187

注：带☆的工程实例，作者都曾到现场调研。

第1章 建筑物倾斜

在建筑工程施工后,地基承受上部建筑荷重产生附加应力,使地基土产生压缩变形,导致建筑物地基的沉降。

当同一建筑物各部分地基土软硬不同,或受压层范围内压缩性高的土层厚薄不均,基岩面倾斜其上覆盖层厚薄悬殊,以及上部建筑层数不一,结构荷载轻重变化较大时,地基将要产生不均匀沉降,这是建筑物发生倾斜的主要原因。此外,建筑物设计与使用不当,也会发生倾斜事故。

严重倾斜不仅影响建筑工程的正常使用,而且危及工程的安全。我国国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)规定建筑物允许的倾斜值如下:

表 1.1 多层和高层建筑基础的倾斜允许值

建筑物高 H_k (m)	$H_k \leq 24$	$24 < H_k \leq 60$	$60 < H_k \leq 100$	$H_k > 100$
倾斜允许值	0.004	0.003	0.002	0.0015

表 1.2 高耸结构基础的倾斜允许值

建筑物高 H_k (m)	$H_k \leq 20$	$20 < H_k \leq 50$	$50 < H_k \leq 100$	$100 < H_k \leq 150$	$150 < H_k \leq 200$	$200 < H_k \leq 250$
倾斜允许值	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002

注: H_k 为自室外地面起算的建筑物高度(m)。

通常,当建筑物的倾斜可由肉眼察觉时,往往超过上述倾斜允许值。尤其对宝塔、烟囱、高炉、水塔等高耸结构,控制其倾斜允许值更为重要。有时,高耸结构严重倾斜,同时伴随结构物的开裂,需特别加以重视。

1.1 意大利比萨斜塔

1.1.1 工程事故概况

举世闻名的意大利比萨斜塔是建筑物倾斜的典型实例。著者应罗马大学邀请讲学,于1992年1月专程到比萨斜塔现场调查研究。

比萨市位于意大利中部,靠近罗马市与米兰市中间的佛罗伦萨市,有铁路相通,交通方便。比萨斜塔位于比萨市北部,它是比萨大教堂的一座钟塔,在大教堂东南方向,相距约25m。

比萨斜塔是一座独立的建筑,周围空旷,游人可以环绕塔身行走与观赏。斜塔西侧有一大片四季常青的草地,长达200m,景色秀丽。

比萨斜塔建造,经历了三个时期:

第一期,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

倾斜,不知原因而停工。

第二期,钟塔施工中中断 94 年后,于 1272 年复工,至 1278 年,建完第 7 层,高 48m,再次停工。

第三期,经第二次施工中中断 82 年后,于 1360 年再复工,至 1370 年竣工,全塔共八层,高度为 55m。

斜塔呈圆筒形,塔身 1—6 层均由大理石砌成,大理石质地优良,每块大理石做得很规整,不仅高度一致,而且表面做成曲面,拼接成塔身为准确圆形。塔基础外伸台阶也同样做成圆形。尤其是塔周围有 15 根大圆柱,砌筑得更精致。斜塔顶上 7—8 层为砖和轻石料筑成。塔身砌体总厚度:第 1 层为 4.1m,第 2—6 层为 2.6m。塔身内径约 7.65m。基础底面外直径 19.35m,内直径 4.51m。塔身每层都有精美的花纹图案,整个斜塔是一座宏伟而精致的艺术品,令人赞叹不已。原来游人可以登塔在各层围廊观赏眺望,因近年塔沉降加速,为了安全,于 1990 年 1 月 14 日被封闭。

全塔总荷重约为 145MN,塔身传递到地基的平均压力约 50kPa。目前塔北侧沉降量约 90cm,南侧沉降量约 270cm,塔倾斜约 5.5° ,十分严重。

比萨斜塔向南倾斜,塔顶离开垂直线的水平距离已达 5.27m,等于我国虎丘塔倾斜后塔顶离开水平距离的 2.3 倍。幸亏比萨斜塔的建筑材料大理石条石质量优,施工精细,著者曾围绕斜塔周围仔细观察,没有发现塔身有裂缝。

比萨斜塔基础底面倾斜值,经计算为 0.093,即 9.3%。我国国家标准《建筑地基基础设计规范》GBJ 7-89 中规定:高耸结构基础的倾斜,当建筑物高度 H_k 为 $50\text{m} < H_k \leq 100\text{m}$ 时,其允许值为 0.005,即 0.5%。目前比萨斜塔基础实际倾斜值已等于我国国家标准允许值的 18 倍。

由此可见,比萨斜塔倾斜已达到极危险的状态,随时有可能倒塌。

1.1.2 事故原因分析

关于比萨斜塔倾斜的原因,得到很多学者的关心。早在 18 世纪记载当时有两派不同见解:一派由历史学家兰尼里·克拉西为首,坚持比萨塔有意建成不垂直;另一派由建筑师阿莱山特罗领导,认为比萨塔的倾斜归因于它的地基不均匀沉降。

本世纪以来,一些学者提供了塔的基本资料和地基土的情况。比萨斜塔地基土的典型剖面如图 1.2 所示。由上至下,可分为 8 层:

- ① 表层为耕植土,厚 1.60m;
- ② 第 2 层为粉砂,夹粘质粉土透镜体,厚度 5.40m;
- ③ 第 3 层为粉土,厚 3.00m;
- ④ 第 4 层为上层粘土,厚度 10.50m;
- ⑤ 第 5 层为中间粘土,厚为 5.00m;
- ⑥ 第 6 层为砂土,厚 2.00m;
- ⑦ 第 7 层为下层粘土,厚度 12.50m;
- ⑧ 第 8 层为砂土,厚度超过 20.00m。

有人将上述 8 层土合为 3 大层:①—③层为砂质粉质土;④—⑦层为粘土层;⑧层为

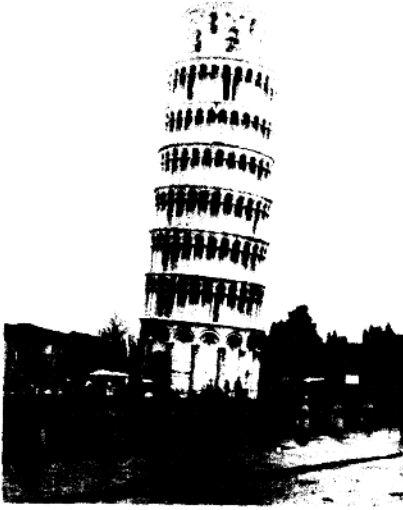


图 1.1 比萨斜塔全景,由斜塔西南方向拍摄
(1992 年 1 月摄)

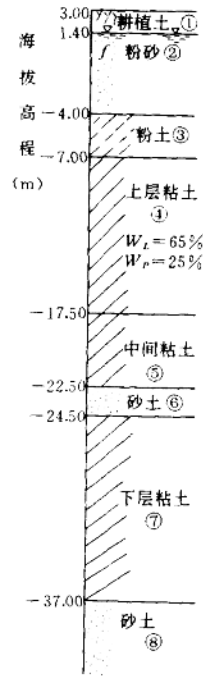


图 1.2 地基土剖面

砂质土层。

地下水埋深 1.6m,位于粉砂层。

根据上述资料,分析比萨钟塔倾斜的原因:

1. 钟塔基础底面位于第 2 层粉砂中。施工不慎,南侧粉砂局部外挤,造成偏心荷载,使塔南侧附加应力大于北侧,导致塔向南倾斜。

2. 塔基底压力高达 500kPa,超过持力层粉砂的承载力,地基产生塑性变形,使塔下沉。塔南侧接触压力大于北侧,南侧塑性变形必然大于北侧,使塔的倾斜加剧。

3. 钟塔地基中的粘土层厚达近 30m,位于地下水位下,呈饱和状态。在长期重荷作用下,土体发生蠕变,也是钟塔继续缓慢倾斜的一个原因。

4. 在比萨平原深层抽水,使地下水位下降,相当于大面积加载,这是钟塔倾斜的重要原因。在 60 年代后期与 70 年代早期,观察地下水位下降,同时钟塔的倾斜率增加。当天然地下水恢复后,则钟塔的倾斜率也回到常值。

钟塔荷重与时间关系和沉降量与时间的关系曲线,见图 1.3。

1.1.3 事故处理方法

1. 卸荷处理

为了减轻钟塔地基荷重,1838 年至 1839 年,于钟塔周围开挖一个环形基坑。著者下

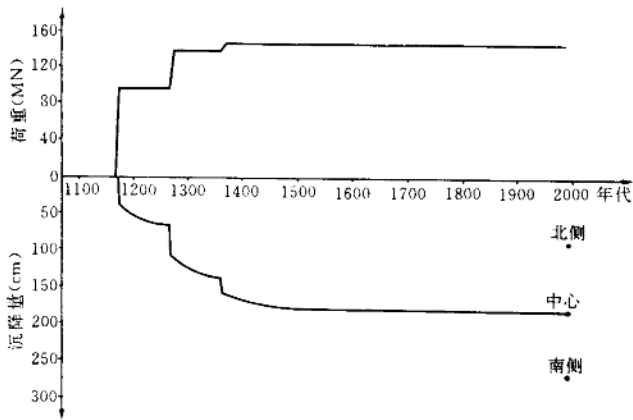


图 1.3 比萨斜塔荷重、沉降量与时间关系

到基坑量测宽度约 3.5m,其深度塔北侧为 0.90m,南侧为 2.70m。基坑底部位于钟塔基础外伸的三个台阶以下,铺有不规则的块石。基坑外围用规整条石垂直向砌筑。基坑顶面以外地面平坦,参阅图 1.4。

2. 防水与灌水泥浆

为了防止雨水下渗,于 1933—1935 年对环形基坑做防水处理,同时对基础环用水泥灌浆加强。

3. 为了防止比萨斜塔散架,1992 年 7 月开始对塔身加固。

著者认为上述处理非根本之计,关键在于对斜塔地基处理。在意大利讲学期间,著者专门与罗马大学探讨比萨斜塔处理问题。罗马大学一位教授耽心斜塔地基处理施工会影响斜塔的安全,认为在塔的旁边钻一个孔都有危险。

针对比萨斜塔倾斜严重的现状和地基土层情况,进行塔基加固又丝毫不影响塔的安全,难度很大。在其它工程加固地基行之有效的旋喷法和桩基托换法一类方法,对比萨斜塔都不适用。因为这类方法必须

在斜塔南侧打孔,在施工过程中必然对斜塔安全不利。至于常规的沉井冲土纠偏法,对比萨斜塔也不适用。著者在意大利与有关方面联系中得悉,比萨斜塔贵在斜,因为 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

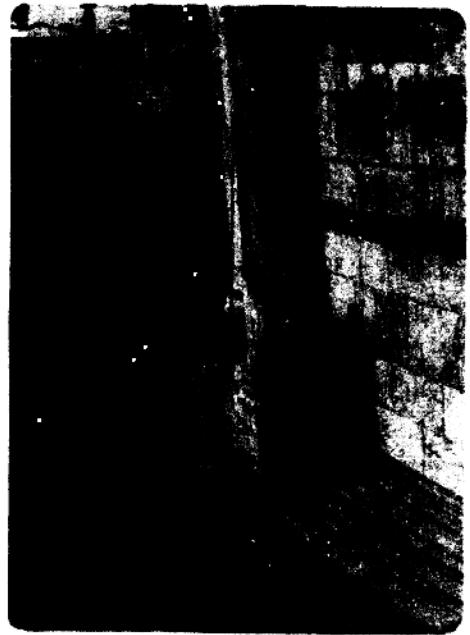


图 1.4 比萨斜塔卸荷处理,塔周围开挖环形基坑(1992 年 1 月叶朴摄)

史文物,吸引无数国内外游客。如果把塔扶正,实际破坏了珍贵文物。

因此,比萨斜塔的加固处理难度大,既要保持钟塔的倾斜,又要不扰动地基避免危险,还要加固地基,使斜塔安然无恙。有志之士如能研究出一个切实可行的方案,则是一大贡献!

注:有关比萨斜塔的历史情况由罗马大学提供,特此表示感谢。

1.2 苏州市虎丘塔^{[3][4][5]}

1.2.1 工程事故概况

虎丘塔位于苏州市西北虎丘公园山顶,原名云岩寺塔,落成于宋太祖建隆二年(公元961年),距今已有1031年悠久历史。全塔七层,高47.5m。塔的平面呈八角形,由外壁、回廊与塔心三部分组合而成。虎丘塔全部砖砌,外形完全模仿楼阁式木塔,每层都有八个壶门,拐角处的砖特制成圆弧形,十分美观,在建筑艺术上是一个创造。中外游人不绝。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6月作者到虎丘塔现场调查,当时由于全塔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、停止开放。作者仔细观察塔身的裂缝,发现一个规律,塔身的东北方向为垂直裂缝,塔身的西南面却是水平裂缝。作者还登上虎丘塔最高的第七层,站在塔心,感觉到站在斜坡上。用随身带的半导体收音机接一根绳子,顶部贴墙,底部离开墙,证明倾斜。

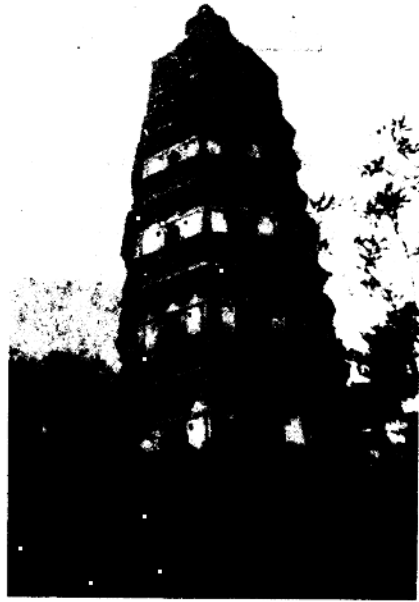


图1.5 虎丘塔倾斜全景(1980年6月摄)

据悉,虎丘塔的倾斜历史悠久。目前观

测塔的中心线是一条折线形抛物线,这是由于建造第一层时,塔发生倾斜;于是在建造第二层时重新校正呈铅直;当塔继续发生倾斜后,建造第三层时又校正呈铅直……,依次类推,成为目前的状态。

1.2.2 事故原因分析

经勘察,虎丘山是由火山喷发和造山运动形成,为坚硬的凝灰岩和晶屑流纹岩。山顶岩面倾斜,西南高,东北低。虎丘塔地基为人工地基,由大块石组成,块石最大粒径达1000mm。人工块石填土层厚1—2m,西南薄,东北厚。下为粉质粘土,呈可塑至软塑状态,

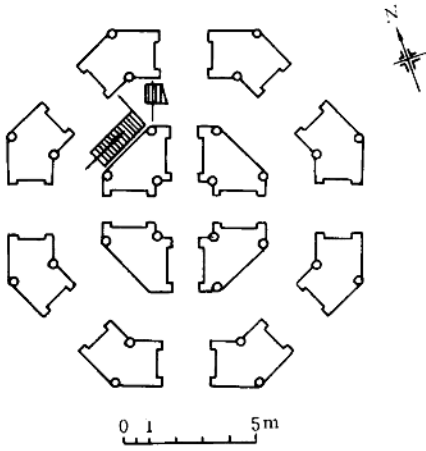


图 1.6 虎丘塔八角形平面图

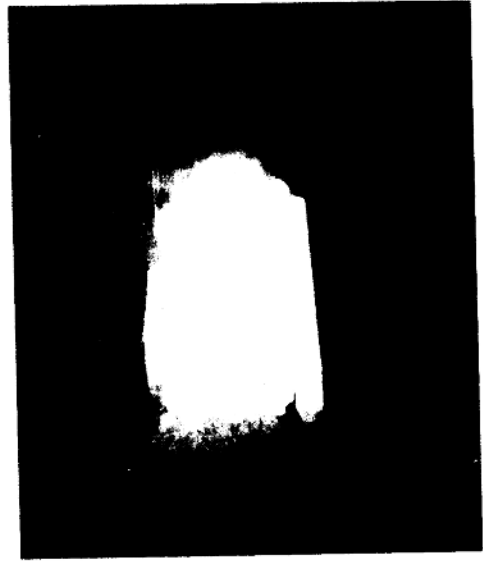


图 1.7 虎丘塔顶层。图中细绳下为半导体收音机 (1980年6月摄)

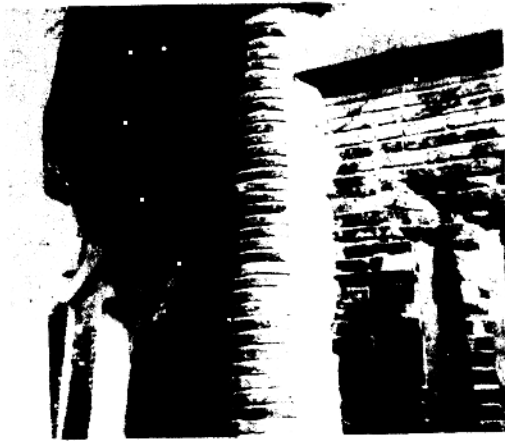


图 1.8 虎丘塔底层墙体已开裂(1980年6月摄)

也是西南薄,东北厚。底部即为风化岩石和基岩。塔底层直径 13.66m 范围内,覆盖层厚度西南为 2.8m,东北为 5.8m,厚度相差 3.0m,这是虎丘塔发生倾斜的根本原因。此外,南方多暴雨,源源雨水渗入地基块石填土层,冲走块石之间的细粒土,形成很多空洞,这是虎丘塔发生倾斜的重要原因。在十年“文革”期间,无人管理,树叶堵塞虎丘塔周围排水沟,大量雨水下渗,加剧了地基不均匀沉降,危及塔身安全。

从虎丘塔结构设计上看有很大缺点,没有做扩大的基础,砖砌塔身垂直向下砌八皮砖,即埋深 0.5m,直接置于上述块石填土人工地基上。估算塔重 63000kN,则地基单位面积压力高达 435kPa,超过了地基承载力。塔倾斜后,使东北部位应力集中,超过砖体抗压强度而压裂。

1.2.3 事故处理方法

为保护千年古塔文物,1978年6月在国家文物管理局和苏州市人民政府领导下,召开多次专家会议,决定加固虎丘塔,首先加固地基。

第一期加固工程是在塔四周建造一圈桩排式地下连续墙,其目的为减少塔基土流失和地基土的侧向变形。在离塔外墙约 3m 处,用人工挖直径 1.4m 的桩孔,深入基岩 50cm,浇筑钢筋混凝土。人工挖孔灌注桩可以避免机械钻孔的振动。地基加固先从不利的塔东北方向开始,逆时针排列,一共 44 根灌注桩。施工中,每挖深 80cm 即浇 15cm 厚井圈护壁。当完成 6—7 根桩后,在桩顶浇筑高 450mm 圈梁,连成整体。

第二期加固工程进行钻孔注浆和树根桩加固塔基。钻孔注水泥浆位于第一期工程桩排式圆环形地下连续墙与塔基之间,孔径 90mm,由外及里分三排圆环形注浆共 113 孔,注入浆液达 26637m³。树根桩位于塔身内顺回廊中心和八个壶门内,共做 32 根垂直向树

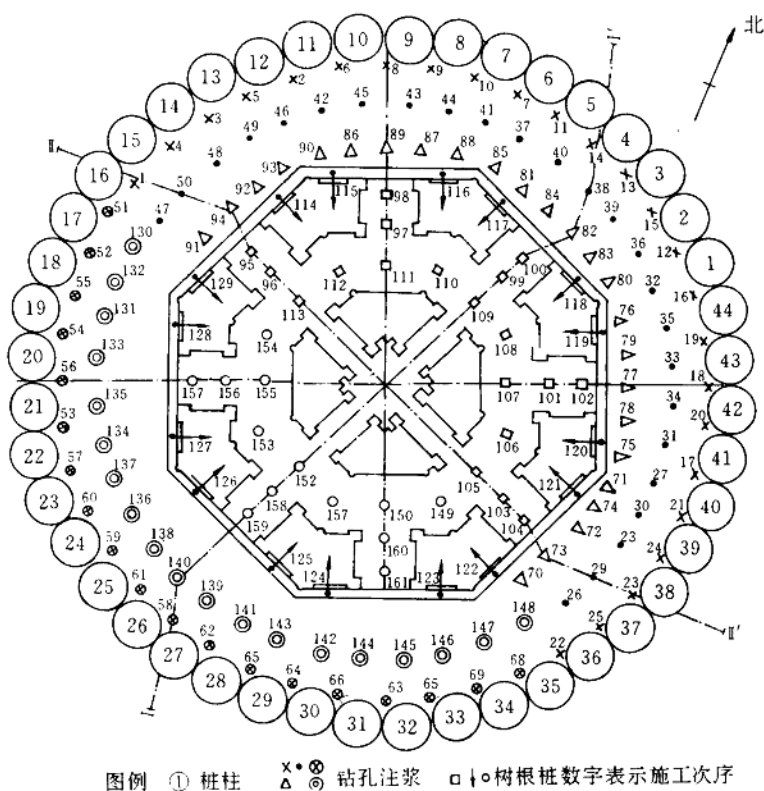


图 1.9 虎丘塔地基加固布置图

根桩。此外,在壶门之间 8 个塔身,各做 2 根斜向树根桩。总计 48 根树根桩,桩直径 90mm,安设 3 Φ 16 受力筋,采用压力注浆成桩。

这项虎丘塔地基加固工程,由上海市特种基础工程研究所改装了 XJ-100-1 型钻机,并用干钻法完成,效果良好。

关于虎丘塔严重倾斜的问题,清华大学黄文熙教授在第 10 届国际土力学与基础工程学术会议上交流了论文^[3],受到世界各国专家的重视。

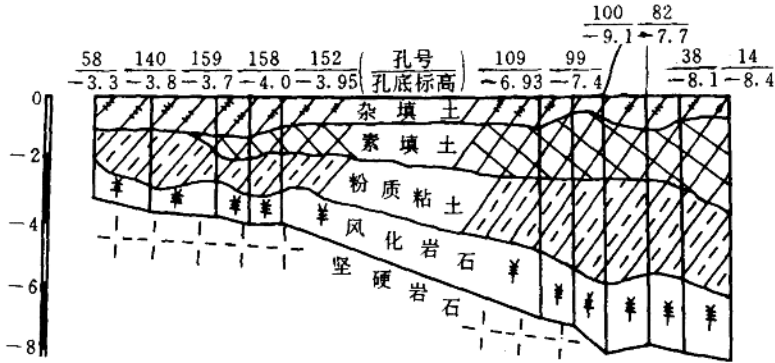


图 1.10 虎丘塔 1-1 地质剖面图

1.3 南昌钢铁厂一烟囱

1.3.1 工程事故概况

南昌钢铁厂一轧车间厂房建于 1971 年,厂房内有一座加热炉。厂房东侧有一座大烟囱,高 50m。1975 年一轧车间投入生产,使用正常。1981 年发现烟囱开裂与倾斜。

1984 年 9 月作者在江西南昌讲学期间,应邀专程到南昌钢铁厂一轧车间调查研究。一轧车间厂房为南北方向呈一字形。烟囱位于厂房中部东门外,砖砌。烟囱下部发现有三条大裂缝,都呈垂直方向。一条裂缝位于烟囱南侧,长达 5m;第二条裂缝位于烟囱西侧,裂缝长 4m;第 3 条裂缝位于烟囱北侧,长约 3m。这三条大裂缝宽度都超过 10mm。此外,烟囱上部还有一条大裂缝,位于烟囱西侧偏南,离烟囱顶约 7—8m 处,这是一条斜裂缝,长约 2m,缝宽约 20mm。一轧车间大烟囱除砖体开裂外,整体向西倾斜。

1.3.2 事故原因分析

一轧车间大烟囱为何发生倾斜与开裂?据悉,当地基岩埋藏很深,排除了由于覆盖层厚薄不均匀的影响因素。地基粘性土均匀,无软弱土。烟囱上部结构为轴对称,基础承受中心荷载。因此,由土质不均或偏心荷载引起地基不均匀沉降的因素也排除了。

作者在一轧车间内进行调查,一座大型加热炉正在运行。全炉分三段:进钢的低温段,温度为 600°—800 C;加热的预热段,温度为 800°—1000 C;出钢的高温段,温度高达 1250°—1300 C。这座大型加热炉的排烟道,位于车间地表下,由加热炉往南 29m 处,烟道

90°拐弯,转向东,长约11m,与烟囱底部相接。作者用手摸烟道顶面,感觉很热。烟囱事故原因找到了。

加热炉烟道隔热层质量不够优良,因此烟道底部即烟囱西部地基土长时期受高温烘烤,使土体含水量减小至缩限以下,土体体积缩小,地基产生沉降。但烟囱东部地基为天然气温,不产生此类沉降,这就是大烟囱向西倾斜的原因。烟囱倾斜后,应力集中,砖被压裂。

1.3.3 事故处理方法

由于一轧厂大烟囱倾斜开裂严重,南昌钢铁厂决定立即加固处理,拨款15000元,采取下列加固措施:

1. 整个烟囱基础加大加深;
2. 烟囱地面以上打箍;
3. 烟囱底部5m高范围,周围包3—5cm混凝土。

作者提出上述加固方案没有对症下药,普遍加固增加荷重,会引起新的沉降。因找不到烟囱设计图纸,作者建议挖小型探坑了解烟囱基础实际埋深与尺寸,再研究基础是否有必要加大加深。烟囱周围用钢丝网喷浆加固可以实施。关键在于加热炉高温烟道与烟囱连接部位的隔热层要切实做好,避免进一步扩大烟囱西部地基土烘烤的范围,引起新的收缩下沉。

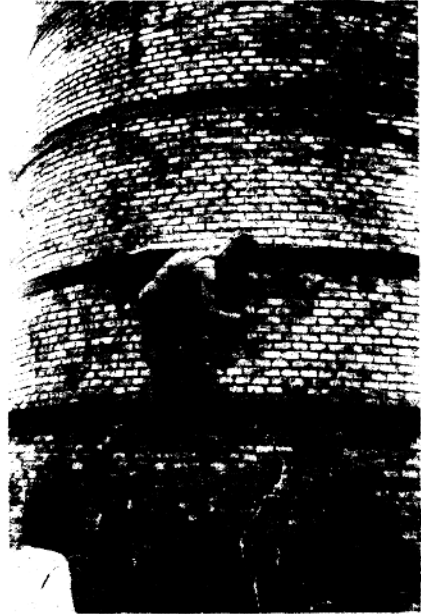
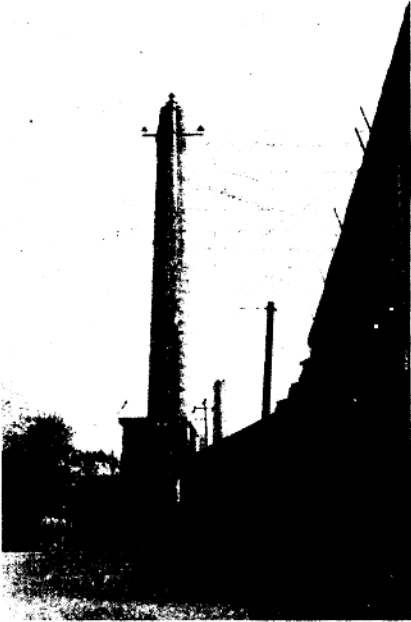


图 1.11 南昌钢铁厂烟囱倾斜(1984年9月摄) 图 1.12 南昌钢铁厂烟囱开裂(1984年9月摄)

1.4 国外某玻璃工厂烟囱^[6]

1.4.1 工程事故概况

国外某玻璃工厂烟囱高 40.5m, 位于厂房内加热炉旁。烟囱基础为筏板基础, 直径 5.2m。竣工时, 烟囱保持垂直。当此玻璃工厂投产后, 发现烟囱倾斜, 经测量烟囱顶部偏离垂线距离达 0.92m。

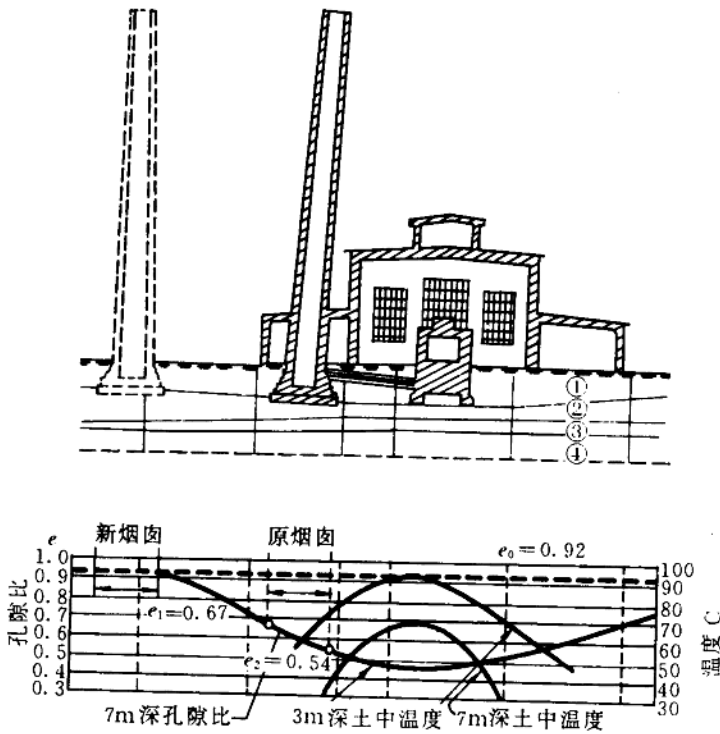


图 1.13 国外某玻璃工厂烟囱

1.4.2 事故原因分析

分析烟囱发生倾斜的原因, 并非上部荷重不均匀或地基不均匀所致。地基①层为填土层, ②、④层为粉质粘土(M_0), ③层为有机质粉土。烟囱位于厂房内, 加热炉高温传到地基中, 使土中含水量蒸发, 土体发生收缩, 孔隙比减小。因厂房中部温度最高, 厂房两侧温度低, 引起不均匀收缩产生的不均匀沉降, 使烟囱发生严重倾斜事故。

1.4.3 事故处理方法

由于烟囱位于玻璃工厂内, 一旦烟囱倒塌, 必将砸毁主厂房, 就地处理很难。结果, 在远离厂房以外, 新建一座烟囱, 把倾斜烟囱拆除。

1.5 上海某研究所沉井

1.5.1 工程事故概况

上海某研究所因工作需要建造一个沉井,平面为圆形,深达40m,为国内最深的沉井。设计采用现场浇筑钢筋混凝土结构,施工采用高压水破土,泥浆泵排泥方案。

上海地区地基土较软弱,为淤泥质土。这个深沉井在自重作用下,边破土排泥,边下沉,比较顺利。不料,当这个沉井已下沉至37m余时,发现沉井倾斜。

1.5.2 事故原因分析

沉井的地基为淤泥质土,当高压水冲沉井内地基土时,很容易破土,使沉井失去支承而下沉。由于高压水在沉井一侧冲刷时间过长,使这一侧土被冲走,形成一个深坑。则沉井就向这一侧倾斜。一旦沉井发生倾斜,沉井地基形成偏心荷载,使下沉多的一侧压力增加,更使沉井进一步倾斜。

1.5.3 事故处理方法

当沉井施工测量发现沉井倾斜后,立即采取下列纠倾措施:

1. 停止在沉井下沉多的一侧冲土,将高压水枪移至下沉少的一侧,将此侧沉井底部及脚下的地基土冲走,形成一个坑,使沉井在此侧失去支承。原以为由此可以使沉井正过来,但是,不管高压水怎么冲,沉井并没有动静。这一措施没有奏效。

2. 一计未成又生一计。在沉井下沉少的一侧井外挖土,以减小土对沉井的摩擦力。于是沉井外侧的土被挖除3m多,加上措施1,沉井还是没有动静,怎么办?

3. 考虑沉井已下沉37m余,只挖除3m多土比例太小。再往下挖有地下水,发生困难。又想出一计,用高塑性膨润土泥浆在井壁外下灌,使沉井与土之间摩擦力进一步减小。结果,沉井似乎故意作对,仍然没有动静。怎么办?



图 1.14 上海某研究所深沉井纠偏情景(1979年9月摄)