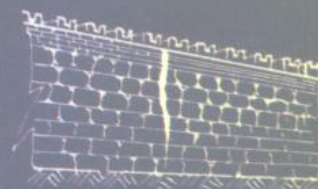
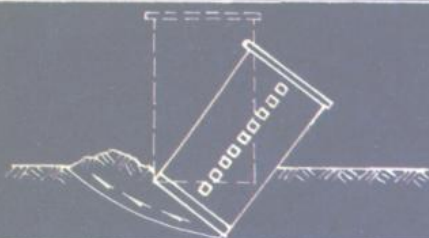
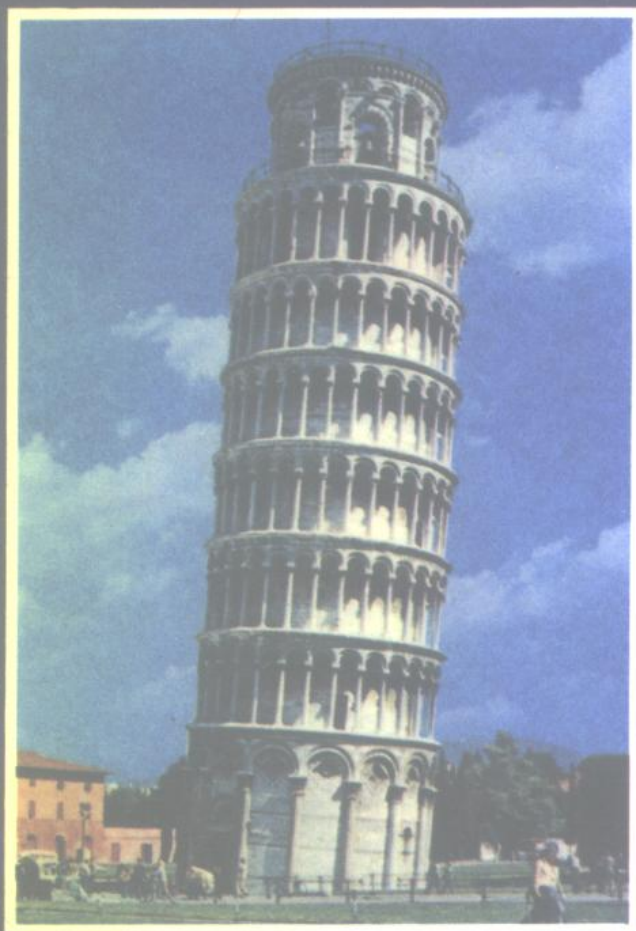


地基事故与预防

国内外建筑工程实例

陈希哲 著



清华大学出版社

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

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

☆

开本:787×1092 1/16 印数:12.25 字数:291千字

1994年1月第1版 1996年7月第2次印刷

印数:8001—12000

ISBN 7-302-01366-7/TU·82

定价:14.00元

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

授和意大利罗马大学提供的。在此,对上述单位和有关人士表示衷心地感谢!

本书得到清华大学同行专家、教授的关注,总参防化研究院叶朴高级工程师帮助收集资料并设计封面,北京建筑科技设计所叶菁描制部分插图,在此一并表示感谢。

作 者

1992 年 10 月

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	上海钢铁一厂沉碴池(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_g (m)	$H_g \leq 24$	$24 < H_g \leq 60$	$60 < H_g \leq 100$	$H_g > 100$
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_g (m)	$H_g \leq 20$	$20 < H_g \leq 50$	$50 < H_g \leq 100$	$100 < H_g \leq 150$	$150 < H_g \leq 200$	$200 < H_g \leq 250$
倾斜允许值	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002

注: H_g 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 93‰。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_g 为 $50\text{m} < H_g \leq 100\text{m}$ 时,其允许值为 0.005,即 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

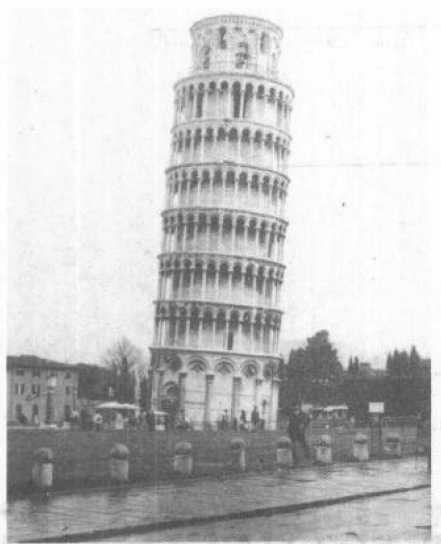


图 1.1 比萨斜塔全景,由斜塔西南方向拍摄
(1992 年 1 月摄)

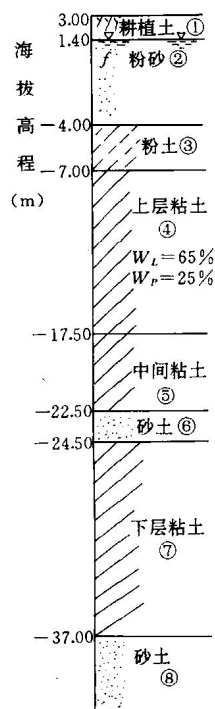


图 1.2 地基土剖面

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,守致塔向南倾斜。

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

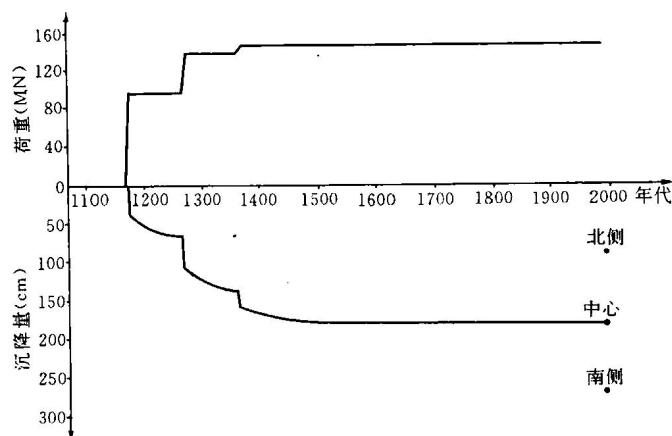


图 1.3 比萨斜塔荷重、沉降量与时间关系

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

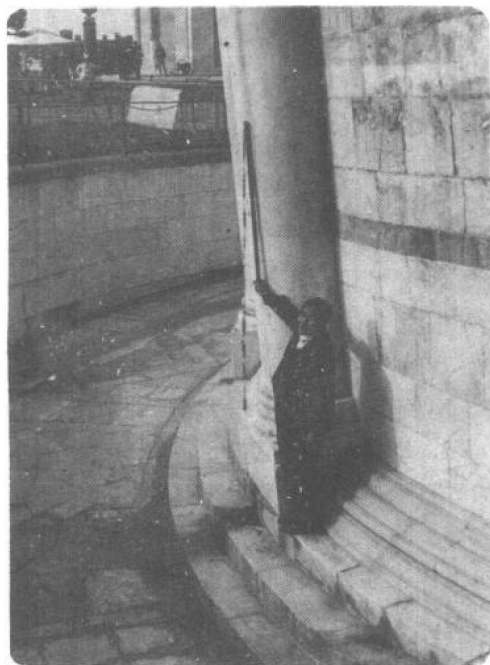


图 1.4 比萨斜塔卸荷处理,塔周围开挖环形基坑(1992 年 1 月叶朴摄)

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。

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,

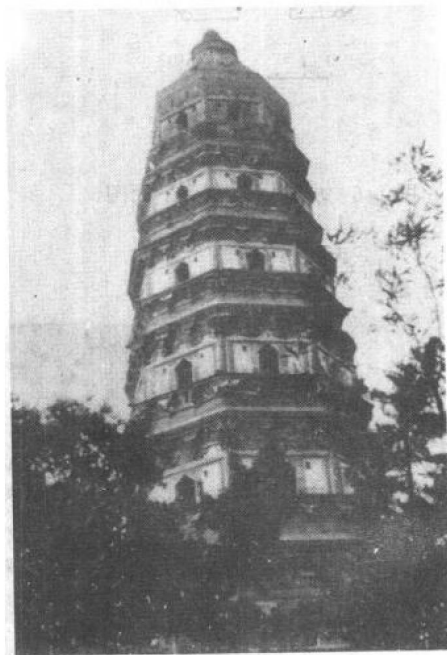


图1.5 虎丘塔倾斜全景(1980年6月摄)

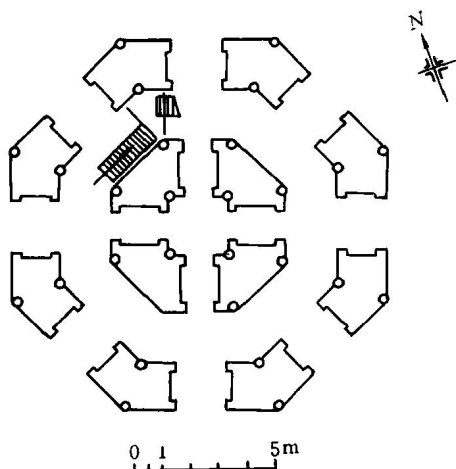


图 1.6 虎丘塔八角形平面图

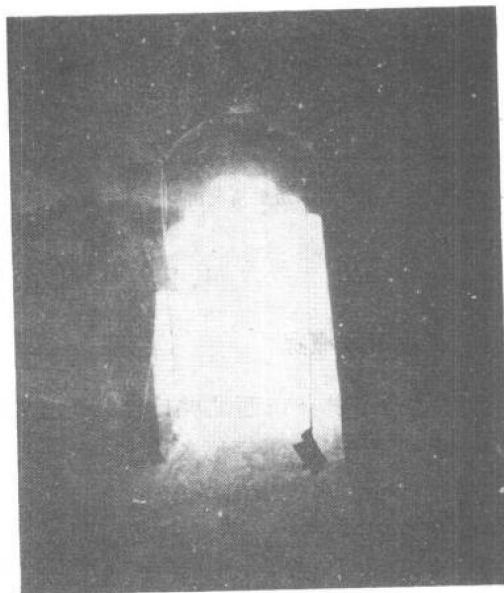


图 1.7 虎丘塔顶层。图中细绳下为半导体收音机
(1980 年 6 月摄)

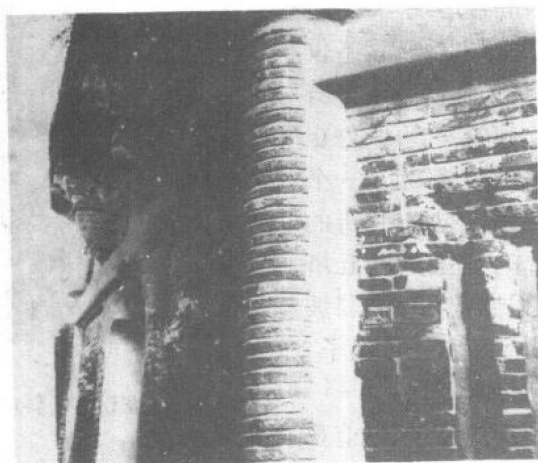


图 1.8 虎丘塔底层墙体已开裂(1980 年 6 月摄)

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。

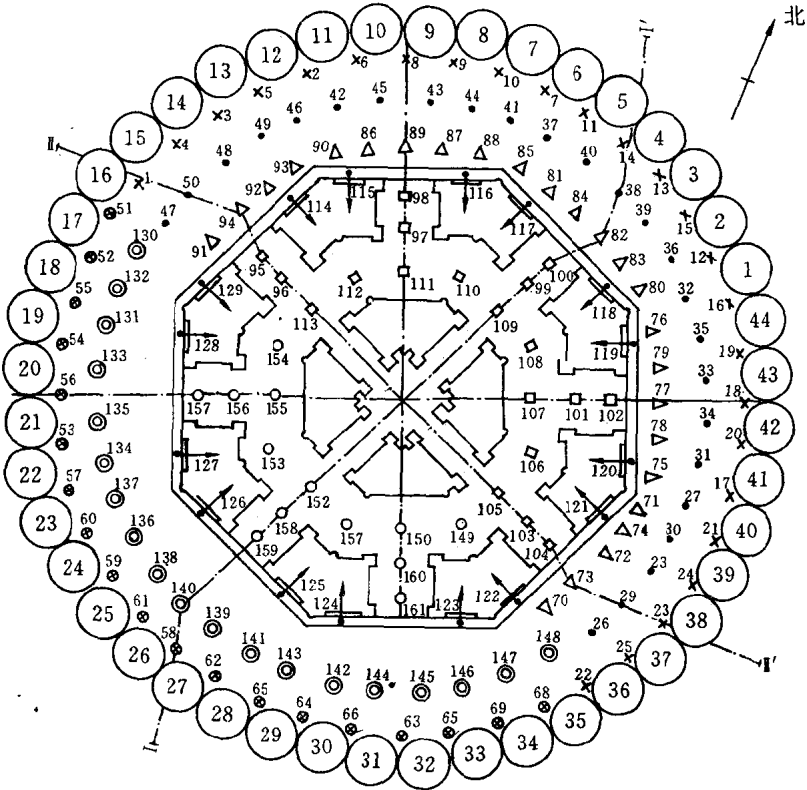
从虎丘塔结构设计上看有很大缺点,没有做扩大的基础,砖砌塔身垂直向下砌八皮砖,即埋深 0.5m,直接置于上述块石填土人工地基上。估算塔重 63000kN,则地基单位面积压力高达 435kPa,超过了地基承载力。塔倾斜后,使东北部位应力集中,超过砖体抗压强度而压裂。

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



图例 ① 桩柱 x•⊗ 钻孔注浆 □|• 树根桩数字表示施工次序

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。

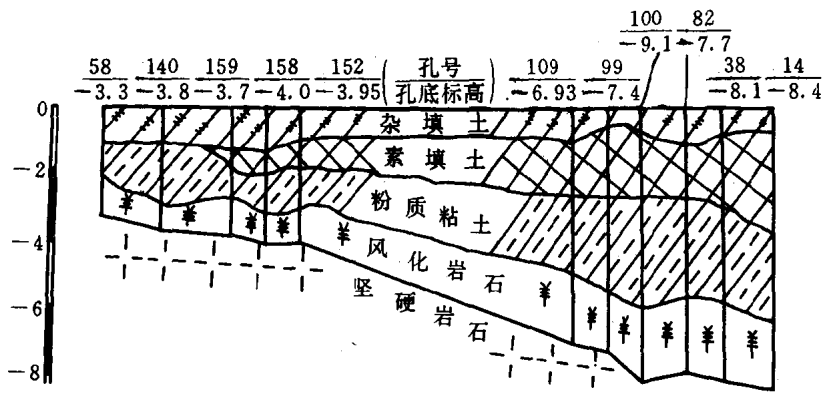


图 1.10 虎丘塔 I - I 地质剖面图

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,厂内有一座加热炉。厂东侧有一座大烟囱,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℃;加热的预热段,温度为 800°—1000℃;出钢的高温段,温度高达 1250°—1300℃。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