

# 模块 2

## 地基及基础工程事故分析与处理



在建筑结构的建造使用过程中,地基和基础工程的质量问题可能会造成建筑物墙体及楼盖开裂,从而影响正常使用。因此,熟悉并掌握地基及基础工程事故的原因与处理方法非常重要。

### 2.1 地基工程事故的分析与处理

地基是承受建筑物全部荷载的土体或岩体,它不属于建筑物的组成部分。为了使建筑物安全、正常地被使用而不遭到破坏,要求地基应满足设计需要的容许承载力,建筑物的沉降值小于容许变形值及地基无滑动危险,这是对地基设计的基本要求。

#### 2.1.1 地基工程事故的原因分析

地基工程事故发生的重要原因是勘察、设计、施工不当或环境和使用情况发生变化,尤其是在软弱地基或不良地基地区,地基问题更为突出,严重的会导致建筑物倒塌。

常见地基工程事故的原因主要有如下几个方面:

(1) 地基工程设计开始前的准备工作不够深入,地基勘察不到位。根据我国建筑工程施工规范的相关规定,在工程设计之前应该首先进行基础的勘察工作,详细了解该工程所处位置的地下土壤的土质类别,该类土质的最大承载力情况,地下水的走向,地下水水位的高低,地下的洞穴、墓穴等情况,地基土的土层分布是否均匀,并根据勘察资料深入研究分析该工程的地基基础工程的设计,以确保工程施工的安全。但是,在实际的地基工程施工中,很多设计单位在地基工程设计之前不进行深入的地质勘察,或者出于节约成本的考虑不进行地基的勘察工作,导致地基工程施工出现质量问题,给整个工程带来安全隐患。

(2) 在地基基础的设计中,没有对地基结构的承载力进行仔细的计算。对每一个工程项目来说,地基工程是整个建筑工程的基础。在进行基础设计时,设计人员应该根据地基勘



察所得到的地基的土质情况、未来建筑物所施加的荷载、所采用的地基基础施工材料的特性,对工程的地基基础的形状尺寸及地基施工的工艺技术要求等进行设计和说明,确保地基基础的承载力能满足工程的施工要求,将地基的变形值限制在工程允许的范围内,避免工程的结构受到裂缝、坍塌等的威胁。

(3) 基础的埋设深度(埋深)不够。设置建筑工程基础的埋设深度时,通常需要考虑当地冬季的冻土层厚度、本工程的地基土的地质条件和地下水位情况,同时必须考虑该工程相邻建筑工程或者构筑物的地基基础的埋设深度,以及本工程地基的结构和形式、承载能力的大小等,通过详细的计算和比较,确定一个既安全又经济的基础埋设深度。但是很多建筑工程在确定基础的埋设深度时比较随便,或者没有经过详细的分析和计算,只是凭借经验,致使工程的埋设深度不够,给建筑基础带来了安全隐患。

(4) 在工程地基的施工中不重视地基土在寒冷地区的冻胀问题,埋设深度不符合要求。同时,没有在软弱地基的设计与施工中采取有效的措施防止或者减少地基基础的沉降。地基基础的施工工程应该尽量避免在雨期施工,即使没法避免在雨期施工,也必须确保地面的雨水不排入基坑或者基槽;对于地下水位较高的地基工程,施工时必须采取有效的降水或者排水措施。对于已经受到雨水或者地下水影响的地基土要铲除,然后回填土并夯实。对于湿陷性黄土地基,应该采用换土的办法进行处理,并进行加固。



### 2.1.2 地基失稳事故的分析与处理

#### 1. 地基失稳的形式

在荷载的作用下,地基中产生了剪应力,当局部范围内的剪应力超过土的抗剪强度时,将使一部分土体沿着另一部分土体滑动而造成剪切破坏(此时塑性区扩大到相互贯通,形成一个连续的滑动面),这样的现象称为地基丧失稳定,即地基失稳。

当地基土的抗剪强度小于地基受到的压力设计值时,地基就会产生局部或整体的剪切破坏,即地基丧失了稳定性(失稳破坏)。

失稳破坏的具体形式有整体剪切破坏、局部剪切破坏、冲切剪切破坏,其结果是引起建筑物结构破坏或倒塌。地基破坏形式与地基土层分布、土体性质、基础形状及埋深、加荷速率等因素有关。

##### 1) 整体剪切破坏

对于压缩性较小的密实砂与坚硬黏土地基,当基础埋深较浅、上部荷载很大而使基底压力超过极限承载能力时,地基内的塑性变形区将发展成为一个连续滑动面,即发生整体剪切破坏,基础周围的地面有明显隆起现象。

##### 2) 局部剪切破坏

局部剪切破坏的地基塑性变形区位于基础下方,滑动面未延伸至地面,地面略有隆起现象,但房屋不会明显倾斜或者倒塌。

##### 3) 冲切剪切破坏

对于压缩性较大的松散和软土地基,当基础埋深较深时,上部荷载使地基土连续下沉,并沿基础周边产生竖向剪切,建筑物产生过大的不能容许沉降,即冲切剪切破坏。破坏时地基不出现明显的连续滑动面,基础四周的地面不隆起,建筑物没有很大倾斜,基础就像切入

土中一样,建筑物将产生较大沉降。

## 2. 地基失稳事故案例

### 1) 事故概况

加拿大特朗斯康谷仓,长度为 59.4 m,宽度为 23.5 m,高度为 31.0 m,共 65 个圆筒仓;采用钢混筏板基础,厚度为 61 cm,埋深为 3.66 m。1911 年动工,1913 年完工,自重 20 000 t。

谷仓于 1913 年 9 月开始装谷物,10 月 17 日装了 31 822 t 谷物时,谷仓 1 h 竖向沉降达 30.5 cm;24 h 倾斜  $26^{\circ}53'$ ,西端下沉 7.32 m,东端上抬 1.52 m,上部钢混筒仓完好无损。事故现场如图 2-1 所示。

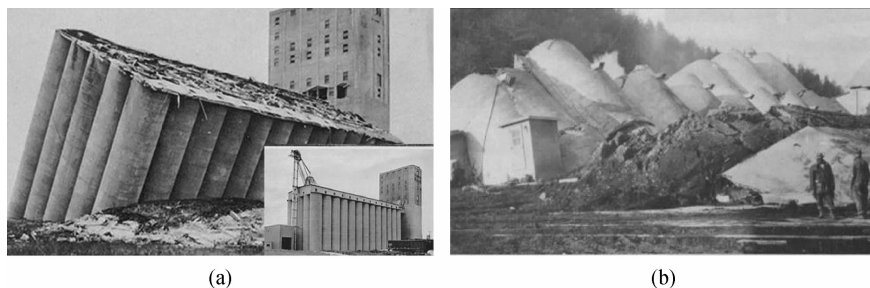


图 2-1 加拿大特朗斯康谷仓事故现场

### 2) 事故分析

对于地基土事先未进行调查,只是根据邻近结构物基槽开挖取土试验结果计算地基承载力,并将其应用到谷仓施工上。1952 年,经勘察试验与计算,地基实际承载力小于破坏时的基底压力。因此,谷仓地基因超载发生强度破坏而滑动。

### 3) 事故处理

事后在谷仓下面做了 70 多个支承于基岩上的混凝土墩,使用 388 个 50 t 的千斤顶及支撑系统将仓体逐渐纠正过来,其位置比原来降低了 4 m。

## 2.1.3 地基变形事故的分析与处理

### 1. 地基变形事故的特征

#### 1) 软弱地基的变形特征

(1) 沉降大而不均匀。软土地区大量沉降观测资料统计表明,砖墙承重的混合结构建筑,若以层数表示地基受荷大小,则三层房屋的沉降量为 15~20 cm,四层房屋的沉降量为 20~50 cm,五层至六层房屋的沉降量多超过 70 cm。有吊车的一般单层工业厂房的沉降量为 20~40 cm,而大型构筑物,如水塔、油罐、料仓、储气柜等,其沉降量一般都大于 50 cm,有的甚至超过 100 cm。过大的沉降会造成室内地坪的标高低于室外地坪,引发雨水倒灌、管道断裂、污水不易排出等问题。软土地基的不均匀沉降是造成建筑物开裂损坏或倾斜事故发生的主要原因。影响不均匀沉降的因素有很多,如土质的不均匀性、上部结构的荷载差异、建筑物形体复杂、建筑物间相邻影响、地下水位变化及建筑物周围开挖基坑等。即使在同一荷载及简单平面形式下,其差异沉降也有可能相差很大。



(2) 沉降速率大。建筑物的沉降速率是衡量地基变形发展程度及状况的一个重要标志。软土地基的沉降速率较大,一般在加荷终止时沉降速率最大。

沉降速率随基础面积和荷载性质的变化而有所不同。一般民用或工业建筑的活荷载较小时,其竣工时的沉降速率为 $0.5\sim 1.5\text{ mm/d}$ ;活荷载较大的工业建筑物和构筑物,其最大沉降速率可达 $45.3\text{ mm/d}$ 。随着时间的推移,沉降速率逐渐衰减,但在施工期 $0.5\sim 1$ 年内建筑物的差异沉降发展最为迅速,建筑物最容易出现裂缝。在正常情况下,当沉降速率衰减到 $0.05\text{ mm/d}$ 以下时,差异沉降一般不再增加。如果作用在地基上的荷载过大,则可能出现等速沉降,长期的等速沉降就有导致地基丧失稳定的危险。

(3) 沉降稳定历时长。建筑物沉降主要由于地基土受荷后,孔隙水压力逐渐消散,而有效应力不断增加,导致地基产生固结作用。因为软土的渗透性低,孔隙水不易排除,故建筑物的沉降稳定历时均较长。有的建筑物在建成后的几年、十几年甚至几十年内沉降尚未完全稳定。例如,上海展览馆的中央大厅为箱形基础,基础面积为 $46.5\text{ m}\times 46.5\text{ m}$ ,半地下室,基底压力约为 $130\text{ kPa}$ ,附加压力约为 $120\text{ kPa}$ ,1954年建成,30年后累计沉降量已超过 $1.8\text{ m}$ ,沉降影响范围超过 $30\text{ m}$ ,造成相邻两侧展览厅的墙体严重开裂。

#### 2) 不均匀沉降对上部结构产生的效应

(1) 砖墙开裂。地基不均匀沉降使砖砌体弯曲,从而导致砌体因所受主拉应力过大而开裂。

(2) 砖柱断裂。砖柱裂缝有水平裂缝和垂直裂缝两种。前者是由于基础不均匀沉降使中心受压砖柱产生纵向弯曲而产生。水平裂缝均出现在砌体下部,沿水平灰缝发展,使砌体受压面积减小,严重时将造成局部压碎而失稳。垂直裂缝一般出现在砖柱上部。例如,某平面为“Π”形的四层教学楼,因一翼下沉较大,外廊的预制楼板发生水平位移,使支承楼板的底层中部外廊砖柱柱头拉裂,裂缝上大下小,最宽处达 $8\text{ mm}$ ,延伸 $1.3\text{ m}$ 。

(3) 钢筋混凝土柱倾斜或断裂。单层钢筋混凝土柱的排架结构常因地面上大面积堆料而造成柱基倾斜。刚性屋盖系统的支撑作用在柱头产生较大的附加水平力,使柱身因弯矩增大而开裂,裂缝多为水平裂缝,且集中在柱身变截面处及地面附近。露天跨柱的倾斜虽不会造成柱身裂损,但会影响吊车的正常运行,出现滑车或卡轨现象。例如,上海某厂铸钢车间露天跨柱,车间内堆载为 $100\text{ kPa}$ ,造成轨顶最大位移值达 $8.5\text{ cm}$ ,柱基最大相对内倾值达 $0.0125$ ,导致吊车卡轨、滑车,工字形柱发生倾斜、出现裂缝。1964—1965年曾凿开基础杯口,用钢丝绳纠偏,目前柱子尚有明显倾斜。

(4) 高耸构筑物的倾斜。建在软土地基上的烟囱、水塔、筒仓、立窑、油罐和储气柜等高耸构筑物,若采用天然地基,则产生倾斜的可能性较大。例如,某厂紧邻建造的两个高度为 $32.43\text{ m}$ 的石灰窑,其中,北窑先投入生产,造成南窑向北倾斜,相对倾斜值达 $0.016$ 。当南窑投产时,北窑又向南倾斜,相对倾斜值达 $0.0114$ ,最后不得不采取加压措施纠偏。

#### 3) 湿陷变形对上部结构产生的效应

(1) 基础及上部结构开裂。黄土地基的湿陷性引起房屋下沉量加大,墙体裂缝较大,并开裂迅速。

(2) 倾斜。湿陷变形只出现在受水浸湿部位,而没有浸水的部位基本不发生变形,从而形成沉降差。整体刚度较大的房屋和构筑物(如烟囱、水塔等)易发生倾斜。

(3) 折断。当地基遇到多处湿陷时,基础往往产生较大的弯曲变形,引起房屋基础和管



道折断。当给排水干管折断时,会对周围建筑物的安全构成更大的威胁。

#### 4) 胀缩变形对上部结构产生的效应

(1) 建筑物的开裂破坏一般都具有地区性成群出现的特性,大部分是在建成后四五年,甚至一二十年才出现开裂,也有少部分在施工期就出现开裂。这主要是受地基含水量、场地的地形、地貌、工程与水文的地质条件、气候、施工等综合因素的影响。例如,四川成都尤潭区三级阶地上的房屋,大数在建成五六年后出现了地基干、湿变化,造成建筑物开裂、变形,尤其以平房及三层以下的建筑物更为普遍和严重。

(2) 遇水膨胀、失水收缩引起墙体开裂。墙体裂缝有正八字形、倒八字形、X形,还有水平缝及局部斜裂缝。随着胀缩反复交替出现,墙体可能出现挤碎或错位现象。

(3) 在地质条件相同情况下的房屋开裂破坏。此种破坏以单层、二层房屋较多,三层房屋较少、较轻。单层房屋,尤其是单层民用房屋的开裂最为普遍,其破坏率占单层建筑物总数的85%;二层房屋破坏率为25%~30%;三层房屋一般略有轻微的变形开裂破坏,其破坏率为5%~10%。基础形式不同,房屋开裂情况也不同,条形基础的破坏较单独基础的破坏更为普遍。

排架、框架结构房屋,其变形开裂破坏的程度和破坏率均低于砖混结构。体形复杂的房屋由于失水和得水的临空面大,受大气的影 响也大,故其变形开裂破坏较体形简单的房屋严重。地裂通过处的房屋必定开裂。

#### (4) 外墙与内墙交接处的破坏。

#### (5) 室内地坪开裂,特别是空旷的房屋或外廊式房屋的地坪较易出现纵向裂缝。

#### 5) 冻胀、融陷变形对上部结构产生的效应

当基础埋深小于冻结深度时,在基础侧面作用着切向冻胀力 $T$ ,在基底作用着法向冻胀力 $N$ 。如果基础上荷载 $F$ 和自重 $G$ 不足以平衡法向冻胀力和切向冻胀力,基础就会被抬起来。融化时,冻胀力消失,冰变成水,土的强度降低,基础产生融陷。不论是上抬还是融陷,一般都是不均匀的,其必然导致建筑开裂破坏。例如,河北崇礼县某住宅楼,上冻前地下室施工完毕,只进行了外侧回填,地下室内没有采取任何保温措施,第二年开春时,发现大部分有门洞口的圈梁出现裂缝,最宽处达8 mm,最后不得不加固补强。

建筑物因地基冻融产生的破坏现象,可概括为以下几种:

(1) 墙体裂缝。一、二层轻型房屋的墙体裂缝很普遍。从裂缝的形状上看,有斜裂缝、水平裂缝、垂直裂缝3种。这些裂缝与膨胀土地基上房屋开裂的情况十分相似。垂直裂缝多出现在内外墙交接处或是外门斗与主体结构连接的地方。

(2) 基础拉断。这种情况经常发生在不采暖的轻型结构砖砌基础中,主要是侧向冻切力作用所致。电杆、塔架、桥墩、管架等一般轻型构筑物基础在侧向冻切力的作用下,有逐年上拔的现象。例如,我国东北地区某工程的钢筋混凝土桩,3~4年上拔了60 cm。

(3) 外墙因冻胀抬起,内墙不动,造成天棚与内墙分离。这种情况常发生在采暖房屋里,因内墙与外墙不连接,天棚支承在外墙上,当外墙因冻胀抬起时,天棚便与内墙分离,最大可达20 mm。

(4) 台阶隆起,门窗歪斜。据哈尔滨市调查,部分居民住宅每到冬天由于台阶隆起而导致外门不易推开,来年开冻以后台阶又回落。经多年起落,变形不断增加,造成台阶出现了不同程度的沉落和倾斜。因为台阶埋深较小,与房屋基础埋深相差很多,故对冻结融化都比较敏感。在构造上,台阶又与房屋不连接,故台阶变形较为显著且极为普遍,这种现象在冻



胀性地区非常普遍。另外,纵墙变形不均匀或内外墙变形不一致,常使门窗变形,玻璃被压碎。故当地居民在入冬和春融前后都需要修整一次门窗。

### 2. 地基变形事故案例

#### 1) 事故概况

某运输公司营业楼东西向的长度为 28 m,南北向的宽度为 8 m,高度为 24 m,为六层框架结构,建筑面积为 1 600 m<sup>2</sup>。营业楼采用天然地基、钢筋混凝土筏板基础,基础埋深为 1.4 m。标准跨基底压力为 63 kPa,营业楼竣工使用后不久,楼房向北倾斜,半年后,经测定,楼顶部向北倾斜达 259~289 mm。其中与自来水公司五层大楼相邻处的倾斜量最大。两楼之间的沉降缝在房顶部已闭合。若继续发生倾斜,则营业楼的墙体将发生开裂破坏。

#### 2) 事故分析

(1) 建筑场地不良。经检查,该建筑场地有暗塘,人工填土层的厚度达 4.75 m,基础埋在杂填土上。尤其是在人工填土层下存在泥炭质土、有机质土、淤泥质土及流塑状态软弱黏性土,深度达 12.5 m,这些土均为高压缩性,这是楼房发生倾斜事故的根本原因。

(2) 新建自来水公司五层大楼紧靠运输公司营业楼北侧,仅以沉降缝分开。新建大楼的附加应力向外扩散,使运输公司营业楼北侧地基中的附加应力显著增大,引起高压缩性土层压缩,地基进一步沉降,这是导致事故发生的重要原因。

#### 3) 事故处理

为了解决大楼的倾斜问题,可以采用冲孔挤土法和井点降水法来处理。具体操作方法如下:

(1) 冲孔挤土法。在 6 个沉井底部各打 2 个水平孔(孔径为 146 mm,孔深为 4 m),钻进营业楼下的泥炭质土中。

(2) 井点降水法。用 1 个星期从 6 个沉井中连续抽水,抽水停止后,井的沉降速率会降低。



## 2.1.4 地基沉降事故的分析与处理

### 1. 地基沉降事故的原因分析

建(构)筑物过量沉降是指建(构)筑物基础发生的沉降量大于允许值,而导致建筑结构上部损坏、整体倾斜、丧失使用功能的现象。建(构)筑物不均匀沉降是指建(构)筑物同一相互传力的结构体基础之间出现不等量的沉降现象。这两种现象可以由地基土质不同的构造特性和环境条件的变化而引起,也可以由基础压力超过地基的容许承载力或地基受力不均匀而产生。

建筑物从建造开始便已经开始沉降积累,但建(构)筑物达到沉降稳定的时间与地基土的应力历史有关,短的可以是几个月,长的可以是几年甚至几十年。地基土质结构相对不稳定和地基受力不均匀是引起建(构)筑物过量沉降或不均匀沉降的主要原因。

(1) 地基土质结构相对不稳定造成基础沉降。土质结构相对不稳定可以是先天形成的,也可以是后天形成的。先天形成的有软土、杂填土、冲填土、湿陷性黄土、膨胀土等欠固结的土,其土质成分(或分布)不均匀,土的压缩性高(密度小、含水量高、强度低)。其中,湿陷性黄土含有大量的碳酸盐类,孔隙比一般大于 1,遇水浸湿后,填充在土颗粒之间的碳酸盐

类物质遇水溶解,同时水膜变厚,土的抗剪强度显著降低,在自重压力或自重压力和附加压力的作用下,土的结构迅速被破坏而发生显著的附加下沉;膨胀土具有显著的胀缩可逆特性,会造成建筑物发生升降运动,从而导致建筑物破坏。后天形成的有地下水涨落、渗透、冰冻、开挖扰动、化学介质侵蚀、设备震动及地震波的冲击等原因造成土的容许承载力的减小。

上述两种情况下的土质容易造成基础不均匀沉降和最终沉降量增大,所以在这类地基土上建造建(构)筑物前,应用正确的地基处理方法对地基进行必要的处理。

(2) 地基受力不均匀造成基础不均匀沉降。地基受力是指基础基底以下一定深度范围内各土层受到的压力。地基受力分为直接受力(通过基础传力)和间接受力(通过土层传力)。通过基础传力使地基受力不均匀的情况包括:建筑物外立面错落,工业厂房设备质量布置不均匀,因吊车荷载或风载作用使基础底部产生偏心压力等。通过土层传力使地基受力不均匀的情况包括:相邻建(构)筑物或基础压力、回填土自重、地面设备压力等。理论上,地基受力不均匀可以通过调整基础底面积来控制建筑物的不均匀沉降,但实际上土层的结构变化是相当复杂的。地基受力不均匀是造成基础不均匀沉降的主要原因,因此,在建造建(构)筑物时要尽量做到结构均衡、荷重分布均匀。

分析以上原因,除沉降计算理论不完善、土体计算参数难确定外,建(构)筑物基础产生过量沉降或不均匀沉降是可以采取各种措施人为减少或避免的,而事实上,因建(构)筑物产生过量沉降或不均匀沉降而导致的建筑结构上部损坏、整体倾斜、丧失使用功能等工程事故连年不断。

## 2. 防止地基产生沉降的措施

(1) 建筑物体形应力求简单。建筑物立面的高差不宜悬殊,所受荷载差异不宜太大;在平面上开头应力求简单,尽量避免凹凸转角,同时平面上的转折和弯曲也不宜过多,否则会使其整体性和抗变形能力降低。另外,适当控制建筑物的长高比(建筑物在平面上的长度和从基底算起的高度之比),其越小,整体刚度越好,调整不均匀沉降的能力越强,长高比一般控制在 2.5~3.0。对于砌体承重结构,为保证其整体刚度,应合理布置纵横墙。纵横墙应尽量贯通,横隔墙的间距不宜过大,一般不宜大于建筑物宽度的 1.5 倍。

(2) 设置沉降缝。沉降缝将建筑物分成各自独立的单元,各单元的沉降不相互影响。一般在建筑平面的转折部位、高度差异(或荷载差异)处、长高比过大的砌体承重结构或钢筋混凝土西式体承重结构或钢筋混凝土框架结构的适当部位、地基土的压缩性有显著差异处、建筑结构或基础类型不同处、分期建造房屋的交界处等设置沉降缝。沉降缝应有足够的宽度,建筑物越高(层数越多),缝应越宽。

(3) 相邻建筑物之间应保持一定的距离。地基土中的附加应力会扩散到基础外的一定宽度和深度,如果两相邻建筑物距离过近,就会产生应力叠加,从而引起过大的不均匀沉降,特别是在原有建筑物旁新建高层建筑物时更应注意。

(4) 设置圈梁和钢筋混凝土构造柱。在建筑物的墙体里设置圈梁和构造柱能增强建筑物的整体性,提高其抗弯刚度,在一定程度上能防止或减少裂缝的出现,即使出现了裂缝也能阻止裂缝的发展。

(5) 减小或调整基础底面的附加压力。采用较大的基础底面积,减小基底附加压力,可以减小沉降量。对同一地基上建筑物的相邻部分可采用不同的基底附加压力,荷载大的宜通过增大基底尺寸来减小基底附加压力,降低沉降差异。某些时候可采用静定结构体系,当



发生不均匀沉降时,不致引起很大的附加内力,能较好地适应不均匀沉降。

(6) 在基坑开挖时不要扰动地基土,通常坑底保留约 200 mm 厚的土,待垫层施工时,再人工挖除。若坑底土被扰动,则应挖去,用砂、碎石回填夯实。要注意打桩、井点降水及深基开挖对附近建筑物的影响。

(7) 当建筑物存在高、低和重、轻不同部分时,应先施工高、重部分,使其有一定的沉降后再施工低、轻部分,或先施工主体房屋,再施工附属房屋,这样能减少一部分沉降差。当高低层使用连接件时,应最后修建连接件,以调整部分沉降差异。活荷载大的建筑物(如料仓、油罐、水塔等)在施工前,有条件时可先堆载预压;在使用期间,应控制加载速率和加载范围,避免量大、迅速和集中堆载。

### 3. 地基沉降事故案例

#### 1) 事故概况

杭州某住宅楼为七层砖混结构,地基采用振动灌注桩基础。在施工过程中对沉降进行监测,测点位置如图 2-2 所示。当上部结构施工至第五层时(10 月 2 日),测点 21、24、26、28 累计沉降分别为 3 mm、3 mm、1 mm、1 mm。当施工至屋顶楼面时(同年 10 月 3 日),上述四点累计沉降分别达 48 mm、42 mm、11 mm、23 mm,产生了不均匀沉降。室内装饰工程及竣工后沉降与不均匀沉降继续发展,21、24、26 和 28 点沉降(同年 12 月 22 日)分别达到 120 mm、112 mm、38 mm、46 mm。最大不均匀沉降达 84 mm,沉降发展趋势如图 2-2 所示,此时沉降与不均匀沉降还在继续发展。

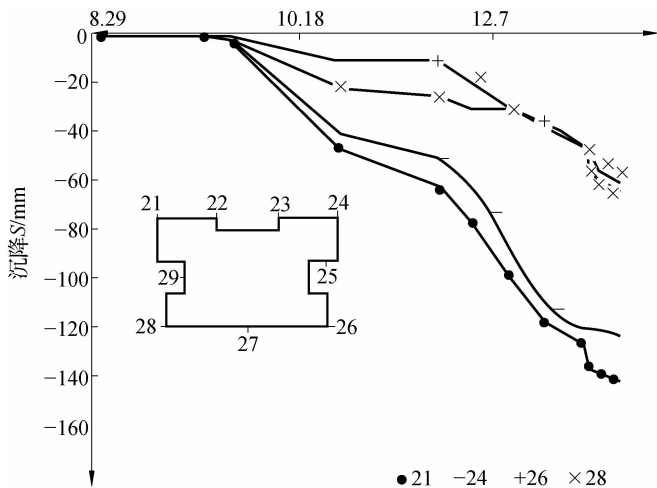


图 2-2 测点位置和沉降发展趋势

#### 2) 事故分析

因为主体施工基本完成,所以可采用锚杆静压桩加固地基。锚杆静压桩加固地基基础的方法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土和人工填土等地基土。其工艺是先需要进行地基基础加固的既有建筑物基础上按设计开凿压桩孔和锚杆孔,用黏结剂植入锚杆,然后安装压桩架,使其与建筑物基础连为一体,并以既有建筑物自重做反力,用千斤顶将预制桩压入土中,桩段间用硫磺胶泥或焊接连接。当压桩力或压桩深度达到设计要求后,

将桩与基础用微膨胀混凝土浇筑在一起,桩即可受力,从而达到提高地基承载力和控制沉降的目的。

### 3) 事故处理

为制止沉降与不均匀沉降进一步发展,在沉降较大的一侧采用锚杆静压桩加固地基。桩位布置如图 2-3 所示。桩截面尺寸为  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ ,桩长取  $16.0\text{ m}$ ,桩段长  $2.0\text{ m}$ 、 $1.5\text{ m}$  和  $1.0\text{ m}$  不等。采用硫磺胶泥接桩。设计单桩承载力  $200\text{ kN}$ 。锚杆采用  $\phi 28$  螺纹钢制作,锚固长度为  $300\text{ mm}$ 。自开始压桩至压桩结束,共压桩  $65$  根。压桩结束后沉降与不均匀沉降得到了控制,加固效果较好。

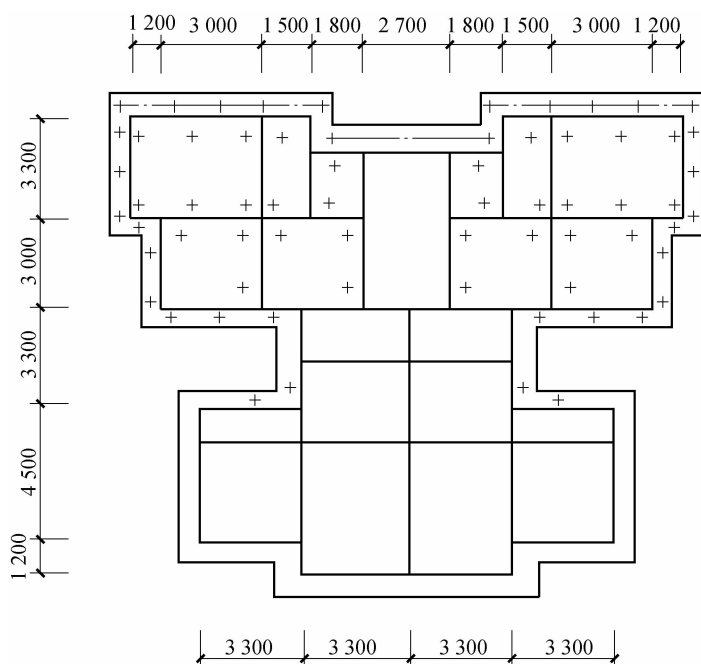


图 2-3 桩位布置

## 2.1.5 斜坡失稳事故的分析与处理

### 1. 斜坡失稳事故的特征

(1) 斜坡失稳常以滑坡形式出现,滑坡规模差异很大,滑坡体积从数百立方米到数百万立方米,对工程危害极大。

(2) 滑坡既可以是缓慢的、长期的,也可以是突然发生的,以每秒几米甚至几十米的速度下滑。古滑坡可以因外界条件变化而激发新滑坡。例如,某工程于 1954 年扩建在江岸边转角处的一个古滑坡体上,由于江水冲刷坡脚及工厂投产后排水和堆放荷载的影响,先后在古滑坡上产生了 10 个新滑坡,严重影响了该工厂的正常生产,甚至迫使附近铁路改线重建。

### 2. 斜坡上房屋稳定性的破坏类型

由于房屋位于斜坡上的位置不同,因此斜坡出现滑动对房屋产生的危害也不同,大致可



分为以下 3 类：

(1) 当房屋位于斜坡顶部时,从顶部形成滑坡,导致土从房屋下挤出,地基土松动,如图 2-4 所示。房屋因出现不均匀沉降而开裂损坏或倾斜。

(2) 当房屋位于斜坡上时,在滑坡情况下,房屋下的土发生移动,部分土绕过房屋基础移动,如图 2-5 所示。在这种情况下,无论是作用在基础上的土压力,还是单独基础在平面上的不同位移都可能使房屋出现不允许的变形,导致房屋破坏。

(3) 当房屋位于斜坡下部时,房屋要经受滑动土体的侧压力,如图 2-6 所示。这种情况对房屋造成的危害程度与滑坡规模、体积有关,常常是灾难性的。

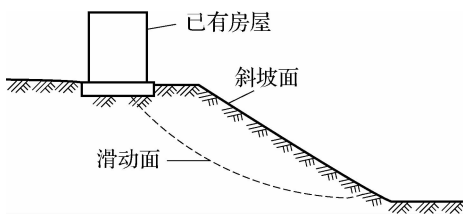


图 2-4 房屋下地基土松动

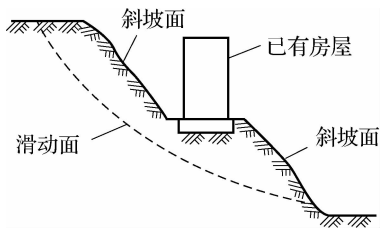


图 2-5 房屋下土移动

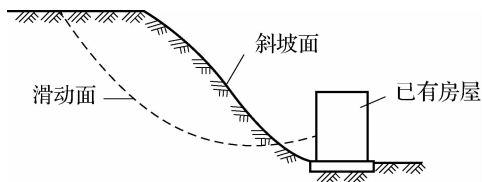


图 2-6 房屋受滑动土体的侧压力作用

### 3. 滑坡的治理

在治理滑坡前,首先应深入了解形成滑坡的内、外部条件及这些条件的变化。对诱发滑坡的各种因素,应分清主次,采取各种相应的措施使滑坡最终趋于稳定。一般情况下,滑坡的发生有一个过程。若能在其活动初期加以整治,就比较容易,收效也较快。所以,治理滑坡应及时,而且要从根本上解决,以防后患。治理滑坡主要采取排水、支挡、减重和护坡等措施。在个别情况下,也可采用通风疏干、电渗排水、爆破灌浆、化学加固、浇水冻结等方法来改善滑动带岩土的性质,以稳定边坡。

### 4. 斜坡失稳事故案例

#### 1) 事故概况

某制药厂位于地形不平区域,高差超过 7 m。工厂北部为柠檬酸车间和土霉素车间。某年 6 月 22 日,制药厂发生大规模滑坡,滑坡体外形近似簸箕形。滑坡后缘在柠檬酸车间和土霉素车间西半部。滑坡体长达 61 m,宽度为 70~105 m,厚度为 8~12 m,面积为 5 287 m<sup>2</sup>,体积为 5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

滑坡体后缘地面开裂,最宽的裂缝达 50 cm,高程为 222.07 m。滑坡体前缘高出地面 32 cm,高程为 214.8 m。滑坡体使墙体开裂错位 8 cm,使板脱落。滑坡体后缘与中部发生

大裂缝 14 条,裂缝的长度为 12~35 m,最长一条为 70 m,裂缝的宽度为 0.2~15 cm,最宽的为 40 cm。

滑坡体产生两个沉陷区:一个在西部,沉降量为 500 mm 左右;另一个在东部,沉降量为 300 mm 左右。

## 2) 事故分析

导致该制药厂发生滑坡的原因有自然环境因素和人为因素两方面。

(1) 厂区位于明家溪顺向斜坡带上,地形坡度约为  $15^\circ$ 。地表为人工填土卵砾石,粒径为 20~130 mm,松散,厚度为 1.0~2.66 m,最厚处达 5.41 m。第二层为残坡积粉质黏土,呈可塑状态,厚薄不均,一般厚度为 0.15~2.19 m,最厚处达 4.0 m。第三层为泥岩,泥质,抗风化能力差,吸水后易软化,强度低。

(2) 柠檬酸车间排放工业废水,排水管年久失修,管道破裂,大量废水由地表沿裂缝渗入地下,侵蚀软化土体,使土与泥岩的抗剪强度降低。

(3) 滑坡体前缘位于空气压缩站,因建房平基切坡,造成临空面。虽然修筑了 7 m 的挡土墙,但挡土墙的基础未达基岩,不能阻挡滑坡体滑动。

(4) 当年 3~6 月当地降雨多,雨水大量渗入地下,致使地下水位抬高,土体有效应力降低,产生动水力,因此于 6 月 22 日发生大滑坡。

## 3) 事故处理

事故发生后,事故处理人员进行了 5 个钻孔勘察,根据实际情况采用锚挡桩方案。

在滑坡体通过柠檬酸车间北段外墙与南段外墙等部位钻孔,灌注钢筋混凝土锚挡桩,其直径为 300 mm,间距为 1 m。每根桩要求深入滑动面以下 2~3 m,浇筑混凝土 195 m<sup>3</sup>。

与此同时,对柠檬酸车间的所有排水管进行改建更新。地面裂缝用混凝土抹面填塞,防止雨水渗入,避免新滑坡的发生。

此外,还采取了减重和反压两项工程措施,即在滑坡体上部主滑地段拆迁危房,包括库房和传达室,并搬走锅炉和堆放的钢材;在滑坡体下部堆放千吨砂石和条石,对滑坡体进行反压,以阻挡其滑动。

## 2.1.6 人工地基事故的分析与处理

### 1. 人工地基事故发生的原因

(1) 砂石垫层质量事故发生的原因。

① 砂垫层与砂石垫层不密实。

② 寒冷地区冬季砂石垫层施工,因砂石被冰包裹,造成砂石垫层不密实,到春天砂石垫层中的冰融化,造成垫层迅速下沉。

③ 砂石垫层属于浅层加固方法。对位于深厚软土层上且有荷载差异的建筑来说,使用该法并不能消除不均匀沉降,反而会适得其反。砂石垫层的存在使得软土的变形速率加大,而且差异沉降发展也较快,因此对上部结构的危害比天然地基要大。

(2) 灰土桩质量事故发生的原因。

① 桩内只有松散灰土或上部为松散灰土,下部为灰土层。

② 桩标高不符合设计要求。





③ 放线漏放,使得桩数不够。

(3) 生石灰桩质量事故发生的原因。

① 生石灰的质量、每根桩的生石灰用量及桩长等均不符合设计要求。

② 每根生石灰桩施工结束后,未及时封顶或过早开挖基坑,使得生石灰桩的径向约束减小,挤密效果降低,从而引起建筑物的不均匀沉降,造成建筑物开裂损坏。

## 2. 人工地基事故案例

### 1) 事故概况

某工程的3个独立柱基因受地理位置的限制而修建在古河道上,设计时未对地基做详细勘察,选用的地基承载力偏高,但在开挖基坑时,检验发现地基的淤泥质黏土层的承载力较低,不能满足设计要求,故决定采用砂垫层方案进行处理。此工程中有的砂垫层厚度大于3cm,施工时临近冬季,次年春天发现有3个柱基沉降量很大,有时每天的沉降量达1cm之多,从沉降量曲线的性状来分析,沉降速度这么快,显然是砂垫层的质量出了问题。

### 2) 事故分析

(1) 地基处理方案选择不当。从建筑物的重要性及长远观点考虑,该工程不应该采用砂垫层方案,且柱基附近又有频繁的往复动荷载。

(2) 对砂垫层的强度及其变形等均考虑不周,设计的垫层厚度过大。

(3) 冬期施工为抢进度,施工方法、载荷试验均未按照有关设计规范的要求进行,施工技术水平也较差,且上卧软土层的厚度过大。

(4) 未按规定的最佳含水量施工,加上砂卵石级配不合理,没有振实就匆忙地做完了砂卵石垫层,并在其上做基础与上部结构,以致造成柱基沉降量过大。

### 3) 事故处理

为避免事态进一步恶化,并使该项工程能按时使用,决定采用电动硅化加固地基的方法阻止砂垫层急速下沉,防止因柱基的不均匀下沉而影响整个上部结构。施工时,既要硅化加固好基础底面以下的砂卵石垫层,又要尽可能通过电渗法改变垫层以下的淤泥质黏土可能产生的侧向挤出。



## 2.1.7 特殊土地基事故的分析与处理

### 1. 特殊土地基的事故现象及对工程的危害

(1) 湿陷性黄土。天然黄土在覆土的自重应力作用下,或在自重应力与附加应力的共同作用下,受水浸湿后,其结构会被迅速破坏并发生显著附加下沉。湿陷性黄土由于被水浸湿常会使建筑物出现不均匀沉降,或引起边坡滑动,且这种破坏具有突发性,工程上难以预料其下沉部位。

(2) 膨胀土。膨胀土是一种高塑性黏土,强度一般较高,具有吸水膨胀、失水收缩、反复胀缩变形、浸水强度衰减、干缩裂隙发育等特性,性质不稳定,常使建筑物产生大量竖向裂缝,端部斜向裂缝和窗台下水平裂缝,内、外山墙对称或不对称的倒八字形裂缝等;地坪出现纵向长条裂缝和网格状裂缝。裂缝一般于建筑物完工后半年到五年内出现。

(3) 盐渍土。盐渍土中含有石膏、芒硝、岩盐(硫酸盐或氯化物)等,其含量大于0.5%,



是一种在自然环境下具有溶陷、盐胀等特殊性的土。盐渍土在干燥时,盐类呈结晶状态,地基具有较高的强度,但遇水后易崩解,出现土体失稳、强度降低、压缩性增大等情况,造成建筑物不均匀沉降、开裂、倾斜,甚至破坏。由于盐渍土浸水后不仅强度降低,而且伴随着土结构被破坏,产生较大的溶陷变形,其变形速度一般较黄土湿陷变形快,因此危害更大。另外,盐分渗入与其接触的基础或墙体,会在结晶过程中使材料膨胀或产生腐蚀破坏。

## 2. 特殊土地基事故的防治与处理方案

### 1) 湿陷性黄土地基事故的防治与处理方案

(1) 选用适应不均匀沉降的结构和基础类型(如框架结构和墩式基础),散水坡宜用混凝土,宽度不小于 15 m。

(2) 加强建筑物的整体刚度,如控制长度比在 3 以内,设置沉降缝,增设横墙、钢筋混凝土圈梁等。

(3) 将基底的湿陷性土层全部或部分挖除,用灰土夯实。

(4) 对湿陷性土层用重锤夯实法或强夯法处理。前者能消除 1~2 m 厚土层的湿陷性,后者可消除 3~6 m 厚土层的湿陷性。

(5) 采用灰土挤密桩消除桩深度范围内黄土的湿陷性,处理深度一般为 5~10 m。

(6) 采用爆扩桩、灌注桩或预制桩将上部荷载传至非湿陷性土层。爆扩桩的长度一般不大于 8 m,扩大头的直径为 1 m 左右。

(7) 采用硅化或碱液加固地基。其方法是先在加固部位钻孔,利用压力或自重将一定浓度的硅酸钠或碱液灌入土中,与黄土进行化学反应生成钠、铝、钙等化合物,使土粒胶结,增加土体的强度。

(8) 做好总体的平面和竖向设计及防洪措施,保证场地排水畅通,保证水管与建筑物之间有足够距离,防止管网渗漏水,做好屋面和地面的防水、排水措施。

(9) 合理安排施工程序,先施工地下工程,后施工地上工程。敷设管道时,先施工防洪、排水管道,并保证其畅通。临时防洪沟、洗料场等应距离建筑物外墙不小于 12 m,严防地面水流入基坑或基槽。

(10) 基础施工完毕后,应用素土在基础周围分层回填夯实,地基压实系数应符合规范要求。屋面施工完毕后,应及时安装天沟、水落管和雨水管道等,将雨水引至室外排水系统。

### 2) 膨胀土地基事故的防治与处理方案

(1) 提前平整场地,使场地经过雨水预湿,减小挖填方湿度过大的差别,使含水量得到新的平衡,大部分的膨胀力得到释放。

(2) 尽量保持原自然边坡、场地的稳定条件,避免大挖大填。基础适当埋深或用墩式基础、桩基础,以增加基础附加荷载,减小膨胀土层的厚度,减小升降幅度,但成孔时切忌向孔内灌水,成孔后,宜当天浇筑混凝土。

(3) 临坡建筑不宜在坡角挖土施工,避免改变坡体平衡,使建筑物产生水平膨胀位移。

(4) 采取换土处理,将膨胀土层部分或全部挖去,用灰土、土石混合物或沙砾回填夯实,或在持力层上采用人工垫层,如用砂、沙砾做缓冲层,厚度不小于 90 cm。

(5) 在建筑物周围做好地表渗(排)水沟处理等。散水坡适当加宽(可做成 1.2~1.5 m),其下做砂或炉渣垫层,并设隔水层。室内下水道采取防漏、防渗措施,使地基土尽量保持原有的天然湿度和天然结构。



(6) 加强结构刚度,如设置地箍、地梁,在两端和内外墙连接处设置水平钢筋,加强联结等。

(7) 采取保湿防水措施,加强施工用水管理,做好现场临时排水,避免基坑(槽)浸泡和建筑物附近积水。

### 3) 盐渍土地基事故的防治与处理方案

(1) 做好场地的竖向设计,避免大气降水、工业及生活用水、施工用水浸入地基,造成建筑材料的腐蚀及盐胀。

(2) 室外散水坡应适当加宽,一般不小于 1.5 m;散水下部应做灰土垫层,防止水渗入地基造成溶陷。绿化带与建筑物的距离应加大,严格控制绿化用水。

(3) 对基础采取防腐措施,如采用耐腐蚀建筑材料,或在基础外部做防腐处理等。

(4) 将基础埋置于盐渍土层以下,或隔断有害毛细水的上升,或铺设隔绝层、隔离层,以防止盐分向上运移。

(5) 采用换填法、重锤夯实法或强夯法处理浅部土层。对厚度不大或渗透性较好的盐渍土,可采用浸水预溶,水头高度不应小于 30 cm,浸水坑的平面尺寸,每边应超过拟建房屋边缘不小于 2.5 m。

(6) 对土层厚、溶陷性高的盐沼地,可视情况采用桩基础、灰土墩、混凝土墩,其埋置深度应大于盐胀临界深度。

(7) 做好现场排水、防洪等,防止施工用水、雨水流入地基或基础周围,各种用水点均应离基础 10 m 以上。

(8) 合理安排施工程序,先施工埋置深、荷载大的基础,并及时回填土料,夯实填土。敷设管道时,先施工排水管道,并保证其畅通,防止管道漏水。



## 2.1.8 既有建筑地基事故的分析与处理

在加固既有建筑的地基和基础前,应先对地基和基础进行鉴定,然后才可进行加固设计和施工。既有建筑地基和基础的鉴定、加固设计和施工,应由具有相应资质的单位和有经验的专业技术人员承担。对地基基础进行过加固的建筑,应在施工期间对其进行沉降观测;对重要的或对沉降有严格限制的建筑,应在加固后对其继续进行沉降观测,直至沉降稳定。对邻近建筑和地下管线应同时进行监测。

### 1. 既有建筑地基基础的加固方法

#### 1) 加大基础底面积法

加大基础底面积法适用于当既有建筑的地基承载力或基础底面积尺寸不满足设计要求时的加固,可采用混凝土套或钢筋混凝土套加大基础底面积。当不宜采用混凝土套或钢筋混凝土套加大基础底面积时,可将原独立基础改成条形基础;将原条形基础改成交叉条形基础或筏形基础;将原筏形基础改成箱形基础。通过基础加宽可以扩大基础底面积,有效降低基底接触压力。基础加宽时应重视加宽部分与原有基础部分的连接。

加大基础底面积的设计和施工应符合下列规定:

- (1) 当基础承受偏心受压时,可采用不对称加宽;当基础承受中心受压时,可采用对称加宽。
- (2) 在灌注混凝土前应将原基础凿毛和刷洗干净后,铺一层高强度等级水泥浆或涂混

凝土界面剂,以增加新老混凝土基础的黏结力。

(3) 对加宽部分,地基上应铺设厚度和材料均与原基础垫层相同的夯实垫层。

(4) 当采用混凝土套加固时,基础每边加宽的宽度及其外形尺寸应符合《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)中有关刚性基础台阶宽高比允许值的规定。沿基础高度隔一定距离应设置锚固钢筋。

(5) 当采用钢筋混凝土套加固时,加宽部分的主筋应与原基础内的主筋相焊接。

(6) 对条形基础加宽时,应按长度 1.5~2.0 m 划分成单独区段,分批、分段、间隔地进行施工。

## 2) 树根桩法

树根桩是一种小直径(一般为 75~250 mm)的现场灌注钢筋混凝土桩。制桩时可竖向也可斜向,并可在各个方向上倾斜任意角度,因所成桩的形状如同树根而得名。

树根桩法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土及人工填土等地基土上既有建筑的修复和增层、古建筑的整修、地下铁道的穿越等加固工程。

树根桩的施工工艺流程如下:

(1) 在钢套管的导向下用旋转法钻进,穿过既有建筑进入地基土中。

(2) 当钻进到设计标高时,清孔后下放钢筋,钢筋数量从一根到数根,视桩孔直径而定。

(3) 用压力灌注水泥砂浆或细石混凝土,应边灌边震边拔管,最后成桩。

## 3) 锚杆静压桩法

锚杆静压桩法是将压桩架通过锚杆与建筑物基础连接,以建筑物自重荷载作为压桩反力,用千斤顶将桩分段压入地基,通过静压桩承担部分荷载。锚杆静压桩法适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土和人工填土等地基土。锚杆静压桩法的现场施工如图 2-7 所示。

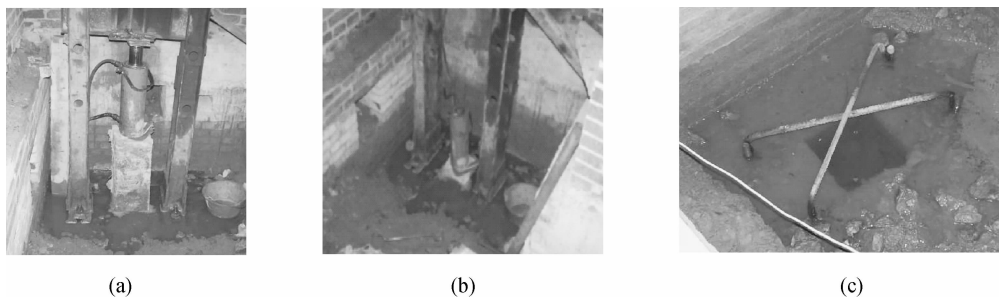


图 2-7 锚杆静压桩法的现场施工

(a)锚杆静压桩机正在压桩 (b)锚杆静压桩桩段全部压入土中 (c)将 4 根锚杆用钢筋交叉焊接,准备封桩

(1) 锚杆静压桩法的优点。

① 施工时无震动、无噪声、无污染。

② 施工机具简单、施工作业面小、施工方便灵活,可在场地和空间狭窄的条件下施工。

③ 可应用于新旧建筑物的地基加固和基础托换。

④ 对既有建筑里的生活或生产秩序影响小,可在不搬迁和不停产的情况下进行工程处理。

(2) 锚杆静压桩施工的准备工作及规定。

① 锚杆静压桩施工前应做好下列准备工作:



- 清理压桩孔和锚杆孔施工工作面。
- 制作锚杆螺栓,做好桩节的准备工作。
- 开凿压桩孔,并将孔壁凿毛,清理干净。将原承台钢筋割断后弯起,待压桩后再焊接。

- 开凿锚杆孔,应确保锚杆孔内清洁干燥后再埋设锚杆,并以黏结剂加以封固。

② 压桩施工应符合下列规定:

- 压桩架应保持竖直,锚固螺栓的螺母或锚具应均衡紧固,压桩过程中应随时拧紧松动的螺母。

• 就位的桩节应保持竖直,使千斤顶、桩节及压桩孔的轴线重合,不得偏心加压,压桩时应先垫上钢板或麻袋,再套上钢桩帽。桩位平面偏差不得超过 $\pm 20$  mm,桩节垂直度偏差不得大于1%的桩节长。

• 整根桩应一次连续压到设计标高,当必须中途停压时,桩端应停留在软弱土层中,且停压的间隔时间不宜超过24 h。

- 压桩施工应对称进行,不应数台压桩机在一个独立基础上同时加压。

- 焊接接桩前应对准上、下节桩的垂直轴线,清除焊面铁锈后进行满焊。

• 采用硫磺胶泥接桩时,其操作施工应按《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202—2002)的有关规定执行。

• 桩尖应到达设计持力层深度,且压桩力应达到《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)规定的单桩竖向承载力标准值的1.5倍,且持续时间不应少于5 min。

• 封桩前应凿毛和刷洗干净桩顶侧面后再涂混凝土界面剂,封桩的方法可分不施加预应力法和施加预应力法两种。

当封桩不施加预应力时,在桩端达到设计压桩力和设计深度后,即可使千斤顶卸载,拆除压桩架,焊接锚杆交叉钢筋,清除压桩孔内的杂物、积水及浮浆,然后与桩帽梁一起浇筑C30微膨胀早强混凝土。当封桩施加预应力时,应在千斤顶不卸载的条件下,采用型钢托换支架,清理干净压桩孔后立即将桩与压桩孔锚固,当封桩混凝土达到设计强度后,才可卸载。

锚杆静压桩的施工工艺流程如图2-8所示。

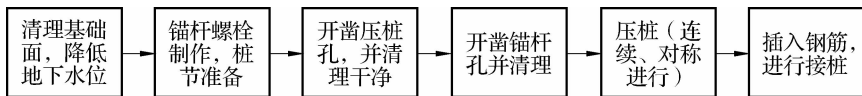


图2-8 锚杆静压桩的施工工艺流程

4) 石灰桩法

石灰桩法是指在软弱土地基中用机械成孔,填入作为固化剂的生石灰并压实形成桩体,利用生石灰的吸水、膨胀、放热作用及土与石灰的物理化学作用,改善桩体周围土体的物理力学性质,同时桩与土形成复合地基,达到地基加固的目的。石灰桩法适用于处理饱和黏性土、淤泥、淤泥质土、素填土和杂填土等地基。其特点是承载力提高有限,有粉尘污染。

根据加固设计要求、土质条件、现场条件和机具供应情况,可选用振动成桩法(分管内填料成桩和管外填料成桩)、锤击成桩法、螺旋钻成桩法等。桩位中心点的偏差不应超过桩距设计值的8%,桩的垂直度偏差不应大于1.5%。

(1) 振动成桩法和锤击成桩法的施工要求。

① 当采用管内填料成桩法时,为防止生石灰膨胀堵住桩管,应加压缩空气装置和空中加料装置;当采用管外填料成桩法时,应控制每次填料的数量及沉管的深度。当采用锤击成桩法时,应根据锤击的能量控制分段的填料量和成桩长度。

② 桩顶上部空孔部分应用3:7灰土或素土填孔封顶。

(2) 螺旋钻成桩法的施工要求。

① 正转时将部分土带出地面,部分土挤入桩孔壁而成孔。根据成孔时的电流大小和土质情况,检验场地情况与原勘察报告和设计是否相符。

② 钻杆达到设计要求深度后,提钻检查成孔质量,清除钻杆上的泥土。

③ 先把整根桩所需的填料按比例分层堆在钻杆周围,再将钻杆沉入孔底,钻杆反转,叶片将填料边搅拌边压入孔底。钻杆被压密的填料逐渐顶起,钻尖升至离地面1~1.5 m或预定标高后停止填料,用3:7灰土或素土封顶。

## 2. 既有建筑地基基础事故的预防与补救

1) 设计、施工或使用不当引起的地基基础事故的补救

(1) 对于建造在软土地基上出现损坏的建筑,可采取下列补救措施:

① 由于建筑体形复杂或荷载差异较大,引起不均匀沉降,而造成建筑物损坏者,可根据损坏程度采取局部卸荷、增加上部结构或基础的刚度、加深基础、锚杆静压桩加固、树根桩或注浆加固等补救措施。

② 由于局部软弱土层或暗塘、暗沟等引起差异沉降过大而造成建筑物损坏者,可选用锚杆静压桩、树根桩或旋喷桩等方法进行局部加固。

③ 由于基础承受荷载过大或加荷速率过快,引起大量沉降或不均匀沉降,而造成建筑物损坏者,可采取卸除部分荷载、加大基础底面积或加深基础等措施。

④ 由于大面积地面荷载或大面积填土引起柱基、墙基不均匀沉降、地面大量凹陷或柱身、墙身断裂者,可选用锚杆静压桩或树根桩加固等方法。

⑤ 由于地质条件复杂或荷载分布不均,引起建筑物过大倾斜者,可按有关规定采取纠倾措施。

(2) 对于建造在湿陷性黄土地基上出现损坏的建筑,可采取下列补救措施:

① 对非自重湿陷性黄土场地,当湿陷性土层不厚、湿陷变形已趋于稳定或估计再次浸水产生的湿陷量不大时,可采取上部结构加固措施;当湿陷性土层较厚、湿陷变形较大或估计再次浸水产生的湿陷量较大时,可选用石灰桩、灰土挤密桩、坑式静压桩、锚杆静压桩、树根桩、硅化法或碱液法等,加固深度宜达到基础压缩层下限。

② 对自重湿陷性黄土场地,可选用灰土井桩、坑式静压桩、锚杆静压桩、树根桩或灌注桩加固等。加固深度宜穿透全部湿陷性土层。

(3) 对于建造在人工填土地基上出现损坏的建筑,可采取下列补救措施:

① 对于素填土地基由于浸水引起过大的不均匀沉降而造成建筑物损坏者,可选用锚杆静压桩、树根桩、坑式静压桩、石灰桩或注浆加固等方法。加固深度应穿透素填土层。

② 对于杂填土地基上损坏的建筑,可根据损坏程度选用加强上部结构和基础刚度、锚杆静压桩、树根桩、旋喷桩、石灰桩或注浆加固等方法。

③ 对于冲填土地基上损坏的建筑,可按有关规定选用加固方法。



(4) 对于建造在膨胀土地基上出现损坏的建筑,可采取下列补救措施:

① 对建筑物损坏轻微且胀缩等级为Ⅰ级的膨胀土地基,可采取设置宽散水及在周围种植草皮等措施。

② 对建筑物损坏程度中等且胀缩等级为Ⅰ、Ⅱ级的膨胀土地基,可采取加强结构刚度和设置宽散水等措施。

③ 对建筑物损坏程度较严重或胀缩等级为Ⅲ级的膨胀土地基,可采用锚杆静压桩、树根桩、坑式静压桩或加深基础等方法。桩端或基底应埋置在非膨胀土层中或伸入大气影响深度以下的土层中。

④ 建造在坡地上的损坏建筑,除可选用相应的地基或基础加固方法外,还应在坡地周围采取保湿措施,防止多向失水造成的危害。

(5) 对于建造在土岩组合地基上出现损坏的建筑,可采取下列补救措施:

① 由于土岩交界部位出现过大的差异沉降,而造成建筑物损坏者,可根据损坏程度,采取局部加深基础、锚杆静压桩、树根桩、坑式静压桩或旋喷桩加固等措施。

② 由于局部软弱地基引起差异沉降过大,而造成建筑物损坏者,可根据损坏程度,采取局部加深基础或桩基加固等措施。

③ 由于基底下局部基岩出露或存在大块孤石,而造成建筑物损坏者,可将局部基岩或孤石凿去,铺设褥垫;或采用在土层部位加深基础或桩基加固等方法。

#### 2) 地下工程施工引起的地基基础事故的预防与补救

地下工程施工可能对既有建筑、地下管线或道路造成影响,当影响范围较大时,可采用隔断墙将既有建筑、地下管线或道路隔开。隔断墙的墙体可以由钢板桩、地下连续墙、树根桩、深层搅拌桩和对地层进行注浆加固等构成。

当地下工程施工对既有建筑造成影响时,可对既有建筑的地基进行加固。加固方法可选用锚杆静压桩、树根桩或注浆加固等。加固深度应大于地下工程底面深度。当地下工程施工对既有建筑造成的影响比较小时,可采用加强既有建筑刚度和强度的方法。

对在地下工程施工影响区范围内的通信电缆,高压、易燃和易爆管道等对地层变形极其敏感的重要管线,除采取一般性预防措施外,还应将其暴露并挂起。进行地下工程施工时,应对其施工影响区范围内的既有建筑、地下管线的沉降和水平位移进行严密的监测,一旦发现问题,应及时采取有效措施。

#### 3) 邻近建筑施工引起的地基基础事故的预防与补救

当邻近工程的施工对既有建筑可能产生影响时,应查明既有建筑的基础形式、结构状态、建成年代和使用情况等,根据邻近工程的结构类型、荷载大小、基础形式、间隔距离及土质情况等因素,分析可能达到的影响程度,提出相应的预防措施。

当软土地基上采用的有挤土效应的桩基对邻近的既有建筑产生影响时,可在邻近既有建筑的一侧设置砂井、塑料排水带、应力释放孔或开挖隔离沟,以减小沉桩引起的孔隙水压力和挤土效应。重要建筑可设地下挡墙。当遇有振动效应的桩基施工时,可采用开挖隔振沟,以减少振动波传递。

当邻近建筑开挖基槽、人工降低地下水或迫降纠倾施工等,可能造成土体侧向变形或产生附加应力时,可采取对既有建筑进行地基基础局部加固,减少该侧地基的附加应力,控制基础沉降等措施。



在既有建筑邻近进行人工挖孔桩施工时,应注意地下水的流失及土的侧向变形,可采用回灌、截水措施或跳挖施工方法,并进行沉降观测,防止既有建筑出现不均匀沉降而造成裂损。

#### 4) 深基坑工程施工引起的地基基础事故的预防与补救

基坑开挖前应对基坑及邻近既有建筑地基进行土体稳定验算分析,提出预防土体失稳的措施。必要时可对邻近既有建筑的地基或基础预先进行加固处理等,避免可能发生的故事。

当基坑内降水开挖,使邻近既有建筑或地下管线发生沉降、倾斜或裂损时,应立即停止坑内降水,查出事故原因,进行有效加固处理。当设置基坑支护结构时,应在基坑止水墙外侧且靠近邻近既有建筑处设置水位观测井和回灌井。

当基坑周边邻近既有建筑为桩基础或新建建筑采用打入桩基础时,为保护邻近既有建筑的安全,新建基坑支护结构的外边缘与邻近既有建筑的距离不应小于基坑开挖深度的1.2~1.5倍。当无法满足最小安全距离时,应采用隔振沟或钢筋混凝土地下连续墙或其他有效的基坑支护结构形式。

当基坑采用锚杆支护结构时,应预先查清邻近既有建筑的基础类型和埋深,严禁锚杆成孔施工,破坏邻近既有建筑的地基稳定或基础的安全。

当既有建筑与基坑较近时,基坑周边不得搭建临时施工建筑或库房;不得堆放建筑材料或弃土;不得停放大型施工机具和车辆等。严防上述荷载对基坑侧壁和邻近既有建筑的稳定产生不利影响。基坑周边地面应做护面及排水沟,使地面水流向坑外,并防止雨水、施工用水渗入地下或坑内。

### 3. 既有建筑物纠倾

正确分析建筑物发生倾斜的原因,提出合理可行的纠倾方案,采用简便、易行的施工方法尽快将建筑物纠倾扶正,再通过加固修缮,以较低的工程费用支出(相当于原造价的20%~30%)挽救倾斜的建筑物。

#### 1) 导致建筑物倾斜的原因

(1) 地基软弱,如持力层为饱和软黏土、淤泥或淤泥质土等欠固结土层,在建筑荷载(特别是偏心荷载)的作用下,极易发生过大的沉降或倾斜。

(2) 两建筑物相距过近,使地基中的附加应力叠加,地基沉降量加大而导致建筑物相互倾斜。

(3) 管道漏水、地面积水、室外污水井倒灌等,使房屋地基浸水湿陷,建筑物倾斜。这种情况在填土或湿陷性黄土地基中比较常见。例如,山西长治某工厂100 m高的烟囱,因一侧的黄土地基浸水湿陷,倾斜达153 cm。

(4) 在既有建筑附近施工并降低地下水位时,引起相邻房屋地基失水固结,建筑物发生倾斜。此种情况在地下水位较高的各类土中(砂卵石地基除外)均易发生。例如,兰州某住宅楼因相邻建筑物施工降水而发生39 cm的倾斜。

(5) 地下洞穴如石灰岩溶洞、土洞、墓穴、地下巷道及地下铁道工程等,其地面可能发生沉降,使建筑物发生倾斜甚至开裂。例如,山西某车站水塔由于基础附近有墓穴且长期积水而倾斜64 cm。

(6) 地基勘察工作失误。地基主要受力层范围内有厚薄不均的软弱土夹层,使建筑物



下沉量大小不均,发生倾斜。

(7) 基础设计方面的错误,如选型不当及施工质量低劣而使建筑物发生倾斜。例如,青岛某烟囱,设计时选择了错误的基础方案,桩数过少,并有许多断桩,导致 50 m 高的烟囱倾斜 112 cm。

(8) 山区或丘陵地区,有大面积回填土时,由于地基土层软硬不均而引起建筑物倾斜,甚至开裂。

(9) 在建筑物内外大量堆载,使地基承受较大的附加压力,引起基础沉降,建筑物发生倾斜。

(10) 由于山体滑坡、地震液化等自然灾害引起建筑物的倾斜。例如,日本神户大地震使位于山坡上的大批建筑物滑坡破坏。

(11) 在深基坑开挖中,由于支护结构破坏而使相邻建筑物倾斜或倒塌。例如,广州市东风路某建筑的深基坑(17.5 m),因支护结构破损,引起相邻三栋两层楼房相继倾斜和倒塌。

(12) 建筑施工放线错误,使相邻建筑物的基础重叠相压,引起建筑物倾斜。

(13) 在淤泥或饱和软黏土地区,拆除建筑群中某一栋旧建筑物,使得已经平衡稳定的地基因局部卸载而在周围建筑物地基的侧向挤压下发生隆起,从而引起相邻建筑物的倾斜。

(14) 修建在河流、湖泊、水塘岸边的建筑物,若在地基土层中含有淤泥、软土夹层,则淤泥、软土夹层在受压后会发生侧向流动挤出,造成地基下陷,建筑物倾斜、破损。

此外,当在软土地基上施工时,加荷速率过快会导致地基挤出破坏而引起房屋发生倾斜;对于采用桩基础的建筑物,桩尖持力层软硬不均会造成桩基础的差异沉降而引起建筑物发生倾斜;或者上述多种原因综合作用,也会导致建筑物发生倾斜或破坏。

## 2) 建筑物纠倾技术

常用的建筑物纠倾技术有浸水法、辐射井法、锚杆静压桩法、顶升法、应力解除法、淤泥触变法、桩身卸荷法、降水法、静力压桩法等。

(1) 浸水法。浸水法是在建筑物发生倾斜的一侧地基中注水,引起地基湿陷的纠倾方法。浸水法适用于含水量低于 20%、湿陷系数大于 0.05 的湿陷性黄土或填土地基上建筑物的纠倾工程,可选用注水坑、孔或槽等不同方式注水。注水纠倾前,应进行现场注水试验。注水试验坑(槽)与倾斜建筑物的间距不小于 5 m,试验坑(槽)底部低于基础底面以下 0.5 m,通过试验确定渗透半径、注水量与渗透速度的关系。一栋建筑物的试验注水坑(槽)不宜少于两处。

(2) 辐射井法。辐射井法是通过在倾斜相反一侧的室内外设置辐射井进行人工射水、排土纠倾的方法。该法适用于黏性土、粉土、砂性土或填土等地基上的独立、条形基础的建筑物的纠倾工程。此法是经过工程实践证明有广泛适用性的有效纠倾方法。

辐射井一般可采用圆形混凝土或砖砌沉井,井的内径不小于 0.8~1.0 m,井身的混凝土立方体抗压强度标准值不低于 15 MPa,砖的抗压强度不应低于 7.5 MPa,水泥砂浆标准立方体抗压强度不应低于 5 MPa。

辐射井应设置在建筑物沉降较小一侧的室内外,其数量、下沉深度和中心距应根据建筑物的倾斜情况、基础类型、埋深、场地环境及基底下土层性质等因素确定。通过试验性施工取得本法所需的施工参数,是取得纠倾成功必不可少的条件。



辐射井应在井壁上设置射水孔和回水孔,射水孔为  $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ ,回水孔为  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ,射水孔的位置应设在距基础底面下  $50 \sim 80\text{ cm}$ ,回水孔宜在射水孔下交错布置,沉井应封底,井底标高宜低于射水孔标高  $1.0 \sim 1.2\text{ m}$ 。

通过高压射水枪的射水排土,在基础下的地基中形成若干水平孔洞,使部分地基应力被解除,可引起地基土不断塌落变形,迫使建筑物沉降小的一侧地基不断沉降。由于成孔大小、深度、间距的可调性,该法能有效控制建筑物的回倾速率和变形量。该法的排土范围广、施工安全且不受天气变化的影响,纠倾方法可靠。

高压射水泵的工作压力及流量一般应根据需要冲孔的土层软硬,在现场进行试验确定,每栋建筑物应有不少于两组的射水施工设备及人员同时施工,冲孔排土范围应贯通基础底下全宽度。在射水、排土过程中,应根据建筑物的整体刚度、基础类型、工程地质和水文地质等因素确定建筑物的最大沉降速率,一般回倾速率应控制在  $5 \sim 15\text{ mm/d}$ ;完工后应继续对建筑物进行沉降观测,其时间一般不应少于  $1 \sim 2$  个月。射水井还应回填  $3:7$  的灰土分层夯实。在室内地坪标高  $1\text{ m}$  以下范围内的射水井井壁应拆除。

(3) 锚杆静压桩法。锚杆静压桩法是在建筑物倾斜一侧的基础上设置压桩架、凿桩孔,将桩压入地基中的纠倾方法。锚杆静压桩法适用于地基地层较软弱,没有孤石、树根及持力层埋藏较浅的地基。设计锚杆静压桩前应对纠倾建筑物地基进行静力触探,查明地层分布情况,确定桩端持力层的位置。

锚杆静压桩的设计应包括锚杆直径、锚固长度的设计,桩尺寸的选定,压桩孔、桩数及其排列、压桩力的确定,以及反力架、千斤顶的确定等。锚杆静压桩法还可分别与掏土、降水及压重等辅助措施配合进行纠倾。

(4) 顶升法。顶升法是在与建筑物倾斜方向相反一侧的墙或柱体上设置若干千斤顶,以其顶升力进行纠倾的方法。它适用于建造在深厚的软土地基上建筑物的纠倾工程。顶升法是在建筑物首层的柱或墙上设置顶升点,根据建筑物的总荷重与顶升力(千斤顶)的大小来确定顶升点的数目;顶升力是按墙体或柱的承载能力来设计的,对于多层砖混结构,一般顶升力控制在  $200\text{ kN}$  左右。

(5) 应力解除法(钻孔排泥纠倾法)。应力解除法是在与建筑物倾斜方向相反的一侧用钻机均匀钻孔,造成地基侧向应力解除,使基底下的淤泥向外挤出,引起地基下沉的纠倾方法。它适用于建造在厚度较大的淤泥地基上建筑物的纠倾。

钻孔的布置和直径的选择应根据建筑物场地的工程地质条件、掏土的次序、纠倾量的要求及施工机具条件确定,孔径一般可选  $0.4 \sim 0.6\text{ m}$ 。钻孔内由基底向下  $3 \sim 5\text{ m}$  深度设置钻孔的套管,保护基底下的土体不直接向侧向流动,套管长度应根据掏土深度确定。施工时要根据建筑物的回倾速率,有控制地钻取出套管下挤入钻孔的淤泥,促使地基沉降、建筑物回倾。

(6) 淤泥触变法。淤泥触变法是在与建筑物倾斜方向相反一侧的地基中采用旋喷、定喷或摆喷等高压射水或振捣棒振动等方法引起淤泥触变,使其瞬时丧失强度,造成建筑物回倾的纠倾法。它适用于淤泥或淤泥质黏土地基上钢筋混凝土基础的建筑物纠倾。触变喷射孔位应选择建筑物沉降小的一侧或直接设置在基底下。触变喷射孔位的数量和距离应视建筑物纠倾量和地质情况确定,纠倾量小时可采用封闭式喷射孔,纠倾量大时可选用连通式喷射孔。纠倾量可通过调整喷射孔距、触变深度,控制喷射压力和调整喷射时间等参数确定。



(7) 桩身卸荷法。桩身卸荷法采用压力为 20 MPa 的高压水喷射建筑物沉降较小一侧桩身的全部或部分,或冲松柱底土层,暂时破坏部分桩的承载能力,促使桩基础下沉。经处理的桩达到纠倾要求时,还可根据土质条件采用合适的加固方法恢复桩基承载能力。采用桩身卸荷法纠倾时,应验算卸荷一侧桩承台的支承能力,防止建筑物产生不可控制的下沉。卸荷的桩数可通过试算,结合现场施工和观测资料进行调整。纠倾量较大时应采取分阶段卸荷、分阶段沉降法,防止次应力对上部结构产生较大的影响。

(8) 降水法。降水法适用于饱和土地基上的浅基础,且上部结构刚度较好的建筑物纠倾,其方法是在室外与建筑物倾斜方向相反一侧的地面上,通过设置沉井斗井点管、滤水管及大口径降水井等,用泵排水,强制降低地下水位进行纠倾。

沉井一般采用圆形砖砌沉井或预制混凝土井筒,内径不小于 1.0 m,砖强度等级不应低于 7.5 MPa,水泥砂浆强度等级不应低于 5 MPa;沉井下沉施工时,为减少井内积水,便于施工,可边抽水边挖土;当水量较大时,可暂时用石灰砂浆封住浅水孔,达到设计标高后再启封使用。

(9) 静力压桩法。静力压桩法适用于建在局部土坑、暗沟和古井等松软填土、淤泥土、含有透晶体地质条件地基上的条形与单独基础建筑物的纠倾。该法采用以基础底面为反力支托,在基础下地基中压桩的办法进行建筑物纠倾。压入桩可选用 15 cm×15 cm 钢筋混凝土方柱或圆桩,桩长可根据开挖坑底标高的净空确定,采用分段接长的办法用硫磺胶泥接桩。

压入桩设计应包括桩径、桩长、桩尖持力层的选择,桩的布置,单桩承载力的确定,压桩力大小的确定等,一般压桩力为单桩承载力的 1.5 倍。

建筑物纠倾是诊治病害建筑物的风险工程。通过现场调查提出有效、可靠的纠倾方案。根据开工前的试验性施工提取施工参数,并依据施工过程中的现场监测,调整施工进度和回倾速率。对开裂严重的建筑物,纠倾前应做好建筑物的加固,防止纠倾过程中建筑物严重破损或倒塌;纠倾后应做好防复倾的加固处理,恢复地坪工程也是防复倾、分流基底压力的重要措施。纠倾扶正后要有不少于 3 个月的静止观察期,完全稳定后再进行裂缝加固和修缮装饰工程。上述问题都是纠倾工程获得成功的重要环节。

#### 4. 既有建筑修缮加固案例

##### 1) 工程概况

某项目始建于 1917 年,1924 年重建,分多次建成并投入使用。目前,该工程的建筑面积为 9 445 m<sup>2</sup>,主体建筑平面呈 L 形,沿东侧和南侧两条道路的转角布置。作为有代表性的近代优秀娱乐建筑,该项目的部分建筑被划分为三类文物保护建筑,文物部分包括四层钢筋混凝土框架结构(含六角形塔楼)、室外天桥及其舞台。根据保护要求和以后建筑功能定位要求,需要对该大楼进行结构修缮。如果不对该工程结构进行加固,就会影响此楼的正常使用,发生事故。

本次工程加固的内容主要有新老混凝土植筋连接,梁、柱外包型钢格构柱加固,原结构梁、柱裂缝修补及破损混凝土修复,新增钢筋混凝土加固,新增钢梁加固等。

##### 2) 设计要求

###### (1) 植筋加固。

① 植筋施工前应熟悉图纸,并定位放线,在确定钢筋的数量及规格无误后才可施工。

② 植筋施工中必须清理待加固构件表面的剥落、疏松、腐蚀等劣化混凝土,除去保护层,直至露出结构层新面。

③ 按设计要求及规范要求进行钻孔,植筋胶采用 A 级植筋胶。

④ 植筋胶固化期间应严防受到干扰。

(2) 梁、柱包角钢加固。

① 所有钢构件均采用 Q345B 型钢,焊条需符合相应设计规范的要求。

② 梁、柱加密区角钢构件内部均采用灌注型结构胶浇灌密实,所有构件先焊后灌,灌好后严禁再采取电焊或其他动火措施。

③ 所有灌注型结构胶均采用 A 级结构胶。

④ 其他部位采用自流平灌浆料进行填实。

⑤ 所有梁、柱加固均严格按照从下往上的顺序进行加固。

(3) 钢筋混凝土加固。

① 原独立承台及条形基础均采用钢筋混凝土围套加固。

② 部分大跨度梁采用新增钢筋混凝土现浇梁替换,部分楼板重新浇筑。

(4) 新增钢梁加固。

① 部分区域为增加原结构楼板的承载力,设计采用新增钢梁加固。

② 钢梁规格为 BH750×250×10×16 及 BH250×200×8×10。

3) 工程特点

本工程为大型修缮保护工程,根据工程概况和施工图、现场情况及文物保护的要求,本工程结构加固分项有以下几个特点:

(1) 结构加固分项工作面大。

(2) 工程地点位于繁华地段。

(3) 建筑物建成时间较久,使得混凝土表面凹凸不平且混凝土构件裂缝、老化剥离现象严重。

(4) 此建筑物为历史优秀建筑,对加固的施工工艺及材料要求较高,对原结构保护要求较高。尽量最低限度破坏原结构。

4) 工程难点分析

本工程的难点有如下几个:

(1) 结构加固分项工程量大、分布面积广、各施工项目交叉作业、上下道工序紧扣施工、工程任务松紧度大,给劳动力安排、均衡施工带来一定的难度。

(2) 工程地点位于繁华地段,给材料运输、施工作业噪声控制、夜间作业带来一定的难度。

(3) 因为建筑物表面碳化严重,所以加固前需对结构面进行修补处理,给施工带来难度,降低了施工工效。

(4) 角钢部位结合面混凝土严重凹凸不平,增大了修补工作量及灌注型结构胶的用量。

(5) 总体工程量大,各专业施工队伍较多。每个施工分项工程交叉作业给本分项工程的产品保护带来一定难度。

(6) 加固节点复杂多变,且结构原始资料缺乏,施工中还需根据实际情况及时与设计人员沟通,后续深化工作较多。



## 2.2 基础工程事故的分析与处理

由基础工程的质量问题而引起上部结构(房屋)开裂、倾斜,进而直接影响使用的事故屡见不鲜,甚至个别地区发生房屋倒塌事故,危及人员和财产安全。这些事故的发生不仅会造成较大的经济损失,而且会带来恶劣的社会影响,因此必须加以重视。



### 2.2.1 基础错位事故的分析与处理

#### 1. 基础错位事故的类别

基础错位事故主要有以下几类:

(1) 建筑物方向错误。这类事故是指建筑物的位置符合总图要求,但是朝向错误,常见的是南北向颠倒。

(2) 基础平面错位。基础平面错位包括单向错位和双向错位。

(3) 基础标高错误。基础标高错误包括基底标高错误、基础各台阶标高错误及基础顶面标高错误。

(4) 预留洞和预埋件的标高、位置错误。

#### 2. 基础错位事故的常见原因

##### 1) 勘测失误

常见的有滑坡造成的基础错位,地基及下卧层勘探不清所造成的过量下沉和变形。

##### 2) 设计错误

(1) 制图或描图错误,审图时又未发现和纠正。

(2) 设计措施不当。如对软弱地基未做适当处理;对湿陷性地基上的建筑物,既无可靠的防水措施,又无相应的结构措施;对软硬不均匀地基上的建筑物采用不适当的结构设计方案等。

(3) 土建施工图与水、电或设备图不一致。有的因设计各工种配合不良造成;有的因土建施工图发出后,设备型号变更或当时提供的土建资料不正确,又未做及时纠正而造成。

##### 3) 施工问题

(1) 测量放线错误。

① 看图错误。发生错位事故的主要原因是看错图,最常见的是把基础中心线看作轴线。在建筑和结构施工图中并不是所有的轴线都与中心线重合。例如,单层厂房间柱的相邻位置在柱外边而不在柱中心处,端部轴线也不是柱中心线等。又如把车间与相连的构筑物(栈桥、廊道等)的相对位置搞错,误把车间的某一轴线作为构筑物的中心线而造成错位事故。

② 测量错误。最常见的是读错尺,这种偏差数值往往较大,施工中应特别注意。

③ 测量标志移位。如控制桩埋设浅、不牢固或位置选择不当等,车压和碰撞使控制桩发生位移而造成测量放线错误。又如基础施工中把控制点设在模板或脚手架上,导致施工中出错等。