

# 周边构筑物与深基坑喷锚支护的相互影响

廖心北 宗周红 吴文学

**【提要】** 本文主要阐述喷锚支护原理和特点及其对周边构筑物的影响;分析了常见的深基坑喷锚支护灾害原因,结合工程实例,提出了相应的防治办法。

**关键词** 深基坑 喷锚支护 灾害与防治

在高层建筑和地下建(构)筑物基础工程施工中,由于深基坑开挖、支护、降(止)水、监测等技术措施不当,造成支护结构过大变形或倒塌、基坑大量漏水、塌方、隆起等,引起基坑周围地表塌陷,使相邻建筑物开裂、倾斜、沉降甚至倒塌,邻近地下管线移位,道路开裂、沉陷等等,是近年来建筑工程事故频繁的一个重要方面。据不完全统计,10~30%的深基础工程发生过大大小小的事故,给人民生命财产造成很大的损失。基础工程防灾、减灾和灾害处理已逐渐成为城市防灾、抗灾的重要组成部分,中国国际减灾十年委员会公布的“中华人民共和国减灾规划”(1998~2008)中已将城市防灾、抗灾列为主要攻关方向之一。

## 一、喷锚支护原理和特点

在基坑边壁上打入间距较密的细长金属杆件(螺纹钢、钢管),压力灌浆形成锚杆,达到一定强度时一方面被加固土体具有混合土体性质,有一定的自增强性能,另一方面锚杆与土体共同作用,在坑壁发生变形时锚杆受拉,将不稳定土体与稳定土体相连接,改变了坑壁破坏形态,从而显著提高了基坑边壁的稳定性能。喷射的混凝土面层不是主要的受力结构,主要是及时封闭裸露的坑壁,防止其剥落和地表水的侵蚀,增强基坑边壁土体的抗流变性能。因此总的来说喷锚支护应属于主动式柔性支护体系。

和被动式支护相比,喷锚支护完成了支护思想上的一次质的飞跃,具有性能可靠、施工简便、工期短、投资少、污染小等优点,在全国各地已得到广泛使用。喷锚支护结构的最大特点是在土体不变形时不受力,只有当基坑边壁(边

坡)发生主动变形时才被动受力。而基坑边壁是否变形及变形大小与开挖深度、周边建筑环境等密切相关。因此,在进行喷锚支护结构设计之前,必须弄清周边建筑物结构类型、基础形式和场地土特性;查明地下管线位置和地下水分布状况,对紧邻城市交通主干道的深基坑还需考虑车辆移动荷载的影响。在此基础上进行合理的喷锚支护设计计算,提出必要的施工构造措施和安全规定。施工时必须加强坑壁变形的监测,及时反馈信息,指导施工;严格施工管理,确保工程质量,杜绝野蛮施工。

## 二、深基坑喷锚支护失效时对周边建筑的影响

### 1. 既有建筑物

城市深基坑工程一般都处于密集建筑物的包围之中,基坑开挖支护必然会对周边建筑物产生影响。这些建筑物的体型、高度、结构类型、基础形式以及场地土性质千差万别,对基坑开挖支护的敏感程度亦各不相同。2~6层的砖混房屋(住宅为主),通常采用条形基础,直接位于天然场地上,埋深较浅(1~1.5m),整体刚度较差;基坑中上层开挖支护时,坑顶位移总是最大,且随开挖加深变形在增长,往往导致这类房屋的墙体开裂、地面沉陷、地下管道断裂等。对于框架结构房屋,通常采用柱下独立基础或筏板基础,房屋本身刚度较大;基坑中上层开挖支护时影响不大,临近基底时,由于已支护部分刚刚发挥或尚未发挥作用,而初始变形已经发育,有潜在的破坏面存在,往往产生平行于基坑边壁的纵向裂缝,如果房屋位于滑移面以内,则甚至在框架房屋远离基坑一侧地面也会发生纵向裂缝,而房屋整体安然无恙,这主要是房屋上下部结构

随场地土一起同步变形的结果;如果房屋骑跨在滑动土体和稳定土体上,则较易发生倾斜和不均匀沉降。这种情况下往往会折断地下管线,造成渗漏。对于含地下室结构的中高层建筑,通常用桩基直接将荷载传递到坚硬稳定的持力层上,或者采用大型板式基础,建筑物上下部结构拥有很强的整体刚度,基坑开挖支护造成的不利影响比较小;尽管如此,应特别注意防止支护时局部塌方而危及高层建筑基础的持力层。

开挖支护过程中由于坑壁超载、地下水渗漏、锚杆强度不够等等,导致一定范围内土体应力集中而开裂,造成基坑边壁一定深度范围内土体涌出,如果中上部锚杆强度及锚固长度足够,则上部土体不致于坍塌,只形成小范围空穴,否则上部土体失去支撑而相继塌落,形成大面积塌方;喷锚支护施工过程中的许多塌方事故就以这两种形式为主。

## 2. 地下管线

城市深基坑周围地下管网(水、电、气)比较密集;如果支护结构引起的变形(水平变位与沉降)超过地下管线结构所能承受的限值,将会导致地下管线严重变位甚至断裂,引起煤气管道泄漏爆炸、通讯与电力中断、上下水管道渗漏等严重的公共安全事件和工程质量事故。

喷锚支护施工之前必须查明附近地下管线的分布情况,现有的土锚杆或卵石锚杆钻机在遇到硬质材料时极易改变方向,因此即使事先知道地下管线位置,有时操作也难免发生事故。实用的办法是可以先用洛阳铲成孔,在越过管线后再用钻机成孔,从而避免对管线的损坏;同时采取必要措施,对地下管线进行防护。

## 3. 降(排)水

喷锚支护要求在干作业环境下实施,因此降、排水是深基坑喷锚支护成功的关键。开挖之前必须有效地降水,施工过程中必须弄清地下水位分布及变化、不透水层位置、城市上下水管道渗漏情况、大气降水与地表水流向等,采取有效的降水、排水措施。地质工程灾害十之八、九与水有关,因此可以说解决了水的问题,深基坑喷锚支护也就成功了一半。

值得注意的是在密集建筑物之间局部降低地下水位,一定程度上改变了场地土的特性,这对周边建筑物的影响(沉降为主)也是不容忽视的,但目前似乎不太被重视。

## 4. 灾害原因

从以上分析可知,喷锚支护结构破坏以失稳破坏和变形破坏为主,特别是基坑水平变位或沉降过大,导致邻近建筑物严重开裂、倾斜、沉降或地下管线移位、折断,引起居民恐慌和不安,这种现象比较普遍。而失稳的本质是变形或变形变化率过大。因此基坑变形是问题的症结所在。

条例<sup>[1]</sup>规定的坑顶水平变位为3~10% $H$ ,地表角变位(沉降)为2~3%。我们的工程实践表明,基坑变形值往往能够控制在上述范围内,但开裂似乎仍难以避免。问题不外乎两个方面,一是条例的标准偏松;二是基坑支护施工措施不力。从众多工程实践来看,条例的标准可以适当严格一些。据我们调查,产生基坑表面开裂与沉降的主要原因是基坑中上部开挖(尚未支护或支护未发挥作用)引起基坑的初始变形,即基坑的变形已经发育,且随开挖加深而加大,加之土体的流变性能,变形呈增长趋势。因此如果采取必要的措施,消除或减小这种初始变形,则基坑变形所致的种种破坏就可以得到控制。

## 三、工程实例分析

### 1. 四川宾馆地下车库

宾馆地下车库基坑开挖深度为13.5~14.7m,位于密集建筑物之间。建筑物刚度差别较大,基坑西侧距开挖线2m处为四层三星级宾馆(砖混结构),条形地基,埋深1.2m;南面偏西为四层框架结构(距开挖线2.8m),独立柱基,基础埋深2.5m;东面与六层商场(框架结构)相连,独立柱基埋深2.4~5.1m,东南角有一层地下室,地下室底板埋深4.7m。北面是川宾主楼的三层楼房,有二层地下室,底板高出基坑底面6.6m,主楼为扩墩桩基础,桩尖高出基坑底面3.7m。要求基坑开挖支护不能影响川宾的正常营业,支护的难度很大。根据房屋结构整体刚度和地基基础传力机理,我们分别采取了不同的措施:

(1) 西侧砖混房屋基础薄弱,开挖对地基

扰动较大,重点应加固其地基:a)沿开挖线打入竖向超前锚杆( $\Phi 48$ ,  $\delta 3.5$ 钢管),长7m,间距1.2m;b)在条形砖基下设两排灌浆孔进行压力注浆加固(孔深8m,穿过房屋第一排距地表1.5m,第二排距地表2.8m);c)在两排灌浆孔中间设一排预应力锚杆(长15m,间距1.2m)。施工过程中,由于西楼西侧另有基坑施工,造成西楼大堂严重开裂,地下车库基坑西移;在西楼门厅处作为紧急加固措施在第二排灌浆孔下增设了10根15m长预应力锚杆,控制了基坑的不稳定变形。

(2)对于桩基,应该有效地保证桩侧的摩擦阻力和持力层整体性;故在桩基四周打入竖向锚杆并压力灌浆,适当加密桩尖以下土体中锚杆布置。

(3)对于独立柱基,在柱基周围0.5m范围内打入竖向长锚杆,锚杆应嵌入基坑底面以下至少0.5~1.0m;以保证柱基的传力通道。

(4)开挖至设计深度的2/3之后,采用跳格式开挖,同时增加两排竖向超前锚杆,间距1.2m,长3.5~4m,锚杆与竖向夹角 $15^\circ$ 。

(5)基坑东南部商场地下室顶部高压电缆沟的防护。由于地下室混凝土护壁挡墙的存在,横向与竖向锚杆无法施工;加之地下室与原护壁之间为回填土,土体结构松散,且夹有一口防洪水井,因此此段加固处理比较困难。施工中我们采用了密集型短锚杆,高压充填注浆以及砼封闭地表等措施,有效地改良了土体结构,加固了边壁,确保了电缆沟的安全。

(6)地下室底板以下部位的加固处理与条基以下持力层的处理相似。

位移监测显示,基坑边壁处于稳定状态,周边建筑物没有发现明显的开裂和沉降,施工期间,川宾照常营业;特别值得一提的是,基坑支护刚刚完成,基础施工单位40t吊车意外翻倒,使基坑南侧壁受到一次较大的冲击荷载作用,坑壁完好无损,最大位移仅3mm;这一切表明本工程的技术措施是完全合理的。

## 2. 绵贸大厦消防水池

密集建筑物中间设置消防水池是减少城市火

灾损失的有效措施。绵贸大厦消防水池基坑深8.0m,场地土主要是杂填土和粉土,厚达3.5~5.6m;基坑西侧和南侧为两栋六层砖混结构居民住宅,距基坑开挖线仅2.10m;几乎是紧贴围墙垂直开挖,尽管本工程规模不大,但如何减少开挖后杂填土基坑的变形,确保邻近住宅安全,是本工程的难点和关键。

首先,沿开挖线打入竖向超前锚杆(长9~10m),并且和钢筋网一起留在喷射混凝土面层中,不再重复利用;同时在围墙高度之半范围内先喷射 $C_{20}$ 混凝土(超前锚杆预留长度1.0~1.5m)封闭围墙。其次,严格控制每次开挖深度,及时支护,考虑到杂填土和粉土承载力较低,打入锚杆后三次高压注浆,尽量地充填、挤密土体间隙;特别有效的办法是:中上层(3~4排)锚杆都施加一定的预应力(30~50kN/根),而且在锚头处增设垫板,克服了以往喷锚支护坑壁总能发生一定的初始主动变形之不足。再次,强化了施工管理,严格规范操作。实测位移量南侧和西侧均不超过7mm,围墙及住宅未发生开裂和沉降;施工质量获得建设单位和邻近居民的好评。

## 3. 汇通银行大厦

汇通银行大厦总建筑面积6.5万 $m^2$ ,由西部(A区)35层主楼、3层裙楼和东部(B区)16层住宅、3层游泳馆组成,北临南河,西靠人民南路,东、南面与成都气象学院仅一墙之隔,基坑开挖深度在16.2~18.6m之间,是较深的基坑之一,而且地下水状况复杂,与南河有密切的水力联系。

本工程采用稀排灌注桩加喷锚支护的组合式支护方案,采用井点降水、排水管导入和排水盲沟明排等综合降排水措施,经济、安全、顺利地完成深基坑支护工程,监测显示坑顶最大水平位移仅为坑深的1.1%,道路无开裂和沉陷,周边建筑物未发现开裂和倾斜,证明了组合式支护技术在较深基坑得到了成功运用。

以上工程实例说明,正确的方案选择和设计计算,严格的施工组织与管理,有效的降排水措施和合理的施工构造措施是保证深基坑喷锚支护成功和周边构筑物安全的基本条件。还要提及的

一点是注浆质量优劣对锚杆的锚固力影响极大;在杂填土、粉土和淤泥质土中,成孔质量十分重要,必要时要用高压水洗孔、扩孔,确保一定的注浆量;在砂卵石土质中,浆液扩展范围有限,要注意增加压力灌浆的稳压时间,必要时可进行一次或多次注浆,注浆压力一般不低于0.6MPa~0.8MPa。

此外,喷锚支护技术还可用于工程事故抢险救灾。在广州065工程基坑倒塌、海口红城湖大厦基坑坍塌、沪宁高速卫岗隧道滑坡、武汉火炬大厦断桩等大型工程事故加固处理中,喷锚支护被证明是简便、实用、可靠、经济的技术措施。

#### 四、结语

基础工程防灾、抗灾应贯彻“预防为主”的战略思想,从方案设计、理论计算、构造保证、施工管理与施工监测等各个环节上“层层设防”,这方面的投入和发生灾害导致的损失以及抢险加固的费用相比是微不足道的;另一方面,发生工程灾害后应及时有效地进行处理,尽可能把灾害损失减小到最低程度,喷锚支护技术可以作为首选抢险加固方案考虑。

本文在分析深基坑喷锚支护和周边构筑物相互影响的基础上,认为控制基坑变形是预防和处埋喷锚支护灾害事故的关键。从工程实践成功的经验和失败的教训中体会到采取必要的预防措施,增加相应的经费投入是十分必要的,变被动处理为主动防治,无论是经济效益还是社会效益都十分显著。

#### 参考文献

1. 深基开挖锚支护技术研讨会 土钉支护设计与施工条例(讨论稿),清华大学,1996。
2. 孙广忠著 工程地质与地质工程,地震出版社,1993。
3. 中国岩石力学与工程学会锚固与注浆技术专业委员会编 中国锚固与注浆工程实录选,科学出版社,1995。
4. 中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专委会与锚固与注浆技术专业委员会合编 地面岩石工程锚固与注浆技术学术研讨会论文集,地质出版社,1997。
5. 余志成、施文华编著 深基坑支护设计与施工,

中国建筑工业出版社,1997。

6. 陈希哲 地基事故与预防——国内外建筑工程实例,清华大学出版社,1994。

7. 廖心北、宗周红、Zheng Hongtai “FEM analysis of anchor-guniting supporting structure in deep foundation pits”, Computer Methods and Advances in Geomechanics, edited by Jian-Xin Yuan, Vol 3. P1865~1868, A. A Balkema Published, 1997。

8. 廖心北、宗周红 四川宾馆与地下车库深基坑喷锚支护设计与施工,复合地基理论与实践(龚晓南主编),浙江大学出版社,1996。

(上接第29页)

1、通过勘测查清了路基基本地质资料,找出了路基沉陷坍塌的范围及其原因,提出了合理的加固设计方案。

2、对正在坍塌的滑坡体用75根600kN级锚固力的锚索加固,辅以16根排水管,边坡稳定安全系数为1.52。通过施工监测表明,路基是稳定的。

3、建议高管处对路面上部山体做好排水,以免地表、地下水渗到路基下,影响路基的稳定性。同时要严密监视该部位山体的稳定性,应尽快对其进行加固(见图11),山体一旦下滑将导致严重后果。

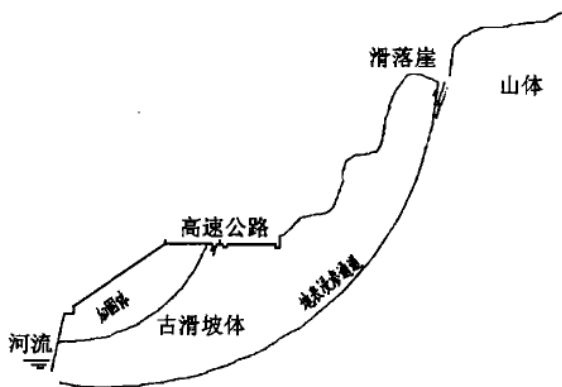


图11 加固区古滑坡威胁示意图

另外,路面排水沟由于开裂渗水土体下沉3~6cm,需要对该段排水沟做好防渗处理,确保高速公路正常运行。

4. 工程竣工后,应在路基坡面上尽快种植植被,避免在雨水冲刷下边坡土体流失。