

# 深基坑安全风险与事故案例分析

周与诚 郭跃龙

(北京城建科技促进会, 北京 100055)

**【摘要】** 北京地区常见三种基坑支护型式——土钉墙(复合土钉墙)、桩(墙)锚和内支撑在设计 and 施工中存在的主要风险, 提出了应对措施; 通过事故案例分析, 说明风险与事故的关系。对基坑支护设计、施工、监管、教研有重要参考作用。

**【关键词】** 深基坑; 风险; 事故案例分析

**【中图分类号】** TU 751

**【文献标识码】** A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2012. 06. 001

## Deep Foundation Pit Security Risks and Accident Case Analysis

Zhou Yucheng Guo Yuelong

(Beijing Urban Construction Science Technology Promoting Association, Beijing 100055, China)

**【Abstract】** This paper points out the main risks of three pit supporting types—soil nailed wall (composite soil nailed wall), piles (wall) anchor and inner support in the design and construction in Beijing, and proposed measures to cope with. Through accident analysis, the paper describes the relationship of risks and accidents. In aspect of pit supporting design, construction, supervision, teaching and research, this paper has important reference value.

**【Key words】** deep foundation pit; risks; accident case analysis

### 0 引言

我国建设行政主管部门将建筑工程在施工过程中可能导致作业人员群死群伤或造成重大不良社会影响的分部分项工程定义为危险性较大的分部分项工程, 并将其分为七类工程, 基坑支护工程位列首位。事实上, 发生在全国各地的基坑事故时有发生, 有的造成重大人员伤亡和财产损失。笔者参加了近十年来在北京地区发生的基坑事故抢险及事故原因分析, 发现在基坑支护设计和施工中一些不为大家重视的“细节”恰恰是导致事故发生的直接原因。本文从深基坑安全风险的角度介绍这些可以直接导致事故的“细节”, 并通过事故案例加以说明, 以为同行借鉴。

### 1 几个定义

1) 建筑基坑——为进行建筑物(包括构筑物)基础与地下室的施工所开挖的地面以下空间<sup>[1]</sup>。

2) 深基坑——一般指开挖深度大于 5 m 的基坑。

3) 基坑支护——是指为保证地下结构施工及基坑周边环境的安全, 对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施<sup>[1]</sup>。深基坑大多需要进行基坑支护。北京地区常见的基坑支护型式: 土钉墙(复

合土钉墙)、桩(墙)锚和内支撑。

4) 风险——是指不利事件或事故发生的概率(频率)及其损失的组合<sup>[2]</sup>。

5) 安全风险——是指可能导致安全事故的风险。

6) 深基坑安全风险——是指可能导致深基坑安全事故的风险。深基坑安全风险可分为主观风险和客观风险, 主观风险如深基坑设计施工不当导致安全事故的风险, 客观风险如未知水土条件、天气变化等产生的风险。

深基坑安全事故主要有两种表现形式: 基坑坍塌和基坑变形过大影响周边建(构)筑物正常使用。上述主、客观风险都可能成为基坑坍塌和基坑变形过大的原因, 也可是它们共同作用的结果。

### 2 几种常见深基坑支护类型及其主要风险

深基坑支护型式很多, 北京地区常见的支护型式有土钉墙(复合土钉墙)、桩(墙)锚和内支撑三种基坑支护型式, 不同基坑支护型式其设计、施工侧重点不同, 安全风险也各不相同。

#### 2.1 土钉墙及复合土钉墙

##### 2.1.1 土钉墙与复合土钉墙的区别

土钉墙是指采用土钉加固的基坑侧壁土体与护

面等组成的支护结构<sup>[1]</sup>。土钉墙的基本要件:土坡、土钉和面板。复合土钉墙是指将土钉墙中的部分土钉改为锚杆,或另外增设一排或多排锚杆而组成的支护结构。复合土钉墙的基本要件:土坡、土钉、锚杆和面板。土钉墙设计图见图1。

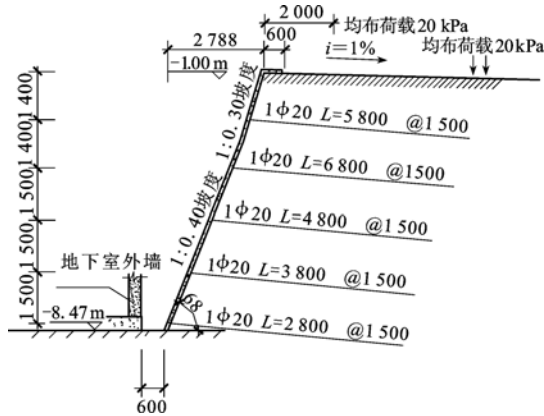


图1 土钉墙设计图

复合土钉墙与土钉墙主要区别在于是否有锚杆,土钉与锚杆的主要区别见表1。

表1 土钉与锚杆的主要区别

项目	孔径/mm	长度 L/m	抗拉筋	自由段	受力类型
土钉	100	一般不超过 15	螺纹钢	无自由段	被动受力
锚杆	150	一般超 15(1.35L)	钢绞线	有自由段	主动受力

2.1.2 设计风险

2.1.2.1 选型不当 与桩锚和内支撑相比,土钉墙具有经济、施工灵活等优点,因而成为建设单位和设

计施工单位的首选,但土钉墙不是万能的,有限制条件,忽视或不重视土钉墙的限用条件,盲目选择,极有可能为安全事故埋下隐患。

土钉墙限用条件:土钉墙适用于基坑侧壁安全等级三级,单一土钉墙支护深度不得超过 10 m,复合土钉墙支护深度不宜超过 13 m;有地下水或地下水不易疏干的,不宜选用土钉墙或复合土钉墙支护;冬施条件下,无特殊保温措施的,不得选用土钉墙或复合土钉墙支护。

2.1.2.2 土钉与面板连接不牢靠 土钉通过加强筋与面板连接,较合理的连接方式为“L”型或“T”型焊接,当采用“L”型焊接时,“L”型钩的方向宜交替排列,当土钉设计拉力较大时,宜采用“T”型焊接。不宜采用“J”型或“井”型连接方式。

2.1.3 施工风险

2.1.3.1 土钉注浆不饱满 注浆时,注浆管未按要求送至孔底 250~500 mm,有的只在孔口注浆,不能保证土钉注浆饱满。

2.1.3.2 钢筋网保护层厚度不足 编制和固定面层钢筋网时,钢筋网紧贴土坡,保护层厚度没有或不足。正常情况下,保护层厚度不应小于 30 mm。

2.1.3.3 土钉与加强筋焊接不符合规范要求 单面焊长度为 10 d,双面焊长度为 5 d。

2.2 桩(墙)锚支护设计施工安全风险

由护坡桩和锚杆组成基坑支护结构简称为桩锚支护。北京地区典型基坑支护剖面图见图2,上部土钉墙,下部桩锚支护。

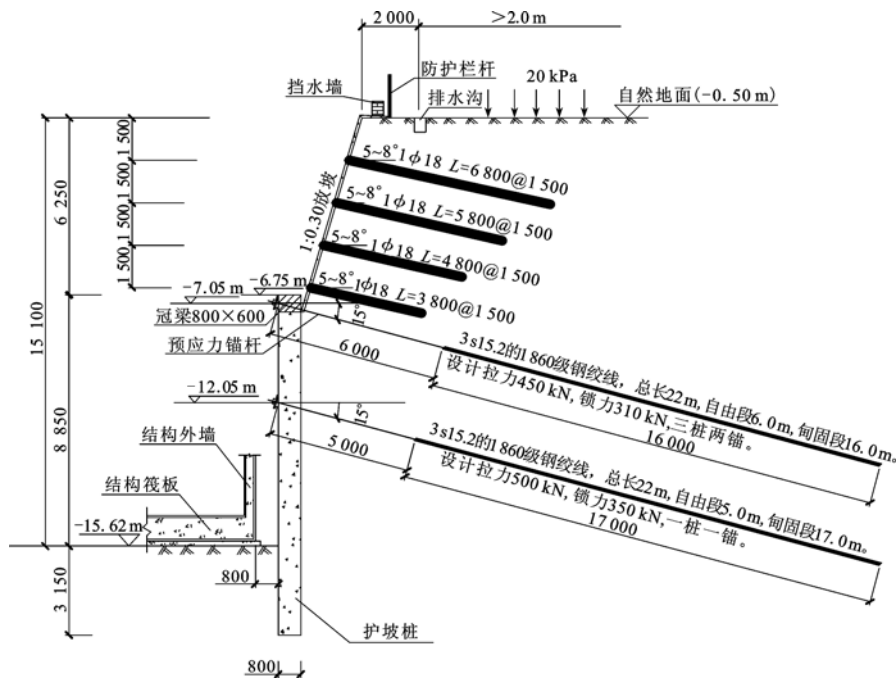


图2 北京地区典型基坑支护剖面图

桩锚支护是一种成熟稳妥的支护型式,北京地区基坑侧壁安全等级为一级或对变形有特殊要求的二级,大多采用桩锚支护型式,极少采用连续墙锚杆支护,地铁明挖基坑大多采用桩+内支撑支护型式。目前,对于桩锚支护设计与施工,其最大安全风险不是桩身配筋和锚杆长度是否足够,也不在于成桩工艺是否能够保证桩身质量,而在于桩间土的支护设计不当和锚杆施工工艺不妥。这是通过对近几年多起事故的原因分析后而得到的结论。

2.2.1 桩间土支护设计不当 对于无地下水桩间土较稳定的桩锚支护设计,桩间土支护宜采用粗钢板网+加强筋(与护坡桩连接牢靠)支护方式,见图3和图4;当桩间有渗漏水且存在流砂层或粉土时,宜在上述粗钢板网外面增加一层钢筋网,纵筋与桩顶冠梁连接。目前较常见的钢板网+“U”卡或“T”钉的支护方式应当避免。

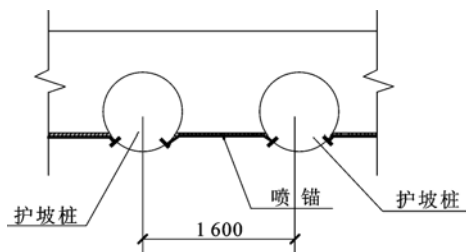


图3 桩间土支护平面图

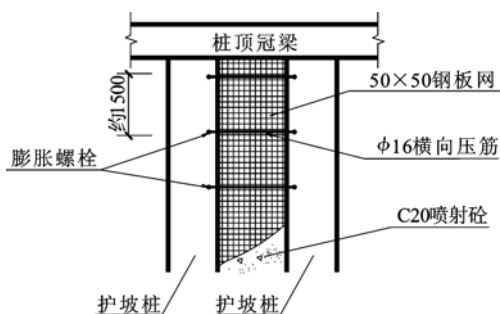


图4 桩间土支护立面图

2.2.2 锚杆施工工艺不妥 当锚杆位于建(构)筑物基础下方时,采用正循环成孔,或含水砂层、粉土层采用螺旋钻(土锚杆)成孔都是不妥的;一根挨一根依次成孔,或虽跳打但成一批孔注一批浆也是不对的。正确的做法是采取防塌孔的双管钻孔施工工艺,并且采取跳打和成孔一根注浆一根的施作方式。

### 2.3 内支撑设计施工安全风险

内支撑在软土地区是一种普遍采用的支护型式,但在北京地区,除地铁工程外,建筑基坑很少采用。与桩锚支护相比较,内支撑的优势在于其支护结构不受护坡桩之外环境条件的制约,内支撑替代了锚杆,

支护工程完工后,不会在护坡桩之外留下障碍物,钢支撑还可以回收重复使用,更符合绿色施工的要求。目前,内支撑在设计施工方面存在的主要风险:钢支撑构造不规范、支撑端板与腰梁(冠梁)不连接、斜撑腰梁抗剪构造不合理、土方开挖与设计工况不一致。

2.3.1 钢支撑构造不规范 钢支撑中间段通常为钢管,直径为609 mm、630 mm和800 mm,两端分别设计为有活络头的活动端和固定端,但个别单位将活动端设计成无活络头的,见图5,此种设计无法保证钢支撑轴心受力,应当避免。



(a)



(b)

图5 无活络头活动端照片

2.3.2 钢支撑端板与腰梁(冠梁)不连接 钢支撑端板与腰梁(冠梁)是否需要连接?大多数设计单位无要求,少数设计院针对风险较大的基坑提出对固定端进行焊接。在钢支撑只承担轴向受压的情况下,钢支撑端板与腰梁(冠梁)不连接是可行的,但这是一种理想状态,由于构件加工误差和安装误差等原因,上述理想状态事实上是不存在的,腰梁或冠梁一旦发生纵向位移或背向基坑位移,轻则钢支撑预压力锐减,重则支撑体系失稳,造成灾难性后果。通过比较熊猫环岛事故和王府井某基坑涌水事故(详见3.3),可以发现现行钢支撑体系的脆弱性,它如同一副多米诺骨牌,一旦某个部位因某种意外原因产生较大位移,侧

整个基坑可能因此倒塌。如果钢支撑端板与腰梁(冠梁)进行连接(焊接或螺栓连接),则钢支撑体系的整体性会大大加强,从而增加抗风险的能力。

2.3.3 斜撑腰梁抗剪构造不合理 斜撑腰梁抗剪构造是传递斜撑轴力的主要构件,抗剪构造设置不合理,轻则预压力加不到设计值,重则支撑脱落导致事故。目前普遍采用的抗剪构造设计图见图6,该图抗剪铰设计有待改进,一是尺寸规格不足,二是两个以上的抗剪铰不可能同时顶到护坡桩上。推荐设计和做法是:抗剪铰嵌入围护桩桩间的深度不小于半个桩径与喷射混凝土厚度之和,并用混凝土充填密实。

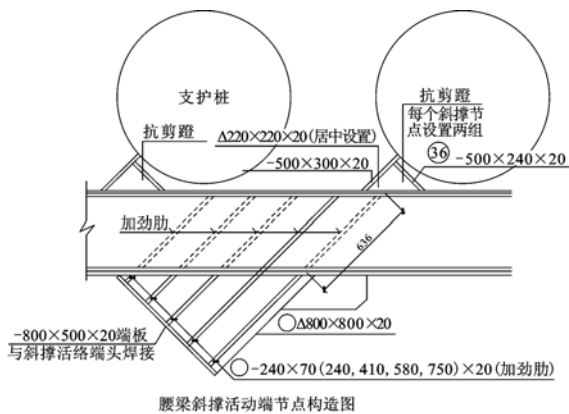


图6 抗剪构造设计图

2.3.4 土方开挖与设计工况不一致 土方开挖严格执行设计工况是基坑工程施工基本要求,也是保证基坑安全的前提条件。但是,按现行规范设计的工况不能满足大型土方开挖设备施工要求,换言之,要完全按设计工况开挖,就不能使用大型土方开挖设备。这样,不仅工期不允许,也不符合北京地区土质条件较好的实际情况。现场常见到的实际开挖情况见图7,是在“拉槽开挖”隐盖下的严重超挖。尽快规范普遍采用的“中拉槽”土方开挖方式,使之既能保证基坑施工安全又符合规范和设计要求,是工程师们努力的方向和当务之急。目前的解决思路是通过设计、施工、监测和验收综合解决。具体做法:设计阶段引入“中拉槽”和“试挖”,也就是说,通过“试挖”“中拉槽”,如果相关监测数据在正常范围内,那么,“中拉槽”方式的土方开挖就是符合规范和设计要求的;施工阶段编制“试挖”方案,该方案作为土方开挖方案的一部分通过专家评审,并严格按方案“试挖”;监测阶段通过编制和执行有针对性的“试挖”方案,获得准确、全面的监测数据;验收阶段是指设计、施工、监理、建设单位和专家五方对“试挖”进行验收,如果数据真实可靠,且都在允许范围内,则整个工程的土方开挖都可

以按“试挖”方案进行,相反,则需做调整。



图7 严重超挖

### 3 事故案例及原因分析

#### 3.1 土钉墙及复合土钉墙

北京地区土钉墙及复合土钉墙最大问题是土钉与面板连接不牢靠。不宜采用的“J”型连接方式见图8,早期多采用此种连接方式,事故频发,现已改成“L”型或“T”型焊接。基坑塌方发生后,土钉头均被拉断,而土钉和加强筋基本完好见图9。



图8 不宜采用的“J”型连接方式



图9 基坑塌方土钉头拉断,土钉完整

#### 3.2 桩锚支护

##### 3.2.1 桩间土流失导致基坑坍塌 某基坑事故



现场见图 10。该基坑深 13 m,已做完底板,2008 年某日一场大雨后基坑坍塌。经过现场调查分析,认为坍塌过程是:大雨及基坑边大量积水导致桩间土流失,桩间土流失造成地面沉降,地面沉降导致自来水管断裂,带压自来水导致基坑坍塌。从图片中可以看到坍塌部位两侧桩间土流失情况。



图 10 基坑坍塌情况

3.2.2 锚杆施工工艺不当导致周边建筑物沉降和倾斜 某综合业务楼裂缝位置与基坑位置关系见图 11,基坑西侧支护结构与某综合业务楼基础剖面关系见图 12。基坑施工期间,综合楼出现差异沉降,该综合楼与办公楼连接处两层的楼面和楼面及室外地面出现贯穿性裂缝,缝宽约 10 mm。

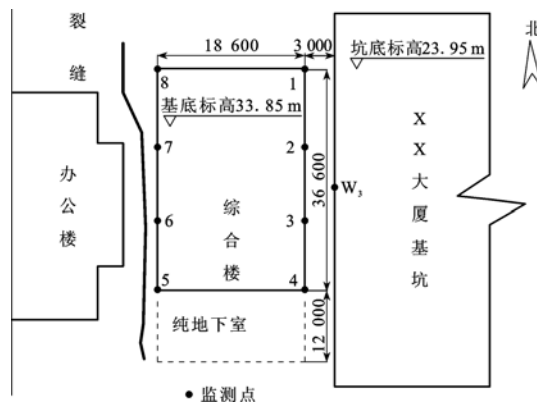


图 11 综合业务楼与基坑及原办公楼位置关系

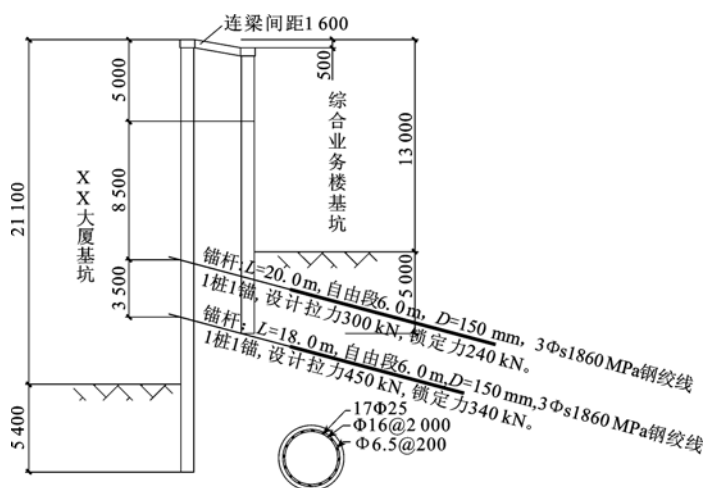


图 12 某大厦基坑西侧支护结构剖面图

调查分析,发现综合楼的沉降及差异沉降最快时期正好是第二层锚杆施工及之后一段时间(见图 13)。调查结论:裂缝产生的原因是综合业务楼发生了差异沉降,××大厦基坑西侧第二排锚杆施工和支护结构水平位移是综合业务楼发生差异沉降的主要原因。

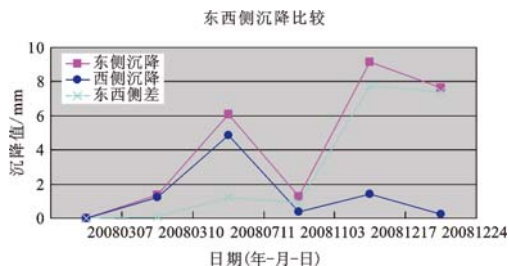


图 13 综合业务楼东、西侧平均累计沉降及差异沉降曲线

### 3.3 内支撑

内支撑按支撑杆件的材料不同分混凝土支撑和钢支撑。混凝土支撑因支撑与围护结构相连,整体性好,抗风险能力较强,而钢支撑则相反,支撑与围护结构不连接,整体性差,抗风险能力弱。下例中的两个基坑,深度相同——22 m,基坑侧壁漏水的部位相同——地面下约 8 m,因支护结构不同,后果完全不同,桩锚支护的安然无恙,钢支撑的完全坍塌。

熊猫环岛站基坑深 22.5 m,南端扩大端宽 29.3 m。基坑采用桩加钢支撑的支护体系,设置 4 道支撑,支撑间距 3.0 m。扩大端为减小支撑长细比在中间设置临时立柱(见图 14)。

2005 年 11 月 30 日下午 14:20 分左右,基坑南侧

深度约 8 m 处有水渗出。5 min 后,出现大量涌水,十分钟后,基坑南侧边上出现裂缝。14:35 左右基坑南侧中间部分突然坍塌,并迅速向两侧发展,造成斜向钢支撑体系脱落,引起两侧围护桩倒塌(见图 15)。



图 14 坍塌前基坑南侧情况



图 15 坍塌后南向北情况

王府井某基坑于 2011 年 6 月 14 日开挖深度 -22 m。6 月 23 日,北京遭遇特大暴雨,16:00 开始,基坑东侧 175—183 桩之间发生涌水现象,两个涌水点,两个小时涌水量约 1 万  $\text{m}^3$ (见图 16)。桩顶外侧土体淘空,空洞上方二层板房因设有 30 cm 钢筋混凝土基础而无恙,基坑位移增加 6 mm,有惊无险。



图 16 基坑涌水情况

#### 4 结论

事物总有其两面性,有利就有弊,反之亦然。基坑事故是坏事,但从中发现事故原因,总结教训,并在后面的工作中加以改正就成了好事。通过基坑事故案例分析,可总结出以下结论:

1)对于土钉墙(复合土钉墙),设计选型时,要注意适用条件:单一土钉墙支护深度不得超过 10 m,复合土钉墙支护深度不宜超过 13 m;有地下水或地下水不易疏干的,不宜选用;冬施条件下,须采取保温措施。土钉与面板连接是设计施工的关键,较合理的连接方式为“L”型或“T”型焊接。

2)对于桩锚支护,加强桩间土支护和采取适当的锚杆施工工艺是确保基坑及其周边环境安全的关键所在。

3)对于内支撑(钢支撑),规范“中拉槽”土方开挖,实现钢支撑端头与桩顶连梁和腰梁的连接,改进斜撑腰梁抗剪结构和钢支撑构造是业内同行努力的方向。

值得指出的是,深基坑安全风险并非仅来自不当的基坑支护设计和施工,除了上述水土条件不明、不期而遇的暴雨等客观因素外,不正当的市场竞争行为也是深基坑安全风险的重要来源。如为了降低造价,将本该采用桩锚支护的改为复合土钉墙支护,或盲目压价后施工过程中偷工减料,这些不当行为增加了深基坑安全事故的可能性,需要行业协会和行业主管部门发挥自律和监管作用。

#### 参考文献

- [1] JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程.
- [2] GB 50652—2011 城市轨道交通地下工程建设风险管理规范.

收稿日期:2012-09-06