

基于工程实例的基坑险情原因分析与加固方案

卜崇鵬

机械工业勘察设计研究院有限公司

摘要:本文以西安某深基坑西侧大变形险情为案例,从施工、设计、环境三方面剖析成因,指出施工超挖是直接诱因,受周边建筑限制的锚索锚固力不足、邻近地下车库渗水致土体强度下降是关键因素。针对险情采取坑内回填反压应急措施,并结合坡顶卸载与增设长锚索的加固方案,有效控制变形。最后提出锚索长度受限可采用“强桩弱锚”原则、浸水土体验算需采用饱水强度指标的建议,为复杂环境下基坑工程提供参考。

关键词：深基坑；桩锚支护；变形险情；加固方案

引言

我国城市化提速，深基坑工程增多，周边环境趋复杂，岩土工程问题频发，易致工期延误、财产损失乃至人员伤亡。

基坑问题诱因多且地域性强，西安黄土基坑便是典型——水是主要致险因素，黄土遇水抗剪强度骤降，极易引发基坑变形、支护结构破坏。本文以西安某基坑险情为实例，分析成因并提出处置加固方案，为同类工程提供参考。

1 工程概况

1.1 基坑与周边环境

本项目位于西安市高新区，总建筑面积含地上 40851.60m²、地下 95486.25m²，由 6 栋不同层数的建筑组成，多层为框架—筏板基础，高层为框架核心筒—桩筏基础。基坑开挖深度 9.67~13.57m，周长约 430.0m。

周边环境复杂：西侧紧邻项目一期两层地下车库，其外墙距开挖线最近 11.60m，二者地下一层连通，地面隔离围墙距开挖线 4.0m；北、东侧邻既有建筑小区，建筑外墙距开挖线均超 15.0m；南侧毗邻市政道路，开挖线与市政道路红线的最近距离为 5.5m，道路下方埋设有雨污水、燃气、电力等市政管线，对基坑变形控制要求严格。（见图 1）

1.2 工程地质条件

本项目场地平坦，地面标高介于 409.23~410.60m 之间，最大高差约 1.4m。地貌单元属皂河一级阶地。地层自上而下依次为人工填土 (Q_4^{ml})；第四纪全新世冲洪积黄土状土 (Q_4^{al+pl})、冲积粉质黏土及中砂 (Q_4^{al})，晚更新世冲积粉质黏土及中砂组成 (Q_4^{al})。

场地地下水属潜水类型。稳定水位埋深为8.30 ~ 9.60m, 稳定水位标高400.13 ~ 401.34m。主要由大气降水、地下与地表径流补给, 并通过自然蒸发、

地下径流与人工开采等方式排泄。水位年变化幅度为1~3m。(见图2)

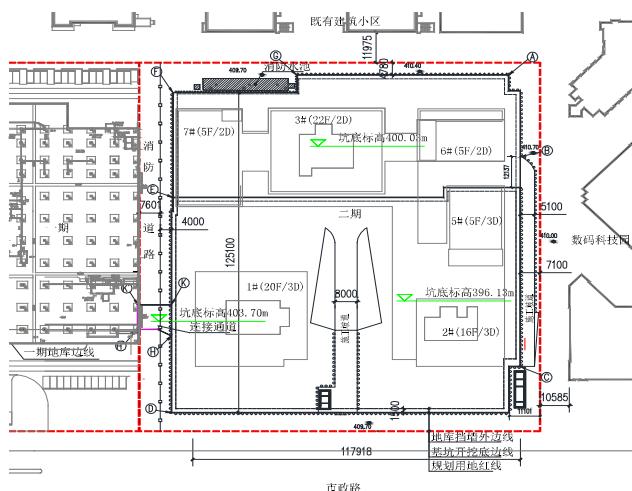


图 1 基坑支护平面与周边环境图

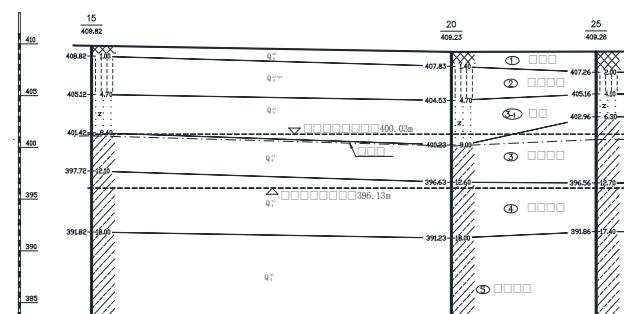


图2 工程地质断面图

1.3 基坑支护方案与变形情况

本基坑支护采用排桩+旋喷成孔预应力锚索形式：三层地下室区域护坡桩为 $\phi 800\text{mm}@1600\text{mm}$ ，配 3 道 15.0~17.0m 锚索；两层地下室区域同规格护坡桩，配 2 道 15.0m 锚索。

因西侧既有地下室限制，该区域锚索缩短为11.0m，三层、两层地下室区域分别配套3道、2道该

作者简介：卜崇鹏（1984—）男，硕士研究生，高级工程师，研究方向为岩土工程设计。

规格锚索，并在锚索竖向增设 9.0m 长土钉加固。（见图 3）

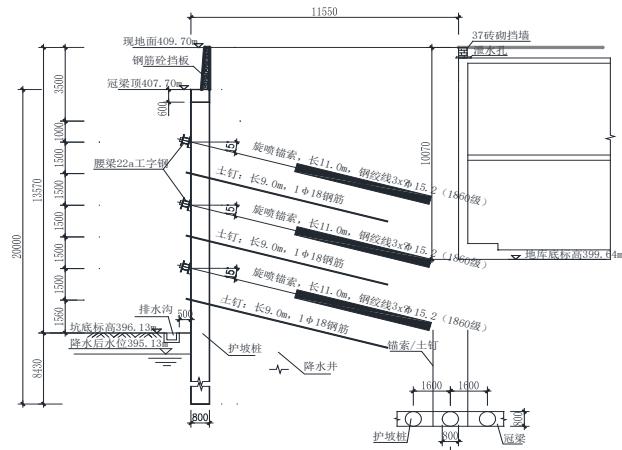


图 3 西侧三层地下室 (KE 段) 基坑支护剖面图

1.4 基坑变形情况

本基坑支护采用排桩 + 旋喷成孔预应力锚索形式：三层地下室区域护坡桩为 $\phi 800\text{mm}@1600\text{mm}$ ，配 3 道 $15.0\sim17.0\text{m}$ 锚索；两层地下室区域同规格护坡桩，配 2 道 15.0m 锚索。

西侧受既有地下室限制，锚索缩短为 11.0m，对应区域三层、两层地下室分别配 3 道、2 道该规格锚索，并在锚索竖向增设 9.0m 长土钉加固。（见图 4、图 5）



图 4 基坑西侧地面开裂照片

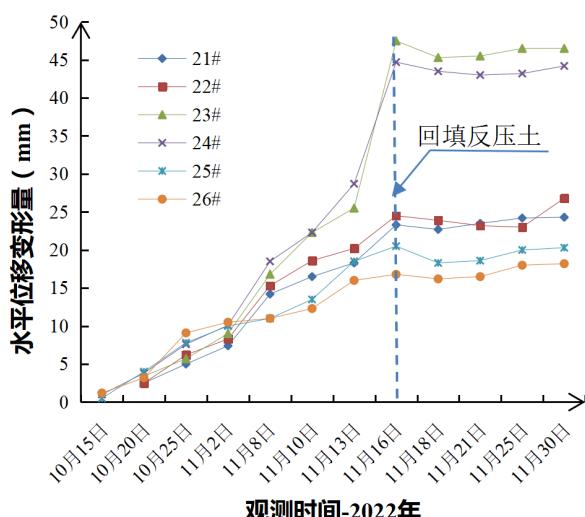


图 5 基坑变形观测点平面图及变形曲线图

2 基坑西侧变形过大的原因分析

通过现场踏勘了解,从设计、施工、管理等多方面查找原因,分析得出基坑西侧发生过大变形原因如下:

(1) 施工方面

基坑西侧（KE 段）土方开挖严重超挖。设计要求分层开挖施工锚索、土钉，超挖 $\leq 0.5m$ ；现场第二排锚索施工后即开挖至坑底，超挖 3.17m 且未施工桩间土钉，是基坑变形过大的直接原因。

(2) 设计方面

锚拉桩为桩锚协同受力的支护体系。按规范要求，锚索自由段长度不小于 5.0m，锚固段需进入稳定土层且穿过潜在滑裂面不小于 1.5m。

本工程西侧受既有车库限制，锚索最大长度仅11.0m，锚固段6.0m。该侧13.57m深基坑的上两排锚索，实际锚固段不足6.0m，且端部落在回填土而非稳定土层内，最终导致锚索锚固力不足，不利于基坑变形控制。

(3) 管理方面

为了进一步查明原因,对西侧相邻地库与本基坑之间土体进行了工程地质补充勘察,与原勘察报告对比土层的含水量与饱和度,判断土体遇水浸泡的可能性。对比结果见表1。

表 1 原勘察与补充勘察的含水量、饱和度对比表

土层	对象	原勘察	补充勘察	偏差幅度
①素填土	含水量	17.1	22.2	22.97
	饱和度	39.0	83.0	53.01
黄土状土	含水量	17.2	20.5	16.10
	饱和度	55.0	77.0	28.57
粉质黏土	含水量	24.1	25.1	3.98
	饱和度	85.0	88.0	3.41
粉质黏土	含水量	24.5	26.7	8.24
	饱和度	90.0	89.0	-1.12

通过表 1 中对比结果知：补充勘察层素填土的含水量、饱和度增加幅度分别为 22.97%、53.01%；补充勘察层黄土状土的含水量、饱和度增加幅度分别为 16.1%、28.57%。增加幅度明显。③、④层粉质黏土的含水量有小幅增加。这说明①层素填土（厚度 3.5m）、②黄土状土（厚度 3.0m）遇水浸泡可能性极大。在后期开挖卸载西侧坡顶土体中发现，西侧既有地库顶板有水渗出，是由地表雨水、绿化用水等下渗至车库顶板后向车库外墙方向排出，而车库外墙周围无暗沟或盲沟收集所致，这部分水浸泡了①层、层土体，导致基坑侧壁土体软化、抗剪强度降低，是基坑西侧发生

过大变形的主要原因^{[5]-[6]}。

3 基坑加固方案与实施效果

3.1 基坑加固方案

基于西侧锚索受限、土体浸水压力增大的情况，按浸水指标（ C 值 $\times 0.8$ 、 ϕ 值 $\times 0.7$ ）验算后，加固方案如下：1.EF 段（两层地下室）：C20 砼延伸筏板至支护桩，形成刚性支点，增强被动区抗力。2.KE 段（三层地下室）：挖除 3.0m 宽土体卸载，新增 1 道 16.0m 旋喷锚索（原第二、三排间），弥补锚固力不足。3.KH 段：挖除连接通道土方，维持原支护方案。4.HD 段（无地下室）：挖除 2.5m 宽、3.5m 高土体，新增 1 道 20.0m 锚索，原第三道锚索调至 15.0m。

3.2 基坑实施效果

加固后效果：基坑开挖至回填期间，最大水平位移 50.2mm、竖向沉降 25.8mm，变形可控，加固达标。

2. 方案背景：西侧受既有车库限制锚索长度，土体浸

表 2 采用饱水指标验算结果表

方案	结构参数	变形	整体稳定	倾覆稳定
单排桩 + 锚索	排桩直径 1.0m@1.5m, 桩长 20.0m, 桩身设 2 道 15.0m 长锚索	28.8mm	1.32	1.65
双排桩 + 锚索	前、后排桩直径 0.8m@1.5m, 排距 3.0m, 桩长 20.0m, 桩身设 2 道 15.0m 长锚索	22.3mm	1.36	1.72

综上述,当基坑相邻地下建、构筑物导致锚索不能正常设置时,应优先考虑采用增加桩体刚度或设置内支撑办法解决^[9],当基坑侧壁土体可能有水体浸泡时,应进行饱水指标验算,取最不利工况进行支护方案设计。

5 总结

本文结合西安某深基坑工程西侧施工险情实例，经分析处置与方案反思，得出核心结论：

监测发现变形持续不收敛时，坑内回填反压可快速控形，为永久加固争取时间，凸显动态设计与信息化施工的重要性。

针对不同区段问题，组合采用增被动区抗力、主动卸载、增设及延长锚索等差异化措施，有效保障了后续施工安全。

西安黄土地区深基坑需重视“水”的风险，锚索长度受限时应开展设计敏感性分析；不利工况下，可通过增大支护桩刚度或采用双排桩，补偿锚索作用不足，确保基坑安全。

水后压力增大，原锚索作用减弱，需优化桩体刚度。

3. 验算与方案：按浸水指标 ($C \times 0.8$ 、 $\phi \times 0.7$) 验算，可行方案为：①单排桩 ($\geq 1.0m$, 间距 $1.5m$) + 2 道 $15m$ 锚索；②双排桩 ($0.8m$, 间距 $1.5m$, 排距 $3.0m$) + 1 道 $15m$ 锚索。计算结果见表 2。

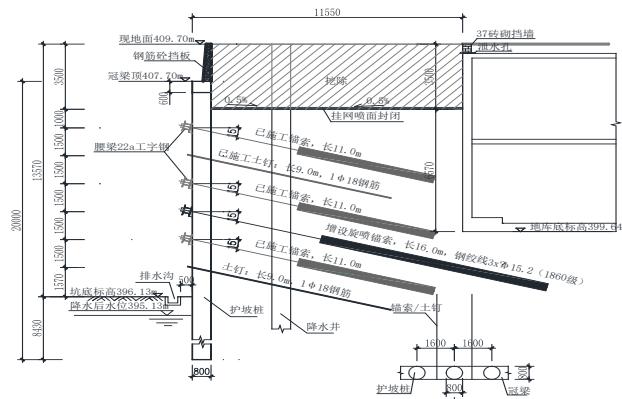


图 6 KE 段基坑支护加固剖面图

参考文献:

- [1] 龚晓南. 基坑工程实例 8[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
 - [2] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册 [M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
 - [3] 刘波, 李涛, 韩煊. 西安地区黄土基坑工程水文地质问题与对策 [J]. 工程地质学报, 2015, 23(S1):1-7.
 - [4] 黄强. 深基坑支护工程设计技术 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1995.
 - [5] 唐业清, 李启民, 崔江余. 基坑工程事故分析与处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
 - [6] 张矿成, 李亮辉. 基坑工程事故原因分析与对策 [J]. 岩土工程学报, 2009, 31(S1):1-6.
 - [7] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析: 原理·方法·程序 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
 - [8] 徐中华, 王卫东. 敏感环境下基坑工程变形控制设计方法与案例 [J]. 岩土工程学报, 2014, 36(S2):1-8.
 - [9] 杨光华. 深基坑支护设计中“强桩弱锚”理念的探讨 [J]. 岩土工程学报, 2016, 38(S2):1-5.