

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.06

甘肃兰州某黄土建筑高边坡失稳原因及补强治理方案

赖国泉,任庆钊,张俊德

(中铁西北科学研究院有限公司,甘肃 兰州 730000)

摘要:通过对兰州市某黄土建筑高边坡现场变形及工程地质条件系统调查的基础上,采用有限元软件 Plaxis 对目前开挖状态下坡体应力应变状态进行了数值分析,并对该边坡实施了地表及支护结构物表面位移监测。在以上基础上分析了该边坡失稳的原因,并针对该边坡的治理难度及特点,提出了合理治理方案并得出以下结论:(1)位移监测结果表明,目前变形以水平位移为主,沉降较小。22 个监测点中,14 个监测点累计水平位移超过 20 mm,17 个监测点日平均水平位移速率大于 0.2 mm/d。累计水平位移至已超过规范警戒值,及时实施坡顶应急搬迁及坡脚停止施工的措施、坡顶建筑物拆迁后,位移速率呈明显降低趋势。(2)有限元分析表明,原支护桩基埋置深度较浅,未进入卵石层,桩锚固段过短,且锚杆没有穿过滑裂面,无法提供锚固力,支护桩产生了倾倒式变形,这与位移监测以水平变形为主是吻合的。(3)基于强腰固脚的理念,提出了坡体上部减载,中部锚固,下部抗滑桩支挡的合理治理方案;(4)针对该超限边坡长期稳定监测,提出施工两年后监测到期,采取延长监测、减少次数、重点监控的建议。

关键词:黄土高边坡;长期监测;有限元分析;补强治理

中图分类号:O 319.56

文献标识码:A

文章编号:1003-8035(2017)01-0036-07

Instability of a high loess slope in Lanzhou city of Jiangsu province and suggestion for its reinforcement

LAI Guoquan, REN Qingzhao, ZHANG Junde

(Northwest Research Institute Co., Ltd. of C. R. E. C., Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract:Through surveying the deformation and the engineering geological conditions of the loess high slope in Lanzhou. To take the finite element software Plaxis, By adopting the method of numerical simulation analysis of the current state of the excavation slope body stress and strain state, and take the implementation of displacement monitoring. On the basis of above analysis the causes of the slope instability. Against the difficulty of governance and characteristics of slope, this paper puts forward a reasonable management plan. (1) the displacement monitoring results shows the deformation is given priority to with horizontal displacement, subsidence is smaller 22 monitoring points, 14 cumulative horizontal displacement monitoring points more than 20 mm, daily average of 17 monitoring displacement rate is greater than 0.2 mm/d. Cumulative horizontal displacement to more than standard value, and timely implementation of top emergency relocation and slope foot to stop construction of the measures, slope after building demolition, displacement rate showed a trend of decrease. (2) The finite element analysis shows the original supporting pile foundation embedment depth is shallow, not into the pebble bed, pile anchorage segment are too short, and no through the critical slip surface bolt, cannot provide the anchoring force, the dumping of supporting pile type deformation, this is given priority to with horizontal deformation and displacement monitoring are identical. (3) Based on the concept of strong waist GuJiao, this paper puts forward that the upper slope lightening, central anchor, the lower of anti-slide pile retaining reasonable management plan. (4) For the overrun slope stability monitoring, it is suggested that after two years of monitoring expires, to extend the

收稿日期:2016-03-31;修订日期:2016-06-27

第一作者:赖国泉(1981-),男,硕士,工程师,主要从事地质灾害治理相关研究方面的工作。E-mail:273085646@qq.com

monitoring, reduce frequency, monitor and monitoring the new idea.

Keywords: the loess high slope; long-term monitoring; the finite element analysis; reinforcing governance

0 引言

近年来,随着城市化进程的加快,山地城市地质灾害频发。例如2015年12月20日发生的深圳市红坳南山城建弃土场滑坡^[1],造成77人遇难或失联、33栋建筑物被掩埋或不同程度损坏。兰州市是黄河阶地上典型的山地—河谷型城市,由于特殊的地形、地貌、地质、气候条件以及强烈的人类活动,使滑坡、崩塌、不稳定斜坡等地质灾害频发^[2-4]。近年来,随着城市化进程加快与工程活动加剧,城区黄土滑坡地质灾害频发,兰州已成为我国地质灾害最为严重的省级城市之一。

由于黄土具有“粘聚力高、结构性强、直立性好”等特点^[5],针对黄土中低边坡治理设计,一般以工程类比法为主,力学验算法为辅进行^[6-8]。具体采取了“宽台陡坡”的治理形式。国内各部门对高度在15 m以下的中、低黄土边坡做过较为系统的研究^[9-10],并在其各自的规范中提出明确的设计标准,指导边坡工程实践。而对于15 m以上的黄土高边坡变形破坏机理、开挖设计和防护方面的系统研究成果较少,也无规范可依。以致因设计不当而导致的黄土高边坡破坏现象时有发生。《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)规定^[11]:超限边坡应进行专项设计,采取有效、可靠的加强措施。

本文以兰州市某建筑黄土高边坡为例,分析了造成该建筑边坡失稳的原因,并提出了正确的补强治理方案。为同类工程的实施提供相关经验。

1 工程概述

1.1 工点概况

工点位于兰州市七里河区,属于侵蚀—堆积河谷平原地貌,为黄河南岸Ⅲ级阶地,后期受人工改造较大,坡脚由于要建住宅,开挖形成了高度大约35 m的黄土高边坡。坡顶为公交公司6层住宅楼,基础为浅基础。

1.2 工程地质条件

根据勘察报告,勘探深度范围内地层主要由新近堆积杂填土、黄土状粉土、粉土、卵石等四个主要地层。开挖深度范围内地层主要为黄土状粉土和卵石二元结构。黄土状粉土:黄褐色,稍湿,稍密,土质较均匀,含少量钙质白色假菌丝,零星含有钙质结核,一般具有中等-强烈湿陷性。该层层厚16.6~30.62 m。卵石层:

系冲洪积成因,杂色,稍湿,磨圆度呈次圆状,分选性较差,最大粒径约150 mm,一般粒径为40~60 mm,细粗砂充填。场地内地下水以孔隙潜水为主,主要赋存于下部卵石层中,接受大气降水及侧向径流的补给,向黄河方向排泄,水位埋藏较深。边坡工程设计与施工时,可不考虑地下水的影响。

1.3 原治理措施及施工现状

原设计上部采用锚杆、浆砌石护坡,下部采用双排钻孔灌注桩与预应力锚杆相结合的桩锚支护方案(图1)。支护桩直径1 m,桩中-中间距为2.5 m。

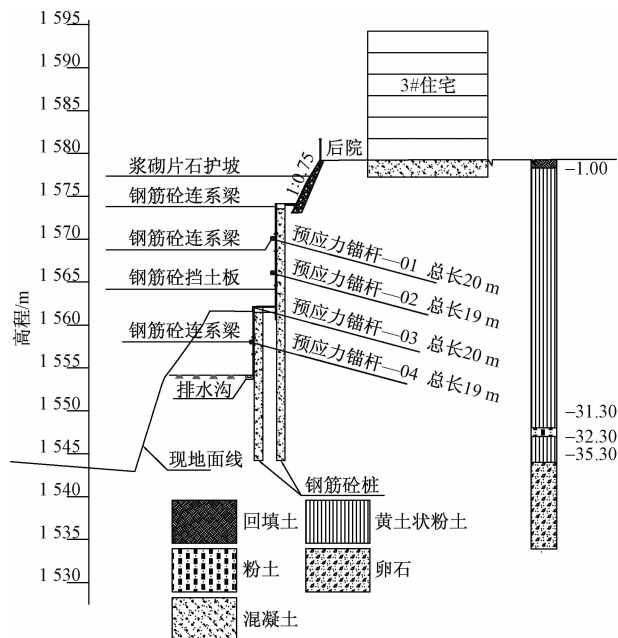


图1 原设计典型断面图

Fig.1 The typical profile of the original design

现场变形调查时,两排支护桩已施工完毕,正在实施两排桩之间联系梁,后排桩上部三排锚杆已实施,其余锚杆未施工。

2 现场变形及地表位移监测分析

2.1 现场宏观变形

现场调查表明,坡体顶部家属院内距坡口线20 m、26 m、32 m产生了三条贯通拉张裂缝,裂缝宽2~4 cm,走向基本平行于边坡走向,裂缝长度分别为68 m、62 m、43 m。

2.2 地表位移监测

为及时掌握坡体变形趋势,达到安全预警的目的,

对该边坡实施了地表位移变形监测。采用全站仪进行观测,共设置 22 个监测点,编号为 JC1~JC22。

监测初始日期为 2016 年 1 月 12 日,截止 2016 年 4 月 12 日,共监测 90 次,监测成果见表 1、图 2。

表 1 各监测点监测结果汇总

Table 1 Monitoring of the monitoring results summary

编号	累计水平位移/mm	累计沉降/mm	日平均水平位移速率/(mm/d)	日平均沉降速率/(mm/d)
JC-1	10.66	-3	0.12	-0.03
JC-2	15.02	1	0.17	0.01
JC-3	32.34	0	0.36	0
JC-4	47.75	-4	0.53	-0.04
JC-5	36.87	-11	0.41	-0.12
JC-6	33.50	-8	0.37	-0.09
JC-7	29.95	-7	0.33	-0.08
JC-8	32.88	-2	0.37	-0.02
JC-9	19.47	-3	0.22	-0.03
JC-10	16.40	-3	0.18	-0.03
JC-11	16.24	0	0.18	0
JC-12	18.76	-1	0.21	-0.01
JC-13	35.21	-8	0.56	-0.13
JC-14	42.46	-3	0.47	-0.03
JC-15	11.64	-2	0.13	-0.02
JC-16	20.10	-54	0.22	-0.6
JC-17	21.59	-42	0.24	-0.47
JC-18	46.10	-6	0.53	-0.07
JC-19	44.65	-7	0.51	-0.08
JC-20	33.62	-5	0.39	-0.06
JC-21	30.89	-5	0.36	-0.06
JC-22	19.42	-5	0.22	-0.06

由以上监测结果分析可知(图 3):

(1)自 2016 年 1 月 12 日监测以来,坡体一直处于蠕动变形状态,变形方向朝向临空侧(即基坑的方向);

(2)截止 2016 年 4 月 12 日,累计水平位移分布范围见表 2。由表 2 可知,超过 60% 的监测点累计水平

位移大于 20 mm。

表 2 累计水平位移分布范围

Table 2 The cumulative horizontal displacement distribution range

累计水平位移 D 分布范围	所占百分数/%
10 mm < D < 20 mm	36.36
20 mm < D < 30 mm	13.64
30 mm < D < 40 mm	31.82
40 mm < D < 50 mm	18.18

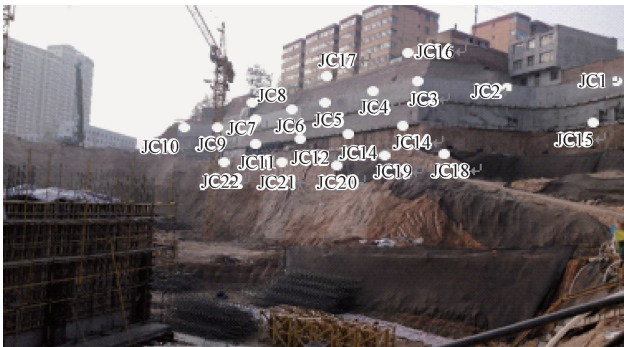


图 2 监测点布置示意

Fig.2 Monitoring point arrangement diagram

(3)由表 1 分析可知,22 个监测点中,有 17 个监测点日平均水平位移速率大于 0.2 mm/d。《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)规定:“土质边坡支护结构坡顶的最大水平位移已大于边坡开挖深度的 1/500 或 20 mm,以及其水平位移速率已连续 3 天大于 2 mm/d,应报警并采取应急措施。”该边坡自监测以来,由于累计水平位移值超过了警报值,及时上报了业主并采取了相关措施,停止了坡脚一切施工,坡顶居住居民进行了搬迁以及 3 号住宅楼进行了拆迁。3 月 10 日拆迁工作完成后,各监测点变形速率明显降低。

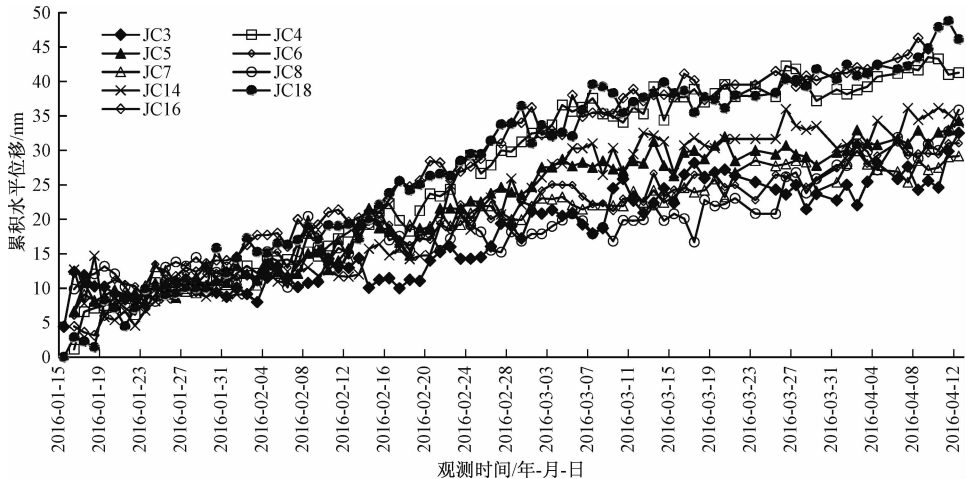


图 3 典型监测点累计水平位移—时间曲线

Fig.3 The typical monitoring cumulative horizontal displacement-time curve

(4)由表 1 及图 4 分析可知,大部分支护结构物表面监测点累计沉降较小,目前支护结构物变形以水平变形为主。但位于 3 号楼靠近临空侧的坡体顶部左右侧 JC16 点(锅炉房附近)与 JC17 点(3 号楼中间)累计沉降达 -54

mm 与 42 mm,表明目前 3 号楼附近坡体沉降明显。根据现场调查,该边坡在开挖时,公交公司家属院曾出现大量的漏水,漏水直接下渗至黄土内部,易引起坡体变形,是造成 JC16、JC17 点沉降较大的原因之一。

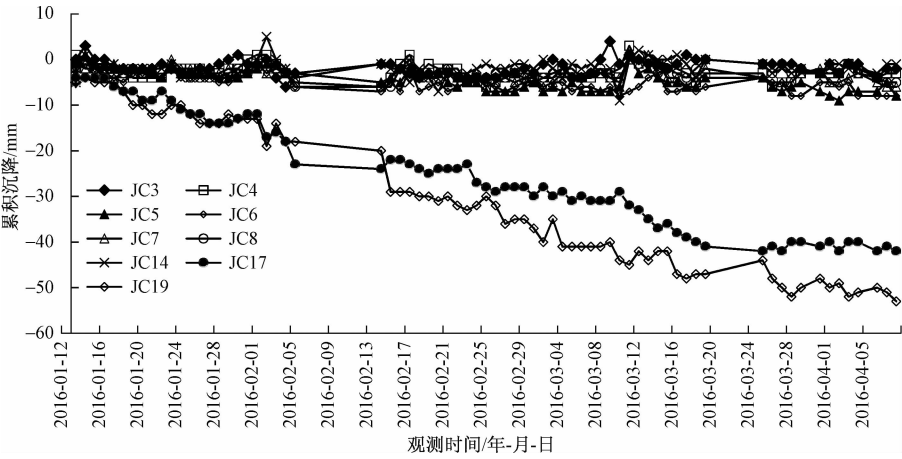


图 4 典型监测点累计沉降—时间曲线
Fig. 4 The typical monitoring cumulative settlement-time curve

3 有限元数值模拟分析

3.1 模型建立

模型参照 1-1 断面,采用平面应变,结构单元选取 15-节点单元;赋予土体和旋喷桩材料属性,岩土体物理力学参数选取参考地勘报告及本地区经验值综合确定(表 3)。目前开挖状态下模型图见图 5。采用二维有限元软件 plaxis 进行分析。

表 3 岩土体物理力学参数
Table 3 Physical and mechanical parameters of rock and soil

岩土类型	重力密度/(kN/m³)	内摩擦角 φ/(°)	粘聚力 C/kPa
素填土	16	22	10
黄土状粉土	16	26	17
卵石	20	40	3

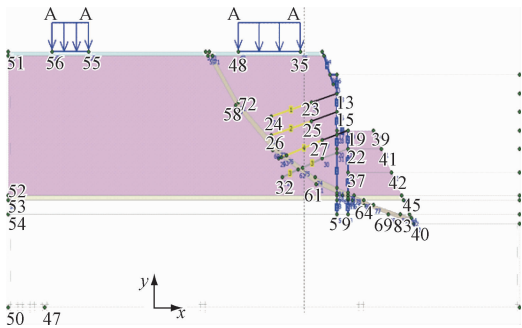


图 5 数值模型图
Fig. 5 The numerical model figure

3.2 模拟工况

按 9 个工序模拟现场施工过程,依次为:①加载

(楼房荷载按 90 kN/m² 均布荷载考虑);②坡面防护施工;③内侧桩基施工;④开挖第一层土体及施工第一层锚杆;⑤开挖第二层土体及施工第二层锚杆;⑥开挖第三层土体;⑦外侧桩基施工;⑧开挖第四层土体及施工第三层锚杆;⑨开挖第五层土体。

3.3 计算结果分析

由图 6 分析可知,该边坡的变形主要集中在距坡顶坡口线 32 m 处,且距边坡坡口线越近变形越大,最大变形区域集中在桩顶位置。现场开挖最后一道工序时,因坡顶 6 层居民楼及硬化路面出现裂缝停止施工,水平位移最大值达到 5.4 cm,计算结果中裂缝在坡顶出现的位置与现场变形情况相吻合。若继续开挖边坡,边坡的变形将持续增大,可能导致计算模型中出现的情况,计算不收敛,桩后土体出现倾倒式破坏。

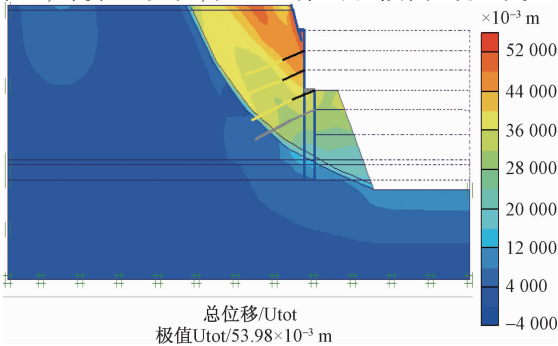


图 6 工况 9 总位移变形图
Fig. 6 The excavation to the working condition of 9 total displacement deformation figure

由图 7 可知,开挖至现场施工情况时应力最大值为 245.86 kN/m^2 ;桩脚以及周围土体处出现应力集中现象。随着边坡开挖深度的增大,塑性屈服区域出现向外围土体扩大的趋势;塑性屈服点分布呈楔体状,坡面位置屈服点分布从边坡边缘 32 m 至边坡坡口线位置,下侧屈服点集中分布在桩脚处,屈服点在坡面和坡脚之中贯通,形成破裂面。

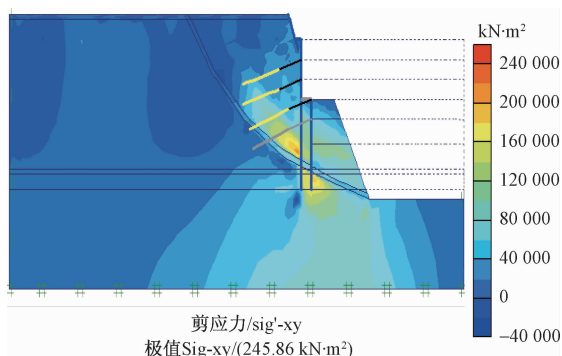


图 7 开挖至工况 9 剪应力图

Fig. 7 Shear stress figure of working condition of 9

综上分析可知,原治理措施锚杆长度较短。从图中可以看出锚杆没有穿过滑裂面,其计算不收敛的原因是桩基埋置深度较浅,桩前土体厚度较小,且锚杆没有穿过滑裂面导致锚杆不能提供足够的锚固力。

4 边坡失稳原因分析

引起该边坡失稳的原因是多方面,通过现场调查与分析,并结合数值仿真分析得出主要是受以下两方面的原因。

(1)有限元计算表明,原治理措施预应力锚杆长度不足,锚固段大部分没有穿过破裂面,无法提供锚固力。支护桩桩底位于卵石层顶面,未深入卵石层一定深度,设置过短,导致支护桩产生了倾倒式变形。边坡支挡结构设置不当是引起该边坡失稳的主要原因。

(2)岩土工程设计与施工是一个系统工程,施工工序开挖需一环扣一环,完全按照设计设定的工序下进行,才能保证治理的成功。现场调查表明,本边坡开挖存在超挖现象。下部已经开挖至设计标高(卵石层附近),而两排桩之间的连接顶梁正在施工,顶梁位置的锚杆随施工完成但尚未张拉,第四排锚杆尚未施工。因此两排桩不能整体受力、部分锚杆没有受力、下排尚无锚杆(未施工),在未全部实施防护工程时边坡已开挖到位,也是引起坡体变形的原

因之一。

5 补强治理方案

5.1 治理难点

(1)边坡高度超标

该边坡开挖深度达 35 m,已超过《建筑边坡工程技术规范》(GB50330-2013)的规定,土质建筑边坡不超过 15 m 的设计原则。

(2)周边地质环境复杂

该边坡不稳定地层主要为黄土状粉土,具有中等~强烈湿陷性,为特殊岩土体。边坡场地的新构造运动以垂直升降运动为主,形成多级阶地,各阶地间高差变化明显,阶地高差的悬殊变化特征是区域性升降运动剧烈而频繁的特征,并构成了独特的二元结构地貌,为滑坡、崩塌等地质灾害的发育提供了有利条件。

(3)周边建筑物密集

开挖边坡坡脚拟布设四栋高层建筑,高层距坡脚只有 10 m 左右。坡顶为既有建筑小区,距坡口线只有 5 m 左右,现 3#住宅已产生变形,根据当地政府规划,目前在拆除。

5.2 治理措施

考虑到以上治理难点,对该边坡治理采取专项设计,边坡工程安全等级按一级考虑,采用动态设计法,即依据施工及监测过程中反馈的信息及时调整设计。

边坡加固工程的原则一般为固脚强腰,即稳固坡脚,加强坡面防护。一般情况下可在上部减载,中部(坡面)设置锚索框架,并在下部设置抗滑桩进行支挡防护。

本工程拟在目前边坡平台(两排桩连接顶板处)设置锚索抗滑桩,该处设置较宽的平台后按 1:0.5 坡率刷方高 10 m,该级边坡采用锚索框架防护,其上按 15 m 左右平台刷方减载,厚 7.5 m 左右,刷方后边坡坡率 1:1.5,采用拱形骨架防护。典型治理断面及平面见图 8、图 9。

5.3 长期稳定监测的特殊要求

《建筑边坡工程技术规范》的相关要求指出^[6]规定:“一级永久性边坡工程竣工后的监测时间不宜少于 2 年”。鉴于该边坡工程的特殊性与重要性,竣工后按既有方案进行监测,竣工两年后已趋于稳定的项目应适当延长监测时间。其原则是:延长监测年限,减少监测次数(每年 2 次),抓住重点监测区段、重点监

测项目(变形和重点地段锚索应力)和关键时间段(雨季),努力做到每次监测后及时分析,并完善长期发展趋势资料,使监测资料真正起到反映边坡治理后的稳定状态。

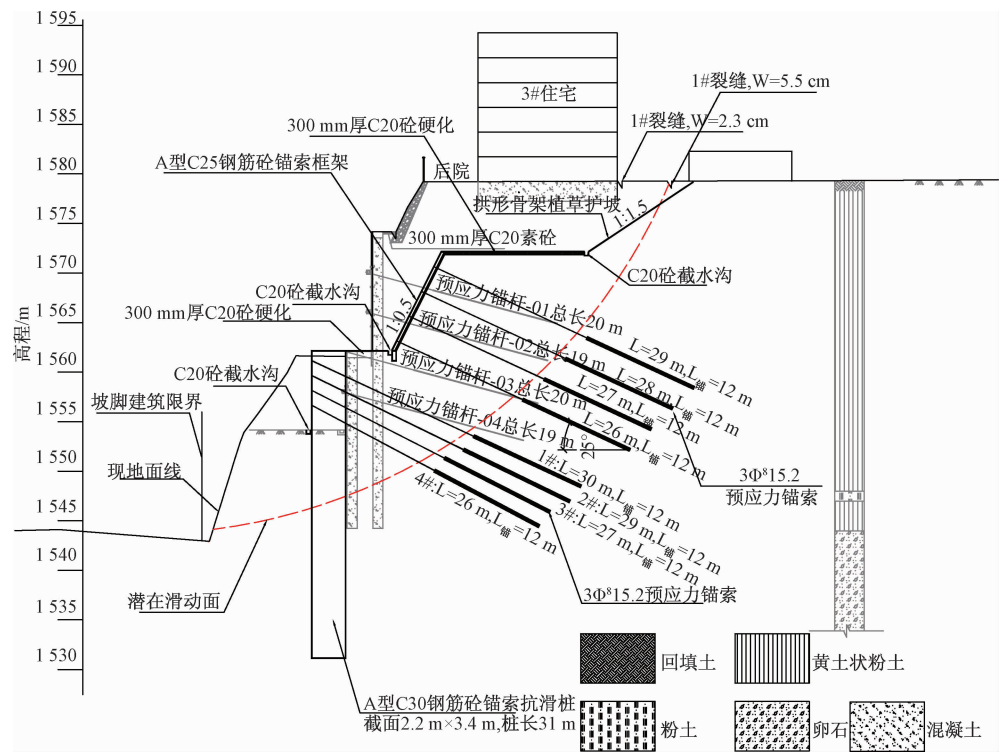


图 8 典型补强治理断面
Fig. 8 Typical reinforcing management section

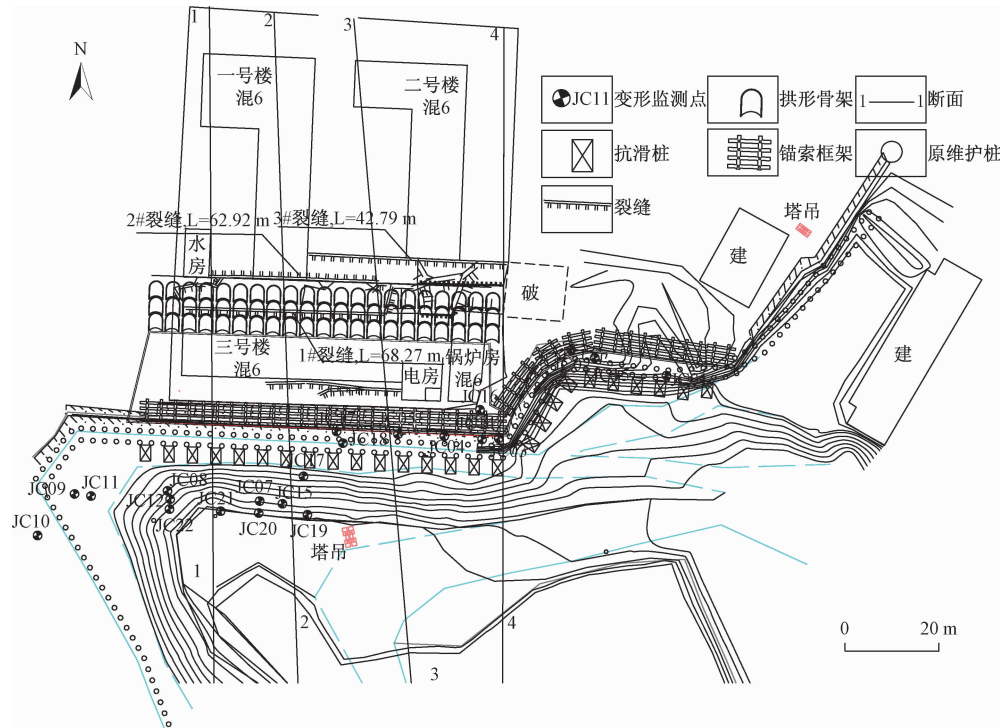


图 9 工程布置平面图
Fig. 9 The project plan

6 结论

(1)位移监测结果表明,目前变形以水平位移为主,沉降较小,22个监测点中,14个监测点累计水平位移超过20 mm,17个监测点日平均水平位移速率大于0.2 mm/d,累计水平位移已超过规范警戒值,及时实施坡顶应急搬迁及坡脚停止施工的措施,坡顶建筑物拆迁后,位移速率呈明显降低趋势。

(2)有限元分析表明,原支护桩基埋置深度较浅,未进入卵石层,桩锚固段过短,且锚杆没有穿过滑裂面,无法提供锚固力,支护桩产生了倾倒式变形,这与位移监测以水平变形为主是吻合的。

(3)基于强腰固脚的理念,提出了坡体上部减载,中部锚固,下部抗滑桩支挡的合理治理方案。

(4)针对超限边坡的长期稳定监测提出,施工两年后监测到期,延长监测,减少次数,重点监控的监测新理念。

参考文献:

- [1] 刘传正. 深圳红坳弃土场滑坡灾难成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(1): 1-5.
LIU Chuansheng. Genetic mechanism of landslide tragedy happened in Hong'ao dumping place in Shenzhen, China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2016, 27(1): 1-5.
- [2] 黎志恒, 张永军, 等. 兰州城市地质灾害与人类工程活动[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 587-593.
LI Zhiheng, ZHANG Yongjun, et al. Urban geological hazards and human engineering activities in Lanzhou City [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, 50(5): 587-593.
- [3] 鲍文, 崔鹏. 兰州城市发展与山地灾害发展[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3): 33-36.
BAO Wen, CUI Peng. Urban development and mountain hazards prevention in Lanzhou city [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(3): 33-36.
- [4] 丁祖全, 黎志恒. 兰州市地质灾害与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [5] 高德彬. 公路黄土路堑高边坡稳定性研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
GAO Debin. Study on the stability of highway loess cutting slope [D]. Xi'an: Changan University. 2008.
- [6] 冯连昌, 郑晏武. 中国湿陷性黄土[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1982.
FENG Lianchang, ZHENG Yanwu. Collapsible loess in China [M]. Beijing: China Railway Press, 1982.
- [7] 刘祖典. 黄土力学与工程[M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1997.
LIU Zudian. The loess mechanics and engineering [M]. Shaanxi: Shaanxi Science and Technology Press, 1997.
- [8] 刘毓权. 黄土边坡稳定性分析初探[J]. 西北农林科技大学学报, 1999, 27(4): 25-28.
LIU Yuquan. The loess slope stability analysis [J]. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 1999, 27(4): 25-28.
- [9] 中华人民共和国铁道部. TB10035-2006 铁路特殊路基设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
Ministry of Railways. TB10035-2006. Code for design on special subgrade of railway [S]. Beijing: China Railway Press, 2006.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. JTG D30-2015 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Ministry of Transport of the People's Republic of China Specifications for Design of Highway Subgrades [S]. Beijing: China Communications Press, 2015.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50330-2013 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB 50330-2013. Technical code for building slope engineering [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2013.