

# 黄土地区某事故建筑物不均匀沉降机理分析

胡玉定<sup>1,2</sup>, 姚继涛<sup>1</sup>, 韩晓雷<sup>1</sup>, 王 燕<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 西部建筑科技国家重点实验室(筹), 陕西 西安 710055)

**摘 要:**通过对黄土某事故建筑物进行现场勘查, 并进行沉降观测, 在对该建筑物地基土性指标对比时, 发现该建筑物地跨灞河Ⅲ级阶地和低级黄土塬两个不同的地貌单元. 通过对厂房破坏机理进行分析, 发现由于低级黄土塬地基土的工程性能明显优于灞河Ⅲ级阶地地基土, 致使厂房沿分界线产生较大的剪切变形, 地基被雨水浸泡后, 加速了建筑物地基黄土的不均匀湿陷沉降, 最终导致建筑整体破坏.

**关键词:**湿陷性黄土; 不均匀沉降; 地貌单元; 沉降速率

**中图分类号:** TU471.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)03-0345-06

近年来, 随着中西部地区经济的发展和西部大开发战略的实施, 工业民用建筑工程、市政基础设施等建设项目大量兴建. 在实际生产建设中由于黄土湿陷性和地质情况不均匀造成的事故屡见不鲜.

本文拟通过对黄土地区某事故建筑物进行现场情况勘查, 同时对其进行不均匀沉降观测, 最终通过分析破坏机理, 查找建筑物破坏原因, 为西北黄土地区事故建筑物的破坏原因的寻求, 探索一些思路, 为今后类似建筑的勘察、设计、施工提供参考, 避免类似事故的发生.

## 1 建筑物概况

事故建筑物位于陕西省西安市东郊, 2006年12月发现裂缝扩展, 次年1月, 发现裂缝剧烈活动, 墙体和地面有裂缝. 在室内、外地面上近南北走向, 缝宽约2 cm的裂缝, 位于6、7轴线之间, 偏7轴位置, 墙体裂缝为张性剪裂缝, 羽状排列, 主要分布于厂房西部墙体, 倾向以东为主.

该建筑物于2003年12月竣工, 主厂房为单层排架结构, 独立基础, 基础埋深2.10 m, 建筑物檐高13.60 m, 长度为78.00 m, 跨度18.00 m; 附房为单层, 条形基础, 设计内地坪(±0.00)标高464.65 m, 室内地坪标高464.50 m. 事故厂房的破坏裂缝分布情况见图1~图4.



图1 厂房南门出裂缝

Fig. 1 Crack in the south wall of the workshop



图2 裂缝处墙皮脱落

Fig. 2 Outer surface falling off caused by the crack

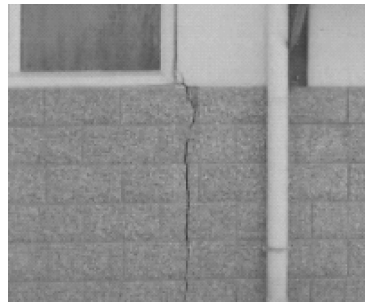


图3 厂房北纵墙处裂缝

Fig. 3 Crack in the north wall

## 2 工程地质概况

通过对事故建筑物进行病害岩土工程勘察, 显示建筑物场地地形总体由北东向南西倾斜. 地貌单元

收稿日期: 2011-11-11 修改稿日期: 2012-05-20

作者简介: 胡玉定(1981-), 男, 湖北枣阳人, 讲师, 博士, 主要从事地基处理、房屋加固、基坑支护的设计及研究工作.

属灞河 III 级阶地前缘, 现场勘察情况如图 5~图 10 所示。

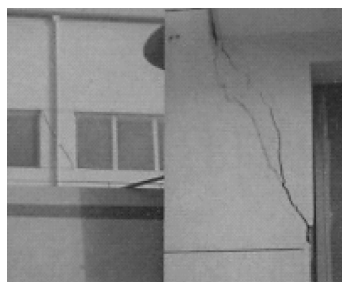


图 4 附房北墙处裂缝  
Fig. 4 Crack in the north wall  
in the attach-room

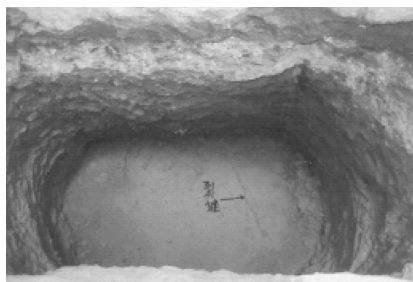


图 5 厂房南门处探井  
Fig. 1 Exploring pit at the south gate



图 6 探井 2 中挖出的灰土块  
Fig. 2 Outer surface falling off  
caused by the crack



图 7 从下到上裂缝由宽变窄  
Fig. 7 The crack narrows upward



图 8 探井 7 底部照片  
Fig. 8 The picture of No. 7  
Prospect's endophragmm



图 9 探井 3 俯视图  
Fig. 9 The picture of No. 3 Prospect pit

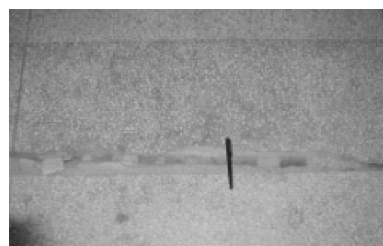


图 10 厂房地面裂缝(宽约 2 cm)  
Fig. 10 The flooring crack(wide approximately 2 cm)

根据野外勘探, 场地地表下 25.00m 深度范围内的地层主要由近期填土、5.00m 灰土垫层, 第四纪全新世坡、洪积黄土状土, 第四纪晚更新世风积黄土、残积古土壤, 第四纪中更新世冲积粉质粘土等构成。勘探深度范围内未见地下水。

场地属自重湿陷性黄土场地。地基湿陷等级属 II(中等)~III(严重)级。地基原为黄土斜坡, 残留有部分填土, 地基土不均匀, 2003 年雨季局部遇水湿陷。

### 3 沉降观测

#### 3.1 沉降观测点位布置

沉降观测的点位布置易于控制且能够反映事故建筑物状态的位置, 主要布置于柱点、墙角、主要轴线。沉降观测布置点位如图 11。

#### 3.2 沉降观测点位布置及沉降观测数据

对事故厂房进行了 158 d 的连续沉降观察, 观察的结果如表 2、表 3 所示。

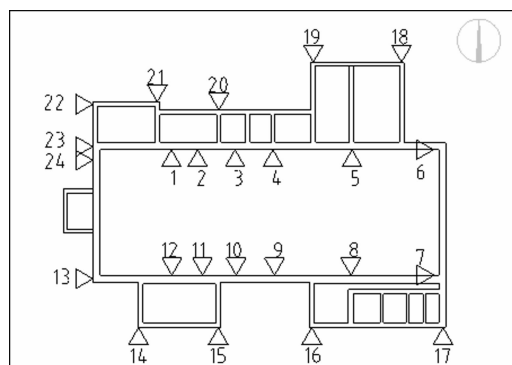


图 11 沉降观测布置点位图  
Fig. 11 Settlement observation arrangement bit map

表 2 1~12 号观测点位随时间累计沉降量表

Tab. 2 1-6th observation point positions with time accumulation subsidence meter

Point	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12
Axis	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 9	No. 11	No. 11	No. 9	No. 7	No. 6	No. 5	No. 4
t/d	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm
10	2.34	2.19	1.58	0.57	0.48	0.57	0.46	0.54	0.64	1.62	2.40	3.23
20	4.29	3.36	2.49	1.48	1.15	0.57	0.84	0.93	1.28	3.30	4.45	6.16
30	6.93	5.14	3.95	2.64	2.19	1.08	1.10	1.54	1.63	5.02	6.83	8.84
40	9.10	7.18	4.62	2.34	1.73	1.19	1.03	1.60	2.48	6.01	9.14	12.23
50	11.51	8.50	5.50	2.64	1.70	0.89	0.91	1.54	2.54	7.42	11.26	15.41
62	14.91	10.85	6.50	2.54	1.93	0.65	0.46	1.53	2.84	8.78	14.08	19.22
76	19.00	14.15	8.30	3.63	2.33	1.12	0.68	2.16	3.62	11.26	17.93	24.29
91	21.49	16.05	9.10	3.41	2.21	0.23	0.01	1.69	3.49	12.68	19.90	27.38
106	24.17	17.88	10.57	3.69	2.58	0.72	0.28	2.19	4.18	13.88	22.74	30.95
120	26.60	19.71	11.68	4.28	2.78	0.55	0.33	2.42	4.58	15.14	24.36	33.23
142	29.30	21.80	12.44	4.93	3.03	0.62	0.13	2.71	5.23	16.63	27.26	36.95
158	31.05	22.82	13.49	5.49	2.85	0.33	0.10	2.56	4.98	17.23	28.03	38.33

表 3 13~24 号观测点位随时间累计沉降量表

Tab. 3 13-24th observation point positions with time accumulation subsidence meter

Point	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	No. 19	No. 20	No. 21	No. 22	No. 23	No. 24
Axis	No. 2	No. 3	No. 6	No. 8	No. 11	No. 10	No. 8	No. 6	No. 4	No. 2	No. 2	No. 2
t/d	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm	s/mm
10	4.86	4.21	2.27	0.82	0.45	0.66	0.81	1.47	2.72	3.57	3.50	3.47
20	8.89	7.91	3.37	1.00	0.35	0.75	0.64	2.99	4.69	6.85	6.61	6.80
30	12.87	12.30	6.23	2.52	1.36	1.98	2.37	4.55	6.70	9.19	9.10	9.01
40	18.07	15.93	7.71	1.91	1.05	1.05	1.47	4.71	9.16	12.30	13.30	13.62
50	23.93	20.88	9.89	2.39	1.08	1.20	2.01	6.06	12.52	16.79	18.30	18.18
62	30.12	26.51	11.71	2.30	0.53	0.88	1.66	7.34	15.63	21.51	23.48	23.41
76	37.62	32.21	14.07	2.34	0.23	0.61	1.71	9.28	20.19	27.75	30.03	29.99
91	42.23	36.38	15.34	2.31	0.45	0.54	1.82	10.53	23.08	31.76	33.55	33.84
106	48.03	41.10	17.62	2.81	0.38	0.07	1.60	11.99	26.30	35.96	38.58	38.93
120	51.67	44.34	18.71	2.83	0.97	0.01	1.50	13.06	28.34	39.01	41.37	41.62
142	57.75	49.03	21.05	3.26	0.77	0.37	2.28	14.81	32.10	44.45	47.51	47.48
158	60.65	51.19	21.84	3.30	1.08	0.35	2.38	15.36	34.01	47.24	50.07	50.01

3.3 事故厂房沉降观测数据曲线分析

将沉降观测点的累计沉降量按同轴线上点进行比对统计,并画出各点随时间的累计沉降量曲线如图 12.

3.4 沉降观测分析结论

根据对事故厂房所进行的沉降观测结果进行分析可以知道:

- (1)6 号、7 号、17 号和 18 号观测点的地基沉降在整个建筑物的沉降观测期间几乎为零,沉降观测值显示整个观测系统的误差约为 2mm.
- (2)对 5 号、8 号、16 号和 19 号观测点沉降观测数据进行分析可得,8、9 轴线的沉降观测较小.
- (3)根据各点随时间的累计沉降量曲线图 12 知建筑物在从西向东差异沉降逐渐变小,东西两向有明显不均匀沉降.建筑物不均匀沉降分界线位于 6 轴线和 7 轴线之间.

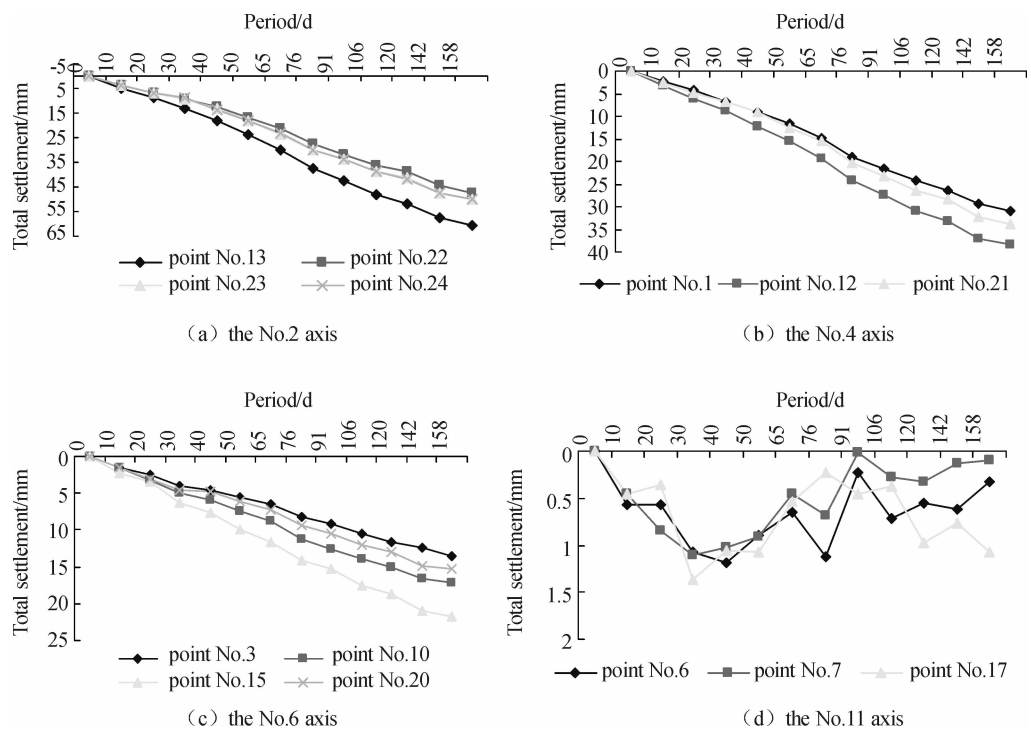


图 12 各轴线观测点累计沉降量-时间关系曲线  
Fig. 12 The total settlement of the observation points of the axis

4 地层结构分析

依据勘察情况,对建筑物地基土性行进比对,发现该事故厂房横跨两个地貌单元,其西侧为灞河Ⅲ级阶地,东侧为低级黄土塬。通过分析不难发现,灞河Ⅲ级阶地和低级黄土塬的土的工程力学性质存在明显差异,具体情况见物理力学性质指标比较表(表 1)。

表 1 物理力学性质指标比较表  
Tab. 1 Physical mechanics nature target comparison table

Landform unit	Stratum	Water content %	Void ratio	Coefficient of collapsibility	Coefficient of compressibility
Bahe river Ⅲ Stage place	Plain fill ③	19.2	0.871	0.045	0.34
	Loess ④	19.1	1.121	0.074	0.51
	Loess ⑤	23.2	1.095	0.029	0.25
	Ancient soil ⑥	20.0	0.979	0.024	0.20
Preliminary loess plateau	/	/	/	/	/
	Loess ⑦	19.9	1.037	0.057	0.38
	Ancient soil ⑧	20.3	1.035	0.039	0.30
	Loess ⑨	21.7	1.036	0.035	0.19
	Ancient soil ⑩	20.1	0.862	0.023	0.14

由表可知,低级黄土塬地貌上地基土的物理力学性质优于灞河Ⅲ级阶地上的地基土,厂房东侧(低级黄土塬)的地基土的压缩系数小,a1-2 的平均值分别为 0.38、0.30、0.19、0.14;厂房西侧(灞河Ⅲ级阶地)的地基土的压缩系数大,a1-2 的平均值分别为 0.51、0.25、0.20,说明地貌单元两侧土体工程性能存在差异,属于不均匀地基,导致了在受到相同的压力后变形量的差异。

## 5 事故厂房病因机理分析

事故厂房东西横跨低级黄土塬和灞河 III 级阶地两个地貌单元,在原砖瓦厂人工切坡取土后,形成不均匀地基,东部(低级黄土塬)地基土的工程性能明显优于西部(灞河 III 级阶地)地基土;深部地基土的工程性能明显优于浅部地基土,致使厂房西部地基沉降量、沉降速率和沉降梯度均明显大于东部地基,建筑场地情况还原如图 13。

地貌单元分界线(带)下一定深度(约 30m)范围内土体的工程性能比其两侧土体较差,形成应力集中,当其两侧差异沉降较大时,灰土垫层即沿此分界线(带)产生较大的剪切变形,产生裂缝乃至剪断,剪切面倾向西。

当灰土垫层产生较大的剪切变形(裂缝或剪断)时,其上的独立基础(附房为条形基础)和墙体随即产生剪切变形,当剪切应力大于材料的抗剪强度时,墙体即产生剪切裂缝。地面上、下的裂缝均为剪切裂缝,地面以下的裂缝倾向西,当墙体产生裂缝时,即以地面为法线平面镜像,墙体裂缝倾向东,厂房破坏机理见图 14。

## 6 结 论

该事故建筑物地基东西横跨低级黄土塬和灞河 III 级阶地两个地貌单元,东部(低级黄土塬)地基土的工程性能明显优于西部(灞河 III 级阶地)地基土;深部地基土的工程性能明显优于浅部地基土,在受到建筑物荷载作用后,建筑从西向东差异沉降逐渐变小,沿 6、7 轴线间的分界线东西两向有明显不均匀沉降。

由于地基被雨水浸泡,加速了建筑物地基黄土发生较大湿陷变形,建筑物东西两侧发生明显不均匀湿陷沉降,最终导致建筑整体破坏。

## 参考文献 References

- [1] 胡玉定. 黄土地区既有建筑物基础托换技术研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2009.  
HU Yu-ding. Study on Underpinning technology of existing buildings in Loess Region [D]. Master thesis, Xi'an University of Architecture and Technology,2009.
- [2] HU Yu-ding, WANG Yan. Study on Reinforcement Scheme of Foundation Underpinning Technology for Accident Buildings in Loess Region[C]. C Advanced Materials Research,2011:1321-1324.
- [3] 中国建筑科学研究院. 建筑地基处理技术规范(JGJ79-91)[S]. 北京:中国计划出版社,2000.  
China Academy of Building Research. Architectural Foundation Treatment Specification (JGJ79-91)[S]. Beijing: China Planning Press,2000.
- [4] WANG Yan, HU Yu-ding. Research on direction of wet-chemical model of loess[C]. C Advanced Materials Research,2011:2833-2836.
- [5] 中华人民共和国建设部. (GB50007-2002)建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.

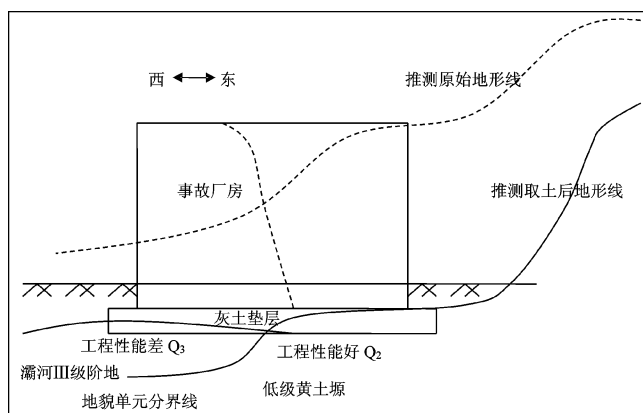


图 13 事故厂房破坏机理简图 1

Fig. 13 Failure mechanism diagram 1 of the problem workshop

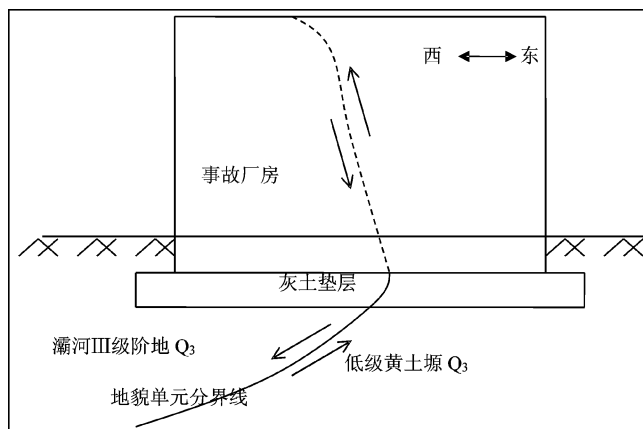


图 14 事故厂房破坏机理简图 2

Fig. 14 Failure mechanism diagram 2 of the accident workshop

- Ministry of Construction. (GB50007-2002) Design of building foundation [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2002.
- [6] 张永钧, 叶书麟. 既有建筑地基基础加固工程实例应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.  
ZHANG Yong-jun, YE Shu-lin. Reinforcement of existing examples of building foundation Application Notes [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2002.
- [7] 李惠强. 建筑结构诊断鉴定与加固修复[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.  
LI Hui-qiang. Diagnostic evaluation and strengthening structural repair[M]. Wuhan: Huazhong University Press, 2002.
- [8] 彭振斌. 托换工程设计计算与施工[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.  
PENG Zhen-bin. Underpinning calculation of engineering design and construction[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.
- [9] 钱家欢, 钱学德, 赵维炳. 动力固结的理论与实践[J]. 岩土工程学, 1986, 8(6): 1-17.  
QIAN Jia-huan, QIAN Xue-de, ZHAO Wei-bin. Theory and Practice of Dynamic Consolidation [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1986, 8(6): 1-17.
- [10] 董建国, 沈锡英, 钟才根. 土力学与地基基础[M]. 上海: 同济大学出版社, 2005.  
DONG Jian-guo, SHEN Xi-yin, ZHONG Cai-gen. Soil Mechanics and Foundation[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2005.
- [11] 刘宗洲, 韩晓雷, 朱沈阳. 湿陷性黄土地区复杂场地地基处理方案选择[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 1999, 31(1): 51-53.  
LIU Zong-zhou, HAN Xiao-lei, ZHU Shen-yang. Selecting plans for ground treatment on an intricate field in the collapsible loess district [J]. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 1999, 31(1): 51-53.

## Analysis on differential settlement of some accident building in loess area

HU Yu-ding<sup>1,2</sup>, YAO Ji-tao<sup>1</sup>, HAN Xiao-lei<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

**Abstract:** By analyzing the scene investigation and the settlement observation of some accident building in Xi'an, the article has pointed out the reason of the accident project. Since the building is located across two different landform unit and the foundation design was unreasonable, the integral decline of the accident building has been accelerated by the rain water. Since the Loess Plateau soil project of the Low-level foundation is better than Grade III terraces Bahe foundation's the workshop was thus caught in a larger deformation along the border line. The article shows that the rain soaked the ground and accelerated the building of uneven collapsible loess foundation settlement, leading which eventually led to the destruction of the whole building.

**Key words:** collapsible loess; differential settlement; geomorphic unit; settlement rate