

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.05.019

大型储罐振冲碎石桩复合地基充水预压过程监测分析

高炳鑫¹,王 清²

(1.中石化集团管道储运公司,江苏 徐州 221008;2.吉林大学建设工程学院,吉林 长春 130026)

摘要 :对沿海某大型储罐振冲碎石桩复合地基充水预压过程监测资料进行了分析,探讨了充水预压过程中地基应力分布和变形特征.结果表明:用振冲碎石桩法加固后的储罐软土地基变形协调性良好,罐底最大平面倾斜 16 mm,最大非平面倾斜 7 mm;环墙基础钢筋内力最大值 74 kN,仅为设计值的 60%;罐底板桩土应力比在 2 左右,最大孔隙水压力系数 0.27.由此可见,用振冲碎石桩法加固储罐软土地基是成功的,可在类似工程中推广使用.

关键词 :大型储罐;振冲碎石桩;复合地基;充水预压;监测

中图分类号 :TU472 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)05-0580-05

随着我国经济飞速发展,越来越多的大型储罐被应用于沿海等交通较方便的软弱地基区域.大型储罐具有体积大、荷载大等特点.为确保其运行安全,需对软基进行处理.鉴于储罐具有可通过分级充水预压加固地基的独特条件,目前对其地基的处理方式一般是先对软基进行处理,形成复合地基后再充水预压.在充水预压过程中,为了及时掌握储罐基础的受力和变形,需要对整个充水预压过程进行监测.监测项目包括罐基础边缘环墙沉降、罐基础锥面变形、地基土孔隙水压力、地基土压力、环墙钢筋应力等^[1].很多学者已以一个或某几个监测项目为对象进行了研究和分析^[2-9],但是这些研究都不很全面.本文对沿海某大型储罐进行了较全面的监测,进一步探讨了大型储罐振冲碎石桩复合地基充水预压过程中地基的应力分布和变形特征.

1 工程概况

沿海某大型储罐,容积为 10 万 m³,储罐直径 80 m,高 21.8 m,采用钢筋混凝土环墙基础,基础底面处平均压力设计值为 270 kPa.储罐地基用振冲碎石桩^[10]加固.振冲碎石桩平面布置为环状,环与环间的距离平均为 2 m(1.9 ~ 2.1 m).碎石桩直径 1.1 ~ 1.3 m,置换率 0.30 ~ 0.35,设计桩长 9.9 ~ 10.3 m.罐体建成后进行分级充水预压,通过土的固结进一步提高地基承载力,同时在储罐投产运行前消除地基的大部分沉降,确保储罐正常使用.

储罐地基土层上部为素填土,其下为第四系滨海相淤泥质粉质黏土、淤泥质粉土、粗砾砂,基岩为中生代白垩系泥岩.根据其成因、岩性及工程力学性质的不同,共划分为 6 层,场地地基土层分布与基本特征见表 1,地基各土层的基本物理力学指标见表 2.

表 1 场地地基土层分布与基本特征

Table 1 Distribution and characteristics of foundation soils

土层	层号	层厚/m	岩性描述
素填土	1	0.5	以粉土、粉细砂为主,富含植物根系
淤泥质粉质黏土	2	2.5	软塑,具流变性,干强度中等
淤泥质粉土	3	4.4	松散~稍密,摇晃反应迅速,具触变性,混粉细砂
粉质黏土	4	4.0	可塑,稍光滑,韧性中等,干强度中等
粗砾砂	5	7.3	中密,饱和,混黏性土,底部含砾碎石
泥岩	6		泥质结构,层状构造,手掰易折断、易碎,遇水易软化

表 2 各土层的基本物理力学指标

Table 2 Physical and mechanical indices of soil layers

土层	含水量 $w/\%$	密度 $\rho/$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	孔隙比 e	塑性指数 I_p	渗透系数/($\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)		压缩系数 a_v/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa
					C_h	C_v		
淤泥质粉质黏土	34.0	1.83	0.964	12.5	8~28	1.2~90.0	0.65	3.0
淤泥质粉土	26.3	1.92	0.749	9.0	1.6~4.6	1.0~4.6	0.33	2.5
粉质黏土	21.6	1.99	0.628	11.2	0.27~29.00	3.0~3.2	0.26	7.3
粗砾砂	21.6	1.91	0.690	9.9	350~850	350~850	0.40	12.0

2 监测内容及测点布设

监测内容包括充水高度(荷载)、罐基础边缘环墙沉降、环墙钢筋应力、罐基础锥面变形、地基土压力、地基土孔隙水压力。测点布置以安全、可靠为原则,按照文献[1]规定布置(见图1)。监测罐基础边缘环墙沉降在环墙上单排均匀布置25个沉降观测点,监测环墙钢筋应力在环墙平面上均匀布设3个监测点,钢筋应力计布置在环墙垂直方向的3层钢筋上,每层钢筋布置4个钢筋应力计,监测罐基础锥面变形在罐底锥面布设9个测点,大致成“十”字交叉布置;监测地基土压力沿储罐径向布设2个断面,储罐底部环墙内布设9个测点,每个测点埋设2个土压力计,埋设于碎石桩桩顶的选择界面式土压力计,埋设于桩间土内的选择土中土压力计。环墙底部共4个测点,每个测点在环墙底部桩间土中埋设1个土压力计;监测地基土孔隙水压力沿储罐径向布设4个断面,每个断面沿不同深度埋设孔隙水压力计,共布设43个孔测点。

□ 环墙沉降观测点 ■ 土压力观测计 ● 锥面沉降观测点 ⊕ 孔隙水压力计 ϕ 钢筋应力观测计

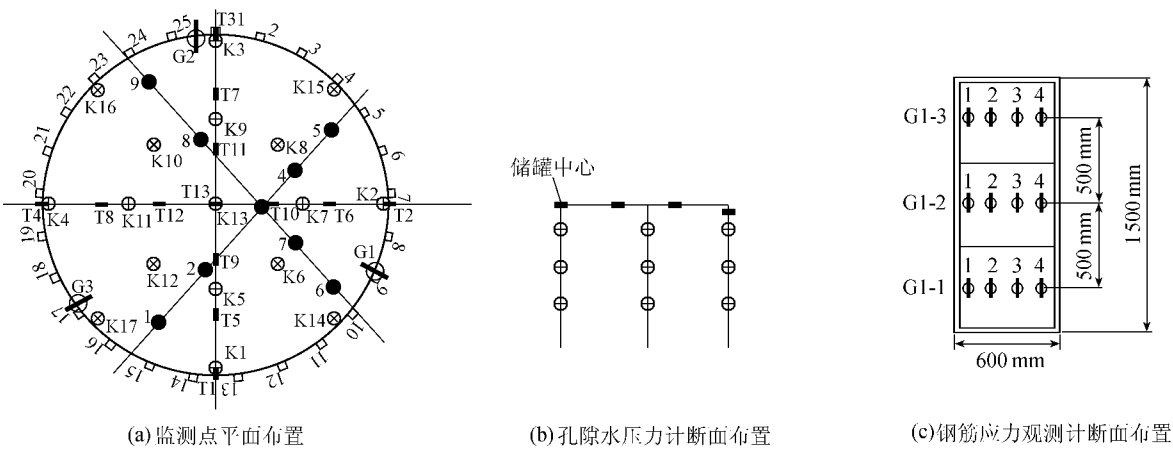


图 1 监测点布置

Fig. 1 Layout of measuring instruments

3 监测成果与分析

3.1 罐基础边缘环墙沉降

环墙沉降包括建罐期沉降和充水预压期沉降。建罐期间环墙平均沉降量为12 mm;充水预压期,环墙沉降过程曲线和平均沉降曲线见图2,最大沉降量为120 mm;泄水完成后,回弹13.40 mm,回弹率为13%;对径点沉降差最大值为12、25两点,其值为16 mm;相邻点沉降差最大值为10、11两点,其值为7 mm。

3.2 环墙钢筋应力

实测荷载-环墙钢筋应力-时间过程曲线见图3。环墙浇筑混凝土凝固收缩传递给钢筋的作用力平均值为-6.3 kN。充满水后,钢筋受力达到最大,平均值为41.2 kN(最大值74 kN)。泄水完成后其平均值为34.8 kN,泄水完成后1个月平均值为28.4 kN。

3.3 罐基础锥面变形

罐基础锥面变形曲线见图4。在充水初始阶段,环墙与底板两者的沉降速率不一致,环墙累计沉降量比底板大3~4 cm。当充水高度达到15 m左右时,两者的沉降速率已经得到调整。当充水高度超过17 m以后,两

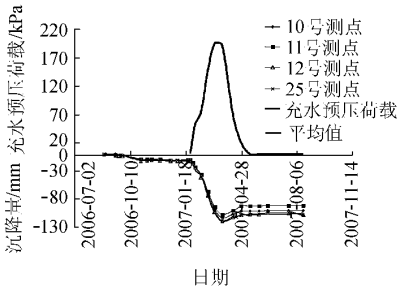


图2 充水预压荷载-沉降-时间过程曲线

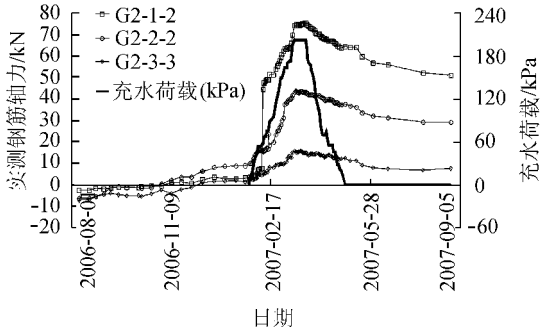


图3 充水预压荷载-环墙钢筋应力-时间过程曲线

Fig. 2 Curves of water filling load-settlement-time Fig. 3 Curves of water filling load-stress of steel bars in ring wall-time 者的沉降速率基本同步,“十”字方向的一条线(1~5号点)总沉降量已经相当,但另一条线(6~9号点)底板总沉降量比环墙大1~2 cm. 充水完成后底板锥面坡度未损失.

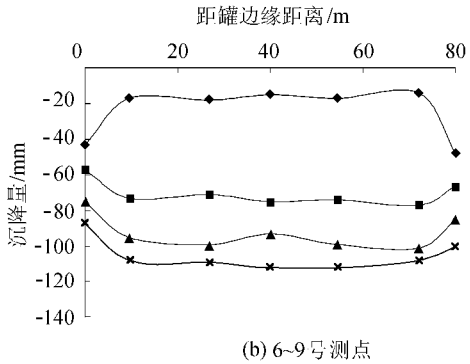
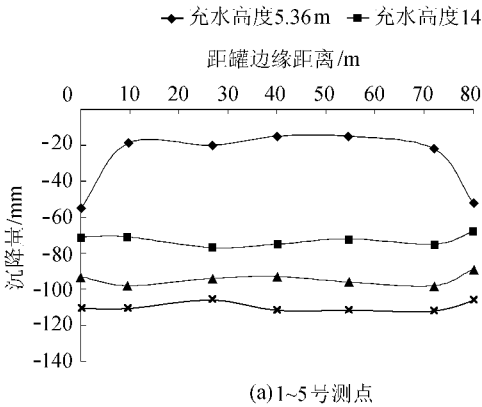


图4 锥面沉降曲线

Fig. 4 Settlement curves of cone

3.4 罐基础土压力

由罐基础土压力曲线(图5)可知,环墙底部土压力计实测的土压力随充水高度升高稍有增加.罐内充满水时,土压力最大增加60 kPa,储罐中心桩顶实测的土压力增加314 kPa,桩间土实测土压力增加125 kPa.从桩土应力比曲线(图6)可以看出:T7监测点随着充水高度的增加,桩土应力比逐渐增加,说明桩顶处碎石桩较密实,桩承担荷载较多;T8监测点随充水高度的增加,桩土应力比逐渐减小,说明桩顶处碎石桩不够密实,或者碎石桩上面的垫层不够密实,桩承担的荷载不大;T10监测点随着充水高度的增加,桩土应力比基本保持不变,说明桩、土承担荷载的比例在充水过程中基本一致.

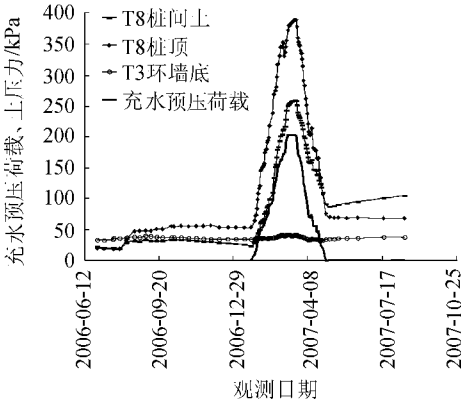


图5 罐基础土压力曲线

Fig. 5 the curves of soli pressure

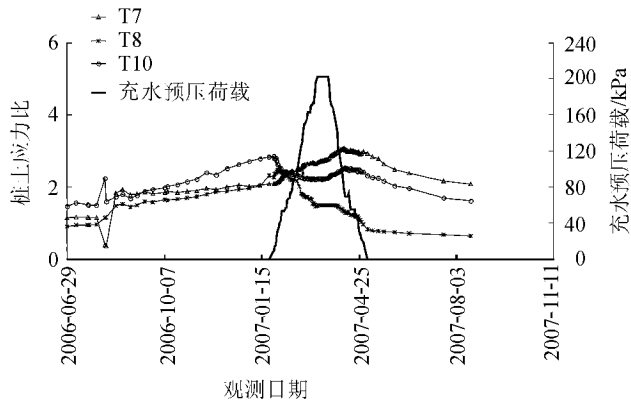


图6 罐基础复合地基桩土应力比曲线

Fig. 6 Curves of soli pressure of tank foundation

3.5 地基土孔隙水压力

储罐充水开始至 5.3 m ,其孔隙水压力平均增量为 5.85 kPa ,孔隙水压力系数平均值为 0.11 ;最大孔隙水压力增量为 12.3 kPa ,孔隙水压力系数为 0.23 .从 5.3 m 开始充水至 9.4 m ,充水高度增加 4.1 m ,其孔隙水压力平均增量为 2.1 kPa ,孔隙水压力系数平均值为 0.05 ;最大孔隙水压力增量为 5.2 kPa ,孔隙水压力系数为 0.13 .从 9.4 m 开始充水至 15.0 m ,充水高度增加 5.6 m ,其孔隙水压力平均增量为 4.6 kPa ,孔隙水压力系数平均值为 0.08 ;最大孔隙水压力增量为 15 kPa ,孔隙水压力系数为 0.27 .储罐从 15 m 开始充水至 20.2 m ,充水高度增加 5.2 m ,其孔隙水压力未增加 .充水过程中 ,孔隙水压力系数均小于控制设限值 0.6^[11].

4 结 语

- a. 储罐充满水时 ,环墙基础最大沉降量为 120 mm ,最大平面倾斜 16 mm ,最大非平面倾斜 7 mm ,总沉降量和不均匀沉降较小 .可见 ,用振冲碎石桩法加固储罐软土地基是成功的 ,可在类似工程中推广使用 .
- b. 罐充满水后 ,钢筋受力最大值为 74 kN ,设计值为 114 kN ,安全储备较大 ,可优化 .
- c. 从本次监测结果看 ,环墙与罐底板沉降不同步 ,充水前期 ,储罐底板的沉降滞后于环墙 ,随充水预压荷载的增加 ,两者逐渐同步 .充水完成后罐底板锥面坡度未损失 ,也未产生凹凸现象 ,罐底板和环墙沉降较一致 .
- d. 实测罐底板下桩土应力比规律性不强 ,桩土应力比在 2 左右 ,比较符合实际情况 .
- e. 储罐充水预压过程中 ,孔隙水压力随充水荷载的增加而增加 ,最大孔隙水压力系数为 0.27 ,小于控制设限值 0.6 ,安全储备较大 ,在类似工程中可加快充水进度 ,以缩短工期 .

参考文献 :

[1] SH/T3123—2001 石油化工钢储罐地基充水预压监测规程[S].

[2] 李杰,周昌清.充水预压的油罐锥面沉降和地基变形观测[J].水利水运工程学报,2004,32(2):59-62.(LI Jie,ZHOU Chang-qing. Measurement of cones settlement of oil tank and foundation deformation due to preloading by water filling method[J]. Hydro-science and Engineering,2004,32(2):59-62.(in Chinese))

[3] 王文军,朱向荣.大型油罐地基变形特性分析[J].建筑结构,2007(11):35-37.(WANG Wen-jun,ZHU Xiang-rong. Study on deformation properties of soil foundation under a large oil tank[J]. Building Structure,2007(11):35-37.(in Chinese))

[4] 季惠彬,范传宝.大型油罐充水预压地基监测[J].岩土工程界,2004(8):54-57.(JI Hui-bin,FAN Chuan-bao. Monitoring for controlled water test to preload large oil tank subgrade[J]. Geotechnical Engineering World,2004(8):54-57.(in Chinese))

[5] 李杰,刘武.油罐地基孔隙水压力监测与分析[J].炼油技术与工程,2005(2):49-52.(LI Jie,LIU Wu. Monitoring and analysis of pore water pressure of oil tank subgrade[J]. Petroleum Refinery Engineering,2005(2):49-52.(in Chinese))

[6] 李书华,战永亮,董海波.大型储罐地基充水预压监测分析与研究[J].山东科技大学学报:自然科学版,2008(6):63-66.(LI Shu-hua,ZHAN Yong-liang,DONG Hai-bo. Analysis and research about the monitoring for the foundation of large scale oil storage tank with pre-compressed water[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science,2008(6):63-66.(in Chinese))

[7] 荆少东.大型储罐充水预压过程中环墙基础沉降观测[J].岩土工程界,2004(10):43-45.(JING Shao-dong. Monitoring the settlement of ring wall during water test to preload of large storage tank[J]. Geotechnical Engineering World,2004(10):43-45.(in Chinese))

[8] 赵同顺,周波.大型油罐地基变形特性的研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(6):1037-1043.(ZHAO Tong-shun,ZHOU Bo. Deformation behaviors of soft foundation under large oil tank[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2004,23(6):1037-1043.(in Chinese))

[9] 刘建泰,马义华,宁仟俊.某大型储罐复合地基沉降计算分析[J].湖南环境生物职业技术学院学报,2007(3):26-29.(LIU

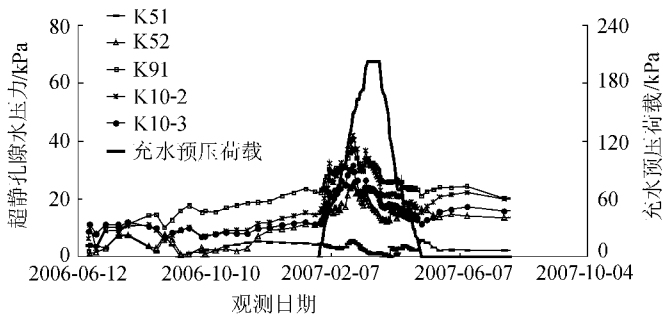


图 7 罐基础孔隙水压力曲线

Fig. 7 Curves of pile-soil stress ratio of composite foundation of tank

- Jian-tai ,MA Yi-hua ,NING Xian-jun. Analysis of settlement of composite foundation[J]. Journal of Hunan Environment-Biological Polytechnic 2007(3) 26-29.(in Chinese))
- [10] JGJ79—2002 建筑地基处理技术规范[S].
- [11] GB50341—2003 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范[S].
- [12] 祝琼岩. 钢储罐基础环墙的设计与实践[J]. 工程建设与设计 2005(9) 60-62.(ZHU Qiong-yan. Design and practice for ring wall of stell tank[J]. Construction & Design for Project 2005(9) 60-62.(in Chinese))
- [13] 贾庆山. 振冲与充水预压综合处理大型油罐软地基工程实例综述[J]. 石油工程建设 ,1996(2) 7-10.(JIA Qing-shan. Example for soft sub-grade treatment of large oil tank using VCS piling & preloading[J]. Petroleum Engineering Construction ,1996(2) 7-10.(in Chinese))

Monitoring analysis of pre-compressed water filling of composite foundation with vibroflotation crushed stone piles for large scale storage tanks

GAO Bing-xin¹ , WANG Qing²

- (1. Pipeline Storage and Transportation Company of Sinopec Group , Xuzhou 221008 , China ;
2. College of Construction Engineering , Jilin University , Changchun 130026 , China)

Abstract : The monitoring data of pre-compressed water filling for treating the composite foundation of a coastal large scale storage tank by use of vibroflotation crushed stone piles were analyzed. The stress distribution and deformation characteristics of the foundation during the process of pre-compressed water filling were discussed. The results indicate that the foundation of the large scale storage tank treated by use of the vibroflotation crushed stone piles exhibits satisfactory coordination. The largest plane incline of the tank bottom is 16 mm , and the largest non-plane incline is 7 mm. The largest stress of steel bars in the ring wall is 74 kN , which is only 60% of the design value. The stress ratio between the piles and the soil at the tank bottom is about 2. The largest coefficient of pore water pressure is 0.27. It is seen that the method of vibroflotation crushed stone piles is successful in treating the soft foundation of large scale storage tanks , and it can be applied to similar projects.

Key words : large scale storage tank ; vibroflotation crushed stone pile ; composite foundation ; pre-compressed water filling ; monitoring