



水下灌浆工艺在码头抛石基床加固中的应用

何胜党

(招商局漳州开发区有限公司, 福建 漳州 363105)

摘要: 通过合理配置水下不离析水泥砂浆, 利用暗基床四周土体和已安沉箱所形成的相对密封环境, 采用在沉箱上预埋灌浆管及搭设施工平台, 以及选择合适的灌浆施工参数等技术措施, 海中独立墩沉箱抛石基床的水下灌浆工艺在青岛港30万吨级原油码头建设中得以应用。压力灌浆可以实现抛石基床的整体密实, 基本消除后期沉降, 对类似工程具有参考意义。

关键词: 水下灌浆; 抛石基床; 加固

中图分类号: U 655.54⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)05-0156-04

Application of underwater grouting technology for reinforcement of wharf's rubble-mound foundation

HE Sheng-dang

(China Merchants Zhangzhou Development Zone Co., Ltd., Zhangzhou 363105, China)

Abstract: The underwater grouting technology of rubble-mound of a single gravity pier is applied successfully in Qingdao 300 000 DWT crude oil wharf's construction by the technical measures such as proper configuration of sanded cement grouting without occurrence of segregation using relatively sealed condition formed by soils around closed bedding and caisson installed, use of built-in grouting pipe and construction platform on caisson, proper construction parameters, etc. The rubble-mound foundation can be compacted and its settlement after construction can almost be avoided by underwater grouting, which provide reference for other similar projects.

Key words: underwater grouting; rubble-mound foundation; reinforcement

青岛港原油码头三期工程设计靠泊能力30万吨级, 泊位水深-24 m, 年通过能力1 800万t, 工程主体由引桥和码头两部分组成, 呈蝶型布置, 码头长520 m, 引桥长852 m, 桥体单孔跨距80 m, 引桥桥面结构为后张预应力混凝土变截面连续箱梁形式, 12个桥墩基础采用圆沉箱重力墩式结构, 持力层为中风化花岗岩, 抛石基床厚度2~3 m, 为暗基床, 基顶设计应力值不大于800 kPa。

海港工程中采用混凝土连续箱型桥方案比起钢桁架桥方案有着抗腐蚀性好、耐久性高、维护费用低等显著优点, 但桥墩基础的不均匀沉降要

求更高。本工程设计要求沉箱墩不均匀沉降 ≤ 2 cm, 采用常规水上基床夯实工艺不能满足要求, 经论证, 确定采用水下压力灌浆工艺对引桥桥墩抛石基床进行处理。

灌浆法由于加固效果显著、施工设备简单、施工迅速和工程造价低廉等优点在陆上地基处理中得到广泛使用^[1-4]。在本工程实践中, 通过对灌浆目标的特性及施工条件等进行分析, 采取一定的技术改进措施, 将陆上压力灌浆工艺引入水下施工环境, 在重力墩式码头的抛石基床加固中得以成功应用。

收稿日期: 2013-09-21

作者简介: 何胜党(1964—), 男, 高级工程师, 主要从事工程建设管理工作。

1 施工工艺及质量控制

基床灌浆是通过灌浆管在已安装完沉箱的抛石基床空隙内压注水泥砂浆，水泥砂浆凝固后和级配块石形成一定强度的固结体，增加基床整体强度和稳定性，减小基床本身的沉降量，控制沉箱墩基础沉降达到上部桥梁的正常使用要求。

在实施水下抛石基床灌浆的过程中应充分考虑潮流的影响，防止注入的浆液随水流流失，应解决如何在水下抛石体中形成完整的灌浆孔，并保证抛石基床的相对密封性。经多方论证，采用先安放沉箱和沉箱顶部的封仓扇型块（扇型块与扇型块之间在沉箱仓格隔墙处的接缝混凝土先不浇筑，以便于钻孔和注浆从隔墙中的预埋管中顺利实施），再实施钻孔和注浆，这样既可以保证加固体的相对密封，又为水上施工创造了作业平台，沉箱预制时预留钻孔（图 1）。

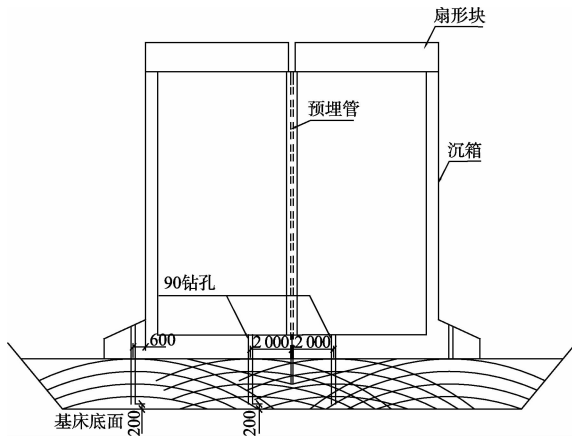


图 1 灌浆效果

1.1 施工工艺流程

施工工艺流程为：抛石基床施工→沉箱及扇型块安装→施工平台架设→施工设备就位→灌浆钻孔→混凝土搅拌船制备砂浆→灌浆施工→浆面观测→施工结束起拔压浆管。

1.2 施工平台架设

施工平台采用工字钢 U 型架临时搭设，架口伸出沉箱不小于 1.3 m，钻机总质量约 1.2 t，考虑钻机振动影响，末端承载力应满足 2.0 t/m²要求（图 2）。

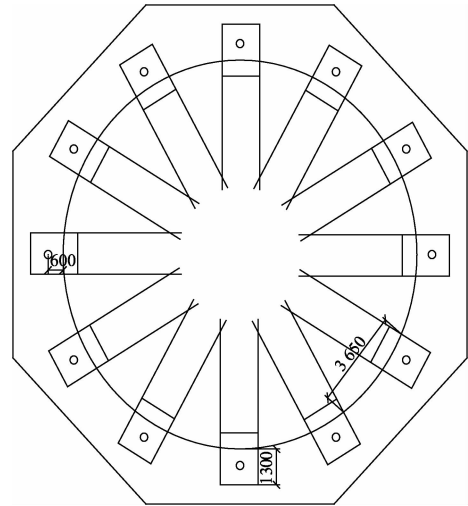


图 2 施工平台架设

1.3 注浆孔布置

沉箱设置 19 个注浆孔，呈环形布置二排孔，外环 15 个孔，距沉箱外壁 60 cm，内环孔距沉箱中心 2.0 m，预制沉箱时在沉箱趾和隔墙内分别预埋注浆管，注浆管采用管径为 $\phi 110$ mm 钢管，由于沉箱高度达 30 m 以上，且是分层预制，因此沉箱隔墙内预埋管的垂直度应严格控制，确保钻机顺利下钻（图 3）。

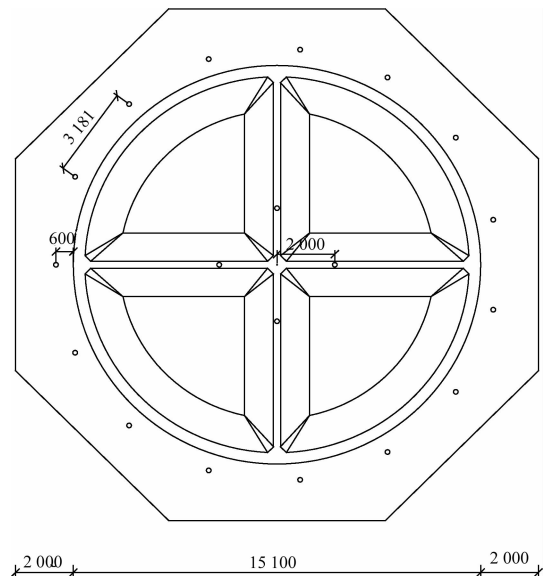


图 3 沉箱预留钻孔布置

1.4 钻机钻孔

钻孔采用 SGZ-III A 型回转钻机金刚石钻头钻进的方法进行施工，钻孔孔深钻至基岩下 0.5 m，钻孔结束后采用钻机卷扬机将压浆管送至基岩面。

钻进过程中，控制用水量、压力及回次进尺，以便提高钻进效率，并详细记录钻进过程中的孔内情况，如岩石破碎、夹泥厚度等。

1.5 制浆

1) 浆液配合比：本工程施工中所拌制砂浆为 M20，配合比拟定为水:灰:砂 = 1:2:2，为改善砂浆性能，掺入 1% 的高效减水剂。

2) 砂浆流动度：适当的流动度对于砂浆的性能与灌注质量非常重要，流动度过小，砂浆材料会出现离析，影响其强度和耐久性；流动度过大，砂浆粘稠，就难以将块石间空隙填充密实，直接影响注浆质量。借鉴工程实例，结合室内试验，确定流动度指标在 16 ~ 25 s。

3) 水泥：制浆所用水泥为 P. O32. 5R 普通硅酸盐水泥。

4) 砂：制浆所用砂为中细砂，平均粒径 2.5 mm 左右，细度模数在 1.8 ~ 2.4。

施工中严格控制砂浆原材料质量，对每批次水泥、砂等原材料进行抽检，每个施工段做 1 组砂浆试块。采用混凝土拌和船进行浆液制备。

1.6 压力灌浆

注浆前，首先对压浆管进行起拔、试水试验，使压浆管离开基床底面 10 cm，保证压浆管贯通良好，然后与灌浆泵密闭连接，灌浆泵通过吸浆槽上接储浆罐。灌浆压力通过现场典型施工取为 0.2 MPa，压浆过程中，应密切注意灌浆压力，当压力上升，同时出现浆液压不下去时，将压浆管提升 20 cm 继续压浆，依次循环，直至压浆管提至基床顶面浆液压不下去为止，以保证砂浆由底到顶充分灌注、填充在块石间。在相应部位施工中，采用潜水员水下探摸检查，沉箱四周基床表面有砂浆溢出，基床空隙浆液充填饱满。升浆结束起拔注浆管，并转至下一个施工区域。本工程码头水域纵向最大流速 1.2 m/s，尽管基床处于水深较深的海底部位，流速显著衰减，注浆时仍尽可能选择平潮时段施工。

2 灌浆后效果分析

施工完成后，为检验灌浆效果，从 2 个方面进行分析：1) 通过施工中灌入基床的砂浆用量与抛石基床孔隙率的比较推断浆液是否充填饱满；2) 通过对沉箱的沉降观测数值检验是否符合设计要求。

2.1 砂浆用量

本工程共对 12 个沉箱重力墩抛石基床实施灌浆处理，灌浆用量统计如表 1 所示。表中，灌浆总量为 13 788 m³，抛石总量为 33 020.2 m³，灌浆量为抛石量的 41.76%，施工规范中给出的抛石空隙率为 38% ~ 42%，表明灌浆量与抛石空隙相符合，据此可以认为浆液已充填饱满。

表 1 沉箱重力墩抛石基床灌浆用量统计 m³

墩号	抛石	灌浆量
0#	1 256	522
1#	1 501	625
2#	1 511	620
3#	1 685	698
4#	1 783	739
5#	1 711	708
6#	1 619	667
7#	2 896	1 168
8#	2 843	1 160
9#	3 125	1 289
10#	2 934	1 222
11#	2 900	1 185
P1#	7 257	3 185
合计	330 202	13 788

2.2 沉降观测

灌浆完成后，为了检验灌浆效果，施工过程中安排对各个墩台进行跟踪观测沉降量（表 2）。从表中可以看出，当沉箱上部引桥连续箱梁从合拢完成开始到合拢后 6 个月期间的沉降量在 5 ~ 15 mm，满足设计要求 20 mm 以内。参考以往相似工程实例，基床没有经过处理时的沉降量可达 50 mm 左右，看来本项目抛石基床经水下灌浆处理后后期沉降消除明显。

表2 墩台沉降观测结果

墩号	基床厚度/ m	累计沉降量/mm				
		合拢前	合拢后	合拢3个月后	合拢6个月后	合拢6个月期间
0 [#]	2.0	-7	-7	-7	-7	0
1 [#]	2.0	-5	-8	-15	-18	-10
2 [#]	2.0	-3	-3	-7	-8	-5
3 [#]	2.0	-20	-21	-28	-32	-11
4 [#]	2.0	-13	-13	-24	-25	-12
5 [#]	2.0	-14	-16	-27	-30	-14
6 [#]	2.0	-13	-14	-24	-26	-12
7 [#]	3.0	-15	-17	-25	-29	-12
8 [#]	3.0	-25	-28	-38	-43	-15
9 [#]	3.0	-23	-32	-35	-39	-7
10 [#]	3.0	-15	-24	-27	-31	-7
11 [#]	3.0	-24	-32	-36	-39	-7

本工程投产后经过多年营运,目前使用良好、质量可靠,但由于当时工期紧迫加之认识不足,现在看来,除了从上述2个角度去分析验证灌浆效果外,还可以通过以下手段来检验灌浆质量和效果,为今后类似工程提供更全面的参考。即在灌浆施工结束并达到龄期后对基床进行钻孔取芯,一是对芯样的直接观察可以更准确地判明基床灌浆结合体的完整性及砂浆在块石间充填饱满程度,二是对芯样修整后进行抗压强度检测等室内试验,可进一步对抛石基床在灌浆后的性能(诸如承载力和变形模量等)指标的提高进行定量描述,同时对浆液的配比、流动度及注浆压力等参数的合理性给出更科学的评价。

3 结语

1) 保证灌浆体在水下的相对密封是水下压力灌浆成功的关键,这样才能使浆液充分填充,且不会四处扩散甚至被水流冲走。工程选择先安放沉箱再实施压力灌浆,巧妙地利用了沉箱底板和基床抛石四周土体所形成的相对密封环境。进一步分析,如果抛石基床不是暗基床,而是明基床,要使压力灌浆成功实现,就必须对明基床四周采用模袋封堵等人工措施。

2) 能够充分利用沉箱自身结构预埋钢管,并合理布置,是沉箱安放后再实施压力灌浆的前提。

3) 砂浆配合比设计时除强度因素外,对浆液的流动性和黏稠度应重点考虑,施工时应结合典型施工对配合比及灌浆压力和提升高度进行确定,保证浆液在输浆管和抛石体中既能流动又不产生水下离析分散。

总之,利用沉箱安放后和暗基床特点所形成的相对密封环境、合理的浆液配合比及流动性、充分利用沉箱实现灌浆管的顺利埋设等技术措施,本工程的独立墩抛石基床压力灌浆在水下环境中成功应用,对类似工程具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 陈卓. 灌浆法在公路桥梁隧道施工中的应用[J]. 交通标准化, 2013(7): 119-121.
- [2] 孙冀珣. 浅谈压力灌浆法在湿陷性黄土地基加固中的应用[J]. 甘肃科技, 2012, 28(14): 118-119.
- [3] 贾红涛. 灌浆法加固处理软土路基[J]. 交通标准化, 2010(7): 102-104.
- [4] 张贵金, 曾柳絮, 陈安重, 等. 松软地层高压灌浆封孔浆体研制及应用论证[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(6): 1109-1116.

(本文编辑 郭雪珍)