

围堰灌注桩水下环保拆除技术研究及应用

王传鹏, 吕护生, 王明玉
(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 海水取排水箱涵陆域段在基坑支护干环境施工完成后, 需拆除陆域和海域箱涵对接口处的支护结构来完成海陆箱涵对接。为了解决传统液压破碎锤工艺受场地与设备站位影响只能依次拆除单根灌注桩的限制和对工期的影响, 文章对裕龙岛炼化一体项目陆域段箱涵成排灌注桩+高压旋喷桩支护的水下拆除进行技术研究和应用, 采用水下绳锯法切割灌注桩, 利用海上箱涵安装时既有的大吨位起重船整体吊装, 确定了绳锯切割设备、起重船整体吊装、吊装孔设计、吊索具等关键参数, 实现灌注桩水下绿色、安全拆除, 保证了项目顺利实施。

关键词: 灌注桩围堰; 水下拆除; 绳锯切割; 整体吊装

中图分类号: U655

文献标志码: B

文章编号: 2095-7874(2024)10-0097-05

doi: 10.7640/zggwjs202410017

Research and application of underwater environmental protection demolition technology for cofferdam cast-in-place piles

WANG Chuan-peng, LÜ Hu-sheng, WANG Ming-yu

(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: After the completion of the dry environment construction of foundation pit support, the support structure at the interface of the land and sea box culvert should be removed to complete the docking of the sea and land box culverts. In order to solve the limitation that the traditional hydraulic crushing hammer process can only dismantle cast-in-place piles in sequence due to the influence of site and equipment station location, and the impact on the construction period, this paper conducts technical research and application of the underwater dismantling of the pit supporting cofferdam with box culvert rows and high pressure jet grouting piles in the land section of Yulong Island refinery and chemical integrated project. The technology adopts underwater rope saw method to cut the cast-in-place pile, and uses the existing large-tonnage crane ship for integral lifting during the installation of the offshore box culverts to determine key parameters such as rope saw cutting equipment, integral lifting of crane, design of lifting hole and lifting attachments, realizing underwater green and safe dismantling of cast-in-place piles and ensuring the smooth implementation of the project.

Key words: cast-in-place pile cofferdam; underwater demolition; rope saw cutting; integral lifting

0 引言

近年来, 海水取排水项目逐渐增多, 取排水箱涵分为陆域段和海域段, 需在深基坑或围堰内干作业施工, 基坑或围堰支护止水结构形式多样化。而支护结构拆除工艺和施工设备的选择直接影响箱涵对接施工安全和施工效果。

围堰灌注桩支护拆除方法有人工拆除、机械

拆除、爆破拆除、静力切割拆除等^[1]。人工拆除广泛用于陆上小型支护和构筑物拆除, 对于水下构筑物拆除人工潜水作业量大, 安全风险较高。液压破碎机械拆除成本较低, 但对直径较大、钢筋密布的灌注桩破除效率较低且对结构物损伤较大, 广州仑头—生物岛隧道工程支护结构拆除采用水下液压锤^[2]。爆破拆除包括控制爆破和静态爆破,

爆破施工效率高,但控制爆破对周边建筑物振动和水域生态环境污染影响较大,且航道废弃物清理周期较长;静态爆破膨胀预裂时间较长,对工期影响较大,对拆除工程量不大的工程适应性较低,上海青草沙5号沟泵站坑内支撑与围堰拆除采用爆破技术^[3]。而静力切割拆除对钢筋混凝土结构的切割速度较快,施工过程噪音小、环境污染小、切割准确率高,对结构物的损伤较小,可以任意方向切割分解大体积和不规则形状钢筋混凝土结构^[4]。本文以裕龙岛炼化一体项目炼油区公用工程海水取水设施箱涵安装中围堰灌注桩拆除为例,综合施工场地起重设备站位受限、拆除水深较大、水域环境保护要求严格、工期紧张等因素,对双排灌注桩+高压旋喷桩围堰结构拆除采用静力环保破碎、起重船整体吊装的技术,研究水下静

力切割技术、整体吊装技术、成套工艺的环保作用并应用,效果良好。

1 工程概况

裕龙岛炼化一体项目炼油区公用工程海水取水设施包括2条取水箱涵,与海水泵房连通形成取水通道。为实现取水箱涵与海水泵房对接,需进行破堤并拆除海水泵房对接口范围内支护结构,围堰支护结构为双排钢筋混凝土灌注桩+顶部冠梁及连板+高压旋喷群桩+水泥土连续搅拌墙。灌注桩直径1.2 m,相邻桩中心距1.6 m,前、后排灌注桩中心距6 m,拆除高度8.2 m,处于水下。根据炼油区取水箱涵基床宽度,确定海水泵房支护结构和止水帷幕拆除范围为灌注桩拆除28根、冠梁及连板拆除长度25.2 m。围堰支护结构立面图如图1所示。

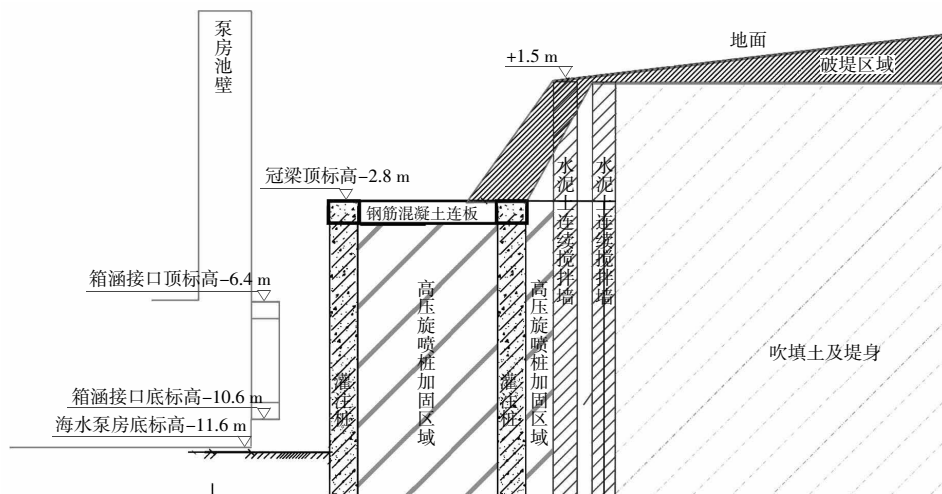


图1 围堰支护结构立面图

Fig. 1 Vertical view of cofferdam supporting structure

2 拆除技术

本工程灌注桩拆除位置水深8.2 m,根据起重船吊装能力,采用每7根灌注桩为1组拆除段,共拆除4组28根灌注桩,每组拆除段静力切割破除后,使用500 t起重船进行海上整体吊装倒运。具体施工流程为:陆域破堤开挖至标高-2.8 m→双排灌注桩顶连板破除→高压旋喷桩破挖至标高-4.3 m→灌注桩吊装孔钻设→高压旋喷桩破挖至标高-11.5 m→穿堤段土石方开挖→灌注桩穿绳孔钻设及导向工装安装→灌注桩静力切割→灌注桩整体吊装。本文重点对灌注桩静力切割技术、灌注桩整体吊装技术、成套工艺的环保作用进行探讨研究。

2.1 静力切割技术

静力切割是利用金刚石盘锯、绳锯等切割设备沿结构物指定路径,通过盘锯碟片或绳锯金刚石串珠高速运转削磨结构物,达到分解切割的目的。金刚石盘锯切割深度受锯片直径影响较大,传统的金刚石圆盘锯切割幅面仅能达到锯片直径的1/3,采用新型组合结构金刚石圆锯片的基体设计方案后切割幅面可达其直径的2/3左右,但随着锯片直径的增大,锯片、设备的使用成本都将呈指数级大幅增加^[5],因此不宜切割较厚或较大直径的结构,而且切割方向单一,较多应用于竖向切割中。金刚石绳锯切割则不受结构物尺寸、形状、切割深度和切割方向的影响,削磨速度较盘

锯快,在大型钢筋混凝土结构和水下环境施工中应用广泛。因此,本工程静力切割技术采用金刚石绳锯切割。

绳锯切割机选用型号 YG22-6, 尺寸 1.56 m×1.1 m×1.26 m, 输出功率 22 kW, 绳锯最大线速度 35 m/s, 主机重量 78 kg, 该机占用空间较小, 施工中支拆方便, 满足施工场地受限和工期的要求。

为保证绳锯横向、竖向切割顺利, 在拆除界限外灌注桩两侧布设绳锯导向工装, 将切割绳经导向轮、灌注桩底部穿绳孔及冠梁后连接绳锯, 实现灌注桩外侧高压旋喷桩的竖向切割, 绳锯在滑轨上移动收绳实现灌注桩底部横向切割。灌注桩穿绳孔钻设按照宜低不宜高的原则确定为低于箱涵底标高, 每切割完成 1 根桩便向已切割完成的桩缝内塞入钢板, 避免夹绳。灌注桩底部横向切割图见图 2。

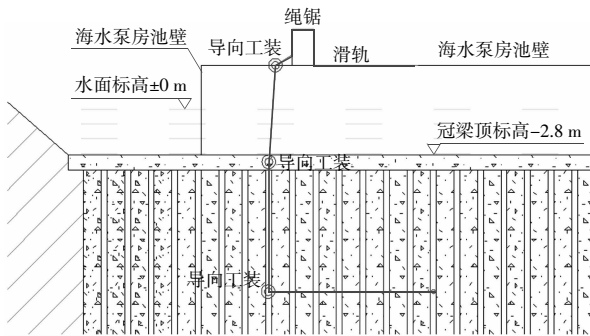


图 2 灌注桩底部横向切割图

Fig. 2 Lateral cutting diagram of cast-in-place pile bottom

2.2 灌注桩整体吊装技术

1) 单组拆除段荷载计算

单根灌注桩直径 1.2 m, 重量 $G_1=203.5$ kN; 拆除段冠梁重量 $G_2=448$ kN; 桩间高压旋喷桩桩间面积 0.25 m², 重量 $G_3=34.85$ kN。每组拆除段包括 7 根灌注桩、冠梁及其桩间旋喷桩, 单组灌注桩拆除段重量 $G=7 \times G_1 + G_2 + 7 \times G_3 = 2\ 116.5$ kN。

2) 起重船吊装工况选择

本工程选用“起重 11”作为灌注桩拆除段起吊船舶, 同时作为后期箱涵吊装的施工船舶, 节约船舶重复进场费用。综合考虑起重船吊装工况和拆除段冠梁混凝土强度, 确定拆除段吊装采用起重船双主钩起吊。起重船上吊高 60 m, 舷外跨距 30 m, 起重量为 5 000 kN^[6], 大于单组灌注桩拆除起吊重量, 满足本工程吊装要求。起重 11 号吊重、吊高和跨距关系图见图 3。

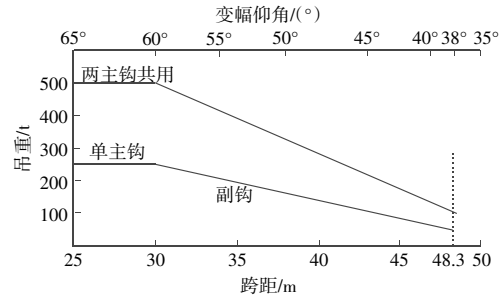


图 3 起重 11 号吊重、吊高和跨距关系图

Fig. 3 Relationship diagram of lifting weight, lifting height and span for crane No.11

3) 吊装孔设计计算

为便于后期对拆除段穿设钢丝绳吊装, 于冠梁底部、两灌注桩之间的高压旋喷桩区域进行吊装孔钻设, 根据起重船吊装工况和拆除段受力情况选用 4 点吊装, 吊点位置依据冠梁内力最小和吊装钢丝绳发挥最佳吊力的原则确定, 即吊点分段为 $0.104L$ 、 $0.293L$ 、 $0.206L$ 、 $0.293L$ 、 $0.104L$ (L 为跨度)^[7], 兼顾钻孔效率, 吊装孔位置确定为距离吊装段两端第 1、2 根桩和第 3、4 根桩中间的高压旋喷桩区间, 确定钻孔直径 400 mm 以便穿过钢丝绳卡环。

拆除段结构自重按均布荷载考虑, 计算模型简化为 4 点支连续梁, 冠梁吊装过程承受最大弯矩 $M=289$ kN·m, 最大剪力 $V=361$ kN。依据 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》^[8], 冠梁正截面受弯承载力设计值计算公式为:

$$M_u = \alpha_1 f_c b x (h_0 - x/2) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') = 343 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (1)$$

斜截面受剪承载力设计值计算公式为:

$$V_u = 0.7 \beta_h f_t b h_0 / \gamma_d = 1\ 340 \text{ kN} \quad (2)$$

式中: M_u 为冠梁受弯承载力设计值, kN·m; V_u 为受剪承载力设计值, kN; α_1 为系数, 混凝土强度不超过 C50 时取 1; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值, N/mm²; b 为截面宽度, m; x 为混凝土受压区高度, m; h_0 为截面有效高度, m; f_y' 为纵向钢筋抗压强度设计值, N/mm²; A_s' 为受压区纵向钢筋截面面积, m²; a_s' 为受压区钢筋合力点至受压边缘的距离, m; β_h 为截面高度影响系数; f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值, N/mm²; γ_d 为结构系数, 取 1.1。

经计算可知, $M_u > M$, $V_u > V$, 冠梁吊装过程中受弯和受剪承载力均满足规范要求。

4) 吊索具选型计算

起重船采用双主钩 4 点起吊, 4 点均匀受力,

吊点数量 $N=4$ 。取动载系数 $\gamma_1=1.1$ ，不平衡荷载系数 $\gamma_2=1.2$ ，计算荷载 $Q=\gamma_1\gamma_2G=2\,793.8\text{ kN}$ ；钢丝绳最小水平角度 $\alpha=70^\circ$ ，吊点处钢丝绳所受最大拉力 $F=Q/(N\sin\alpha)=743.3\text{ kN}$ 。

根据 GB/T 20118—2017《钢丝绳通用技术条件》，钢丝绳的最小破断拉力计算公式为：

$$F_0=K'\times D^2\times(R_0/1\,000) \quad (3)$$

式中： F_0 为钢丝绳最小破断拉力，kN； K' 为钢丝绳的最小破断拉力系数，取 0.33； D 为钢丝绳公称直径，mm； R_0 为钢丝绳公称抗拉强度，MPa。

根据 GB/T 16762—2020《一般用途钢丝绳吊索特性和技术条件》，钢丝绳工作极限载荷计算公式为：

$$WLL=F_0\times K_e/K_u \quad (4)$$

式中： WLL 为单根钢丝绳工作极限载荷，kN； K_e 为接头形式折减系数； K_u 为安全系数，取 5。

经计算可知，选择直径为 90 mm 的 6×37S-FC1870 钢丝绳， $WLL=750\text{ kN}>F$ ，满足规范规定的吊装安全系数要求。

经查表，选用卡环规格 S-DX85-3，额定荷载 85 kN。

2.3 成套工艺的环保作用

相比机械拆除、爆破拆除技术，金刚石绳锯静力切割技术噪音污染小，能有效降低对周边结构的振动损害，保证结构完整性。绳锯设备施工占用空间小，作业场地受限条件下能有效降低施工设备投入，减少污染排放。

为了避免绳锯切割灌注桩过程中受船舶晃动导致夹锯断绳等情况，通过设置导向工装进行水平和竖向切割，实现绳锯设备陆上作业，仅安装导向轮、导向工装和调试绳锯时需要潜水员配合，切割时只需单人远程遥控操作绳锯，实现机械化减人目标，保障施工过程安全。

3 应用效果

灌注桩整体吊装拆除图见图 4。



图 4 灌注桩整体吊装拆除图

Fig. 4 Integral hoisting and dismantling diagram of cast-in-place pile

在依托工程施工中，通过采用绳锯切割技术和灌注桩整体吊装技术，实现了围堰灌注桩水下绿色、安全拆除，施工质量满足后续工序箱涵的安装要求。

1) 工效分析

绳锯切割可连续作业，横向平均切割单根桩时间 3.5 h，竖向平均切割单根桩时间 8 h，每组桩平均切除时间 40.5 h，切割效率高。

2) 经济效益分析

与传统冲击钻工艺相比，总体工期节省 20 d，利用海上箱涵安装时既有的大吨位起重船整体吊装，避免了陆上新租设备抬吊费用，人员与设备费用节省约 60 万元。

3) 环保效果分析

绳锯切割过程噪音和粉尘污染小，对周围水域环境影响较小。绳锯静力切割工艺操作难度低，设备轻便，切割速度较快，可以多作业面协同作业，相同施工条件下设备和人工资源投入较少。绳锯切割灌注桩后的断面整齐、顺直，配合起重船整体吊装移位，有效减少了破除的残渣对航道的污染。

4) 安全可靠分析

绳锯切割作业时采用起重船辅助吊装使钢丝绳处于受力状态，保证待拆除灌注桩的整体稳定性，每切割完成 1 根桩向已切割完成的桩缝内塞入钢板，避免夹绳现象。绳锯切割完成后，拆除段与原围堰结构之间不存在粘连，有效降低了起吊过程的冲击荷载风险，提高起重作业安全性。

4 结语

本文以取排水项目围堰灌注桩水下拆除为研究对象，对“灌注桩静力切割+起重船整体吊装”成套技术进行了研究，确定了绳锯切割设备参数、起重船整体吊装工况、吊装孔设计、吊索具选型等关键参数，并在依托工程中应用，环保、安全效果良好。工艺总结如下：

1) 绳锯静力切割振动和粉尘污染小，利用导向工装能按照预先设计的切割方向切割任意形状和尺寸的结构物，水下切割破除效率高；

2) 绳锯切割配合起重船整体吊装，避免了新租赁设备进场抬吊的费用，场地受限条件下施工效率高，占用航道时间短，能够保证通航安全和工期；

3) 成套工艺施工过程安全可控，绿色环保，

符合国家“双碳”战略,可在类似水下结构拆除中推广,经济效益和社会效益显著。

参考文献:

- [1] JGJ 147—2016,建筑拆除工程安全技术规范[S].
JGJ 147—2016, Technical code for safety of building demolition engineering[S].
- [2] 钟伟春.水下混凝土墙体拆除技术及工艺优化[J].施工技术,2011(9):71-74,77.
ZHONG Wei-chun. Demolition technology and process optimization of underwater concrete wall[J]. Construction Technology, 2011(9): 71-74, 77.
- [3] 钱峰,王祺,李福清,等.泵站基坑内支撑与围堰爆破拆除技术研究[J].工程爆破,2010,16(3):63-67.
QIAN Feng, WANG Qi, LI Fu-qing, et al. Study on blasting demolition technique of supporting and circuit purlin in pumping station foundation pit[J]. Engineering Blasting, 2010, 16(3): 63-67.
- [4] 王鑫.基坑支护静力切割拆除工程的施工组织设计研究:以天津某党校项目为例[D].天津:天津理工大学,2021.
WANG Xin. Study on construction organization design of static cutting demolition project for foundation pit support: Take a party

school project in Tianjin as an example[D]. Tianjin University of Technology, 2021.

- [5] 鞠修勇.新型金刚石圆盘锯切系统优化设计研究[D].济南:山东大学,2008.
JU Xiu-yong. Study on the optimization design of new diamond circular disc sawing system[D]. Jinan: Shandong University, 2008.
- [6] 中交第一航务工程局有限公司.港口工程施工手册[M].2版.北京:人民交通出版社,2014.
CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd. Handbook for harbour engineering construction[M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [7] 黄荣,王立临.桥梁预制构件合理吊点位置确定[C]//中国西部地区公路学会2013年科技论文集,2013:168-170.
HUANG Rong, WANG Li-lin. Determination of the reasonable lifting point position of bridge prefabricated members[C]//2013 science and technology proceedings of Western China Highway And Transportation Society, 2013: 168-170.
- [8] JTS 151—2011,水运工程混凝土结构设计规范[S].
JTS 151—2011, Design code for concrete structures of port and waterway engineering[S].

(上接第43页)

0.01 m²/s)过程的计算。

2) 本文在EurOtop(2018)公式的基础上建立了周期 T_p 大于4 s时的越浪量修正公式,修正公式计算结果与数值模型实测结果误差较小。但在越浪量较小时,需要使用原EurOtop(2018)公式,以满足计算精度要求。

参考文献:

- [1] ASCE Hurricane Katrina External Review Panel. The New Orleans hurricane protection system: What went wrong and why[M]. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2007.
- [2] IPCC. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change[M]//Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
- [3] SAVILLE T. Large-scale model tests of wave run up and overtopping on shore structures[M]. Washington D C: U.S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1958.
- [4] IWAGAKI Y, SHIMA A, INOUE M. Effect of wave height and sea water level on wave overtopping and wave run-up[J]. Coastal Engineering in Japan, 1965(8): 141-151.
- [5] OWEN M W. Overtopping of sea defences[C]//Proceeding of intl. conference on hydraulic modelling of civil engineering. Coventry: BHRA Structures, 1982: 469-480.
- [6] VAN DER MEER J W, JANSSEN J P F M. Wave run-up and wave overtopping at dikes and revetments[M]. Delft, the Netherlands: Delft

Hydraulics, 1994.

- [7] EurOtop. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures[M]. UK: Environmental Agency/Germany: German Coastal Engineering Research Council/the Netherlands: Rijkswaterstaat, Netherlands Expertise Network on Flood Protection, 2018.
- [8] 陈国平,周益人,严士常.不规则波作用下海堤越浪量试验研究[J].水运工程,2010(3):1-6.
CHEN Guo-ping, ZHOU Yi-ren, YAN Shi-chang. Test study on wave overtopping under irregular wave action[J]. Port & Waterway Engineering, 2010(3): 1-6.
- [9] 周益人,潘军宁.堤坝开孔砌块抗浪稳定性试验研究[J].水利水运工程学报,2016(3):126-131.
ZHOU Yi-ren, PAN Jun-ning. Experimental study on stability of perforated concrete block revetment under wave action[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(3): 126-131.
- [10] PAN Y, LI L, AMINI F, et al. Influence of three levee-strengthening systems on overtopping hydraulic parameters and hydraulic equivalency analysis between steady and intermittent overtopping[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 2013, 139(4): 256-266.
- [11] 俞聿修,魏德彬.不规则波越浪量的试验研究[J].海岸工程,1992,11(1):1-12.
YU Yu-xiu, WEI De-bin. Experimental study on overtopping of irregular waves[J]. Coastal Engineering, 1992, 11(1): 1-12.
- [12] JTS 145—2015,港口与航道水文规范[S].
JTS 145—2015, Code of Hydrology for Harbour and Waterway[S].