

· 施 工 ·



# 港珠澳大桥西人工岛二次止水墙优化设计

陈海锋, 王婷婷, 梁 析

(中文第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

**摘要:** 当港珠澳大桥西人工岛岛上现浇暗埋段管节与海底沉管段预制管节对接施工时必须拆除部分止水钢圆筒围堰, 此时西人工岛内仍要求具备干施工条件, 因此需在岛隧结合部设置二次止水结构。采用三维 CAD 设计对二次止水墙施工全过程进行空间模拟, 研究各止水位置的薄弱环节, 优化止水结构设计方案, 保证止水面的连续过渡, 提高止水可靠性; 并运用 LUSAS 软件对二次止水墙结构进行三维应力分析, 得到的内力与变位与现场实测值较吻合。

**关键词:** 沉管对接; 钢圆筒; 拆除; 二次止水墙; 三维 CAD 设计

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)11-0184-04

## Optimal design of secondary seep-proof screen at west artificial island of HZMB

CHEN Hai-feng, WANG Ting-ting, LIANG Heng

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

**Abstract:** When the cast-in-situ cut & cover tube section at the west island of HZMB is joined with the prefabricated immersed tube in the sea floor, part of steel cylinder around the joint place must be dismantled. However, the west island is required to be satisfactory for the dry construction. Therefore secondary seep-proof screen shall be set inward the island. 3-D CAD is used for the spatial simulation of the whole construction process of secondary seep-proof screen, by which we can probe into the weak points and optimize the design of the seep-proof screen. In this way, the seep-proof surface is ensured to be continuous, and the reliability of seep-proof screen is improved. A 3-D finite element software LUSAS is also used to analyze the stress and displacement of the secondary seep-proof screen. The data gained from the software match well with the measured values on site.

**Keywords:** joining of tube butt; steel cylinder; dismantling; secondary seep-proof screen; 3-D design

港珠澳大桥主体工程采用桥隧组合方案, 修建东、西两座人工岛实现桥与隧在海上的转换与衔接, 两岛间 5.6 km 采用海底沉管隧道以保障伶仃西和铜鼓航道的通航要求<sup>[1]</sup>。东、西人工岛岛壁结构采用施工期具备止水围堰功能的插入式大直径钢圆筒, 钢圆筒沿人工岛岸壁前沿线布置, 圆筒间副格仓采用弧形钢板通过止水锁口连接。

西人工岛靠近珠海侧, 东侧岛隧结合部实现

暗埋段与海底沉管隧道衔接, 西侧敞开区与青州航道桥的引桥衔接。其中二次止水墙位于西人工岛上的岛隧结合部, 当预制沉管浮运至岛头与现浇暗埋段隧道结构对接时<sup>[2]</sup>, 需要拆除人工岛岛头的钢圆筒, 即拆除岛头原有的挡水结构, 此时西人工岛内仍需要具备干施工条件, 因此需要设置二次挡水墙来确保岛内的干施工条件(图 1)。二次止水墙由两部分组成, 一部分为隧道结构底部止水, 另一部分为隧道两侧止水。

收稿日期: 2016-04-05

作者简介: 陈海锋(1984—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口水运工程设计工作。

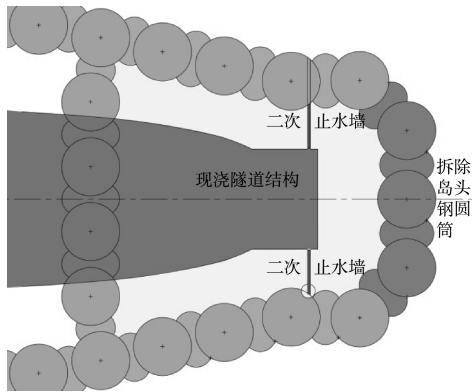


图 1 西人工岛二次止水墙位置

## 1 二次止水墙原结构方案及优化

二次止水墙原结构方案采用钢管板桩结构, 止水墙由隧道结构底部的 AZ18 钢板桩和两侧的钢管板桩组合而成(图 2), 板桩和钢管板桩组合均为无锚结构。钢管桩两侧焊接锁口, 采用 AZ18 钢板桩相连。底部止水钢板桩进入隧道结构底板下现浇趾 0.2 m。隧道结构两侧及两端的钢圆筒预留锁扣与钢管板桩上的锁扣相连。

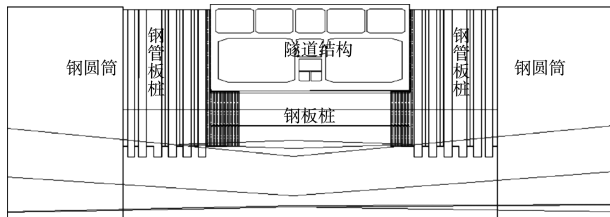


图 2 钢管板桩止水墙立面

二次止水墙原方案解决了沉管管节浮运安装时岛内仍需具备干施工条件的难题。但人工岛上施工场地有限、工序复杂, 不具备增加大型打桩设备施打钢管板桩的条件, 因此亟需对二次止水墙方案进行优化。结合岛隧结合部区域沉管结构的高压旋喷桩基础, 底部止水可采用连续的高压旋喷桩墙, 隧道结构底现浇突榫嵌入高压旋喷桩<sup>[3]</sup>; 侧止水采用现浇扶壁结构, 该结构的施工工艺较为成熟, 且较其他结构节省工程量<sup>[4]</sup>。优化方案的施工设备可利用沉管基础的高压旋喷桩设备, 施工工艺成熟, 止水更有保障, 解决了原方案存在的问题。

## 2 二次止水墙优化方案

优化方案中现浇暗埋段隧道结构底部止水由

3 排连续的高压旋喷桩组成, 高压旋喷桩的桩径为 1.0 m, 搭接宽度取 0.3 m, 入土深度 12.0 m, 高压旋喷桩深入底部不透水黏土层约 8 m, 较好地阻断了外海水体的渗流路径。高压旋喷桩止水结构与两端的钢圆筒相连, 形成完整闭合的底部止水水面。

隧道结构侧止水采用 C30 现浇钢筋混凝土扶壁结构(图 3), 扶壁结构底宽 13.0 m, 底高程与隧道结构底高程齐平。现浇扶壁侧止水方案有 2 个重难点: 1) 扶壁结构与隧道结构的连接, 采用了扶壁前壁与隧道结构侧面牛腿间预留 30 mm 的结构缝, 设置 Z9-30 橡胶止水带, 底部嵌入至凸榫底部(图 4), 并用沥青木丝板填充; 2) 扶壁结构与大直径钢圆筒岸壁结构的连接, 采用的方法是 AZ 板桩一侧与钢圆筒焊接, 另一侧现浇于扶壁结构前壁内, 底部嵌入至高压旋喷桩榫槽中(图 5)。采用钢板桩、橡胶止水带与两侧钢圆筒、隧道结构相连进行止水, 这种止水方式充分发挥了高压旋喷桩对淤泥质黏土不透水层的适应性及钢板桩、橡胶止水带等对变形的适应性。扶壁前壁与隧道结构底板下方现浇凸榫嵌入高压旋喷桩约 0.8 m, 确保扶壁结构与底部高压旋喷桩之间的止水可靠性。

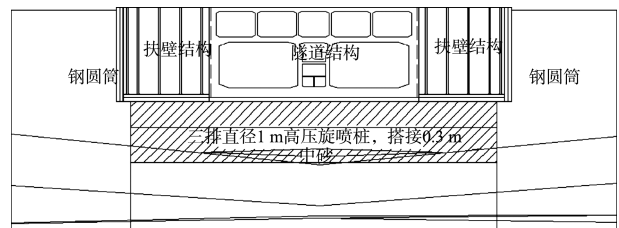


图 3 扶壁结构止水立面

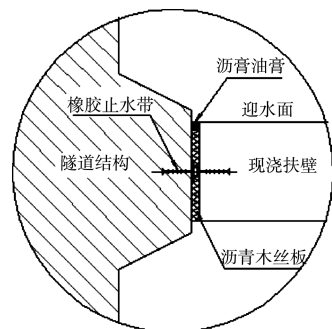


图 4 扶壁与隧道结构界面处理

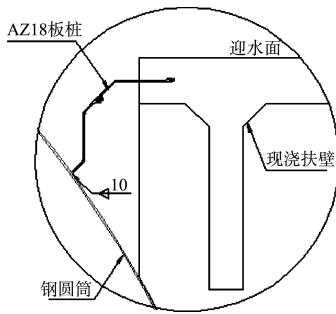


图5 扶壁与钢圆筒界面处理

在解决二次止水墙底止水、侧止水的难点过程中,采用三维CAD设计对二次止水墙整个施工过程进行模拟,可以全面研究分析各止水位置的薄弱环节,做到止水的万无一失,保障了岛内的干施工要求。

### 3 扶壁结构计算

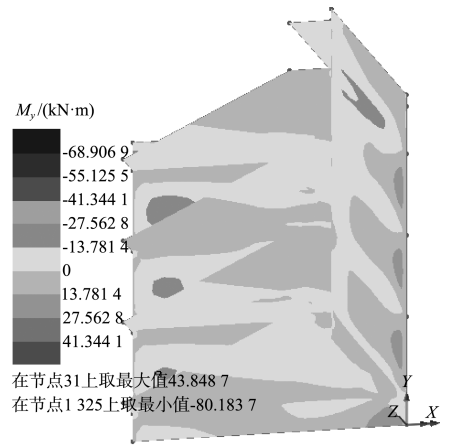
二次止水墙中的侧止水扶壁结构是设计优化的重点,采用国际通用有限元软件LUSAS对扶壁的受力进行计算,主要分析了扶壁结构在后方回填、回水等后续施工全过程中的受力及变形情况。

扶壁结构计算时考虑的最危险工况为:后方回填砂至扶壁顶部,扶壁前蓄水至与外海齐平。扶壁结构底板的约束采用弹簧约束,弹簧的弹性系数由地基土的参数等效计算得出。

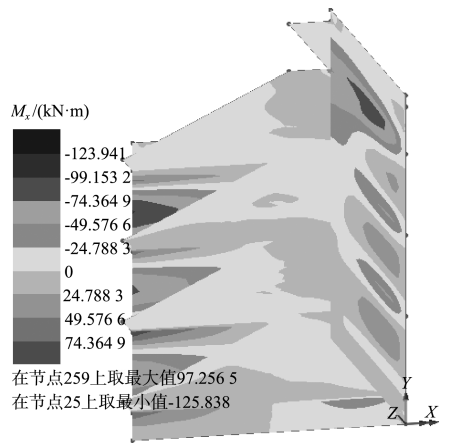
计算结果显示,在水压力的作用下,扶壁结构会有向后倾覆的趋势,计算得到扶壁结构前壁板顶部的最大位移为30 mm,满足扶壁结构两侧的Z9-30止水带和AZ板桩的变形要求。此时,扶壁结构的最大弯矩为120 kN·m(图6),结构受力满足要求。因此采用扶壁结构作为保障岛内干施工条件的二次止水墙是可行的。

### 4 三维CAD设计施工工序

人工岛岛体结构以及岛内堆载预压等施工完成后,开始对暗埋段现浇隧道结构及二次止水墙进行施工。由于人工岛上施工场地有限,施工工序复杂且相互干扰,工期紧张,需要尽快完成二



a) Y向



b) X向

图6 扶壁结构整体弯矩分布

次止水墙的施工以为预制沉管管节的对接提供条件,因此需要严格制定施工工序。在设计过程中采用三维CAD技术,直观地展示二次止水墙及沉管管节对接的整个过程,以便于考虑每个施工步骤之间的衔接及顺序的合理性。通过反复研究论证,最终制定了一个合理可行的施工方案,主要施工工序如下:

1) 现浇隧道结构、扶壁结构底部的3排高压旋喷桩止水帷幕施工(图7)。

2) 高压旋喷桩顶部凿出榫槽,现浇隧道、扶壁结构(图8)。

3) 扶壁结构后方回填中粗砂(图9)。

4) 扶壁前控制回水,拆除岛头钢圆筒后安装管节(图10)。

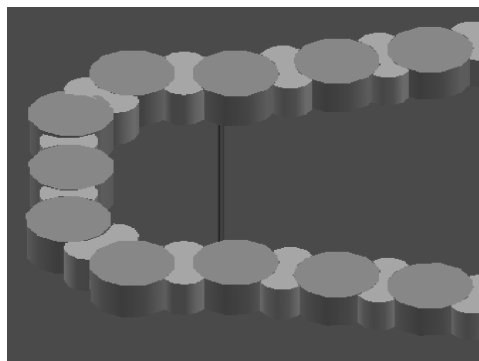


图 7 高压旋喷桩止水帷幕施工

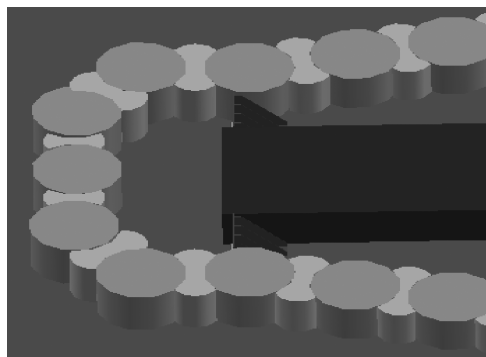


图 8 现浇隧道、扶壁结构

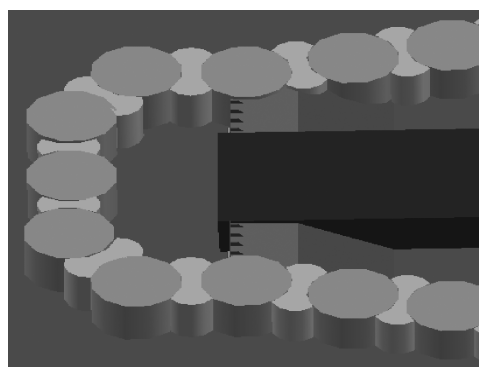


图 9 扶壁结构后方回填中粗砂

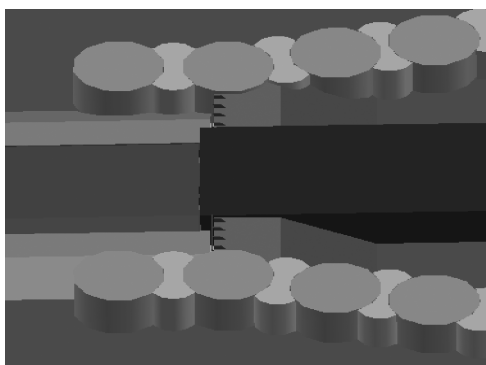


图 10 岛头回水、拆除圆筒并安装管节

## 5 监测数据

为监测二次止水结构的变形,在扶壁结构前壁板端部分别设置了位移观测点。目前扶壁结构已完工,墙前完成回水且管节已经顺利对接。根据实测资料显示,扶壁结构的水平位移为 20 mm,竖向位移 15 mm,与计算结果吻合较好;漏水量在 100 L/d,满足了后方干施工的要求。

## 6 结语

1) 西人工岛岛隧结合部选用高压旋喷桩与上部现浇扶壁结构联合止水,同时采用钢板桩、橡胶止水带与两侧钢圆筒、隧道结构相连进行止水。这种止水方式充分发挥了高压旋喷桩对淤泥质黏土不透水层的适应性及钢板桩、橡胶止水带等对变形的适应性。

2) 从监测结果看,二次止水墙的优化设计方案通过三维有限元计算模型较好地模拟了二次止水墙在回水过程中扶壁结构的受力及变形。

3) 基于三维 CAD 设计技术对二次止水墙及沉管管节对接的整个施工过程进行了模拟,全方位地研究分析各止水位置的薄弱环节,确保了止水结构的可靠性。因此,全施工过程的三维 CAD 设计可在施工工序复杂且各结构物空间联系较多的工程中为设计人员提供新视角。

## 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司,中交公路规划设计院有限公司,COWI A/S(丹麦科威国际咨询公司).港珠澳大桥主体工程西人工岛岛体结构施工图设计[R].广州:中交第四航务工程勘察设计院有限公司,2011.
- [2] 孙英广,梁桁,毛剑峰.港珠澳大桥岛隧工程桂山预制厂总平面设计[J].水运工程,2014(2):42-45.
- [3] 黄小峰.夹层土采用高压旋喷桩防渗止水与强度指标的对比分析[J].水运工程,2008(8):177-181.
- [4] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].