

# 滨海复杂地层高承压水区域悬索桥锚碇 深基坑施工技术

卞佳, 闫文亮

(中交路桥建设有限公司, 北京 100027)

**摘要:** 针对莫桑比克马普托大桥南锚碇基坑复杂水文及地质情况, 提出了在基坑外设置降水井、采用跳仓法施工内衬支护、在淤泥层设置道板、采用自制料斗出渣等一系列技术措施, 实践证明, 文中施工工艺可确保悬索桥锚碇深基坑的成功开挖。

**关键词:** 桥梁; 悬索桥锚碇; 深基坑开挖; 高承压水; 降水井; 滨海地区

中图分类号: U445.55

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)05-0150-04

深基坑开挖受地质及水文条件影响较大, 施工过程中经常出现各种质量问题。莫桑比克马普托大桥南锚碇基坑距马普托海湾最近处仅 70 m, 地下连续墙嵌入泥岩 5 m, 基坑周边水位随潮汐变化大, 土方开挖范围内地质极其复杂, 开挖难度大。开挖过程中, 随着基坑土体的卸载, 可能发生承压水从地下连续墙底绕流的现象。该文通过对该桥南锚碇深基坑施工的分析, 探讨在传统逆作法开挖基坑的基础上的深基坑开挖施工工艺。

## 1 工程概况

马普托大桥为非洲地区目前在建最大跨径悬索桥, 也是莫桑比克首都马普托市跨越马普托海湾的

第一座跨海大桥。为主跨 680 m 单跨钢箱梁悬索桥, 连接首都马普托和卡腾贝市区, 建成后将成为莫桑比克地标性建筑。

南锚碇位于卡腾贝侧, 采用重力式锚碇。锚碇基础采用外径 50 m、壁厚 1.2 m 的圆形地下连续墙加环形钢筋砼内衬支护结构, 总深度为 56.0 m, 嵌入泥岩 5 m(见图 1)。基坑距马普托海湾最近处仅 70 m, 周边水位随潮汐变化大, 开挖深度达 36.3 m, 土石方开挖量达 6.5 万  $\text{m}^3$ 。共分 12 层开挖, 每层开挖深度为 3 m, 垫层 0.3 m。

## 2 地质水文条件

(1) 工程地质条件。南锚碇位于马普托海湾地

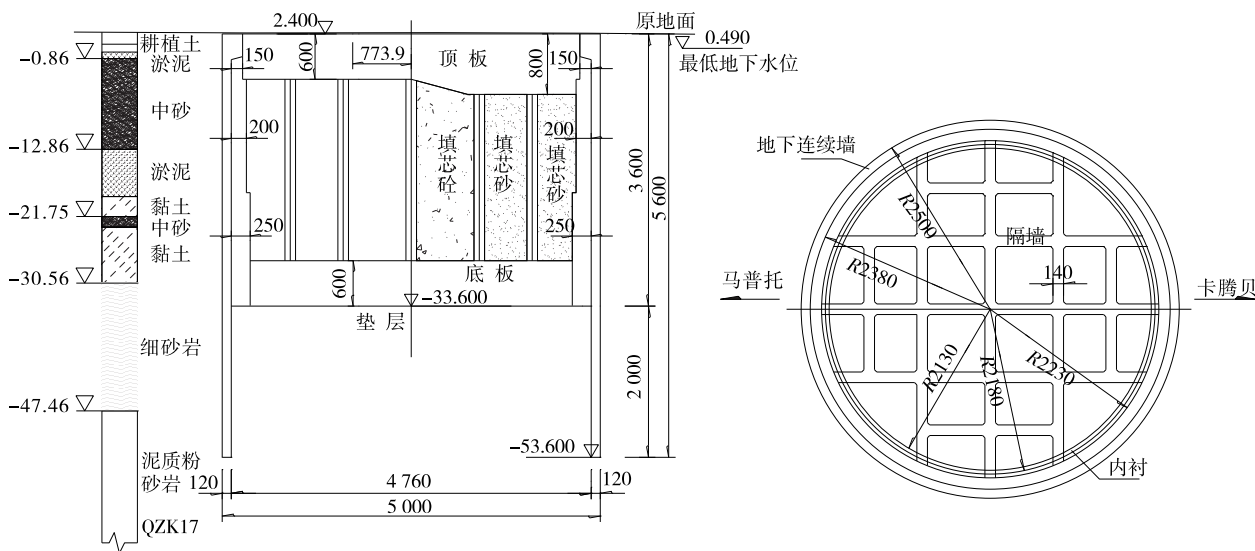


图 1 马普托大桥南锚碇基础布置示意图(单位: 高程为 m, 其他为 cm)

貌区,总体属滨海相沉积地貌。整体上地层较复杂,上部约 25 m 土层为流塑性淤泥及易液化砂层;下

部约 24 m 为细砂岩及泥质粉砂岩,属于极软岩。主要地层分布见图 2。

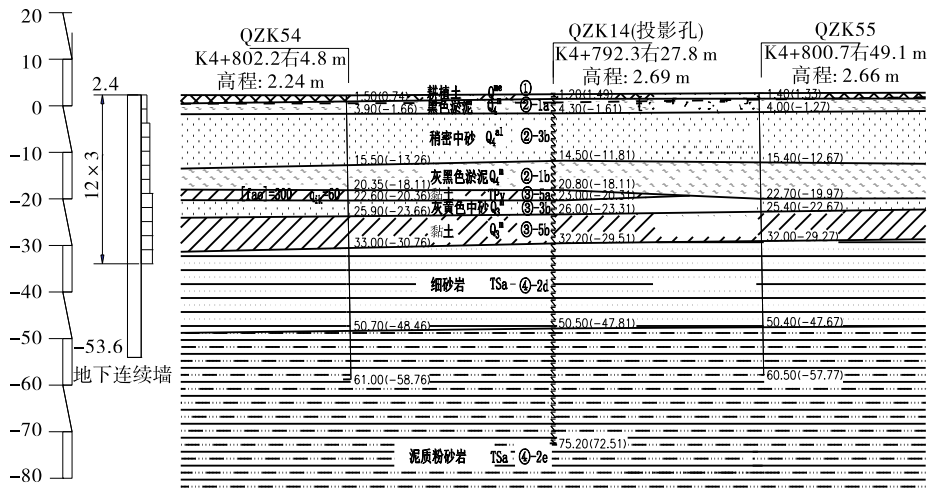


图 2 马普托大桥南锚碇地质横断面图(单位:m)

(2) 工程水文条件。南锚碇区内地下水可划分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水,其中:孔隙水主要赋存于砂层中,为主要含水层,其与海水存在互补关系,水位随海水涨落变化,水量丰富;基岩裂隙水主要赋存于细砂岩中,富水性好,水头与孔隙潜水水位近于一致,为高承压水。

3 深基坑施工技术

3.1 降排水施工

按照设计,南锚碇地下连续墙进入泥质粉砂岩(相对不透水层)5 m,隔断上部 50 m 范围内的所有含水层。理论上讲,在基坑内部布设降水管井,开挖前疏干基坑内开挖区域含水层的静储量即可。

锚碇基坑开挖过程中,第 1~8 层地下连续墙防渗效果较好,第 6 层有 1 处较大渗水点,第 7、8 层渗水点各 2 处,外侧地下水通过地下连续墙薄弱处渗入内部,采用快干水泥和聚胺脂封堵。在该施工阶段,基坑内部共设置 4 口降水管井,采用  $\phi 125$  mm

$\times 6.3$  mmPVC 滤水管,配置 750 W 水泵,4 口降水井同时工作可在 5 d 内将基坑内的水位降低 3 m。

开挖基坑第 9 层 C3-2 与 C5-2 槽段范围土体时,基坑发生涌水现象,单点水流量达  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。通过涌水点处地下连续墙超声波检测管和其他槽段超声波检测孔进行钻孔及注水试验,确定涌水现象是承压水由墙外绕过地下连续墙底突涌至基坑内造成的。为避免大范围内涌水现象发生,通过降水计算和抽水试验,确定在基坑外布置 16 口减压井(12 口工作井、4 口备用井)、基坑内增加 2 口降水井的方案,通过群井减压降水,有效控制承压水水头,确保施工安全;同时在基坑外设置 4 口观测井,用水位计对孔隙水压力进行动态观测和记录。

基坑降水实行轮井抽水施工,降水井配备双电源(高压电、发电机),确保断电时间不超过 5 min,并定期对备用水泵进行检修,确保降水系统整体运行正常。基坑封底后,分阶段进行停水施工,整个降水施工历时 155 d(见表 1)。

表 1 降水井运行控制方案

降水阶段	实施时间	工况	实施方案
第 1 阶段	2015-12-16-2015-12-30	开挖第 10 层土体(27~30 m)	降水深度 32.1 m,坑外 9 口,坑内 2 口
第 2 阶段	2015-12-31-2016-01-09	开挖第 11 层土体(30~33 m)	降水深度 34.7 m,坑外 11 口,坑内 2 口
第 3 阶段	2016-01-11-2016-03-31	开挖第 12 层土体、底板施工	降水深度 37 m,坑外 12 口
第 4 阶段	2016-04-01-2016-05-18	隔仓 8 m(4 层)施工	底板顶层砼应力监控,逐层停水

3.2 内衬施工

内衬墙体在允许时间内快速形成,以缩短地下

连续墙墙体暴露时间,减少墙体变形量;合理分工,使开挖与支撑形成流水作业,确保工程进度。

### 3.2.1 优化内衬分段设计

内衬原设计分为4段施工,并设微膨胀砼后浇段,采用大体积砼施工工艺标准。为实现“快撑快挖”,通过合理的温控设计计算,将内衬施工分为6段,采用跳仓法施工,不设后浇段,即先施工1、3、5段内衬,再施工2、4、6段内衬(见图3),上、下两层内衬施工时错开竖向施工缝。

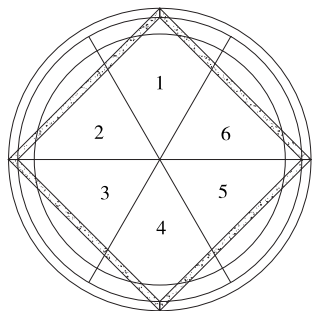


图3 内衬调仓法浇筑示意图

### 3.2.2 土石方开挖

地下连续墙施工过程中,顶上28 m范围内两侧土体使用水泥土搅拌桩加固,内侧水泥土搅拌桩在内衬施工过程中采用挖机配合炮头逐层凿除。凿除当层水泥土搅拌桩时凿入下一层50 cm,方便下层继续使用挖机凿除水泥土搅拌桩,不至于碰到上层内衬,避免砼结构和挖机受损。

### 3.2.3 底模施工

底模采用2.1 cm厚竹胶板,不设置背楞,下方采用砂袋、碎石和砂作为垫层,在铺底模前用小型压路机碾压密实。竹胶板仅铺筑于竖向钢筋保护层内的部分,其余部分通过砂袋作为底模,保证竹胶板不被破坏,同时提高其使用周转率。

### 3.2.4 钢筋施工

上、下两层内衬的竖向钢筋及内衬与地下连续墙连接的钢筋均通过钢筋套筒连接。在地下连续墙钢筋施工时加密保护层垫块,精确测量钢筋套筒预

埋位置,钢筋套筒口不高于垫块。套筒内塞入土工布,并利用钢筋套筒帽防止砼进入。内衬的上层钢筋在底部安装钢筋套筒,伸入下一层内衬20 cm,提高钢筋套筒预埋的成品质量。

### 3.2.5 侧模施工

外侧模板采用钢模板,模板之间连接的竖楞和面板夹角以适应最厚的内衬施工时的角度为准,其余内衬施工时通过放松连接螺栓,使模板间的夹角改变以适应不同厚度的内衬施工。顶口模板向外倾斜 $34^\circ$ ,倒角宽40 cm,方便砼浇筑和振捣。

内衬端模板采用收口网,方便横向钢筋施工,并减少砼的凿毛量。

### 3.2.6 砼施工

最低处的内衬砼距地面高度达36 m,垂直高度每增加9 m,在下料导管中间增加一个防离析装置;垂直高度超过21 m时,在下料导管中间增加料斗对砼进行二次搅拌。下料导管间距为5 m,使内衬各处均能被覆盖,确保砼的工作性能。

通过采取一系列措施保证了内衬施工质量,开挖过程中未产生明显温度应力裂缝及因墙体裂缝造成的渗水现象,减少了后浇段及冷却水管的施工,加快了施工进度,降低了施工成本。

## 3.3 基坑开挖

### 3.3.1 分区开挖

基坑开挖平面上分7个区域进行,采用岛式施工工艺,每层先挖除外围5 m区域内土方,最后开挖中心土方。外围土方开挖结合内衬施工进行,分为6个区域,先同时对称开挖1、3、5区土体;再开挖2、4、6区土体,同时进行1、3、5区内衬施工,在内衬砼等强过程中开挖中间区域土方。待上层内衬砼强度达到80%设计强度后开挖下一层内衬土方,各层内衬施工过程中注意错开竖缝位置,如此循环直至基底(见图4)。

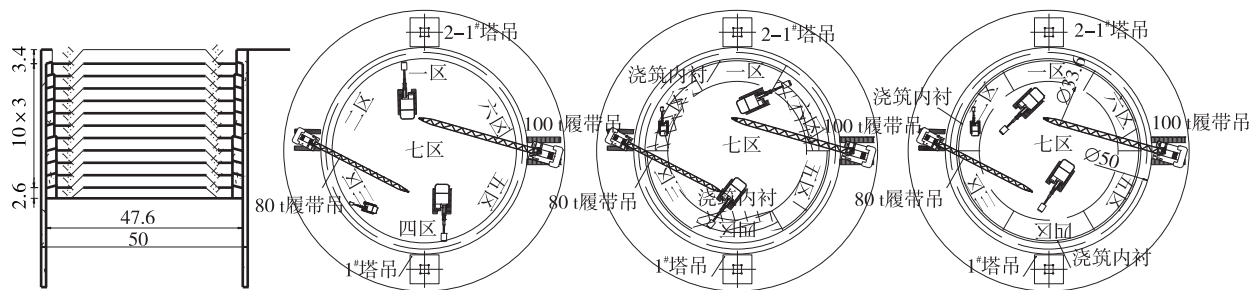


图4 南锚碇基坑竖向分层及平面开挖分区示意图(单位:m)

3.3.2 土方开挖

开挖前将基坑内地下水位降低至基坑开挖底面以下不小于 1 m,保持基坑内相对干燥。第 1、2 层土方采用长臂挖机在帽梁边上直接挖土装车运至弃土场。第 3~12 层土方先用反铲在基坑内挖土并装入自动开合式料斗,然后用履带吊吊出基坑,通过履带吊主、副钩的协调配合卸土,无需人工去除吊绳,最后用自卸车将土方运至弃土场。挖出的中砂定点堆放,用作隔仓回填料。其中基坑第 5、6 层为流塑

状淤泥,在挖机履带下方垫置型钢道板,增大接触面积,防止挖机下沉甚至倾覆。

3.3.3 机械配置

根据不同土层配置取土设备,以 1 m<sup>3</sup> 反铲挖机为主,长臂挖机、0.4 m<sup>3</sup> 反铲挖机和 ZL50 装载机配合;装土设备以 6 和 9 m<sup>3</sup> 自动开合式料斗为主,3 m<sup>3</sup> 料斗配合;吊运设备以 100、80 t 履带吊为主,QTZ160 塔吊配合;运土设备采用 4 台 18 m<sup>3</sup> 自卸车(见表 2)。

表 2 施工机械配置

分层	地质状况描述	取土设备	吊运设备	装土设备
第 1、2 层	耕植土和淤泥	1 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;长臂反铲挖机 1 台;0.4 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台	—	—
第 3、4 层	稍密中砂	1 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;0.4 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;ZL50 装载机 1 台	80、100 t 履带吊各 1 台;QTZ160 塔吊 2 台	6、9 m <sup>3</sup> 自动开合式料斗各 1 个;3 m <sup>3</sup> 料斗 2 个
第 5、6 层	淤泥	1 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;0.4 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;ZL50 装载机 1 台	80、100 t 履带吊各 1 台;QTZ160 塔吊 2 台	6、9 m <sup>3</sup> 自动开合式料斗各 1 个;3 m <sup>3</sup> 料斗 2 个
第 7~12 层	黏土、中砂和细砂岩	1 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台;0.4 m <sup>3</sup> 反铲挖机 1 台	80、100 t 履带吊各 1 台	6、9 m <sup>3</sup> 自动开合式料斗各 1 个

4 结论

(1) 南锚碇场区设计勘察的地层渗透系数与实际偏差较大,基坑围挡止水结构嵌岩深度只有 5 m。发生涌水时,在基坑外围设置减压井,可有效控制承压水水头,确保基坑施工安全,解决以单一的地下连续墙作为围护止水结构时在富含地下水及承压水水头较高的环境下进行深大基坑作业的难题。

(2) 结合传统岛式开挖施工工艺,采用跳仓式浇筑内衬,灵活安排土方开挖和内衬作业的衔接,实现“快撑快挖”,可缩短工期,工程质量也满足设计要求,经济效益良好。

(3) 采用自主研发的 6、9 m<sup>3</sup> 自动开合式取土料斗实现自动卸料,既可减少设备投入、节省劳动力,又可大大提高出土效率,单层基坑施工 7 d 完成,比计划工期提前 30%。

(4) 在流塑状淤泥层取土时,在挖机履带下垫置道板可防止挖机侧翻;采用长臂挖机在帽梁上直接取土装车,比填坡自卸车坑内装车节省时间。

参考文献:

[1] JTG/T F50—2011,公路桥涵施工技术规范[S].  
[2] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].

[3] 姚天强,石振华,曹惠宾.基坑降水手册[M].北京:中国工业出版社,2006.  
[4] 汪正荣.建筑施工计算手册[M].北京:中国工业出版社,2001.  
[5] 沈忠群,肖开军,文武.润扬大桥悬索桥南锚碇基坑开挖施工[J].桥梁建设,2004(2).  
[6] 周建军,饶思礼,张有光.虎门大桥西锚碇大型混合基础的设计与施工[J].桥梁建设,1995(2).  
[7] 刘明虎,李晓东.桥梁深大基坑工程方案设计[A].中国公路学会桥梁和结构工程学会 2002 年全国桥梁学术会议论文集[C].2002.  
[8] 刘少福,罗建华.上海外滩金融中心深基坑施工技术[J].施工技术,2000,29(1).  
[9] 田欣,姚志安,方隼.广州珠江黄埔大桥悬索桥北锚碇基坑开挖及内衬施工技术[J].桥梁建设,2008(6).  
[10] 梁靛.临江深基坑施工难点的研究及对策[J].地基基础,2015,37(6).  
[11] 江伟忠,刘文华.悬索桥锚碇深基坑施工方案探讨[J].公路与汽运,2001(4).  
[12] 熊孝波,孙钧,徐伟,等.润扬大桥南汉北锚碇深基坑开挖工程实践[J].岩土工程学报,2003,25(2).  
[13] 刘应军.滨海复杂地层深基坑旋喷桩施工技术及其质量控制研究[J].施工技术,2014,43(增刊 2).