

深水坡面岩基础施工方法

任毓尧

(上海市政交通设计研究院有限公司, 上海 200030)

摘要 目前在我国铁路、公路工程施工中, 跨越江河的桥梁基础大多位于水面以下, 特别在云贵高原, 具有卡斯特地质特性, 溶洞、溶槽发育, 河床倾斜, 坡度比较大, 覆盖层薄, 加大了桥梁基础施工难度。深水基础施工中通常采用双壁钢围堰, 一般由内外壁板、竖向桁架、水平环形桁架、刃脚组成, 具有强度高、刚度大, 以及自浮功能的特点, 尤其使用于深水、水底覆盖层薄、下卧层比较平坦、密实的大飘石或岩层和土基。基于此, 本文对深水基础施工进行了相应的研究, 旨在为相关专业人士提供参考。

关键词 深水坡面 钢板桩插打 围堰封底

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)04-0112-03

1 施工前准备及要点

1.1 施工组织工作流程

施工准备→测量定位→制作导向框→插打钢板桩→第一道钢板桩围堰制作安装→清淤→封底→第一道围堰纵横向支撑加固→抽水→第二道钢板桩围堰制作安装→第二道钢板桩内支撑系统制作安装→……→浇筑围堰四周条形基础→抽水→浇筑垫层→钢筋绑扎→安装模板→浇筑基础混凝土→支撑体系转换→拆除钢板桩围堰。

1.2 施工前准备工作

1.2.1 施工环境调查

根据工程具体位置, 认真阅读设计资料, 将工程地点地质情况研究清楚, 如河床倾斜情况、坡度有多大、施工范围最大高差多大、从河床表层往下依次是什么地层、分布情况、有多厚、承载力情况等, 粗略估算将来钢板桩将插入哪个地层, 覆盖层到钢板桩底有多深, 结构物底部到钢板桩底部有多深。掌握设计资料后到现场进行核查, 查看现场实际情况是否与设计相符, 进一步完善地质资料, 必要时加密勘探地质孔, 沿拟定围堰四周按一定距离钻取芯样。同时, 调查水文资料, 施工地点水深和近段时间水流速度及变化规律, 然后对比设计资料^[1]。

1.2.2 钢板桩围堰设计及受力计算

根据水下基础尺寸大小拟定围堰尺寸, 考虑到深水基础不确定因素很多和特殊地质条件, 例如覆盖层薄、河床坡面倾斜度大等等, 针对实际情况拟采取的具体措施, 要预留足够大的工作空间, 根据情况预留1.5~3.0m, 定出围堰尺寸。

1.2.3 围堰封底混凝土厚度计算

只有先计算出封底混凝土厚度, 才能最终确定基坑的挖掘深度、封底混凝土厚度应根据《简明施工计算手册》计算。先应考虑到施工时的最坏情况, 即在围堰封底以后, 围堰内的水排干, 封底素混凝土将受到可能的向上最大水压力的作用, 通常以此荷载(即地下水头高度减去封底混凝土的重力)作为计算值。由于水下封底混凝土质量较普通混凝土差, 并与各桩基连成一个整体, 按简支双向板计算, 承受均布荷载时, 跨中 M_1 、 M_2 可按式计算:

$$M_1 = a_1 p l_1^2 \quad M_2 = a_2 p l_2^2$$

其中:

a_1 、 a_2 ——弯矩系数。

P ——静水压力形成的荷载 (KN/m^2)。

l_1 ——矩形板的计算宽度(取最小跨)(m)。

按简支双向板计算, 选择受力最不利的双向板作为对象, 计算公式:

$$h = \sqrt{\frac{3.5KM}{bf_a}} + D$$

式中:

h ——封底混凝土厚度 (mm)。

K ——安全系数, 按抗拉强度计算的受压受弯构件, 取 2.65。

M ——双向板的最大弯矩 ($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

b ——双向板的厚度。

f_a ——混凝土抗拉强度设计值。

D ——考虑水下混凝土可能与围堰底泥土掺混增加的厚度, 一般取 30~50cm。

将设计参数带入计算出封底混凝土厚度。

1.2.4 钢板桩入土深度计算

钢板桩主要受水压力(静水压力与动水压力)及土压力(外侧为主动土压力,内侧为被动土压力),为了简化且偏于安全计算,只考虑不透水层土压力,土压力按朗金理论计算,主动土压力应力计算:

$$P_{\pm} = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \times (\gamma_{\pm} h_1 + \gamma_w h_2) - 2c \tan(45^\circ - \phi/2)$$

式中:

ϕ ——土层内摩擦角。

h_1 ——钢板桩的入土深度。

h_2 ——水的深度。

c ——土的粘聚力。

被动土压力应力计算:

$$P_{\text{被}} = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \times \gamma_{\pm} h_1 + 2c \tan(45^\circ + \phi/2)$$

式中:

ϕ ——土层内摩擦角。

h_1 ——钢板桩的入土深度。

c ——土的粘聚力。

流水压力计算:

$$P = khb \gamma_w V^2 / (2g)$$

其中:

k ——形状系数,槽型钢板桩围堰取 18~20。

h ——水深(m),取最高水位计算。

b ——宽度,取 1m 为单位计算。

γ_w ——水的容重。

V ——水流速度, s/m。

净水压强计算:

$$P = \gamma_w h$$

按浅埋法计算钢板桩入土深度,即钢板桩外侧主动土压力及动、静水压力与钢板桩内侧被动土压力对内支撑端点(即第一道围图)的力矩平衡来确定钢板桩入土深度,被动土压力考虑 1.25 安全系数。对于河床是土质或沙质地层容易计算出来,若覆盖层薄下面又是岩层,钢板桩入土深度只能按到岩层顶部的深度,受力计算要考虑封底混凝土参与受力,验算是否满足受力要求。

1.2.5 钢板桩长度及标高计算

钢板桩顶要高出施工水位 1m 以上,防止河流涨水淹没围堰。钢板桩底标高为基础底标高减去钢板桩的埋深,钢板桩顶标高减去底标高就待钢板桩长度。

1.2.6 管涌安全系数计算

按《简明施工计算手册》,管涌安全系数:

$K = (h + 2h_{\pm}) \gamma_{\text{浮}} / (h \gamma_w) \geq 1.5$ 时,则坑底安全,不会出现管涌现象

式中:

h ——水头差。

h_{\pm} ——钢板桩入土深度。

$\gamma_{\text{浮}}$ ——土的浮容重。

γ_w ——水容重。

1.2.7 钢板桩内支撑受力验算

本工法采用先封底后边抽水边做内部支撑,最不利工况是整个支撑系统做完围堰内水全部抽完。事先根据围堰的深度按一定间距设定几道支撑,间距可以是等间距也可以是不等间距,求解几道支撑受力情况,按多跨连续梁计算。运用结构力学求解出个围图支撑受力情况和钢板桩所受的剪力和弯矩,验算钢板桩弯应力和剪应力是否在允许范围及挠度大小内,需满足受力要求。

围图支撑受均布荷载作用,按等跨连续梁查《路桥施工计算手册》计算出围图最大剪力、弯矩以及各个中间横向支撑杆受力情况,验算围图是否满足弯应力和剪应力及挠度要求。

中间支撑杆受自身重力和端部压力作用,是一个弯压构件,重力产生最大弯矩按公式计算:

$$M_{\text{max}} = 1/8 \times qL^2$$

支撑杆为弯压构件,按下式计算压杆应力 σ :

$$\sigma = (\phi_x A) + \beta_x M / (Y_x W (1 - 0.8N/N_{\text{Ex}}))$$

式中:

N_{Ex} ——欧拉临界力,为 $\pi^2 EI/L^2$ 。

ϕ_x ——弯矩作用平面的轴心受压构件稳定系数,

根据 $\lambda = L/i = L/(I/A)^{1/2} \leq [\lambda] = 100$,查表得到。

W ——截面抵抗矩。

β_x ——等效弯矩系数,取 1.0。

Y_x —— W 相应的截面塑性发展系数,取 1.05。

A ——截面面积。

采用常规手算过程繁琐,计算结果不直观、全面,随着科技提高、技术进步,用电脑采用大型有限元软件处理,例如 MADIScivil 建模计算,能够准确掌握整个结构受力情况,最大应力出现在什么部位;也可随时根据施工过程中不同工况进行受力计算。

2 施工流程

2.1 钢板桩插打

钢板桩的插打顺序从水流的上游开始,这样可以减少后面钢板桩因水流阻力而导致的插打不便,且有利于钢板桩的合拢,顺水流两侧连续插打,直至下游处合拢。从第一块角桩开始,在围堰上下游一定距离及两岸陆地设置两台经纬仪从不同方向交汇观测,开始插打的一、二块钢板桩的位置和方向应确保精确,以便起到导向样板作用,每打入 1m 应测量一次,检查钢板桩的位置及方向,且随时纠偏,打至预定深度立即与围图支撑(也是导向框)电焊临时固定,然后逐

个插打至下游合拢。施工过程中必须保证钢板桩的垂直度,及时用平台上或岸上的仪器、垂球吊线检查,以及人工挂倒链纠偏。插打时利用限位夹具准确定位使钢板桩在插打过程中不左右偏移,插打完成钢板桩稳定后临时与导向框联接电焊,然后再插打其余的板桩。

合拢时应提前确定合拢位置,精确计算合拢段长度,满足整桩宽度倍数。围堰在合拢时,两侧锁口不一定在一条直线上,左右偏移,合拢口上下大小不一,也不能满足整桩宽度,因此在合拢前将合拢处5~7片钢板桩不打入河床设计位置,只需打入少许深度使之稳定即可,用20t倒链分别拉两侧锁口,使之变大或变小,然后将板桩缓缓插入,再分块打之,使之沉至设计位置,若用倒链调整仍不奏效用异形钢板桩插打合拢。提前配置相应规格的异形钢板桩,现场实测拢口的角度和尺寸,切割焊接异形钢板桩,确保整个围堰的密封性。合拢后,用振动锤将钢板桩逐根全部复震一遍,然后将钢板桩与围堰型钢焊接,使整个围堰上部连接成整体^[2]。

2.2 围堰封底

在深水坡面岩上施工,覆盖层比较薄,钢板桩入土深度不大,并且桩底高低不一,再加上岩层面高低起伏或有孤石、裂隙、溶槽、溶洞,很容易涌水,不能采用常规的施工顺序,基坑支撑施工与基坑降水或基坑清泥交替进行,即“先支撑后抽水、挖泥,分层支撑分层抽水、挖泥”。

岩面上一般是淤泥和沉淀固结层,固结层非常的硬,开始就采用抽或吸的方法不能将围堰内的固结土清除到设计标高,可采用抓泥斗下水抓泥。用吊车在平台上或浮船上起吊抓斗抓泥,泥土丢放在围堰外覆盖层薄的地方。从一边斗斗紧挨,重叠,不留间隙,S折回直至清理完毕。施工过程中派潜水员下水摸排清理情况,发现有漏挖的部位立即补挖。抓斗不能将围堰内的泥土清理干净,遗留一层松散的泥土,此时用大功率的沙石泵在出水口端连接 $\phi 150\text{mm}$ 镀锌钢管伸出水面,弯折一定长度再连接5m左右白色加筋塑料管,以便于观测抽淤情况,将泥沙排除围堰;进水端连接8m左右加筋塑料管,尾部连接用钢板焊接的簸箕,潜水员潜入水底,拿着簸箕像扫地一样抽取底部泥沙。在挖泥和抽泥过程中,技术人员用测绳探测标高,满足最小封底砗厚度。

泥沙抽取干净后派潜水员摸排围堰内清淤情况,特别是钢板桩和钢护筒四周清淤,不能留泥沙隔离层,对清淤不彻底地方再次清理,直至全围堰内满足封底砗厚度^[3]。

水下灌注封底砗采用导管法,采用一副导管,上

口接料斗用吊车吊住,下口插入水中距离河床底20cm,料斗底部用钢板盖住,用砗泵车将砗泵入料斗,当料斗将满时吊车小钩快速起吊盖板,混凝土迅速进入导管,灌注一定范围派潜水员下水摸排灌注情况,对灌注欠佳的位置补浇,达到规定标高后停止,进行下一点的灌注,直至灌注完毕。在封底前对一些认为地质情况不好的位置插入侧壁钻有 $\phi 50\text{mm}$ 注浆孔的导管,伸出水面,以便封底混凝土后注浆堵漏。当封底混凝土达到2MPa以上,根据围堰封底混凝土厚度情况,必要时在围堰四周水下立模板。

2.3 作围堰内支撑系统

当封底混凝土达到强度要求继续做围堰内支撑,第一道围堰提前做完,根据设计位置焊接角斜撑、纵横向支撑,围堰型钢和内支撑接头部位用三角加劲钢板焊接,同时加强焊缝质量检查。第一道围堰支撑系统做完开始抽水,在刚开始抽水时加大抽水量,采用2.2KW水泵4台同时抽水。抽水至第二道围堰位置下30cm,开始制作第二道围堰支撑系统,按照设计标高,在钢板桩围堰的每个侧面用3个厚15mm的钢板制成的 $40\times 40\text{cm}$ 三角形牛腿焊接在钢板桩上,作为围堰的临时支撑结构,并安装围堰型钢并焊接,角斜支撑和纵横向支撑按第一道围堰支撑系统方法加固,再进行抽水和焊接,直至所有围堰支撑系统做完为止。

围堰及内支撑系统安装完毕抽水至封底混凝土面,在抽水过程中密切观察水位变化,如出现漏水,找到漏水点,将漏水处封堵完再继续抽水。抽水至封底混凝土面,少量渗水沿围堰四周开凿的小槽流入低洼处用水泵抽出围堰外,保证基础施工在无水的环境中,按正常施工进行。

3 结语

本文对深水坡面岩基础进行了探讨,但施工时需要专业钢结构厂家加工成型,生产厂家较少,选择面窄,产品运输距离远;围堰耗钢量大,造价高;施工条件高,河床底平整;整体拼装一次下沉,起吊设备多,协同作业,整体沉放施工难度大,因此在实际施工时还需加强质量管理。

参考文献:

- [1] 江正荣,朱国梁.简明施工计算手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [2] 周水兴,何兆益,邹毅松.路桥施工计算手册[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 徐小祥.深水裸露坡岩大型高低刀脚双壁钢围堰设计与施工[J].铁道建筑,2016(02):47-51.