

U型混凝土板桩在公路防护中的应用

武震雷涛

陕西瑞特公路工程科技有限公司 陕西 西安 710000

摘要: U型预应力混凝土板桩在水利工程、公路工程、港口工程、城市建筑基坑围护中得到了广泛应用,工艺已经成熟。本文结合工程实例和笔者实际工程中遇到的问题,对U型板桩设计中应注意的几个方面进行了初步的归纳总结,希望对以后类似设计、施工具有一定的借鉴作用。

关键词: U型板桩;设计;施工;关键技术

前言

目前,U型混凝土板桩被大量应用到水利枢纽工程,护坡工程。其施工方便,快捷得到了施工单位的认可,是一种新型实用的防护形式。U型预应力混凝土板桩,因其构件截面设计为U型,可以节省材料用量,其受力特点近似于“工”字形结构,结构抗弯、抗剪性能优良^[1],本文作者结合自己参与设计的项目实例,浅析U型预应力混凝土板桩与传统路基防护相结合,在临河公路防护应用的优越点。

1 合理设计防护结构的型式

1.1 边坡设计型式的稳定性

合理的边坡组合型式是防护设计成败的前提条件。在公路工程路基边坡稳定性计算模型中,设计人员对临河侧路基防护进行了稳定性验算,传统的支挡结构,例如浸水挡墙,基础易被水流冲刷,掏空,导致整个路基防护被破坏。在陕西关中地区,基础浅层主要为湿陷性黄土,路基侧临近河流段防护,冲刷情况较为明显,这就需要设计人员充分考虑支挡结构的稳定性。

1.2 确定边坡防护的组合型式

公路工程沿河路基防护目前用的有浸水挡土墙、石笼、丁坝、顺坝等,相比于这些传统防护型式,U型板桩具有工期短,受力性能优良,受外部环境变化扰动小等优点。

本文通过笔者设计的一个项目,来实际分析。韩城市龙门滨河路改建工程龙钢段,路基宽度23米,一级公路标准。路线南北走向,路基以填方的形式通过黄河滩。项目重点需要解决的就是路基临黄河侧坡体防护问题。地勘揭露,沿线地层从上到下依次为细沙、粉质粘土、细沙、卵石,结合黄河水流冲刷,项目工期安排等特点,最终选定U型预应力混凝土板桩做下部基础,板桩顶帽与片石混凝土护坡衔接作为上部结构。

2 板桩设计中应注意的问题

2.1 板桩桩长的选取

根据现场地勘,结合黄河上、下游水流冲刷等特点,从整体上把控,分段细化设计桩长,验算桩体及路基整体稳定性。本项目设计桩长有15米、16米、18米、20米四种长度。桩截面尺寸均为1.02×0.6米,板桩采用的混凝土等级为C60。

下面就20米桩长为例,受力分析做如下简介。

U型预应力管桩的结构受力类似于基坑支护悬臂式支挡结构,并附加水的影响,路基附加应力影响,根据《建筑基坑支护技术规程》中4.1.1第3条悬臂式支挡结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析,同时按照《板桩码头设计与施工规范》的踢脚稳定性进行复核验算。

2.1.1 参数取值

矿石渣容重 19.0KN/m^3 ,内角 $\phi = 42^\circ$ 粘聚力 $c = 0$;细砂容重 19.5KN/m^3 ,内角 $\phi = 36^\circ$,粘聚力 $c = 0$,板桩长20m,入土深度13m,水面高度为桩顶下3.5m。

2.1.2 土压力计算

对于水土分算的土层^[2]

$$P_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (3.4.2-5)$$

$$P_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (3.4.2-6)$$

u_a 、 u_p -分别为支护结构外侧、内侧计算点的水压力(KPa)

P_{ak} -支护结构外侧,第*i*层土中计算点的主动土压力强度标准值(KPa);当 $P_{ak} < 0$ 时,应取 $P_{ak} = 0$;

σ_{ak} 、 σ_{pk} -分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值(KPa),

$K_{a,i}$ 、 $K_{p,i}$ -分别为第*i*层土的主动土压力系数、被动土压力系数;

c_i 、 ϕ_i -第*i*层土的粘聚力(KPa)、内摩擦角($^\circ$);

P_{pk} -支护结构内侧,第*i*层土中计算点的被动土压力强

度标准值 (kPa)。

又根据3.4.5条,

$$K_{a,i} = \tan 2\left(45^\circ - \frac{\sigma_i}{2}\right), K_{p,i} = \tan 2\left(45^\circ + \frac{\sigma_i}{2}\right)$$

土中竖向应力标准值 (σ_{ak} 、 σ_{pk}) 按下式计算

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta \sigma_{k,j}; \sigma_{pk} = \sigma_{pc}$$

式中, σ_{ac} - 支护结构外侧计算点, 由土的自重产生的竖向总应力 (kPa);

σ_{pc} - 支护结构内侧计算点, 由土的自重产生的竖向总应力 (kPa);

$\Delta \sigma_{k,j}$ - 支护结构外侧第 j 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值 (kPa), 应根据附加荷载类型, 按本规程第 3.4.6 ~ 3.4.8 条计算。

其中 $\sigma_{ac} = \sum \gamma_i h_i = 19 \times 7 + 19.5 \times 13 = 386.5 \text{ KN/m}^2$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} = \sum \gamma_i h_i = 19.5 \times 13 = 25.5 \text{ KN/m}^2$$

$$\Delta \sigma_{k,j} = \frac{r_m h_1}{b_1} (z_a - a) + \frac{E_{ak1} (a + b_1 - z_a)}{K_{am} b_1^2}$$

$$E_{ak1} = \frac{1}{2} r_m h_1^2 k_{am} - 2c_m h_1 \sqrt{k_{am}} + \frac{2c_m^2}{r_m}$$

其中 $a = 3\text{m}$, $z_a = 13.3\text{m}$, $h_1 = 8.5\text{m}$ (填方高), $b_1 = 15\text{m}$ (边坡投影宽), $K_{am} = 0.198$ (计算得出),

$$\Delta \sigma_{k,j} = 125.234 \text{ KN/m}^2,$$

则, $\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta \sigma_{k,j} = 386.5 + 125.234 = 511.734 \text{ KN/m}^2$ 。

另根据3.4.4条, 对静止地下水, 水压力 (u_a 、 u_p) 可按下列公式计算

$$u_a = \gamma_w h_{wa} \quad (3.4.4-1)$$

$$u_p = \gamma_w h_{wp} \quad (3.4.4-2)$$

式中, γ_w - 地下水的重度 (kN/m), 取 $= 10\text{kN/m}$;

h_{wa} - 基坑外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离 (m); 对承压水, 地下水位取测压管水位; 当有多个含水层时, 应以计算点所在含水层的地下水位为准;

h_{wp} - 基坑内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离 (m); 对承压水, 地下水位取测压管水位。

$$\text{则 } u_a = 10 \times (20/3 \times 2 + 3.5) = 98 \text{ KN/m}^2$$

$$u_p = 10 \times (13/3 \times 2 + 3.5) = 121 \text{ KN/m}^2$$

最终主动土压力标准值

$$P_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a = 199.323 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p = 789.463 \text{ KN/m}^2$$

3 验算踢脚稳定性

板桩墙的入土深度应满足式 (3.3.3) “踢脚”稳定的要求^[3]

$$\gamma_0 [(\sum \gamma_G M_G + \gamma_{g1} M_{g1} + \psi (\gamma_{g2} M_{g2} + \gamma_{g3} M_{g3} + \dots))] \leq \frac{M_R}{\gamma_d} \quad (3.3.3)$$

式中 γ_0 γ_G M_G 等参数在此不做详细说明。

以上数值中, γ_G 取 1.35, γ_d 取 1, M 计算根据 3.3.9 条: 无锚板桩墙的入土深度可按第 3.3.3 条规定确定, 但式 (3.3.3) 中的 M_G 、 M_{Q2} 和 M_Q 为相应作用标准值对桩尖的力矩。

同时 M_{Q1} M_{Q2} M_{Q3} …… 已在 M_G 主动土压力计算中考虑路基坡体附加应力、水的影响, 所以在此不在考虑, 按 0 取值。

$$\text{则 } \gamma_G M_G = 1.35 \times p_{ak} \times b \times a \times L \text{ 板长} \times 2/3 \times 1/3 = 1.35 \times 199.323 \times 1.02 \times 20 \times 2/3 \times 1/3 = 1219.9 \text{ kN} \cdot \text{M}$$

$$M_R = p_{pk} \times b \times a \times L_{\text{入土}} \times 2/3 \times 1/3 = 789.463 \times 1.02 \times 13 \times 2/3 \times 1/3 = 2326.3 \text{ kN} \cdot \text{M}$$

则, $\gamma_G M_G < M_R$, 满足踢脚稳定要求, 入土深度满足要求。

4 嵌固段土体反力验算

根据 4.1.4 作用在挡土构件上的分布土反力可按下列公式计算:

$$P_s = k_s v + p_{s0} \quad (4.1.4-1)$$

挡土构件嵌固段上的基坑内侧分布土反力应符合下列条件:

$$P_s < E_p \quad (4.1.4-2)$$

当不符合公式 (4.1.4-2) 的计算条件时, 应增加挡土构件的嵌固长度或取 $P_s = E_p$ 时的分布土反力。

式中, P_s - 分布土反力 (kPa);

k_s - 土的水平反力系数 (kN/m), 按本规程第 4.1.5 条的规定取值;

v - 挡土构件在分布土反力计算点的水平位移值 (m);

p_{s0} - 初始土反力强度 (kPa); 作用在挡土构件嵌固段上的基坑内侧初始土压力强度, 可按本规程公式 (3.4.2-1) 或公式 (3.4.2-5) 计算, 但应将公式中的 p_{ak} 用 p_{s0} 代替、 σ_{ak} 用 σ_{pk} 代替, u_a 用 u_p 代替, 且不计 $(2c_i \sqrt{K_{a,i}})$ 项;

p_s - 作用在挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力合力 (kN), 通过按公式 (4.1.4-1) 计算的分布土反力 p_s 得出;

E_p - 作用在挡土构件嵌固段上的被动土压力合力 (kN), 按本规程第 3.4 节的有关规定计算。

通过计算, $P_s = 19228.5\text{KN}$, $E_p = 20731.3\text{KN}$, 满足 $P_s < E_p$, 具体计算过程, 不在此处详细罗列。

5 稳定性验算

根据悬臂式支撑结构的嵌固深度应符合下列嵌固稳定性的要求

$$E_{pk}Z_{p1}/E_{ak}Z_{a1} > K_{em}$$

式中, K_{em} -固稳定安全系数:安全等级为一级、二级、三级的悬臂式支挡结构, K_{em} 分别不应小于1.25、1.2、1.15;

E_{ak} 、 E_{pk} -基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力的标准值(kN);

Z_{a1} 、 Z_{p1} -基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至挡土构件底端的距离;

取 $K_{em} = 1.25$, 经计算得出, $E_{pk}Z_{p1}/E_{ak}Z_{a1} = 1.67 > K_{em} = 1.25$ 。满足稳定性要求。

另U型预应力板桩为C60钢筋混凝土结构, 可近似看作刚性体, 其构件本身强度及刚度验算在此不考虑。

6 路基整体稳定性验算

路基整体稳定性验算考虑板桩及路基整体按照圆弧滑动法计算(理正软件中板桩式挡土墙)安全系数大于1.25。

经验算, 最小安全系数为1.755, 大于1.25, 满足要求。

通过以上分析计算, 结合本项目地质特点及黄河沿线防护经验, 笔者确定该项目桩长必须同时满足两个原

则: 第一, 计算满足要求, 第二, 桩顶须伸入卵石层不小于0.5米, 且总长不小于15米。

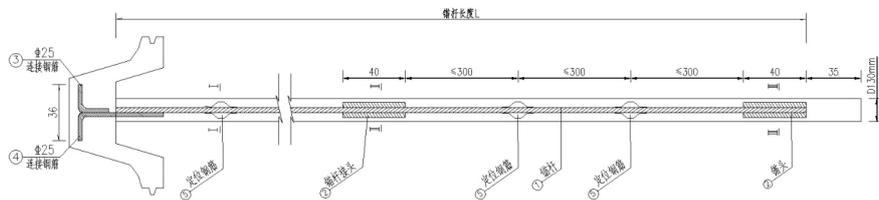
6.1 板桩桩顶台帽设计

台帽是将板桩桩体与路基护坡连接为整体, 提高整个路基防护的稳定性。台帽采用现浇工艺, 待桩体沉到设计标高后, 现场布置钢筋, 分段浇筑。

6.2 板桩与路基的衔接设计

本项目, 路基以填方通过临河范围, 为加强路基的整体稳定性, 保障路基成型后稳固, 本项目设计人员, 在板桩台帽下30cm位置预埋钢筋, 连接路基中设置的锚杆。锚杆的具体尺寸、布设间距以及稳定性计算, 在此不做详细说明。

低填路基, 锚杆采用钻孔注浆方式, 锚杆注浆一般采用1:1水泥砂浆, 水灰比0.38~0.48, 砂浆强度不低于M30, 注浆压力0.5~2Mpa。孔口要采取可靠的止浆措施以保证孔内注浆压力, 当孔内浆液初凝后, 及时进行二次劈裂注浆, 使浆液充分进入岩土裂隙^[4]。取三根锚杆进行拉拔试验, 单根锚杆的抗拔力不低于100KN; 未尽事宜可参照《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB50086-2001执行。设计见下图:



高填路基, 锚杆采用埋置方式。通过锚杆与路基填

料之间的摩阻力来实现路基与板桩、护坡之间的整体稳

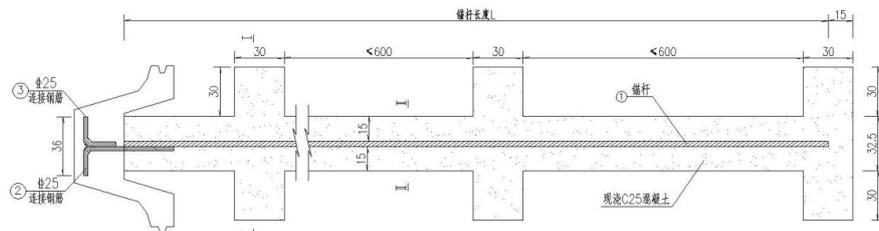


图5 锚杆结构图(2)

7 结语

本文结合工程实例和作者实际工作中遇到的问题, 对沿河路基防护中防护设计类型的选择(主要针对临河冲刷严重路段防护), 板桩的选取, 板桩桩帽的设计, 锚杆的设计等方面进行了简单的介绍, 希望与大家共同探讨, 使今后的设计更加全面, 贴近实际, 达到工程的安全、经济和美观。

参考文献

- [1]江苏省建设厅. 苏JG/T 035-2010 江苏省预应力混凝土支护桩技术规范[S]
- [2]建筑基坑支护技术规范JGJ 120-2012
- [3]板桩码头设计与施工规范JTS 167-3-2009
- [4]公路路基设计技术规范 JTG D30-2015