

某高速公路边坡锚拉式抗滑桩设计计算

张 伟

甘肃路桥建设集团有限公司 甘肃兰州 730030

摘 要: 以 G75 兰海高速公路兰临段 K15+224-K15+380 路堑高边坡为原型工点, 从抗滑桩基本原理出发, 根据抗滑桩和锚索的变形条件, 计算出锚索的锚拉力, 进而求出桩身内力, 指导抗滑桩的设计, 该方法可以较为简便的得到锚拉式抗滑桩内力的解析解, 从实际应用来看, 该法优化了桩身内力分布, 可以满足工程需要。

关键词: 锚索抗滑桩; 变形协调; 内力计算; 锚拉力

Design and calculation of anchorage and pull type anti-slide pile for a highway slope

Wei Zhang

Gansu Road and Bridge Construction Group Co., Ltd., Lanzhou 730030, Gansu

Abstract: This paper takes the high-side slope of the road cut at K15+224-K15+380 of G75 Lanhai Expressway as the prototype work point. Starting from the basic principle of anti-slide piles, based on the deformation conditions of anti-slide piles and anchor cables, the anchor tension of the anchor cables is calculated, and then the internal forces of the piles are obtained to guide the design of anti-slide piles. This method can obtain the analytical solution of the internal forces of anchor-type anti-slide piles in a relatively simple way. From practical application, this method optimizes the distribution of internal forces in the pile and can meet engineering requirements.

Keywords: Anchor cable anti-slide pile; Deformation coordination; Internal force calculation; Anchor pull

引言:

近年来由于大量山区高速公路的建设, 出现了许多高陡边坡, 有些地方由于地形限制, 需要垂直开挖很深的垂直边坡, 一般的悬臂式桩板墙由于桩顶变形过大无法满足设计要求。此时, 桩身施加一定约束的锚拉式抗滑桩可有效减小桩顶变形, 减小桩身的内力, 是一种有效的支挡方式。锚索桩的受力特点合理, 可大大缩短桩的锚固段长度, 施工简单, 造价低, 在一般情况下均可采用, 并且可根据不同的滑坡形态灵活应用。本文以 G75 兰海高速公路兰临段 K15+224-K15+380 高边坡原型工点, 根据桩与锚索的变形协调条件, 实现了采用 K 法计算锚固段桩身内力的一种方法, 该方法可以实现求解锚索桩桩身内力的解析解。

一、概况

主要地层为风积黄土、崩坡积碎(块)石土、厚层状的砖红色泥质粉砂岩、砾岩。锚拉式锚索桩板墙悬臂段 18 米, 锚固段长度 10m, 桩间距 6m, 桩径

1.75 × 2.5m, 共设置 4 排锚索, 第一排锚索距桩顶 2m, 锚索倾角为 15°, 第二排锚索距桩顶 4m, 锚索倾角为 20°, 第三排锚索距桩顶 7m, 锚索倾角为 15°, 第四排锚索距桩顶 9m。锚索倾角为 20°。锚索采用 6 束 7 φ 15.2 预应力钢绞线, 钢绞线为 1860MPa 的高强度低松弛预应力钢绞线, 自由段长度 10m。

二、锚索锚拉力计算

计算得墙背土压力为 865KN/m, 按梯形分布考虑, 锚索预拉力每排锚索均为 200KN。(见下图)

根据锚索作用点的位移协调条件, 锚杆(索)作用点桩的位移等于锚索的弹性伸长量建立线性方程:

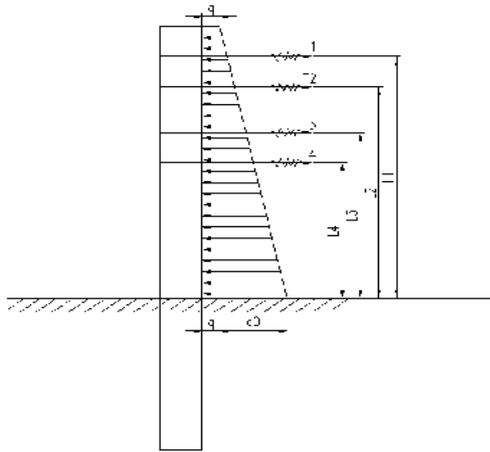
$$[T_i][A_{ij}] - \Delta P_i = 0 \quad [i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4]$$

式①

$$\left. \begin{aligned} A_{ij} &= \delta_{ij} + \delta_Q + L_i \delta_m + L_i \beta_Q + L_i L_j \beta_m + \frac{1}{k_i} \dots \dots i = j \text{时} \\ A_{ij} &= \delta_{ij} + \delta_Q + L_i \delta_m + L_i \beta_Q + L_i L_j \beta_m \dots \dots \dots i \neq j \text{时} \end{aligned} \right\}$$

式②

计算简图



$$\left. \begin{aligned} \delta_{ij} &= \frac{l_j^2}{6EI} (3L_i - L_j) \dots\dots\dots L_i > L_j \text{时} \\ \delta_{ij} &= \frac{L_i^2}{6EI} (3L_j - L_i) \dots\dots\dots L_i \leq L_j \text{时} \end{aligned} \right\} \text{式③}$$

$$K_i = \frac{A_{Si} E_{Si} \cos^2 \alpha}{L_{Si}} \quad \text{式④}$$

抗滑桩悬臂段外力可分解为集中荷载、一个水平均布荷载和一个三角形荷载，根据结构力学可知悬臂梁在集中荷载、水平均布荷载、三角形荷载作用时锚索作用点处的位移分别为：

$$\Delta_1 = \frac{q_0 L_i^2}{120EI_{q_0}} (10L_{q_0}^3 - 10L_{q_0}^2 + 5L_{q_0} L_i^2 - L_i^3) \quad \text{式⑤}$$

$$\Delta_2 = \frac{q L_i^2}{24EI} (L_i^2 + 6L_q^2 - 4L_q L_i) \quad \text{式⑥}$$

$$\Delta_3 = \frac{F L_i^2}{6EI} (3L_f - L_i) \quad \text{式⑦}$$

由外荷载引起的锚索作用点处的位移：

$$\Delta_{pi} \text{悬臂段} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \quad \text{式⑧}$$

外荷载作用下锚固点的位移：

$$\Delta_{pi} \text{锚固段} = M_p \delta_m + Q_p \delta_{q+L_i} (M_p \beta_m + Q_p \beta_q) \quad \text{式⑨}$$

外荷载作用下锚索点的作用点处的总位移：

$$\Delta_{pi} = \Delta_{pi} \text{悬臂段} + \Delta_{pi} \text{锚固段} \quad \text{式⑩}$$

M_p ——外力换算到锚固点的弯矩（不计锚拉力）

Q_p ——外力换算到锚固点的剪力（不计锚拉力）

T_i ——第*i*个锚索拉力水平分力

K_i ——第*i*个锚索刚度系数

δ_q ——K法求得的锚固点单位剪力作用时锚固点的水平位移

δ_m ——K法求得的锚固点单位弯矩作用时锚固点的水平位移

β_q ——K法求得的锚固点单位剪力作用时锚固点的

转角

β_m ——K法求得的锚固点单位弯矩作用时锚固点的

转角

q ——水平均布荷载

q_0 ——三角形荷载

F ——水平集中荷载

L_i ——第*i*个锚索距锚固点的距离（m）

L_f ——水平荷载作用点距锚固点的距离（m）

L_{q_i} ——均布荷载作用范围距锚固点的距离（m）

L_{q_0} ——三角形荷载作用范围距锚固点的距离（m）

L_{Si} ——锚索自由段长度（m）

α ——锚索倾角

E_{Si} ——锚索弹性模量

A_{Si} ——锚索截面积

求解线性方程①可得锚索的锚索锚拉力，如下表所示：

表一 锚索参数表

锚索	距桩顶距离 (m)	与水平面的夹角 (°)	自由段长度 (m)	预拉力 (KN)	拉力设计值水平分力 (KN)
1	2	15	10	200	627.47
2	4	20	10	200	522.43
3	7	15	10	200	439.55
4	9	20	10	200	345.87

三、锚固段桩身内力计算

采用K法计算锚固段内力及变形时，地基系数为常数，桩视为弹性地基梁，其微分方程为：

$$EI \frac{d^4 x}{dy^4} + K_H B_P x = 0 \quad \text{式⑪}$$

锚固段桩身位移、转角、弯矩、剪力按下式计算：

$$\left. \begin{aligned} x_y &= x_0 \phi 1 + \frac{q_0}{\beta} \phi 2 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \phi 3 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \phi 4 \\ \phi_y &= \beta \left(-4x_0 \phi 4 + \frac{q_0}{\beta} \phi 1 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \phi 2 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \phi 3 \right) \\ M_y &= \beta^2 EI \left(-4x_0 \phi 3 + \frac{q_0}{\beta} \phi 4 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \phi 1 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \phi 2 \right) \\ Q_y &= \beta^3 EI \left(-4x_0 \phi 2 + \frac{q_0}{\beta} \phi 3 + \frac{M_0}{\beta^2 EI} \phi 4 + \frac{Q_0}{\beta^3 EI} \phi 1 \right) \end{aligned} \right\} \text{式⑫}$$

其中 $\phi 1$ 、 $\phi 2$ 、 $\phi 3$ 、 $\phi 4$ 为K法影响函数值按下式计算：

$$\left. \begin{aligned} \phi 1 &= \cos(\beta y) \operatorname{ch}(\beta y) \\ \phi 2 &= \frac{1}{2} (\sin(\beta y) \operatorname{ch}(\beta y) + \cos(\beta y) \operatorname{ch}(\beta y)) \\ \phi 3 &= \frac{1}{2} \sin(\beta y) \operatorname{sh}(\beta y) \\ \phi 4 &= \frac{1}{4} (\sin(\beta y) \operatorname{ch}(\beta y) - \cos(\beta y) \operatorname{sh}(\beta y)) \end{aligned} \right\} \text{式⑬}$$

由锚固点出的弯矩和剪力 M_0 、 Q_0 及桩底约束条件, 联立方程求解出 x_0 、 ϕ_0 代入方程式⑫可求解出锚固段桩身位移、转角、弯矩、剪力。

四、结论

本文根据桩与锚索的变形协调条件, 实现了采用K法计算锚固段桩身内力的一种方法, 该方法可以较为简便的得到锚拉式抗滑桩内力的解析解, 从实际应用来看, 该法优化了桩身内力分布, 可以满足工程需要。

参考文献:

- [1] 罗强. 路抗滑桩的类型及应用[J]. 路基工程, 2001, (8): 113-114.
- [2] 於法明. 关于锚杆水平向刚度系数的讨论[J]. 广州建筑. 1995.3: 14 ~ 15.
- [3] 佺磊, 马丽英, 冷曦晨, 于清杨. 滑坡治理中的抗滑桩设计[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002(2): 162-165.