

锚根埋深的计算方法

申继红

(石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003)

摘要:根据对锚根附近应力场的分析,指出锚根可能破坏的几种情况,同时指出以往计算锚根埋深公式存在的问题.针对这些问题,依据岩石破坏强度理论和弹性力学理论给出了几种情况下计算锚根最小埋深的公式.

关键词:锚根;埋深长度;岩体

中图分类号:TV223.3+4

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2002)02-0025-03

锚根是锚固体向基岩内部传递荷载的关键部位,当其埋入岩体内的深度较浅时,可能发生下列4种破坏情况:①对于胶结式锚根,当粘结段不够长时,可能沿粘结面发生破坏;②在锚根上部岩体内由于挤压力较大,可能发生剪切破坏;③对于群锚,可能发生整体破坏;④由于锚根下半部围岩内具有较大的拉应力,在该区域内可能发生拉裂破坏,特别当存在不利地质构造时,这种破坏的可能性更大.对于①的破坏情况,主要取决于粘结长度,不在本文讨论范围内,本文主要讨论其它3种的破坏情况.

关于锚根埋深问题,前人做过一些研究.起初,人们习惯于用锚根上部锥形体的重量大于锚固力为依据来确定锚根埋入岩体中的深度,但大量的试验资料说明,上述依据是不符合实际的,因为岩体是一整体,内部存在着强度,实际的抗拔能力要比锥形体重量至少大2.8倍. Hobst^[1]等考虑了岩体内的强度,提出了位于完整岩体内的单个锚根最小埋深计算公式:

$$h_s = \sqrt{\frac{m_k p}{\pi [\tau] \sqrt{2}}} \quad (1)$$

式中: m_k 为安全系数,取2~4; p 为设计的单孔锚固力; $[\tau]$ 为的抗剪强度. 公式(1)存在下列几个问题: ①只适用于岩体具有临空面的浅孔锚根,对于深孔锚根不能应用; ②未计入岩体的重量,有时岩体重量为不利因素,例如倒悬锚固体便是如此; ③式(1)中,锥形体的顶角采用 90° ,但根据理论分析,滑动面与水平面夹角应为 $45^\circ + \varphi/2$; ④只考虑了锚根顶端岩体发生挤压破坏,而未考虑锚根底部发生拉裂破坏.

本文针对以上存在的问题,对锚根附近岩体破

坏的可能性进行分析研究,并提出计算锚根埋深的方法.

1 浅锚根最小埋深的确定

所谓浅锚根是指位于具有临空自由表面的岩体内的锚根.由锚根附近应力场的分析结果可知^[2],胶结式锚根上半段区域为压力区,下半段区域为拉力区.因此,当锚根埋入岩体内的深度较浅时,可能发生以下两种破坏情况: ①锚根上部岩体发生挤压破坏; ②锚根底部岩体发生拉裂破坏.

1.1 锚根上部岩体发生挤压破坏

当锚根承受的拉力达到一定的数值时,锚根上部的岩体产生较大的压力,如果锚根埋深较浅,将可能沿某一破坏面发生剪切滑移,使锚根有效粘结长度减小,最后全部被拔出(图1),这种破坏机理可用库仑-莫尔强度理论来解释,由理论分析可得其破坏面与作用力轴线的夹角 β ^[3]:

$$\beta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

式中 φ 为岩体的内摩擦角.

当锚根位于完整的岩体内时,岩体的强度应为抗剪强度 $[\tau]$,在破坏面上近似地假定 $[\tau]$ 均相等,则对单孔而言,其最小埋深 h 应有下列关系,即

$$m_k p = \pi R L [\tau] \cos(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) + \frac{1}{3} \pi R^2 h \gamma_s \cos \alpha$$

整理后得

$$h^3 \gamma_s \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \cos \alpha + 3 h^2 [\tau] \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) - \frac{3 m_k p}{\pi} = 0 \quad (3)$$

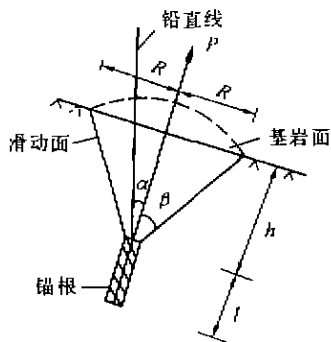


图1 挤压破坏示意

式中: γ 为岩体的容重; a 为锚固力 P 的作用线与铅直垂线之间的夹角, 其它符号同上。

求解式(3)可得锚根最小埋深 h 。

1.2 锚根下部发生拉裂破坏

由于锚根下半段围岩均处于拉应力状态, 当拉应力过大时, 可能将岩体拉裂, 裂纹逐渐向上伸延, 直至贯通岩体, 最后导致锚根联同部分岩体被拔起 (图2)。

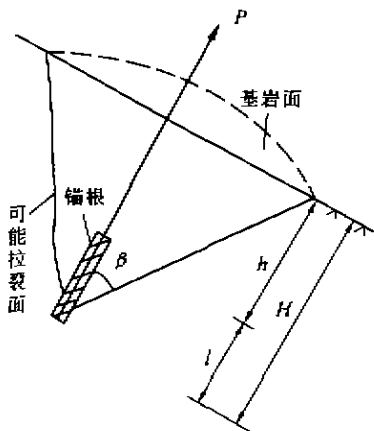


图2 拉裂破坏示意

这种破坏特性可用格里菲斯强度理论^[3]来说明。由于岩体内部存在着许多细微的裂纹, 在裂纹的尖端将形成应力集中现象, 如果岩体内发生主拉应力, 当裂纹尖端附近的拉应力超过岩体的抗拉强度时, 则开始发生断裂。格里菲斯强度理论认为:

当 $\sigma_1 + 3\sigma_2 > 0$ 时, 有

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2}{\sigma_1 + \sigma_2} \leq 8[\sigma_t] \quad (4)$$

当 $\sigma_1 + 3\sigma_2 < 0$ 时, 有

$$\sigma_2 \leq -[\sigma_t] \quad (5)$$

$$\cos 2\beta = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (6)$$

式中: σ_t 为岩石材料的单轴抗拉强度, 一般取抗压强度的 $1/10 \sim 1/50$, 当拉应力垂直构造弱面时, 宜取 $[\sigma_t] < 1000 \sim 1500 \text{ kPa}$; β 为最大主面与裂纹长轴方向之间的夹角。

σ_1 和 σ_2 可近似地由文献[4]中的方法求得 (图3)。

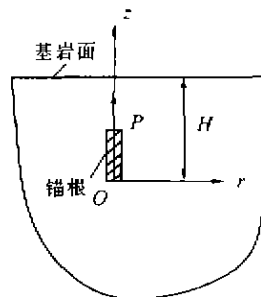


图3 Mindlin 解示意

由于该问题为轴对称问题, 则通过 z 轴任一 π 平面内的主应力 σ_1 和 σ_2 及其方向均可由材料力学常用公式求得, 当求得的 σ_1 和 σ_2 满足了式(4)或式(5)时, 则表明所拟定的锚根埋深 H 不会在锚根底部发生拉裂破坏。

应该说明, 在集中力 P 的作用点附近, 将发生应力集中现象, 因此, 很难满足上述要求。但是, 不论胶结式锚根还是机械式锚根, 实际上 P 是作用在一定长度范围内的。同时, 岩体具有一定的塑性, 故力 P 作用点附近小范围内的主应力允许超过式(4)或(5)的限值。

对于群锚, 当锚孔间距离 $a < 2h \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ 时, 还应核算整体抗拔能力。

现设 M 及 N 分别为群锚的列数和行数, 根据力的平衡条件, 则有:

$$m_k MNP = MNa^2 H' \gamma_s \cos a + MNa^2 [\sigma_t] + 2(M + N)a \cdot \frac{1}{2} H' [\tau]$$

整理后得

$$H' = \frac{m_k p - a^2 [\sigma_t]}{a^2 \gamma_s \cos a + \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{N}\right) a [\tau]} \quad (7)$$

当 $H' > H$ 或 $H' > (h + L)$ 时, 则锚根埋深应取 H' 。当相邻锚孔埋深采取差开布置时, 其中一半锚根埋深可取 H' , 另一半可取 H 或 $h + L$ 。

2 深锚根最小埋深的确定

当坚硬的岩体位于地表以下较深时, 为了锚固体的需要, 需将锚根埋入坚硬岩体内, 此时锚根位于地表以下很深的地段, 在这种情况下, 坚硬岩体表面上具有压重, 该压重由两部分组成: 一部分为上部岩体自重所引起的初应力; 另一部分为预加张力对岩体所引起的附加应力。因此发生锚根联同部分岩体一起被拔起的可能性不大 (但倒悬锚固体除外), 而只能使锚根沿孔壁发生剪切破坏。但是, 当锚根埋入坚硬岩体内的深度较浅时, 由于锚根上端的压力过大,

使岩体发生剪切破坏,造成锚根有效粘结长度减小,最后导致锚根被拔出(图4)。由于锚根埋入地基内很深,且有一层低弹模的软弱夹层,因此,可把预加张力和上部岩体所引起的初应力均作为均布荷载作用在坚硬岩体的表面,对于图5所示受力情况的应力场问题可用文献[4]的解和弹性理论基本解叠加后得到,关于半空间体作用有均布荷载 q 时的标准解^[5]为

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_y = -\frac{\mu}{1-\mu}q \\ \sigma_z = -q \\ \tau_{yz} = \tau_{zx} = \tau_{xy} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

由坐标变换公式,对于轴对称问题有:

$$\begin{cases} \sigma_z = -q \\ \sigma_r = \sigma_\theta = -\frac{\mu}{1-\mu}q \\ \tau_{rz} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

则图5所示受力情况的应力场为

$$\begin{cases} \sigma_r(r, z) = B \left[\frac{(1-2\mu)(Z-h)}{R_1^3} - \frac{(1-2\mu)(Z+h)}{R_2^3} + \frac{4(1-\mu)(1-2\mu)}{R_2(R_2+Z+h)} \right] + \\ \frac{6h(1-2\mu)(Z+h)^2 - 6h^2(Z+h) - 3(3-4\mu)r^2(Z-h)}{R_2^3} - \\ \frac{3r^2(Z-h)}{R_1^3} - \frac{30hr^2Z(Z+h)}{R_2^3} - \frac{\mu}{1-\mu}q \Big] \\ \sigma_z(r, z) = B \left[-\frac{(1-2\mu)(Z-h)}{R_1^3} + \frac{(1-2\mu)(Z-h)}{R_2^3} - \right. \\ \left. \frac{3(Z-h)^3}{R_1^3} - \frac{3(3-4\mu)Z(Z+h)^2 - 3h(Z+h)(5Z-h)}{R_2^3} - \right. \\ \left. \frac{3(4hZ(Z+h)^3)}{R_2^3} \right] - q \\ \tau_{rz}(r, z) = Br \left[-\frac{1-2\mu}{R_1^3} + \frac{1-2\mu}{R_2^3} - \frac{3(Z-h)^2}{R_1^3} - \right. \\ \left. \frac{30Z(Z+h)^2h}{R_2^3} - \frac{3(3-4\mu)Z(Z+h) - 3h(3Z+h)}{R_2^3} \right] \end{cases} \quad (10)$$

式中: $B = \frac{P}{8\pi(1-\mu)}$, $R_1^2 = r^2 + (z-h)^2$, $R_2^2 = r^2 + (z+h)^2$, 根据莫尔强度理论,在复杂应力状态下,强度条件为

$$\sin\varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2C \cdot \cot\varphi} \quad (11)$$

式中: C 为岩石的粘结力,其它符号同前。

由式(10)求得锚根上部岩体的应力场后,再由材料力学公式求出各计算点的主应力 σ_1 及 σ_2 ,当 σ_1 及 σ_2 满足式(11)的强度条件时,则表明所拟定的 h 值满足强度要求。

对于群锚,可根据叠加原理求其应力场,对于倒悬的群锚还应校核整体抗拔能力。

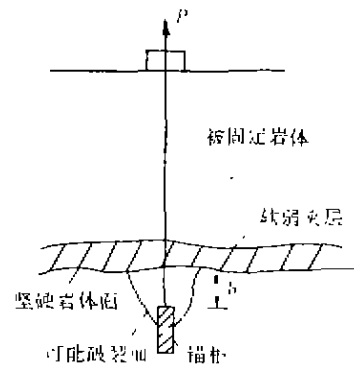


图4 深锚根埋深示意

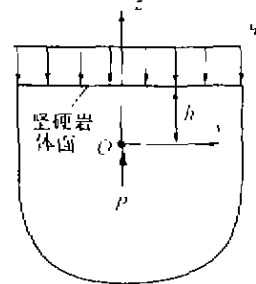


图5 深锚根受力示意

3 结 语

锚根埋深问题是关系到锚固体能否安全工作和工程造价高低等问题,该问题比较复杂,它涉及岩石破坏理论问题,同时又和岩体地质构造密切相关,因此,必须针对工程具体问题加以分析研究,选取合适的计算参数和方法来确定最小锚根埋深。

参考文献:

- [1] Hobst L, Zajick. Anchoring in rock and soil[M]. New York: Amsterdam Oxford, 1983.
- [2] 胡钧涛,王建江. 预应力岩锚胶结式锚根受力机理研究[J]. 人民长江, 1987(6): 12~14.
- [3] 重庆建筑工程学院, 同济大学. 岩石力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979.
- [4] Mindlin R D. Force at a point in the interior of a semi-infinite solid[J]. Physics, 1936(7): 195~202.
- [5] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982.

(收稿日期: 2001-12-16 编辑: 张志琴)

