

压力分散型锚索在实际应用中应考虑的几个问题

颜世明

江苏省地质矿产局第一地质大队 江苏南京 210041

摘要: 锚索由于其结构合理、施工方便、适应性广等优势点, 现已成为边坡治理中的重要手段, 但也存在诸多问题, 因此压力分散型锚索在工程应用中越来越多。本文以南宁某基坑边坡为例, 对压力分散型锚索在实际应用中需考虑的极限抗拔承载力和承载板间距设置等几个问题进行讨论。

关键词: 压力分散型锚索; 极限抗拔承载力; 承载板

引言:

锚固是把锚杆(索)埋入岩土体, 外侧用锚头固定, 利用钢筋的张拉特性, 提高岩土体稳定性的技术^[1], 尽管常规的拉力型锚索具有结构合理、施工方便、适应性广等优势, 但同时存在应力过于集中、锚固长度有限、锚固力有限及防腐效果难以保证等问题, 压力分散型锚索在大型工程中的应用越来越广泛, 该类型的预应力锚索, 将预应力转化为均匀的压力挤压注浆体上的锚固技术, 能够显著提高锚索在岩土体中的锚固力, 因此应用越来越广泛。

但工程实践中也暴露出该类型锚索的不足, 除了施工难度较大、预应力张拉繁琐等问题外, 还由于其受力机理复杂以及锚固机理的研究还不成熟, 造成在实际应用过程中仍存在值得探讨和改进的问题。

目前设计人员在实际应用过程中关注问题有^[2] (1) 压力分散型锚索较普通拉力型锚索提高锚固力是毋庸置疑的, 但在实际应用过程中锚索的极限抗拔承载力是多少? 如何计算锚固段长度? 这些问题至今没有彻底解决 (2) 压力分散型锚索往往存在多个承载板, 但如何合理设置承载板的间距, 即可避免应力集中现象又能避免材料浪费, 这个问题也没有较权威的定论。本文将总结相关理论的基础上, 结合工程实践, 对上述问题加以探讨和分析。

一、极限承载力设计

锚索的极限抗拔承载力影响因素较多, 与破裂面形状、倾角、注浆体性质、周边岩土体物理力学性质均有关。

基于统一强度理论和极限平衡原理, 各破裂面形式的抗拔力计算如下^[3]:

(1) 圆锥形破坏。当锚索浅埋, 即锚固段埋深小于某一临界深度时, 破裂面可近似认为是圆锥形, 此时

根据双剪统一强度准则和极限平衡原理可得出锚索锥体的极限拉力计算公式为:

$$P_a = \int_0^L \{2\pi q x \cot\theta + 2\pi x [\sigma^* (\tan\varphi_t \sin\theta - \cos\theta) + c_t \sin\theta]\} dz \quad (1)$$

(2) 滑移破坏。当锚索深埋时, 即锚固体埋深大于某一临界深度时, 上部破裂面形状与(1)基本相同; 而在深部的锚固体一般沿锚孔滑移, 其破裂面破裂面为浆岩界面。

此时根据浆岩界面的粘结可得出锚索的极限拉力计算公式为:

$$P_a = \int_0^L \pi d \tau dz = \pi d l_1 \tau_{s1} + \pi d l_2 \tau_{s2} + \dots + \pi d l_n \tau_{sn} \quad (2)$$

(3) 复合破坏模式。这是大部分锚索的破坏形式, 破坏时在靠近地表部分形成圆锥形破裂面, 而深部则发生锚索与锚孔的相对滑移, 最后整根锚索从孔中抽出而发生破坏。

当锚固体按复合破坏模式进行破坏时, 其极限抗拔力主要由两部分组成: 一部分是锥体承受的拉力; 另一部分是锥体下端的锚索与锚孔之间摩阻力。

综合以上两个部分的计算可得极限抗拔力计算公式为:

$$T_{ult} = \int_0^{l_a} \{2\pi q x \cot\theta + 2\pi x [\sigma^* (\tan\varphi_t \sin\theta - \cos\theta) + c_t \sin\theta]\} dz + \int_0^{l_b} 2\pi r \tau^{*'} dz \quad (3)$$

除此以外, 对于压力分散型锚索还应考虑材料本身可能出现的破坏形态^[4]: 承载板破坏、钢绞线断裂破坏以及注浆体压碎破坏, 所以锚固体的极限锚固力 T_{ult} 也应满足下列3个基本条件:

$$T_{ult} \leq A_s \cdot f_r \quad (4)$$

$$T_{ult} \leq A_s \cdot f_{ptk} \quad (5)$$

$$T_{ult} \leq n \cdot A_c \cdot f_c \cdot \lambda \quad (6)$$

A_s —钢绞线的横截面面积 (m^2);

f_{ptk} —钢绞线的强度标准值 (MPa);

作者简介: 颜世明 (1990年生) 男, 汉族, 山东潍坊人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害治理设计。

n —承载体的数量；

A_c —注浆体承压面积 (m^2)；

f_c —注浆体抗压强度标准值 (MPa)；

λ —周边岩土体对注浆体抗压强度的提高系数；

$\tau_{s1}, \tau_{s2}, \dots, \tau_{sn}$ —各单元在不同地层的平均粘结强度标准值 (MPa)；

l_1, l_2, \dots, l_n —各单元锚固长度 (m)；

d —注浆体直径 (mm)；

L_a —锚索锚固段与自由段长度之和；

L_b —锚固段长度；

θ —微元体破裂面与垂直于锚索体方向的夹角；

φ', c' —锚固体与岩体的接触面参数；

r —锚索体半径；

f_c —承载板的抗压强度标准值。

由以上破坏条件的分析可得，压力分散型锚索的极限抗拔承载力即可取以上式(1)~式(6)六个公式计算结果的最小值。

二、承载板间距设置

合理的承载板间距对压力分散型锚索的安全性具有重要作用，当承载板间距过小时，可能因应力叠加造成锚索破坏；当承载板间距过大可能造成材料浪费或浆体开裂。

当承载板间距过小时，单元锚固段浆岩界面摩擦力无法完全抵消所施加的荷载，围岩体无法完全分担这些荷载，将导致荷载传递到下一锚固单元，这样会导致距孔口方向最近的单元锚固段上的剪应力和轴向应力不断叠加。当应力叠加导致轴向应力超过注浆体抗压强度或剪应力超过浆岩界面抗剪强度时，会导致距孔口方向最近的单元锚固段的注浆体的破坏或浆岩界面的破坏进而导致此单元的破坏失稳，甚至将导致整个锚索失效，压力分散型锚索应力叠加的示意图如下图。

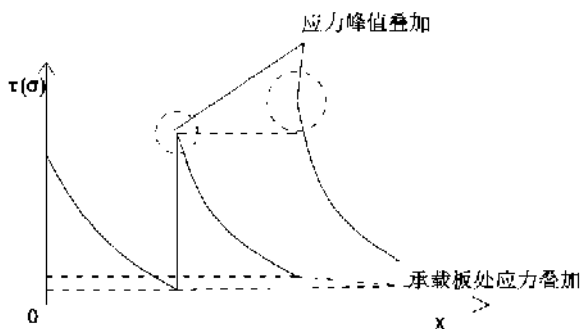


图1 锚固段应力叠加示意图

当承载板间距较大时，锚固段低应力区区段比较长，而在本单元与下一单元交界的承载板附近存在着对本单元的拉应力，此时低应力区段主要承受拉应力。但注浆体抗拉强度较小，当拉应力区段峰值超过注浆体的抗拉强度时，注浆体很容易受拉开裂，从而导致注浆体的破

坏，进而导致锚索单元的破坏。

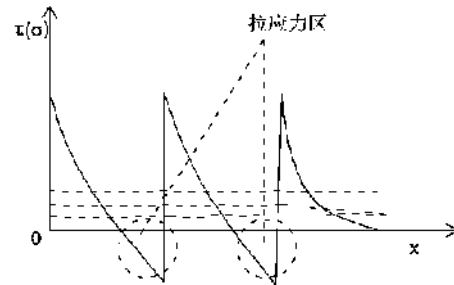


图2 锚固段拉应力区示意图

综上所述，可以根据锚固段注浆体轴向应力与浆岩界面剪应力的分布来判定合理承载板间距

三、工程实例

1. 工程概况

项目为南宁市某基坑边坡，边坡24.2~37.9米，基坑(边坡)支护采用永久性支护及临时性支护两种支护形式，其中永久支护段采用桩锚支护方式，锚索主要使用拉力集中锚索及压力分散性锚索。根据项目勘查报告，边坡深度范围内土层从上往下主要为填土、含角砾粘性土、含粘性土角砾、粘性土、全风化泥岩、中风化泥灰岩、石灰岩、硅质岩等。其中主要涉及到受力地层主要有②含砾黏性土、③含黏土角砾、⑤全风化泥岩、⑥中风化泥质灰岩4个岩土层。为获取边坡支护方法动态设计的相关参数，该项目针对压力分散型锚索开展基本试验，获取得到个地层与锚固体粘结强度标准值如下表：

表1 岩土层粘结强度表

岩土层名称	地层与锚固体粘结强度标准值 (kpa)	地层与锚固体粘结强度设计值 (kpa)
②含砾黏性土	83	80
③含黏土角砾	226.01	220
⑤全风化泥岩	118.13	115
⑥中风化泥质灰岩	751	700

2. 极限抗拔承载力计算

由第3节基于破坏模式的计算方法，针对本工程压力分散型锚索，其锚固深度较深，在上覆岩土层的重力条件下，岩土层基本不会产生圆锥破裂面，而主要发生浆体与岩土体的接触面破坏，同时承载板强度较高，不易破坏，所以本工程的压力分散型锚索的破坏方式主要有三种即①钢绞线断裂破坏；②注浆体压碎破坏；③浆岩界面滑移破坏。

即对本工程压力分散型锚索，锚固体的极限锚固力 T_{ult} 应当满足以下3个基本条件：

$$T_{ult} \leq A_s \cdot f_{ptk}$$

$$T_{ult} \leq n \cdot A_c \cdot f_c \cdot \lambda$$

$$T_{ult} \leq \pi d l_1 \tau_{s1} + \pi d l_2 \tau_{s2} + \dots + \pi d l_n \tau_{sn}$$

利用上式根据以上基本试验得到的参数，对锚索进行计算，得到的计算结果与拉拔试验数据对比如表3所示。

表3 压力分散型锚索极限抗拔承载力

锚索编号	基于破坏模式的计算方法计算值 (kN)	实测值 (kN)	误差 (kN)	误差率
②-1	248.81	257	8.19	3.2%
③-1	675.03	685	9.97	1.5%
③-2	2736.96	3234	497.04	15.4%
③-3	3421.19	3731	309.81	8.3%
⑤-1	357.67	311	46.67	15.0%
⑤-2	1073.01	1306	232.99	17.8%
⑥-1	1935.22	2075	139.78	6.7%

由上表可知，利用基于破坏模式的计算方法计算得出的压力分散型锚索极限拉拔承载力与实测极限拉拔承载力值误差均在20%以内，其中一项数据误差较大的误差率为17.8%，由此可得利用本方法计算压力分散型锚索极限拉拔承载力较为合理，与实测值较为符合。

3. 承载板合理间距设置

为研究压力分散型锚索中承载板的合理间距，本项目采用flac3d进行数值模拟，并以锚固段在软岩⑥层中为例进行分析：



图3 软岩条件下锚固段注浆体轴向应力云图



图4 软岩条件下锚固段注浆体剪应力云图

模拟建立三单元的压力分散型锚索，各单元施加锚固力为300KN，对承载板间距分别2m、2.5m、3m、4m的不同间距的轴向应力和剪应力进行模拟，得到如下结果。

(1) 轴向应力结果

由图5(a-d)，当其承载板间距取2m和2.5m时，第二单元和第三单元轴向应力峰值大于第一单元轴向应力峰值，这说明承载板间距取2m和2.5m时，间距偏小，会发生明显的应力叠加现象；而当其承载板间距取超过3m，注浆体内有拉应力出现，这说明此时间距偏大。

四、结语

(1) 对压力分散型锚索极限抗拔承载力的拉拔试验结果和基于破坏模式计算方法得到的极限抗拔承载力结

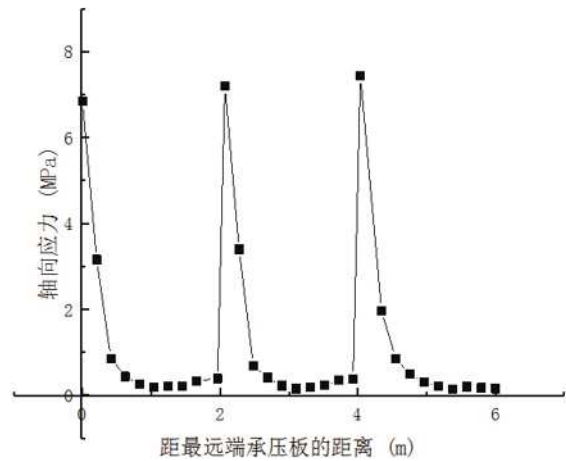


图5a 承载板间距为2m时的轴向应力分布曲线

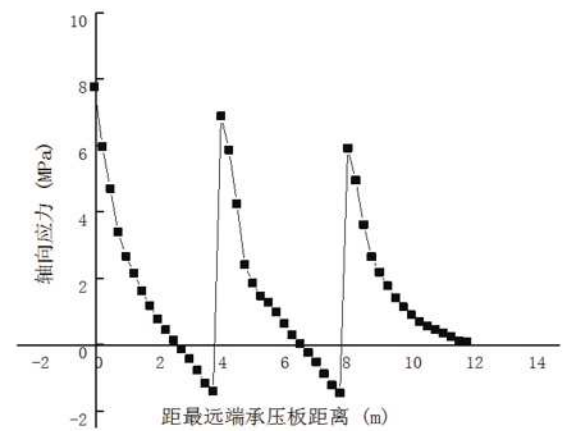


图5d 承载板间距为4m时的轴向应力分布曲线

果进行了对比，得到两者极限抗拔承载力结果的差距在20%以内，证明了该理论计算方法的可行性。

(2) 采用flac3d对软岩中的承载板间距进行研究，证明通过综合分析不同承载板间距下轴向应力及剪应力的分布情况来确定承载板合理间距是合理的。

(3) 由于本人能力及客观因素限制，本文仅通过工程实例对软岩中承载板合理间距设置进行研究，希望在后续工作中能对各种岩土体中承载板间距以及工程中各参数对承载板合理间距的影响开展进一步的研究，加深压力分散型锚索机理的认识，为工程应用提供更多支持。

参考文献：

[1]程良奎，胡建林，张培文.岩土锚固技术新发展[J].工业建筑.2010，40（01）：98-101.
 [2]周德培，刘世雄，刘鸿.压力分散型锚索设计中应考虑的几个问题[J].岩石力学与工程学报.2013，32（08）：1513-1519.
 [3]邓宗伟，冷伍明，李志勇，等.基于统一强度准则的预应力锚索极限承载力计算[J].岩石力学与工程学报.2007（06）：1138-1144.
 [4]曹兴松，周德培.压力分散型锚索锚固段的设计方法[J].岩土工程学报.2005（09）：1033-1039.