

# 影响锚杆预应力的因素浅析

杨辉, 陈晨

(吉林大学 建设工程学院, 吉林长春 130026)

**摘要:**通过几个工程实例的长期观测结果的分析, 总结出不同工程地质条件下对锚杆预应力影响最大的几个因素, 包括: 地层的蠕变、钢材的松弛、各种冲击作用等。并对这些因素的作用机理进行分析, 为预应力损失的预防和治理提供理论基础。

**关键词:**锚固工程; 锚杆; 预应力; 松弛; 蠕变; 冲击力

**中图分类号:** TU472.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)01-0045-03

## 0 引言

实践证明, 锚杆的初始预应力总是变化的, 这种变化通常表现为预应力的损失。预应力的损失对锚固工程的稳定性是极为不利的。因为潜在破坏的岩(土)体通过锚杆的拉力作用, 使其稳固地依附在稳定地层上, 锚杆的拉力作用增加了潜在滑动面上的法向应力, 从而提高了抗剪强度, 使地层得到加固。一旦锚杆预应力发生损失并达到一定量, 致使地层抗剪强度下降到稳定值以下, 锚杆有可能随锚固体一起拔出, 导致被加固地层失稳。因而, 锚杆预应力的变化直接影响到锚固工程的安全, 有必要对其进行长期观测, 分析研究影响锚杆预应力损失的多种因素, 并提出相应的处理方案以保证工程的安全。

## 1 地层的影响作用

锚杆可以主动地加固岩(土)体, 它一端被锚固在稳定地层中, 另一端则被锚具固定在结构物上, 将结构物与地层紧密地固结在一起, 依赖锚固体周围岩(土)体的摩阻力传递结构物的拉力使地层得到加固。而锚固体周围岩(土)体在锚杆长期剪力作用下会发生蠕变变形, 剪力越大, 岩(土)体力学性质越差, 蠕变变形就越大。蠕变将导致锚杆的预应力减小, 蠕变量越大预应力损失量也就越大。因此, 地层岩土体的性质对锚杆的预应力损失起主要的作用。

### 1.1 岩体的影响作用

#### 1.1.1 坚硬岩层

坚硬完整的岩体在长期剪力作用下发生蠕变的量很小, 它对锚杆预应力的影响不大, 预应力的损失

主要是由杆体的松弛造成的。根据美国预应力混凝土协会的有关资料, 岩石锚杆的预应力损失量在7d内可达3%, 这主要是由于钢材的松弛造成的。对锚固的大坝进行的长期观测也表明, 预应力的损失量最大可达10%, 主要是由于钢材的松弛和混凝土的徐变造成的, 而不是由基岩的蠕变引起的。

#### 1.1.2 软弱岩体

软弱的岩体, 如: 泥岩、页岩、粉砂岩和泥质矿岩等强度低、孔隙度大、胶结程度差, 受结构面切割及风化显著的岩体在长期外力的作用下会发生显著的蠕变变形。蠕变试验表明, 当所施加的荷载小于某一荷载水平时, 岩石处于稳定变形状态, 蠕变曲线趋于某一稳定值, 随时间增加不再变化; 当所施加的荷载大于某一荷载水平时, 岩石呈现明显的塑性变形加速现象, 即产生不稳定变形。这一荷载称为软岩的软化临界荷载, 亦即使岩石产生明显变形的最小荷载。

软化临界荷载计算的经验公式为:  $\sigma_n = KR$

式中:  $R$ ——岩石单轴抗压强度(MPa)

$K$ ——经验系数, 膨胀性软岩  $K=0.3\sim 0.5$ ,

高应力软岩  $K=0.5\sim 0.7$ , 节理化软岩

$K=0.4\sim 0.8$

表1 某工程不同地层岩性和锚杆实测资料

岩石类别	锚固力 (kN)	单轴 抗压强度 (MPa)	软化 临界荷载 (MPa)	预应力 损失率 (%)	平均 损失率 (%)
块状 花岗岩	3000	85	51	7.3, 10.5, 8.3, 8.11, 3.8, 5.6, 4	8.6
块状 花岗岩	1000	85	51	4.0, 1.8, 3.9, 1.8, 2.5, 2.2, 2.1	2.6
Si质 砂岩	2000	95	57	2.3, 3.3, 2.9, 2.8, 2.87, 3.02, 2.9	2.46
Si质 砂岩	2000	95	57	2.3, 3.3, 2.9, 2.8, 2.87, 3.02, 2.9	2.46
粉质 砂岩	1000	24	14.4	3.16, 2.69, 5.84, 3.82, 2.69, 3.99, 3.61	3.68

收稿日期: 2005-05-10

作者简介: 杨辉(1980-), 男, 河南三门峡人, 在读研究生, 研究方向为工程地质。

表1为某工程不同地层岩性和锚杆实测资料,其锚杆的锚固力和由锚固力引起的剪切强度均小于锚杆周围岩体的软化临界荷载,故岩体的蠕变变形趋于某一稳定值,随时间不再增加。在相同岩体条件下锚固力越大,锚杆预应力的损失率越大;而在相同初始锚固力条件下岩体质量越好,锚杆预应力损失率就越小。

## 1.2 土体的影响作用

和岩体一样,土体具有颗粒松散、高孔隙率、低粘聚力、天然强度低、压缩性高的特性,尤其是粘土和细的、均匀粒状砂,压缩变形非常明显,而且持续时间较长。设置在这类土层中的锚杆在极限荷载作用下,锚固段会发生较大的蠕变位移,而且锚固体周围的土体会产生流动,可能导致锚杆承载力的急剧下降,进而危及工程的安全。

同岩体一样,土的蠕变也分为三个阶段,如图1所示:第I阶段(AB)为衰减蠕变阶段,在这个阶段里,蠕变变形不断增加,但应变速率越来越小,蠕变曲线的斜率逐渐变小。当达到B点时,应变速率处于该阶段的最小值。第II阶段(BC)为稳定蠕变阶段,这时应变速率保持为常量,蠕变曲线为一倾斜直线。第III阶段(CD)为加速蠕变阶段,应变速率由C点开始迅速增加,达到D点,导致土体发生破坏。锚杆锚固段周围土体的蠕变变形将导致锚杆蠕变和预应力的损失。图2、3为某工程淤泥质层中锚杆蠕变曲线和预应力曲线。

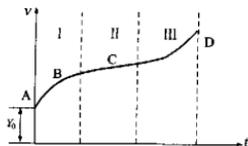


图1 土蠕变的三个阶段

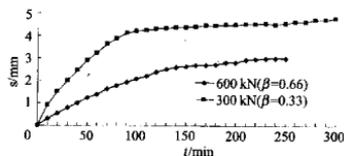


图2 饱和淤泥质层中锚杆的蠕变曲线

图3反映了饱和淤泥质层中锚杆的蠕变特性。从图中可以看出:(1)锚杆的蠕变变形主要发生在加荷的初期;锚杆荷载为300 kN时,最初1 h的蠕变量占5 h总蠕变量的85.7%,荷载为600 kN

时,前4 h的蠕变量占16 h总蠕变量的75.7%;(2)锚杆蠕变量的大小与其预应力大小成正比例关系。

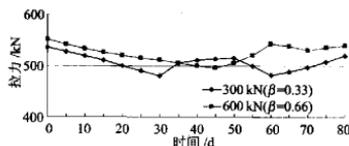


图3 饱和淤泥质层中锚杆的预应力变化

总结图4曲线的变化规律可以看出:(1)设置在土层中的锚杆一般都在固定5 d内呈现出预应力值的明显降低,在一个月左右的时间后趋于稳定。这一规律和土层蠕变的趋势相一致,进一步说明土层蠕变是引起锚杆预应力损失的主要因素;(2)锚杆预应力的损失量一般都在15%以内。预应力损失量与锁定荷载的大小密切相关,锁定荷载越大预应力损失量越大,反之亦然。

根据锚杆损失量的变化规律,如要控制锚杆的预应力损失值,可以降低 $\beta$ (锚杆的锁定荷载与锚杆的极限承载力之比)的大小以抑制锚杆的蠕变变形,还可以对锚杆进行补偿张拉,其效果也很明显。

## 2 冲击作用对土体强度和锚杆的影响

### 2.1 冲击作用对土体强度的影响

实践证明,在静力学问题中土的应变水平在 $10^{-3}$ 左右时,将不致引起明显的沉降或其他形式的破坏,而在动力学问题中若应变水平在 $10^{-5}$ 时,由于惯性力的作用可导致土体的动力急剧增大,以致实际工程结构难以承受。

土体在动力作用下,由于空隙水压力增高,故有效应力下降,从而引起土体软化,乃至破坏。一般认为,周期加载时的周期应变或剩余应变达到某一条件时的剪应力作为动强度,或即动力屈服条件。

土体的动力强度随着往复加载的循环次数的增加而降低,在有初始剪应力时还与其初始值有关。图4给出了连续5周的情况。由图可见,动强度为 $\tau_s + \tau_d$ ,动强度比静强度有所提高。但若加载周期数增加,动应力应变关系和抗剪强度也要改变。往复加载的循环次数越多,抗剪强度就越低,如图5所示。图中N为往复加载的循环次数。

### 2.2 冲击作用对锚杆的影响

在冲击力(如爆破、地震)作用下土体抗剪强度的降低,必然会引起锚杆锚固段周围土体蠕变量的

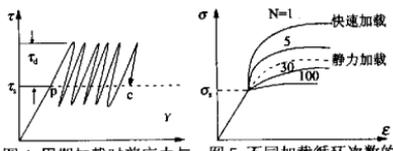


图4 周期加载时剪应力与剪应变的关系曲线

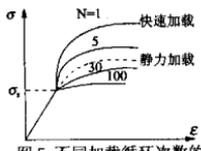


图5 不同加载循环次数的应力应变曲线

增加,从而导致锚杆预应力损失量的增加。尤其是对具有触变性的密实性差的不稳定粘性土中固定的锚杆的影响最为明显。此外,用机械方法固定的锚杆受冲击的影响要比用水泥或合成材料固定的锚杆大得多。长锚索锚杆受冲击作用的影响比短锚杆小。

由冲击作用引起的预应力损失量要比长期荷载作用引起的损失量大得多。美国的研究数据表明,当爆炸点距离锚杆3 m以内时,锚杆预应力的损失量比锚杆在相同时间受静荷载作用发生的损失量大36倍左右。而在5 m以外时,爆破的影响就明显了。

我国对三峡永久船闸预应力锚固工程和小浪底进水口松散岩体边坡锚固工程中爆破对锚杆预应力的影响进行了观测与研究,成果如图6和图7。

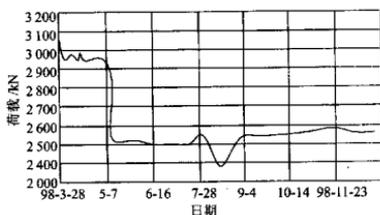
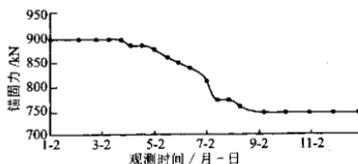
图6 爆破对锚索预应力值的影响  
(爆破孔距锚头1.5 m)

图7 小浪底进水口边坡锚索锚固力变化曲线

### 3 其他影响因素

除了地层的蠕变,影响锚杆预应力的因素还有锚杆杆体材料的松弛、温度的变化以及锚杆的施工工艺等。

#### 3.1 钢材应力松弛

钢材在长期应力作用下会发生应力松弛现象,应力松弛量通常和锚杆张拉后的预应力初始值和受荷时间有直接的关系。实践证明,长期受荷的钢材预应力松弛损失量通常为5%~10%。当施加的应力大于钢材强度的50%时,应力松弛就会明显加大,并且荷载越大松弛量就越大,在20℃以上的温度条件下,这种损失量更大。因此规定,设计张拉力时预应力钢材强度利用系数不超过0.65~0.70,超张拉时不超0.75~0.78,同时要求使用低松弛预应力材料。

#### 3.2 温度的变化

温度的变化主要反映在岩体的变形导致预应力锚索的锚固力变化上。岩石是热导体,具有热胀性,当温度升高时,组成岩石的颗粒体积产生膨胀,同时,引起岩石内部应力状态发生变化,变形特性发生改变。因此,岩体温度升高会导致锚固力的增加,降温则使岩体收缩而导致锚固力减小,由于岩体的体膨胀系数较小(如细粒花岗岩 $\beta=3 \times 10^{-5}/(^{\circ}\text{C})$ ),故温度变化造成的锚固力变化值很小,工程中可以不考虑温度变化对锚固力变化的影响。

#### 3.3 锚杆的施工工艺

锚杆的施工过程中的钻孔、灌浆、张拉与锁定、封锚等工艺的质量都会对锚杆预应力有一定的影响。因此必须严格要求按照施工规范进行操作,以避免因人为的因素造成锚杆预应力的损失。

### 4 结束语

本文通过对多个工程实例和试验数据的分析,总结了锚杆预应力损失的多个因素。分析表明软弱岩体的变形和软弱土体的蠕变是大多数锚杆锚固力损失的主要因素,而在坚硬岩层中钢材的松弛是锚固力损失的主要因素。在有冲击作用发生的地区,比如爆破、地震等,这些因素对锚杆锚固力的影响不可忽视,由爆破作用引起的锚固力松弛量通常比钢材松弛和地层的蠕变引起的锚固力损失还要大。