

土层锚杆预应力损失原因分析与补偿对策研究

任新见 张胜民 李世民

(黄河水利技术研究所 河南洛阳 471023)

摘要:阐述了预应力锚杆的加固机理,对土层锚杆的预应力损失原因进行分析。基于工程实践和土工试验,提出了相应的预应力损失补偿对策,并深入剖析了其中的理论依据。

关键词:土层锚杆 土体蠕变 冲击作用 二次张拉

在公路边坡加固工程中,大量使用了预应力锚杆^[1]。实践证明,锚杆的初始预应力是随时间变化的,这种变化通常表现为预应力的损失。锚杆预应力的变化直接影响到锚固工程的安全,因此,预应力的损失对锚固工程的稳定性是极为不利的。本文剖析了预应力锚杆的加固机理,探讨了锚杆预应力损失的原因,在此基础上提出相应的补偿方法。

1 预应力锚杆加固机理

一部分土体相对另一部分土体产生位移以至丧失原有稳定性的现象,称为土体的失稳。公路边坡加固、隧洞开挖等工程设计与施工的核心所在,就是保持土体稳定性。

从宏观分析,土体的滑动是促使土体运动的滑动力大于滑动面上抗滑力导致的结果。预应力锚杆可以主动地加固土体,它一端被固定在稳定地层中,另一端则被锚具锚固在被加固土层上,将被加固土层与稳定地层紧密连接在一起,依靠锚杆周围土体的摩阻力传递结构物的拉力使土层得到加固。

从微观角度而言,土体的失稳都属于剪切破坏,土体的失稳都是由某些面的剪应力超过土的抗剪强度所造成,一旦发生滑动破坏,这些面的两侧土体就产生很大的相对位移。土的抗剪强度是决定土体是否稳定的关键因素。但对土而言,抗剪强度并非一个常数,它随剪切面上所受法向应力而变。使用预应力锚杆时,锚杆的预加拉力增大了土体潜在滑动面上的法向应力 σ ,从而提

高了土抗剪强度 τ_f 的取值($\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$),土层得以加固。

2 预应力损失原因分析

初次张拉后锚杆初始预应力会随时间衰减。选取洛阳湿限性黄土原状土中3组锚杆做长期监测试验,测得的锚杆预应力随时间的变化曲线如图1所示。

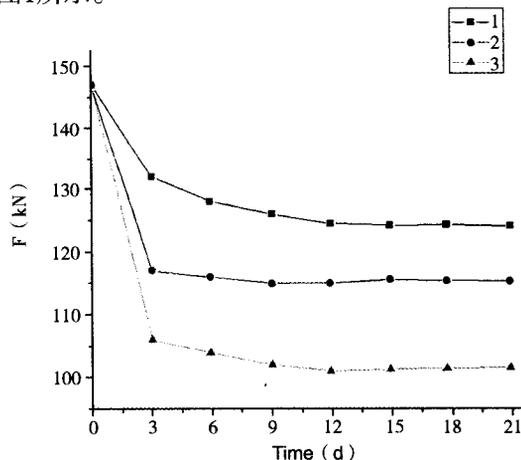


图1 一次张拉后锚杆预应力变化曲线

从图中可以看出,锚杆张拉锁定后6~7d内,预应力值损失较大,达到10%~20%(预应力损失量约占总损失量的85%),12天后基本趋于稳定。预应力值单纯性地衰减,并且不能自我恢复。

基于所做大量岩土试验和长期工程实践,笔者认为,导致锚杆预应力随时间衰减的主要因素分受荷土层蠕变、外来冲击作用、杆体材料的松弛几类。

2.1 土体蠕变

坚硬完整岩体在长期剪力作用下发生蠕变的量很小,对锚杆预应力的影响不大。但土体具有颗粒松散、高孔隙率、低粘聚力、天然强度低及压缩性高的特性,尤其是粘土和细均匀粒状砂,压缩变形非常明显,且持续时间较长。锚杆周围土体在锚杆长期剪力作用下发生蠕变变形,剪力越大,土体力学性质越差,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越大。

预应力的损失宏观上导致锚杆承载力的急剧下降,减弱了土层的抗滑力,微观上将降低土体的抗剪强度(τ_f 值下降),二者均危及工程安全。锚杆周围土体的性质对锚杆的预应力损失起主要的作用。预应力损失积累到一定量,被加固土层失稳,锚杆有可能随锚固体一起拔出。图2为烟台海关大楼基坑失稳,预应力锚杆被拔出情形。



图2 烟台海关大楼基坑失稳情形

土层在外力作用下的蠕变可分为三个阶段,如图3所示。第I阶段(AB)为衰减蠕变阶段,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,应变速率处于本段最小值。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。

设置在土层中的锚杆一般都在固定5d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。

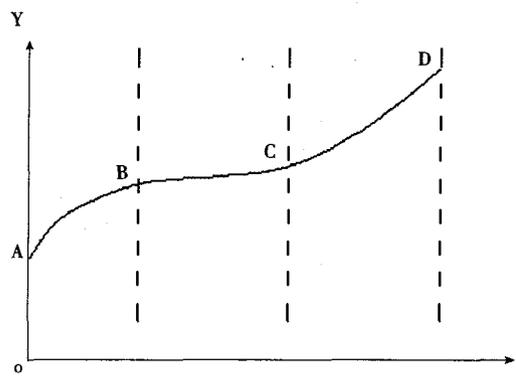


图3 土蠕变的三个阶段

2.2 冲击作用

在冲击荷载(如爆破、地震)作用下,土体抗剪强度的降低,会引起锚杆锚固段周围土体蠕变量的增加,从而导致锚杆预应力损失量的增加,尤其是对密实性差的不稳定粘性土中固定的锚杆的影响最为明显。

实践证明,在静力学问题中土的应变水平在 10^{-3} 左右时,将不至引起明显的沉陷或其他形式的破坏^[2],而在动力学问题中若应变水平在 10^{-6} 时,由于惯性力的存在可导致土体动压力急剧增大,以至工程结构超载破坏;同时,空隙水压力增高,有效应力下降,引起土体软化乃至破坏。

工程经验表明,由冲击作用引起的预应力损失量远大于长期荷载作用引起的损失量,采用机械方法固定的锚杆受冲击的影响远大于用水泥浆或合成材料固定的锚杆,长锚杆受冲击作用的影响较短锚杆小。美国的研究数据表明,当爆炸点距离锚杆3m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5m以外,爆破影响并不明显^[3],但锚杆抗冲击性能方面的相关资料尚未见公开发表。

2.3 锚杆材料松弛

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°C以上的温度条件下,这种损失量更大。因此,设计张拉力时预应力钢材强度利用系数不超过

0.65~0.70, 超张拉时不超过0.75~0.78, 同时应使用低松弛预应力材料。

3 预应力补偿对策

3.1 工程措施

预应力损失补偿的工程措施包括: 选用低松弛材料和与之相配套的锚具, 保证锚杆的施工安装质量及维护条件, 锚杆施工过程中的钻孔、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。同时, 应尽量避免周围冲击对锚杆的影响, 做好长期维护。

长期施工中发现, 通过超张拉和二次补偿张拉, 可以有效控制预应力损失。二次补偿张拉是指预应力锚杆经过一次张拉, 在其预应力值趋于稳定后, 再次对锚杆进行二次张拉, 使其预应力值再次达到设计值, 满足设计要求。由于相邻预应力锚杆张拉的影响以及随着时间推移预应力的衰减, 单纯地按设计荷载对锚杆进行张拉不能达到预期的效果, 难以保证加固工程的安全。与其他补偿措施相比, 超张拉和二次补偿张拉经济、实用、效果好, 值得推广。

在锚杆安装时进行超张拉, 并持荷一段时间(如果反复超张拉二次, 效果更为显著)。施工结束, 在部分初期应力损失完成后, 可进行补偿张拉。补偿张拉一般在锚杆安装完成3~30天内进行, 补偿张拉次数越多, 效果越好, 一般可补偿70%以上的应力损失。

3.2 二次张拉锚杆预应力衰减特征

图4为3组锚杆二次张拉预应力随时间变化曲线。

从图中可以发现, 与一次张拉锚杆预应力单纯衰减有所不同, 二次张拉预应力经过衰减后有所回升并趋于稳定。二次补偿张拉锚杆预应力值大致经历了以下四个阶段:

(1) 衰减期。预应力值在锚杆二次张拉后6~7天内衰减较快(由于受拉土体发生塑性变形所致)。

(2) 静止期。在锚杆二次张拉后7~14天, 预应力值虽微有起伏, 但总体逐渐趋于稳定。

(3) 增大期。在二次张拉14~24天内, 应力又突然增大, 个别甚至超过了初始锁定应力(锚固端土体发生轻微变形, 导致应力增大)。

(4) 持久期。随着时间的推移(24天以后), 预应力值逐渐稳定(锚固端土体的失稳变形被有效抑制, 可长期保持稳定)。

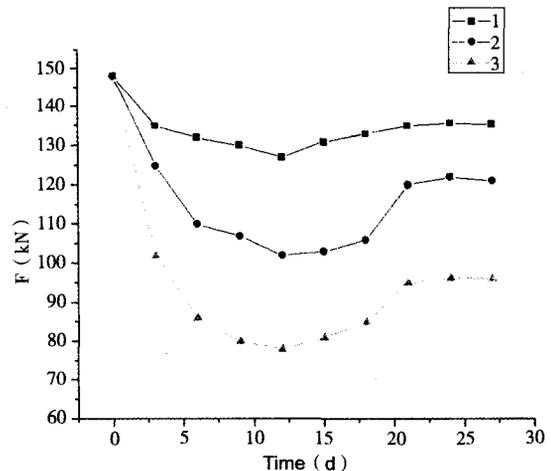


图4 锚杆二次张拉后预应力变化

3.3 原因分析

一次张拉和二次补偿张拉后, 预应力锚杆的预应力变化特征有如此大的差别, 其原因笔者认为有以下几点:

(1) 在一次张拉过程中, 当一根锚杆被张拉后, 相邻锚杆张拉时, 原来已经张拉完成的锚杆周围喷层以及锚固范围内的土体将产生位移, 从而导致原有预应力值的降低。在二次补偿张拉时, 由于经过一次张拉后墙面以及其周围的松散土体已经被压实, 墙面及土体在二次张拉过程中位移很小, 所以张拉时相邻锚杆间的影响极小。因此, 从这种意义上讲, 二次张拉可以避免群锚效应带来的影响。

(2) 仅实施一次张拉, 被加固土体塑性变形未被有效抑制, 而土体本身的变形量又不足抵偿其塑性变形量, 表现出的只是预应力值的单纯性衰减且不可恢复。

(3) 在一次张拉后, 土体塑性变形趋于收敛, 土体固结度有明显提高, 所以在二次张拉以后, 土体虽然继续产生塑性变形, 但很快受抑制, 因而锚杆预应力损失也就明显减少。此时,

(下转第40页)

欧维姆公司五项科技成果通过专家鉴定

柳州欧维姆机械股份有限公司近日在科技创新上再结硕果：由该公司研究开发的“OVMZM自锚式悬索桥悬索体系”、“环氧涂层钢丝及环氧涂层钢丝拉索体系”、“GJ钢绞线整束挤压拉索体系”、“SHG哈弗护套”及“CCT磁通量传感器及其监测系统”五个项目成功通过了由广西区科技厅组织的鉴定，获得了鉴定专家的高度评价。

鉴定会于7月12日在柳州饭店召开，来自全国各地的十九名知名专家分为两组，对五个项目分别进行了鉴定。鉴定委员会认真听取了各项目组的汇报、仔细审阅了工作报告、技术总结报告、试验检验报告、查新报告、用户意见、产品标准等文件资料，进行了充分的质疑、讨论，最后一致通过了鉴定。

这五个项目均获得了很高的评价：

一、“OVMZM自锚式悬索桥空间悬索体系”，首次采用可转动索夹和适应大角度转动、大调节量的吊杆，成功地解决了主缆从空缆到成桥之间的空间变位问题，技术性能可靠、生产工艺成熟。该项目的研究成果总体上达到国际先进水平，可转动索夹和可转动大调节量吊杆属国内外首创，居国际领先水平。

二、“环氧涂层钢丝及环氧涂层钢丝拉索体系”，首次将环氧涂层钢丝用于平行钢丝拉索体系，其防腐和力学性能明显优于平行镀锌钢丝拉索体系；环氧涂层钢丝采用熔结环氧粉末涂料（FBE）静电喷涂工艺，是一种无毒、不污染环境、节省资源的制作工艺。该项目的研究成果属国内首创，居国际领先水平。

三、“GJ钢绞线整束挤压拉索体系”，首次成

功地研发出了一种钢绞线隔离挤压锚固、隔离防腐的整束挤压式拉索体系，为桥梁等建筑结构用索，提供了一种新的拉索体系；挤压拉索锚具结构紧凑，外径小，特别适用于拱桥吊杆更换；当锚头外置时，相对其它形式的拉索锚具更简洁美观。该项目的研究成果属国内首创，达到了国际先进水平。

四、“SHG哈弗护套”，对HDPE原材料进行改性研究，形成了稳定的原材料配方：既容易成型，又减少了HDPE的变形性，保证了成品具有足够的强度、刚度、抗老化、色牢度等性能；管结构采用双层中空截面形式，结构合理，接缝的水密性好，施工的可操作性强，安装拆除方便；对挤出、成型、定型、牵引等工艺进行了创新，适合于哈弗护套的生产，建立了可以满足批量生产的生产线。该项目的研究成果属国内首创，达到了国际先进水平。

五、“CCT磁通量传感器及其监测系统”，磁通量传感器具有坚固结实、水密性好、安装方便、预期使用寿命长等优点，该测试方法属于非接触性测量，适合长期监测；基于脉冲法测量，首次提出积分法测量算法，较方便地进行温度补偿，并利用硬件直接进行电压积分，提高了测试速度和测量精度；为解决既有桥梁缆索的索力测量，研制了能在现场机械绕制线圈的哈弗式传感器；针对不同结构型式研制了可直接与锚具匹配的磁通量传感器；编制的监测系统软件，具有数据采集、存储、显示、预警、历史数据查询、使用帮助等功能，并可直接对传感器进行索力和温度标定。该项目的研究成果达到了国际先进水平。

（编辑部）

（上接第26页）

土体由于受动载而产生轻微变形，引起锚杆预应力值回升，当二者达到平衡状态后，预应力又再次达到稳定状态。

4 结束语

由于土层蠕变、外来冲击、杆体材料松弛等因素的影响，土层锚杆初始预应力会随时间推移而减小。施工过程中，选择优质材料、保证安装质量，同时注重超张拉和二次张拉，是补偿预应力损失，确保工程安全性的重要手段。

参考文献

- [1] 杨位洸. 地基及基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998, 6
- [2] 冯国栋. 土力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [3] 李端友, 汤平, 李亦明. 三峡永久船闸一期工程岩锚预应力监测[J]. 长江科学院院报, 2000, 17(1):39-41.
- [4] 孙法文, 刘艳玲, 谭秀萍, 张霞. 土的蠕变与土坝稳定[J]. 西北地质, 1999, 32(2).
- [5] 程良奎, 胡建林. 土层锚杆的几个力学问题[J]. 岩土锚固工程技术, 1996.
- [6] 杨桂通. 土动力学[M]. 中国建材工业出版社, 2000, 10.
- [7] 毛爱菊. 常温拉伸应力松弛试验中的若干影响因素[R]. 2000, 10.