

锚索预应力损失影响因素分析

苏学贵 李彦斌 孟秀生

摘 要 经过对预应力锚索的作用原理及力学机理的研究,阐述预应力锚索支护的优越性;重点分析锚索预应力损失的影响因素,依据力学性能优选国内适宜于预应力锚索的新材料,提出了锚索预应力的补偿措施,提高了预应力锚索体系的综合锚固效果。

关键词 锚索 预应力损失 应力补偿

预应力锚索加固技术由于其经济合理、安全可靠,在水电坝基、军工、边坡、基坑等加固工程中被广泛应用,在煤矿中的应用也日趋增多。预应力锚索加固围岩技术,关键在于其预应力的大小及损失程度,只有保持足够的恒久预应力,才能有最佳的锚固效果,因此本文重点研究锚索预应力损失问题。

1 预应力锚索的结构及优越性

预应力锚索由内锚头、锚索体和外锚头组成。它是将长锚索锚入深部稳定岩体上,然后对锚索施加预应力来控制岩体。

由于锚索长度较长,水电系统用锚索长达40~90m,煤矿用通常也达10m,所以锚索锚头通常远远超过围岩松动范围和塑性区而锚入原岩应力区,有较深的根基。再是锚索体材料由高强钢丝、钢绞线或钢筋组成,最大抗拉荷载可达1000~6000kN,煤矿用锚索通常也在200kN以上,所以在巨大的预应力作用下,使松散围岩产生弹性压缩,形成较大的“自承带”,提高围岩的整体性和内在抗力,形成三维应力平衡,改善围岩力学性能,有效控制围岩有害变形,保持围岩稳定。锚索产生的主动支护预应力之大,加固范围之广,是其它支护方式不可比拟的。

2 预应力损失影响因素分析

对预应力锚索整个体系来说,预应力损失影响因素很多,下面从几个方面做分析。

2.1 锚索材料对预应力的影响

由于锚索在巨大的初始预应力作用下会发生变形,从而产生松弛损失。所谓松弛损失是指在预应力结构中,在钢丝长度不变的情况下,随着时间增长将引起的内部应力损失。它是预应力锚索体系产生预应力损失的主要影响因素。

研究表明,不同型号类型的钢材,具有不同的松弛损失值,但有以下共同特性。

1) 松弛损失的大小,与钢丝张拉应力的大小有关。张拉应力越大,松弛损失就越大。例如, $\Phi 5\text{mm}$ 的钢绞线在1000h的松弛损失;当控制应力为 $\sigma_k = 0.59\sigma_b$ 时为8%; $\sigma_k = 0.66\sigma_b$ 时为10%。

2) 松弛损失在张拉后初期几分钟内发展最快,在24h后约完成80%,大约20d以后,基本上已不再发展。例如 $\Phi 4\text{mm}$ 钢丝,第一个小时将完成松弛损失总量的40%,相当于极限抗拉强度的2.29%,在24h后约完成70%,以后虽未完全稳定,但已逐渐缓慢。

3) 若短时间内把钢丝超张拉一下,并相应的持荷一段时间,然后回到原来的张拉力值,则可以将钢丝的松弛损失大大减少。如果反复超拉二次,效果将会更为显著。例如: $\Phi 4\text{mm}$ 钢丝在张拉控制应力 $0.7\sigma_b$ 时,1000h的松弛损失:一次张拉为4.48%;超张拉5%时为3.1%,比一次张拉减少32%;超张拉10%时,损失2.27%,比一次张拉减少约50%。

4) 松弛损失值与材料性能有关,与材料直径、环境温度也有关。如高强精轧螺纹钢筋的松弛损失,就比碳素钢丝、钢绞线的松弛损失小。

2.2 岩体徐变引起的应力损失

由于岩体本身的不连续性和各向异性的存在,受荷区的岩体内部结构各个组成单元在应力作用下将产生塑性压缩或相对变位,这些变位是随时间变化的,这就是岩体的徐变。对预锚结构而言,徐变主要发生在应力集中区。即岩体在受压情况下变形而更加密实,天然的结构面上会产生额外的压缩,预应力锚索因此而松弛,使其应力降低。但锚索的预应力降低速度,随着时间的推移而减缓,最终达到平衡状态。

不同的岩性,徐变引起的预应力损失值不同。对坚硬的岩石,徐变比较小,预应力损失值也就小,即使在大吨位预应力荷载的作用下也是如此。例如,在坚硬的细粒花岗岩中,安装 $120 \times \Phi 5\text{mm}$ 的锚索,安装荷载 2400kN ,永存荷载 2160kN ,实测预应力损失值为 8.8% ,如果 $\Phi 5\text{mm}$ 钢丝松弛损失为 70% 左右,则岩体徐变及其他因素引起的预应力损失值在 2% 左右,所占比例很小。

在软弱岩石中,由于预应力压缩围岩产生变形相当大,而且变形减少速度比较慢,相应因岩体徐变而引起的预应力损失值就大。如在基岩为绿泥石的白云母石英岩中,安装 $\Phi 5\text{mm}$ 锚索后,实测表明,一天预应力损失为 2.72% ,一个月为 7.3% ,两个月为 8.7% ,半年为 9.8% ,所以软弱岩体徐变引起的应力损失值较大。

2.3 锚固围岩中发生的冲击力引起应力损失

爆破、重型机械和地震力发生的冲击也会引起预应力损失,且该损失量较之长期静荷载作用引起的预应力损失量大得多。研究表明,当在距锚索 3m 以内进行爆炸时,锚索预应力有明显损失,其预应力损失量要比锚索在相似时间受静荷载作用发生的预应力损失量大 36 倍左右,但在离锚索 5m 以外,普通爆破的影响就不显著了。冲击作用会使固定软弱岩层中锚索的预应力和承载力发生变化,尤其对稳定性较差的松围岩会产生较大的影响。用机械方法固定的锚索受冲击的影响要比用锚固材料固定的锚索大得多。

2.4 锚固体系及其他因素的影响

随着预应力锚固技术的应用和发展,我国相继研制和生产出了多种不同形式的锚固体系,主要有 BBRV 墩头锚固体系, XM, QM 型, LYM 型, HVM 型, OVM 型, GYM 型及 HM 型锚固体系,分别应用于水电、军工、边坡、基坑及煤炭系统。不同类型的锚固体系,由于材质、加工质量及施工安装质量不同,会在不同程度上影响预应力。材料质量及安装质量越好,越能保证综合加固效果,减少预应力损失。

3 锚索材料的优选

作为预应力的锚索材料主要特征有:强度延性和松弛值。由于需要在相当长的时间内保持初始的预应力,所以,最理想的是在具有高强度的同时也具有较小量的松弛损失。国产锚索材料有普通钢绞线和低松弛级钢绞线,两种钢绞线 1000h 的应力损失对比值见表 1。为减少预应力损失,应选用低松弛级钢绞线,其技术规格见表 2。

表 1 两种钢绞线 1000h 应力损失

	1000h 松弛值,不大于/%	
	70% 破断负荷	80% 破断负荷
低松弛钢绞线	2.5	4.5
普通松弛钢绞线	8.0	12.0

表 2 低松弛级钢绞线技术规格

公称直径/mm	12.70		15.24	
强度级别/MPa	1725	1860	1725	1860
直径偏差/mm	± 0.41	± 0.66 -0.15	± 0.41	± 0.66 -0.15
公称面积/ mm^2	92.9	98.71	139.35	140.00
破断负荷/kN	160.1	183.7	240.2	260.7
1% 伸长最小负荷/kN	135.2	156.1	204.2	221.5
2070% 破断负荷 1000h 松弛值不大于/%	2.5		2.5	
重量 $\text{kg}/1000\text{m}$	730	775	1094	1102

4 应力补偿措施

经过对锚索预应力损失影响因素分析,针对不同影响因素的特性规律,提出以下应力补偿措施。

1) 选用低松弛性锚索材料和与之相配套的锚固体系(锚具、锚板等)以减少锚索预应力的损失。

2) 注重岩体条件的选择。将锚头锚于坚硬的岩体中,使锚索有稳定的根基。外锚端也必须坚实,以避免应力集中区岩体徐变过大,增加应力

损失。

3) 选择适宜的时间对锚索超张拉或补偿张拉。首先在锚索安装时,应进行超张拉,并相应的持荷一段时间,如果反复超张拉二次,效果将会更为显著,一般超张拉5%~10%,可减少应力松弛损失30%~50%。

更重要的是锚索施工后应在部分初期应力损失完成后,进行补偿张拉,且张拉时间不宜拖得太久。由图1 预应力损失与时间的关系可看出一般在3~30d 进行,补偿张拉次数越多,效果越好(图2)。可补偿70%以上的应力损失。

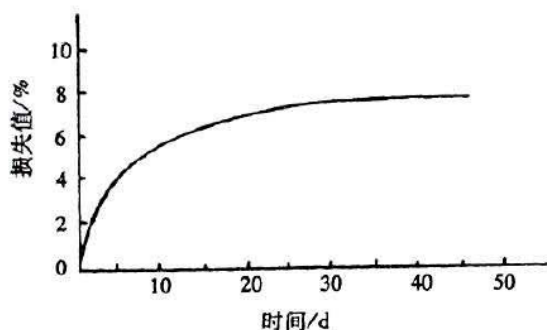


图1 预应力损失,时间关系曲线

4) 保证锚索的施工安装质量及维护条件以减少应力损失。如钻孔、灌注浆、张拉及锁定各环

节应保证质量,再是尽量避免周围的冲击对锚索的影响,做好长期维护。

总之,既要选择优质的锚索材料,保证安装质量,又要注重应力补偿张拉与维护,使锚索保持有足够的预应力,提高预应力锚索的综合锚固力。

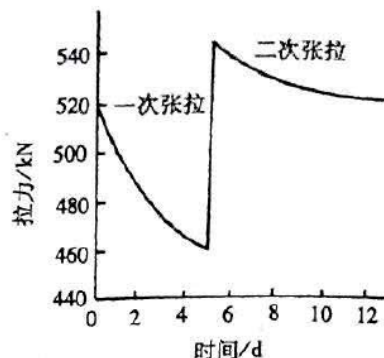


图2 二次张拉对锚索预应力损失的补偿作用

参考文献

- [1] Hobst L, Zajic J. 岩层与土体的锚固技术[M]. 北京:中国建筑业出版社,1990. 1~10.
- [2] 程良奎. 岩土工程锚固技术[M]. 北京:中国铁道出版社,1992. 5~8.
- [3] 苏学贵. 预应力锚索加固煤矿洞室合理性分析[J]. 煤矿设计,1997,1~6.

HVM 信息

第二届詹天佑土木工程大奖揭晓

19 项科技创新工程获奖

由中国土木工程学会、詹天佑土木工程科技发展基金会主办的詹天佑土木工程大奖(科技创新工程)第二届的评选工作已经揭晓。

本奖是全国土木工程领域的最高荣誉奖,每两年评选一次,自1999年起已举办两届,旨在表彰和奖励我国在科技创新和新技术应用方面成绩显著的优秀土木工程项目。

第二届詹天佑土木工程大奖

获奖工程名单

桥梁工程:虎门大桥、南昆铁路清水河大桥、万县长江公路大桥、上海市南北高架道路工程

隧道与地下工程:北京地铁天安门东站至西站工程

房建工程:上海金茂大厦、香港国际机场、北京国际金融大厦、上海体育馆、重庆大都会广场工程

铁路工程:广深铁路准高速双线电气化工程
公路及场道工程:八达岭高速公路(二期)、交通部公路交通试验场、澳门机场人工岛场道工程、长春至吉林高速公路

港口工程:天津港东突堤码头及堆场工程、上海港外高桥港区二期工程

给排水工程:北京第九水厂二、三期工程,上海市合流污水治理一期工程

(摘自《建筑技术》2002年第7期,徐渭供稿)