

关于预应力锚索加固效应研究的几点看法

张哈旭

(河海大学水利水电工程学院 南京 210098)

摘 要 分析了预锚加固体系现行设计方法所依据的基本理论,认为改进设计方法的关键在于加强对加固机理和效应的认识.通过分析预锚体系的特点,对单根预应力锚索研究的重点问题以及如何提高预锚加固的效果提出了自己的观点.此外,还探讨了有限单元法在预锚计算中的应用,以及群锚体系的整体效应和计算特点.

关键词 设计方法 机理 应力 粘结滑移 分级张拉 群锚

中图分类号 TV223

自 1934 年阿尔及利亚在加高舍尔法坝时使用预应力锚索以来,预应力锚索加固技术已因其独特的优越性而在国内外许多工程(特别是水电工程和岩土工程)中得到广泛应用,对预锚技术的研究也日益深入^[1].本文在参阅大量研究成果的基础上,对预锚加固效应研究的重要性和必要性、预锚体系的特点和研究方法、预锚研究中应当重视的一些问题等提出了自己的看法,以期对进一步研究预锚加固技术有一定的帮助.

1 应加强预锚加固效应的研究

近年来,我国科技工作者在预锚技术理论研究方面取得了较大的进展,但总的来说,这方面的研究还落后于工程实践,特别是设计计算方法还不成熟,大多数设计只能主要凭经验和工程类比法来确定预锚参数,这是由于我们还无法从理论上完善地、定量地说明预应力锚索的力学效应和加固机理.

本文将从以下几方面对预锚研究提出一些看法:(a)现行设计方法所依据的基本理论以及改进设计方法的关键;(b)预锚加固体系的特点以及有限单元法在预锚研究中的应用;(c)预锚研究中应特别重视内、外锚头区的应力变化;(d)提高单孔吨位的新途径——分级张拉法;(e)群锚加固体系的整体效应和简化方法.

2 探索加固机理,才能改进设计方法

预锚加固岩体边坡设计常用的一种方法,就是基于可能出现的岩体失稳形式,采用刚体极限平衡法对加固前的岩体进行分析,再根据下面的公式计算保持边坡稳定所需施加的预锚力.

$$Q_1 + Q_2 \tan \phi = KT$$

式中: T ——加固前岩体的下滑力; ϕ ——滑动面的内摩擦角; Q_1, Q_2 ——由预应力锚索提供的切向抗滑力和法向正压力; K ——安全系数.然后由经验和一些近似计算公式来确定其余的布锚参数,包括锚索的布设范围、间距、方向、长度、锚固方式、锚固段长度等.

在加固洞室围岩的计算中,公认的理论 and 统一的设计方法还没有建立起来,而只是针对不同的围岩条件,分别沿用了非预应力锚杆加固中的悬吊理论、组合拱理论、组合梁理论等.

在许多计算中,复杂的岩体被简化为刚体,预应力锚索的作用被看成仅仅是提供一个平衡力.在整体围岩和软弱围岩的计算中,虽然考虑到了预应力所引起的岩体应力场的变化,但对于这种变化在岩体内的具体分布情况及其对预锚加固效果的影响,还缺乏规律性的认识.

设计计算方法的不足之处,正是缘于对预锚加固的力学效应和加固机理的认识不够深入,这已引起人们的重视.例如,文献[2]中分析了预锚加固的机理和效果,从不同的角度加深了对预锚作用的认识.

3 应明确预锚体系的特点

3.1 预锚体系是不可分割的整体

预锚加固体系由预应力施加体和被加固岩体所组成,而预应力施加体又由预应力锚索和内、外锚头组成。内锚头有机械式和胶结式两种,目前国内大型预锚加固工程中使用最多的是用水泥砂浆作为胶结材料的胶结式内锚头。本文将胶结式内锚头及胶结段的锚索统称为内锚固段。人为施加到锚索上的预应力正是依靠外锚头的支撑作用、胶结段锚索与胶结体之间的粘结力、胶结体自身的承载力,以及胶结体与周围岩体之间的粘结力,最终传递到被加固的岩体上。因此,预锚体系是一个不可分割的、共同工作的整体。

本文主张在研究中重视‘整体性’的概念,其含义包括:(a)每根锚索与周围岩体形成一个整体,从而使预锚力能有效地传递到岩体;(b)各锚索通过周围岩体联系在一起,产生群锚加固的整体效应;(c)通过对加固前后岩体整体稳定性的比较,研究预锚加固的机理和效果。

3.2 预锚加固体系破坏形式的多样性

a. 锚索断裂破坏。这种破坏主要是通过控制张拉应力(国内目前常常取为 $0.625\sigma_b \sim 0.65\sigma_b$)、保证锚索质量和采取防腐措施来防止。

b. 锚索与胶结体间的结合面破坏。是否会发生此类破坏,主要取决于结合面强度。以往工程界都是利用抗拔试验取得平均的结合面强度数据,而本文则倾向于结合剪应力的分布规律和相对滑移量进行研究。

c. 胶结体内部破坏。胶结体内部可能发生拉裂及剪切的复杂应力破坏,可用非线性有限元方法计算其应力场,并模拟实际破坏过程。

d. 胶结体与岩体之间的结合面破坏。是否发生此类破坏,取决于胶结体的强度以及内锚头是否进行扩孔处理等多种因素。一般情况下较少发生这种破坏。

e. 被加固岩体发生破坏。一般认为只要有足够的锚固力,就不会发生锚固破坏。笔者认为这种观点不够全面。在分析被加固岩体破坏形式时应考虑以下几点:被加固岩体的整体稳定性和安全度;预锚加固后薄弱面向更深层转移,产生新的整体失稳的可能性;预锚力所引起的预锚附加应力场是否会造成岩体局部破坏,以及这种局部破坏是否会进一步发展为整体破坏。

4 有限单元法是一种有效的方法

在预锚技术理论研究的诸多方法中,有限单元法因其独特的优点而被经常采用。成功地应用这一方法的关键在于选择合适的单元类型,采用符合实际的破坏准则,恰当地模拟预锚体系的结构特点、材料性质、工作机制和破坏过程。

4.1 单元类型

杆单元、三角形截面整圆环单元、三角形截面整圆环裂纹单元、平面或空间等参单元、裂隙单元、夹层单元、描述结合面处传力特性的粘结单元等,在预锚加固研究中都是非常有效的。关于粘结单元,可以借鉴钢筋混凝土方面的研究成果。笔者受平面分析中双弹簧粘结-滑移单元的启发,在预锚加固空间有限元分析中成功地采用了空间弹簧粘结-滑移单元。

4.2 本构关系

理想的线弹性模型在大多数预锚加固问题中难以真实、准确地反映预锚体系的实际特征,也无法说明整个体系的安全储备能力。因此,常常需要深入分析各种非线性特点,采用更接近于实际状况的本构关系。在预锚加固计算中尤其应考虑锚索与胶结体之间的粘结应力和滑移量的关系,才能合理地构造出粘结-滑移单元的刚度矩阵。

4.3 荷载的复杂性

荷载的复杂性包括两方面的内容,即除了与一般的岩土工程问题相同外,还必须考虑预锚力作用的复杂性。显然,预应力锚索的作用并不总是能简化为锚索两端的一对集中力,很多情况下我们必须考虑预锚力究竟是以何种规律被传递到岩体上的,有时还需考虑锚索与胶结体共同抗弯、抗剪的作用。

4.4 平面和空间有限单元法

平面非线性有限单元法可用于计算一些预锚加固问题,但在许多问题中空间效应的影响是较大的,此时

就必须采用空间有限单元法.

4.5 群锚计算的简化

本文建议在大规模群锚问题分析中,采用子结构等方法来缩减工作量.

4.6 有限单元法的局限性

有限单元法是研究预锚加固体系的一种有效的方法,但由于非线性有限元的计算结果的可靠性在很大程度上依赖于模型参数选取的准确性,因此,这一方法在实际工程计算中的应用和推广仍受到很大限制,笔者主要将其用于对一些简化的情形进行初步的理论上的研究.

5 应重视内、外锚头区的应力变化

在对单根锚索的加固效应和破坏特点进行分析时应重视以下几个方面 预应力施加体自身的受力和破坏特点 预应力的传播规律和力学效应 预锚加固力学效应的影响因素 预锚加固的机理和效果 提高预锚加固效率和效果的途径.

考虑到应力分布形态的特点及其对预锚加固机理和效果的影响^[3],本文主张重点对外锚头、内锚固段及其附近区域进行分析.在对胶结式内锚固段进行研究时,尤其应重视锚索和胶结体之间的粘结-滑移特性.

5.1 胶结式内锚固段长度的计算

目前设计中确定内锚固段长度的方法是按下面两式求出较大者,即

$$L_m = K_c q_m / (\pi d n \tau_a \xi)$$
$$L_m = K_c q_m / (\pi D \tau_b \xi)$$

式中: q_m ——张拉力; d, D ——钢绞线直径和内锚固段孔径; n ——钢绞线根数; τ_a, τ_b ——锚索与胶结体之间、胶结体与孔壁之间的粘结强度; K_c, ξ ——安全系数和折减系数.

这一方法实际上是把不均匀应力当成均匀应力来计算,难以准确地反映实际状况.

5.2 预锚力的传递规律

可以采用双弹簧或空间弹簧粘结-滑移单元来模拟锚索和胶结体之间的传力和滑移特性,以便分析预锚力在锚索和岩体之间传递并在岩体内传播、扩散的规律.

5.3 预锚加固的力学效应

预锚加固的作用不仅在于提供直接平衡力、限制岩体变形,更在于加强岩体结构、提高岩体强度以及参与调整应力状态^[4].岩体之所以失稳或有失稳的趋势,从根本上说是由岩体自身的结构特点和材料特性,以及天然因素或人为因素所引起的应力重分布所决定的,而预锚加固的实质就是施加主动的锚固力:一方面使岩体的结构得到加强,大大提高岩体的承载能力,另一方面,在岩体内产生预锚附加应力场,使不利的应力状态得到调整和改善,从而提高岩体稳定的可靠度.因此,深入研究预锚附加应力场的特点、预锚参数对它的影响、应力变化对岩体稳定的影响是非常必要的.

6 分级张拉法可提高加固效果和效率

在内锚固段靠近上端的部分,锚索和胶结体之间的剪应力存在着相当严重的应力集中现象.因此,当预锚力较大时可能会造成结合面发生局部粘结破坏,甚至引起内锚头严重破坏.此时,可以对内锚固段采用分段填浆、分级张拉加荷的方法,有效地防止这种破坏.

所谓分段填浆、分级张拉加荷,就是将内锚固段的水泥浆改一次回填为多阶段回填.在每一阶段,当水泥结石达到一定强度时,对锚索施加部分荷载,然后进行下一阶段回填及张拉.当后一阶段回填长度足够长时,该阶段加荷仅会对前一段水泥结石内的应力状况产生很小的影响.通过这一方法,可以缓解应力集中现象,大大改善胶结式内锚固段的应力状态,防止内锚头的破坏.而且本文认为,还可以通过这一方法控制被加固岩体内的应力重分布的具体状况,提高加固的效率和效果.

7 应注重群锚体系的整体效应

已有一些文章涉及到群锚加固体系,但对其进行系统、深入研究的还不多见.本文认为在群锚研究中,以下几方面值得引起重视.

- a. 将群锚加固体系作为一个整体来分析群锚加固条件下岩体内的应力场、位移场沿空间和时间的分布规律.
- b. 各单锚之间相互影响和共同工作的规律.
- c. 影响群锚加固整体效应的主要因素.
- d. 群锚加固力学效应与群锚加固效果的关系.
- e. 预锚加固前后岩体稳定性的评价,安全系数的确定.
- f. 采取合理的简化方法,提高大规模群锚体系有限元分析的工作效率.例如,可采用子结构的方法来缩减计算工作量.

8 预锚加固效应研究的前景

预锚技术的应用前景是广阔的,但预锚理论的研究不可能一步登天,只有综合应用理论分析、数值计算、模型试验、现场测试等各种手段,对各方面进行深刻分析,设计计算方法的改进才能水到渠成.

预锚技术的一些新的研究方向也值得关注,例如如何用动力分析方法取代目前常用的拟静力法来分析预锚加固体系的动力特性,以及如何发展预锚体系与其它结构联合加固岩体的技术,等等.

参 考 文 献

1 程良奎,刘启琛. 岩土锚固工程技术的应用与发展. 北京 万国学术出版社,1996. 1 ~ 5

2 中国岩土工程协会. 岩土工程中的锚固技术. 北京 地震出版社,1992. 15 ~ 37

3 葛友庭,黄新良. 预应力锚固区应力初步分析. 水利水电施工(预锚专刊),1988(3) 16 ~ 24

4 邹志晖,汪志林. 锚杆在不同岩体中的工作机理. 岩土工程学报,1993,15(6) 71

Comments on the Study of Reinforcing Effect of Prestressed Anchored Steel Rope

Zhang Hanxu

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Abstract In this paper, the basic theory applied in the current design method of reinforcing systems of prestressed anchored steel rope is analyzed, and it is suggested that the key to the improvement of the design method is to enhance the knowledge of the reinforcing mechanism and effect. After analysis of the features of prestressed anchored steel rope systems, several comments are made on what are important problems in the study of such systems and how the reinforcing effect can be improved. The problems of how to apply the finite element method to calculate such systems, and how to calculate and study a large system consisting of a group of prestressed anchored steel ropes are also discussed.

Key words design method ; mechanism ; stress ; coherence and slide ; multistage ; large system