

屈服锚索的抗震作用

刘玉堂

(总参工程兵科研三所 洛阳 471023)

摘要:屈服锚索是预应力锚索大家族中的一个新成员,它的受力特点是在保持支护力恒定的前提下允许围岩变形。当地下洞室遭受爆炸荷载或地震力等动载作用时,以围岩的变形动能来削减动载冲击作用的峰值,以“柔性克刚”的理念来提高洞室抗动载的能力。它不仅可用于国防工程的加固和改造,也可广泛用于采矿工业中遭受采动影响的巷道和洞室的支护,也可用于抗震工程的加固。在大变形边坡和洞室的支护中也有广泛的应用前景。

关键词:屈服锚索 动载 大变形边坡

1 屈服锚索在我国的研究与应用

屈服锚索在我国的研究起始于上世纪80年代中期,据不完全统计先后有近10个单位沿着不同的技术途径攻克同一个命题。煤科院建井所是利用高延伸率材料做杆体,利用杆体的伸长来实现屈服量;总参工程兵科研三所是利用螺纹滑丝来达到锚杆屈服的目的。当时我国正进行科研体制的变革,没有看到更多的研究成果和应用情况的报道,工程兵科研三所的研究成果在我国最后一次地下核试验中拿到了不少试验数据,实践证明,屈服锚杆具有良好的抗爆性能,已在高抗力国防工程设计中得到了推广。上世纪90年代后期,孙钧院士为了解决马鞍山铁矿尾矿开采的支护难题,研究了一种屈服锚索和一种屈服锚杆,供不同的地质情况选用,应用中取得了令人满意的支护效果。2004年山东一家公司从美国引进了一种屈服锚杆^[1],在地压大、地质条件复杂、又遭受采矿爆破影响的煤矿巷道支护中得到了成功应用。尽管这种锚杆的屈服量不到10毫米,但解决了该煤矿多年来采用多种支护形式都没有解决的难题。2006年,总参工程兵科研三所研究成功了一种大吨位屈服锚索^[3],这种锚索主要用于在建国防工程的加固和已建国防工程的改造,目前正在某国防工程中应用。

2 屈服锚索的受力特性

目前,岩土工程界已出现的锚索有10余种类型,已成为是岩土加固的主要手段。它们的共同受力特点是锚索的变形必须与岩土体的变形相协调,岩体的变形量超过了锚索允许的最大变形量就要被拉断。屈服锚索整体受力状态似乎是“弹

塑”性,如图1所示。当岩体的变形量使锚索的拉力超过锚索的设计屈服力时,内锚固段和外锚固段之间的锚索体会在保持拉力不变的情况下自动“伸长”,正像做钢材的拉伸试验一样,拉应力达到屈服极限,拉力不变,杆体增长。不同的是钢材屈服时产生颈缩,横截面变小,意味着即将断裂。屈服锚索的“屈服”是依赖于具有恒定锚固力的屈服装置,使锚索体在恒定拉力作用下在该装置中平稳滑动,直至达到设计最大屈服量。屈服锚索有两个技术指标,一是屈服力,即锚索施工时安装的拉力,是限制围岩产生有害变形的支护力;二是屈服量,即锚索体在屈服装置中的最大滑移量。屈服力和屈服量是设计者根据岩体的性质和工程的规模预先设定的。屈服锚索还设计有增强机构,当屈服量达到最大值时,屈服锚索的受力状态重新恢复到弹性,如图1所示,锚索的拉力(支护力)随着围岩变形的增大而继续增大,直到锚索的拉应力储备耗尽而断裂。

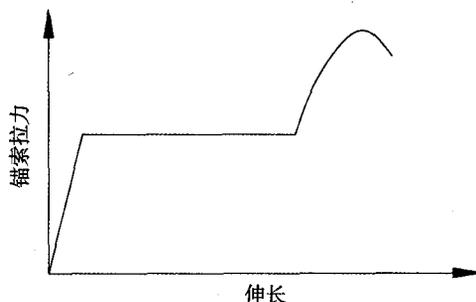


图1 屈服锚索受力特性曲线

3 在受动载作用的结构加固中的作用

3.1 可以提高国防工程的抗爆能力

传统的国防工程是采用钢筋砼被覆,为了提

高抗力,只能采用增大被覆的厚度和加大被覆的配筋率,这种被覆属于刚性支护。防护专家发现,刚性支护不仅造价高,防护效果也差,有些防护工程已经做成柔性,如遮弹层选用塑性或散粒材料等。伊拉克战争结束后,我国曾派考察团赴伊拉克考察美国炮弹的破坏威力和伊拉克地下掩体的结构和破坏程度。伊拉克的重要地下掩体都是建成双层钢筋混凝土结构,内外层之间放些泡沫材料或是空的,形成一个缓冲带,即使外层被覆被炸塌,破碎体只能经由缓冲带压在内层被覆上,炮弹的爆炸力不会直接作用于内层被覆上。考察报告显示,伊拉克战后双层被覆的保存率是很高的,双层被覆确实能够提高地下掩体的抗爆能力。我国的双层地下结构称为“离壁被覆”,内层结构是钢筋混凝土,外层结构是喷锚支护。双层被覆就是柔性结构的一种。

屈服锚索用于提高国防工程的抗爆能力就是利用其柔性,其机理是当炮弹的爆炸力迫使岩土体产生位移时,屈服锚索在保持支护力不变的状态下允许岩土体位移,以岩土体的位移动能来削减爆炸力的峰值,降低了爆炸威力,达到提高国防工程抗力的目的。

国防工程遭到炮弹的攻击后,围岩必然产生松动,力学指标下降,地层压力增大,依赖屈服锚索设计的加强机构提高支护力,继续维持常态下洞室的稳定。

3.2 在既有国防工程改造中的加固作用

既有的国防工程是根据若干年前敌方炮弹的威力修建的,由于敌方进攻性武器在发展,炮弹的爆炸威力已加大,新形势要求把已有国防工程的抗力等级提高。按传统方法提高国防工程抗力的等级只有加厚被覆的厚度。有两种加厚的方法:一是在原被覆内部加一层钢筋混凝土结构,使用空间变小,影响正常使用;二是把原有被覆撤除后再扩挖,以便修筑厚度更大的钢筋混凝土被覆,这样做不仅造价高,难度大,甚至无法实现。如果用屈服锚索提高既有国防工程的抗力等级,只须在坑道内部的适当部位施加适当数量和参数的屈服锚索即可,不必破坏或改变原有被覆的结构和内部使用空间。

3.3 在采矿工程中的抗震作用

各种矿藏的开采要用爆破,巷道和地下洞室会遇到高地压和采矿爆破的双重影响。前边已经提到,山东华丰煤矿用让压锚杆支护高地压和爆炸双重作用的巷道已取得了明显的支护效果^[1]。比较典型的工程是位于甘肃镍都的金川二矿区^[2],无论采用什么支护形式都难以抵挡高地压和采动压力的作用,巷道支护十分困难,多数巷道都是前面掘进和支护,后面进行返修。据调查,已完工的1000m巷道,竟有559m严重破坏须返修,甚至局部巷道曾返修两次,笔者曾在现场看到锚索被拉断、外锚头弹飞的惨状。为了解决金川二矿区的巷道支护问题,聚集了全国各部门的著名岩土工程专家,经多年的探索认识到:仅靠刚性支护无法解决金川二矿区的巷道稳定问题,提出了柔性支护的理念。为了增加锚索的柔性,对锚索只施加很小的预应力或不加力,依靠钢绞线的应力应变伸长提供围岩的变形空间,取得了初步支护效果。这样处理有两个问题:一是锚索安装时不加力,失去了锚索维持围岩稳定的早期支护力;二是锚索的变形量是一个定值,很难与围岩实际发生的变形量一致,如果围岩产生的变形量小于锚索预留的变形量,锚索的拉力达不到应有的支护力,是一种浪费;相反,如果围岩实际产生的变形量大,锚索拉力将超过极限拉力,仍然会断裂。

可以预料,金川二矿区的巷道支护倘能采用屈服锚索与其它支护手段相结合,一定会取得更好的支护效果。

3.4 在高地震区抗震工程中的加固作用

研究屈服锚索的初衷是用于国防工程的加固,从作用原理分析也可用于抗震工程的加固。不管是采矿中炸药的爆炸,或是国防工程中炮弹的爆炸,或是地震中的地层错动,对建筑物的破坏都是由于它们引起了建筑物附近岩土体的运动。虽然地层错动的能量(地震烈度)很大,一般都相当于几个甚至几十个氢弹爆炸的威力,由于地层错动都是发生在地下10几甚至几十千米以下,对地表建筑物的破坏程度(地震级别)并不比常规武器和核弹严重。唐山和汶川两地强烈地震后的调查结果显示,整体性好、建筑质量高的建筑物震后仍能正常使用就是证明。因此,屈

服锚索同样适用于高地震区各种建筑物的加固,如公路边坡及建筑物的基础等。

4 在大变形洞室加固中的作用

近几十年来,新奥法一直指导着地下洞室的开挖与支护,它的先进性在于不是单纯把岩体当作荷载作用于各种支撑上,而是通过一系列的施工原则,充分发挥岩体的自承能力,把围岩改造成成为支撑的一部份。新奥法的理论基础如图2所示,曲线表示围岩变形与围岩压力的关系,AB段是变形压力,随着围岩变形的释放,围岩压力逐渐减小,到达B点围岩压力最小。如果这时给予强有力的支护,最经济、最理想、也最难实现,稍不留意就会产生塌方,围岩的变形压力将转变为松动压力(BC段)。新奥法的施工准则有近20条,其精髓在于洞室开挖后的支护(第一次)既允许围岩变形,又限制围岩产生有害的变形(松动),使围岩变形终止于最小支护力之前,再进行二次(永久)支护。新奥法在我国称为“信息化”施工,洞室开挖后立即喷一层不太厚的砼,新奥法定义为柔性支护,同时进行围岩变形观测。当围岩不稳定时不是增厚喷射砼,而是安装锚杆甚至钢拱架。新奥法的施工准则,理论是先进的,但是,因为缺乏强有力的初期支护手段,施工中的准确度很难把握,只能试着来。

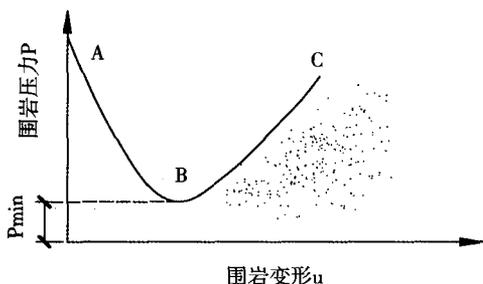


图2 围岩压力与围岩变形的关系

在地下洞室施工中,如果能将屈服锚索或屈服锚杆与新奥法结合,必将取得很好的支护效果。洞室开挖后立即喷混凝土并安装屈服锚索,其安装拉力(即屈服力,为极限拉力的50~60%)与喷射混凝土共同限制围岩有害变形的发生。当围岩变形时,锚索在保持支护力不变的情况下“屈服”,围岩松弛,变形压力得到释放而逐渐减小,直至变形压力与锚索屈服力相等时,

围岩停止松弛而稳定。实践中也可能出现设计的锚索屈服力不足以在最小支护力之前稳定围岩,这时就要查看和分析围岩变形观测结果,如果变形速率明显变小,无须增强支护,因为屈服锚索设计有增强机构,当锚索的屈服量达到极值后。锚索拉力将继续增大,最大可达设计屈服力的1.8~2.0倍,足以与逐渐变小的变形压力平衡;如果围岩变形速率较大,收敛的趋势缓慢,必须增强支护时,首先,根据屈服锚索的设计参数,计算出屈服锚索达到屈服量后、锚索断裂前的剩余变形量。例如,锚索的安装应力为钢绞线强度的50%、自由段长度为10m的锚索,对于强度为1860的钢绞线,尚有90mm的变形余量。根据已测得的围岩变形速率,即可算出施工增强支护的时间,以选择相应的支护手段,如果时间短,可选用树脂锚固锚杆等早强型支护。

5 在大变形边坡加固中的作用

高大边坡的施工是由上到下逐层开挖、逐层支护,上层锚索及其他支护手段完成之后才开挖下一个台阶。开挖的力学概念就是对边坡的应力解除,边坡松弛而向外位移,从而引起上层已安装完成的锚索拉力增大。地下洞室的开挖也是应力解除,同样会引起岩体松弛,即常说的收敛,使已安装的锚索拉力增大。锚索拉力增大的量仅取决于岩体的变形量,是不可控的,增加得过多就有可能把锚索拉断,黄河上游某水电站高边坡加固中就曾出现过锚索拉断的事故。对于这类工程的处理方法通常是选用可调预应力的锚索加固岩体,当锚索拉力超过设计拉力的1.2倍时,把锚索拉力调整至设计值,确保锚索始终处于设计的安全工作状态。调整锚索拉力的方法常用旋转螺帽法,也有用垫片法的,操作起来并不复杂,但是,张拉设备必须运至锚索附近,对于高边坡来说是一件虽不困难却是相当繁琐的工作。有些环境根本无法调整锚索拉力,例如水电站地下厂房的拱顶。这些大跨度高边墙洞室的施工是首先完成拱部的锚索,待拱部的所有支护都完成后才开始一层层下挖,无论施工期或是开挖结束后都很难进行锚索拉力的调整。河南小浪底水利枢纽地下厂房拱部是采用可调预应力锚索加固,在拱部支护完成后,下挖核心岩体前,将所有锚索拉力

都调低至设计拉力之下,使锚索在安全应力下有较大的变形空间。但是,锚索自由段的长度是恒定的,锚索的安装应力与最大允许应力之间的应力差决定了锚索的最大允许伸长量,该伸长量必须与由于开挖核心岩体引起的洞室收敛量相匹配,否则,不是浪费了锚索材料(前者大于后者),就是对锚索的工作状态构成威胁(前者小于后者)。

对那些需要调整锚索预应力的工程,如果选用屈服锚索,既可始终保持锚索的设计支护力,又允许围岩变形,省去调整锚索拉力的工序。

6 结束语

到现在为止对屈服锚索的认识仍处于初级阶段,它的抗震和抗爆作用仅仅是有限的实验和几个工程的实际应用结果;文中提到的在其他领域

的应用,仅限于作用机理的分析,并无应用实例证实。要完全弄清爆炸的当量和地震的级别与屈服锚索的设计参数(屈服力和屈服量)的确切关系,要证实屈服锚索在其他领域的应用效果,仍需锚索工作者作长期而艰苦的努力。然而,理论总是落后于实践,毕竟已有工程实验和工程实践证明屈服锚索有显著的抗动载作用。我们相信,不久的将来,屈服锚索必将在抗爆、抗震等工程中发挥巨大的作用。

参考文献

- [1] 孙国庆等. 千米埋深小煤柱顺槽让压锚杆支护技术研究[J]. 岩土锚固工程, 2007.3
- [2] 高建科等. 采场巷道综合控制技术及其在二矿区的应用[M]. 锚固技术在岩土工程中的应用. 人民交通出版社版发行, 2006.11
- [3] 刘玉堂等. 屈服锚索在国防工程中的应用研究. 总参工程兵科研三所. 2007.07.20

(上接第33页)

⑤ 安装后外锚杆每根拉至750kN。

F. 砼养生到强度后

① 拆模。

② 张拉预应力束。

③ 拆除止推系统。

G. 体系转换

① n段拉索进行第三次张拉后,将索力转移到砼梁上。

② 拆除后外锚杆。

③ 滑道前移一个节段,标高及平整度调整后固定。

④ 拆除前内锚杆。

⑤ 放松前外锚杆使滑靴落在滑道梁顶面。

⑥ 利用反顶千斤顶安装反走轮。

⑦ 拆除前外锚杆。

挂篮准备前移至n+1段

7 尾语

(1) 双索面P·C斜拉桥主梁截面常有A. 由两边箱组成的开口箱梁, B. 两边实心梁组成的肋板结构。B种又有外侧带悬挑板和不带的两种。

(2) 关于长平台牵索挂篮行走时平衡装置的设计

对于A种截面可设置于边箱边腹板与底板交界处的正下方。或中腹板的正下方(如本桥),对于B种截面可设于边实心梁下方。平衡装置当采用反走轮时,需根据该处的反力值和砣不会压碎、不会碾碎,来确定轮子的大小和数量,轮子本身也应有足够的强度。

平衡装置也可采用反滑移方案,即在平台尾端设置滑靴托住梁底,为减少摩阻力,可在梁底预埋一条宽24cm、厚12mm的钢板。

(3) 关于长平台牵索挂篮止推装置

对于A种截面和不带悬挑板的B种截面的梁目前尚无比“抗剪柱”更好的方案。对于外带悬挑板的B种截面的梁宜优先选用“反拉杆”法。由于挂篮主纵梁位于边实心砣下方,因此可在挂篮主纵梁两侧设置销座。拉杆下端通过销轴与主纵梁相连,上端穿过砣梁顶板上的临时性砣锚块,用螺母锚固。顶板上的预留孔很小,削弱甚微,临时性锚块用后凿除,然后将该孔补上。临时性锚垫板无需配置很多,可重复使用。各梁段拉杆角度可采用单一角度,即各拉索的平均角度,也可与每段斜拉索相同。

(4) 南平桥牵索挂篮施工时最快达到了六天一段。