

# 可回收锚杆(索)技术研究 现状及展望

张鑫鑫<sup>1,2</sup>, 符贵军<sup>1,2</sup>, 刘海康<sup>1,2</sup>, 李伯根<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院大学 北京市 100049; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉市 430071)

**摘要:** 锚杆(索)支护是一种较为成熟的岩土锚固技术手段,随着社会的发展和工程的需要,永久锚固的缺陷也逐渐显露,难以适应现代工程的要求。近年来,可回收锚杆(索)技术逐渐被推广应用。文章对已有可回收锚杆(索)的种类、理论研究进行了总结、对比分析,讨论了可回收锚杆(索)的设计方法以及回收情况,提出了以理论计算为基础、结合数值模拟进行动态设计的设计思路和方法;最后对可回收锚杆(索)发展中存在的问题进行了总结,提出了推广可回收锚杆(索)在临时支护中的应用、探索出一套完整适用的可回收锚杆(索)的设计方法、优化可回收锚杆(索)回收的建议和展望。

**关键词:** 可回收锚杆(索); 锚杆(索)分类; 锚固机理; 理论研究; 动态设计; 回收技术; 发展趋势

近些年来,岩土锚固技术在岩土工程领域取得了很大的成就,并广泛应用于水利、道路、市政、矿业、工民建等行业中。其安全、经济、有效,保证了诸多工程施工、运营的安全与稳定,极大地促进了我国的基础设施建设和经济的快速发展<sup>[1]</sup>。岩土锚固技术,充分利用了岩土体自身所固有的稳定能力,对原岩的扰动小,并且具有施工周期短和安全可靠等特性。现如今,工程建设的规模越来越大,锚杆(索)的应用更加促进了国民经济的发展。但同时也面临着诸多问题,例如近年来的地铁、深基坑等支护工程,为了保证施工的安全性和可靠性,锚杆(索)被大量使用。但此类支护大多都属于临时支护,而常规锚杆(索)由于其本身的技术缺陷,致使在支护工程结束后大量的锚杆(索)被埋置于地下,造成了材料极大浪费的同时也对地下空间造成“污染”。由于这些埋置锚杆(索)的存在,对临近场地的二次开挖造成诸多影响。随着地下空间工程的不断发展,常规锚杆(索)的这些缺陷愈加突出。

因而,早在 20 世纪 90 年代杭州市就率先提出限制使用锚杆(索)的政策来解决地下空间的“红线”问题;武汉市在 2005 年出台了限制使用锚杆(索)的

规定,即锚杆(索)不得超出规划红线范围;昆明也在昆建通[2011]363 号文件中明确规定,锚杆(索)不得超出项目建设用地红线垂直投影范围、锚杆(索)宜采用可回收式。据统计,国内外每年使用的锚杆(索)数量已达数亿根,用于临时支护的大多都未能回收,造成了资源的极大浪费。因此,可回收式锚杆(索)的研究对锚杆(索)更好地使用于工程建设,并解决在使用过程中遇到的种种难题具有重大意义。

基于此,近些年来国内外许多专家学者对此进行了大量的研究,研究的时间虽然不长但也有可喜的成就,取得了不错的成果。“十二五”以来,建设资源节约型和环境友好型社会已经成为国民经济与社会长期规划的一项战略任务<sup>[2]</sup>。因此,锚杆(索)可回收性技术观点的提出,必定能够很好地服务于国民经济,完成这一长期性的战略任务。

刘余欣等<sup>[2]</sup>对国内可回收式锚杆(索)技术的发展现状做了初步的总结,指出了当前的研究在理论方面的滞后、工程应用中的局限、锚固机理方面的欠缺等问题,提出应在理论计算、群锚效应、锚固机理、数值模拟、复合式可回收锚杆(索)与土钉墙工作机理及设计方法、各种特殊条件下可回收锚杆(索)的

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目,项目编号 51404239

收稿日期:2017-03-10

性能和设计方法、锚杆(索)回收后的二次利用、研究成果共享等方面多做努力,积极研究探索。

郭彦朋等<sup>[3]</sup>对可回收锚索的研究、应用背景做了介绍,并综述了国内外近期研制的多种新型可回收锚索的结构、工作原理以及相关的试验研究成果,同时讨论了当前可回收锚索所存在的一些问题,提出研制完全可回收、高承载力、可高效利用的可回收锚索的发展方向,并进行可回收锚索施工工艺和设计计算方法的研究。

钟晓晖等<sup>[5]</sup>对日本的 JCE 锚索、U 型可拆除回收锚索、直列无级调压式速卸锚索(LC 可回收锚索)、热熔可回收式锚索等做了简单的介绍和比较。

目前,对可回收锚杆(索)的理论、设计、回收等专门的研究比较少,刘余欣、郭彦朋和钟晓晖等对可回收锚杆(索)的种类进行了简单的汇总、对比分析。本文在此基础上,进一步比较完整地将现阶段各种新型可回收锚杆(索)进行了汇总讨论,在可回收锚杆(索)的锚固机理和设计方面进行了总结分析,基于康红普<sup>[19]</sup>在煤巷支护中的动态设计法和严卓辉<sup>[17]</sup>所提出的锚杆(索)设计方法,结合数值模拟计算,将 3 者融合,以此来进行可回收锚杆(索)的设计。最后结合可回收锚杆(索)所存在的问题,提出了大力推广可回收锚杆(索)在临时支护中的应用、探索出一套完整的设计方法、优化可回收锚杆(索)的回收等方面的建议和展望。

## 1 可回收锚杆(索)的分类

基于上述的工程实际背景,为克服常规锚索的缺陷,国内外诸多专家学者对此开展了大量研究工作。可回收式锚杆(索)是指用于临时性工程加固的锚杆(索),在工程施工完毕以后将打入地层中的钢筋或钢绞线回收,避免对后续的工程的开挖造成不利影响。

可回收锚杆(索)在结构特点、施工工艺等方面均有别于常规锚杆(索),综合目前国内外各种可回收锚杆(索),从不同的角度出发,大致有如下几种类别。

依据施工工艺可分为机械式回收、力学式回收和化学式回收<sup>[3]</sup>。机械式回收是在回收时借助机械的作用将锚杆(索)体从整个体系中取出回收;力学式回收是在回收时对提前设置的回收钢绞线(工作

时不起作用,专为回收而设置)施加作用力,剩余钢绞线便可轻松拔出回收,或者是对每一根钢绞线施加作用力(或大或小)将其拔出回收;化学式回收是利用事先设置的热熔装置或爆破装置,对锚杆(索)体进行破坏切断,从而将杆(索)体拔出回收。

依据锚杆体部分的回收程度,可以将可回收锚杆划分为 A、B、C 等 3 类<sup>[4]</sup>。A 类,仅能够将处于自由伸长段的杆体拔出回收,方法有多种,断开点位于自由伸长段的下部;B 类杆体可以全部或大部分被回收,脱开点就位于短而易于破坏的交界面上;C 类是利用爆破或拉动可除式楔体,将黏结段内包裹杆体的注浆体破碎,从而将杆体回收,或者通过光圆钢筋施加很高的张拉力使杆体与注浆体脱开,达到将杆体回收的效果。

另外,钟晓晖等<sup>[5]</sup>根据锚杆(索)的拆除回收形式以及构造将其分为 4 类:“U”型可拆除回收式;主、副工作索可拆除回收式;直列无级调压速卸式;热熔式。

王立明等<sup>[6]</sup>将可回收锚杆(索)分为以下 3 类。

(1)拆锚型,具体又可分为螺栓式和锚具松落式。

螺栓式的锚固端为螺栓,杆体采用刚性杆体,回收时旋转杆体本身使锚固螺母和杆体分离,便可将杆体轻易回收。此法需要特殊设备,孔径也大,广泛应用于岩层或煤层的加固工程中。

锚具松落式是采取措施松动锚固端的锚具,从而脱落,便可将钢绞线轻易拔出回收。

(2)强拉失效型,又称定阈型。在回收时,通过施加超过钢绞线设计抗拔力一定限值的拉力,将设置在锚固段锚固节点中的挤压套张拉失效后将钢绞线强行拉出。但承载力越高,钢绞线回收所需的拉力也越高。并且如果锚杆(索)处于工作状况下,锚杆(索)的拉力一旦高于设计值,锚杆(索)便会失效,造成不可估量的后果。

(3)回转型。通过滑轮或者特殊的设计使钢绞线能够回转,回收时可将刚绞线从一侧拔出,达到回收的目的。

## 2 国内外常见的可回收锚杆(索)

郭彦朋等<sup>[3]</sup>曾总结了国内外一些现有的可回收锚索的种类,分别枚举了日本、德国、英国、瑞典和国内的一些研究成果,整理如表 1 所示。

表1 可回收锚杆(索)汇总整理

可回收锚杆(索)类型	开发研制单位	回收方法及难易程度	优缺点	锚索类型
JCE可回收锚索	日本国土防灾股份有限公司	采用力学回收方法,抽取中间专为回收而设置的钢绞线后,其余钢绞线便可轻松拔出回收	安全快速,工人劳动强度低、易回收且锚索回收率高;但不适宜大吨位,金属锚头不能被回收	承压型预应力锚索、力学式
IH可回收锚索	日本飞岛建设股份有限公司	回收时由内置的电磁线圈加热熔断锚索,人力便可将钢绞线轻松拔出	设计灵活(钢绞线的根数可为双也可为单)、成本低、易回收	压力分散型、热熔式
自行可切断式可回收锚索	日本日特建设公司	回收时借助千斤顶利用内锚头的超硬切割装置自行将锚索切断,达到回收的目的	锚索承载力有所提高,回收荷载低,回收速度快,安全性高	压力型、力学式
DYWIDAG可回收锚索	德国	在锚索组装前便设计有断裂点,回收时对断裂点应用电感应加热,降低单根钢绞线的极限承载力,便可回收	回收方便、设计灵活	热熔式
SBMA可回收锚索	英国 Anthony D. Barley 等	回收时用多头千斤顶对个单元锚索同时施加相同的荷载,逐级回收各杆体	施工时绑扎费力,需借助机械,施工难度较大	“U”型
LTRA可回收锚索	广州泰基工程有限公司	回收时张拉回收索,是回收锚具失去锚固作用,便可轻易的将钢绞线拔出回收	回收率高、回收速度快、可重复使用性强、应用范围广	主、副索式
定阀式可回收锚索 <sup>[7]</sup>	武汉武建机械施工有限公司	回收时利用千斤顶破坏钢绞线与注浆体之间的连接,随后拔出钢绞线即可	相比于传统锚杆,可节约50%左右的钢材,降低项目造价	力学式
直列无级调压式可回收锚索	北京力川地基工程有限公司	通过锚索特有的保险调压机构回收锚索,拆卸简单,不需要借助设备,人力便可回收	回收方便简单,对钢绞线的损伤较小,钢绞线还可重复使用	
JL可回收锚索	深圳钜联锚杆技术有限公司	锚索头部扩大,为后弹开扩大头回转型可回收锚索	施工方便、回收可靠、力学性能较好	“U”型
压力分散型可回收预应力锚索	总参工程兵科研三所	回收时放松锚索的工作夹片,应用千斤顶或者卷扬机便可轻易地将钢绞线回收	承载力高、防腐能力强、地层适应性强、易回收且回收力小	“U”型

另外,还有如下几种类型的可回收锚杆(索)。

## 2.1 后弹开无黏结钢绞线回转型可回收扩大头锚杆<sup>[6]</sup>

其是一种采用高压喷射成孔工法的后弹开无黏结钢绞线回转型可回收扩大头锚杆(索)。高压喷射扩大头锚杆(索)广泛适用于各种黏性土和砂土,可解决高水位下锚杆(索)成孔砂层塌孔的问题。

采用U型回转型的钢绞线,在回转头部位增设合页式承压板,以增加锚固段的局部承压能力,同时承压板也能够锁紧钢绞线。合页式承压板如图1~图3所示。此种可回收锚索不仅可以用于基坑工程的临时支护,也可用于永久性的抗浮锚杆(索)和边坡工程。利用特制的回收设备回收钢绞线,可在基坑

坡顶直接回收,不影响地下主体结构的施工。

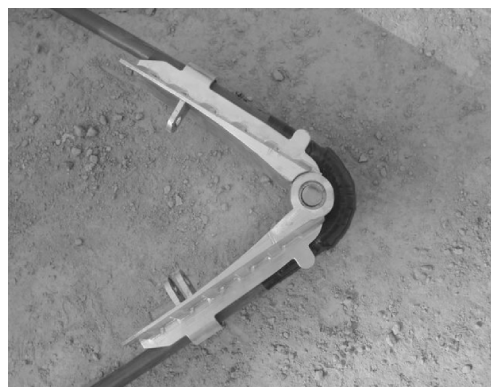


图1 弹开状态的合页式承压板

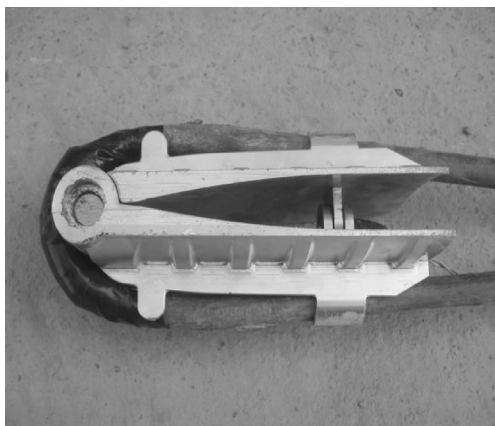


图 2 锁紧状态的合页式承压板

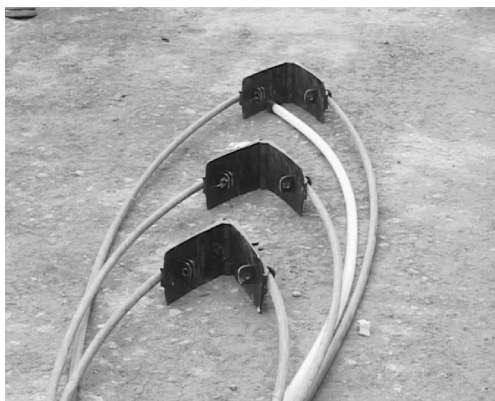
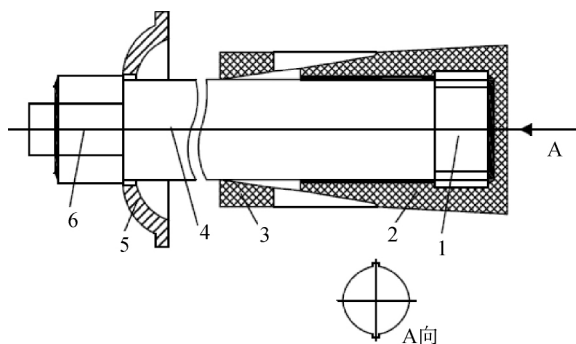


图 3 锚杆(索)弹开状态

### 2.2 用于煤矿巷道支护的可回收塑料锚杆(索)<sup>[8]</sup>

(1)可回收塑料胀套式锚杆(索),如图 4 所示。塑料胀套式锚杆(索)是靠锚固体的锥体充分胀紧外套,锚固力为作用在孔壁上所产生的摩擦力,属于机械式锚固。



注:1. 内衬加厚螺母;2. 塑料锥体;3. 塑料胀套;  
4. 金属杆体;5. 金属托盘;6. 尾部螺母。

图 4 可回收塑料胀套式锚杆(索)结构

(2)可回收塑料复合树脂锚杆(索):锚杆(索)的金属杆体与塑料锚固套端部的特殊螺母连接为一体,锚固力由孔壁与塑料锚固套之间的树脂锚固剂

黏结产生。

这两种锚杆(索)回收简单,只需用扳手施加反方向的力便可进行回收,操作简单,并在煤矿的实际应用中取得了不错的效果。

### 2.3 韩国 SW-RCD 可回收式锚索

SW-RCD 可回收式锚索,是由韩国(株)三友基础技术社开发研制,如图 5、图 6 所示,是通过人工施加引力使得预应力钢绞线回转,从而较方便地将钢绞线固定或者回收,十分简单。在钢绞线出现问题的情况下也能够轻易更换,并且其承载力不会被削弱。回收时,只需用扳手施加反方向的力便可回收,操作简便。

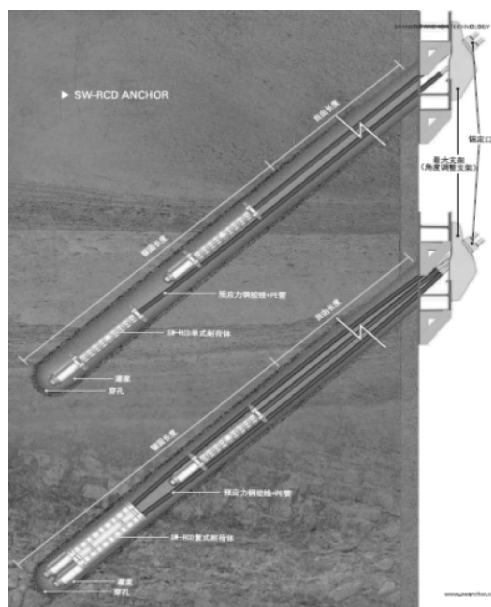


图 5 SW-RCD 可回收锚索大样

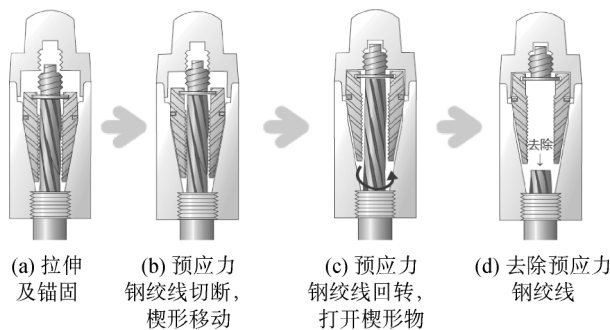


图 6 SW-RCD 可回收锚索的回收

### 2.4 土层自旋可回收锚杆<sup>[9]</sup>

将高密度挤压摩擦锚固的理念融入到锚杆的设计中,采用自攻旋进的方式施工,具有不需成孔、安装结束后锚固力立刻见效、方便施工和回收的优点。在安装过程中,可改善锚杆周边土层的物理力学特性,加固

效果良好。其结构示意图如图7所示。

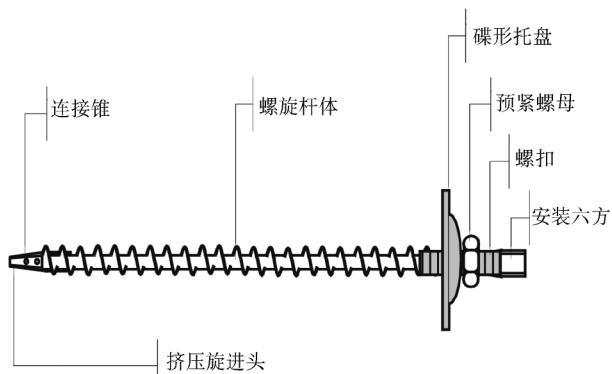


图7 土层自旋式可回收锚杆

此类锚杆适合于砂土地层,在西安市的地铁建设过程中被试验应用<sup>[10]</sup>,取得了良好的加固效果,施工安全性高,方便回收。

### 3 可回收锚杆(索)的锚固机理及设计方法

#### 3.1 锚固机理的研究

尽管国内外的诸多学者专家对可回收锚杆(索)的锚固机理进行了大量的研究工作,但到目前为止仍然缺乏统一的认识和理解。

本文整理了对锚固段注浆体与岩土体之间的黏结力(剪应力)、锚固体的轴力研究的一些成果,如表2所示。

表2 已有的理论成果

项目	锚固段剪应力	锚固体轴力	相关假设
尤春安 <sup>[11]</sup>	$\tau = \frac{P}{\pi a^2 l} e^{-\frac{2}{a}z}$	$N = P e^{-\frac{2}{a}z}$	锚固体、围岩体为线弹性材料;锚固体与岩体之间的界面满足库仑准则;锚固体界面上的应力 $\sigma_z$ 为均匀分布
王建 <sup>[12]</sup>	$\tau(z) = \frac{P}{\pi D} \times \frac{z}{M + Nz} \times \left( \frac{N}{Mz + 1} \right)^{\frac{M}{N^2}} \times e^{-\frac{z}{N}}$	$N(z) = P \times \left( \frac{N}{Mz + 1} \right)^{\frac{M}{N^2}} \times e^{-\frac{z}{N}}$	锚固体和岩土体为弹性状态,且两界面间满足库仑准则, $\tau = \sigma \tan \varphi$ ;锚固体尾部的均布力简化为集中力;锚固体与土体可满足变形协调条件;锚固体横截面上应力 $\sigma_z$ 均匀分布;不考虑集中力作用平面图中上下两侧土体间的相互作用;锚固段为半无限体
张爱民等 <sup>[13]</sup>	$\tau_z = \frac{(1-2\mu)(a^2+4s^2)P_0 r_g}{8\pi(1-\mu)(a^2+s^2)^{5/2}}$		可回收锚索的实际受力简化为单位厚度半无限体受集中力 $P$ 作用,半无限体为均质连续各向同性弹性体

注:该表是根据文献总结得出,式中各个参数的具体理解可参阅读相关的文献。

从理论研究的结果可以看出:锚固段注浆体和岩土界面上黏结应力的分布规律,与预应力、锚固体直径、岩土体及锚固体的泊松比、砂浆的内摩擦角、锚固段及岩土体的刚度等因素相关。通过对这些影响因素的研究,并运用相关的数值模拟软件(如FLAC3D<sup>[12,15]</sup>、ANSYS<sup>[16]</sup>、ABQUS等)验证了结果的正确性,使我们更加深入地了解可回收锚杆(索)的锚固机理,为可回收锚杆(索)的设计和应用提供指导。

上述的理论研究成果为可回收锚索的设计应用提供了指导,但是由于可回收锚索作用体(岩土体)的复杂性以及理论研究结果的繁琐,导致了上述成果在实际应用过程中的局限性。因此,在多数可回收锚杆(索)的设计过程中,仍然采用注浆体与岩土体界面上黏结力(剪应力)为均匀分布这一假设,或者直接借鉴类似的可回收锚杆(索)的工程应用结果。

#### 3.2 可回收锚杆(索)的设计方法

设计是采用锚杆(索)支护中最关键的核心内容。锚杆(索)的设计方法有多种,国内规范给出了

几种可供参考的方法,另Barley<sup>[14]</sup>、尾高英雄、程良奎、曹兴松等<sup>[15]</sup>也都提出了各自不同的看法和建议。康红普<sup>[20]</sup>对国内外常用的工程类比法、理论计算法、数值模拟法进行了讨论分析,结合我国煤巷的特点,提出了动态化、信息化的设计方法。考虑到锚杆(索)和被加固岩土体的复杂性、多样性,与煤巷支护有相似之处,另外工程常处于动态变化之中,因此设计时应综合理论计算、数值模拟、现场监测及各种相关的工程经验等各种资料,动态地进行锚固工程的设计、施工并不断优化。

在进行可回收锚杆(索)的设计施工时,普通锚索的设计理念和设计施工方法具有一定的参考价值。根据可回收锚杆(索)独特的受力类型(承压型)和受力机理,在设计时应区别于普通锚索。普通预应力锚杆(索)设计时主要考虑3个方面的因素:钢筋或钢绞线不被拉断;注浆体和岩土体界面不会发生破坏;钢筋或钢绞线和注浆体界面不会发生破坏<sup>[17]</sup>。

由于可回收锚杆(索)的受力和结构特点的特殊

性,在设计时应保证满足 4 点要求:钢筋或钢绞线不被拉断;承载体和注浆体界面不会发生破坏;注浆体不被压坏;注浆体和岩土体界面不会发生破坏<sup>[17]</sup>。上述 4 点要求分别从钢筋或钢绞线的截面面积、承载体的长度、注浆孔的直径  $D$ 、锚固长度这 4 个参数中加以控制,保证锚杆(索)安全、有效地发挥作用。

设计时假定锚杆(索)的锚固段浆土界面黏结应力沿锚固段呈均匀分布,严卓辉等<sup>[17]</sup>提出按以下公式分别计算相关参数:

$$A_s = \frac{K_t \times N_t}{f_{pk}}$$

$$L_c > \frac{K \times N_t}{\pi D' f_{mc}}$$

$$D > 2 \sqrt{\frac{K \times N_t}{\pi f_g} + \left(\frac{D'}{2}\right)^2}$$

$$L_a > \frac{K \times N_t}{\pi D f_{mg} \varphi}$$

这种设计方法经过在工程实际中的应用,取得了不错的效果,所设计的锚杆(索)能够确保基坑在开挖及锚索回收的过程中基坑的安全、稳定。

康红普<sup>[19]</sup>曾提出适合于煤矿巷道支护的动态信息设计方法,认为设计不可能一次完成,必定是一个动态的过程,另外设计时应该充分利用已完成部分所搜集的信息,并提出了试验点调查和地质力学评估→初始设计→井下监测→信息反馈和修正设计→日常监测的设计思路和方法。这种思路方法可以借鉴到可回收锚杆(索)的设计中,在基于试验点调查和地质力学评估获得基本参数的前提下,利用严卓辉<sup>[17]</sup>所提出的设计计算方法和数值模拟的计算进行初始设计,加强施工过程中的监测,及时获得监测信息并提出修改设计的意见和建议,注重日常监测,为后续工程的优化设计提供借鉴和经验。

#### 4 可回收锚杆(索)的回收

可回收锚杆(索)的回收原理各有所异,本文前面也有介绍。回收方式包括机械式回收、力学式回收、化学式回收。这 3 种回收方法的成本都不低,机械式需要借助机械设备,施工不便,过程繁琐;力学式回收虽然只需对回收杆(索)施加力,但是力并不是很小,需要借助于专用千斤顶或者其他设备机具,如日本的 JCE 在国内已经有一定的应用,回收时需借助专用千斤顶而且作用力可达到 50 kN 甚至更大;化学式回收需要提前安装热熔或爆破装置,回收时启动热熔装置或爆破装置,熔断杆体材料,另外部

分还会借助机械设备进行回收。从而可以看出,不管怎样可回收锚杆(索)的回收都不是很方便,也需要一定的时间。其他如后弹开无黏结钢绞线回转型可回收扩大头锚杆(索)、可回收塑料胀套式锚杆(索)等的回收,也需要 10 kN~30 kN 不等的回收力,需要借助于机械设备提供拉拔力。

虽然现有的可回收式锚杆(索)回收费劲,但却也有一定的经济效益。以可回收塑料锚杆(索)<sup>[8]</sup>为例,据五阳矿的统计,塑料胀套式锚杆(索)年需求量为 8 万套,若回收每年可节约 200 万元人民币的支护投入;据长平矿的统计,塑料复合式锚杆(索)年需求量为 9 万套,若回收每年可节约 180 万元人民币的支护投入。

相比于借助机械设备进行回收的锚杆(索)而言,单单依靠人力便可回收就显得便捷、轻松。用于煤巷支护中的可回收塑料胀套式锚杆(索)<sup>[8]</sup>的回收只需扳手人工反方向旋转便可进行,因此可以参考此类锚杆(索)的设计特点对现有的锚杆(索)进行改进,在确保所提供的锚固力不变的前提下使锚杆(索)的回收更加便捷。

#### 5 可回收锚杆(索)所面临的问题以及发展方向

现有普通锚索的弊端已经日益突出,难以再适应目前工程的发展。因此,可回收锚杆(索)已经成为发展的必然趋势。近年来,随着我国工程建设的突飞猛进,城市高层建筑、大型建筑群如雨后春笋般快速发展,市政工程中的轨道交通、桥梁、隧道、地下工程等等也异军突起,迅猛发展。伴随着诸如此类的工程,锚杆(索)支护为确保工程的安全进展、运行,发挥着显著的作用,效果良好。但是,常规锚杆(索)自身存在的缺陷以及现有工程理论、技术的不足,造成了材料的极大浪费,极大地增加了工程造价,同时对地下环境造成污染,也不利于地下空间的二次开挖。因此,可回收锚杆(索)克服了常规锚杆(索)的不足,逐渐在工程领域得到广泛的应用和重视,产生了很好的经济效益和社会效益。

##### 5.1 存在的问题

虽然可回收锚杆(索)的发展趋势大好,但是仍然在以下方面有所不足。

###### (1) 理论研究。

现如今,已有多种类型的可回收锚杆(索)被提出,但是相对应的理论研究却比较滞后。理论研究服务于工程实践,为工程实践的应用提供方便和指

导,是工程应用的基础,能确保工程实践的安全有效,因此理论研究不可忽视,应在现有理论研究的基础之上展开更为深入的研究。

现有的理论研究没有过多地考虑群锚效应<sup>[2]</sup>,而实际中锚杆(索)应用都并非独立,在研究时应该考虑其相互之间的影响。

### (2)实际应用。

虽然已有多种可回收锚杆(索)被提出或已申请专利,但实际工程中却很难见到它们的影子。这些大多是只局限于研究阶段,课题一结束便也不再继续深入地研究和改进,并未能将其改进推广。现阶段,在工程中被广泛应用的回收锚杆(索)的种类少,应用也较局限。

### (3)回收。

回收不够便捷,诸多的回收锚杆(索)都不能很方便地回收,需要借助千斤顶、卷扬机、手葫芦等机械设备,回收拉拔费力、耗时,在一定程度上还是不够方便。因此,还需在这方面有所改进。

## 5.2 可回收锚杆(索)的发展方向 and 展望

### (1)用于临时支护工程。

随着城市地下空间被不断开发利用,工程施工过程中的支护要求也越来越高,而大多数支护工程都是临时性的,所以常规锚杆(索)已然无法再满足其发展要求。因此,面对这种临时性的支护工程,回收锚杆(索)表现出独有的优势,一方面支护完成以后,锚杆(索)被回收,减小了材料的浪费,降低了工程造价;另一方面,将锚杆(索)回收以后不会对地下空间造成污染,也不会影响后续的开发,还地下一片“净土”。从而,随着工程的进步和发展,回收锚杆(索)将会被广泛地应用于此类工程中。

### (2)研究能被广泛使用的回收锚杆(索)。

在已经研发的回收锚杆(索)中,大都止步于室内的试验研究和专利申请,能够推广应用的比较少。鉴于此,可以在现有室内研究的基础之上,进行现场试验研究,改进开发出适合不同领域(如煤矿、边坡、基础、基坑等)且能被广泛使用的回收锚杆(索)。

### (3)探索一套成熟的回收锚杆(索)设计方法。

虽说回收锚杆(索)的研究已经开展多年,但是却还没能开发出一套较为合理、被广泛采纳的设计方法和设计流程。随着社会的发展和科技的进步,回收锚杆(索)应在理论研究继续深化的基础上,结合试验、数值模拟分析、检测监测等成果,借鉴

煤矿巷道的动态设计理念,将其应用到回收锚杆(索)的设计中,不断完善回收锚杆(索)的设计方法,努力达到适用性强、安全性高的标准。

### (4)建立回收锚杆(索)实际应用成果的数据库<sup>[2]</sup>。

由于回收锚杆(索)属于新的研究成果,在被应用之前需进行相关的现场试验,以检测其锚固性能、熟悉其施工工艺和回收工艺等。锚杆(索)的应用和地层的特性联系紧密,地层类似时可以相互借鉴和参考。从而,回收锚杆(索)在不同地区进行现场应用时,可以采集相关数据,归纳总结、客观分析应用成果,建立数据共享资源库,方便研究和设计人员查阅参考,为其相关工作提供便利和借鉴,缩减不必要的工作量,提高工作效率。

### (5)优化回收锚杆(索)的回收工艺。

现阶段回收锚杆(索)的回收效果不尽理想,可在现有工作的基础上继续深入研究,探索回收成本低、回收所需力量小、设备简便的回收方法。李兆平等<sup>[18]</sup>分别试验了一次回收一道和几道锚索的方法,结合现场监测数据对比分析,认为其存在区别,后者可以有效地缩短工程周期、节约工程造价,充分保证被支护结构的稳定性。因而,除了在锚杆(索)结构方面进行改进外,还可以通过相关工法机具的改进来优化回收锚杆(索)的回收工艺。

## 参考文献:

- [1] 刘汉龙. 岩土工程技术创新方法与实践[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(1): 34-58.
- [2] 刘余欣, 吴志斌, 梅国雄. 可回收式锚杆(索)技术的发展现状及展望[C]//全国青年岩土力学与工程会议暨青年华人岩土工程论坛, 2013.
- [3] 郭彦朋, 李世民, 李洪鑫. 可回收锚索的发展现状及展望[J]. 四川建筑科学研究, 2015, 41(2): 136-140.
- [4] Herb S T. Removable ground anchors-answer for urban excavations[J]. Ground Engineering, 1997, 30(3): 21-22.
- [5] 钟晓晖, 邵孟新, 罗振平. 可回收锚索技术介绍与分析[J]. 建筑监督检测与造价, 2015, 8(2): 28-34.
- [6] 王立明, 施鸣升, 徐雷云, 等. 回转型可回收扩大头锚杆[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(S2): 471-474.
- [7] 李锡银. 定闸式可回收锚索在基坑支护中的应用[J]. 中国水运: 下半月, 2008, 8(9): 187-188.
- [8] 武蕴馥, 刘金庄. 可回收塑料锚杆及应用研究[J]. 煤矿机械, 2008, 29(6): 183-185.
- [9] 蔺云宏, 罗文静, 任飞. 土层自旋锚杆锚固技术研究

- [J]. 隧道建设, 2010, 30(3): 235—237, 256.
- [10] 张少兵. 自旋式土层锚杆在西安地铁中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(1): 66—69.
- [11] 尤春安. 压力型锚索锚固段的受力分析[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(6): 828—831.
- [12] 王建. 可回收式预应力锚索作用机理及施工力学分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [13] 张爱民, 胡毅夫. 压力型锚杆锚固段锚固效应特性分析[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(2): 271—275.
- [14] Barley A D, Chris R. Windsor. Recent advances in ground anchor and ground reinforcement technology with reference to the development of the art[M]. 2000.
- [15] 陈琛. 压力分散型锚索锚固机理及锚固段设计方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [16] 龚医军. 新型可回收式锚杆抗拔试验及数值模拟研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [17] 严卓辉, 关永波, 李柏青. 地铁深基坑采用可回收锚索支护的锚固参数设计[J]. 市政技术, 2013, 31(1): 63—65.
- [18] 李兆平, 黄明利, 王建, 等. 地铁深基坑采用可回收锚索支护方案优化设计[J]. 地下空间与工程学报, 2012, 8(1): 154—160.
- [19] 康红普. 煤巷锚杆支护成套技术研究与实践[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3959—3964.
- [20] 康红普, 王金华. 煤巷锚杆支护理论与成套技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2007: 67—104.

## Study Status and Prospects of Recoverable Anchor Technology

ZHANG Xin-xin<sup>1,2</sup>, FU Gui-jun<sup>1,2</sup>, LIU Hai-kang<sup>1,2</sup>, LI Bo-gen<sup>1,2</sup>

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

**Abstract:** Anchor technology is a relative mature engineering technique for geotechnical anchor. With the social development and engineering demand, the disadvantages of the conventional anchor are gradually revealed which can't meet the requirements of projects demand in modern society. In recent years, the recoverable anchor technology has been gradually used. In this paper a simply summary and comparison are made in terms of the types and theoretical research results of existing recoverable anchor. The design and recovery situation of recoverable anchor are also discussed. A design method which is based on theoretical calculation and combined with numerical simulation is put forward. Finally, some problems in the recoverable anchor's development are concluded, and some suggestions and outlooks are put forward for popularization and application of the recoverable anchor in the temporary support engineering, exploration of a complete and universal design method, as well as optimizing the recovery of recoverable anchor.

**Key words:** recoverable anchor; classification of recoverable anchor; anchorage mechanism; theoretical research; dynamic design method; recovery technology; development trend