

# 无锈蚀锚索的试验研究

吴陶 宋军

(中国地质科学院探矿工艺研究所 四川 成都 610081)

**摘要:** 无锈蚀锚索是探矿工艺研究所最近研制的一种新型非金属锚索。通过对国内外锚索索体、承压垫板、外锚具、附属零部件、张拉装置、锚索整体结构及锚索施工工艺的研究, 以及两轮现场试验, 结果表明无锈蚀锚索以其独特的性能, 在特殊锚固环境中锚固, 比钢锚索更有效、更可靠, 因此具有极大的市场潜力。

**关键词:** 无锈蚀锚索 试验研究 锚固 锚具

## 1. 引言

锚索加固技术最早应用于矿山, 后来逐渐在水库大坝加固、地下洞室加固、边坡加固、滑坡防治等各种工程中应用, 现已成为一种重要的加固支护手段。但是, 这类工程属永久性工程, 传统施工中的钢锚索不仅单位体积重量大、运输不便、不易开卷、安装速度慢, 而且存在易锈蚀缺点。尽管现在采用了如水泥浆结石层防护, 镀锌、锡、铜等金属防护及涂有机涂料、塑料、防锈油等非金属涂层防护等多种措施, 但在水泥产生碱性以及水和大气存在酸性的条件中, 仍然不能从根本上杜绝锈蚀现象。尤其是在海水侵蚀地层、火山灰地层、化学腐蚀环境等特殊锚固工程中, 或是被薄层混凝土包裹时, 钢筋锈蚀得更为严重, 以致重点锚固工程不得定期进行防锈处理, 甚至更换、重新施工。无形中增加了许多后期费用, 影响综合经济效益。同时, 锚索施工场地一般都比较狭窄、险峻, 而钢锚索单位体积重量大, 现场运输、开卷、安装极不方便。这也是钢锚索无法提高安装速度的根本原因。针对钢绞线锚索的这些缺陷, 国内外研究、开发了多种非金属锚索。研究试验表明, 无锈蚀锚索拥有的良好技术性能, 使其在特殊锚固环境中, 具有传统钢锚索不能达到的加固效果。

## 2. 研究应用现状

### 2.1 国外研究应用概况

国外为彻底解决钢材锈蚀问题, 20世纪80年代就开始研究、试验非金属锚索。如瑞典维德曼公司(Wiedemann)1987年首推玻璃纤维锚杆。它由嵌固在聚酯或环氧树脂中的优质玻璃

纤维制成, 纤维含量约为70%, 破坏荷载与钢丝绳相当, 有树脂型和中空灌浆型两种<sup>[1]</sup>。德国拜尔公司(Bayer Inc.) 20世纪90年代初研制出获专利的玻璃纤维复合材料Polystal制成的锚杆, 受拉件为E-玻璃增强纤维, 填充料为不饱和聚酯树脂, 轴向破坏荷载与单股钢丝绳相当。但成本高6倍左右。加拿大最初一直使用从德国进口的Polystal制作锚索, 但由于材料成本高, 无市场竞争力。因此, 由几家公司共同研制出玻璃纤维复合材料DAPPAM, 专门用于生产矿山锚固支护用的锚索。该产品已于1989年在温哥华市投入生产, 其性能与Polystal相似, 比重仅为2.1g/cm<sup>3</sup>, 轴向破坏荷载与钢锚索相当。成本比Polystal低30%<sup>[2]</sup>。日本于1987年开发出碳纤维和聚酰亚胺纤维等高强纤维合成的钢化塑料锚索, 基体采用乙烯酯树脂, 破坏荷载与钢锚索相当, 1994年3月得到日本建筑研究中心认定<sup>[3]</sup>。此外, 奥地利等国也有复合材料的锚索出售, 并在地表滑坡整治、水电大坝、地下矿山等工程中进行过应用、测试, 取得很好的技术经济效益。可见, 非金属锚索的应用已成为一种国际趋势。

### 2.2 国内研究应用概况

国内虽然石油系统研制出纤维类材料制造的抽油杆进行采油作业, 军工系统研制出纤维类材料进行卫星天线安装。但在岩土工程, 尤其是锚索工程中, 非金属锚索的研究和应用, 在此之前一直未见正式报道。与国际先进技术存在一定差距。

2000年2月, 中国地质科学院“无锈蚀锚索新材料”研究项目启动, 2003年7月通过验收。该项目主要研究了整套无锈蚀锚索、外锚具、

张拉装置,以及锚索整体结构、施工工艺等配套技术。经过验收,与会专家一致认为,无锈蚀锚索“结构和外锚具设计具有创新性。该项技术在国内处于领先地位”。可见,无锈蚀锚索的研究成功,为我国的锚索加固技术开辟了一条新途径,是锚索技术的一大进步。

### 3. 无锈蚀锚索技术研究

无锈蚀锚索主要由锚索索体、连接头、承压垫板、外锚具、内锚头、附属零配件等部分组成。经过室内研究试验、中试产品加工、室内模拟试验、第一轮现场试验、室内补充试验、外检试验及第二轮现场试验,研制出的锚索索体及零部件全部由纤维、高分子材料、有机材料或其他无锈蚀材料制成。连接部分采用粘结材料与螺纹连接相结合的技术方法。由于无锈蚀锚索的结构与普通钢锚索完全不同,每个阶段的研究工作还包括索体及上述各部分构件的材料研究或选用、结构设计、加工制造、检测、装配等具体内容。最后进行了两轮整体锚索现场试验,取得圆满成功。

#### 3.1 无锈蚀锚索索体研究

锚索索体是无锈蚀锚索的关键技术。目前国外研制的非金属锚索主要有圆棒(杆)型和绞合线绳索型两种类型。非金属锚索索体一般由增强纤维材料和合成树脂基体材料构成,采用的纤维材料有玻璃纤维、碳纤维或聚酰胺纤维,合成树脂基体材料为聚脂、乙烯基脂或环氧树脂等。其中,增强纤维材料占锚索体积的65%~70%,锚索的抗拉强度几乎全部由纤维材料承担,而合成树脂基体材料只是一种介质,当向锚索施加载荷时,它对锚索的抗拉强度没有明显作用,只是通过层间剪力将荷载传递给纤维。

经过反复研究、对比、初步试验,确定无锈蚀锚索索体采用绞合线绳索型结构,这种结构的优点是索体承力状态好,易卷曲,适合野外大型锚索工程施工。锚索索体材料以抗拉强度高、质轻、抗腐蚀性强的纤维材料作主体,再用粘结性好、强度高的高分子类材料作充填料,并以防腐蚀、耐老化的材料作表面覆层,三者经一定的工艺过程复合而成。为增加锚索的强度和柔性,重点进行了锚索材料组成和结构研究、纤维材料研究、基体树脂材料研究、

索体试验接头及灌注材料研究、索体结构研究、加工工艺研究、物理力学性能试验、室内模拟张拉试验等多项工作,最后采用特种树脂和特种工艺试制出锚索索体(图1)。



图1 锚索索体

#### 3.2 锚索承压垫板研究

锚索承压垫板主要承受来自于张拉装置的压力。所以采用增强材料和高强树脂复合而成,垫板研究包括增强材料、树脂材料、合成方法、物理力学性能、垫板结构及加工方法等几方面。经过多次反复试验、改进,我们采用高强树脂和高强纤维,用特殊层压法试制出承压垫板,其技术性能完全满足无锈蚀锚索的工程施工要求。

#### 3.3 锚索外锚具、附属零部件及张拉装置研究

无锈蚀锚索的外锚具及内锚头、隔离板、承压垫板等附属零配件全部采用无锈蚀的材料制作。由于无锈蚀锚索的外锚具是整体锚索中主要受力部件,既要承受来自张拉设备的外力,又要具有可靠的锁定效果,操作方便。因此,针对无锈蚀锚索的柔性索体不能直接夹持的特殊性,研究设计出专用的外锚具,并在锚具与索体之间,采用特殊结构的连接头。接头与索体间用专用高强复合材料进行内部充填灌注。外锚具再与连接头连接发挥作用。经试验,该装置完全达到了锚索张拉、锁定的技术要求。在锚索内锚头与索体之间,我们也采用类似结构和方法连接。

无锈蚀锚索的张拉装置是为配合专用外锚具而设计、加工的,其结构简单,操作方便,有利于野外施工。由于它是临时性装置,所以不采用特殊材料制造。无锈蚀锚索的锚具及部分零部件实物如图2所示。

#### 3.4 锚索整体结构及施工工艺研究

无锈蚀锚索尽量采用与钢锚索相似的整体结构,以便现场应用。锚索整体结构简图如图3所示。整体锚索见图4。

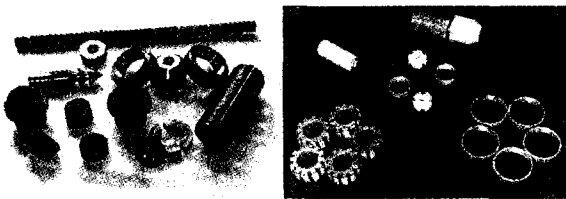


图2 锚具及部分锚索零部件

无锈蚀锚索施工工艺，仍以传统钢锚索的施工工艺为基础，其主要工艺流程见图5。

#### 4. 现场试验

在室内研究试验工作、材料生产、加工及外检工作结束后，在重庆市北碚区嘉陵江边某商住楼地基加固工程，以及重庆市嘉陵路危岩滑坡综合治理工程中，进行了两轮现场试验，共试制、加工和现场安装3根无锈蚀锚索，并进行了锚索张拉和预应力监测。现场试验表明，

锚索锚固力等力学性能均满足现场锚固要求。由于锚索重量轻，在运输过程中不易破损、折断，现场开卷、编锚、下锚方便，施工特性较好。锚索自由段采用锚索自带防护套，现场不用采取防腐剂、波纹管等防锈措施，施工工艺更加简便、快捷。同时，外锚具张拉、锁定方便，锚固性能可靠。可见，无锈蚀锚索特别适合在场地狭窄、地势险要等特殊锚固环境中使用。

#### 5. 无锈蚀锚索的特点

研究表明，无锈蚀锚索与钢质锚索相比较，具有以下突出特点：

- 5.1 锚索无锈蚀，在特殊锚固环境中不易发生腐蚀，耐久性强；
- 5.2 锚索单位体积重量为钢材的1/4，且弯曲半径较小，易于盘绕、开卷、运输和安装，可降低劳动强度，提高作业效率；

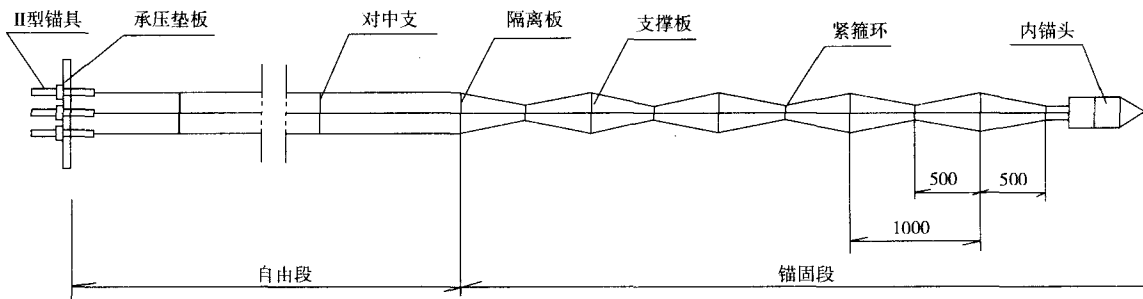


图3 锚索整体结构简图

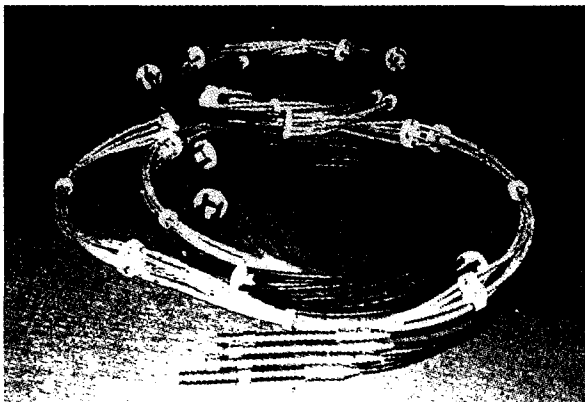


图4 整体锚索

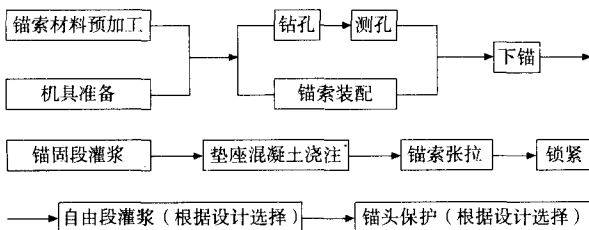


图5 工艺流程图

5.3 整体锚索的结构、安装工艺与钢锚索相似，施工方便、快捷。

因此，无锈蚀锚索在海水浸蚀地层、火山灰地层及其它化学腐蚀环境等特殊锚固工程中，以及被薄层混凝土包裹等特殊锚固条件下，无需防锈、防腐处理，就能取代钢锚索进行锚固，减少了锚固工程中锚索的定期更换甚至重新施工的工程量，降低了锚固工程的长期成本，提高了锚固技术的可靠性。同时，在锚索施工场地狭窄、险峻的情况下，无锈蚀锚索的运输、安装、施工极为方便、快捷，工人劳动强度大幅度降低，施工速度大幅度提高，对岩土锚固工程技术进步意义重大。

#### 6. 结论

无锈蚀锚索作为一种新型的锚固体系，虽然在国际上的研究应用时间较短，国内的研究还不够深入、全面，有许多问题尚待进一步研究，比如如何降低材料加工成本，研究性能更

好的配套锚固及张拉体系等；但是，它特有的耐腐蚀、强度高、重量轻、安装速度快等优点，已在现场应用中得到了充分体现，因而具有极大的市场潜力。我们相信，随着研究的不断深入，无锈蚀锚索在我国将会得到越来越多的应用，成本也将逐步降低，成为特殊锚固环境中特殊锚固工程，比钢锚索更有效、更

可靠的锚固体系。

#### 参考文献

- [1] R帕卡尔尼斯, DA彼得森. 一种新型锚杆—玻璃纤维锚索[J]. 国外金属矿山, 1994, (8): 41—45.
- [2] 曹虹. 采用合成树脂纤维的锚固系统[J]. 岩土锚固工程, 1994, (3): 25—30.
- [3] 德丸昌敬. 聚酰亚胺纤维钢化塑料锚杆的试验施工[J]. 探矿工程译丛, 1997, (2): 8—12.

(上接第12页)

2) CFRP索锚固段进行了套丝, 结果因螺纹强度不够而易剥离, 反而降低了CFRP索的强度。因此CFRP筋表面粗糙处理措施要得当。

3) 锚具内锥度表面涂上特种涂料是较好的处理措施, 能够发挥锚具内锥度作用, 使拉索受荷载作用时锚具内砂浆产生挤压, 提高锚固效率, 大大地提高拉索极限承载能力。

4) 本文研发的CFRP多丝粘结锚具, 锚固效果较好且性能稳定, 锚固效率达95%以上, 基本能用于实际工程。

#### 参考文献

- [1] 于明伟. 单一纤维FRP筋基本力学性能与混杂FRP筋的研

制. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2005

- [2] Brahim Benmokrane U, Adil Chennouf Burong Zhang. Tensile properties and pullout behaviour of AFRP and CFRP rods for grouted anchor applications. Construction and Building Materials 2000, 14: 157—170

- [3] Johannes Fritz Noisternig. Carbon Fibre Composites as Stay Cables for Bridges. Applied Composite Material. 2000, 7: 139—150

- [4] Burong Zhang, Brahim Benmokrane. Design and evaluation of a new bond-type anchorage system for fiber reinforced polymer tendons. Canadian Journal of Civil Engineering. 2004, 31(1): 14—26

- [5] 何政, 欧进萍. FRP筋及其配筋混凝土构件的力学性能与智能特性. 第二届全国土木建筑工程纤维增强复合材料(FRP)应用技术学术交流会学术论文文集. 昆明, 2002

- [6] 刘效尧, 朱新实. 公路桥涵设计手册—预应力技术及材料设备(第二版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004

#### · 简讯 ·

## 欧维姆公司三项成果通过专家鉴定

7月28日、29日, 经广西壮族自治区科技厅组织的院士、专家鉴定, 柳州欧维姆机械股份有限公司有三项科研成果被确认属国内首创、达到国际先进水平。这三项成果是: OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系、即时监测可换式悬索桥锚碇预应力锚固体系、ZH型砂浆料。

“OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系”是针对矮塔斜拉桥的特点, 结合成熟的OVM拉索体系的锚固机理而研制成功的体系。该体系具有如下突出特点: 一、首次创新采用分丝技术设计的索鞍, 结构新颖, 不仅克服了内外管索鞍在设计、施工中的不足, 还很好地起到了分散、均匀传递荷载作用, 解决了内外管索鞍下部应力集中及在施工时不能单根调索以及后期换索的问题; 二、采取可靠的抗滑措施, 使填充的浆体和每根钢绞线充分握裹, 能有效克服施工及运营期间拉索两侧的不平衡力; 三、索体具有多层防护结构, 密封防水结构合理, 采用环氧树脂涂层预应力钢绞线, 具有良好的防腐性能。该体系已成功应用于兰州小西湖大桥、珠海荷麻溪桥等十多个工程, 取得了显著的社会效益和经济效益。

“即时监测可换式悬索桥锚碇预应力锚固体系”是针对目前悬索桥重力式锚碇有粘结不可更换、压浆质量和防护效果无

法检查、砂浆泌水后的空洞难彻底处理等弊端而研制成功的。其主要特点就是“可监测”、“可更换”: 可监测即对防腐油脂可随时取样检测, 同时通过压力传感器对锚固系统受力进行监测; 可更换指通过检测油脂的变化和钢绞线的变化, 在有必要更换时, 对防腐油脂和钢绞线进行更换, 更换时不影响大桥的正常运营, 大大提高了悬索桥锚碇预应力锚固系统的耐久性。该体系已成功应用于武汉阳逻长江大桥。

“ZH型砂浆料”是借鉴国外先进经验后自主研发成功的砂浆料, 具有良好的流动性、耐久性、抗疲劳性和抗冻性。其性能指标达到国际上同类产品先进水平, 而价格不到其一半。该成果已成功应用于广州轨道交通四号线工程。

三个项目的鉴定委员会各自认真听取了有关项目的研究、试制、试验以及应用等报告, 仔细审阅了研究报告、试验检验报告、查新报告、产品标准、用户报告等鉴定资料, 并进行了充分的讨论和质疑后认为: “OVMAT矮塔斜拉桥拉索体系”、“即时监测可换式悬索桥锚碇预应力锚固体系”均为国内首创, 是拉索技术和主缆锚固技术的重大进步; “ZH型砂浆料”填补了国内空白, 形成自主产业, 为国家节约大量外汇。这三项成果均达到了国际先进水平。

(编辑部)