

# 水电工程预应力锚固施工技术

李 丹 波

(湖北长江预应力工程有限公司 湖北宜昌 443002)

**【内容摘要】**笔者从水利水电工程预应力锚固施工业者的,全面回顾了我国近 40 年水电工程预应力锚固技术的发展情况,并对预应力锚固技术的发展趋势提出了自己的看法。

**【关键词】**水电工程 预应力 锚固 综述

## 1 概述

预应力锚固施工技术是我国近 30 年来水电工程施工中迅速发展起来的一种新技术,主要用于对不稳定岩体进行加固和改善结构物内部的应力条件。它的最大特点,是尽可能少地扰动被锚固的岩体或土体,并通过锚固措施合理地提高被锚固体的强度,使工程施工快捷、安全可靠又经济。

我国水电工程中的预应力锚固施工技术,起步于 20 世纪 60 年代,当时主要应用于坝基加固,成功地解决了水利水电工程建设中较为复杂的基础稳定和应力超限问题。但由于机具配套、施工工艺等方面存在问题,预应力技术难以满足工程建设的要求。进入 80 年代中期之后,为适应大型水利水电工程及其他大型工程建设的需要,各有关方面对预应力锚固技术进行了深入研究,并取得了丰硕成果,推动了我国水利水电事业和其他领域预应力锚固技术的发展,也使预应力锚固技术日益成熟。

目前,在水利水电工程建设中,预应力锚固技术漫湾、龙滩、小浪底、三峡及其他国内在建设的大中型水电工程都不同程度地采用了预应力锚固技术。仅三峡水利枢纽永久船闸的高边坡加固中,就使用了 1000 kN 及 3000 kN 预应力锚索(杆)4000 余根,张拉锚杆 10000 余根;目前正在建设中的雅砻江锦屏一级水电站左右岸坝肩 1885m 高程以上高边坡加固中,使

用 1000kN、2000kN、3000kN 预应力锚索近 5000 束,钻孔总进尺约 300000m,其中最大钻孔直径 180mm,最大钻孔深度达 100m,,约一半以上锚索孔穿越复杂地层;有的工程单根预应力锚索的锚固力,已达 10000kN。同时预应力锚固技术正被广泛应用于水利水电工程的大型地下洞室、大坝基础加固及各类水工建筑物的补强和加固。

## 2 预应力锚固技术的发展现状

近 10 年来我国水利水电工程在预应力锚固的工作机理、锚固体系、施工工艺、机具设备的配套及标准化建设等方面取得了一系列新成果,使得预应力锚固技术得到了迅速的发展和广泛的应用,主要表现在以下几个方面:

### 2.1 应用范围扩展迅速

我国从 20 世纪 60 年代采用预应力锚固技术对坝基进行加固,到 70 年代对闸墩和地下洞室采用预应力技术进行加固;近年来,预应力锚固技术被广泛应用于水利水电工程的高陡边坡、地下洞室、大坝基础、坝体、大型弧门闸墩、闸室加固、压力隧洞采用环锚预应力衬砌以及对水工建筑物修补加固等,均取得了良好的效果。目前在水利水电工程建设中,无论是新坝建造还是旧坝加固,预应力锚固技术已经成为一种方便快捷、安全高效、经济可靠的加固处理技术。

收稿日期:2007-01-24

作者简介:李丹波(1970-),男,工程师,从事水工专业 15 年。

## 2.2 单孔张拉锚固力水平日益提高

(1)随着预应力锚固技术的应用领域和范围的扩大,对锚固力的要求越来越高。预应力锚固体单孔锚固力的提高,在一定程度上节约了资源、降低了工程造价。

根据目前掌握的资料,国外单根预应力锚索的最大张拉锚固力已达到 13000 kN。1989 年我国首台 6000kN 级张拉设备研制成功,并在丰满坝基加固中成功应用,使我国的预应力锚固技术水平提高到了新的阶段。在 20 世纪 80 年代后期,我国水电工程的预应力张拉锚固力大多为 3000~6000 kN。石泉水库加固的锚索荷载又提高到了 8000kN,在 20 世纪 90 年代后期,李家峡水电站采用了 10000kN 预应力锚索,使我国的预应力张拉锚固力水平达到了国际先进水平。

(2)预应力锚固体单孔锚固力水平的提高,不仅与张拉机具设备的能力提高有关,而且与所采用的预应力锚固体系、钻孔设备能力、胶结材料强度及预应力施工工艺技术水平有关。1997 年湖北高坝洲水电站水轮机蜗壳 2000kN 竖向预应力锚索加固施工中,采用的压缩式内锚结构,在有效提供锚索承载力的同时,内锚固段的长度由常规的 6~10m,缩短到 2.5m,锚固安全系数达到 1.8,使得在小空间结构中实施大吨位的端头锚固成为可能;2001 年广西龙滩水电站左岸坝肩高边坡 2000kN~3000 kN 预应力锚索加固施工中,有关施工单位采用的大直径深孔高精度成孔技术,成功地解决了由岸坡向山体排水洞定向钻进的对穿锚锚索孔施工难题。其最大钻孔直径 165mm,孔深 75m,终孔偏差控制在 0.8% 以内,不仅达到了对其岸坡加固的设计技术目的,而且较大地提高了大吨位张拉锚固力的有效利用率;目前正在雅砻江锦屏一级水电站工程施工中,针对不同的加固对象,采用了多种不同的预应力锚固体系。所采用的压力分散型预应力锚索,最大孔深 100m,最大张拉锚固力 3000kN。较好地解决了在软弱地层施加大吨位张拉锚固力的技术难题,大大节约了工程造价。

大量的工程实践表明,我国水利水电领域的大吨位、超深孔预应力锚固施工技术正在日益成熟。

## 2.3 预应力锚固体系及施工技术取得新进展

预应力锚固体系,主要由外锚固端(外锚头)、锚索(自由段锚杆体)、内锚固段(内锚头)三部分组成。三个组成部分型式不同,锚固体的类型也不同。随着我国预应力锚固技术的发展,锚固体系的种类也越来

越多,与之相应的施工技术也日趋完善。

2.3.1 锚夹具 锚夹具是外锚固端(外锚头)重要组成部分,包括工作锚板、工具锚板、夹片限位板等。其关键部件是锚板和夹片,它们直接影响到施工中的锚索张拉和锁定效果。对锚板和夹片的要求是:锚索(自由段锚杆体)张拉时不断丝、能自锁;锁定时锚索回缩量要小。因此对锚板和夹片的加工要求非常严格,工艺要求也较高。

20 世纪 70 年代以前,我国刚刚开始应用预应力锚固技术时,还没有专门的锚夹具,外锚头采用钢筋混凝土墩头锚,施工复杂、占用场地大、预应力不易长久保持。目前国内生产的锚夹具品种,主要有 OVM 锚、DM 锚、HM 锚、XM 锚、LM 锚、YFM 锚等,都是经国际 ISO9000 认证的系列产品,能够适应各种不同强度级别、不同直径的高强度预应力钢材及不同锚固对象的要求,锚固力的提供由 500 kN、1000 kN、2000 kN、3000 kN 等、最大可达到 6000 kN;其锚固效果、回缩量、自锁能力及生产工艺及能力,均达到了国际同类产品的水平,在国内水电工程预应力锚固施工中得到广泛应用,有些产品已进入国际市场。

2.3.2 锚杆体材料 锚杆体是被锚固体提供预加应力实现对工程加固的载体。对于永久锚固工程,要求施加在锚杆体上的张拉力值能够长期保存。这就要求锚杆体材料具有较好的弹性和低松弛性,以保证预应力损失小,锚固效果好。

目前我国预应力锚杆体材料,主要是高强度钢丝和高强钢绞线,也有少量工程采用精轧螺纹钢筋。

(1)随着工程建设的需求,预应力锚杆体的材料,已由低强度、小直径,逐渐向高强度、大直径、低松弛、高防腐性能的方向发展。例如最近几年出现的具有优异防腐和锚固性能的双层保护无粘结钢绞线、环氧喷涂钢绞线及自钻式预应力锚杆等。钢绞线的强度级别由最初的 1470MPa、1570MPa、1670MPa、1720MPa 发展到 1860MPa,最大达 2000MPa;钢绞线的公称直径也由 10mm 发展到 15.24mm,目前最大达到 20.7mm,详见表 1~表 4。

(2)预应力锚杆体材料的发展促使有关方面在锚固体系及其施工技术方面不断探索、革新。如大量无粘结钢绞线的应用,使得常规拉力型、压力型内锚固段所产生的应力集中问题得到了优化,衍生出了拉力分散型、压力分散型、拉压分散型等新型的、适应不同地质条件的荷载分散型锚固体系。可以说,我国预应力锚杆体材料的多样化发展,为预应力锚固技术的进一步应用,提供了较大的空间和有力的保障。

表 1 高强钢丝的力学性能

消除应力钢丝的力学性能									
公称 直径 (mm)	抗拉强度° σb (MPa) 不小于	规定非比例伸长应力 σp (MPa) 不小于	伸长率 L <sub>0</sub> = 100m m (%) 不小于	弯曲次数		松弛			
				次数/180 不小于	弯曲半径 (mm)	初始应力相当于 公称抗拉强度的 百分数 (%)	1000h 应力损失 (%) 不大于		
							I 级松弛	II 级松弛	
4.00	1470 1570	1250 1330	4	3	10	60	4.5	1.0	
5.00	1670 1770	1410 1500		4	15				
6.00	1570 1670	1330 1420				70	8	2.5	
7.00	1470 1570	1250 1330				20	80	12	4.5
8.00									
9.00									

注:① I 级松弛即普通松弛, II 级松弛即低松弛,它们分别适用所有钢丝。

②屈服强度  $\sigma_p0.2$  值不小于公称抗拉强度的 85%。

表 2 钢绞线尺寸及拉伸性能

钢绞线 结构	钢绞线公称 直径 (mm)		强度级别 (MPa)	整根钢绞线 的最大负荷 (kN)	屈服负荷 (kN)	伸长率 (%)	1000h 松弛率(%) 不大于			
							I 级松弛		II 级松弛	
							初始负荷			
不小于						70% 公称 最大负荷	80% 公称 最大负荷	70% 公称 最大负荷	80% 公称 最大负荷	
1×2	10.00		1720	67.9	57.7	3.5	8.0	12	2.5	4.5
	12.00			97.9	83.2					
1×3	10.80			102	86.7					
	12.90			147	125					
1×7	标准型	9.50	1860	102	86.6					
		11.10	1860	138	117					
		12.70	1860	184	156					
		15.20	1720	239	203					
	1860		259	220						
	模拔型	12.70	1860	209	178					
15.20		1820	300	255						

注:① I 级松弛即普通松弛, II 级松弛即低松弛,它们分别适用所有钢丝。

②屈服负荷不小于整根钢绞线公称最大负荷的 85%。

表 3 我国生产喷涂钢绞线参数

钢绞线种类	12.7 钢绞线	15.2 钢绞线
标准外径 (mm)	13.6	16.1
标准单位 (g/m)	793	1123
标准被膜厚度 (mm)	0.14	0.14
标准被膜重量 (g)	17.6	21.0
被膜材料	日本产环氧树脂粉末	日本产环氧树脂粉末

表4 我国生产无粘结预应力筋参数

钢绞线种类	12.7 喷涂钢绞线(按日本标准)	15.2 喷涂钢绞线(按日本标准)	15.2 光面钢绞线(我国建议标准)
无粘结筋外径(mm)	16.8	19.3	17.8~18.5
无粘结筋重量(g/m)	891	1239	840~870
厚度(mm)	1.1	1.1	1.8~1.2
重量(g/m)	51	59	30~60
(g/m)	47	57	≥35

2.3.3 内锚固段 内锚固段又称内锚头,它是锚固体系中锚固端,其作用是使得锚索张拉锁定安全顺利实现,从而达到对不稳定岩体和结构物的加固的目的。内锚固段型式主要有两大类:一类为机械式内锚头,一类为胶结式内锚头。

(1)机械式内锚头主要靠凸凹不平的金属夹片与孔壁咬合和摩擦提供张拉锚固力,具有施工简单、可实现快速张拉的特点。但由于受到岩体强度及结构尺寸的影响,所提供的锚固力,一般情况下为1000kN左右。主要用于迅速提供支护抗力和制止危岩塌滑。由于其适用范围具有较大的局限性,是我国预应力锚固施工技术应用初期,使用较多的内锚头形式。

(2)随着单根锚索(杆)张拉锚固力的加大,早强注浆材料的研制成功,目前我国各种吨位的预应力锚索(杆),均采用胶结式内锚头。胶结式内锚头采用胶结材料将锚索(杆)体和孔壁粘成一个整体,以承受对锚固体施加的拉拔力。胶结式内锚头采用的胶结材料主要有两种,一种为水泥浆或水泥砂浆,一种为树脂材料。通过大量的实验研究,水泥胶结材料的早期强度,有了较大的提高。采用普通硅酸盐525#水泥,通过掺加适当的外加剂,7d强度可达到55MPa,可有效缩短内锚段长度、尽快提供较高吨位的张拉锚固力,因此得到了广泛的使用和较快的发展。

采用水泥胶结材料的内锚头,按其受力状态,分为荷载集中型和荷载分散型两种,其中荷载集中型分为拉力型和压力型内锚头,荷载分散型分为拉力分散型、压力分散型、拉压分散型内锚头。

1)拉力型内锚头 拉力型内锚头采用水泥浆或水泥砂浆固结在被锚固体的稳定岩层。该类锚索一般采用有粘结钢绞线,分两次注浆,第一次注浆形成内锚固段,第二次注浆在张拉后进行,主要是对锚固体的防护;如采用无粘结钢绞线,在对内锚固段剥皮

去油后,也可采用全孔段一次注浆的施工工艺;锚固力的施加采用光对单根钢绞线预紧、再集束张拉的方式。

拉力型内锚头的锚索,结构简单、施工方便,但其受力机理不尽合理,在内锚固段上部应力集中,并随锚孔深度增加而衰减。内锚固段上部的浆体在高应力状态下容易开裂,影响锚固效果。为确保张拉锚固力的持久保持,往往需增加内锚固段长度,造成工程成本增加。

2)压力型内锚头 压力型内锚头的锚索荷载分布的特点是,其根部荷载大,靠近孔口方向荷载明显变小。有利于将不稳定岩体锚定在岩层的深部,能充分利用有效锚固段,从而可缩短锚索长度。由于锚索锁定后,其孔道浆体受压,使被锚固体受压范围比较大,可提供更大的锚固力。压力型锚索的高密度聚乙烯(即PE)套管,具有更高防护性能,因此,锚索安装后可一次性全孔注浆,不仅减少了注浆工序,而且即使没施加预应力,靠浆体与被锚固的粘结力也能起到一定的锚固作用,这对于正在滑动的滑坡体加固是很有必要的,同时其抗震性能也较好。

胀壳式机械内锚头结构也属于压力型锚索。它是靠机械胀壳将锚头固定在坚硬岩体的钻孔壁上以提供锚固力。因此,对孔壁的承载力和钻孔直径大小有严格的要求。这种锚索的特点是可迅速提供锚固力,适合于抢险工程。该类的锚索可提供600kN~1200kN的锚固力。如果胀壳式锚头与无粘结钢绞线组合,并全孔灌浆,则可提供更大的锚固力,也就成为压力型锚索的一种。

3)拉力分散型内锚头 拉力分散型内锚头的锚索均采用2组及以上无粘结钢绞线组,每组无粘结钢绞线按一定长度剥去PE护套并洗净油脂,以便钢绞线与浆体胶结。各组钢绞线的锚固位置,因钢绞线长度不同而沿锚固段分散布置,使荷载得以分散。

拉力分散型锚索采用全孔一次注浆的方式形成锚固体,预应力的施加采用分组单根预紧、分组单根张拉的工艺,也可在分组单根预紧后,再分组集束张拉的工艺。拉力分散型锚索尽管在某种程度上改善了内锚固段的应力集中状况,但与拉力型锚索一样,其长效防腐性能较差。

4) 压力分散型内锚头 压力分散型内锚头的锚索使用无粘结钢绞线。制索时在不同长度的绞线末端套上承载板和挤压锚,索体安装后全孔段一次注浆,在孔道不同深度形成数个承载体。当一定张拉荷载对应于各组承载体的钢绞线时,承载体将压应力通过浆体传递至被加固体。压力分散型锚索张拉时,总张拉力被分散至各组承载板上,通过承载板作用于其前面的浆体结石体上并传递至孔壁围岩。

压力分散型锚索内锚头受力均匀,较好地改善了内锚固段应力集中状况,提高了锚固体系的可靠性。其单个承载体由无粘结钢绞线、挤压套及其密封套组件组成,具有全程防腐的良好性能。

5) 拉压分散型内锚头 拉压分散型锚索是在 2 根(或 4 根)无粘结钢绞线下部剥除 1~3m PE 套管,变成拉力型锚固段。在无粘结段上部安装可移动挤压套和承载板,变成压力型锚固段,在另外 2 根(或 4 根)无粘结钢绞线上也按上述方法处置,然后将它们编制在一起,形成索体编索时,无粘结段呈台阶状布置,这样就形成了拉压分散型锚索。这类锚索可以提供比拉力分散型、压力分散型更为均匀的锚固力。据分析推测,拉压分散型锚索塑性滑移前,其抗拔能力较拉力分散、压力分散型锚索均有较大提高。

6) 除了上述的几种锚固体系之外,最近由一些科研、工程单位研发的可拆除式锚索、剪力分散型锚索等正处在推广应用之中。

(3) 由于锚杆体材料力学性能的提高及产品规格的多样化、张拉设备配套程度的提高以及原位观测技术的加强,使国内目前对锚固工作机理的研究得以进一步深入,在一定程度上改变了最初传统的拉力型锚固体系的内锚固段高应力集中的弊端及适用的局限性。新型锚固体系内锚固段的应力分布更加均匀合理;同时,新型锚固体系配合具有较高防腐、防震性能和低松弛率的无粘结预应力材料的推广使用,使对张拉锚固力的管理,由以往一贯性施加的方式,改变为在整个预应力锚固体的有效运行期内实施动态管理的模式;锚索张拉工艺锚孔灌浆工艺随之发生了较大

变化。锚索孔的钻孔直径也因锚固体体系的优化得以进一步的缩小。新型锚固体系及其相应的施工工艺,使得预应力锚固技术具有更强的针对性,更加安全、高效,使用更加方便、快捷,工程造价进一步降低。

2.3.4 张拉设备 我国近年来在预应力张拉设备的生产、工艺、技术革新等方面已经达到了世界先进水平,有了能够满足各种锚固力需要、适应各种工程类型的系列产品。张拉设备的最小出力为 100kN,最大出力达到 12000kN,而且体积小、重量轻,安装使用方便,出力稳定,摩阻力小。目前在国内外水利水电工程中使用较多的主流设备,是拥有自主知识产权的广西柳州 OVM 建筑机械有限公司生产的 YCW 系列穿心式千斤顶,以及与之相配套的 ZB 系列超高压电动油泵。与其相应适应高精度、大量程、抗振数显压力表也应运而生,采用这种压力表大大提高了预应力锚索张拉中的计量精度。

2.3.5 原位监测技术得到重视和加强 预应力锚固施工技术多用于隐蔽工程,其施工工序相对较复杂,制约因素较多,带有一定的风险性。为了保证预应力锚固工程的安全,许多预应力锚固工程,尤其是一些大型重要工程预应力锚固工程,都非常重视原位监测工作,布置了大量的监测仪器和设备;国内有关单位也研制出了一批精度高、性能稳定、测量方便的监测仪器。如锚索测力计、测斜仪、多点位移计、收敛计等。原位监测成果不仅为被锚固体的安全性可靠性评价及时提供了依据,而且进一步揭示了预应力锚索(杆)的工作机理,指导了预应力锚索(杆)的设计与施工。

2.3.6 标准化建设日益完善 为指导我国水利水电预应力锚固技术快速健康发展,有关预应力锚固技术的各类国家(行业)标准、技术规范逐步完善,对我国预应力锚固技术规范、标准化起到了推动作用。但随着一些新技术、新设计理念的产生,这些标准规范仍需不断完善和发展。

### 3 预应力锚固施工技术的发展趋势

#### 3.1 复杂地质条件下的高效、高精度成孔技术

近年来在我国的水利水电建设工程过程中,涉及到了大量的地质灾害防治、不良地质基础加固等岩土锚固工程。在这些工程的实施过程中,往往会遇到在坚硬、破碎、松散、软弱、渗水等复杂地层进行钻孔的问题。如果采用常规的钻进工艺难以保证钻孔效率

和质量,主要表现为钻孔速度慢、风水易漏失、卡钻塌孔等孔道事故频发、孔道弯曲偏差大等,给锚索孔的成孔工作造成极大的困难。有时甚至使工程施工难以进展。

面对这种情况,目前常规的处理方式为:对围岩采用超前固结灌浆、孔道分段固壁灌浆、螺旋钻进(用于软弱土层)、跟套管钻进、加装钻杆扶正器纠偏等措施。这些措施的实施,无疑将使工程施工变得繁杂浩大,施工周期增长,工程造价难以控制。如小湾水电站缆机基础以上边坡堆积体的加固处理、雅砻江锦屏一级水电站左岸坝肩 1885m 高程以上边坡的加固处理等。

因此,研究和掌握在复杂地质条件下高精度高效率的成孔技术,将有利于降低消耗、提高预应力锚固施工质量,扩大预应力锚固技术的适用范围,提高预应力锚固施工企业的核心竞争力。

### 3.2 预应力锚索(杆)体限量注浆技术

一般情况下,对预应力锚索(杆)进行注浆的目的,一是形成能够提供有效锚固抗力的锚固体,二是对锚索(杆)体进行防护,以提高其耐久性,三是一定压力的注浆可以使浆液渗入地层,起到固结地层,提高地层承载力的作用。因此,单从锚固作用机理而言,对预应力锚索(杆)进行注浆的过程中,在浆液压缩比一定的情况下,由于地质原因产生的大于锚索孔道理论体积 1.2~1.5 倍的任何形式的超灌浆都是不必要的。大量的工程施工实例显示,由于非施工技术原因造成的单孔锚索(杆)注浆漏失量所形成的成本,高于几倍、十几倍单孔锚索(杆)的造价,这将使预应力锚索(杆)的实施变得很不经济。

事实上预应力锚索(杆)体的限量注浆问题,并不是单纯的锚索(杆)注浆施工工艺的问题,它涉及到被加固体的地质勘测、地质缺陷的早期处理、所采用的预应力锚索(杆)体的结构型式以及注浆工艺选择等一系列的相关技术问题。实践证明,在复杂的地质情况下,即使采用了低流动性的浓浆灌注、间歇注浆、添加速凝剂注浆、添加细骨料注浆等措施,有时仍然不能解决大漏量的问题,反而增加了施工的难度。有关方面已在研究相应的对策,如在锚索(杆)体的内锚固段顶部安装定位止浆环,采用二次灌浆工艺,先灌注

处于完整岩层的内锚固段,使预应力锚索(杆)体能够尽快提供锚固力,满足被加固体适时支护的要求;同时在锚索自由段杆体包裹土工布,使回填灌浆的浆液仅仅滞留在土工布包裹形成的腔体内,而不致漏失。但这种方式在实际应用中,(特别是深孔大吨位锚索)土工布包裹索体入孔异常困难。同时由于其杆体摩阻的增加,使得所形成的腔体变得并不可靠。也有采用高效阻流剂的工程实例,不过用高效阻流剂浆液对全孔段一次注浆,是否会减弱浆体结石的后期强度,影响最大锚固力的提供及增大锚固力的后期损失,目前尚无可靠的资料进行验证。

### 3.3 预应力锚索(杆)体全程防腐技术

目前国内较为流行的几种新型锚固体系,都优先采用了无粘结钢绞线,对整个预应力锚索(杆)体设计均体现了全程防腐的概念。锚索(杆)体的全程防腐,不但可以减小高强度预应力材料的腐蚀对后期锚固力值的影响,而且可以提高锚索的长期耐久性,真正实现锚固力的全程动态管理。结合原位监测数据的分析,随时按需调整锚固力值,确保被锚固岩体的稳定和建筑物的安全。

随着我国科学技术的快速发展预应力锚索的张拉机具的设计、制造水平必将大大提高。千斤顶、高压油泵、测力计、压力表、注浆流量计、孔道测斜仪等将使预应力锚索技术提高一个新的水平。

## 4 展望

近 40 年来水利水电预应力锚固工程施工中通过不断探索和对预应力新技术、新工艺的研究开发,在葛洲坝、三峡、天生桥、小浪底、清江隔河岩、高坝洲、水布垭、广西龙滩、四川雅砻江锦屏一级水电站等国内大型水电工程的施工实践,特别是在复杂地质条件下的大直径深孔高精度成孔技术、新型预应力锚固体系研制、大直径水工压力隧洞环向预应力衬砌等方面均取得了丰硕的技术成果。

当前,越来越多的水利水电工程开工建设,无疑给预应力锚固技术的大量使用带来了前所未有的机遇。必将促进预应力锚固技术的更快发展和提高。

参考文献(略)

欢迎投稿, 感谢阅读!