

浅谈体外预应力技术的应用

丁光炯

【摘要】 本文简要回顾了体外预应力的发展历程，阐述了体外预应力的技术特点、适用范围，并通过一个实例说明了体外预应力的具体应用，并展望了体外预应力的应用前景。

1 引言

1.1 我国自20世纪50年代由前苏联引进预应力技术以来，真经传到之处，同行众生“普渡”，究其主要贡献，在于将钢筋混凝土中的砼与钢筋两种材料既有合作，又有分工，更能使两种材料较充分的发挥各自的力学特性，达到物尽其用。从而达到构件截面更加小巧、轻便、结构的跨越能力也由此得以增大的目的。

1.2 体外预应力的原理与构想比体内预应力更为先进、合理、经济，因为它可置身于结构杆件截面之外，无管道摩阻的损失，使得杆件恒重更轻。更能发挥钢筋、钢丝、钢绞线的抗拉性能强的特点，使结构的跨越能力突飞猛进。其实，体外预应力的诞生并不比体内预应力晚，其所以比体内预应力发展缓慢，其原因主要在于裸露于空气中的钢丝、钢绞线拉索的防腐问题。近20年来国内外同行中的先进，对于体外索的防腐技术的研究、开发有了很大的突破。例如：OVM柳州市建筑机械总厂与同济大学合作，先后引进、研究、开发了环氧喷涂钢绞线、PE护套、HDPE套管等先进防护技术，并已得到了国内外用户的认可。因此近几十年来我国的斜拉桥、吊桥、系杆拱、钢管砼中承拱等大跨径桥梁得以蓬勃发展。

丁光炯：中国路桥（集团）第一公路工程局

1.3 温故而知新。在古老智慧中寻找预应力技术的根源，谁也说不清是若干千百年前的古老年代里，木匠们用一定半径的径向几何尺寸，刨成一些可拼成鼓形的小木板，用竹篾箍成水桶，然后用一块带楔形的小板，打入周边木板的缝隙之中，这一关键措施会使篾箍产生预拉应力，相对会使小木板间产生预压应力。千百年来的木匠们能将这一工艺一代又一代的传至当今而不失传，显然人们知道了这一工艺的优点，沿用这种工艺做的水桶，可以承受水的径向压力而不漏水，可是很多人并不曾想到的。这就是预应力技术和体外预应力技术诞生前的“胚胎”。

2 体外预应力的特点

2.1 由于体外索索位设在结构杆件截面之外，不存在因索孔削弱截面的问题，杆件截面可以做得更加小巧经济。

2.2 索力不受管道摩阻及砼的徐缩影响，使预应力的损失达到最小程度，充分发挥钢丝、钢绞线的有效应力。

2.3 可免除施工中的制孔、穿索、压浆等工序，并使得狭小截面中的砼较易浇注密实。

2.4 体外预应力结构在营运期易于发现和检查预应力束的腐蚀隐患情况，可调整预应力，需要时还可以抽换新索。

2.5 体外索可用于结构中无法设置预应力索

的结构截面中。例如砼与钢结构组成的复合钢桁梁结构中。

2.6 体外索可通过转向装置的作用，将变向力传递到结构中。即可设置折线索。

2.7 旧桥加固。体外预应力是加固旧桥最好方法之一，无需伤及旧桥原截面，只在原截面外加设预应力束，可安全、快捷、经济地加固旧桥。

3 体外预应力一般适用范围

由于预应力索体防腐技术的先进，以及新型锚具的发展，新型锚具可以调索，还可以换索。使得近一、二十年新建的桥梁跨越能力，以及大型建筑的空间跨度，得到飞跃发展。此外我国自40~70年代修建的钢筋混凝土桥和预应力钢筋混凝土旧桥因为交通量的增长，荷载的升级，非法超载营运等原因，现已日渐难胜重任，急需采用体外预应力加固。体外预应力的适用范围是非常广泛的：

3.1 斜拉桥的斜拉索，吊索桥的主缆、吊杆都属体外预应力技术。这两种桥型的跨越能力有如此之巨大，就能看出体外预应力的适用潜力。

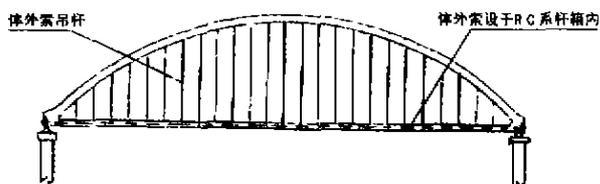


图1 体外索用于系杆拱布索示意图

3.2 拱桥是我国古老桥梁史上的光荣，1500多年前的赵州石拱桥跨径就达到了4米之巨。但多年来这些石拱桥的跨径也只能发展到100多米，而且只能修建在有坚实基岩的地基基础上，要想在平原软土地基上修建拱桥，必需付出巨大成本，修建庞大的墩台基础，用以抵抗巨大的拱推力。50年代末我国自原苏联引进了R.C.系杆拱技术，即用系杆平衡拱推力的拱桥，虽然解决了在平原软地地区修建拱桥的问题，但当时系杆拱的系杆与吊杆均系R.C.杆件，在长年受拉的疲劳荷载之下，混凝土表面易发生环状裂纹。近十几年来发展了体外预应力，在系杆拱的系杆箱内设置体外预应力索，吊杆也采用了体外索，至此才使大跨拱桥得到更加合理、安全、经济地发展（见图1）。

3.3 在体外预应力系杆拱技术的基础上，近十几年来发展了一种体外预应力作为系杆的钢管砼连跨飞燕型中承拱桥。在它两边跨端部之间设置通长的体外预应力系杆，通过边拱拱肋平衡主拱拱肋所产生的拱推力。吊杆也采用体外索，边拱拱肋采用R.C.箱形拱肋，主拱拱肋采用钢管砼桁架拱肋，在国内这种中承拱的中跨已发展到360m（见图2）。

3.4 旧桥加固

3.4.1 一些年久的钢筋混凝土桥或预应力钢筋混凝土桥，由于长年疲劳荷载影响，交通量增长，荷载升级等原因，都有一定程度的损伤，有

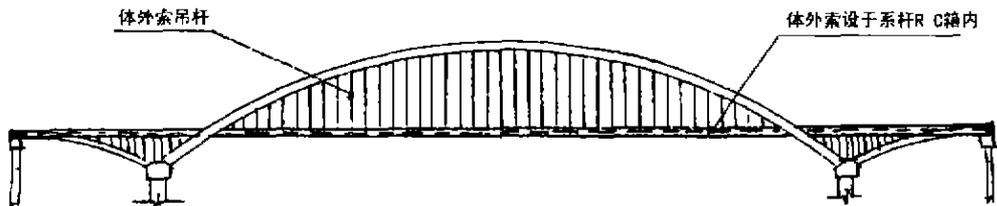


图2 体外索用于钢管砼飞燕型中承式拱桥布索示意图

些甚至已不堪胜任现代交通运输的重任，检查其外观缺陷有：跨中梁底的挠度和裂缝宽度均超过设计允许值，有些梁底砼保护层局部脱落，已成危桥，急待加固。

3.4.2 用体外索加固旧桥可以说是一种合理、经济、安全、快捷的方法。施工时只需短期中断交通，可事先浇好体外索锚座，待锚座砼达到张拉强度后，在短时桥上无活载的状态下进行张拉，这些体外索张拉到设计吨位后，即可直观地看到裂缝愈合和预拱度恢复的程度，此时可按新的荷载标准做一次静载试验，如试验结果还不太满意，可以调整体外索的应力直到合乎设计为止。

3.4.3 对于箱型连续梁、T梁、简支梁均可采用体外索进行加固，为了不影响外观，一般箱型连续梁宜布索在箱梁内的四角或腹板的内侧，T型简支梁则只宜对称设在腹板下翌缘的两侧。（见图3、图4）。配索的具体位置、根数、截

面、长度则应根据加固设计新荷载标准计算的弯矩包络图确定。

3.5 一宗采用体外预应力处理预应力顶推箱梁事故的实例

1992年我局承建漳州西溪大桥。该桥是15孔40m预应力连续箱梁用顶推法施工，由于设计上的失误，其钢导梁与箱梁腹板连接处未设预应力束，只在该处预埋40根长1.5m的 $\Phi 28$ 钢筋，用螺母与导梁根部紧固连接。当该接头处顶推至第一跨跨中时，发现距箱梁端2.0m处挠度明显下垂，腹板自下而上竖向裂纹凿生，当即测得最宽的裂缝宽2.5mm，最长的已发展至顶板翼缘下，最大挠度已达21mm（该处设计预拱度2mm）。当天下午即在跨中抢修一座贝雷桁架临时支架，以防险情恶化。次日邀集业主、设计、监理、施工四方会商处理方案，并确定采用体外索加固方案。其主要具体措施是：在导梁根部到箱梁11m处的

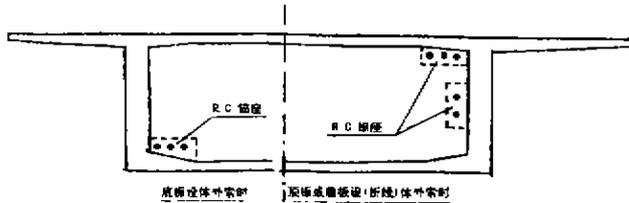


图3 体外索用于箱形梁布索示意图

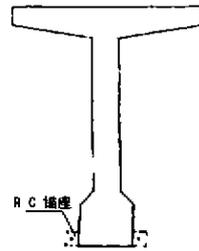


图4 体外索用于T梁布索示意图

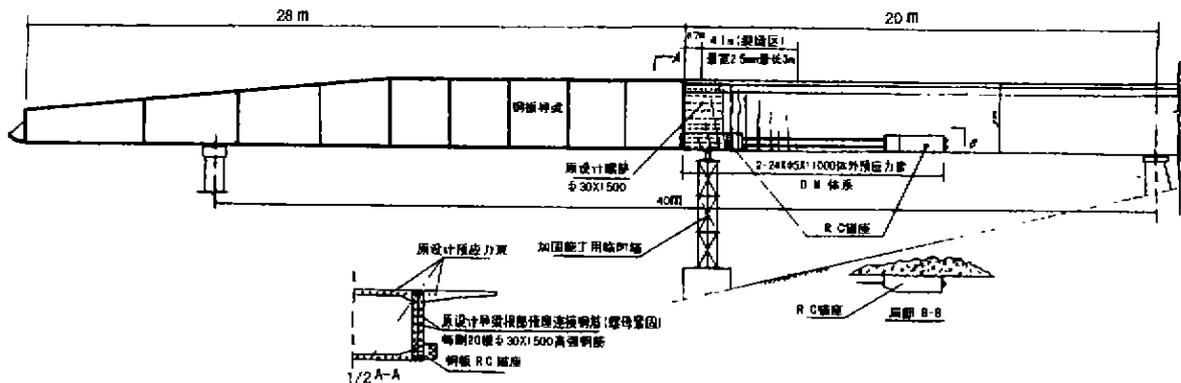


图5 (1993)漳州西溪大桥事故处理用体外索加固示意图

体外预应力

两腹板外侧下部，各设2束24丝 $\Phi 5$ 墩头锚体外索，待体外索两端锚座砼达到张拉强度后，用环氧树脂压注所有裂缝，在环氧树脂凝固之前，两侧体外索同步张拉到设计吨位，用螺母锁锚。此时测得跨中预拱度近似恢复到设计值，裂纹基本愈合，跨中临时支架上的垂直千斤顶相应自动卸载并拆卸。这一加固方案历时20天，继续顶推施工直到彼岸，未见加固段有新的裂缝。（见图5）

5 结语

5.1 由于体外预应力结构具有恒重轻、预应力得较充分发挥，体外索是纯粹拉杆可不受长度限制等优点，使得近十年来我国桥梁的跨越能力飞跃发展，体外预应力技术在其中起了主要作用。

5.2 本文只浅述了体外预应力在桥梁方面的一些应用，它在其他R.C.建筑结构中，也有广阔

的应用范围。例如：大型水泥筒仓，采用体外索（或无粘结筋）的环向预应力，平衡仓内贮物自重引起的筒壁拉应力；还有一些大型体育场馆的屋盖结构，为了馆内高大空间的设计需要也在采用体外预应力拉索结构。

5.3 我国公路运输正在快速发展，交通量与荷载标准都在升级，采用体外预应力加固旧桥将大有可为。它不但可使旧桥“返老还童”，而且因体外索可以换索还可以使旧桥“延年益寿”。用此法加固旧桥其经济效益自不待言，据已实践过的单位介绍：其加固费用与拆旧建新费用相比，前者只用后者的1/10。

5.4 体外预应力的发展，有赖于体外索的防护技术及钢丝强度增长技术的同步发展，期盼预应力先进同行继续努力研究开发这方面的专业技术，使我国的体外预应力技术“得穷千里目，更上一层楼”。



柳州建机掀起质量教育热潮

日前，柳州市建筑机械总厂下发了《关于开展“质量是企业生命线”有奖征文活动的通知》，从而拉开了全厂范围内大规模质量教育活动的序幕。

柳建机厂一直以来都以“质量是企业的生命线”为质量理念，以“为用户服务，让用户满意”为宗旨，千方百计搞好质量管理工作。尤其是近年来，从建立健全ISO9001：1994质量体系并在行业内率先获得国内外双重质量体系认证到“质量回访万里行”，从ISO9001：2000标准在广西区内最先通过国内外双重换证评审到如今的质量大讨论，从每一次质量体系的内审和第三方跟踪审核到每周一的质量分析会，从设立“质

量曝光台”到严格的质量考核制度，柳建机人对“搞好质量工作，向用户提供满意产品”这一大主题的决心之大、行动之快、持续之久、效果之好都是有目共睹的。因而，OVM这块民族品牌才获得了用户的青睐。

这次征文活动作为柳建机厂开展质量教育活动的序曲，旨在通过全厂范围内的质量大讨论，进一步强化职工的质量意识，使“人人讲质量、时时不放松”的思想深入职工心中，促进质量管理和产品质量跃上一个新的台阶，从而，更好地为用户服务，向用户提供优质产品，提升OVM品牌的质量内涵。

（临风）