

# 预应力技术在公路桥梁中的应用

彭宝华

## 1 概述

预应力技术应用于公路桥梁是50年代中期,迄今已有40多年了。虽然起步较晚,但发展却异常迅速。从理论计算、施工工艺和技术、材料和设备、试验检测、设计和施工队伍等已形成一套较完整的体系。预应力技术不仅用于公路桥梁结构,而且也运用到桥梁的维修和加固、大件提升、顶推施工、边坡或山体锚固等方面,其应用范围还在不断扩大,应用前景会与日俱增。

一九五七年在北京至周口店公路的哑吧河上修建了第一座跨径20米装配式后张预应力混凝土简支梁桥,为以后公路桥梁应用预应力技术开创了先例;60~70年代,预应力技术较普遍地运用到公路的简支梁和板梁桥上,但其跨径仅限于中、小型桥梁,一般为跨径50米左右,例如:当时河南的伊洛河桥,最大跨径为52米的鱼腹式梁;80~90年代,公路桥梁采用预应力结构已相当广泛,从跨径16米的板梁桥直到270米的各种类型的梁式桥,都无一例外地采用预应力混凝土结构。据统计20米以上跨径的桥梁85%以上都采用预应力混凝土结构,可以说,公路桥梁跨径在300米以内的桥梁都会优先考虑预应力混凝土结构;跨径300~500米的公路桥梁也会考虑用混凝土斜拉桥;跨径500米以上可能是斜拉桥和悬索桥的竞争。不论哪种斜拉桥,斜拉索也可以认为是预应力技术的一种应用。

随着预应力技术广泛用于工程结构上,预应

力技术的理论研究和计算技术不断完善和进步,公路桥规JTJ023-85,根据不同的使用条件,按对结构施加的预应力度,区分为全预应力和部分预应力,计算方法也作出了相应的规定,为预应力技术应用于公路桥梁提供了理论的依据。

随着我国材料和机械工业的发展,作为预应力结构的高性能混凝土和各种规格、强度的低松弛钢丝和钢绞线的生产和国产化、各种型式锚具的系列化和性能改善、张拉设备,如张拉千斤顶、油泵、油表、穿束机、压浆机等完善配套以及为锚具和设备的专业生产厂的相继建立和竞争,使预应力技术水平得到不断提高,为预应力技术广泛应用于公路桥梁上提供了保证。

下面谈谈预应力技术在公路桥梁上的应用情况。

## 2 预应力技术在公路桥梁上的运用

### 2.1 设计规范

设计规范是成熟的理论和技术的总结。工程设计人员要严格遵守设计规范的有关规定,这是行业法规。

预应力技术在公路桥梁上的多年运用,于一九八五年终于出台了桥规JTJ023-85,这意味着预应力理论和技术已得到广大公路桥梁人员的认同,为推广运用提供了理论和实践的可靠依据,

JTJ023-85规定了预应力结构按极限状态设计,应计算承载能力极限状态和正常使用极限状态。承载能力极限状态应验算各种受力构件的正

截面强度和斜截面抗剪强度；在正常使用极限状态下，根据对受弯构件施加的预应力度 $\lambda$ ，定义为：

$$\lambda = M_0 / M$$

式中： $M_0$ --消压弯矩，即使构件控制截面受拉边缘应力（使用荷载作用于时）抵消到零时的弯矩；

$M$ --使用荷载作用下控制截面的弯矩。

根据预应力度 $\lambda$ 值划分为以下几种构件：

$\lambda \geq 1$  为全预应力混凝土

$1 > \lambda > 0$  为部分预应力混凝土

$\lambda = 0$  为钢筋混凝土

根据不同类型构件，计算在使用荷载作用下产生的混凝土法向应力和预应力钢筋应力。全预应力混凝土构件，受拉边混凝土拉应力 $\geq 0$ ；部分预应力混凝土又分为A类和B类构件。

A类构件受拉边允许有拉应力，但拉应力限制为：

$$\text{荷载组合I} \quad \sigma_{st} \leq 0.8 R_t$$

$$\text{荷载组合II或III} \quad \sigma_{st} \leq 0.9 R_t$$

B类构件控制裂缝宽度（有腐蚀环境，不得使用B类构件）

钢绞线或钢丝作为预应力钢筋时，荷载组合I、裂缝宽度 $b \leq 0.1$ 毫米，荷载组合II或III， $b \leq 0.15$ 毫米。

很长时间以来，人们有种误解，以为对混凝土结构施加的预应力高一点好，使截面受拉边保持较高的压应力即全预应力结构，从而减少普通钢筋的用量，以为这样就不会开裂了。但是，经过对大量裂缝的调查，一些全预应力结构也出现开裂，原因何在？主要是由于温差和混凝土收缩产生的应力超过混凝土的抗拉强度，特别是混凝土结硬的初期。采用配置较多普通钢筋的部分预应力结构，能有效控制裂缝宽度。

还有全预应力使结构受拉边产生较大的压应力，导致过大徐变变形，尤其是T型梁，往往引起较大上拱，带来桥面不平整，外观难看影响使用效果。

所以，从使用性能上看部分预应力结构优于全预应力结构。

实际使用要根据使用条件和环境，选择不同的预应力度。

无粘结预应力混凝土结构近几年在公路中、小桥中得到试用，但目前桥规中，无计算方法、参数、锚固型式以及预应力钢束防腐措施等一系列规定，所以还不能推广应用。

### 3 预应力技术在公路桥梁的应用

预应力技术在公路桥梁上一般运用于空心板、简支T梁、连续箱梁、连续刚构、300~500米的混凝土斜拉桥以及更大跨径的斜拉桥，除此之外预应力技术还用到公路桥梁顶推法施工、边坡或山体锚固、大件提升等方面。

#### 3.1 预应力混凝土空心板

公路桥梁跨径16~25米，采用预应力混凝土空心板，所使用的预应力钢筋，一般为高强、低松弛钢绞线。先张法采用单根钢绞线；后张法采用扁锚或群锚（圆锚），中等张拉吨位。预制安装或支架现浇并编有标准图。冷拔低碳钢丝一般不采用了。

在实际使用中，也有将预应力混凝土空心板跨径做到30~35米。对于这种跨径；一是材料用量较大；二是刚度偏小，所以空心板跨径到25米为宜。

#### 3.2 预应力混凝土简支T梁

预应力混凝土简支T梁跨径一般20~50米，采用高强、低松弛钢绞线，后张法、群锚、中等张拉吨位；预制拼装。有配套架桥设备，并编有标准图。

随着行车条件要求的提高,以往的简支改为桥面连续,最近已采用现浇梁端湿接缝,在支点负弯矩区桥面板中配扁锚预应力钢绞线,形成比桥面连续进了一步的“准连续”结构。

### 3.3 预应力混凝土箱梁

跨径40~60米,采用等截面连续箱梁,高强、低松弛钢绞线。纵向预应力采用中等或偏大的张拉吨位,根据施工方法,可采用连接锚具连续配置纵向预应力钢束;当箱梁悬臂板悬出长度在4.0米以上,要配置桥面板横向预应力钢束。横向预应力一般采用扁锚3~5根钢绞线为一束。箱梁的施工方法较多,我国一般采用支架现浇或滑模逐孔浇筑。

跨径70~200米采用变截面连续箱梁,除了按一般连续箱梁配置纵、横预应力钢束以外,在箱梁腹板中配置精轧螺纹钢的竖向预应力,称为“三向”预应力混凝土结构。施工方法多采用悬臂浇筑,也可以预制拼装。

目前,国内修建40~60米等截面的“双向”预应力结构较多,大跨径、变截面连续箱梁相对较少,据我所知我国连续箱梁跨径仅到165米。1986年葡萄牙建成250米跨径的连续箱梁。为了避免采用大吨位支座,一般说大跨径宁可采用预应力混凝土连续刚构桥。

### 3.4 预应力混凝土连续刚构

这类桥型跨径较大,采用变截面箱梁。目前建成的虎门大桥副航道桥已达270米。同大跨径连续箱梁一样采用“三向”预应力混凝土结构。悬臂浇筑法。

### 3.5 混凝土斜拉桥

这种桥型一般跨径300~500米,主梁有梁板结构、边箱中板、箱梁等。主梁的纵向预应力有用钢绞线群锚,也有用精轧螺纹钢。斜拉索采用平行钢丝冷铸锚或钢绞线铸造锚。在我国斜

拉索采用钢绞线仅汕头岩石大桥,这是一个开端,今后会更多采用。

混凝土斜拉桥主梁一般采用悬臂浇筑,也有采用预制拼装。

更大跨径斜拉桥主梁,可采用钢与混凝土的结合梁、混合梁或正交异性板钢箱,斜拉索还只能是平行钢丝或钢绞线。

### 3.6 其他

预应力技术用于顶推法施工,实际上是采用钢绞线群锚,千斤顶拖拉的方式。近几年国内用顶推法施工的连续箱梁较少了。顶推法施工技术发展较慢。

大件提升,其方法也是用钢绞线群锚,千斤顶提升。

边坡和山体锚固,目前国内运用较少,配套设备不完善,会随工程运用,此项预应力技术会不断发展。

## 4 预应力施工技术

### 4.1 施工人员的素质

预应力混凝土桥梁施工专业性较强,从事施工的企业要具备预应力方面的专门知识和经验,还需要有一支熟悉预应力结构、工艺和操作的现场管理工程师和经过严格培训的施工队伍,能正确进行预应力施工各道工序操作,能正确处理各道工序中出现的质量问题。

这几年公路事业的发展较快,施工管理不严,施工人员的素质参差不齐,预应力混凝土桥梁施工中出现了不少的问题:如预应力度不足,张拉过程滑丝,断丝较多,堵管、卡丝造成张拉吨位与延伸量不协调,压浆不及时、不满或漏灌浆等,严重影响了预应力混凝土桥梁的安全和耐久性。

预应力混凝土施工队伍的素质,急待提高。

### 4.2 施工设备

预应力结构施工技术性强,应有一套专用设备,除预应力钢筋和锚具外,还应有各种规格的张拉千斤顶、油泵、油表、穿束机、压浆机等专用设备。在我国这些设备虽然有了,但质量如何?操作是否方便?有待我们去研究,不断改进和提高。配备精良的设备可以提高工作效率,保证施工质量和降低成本。

#### 4.3 预应力专业公司

预应力混凝土结构,从设计到施工都需要具备专门知识和经验,材料质量、生产工艺、设备都有其特殊要求,一般施工单位难以承担。早在50年代预应力技术推广初期,国外就走了专业化公司的发展道路。例如国际著名的公司有弗勒辛奈、VSL等几家。这些公司的特点:有一支创新和开拓精神、精通专业的队伍,具备有设计、技术咨询、项目规划,特别是材料、设备供应以及现场施工队伍。有自己的专利、工艺诀窍等。

我国预应力混凝土上桥梁设计和施工起步晚,锚固体系和张拉工艺,还落在先进国家后面,虽然生产锚具厂家不少,但却未形成设计、施工、预应力锚具和设备一体的专业公司。根据我国国情,是否能走联合成立专业公司道路,这要看发展情况。

### 5 我国预应力技术的差距

#### 5.1 提高锚具质量

锚具是后张法预应力技术中的关键环节,对混凝土施加预应力后,能否将预应力有效的保持,锚具的锚固效率至关重要。我国公路桥梁后张预应力主要使用钢绞线、夹片式群锚体系。锚头的材质和加工质量,还算较好,但在张拉控制应力作用、锚孔布置合理前提下,应尽量减小锚头外型尺寸。夹片的关键是控制内表面齿槽硬度,施工中出现滑丝或断丝,往往是夹片内表面齿槽的硬度控制不好或不稳定。太软咬不住钢

绞线出现滑丝;太硬、可能因刻痕太深造成断丝。总之,夹片内表面齿槽硬度是锚具质量的关键。

#### 5.2 后张预应力混凝土桥的灌浆

1985年英国发生了一起因灌浆不密造成预应力钢筋腐蚀而破坏的事故。后来又调查了若干座后张灌浆的预应力混凝土桥梁,也发现有灌浆不密实、空洞存在、引起预应力钢筋遭受腐蚀的问题。1992年9月英国运输部发布通告:直到新的设计标准颁布之前,不允许建造管道灌浆的后张预应力混凝土桥梁。虽然,土木工程界对英国运输部这一决定引起极大的震惊和争论,迄今为止除英国外,尚未见其他国家作出类似的决定。

我们国家从50年代中期起,公路上建造了不少管道灌浆的后张预应力混凝土桥梁,是否有类似的问题?没有作过认真的检查,不好武断。但压浆不密实、孔洞还是有的,好在我国公路除雪,使用消水盐不多,预应力筋因氯盐腐蚀破坏尚无实例。他山之石可以攻玉,至少应引起桥梁界对灌浆材料、压浆、封锚工序、防腐措施、检查办法等认真研究,提出改进和管理办法,确保灌浆质量。消除人们对后张预应力混凝土结构耐久性的担忧。

#### 5.3 施工质量

我国幅员辽阔,交通基础设施上得很快,要修的桥梁很多,施工队伍素质普遍偏低,对预应力结构、技术、工艺不熟悉,又加上转包分包、疏于管理、出现预应力钢束管道位置不准、预应力度不足、滑丝断丝、不及时压浆、压浆不满、甚至漏浆等一系列问题。

施工队伍素质差,工作不精心必然反映到工程质量上。表面看来,我们桥梁队伍水平不低,多复杂的桥型及跨径我们都建成了,有值得自豪的一面,但同先进国家相比,我们的工程结构还

相当粗糙，上不了档次。这主要反映到施工人员认识不到，自我感觉良好，我个人认为这有一个认识和提高的过程，要随整个国民素质提高，不断改进，急是没有用的，要靠一代人或几代人的不懈努力，才能赶上先进国家的水平。

#### 6 结束语

预应力结构和技术，在我国公路桥梁上发展较快，同其他行业相比，在量大面广的中、小型公路桥梁几乎都采用预应力混凝土结构，跨径300~500米的大桥，也优先选择预应力混凝土结构。西方先进国家，以前修建了不少钢桥，随使

用时间增长，维修养护费用增大，现在也认识到预应力混凝土结构的诸多优点，修建预应力混凝土桥梁结构的比例逐年上升，而钢桥和钢筋混凝土桥的比例在减少。预应力结构和技术，有广阔的发展前景，在公路桥梁上的运用，也会逐年上升。我们期望预应力技术不断完善和改进。

#### 作者简介

彭宝华：中交公路规划设计院总工程师，研究员

## 国际桥协选举新一届副主席

### 同济大学习海帆教授当选

国际桥梁及结构工程协会（IABSE）2001年会议于3月20~21日在马耳他举行。此次会议，协会的最高权力机构——常设委员会通过投票方式决定协会重大事项，并选举产生了新一届4名副主席：G.Marchesini（巴西）、J. Combault（法）、M.A.Hirt（瑞士）、项海帆（中国），任期四年。

在广泛征求各方面意见的基础上，共有来自巴西、中国、英国、波兰、法国和瑞士6个国家的6名候选人被提名。选举前，学会主席根据候选人的个人素质及其他因素推荐了4名候选人。并且特别提到项海帆教授是来自一个非常重要而活跃的国家，桥梁与结构工程具有巨大的研究和开发潜力。最后经常委会以无记名投票方式正式

选举了前述四名国际桥协副主席。

我国当选的项海帆教授现任同济大学土木工程学院顾问院长、中国土木工程学会副理事长、中国工程院院士，长期以来从事桥梁工程的教学与研究，对于大跨度桥梁的抗震、抗风问题有很深的造诣。项教授是我国学者在国际桥协首次担任这样高的职务，这标志着我国在桥梁与结构工程领域中的技术水平达到了新的高度。

（何晓频摘编）

