

预应力砼技术在天津市桥梁中的应用与发展

黄大健

一、概述

50年代,天津市已开始着手研究预应力钢筋砼技术在桥梁中的应用,1957年在塘沽新港采用先张法试制成功预应力钢筋砼方桩,并应用在新港码头栈桥桩基墩台结构中。由于预应力钢筋砼结构自重轻、强度高、抗裂性能好、抗腐蚀性强,以后在塘沽海港码头桩基结构中广泛应用。1963年在天津市建成第一座预应力钢筋砼城市桥梁——南运河咸阳路桥,跨径为3孔20米预应力砼T梁结构,桥宽18米,砼标号40号,锚固体系采用柯罗夫金式锚固体系,用 $\Phi 5\text{mm}$ 高强钢丝束组成。由于天津是国内预应力高强钢丝的生产基地,预应力钢丝产量具有就地供应的有利条件,所以在六、七十年代,我市预应力砼桥梁得到持续不断地发展。1965年建成了一座主跨为32米挂孔悬臂梁(密梁式,T型截面)预应力钢筋砼桥——新开河桥,采用纵横双向预应力,预制拼装法施工。1966年,采用悬臂拼装法又建成了一座主跨60米的预应力砼挂孔T构桥——子牙河大桥。

70年代天津市预应力砼桥梁技术得到进一步发展。73年至76年间,采用悬臂拼装法在海河上修建了三座预应力砼挂孔悬臂箱梁桥:北安桥和狮子林桥,主跨45米;光华桥主跨60米。1975年研究采用胶囊空心成型和钢绞线预应力筋,试制成功10~16米先张预应力砼空心板梁桥。以后继续发展到18~20米跨度,并在中小桥以及立交桥中广泛应用。

80年代以后,随着国家经济建设迅速发展,
黄大健 天津市政工程设计研究院 设计大师

天津市城市道路干线网和高等级公路基础设施的建设相继发展,预应力桥梁技术的发展也很快,并朝着高、新、大方向发展,即预应力钢材和砼强度提高了,新的桥型不断出现,桥梁跨度越来越大。1987年建成主跨260米 砼双塔斜拉桥——永和大桥,当时为亚洲最大跨度。1988年又建成主跨100米的预应力砼连续箱梁桥——华北桥。1996年建成主跨为101米的钢管砼拱桥——金钢桥。彩虹桥主桥为3孔160米的钢管砼拱桥。塘沽海河大桥主跨为310米的钢与砼混合型独塔斜拉桥,已开工修建,计划2000年建成通车。

结合城市与高速公路立交桥、高架桥的建设,预应力砼桥梁技术得到进一步大力发展。主要采用预应力砼板梁桥结构、预应力砼连续箱梁桥,以及预应力砼连续弯桥结构。这些桥型结构线条简洁流畅、外型美观、增添了城市桥梁的景观效果。从1991年开始,先后在京福高速公路唐官屯、中环线王顶堤等立交桥工程中,研究采用单支点预应力砼弯桥结构,并在以后的立交桥、跨线桥等桥梁工程广为应用。更加提高了立交桥等桥梁建筑的景观效果。从而,预应力砼技术在我市桥梁建设中得到更进一步发展和应用。如最近设计的两座大型立交:即中环线卫国道立交和塘沽史家庄立交,采用预应力砼桥梁结构占总桥梁面积的60%~87%。

二、中小跨度预应力砼桥

(一) 小跨度预应力砼桥 (≤ 25 米)

跨度 ≤ 25 米的预应力砼桥在本市城市桥梁和郊县公路桥梁中占有量大,适用性广。一般跨河桥、立交桥等均选用此类跨度的桥型结构,为

此,如何有效提高其总体水平,具有十分重要的意义。

天津地处华北平原,地势平坦,适当降低梁的建筑高度,选择合理的制梁工艺,可以得到较好的经济效果。预应力砼空心板梁结构高度小,施工工艺简单,一般都在工厂预制,质量可靠,整体受力和抗裂性能好,外型线形简洁,在城市桥梁和立交桥中广为使用。

如王顶堤立交桥东西向主桥采用14孔20米跨度的预应力砼空心板梁桥结构。位于京津塘高速公路上的天津开发区高架桥——滨海大桥,每孔跨径为26米,共有52孔,桥长1352米,采用梁长25米的预应力砼空心板梁,梁高105厘米,用 $\Phi 82\text{m}$ 空心胶囊成型,预应力钢材采用7 Φ i15高强度低松弛钢绞线,预应力锚具采用OXM15-7型。

跨度25米的预应力砼小箱梁,单位面积材料用量比相同跨度的预应力砼板梁要省。1993年北站立交桥跨越京山铁路,主桥采用跨径为25米的预应力砼小箱梁。过去在郊区公路桥梁结构中,多采用预应力砼T梁桥结构,为了提高桥梁结构整体性能,最近在高速公路桥梁中和立交桥中,开始推广使用预应力砼小箱梁桥型结构,以适应公路运输的发展需要。

(二) 中等跨度预应力砼桥 (25<L<70米)

跨度大于25米中等跨度预应力砼桥应用比较广,在本市主要河道和立交工程中的主要跨线桥广为应用,有简支梁,挂孔悬臂梁,T构和连续梁以及曲梁等桥型结构。T型梁一般在预制厂预制,运至现场架设,箱梁采用悬臂拼装法施工。或现场支架浇筑法施工。

1、简支梁

跨径一般按30、35、40、50米标准尺寸选用,梁的间距2.20~2.50米,梁高190~250厘米,高跨比为1/16~1/20。梁的截面为T形,梁的构件

一般在预制厂或在工地预制场预制,每个块件重量为60~150吨,运至桥位现场架设就位后,横向现浇钢筋砼湿接头连接成整体。这种桥型结构,施工比较简单,构件在工场预制质量便于控制,造价比较经济,一般在郊区县公路桥梁和立交桥中广为应用。预应力体系采用高强钢丝束和钢绞线,锚具一般采用锥形锚(即弗氏锚)和群锚(如OVM锚)。

2、T构与悬臂梁桥

挂孔T型刚构桥和悬臂桥都属于静定结构体系,可采用悬臂拼装或悬臂浇注法施工,以增大桥梁跨度。1966年在本市首次采用悬臂拼装法修建一座挂孔T型刚构桥——子牙河大桥,跨径为37.5+60+37.5米,由两组双悬臂T刚构和三个L=15米的挂孔梁组成。T型刚构上部构造箱梁与下部构造墩台固结,上部构造箱梁从墩中向两侧伸臂各22.5米形成T型刚构,挂孔梁支于T型刚构悬臂梁端。在结构恒载下T型刚构墩基受力是对称均衡的,在活载作用下所产生的偏心矩均需由基础承担,因此桥墩基础体积较大。为了改善结构受力状态,70年代初,研究采用悬臂拼装法修建挂孔悬臂梁桥。即在施工阶段,将上部构造箱梁在墩上的梁段用预应力钢筋与墩身临时固结为一体,形成双悬臂T型刚构结构体系,采取悬臂拼装施工方法向桥墩两侧逐段对称悬臂延伸,直至与边孔岸墩梁段合拢联接后,放松上部构造箱梁与墩身联结的预应力钢筋临时固结体系,经过体系转换,由双悬臂T型刚构受力体系转换为单悬臂梁的结构受力体系。在对岸相对应的单悬臂梁按上述相同施工方法完成之后,架设中孔挂梁,最后形成三孔挂孔悬臂梁桥。从1973年采用此法在本市第一次建成了跨径为24+45+24米的海河北安桥,次年又建成了相同规模狮子林桥。桥面净宽均为24米,梁高在桥墩支点处为250厘

米,高跨比(H/L)为1/18,跨中为1/50,梁高按正弦曲线变化,梁的高度比较小,桥梁外型轻巧美观,与海河周围环境十分协调。此后,在海河上相继修建了光华桥、大光明桥、广场桥三座相同类型的预应力砼挂孔悬臂梁桥,中孔最大跨度为62米。

3、连续梁桥

(1) 预应力砼连续梁

预应力砼连续梁选用箱形断面诸多,高跨比一般为1/18~1/25,具有整体刚度大,构造高度比较小,行车顺适平稳、外型美观的特点,在城市高架桥、跨线桥以及立交桥中广为应用。在本市主要采用以下三种施工方法:先简支后连续的施工法、支架施工法、悬臂施工法。

十一经路立交桥主桥跨越京山铁路,跨径为30+32+30米,采用先简支后连续的施工方法,以保证施工时铁路正常运行。桥面宽18.50米,主桥由四条预制箱型梁组成,每条箱梁宽度4.50米,底宽2.25米,梁高1.45米。全桥分12条箱梁块件在工场预制,预制长度为29米和30米两种,最大块件重量为183.6吨。每条预制箱梁运至现场逐孔简支架设就位之后,纵向横向均用湿接头连接成整体。在桥墩支点处现浇砼湿接头宽度为2.0米,当湿接头砼强度达到设计要求后,即张拉第二阶段预应力钢束形成3孔连续梁。

支架施工法是本市中等跨度预应力砼连续梁最常用的施工方法。除铁路跨线桥等具有特殊要求的情况之外,一般立交桥、高架桥的连续梁桥多采用此法。由于施工简便,适用性广,即可用于多孔等截面的直线桥,也可用于立交桥中的弯、坡、斜、异形桥梁结构。

独柱式单点支承曲线连续梁桥,桥下空透性好,视野开广,线形匀韵流畅,可增添桥梁整体美观。1991年在本市京福高速公路唐官屯立交工

程中,主线与相交道路斜交,主桥采用独柱式单点支承连续箱梁,跨径为20+2×30+32+2×30+20米,桥宽18.6米,箱梁截面单箱4室,顶宽18.4米,顶宽13.1米纵横向采用Φ5钢绞线和XM群锚预应力体系。梁高1.44米,独柱墩断面为1.50×1.50米的八角形截面,取得了满意的效果。在总体布局设计中,运用独柱式单点支承曲线连续梁,使复杂的斜桥化为正桥,称之为“斜桥正做”,可获得良好的景观效果。从此,在本市中环线王顶堤立交、小树林立交以及京沪高速公路等十余座立交和跨线桥中广泛应用,最大跨度为41米。

多孔预应力砼连续梁的现浇施工方法,以往我们是采取分段浇制、分段张拉预应力筋,设连接段分段合拢连接成整体的方法。预应力锚固体系主要是采用群锚体系如QM锚、XM锚和OVM锚,预应力筋主要是钢绞线。由于分段浇制分段合拢的方法,施工周期较长,影响施工进度。近年来,主要采用OVM锚具及其连接器的锚固体系,运用连接器逐段浇制,逐段张拉,不设合拢段,采取双向张拉与单向张拉相结合的方法,通过实践和实测分析,效果很好。

天津港南疆大桥位于塘波士顿海河渔船闸下游,是一座预应力连续箱梁桥,主桥跨径为48+3×64+48米,桥全长1205.8米,桥面宽13.2米,箱梁横截面为单箱单室,箱顶宽11.80米,底宽6.60米,跨中梁高2.0米(1/32),桥墩支点处梁高4.0米(1/13.5),顶板厚32厘米,底板厚30~50厘米,腹板厚42~50厘米。砼标号C50,纵向预应力筋采用7~9Φ15.24钢绞线,横向预应力筋采用24Φ5高强钢丝,竖向预应力采用Φ25IV级粗钢筋。主梁施工方法采用挂篮悬浇法,该桥已建成。

(2) 钢与砼组合连续梁

金钢桥改建工程采用上下层桥的总体布局方案:上层桥为高架桥,下层桥跨径为21.0+42.8+21.0米的钢与砼组合连续箱梁桥,其下部构造利用老桥旧有桥墩基础。因此,改建后的下层桥的桥型结构,其结构受力情况与旧桥相近,而且要求结构自重轻施工周期快的特点,所以钢与砼组合连续箱梁桥型结构最为适宜。将老桥桥面宽由14米增大至18米,通行能力和荷载能力都比老桥有所提高。

桥梁上部构造由4条宽度为2.5米单室单箱梁组成,梁高是变化的,在支点处为1.80米,跨中为1.20米,高跨比为1/25~1/32。桥面砼板厚度23厘米,砼标号为C40,用剪力链与钢梁叠合而成组合梁。为了改善钢与砼组合箱梁上缘砼桥面负弯矩区工作条件,在支点附近负弯矩区配置预应力钢束,并施加预应力,使支点附近砼受压,从而改善组合梁截面应力状态,防止裂缝出现,以增强钢与砼组合箱梁共同工作的性能。预应力钢束采用低松弛钢绞线,锚具采用OVM扁形锚具。

三、大跨度预应力砼桥(70米以上)

进入80年代,随着天津市经济建设和城市道路交通事业的迅速发展,预应力砼技术在大跨度桥梁中也得到了大力推广与应用。相继建成了大跨度桥梁7座,其中预应力砼连续梁桥和钢管拱桥各2座、斜拉桥3座。

(一)连续梁桥

预应力砼连续梁桥型结构整体受力性能好,行车平稳顺适,外型美观,是80年代以后发展较快的一种桥型结构。采用悬臂法施工,工艺技术先进,施工设备比较简单,而且安全可靠。1987年至1988年修建的津榆公路东堤头大桥,位于天津市北郊东堤头村横跨永定新河,桥全长491.00米,主桥跨径为70+100+10米三孔预应力砼连续

箱梁桥结构,桥面净宽18米,其中:车行道15米,两侧行人道各1.50米。箱梁横截面为单箱双室,跨中梁高3.30米(1/30.3),桥墩支点处梁高6米(1/16.7),梁底按正弦曲线变化,箱梁顶宽17.00米,底宽10.00米,顶板厚25~30厘米,底板厚28~40厘米,砼标号C50,预应力钢束采用24 Φ 5高强钢丝,钢具采用锥形锚和墩头锚。箱梁顶板内配有272束,底板配有150束(中跨)和108束(边孔)。采用悬臂浇注法施工。

(二)钢管砼拱桥

1、金钢桥位于天津市市区中心重要干线道路上横跨海河的一座大型桥梁,原有旧桥是一座双叶立转开启桥,由于桥窄,荷载能力小,已不适应当前城市经济建设的发展。改建的金钢桥采用双层桥型式,上层桥为高架桥,桥面净宽15米,桥总长466米。主桥跨径为25+101+25米三孔钢管砼中承式系杆拱桥结构,主拱矢跨比为1/5,主跨为刚性拱柔性梁体系,主拱采用两根D900mm钢管,中间加焊连接板组成的“哑铃”形截面,高度为2米,管内灌40号砼。边孔为钢筋砼拱。桥面系结构为钢筋砼和预应力砼纵横梁结构。预应力体系采用有粘结与无粘结两种体系,系杆采用高强度低松弛钢绞线,标准强度为1860MPa,每片拱肋设有8束7~12 Φ 15.24钢绞线,锚具为OVM型。其主跨区段采用无粘结预应力体系,外裹PE护套,边孔砼结构采用粘结预应力体系,钢绞线外套金属波纹管,内注水泥浆防护。吊杆采用大节距扭转成品索,规格为SNS—7 \times 61型,标准强度为1570MPa,冷铸墩头锚规格为LZM7—61型,全桥共计15对吊杆。桥面系预制横梁采用部分预应力砼梁结构,预应力钢束采用高强低松弛钢绞线。

改建后的金钢桥主桥采用三孔钢管砼中承式系杆拱桥结构,不但桥的规模大了,交通使用功

能提高了,并采用了有粘结和无粘结预应力体系,以施加预应力束抵消主拱肋对桥台水平力的影响,改善拱桥结构受力状态,使之适应本市沿海软土地质条件。而且外型新颖美观,给人以旧貌换新颜的感觉,受到人们普遍的赞赏。

2、彩虹桥位于天津市塘沽开发区北,海防路跨越永定新桥的特大型桥,主桥为3孔跨径为160米的下居式钢管系杆拱桥,桥全长1304.74米,桥宽为28米,荷载标准为汽—超20,挂—120,主拱矢跨比为1:5,由两根D150厘米钢管焊成“哑铃”型钢管拱肋,高度为375厘米,内灌50号砼。桥面系由预应力砼纵横梁板组成,横梁采用后张预应力砼梁结构,纵梁采用先张预应力砼空心板梁结构。系杆和吊杆采用高强低松弛钢绞线成索,PE管护套,吊杆每孔15对,间距为10米。

(三)斜拉桥

斜拉桥具有跨越能力大,梁的建筑高度小、斜拉索的水平分力对主梁形成预应力,而且可以按需要进行索力调整,使结构内力达到最佳受力状态。因此,近十多年来这种桥型结构在国内大跨度桥梁建设中发展十分迅速。在天津市1987年建成了主跨为260米的永和斜拉桥之后,1992年和1996年相继建成了主跨为71.85米的海河刘庄桥和主跨为89.77米的天津站天桥,目前正在修建主跨为310米的塘沽海河大桥。永和斜拉桥为双塔砼斜拉桥、刘庄桥和天津站天桥为钢与砼组合梁独塔斜拉桥。塘沽海河大桥为风与砼混合型独塔斜拉桥(见表1)。

1、永和斜拉桥:全长512.4米,采用25.15+99.85+260.00+99.85+25.15米五孔PC连续梁,桥宽13.6米,主梁为三角形双箱开口断面,梁高2.0m,高跨比1/130,横隔梁间距2.9m。门型塔塔高55.8m,塔柱为3.0×3.0m空心矩形断面,斜

拉索锚固区为“1”字形断面,按双面扇形索布置,索距11.6米,主梁除端跨梁段与合拢段为现浇外,其余均为长5.8m重120吨预制块件悬臂胶拼而成。主梁纵向预应力筋大部分采用Φ32粗钢筋,利用连接器逐段张拉接长,横隔梁采用48Φ5钢束及墩头锚,斜腹板用Φ25粗钢筋。主塔上下横梁均用24~48Φ5钢束,锚具配以锥形锚和墩头锚。斜拉索用Φ5高强度钢丝,冷铸锚。保护套用高密度PE管。内充填水泥砂浆防锈。

2、塘沽海河大桥位于天津市塘沽区海河下游入海口,它是联通天津滨海新区海防公路横跨海河的一座特大型桥梁工程,总长2220米,其中主桥为钢与砼混合型独塔斜拉桥,跨径为310+51+51+88m四孔连续梁,主桥长500米,主梁为双箱开口断面,其中主跨采用正交异性板钢筋梁结构,边跨采用预应力砼箱梁结构,梁高3.0m,桥全宽23.00m,高跨比为1/103,桥宽与梁高比为1/7.7。主梁预应力砼箱梁采用50号砼,预应力筋采用标准强度为1860MPa高强低松弛钢绞线,预应力锚具采用群锚体系。预应力砼箱梁中横梁间距为5米。预应力砼梁与钢梁接合部应力是通过钢梁上下翼缘和腹板进行传递,在接合部内填充砼,设置剪力销并施加预应力,使钢箱梁与预应力砼箱梁连接成为一个整体的连续梁结构。

斜拉索采用空间扇形双索面布置形式,全桥共72根索,梁上索距主跨为15.8m,边跨索距为10.2m。斜拉索用钢绞线及其配套的锚具,最大一根索由42根钢绞线组成。

主塔采用A型塔,目的是为增大整体抗风稳定性,塔高桥面以上126米,塔高跨度之比为1/2.46,塔身采用矩形空心断面,塔柱顺桥向宽9~6米,横桥向宽:下横梁以下为7.2~4.5m,下横梁以上为4.5米,拉索锚固区为“1”字形断面,拉索在塔上采用交叉锚固方式。

表1 天津市主要桥梁一览表

顺序	桥名	全长、桥型	断面	预应力体系	施工方法	修建年代与其他
1	津榆公路东堤头大桥(又名华北桥)	491米,主桥:70+100+70m三孔预应力砼连续箱梁桥	变截面箱梁梁高3.30~6.00m,单箱双室,桥面净宽18.00m	预应力筋:纵向24 Φ 5高强钢丝束 锚头:锥式锚墩头锚	悬臂浇注施工法	1987.3~1988.11
2	海河金钢桥	462m,上层桥主桥:25+101+25m钢管砼中承式系杆拱桥	主拱由2根中间加连接板组成的“哑铃”型钢管拱肋,高度200cm,内灌40号砼	①系杆:每侧8束高强低松弛钢绞线束,其中1束12 Φ 15.24,7束7 Φ 15.24,PE护套, OVM 锚具 ②吊杆:15束 \times 91 Φ 5mm节距扭转成品索, LZM7-61型冷铸锚具 ③桥面系横梁5 Φ 15.24高强低松弛钢绞线、OVM15-5型锚具	支架施工法 架设钢管拱	1996.3~1996.11
3	永定新河永和大桥	512.4m,主跨99.85+260+99.85双塔预应力砼斜拉桥	主梁为三角形边箱的半封闭式断面、梁高2.0m,桥宽13.6m	①预应力筋:粗钢筋 Φ 25 Φ 32高强钢丝束24 Φ 5 28 Φ 5, 锚具, 轧丝锚, 锥形锚墩头锚 ②斜拉索: Φ 5高强钢丝平行, 锚具、冷铸锚, PE管内注水泥浆	支架上悬臂拼装施工	1987.12竣工
4	海河刘庄桥	115.89m,跨径32+71.85+12.04m钢与砼组合梁独塔斜拉桥	钢梁与砼桥面板组合梁结构主梁为工型钢梁,高度为1m,砼桥面板厚17cm,桥净宽15m,全宽17.2m	①预应力筋:在砼桥面板负弯矩纵向配置 Φ 5高强钢丝束锥形锚束 ②斜拉索: Φ 5高强钢丝平行束,冷铸锚,挤压式PE套	边孔支架上架设,主孔悬拼施工	1991.4~1991.12
5	天津站天桥	252.02m,主跨:89.77+55.07独塔钢与砼组合梁斜拉梁	焊成“工”字钢梁与砼桥面板组成的叠合梁,梁高1.2m,桥面宽6.06m	①预应力筋:高强低松弛钢绞线, OVM锚具 ②斜拉索: Φ 5高强钢丝平行束,冷铸锚,挤压式PE套	边孔拖拉就位,主孔悬臂拼装施工	1995.9~1996.9
6	塘沽海河大桥	2220m,主桥310+(88+51+51)钢与砼混合型独塔斜拉桥	主梁为双箱开口截面,主孔采用正交异性板钢箱梁,边孔采用预应力砼箱梁	①预应力筋:高强低松弛钢绞线,锚具采用群锚体系 ②斜拉索:钢绞线,挤压式PE套	边孔逐孔支架现浇,主孔悬臂拼装法施工	1998年开工,预计2000年竣工
7	天津开发区彩虹大桥	1304.74m,主桥3 \times 160m系杆钢管拱桥	主拱由2根D500mm钢管焊成“哑铃”型钢管拱肋,高度375cm,内灌50号砼	①吊杆及系杆:采用高强低松弛钢绞线成索,PE护套。吊杆每孔两拱间共设15对间距10m ②桥直系由纵横梁组成。横梁采用后张预应力砼结构,纵梁采用先张预应力空心板	支架施工法 架设钢管拱	1996~1998

更正

本刊1990年第5期封二图片中“LZM-37冷铸锚拉索动载试验”的试验地点应为“北京铁道科学研究院实验室”,特此更正。