

预制拼装PC连续梁（一）

欧阳克武

1. 概述

PC连续梁预制拼装是在工厂或现场的制造场地内预制混凝土构件，然后将构件运往桥跨处进行拼装架设，通过预应力建成整体桥梁。

这种方法相对于现场就地灌注混凝土的方法来制造主梁，具有以下优点：

(1)上部结构分为制造与架设，上部结构架设工期可以大大缩短，如巴西的里约·尼提罗伊桥共100孔80m桥，如用现浇法，则每跨需70~90天才能完成。采用预制拼的方法，每跨分14个节段，则7天内可完成，并且，由于上部结构的制造与下部结构的施工同时进行，从开工到竣工的总工期可大为缩减。

(2)由于在设备完整的工厂或场地上预制构件，质量容易控制和得到保证。

(3)由于构件在工厂或场地上进行连续制造，机械化程度高，减少工人劳动强度，提高劳动效率。

(4)在多跨桥梁预制构件外形尺寸相同时，模板的倒用次数可以增多，从而取得较好的经济效益。

(5)预制构件的质量管理与试验由于可在进入架设之前来实施，如发现有不合格的构件可以废除不用，因而对工程的影响较小。

(6)预制构件有足够的存放期，可减少架设后的收缩与徐变。

(7)可保护环境。

(8)施工灵活，尤其是在大型城市立交桥和—

欧阳克武,铁道部大桥工程局第一桥梁工程处教授级高工

些拥挤的维修施工中，更显示其优越性。

预制拼装PC连续梁有两种方式：第一种是将梁纵向分条预制架设，先简支后连续，在我国较盛行。第二种是将梁横向分段，逐跨拼装架设，该方法在国外用得较多。两种方法各有长处。采用哪种方法，依各设计施工单位的现有设备能力而定。

2. 先简支后连续

将整孔梁纵向分条，按简支梁方法进行制造和架设，再横向连接转换结构体系而成多孔连续梁。这种先简支后连续的设计施工方案，与简支梁的连续桥面相比，不但具有更好的结构连续性，同时降低了跨中弯矩值。这样可以减少构件的高度和尺寸，更有利预制和安装。由于跨中弯矩降低，跨中施加的预应力相应减小，也就减少了预应力引起的反拱度。与现浇的连续梁相比，具有施工简便快捷等预制拼装PC连续梁的优点，还可充分利用我国施工单位已有的架桥机，因此，先简支后连续结构体系是结合我国实际情况的中等跨径公路桥梁的较优结构体系。

2.1 潮州大桥

文献[1][2]介绍了1986年初开始设计，1989年上半年建成的潮州韩江大桥设计中上部结构先简支后连续的设计施工方法。

2.1.1 概况

设计荷载：汽-20 挂车-100 人群荷载3.5kN/m²，地震烈度按8度设防。

线路标准：二级桥面行车道宽14m，两侧人行道各宽2m。

上部结构构造形式：西桥为9孔一联(31.5+7×41+31.5)预应力变高度T形截面连续梁

东桥为12孔一联(39.5+10×51+39.5)预应力变高度T形截面连续梁。

2.1.2 构造特点

T形截面单伸臂梁分片整体预制，伸臂长10m，在反弯点附近，伸臂端设承托下一孔梁的临时钢托架，逐孔架设。当一联9孔或12孔梁架设完毕后，先浇单片梁的30cm的湿接段，张拉预应力连续筋，形成单片连续梁，然后将7个单片连续梁整体化(包括桥面板现浇环湿接缝混凝土和横隔板连接混凝土)形成全桥。

上部结构有7片T形梁，根据长度尺寸分为1、2、3号梁，根据横隔板的设置，分为内梁和边梁两种，故有 $2 \times 3 = 6$ 种。T形梁间距2.3m，梁高为变截面，梁底为圆曲线。腹板厚18cm，上翼缘宽176cm，下翼缘宽78cm，桥面板厚17~20cm，纵向环扣接缝宽54cm。横隔板间距4~8m，厚度在支点处30~34cm，中间处12~16cm。梁顶及梁底开有张拉槽和锚固槽，梗肋处有钢束锚固锯齿块，上下梗肋与腹板连接处留有圆弧过渡。图1示意了东桥51m跨度1、2、3号梁构造图。

预应力束为 $24 \phi 5$ 高强度钢丝，弗锚。预应力束分为静定束和超静定束。静定束在预制台座上张拉，超静定束又称连续束，在纵向由简支转换成连续梁时张拉。这些预应力束分别锚固在梁端、顶板、底板、上下梗肋齿板处。

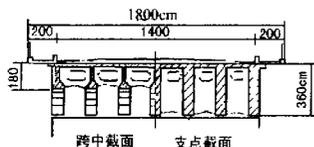


图1 东桥12跨T形连续梁

这座桥首次采用了变高度T形截面梁，主梁工程数量省。虽施工技术复杂，模板种类繁多和设临时钢托架等临时结构用钢量较常规大，但随着桥长的跨数增多，其总的经济效益还是显著的。

2.2 宁波小浞江1号桥

文献[3]介绍了宁波小浞江1号桥先简支后连续的特点：

主桥由两个预制预应力简支外伸梁和一个预制预应力中间段，用两个1m普通钢筋混凝土现浇段连成三孔连续梁；

连续梁现浇连接段设在恒载弯矩等于零(弯矩最小)部位；

现浇连接段为非预应力体系，用一片2cm厚钢板和设置部分斜筋及加强箍筋来承担剪力；

施工方法采用整段预制吊装现浇连接；

本结构由于采用两个简支外伸臂自身作支架来承重并连接中间段，整个连续梁施工不需搭设膺架，不需悬拼或悬灌，且梁体预制，混凝土收缩、徐变大部分在吊装前完成，所以本桥具有结构合理，施工方便，进度快，节省工程造价的显著优点。(图2)

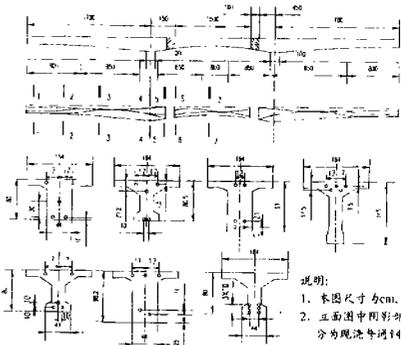


图2

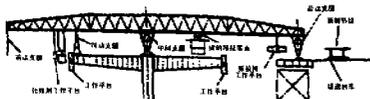


图7 伸臂架设法

逐跨架设法可使用架桥专用桁梁，如我局的桁梁式造桥机或强劲的钢箱梁，配以特殊吊机或浮吊等架桥机械。这种架设方法在中小跨径采用得比较多，一般用于30~60m，我国铁路梁已达64m。

近年来，在欧美由于加快架设速度和削减施工费用等理由，在中小跨径的桥梁中采用逐跨架设法越来越多。

伸臂架设法可采用桁梁式造桥机械、移动式吊机等架梁机械。这种方法一般用于跨度60~120m的桥梁。

3.3 节段间的连接

节段相互之间的连接部分，一般可分为如下三种：

湿接缝是在节段之间位置调整后，焊连接钢筋，立模板，浇注混凝土。（见图8）

干接缝是密接匹配法，接缝处不加处理，节

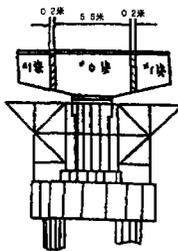


图8

段与节段相互有剪力键互相啮合，以传递剪力。剪力键有单键和多键，有的在箱梁节段的腹板、顶板、底板均设有剪力键。（见图9）。

胶拼法是在连接部分涂刷环氧树脂粘剂将节段连接成整体的方法。

上述三种方法，欧美一般采用后面两种方法，我国是三种均采用，依工艺水平而定。

3.4 节段拼装设计施工要注意的问题[6][7]

3.4.1 节段的预制

预制梁段的质量是预制拼装成败的关键，必须确保梁段质量的优良。从以下几个方面控制梁段预制的质量。

3.4.1.1 线型 在逐跨拼装中，线型控制没有困难。在悬拼施工中，预制台座顶面的线型不是理论上的梁底曲线，而是根据拼装时倒折计算的线型。台座顶面放样线型应是

$$f=f_1+f_2+f_3$$

f ——台座顶面各控制点实际放样高程

f_1 ——理论设计高程（计纵坡和竖曲线影响）

f_2 ——预拱度值

f_3 ——施工调整值

按照 f 值在长线台座可以一次形成，但对短曲线台座，各节段 f 值均不相同，均需调整台座顶面高程。特别是连接桥墩顶上的零号节段和标准节段间连接段的制造台座。因为连接节段的箱体

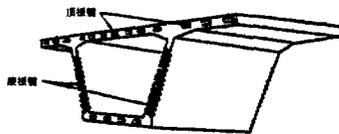


图9 块件接缝面的连接键

尺寸变化是从零号节段过渡到标准节段的。

3.4.1.2 外形尺寸和各物理力学指标 预制节段外形尺寸精确度高,其误差控制值要高于规范值。物理力学指标也是十分严格的,如节段自重(天津永和斜拉桥,每个节段都用传感器称重)、混凝土容重、混凝土强度和弹性模量等。

3.4.1.3 预应力孔道 设计的施工详图中普通钢筋与预应力孔道尽量互不干扰,各节段预应力孔道坐标值应互相贯通、圆顺,最小半径 $R \geq 4m$;施工放样严格按照设计坐标值,准确地装配钢筋骨架和后张预应力索孔道,预埋锚垫板应与孔道垂直等,并保证在灌注和振捣混凝土过程中不发生位移。应特别注意混凝土浇注捣振密实,还要饰面以确保节段质量优良。

3.4.1.4 蜂窝、狗洞 通常出现在腹板处及普通钢筋密集区域。一般的易于修整和修补。极少数情况下,需要进行结构分析或报废梁段。

3.4.1.5 剪力键损坏 一般节段重量在40~140吨之间变化,由于重量大,在脱模和搬运过程中,常常会出现整个剪力键损坏的现象,特别是早期要引起施工人员的注意。

3.4.1.6 模板 预制拼装PC连续梁的节段的尺寸要求是非常严格的,薄弱的模板不能承受浇注混凝土时的作用力,导致脱开、涨模、节段尺寸无法得到保证其精度。故模板要有足够的强度和刚度。

3.4.1.7 存放时间 预制节段至少有2个月存放期,一般以3个月存放期为佳。这是因为在混凝土强度增长龄期的同时,使混凝土的收缩和徐变完成60%~70%以上。当然存放期也不能过长,否则需要较大的存梁场,造成不经济。

3.4.1.8 堆放方法 可以叠放,但存梁台位要不发生不均匀沉降和确认在容许应力范围内。堆放方法可以用三点支撑叠放梁段,即在一侧腹板

下两端设两支点,而另一侧腹板中心位置设一支点。对下层梁段要进行受力分析,在容许应力范围内。

以上8个要注意的问题是国内外实践经验总结,也表明了拼装桥梁的成败几乎完全取决于预制梁段的浇筑工作。

表1列出了美国佛罗里达州11座桥梁段报废情况及原因。合理的报废率不应大于0.5%。

表1 报废梁段统计

工程	报废数量	报废率(%)	报废原因
朗基桥	4	0.5	孔陈/蜂窝
七英里桥	3	0.2	后张预应力筋孔道移位
奈尔斯运河桥	0	0	普通钢筋与后张预应力筋相互干扰
第五运河桥	1	0.4	模板薄弱
1号匝道桥	1	0.5	尺寸偏差
日照桥引桥	3	0.5	几何线型不准
日照桥主桥	1	0.3	搬运/贮存不当
175/1595-1	18	3.2	养护温度过高
帕尔梅托桥	19	2.9	强度低
航空港	0	0	剪力键破坏
US441/1595	1	0.3	偶然事故
175/1595-2	3	0.3	天气不好

3.4.2 梁段的拼装

3.4.2.1 线形和预拱度 在逐跨拼装时易于控制。在悬拼时要根据预制节段实测各项指标和存放时间等资料,反算结构体系的各项变形,以确定拼装时的调整线型;在施工中关键是控制好1号块的变形值,并在安装过程中绘制安装挠度变化曲线,尽量减少悬拼过程中的安装误差。若误差大了要及时纠偏。纠偏的方法一般是在接缝处设置垫片,如铜片、不锈钢片、石棉布等。若偏离太大,那就要加临时荷载压重或张拉连续预应

力束等办法加以调整。当然悬拼时还要处理预应力束张拉顺序,使之在完成体系转换时,防止预应力降低,梁体产生裂缝,上拱或下挠而折断。

3.4.2.2 接缝的施工控制 湿接缝一般较长(等于节段箱梁的顶板宽度)且窄(20cm左右)顶部应力孔道密集,其间又填以高级别的细石混凝土,施工复杂,要求工艺很高。可借用现浇合拢段的做法,施加部分临时预应力,使湿接缝有预应力,在一天中最低温度时灌注微膨胀混凝土。

干接缝时若剪力键损坏了,美国佛里达州基斯桥的处理办法是:在架设完毕后进行预应力张拉之前用干砌料填实。我国一般修补方法是将损坏部分的剪力键混凝土凿除至坚实面,洗净凿除表面,烘干涂刷丙乳,再填灌微膨胀混凝土,养生多日达到高强度。

胶接缝的关键是粘接剂耐候性比较好,在涂抹过程中气温高时不流淌,气温低能涂布均匀,确保厚度1mm,当胶拼检验合格后,应设计张拉部分预应力束使胶接缝面形成均匀的大于0.2MPa的挤压应力。挤压应力一定要在全断面上均匀,否则会造成接缝面上缘或下缘张口,接缝面滑移错动。

4. 预制拼装PC连续梁的结构设计

4.1 设计

设计要努力优化,使之:

4.1.1 节段的轻量化(减少重量)

在决定截面形状时,以减轻节段重量作为前提进行种种努力。例如,美国在新倍尔特温桥的设计中,如图10所示,尽管桥面非常之宽,但通

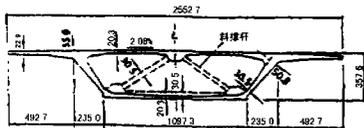


图10 新倍尔特温桥的标准截面

过在室内使用斜撑杆而减小了桥面板的跨度,并由于采用单室箱梁截面的关系,使节段重量得以减轻。

4.1.2 节段的简化

在制造节段时,为了提高作业效率,节段的形状要力求简化。通常在就地浇注的箱梁桥中,同一跨径的腹板厚度变化是根据包括所需体内预应力索的根数等来研究决定的。在预制节段时,由于同一节段各部分板件的厚度如有变化时,会涉及到制造工作量的增大,故要求能加以统一。例如,美国在圣安东尼奥的Y工程的高架桥中,在一定的区间内将腹板的厚度加以统一来进行设计,其截面形状如图11所示尽量给以简化。

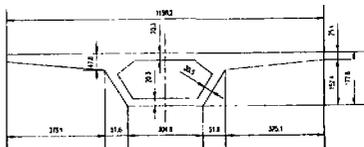


图11 圣安东尼奥Y工程高架桥的标准截面(单位cm)

4.1.3 节段之间的连接

节段相互之间的连接部分,当预应力索的布置是使用体内索或体外索时,为了考虑体内索的防锈,采用环氧树脂接缝。另外,全部采用体外索,并同时不使用防止冻结的盐化物(氯化物)时,常采用干接缝。

关于节段之间的剪力键,剪力键的设计要保持有一定(百分之几十)的安全余量,这样即使在制造或架设中遇到剪力键损坏的节段,也可在设计的安全余量范围内加以使用。

4.1.4 预应力索的布置

预应力索的布置,一般是在混凝土中,故此时代板厚度是受到所需预应力索束数的要求来决

定,其结果不能使节段重量减轻而适得其反。若布置体外索,或兼用体内索,即可减轻节段重量,又可施工方便。

4.1.5 体内索与体外索的使用状态

作为减轻节段重量和方便施工为手段的体外索的使用方法是根据架设方法的不同而有所差别的。在逐跨架设法时,全部使用体外索或兼用体内和体外索。在兼用体内索时,一般对架设过程中所需的预应力索主要采用体外索,对成桥后所需的预应力索则使用体内索。

使用伸臂法架设时全部采用体内索或兼用体外索。在兼用的情况下,一般对架设所需的采用体内索,成桥后所需的则采用体外索。这是推想到因为在伸臂法架设中,如果作为架设所需而使用体外索时,为了体外索的锚固,每个节段都要设置凸出的锚块,造成节段制造的复杂化。另外,作为架设所需使用体内索时,由于每个节段约只有2根预应力索要锚固,可锚固在上侧桥面板的一定位置,对预应力索的布置与架设周期没有什么影响。

4.1.6 桥面板的设计

预制拼装PC连续梁的桥面板的设计,一般采用后张法的PC桥面板。但这个方法要在梁节段架设完毕后再对桥面板施加预应力,使现场作业较复杂,张拉后还必须进行压浆等工序,产生有与预制及使现场作业简化的宏观目标相反等问题。对这个问题,可采用先张法施加预应力,借此简化现场作业与降低造价。(如图12所示)

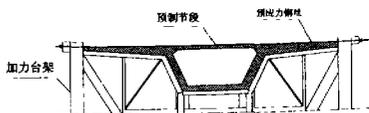


图12 先张法的加力台架

(未完待续)

编者注:限于篇幅,本文有删节。



(上接第21页)

跟预紧时一样,张拉加载过程中,应均衡进行加载,使同一束环锚的两根无粘结筋同步延伸,HM15-27锚具始终处于直立状态。

5.2.6 张拉时以应力控制为主、伸长值为校核,实测值与理论计算值误差控制在+10%到-5%之间。测量钢绞线伸长量的同时,记录HM15-27锚具的游动量及游动方向。

6. 结束语

环锚技术及产品近几年越来越被广泛应用于各种大型圆形容器。水池及高压圆形混凝土衬砌

结构中,它是有施工速度快、抗渗性好,材料消耗降低幅度大的特点,有很好的经济对比性和很高的推广使用价值。

参考文献:

- [1].《现代预应力混凝土施工》,杨宗欣、方先和编著。
- [2].《遵义市颜村污水处理厂一期工程》,中国市政工程华北设计院。
- [3].《后张预应力混凝土施工手册》,中国建筑科学研究院,冯大斌、梁贵臣著。