

江苏淮河大桥主桥设计

张松 黄淞文 徐均量 丁军华

【摘要】 淮河大桥主桥为 $50+3\times 80+50$ m预应力混凝土连续箱梁,该桥主要设计特点为纵向预应力索,只有顶底板索,无腹板下弯索,制动墩设隔离支座。本文介绍了该桥的设计概况、结构特点、预应力体系及合拢措施等内容。

【关键词】 连续梁 结构分析 合拢措施 预拱度

1. 桥型布置

淮河特大桥是宁宿徐高速公路中的特大型桥梁工程,全长6.053km,桥孔布设为 $4\times 30+5\times 30+(50+3\times 80+50)+3\times (5\times 30)+2\times (4\times 30)+6\times 20+30\times (5\times 30)+4\times 30$ m(图1)。淮河大桥跨越主淮河、二淮河、扁担河、溜子河、团结河等河道和淮河边滩、小周滩、河瓢滩、城根圩、明陵滩等圩区和滩地。其中淮河和溜子河分别为III级和VII级航道。因此在研究桥型和桥梁结构时除了服从高速公路线形设计标准外,尤为重要的是如何处理好与淮河流域水利规划和江苏航道网规划的关系,建桥后既满足淮河行洪期要求,又不恶化河道内的流态和水力条件。水利规划特大洪水时除淮河主槽行洪外,滩地亦行洪,圩区破圩滞洪,洪泽湖在汛前配合调蓄以资减少和控制水患。因此淮河大桥采用6km长的全桥方案。根据航道规划考虑船撞机率,淮

河主槽配置了 $50+3\times 80+50$ m的预应力混凝土连续梁。

淮河大桥主桥为五跨连续箱梁,主桥下部构造4个主墩位于主槽深水中,另设2个过渡墩与引桥相联,本桥设计车辆荷载为汽车—超20级,挂车—120。半幅桥面宽12.5m,淮河按三级航道标准,航道净空为 $65\text{m}\times 10\text{m}$,最高通航水位15.5m,同航孔两个。桥位处主航道的中孔,实际上三个中孔均能通航。地震烈度为7度,按8度设防。

主桥边跨与中跨之比为625:1,箱梁为矩形单箱梁室的变高度箱形截面,箱底宽6.5m,顶板宽12.5m,中间支点断面梁高4.5m,高跨比为1/17.78,中跨跨中及边支点梁高2.0m,高跨比为1/40及1/25。其间梁底缘按圆曲线变化(图2)。箱梁顶板厚度:两肋板间跨中为2.5m,近肋板根部为60cm,外侧悬臂根部为60cm。箱底板厚

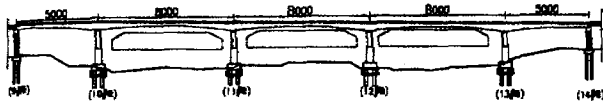


图1 主桥桥型布置图(尺寸单位:cm)

张松、黄淞文:江苏省交通规划设计院

度；中间支点断面为100m，跨中断面为25cm，边支点断面为50cm。箱梁肋板宽度：以中支点至1/4跨径断面为60cm，以1/4跨径断面至跨中断面为40cm。

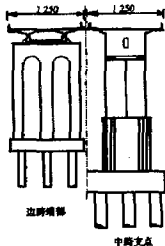


图2 箱梁断面布置图(尺寸单位:cm)

2. 内力分析

箱梁内力与施工方法密切相关。本桥施工是在4个主桥墩上，将箱梁与桥墩临时锚固成T型刚构，用挂篮分段对称悬臂浇筑各梁段，用合拢吊架支模浇筑2m长的合拢梁段，经过数次体系转换，最后形成五跨连续梁。本桥墩顶0号段长5m，直接在墩顶上立模浇筑，2-9号段长3.5-4m，采用挂篮悬臂浇筑。

内力分析分两步进行。第一步按T构静定体系，分阶段计算各主桥墩上的悬臂箱梁自重、预加力(包括预应力前期损失和悬浇浇筑过程中的混凝土收缩、徐变引起的预应力损失)以及挂篮等施工荷载产生的内力。第二步根据各桥墩上的悬臂箱梁T构形成的先后，逐次进行体系转换所形成的不同的静力体系，分施工阶段和运营阶段进行计算。

由于箱梁采用悬臂浇筑，不仅各桥墩上的悬臂箱梁施工有先后，而且同一桥墩上的悬臂箱梁的各梁段龄期亦不相同，且经过体系转换，最后形成五跨连续梁也有一个互相交错的时间，这样

的龄期差异与交错过程增加了徐变影响计算的复杂性，本桥做如下近似处理。

a. 箱梁50号混凝土，采用同一弹性模量。

b. 箱梁两侧对称施工，各墩上的悬臂箱梁的平均龄期也按对称采用。

c. 考虑到每次体系转换前后相距时间较长，先完成体系转换的连续体系上已经发生徐变内力重分布，而后浇的悬臂箱梁还在施工，因这部分结构是静定的，徐变不会引起内力重分布。在施工过程中结构体系在不断变化，混凝土徐变内力重分布发生先后不一，因按施工进度分段计算徐变内力。

3. 预应力体系及钢束布置

本桥设计采用三向预应力体系。

横向预应力采用近似直线形式布置于顶板上缘，在顶板跨中略有下弯，预应力束为OVM15-3，间距约60cm，采用扁锚体系锚固，使设计轻盈的箱梁上构变得现实。

竖向预应力采用直径32mm精轧螺纹钢按约60cm间距布置在腹板中心，在施工阶段竖向钢筋还同时兼作挂篮后锚点。

连续箱梁的纵向预应力采用符合 ASTM A416-92a规定的低松弛高强度单根钢绞线直径15.24mm，面积 $A=140\text{mm}^2$ ，标准强度 $R_b^b=1860\text{MPa}$ ，计算用弹性模量 $E_s=1.9 \times 10^5\text{MPa}$ ，采用金属镀锌波纹管成孔，管道摩擦系数 $\mu=0.25$ ，管道偏差系数 $k=0.0015$ ，预应力回缩和锚具变形为6mm，预应力损失计算按规范要求考虑了孔道摩擦、反摩阻，锚具变形和钢束回缩，混凝土弹性压缩、钢束松弛及混凝土收缩徐变损失等项。张拉时锚下控制应力为 $0.72R_b^b=0.72 \times 1860=1339.2\text{MPa}$ 。

纵向钢束采用平、竖弯相结合的方式，设置顶、底板钢束，顶板束各悬浇断面上锚固4束12

股(14股)钢绞线。底板束均为局部短束,采用12股、14股、19股等,沿底板竖曲线布束,锚于底板齿块上(图3)。合拢段设置连续束。悬浇束直接锚固于顶板承托处。这种布置方式对悬浇束可避免外形复杂的齿板构造,方便施工,减轻箱梁自重,同时平面上呈同样S线形,平移锚固于承托的固定位置,可以消除集中的预应力在锚固点产生的横向分力,改善受力状况。

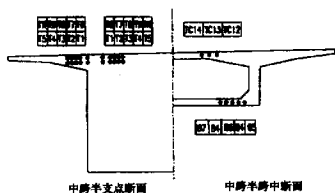


图3 预应力索断面布置示意图

为尽量减少钢材用量,规范规定钢绞线 $\sigma_k \leq 0.75R_p$, 本桥取较低的锚下控制应力 $\sigma_k = 0.75R_p$, 主要考虑:①预应力施加过程中避免出现滑丝、断丝等情况,此时可针对性地提高其它钢束的控制应力进行补拉。②因采用挂篮悬浇施工,施工过程中可能出现与设计的差异,尤其是孔道制作偏差,尽管预应力损失中已记入该项,但很可能实际建立的预应力还是小于设计值,需要在施工时调整控制应力。

本桥预应力设计原则是在运营状态下各截面最小压应力 $\geq 1.0\text{MPa}$, 最大压应力 $\leq 13\text{MPa}$, 主要是基于箱梁剪力滞效应及锚固处预应力的扩散性。而主拉应力及钢束永存应力控制在规范要求范围内,从而既保证了结构的安全度,又方便了施工。

4. 施工程序

根据桥位处河床的水文地质情况、施工部门拥有的机械设备及合理的调配方案,以及使结构

在施工及运营时期受力尽量均衡合理起见,确定箱梁采用左右幅各主墩同时施工方案。

4.1 各主墩立模浇筑箱梁的0号梁段,完成悬臂箱梁施工的临时锚固,再在各主墩上安装挂篮,悬浇箱梁。

4.2 悬浇完成各主墩的悬臂箱梁,安装两边跨合拢段的落地支架。

4.3 完成两边跨合拢梁段,张拉相应跨连续钢束,拆除10、13号墩箱梁的临时锚固。

4.4 安装二、四跨跨中合拢梁段的吊架。合拢吊架上立模浇筑完成二、四跨跨中合拢梁段,张拉相应跨连续钢束。拆除11、12号墩箱梁的临时锚固。

4.5 安装第三跨跨中合拢梁段的吊架,合拢吊架上立模浇筑完成跨中合拢梁段,张拉相应跨连续钢束。安装护栏,浇筑桥面铺装沥青混凝土。

为了保证悬臂浇筑过程中的倾覆稳定性,悬臂箱梁在墩顶的临时锚固是施工中的一个重要构造。本桥在每个主桥墩上设4个60cm高的50号混凝土垫块和 2×32 根 $\phi 40$ 的锚固粗钢筋,将悬臂箱梁临时锚固在墩顶上。临时锚固的混凝土垫层和锚固钢筋按施工中最不利状态进行验算,本桥临时锚固的安全系数采用3.5。

5. 合拢措施

5.1 边跨合拢

两边跨各11m长的合拢梁段分2m和9m长两段浇筑,靠9、14号过渡墩一段长9m,又分两次先浇,靠悬臂箱梁一段长2m,作为合拢梁段一次后浇,以缩短边跨合拢时浇筑混凝土的时间。

主墩上悬臂箱梁的自由悬臂长达39m,在施工荷载及温度影响下,悬臂端将会产生纵向伸缩变形、竖向挠曲变形以及转动。同时2m合拢段后浇混凝土本身要发生早期收缩,梁段本身的自

重又要引起支架和基础弹性、塑性变形。为了保证2m合拢梁段新老混凝土的结合,避免混凝土在硬化过程中发生裂缝,设计时采用了以下措施来控制或减小上述变形。

5.1.1 先浇9m长的梁段,借以作为预压荷载,减小支架的变形。

5.1.2 在较低温度时调整合拢梁段底模标高,使其与箱梁悬臂端下缘顶紧,并能可靠地将悬臂端上的压力传递到支架上。

5.1.3 2m合拢梁段浇筑前,纵向加焊5根工字钢进行体外临时锁定,并张拉一组临时钢束,形成能承受拉压的临时刚性连接,使其纵向变形连续。

5.1.4 在当地夜间温度较低的时候浇筑合拢梁段的混凝土,并限4~5h内浇完,以达到低温合拢的目的。2m合拢梁段采用早强、高标号混凝土,以尽量缩短合拢梁段的整个施工时间。这样新浇混凝土的强度随着次日白天气温升高而增长,并能达到一定强度,对承受因梁体升温而产生的压力有利。合拢梁段采用早强、高标号混凝土,加强养护,要求一昼夜达到30%。

5.2 中跨合拢

五跨连续箱梁三个中跨跨中合拢梁段,在合拢吊架上立模浇筑。

由于中跨合拢时两相邻悬臂梁的自由悬臂长度大,各自所处的结构体系不相同,一侧为“T构”双悬臂体系,一侧为单悬臂筒支体系或多跨连续体系。在温度影响及施工荷载作用下,两相邻悬臂端将产生不同的纵向伸缩变形、竖向挠曲变形以及转动。同时由于2m合拢梁段混凝土浇筑前后有一个时间过程,梁体要经受昼夜温差、日照不均温差的影响,后浇混凝土本身要发生早期收缩,施工中荷载也在不断发生变化。考虑到上述各种因素极易影响合拢梁段混凝土的浇筑质

量,引起合拢梁段混凝土开裂,除采取边跨合拢的若干措施来控制 and 减小这些因素的影响外,另在跨中两悬臂端分别加压重(相当于合拢梁段混凝土自重的1/2),在浇筑合拢梁段混凝土的过程中分级卸除压重,并通过观测,控制合拢跨两悬臂端保持在相对静止状态。

6. 箱梁预拱度设置

箱梁挠度分析按施工过程分两步进行。

第一步计算各墩上不断浇筑的T构静定体系的挠度。

第二步计算悬臂箱梁逐跨进行体系转移,形成不同的中间连续体系,直至形成五跨连续梁体系的挠度。

上述各项挠度分析,没有考虑混凝土龄期差异对弹性模量的影响,徐变按混凝土平均龄期计算。

为了使建成后的箱梁桥面线形与设计线形相接近,根据上述两步分析的各种荷载变化引起的箱梁各断面的挠度之代数和(其中不含活荷载挠度)反号,作为各悬臂箱梁各断面的施工预拱度。

7. 下部构造设计特点

主墩为减少桥梁墩身阻水,墩身截面采用菱形与椭圆形相结合的空心墩身。两侧边墩为双排架。纵横均均采用拱形连接。

由于本桥处于地震基本烈度7度区,主桥又较长,为了减少制动墩分担的地震力,采用减隔震措施使地震能主要由减隔震支座耗散。总体减隔震措施:主桥只设一个制动墩,用来承担主桥的汽车制动力及其它在水平方向的荷载,其余支座均为盆式滑动支座。在6度地震烈度作用下制动墩正常工作,在7度以上地震烈度作用下隔震支座释放制动墩的顺桥向约束,使整个上部结构沿顺桥向滑动,从而达到减隔震目的。

8. 结束语

淮河主桥由于预应力设计吨位较大,同时采用了新型配索方案即只采用底板索、顶板索,仅在边跨端部因受力的特殊性配置部分弯起索的方案,腹板尺寸改为受力控制,减轻了桥梁自重。顶板内设置横向预应力筋,而锚具采用扁锚又使顶板厚度得以减薄,该桥上部构造三村指标为混凝土 $0.76 \text{ (m}^3/\text{m}^2)$,预应力钢材 $35.9 \text{ (kg/m}^2)$

、钢筋 $109 \text{ (kg/m}^2)$,反映了设计的先进性和科学性,目前淮河大桥主桥已完成施工。反馈情况较好,该桥的设计构思代表了中等跨径同类桥梁设计的普遍性,可为同类桥梁设计提供借鉴经验。

注:本文原载于《中国公路学会桥梁和结构工程学会2000年桥梁学术讨论会论文集》

(FIB) C9委员会第四次会议在同济大学召开

2001年9月17~19日,由同济大学主办,柳州市建筑机械总厂和天津钢铁钢缆集团有限公司协办的国际结构混凝土协会(fib)C9委员会第四次全体会议在同济大学召开。

fib C9委员会是“钢筋、预应力材料与体系委员会”(Reinforcing and Prestressing Materials and Systems Commission)。委员会会议每年在各国轮流召开,前三次会议曾在美国佛罗里达、俄罗斯圣彼得堡、英国伦敦召开。参加本次会议的有来自瑞士、法国、比利时、意大利、匈牙利、俄罗斯、日本和中国的近二十位委员及代表,国际结构混凝土协会(fib)秘书长H.R. Tewes先生出席了会议,同济大学校长吴启迪参加了开幕式并致欢迎词。中国工程院院士、国际桥梁与结构工程协会副主席、中国土木工程学会

副理事长项海帆教授参加了开幕式并致辞。

会议讨论通过了委员会第三次会议的纪要,审查委员会各任务组的活动,讨论了各任务组未来的活动。会上,国际结构混凝土协会秘书长H. R. Tewes先生介绍国际结构混凝土协会近期的工作,及其对本委员会工作的要求。会议还决定了本委员会下次会议的时间与地点。会议期间,中国土木工程学会混凝土与预应力混凝土分会与国际结构混凝土协会讨论了进一步合作的事宜。我国学者及预应力工程企业代表与国外代表进行了交流。会议完成了规定的全部议程,加强我国与国际上在该领域的交流,扩大了我国在这一领域的国际影响。

(据同济大学陆光间教授资料)

勘误:

《OVM通讯》2001年第五期第27页《OVM产品抢滩大上海》一文中第一段第4行“一举拿下总标价为80余万元……”应为“一举拿下总标价为800余万元……”,差错系编排和校对责任。转向作者和读者致歉。

《OVM通讯》编辑部