

# 浅谈苏嘉杭高速公路桥涵构造物设计

沈惠荣

【摘要】本文着重分析苏嘉杭高速公路桥涵构造物设计中的薄弱环节，提出优化设计方案。

【关键词】桥梁设计复核 钻孔桩 墩柱 连续箱梁

苏嘉杭高速公路北起常熟董浜，南止盛泽麻溪港，全长 100km。包括跨河、跨线及立交桥在内的各类桥梁近 200 座，总长 30km，通道、涵洞 100 多道。

技术可靠、经济合理、施工方便、造型美观是桥梁设计的一贯原则，构造物设计的成败直接关系到高速公路的使用。在苏嘉杭高速公路的建设中，业主一方面通过设计招投标选择了实力雄厚的交通部第二公路勘察设计院承担设计，同时实行设计监理，委托同济大学桥梁工程系承担设计复核。在此，结合工程建设谈谈对苏嘉杭高速公路桥涵设计的粗浅认识。

## 1、桥梁桩基设计

桥梁下部结构采用钻孔灌注桩基础，桩基为摩擦桩，最不利情况下支座不均匀沉降为 5mm~

10mm，桩径 1.0m~1.8m 不等。钻孔灌注桩基础作为一种较为成熟的结构，设计理论和施工技术相对完善，根据设计复核，单桩承载能力均满足规范要求。而且计算结果显示，承载能力富余量较大（一般达 20%~30%），桩基荷载试验也证明了这一点，见表 1、表 2。

在不同桩顶荷载作用下，桩端阻力及其与加载值之比值如表 3 所列，最后一级荷载 16000kN 作用下，吴淞江大桥试验桩（设计直径  $\phi$  1200mm，桩长 62m）的桩端阻力是加载值的 26.8%，桩顶总沉降量为 12.81mm，接近于桩身变形的弹性压缩量，具有嵌岩端承的特点。而苏州高架桥试验桩（设计直径  $\phi$  1200mm，桩长 64.5m）在最后一级荷载 16000kN 作用下的桩端阻力只有加载值的 13.7%，见表 4。桩顶总沉降量为 20.41mm（是前者的两倍），该桩荷载主要由土层摩阻力来承担，属细长型摩

表 1 苏州北互通立交 G 匝道高架桥单桩承载能力验算表（单位：KN）

基桩编号	荷载效应	单桩承载力	是否满足
G1	3000	3689	满足
G2	2812	3689	满足
G3	3006	3689	满足
G5	2987	3689	满足
G6	2821	3689	满足
G7	2883	3689	满足
G8	2821	3689	满足

表 2 单桩承载能力计算与试验对照表（单位 KN）

基桩编号	试验方法	理论计算容许承载力	试验单桩极限承载力	是否满足
吴淞江大桥试验桩	静载	4077	> 16000	满足
苏州高架桥试验桩	静载	4449	> 16000	满足
苏州高架桥 89-2 桩	高应变动力测试	4078	> 8000	满足

表 3 吴淞江大桥试验桩桩端阻力与加载值比较

加载值 Q(KN)	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
桩端阻力 G(KN)	370	390	430	570	590	800	970	1070
加载值 Q (KN)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	
桩端阻力 G (KN)	1350	1490	2070	2470	2860	3650	4280	

沈惠荣：苏州市交通局

擦桩。连续结构特别是小跨径连续结构，结构内力对基础不均匀沉降十分敏感，设计取用的不均匀沉降值为 5mm，为此必须控制基础的绝对沉降量，选择较好的桩尖持力层十分重要。另外，苏嘉杭高速公路建设期间，业主根据单桩承载能力静载试验结果，要求设计单位缩短桩长，节约工程造价，而实际上上部结构控制截面承载力能否满足要求直接取决于基础不均匀沉降的大小，单一按承载力决定桩长欠妥。

## 2、桥梁承台、墩柱设计

承台、墩柱设计中，往往忽略了施工的便利性，苏州高架桥全长 8.5km，下部结构采用花瓶墩和墩柱式，施工图设计承台标高随意性很大，变截面花瓶墩高度千变万化，增加了模板投入和拼缝数量。而在董浜枢纽互通的桥梁设计中，墩柱的规格有  $\phi 80\text{cm}56$  根、 $\phi 100\text{cm}18$  根、 $\phi 110\text{cm}4$  根、 $\phi 120\text{cm}361$  根、 $\phi 120\text{cm}$  墩顶圆柱形 4 根、 $\phi 140\text{cm}42$  根、 $\phi 150\text{cm}8$  根、 $\phi 160\text{cm}9$  根、肋形柱 18 根、方形柱 4 根，种类繁多，影响美观，不利于加快建设速度、降低工程造价。另外，固结墩的控制截面验算不可或缺，设计复算结果表明，桥墩与梁、桥墩与承台连接处截面最为薄弱。当连续刚构的固结墩墩柱在使用阶段有较大拉应力出现时，采用预应力结构较好，按规范规定墩柱混凝土标号不宜低于 40 号。

## 3、软土地基桥台设计

苏嘉杭高速公路软土路段一般采用“排水固结法”进行软基处理，根据路基沉降及稳定要求，

合理填土高度为小于 7m，预压期按 9 个月控制，采用桩柱式桥台能较好适应软基路堤填筑与桥台施工两者之间的工序衔接，桥台施工时可直接在预压稳定的路堤上钻孔成桩，施工简便，反开挖量和回填工作少，质量易确保，这已在沪宁高速公路桥梁设计中得到广泛应用，取得了明显的经济效益。由于采用埋置式桥台，台前需设计溜坡及锥坡起到反压护坡的作用，必要时还需增设反压护道，以增强路堤稳定，减小桥台位移。在苏嘉杭高速公路软土地基桥台设计中，大量采用了扶壁式桥台，选型要素是河道较宽，溜坡进入河中。而实际上双排桩扶壁式桥台大开挖及大回填造成的经济、工期、质量等负面影响必须认真考虑，应该与增加桥长采用埋置式桥台结构进行优化比选。

## 4、上部结构型式选择

本工程位于平微区河网地区，钢筋混凝土及预应力混凝土梁、板式结构能较好地适应本路段地形、地质条件及构造物跨度划分。跨等级航道和跨线桥选用预应力混凝土箱梁结构，匝道桥、跨主线桥梁为了确保美观，中型跨径一般选用钢筋混凝土连续箱梁。除大跨径及特殊型式的桥梁外，基本结构形式力求标准化、系列化，有利于工厂化制作，大型中桥及大桥、特大桥引桥选用 25~30m 跨度的预应力混凝土 T 梁或工字型组合梁，具有较明显的经济技术优势，跨径 10~20m 预应力混凝土简支空心板建筑高度低、施工方便，如表 5。与沪宁高速公路桥梁设计相比较，本次设计中钢筋混凝土连续箱梁跨径选择 18~22m 更为合理，

表 4 苏州高架桥试验桩桩端阻力与加载值比较

加载值 Q(KN)	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
桩端阻力 G(KN)	40	130	340	590	840	910	1070	1130
加载值 Q (KN)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	
桩端阻力 G (KN)	1320	1510	1620	1710	1820	1970	2190	

表 5 结构型式与跨径对照表

结构型式	钢筋混凝 凝土板	预应力 空心板	预应力宽 幅空心板	预应力 T 梁 或工字梁	砼连续箱	预应力 连续箱梁	变截面预应力 连续箱梁
跨径 (米)	8~10	13~16	20~25	25~30	18~22	25~50	> 50

有利于控制墩顶裂缝的出现。

但是, 充气橡胶芯模成孔的圆孔形先张法预应力空心板挖空率小、自重大、材料用量多, 因此是一种不够经济的结构。在苏嘉杭高速公路桥梁设计中, 大挖空率薄壁空心板得到推广使用, 不但用于简支桥面连续结构, 也用于墩顶连续和墩顶固结体系上。预应力扁锚体系的应用, 使结构截面尺寸更趋合理, 材料用量进一步减小, 自重减轻, 经济效益十分明显。但扁锚体系预应力索在板梁腹板内的弯起给施工控制带来了困难, 施工中必须认真编索, 严禁预应力索交叉打结, 同时需要测定预应力的锚口损失。张拉后, 在梁端顶板中部易产生纵向裂缝, 局部应采用钢纤维混凝土或增加配筋量。

表6、表7是桥梁上部结构单位面积材料用量情况。

苏嘉杭高速公路桥梁设计总体布置、结构选型经济合理, 但个别桥梁设计中也存在明显不足。如常昆立交上部结构布置为  $2 \times 24.6 + 34 + 2 \times 45 + 34 + 24.6$  (m) 预应力混凝土连续箱梁, 采用233.494m的底板通长预应力索, 预应力损失较大。而董浜互通D匝道桥全长741.35m分四联, 第一联:  $4 \times 28 + 2 \times 35 + 2 \times 28$  (m), 第二联:  $3 \times 26.93 + 2 \times 35 + 2 \times 27$  (m), 第三联:  $14 + 5 \times 20 + 14$  (m), 第四联:  $16 + 6 \times 22 + 16$  (m), 不统一的桥跨布置, 影响了整体结构的美观。

苏嘉杭高速公路桥梁设计中部分钢筋混凝土、预应力混凝土连续箱梁施工工况选择不尽合理, 一联整体浇注或逐跨施工的工法有一定的适用范围。苏嘉杭高速公路桥梁绝大部分位于软土路段,

桥头填土高度3~6m, 一般采用“排水固结法”进行软基处理, 根据路基沉降及稳定要求, 预压期按9个月控制(部分路段实际施工稳定期大于12个月), 一联整体浇注或逐跨施工的工法要求桥头路堤稳定后方可开工, 严重影响了施工进度。而苏州高架桥中3km多的预应力展翼箱梁设计采用每联独立施工的工法, 给施工组织带来了极大的便利。

## 5、钢筋混凝土、预应力混凝土箱梁设计

设计复算结果表明, 苏嘉杭高速公路桥梁设计中钢筋混凝土、预应力混凝土连续箱梁在施工阶段和使用阶段各种荷载下均能较好满足设计规范要求, 结构安全可靠, 同时也存在一些不可忽视的问题。

### 5.1 在软土路段预应力混凝土连续刚构箱形梁桥应力验算应予以足够重视

常熟互通式立体交叉E匝道桥第二联, 设计采用  $(18 + 2 \times 25 + 18)$  m的预应力混凝土连续刚构箱形梁桥, 验算表明, 使用阶段箱梁截面混凝土最大正应力在规范规定的容许应力范围内, 组合I和组合II在箱截面上都有拉应力产生, 荷载组合II时箱梁截面的拉应力最大, 5号和7号桥墩靠中间一侧的截面下缘在7m左右范围内拉应力值

表7 20米跨径上部结构单位面积材料用量表

项目	单位	结构形式			
		组合箱梁	圆孔型空心板	组合工字梁	大挖空心板
建筑高度	m	1.1+0.1	0.95+0.1	1.35+0.1	1.1+0.1
混凝土	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.369	0.646	0.375	0.338
沥青混凝土	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.094	0.094	0.094	0.094
钢绞线	kg/m <sup>2</sup>	10.33	14.94	7.89	10.74
普通钢筋	kg/m <sup>2</sup>	51.98	42.46	74.55	78.91
其他钢材	kg/m <sup>2</sup>	2.15	4.18	3.33	1.37

表6 典型桥梁结构上部结构单位面积材料用量表

项目	单位	4 × 20 + 16.199m 钢筋混凝土连续刚构	5 × 25m 预应力 T 梁	4 × 30m 预应力工字梁连续刚构	2 × 34 + 32.34m 预应力展翼梁连续刚构	40 + 70 + 40m 预应力变截面连续梁
建筑高度		1.2	1.6	1.95	1.6	2.0~3.8
混凝土		0.48	0.390	0.512	0.55	0.767
钢绞线			8.511	11.5	24.67	36.45
普通钢筋		131	52.44	105	97.94	65.32

都在 $-1.6\sim-1.7\text{MPa}$ 之间,同时5~7号桥墩墩顶处箱梁截面上缘拉应力为 $-1.1\sim-1.3\text{MPa}$ ,产生较大拉应力的主要原因是支座沉陷和温度变化产生的箱梁弯矩较大,见表8。

苏州高架桥77号~81号墩为 $(30+2\times 40.5+30)\text{m}$ 的四孔一联预应力混凝土连续刚构箱梁桥,采用挂篮悬臂浇筑施工,下部为双柱式桥墩, $\phi 1.5\text{m}$ 钻孔灌注基础。该桥连续刚构的三个固结墩采用普通钢筋混凝土墩柱,仅墩柱上端 $3.5\text{m}$ 范围内有箱梁伸下来的竖向预应力钢筋,混凝土标号30号,计算分析表明,温度变化和支座不均匀沉降在固结墩底部产生较大的弯矩,有裂缝出现,见表9。

对此,针对软土路段预应力混凝土连续刚构箱形梁桥设计建议:

(1) 桥梁下部结构钻孔灌注桩基础选择较好的桩尖持力层十分重要,严格控制基础的绝对沉降量。

(2) 固结墩验算有裂缝出现时,固结墩柱宜采用预应力混凝土结构。

(3) 强化箱梁截面混凝土最大正应力验算,合理布置预应力索。

(4) 当选用多跨一联连续刚构体系,边跨的固结墩可释放改为支座墩,苏州高架桥中预应力展翼箱梁设计中采用了这种设计原则。

(5) 满堂支架施工时,建议采用100%荷载预压,对于支座墩,支座的埋设预防脱空。

表8 不同荷载产生的箱梁截面弯矩(KN-M)

截面位置	5号桥墩处箱梁右截面		6号桥墩处箱梁左截面		7号桥墩处箱梁左截面	
结构自重	-4231		-5156		-4534	
汽-20	-1519	307	-1565	236	-1570	171
挂-120	-3029		-3089	3166		
箱梁顶板升、降 $5^{\circ}\text{C}$	-909	909			-909	909
环境升、降 $20^{\circ}\text{C}$	-830	830	463	463	-848	848
支座不均匀沉陷工况1	2487		-2455		2429	
支座不均匀沉陷工况2		-2487		2455		-2429

说明:支座不均匀沉陷工况1为5号、7号桥墩沉陷 $10\text{mm}$ ,4号、6号、8号桥墩不沉陷,工况2为5号、7号桥墩不沉陷,4号、6号、8号桥墩沉陷 $10\text{mm}$ 。

5.2 预应力混凝土连续箱梁负弯矩区的配束  
常熟互通式立体交叉E匝道桥第二联,设计采用 $(18+2\times 25+18)\text{m}$ 的预应力混凝土连续刚构箱形梁桥,截面极限承载内力验算结果表明,5号桥墩及7号桥墩处箱梁截面组合II时截面极限承载能力不够,其原因主要是箱梁截面的预应力配束不合理,按箱梁预应力束布置图,在5号桥墩及7号桥墩处箱梁截面的预应力束布置偏下,4根 $\phi 15.24-19$ 预应力钢束的重心离上缘 $0.55\text{m}$ ,该截面的形心到上缘的距离为 $0.556\text{m}$ ,因此4根 $\phi 15.24-19$ 预应力钢束产生的极限抵抗弯矩就小,只要将预应力束重心提高 $0.2\text{m}$ ,截面极限承载弯矩就能满足设计规范要求。

常昆线立交桥采用 $(2\times 24.6+34+2\times 45+34+24.6)\text{m}$ 预应力混凝土连续刚构箱梁桥,桥墩处箱梁截面上缘的预应力束布置偏下,16根 $\phi 15.24-12$ 预应力钢束布置在梁肋,重心离上缘 $0.60\text{m}$ ,有8根 $\phi 15.24-12$ 预应力钢束布置在底板,抵消了梁肋内预应力钢筋产生的支点断面正弯矩,箱梁截面上缘产生较大拉应力。而底板束采用 $233.494\text{m}$ 的特长预应力索,预应力损失大,施工困难。

5.3 三向预应力结构竖向预应力设计有待优化

表9 桥墩下部裂缝宽度验算(单位: mm)

计算工况	78号墩柱底	79号墩柱底	80号墩柱底	容许值
组合I	0.13	0.0135	0.12	0.20
组合II	0.216	0.02	0.21	0.25
组合III	0.095	0.095	0.084	0.25

斜港大桥主桥为三跨变截面预应力混凝土连续梁,左右半桥跨径分别为(56+80+48)m、(48+80+56)m,采用三向预应力体系:纵向、横向采用270级高强低松弛钢绞线,分别采用OVM、OVM-BM锚具,竖向预应力采用直径为25mm精轧螺纹IV级粗钢筋。根据箱梁截面横向计算,由于采用了竖向预应力,未计普通箍筋的抗剪作用,截面内的主拉应力也很小,腹板箍筋采用 $\phi 16$ 的II级钢筋,间距10cm,似无必要。另外, $\phi 25$ 竖向预应力筋在全桥长度内每0.5m布置1根也无必要,这一点在其他几座特大桥设计中也有类似情况,表6中(40+70+40)m预应力变截面连续梁上部结构单位面积材料用量偏大,直观地反映了这种情况。而箱梁底板的横向和部分纵向钢筋采用了 $\phi 16$ 的II级钢筋,也可以考虑减小些。

#### 6、水网地区软土路段通道设计

水网地区地势低洼、排水不畅,通道埋置过低容易造成通道内积水无法自排,影响交通。苏嘉杭高速公路施工期间已发生通道积水被淹而影响使用的情况,沿线居民反映强烈。虽然通道的设计原则要求通道路面高于被交路原路面(或原地面),使积水能自然排出。但实际施工中发现,由于路基的预压沉降,通道的沉降在所难免。苏嘉杭高速公路设计中,通道处软基均采用粉体搅拌桩进行处理,地基强度得到提高,以此来控制沉降。但施工中发现处理效果不尽理想,仍然发生较大沉降(最大达25cm),给后期处理带来很大困难。

采用“预留拱度”处理地基,由于预留拱度取值难以准确,与实际沉降往往存在较大出入,影响路面施工,可操作性不强。

采用“反开槽”法施工,虽然工序重复、费工费时,但实际处理效果较好。关键要做到反开槽时沉降速率控制在0.5mm/月,同时要确保二次回填质量。

#### 7、结语

近年来,我国公路设计单位已积累了大量成熟的高速公路桥梁设计经验,但随着我国新一轮高速公路建设高潮的掀起,加强设计管理,提高桥涵设计质量是当前的迫切任务。笔者体会如下:

(1)设计单位必须严格把握总体设计方案和原则。

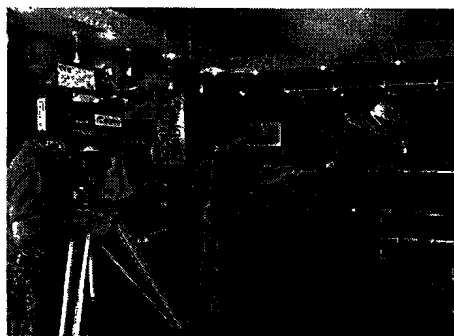
(2)结合工程建设实践和科研成果不断总结积累设计经验,同时在使用成熟的设计经验时,必须与项目的特殊建设条件紧密结合,避免生搬硬套。

(3)完善项目前期工作程序,严格设计招投标,积极推广设计监理。

#### 参考文献

- [1] 同济大学桥梁系。苏嘉杭高速公路桥梁设计复核报告,2001
- [2] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ023-85)
- [3] 范立础等。预应力混凝土连续梁桥,人民交通出版社,1999
- [4] 姚玲森。桥梁工程,人民交通出版社,1993

#### ●信息窗●



OVM公司副董事长、党委书记陈谦同志正在接受广西电视台、广西人民广播电台、柳州电视台和柳州人民广播电台“再造一个工业柳州”采访团的联合采访。