

苏嘉杭高速公路苏州高架桥现浇箱梁施工控制

沈惠荣

【摘要】现浇箱梁施工在高速公路桥梁建设中广泛采用，苏嘉杭高速公路苏州高架桥现浇箱梁施工中对施工技术要求提出了更高的标准，以确保达到“线形美观，衔接平滑”的质量要求。

【关键词】支架受力计算 弹性变形计算 支架预压

苏州高架桥是苏嘉杭高速公路苏州至吴江段二期工程，位于中新工业园区走廊带，起讫桩号为K44+400~K53+800，全长9.4公里，其中路基长度884.96m，桥梁长度8518.04m。工程所在地位于城乡水网地区，道路水网众多，路线从南到北依次跨越苏州市区的东兴路、机场路、金鸡湖路、中新路、三星路、苏虹西路、娄江六级航道、老312国道、沪宁铁路、规划沪宁高速铁路、新312国道、外塘河、沪宁高速公路，全线桥梁最大跨径68m，跨径种类29种，上部结构有工字梁、钢筋混凝土箱梁、普通预应力箱梁、预应力展翼箱梁、预应力宽幅空心板等五种。施工方法有预制吊装、支架现浇、挂篮悬浇三种。

苏州高架桥位于苏州市东郊，地貌属于长江三角洲冲积平原，其特征为平坦的水网平原，区内地势低平开阔，总体上北低南高，地面标高一般为2.01~3.53m，区域水系发达。地下水位埋深0.20~1.30m。

苏州高架桥箱梁分钢筋混凝土和预应力混

土箱梁二种，跨径小、平曲线段、变宽段一般设计为钢筋混凝土箱梁，较大跨的选取预应力混凝土箱梁，在施工控制上，为了达到指挥部提出的“学沪宁，创国优，争一流”的总体质量目标和：“外光内实，色泽一致，无蜂窝麻面，几何尺寸准确，线形美观，衔接平滑，有一定镜面效果”的桥梁工程的质量目标。除了按施工技术规范要求进行现场质量控制外，采取了更为严格的措施，下面选用典型支架方案（如图1）讨论几个问题：

梁式结构支架的缺点是弹性变形较大，选用这种结构时，跨径宜取小跨径，在施工方案确定时首先要进行力学计算，选用经济跨径，同时减小跨中弹性变形。

1、支架受力计算

首先选定设计荷载，对于有经验的技术人员，可以按传统的支架结构测算荷载，但一般应按倒推法，从模板——楞木——横梁——纵梁——帽梁——立柱计算支架荷载。其次是荷载组合，可以从众多的参考文献和交流材料上看到，现用施

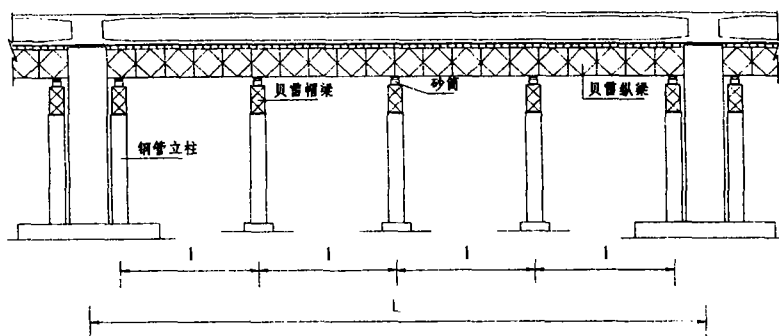


图1 苏州高架桥梁式结构支架方案

沈惠荣：苏嘉杭高速公路建设指挥部

工支架的验算方法极不规范,一般按容许应力法设计^[1],但有不少采用极限应力法验算支架^[2],甚至于二者混为一谈,这里有必要说明几个问题:

(1)容许应力法和极限应力法其根本的目标是一致的,关键在于技术人员的把握。

(2)极限应力法荷载组合系数的选用不能生搬桥梁设计规范,施工支架计算应以静载为主,其安全系数的选用又与施工管理的水平紧密相关,特别是箱梁自重的确定非常重要,建议模板、支架和脚手架的安全系数与箱梁的自重安全系数区别对待。底板、腹板与顶板分两次施工时,个别施工队在支架验算和支架预压时希望在第二次浇筑时第一次浇筑的混凝土承受一部分荷载,这种想法是相当危险的^[2]。而活载的确定必须严格按施工组织的要求,相同的多次施工过程中不能随意变更施工方案。

(3)安装误差和基础沉降在支架计算中也应考虑,对于超静定结构支架,结构实际受力与计算假定相差甚远。支架力学计算中需纠正的问题:首先要在静力计算时考虑不均匀沉降产生的内力,其次,桥梁结构计算中假定的下部结构不均匀沉降一般情况下指桥墩的相对沉降值,而梁式结构支架计算时,还应考虑横梁下支撑柱的不均匀沉降。

(4)支架系统的联结与桥梁结构也有极大差异,比如:80CM钢管和贝雷横帽梁的接触在实际施工中要做到与桥梁结构盖梁和大梁通过支座接触完全一致是根本不可能的。

(5)就目前使用的支架材料所提供的技术参数,大部分是按传统的容许应力法提供的(如钢贝雷)^[3]。

(6)必需充分考虑支架使用材料与桥梁结构使用材料的不同,支架使用材料没有经过严格的检验和试验,又经过多次反复使用,更何况现今的材料质量已有所下降。如“321”装配式公路钢桥,

根据中交公路规划设计院抽检测试结果,“文革”以后生产的“321”钢桥产品质量严重下滑^[5]。

(7)当地基承载力在设计中没有详尽资料时,可以选择典型地基做加载试验。

2、支架弹性变形计算

不能简单套用 $f/L < [f/L]$,同时对 $[f/L]$ 的取值要进一步提高标准,一般要求钢模板的结构体系容许挠度为相应结构跨度的 $1/1000L$,外模取模板结构跨度的 $1/400L$ ^[1]。首先不能生搬硬套,也不能误套用桥梁结构通常使用的最大挠度指标 $1/600L$ 。挠度值的计算与容许值的确定应分为二类,一类是可以通过设置预拱来消除的(如立柱、纵梁的弹性变形),根据结构的设计和使用的材料可取用 $1/400L-1/600L$,另一类是通过设置预拱来消除非常困难的(如楞木、模板等),这种构件在挠度计算时应按结构的重要性和部位合理选用,可以按照验收标准反算其容许挠度,如箱梁平整度按 5mm 标准验收(2m 直尺检验)^[4],则必须要求在 2 米范围内楞木、模板的变形总量小于 D_1 ,支架沉降变形小于 D_2 (在混凝土强度达到设计文件中要求的时间内),模板自身平整度 D_3 ,模板安装误差 D_4 ,测量误差 D_5 , $D_1 \sim D_5$ 之和小于 5mm。支架弹性变形的二重控制:箱梁表面平整度和线型是首要控制,通过预压消除非弹性变形,通过设置预拱和控制楞木、模板的弹性变形来消除支架弹性变形不利影响。控制标高则是第二重控制,当底模标高误差较大时,将产生几个方面的不利影响:一是底板平整度,二是底板标高和线型,三是梁高,四是混凝土保护层厚。

3、地基处理

由于支架方案的不同,大致分为桩基础和条形基础两大类,当支架位于深厚软基或河塘、跨河时,应选用桩基础,以钢管桩基础为主,钢管桩的优点是力学计算明确,但也要注意,桩深不宜太深,当超过一定入土深度时,拔桩十分困难。

当采用木桩时,宜用群桩,同时由于木桩一般入土深较浅,桩的几何尺寸、河床标高的变化等因素在桩深设计时需充分考虑,支架相应选用梁式结构。在通航河道或航道,主跨内需设置护桩,迎车(船)面还需设置足够强大的导向防撞墩。

4、支架预压

一般在设计文件中提供建议的预压荷载为箱梁自重的80%,在苏州高架桥施工中,要求预压荷载提高到箱梁自重的100%(个别超载)。预压首要解决的问题是消除支架和地基的非弹性变形,同时可以观测到支架的弹性变形值,预压的时间主要取决于非弹性变形,而非弹性变形受时间影响大的又是地基的非弹性变形,需从两个方面考虑,一方面要对地基情况进行分析,当地下软基深厚时,首先基础宜选用桩基,软基薄而弱时,可以考虑换土(可以选用土、灰土、道渣等)或者把表层软土清除后直接做基础,但需注意设计好地表排水。当地下软基深厚,预压沉降不能及时收敛时,可以采取三个措施,一是增加预压荷载,预压荷载提高到箱梁自重的110%~150%,二是当超载较大时,可以分两次预压,首先对基础直接压载,一般荷载压到箱梁自重的150%~200%,当支架完成后再按箱梁自重的100%压载,三是提高混凝土的早期强度,对于预应力混凝土结构,应及时张拉。按观测到的支架弹性变形值可以指导两项工作,首先是通过设置预拱度来调整模板标高,其次,当观测到的弹性变形较大时,如果梁式支架是多跨连续的,则在施工中混凝土的浇筑顺序需优化。预压中需注意的几个问题:

(1) 沉降观点的设置:由于梁式结构支架顶面(或模板顶面)的沉降值不能客观反映各支撑点的沉降值和稳定状态,必须在支架基础、立柱、横梁、纵梁顶面同时设置观测点,以确保观测数据能反映支架的结构强度、刚度、稳定性,同时也能有效检验地基处理的效果。

(2) 由于沉降值预测的不确定性,实际施工中可以通过二种手段处理,一是对支点的超载预压,消除大部分的沉降量,二是在沉降稳定后调整支架,单一调整模板标高是不够的。

(3) 砂筒作用的误区:传统施工中砂筒分二大功能,一是调整标高,二是落架。而实际上砂筒不能同时兼二种功能,如用作调标高,砂筒自身变形将继续存在,必须明确要求砂筒只能作为落架用,同时要求落架用砂筒按计算荷载在千斤顶上预压,预消除砂筒自身变形。

(4) 由于箱梁腹板、横梁处与箱室底板处的自重相差较大,预压荷载的布置应根据实际荷载布置。

(5) 多跨一联连续作业时,严禁预压完成后将预压砂袋搬运至已完相邻跨的箱梁顶面,施工中施工单位为了图一时便利,将预压砂袋搬运至已完相邻跨的箱梁顶面,可能造成箱梁受力超出设计施工荷载(特别是当支架已拆除时),同时将造成拼接截面的上翘,影响后续跨施工在拼接处的连续性和成桥线型。

(6) 预压仅能消除和实测各种变形,施工中应避免通过预压来验证地基和支架的承载力及稳定性。一方面,预压荷载一般仅占箱梁自重的80%~100%,没有安全系数,且预压荷载与箱自重的实际分布不完全一致。

5、模板

现浇箱梁的底模、侧模绝大部分采用竹胶板,而侧模也有选用钢模的。当用竹胶板时,一般不用脱模剂,脱模后混凝土表面才有一定的镜面效果。而采用钢模的最大缺点是生锈,特别是预压时间较长时,钢模的锈迹映射到混凝土表面,混凝土表面外观色泽较差,苏嘉杭高速公路苏州高架桥施工中,个别标段采用了钢模,箱梁侧面混凝土色泽十分难看,后来将脱模剂改为ZM-90长效脱模剂,表面效果明显改善。ZM-90长效脱模剂

为单组份改性聚氨脂产品，经涂装后，涂层不仅有良好的脱模性，而且还具有良好的耐碱性、耐热性、耐磨性和优良的附着力。使用竹胶板时，拼接方法宜用直拼或企口拼接，拼缝处用玻璃胶和胶带纸处理都会在混凝土表面留下明显的痕迹。混凝土浇筑前底模的清理已是基本要求，在苏州高架桥箱梁施工中提出了更为严格的要求，要求钢筋电焊时底模上临时铺垫铁皮，杜绝电焊在底模上形成烧伤破坏反射到混凝土箱梁底面。

6、混凝土浇筑

首先是建立集中拌和站，大型拌和站和工地

实验室配套建设是混凝土供料、质量的保证，配置大型料场使骨料的质量可靠、稳定。在当前高速公路建设中，甲控和甲供材料已被批判，但苏嘉杭高速公路高架桥中使用了甲供水泥，撇开甲供材料在管理上的不足，甲供水泥给苏嘉杭高速公路高架桥的建设至少带来二个方面的益处，其一，同一厂家水泥的质量相对稳定(如表1、表2)，有利于确保混凝土的内在质量，其二，使用同一厂家水泥施工的混凝土箱梁外观色泽均匀一致。

混凝土浇筑前由现场作业班提出混凝土浇筑申请，报项目部批准后转工地实验室，由工地试

表 1 七月份出厂水泥(P.042.5)抗压强度(MPa)月报表 部分

生产日期	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
金猫水泥厂	53.8	54.8	56.5	58.1	56.1	57.7	55.9	56.9	56.3	57.3	57.0
天平水泥厂	51.1	51.7	52.6	51.0	52.2	52.9	51.3	51.7	50.8	50.5	51.8

表 2 七月份出厂水泥(P.032.5)抗压强度(MPa)月报表 部分

生产日期	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
金猫水泥厂	47.6	46.0	46.9	48.2	46.0	47.7	47.0	46.9	44.4	46.0	46.2
天平水泥厂	42.4	40.7	41.4	41.1	41.8	41.8	43.0	40.8	42.5	41.5	42.9

验室提供施工配合比，以混凝土浇筑现场坍落度为目标坍落度加施工坍落度损失来调整出料混凝土坍落度，施工配合比转发拌和站，拌和站实行施工配合比挂牌施工，便于监理检查和监控。混凝土坍落度的控制应实行双控，一方面在拌和场测定混凝土坍落度，另一方面要在混凝土浇筑现场测定混凝土坍落度。

施工中另一个需调整的指标是混凝土的初凝时间，确保施工中箱梁混凝土不出现冷缝，在苏州高架桥施工中，进入6月份后施工单位调整混凝土的初凝时间长达10小时以上，同时调整浇筑

时间和顺序，消除了两次浇筑界面上出现的冷缝。

箱梁混凝土施工中另一个关键是选择合理的浇筑顺序，一般现浇箱梁分次浇筑，第一次浇筑底板和腹板，第二次浇筑顶板，这样的好处是两次浇筑接合面的施工缝可以消除(图2)。在每次浇筑时同样要选择正确的浇筑顺序，一般先施工跨中再施工墩顶，当采用梁式支架时，可以先施工支架的跨中，再施工支架的墩顶，对于多跨连续梁，需要分几个作业面同时施工，可以按跨中—墩顶—跨中—墩顶的平行作业方式向前摊进。箱梁浇筑时由于时间长、工作面大，在施工前必须

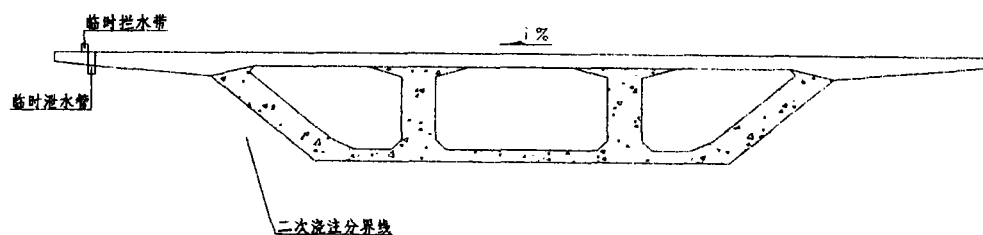


图 2 二步浇筑方案

了解详细的天气情况并作好防雨措施。

7、临时支撑与支架拆除

苏州高架桥预应力展翼箱梁桥全长 3.953km, 为了确保相邻两联预应力箱梁的同时施工(预留预应力张拉空间), 在伸缩缝端设计了分二次浇筑的端横梁, 箱梁边孔设置临时支撑, 施工完成全部预应力钢束并待端横梁施工完成, 其混凝土强度达到设计强度以后, 方可拆除临时支撑(图 3)。临时支撑采用可靠的材料制作, 必须保证临时支撑的可靠性和稳定性, 使得临时支撑在施工过程中不发生沉降。临时支撑与箱梁支架分离, 以消

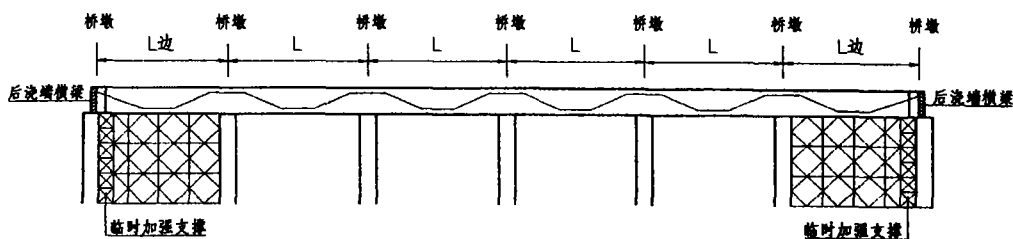


图 3 临时支撑 方案

8、维护

为了保持外观色泽, 适当的维护是必不可少的, 现浇箱梁施工完成后, 由于外护栏的施工和泄水管的安装还有一段时间, 桥面作业时产生的钢筋锈水和预应力管道压浆余留物等将顺雨水从箱梁翼板和泄水管预留孔下淌, 造成箱梁翼板、腹板的二次污染, 因此, 箱梁支架拆除后, 需及时在外侧护栏处设置临时砂浆拦水带, 并安装临时泄水管(图 2)。

9、结语

苏嘉杭高速公路苏州高架桥建成以后, 全桥结构棱角分明、线形流畅、外观颜色协调, 得到一致好评, 取得了良好的社会效益, 本文以梁式结构支架为基础, 讨论现浇箱梁施工中的注意要点, 当采用其他类型的支架施工时, 需结合结构设计型式着重分析支架的特殊性, 在施工中采取相应的技术对策, 以确保工程质量。

除箱梁支架不均匀沉降的影响。

对于钢筋混凝土连续箱梁, 当一联几跨分次浇筑或逐跨施工时, 已施工完箱梁支架拆除时宜留 1 跨加 1/4 跨支架(图 4), 以确保后续跨施工在拼接截面的连续性和成桥线型顺直。

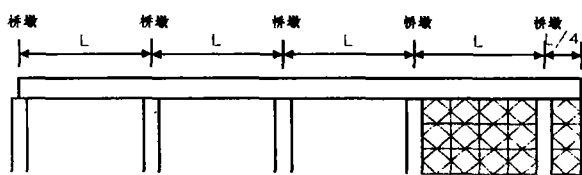


图 4 支架拆除方案

参考文献

- [1] 杨理准, 武吉中, 余军. 公路施工作业手册. 北京: 人民交通出版社, 1992.
- [2] 北京城建集团青公路施工编委, 高速公路施工管理与技术. 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [3] 交通部第一公路工程局, 公路施工手册桥涵. 北京: 人民交通出版社, 1985.
- [4] 中华人民共和国行业标准. 公路工程质量检验评定标准(JTJ071-94). 北京: 人民交通出版社, 1994.
- [5] 喻忠权. 加强“321”钢桥产品质量控制. 公路, 2000(1).
- [6] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ023-85).
- [7] 范立础等. 预应力混凝土连续梁桥. 人民交通出版社, 1999.
- [8] 姚玲森. 桥梁工程. 人民交通出版社, 1993.
- [9] 黄绳武. 桥梁施工及组织管理. 人民交通出版社, 2000.