

# 城闸大桥主梁挂篮设计与施工

叶新<sup>1</sup>, 朱晓明<sup>2</sup>, 姜玉龙<sup>2</sup>

(1.南通市市政工程建设管理处, 浙江南通 226007; 2.中国路桥集团第二公路工程局, 陕西西安 710065)

**摘要:**南通市城闸大桥主桥为142m+110m+45m+45m独塔中央索面预应力混凝土斜拉桥,倒梯形展翅箱梁,单箱五室结构,桥面宽为34m。该文重点介绍该主梁后支点挂篮设计及悬臂施工技术,并对挂篮的设计、施工及管理进行了总结。

**关键词:**斜拉桥;倒梯形展翅箱梁;挂篮;设计;施工

**中图分类号:**U445.46 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2007)01-0061-05

## 1 工程概况

城闸大桥横跨通吕运河,位于通扬运河与通吕运河汇合处西侧,南接孩儿巷北路,北与外环北路相交。城闸大桥是南通市2004年度城建重点工程项目,也是南通市城建历史上技术难度最大的桥梁工程建设项目。城闸大桥荷载标准为城-A级。主桥为独塔中央索面预应力混凝土斜拉桥,7#墩处为塔、梁、墩固结体系。桥梁总长596.2m,跨径布置为6×25m+142m(主跨)+110m(边跨)+2×45m(辅助跨)+4×25m。其中主桥长342m,主跨跨越北侧航道,主塔设于分水岛上,南侧水道设两个桥墩,主桥两端边墩设于河岸上。斜拉索布置形式为扇形索面,对称布置于主塔两侧,全桥共19对(76根)索(见图1)。

## 2 主梁

### 2.1 主梁断面设计

主梁采用C50混凝土,倒梯形展翅箱梁,单箱五室结构,箱顶全宽34m,底宽14m,悬臂板长4.25m,设双向1.5%的横坡,主梁高3.12m,在中央索区段主梁顶加厚12cm。主梁由顶板、底板、斜腹板、直腹板和横隔板组成。主梁标准断面顶板厚24cm,底板厚30cm,斜腹板厚24cm,直腹板厚25cm和35cm,横隔板每6.2m设一道(一个索距),横隔板厚50cm。边跨无索区横隔墙间距基本为6.2m。主梁标准断面见图2。

全桥主梁共划分了38个块段,分为挂篮悬浇、支架现浇及合龙段共3种类型。挂篮悬臂浇筑块段共29个,标准节段长度为6.2m,支架现浇块段为7个,其中2×45m辅助跨为部分水中施工及部分筑岛施工,0#块及1#、2#块分别在岛上支架现浇。合龙段2个,长度均为1.5m。

## 2.2 主梁结构特点及主要施工技术难点

### 2.2.1 主梁结构特点

根据主梁设计情况,可以形象地将主梁特点概括为:一宽(梁的宽度34m)、二高(混凝土浇筑要求高,施工控制要求高)、三多(节段数多、预应力束种类多、箱室多)、四紧(工期紧、资金紧、安全形势紧、质量控制紧)。

### 2.2.2 主梁结构施工主要技术难点

(1)单箱五室结构混凝土浇筑以及现浇段支架沉降控制问题。

(2)主梁采用截面复杂、一次浇筑节段长(6.2m)、一次浇筑混凝土方量大(每块段重400.4t),后支点挂篮悬浇,其施工控制非常困难,特别是主梁的线形控制问题。

(3)超宽幅混凝土主梁的斜拉索索力精度与对称平衡控制有较大的难度。

(4)单箱五室的主梁构造,其内模系统非常复杂。所有内模构件必须通过狭小的横隔梁人洞进行运输,因此内模所有构件必须分解成小块,现场工作量相当大,工作周期长。

(5)斜腹板长6.22m,厚度24cm,除有上下两层钢筋外,斜腹板中央还设有3束预应力束。其混凝土下料和振捣控制难度相当大,控制不好,会发生胀模或混凝土不密实现象。

(6)索道管及横向应力索定位难度大。

## 3 挂篮结构设计

施工图及设计交底报告中明确:主梁悬浇挂篮应具有足够的强度与刚度,一副挂篮重量(含模架)不宜超过140t。挂篮作用于主梁支点位置施工方需作必要的局部检算,并与设计方协商后确定。施工单位根据主梁的特点对挂篮进行了专门的设计。

### 3.1 挂篮结构设计目标

适应本工程特点的后支点挂篮要求具有构造简单,受力明确,结构自重较轻,整体刚度大,操作调整方便,制造成本省等优点,平面及标高调整均

收稿时间:2006-11-29

作者简介:叶新(1968-),男,江苏南通人,高级工程师,从事城建工程施工、监理、管理等工作。

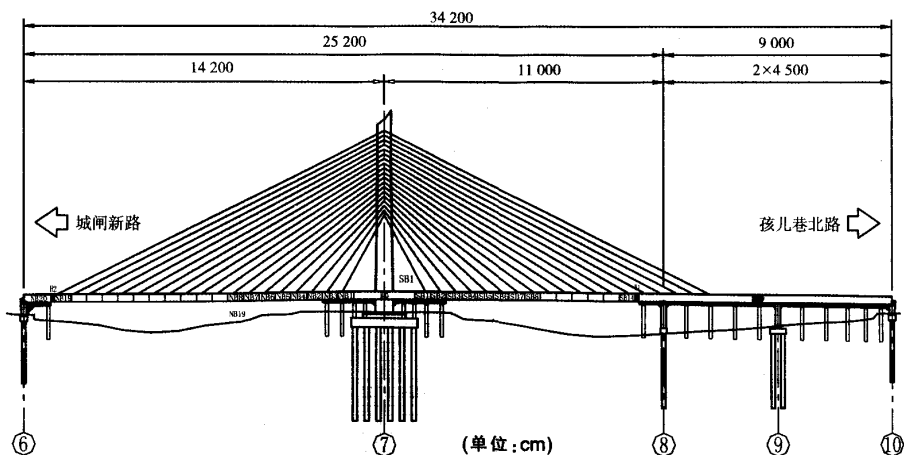


图1 主桥桥式布置、悬浇、支架施工示意图

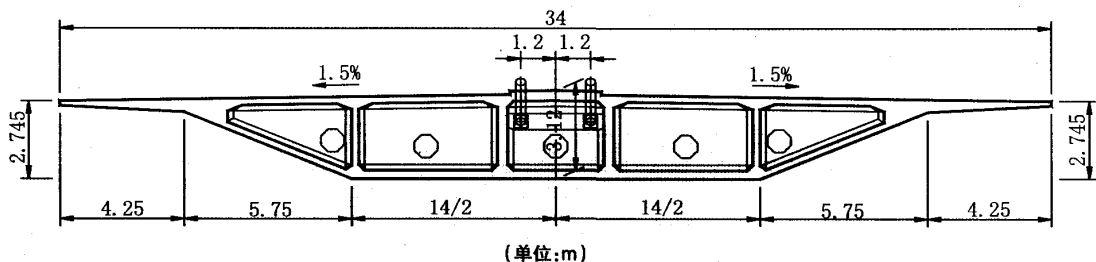


图2 主梁标准断面

采用国产通用设备。

### 3.2 挂篮结构设计构思

挂篮主体结构形式作了如下定型:

(1)本桥为独塔中央索面预应力混凝土斜拉桥,从挂篮受力横向稳定性方面考虑,采用后支点挂篮。

(2)挂篮主桁选择4片,简化结构,减轻重量。

(3)挂篮主桁摒弃菱形结构,避免最长的斜向杆件成为受压杆,选用常规三角结构,提高结构的稳定性。

(4)挂篮后横梁采用与C型钩结合的挂篮滑移形式,降低现场施工难度。

### 3.3 挂篮技术创新

(1)在挂篮结构上,采用稳定性好的三角空间桁架结构形式。

(2)挂篮行走过程中,主桁不设置中吊点,而是采用了一般情况下前支点挂篮才采用的C型钩,与后横梁焊接,悬挂于箱梁两翼缘板上。C型钩前移第一次采用ZWY-60型移运器。

(3)为改变目前国内挂篮适用性差、“一桥一篮”的弊病,挂篮底篮采用自行加工的工80型钢后横梁,避免采用型钢桁架结构(组成的小型钢均为一次性),本后横梁在挂篮行走阶段的最大挠度为23.2

cm,在控制范围内。

(4)挂篮底篮采用工36a做纵梁,挂篮使用完毕后,可用于支架、模板背枋、栈桥等各个方面,通用性强,避免了社会资源的浪费。

### 3.4 主要设计参数

标准节段混凝土重量为400.4t,人群及施工荷载为1.5 kN/m<sup>2</sup>,挂篮容许悬浇箱梁宽度≤34.5 m,挂篮容许悬浇箱梁长度≤6.3 m,挂篮容许悬浇箱梁重量≤410 t,挂篮的弹性变形<20 mm,荷重比≤0.4。

## 4 挂篮主要构造

挂篮由承重系统、锚吊杆系统、行走系统、底篮系统、内模系统及工作平台系统组成。

#### (1)承重系统

挂篮承重系统为拉杆式承重架,每个挂篮横桥方向由4片承重架组成,相互之间用型钢联结在一起,形成整体。设计时,尽量让荷载作用于节点处,从而减小主纵梁的弯曲,达到减小梁的截面面积,减轻挂篮的自重。在承重架前移时,可拆除中央横联,以免挡住斜拉索。

#### (2)锚吊杆系统

挂篮锚吊杆均采用φ32精轧螺纹钢设计加工

而成。后吊杆及后锚杆安装时,必须用千斤顶对其预施加拉力,以保证梁段接缝的平顺。同时,为减少吊杆、挂篮系统存在的安全隐患,在每组吊杆处增加变形协调装置,从而保证了吊杆在最大荷载下的竖直。

(3)行走系统

挂篮移动时,由反扣在工字钢轨道上的行走小车来平衡倾覆力矩,同时通过底篮后横梁两端挂钩来承担部分前移荷载。工字钢轨道分 9 m 长和 6 m 长两种,用扁担梁固定在箱梁顶,轨道间以焊接相连。轨道千斤顶以设置在反力架上的拉杆为支点,在挂篮行走之前,单片顶升 3 号节点板上的反牛腿 1cm 左右,拽拉前支点走船而实现挂篮的移动,保证悬臂浇筑的下一施工循环。

(4)底篮系统

底篮由前、后横梁、纵梁、外模板系统组成,前、后横梁、纵梁均采用大型钢加工而成,模板采用 85 mm 面板及型钢模架焊接。分别通过前后吊杆悬吊在主桁前横梁及锚固在箱梁上,同时在底篮前端设置型钢工作平台和栏杆,方便工人操作。

(5)内模系统

采用 L10 型钢加工模架,通过设置斜向钢管支撑、丝杆调节的技术,这样既保证箱梁的内部尺寸,又加快施工进度。

(6)工作平台系统

在挂篮底篮纵梁前端焊接小型钢,并在小型钢上方铺设 5 cm 厚木板,作为工人张拉操作平台,外围设置钢管栏杆,并加设防护用安全网,保证施工人员工作安全。

本 NTGL-400 型挂篮具体构造如图 3、图 4、图 5。

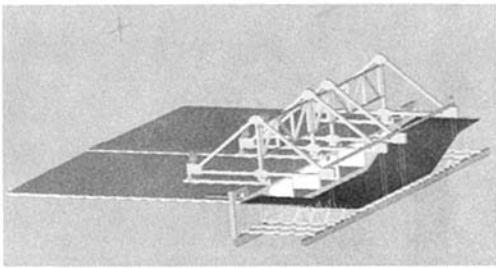
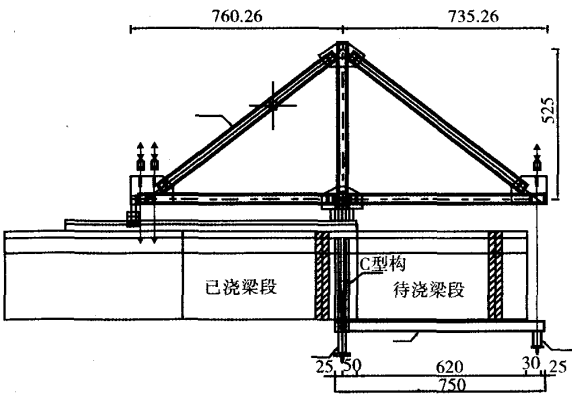
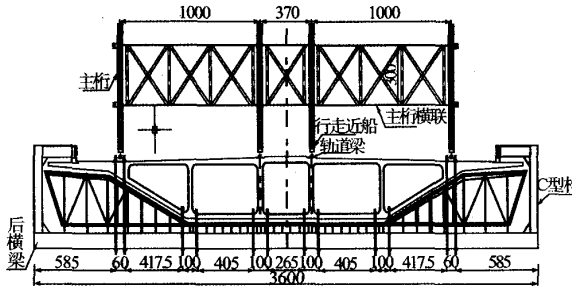


图 3 挂篮效果图



(单位:cm)

图 4 挂篮立面图



(单位:cm)

图 5 挂篮横断面图

为了检验 NTGL-400 型挂篮主桁的承载能力是否能达到设计要求,特设计如下试验:组拼两片主桁三角,在主桁前后节点板分别通过扁担梁、4 根  $\Phi 32$  精轧螺纹钢筋锚固,然后在相对两片主桁的滑船处,采用 250 t 千斤顶进行分级顶推(如图 6),以检验该主桁的承载力,横前、中、后支点处的变形。



图 6 主桁承载力试验

5 挂篮试验

为验证挂篮结构的强度、刚度及稳定性,确保挂篮施工安全,挂篮拼装完毕后,对挂篮进行加载试验。试验分两期进行。

5.1 前期挂篮主桁承载力试验

通过千斤顶顶推试验,前吊点与中支点最大相对变形量为  $(44-12)/2=16\text{ mm}$ ,满足  $7\,350\times 2\text{ mm}/400=36.8\text{ mm}$  的刚度设计要求。

挂篮重量及荷重比为:挂篮总重量 150.74t,荷重比为 0.374。

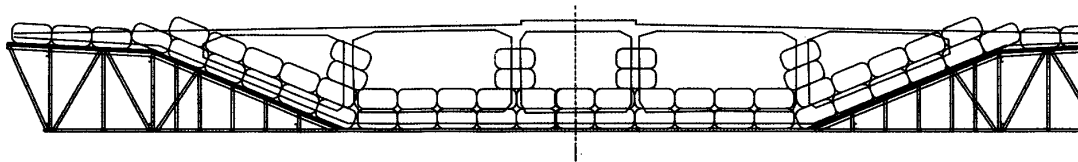


图7 挂篮预压砂袋堆放图

## 5.2 后期荷载试验

根据设计、监控单位的指令,本挂篮按最大块件的重量 110%进行后期荷载预压试验。在挂篮拼装完成后,首先通过挂在塔吊挂钩上的 3 t 电子感应称适当抽检砂袋的单个重量,确定预压砂袋的总数量。根据砂袋的尺寸和箱梁混凝土的分布情况,对砂袋的堆放方案进行了设计(如图 7)。

砂袋在现场通过装载机进行搬运,塔吊吊装,每侧安排两位工人辅助摆放,如图 8。



图8 现场砂袋预压照片

在挂篮预压前、预压后及卸载后三个阶段,对挂篮进行标高测量、索力测试、塔顶位移、结构应力等进行了观测,以便掌握挂篮的弹性和非弹性变形的具体数据,同时检验挂篮的承载能力和整体结构的稳定。通过砂袋预压,挂篮的弹性变形  $< 30 \text{ mm}$ 。图 9 为挂篮荷载试验主桁前吊点位置标高变化情况,满足施工设计要求。

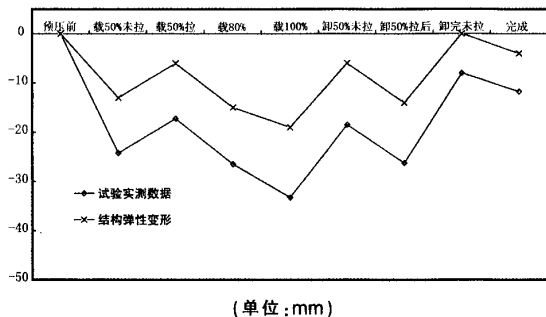


图9 挂篮荷载试验主桁前吊点位置标高变化

## 6 挂篮设计的复核及设计变更

挂篮自身及模板重 150.74 t, 荷重比为 0.374。此挂篮重量大于施工图及设计交底报告中所要求的重量。报告要求:主梁悬浇用挂篮应具有足够的强度与刚度,一副挂篮重量(含模架)不宜超过 140 t。为此,建设单位请设计单位对挂篮自身受力、挂篮前后支点反力对结构受力的影响以及桥梁结构在挂篮满载作用下的受力进行了详细的空间实体有限元分析,并根据计算结果对相关主梁设计进行了变更设计。同时,设计单位还针对实际的施工过程补充提供了斜拉桥的成桥各个施工阶段产生的内力、应力、索力及位移,并通过了审图机构审查。

## 7 主梁标准节段挂篮施工

### 7.1 工艺流程

挂篮行走就位→外模系统提升、锚固及标高调整→底、腹板钢筋绑扎、预应力束(筋)及索道管安装→内模安装→顶板钢筋及预应力束(筋)安装→混凝土浇筑→混凝土养护等强→内模拆除→预应力束(筋)张拉、压浆及封锚→斜拉索安装及张拉→外模卸载落篮→挂篮行走→下一个节段循环施工。图 10 为挂篮施工。

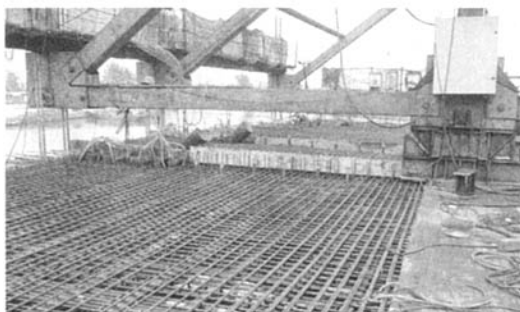


图10 等待浇筑的挂篮

其中为了满足结构施工过程的安全,在 3#~9# 节段斜拉索采用了多次张拉的工艺。

### 7.2 问题和改进措施

#### (1)挂篮施工中发现的问题

本箱梁为单箱五室结构,节段长 6.2 m,宽 34 m,高 3.12 m,混凝土方量 154 m<sup>3</sup>,如此大工程量的节段后支点挂篮悬浇,在国内也非常罕见。其挂篮行走、钢筋绑扎、预应力系统安装、索管定位、五个箱室内模安装、混凝土浇筑、斜拉索安装、混凝土待强、张拉压浆等等,工序繁多。施工单位第一次施工如此复杂的单箱五室结构,存在一个从不熟悉到熟悉的施工过程。本工程项目前 8 个节段挂篮悬浇时间变化及发现的问题如表 1。

(2) 改进措施

- a. 施工前进行全面、细致的技术、安全交底,监理机构派人跟班作业,现场问题,现场确定解决方案,现场解决。
- b. 对现场技术员、操作工人进行现场指导和培训,使其对图纸了,如指掌,加快施工进度。
- c. 施工单位加大投入,实行承包,进行南北悬浇段进度竞赛,实行奖惩机制,设置明确的奖励目标,重奖轻罚,充分调动工人的积极性。通过前几个节段的磨合,随着工艺的熟练,工序衔接更加紧凑,进度达到预期目标,平均每个节段只需 11 d。
- d. 索导管劲型骨架进行改进,索导管上下标高定位方便,缩短了时间。
- e. 内模倒角部位采用部分竹胶板,根据实际尺寸需要进行下料,加快施工进度。

(3) 改进效果

实践证明:以上改进措施行之有效,一个节段总共节约 16 d 时间。改进前后悬浇进度对比见表 2。

8 挂篮悬浇设计施工技术管理的体会或建议

(1)国内绝大多数设计单位的出图模式均是把悬浇挂篮交由施工单位在施工过程中进行挂篮设计,在施工图设计说明中仅给出挂篮重量等参数控制要求,待施工单位挂篮设计完成后设计单位再进行复核验算,给出设计变更和补充设计进行处理。建议有关部门组织有关单位出挂篮设计标准图集,设计单位根据定型的标准挂篮进行施工图设计。这样,一方面可实现挂篮工厂化、标准化生产,并且挂篮可重复利用;另一方面可避免设计、施工单位对每座悬浇桥梁均要进行挂篮研发、设计复核,浪费大量的人力、时间和经费。

(2)目前,对于大跨径桥梁建设单位一般都委托监控单位对桥梁特别是结构复杂的斜拉桥悬浇的施工过程进行全面的监控,保证斜拉索索力、主梁、主塔塔线型及结构内力在控制误差范围内。但我们国家关于监控单位的资质、监控规范、监控收费标准等都是空白。建议有关部门加以重视并完善。

(3)根据《公路斜拉桥设计规范》(试行)(JTJ 027-96)5.2.1.2 条文说明:“为准确地控制整个施工过程,应将各施工阶段出现的荷载不遗漏地纳入计算,同时将各阶段产生的内力、应力、索力及位移等计

表 1 挂篮悬浇时间变化及发现的问题

序号	节段号	悬浇日期	悬浇时间(d)	发现的问题	备注
1	3	7.29 ~ 8.24	27	内模拼装时间长,工人钢筋绑扎预应力束穿束定位张拉压浆等工序不熟练。	第一个悬浇节段
2	4	8.24 ~ 9.9	16	工人熟练程度进一步提高;内模倒角部位钢模下料时间长。	
3	5	9.9 ~ 9.21	12	工人熟练程度大幅度提高。	索导管定位改进
4	6	9.22 ~ 10.2	11	工人熟练,工序紧凑。	
5	7	10.3 ~ 10.13	11	正常	
6	8	10.14 ~ 10.24	11	正常	

表 2 第一个节段和正常节段悬浇进度对比表

序号	工序名称	正常节段所需时间(d)	人工工时(d)	第一个节段所需时间(d)	人工工时(d)
1	底腹板钢筋绑扎	1.5	75	4	200
2	内模拼装	1.5	75	7	350
3	顶板钢筋绑扎	1	50	4	200
4	混凝土浇筑	1	50	2	100
5	混凝土等强	3	150	3	150
6	预应力张拉压浆	1	50	3	150
7	斜挂索张拉	1	15	2	30
8	挂篮行走就位	1	50	2	100
共计		11	515	27	1280

# 下穿通道深基坑支护工程的设计与施工

彭定新, 吴立鹏, 余 玲

(武汉市市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北武汉 430015)

**摘 要:**该文分析了武汉友谊大道下穿通道基坑支护工程的重点和难点,介绍了该工程基坑支护的设计、施工与监测情况。通过优化设计,基坑支护结构采取SMW工法连续墙加内支撑的支护体系,地下水控制采用SMW工法形成侧向止水帷幕和中深井降水相结合的处理措施,并运用了信息化施工管理技术。

**关键词:**下穿通道;基坑支护;SMW工法;武汉市

**中图分类号:**U412.373.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-7716(2007)01-0066-05

## 1 工程概况

为了缓解武昌徐东路与友谊大道相交路口交通堵塞问题,武汉市市政府决定沿友谊大道方向新建下穿通道。该下穿通道总长540 m,其中,主通道长90 m,为双孔钢筋混凝土闭合框架结构;引道长450 m,220 m采用钢筋混凝土U型槽结构,230 m采用挡土墙结构。主通道南侧布置有排水泵房,平面尺寸为6.7 m×6.2 m。排水泵房设计采用沉井施工,主通道和引道基坑采用明挖法施工,基坑宽22 m左右,主通道基坑开挖深度为8.7~9.6 m,引道U型槽基坑开挖深度4.7~9.0 m。

施工期间要求不断交通,路口的主通道段沿徐东路方向需保证30 m宽的行车道及行车道两侧各5 m宽的人行道,需分段施工。友谊大道中的引道两侧各保留6 m宽的行车道。

本工程根据结构布置特点及交通要求,分3个阶段进行施工。图1为本工程平面布置及总体施工顺序示意图。

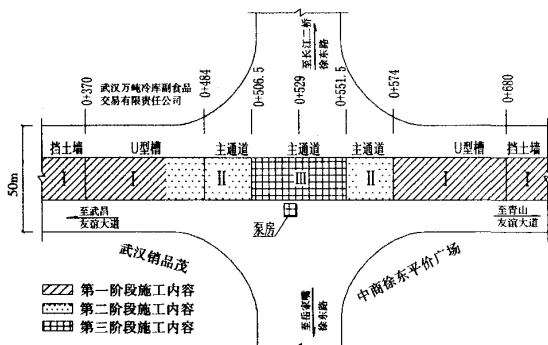


图1 工程平面布置及总体施工顺序示意图

## 2 工程地质及水文地质条件

场地土层分布及主要物理力学性质见表1。

场地地下水为上层滞水和承压水。场区在①层杂填土中赋存有上层滞水,承压水主要赋存于⑤、⑥、⑦、⑧、⑨层中,该场地承压水与长江水力联系较密,水位随季节变化较大。

## 3 基坑支护重点和难点分析

本工程基坑施工具有以下重点和难点:

(1)基坑开挖深度较大,设计主通道和引道最

存应力的稳定性,造成跨中挠度后期变形大大超过设计值。

## 9 结语

南通市城闸大桥主桥为142 m+110 m+45 m+45 m独塔中央单索面预应力混凝土斜拉桥,主桥主梁为单箱五室结构倒梯形展翅箱梁,最大悬浇块件重400.4 t,设计为后支点挂篮施工,施工单位在建设、设计、监控等单位的大力支持和配合下,主梁应力、线形和混凝土浇筑质量均得到了有效控制,从而确保了大桥主梁的顺利施工。

收稿日期:2006-09-21

作者简介:彭定新(1972-),男,湖北武穴人,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事市政、水利及民用建筑工程的设计和研究工作。

算结果列出,以便在施工过程中进行检测校对,指导施工。”据此,设计单位在施工图设计阶段应在设计文件中提供以上成果。

(4)挂篮悬浇施工涉及混凝土等强问题,目前《公路桥梁施工技术规范》(JTJ 041-2000)中仅明确:张拉时,构件的混凝土强度应符合设计要求,设计未规定时,不应低于设计强度等级的75%。对混凝土的弹性模量或等强时间未作限制性规定的,建议施工规范对此作出限制性规定,避免为了赶工期,盲目缩短悬浇节段的施工周期,造成主梁后期徐变增大,无法保证二期预应力建立的有效性和永