

# 南京二桥雍庄互通立交的设计与施工

魏广胜 冯云成 刘士林

U448.172  
U448.282

【摘要】本文介绍了南京二桥雍庄大型枢纽互通立交的总体设计构想，主要介绍了互通内高架桥的设计和施工特点。

【关键词】互通立交；高架桥；设计；施工

南京市

## 一、互通立交方案的选择

南京长江第二大桥是由“二桥三路”组成，即南引线、南汊大桥、八卦洲引线、北汊大桥、北岸引线，全长21.197公里，设计速度100公里/小时；设计荷载：汽车—超20，挂车—120；双向六车道高速公路，路基宽33.5米。全部工程静态概算约31.9元，建设工期4年。

北岸引线起于雍庄高速公路马汊河两岸，向南跨越南钢冶山专用铁路，经大厂区新华东路，跨南化公司催化剂厂人防工程及扬子石化蒸气、煤气管道后，经大纬路，终于北汊大桥桥台尾。全长3.695公里，工程静态概算4亿多元，是“二桥三路”中投资规模最大的引线工程。其中雍庄互通立交是北岸引线的重点工程，是南京市出入口的重要枢纽之一。互通所在区域既是国道328和205的共线段，也是江苏省三条公路主骨架（宁连、宁通、宁徐）的重合段，是苏北地区与省会南京市联系的重要通道。通过该互通枢纽，沟通了雍庄六高速公路、宁连、宁通、宁徐一级公路、南京二桥、南京一桥等重要交通设施。由于该互通的重要性，方案设计时考虑一次设计，分期实施。

根据该互通的以上特点，设计时本着到通内应有较好的层次感，能够体现宏伟气魄的时代特征，建成后应成为南京北大门跨世纪的一景，同

魏广胜、冯云成、刘士林：中文第一公路勘察设计研究院

时尽量少占耕地的原则，经过八种方案的充分比选和论证，互通立交采用了叶式“十”字定向组合式方案。此方案与老宁六公路连接“十”字交叉进行规划设计，分期实施。分期修建方案一：不考虑苏北，南京方向车辆通过雍庄互通结点向徐州方向交通量转换的匝道，其交通流转换通过徐盐、宁徐高速公路，宁六一级公路的浦泗立交、104国道实现。该方案的优点是全互通立交，缺点是远期改建时有部分废弃工程。远期采用哪一种方案更好，需根据路网发展和完善程度确定。近期对于互通内104国道的预留路段按24.5米的宽中央分隔绿化带实施，以美化互通内的景观设计。

## 二、互通立交的平、纵、横总体设计

互通立交总体设计中充分考虑了路桥的设计配合以及建成后互通区的景观效果。平纵组合设计中采用了线型与地形、地物、自然景观、桥梁景观相配合，以曲线为主体的设计手法，特别是在主线与北汊大桥、雍六高速公路的衔接上、专门设置了平曲线使行驶车辆从侧面能够看观北汊大桥和互通立交的优美造型。设计中应用了合理的平、纵、横技术指标，利用DTM和3DS技术对全线做了三维动画仿真检验。结果表明：平面线形连续舒缓，纵面指标均衡、合理，视线诱导自然连续，桥梁及其接线景观优美，与周围环境配合协调。

## 桥梁建设

### 三、互通立交区高架桥的设计

#### 1、桥型方案选择

由于主线穿越南京市主要经济繁荣工业区即大厂区,沿线交通发达,路网完善,河渠、鱼塘纵横交错,排水系统自成体系。立交区主线、O、A、B、M、N匝道分别与7条村镇道路;大纬路、新华东路2条城市道路;宁六一级公路;南钢冶山专用铁路共11条道路交叉。由于立交区南北两侧地势较高,中部地势较低的自然地貌特征,雍庄河东西横贯立交中部。根据被交道路及河流的特点,以少占耕地为原则,并兼顾立交区美观的需要,在互通区内拟建I号、II号、III

号、IV号、V号高架桥,桥梁设计标高及长度由被交叉道路所需的净空及桥头填土高度(不大于5米)控制。

根据以上特点,桥型方案的选择和桥跨布置注重与互通内现有的道路以及被交叉的匝道、河流的协调。桥梁设置后在增强互通层次感的前提下,不得破坏或降低原有道路的标准等级和河渠的功能。依据被交道路净空要求(5米)不大,河渠水流较小以及桥梁长度较长的特点选择了较为经济的中等跨径进行布孔,从受力、美观,施工角度考虑,选择了上部结构为等截面,长悬臂单箱单室,逐跨浇筑,单端张拉的双向预应力

表1 桥型方案一览表

桥名	I号桥(主线)	II号桥(A、B匝道)	III、IV号桥(M、N匝道)	V号桥(O匝道)
起终点桩号	K10+297.34~ K11+201.86	BK0-865.35 ~BK1-352.00	III: NK0+428.61~ NK0+517.61 IV: MK0+438.65~ MK0+527.65	OK0+536.74~ OK1+690.40
跨径组合(m)	(30.14-6*30.20+20.30+ 4*30.20+30.14) + ( 30.14+3*30.20+30.14) + (30.14+5*30.20+20.30+ 5*30.20+30.14)	(30.07+5*30.10+ 30.07+30.01+8*30 )	20-2*22+20	(10*30.10) -9*30.1 0) - (9*30.10) + ( 4*30.10-2*32.03+4*3 0.10)
桥梁长度(m)	922.52	486.65	89	1153.66
桥梁宽度(m)	2*16.75	2*12.5	8.5	10.5
平曲线半径(m)	1000	400及缓和曲线	直线	400、250及反向曲线上
桥梁横坡	4%	5.9%	2%	5.91%
桥梁纵坡	1.688%	2.5%	2.149%	1.191%
上部结构	双向预应力混凝土箱型 连续梁	预应力混凝土箱型连 续梁	钢筋混凝土箱型连续 梁	预应力箱型连续梁
下部结构	薄壁墩、柱式台、桩基础	薄壁墩、柱式台、桩 基础	独柱墩、肋式台、桩 基础	薄壁(独柱)墩、柱式 台、桩基础
备注	上跨B匝道、雍庄河、夏营 村道、南钢冶山铁路、山胡 村道、P匝道及和平村道。	上跨南钢冶山铁路、 雍庄河、夏营村道、 南钢冶山铁路、山胡 村道、P匝道及和平 村道。	上跨宁六一级公路	上跨宁六一级公路、M 、N匝道、雍庄河及和 平村道。

(钢筋混凝土)连续箱梁,下部结构为简捷、轻巧的实心薄壁墩。桥梁上、下部结构的巧妙配合,与立交区内自然环境有机的融合在一起,增加了沿线及互通区域环境的美感,展现了这座跨世纪的宏伟工程的时代特征。

## (二) 结构设计

### 1、主要技术条件

车辆荷载:汽车—超20,挂车—120;地震基本烈度:7度;支座强迫位移:0.005m;温度荷载:箱梁体系温度取40°C。

### 2、主要材料

(1) 混凝土:箱梁采用50号,防撞护栏采用25号,墩台身采用30号,基桩采用25号。

(2) 钢材:预应力钢绞线符合美国标准 ASTM A416-92.270 级的规定,标准强度为1860MPa,直径为15.24mm,面积140.00mm<sup>2</sup>,弹性模量为1.95×10<sup>5</sup> MPa。预应力管道采用加强型镀锌钢波纹管成型。锚具采用柳州市建筑机械总厂生产的OVM锚具及BM扁锚。支座采用GPZ系列盆式橡胶支座。伸缩缝采用浅埋式J-75伸缩装置。

(3) 桥面铺装:采用9cm厚沥青玛蹄脂碎石混凝土桥面铺装。

### 3、上部结构

#### (1) 箱体

高架桥上部结构横断面均采用单箱单室预应力(钢筋)混凝土箱型连续梁,由于立交区桥梁为小半径园曲线和缓和曲线,因此桥面横坡为变数。为方便施工,箱梁两侧腹板设计成等高度,桥面横坡通过整个箱体横断面沿桥梁中心的旋转来实现。箱梁除支座处设置横隔梁外,余均不设横隔梁。纵桥向结构计算中考虑了各种最不利荷载组合,以恒载+活载+收缩徐变+预应力+降温的荷载组合控制设计。横桥向分别按框架和双悬板并考虑固端影响的两种结构模式进行计算,择其

大者进行截面设计。尺寸详见表2:

表2 箱梁截面尺寸表

桥名		I号	II号	III、IV号	V号
顶板	宽度(cm)	1615	1225	850	1050
	跨中厚度(cm)	25	25	20	25
底板	宽度(cm)	765	615	400	440
	跨中高度(cm)	20	20	20	20
腹板厚度(cm)		45	40	30	40
箱梁高度(cm)		150	150	140	150

#### (2) 护栏

护栏设计时,充分考虑了横向预应力张拉后桥面板侧封锚的美观和护栏线型的连续、舒展。为了运营阶段梁体外观免遭雨水淋浸,将护栏外侧设计了下悬长7厘米,厚10厘米的装饰板,使其具有封锚、防水、防撞、视线诱导等功能于一体。

#### (3) 预应力体系

III、IV号桥为钢筋混凝土结构,II、V号桥为预应力混凝土结构,I号桥为双向预应力体系,除设置纵向预应力筋外,在桥面板内设有横向预应力筋,所有预应力束筋均为单端交替张拉,按逐跨浇筑的施工方法进行设计。

I号桥腹板束采用12束19φ15.24钢绞线,II号桥腹板束采用10束19φ15.24钢绞线,V号桥腹板束采用12束12φ15.24钢绞线,所有预应力钢束除第一孔外,其余各孔均于距离支点0.2L处的施工缝处设张拉端,每侧腹板先张拉一半的纵向钢束,然后将所张拉的钢束用连接器接长至第三施工缝处,另一半不需张拉的钢束应留长至第二施工缝处,交替单端张拉。

横向预应力采用5φ15.24钢绞线,以75厘米的间距布设,交替单端张拉锚固,横向预应力在一孔纵向预应力张拉完成后进行。

#### 4、下部结构

为了和上部结构协调,I、II、V号桥桥墩采

## 桥梁建设

用了薄壁墩,平面呈哑铃形。平面尺寸横桥向×纵桥向为:1号桥700×140cm、II号桥600×120cm、V号桥桥墩顶430×120cm,墩顶200cm以下均为330×120cm,所有桥墩哑柄处宽度均为100cm。

桥台采用柱式台,按先填筑路基,后进行钻孔的方法进行设计,柱径尺寸为140cm,比桩径小10cm,减少了桥台盖梁的平面尺寸,柱式台本身比同条件下的埋置式桥台设计节约工程造价,且此设计方法充分保证了台前后台后路基的压实度,不易出现台前滑坡和台后沉降。从而达到了保证工程质量和节约投资的目的。

基础根据详勘工程地质报告,基岩埋藏较浅,覆盖层厚度为10~24米不等,设计时采用桩基础,按嵌岩桩进行设计。桩径150cm,嵌岩深度视岩层地质情况而定。

锥坡防护充分考虑了美观需要以及和沿线路基防护的协调。台前锥坡防护采用了15cm长,5cm厚的八边形浆砌混凝土预制块,台后采用了20cm长,15cm高,壁厚4cm的八边形空心混凝土预制块,内植草皮进行边坡防护。同时在台后边坡设计人行踏步台阶和排水边沟,以方便桥梁检修和台后排水。

### 四、高架桥施工

#### 1、工程规模概况

雍庄互通立交,穿越人口稠密和工业经济发达的大厂区,占地1000多亩,跨越雍庄河1处,道路9处(其中地方铁跨一处,高等级公路一处,厂区道路二处),迁移万伏以上高压线7处(其中11万伏2处,22万伏1处),迁移国家级通讯干线1处。互通内公路总长(含匝道按单幅计)17.328 Km,填筑土方82万方。大桥、特大桥7座,桥梁总长(按单幅计)5.4Km,灌注桩共396根,最大桩径1.8m,最大桩长56m。由于其工程规模巨大,施工难度大。主体工程分为路

基及小型构造物(ND13、ND19)标段、路面标段、桥梁(ND14~ND18)标段共8个标段进行实施。主体工程于1998年12月开工,计划竣工日期为2000年8月,总工期18个月。

#### 2、高架桥桩基础施工

由于互通内管线交替,各标段相互穿插的分布特点,根据实际情况,由路基标段统一负责处理施工前期的三通一平工作,提高了施工效率,减少了地方矛盾,使各标段能够协调工作,为正常施工铺平了道路。

立交区桥梁位于南京北岸二级阶地,地形起伏较大,地面标高10.42~18.08米,根据地形及地层可分为垅岗和坳沟,总体上立交区南北两侧地势较高为垅岗区,中部地势较低为坳沟区。

立交区地下水位较低,地质变化较大,各层变化不均。覆盖层为含铁锰质浸染结核,呈软塑~硬塑的亚粘土,厚度10~24米不等,下伏白垩系哺口组泥岩,基岩面起伏较大,区内桩深28~56米不等,桩径1.5米,入岩深度5米左右,且深入微风化岩深度不小于1米。

根据桥址处的以上地质特点及现场施工条件,施工决定采用挖孔灌注桩与钻孔灌注桩相结合的方法进行施工。选择桩长较深(30~56m),地质报告反映含流塑或其他软弱土层较厚,难以人工护壁的桩进行机械钻孔,余均采用人工挖孔成孔。人工挖孔占整个灌注桩的80%。

由于合理的选择了施工方法,从进度上讲挖孔桩减少了机械投入,不因机械多少和故障而影响进度,工作面积较大,几乎所有的桩均同时开挖和浇筑;从文明施工上讲,无须排放泥浆,减少对周围环境的污染,方便了上部施工;从保证质量的角度讲,因孔底入岩情况清楚确保了桩的设计与施工质量;从经济上讲,挖孔桩设备投入较少,维修费用和电力消耗相应减少,因而成本较低。同时省去了上部结构满堂式支架基础对泥

## 桥梁建设

浆池及钻渣应进行现场清理和处理的费用,提高了经济效益。

### 3、高架桥墩柱的施工

在墩柱的施工过程中,这减少施工接缝,采用了定型钢模板,一个墩柱均一次浇筑到顶。为降低混凝土的水化热,避免温度裂缝,混凝土内采用同一厂家的水泥,掺加同一厂家的粉煤灰和外加剂,以改善混凝土的性能,从而保证了施工后墩柱外观质量的的美观一致。

### 4、高架桥箱梁的施工

箱梁上部结构的施工,为互通区连续梁的关键工序。重点对施工方案进行了充分的论证和研究,总体上分为:箱梁结构一次浇筑和箱梁结构二次浇筑两大施工方案。I号桥由于其箱梁顶、底宽度较大,而梁高又较低的特点,为充分保证箱梁底板的浇筑质量,采用二次浇筑的施工方案。V号桥由于其桥梁顶、底板宽度和梁高比例接近而采用一次浇筑施工方案。无论采用哪种施工方案,施工单位在施工工艺上均进行了认真的研究和创新,施工结果均能达到满意的结果,并具有以下特点。

(1) 地基处理上充分利用了挖孔桩的孔碴,提高了工作效率,降低了地基处理费用。

高架桥区地形较为复杂,地表土为填土及亚粘土,部分地段跨越池塘,表层为淤泥,承载力较低,部分跨越铁路和宁六一级公路。由于区内灌注桩80%采用挖孔技术,挖孔时将石质孔碴随时清理,回填至池塘区,然后分层回填压实渗入30%石灰的土质孔碴,压实度90%以上。同时为了降低地下水位使地基不致受雨水浸泡,在两侧各设一道1米深的排水沟,排至雍庄河。

(2) 支架采用了较为先进的碗口式多功能脚手架,跨越铁路和公路时采用贝雷架,支架基础采用砼预制块或槽钢,支架顶部设HQ60型顶托调节器,用以调节支架预压后沉降值,以便达

到设计标高要求。

(3) 模板均采用了竹胶板及特制大钢模板和整体式内模

箱梁模板由底模、侧模及内模三部分组成。底模、侧模均采用特制钢骨架竹胶板。二次浇筑工艺,内模采用现场拼装组合钢模板。一次性浇筑工艺,内模采用工厂一次加工成型,整体吊装木骨架模板。由于互通内的高架桥为小半径曲线桥,曲线处外侧模板均采用了梯形模板,以调节箱梁底板内、外的弧差,使箱梁整体外观质量均匀舒展、美观大方。

(4) 支架预压荷载采用了橡胶囊充水工艺

为了消除承受施工荷载后支架及基础引起的弹性和塑性变形,对于每跨支架均进行等载预压。依据施工现场条件:桥梁长度较长,标段多,各标段相互穿插,施工干扰大,V号桥跨越交通繁忙的宁扬一级公路,I号桥跨越南铜冶山铁路,行车干扰大,场地文明施工要求较高,工期要求紧等特点,采用了预压重量便于控制,受力均匀,对模板损伤小,移动方便,可重复使用,工作效率高,经济实用,场地整洁文明的橡胶水囊做为支架预压荷载,收到了良好的效果。

(5) 钢箱制作采用了工厂化焊接钢筋网片,现场组装技术。

箱梁上部结构为等截面结构形式,且为预应力体系,因此普通钢筋的分布规律性较强,钢筋由加工厂集中焊接成网片,运至施工现场吊装就位,提高了钢筋绑扎的精度和速度,从而提高了生产效率。

(6) 钢筋保护层控制块采用工厂化塑料定型产品

为了充分保证箱梁结构钢筋的保护层厚度以及克服过去混凝土预制块作为控制块易碎、易掉、难以精确控制,且成桥后混凝土外观有色差的特点。本工程应用了具有足够强度的工厂化生

## 桥梁建设

产的钢筋保护层塑料预制件。预制件为壁厚3mm,高度为2.5cm的空心立方体,(高度2.5cm即混凝土的保护层厚度),为增加控制件的强度,在四角内壁做半径 $R=4\text{mm}$ 的倒角且延伸到立方体两端各5mm,端部作成圆端形。利用5mm高四脚对内固定钢筋,对外以减小控制件与模板的接触面积。实践证明这一产品在钢筋精确定位、克服混凝土外观色差等方面均优于传统的混凝土预制块,有其广泛的推广意义。

### (7) 混凝土浇筑

混凝土的浇筑质量是箱梁的关键技术之一,施工时选择了同一厂家,同一标号的水泥和外加剂,通过实验选择了较佳的配合比进行了施工。一次浇筑成型箱梁首先浇筑底板和腹板根部,然后采用斜向分层法,浇筑腹板及顶板。二次浇筑箱梁,首先浇筑箱梁底板和腹板的混凝土,待其强度达到设计强度的85%后,再组装内模,凿毛施工接缝,然后再浇筑顶板混凝土。

### (8) 预应力体系

由于高架桥方案采用了逐孔现浇,逐孔张拉,逐段接长的预应力设计和施工工艺,所有预应力钢束均为单端张拉,为防止出现导致难以弥补的质量事故,在预应力管道的选择和定位,预应力锚下加强筋及垫板的埋设定位,预应力穿束、连接、张拉控制、压浆等一系列施工工艺进行了严格的要求。具体措施为:

a、波纹管选择了0.3mm厚的加强型镀锌铁皮管。波纹管定位,采用 $\phi 12$ 钢筋按“井”字型点焊成型。定位间距为直线段100mm,曲线段50mm。波纹管的连接采用大一号同型波纹管作为接头管,接头长度20cm~30cm,接头管两端用密封胶带封裹,以防接缝漏浆。

b、张拉端垫板位置除第一跨和最后一跨不同外,其余中间各跨均布置相同,为了精确定位,端头模板采用了定型钢模,锚下螺旋筋除照

常设置外,还设置了加强钢筋网片,以固定螺旋筋、且利于应力扩散。

c、预应力穿采用先装管后穿束,穿束时采用每个波纹管内所有预应力筋现场编成一束,然后整体穿入,以保证每根预应力筋的长度相等,保证张拉后均匀受力。

d、预应力在张拉过程中采用OVM配套的张拉设备,采用张拉力和延伸量双控的施工工艺,张拉程序为 $0.15\sigma_k$ 持荷3分钟 $1.03\sigma_k$ (锚固)。

e、预应力张拉后压浆工艺中,采用水灰比控制在0.42~0.45之间产水泥浆,并掺加具有微膨胀作用的JM-III外加剂。

### 五、结束语

总之,根据本工程特点,可得出以下结论:

1、大型互通立交设计时应充分重视总体方案研究,以及建成后的景观效果,使其与周围环境配合协调。

2、互通内高架桥在方案选择时,轻巧,简捷,单端张拉,逐跨浇筑的预应力混凝土箱梁连续方案,是对美观要求较高的桥梁选择的理想方案之一。

3、箱梁桥面横坡的调整,通过墩顶进行,比利用箱梁两肋调整,方便施工。

4、混凝土采用同一厂家的水泥,粉煤灰及外加剂,能够充分保证互通内不同标段落混凝土外观颜色的美观一致。

5、箱梁普通钢筋在工厂加工成网片上桥组装,工业化钢筋保护层塑料定型产品的采用,支架橡胶水囊预压件的应用,均大大提高了施工的速度和精度,提高了施工的文明程度,促进了桥梁施工向工厂化方向发展。

6、控孔桩以其投入少,经济适用,对场地要求低,施工场地文明,可大面积铺开施工,成孔护壁稳定,可集中成批浇筑,桩基保证率高等特点,有其广阔的应用基础。