

《公路工程咨询设计指南》

——小箱梁桥设计

一、小箱梁桥桥型特点及适应范围：

1.1 小箱梁桥的优缺点

1.1.1 优点：

小箱梁常用跨径为20~35m，作为装配式结构，易实现机械化、工厂化施工。因仅设端横隔梁，桥下视觉简洁，加之梁高较矮，在梁高受限、景观要求较高之处，具有一定的优势。结构适应变宽能力强，应用领域广。采用宽梁设计，在相同跨径结构中，具有一定的经济优势。结构暴露面少，负弯矩束锚头位于箱内，结构耐久性好。主梁刚度较大，在车辆荷载作用下主梁变形小、行车较舒适。施工稳定性好，易于维护。

1.1.2 缺点：

施工工艺要求高，当管理与施工控制不到位时，易出现沿钢束的纵向裂缝或蜂窝麻面。箱内空间较小，砼一次浇注内模拆除相对麻烦，箱内质量不便于检验。同等跨径，相对空心板、T梁而言，吊装重量大。

1.2 结构体系：

小箱梁设计分为简支与先简支后结构连续两种体系。

先简支后连续小箱梁除了具有小箱梁桥的通用优点外，还具有结构受力性能好、伸缩缝少、行车舒适、抗震能力强等优点。

1.3 院小箱梁设计参考图（试用版）（以下称“院小箱梁设计参考图”）介绍：

院小箱梁设计参考图（试用版）于2008年12月编制完成，交付各路桥设计部试用。

本次小箱梁设计参考图中包括80、100、120km/h设计车速，四、六、八车道的分离和整体式断面小箱梁上部结构横向布置。

院小箱梁设计参考图中，各跨径、各桥宽的结构尺寸，是根据现行规范的构造要求，总结过去预应力混凝土小箱梁使用中的经验和教训而拟定，并在计算中根据受力需要作了相应调整。

为方便标准化施工，兼顾小箱梁间距及湿接缝宽度，小箱梁设计参考图预制梁宽取为2.4m与2.6m两种，不同的梁间距通过湿接缝宽度调整。

为保证小箱梁桥受力合理，兼顾经济性，综合考虑梁间距、边梁挑臂长度、横向分布系数等因素后，本着布束经济、合理的原则，小箱梁预应力配束归纳为A类中梁、B类中梁、A类边梁、B类边梁4种情况（A、B类梁的选择，实际选用时可按梁间距3.2m作为分界点，当梁间距 ≤ 3.2 m时归为A类，当梁间距 > 3.2 m时，归为B类）。

设计环境类别：I类；

设计荷载：公路I—级；

桥宽：见下文表1、表2；

跨径：20m、25m、30m、35m（每5m一个标准跨径）；

斜交角度： 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° （每 5° 一个标准角度）；

但是随着小箱梁斜交角度的增大，小箱梁扭矩也随之增大，对斜交角 $> 30^\circ$ 的情况，须单独进行计算后，谨慎使用。

构造尺寸：

跨径	梁高	腹板厚度 (跨中)	腹板厚度 (梁端)	顶板厚度	底板厚度 (cm)		底板宽
(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	跨中	支点	(cm)
20	120	18	25	18	18	25	100
25	140	18	25	18	18	25	100
30	160	18	25	18	18	25	100
35	180	18	25	18	18	25	100

吊装重量 (简支正交)：

跨径	吊装重量 (t)	
	中梁	边梁
20m	54.5	57.9
25m	72.9	77.2
30m	91.5	96.8
35m	117.1	123.0

二、设计输入：

2.1 技术标准与设计规范：

- [1] 《公路工程技术标准》（JTG B01 - 2003）；
- [2] 《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60 - 2004）；
- [3] 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土设计规范》（JTG D62 - 2004）；
- [4] 《公路桥涵施工技术规范》（JTJ 041 - 2000）；
- [5] 《公路交通安全设施技术规范》（JTG D81 - 2006）；
- [6] 《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T5224 - 2003）；
- [7] 《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》（GB 13013 - 1991）；
- [8] 《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》（GB 13014 - 1998）

2.2 资源准备

2.2.1 资料:

- [1] 前阶段的研究成果和资料;
- [2] 设计规范和标准的掌握和理解;
- [3] 院小箱梁设计参考图纸（试用版）；
- [4] 具体项目的咨询、审查意见及施工反馈；

2.2.2 计算软件:

- [1] Midas Civil 2006
- [2] 桥梁博士V3.1
- [3] 公路桥梁结构设计系统GQJS9.7
- [4] 横向分布计算、配筋设计以及验算等附属小程序。

2.2.3 主要参考文献:

- [1] 易建国《混凝土简支梁（板）桥（第三版）》人民交通出版社2006.9
- [2] 胡兆同等《桥梁通用构造及简支梁桥》人民交通出版社2001.3
- [3] 邵旭东等《桥梁设计与计算》人民交通出版社2007.2
- [4] 贺栓海等《公路桥梁荷载计算方法》人民交通出版社1996.9
- [5] 黄平明《混凝土斜梁桥》人民交通出版社1999
- [6] 胡肇滋《桥跨结构简化分析－荷载横向分布》人民交通出版社1990

三、设计过程:

3.1 尺寸拟定与构造处理:

3.1.1 梁距

小箱梁梁间距根据桥面宽度一般选择为2.80~3.41m,通过调整梁片数、梁间湿接缝宽度及边梁外挑臂长度来适应不同桥面宽度。对相同设计时速、相同车道数的整体式与分离式断面一般采用相同边梁外侧挑臂长度,通过调整湿接缝宽来适应桥梁宽度的变化。边梁中心至外侧挑臂长度一般控制在1.4~1.8m。

3.1.2 小箱梁的预制宽度与湿接缝宽度

小箱梁的预制宽度,主要与梁间距、湿接缝宽度有关。为保证小箱梁湿接缝钢筋连接的受力合理性,本次小箱梁设计参考图综合各种桥宽后,取预制中梁宽为2.4m和2.6m两种。实际工程选用时可根据梁间距调整预制宽度,以使湿接缝宽度合理。

湿接缝的宽度须满足该处钢筋搭接或焊接长度的要求,一般不宜小于50cm,院小箱梁设计参考图中翼板湿接缝宽为45~81cm。

3.1.3 横向连接

小箱梁的横向连接采用横隔板、翼板湿接缝、现浇整体化层等手段,以保证各梁形成整体,共同受力。

3.1.4 横隔板

小箱梁一般仅设端横隔板。

对斜交小箱梁,从结构受力、构造要求、施工难易、美观等因素综合考虑,横隔板一般采用平行梁端倾斜布置。

3.1.5 现浇桥面整体化层

小箱梁顶板厚度为18cm,考虑横向受力及自重荷载等因素,取桥面整体化层厚度为8cm。考虑现浇桥面整体化层参与护栏、桥面铺装及活载的受力分配,在主梁横向分布系数计算、主梁纵向计算时,均已计入6cm整体化层的参与作用。(在小箱梁设计参考图计算分析时,可含概整体化层厚度为10cm工况)

由交通部最新颁布的“小箱梁通用图”,采用了6cm的现浇砼调平层,不考虑现浇桥面层参与受力。

3.1.6 墩顶负弯矩区结构

墩顶负弯矩区宜采用预应力混凝土墩顶连续。本次院小箱梁参考图设计时,各种跨径的墩顶现浇连续段均采用预应力混凝土连续。

3.1.7 小箱梁的底板宽

20~35m跨小箱梁底板宽度均为100cm。

3.1.8 支座布置

简支结构横向一般采用双支座；先简支后连续结构横向在伸缩缝端一般采用双支座，在墩顶连续处一般采用单支座。对墩顶连续处纵向支承，一般采用单支点，也可采用双支点，各有优缺点，建议根据实际情况选用。支座一般采用板式橡胶支座，也可采用盆式橡胶支座。各跨径支反力及建议的板式橡胶支座型号如下表：

简支小箱梁支反力及支座型号

跨径	单个梁端 支反力 (kN)	单个支座 支反力 (kN)	选型支座	
			支座尺寸 (mm)	最大承压力 (kN)
20m	1030.0	587.4	D300	661
25m	1241.0	702.9	D350	908
30m	1430.0	796.0	D350	908
35m	1647.0	910.3	D400	1195

连续小箱梁中支点支反力及支座型号

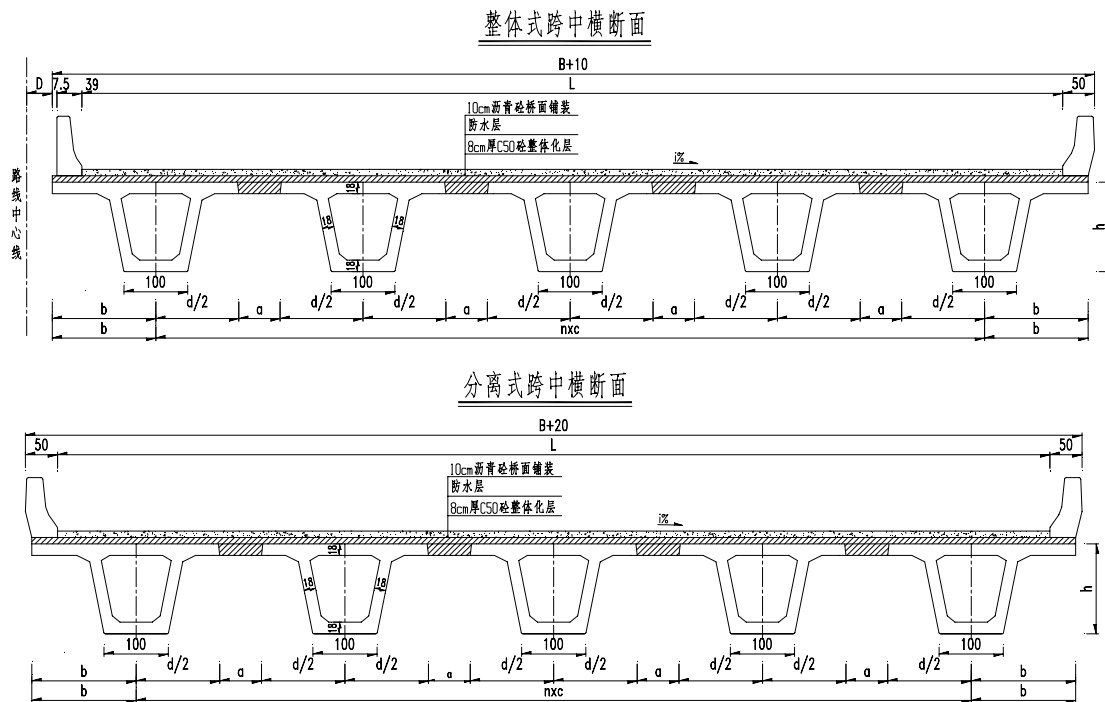
跨径	单个梁端 支反力 (kN)	单个支座 支反力 (kN)	选型支座	
			支座尺寸 (mm)	最大承压力 (kN)
20m	1870.0	1870.0	D550	2290
25m	2220.0	2220.0	D600	2734
30m	2615.0	2615.0	D650	3217
35m	3104.0	3104.0	D700	3739

3.1.9 其它有关尺寸的选择

小箱梁高跨比一般在1/16~1/20左右，小箱梁腹板、底板厚度一般不应小于18cm，桥面板厚度最小值一般不宜小于18cm。

根据小箱梁腹板、顶底板厚度，小箱梁钢束布置最大按15-5控制，以保证波纹管与钢筋布置空间，保证小箱梁梁体砼浇注质量和外观质量。

以下列出院小箱梁设计参考图有关布置尺寸，供设计时参考选用。



院小箱梁设计参考图上部结构参数表 表1

类型	设计时速	车道数	断面类型	半幅全宽	桥面净宽	梁顶面宽	D	梁片数	梁间距	预制中梁宽	预制边梁宽	湿接缝宽	b
				(cm)	L (cm)	B (cm)	(cm)	n (片)	c (cm)	d (cm)	d/2+b (cm)	a (cm)	(cm)
桥梁与路基同宽	80km/h	四车道	整体	1225	1088.5	1175.0	40	4	295.0	240	265.0	55.0	145.0
		四车道	分离	1225	1125.0	1205.0	—	4	305.0	240	265.0	65.0	145.0
		六车道	整体	1600	1463.5	1550.0	40	5	307.5	240	280.0	67.5	160.0
		六车道	分离	1600	1500.0	1580.0	—	5	315.0	240	280.0	75.0	160.0
	100km/h	四车道	整体	1300	1163.5	1250.0	40	4	310.0	260	290.0	50.0	160.0
		四车道	分离	1300	1200.0	1280.0	—	4	320.0	260	290.0	60.0	160.0
		六车道	整体	1675	1538.5	1625.0	40	5	325.0	260	292.5	65.0	162.5
		六车道	分离	1675	1575.0	1655.0	—	5	332.5	260	292.5	72.5	162.5
		八车道	整体	2050	1913.5	2000.0	40	6	333.0	260	297.5	73.0	167.5
		八车道	分离	2050	1950.0	2030.0	—	6	339.0	260	297.5	79.0	167.5
	120km/h	四车道	整体	1400	1238.5	1325.0	65	4	325.0	260	305.0	65.0	175.0
		四车道	分离	1375	1275.0	1355.0	—	4	335.0	260	305.0	75.0	175.0
		六车道	整体	1725	1563.5	1650.0	65	5	327.5	260	300.0	67.5	170.0
		六车道	分离	1700	1600.0	1680.0	—	5	335.0	260	300.0	75.0	170.0
		八车道	整体	2100	1938.5	2025.0	65	6	335.0	260	305.0	75.0	175.0
		八车道	分离	2075	1975.0	2055.0	—	6	341.0	260	305.0	81.0	175.0

院小箱梁设计参考图上部结构参数表 表2

类型	设计时速	车道数	断面类型	半幅全宽 (cm)	桥面净宽 L (cm)	梁顶面宽 B (cm)	D (cm)	梁片数 n (片)	梁间距 c (cm)	预制中梁宽 d (cm)	预制边梁宽 d/2+b (cm)	湿接缝宽 a (cm)	b (cm)
桥梁与路基不同宽	80km/h	四车道	整体	1200	1063.5	1150.0	40	4	290.0	240	260.0	50.0	140.0
		四车道	分离	1175	1075.0	1155.0	—	4	291.7	240	260.0	51.7	140.0
		六车道	整体	1575	1438.5	1525.0	40	5	305.0	240	272.5	65.0	152.5
		六车道	分离	1550	1450.0	1530.0	—	5	306.3	240	272.5	66.3	152.5
	100km/h	四车道	整体	1275	1138.5	1225.0	40	4	305.0	260	285.0	45.0	155.0
		四车道	分离	1250	1150.0	1230.0	—	4	306.7	260	285.0	46.7	155.0
		六车道	整体	1650	1513.5	1600.0	40	5	320.0	260	290.0	60.0	160.0
		六车道	分离	1625	1525.0	1605.0	—	5	321.3	260	290.0	61.3	160.0
		八车道	整体	2025	1888.5	1975.0	40	6	329.0	260	295.0	69.0	165.0
		八车道	分离	2000	1900.0	1980.0	—	6	330.0	260	295.0	70.0	165.0
	120km/h	四车道	整体	1375	1213.5	1300.0	65	4	330.0	260	285.0	70.0	155.0
		四车道	分离	1325	1225.0	1305.0	—	4	331.7	260	285.0	71.7	155.0
		六车道	整体	1700	1538.5	1625.0	65	5	327.5	260	287.5	67.5	157.5
		六车道	分离	1650	1550.0	1630.0	—	5	328.8	260	287.5	68.8	157.5
		八车道	整体	2075	1913.5	2000.0	65	6	333.0	260	297.5	73.0	167.5
		八车道	分离	2025	1925.0	2005.0	—	6	334.0	260	297.5	74.0	167.5

3.2 设计计算:

3.2.1 基础资料:

[1] 计算手段: 采用Midas、桥梁博士、GQJS、院内自行开发的小程序等程序计算, 以及手工计算。

[2] 环境类别: 设计图中为I类, 可根据地区类别按桥梁通用规范选取并修改相关图纸。

[3] 设计荷载: 公路I一级。

[4] 预应力度控制: 采用预应力A类构件。

[5] 桥面现浇整体化层是否参与受力: 院小箱梁设计参考图中考虑6cm参与受力。

[6] 材料参数: 混凝土、钢筋以及预应力钢束的相关参数按规范选取。

[7] 收缩徐变参数: 按《桥梁通用设计规范》选取。

[8] 温度梯度: 按《桥梁通用设计规范》10cm沥青砼铺装层温度梯度计算。

[9] 连续小箱梁桥不均匀沉降: 5mm。

3.2.2 需要计算的部位：主梁、横隔板、桥面板；

3.2.3 主要荷载：结构重力、预应力、活载、混凝土收缩徐变、日照温差；连续小箱梁还需考虑常年温差以及基础不均匀沉降。

3.2.4 计算内容：主梁强度设计、验算；横隔板强度设计、验算；桥面板强度设计、验算；主梁变形计算、预拱度计算。

3.2.5 计算方法：

[1]采用平面杆系有限元法按横向分布系数对正交小箱梁进行结构分析，按《桥规》各项要求进行验算。

[2]宜采用空间杆系有限元法(空间梁格法)对正交小箱梁进行结构分析，按《桥规》各项要求进行验算，并与平面杆系有限元法计算结果进行对比分析。

[3]对相同计算条件下的正交、斜交小箱梁桥宜采用空间有限元法(空间梁格法)的计算结果进行对比分析。

[4]对主梁翼板、横隔板、结构连续处支点下缘等局部构造的强度与抗裂验算宜采用手工、配合小程序进行。

[5]对斜交角度较大的结构，可采用空间实体单元模型做抗扭和局部分析。

计算分析表明：对荷载采用横向分布系数计算的平面杆系有限元计算方法比空间梁格法(Madis)的计算结果偏安全。

3.2.6 主梁内力计算、验算：

主梁计算作为结构的整体计算，采用车道荷载。

1) 平面杆系计算分析：

a) 横向分布系数的计算方法

[1] 杠杆法

用于计算荷载位于主梁支点处的横向分布系数。

[2] 刚接梁法

用于计算荷载位于梁桥跨中至 $L/4$ 处的横向分布系数。

支点至 $L/4$ 点之间活载横向分布系数按直线内差求得。

简支小箱梁跨中横向分布系数最大值汇总表

跨径	A 类中梁	B 类中梁	A 类边梁	B 类边梁
20m	0.652	0.686	0.725	0.792
25m	0.640	0.683	0.690	0.726
30m	0.629	0.681	0.659	0.689
35m	0.620	0.679	0.647	0.680

b) 先简支后连续的连续小箱梁跨中横向分布系数

连续小箱梁跨中横向分布的简化适用计算方法，是按等刚度原则将连续梁的某一跨换算为等跨径的等截面简支梁来计算，参考文献[4]。

对于连续梁支点处荷载横向分布，仍采用杠杆法计算。

小箱梁主梁内力可按考虑荷载横向分布系数后的单梁进行计算，当斜度 $\geq 30^\circ$ 时，应利用空间程序进行复核。

2) 空间梁格计算：

采用大型有限元程序如Midas Civil 2006，利用梁格理论建模对主梁及横隔梁进行计算。

3) 计算、验算的内容、项目：

- [1]短暂状况（施工阶段）截面边缘法线应力验算（桥规第7.2.8 条）；
- [2]持久状况（使用阶段）正常使用极限状态抗裂验算（桥规第6.3.1 条）；
- [3]持久状况（使用阶段）应力计算（桥规第7.1.5～6 条）；
- [4]持久状况（使用阶段）结构极限承载能力验算（桥规第5 章）；
- [5]结构阶段位移计算及预拱度设置；
- [6]支反力计算。

3.2.7横隔板内力计算、验算：

横隔板作为结构的局部计算，采用车辆荷载。

对于采用平面杆系有限元法分析的正交小箱梁桥，可按偏心压力法或刚接梁法计算横隔板的截面内力，可参考文献[3]。斜度较大的斜交小箱梁桥，其横隔板内力建议采用空间有限元法进行计算。

3.2.8 桥面板内力计算、验算:

桥面板作为结构的局部计算,采用车辆荷载。

对小箱梁桥面根据其位置不同,分别按悬臂板和多跨连续单向板进行内力计算,可参考文献[3]。

3.3 计算过程复核、计算资料归纳整理:

计算建模、数据填写、结果归纳整理以及手工计算,必须全过程有复核环节,并及时将计算结果等信息反馈给审核人、审查人,同时做好计算资料的归纳整理工作,以备查验。

3.3.1 反拱计算:

小箱梁反拱值与箱梁截面、钢束布置、张拉龄期、砼配合比、存梁期等多项因素有关,下面以张拉龄期为5天,列出20~35m小箱梁在预制张拉阶段至存梁4个月期间的反拱值,供设计及施工参考。

简支小箱梁跨中反拱值 (单位: cm)

跨径	梁类型	张拉龄期	张拉时	30 天	60 天	90 天	120 天
20m	A 类中梁	5 天	1.4	1.9	2.0	2.1	2.2
	B 类中梁	5 天	1.6	2.2	2.3	2.4	2.5
	A 类边梁	5 天	1.6	2.1	2.3	2.4	2.5
	B 类边梁	5 天	1.8	2.4	2.5	2.7	2.8
25m	A 类中梁	5 天	1.8	2.5	2.7	2.8	2.9
	B 类中梁	5 天	2.1	2.8	3.0	3.1	3.3
	A 类边梁	5 天	2.0	2.8	2.9	3.1	3.2
	B 类边梁	5 天	2.2	3.1	3.3	3.4	3.6
30m	A 类中梁	5 天	2.9	4.0	4.2	4.4	4.6
	B 类中梁	5 天	3.1	4.1	4.4	4.6	4.8
	A 类边梁	5 天	3.0	4.1	4.3	4.6	4.7
	B 类边梁	5 天	3.3	4.4	4.7	4.9	5.1
35m	A 类中梁	5 天	3.9	5.1	5.4	5.6	5.8
	B 类中梁	5 天	4.2	5.6	5.9	6.2	6.4
	A 类边梁	5 天	4.2	5.6	5.9	6.2	6.4
	B 类边梁	5 天	4.2	5.7	6.0	6.2	6.4

先简支后连续小箱梁跨中反拱值 (单位: cm)

跨径	梁类型		张拉龄期	张拉时	30 天	60 天	90 天	120 天
20m	A 类中梁	边跨	5 天	1.3	1.7	1.8	1.9	2.0
		中跨	5 天	1.3	1.7	1.8	1.9	2.0
	B 类中梁	边跨	5 天	1.5	2.0	2.1	2.2	2.3
		中跨	5 天	1.2	1.7	1.8	1.9	1.9
	A 类边梁	边跨	5 天	1.5	2.0	2.1	2.2	2.3
		中跨	5 天	1.2	1.7	1.8	1.9	1.9
	B 类边梁	边跨	5 天	1.6	2.2	2.3	2.5	2.6
		中跨	5 天	1.4	1.8	1.9	2.0	2.1
25m	A 类中梁	边跨	5 天	1.6	2.1	2.3	2.4	2.5
		中跨	5 天	1.2	1.6	1.7	1.7	1.8
	B 类中梁	边跨	5 天	1.8	2.5	2.6	2.8	2.9
		中跨	5 天	1.3	1.8	1.9	2.0	2.1
	A 类边梁	边跨	5 天	1.8	2.4	2.6	2.7	2.8
		中跨	5 天	1.3	1.7	1.8	1.9	2.0
	B 类边梁	边跨	5 天	2.0	2.7	2.9	3.0	3.2
		中跨	5 天	1.5	2.0	2.2	2.3	2.3
30m	A 类中梁	边跨	5 天	2.0	2.7	2.8	3.0	3.1
		中跨	5 天	1.6	2.1	2.2	2.3	2.4
	B 类中梁	边跨	5 天	2.3	3.0	3.2	3.4	3.5
		中跨	5 天	1.7	2.3	2.4	2.5	2.6
	A 类边梁	边跨	5 天	2.2	3.0	3.2	3.3	3.4
		中跨	5 天	1.7	2.2	2.3	2.5	2.5
	B 类边梁	边跨	5 天	2.6	3.4	3.7	3.8	4.0
		中跨	5 天	1.9	2.6	2.7	2.9	3.0
35m	A 类中梁	边跨	5 天	3.2	4.2	4.4	4.6	4.8
		中跨	5 天	2.4	3.1	3.3	3.4	3.6
	B 类中梁	边跨	5 天	3.4	4.5	4.7	4.9	5.1
		中跨	5 天	2.2	3.0	3.1	3.2	3.4
	A 类边梁	边跨	5 天	3.3	4.4	4.7	4.9	5.0
		中跨	5 天	2.2	2.9	3.0	3.2	3.3
	B 类边梁	边跨	5 天	3.6	4.8	5.1	5.4	5.6
		中跨	5 天	2.4	3.1	3.3	3.4	3.5

3.3.2 曲线及变宽段小箱梁布置:

位于曲线段上的桥梁,一般通过调整各片梁预制长度、封锚砼尺寸及边梁外侧翼板的弦弧差形成;位于变宽段上的桥梁,一般通过调整湿接缝宽度、各梁预制长度及封锚端尺寸共同形成。梁长变化一般采用调整跨中直线段的方式,钢束及钢筋均按跨中段布置原则调整。当梁长差别较小时,也可采用标准预制梁长,调整各片梁的封锚混凝土厚度来实现。

限制条件：梁长变化范围 $\pm \Delta L \leq L/50$ (m)，当采用调整封锚端厚度时，封锚端厚度调整范围为 12 ~ 22cm，翼板湿接缝宽度介于 40 ~ 85cm 之间，边梁外悬臂的弦弧差值不大于 0.2m。

整体式断面四、六、八车道等宽段可适用的最小曲线半径

跨径 (m)	曲线半径 (m)	车道数	最短梁长 (m)	最长梁长 (m)	梁长变化值 (m)	限值 L/50 (m)
20	610	四车道	19.601	20.397	0.398	0.4
	775	六车道	19.601	20.398	0.399	
	960	八车道	19.601	20.399	0.399	
25	610	四车道	24.500	25.496	0.498	0.5
	775	六车道	24.501	25.497	0.498	
	960	八车道	24.501	25.498	0.499	
30	610	四车道	29.399	30.594	0.597	0.6
	775	六车道	29.400	30.596	0.598	
	960	八车道	29.400	30.597	0.598	
35	610	四车道	34.298	35.692	0.697	0.7
	775	六车道	34.299	35.695	0.698	
	960	八车道	34.300	35.696	0.698	

3.3.3 经济指标表：

为便于桥梁经济指标控制，按四跨一联，桥梁与路基同宽的梁间距最大、最小尺寸进行经济指标包络，对常规宽度的小箱梁经济指标可基本含概。

(80km/h、四车道、整体式断面，梁间距为2.95m) 经济指标表

跨径	项目	简支正交	简支斜交 20 度	连续正交	连续斜交 20 度
20m	砼 (m ³ /m ²)	0.464	0.465	0.484	0.482
	钢筋 (kg/m ²)	81.753	86.089	101.356	104.138
	钢绞线 (kg/m ²)	10.649	10.590	13.006	12.937
25m	砼 (m ³ /m ²)	0.489	0.491	0.504	0.504
	钢筋 (kg/m ²)	90.338	94.144	102.977	107.319
	钢绞线 (kg/m ²)	12.135	12.165	14.181	14.123
30m	砼 (m ³ /m ²)	0.507	0.516	0.527	0.529
	钢筋 (kg/m ²)	91.467	96.494	104.003	108.506
	钢绞线 (kg/m ²)	16.498	16.049	17.163	17.099
35m	砼 (m ³ /m ²)	0.546	0.548	0.562	0.565
	钢筋 (kg/m ²)	98.542	102.799	114.763	116.762
	钢绞线 (kg/m ²)	20.460	20.392	21.072	21.016

(120km/h、八车道、分离式断面，梁间距为3.41m)经济指标表

跨径	项目	简支正交	简支斜交 20 度	连续正交	连续斜交 20 度
20m	砼 (m ³ /m ²)	0.437	0.424	0.460	0.459
	钢筋 (kg/m ²)	78.135	80.384	96.854	98.908
	钢绞线 (kg/m ²)	9.696	9.642	11.549	11.487
25m	砼 (m ³ /m ²)	0.458	0.446	0.477	0.475
	钢筋 (kg/m ²)	86.064	87.056	97.910	101.366
	钢绞线 (kg/m ²)	10.967	10.966	12.721	12.667
30m	砼 (m ³ /m ²)	0.474	0.468	0.496	0.498
	钢筋 (kg/m ²)	86.613	88.338	98.118	102.420
	钢绞线 (kg/m ²)	14.538	14.040	15.328	15.271
35m	砼 (m ³ /m ²)	0.508	0.496	0.528	0.530
	钢筋 (kg/m ²)	92.617	93.908	108.078	109.457
	钢绞线 (kg/m ²)	17.988	17.929	18.459	18.738

3.3.4 先简支后连续小箱梁体系转换施工顺序:

通过多种体系转换的计算分析，在负弯矩钢束张拉前，浇注与负弯矩钢束等长的整体化层，可有效减小墩顶处截面拉应力，提高墩顶连续处单元的抗裂性能。小箱梁设计参考图均按以下体系转换顺序进行计算与出图。

推荐的体系转换施工顺序：①、先从一联两端(隔墩)浇注连续接头砼及负弯矩钢束长度范围内的整体化层，混凝土龄期为 5 天后张拉相应墩顶负弯矩预应力束并压浆，然后拆除相应墩顶临时支座进行体系转换；②、按上述步骤进行其余墩顶的施工；③、浇注剩余整体化层砼。

但上述体系转换施工顺序整体化层需分段施工，施工相对繁琐，结合实际施工现场反馈，也可考虑采用以下体系转换施工顺序：①、先从一联两端(隔墩)浇注连续接头砼，张拉相应墩顶负弯矩预应力束并压浆，然后拆除相应墩顶临时支座进行体系转换；②、按上述步骤进行其余墩顶的施工；③、浇注整体化层砼。但上述这种体系转换方式也有其不利之处，对拉应力比较敏感的墩顶截面，整体化层拉应力增大约 0.5MPa(或压应力减小约 0.5MPa)，墩顶处小箱梁截面下缘拉应力增大约 0.6~0.9MPa。

四、设计成果:

所有的计算、验算都通过后,保证设计产品在满足功能要求的前提下安全、适用、经济,便可开始绘制设计图纸。设计文件的深度应满足现行《公路工程基本建设项目设计文件编制办法》的要求。现以先简支后连续正交小箱梁桥为例,按两阶段设计的高速公路说明初步设计、施工图设计阶段需要完成的设计工作内容。

先简支后连续小箱梁(正交)					
图表名称	初步设计	施工图	图表名称	初步设计	施工图
桥型布置图	✓	✓	负弯矩钢束布置图	✓	✓
桥位平面图	✓	✓	负弯矩钢束定位钢筋及张拉槽口钢筋布置图		✓
设计说明	✓	✓	中跨小箱梁普通钢筋构造图		✓
横断面布置图	✓	✓	边跨小箱梁普通钢筋构造图		✓
主要工程数量表	✓	✓	小箱梁横隔板钢筋构造图		✓
施工流程图	✓	✓	小箱梁封锚端钢筋构造图		✓
小箱梁一般构造图	✓	✓	小箱梁湿接缝钢筋构造图		✓
小箱梁钢束布置图	✓	✓	小箱梁连续接头钢筋构造图		✓
小箱梁钢束定位钢筋布置图		✓	小箱梁整体化层钢筋构造图		✓