

文章编号: 1001-716X (2001)02-0001-05

# 高速铁路曲线梁桥的支座布置形式初探<sup>\*</sup>

单德山, 李 乔

(西南交通大学 土木工程学院桥梁及结构工程系, 四川成都 610031)

**摘要:** 对于高速铁路上桥梁的支座布置形式, 已有不少学者, 做了大量的科研和计算等实际工作, 得到了许多有价值的结论。但是他们的研究均是针对直线梁进行研究的, 而对曲线梁桥的支座布置形式的研究较少。本文讲述的是高速铁路曲线梁桥支座布置形式的一些研究工作和相关结论, 主要包括支座布置形式和约束方式的影响。

**关键词:** 曲线梁; 合理结构形式; 约束方式

**中图分类号:** U441<sup>+3</sup> **文献标识码:** A

众所周知, 在曲线梁中, 由于存在曲率而使得结构的内力相互耦合, 即使在恒载作用下, 除了产生弯矩外还会产生扭矩。纵向的弯矩通常采用纵向预应力筋来抵抗, 扭矩可由沿横向布置的普通钢筋来抵抗, 为了尽量减少这种横向配筋, 改善截面的受扭特性, 除采用抗扭性能较好的箱形截面外, 最根本的问题在于如何降低主梁截面上所承担的扭矩。

曲线梁桥的支座方式应根据曲率半径的大小以及上、下部结构的总体布置图而定, 即不同的支座方式将直接影响到全桥的内力分布。因此, 曲线梁桥的支座布置是否合理是一个十分重要的问题。本文首先介绍连续曲线梁桥常规的支座布置方式, 随后介绍其他作者对曲线梁支座方式的研究成果, 最后以京沪高速铁路沪宁段上的一座连续曲线梁桥方案为例, 给出不同支座方式、不同曲率半径下桥梁上的最大内力值。

## 1 曲线梁桥的常规支座形式和约束方式

一般说来在曲线连续梁中, 每一中间支座沿横向的支座数目有1个或多个, 即为点铰或抗扭支座。在单柱式点铰支座桥墩的连续弯梁桥中, 上部结构传来的扭矩是不能通过这些点铰支座传递到基础上去的, 而一般都是在曲线梁桥的两端通过设置抗扭支座的桥台来传递扭矩; 因此, 中间点铰只起

到减小弯曲长度的作用而没有起到减小结构所承受扭矩的作用。为了使结构所承受的扭矩分布趋于合理, 可在点铰支座处, 给以一定的预偏心, 达到人为地调整结构扭矩分布形式的目的, 使得连续曲线梁沿梁长方向的扭矩峰值得到控制。由此可看出点铰的预偏心实际上是在点铰处人为施加一反向的集中扭矩以达到调整连续曲线梁的扭矩峰值的目的, 这实际上和设置抗扭支座的道理是一致的。这里所讲的支座布置方式主要是指在连续曲线梁中是否采用偏心的中间点铰或采用抗扭支座(即桥梁的横向支座数大于等于2个)和是否约束其径向位移。

关于多跨连续曲线梁桥两端桥台的支座方式也是多样的。一般情况下把抵抗外扭矩的抗扭支座布置在两侧(或一侧)的桥台上。

## 2 不同支座布置形式和约束方式对曲线梁内力的影响

到目前为止, 已有一些学者针对曲线梁在不同支座布置形式下, 内力的分布形式作了大量的研究<sup>[1~3]</sup>。

在文[1]中针对单跨简支曲线梁和两跨连续曲线梁在不同支座方式下的内力进行了比较。文[2]中就三等跨连续曲线梁桥在两种不同支座方式(两端抗扭, 中间两支座采用单铰支座和4个支座都采用抗扭支座)的内力进行比较发现: 支座方式

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2000-06-02; 修订日期: 2000-10-18

基金项目: 铁道部科技开发项目, 合同编号 97007

作者简介: 单德山(1969-), 男, 四川大竹人, 工学博士, 讲师, 主要从事桥梁结构空间行为研究。

的不同对弯矩和剪力的影响较小,而对扭矩的影响则随曲率的增大而增大。由此得出结论:对扭矩控制值位于支点截面的情况下,采用中间单铰支座在受力上是有利的。文[3]的作者在曲线梁桥合理结构形式的研究中,比较了三跨曲线连续梁和曲线连续刚构在不同墩高、不同支座方式情况下的内力分布形式,得到的结论为:最佳的结构形式当属曲线连续梁中两端抗扭支座、中间点铰支座的情况,其次是两端抗扭的曲线连续刚构,而后是所有支座均为抗扭支座的曲线连续梁桥。

### 3 计算实例

笔者以京沪高速铁路沪宁段上的一座连续曲线梁桥方案为例,计算了在0.8UIC荷载作用下,不同支座方式、不同曲率半径下桥梁上的最大内力值。该桥为双线铁路桥,主桥跨越既有乌衣站4股道,斜交 $26.5^\circ$ ,初步设计考虑了 $(56+96+56)$  m 预应力砼连续梁方案和 $(64+108+64)$  m 部分斜拉桥方案,后者不属于本课题研究范围,不赘述<sup>[4]</sup>;该

连续梁桥方案的主梁为箱形变截面梁,箱梁顶板宽12.8 m,底板宽6.8 m,跨中梁高为3.5 m,支点梁高6.5 m。在支座布置形式研究中共计算了6种支座方式(见图1和表1),计算的曲率半径从500 m~ ,共有12种曲率半径,总共计算的工况有 $6 \times 12 = 72$ 。约束方式1、2的区别在于是否约束径向位移;约束方式3、4与约束方式1、2的区别在于是否约束扭转角;约束方式3、4的区别在于是否约束径向位移;约束方式5、6与约束方式1、2、3和4的区别在于2、3桥墩是否为固结;约束方式5、6的区别在于是否约束1、4桥台的径向位移;在随后的各图表中,各内力值的单位为:弯矩和扭矩的单位是kNm,力的单位是kN,内力值为主力组合中的最大值。本文中的坐标系满足右手螺旋法则,坐标系的原点位于主梁横截面的剪切中心, $x$ 、 $y$ 轴为横截面的惯性主轴, $x$ 轴指向平面曲线圆心为正, $y$ 轴向下为正, $z$ 轴的正方向为前进方向,内力的方向与坐标轴正方向一致为正。

表1 约束方式情况表

支座号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
约束方式				
1	抗扭竖径向约束	抗扭竖径向约束	抗扭竖径向约束	抗扭竖径向约束
2	抗扭竖径向约束	抗扭竖向约束	抗扭竖向约束	抗扭竖径向约束
3	抗扭竖径向约束	竖径向约束	竖径向约束	抗扭竖径向约束
4	抗扭竖径向约束	竖向约束	竖向约束	抗扭竖径向约束
5	抗扭竖径向约束	刚性连接	刚性连接	抗扭竖径向约束
6	抗扭竖向约束	刚性连接	刚性连接	抗扭竖向约束

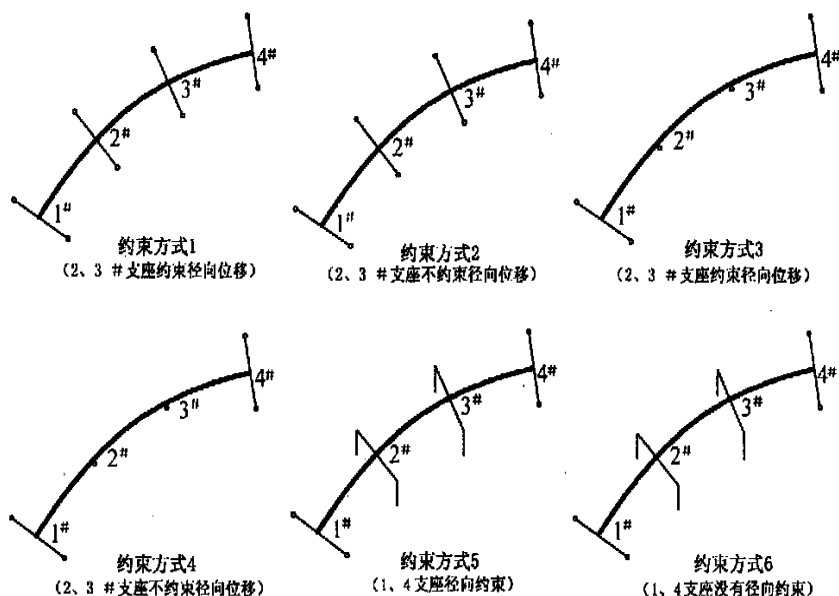


图1 约束方式图

表 2 2#墩顶截面竖向剪力（kN）对比表

曲率半径（m）	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	方式 5	方式 6
500	29 520.02	29 520.46	29 516.98	29 519.17	29 308.87	29 308.54
1 000	29 519.69	29 519.92	29 518.48	29 519.60	29 309.00	29 308.83
3 000	29 519.65	29 519.69	29 519.28	29 519.65	29 309.07	29 309.02
6 000	29 519.62	29 519.65	29 519.45	29 519.64	29 309.09	29 309.06
	29 519.62	29 519.62	29 519.62	29 519.62	23 909.11	29 309.11

表 3 跨中截面的竖向弯矩（kNm）对比表

曲率半径（m）	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	方式 5	方式 6
500	494 201.9	494 266.4	490 707.0	491 204.3	527 481.0	527 475.8
1 000	493 889.0	493 921.4	492 876.5	493 133.8	527 275.4	527 279.1
3 000	493 802.2	493 813.0	493 637.7	493 724.7	527 251.2	527 253.9
6 000	493 795.8	493 801.2	493 735.7	493 779.3	527 259.1	527 260.7
	493 795.4	493 795.4	493 795.4	493 795.4	527 272.6	527 272.6

表 4 2#墩顶截面横向剪力（kN）对比表

曲率半径（m）	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	方式 5	方式 6
500	1 139.21	2 296.37	1 140.02	2 296.37	2 721.28	2 751.67
1 000	1 138.73	2 272.15	1 139.66	2 272.15	1 828.06	1 874.78
3 000	1 138.54	2 265.1	1 139.69	2 265.1	1 331.43	1 428.06
6 000	1 138.51	2 264.44	1 139.71	2 264.44	1 220.69	1 324.38
	1 138.48	2 264.22	1 139.76	2 264.22	1 116.58	1 294.13

表 5 跨中截面横向弯矩（kNm）对比表

曲率半径（m）	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	方式 5	方式 6
500	16 881.16	121 387.1	15 628.46	121 387.1	38 536.45	415 490.33
1 000	16 928.62	119 740.1	16 260.05	119 740.1	27 603.89	415 529.32
3 000	16 968.74	119 261.3	16 716.70	119 261.3	21 071.69	41 540.89
6 000	16 979.85	119 216.6	16 833.60	119 216.6	19 598.81	41 541.97
	16 991.39	119 201.7	16 951.21	119 201.7	19 122.23	41 542.33

表 6 梁内最大扭矩（kNm）对比表

曲率半径（m）	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	方式 5	方式 6
500	18 172.02	16 609.44	28 673.91	27 337.50	16 860.94	16 912.37
1 000	12 769.11	11 312.09	23 987.32	22 622.32	13 213.25	13 278.98
3 000	10 166.07	10 137.14	20 572.09	19 192.20	10 782.47	10 851.96
6 000	9 867.88	9 876.46	19 691.20	18 308.25	10 176.33	10 247.89
	9 575.22	9 683.42	18 801.79	18 441.88	9 585.05	9 651.34

表 7 跨中截面轴力（kN）对比表

曲率半径（m）	方式 5	方式 6
500	23 611.90	23 763.11
1 000	24 155.54	24 357.46
3 000	24 310.82	24 350.71
6 000	24 322.61	24 343.27
	24 323.47	24 323.47

详细比较表 2~7 和图 2 可以发现，对同一种约束方式，桥上的轴力、竖向剪力和竖向弯矩随曲率半径的变化而变化的范围很小，轴力变化最大的工况是约束方式 5 中，曲率半径由 500 m~ 时，轴力由 23 611.90 kN 减小到 24 323.47 kN，变化幅

度为 3 %；在所有 6 种约束方式中竖向剪力和弯矩的变化范围非常小，最大变化范围分别为 0.8 %和 1.7 %。各约束方式下扭矩、横向剪力和弯矩变化最大的值见表 8。表中所列的值是同种约束方式下，曲率半径由 500 m~ 时，最大内力值与最小内力值的比。从表中可以看出在同种约束方式下，横向剪力和弯矩的变化情况是最大是非零最小值的 2.5 倍左右，约束方式 4 的扭矩变化范围最小，最大值为最小值的 1.5 倍左右；其他约束方式下扭矩的变化情况是最大值是最小值的情况详见表 8。

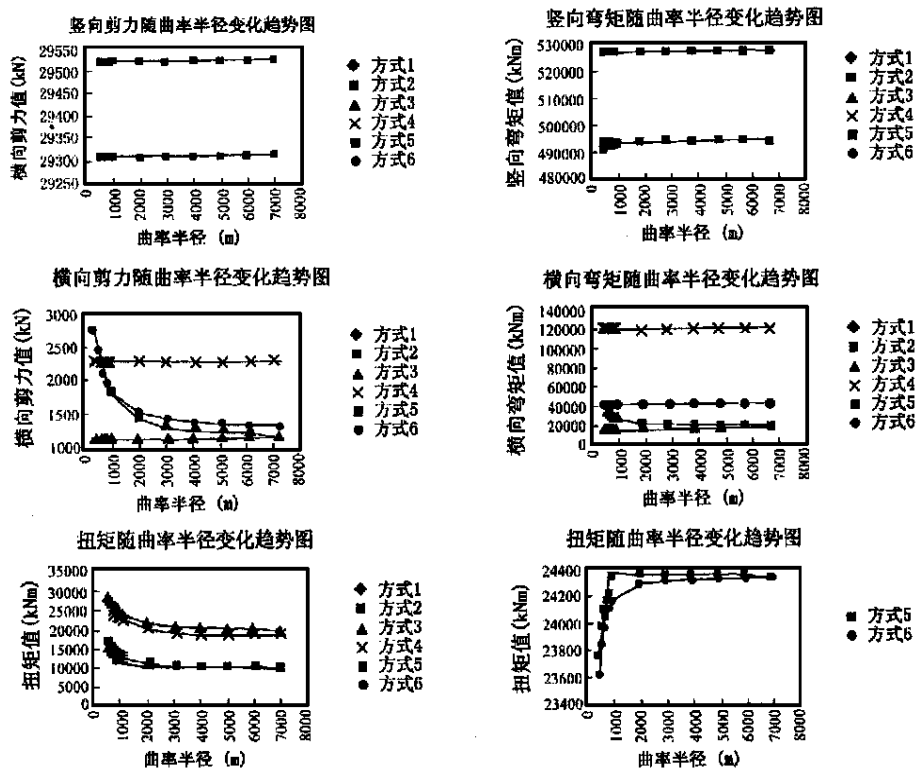


图 2 内力值随曲率半径变化趋势图

表 8 同种约束方式时内力变化值比较表

内力类别 约束方式	横向剪力	横向弯矩	扭矩
1	1.000 6	1.001 8	1.897 2
2	1.014 2	1.018 3	1.715 2
3	1.000 2	1.084 6	1.525 1
4	1.014 2	1.018 3	1.482 4
5	2.437 2	2.126 5	1.759 1
6	2.126 3	1.001 3	1.752 3

将表 2 与 3 比较、表 4 与 5 比较和表 6 与 7 比较，可以得到是否约束径向位移的比较结果。当曲率半径无穷大时(即为直线梁)，是否约束径向位移对内力值的影响很小，它们的内力值是几乎完全相等的。从表 2 与 3 比较和表 4 与 5 比较中可以看出，当曲率不是无穷大时横向剪力和弯矩的变化非常大，这是显然的，有横向(径向)约束时，横向弯曲的跨径和竖向弯曲的跨径是一样的，当没有横向

约束时，其横向弯曲的跨径为桥梁的全长。表 9 给出了曲率半径为 500 m 时各约束方式下曲线梁的最大内力值；表 10~11 给出了该种情况下各约束方式的内力值与第 1 种约束方式的内力值的比，表 10~11 中轴力比为各约束方式下的轴力与约束方式 5 的轴力之比。表 10 为曲率半径为 500 m 的情况，表 11 为曲率半径为 6 000 m 的情况。

表 9 不同约束方式下桥梁最大内力值的比较表

内力类别 约束方式	轴力 $N$	竖向剪力 $Q_y$	竖向弯矩 $M_x$	横向剪力 $Q_y$	横向弯矩 $M_x$	扭矩 $M_z$
1	0	29 520.02	494 201.9	1 139.21	16 911.39	18 172.02
2	0	29 520.46	494 266.4	2 296.37	121 387.10	16 609.44
3	0	29 519.62	493 795.4	1 140.02	16 951.21	28 673.91
4	0	29 519.62	493 795.4	2 296.37	121 387.10	27 337.50
5	24 323.47	29 309.11	527 481.0	2 721.28	38 536.45	16 860.94
6	24 323.47	29 309.11	527 475.0	2 751.67	41 542.33	16 912.37

表 10 不同约束方式下桥梁最大内力值的比较表 (  $R = 500\text{ m}$  )

内力类别 约束方式	轴力 $N$	竖向剪力 $Q_y$	竖向弯矩 $M_x$	横向剪力 $Q_z$	横向弯矩 $M_y$	扭矩 $M_t$
1	0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
2	0	1.000 0	1.000 1	2.015 8	7.190 7	0.914 0
3	0	0.999 9	0.992 9	1.000 7	0.925 8	1.578 0
4	0	1.000 0	0.993 9	2.015 8	7.190 7	1.504 4
5	1.000 0	0.799 9	1.067 3	2.388 7	2.282 8	0.927 9
6	1.006 4	0.805 0	1.067 3	2.415 4	2.457 8	0.930 7

从表 10 中可以得到，约束方式从 1 到 4，桥上的竖向剪力和弯矩的变化范围很小，几乎相等。约束方式 5 和 6 的竖向剪力大致为约束方式 1 的 80%，竖向弯矩大致比约束方式 1 多 7%。约束方式 1 和方式 3 的区别在于中间支座是否为抗扭支座，它们的扭矩、横向剪力和弯矩的变化情况分别为 57.8%、0.07%和 7.42%。约束方式 5 和 6 均为中间支座与桥墩固结而成为连续刚构，它们与约束方式 1 的扭矩的差别不大，最大相差 7.21%。约束方式 2 和 4 的内力值相差很小，其横向剪力和弯矩完全相等，这与没有横向约束有关；但它们的横向剪力和弯矩值与约束方式 1 的相关值大了很多，分别为接近 2 倍和 7 倍多。由表 10 可以得到对于曲

线上的连续梁比较好的约束方式是 1、3；也就是说应该约束横向位移；而是否在中间支座处采用抗扭支座，除对扭矩的内力值有影响外，对其他内力值的影响则是可以忽略的。从表 11 中也可得到与从表 10 中的相似的结论。而对约束方式 3 来说除扭矩值较大外，其他的内力值与约束方式 1 非常接近，此时因约束方式 3 中的中间支座为点铰，还可通过中间支座的偏心来调整其扭矩值。同时还计算了曲率半径为 6 000 m，约束方式 3 支座的偏心后的内力值，发现此时支座偏心的效果不明显，也就是说当曲率半径较大时，支座的偏心影响不大，支座的偏心对曲率半径较小的桥梁的效果比较明显。

表 11 不同约束方式下桥梁最大内力值的比较表 (  $R = 6\ 000\text{ m}$  )

内力类别 约束方式	轴力 $N$	竖向剪力 $Q_y$	竖向弯矩 $M_x$	横向剪力 $Q_z$	横向弯矩 $M_y$	扭矩 $M_t$
1	0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
2	0	1.000 0	1.000 0	1.989 0	7.021 1	1.000 9
3	0	1.000 0	0.999 9	1.001 1	0.991 4	1.995 5
4	0	1.000 0	1.000 0	1.989 0	7.021 1	1.855 3
5	1.000 0	0.824 0	1.067 8	1.072 2	1.154 2	1.031 3
6	1.000 0	0.824 6	1.067 8	1.163 3	2.446 5	1.038 5

4 结 论

由于高速铁路桥梁的曲率半径较大(正线上曲率半径  $R > 5\ 500\text{ m}$ )，在每一桥墩上应布置能承受外扭矩的抗扭支座。这种受扭情况比较接近多跨直线连续梁桥，因为较大的抗扭长度，将会使这种大曲率半径的连续曲线梁桥的受扭变形显著增加，使得桥梁的稳定性降低。

当连续曲线梁的曲率半径较小时，例如公路桥梁，其上部结构采用具有较大抗扭刚度的箱梁结构时，一般将中间墩布置成独柱墩(点铰支座)的构造。为了增大相邻两跨间的矢度，对于曲率半径较大的连续曲线梁桥，也可采用点铰支座交替布置在桥轴线的两侧的布置形式，该种布置形式是为了增

大全桥的抗侧倾的稳定性。

参考文献：

[1] 邵容光，夏 淦. 混凝土弯梁桥 [M]. 北京：人民交通出版社，1994.

[2] 姚玲森. 平面连续曲线梁桥支撑方式对内力的影响 [C]. 中国土木工程学会第五届年会第二次全国桥梁学术会议，1990.

[3] 李春香. 曲线梁桥结构形式及温度影响研究 [D]. 成都：西南交通大学，1997.

[4] 西南交通大学，铁四院. 高速铁路曲线桥设计研究研究报告 [R]. 1998.

[5] 单德山. 高速铁路曲线梁桥车桥耦合振动分析及大跨度曲线梁桥设计研究 [D]. 成都：西南交通大学，1999.

(下转 P18)

## The autostress design method for design and evaluation for steel beam bridge

ZHENG Ming-xun

(Division of Mechanics Sichuan Institute of Light Ind. & Chem. Tech. , Zigong 643033 , China)

**Abstract :** This paper makes a point that the method , or the special plastic design method of steel struction , which has be come the advanced direction of design or evaluation for steel beam bridge when the autostress design (shakedown design) is analyzed and introduced.

**Key words :** shakedown ; residual moment ; continuous beam bridge

责任编辑 : 袁本奎

(承 P5)

## Introduction of reasonable bearing form of curved-girder bridge in high-speed railway

SHAN De-shan , LI Qiao

(Department of Bridge and Structural Engineering , Southwest Jiaotong University , Chengdu 610031 , China)

**Abstract :** Many scholars have been studied the reasonable structural form of bridge in high-speed railway and got a lot of valuable conclusions. But most of their work are focused on the straight girder bridges. In this paper we discuss the reasonable structural form about curved girder bridges in high-speed railway.

**Key words :** curved-girder ; reasonable bearing form ; restriction conditions

责任编辑 : 袁本奎