

高速铁路曲线梁桥的合理结构形式初探

冯顺剑

(浙江台州市公路管理处 台州 318000)

单德山

(西南交通大学桥梁及结构工程系 成都 610031)

摘 要 对于高速铁路上桥梁的合理结构形式, 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的, 而对曲线梁桥的合理结构形式的研究较少。本文讲述的是高速铁路曲线梁桥合理结构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支座。

关键词 曲线梁 合理结构形式 约束方式

中图分类号 U44

文献标识码 A

文章编号 1671 - 234X (2001) 04 - 0001 - 07

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, 扭矩则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截面上所承担的扭矩。

曲线梁桥的支承方式, 应根据曲率半径的大小以及上、下部结构的总体布置图式而定, 即不同的支承方式将直接影响到全桥的内力分布。因此, 曲线梁桥的支承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承方式的研究成果, 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, 给出不同支承方式、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布置形式和约束方式

一般说来在曲线连续梁中, 其每一中间支承沿横向的支座数目有1个或多个, 即为点铰或抗扭支座。在单柱式点铰支承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承传递到基础上去的, 而一般都是由桥的两端通过设置抗扭支承的桥台来传递扭矩, 因此, 中间点铰的作用只是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, 可在点铰支承处, 给以一定的预偏心, 达到人为调整结构扭矩分布形式的目的, 使连续曲线梁沿梁长方向

收稿日期: 2001 - 08 - 30

基金项目: 铁道部科技开发项目 (合同编号 9707)

的扭矩峰值得到控制。由此可以看出,点铰的预偏心实际上是在点铰处人为施加一反方向的集中扭矩以达到调整连续曲线梁的扭矩峰值,这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承方式也是多样的。一般情况下常把抵抗外扭矩的抗扭支承布置在两侧(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

到目前为止有很多学者针对曲线梁在不同支承方式下内力的分布形式作了大量的研究^[1-3]。

在文献[1]中针对单跨简支曲线梁和两跨连续曲线梁在不同支承方式下的内力进行了比较。对于简支曲线梁比较了三种支承形式:1)两端支座抗扭且自由弯曲;2)两端支座抗扭且只有一端可以自由弯曲,另一端限制纵向弯曲;3)两端支座抗扭且限制其纵向弯曲。研究表明:第一种支承方式的扭矩远大于第二种和第三种支承方式。对于连跨连续曲线梁也比较了三种支承形式:1)各向可转动的球铰支座;2)横向刚结、纵向铰接;3)横向和纵向均为弹性连接。三种支承方式的内力分布情况虽有一定的差别,但就其文中所给出的例子来讲,差别并不大。

文献[2]中就三等跨连续曲线梁桥在两种不同支承方式(两端抗扭,中间两支座采用单铰支承和四个支座都采用抗扭支座)的内力进行比较发现:支承方式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,采用中间单铰支承在受力上是有利的。

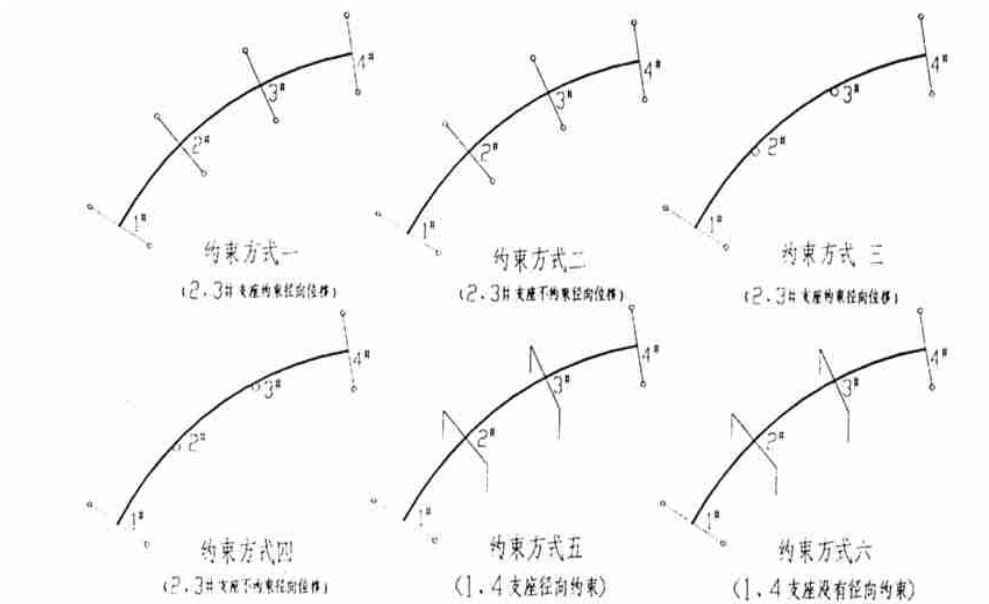
文献[3]的作者在对曲线梁桥合理结构形式的研究中,比较了三跨曲线连续梁和曲线连续刚构在不同墩高、不同支承方式情况下的内力分布形式,得到的结论为:最佳的结构形式当属曲线连续梁中两端抗扭支承、中间点铰支承的情况,其次是两端抗扭的曲线连续刚构,而后是所有支座均为抗扭支座的曲线连续梁桥。

3 计算实例

本文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,不同支承方式、不同曲率半径下桥梁上的最大内力值。该桥主桥跨越既有乌衣站四股道,斜交 26.5° ,初步设计考虑了(56+96+56)米预应力混凝土连续梁方案和(64+108+64)米部分斜拉桥方案,后者不属于本课题研究范围,不赘述^[4]。总共计算了六种支承方式(见图1和表1),计算的曲率半径从500m~ ,共有12种曲率半径,总共计算的工况有 $6 \times 12 = 72$ 。约束方式一、二的区别在于是否约束径向位移;约束方式三、四与约束方式一、二的区别在于是否约束扭转角;约束方式三、四的区别在于是否约束径向位移;约束方式五、六与约束方式一、二、二和四的区别在于2、3桥墩是否为固结;约束方式五、六的区别在于是否约束1、4桥台的径向位移;在随后的各表中,各内力值的单位为:弯矩和扭矩的单位是kN·m,力的单位是kN。

表 1 约束方式情况表

约束方式	支 座 号			
	1 #	2 #	3 #	4 #
一	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
二	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
三	抗扭竖径向约束	竖径向约束	竖径向约束	抗扭竖径向约束
四	抗扭竖径向约束	竖向约束	竖向约束	抗扭竖径向约束
五	抗扭竖径向约束	刚性连接	刚性连接	抗扭竖径向约束
六	抗扭竖径向约束	刚性连接	刚性连接	抗扭竖向约束



图一 约束方式图

表 2 约束方式一的内力值

曲率半径	内 力				
	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
	29519.62	493795.4	1138.48	16991.39	9575.22
6000	29519.62	493795.8	1138.51	16979.85	9867.88
5000	29519.63	493796.6	1138.52	16977.60	9927.43
4000	29519.64	493798.2	1138.52	16974.24	10016.84
3000	29519.65	493802.2	1138.54	16968.74	10166.07
2000	29519.68	493931.1	1138.64	16948.56	11255.46
1000	29519.69	493889.0	1138.73	16928.62	12769.11
900	29519.72	493912.9	1138.77	16922.59	13367.91
800	29519.75	493946.6	1138.83	16915.33	14116.84
700	29519.80	493996.2	1138.91	16906.42	15080.60
600	29519.88	494073.2	1139.02	16895.31	16367.20
500	29520.02	494201.9	1139.21	16881.16	18172.02

表 3 约束方式二的内力值

曲率半径	内 力				
	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
	29519.62	493795.4	2264.22	119201.7	9683.42
6000	29519.65	493801.2	2264.44	119216.6	9876.46
5000	29519.66	493803.1	2264.53	119223.2	9925.60
4000	29519.67	493806.4	2264.71	119235.3	10002.85
3000	29519.69	493813.0	2265.1	119261.3	10137.14
2000	29519.73	493831.0	2266.19	119336.0	10424.67
1000	29519.92	493921.4	2272.15	119740.1	11312.09
900	29519.96	493948.9	2274.02	119867.8	11865.99
800	29520.03	493987.2	2276.64	120046.1	12601.42
700	29520.13	494042.5	2280.48	120306.9	13550.99
600	29520.25	494127.1	2286.43	120711.1	14822.28
500	29520.46	494266.4	2296.37	121387.1	16609.44

表 4 约束方式三的内力值

曲率半径	内 力				
	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
	29519.62	493795.4	1139.76	16951.21	18801.79
6000	29519.45	493735.7	1139.71	16833.60	19691.20
5000	29519.42	493719.1	1139.71	16810.16	19868.10
4000	29519.37	493691.5	1139.70	16775.05	20132.78
3000	29519.28	493637.7	1139.69	16716.70	20572.09
2000	29519.10	493502.3	1139.67	16600.69	21443.29
1000	29518.48	492876.5	1139.66	16260.05	23987.32
900	29518.33	492693.8	1139.67	16186.20	24536.47
800	29519.14	492443.8	1139.70	16095.04	25213.69
700	29517.88	492088.1	1139.74	15979.83	26068.59
600	29517.52	491556.2	1139.83	15830.04	27179.17
500	29516.98	490707.0	1140.02	15628.46	28673.91

表 5 约束方式四的内力值

曲率半径	内 力				
	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
	29519.62	493795.4	2264.22	119201.7	18441.88
6000	29519.64	493779.3	2264.44	119216.6	18308.25
5000	29519.64	493771.5	2264.53	119223.2	18485.73
4000	29519.65	493756.8	2264.71	119235.3	18751.33
3000	29519.65	493724.7	2265.1	119261.3	19192.20
2000	29519.66	493632.5	2266.19	119336.0	20066.73
1000	29519.60	493133.8	2272.15	119740.1	22622.32
900	29519.57	492978.8	2274.02	119867.8	23174.32
800	29519.53	492763.1	2276.64	120046.1	23855.25
700	29519.46	492450.9	2280.48	120306.9	24715.10
600	29519.35	491975.9	2286.43	120711.1	25832.57
500	29519.17	491204.3	2296.37	121387.1	27337.50

表 6 约束方式五的内力值

曲率半径	内 力					
	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
	24323. 47	23909. 11	527272. 6	1116. 58	19122. 23	9585. 05
6000	24322. 61	29309. 09	527259. 1	1220. 69	19598. 81	10176. 33
5000	24321. 13	29309. 08	527257. 1	1241. 48	19893. 62	10297. 25
4000	24318. 08	29309. 08	527254. 5	1274. 05	20335. 44	10479. 01
3000	24310. 82	29309. 07	527251. 2	1331. 43	21071. 69	10782. 47
2000	24288. 15	29309. 05	527248. 9	1450. 86	22604. 53	11390. 17
1000	24155. 54	29309. 00	527275. 4	1828. 06	27603. 89	13213. 25
900	24113. 10	29308. 98	527288. 2	1920. 58	28729. 91	13618. 05
800	24053. 58	29308. 97	527307. 7	2039. 58	30139. 17	14124. 67
700	23966. 57	29308. 95	527338. 5	2197. 98	31975. 88	14776. 57
600	23832. 66	29308. 91	527389. 7	2414. 30	34531. 27	15645. 57
500	23611. 90	29308. 87	527481. 0	2721. 28	38536. 45	16860. 94

表 7 约束方式六的内力值

曲率半径	内 力					
	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
	24323. 47	29309. 11	527272. 6	1294. 13	41542. 33	9651. 34
6000	24343. 27	29309. 06	527260. 7	1324. 38	41541. 97	10247. 89
5000	24345. 74	29309. 05	527258. 9	1345. 15	41541. 81	10368. 37
4000	24348. 53	29309. 04	527256. 7	1376. 28	41541. 52	10549. 56
3000	24350. 71	29309. 02	527253. 9	1428. 06	41540. 89	10851. 96
2000	24354. 80	29308. 97	527252. 3	1531. 45	41539. 08	11458. 34
1000	24357. 46	29308. 83	527279. 1	1874. 78	415529. 32	13278. 98
900	24223. 05	29308. 80	527291. 4	1962. 98	41526. 28	13683. 30
800	24172. 61	29308. 76	527310. 2	2078. 65	41522. 01	14188. 54
700	24095. 82	29308. 71	527339. 7	2233. 71	41515. 80	14837. 79
600	23973. 00	29308. 63	527288. 7	2447. 10	41506. 22	15702. 81
500	23763. 11	29308. 54	527475. 8	2751. 67	415490. 33	16912. 37

详细比较表 2~7 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，在约束方式五中，曲率半径由 500m~ 时，轴力由 23611. 90kN 减小到 24323. 47kN，变化幅度为 3 %；在所有六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 500m~ 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，约束方式四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。

表 8 同种约束方式时内力变化值比较表

约束方式	内 力 类 别		
	横向剪力	横向弯矩	扭矩
1	1. 0006	1. 0018	1. 8972
2	1. 0142	1. 0183	1. 7152
3	1. 0002	1. 0846	1. 5251
4	1. 0142	1. 0183	1. 4824
5	2. 4372	2. 1265	1. 7591
6	2. 1263	1. 0013	1. 7523

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 米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一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五的轴力之比。表 10 为曲率半径为 500 米的情况,表 11 为曲率半径为 6000 米的情况。

表 9 不同约束方式下桥梁最大内力值的比较表

曲率半径	内 力					
	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	29520.02	494201.9	1139.21	16911.39	18172.02
2	0	29520.46	494266.4	2296.37	121387.10	16609.44
3	0	29519.62	493795.4	1140.02	16951.21	28673.91
4	0	29519.62	493795.4	2296.37	121387.10	27337.50
5	24323.47	29309.11	527481.0	2721.28	38536.45	16860.94
6	24323.47	29309.11	527475.0	2751.67	41542.33	16912.37

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

曲率半径	内 力					
	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	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0	1.0000	1.0001	2.0158	7.1907	0.9140
3	0	0.9999	0.9929	1.0007	0.9258	1.5780
4	0	1.0000	0.9939	2.0158	7.1907	1.5044
5	1.0000	0.7999	1.0673	2.3887	2.2828	0.9279
6	1.0064	0.8050	1.0673	2.4154	2.4578	0.9307

从表 10 中可以得到:约束方式从一到四,桥上的竖向剪力和弯矩的变化范围很小,几乎相等。约束方式五和六的竖向剪力大致为约束方式一的 80%,竖向弯矩大致比约束方式一多 7%。约束方式一和方式三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%。约束方式五和六均为中间支座与桥墩固结而成为连续刚构,它们与约束方式一的扭矩的差别不大,最大相差 7.21%。约束方式二和四的内力值相差很小,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一的相关值大了很多,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一、三;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。而对约束方式三来说除扭矩值较大外,其他的内力值与约束方式一非常接近,此时因约束方式三中的中间支作为点铰,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 6000 米,约束方式三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值表 (R = 6000m)

曲率半径	内 力					
	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	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0	1.0000	1.0000	1.9890	7.0211	1.0009
3	0	1.0000	0.9999	1.0011	0.9914	1.9955
4	0	1.0000	1.0000	1.9890	7.0211	1.8553
5	1.0000	0.8240	1.0678	1.0722	1.1542	1.0313
6	1.0000	0.8246	1.0678	1.1633	2.4465	1.0385

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 $R > 5500\text{m}$ ），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（点铰支承）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，也可采用点铰支承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论文集，1990.

[3] 李春香．曲线梁桥结构形式及温度影响研究 [D]．西南交通大学研究生硕士学位论文，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]．西南交通大学研究生博士学位论文，1999.

Exploration of the Reasonable Constructional Form of the Curved Bridges

FENG Shun - jian

(Taizhou Highway Management Bureau of Zhejiang Province Taizhou 318000)

SHAN De - shan

(South - West Highway University Chendu 610031)

Abstract A lot of scholars have done much work , such as research , calculation about the reasonable constructional form of the bridges on freeway and have drawn many valuable conclusions. But what they research is aimed at straighe bridges , not the reasonable constructional form of the curved bridges. What the article presents is some research and conclusion about the reasonable constructional form of the curved bridges , mostly includes the arrangement form of supports and the influence of the constant way.

Key word Curved bridge Reasonable constructional form of the curved bridges Constant way

责任编辑 王大鸢