

多孔无桥台斜腿刚架桥斜腿倾角优化研究

康俊涛¹, 鄂德军², 王国鼎³

(1. 武汉理工大学土木工程与建筑学院 武汉市 430070; 2. 湖北省林业勘察设计院 武汉市 430060;

3. 华中科技大学土木工程与力学学院 武汉市 430074)

摘 要: 多孔无桥台斜腿刚架桥是一种高次超静定结构, 结构优化潜力较大。结合具体工程实践, 根据不同的荷载组合, 从结构的控制截面内力和位移两个方面对斜腿倾角进行了优化分析。研究表明: 多孔无桥台斜腿刚架桥与拱桥的连拱情况有相似之处, 斜腿倾角在 $45^\circ \sim 55^\circ$ 较为合适。

关键词: 无桥台斜腿刚架桥; 多孔; 斜腿倾角

多孔无桥台斜腿刚架桥是一种高次超静定结构, 温度变化、混凝土收缩、桥墩变位等常常成为控制结构设计的重要因素, 结构优化设计方面潜力很大。对于连续的多孔无桥台斜腿刚架桥, 在外荷载及自重作用下, 结构内力分布主要取决于桥梁的分跨比、斜腿倾角、截面变化规律以及主梁设铰情况。文献[2]对单孔无桥台斜腿刚架桥分跨比和斜腿倾角的优化分析, 给出了合理分跨比及斜腿倾角的取值; 文献[3]对无桥台斜腿刚架桥的桥跨布置, 横系梁及斜腿的设置、梁高、结构的初步尺寸的拟定进行了论述; 文献[4]结合具体的工程实践, 首次提出了多孔无桥台斜腿刚架桥的设铰方法, 并对设铰前后多孔无桥台斜腿刚架桥的内力进行了分析, 得出了合理的设铰位置。本文结合广东同福大桥的工程实践, 对

多孔无桥台斜腿刚架桥的斜腿倾角 α 的变化进行了优化分析, 并提出斜腿倾角取值的合理范围。

1 工程概况及结构体系分析的基本假定

1.1 工程概况

同福大桥是广东省梅州市蕉岭县徐溪~梅县白渡段二级公路上的一座大桥, 跨越石窟河, 它是 7 孔 32 m (桥墩中一中) 无桥台斜腿刚架桥, 共分 3 联, 两边每联 2 孔 (称为 A 型钢架), 中间一联 3 孔 (称为 B 型钢架), 两联之间设剪力铰, 桥的两头各设 6.0 m 长的桥头搭板。包括搭板在内的桥梁全长为 260.58 m。主梁为变截面 T 形截面梁, 肋宽均为 0.5 m, 梁高由 0.9 m (跨中) 变到 1.75 m (斜腿顶部), 梁底曲线为圆弧线, 见图 1 所示。

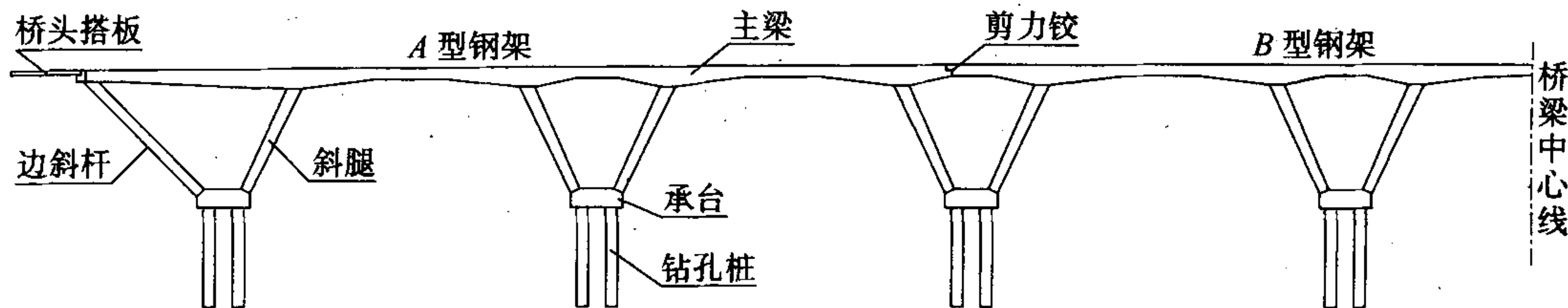


图 1 同福大桥半立面

斜腿为变高度矩形截面。宽度为 0.45 m, 顶部宽度 1.30 m (水平距离), 底部宽度 0.774 m (水平距离)。

边斜杆为等厚矩形截面杆, 宽度为 0.45 m, 厚度 0.90 m, 倾角为 45° 。为了避免桥头路堤遭受洪水

的冲刷, 锥体护坡和边斜杆之间均用 30 cm 厚 C20 混凝土铺砌。

桥梁下部均采用双排桩基础, 桩径为 1.0 m, 按支承桩设计。

1.2 结构体系分析的基本假定

计算分析采用平面杆系程序,为了取得同等的比较条件,做如下假设和规定。

(1)采用不同的斜腿倾角时,各结构体系均取相同的结构尺寸、材料及荷载标准(汽车—超 20 级,挂车—120)。本桥于 2004 年年初设计,采用 JTJ023—

85 规范中的荷载标准。

(2)计算结构内力的目的,在于分析结构的合理布置,为此计算图式为运营状态的结构体系,不考虑施工过程的应力叠加。

(3)图 2 示出了内力和位移的计算截面编号。

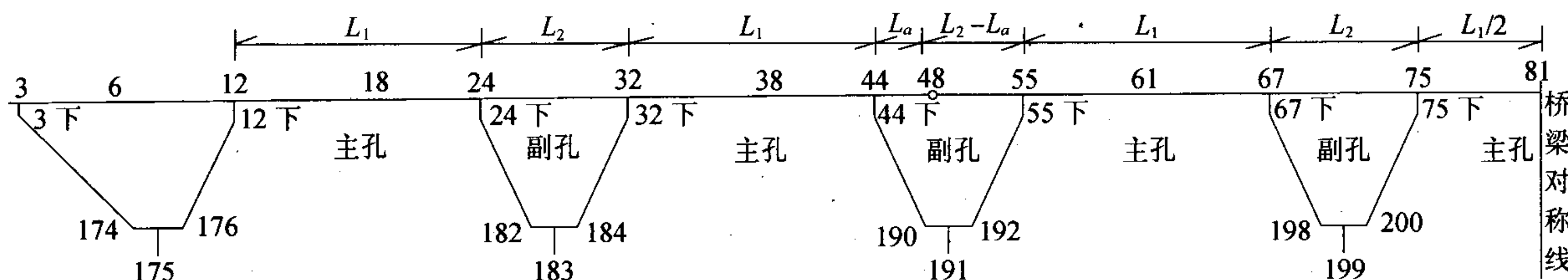


图 2 结构计算简图

(4)荷载组合。

荷载组合 I : 恒载;

荷载组合 II : 1.2 恒载+1.4 汽车荷载。

(5)内力符号见图 3,图中所示方向均为正,竖向位移方向以向上为正,水平位移方向以向右为正。

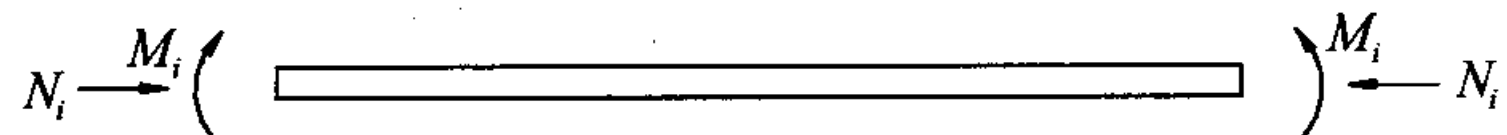


图 3 内力符号规定

(6)计算内容包括内力和位移。内力有自重(含

二期恒载),汽车荷载以及升温 25℃,降温 25℃时结构控制截面的弯矩、轴力;位移包括跨中截面的竖向挠度和斜腿顶端的水平位移。

2 不同斜腿倾角 α 的内力比较分析

2.1 主梁弯矩随倾角 α 的变化分析

倾角 α 变化时,主梁控制截面弯矩计算结果见表 1、表 3,主梁控制截面相应的轴力计算结果见表 2、表 4。

表 1 荷载组合 I 主梁控制截面弯矩

kN · m

| 截面号 | 斜腿倾角 | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 右 | -800.9 | -638 | -501.8 | -381.4 | -274.8 | -214.4 | -276.3 |
| 6 | 2 620 | 2 491 | 2 379 | 2 280 | 2 187 | 2 081 | 1 989 |
| 12 | 左 | -2 262 | -2 845 | -3 342 | -3 784 | -4 186 | -4 679 |
| | 右 | -2 810 | -3 540 | -4 173 | -4 726 | -5 233 | -5 899 |
| 18 | 764.8 | 750.6 | 754.8 | 770.2 | 793.4 | 826.1 | 869.8 |
| 24 | 左 | -4 939 | -4 386 | -3 889 | -3 445 | -3 024 | -2 628 |
| | 右 | -1 898 | -1 700 | -1 540 | -1 407 | -1 277 | -1 146 |
| 32 | 左 | -1 779 | -1 902 | -2 037 | -2 188 | -2 371 | -2 590 |
| | 右 | -5 096 | -4 986 | -4 922 | -4 901 | -4 935 | -5 004 |
| 38 | 910.9 | 946 | 978.5 | 1 011 | 1 045 | 1 084 | 1 174 |
| 44 | 左 | -2 256 | -2 382 | -2 483 | -2 546 | -2 553 | -2 520 |
| | 右 | -1 686 | -1 681 | -1 663 | -1 644 | -1 611 | -1 565 |
| 55 | 左 | -1 816 | -1 827 | -1 868 | -1 914 | -1 990 | -2 097 |
| | 右 | -2 637 | -2 800 | -2 993 | -3 152 | -3 300 | -3 442 |
| 61 | 893.3 | 900.1 | 918.1 | 946.2 | 980.3 | 1 025 | 1 105 |
| 67 | 左 | -4 655 | -4 566 | -4 442 | -4 329 | -4 221 | -4 097 |
| | 右 | -1 867 | -1 851 | -1 831 | -1 856 | -1 887 | -1 929 |
| 75 | 左 | -1 366 | -1 405 | -1 489 | -1 550 | -1 628 | -1 732 |
| | 右 | -3 838 | -3 821 | -3 799 | -3 780 | -3 759 | -3 738 |
| 81 | 768.7 | 821.3 | 885.5 | 945.8 | 1 008 | 1 075 | 1 156 |

表 2 荷载组合 I 主梁控制截面相应轴力

kN

| 截面号 | | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 右 | | -991.1 | -971.5 | -953.4 | -936.2 | -918.4 | -890.7 | -864.9 |
| 6 | | -991.1 | -971.5 | -953.4 | -936.2 | -918.4 | -890.7 | -864.9 |
| 12 | 左 | -991.1 | -971.5 | -953.4 | -936.2 | -918.4 | -890.7 | -864.9 |
| | 右 | 1 600 | 1 383 | 1 170 | 966.3 | 771.9 | 590.9 | 413.8 |
| 18 | | 1 600 | 1 383 | 1 170 | 966.3 | 771.9 | 590.9 | 413.8 |
| 24 | 左 | 1 600 | 1 383 | 1 170 | 966.3 | 771.9 | 590.9 | 413.8 |
| | 右 | -1 124 | -910.3 | -724.2 | -590.7 | -495.4 | -424.1 | -392.6 |
| 32 | 左 | -1 124 | -910.3 | -724.2 | -590.7 | -495.4 | -424.1 | -392.6 |
| | 右 | 1 748 | 1 623 | 1 474 | 1 319 | 1 158 | 994 | 803.9 |
| 38 | | 1 748 | 1 623 | 1 474 | 1 319 | 1 158 | 994 | 803.9 |
| 44 左 | | 1 748 | 1 623 | 1 474 | 1 319 | 1 158 | 994 | 803.9 |
| 55 右 | | 1 888 | 1 760 | 1 608 | 1 459 | 1 302 | 1 143 | 946.6 |
| 61 | | 1 888 | 1 760 | 1 608 | 1 459 | 1 302 | 1 143 | 946.6 |
| 67 | 左 | 1 888 | 1 760 | 1 608 | 1 459 | 1 302 | 1 143 | 946.6 |
| | 右 | -801.4 | -637.2 | -472.9 | -336 | -227.5 | -137.7 | -87.1 |
| 75 | 左 | -801.4 | -637.2 | -472.9 | -336 | -227.5 | -137.7 | -87.1 |
| | 右 | 1 680 | 1 583 | 1 464 | 1 348 | 1 224 | 1 093 | 905.4 |
| 81 | | 1 680 | 1 583 | 1 464 | 1 348 | 1 224 | 1 093 | 905.4 |

表 3 荷载组合 II 主梁控制截面弯矩

kN · m

| 截面号 | | 斜腿倾角 | | | | | | |
|-----|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 右 | | -2 519 | -2 162 | -1 873 | -1 614 | -1 399 | -1 266 | -1 337 |
| 6 | | 6 782 | 6 610 | 2 175 | 6 292 | 6 176 | 6 054 | 5 882 |
| 12 | 左 | -6 401 | -7 422 | -8 285 | -9 040 | -9 737 | -10 350 | -10 530 |
| | 右 | -8 304 | -9 462 | -10 440 | -11 270 | -12 030 | -12 730 | -13 030 |
| 18 | | 3 779 | 3 718 | 3 690 | 3 684 | 3 693 | 3 709 | 3 747 |
| 24 | 左 | -11 760 | -10 840 | -10 040 | -9 334 | -8 685 | -8 088 | -7 814 |
| | 右 | -5 310 | -5 043 | -4 900 | -4 753 | -4 625 | -4 659 | -4 647 |
| 32 | 左 | -5 486 | -5 672 | -5 890 | -6 150 | -6 467 | -6 877 | -6 769 |
| | 右 | -12 250 | -12 060 | -11 930 | -11 820 | -11 810 | -11 860 | -11 830 |
| 38 | | 3 850 | 3 810 | 3 831 | 3 969 | 4 180 | 4 254 | 4 185 |
| 44 | 左 | -6 268 | -6 596 | -6 894 | -7 121 | -7 217 | -7 207 | -7 192 |
| | 右 | -5 283 | -5 288 | -5 274 | -5 263 | -5 234 | -5 218 | -5 141 |
| 55 | 左 | -5 430 | -5 426 | -5 492 | -5 559 | -5 953 | -6 272 | -6 236 |
| | 右 | -7 610 | -7 949 | -8 337 | -8 633 | -8 921 | -9 251 | -9 501 |
| 61 | | 3 687 | 3 619 | 3 559 | 3 878 | 3 882 | 3 931 | 3 916 |
| 67 | 左 | -11 430 | -11 170 | -10 860 | -10 650 | -10 390 | -10 170 | -9 999 |
| | 右 | -5 421 | -5 380 | -5 389 | -5 478 | -5 580 | -5 727 | -5 670 |
| 75 | 左 | -4 678 | -4 736 | -4 866 | -4 939 | -5 183 | -5 441 | -5 472 |
| | 右 | -10 100 | -10 030 | -9 949 | -9 881 | -9 801 | -9 752 | -9 663 |
| 81 | | 3 705 | 3 711 | 3 832 | 3 870 | 3 921 | 3 976 | 4 068 |

表 4 荷载组合 II 主梁控制截面相应轴力

kN

| 截面号 | | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 右 | | -1 839 | -1 828 | -1 808 | -1 784 | -1 766 | -1 709 | -1 622 |
| 6 | | -1 849 | -1 829 | -1 609 | -1 771 | -1 746 | -1 701 | -1 628 |
| 12 | 左 | -2 158 | -2 093 | -2 017 | -1 906 | -1 865 | -1 771 | -1 695 |
| | 右 | 2 886 | 2 534 | 2 199 | 1 889 | 1 695 | 1 404 | 1 117 |
| 18 | | 2 943 | 2 626 | 2 317 | 2 025 | 1 746 | 1 488 | 1 236 |
| 24 | 左 | 2 934 | 2 595 | 2 251 | 1 937 | 1 637 | 1 365 | 1 103 |
| | 右 | -2 513 | -2 146 | -1 467 | -1 179 | -936.7 | -761.2 | -646.8 |
| 32 | 左 | -2 301 | -1 897 | -1 518 | -1 233 | -1 002 | -842.2 | -743.7 |
| | 右 | 3 137 | 2 950 | 2 720 | 2 485 | 2 218 | 1 931 | 1 624 |
| 38 | | 3 309 | 3 114 | 2 738 | 2 548 | 2 395 | 2 070 | 1 696 |
| 44 左 | | 3 680 | 3 443 | 3 225 | 2 908 | 2 567 | 2 212 | 1 838 |
| 55 右 | | 3 962 | 3 696 | 3 374 | 3 049 | 2 733 | 2 379 | 1 989 |
| 61 | | 3 621 | 3 403 | 3 133 | 3 123 | 2 520 | 2 210 | 1 881 |
| 67 | 左 | 3 387 | 3 201 | 2 937 | 2 689 | 2 457 | 2 173 | 1 843 |
| | 右 | -2 140 | -1 824 | -1 071 | -778.4 | -535.8 | -363.1 | -238.2 |
| 75 | 左 | -2 055 | -1 693 | -1 412 | -1 122 | -495.1 | -262.1 | -147.4 |
| | 右 | 2 874 | 2 801 | 2 653 | 2 518 | 2 333 | 2 159 | 1 862 |
| 81 | | 2 828 | 2 747 | 2 610 | 2 494 | 2 348 | 2 166 | 1 883 |

从表 1 可以看出:随着倾角 α 的增大,12 左、右截面弯矩迅速增大,分别增大了 107% 和 110%;而 3 右、24 左截面弯矩迅速减小,分别减小 190% 和 101.5%;其余控制截面弯矩变化不大。从这一点讲,倾角 α 宜取 45°~55°。

从表 2 可以看出:主孔主梁属于弯压构件,随着倾角 α 的增大,主梁轴力迅速减小,18 截面由 1 600 kN 减为 413.8 kN,61 截面由 1 888 kN 减为 946.6 kN;副孔主梁属于弯拉构件,随着倾角 α 的增大,主梁轴力迅速减小,24 右、32 左截面由 1 124 kN (拉力)变为 392.6 kN (拉力),减小 186%,67 右、75 左截面由 801.4 kN (拉力)变为 87.1 kN (拉力),减小 820%。从轴力变化这一角度看,倾角 α 的增大,对主孔主梁有利,但对副孔主梁不利。

从表 3 可以看出:随着倾角 α 的增大,12 左、右截面弯矩迅速增大,分别增大了 64.5% 和 56.9%;而 3 右、24 左截面弯矩迅速减小,分别减小 88.4% 和 50.5%;其余控制截面弯矩变化不大,均在 15% 之内。从这一点讲,倾角 α 宜取 40°~60°。

从表 4 可以看出:主孔主梁属于弯压构件,随着倾角 α 的增大,主梁轴力迅速减小,18 截面由 2 943 kN 减为 1 236 kN,减小 138%,55 右截面由

3 962 kN 减为 1 989 kN,减小 99.2%;副孔主梁属于弯拉构件,随着倾角 α 的增大,主梁轴力迅速减小,24 右截面由 2 513 kN (拉力)变为 646.8 kN (拉力),减小 289%,67 右截面由 2 140 kN (拉力)变为 238.2 kN (拉力),减小 798%。从轴力变化这一角度看,倾角 α 的增大,对主孔主梁有利,但对副孔主梁不利。

2.2 斜腿弯矩随倾角 α 的变化分析

各种倾角 α 变化时,斜腿及边斜杆控制截面弯矩计算结果见表 5、表 7,斜腿及边斜杆控制截面相应的轴力计算结果见表 6、表 8。

从表 5~表 8 可以看出:斜腿上下端弯矩变化较大,随着倾角 α 的变化,控制截面弯矩变化较大,且正负弯矩交替出现,斜腿上的轴力均较大,且随着倾角 α 的增大,轴力均有所减小,减小幅度在 11.9%~94.6%,一般来讲,斜腿中有较大的轴力对结构受力是有利的。从这个情况看,倾角 α 在 40°~60° 范围内变化是合理的。

为了分析倾角 α 的变化对桥墩及基础的影响,图 4、图 5 及表 9、表 10 示出了当 $\alpha=35^\circ\sim 65^\circ$ 时,桥墩(或基础)顶部的各水平力及相应弯矩变化情况。

从图 4、图 5 可以看出,随着倾角 α 的增大,墩顶水

表 5 荷载组合 I 斜腿及边斜杆控制截面弯矩

kN · m

| 截面号 | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 下 | 1 270 | 1 113 | 981.7 | 866.8 | 765 | 702 | 748.2 |
| 12 下 | − 2 387 | − 1 971 | − 1 574 | − 1 212 | − 867.1 | − 537.7 | − 228 |
| 24 下 | 44.1 | − 89.1 | − 204.4 | − 275.1 | − 311.6 | − 333.3 | − 286.7 |
| 32 下 | 65.3 | 215.9 | 395.9 | 550.5 | 690.8 | 807.7 | 1 008 |
| 44 下 | 1 409 | 1 136 | 850.4 | 591.9 | 369.4 | 171 | − 15.2 |
| 55 下 | − 1 317 | − 1 020 | − 696 | − 414.3 | − 165 | 50.9 | 271 |
| 67 下 | 257.5 | − 1.8 | − 254.5 | − 441 | − 602.5 | − 718.4 | − 817.9 |
| 75 下 | − 338.9 | − 97.3 | 117.2 | 322.8 | 487.3 | 608.2 | 716.8 |
| 174 | − 424.1 | − 545.5 | − 650.7 | − 742.4 | − 828.3 | − 920.1 | − 106 0 |
| 176 | − 1 963 | − 1 594 | − 1 259 | − 949.8 | − 656.9 | − 349.7 | 17.6 |
| 182 | − 222.1 | − 106.4 | − 29.7 | − 0.9 | − 4.2 | − 35.1 | − 94.3 |
| 184 | − 77.8 | − 10.37 | 69.4 | 146.5 | 217.2 | 275.4 | 469.6 |
| 190 | − 1 290 | − 1 108 | − 914.2 | − 732.4 | − 591.8 | − 475.2 | − 386.3 |
| 192 | − 1 237 | − 1 011 | − 773 | − 574 | − 405.9 | − 268.4 | − 96.4 |
| 198 | − 329.5 | − 138.5 | 7.1 | 114.5 | 179.5 | 218.4 | 296.4 |
| 200 | − 273.8 | − 149.2 | − 25 | 49.7 | 96.2 | 127.5 | 208.3 |

表 6 荷载组合 I 斜腿及边斜杆控制截面相应轴力

kN

| 截面号 | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 下 | 1 484 | 1 427 | 1 377 | 1 330 | 1 285 | 1 237 | 1 214 |
| 12 下 | 3 348 | 3 244 | 3 151 | 3 072 | 3 008 | 2 953 | 2 876 |
| 24 下 | 3 321 | 2 921 | 2 565 | 2 274 | 2 031 | 1 826 | 1 707 |
| 32 下 | 3 470 | 3 203 | 2 953 | 2 757 | 2 605 | 2 489 | 2 367 |
| 44 下 | 2 406 | 2 339 | 2 251 | 2 157 | 2 056 | 1 953 | 1 852 |
| 55 下 | 2 547 | 2 474 | 2 391 | 2 311 | 2 233 | 2 165 | 2 084 |
| 67 下 | 3 316 | 3 072 | 2 814 | 2 597 | 2 407 | 2 242 | 2 097 |
| 75 下 | 3 043 | 2 837 | 2 626 | 2 446 | 2 292 | 2 163 | 2 042 |
| 174 | 1 684 | 1 646 | 1 615 | 1 587 | 1 561 | 1 525 | 1 502 |
| 176 | 3 551 | 3 469 | 3 396 | 3 338 | 3 294 | 3 251 | 3 174 |
| 182 | 3 442 | 3 061 | 2 732 | 2 472 | 2 266 | 2 110 | 2 011 |
| 184 | 3 594 | 3 345 | 3 122 | 2 957 | 2 843 | 2 776 | 2 673 |
| 190 | 2 530 | 2 479 | 2 417 | 2 355 | 2 292 | 2 239 | 2 162 |
| 192 | 2 670 | 2 617 | 2 560 | 2 511 | 2 471 | 2 452 | 2 396 |
| 198 | 3 435 | 3 213 | 2 982 | 2 795 | 2 643 | 2 528 | 2 411 |
| 200 | 3 165 | 2 978 | 2 793 | 2 644 | 2 529 | 2 450 | 2 356 |

平力大大减小,这对桥墩和基础很有利。从表9、表10可以看出,墩顶弯矩变化规律不是很明显,但是弯矩绝对值并不大,不控制下部结构的设计,对下部结构影响颇大的是水平力。从这一情况来看,倾角 α 的增大是有好处的。

3 不同斜腿倾角的位移比较分析

表11、表12给出了倾角 α 从35°变化到65°时,荷载组合 I、荷载组合 II 各控制截面的竖向位移。

从表11可以看出,在荷载组合 I 情况下,随着倾角 α 的变化,各截面竖向位移均有所变化,但是各

表 7 荷载组合 II 斜腿及边斜杆控制截面弯矩

kN · m

| 截面号 | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 下 | 3 468 | 3 148 | 2 893 | 2 647 | 2 456 | 2 319 | 2 369 |
| 12 下 | — 5 896 | — 5 197 | — 4 523 | — 3 891 | — 3 372 | — 2 827 | — 2 297 |
| 24 下 | 2 131 | — 1 941 | — 2 036 | — 2 037 | — 1 975 | — 1 928 | — 2 018 |
| 32 下 | — 1 869 | 2 024 | 2 218 | 2 387 | 2 522 | 2 610 | 3 058 |
| 44 下 | 4 837 | 4 478 | 4 081 | 3 700 | 3 361 | 2 988 | — 2 725 |
| 55 下 | — 4 296 | — 3 808 | — 3 269 | — 2 787 | — 2 339 | — 1 904 | 2 364 |
| 67 下 | 2 369 | 1 873 | — 2 066 | — 2 223 | — 2 34 7 | — 2 433 | — 2 672 |
| 75 下 | — 2 505 | — 2 014 | 1 927 | 2 106 | 2 193 | 2 304 | 2 578 |
| 174 | 1 684 | 1 646 | 1 615 | 1 587 | 1 561 | 1 525 | 1 502 |
| 176 | 3 551 | 3 469 | 3 396 | 3 338 | 3 294 | 3 251 | 3 174 |
| 182 | 3 442 | 3 061 | 2 732 | 2 472 | 2 266 | 2 110 | 2 011 |
| 184 | 3 594 | 3 345 | 3 122 | 2 957 | 2 843 | 2 776 | 2 673 |
| 190 | 2 530 | 2 479 | 2 417 | 2 355 | 2 292 | 2 239 | 2 162 |
| 192 | 2 670 | 2 617 | 2 560 | 2 511 | 2 471 | 2 452 | 2 396 |
| 198 | 3 435 | 3 213 | 2 982 | 2 795 | 2 643 | 2 528 | 2 411 |
| 200 | 3 165 | 2 978 | 2 793 | 2 644 | 2 529 | 2 450 | 2 356 |

表 8 荷载组合 II 斜腿及边斜杆控制截面相应轴力

kN

| 截面号 | 斜腿倾角 | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
| 3 下 | 3 120 | 3 024 | 2 959 | 2 866 | 2 798 | 2 665 | 2 462 |
| 12 下 | 5 610 | 5 476 | 5 323 | 523 4 | 5 204 | 5 118 | 5 025 |
| 24 下 | 5 297 | 4 704 | 4 040 | 3 496 | 3 135 | 3 564 | 3 418 |
| 32 下 | 5 825 | 5 125 | 4 603 | 4 243 | 4 848 | 4 663 | 4 457 |
| 44 下 | 3 431 | 3 414 | 3 383 | 3 327 | 3 272 | 3 208 | 3 359 |
| 55 下 | 4 267 | 4 146 | 3 902 | 3 610 | 3 576 | 3 531 | 3 910 |
| 67 下 | 5 414 | 5 109 | 4 447 | 3 990 | 4 489 | 4 150 | 3 959 |
| 75 下 | 5 009 | 4 793 | 4 234 | 3 827 | 3 501 | 4 091 | 3 891 |
| 174 | 3 442 | 3 260 | 3 158 | 3 091 | 3 018 | 2 886 | 2768 |
| 176 | 6 689 | 6 370 | 5 745 | 5 652 | 5 561 | 5 546 | 5 360 |
| 182 | 6 270 | 5 401 | 4 783 | 3 624 | 3 234 | 3 054 | 3 369 |
| 184 | 6 710 | 6 019 | 4 563 | 4 299 | 4 033 | 4 074 | 4 770 |
| 190 | 4 326 | 4 317 | 4 300 | 4 273 | 3 575 | 3 563 | 3 488 |
| 192 | 5 004 | 4 479 | 4 374 | 4 095 | 4 093 | 4 030 | 3 875 |
| 198 | 6 316 | 5 657 | 4 358 | 4 110 | 3 768 | 3 591 | 3 771 |
| 200 | 5 891 | 5 394 | 4 137 | 3 945 | 3 767 | 3 563 | 4 266 |

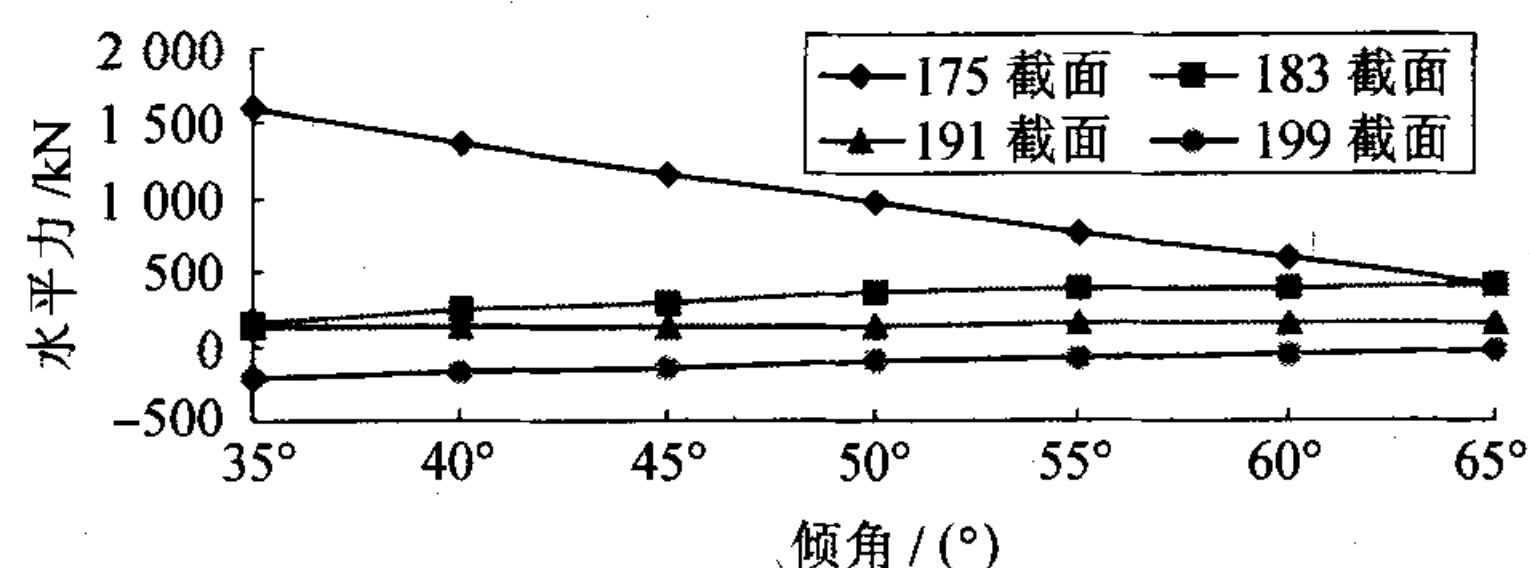
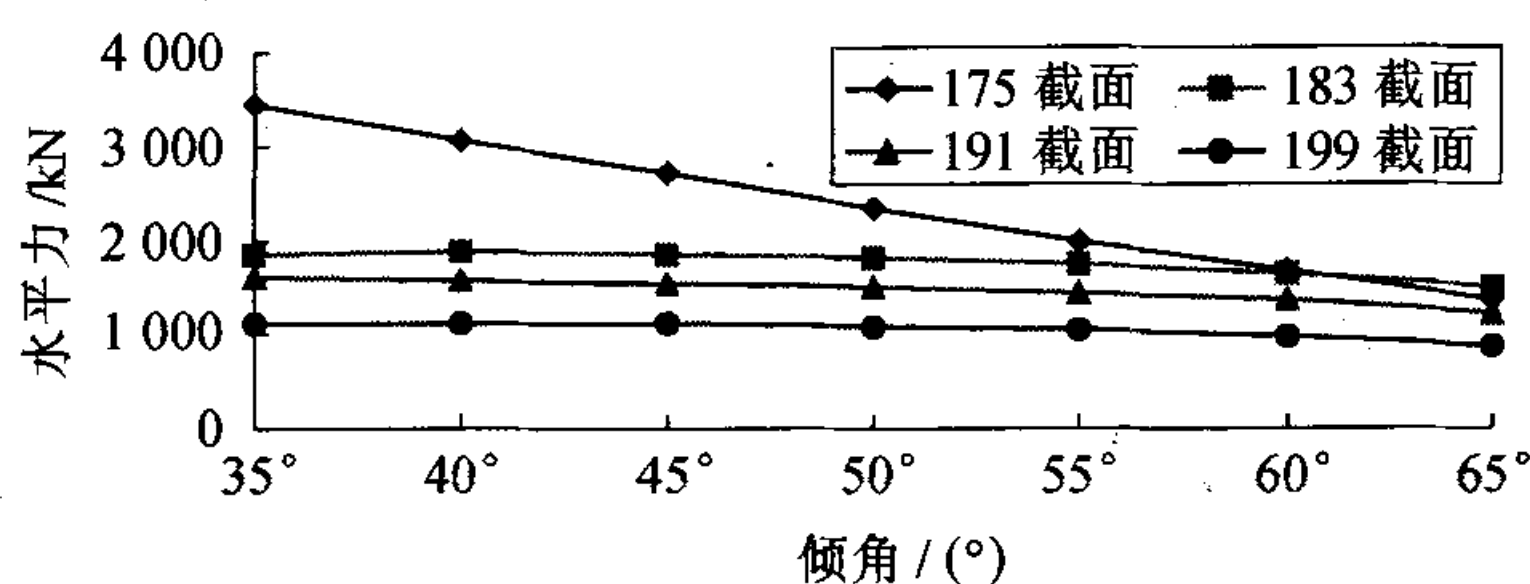
图4 荷载组合 I 墩顶水平力与倾角 α 关系图5 荷载组合 II 墩顶水平力与倾角 α 关系

表9 荷载组合 I 墩顶相应弯矩 kN·m

| 截面号 | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 175 | 200 | 184 | 205 | 235 | 292 | 508 | 690 |
| 183 | -331 | -332 | -358 | -380 | -404 | -428 | -435 |
| 191 | -232 | -270 | -294 | -302 | -303 | -308 | -315 |
| 199 | -124 | 143 | 142 | 139 | 124 | 86.8 | 71.5 |

表10 荷载组合 II 墩顶相应弯矩 kN·m

| 截面号 | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 175 | 817 | 744 | 684 | 694 | 796 | 938 | 1 040 |
| 183 | 366 | 209 | 536 | -55.6 | -143 | -153 | -310 |
| 191 | 1 080 | 820 | 555 | 274 | 142 | 48.6 | 32 |
| 199 | 1 340 | 1 220 | 1 070 | 923 | 816 | 656 | 550 |

表11 荷载组合 I 控制截面竖向位移 mm

| 截面号 | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 7 | -15.8 | -13.8 | -12.3 | -11.2 | -10.5 | -10.0 | -9.7 |
| 18 | -11.1 | -8.9 | -7.5 | -6.5 | -5.9 | -5.7 | -5.7 |
| 38 | -6.9 | -7.2 | -7.3 | -7.5 | -7.6 | -7.9 | -8.5 |
| 48 | -4.1 | -3.8 | -3.6 | -3.3 | -3.1 | -2.9 | -2.0 |
| 61 | -7.1 | -6.7 | -6.5 | -6.5 | -6.6 | -6.8 | -7.3 |
| 81 | -4.5 | -4.9 | -5.4 | -5.9 | -6.5 | -7.1 | -7.7 |

绝对值都不大,说明倾角 α 的变化对其影响不大。

从表12可以看出,在荷载组合 II 情况下,随着倾角 α 的增大,各截面竖向位移均有不同程度地减小,因此,倾角 α 宜取大值。

表12 荷载组合 II 控制截面竖向位移 mm

| 截面号 | 35° | 40° | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | -30.8 | -27.7 | -25.4 | -23.8 | -22.8 | -21.7 | -21.2 |
| 18 | -29.5 | -25.2 | -22.1 | -19.9 | -18.3 | -17.4 | -17.2 |
| 38 | -25.8 | -24.6 | -23.5 | -22.6 | -21.9 | -21.6 | -21.4 |
| 48 | -10.3 | -10.0 | -9.7 | -9.7 | -9.5 | -9.0 | -8.3 |
| 61 | -24.8 | -23.3 | -21.7 | -20.6 | -19.6 | -19.0 | -18.3 |
| 81 | -20.4 | -19.9 | -19.5 | -19.2 | -19.1 | -19.1 | -18.7 |

通过以上几个方面对多孔无桥台斜腿刚架桥斜腿倾角 α 的探讨,可知:斜腿倾角 α 取值在45°~55°较为合理。

4 结论

不带挂孔的多孔无桥台斜腿刚架桥工程实践不多,迄今为止,只有本文所述的同福大桥是这种情况,因此,在缺乏其他工程实践经验的情况下,对该结构体系做了探讨,主要结论如下。

(1)无桥台斜腿刚架桥主孔的受力与折线拱有些相似,多孔无桥台斜腿刚架桥与拱桥的连拱情况也有其相似之处,长期的实践经验表明:拱桥的矢跨比不宜过小(常用1/6),有问题的拱桥,多是矢跨比比小的。根据这个道理,斜腿倾角 α 不宜过大。多孔无桥台斜腿刚架桥,由于边斜杆及双向斜腿的存在,斜腿倾角可以适当放宽,但考虑到现在经验还不多,倾角 α 不宜放得太宽。

(2)斜腿倾角 α 对墩顶(或基础顶)的水平力影响较大,而对下部结构影响颇大的是水平力,故倾角 α 的增大是有利的,通常将斜腿倾角 α 设在45°~55°为宜。

(3)本文对多孔无桥台斜腿刚架桥斜腿倾角的优化分析具有普遍意义,对该桥型的研究、设计有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 康俊涛. 无桥台斜腿刚架桥的研究与应用[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [2] 金文成, 高荣雄. 无桥台斜腿刚架桥的优化: 无桥台斜腿刚架桥专题之二[J]. 公路, 2000, (7).
- [3] 王昌武. 无桥台斜腿刚架桥特性分析: 无桥台斜腿刚架桥专题之三[J]. 公路, 2000, (8).
- [4] 康俊涛, 郑俊杰, 王国鼎. 多孔无桥台斜腿刚架桥的设铰问题[J]. 公路, 2005, (4).
- [5] 姚岭森. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1985.

文章编号: 0451-0712(2006)07-0044-05

中图分类号: U448.29

文献标识码: B

自锚式斜拉—悬索协作体系桥梁设计与分析

张 哲, 王会利, 黄才良, 陈 军, 杜高明

(大连理工大学桥梁研究所 大连市 116023)

摘 要: 斜拉桥和自锚式悬索桥相互协作, 形成一种新型的协作体系, 该体系适合于大跨径桥梁。本文以大连庄河建设大桥为背景, 介绍了该体系桥梁的设计构思; 分析了该体系静力、动力特性, 并阐述了吊索疲劳问题, 为斜拉—悬索协作体系的研究提供参考依据。

关键词: 自锚式斜拉—悬索协作体系; 斜拉桥; 自锚式悬索桥

随着设计理论的完善、施工方法的改进、新材料的利用和社会经济的发展, 越来越多的大跨径桥梁为人们所热衷, 斜拉桥与悬索桥是主要考虑的桥型。斜拉桥施工时的悬臂跨径达到 500 m 左右时, 它的空气动力稳定性确实令人担心; 同时它的轴向水平压力也会随着悬臂跨径的增大而迅速增加, 致使主梁根部在近塔处会产生压屈失稳的现象。而悬索桥主缆和主梁用钢量较大, 增加了工程造价, 而且大跨径悬索桥均为地锚式, 需要庞大的锚碇, 其体积随着跨径的增大而迅速增加。主跨 1 000 m 的悬索桥比同等跨径的斜拉桥造价要高出 16.7%。另外, 空气动力稳定性也是悬索桥向大跨径发展的制约因素。

科学技术的发展历史表明, 在两种学科的边缘, 往往会派生出来一种新的学科, 焕发出崭新的异彩。桥梁结构也是如此, 以现代斜拉桥而论, 在其发展的短短 40 多年中, 就曾和多种其他桥型相互协作, 而获得可观的技术经济效益, 斜拉桥与悬索桥之间同样如此。如果斜拉桥中跨跨中部分采用悬索桥, 那么就可以解决在悬拼过程中的静力稳定、空气动力稳定和主梁压力过大的问题; 而对于悬索桥, 借助与斜拉桥的协作, 可以提高整体刚度、降低主缆拉力和锚碇规模, 尤其对深水和软土地基情况意义重大。世界各国桥梁工作者都锲而不舍地探索着, 并多次提出了实桥设计方案, 如土耳其 Izmit 桥、直布罗陀

收稿日期: 2005-12-20

Research on Inclination Angle Optimization of Bridge Leg of Multi-Span Non-Abutment Slant-Legged Rigid Frame Bridge

KANG Jun-tao¹, E De-jun², WANG Guo-ding³

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Forestry survey and design institute of Hubei province, Wuhan 430060, China;

3. School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Multi-span non-abutment slant-legged rigid frame bridge is a multiply redundant structure with larger optimum potential. Combined with engineering practices, according to different load combinations, the optimum analysis of inclination angle of bridge leg is carried out from two aspects of controlling section internal force and displacement of structure. The results indicate that multi-span non-abutment slant-legged rigid frame bridge is similar to multi-arch bridge, and the slant-legged inclination angle of 45°~55° is suitable.

Key words: non-abutment slant-legged rigid frame bridge; multi-span; slant-legged inclination angle