

文章编号: 1674—8247(2018)02—0019—04

大跨铁路曲弦钢桁加劲连续梁预拱度设置研究

季伟强

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘要:文章针对新建郑州至周口至阜阳铁路工程跨宁洛高速工点采用的(86+172+86) m 钢桁加劲预应力混凝土连续梁,以位移荷载起拱法为理论基础,利用 MIDAS/CIVIL 建立钢桁模型,得出符合理论预拱度曲线的上弦杆调整值。针对简支钢桁常用圆曲线预拱度,上弦杆采用统一调整值的情况,提出了以位移荷载起拱法为理论基础,与温度法结合的简支钢桁上弦杆调整值计算方法。经过实际工程验证,得出该方法不需要数学建模和几何关系推导,也不需要过多迭代试算,可快速简便的确定符合设计预拱度的上弦杆调整值。

关键词:钢桁加劲连续梁; 预拱度; 位移荷载起拱法

中图分类号: U441⁺.2

文献标志码: A

Study on Camber-setting of Large-span Railway Curved – string Steel Truss Stiffened Continuous Beam

Ji Weiqiang

(China Railway Design Corporation, TianJin 300142, China)

Abstract: The model of the (86 + 172 + 86) m steel truss stiffened prestressed concrete continuous beam, which is used in the construction of Zhengzhou-Zhoukou-Fuyang railway project, is established based on the displacement load arching method to obtain the adjusting value of the upper chord of the theoretical precamber curve by using the Midas/civil. In view of the common circular curve camber of simply supported steel truss and the uniform adjustment value of the top chord, a calculation method of adjusting value of simply supported steel truss top chord is put forward, which is based on the combination of the displacement load arching method and the temperature method. After the actual engineering verification, it is concluded that the method does not need mathematical modeling and geometric relation deduction, and does not require too much iterative trial calculation, which can quickly and easily determine the adjustment value of the top chord conforming to the designed camber.

Key words: steel truss stiffened continuous girder; camber; displacement load arching method

随着高速铁路建设的发展,在满足安全性的基础上,对桥梁结构的舒适性提出了更高的要求。为了减小列车过桥时的线路转角,保证线路平顺,桥梁结构需要设置预拱度。TB 10091 – 2017《铁路桥梁钢结构设计规范》规定:桥跨结构应预设上拱度,上拱度曲线应

与恒载和半个静活载产生的挠度曲线形状基本相同,但方向相反^[1]。

对于钢桁结构,预拱度的设置方法通常是伸长或缩短上弦杆件拼接缝尺寸,增加或减少上弦节间长度^[2-5]。常规的预拱度设置方法主要有几何法和温度

收稿日期:2017-12-18

作者简介:季伟强(1990-),男,工程师。

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(721681)

引文格式:季伟强. 大跨铁路曲弦钢桁加劲连续梁预拱度设置研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(2):19-22.

Ji Weiqiang. Study on Camber-setting of Large-span Railway Curved-string Steel Truss Stiffened Continuous Beam [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 19-22.

法。几何法的优点是计算时间短,可编制 Excel 表格来计算。缺点是未考虑各主桁杆件的伸长或缩短,求出的拼缝值有一定误差,需要进行修正。温度法的优点是计算结果准确,缺点是因为反推的关系,需计算者具有丰富的设计经验,且需经过多次试算才能得到准确结果,计算时间长。因此,在应用到一些特殊的钢桁结构体系上时,人们往往借助于一些其他方法。冯沛在几何法的基础上,采用非线性规划方程,目标函数为计算挠度值与理论挠度值的差值平方和最小,约束条件为各点计算挠度值与理论挠度值的差值在合理范围内,未知量即为各上弦杆的伸长值,利用数学软件进行求解^[6];胡步毛等人在温度法的基础上,同样采用非线性规划方程,建立上弦杆温度荷载与下弦杆节点位移间的函数方程,进行求解^[7];蔡禄荣等人提出位移荷载起拱法,以理论预拱度作为输入荷载,通过杆件有限元方程,求解出杆件伸缩量^[8]。

本文在位移荷载起拱法的基础上,结合 MIDAS/CIVIL 程序,快速计算出设计预拱度下的拼缝值。同时,探讨了适用于简支刚桁架对拼缝值要求一致的计算方法。

1 工程背景

新建郑合-周口-阜阳铁路工程跨宁洛高速公路工点,采用了(86+172+86)m 曲弦钢桁加劲预应力混凝土连续梁。相较于传统钢桁加劲连续梁,本桥端弦杆采用曲弦或以折代取形式,结构上呈现出拱的受力特点。同时,用腹杆分散了端弦杆的受力,降低了端弦杆与主梁连接节点的设计难度,避免了端弦杆构造过于厚重,使结构造型新颖优美,受力合理。

线路设计速度 350 km/h,设计荷载为“ZK 活载”,无砟轨道。梁身采用单箱双室变高度箱型截面,中跨跨中及边支点处梁高 5 m,中支点处梁高 11 m,梁高按二次抛物线变化。主梁顶宽 14.6 m。钢桁采用再分式桁架,桁高 14 m,节间距 16 m。在中支点位置采用曲弦方式和混凝土梁相接。全桥对称设置 2 道桥门架,2 道横梁。主桥效果图如图 1 所示。

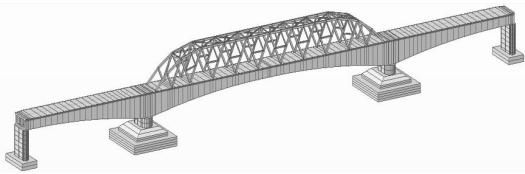


图 1 (86+172+86)m 钢桁加劲预应力混凝土连续梁

由于悬浇施工,钢桁加劲连续梁设置的预拱度不均匀,且本梁位于不对称竖曲线上,施工中是先混凝土

梁后钢梁。因混凝土梁刚度很大,一旦合拢,钢梁就必须根据混凝土梁线形设置预拱度,无法拟合常用的圆曲线的形式。同时,曲弦结构使得采用传统几何法计算预拱度拼缝值变得非常困难。因此,本文采取以位移荷载起拱法为理论基础,有限元算法计算曲弦钢桁加劲连续梁预拱度的拼缝值。

2 预拱度设置方法

位移荷载起拱法可理解为当钢桁架结构发生满足预拱度要求的变形时,仅存在拼缝桁架杆件会产生变形,可将此单元定义为弹性体;其余桁架杆件由于不存在拼缝,相对基本不发生变形,可定义为刚体。由此,可根据桁架结构达到理论预拱度后弹性体的应力推算出弹性体的伸长量。

2.1 预拱度计算方法

郑阜曲弦钢桁结构如图 2 所示,圆圈标注处为预设拼缝位置。

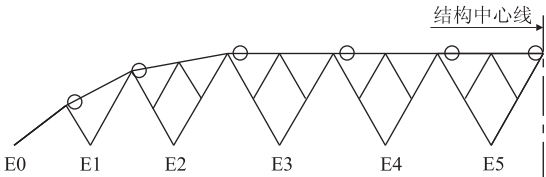


图 2 曲弦钢桁结构及拼缝设置部位

本工程钢桁拼缝计算方法包括以下几步:

(1)根据工程实设预拱度,确定对应钢桁架节点相对变形前竖向位移,如表 1 所示。

表 1 钢桁架节点理论预拱度(mm)

钢桁节点	E1	E2	E3	E4	E5	E6
预拱度	-120	-84.8	-51.1	-17.4	4.5	14.1
钢桁节点	E7	E8	E9	E10	E11	E12
预拱度	12.5	-0.4	-25.6	-62.6	-99	-136.5

(2)采用桁架单元按照钢桁结构形式建模,如图 3 所示。将设置了拼缝的单元(1~10 号单元)设置为同一弹性模量材料,其余单元设置为弹性模量无穷大材料。

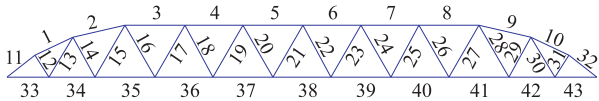


图 3 辅助计算模型单元号

(3)以表 1 中的理论预拱度作为节点强制位移,给 1~12 号节点施加强制位移约束,同时约束 1 号节点的横向位移。

(4)运行 MIDAS 模型,提取设置了拼缝的单元

(1~10号单元)桁架单元应力,并根据单元长度计算单元伸长量,如表2所示。该伸长量即为设计预拱度对应的杆件拼缝值。

表2 郑阜钢桁加劲连续梁拼缝值计算表

桁架单元号	桁架单元应力/Pa	单元长度/m	拼缝值/mm
1	2.77E+04	11.13	3.1
2	4.33E+04	14.68	6.4
3	6.51E+04	16	10.4
4	6.70E+04	16	10.7
5	6.13E+04	16	9.8
6	6.13E+04	16	9.8
7	6.70E+04	16	10.7
8	6.51E+04	16	10.4
9	4.33E+04	14.68	6.4
10	2.77E+04	11.13	3.1

2.2 计算方法验证

由于曲弦钢桁架较难采用几何方法验证,因此本文采用津秦125 m双线简支钢桁梁(如图4所示)钢桁拼缝计算进行验证。

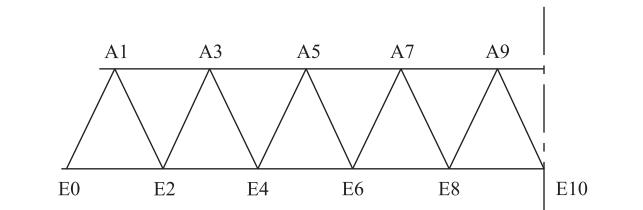


图4 津秦钢桁梁结构示意图

津秦钢桁梁原预拱度设计方法采用几何法,考虑施工便利,将拼缝值设置为统一值 Δ ,通过迭代试算得出当拼缝值统一取为18 mm时,由几何法推出的实设预拱度 f_m (如表3所示)与实设预拱度差值较小,可满足设计要求。MIDAS 计算模型如图5所示。理论预拱度与实设预拱度对比如表4所示。

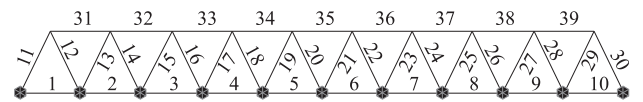


图5 津秦钢桁梁拼缝计算模型

表3 几何法根据实设拼缝值推出实设预拱度

位置	D/m	H/m	L/m	Δ/mm	R/m	f/m	x/m	f_m/mm
A1	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	62.5	0
A3	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	50	77.9
A5	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	37.5	138.5
A7	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	25	181.7
A9	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	12.5	207.7
A9'	12.5	13	125	18	9 028	0.216 3	0	216.3

注: D ——节间长; H ——桁高; L ——计算跨度; R ——预拱度圆曲线半径; f ——预拱度圆曲线对应弦长 L 的矢高; x ——计算位置距梁端距离。

表4 理论预拱度与实设预拱度对比

位置	节点	活载/mm	活载动力系数	恒载/mm	1/2 静活载/mm	理论预拱度/mm	实设预拱度/mm	差值/mm
E0	1	0	1.17	0	0	0	0	0
E2	3	-31.9	1.17	-54.9	-13.6	68.5	77.9	9.3
E4	5	-59.9	1.17	-103.7	-25.6	129.3	138.5	9.2
E6	7	-81.4	1.17	-141.3	-34.8	176.1	181.7	5.6
E8	9	-95.8	1.17	-167.1	-41	208.1	207.7	-0.4
E10	11	-101	1.17	-176.4	-43.2	219.6	216.3	-3.2
E8'	13	-95.8	1.17	-167.1	-41	208.1	207.7	-0.4
E6'	15	-81.4	1.17	-141.3	-34.8	176.1	181.7	5.6
E4'	17	-59.9	1.17	-103.7	-25.6	129.3	138.5	9.2
E2'	19	-31.9	1.17	-54.9	-13.6	68.5	77.9	9.3
E0'	21	0	1.17	0	0	0	0	0

为了验证本文提出的拼缝计算方法,采用津秦实设预拱度作为主桁节点的强制位移,拼缝单元应力及伸长量计算结果如表5所示。

计算结果与几何法完全吻合,证明了该计算方法的正确性。

2.3 与几何法的结合

对于郑阜钢桁架加劲连续梁项目,由于拱结构需要适应刚度很大的混凝土主梁的变形,因此拱线形需

要与梁体预拱度较好地吻合。而对于像津秦125 m双线简支钢桁梁这类结构,为施工方便,一般统一将拼缝值拟定为一个值,并要求按照这个拼缝施工处的钢桁结构实际预拱度与理论预拱度相差较小。

采用本文提出的计算方法,可很好地与温度法进行结合,快速完成钢桁结构实际预拱度调整。具体步骤如下:

(1)按照理论预拱度,计算出复核理论预拱度线

形的理论拼缝值,方法同 2.1 章节,只是将节点强制位移改为理论预拱度位移值,如表 6 所示。

表 5 津秦钢桁梁拼缝值计算表-实设预拱度			
桁架单元号	桁架单元应力/Pa	单元长度/m	拼缝值/mm
31	1.44E+05	12.5	18
32	1.45E+05	12.5	18
33	1.43E+05	12.5	18
34	1.45E+05	12.5	18
35	1.43E+05	12.5	18
36	1.45E+05	12.5	18
37	1.43E+05	12.5	18
38	1.45E+05	12.5	18
39	1.44E+05	12.5	18

表 6 津秦钢桁梁拼缝值计算表-理论预拱度			
桁架单元号	桁架单元应力/Pa	单元长度/m	拼缝值/mm
31	6.41E+04	12.5	8
32	1.17E+05	12.5	15
33	1.23E+05	12.5	15
34	1.71E+05	12.5	21
35	1.91E+05	12.5	24
36	1.71E+05	12.5	21
37	1.23E+05	12.5	15
38	1.17E+05	12.5	15
39	6.41E+04	12.5	8

(2)由以上计算结果可知,将伸长量设置在 15 ~ 21 mm 之间较为合理,仍采用上述模型,将约束条件改为约束最左侧主梁节点的横向、竖向位移,约束其余主梁节点的横向位移。

(3)根据实际拼缝值与设置拼缝单元材料特性计算出升温荷载,施加在设置拼缝单元。

计算出的实设预拱度值与理论预拱度差值如 6 图所示。

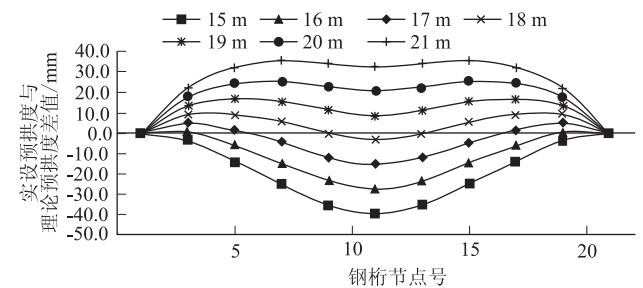


图 6 津秦钢桁梁拼缝值计算表-理论预拱度

3 结论

本文在位移荷载起拱法的理论基础上,结合 MIDAS/CIVIL 有限元程序,通过施加理论预拱度的方

法,快速得到了对应理论预拱度杆件拼缝值,并采用几何法进行了验证,证明了该计算方法的正确性。同时提出了适用于要求拼缝值统一的钢桁结构,在位移荷载起拱法求出最优解的基础上,结合温度法和 MIDAS/CIVIL有限元模型,计算最优预拱度拼缝设置的计算方法。通过工程实践,证明该方法方便简洁,物理概念清晰,不需要迭代试算,能很好地适应工程设计的需要。

参考文献:

[1] TB 10091-2017 铁路桥梁钢结构设计规范[S].
TB10091-2017Code for Design on Steel Structure of Railway Bridge [S].

[2] 曾永平,陈天地,袁明,等. 大跨度铁路钢桁梁斜拉桥预拱度设置[J]. 铁道工程学报,2010,27(10):78-81.
ZENG Yongping, CHEN Tiandi, YUAN Ming, et al. Study on Pre-camber of Large Span Railway Steel-truss Girder Cablestayed Bridge [J]. Journal of Railway Engineer Society, 2010, 27(10): 78-81.

[3] 陈建锋,余浪,杨国静. 南广铁路桂平郁江特大桥主桥钢梁预拱度设置[J]. 铁道建筑,2011,51(9):30-31.
CHEN Jianfeng, YU Lang, YANG Guojing. Erection of Steel Girder Pre-arch for Main Bridge of Guiping Yujiang Bridge of Nan-Guang Railway[J]. Railway Engineering, 2011, 51(9): 30-31.

[4] 赵兴亚. 滨州黄河公铁两用大桥主桥上部结构设计[J]. 桥梁建设,2010,40(2):52-54.
ZHAO Xingya. Design of Superstructure of Main Bridge of Binzhou Huanghe River Rail-Cum-Road Bridge [J]. Bridge Construction, 2010, 40(2): 52-54.

[5] 薛宪政. 滨北线松花江公铁两用桥主桥设计[J]. 高速铁路技术, 2016,7(3):74-78.
XUE Xianzheng. Design of Songhua River Rail-cum-road Bridge on Bin Bei Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(3): 74-78.

[6] 冯沛. 大跨度铁路连续钢桁梁桥预拱度设置研究[J]. 铁道标准设计, 2016,60(4):62-64.
FENG Pei. Study on Camber-setting of Large Span Railway Steel Truss Bridge[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(4): 62-64.

[7] 胡步毛,艾宗良,袁明,等. 基于非线性规划实现钢桁连续梁预拱度[J]. 铁道工程学报,2010,27(4):49-52.
HU Bumao, AI Zongming, YUAN Ming, et al. Use Nonlinear Programming to Achieve Camber of Steel Truss Continuous Bridge [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, 27(4): 49-52.

[8] 蔡禄荣,王荣辉,王钰. 大跨度柏式钢桁梁桥厂制预拱度设置研究[J]. 铁道学报,2013,35(4):96-101.
CAI Lurong, WANG Ronghui, WANG Yu. Study on Plant Precamber Setting of Large-span N Type Steel Truss Bridge[J]. Journal of The China Railway Society, 2013, 35(4): 96-101.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)