

利用常规有限元软件实现无应力状态法

李保俊

(山西省交通科学研究院,山西太原 030006)

摘要: 无应力状态法是一种用于施工控制的先进理论方法,该方法大大方便了施工控制过程。在中国市场上具有无应力状态法专业分析模块的软件很少,即便是广泛使用的 MIDAS Civil 软件也无此模块。本文就此提出了利用一般有限元软件进行无应力状态法分析的方法、流程和注意事项,并通过 MIDAS Civil 建立一钢箱梁斜拉桥有限元模型进行验证。结果表明,该方法完全能够以常规有限元软件为平台来实现无应力状态法。

关键词: 无应力状态法;斜拉桥;悬臂拼装;施工过程分析

中图分类号: U213.2+32 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2015)01-0040-06

0 引言

无应力状态法是秦顺全院士提出的一种桥梁分阶段施工的理论控制方法,它从分阶段施工结构的力学平衡方程^[1]出发,从理论上阐明了桥梁构件单元的无应力状态量是影响分阶段施工结构内力和线形的本质因素。当结构的恒荷载、结构体系、支承边界条件和单元的无应力状态量不变的情况下,其最终内力和位移是惟一的,与其形成过程无关^[2-3]。该方法克服了传统控制方法^[4-5]的缺点,避免了施工方法、施工荷载的影响,是一种先进的施工控制方法。但目前国内市场上具有无应力状态法分析模块的桥梁专业软件很少,只有中铁大桥局的 SCDS 和美国 Bentley 公司出品的 TDV RM BRIDGE,SCDS 主要在大桥局内部使用,而 TDV RM BRIDGE 由于价格较高,普及率偏低。相比之下,韩国 MIDAS IT 公司出品的 MIDAS Civil 具备优越的图形建模功能和精美的操作界面,深受中国桥梁设计者的青睐,美中不足的是其自身没有无应力状态法分析的专业模块。本文提出的方法可以利用 MIDAS Civil 进行应力状态法分析,同时只要遵循本文提出的方法和流程,也可以借助其他常规有限元软件平台来实现,这对于无应力状态法的普及和推广具有一定意义。

1 实现方法、流程和注意事项

利用常规有限元软件实现无应力状态法的方法和流程见图 1。注意:在施工分析中主梁必须采用切线激活的方式,这样才能保证分阶段施工主梁的曲率连续;合龙前必须尽量保证合龙段两端转角和位移的一致和协调,这点可以通过边支座的顶升和拉索无应力长度改变来实现;支座顶升可以通过节点强制位移来实现;拉索无应力长度的调节可以通过单元温度荷载来实现,而在完成合龙后的某一阶段去掉索单元的温度荷载即可恢复到预设的无应力长度。

2 模型验证

2.1 模型介绍

为验证上述方法的有效性,利用 MIDAS Civil 2012 有限元软件建立一跨径布置为 69.3 m + 130 m + 69.3 m 的单索面 3 跨斜拉桥模型。其中,主梁采用梁单元来模拟,截面为箱形截面,外轮廓高 1 m,宽 10

收稿日期:2014-01-09 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxzb.2015.01.08

作者简介:李保俊(1986-),男,助理工程师。E-mail:libaojun282@163.com

李保俊.利用常规有限元软件实现无应力状态法[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2014,28(1):40-44.

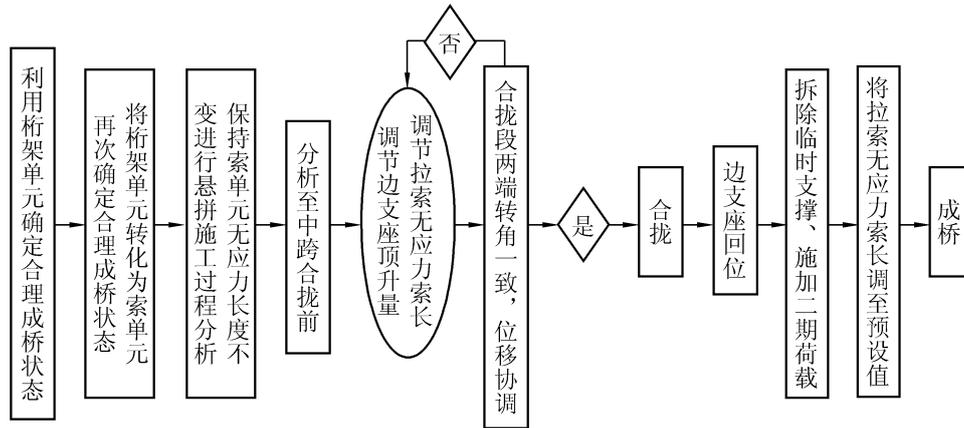


图 1 无应力状态法实现流程图

m,上下缘厚 16 mm,腹板厚 18 mm,材料为 Q235;桥塔同样采用梁单元来模拟,采用边长 5 m 的实心方形截面,材料为 C50;拉索采用桁架(施工过程中用索单元)模拟,其截面为直径 80 mm 的圆,材料为 strand1860。关于斜拉索的布置:最内侧一根拉索上锚点距离主梁形心 24.5 m,下锚点距桥塔轴线 10 m,拉索梁端间距 10 m,塔端间距 2.5 m,每座塔对称支撑 6 对拉索,左右两塔完全对称;塔墩连续,梁墩之间通过支座连接,为半漂浮体系,塔梁之间支座采用节点弹性连接来模拟,而边跨支点采用节点支撑来模拟;全桥共计节点 131 个,单元 152 个,其中梁单元 128 个,桁架(索)单元 24 个。主要荷载:结构自重;二期:39.2 kN/m;挂篮荷载:200 kN。Midas Civil 建立的全桥有限元模型以及拉索编号见图 2。

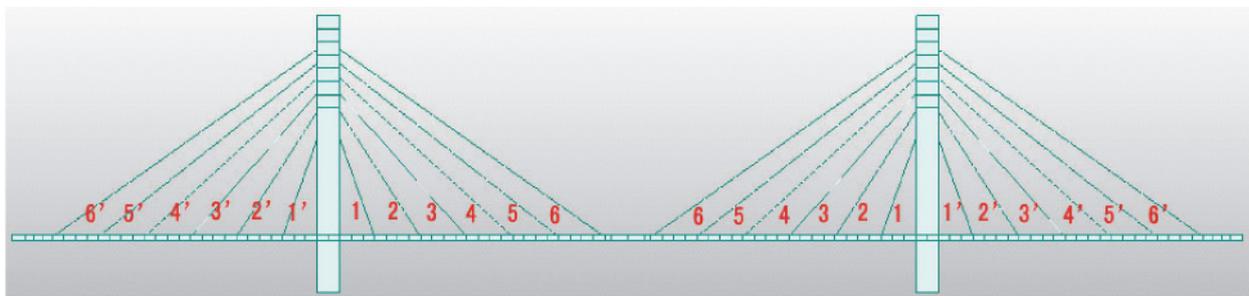


图 2 单索面三跨斜拉桥模型

2.2 设计合理成桥状态

关于合理成桥状态的确定有多种方法,如最小能量法^[6],零位移法^[7]等,而采用不同方法,不同设计人员设计的成桥状态也各不相同,由于不是本文论述的重点,下面直接通过一次成桥给出该模型的两种成桥的状态。一种状态采用桁架单元来模拟斜拉索,另一种状态则采用索单元来模拟斜拉索。

2.2.1 桁架单元模拟拉索

为了便于通过影响矩阵来得到一个合理的成桥状态,斜拉索暂时用线性特性的桁架单元来模拟,在此条件下,可以求得一个一次成桥状态,在这个状态下的主梁弯矩、挠度以及拉索索力见图 3、图 5、图 7(根据对称性,只示出一半)。由图 3、图 5、图 7 可知,在这样的一个设计成桥状态下,主梁的内力均匀,挠度也很小,仅为 11.8 mm,可以认为这个设计成桥状态是合理的。

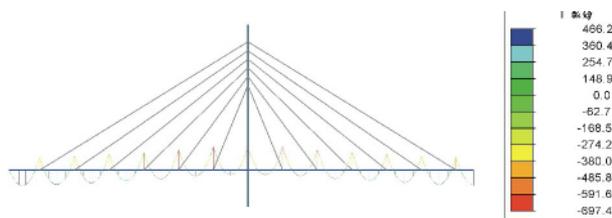


图 3 一次成桥状态主梁弯矩

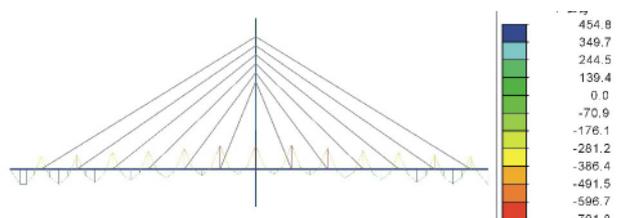


图 4 一次成桥状态主梁弯矩

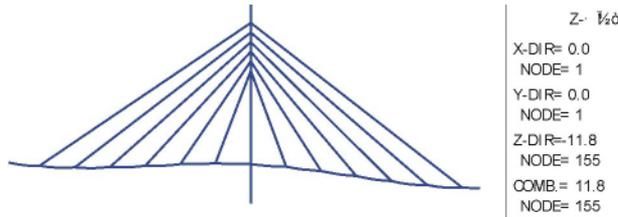


图 5 一次成桥状态主梁位移

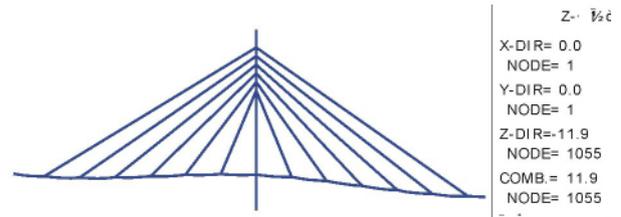


图 6 一次成桥状态主梁线形

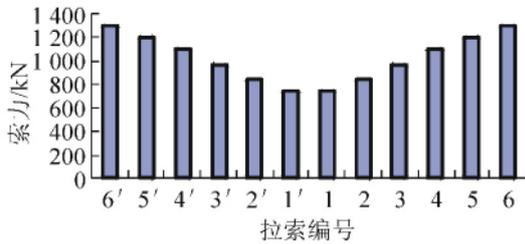


图 7 一次成桥状态拉索索力

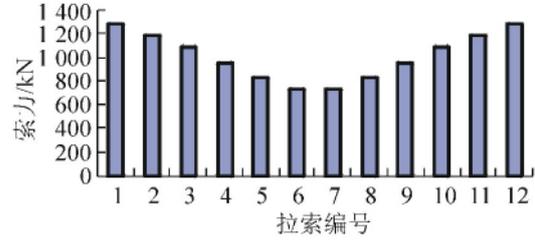


图 8 一次成桥状态斜拉索索力

2.2.2 索单元模拟拉索

进行无应力状态法施工过程分析需要用到拉索无应力长度的概念,故将桁架单元转化为具有非线性特征的索单元来模拟。在建立索单元时,将上述成桥状态下桁架单元的初张力作为索单元的固有特性来输入,由此得到一次成桥时主梁的弯矩、挠度以及拉索索力见图 4、图 6、图 8(根据对称性,只示出一半)。显然,此状态也是一个合理的成桥状态。在一次成桥计算完毕后,程序便会输出此状态下各索单元的无应力长度等信息(见表 1),这些信息将用于无应力法施工过程模拟分析。

表 1 一次成桥状态斜拉索单元信息(单塔)

拉索编号	总长/m	无应力长度/m	垂度/m	倾斜角/(°)		拉索编号	总长/m	无应力长度/m	垂度/m	倾斜角/(°)	
				下端	上端					下端	上端
6'	70.487 8	70.395 2	0.190	31.140 1	32.181 5	1	26.463 3	26.443 5	0.046 9	67.640 2	67.944 5
5'	60.744 4	60.670 9	0.153 1	34.136	35.077 7	2	33.603 4	33.574 8	0.066 6	53.202 9	53.738 3
4'	51.222 1	51.165 4	0.119	38.250 1	39.073 4	3	42.078 5	42.037 5	0.091 3	44.169 9	44.871 8
3'	42.071 5	42.030 5	0.091 2	44.169 9	44.871 9	4	51.230 1	51.173 4	0.119	38.252 3	39.075 6
2'	33.597 8	33.569 2	0.066 6	53.206 5	53.741 9	5	60.753 2	60.679 8	0.153 2	34.139 6	35.081 6
1'	26.46	26.440 2	0.047	67.648 8	67.953 3	6	70.497 3	70.404 8	0.190 2	31.144 5	32.186 7

2.3 施工过程分析

2.3.1 本模型采用悬臂法施工,具体模拟过程

- (1) 激活墩塔,施加自重荷载。
- (2) 激活墩旁临时支撑,安装 0# 块主梁,激活墩上支座,并临时锁定其纵桥向自由度。
- (3) 激活挂篮荷载,采用切线安装的方式激活 1# 块主梁,并激活 1# 和 1# 拉索。
- (4) 移动挂篮荷载至下一阶段,采用切线安装的方式激活 2# 块主梁,并激活 2# 和 2# 拉索。
- (5) 重复以上步骤,施工至 6# 块主梁。
- (6) 激活边跨合龙段。
- (7) 采用变形前激活的方式,激活边跨支座。
- (8) 利用单元温度荷载改变拉索无应力长度,使得合龙段两端位移一致、转角连续。
- (9) 激活中跨合龙段,钝化挂篮荷载。
- (10) 钝化临时支撑:墩旁支撑、支座的纵向锁定。
- (11) 去掉索单元温度荷载,恢复拉索无应力长度至原预设值。
- (12) 施加二期荷载,达到成桥状态。

2.3.2 注意事项

- (1) 在施工计算分析中,斜拉索需要用索单元来模拟,在建立索单元时,其固有特性的输入与前面所

用的初张力不同, 此处输入无应力长度来表征其固有特征, 而各索的无应力长度信息取自表 1, 这样在不采取措施改变拉索无应力长度的前提下, 在施工过程中, 拉索的无应力长度将保持不变, 并与一次成桥得到的无应力长度一致。

(2) 在施工过程中, 主梁通过切线安装的方式激活, 这样便保证了在拼装过程中主梁的曲率连续。

(3) 由于采用索单元模拟斜拉索, 在施工分析中需打开大位移非线性选项, 以计入其垂度效应。

(4) 模型中没有计入混凝土墩塔的收缩和徐变影响。

(5) 边支点顶升的也是实现合龙段两端转角一致的施工措施之一, 但在本施工过程模拟分析中未用到。

2.3.3 关键施工模拟分析结果

(1) 悬拼至中跨合龙前, 在未改变拉索的无应力索长的情况下, 合龙段两端位移达 140 mm, 转角位移差 0.008 rad, 见图 9、图 10。

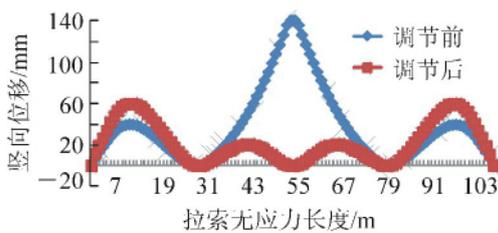


图 9 拉索无应力长度调整前后主梁的竖向位移

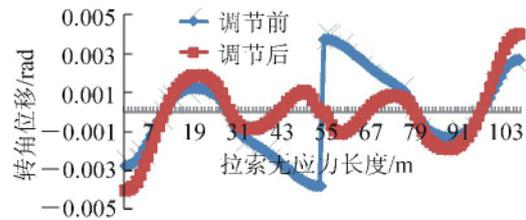


图 10 拉索无应力长度调整前后主梁的转角位移

(2) 通过施加单元温度荷载改变拉索无应力长度, 施加的单元温度荷载以及索无应力长度的变化见表 2。表 2 中温度荷载的正负: 正值表示单元升温, 负值表示单元降温。拉索单元无应力长度的改变: 正值表示伸长, 负值表示缩短。

(3) 改变拉索的无应力长度后, 合龙段两端位移仅 9 mm, 转角位移差 0.000 5 rad, 两端转角已较为一致顺畅, 见图 9、图 10。

(4) 中跨合龙后, 拆除墩旁支撑和墩顶支座临时纵向锁定, 并将拉索的无应力长度恢复至预设值, 施加二期达到成桥后主梁的弯矩、线形、拉索索力见图 11 ~ 图 13。

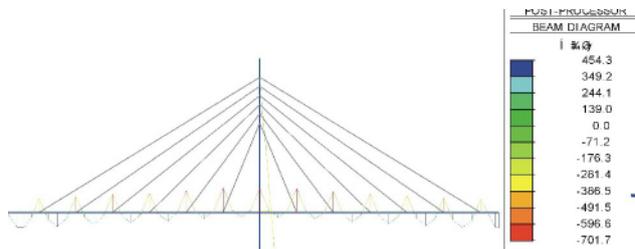


图 11 施工完毕后主梁的弯矩

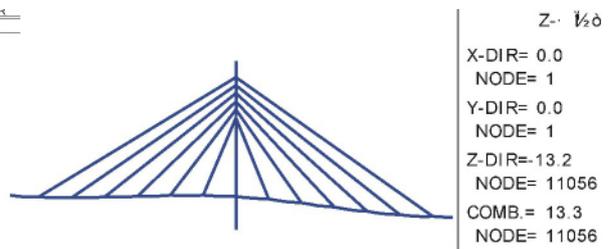


图 12 施工完毕后主梁的竖向位移

表 2 拉索单元无应力长度的调整(单塔)

拉索编号	预设的无应力长度/m	单元温度荷载/(°)	无应力长度改变量/m	改变后的无应力长度/m	拉索编号	预设的无应力长度/m	单元温度荷载/(°)	无应力长度改变量/m	改变后的无应力长度/m
6'	70.395 2	80	0.067 6	70.462 8	1	26.443 5	40	0.012 7	26.456 2
5'	60.670 9	80	0.058 2	60.729 1	2	33.574 8	40	0.016 1	33.590 9
4'	51.165 4	60	0.036 8	51.202 2	3	42.037 5	40	0.020 2	42.057 7
3'	42.030 5	40	0.020 2	42.050 7	4	51.173 4	60	0.036 8	51.210 2
2'	33.569 2	40	0.016 1	33.585 3	5	60.679 8	50	0.036 4	60.716 2
1'	26.440 2	40	0.012 7	26.452 9	6	70.404 8	70	0.059 1	70.463 9

2.4 结果对比

将一次成桥状态的结果和经过施工过程达到的成桥状态进行对比, 两者的差值如图 14 ~ 图 16 所示。可见, 通过改变拉索的无应力长度, 使得合龙段两端的位移一致、转角连续, 待主梁合龙后, 再将拉索

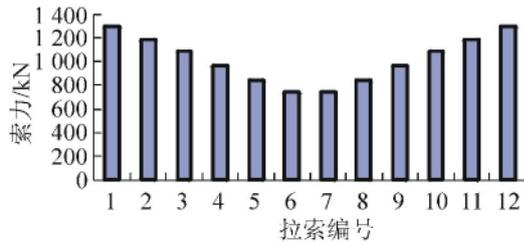


图 13 施工完毕后拉索索力

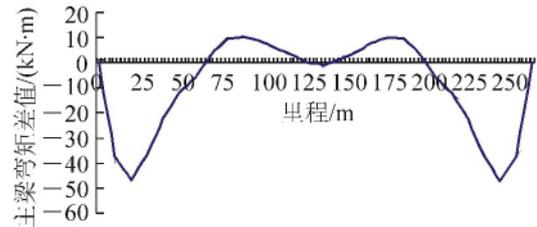


图 14 成桥状态主梁弯矩差值

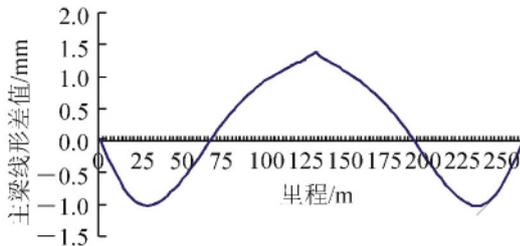


图 15 成桥状态主梁线形差值

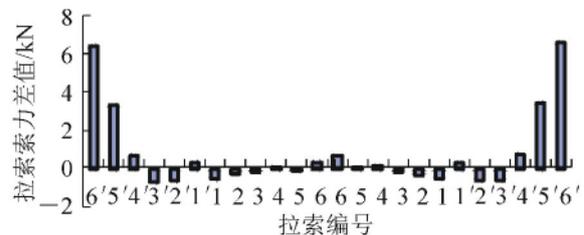


图 16 成桥状态拉索索力差值

无应力长度调至预设值,最终达到的成桥状态与一次成桥状态非常接近,造成两者有微小差别的原因在于合龙段两端的转角并非严格完全的一致。但在实际工程应用中,只要合龙段两端转角差控制在一定工程精度范围内,即可满足要求。

5 结论

(1) 虽然没有内置的专门模块,仍可以通过 MIDAS Civil 运用无应力状态法对钢箱梁斜拉桥进行施工过程分析。

(2) 利用无应力状态法进行施工分析,需要保证最终成桥时拉索的无应力索长为预设值,同时主梁在分阶段安装时要保证曲率连续。

(3) 在施工中,有时必须通过调节索力来保证结构的安全,这时也可以通过 MIDAS Civil 软件的单元温度荷载功能来改变拉索的无应力索长,而在实际的施工过程中,拉索无应力索长的改变可以通过控制其拔出量来实现。

(4) 本文重在提出实现无应力状态法的实现方法和流程,除 MIDAS Civil 软件外,也可以借助其他软件平台来实现。

参 考 文 献

- [1] 秦顺全. 分阶段施工桥梁的无应力状态控制法[J]. 桥梁建设, 2008(1): 8-14.
- [2] 秦顺全. 桥梁施工控制-无应力状态法理论与实践[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [3] 秦顺全. 无应力状态控制法斜拉桥安装计算的应用[J]. 桥梁建设, 2008(2): 13-16.
- [4] 符强, 李延强. 确定斜拉桥施工索力的正装倒拆优化法[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2012, 25(3): 33-37.
- [5] 贾优秀. 离石高架桥 3 号斜拉桥线型控制技术[J]. 山西交通科技, 2005(S1): 107-109.
- [6] 黄侨, 吴红林. 确定斜拉桥成桥索力多约束条件下最小能量法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 39(2): 288-291.
- [7] 颜东煌, 李学文. 混凝土斜拉桥合理成桥状态确定的分布算法[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 43-46.

(下转第 57 页)

7 结语

通过对各种加固方案进行理论分析,选择最优方案对既有大准线 16 m 简支 T 梁进行横向加固,理论及实测结果表明,加固后, T 梁横向刚度改善明显,各项指标均满足检定规范要求,为扩能改造后桥梁安全运营提供了保障。同时,本次理论分析也表明,靠近梁端增加水平横向联结对提高桥跨结构的横向刚度效果更明显,这也符合文献[4]所得结论,且本加固方案仅在梁端附近增加构造措施,新增恒载弯矩较小,对梁体强度及抗裂影响甚微。

参 考 文 献

- [1]杨斌. 铁路提速工程 T 形简支梁横向加固设计[J]. 四川建筑, 2009(4): 180-181.
- [2]中华人民共和国铁道部. 铁运函[2004]120 号 铁路桥梁检定规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [3]刘德军,何赓,李小珍. 40 m 跨双片式简支 T 梁横向加固技术研究[J]. 铁道建筑, 2007(2): 28-31.
- [4]马林. 铁路常用跨度混凝土简支 T 梁横向加固方法的研究[J]. 铁道标准设计, 2008(1): 43-47.
- [5]中华人民共和国铁道部. 铁建设[2010] 241 号铁路混凝土工程施工技术指南[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [6]中华人民共和国建设部. GB50367—2006 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

Research and Application of Lateral Reinforcement on 16 m Simply-supported T-beam for Existing Da-Zhun Line

Wang Yong

(Bridge Design Department of China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Corporation ,Beijing 102600 ,China)

Abstract: By the computation of finite element and dynamic performance testing , it's found that the lateral rigidity for the existed bridge of Da-Zhun line is not accustomed to the new capacity , and the simply - supported T-beams are needed to be reinforced. The general direction of reinforcement is pointed out by analyzing affecting factors of bridge dynamic performance. By calculating and comparing different reinforcement schemes with the help of the finite elements software MIDAS/Civil , optimal ideas are determined , and finally the recommendation is given: beam end diaphragm is to be widened by 0. 65 m , and this section must be prestressed. This scheme is proved reasonably practicable by the theoretical and experimental data.

Key words: existed railway bridge; lateral rigidity; reinforcement; finite element

(上接第 44 页)

Realization of Unstressed State Method with Ordinary Finite Elements Software

Li Baojun

(Shanxi Transportation Research Institute , Taiyuan 030006 , China)

Abstract: Unstressed state method is a kind of advanced theoretical construction control method , which could highly simplify the construction monitoring work. But in the market , there are very rare software that include this specialized module , even the most popular software --MIDAS Civil. To solve this problem , a very effective analysis process and the points for attention are presented in this paper. The effectiveness of this process was tested by a finite element modal of cable-stayed bridge with steel box girder , and the result show that this process could be used in construction analysis based on unstressed state method.

Key words: unstressed state method; cable stayed bridge; cantilever assemble; construction analysis