

文章编号:1673-9469(2015)02-0024-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2015.02.006

温差对磁浮双跨轨道梁变形的影响

高捷,滕念管

(上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院土木工程系,上海 200240)

摘要:为探讨现有规定对磁悬浮轨道梁受温差荷载作用下产生的位移要求是否过于严苛,建立三种不同截面高度的磁浮双跨轨道梁有限元模型进行稳态分析,得到三种不同环境温度下的温度分布及竖向、横向最大位移。比较分析可知:竖向挠跨比均不满足现有规范,现有规范过于严苛;横向挠跨比均满足现有规范。

关键词:双跨轨道梁;温差荷载;温度场;挠跨比

中图分类号:U237; TU312.1

文献标识码:A

Deformation analysis of maglev guideway under temperature load

GAO Jie, TENG Nian-guan

(Department of Civil Engineering, School of Naval, Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: For discussing whether current rules about displacement of maglev guideway under temperature load are too strict to realize, three different - depth - of - section double spans guideways model are established. Distribution of temperature and vertical and horizontal displacement of model in three different ambient temperatures are solved by using thermal - structure coupling analysis of ANSYS. The results show that the vertical displacement of guide way does not satisfy the latest standards and the horizontal displacement can satisfy the latest standards.

Key words: double spans guideways model; temperature difference; temperature field; ration of deflection to span

磁浮列车是一种只靠磁悬浮力推动的列车,不同于传统列车,其在运行时需要以特定高度悬浮,因此对线路的平整度的要求非常高。杨文华^[1]提出了混凝土箱梁腹板开裂时考虑非线性的温度分布;郭健^[2]编写计算程序,得到了混凝土斜拉桥的主梁截面内温度分布和应力分布;李玉磊^[3]研究了在日照环境条件下的单跨简支轨道梁的温度分布。而对于双跨连续梁,现有规定指出,满足线路舒适、安全运营的温度设计参数为在侧向最大温差 10℃ 的情况下,连续梁最大侧向挠度变形应小于等于梁长的 1/6 960;在竖向最大温差为 60℃ 的情况下,连续梁的最大竖向挠度变形应小于等于梁长的 1/6 500。本文采用双跨轨道梁的模型探讨这一要求是否过于严苛。

1 轨道梁温度效应

采用稳态分析方法^[4-5],对轨道梁施加的温

度荷载分为两部分:轨道梁上下表面温差荷载以及与周围环境对流换热荷载。

轨道梁与周围流体间的传热系数为对流换热系数与长波热辐射换热系数之和。其中对流换热系数的取值为^[6]:

$$\text{顶面 } h_c = 3.83v + 4.67 \quad (1)$$

$$\text{腹板 } h_c = 3.83v + 3.67 \quad (2)$$

$$\text{底板 } h_c = 3.83v + 2.17 \quad (3)$$

$$\text{箱梁内部 } h_c = 3.5 \quad (4)$$

长波热辐射换热系数的取值为^[7]:

$$h_r = \varepsilon [4.8 + 0.075(T_0 - 5)] \quad (5)$$

式中, ε 为混凝土表面黑度系数($0 \leq \varepsilon \leq 1$),取值为 0.88^[8]; T_0 为大气温度(℃)。

另外针对不同的环境温度,对轨道梁上下表面施加 60℃ 的温差荷载,对梁侧面施加 10℃ 的温差荷载,本文设定了三个环境温度:5℃、20℃、35℃。

收稿日期:2014-12-09

作者简介:高捷(1990-),男,上海人,硕士,从事结构工程方面的研究。

2 有限元模型

以上海磁悬浮运营线真实轨道梁截面建立模型(截面高度为 2.2 m),并建立另外两种截面高度分别为 2.6 m 及 3.0 m 的模型与之对比分析,如图 1 所示。运用 ANSYS 进行热-结构耦合分析时,采用 SOLID70 单元,各项参数为^[9]:热传导系数 KXX 取 $2.34 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;密度 $DENS$ 取 $2500 \text{ kg}/\text{m}^3$;比热 c 取 $1046 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;弹性模量 EX 取 $3.6 \times 10^{10} \text{ N}/\text{m}^2$;热膨胀系数 $ALPX$ 取 $1.18 \times 10^{-5} \text{ m}/^\circ\text{C}$ ^[9];主泊松比 $PRXY$ 取 0.2。



图1 轨道梁模型

Fig.1 Model of guideway

3 有限元分析

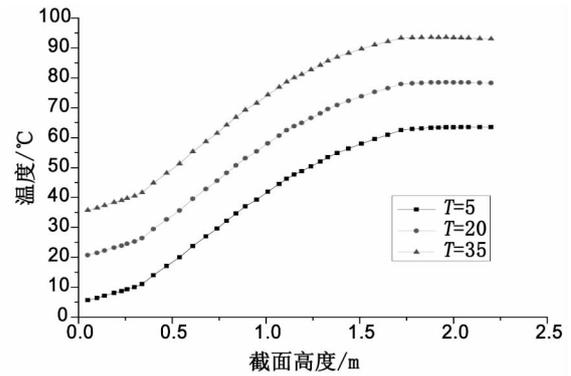
3.1 竖向温度效应

在 ANSYS 后处理中,选取轨道梁挠度变形最大的截面,调出该截面各节点的温度值,并对同一高度处节点取平均值,得到不同环境温度下,截面高度为 2.2 m 的轨道梁的温度分布(图 2(a))。由图可知,轨道梁受上下表面温差荷载作用时,内部温度随截面高度增加而升高,其中顶板与底板处变化较不明显,在腹板处变化明显。

对于相同的竖向温差作用,不同的环境温度对梁截面竖向温度分布影响较小,温度分布呈现相似的规律性。具体表现为三个阶段:(1)在梁高 0~0.3 m 处,温度随高度增加而增加,但增长幅度较小;(2)在梁高 0.3~1.8 m 处,温度随高度增加而增加,且增长幅度较大,并在高约 0.8 m 处达到增长幅度峰值;(3)在梁高 1.8~2.2 m 处,随着截面高度继续增加,温度没有明显变化,与顶面温度保持一致。截面高 2.6 m 及 3.0 m 的轨道梁温度分布与之类似,这里不予列出。

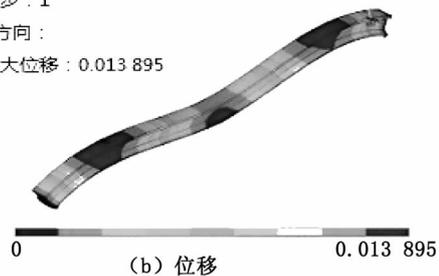
3.2 竖向位移

轨道梁竖向位移云图如图 2(b)所示,最大竖向位移出现在左右两跨距两端约 2/5 处,这是由于对于双跨轨道梁,每一跨的左右约束都不一样,一端为铰接,另一端可视为固接,因此出现竖向最大位移的位置会往铰接的一端偏移。



(a) 温度场分布

荷载步: 1
子步: 1
Y方向:
最大位移: 0.013 895



(b) 位移

图2 高2.2 m轨道梁截面竖向温度效应图

Fig.2 Vertical temperature effect of 2.2 m-high guideway

对比表 1 中数据可知,不同截面高度的轨道梁,在相同温差荷载作用下,位移随环境温度改变的规律呈现一致性。对于同一轨道梁,在温差荷载不变的情况下,竖向最大位移(挠跨比)随环境温度的升高而增加,且成正比关系,即升高相同的环境温度,挠跨比增加的幅度基本相同。对于在相同环境温度且温差荷载一样的情况下,轨道梁挠跨比随截面高度的增加而减少,且减幅也随高度增加而减少。这是由于轨道梁的顶板受限于磁悬浮列车的规格参数,因此一般不进行改动,这就导致在增加截面高度时,只是延伸了轨道梁的腹板部分。而在上文梁截面温度云图中可知,温度的主要变化区域集中在腹板处,因此当腹板延长,主要温度变化区域增大,在温差荷载不变的前提下,区域内的变化幅度变小,使得由温度荷载产生的位移变小。

对比各挠跨比差值可得,在相同温差荷载作用下,升高相同的环境温度,梁截面越高,挠跨比增加量越大。截面高度为 2.2 m 时,环境温度每升高 15°C ,挠跨比增加约 $0.01/6500$;当截面高度为 2.6 m 时,环境温度每升高 15°C ,挠跨比增加约 $0.04/6500$;当截面高度为 3.0 m 时,环境温度每升高 15°C ,挠跨比增加约 $0.06/6500$ 。由此可知,环境温度对竖向位移的影响性随着截面高度增大

表1 轨道梁竖向最大位移

Tab.1 The maximum vertical displacement of guideways

截面高度/m	2.2			2.6			3.0		
环境温度/℃	5	20	35	5	20	35	5	20	35
位移/m	0.013 84	0.013 90	0.013 95	0.012 57	0.012 73	0.012 88	0.012 36	0.012 58	0.012 80
挠跨比 1/6 500	3.63	3.65	3.66	3.30	3.34	3.38	3.24	3.30	3.36

表2 轨道梁侧向最大位移

Tab.2 The maximum horizontal displacement of guideways

截面高度/m	2.2			2.6			3.0		
环境温度/℃	5	20	35	5	20	35	5	20	35
位移/ 1×10^{-3} m	0.991	1.001	1.01	1.01	1.019	1.027	1.046	1.054	1.063
挠跨比 1/6 960	0.260	0.263	0.265	0.265	0.267	0.270	0.275	0.277	0.279

而增强。

由表1 挠跨比一栏可知现阶段的实际工程都无法满足现有规定对竖向位移的要求,这一规定是过于苛刻的。

3.3 侧向温度效应

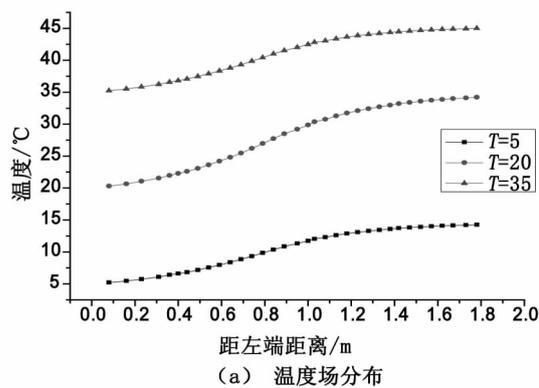
类似计算竖向温度效应时的方法,在探讨侧向温度效应时,对轨道梁两侧施加恒定的温差荷载(左端低,右端高),将结果文件中位于距轨道梁顶板左端同一距离处的节点温度取平均值,得到轨道梁截面横向温度分布,如图3(a)所示。轨道梁内部温度分布为越靠近右端,温度越高,轨道梁内部温度随着位置的右移而增加,且整体变化较平稳,相差较小。

3.4 侧向位移

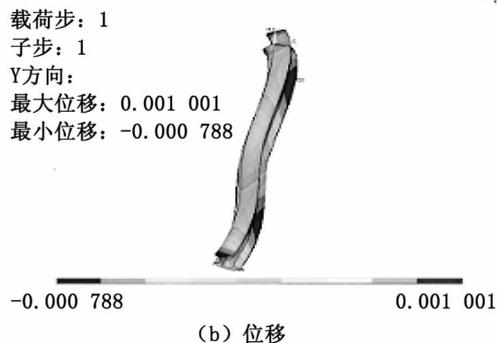
轨道梁的侧向位移云图如图3(b)所示。与竖向温差荷载引起的竖向位移类似,最大位移同样出现在各跨距远端2/5处,这也是由于每一跨的左右端约束不同所造成的。

表2中列出了不同截面高度的轨道梁在不同环境温度情况下受侧向温差荷载产生的侧向位移。轨道梁内部温度随环境温度升高所引起的变化呈现一致性、规律性。对于同一轨道梁,在相同侧向荷载作用下,环境温度越高,侧向位移越大;对于在同一工况下(即环境温度与温差荷载都相同),轨道梁侧向位移随截面高度的增加而增加但涨幅较小。这是由于轨道梁的顶板尺寸是固定的,决定了其侧向长度不变,当截面高度增加,腹板高度随之增加,轨道梁顶板与底板距离质心距离增加,使得左右两端温差所引起的侧向位移增加。涨幅小是由于温度变化主要集中在顶板与底板,使得腹板的长度随截面高度增加,其对整体的

影响性并不大。



(a) 温度场分布



(b) 位移

图3 高2.2 m轨道梁截面横向温度效应图

Fig.3 Horizontal temperature effect of 2.2 m-high guideway

对比同一轨道梁的各挠跨比差值,升高相同的环境温度,挠跨比的增加量大致相同,呈近似线性关系。这是由于本文在分析温度效应时,人为的施加最不利工况,即两端的温差为规范中规定的最大温差,从而求得的稳态解,因此其结果呈现一定的线性特质。

同时,由挠跨比一栏可知,各种工况下的轨道梁侧向挠跨比均小于规范中所规定的1/6 960,因此实际工程中的轨道梁侧向挠跨比满足现有规范。

4 结论

1)不同截面高度轨道梁在仅受竖向温差荷载(60℃)作用下,竖向位移随环境温度升高而增加,随截面高度增加而增加,且各工况竖向挠跨比均大于1/6 500,不满足现有规定,现有规范过于严格。

2)不同截面轨道梁在仅受侧向温差荷载(10℃)作用下,侧向位移随环境温度升高而增加,随截面高度增加而增加,且各工况侧向挠跨比均小于1/6 960,均满足现有规定。

参考文献:

- [1]杨文华.小跨度非预应力混凝土空心板梁桥日照温度效应与收缩研究[D].上海:同济大学,2005.
- [2]郭健.混凝土斜拉桥主梁的非稳态温度场与应力场分析[J].中国公路学报,2005,18(2):65-68.
- [3]李玉磊.磁悬浮轨道梁温度场及温度效应的研究[D].上海:上海交通大学,2010.
- [4]刘兴法.混凝土结构的温度应力分析[M].北京:人民

交通出版社,1991.

- [5]许杨建,王飞,杜海洋,等.边界不同恒温时功能梯度板平面稳态温度场[J].河北工程大学学报:自然科学版,2013,30(2):4-8.
- [6]DILGER W H, GHALI A, CHAN M, et al. Temperature stresses in composite box girder bridges [J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1983, 109(6): 1460-1478.
- [7]BRANCO F A, MENDES P A, MIRAMBELL E. Heat of hydration effects in structures [J]. ACI Material Journal, 1992, 89(2): 139-145.
- [8]SAETTA A, SCOTTA R, VITALIANI R. Stress analysis of concrete structures subjected to variable thermal loads [J]. Journal of Structural Engineering, 1995, 121(3): 446-457.
- [9]TB10002.3-2005,铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].
- [10]芦琴,朱显鹤,惠亚芳.热膨胀系数对混凝土温度应力的影响[J].水电能源科学,2010,28(8):106-107.
- (责任编辑 王利君)

(上接第9页)连续墙侧移最大值位置随基坑开挖深度的增加而下移,而且侧移最大值位置位于开挖面附近的现实情况是相符合的。

综上所述,横向支撑可以有效减小地下连续墙的弯矩,采用混凝土支撑效果更加明显;但是地下连续墙受拉区域主要受开挖深度的影响,支撑的影响不大;本文建立的有限元模型地下连续墙弯矩计算结果符合实际情况。

5 结论

1)计算得到的深层水平位移曲线呈现为“两头小,中间大”的抛物线形位移,而且最大侧移位置位于开挖面附近且随开挖深度不断下移。

2)横向支撑可以有效减小地下连续墙的弯矩,采用混凝土支撑效果更加明显;但是地下连续墙受拉区域主要受开挖深度的影响,支撑的影响不大;本文建立的有限元模型地下连续墙弯矩计算结果符合实际情况。

参考文献:

- [1]刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.

- [2]王印昌.地下连续墙变形—内力的反分析方法[J].中国市政工程,2008(7):32-36.
- [3]朱向荣,方鹏飞,李刚.软土地基中超长桩工程性状试验分析[C]//中国土木工程学会.中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集,2003:589-592.
- [4]张雪松.建筑基坑支护工程安全的影响因素分析[J].黑龙江科技信息,2007(27):262.
- [5]刘冬,曹雪山,刘兴.深基坑围护结构侧向位移变化规律分析研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2014,31(3):31-34.
- [6]徐浩峰.软土深基坑工程时间效应研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [7]喻军华,金伟良,邹道勤.分析初始地应力场的位移函数法[J].岩土力学,2003,24(3):417-419.
- [8]刘利民,张建新.深基坑开挖监测时测斜管不同埋设位置量测结果的比较[J].勘察科学技术,1995(6):37-39.
- [9]胡春林,陈琍,罗仁安,等.高层建筑深基坑开挖施工期的监测和险情预报[J].岩土力学,1996,17(2):64-69.
- [10]姚伯金.基坑监测的一种施测方法[J].江苏测绘,1996(1):31-33.

(责任编辑 王利君)