

摘要:针对城市轨道交通的特点,基于有限元理论,建立整体道床轨道结构的模型,对整体道床垂向受力进行了研究,计算分析了不同扣件刚度及不同扣件间距对轨道结构力学特性的影响,得出影响规律。

关键词:城市轨道交通,整体道床,垂向力

城市轨道交通以市区和市郊运输为主要目标,具有客运量大、车辆轴重轻、运营速度低、行车密度高、客流比较集中、牵引分散、全程距离短和运营单一等特征,对轨道结构的安全可靠性及舒适、低噪声、长寿命、少维修也提出了更高的要求。城市轨道交通的这些特点,决定了其应采用有别于国铁轨道的设计标准,以达到标准合理,技术安全,投资经济的目标[1-4]。针对城市轨道交通的特点,本文着重对城市轨道交通整体道床的垂向受力进行研究。文章基于有限元理论,使用“ANSYS”分析软件建立桥上整体道床轨道结构的模型,计算分析了不同扣件刚度和不同扣件间距对钢轨及道床的变形受力影响,找出其影响的规律。

1 计算模型

整体道床式轨道结构在列车荷载作用下采用弹性地基上的“梁—实体”有限元理论进行计算。有限元计算模型为:钢轨模拟为弹性点支承梁;扣件采用线性弹簧;钢筋混凝土道床由于在其厚度方向上的尺寸远小于长度和宽度方向上的尺寸,符合弹性薄板的结构特点,但为更好地提取道床不同位置的应力,本文采用实体单元进行模拟;基础支承弹性系数采用面刚度。以中心水沟短轨枕整体道床为例,具体模型如图1所示。

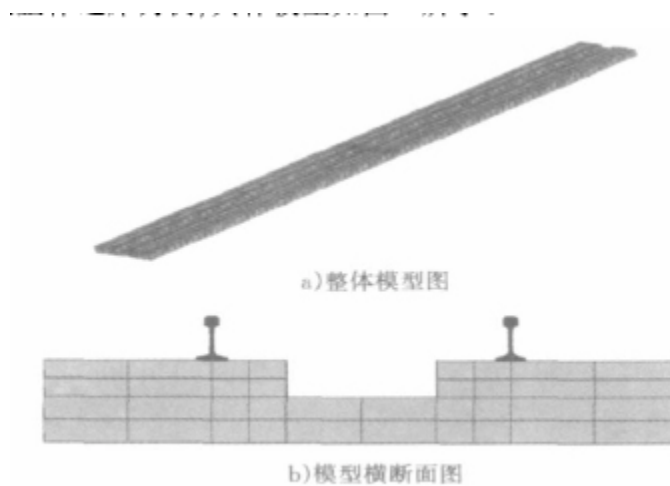


图1 计算模型

2 计算分析

2.1 计算参数及基本工况

计算中按照 60 kg/m 钢轨,车辆荷载按照地铁中大 A 型车进行,A 型车的荷载图示如图 2 所示,荷载计算结合地铁速度为 80 km/h 的运营条件以及偏载系数的影响,选取动载系数为 2.5[5]。A 型车转向架加载,轴距 2.5 m,轴重 160 kN,则设计轮重 $P=(160/2)\times 2.5=200$ kN;基本工况按照矩形隧道内整体道床结构建模,轨枕和道床简化为一体结构,为 C30 混凝土材料,弹性模量为 3.2×10^4 MPa;道床计算长度取 12.5 m;扣件间距取为 0.625 m;扣件垂向刚度为 30 kN/mm;中心排水沟道床顶面宽 760 mm,轨顶至排水沟底的距离为 380 mm。对于上述道床结构形式,在 A 型车加载情况下,道床的受力如图 3~图 7 所示。

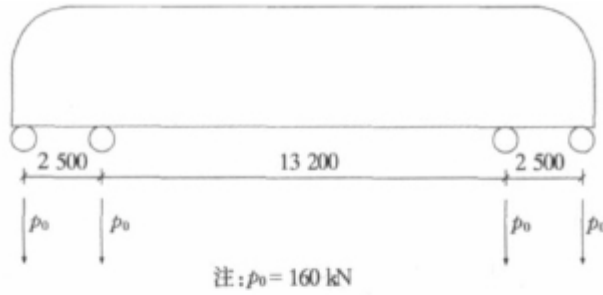


图2 A型机车荷载图(单位:mm)

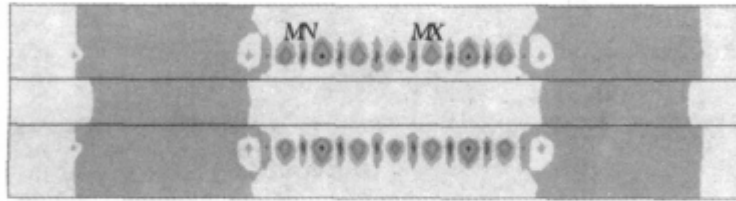


图3 道床纵向应力云图

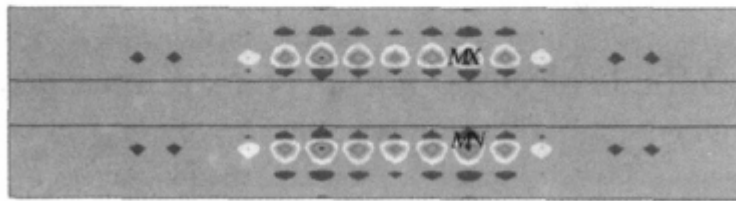


图4 道床横向应力云图

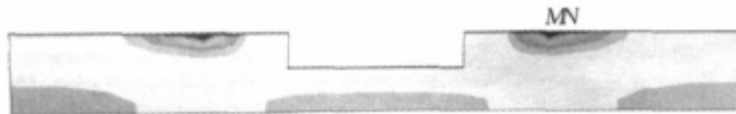


图5 道床横断面纵向应力云图

从有限元的计算结果可以看出,在车辆轮载作用处道床受到很大集中力作用,道床顶面各个方向的应力值都很大,而道床的底面受到的纵向拉应力较大。另外,由图6可以看出,在靠近中心水沟处道床也受到较大的横向应力,这也这就要求对中心水沟下道床的受力引起重视,合理配置一定数量的钢筋将更有利于道床的安全使用。



图6 道床横断面横向应力云图



图7 道床横断面垂向应力云图

2.2 扣件刚度影响分析

实际工程轨道结构可能会选择不同的扣件形式,而不同扣件形式的垂向刚度不同,对钢轨和道床的受力影响也不相同,以下将分析不同扣件刚度对钢轨和道床受力影响,具体计算结果如表1所示。



表 1 扣件刚度影响

扣件刚度 kN/mm	钢轨的垂向 动位移 mm	钢轨最大 动弯矩 kN·m	轨枕最大 压应力 MPa	道床纵向 最大应力 kPa	道床横向 最大应力 kPa	轨头动 弯应力 MPa	轨底动 弯应力 MPa
10	5.72	45.17	0.95	163.91	73.07	155.22	120.45
15	4.04	41.91	1.01	168.13	78.84	144.02	111.76
20	3.21	39.72	1.07	171.53	83.84	136.51	105.93
25	2.69	38.05	1.12	174.48	88.31	130.74	101.46
30	2.34	36.67	1.16	177.14	92.40	126.01	97.78
35	2.08	35.49	1.20	179.59	96.16	121.97	94.65
40	1.89	34.46	1.24	181.15	99.66	118.42	91.89
45	1.73	33.54	1.28	183.98	102.94	115.25	89.43
50	1.60	32.70	1.31	185.97	106.01	112.38	87.21
55	1.50	31.94	1.34	187.86	108.91	109.77	85.18
60	1.40	31.24	1.37	189.65	111.65	107.36	83.31

由表 1 可看出,随着扣件刚度的增大,钢轨的垂向动位移和钢轨的动弯矩都减小,扣件刚度由 10 kN/mm 增大到 60 kN/mm 时:钢轨的垂向动位移由 5.72 mm 减小到了 1.40 mm,减小幅度达 75.4%;钢轨的最大动弯矩由 45.17 kN·m 减小到了 31.24 kN·m,减小幅度为 30.8%。

随着扣件刚度的增大轨枕受到的压应力增大,扣件刚度由 10 kN/mm 增加到 60 kN/mm 时,轨枕受到的压力由 0.95 MPa 增大到 1.37 MPa,增大幅度为 45.0%。道床的纵向和横向应力随着扣件刚度的增加有所增加,扣件刚度由 10 kN/mm 增加到 60 kN/mm 时:道床的纵向应力由 163.91 kPa 增加到 189.65 kPa,增加幅度为 15.7%;道床的横向应力由 73.07 kPa 增加到了 111.65 kPa,增加幅度为 52.8%。

2.3 扣件间距影响分析

分析扣件间距影响时,为了便于对比,统一考虑扣件的垂向刚度为 30 kN/mm,扣件的间距由 600 mm 变化到 725 mm,分别计算其对钢轨和道床的受力影响,计算结果如表 2 所示。

表 2 扣件间距影响

扣件间距 mm	钢轨的垂向 动位移 mm	钢轨最大 动弯矩 kN·m	轨枕最大 压应力 MPa	道床纵向 最大应力 kPa	道床横向 最大应力 kPa	轨头动 弯应力 MPa	轨底动 弯应力 MPa
600	2.27	39.56	1.17	177.98	92.21	135.93	105.48
625	2.34	36.67	1.16	177.14	92.40	126.01	97.78
650	2.41	39.64	1.15	177.95	92.45	136.23	105.71
675	2.49	42.05	1.14	177.03	92.42	144.50	112.13
700	2.57	43.57	1.14	174.38	92.35	149.72	116.18
725	2.64	44.32	1.13	170.26	92.08	152.31	118.19
750	2.71	44.14	1.12	167.39	91.89	151.68	117.70

由表 2 可以看出,随着扣件间距的增大,钢轨的垂向动位移有所增大,扣件间距由 600 mm 增大到 750 mm 时:钢轨的垂向动位移由 2.27 mm 增大到了 2.71 mm,增大幅度为 19.3%;而扣件间距的变化对钢轨最大动弯矩、道床的纵、横向应力的影响变化规律并不明显,主要是因为选择转向架加载,随着扣件间距的变化,荷载作用的相对位置也是变化的,不便于直接比较,但总体看来扣件间距的变化对道床的纵、横向应力影响不大。

3 结语

1)在车辆轮载作用处,道床顶面各个方向的应力值都很大,而道床的底面受到的纵向拉应力较大。在靠近中心水沟处道床也受到较大的横向应力,合理配置一定数量的钢筋将更有利于道床的安全使用。2)随着扣件刚度的增大,钢轨的垂向动位移和钢轨的动弯矩减小,轨枕受到的压应力增大,道床的纵向和横向应力也有所增加。3)随着扣件间距的增大,钢轨的垂向动位移有所增大,而扣件间距的变化对钢轨动弯矩、道床的纵、横向应力的影响变化规律不明显。



参考文献:

- [1]史小龙.城市轨道交通高架整体道床钢轨支承间距的研究[D].北京:北京交通大学土木工程学院,2007.
- [2]高江宁.整体道床计算方法与设计参数研究[D].成都:西南交通大学土木工程学院,2004.
- [3]周安荔.城市轨道交通轨道结构类型选择的研究[J].铁道工程学报,2002,73(1):12-16.
- [4]田李军.关于城市轨道交通高架桥上几种轨道结构的分析与选择[J].地铁与轻轨,2001,23(3):15-16.
- [5]田海波.盾构隧道无轨枕整体道床计算方法及其结构形式研究[D].上海:同济大学交通运输工程学院,2007.

