

华北平原地面沉降对高速铁路桥梁工程的影响研究

李国和^{1,2}, 张建民², 许再良¹, 孙树礼¹

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300142; 2. 清华大学土木水利学院, 北京 100084)

摘要: 采用离心模型试验及数值模拟方法对抽水引起地面沉降进行过程及影响分析, 并进一步采用有限单元法对实测地面沉降条件下的典型地段桥梁工程进行了模拟分析。研究表明, 在抽水井附近及地面沉降的中心区域, 不均匀沉降较为严重, 对桥梁结构变形影响较大, 对不同结构形式的桥梁影响有所不同; 在地面沉降的扩展区域内, 表现为桥梁与地基一同下沉, 对高速铁路桥梁工程影响不大。需采取适宜的对策和措施进行防治。

关键词: 地面沉降; 高速铁路; 桥梁; 影响; 对策

中图分类号: U213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2009)03-0346-07

作者简介: 李国和(1968-), 男, 天津人, 博士后, 高级工程师, 主要从事工程地质和岩土工程方面的研究工作。E-mail: guohe.li@163.com。

Influence of land subsidence on the bridge of high speed railway in North China plain

LI Guo-he^{1,2}, ZHANG Jian-min², XU Zai-liang¹, SUN Shu-li¹

(1. Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300142, China; 2. School of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Centrifugal model tests and numerical simulation are conducted to investigate behaviors of ground settlement due to groundwater exploitation and to demonstrate the influence of land subsidence on three types of bridges. By use of the elasto-plastic finite element analysis method, the structural transformation of the bridge in the typical section of the high speed railway with the influence of land subsidence is studied. At the center district of land subsidence and in the vicinity of the well, the asymmetrical subsidence is more serious, and has larger influence on the bridge structure than the regional land subsidence does. It can be prevented and cured by adopting engineering measures.

Key words: land subsidence; high-speed railway; bridge; influence; engineering measures

0 引言

京沪高速铁路北京至济南段穿越了多个地面沉降区, 且这些区域内有 90% 以上的路段采用桥梁通过, 地面沉降对高速铁路桥梁工程的影响已不可避免。深入开展地面沉降对高速铁路桥梁工程的影响研究可指导高速铁路勘测设计及铁路沿线的地面沉降防治。

多年的观测结果表明, 过量开采地下水是华北平原地面沉降的主要原因, 沉降的产生和发展过程与地下水开采量及地下水水位变化总体呈正相关关系^[1-3]。因此, 若想全面系统地研究地面沉降的过程及影响, 就要首先考虑抽取地下水引起土层压缩变形的机理及过程, 离心模型试验及数值模拟即为本项研究提供了简捷直观的研究方法。本文在前期研究的基础上^[4-5], 采用离心模型试验及数值模拟方法研究了抽水引起地面沉降的过程、规律和机理, 评价了地面沉降对不同结构形式桥梁的影响。

1 抽水引起地面沉降的离心模型试验

(1) 离心模型试验

离心模型试验在清华大学的 50 gt 土工离心机上进行, 其最大离心加速度为 250g。试验采用的地基由潮白河砂质粉土构成, 土样在工程场址附近取得, 其长和高分别为 40 cm 和 45 cm。该粉土的比重为 2.69, 最优含水率为 15%, 干密度 1.46 g/cm³。标准砂形成的砂井用来提供排水边界条件并控制排水量。

试验过程中首先将地基分九层击实至给定干密度, 然后将试样置于真空饱和箱中进行真空饱和后置于离心机吊篮中, 排水系统中气囊充气, 地基表面安装位移传感器。启动离心机后逐级加载直至 75g。由此可使试样尽可能接近当地土的真实性状, 并保证了

模型和原型应力应变基本相等、变形相似。

为了在离心模型试验过程中模拟地下水开采导致的水位下降, 专门研制了一套离心场排水系统。在合适位置安装位移传感器 (W1、W2) 以及孔压传感器 (P1~P12)。地基内部变形采用离心场非接触位移测量系统获得, 并选定 D1~D16 为位移测量点 (图 1)。其中, 孔压传感器量程为 0.3 MPa 与 0.7 MPa 两种, 精度为 0.3 kPa。位移传感器量程为 5 cm, 测量精度为 0.05 mm。为了测量试验过程中土体内部的变形, 采用清华大学新研制的离心场非接触位移测量系统测量土体的位移场^[6]。

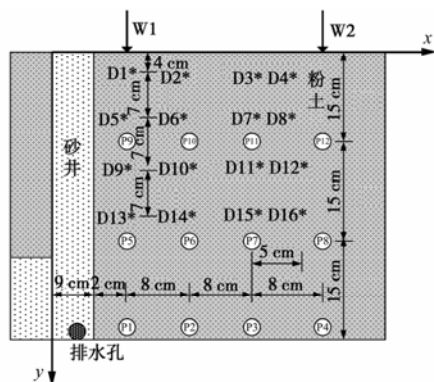


图 1 测量点分布示意图
Fig. 1 Positions of measuring points

二维地基排水试验中, 试验共排水 3 次, 可以分为第一次排水、第一次停止排水后至第二次开始排水前、第二次排水、第二次停止排水后至第三次开始排水前、第三次排水及第三次停止排水后等 6 个阶段。

(2) 排水过程中的沉降变化规律

根据试验结果, 每次排水过程中地基的沉降量增加较快, 而在停止排水后沉降则增长缓慢, 并逐渐趋于稳定。单次排水导致的沉降量随着排水次数的增加逐渐减小。同一高程的各个测量点的沉降量并不相同, 其中靠近砂井的区域沉降量比远离砂井的区域大。这意味着排水引起了较明显的不均匀沉降。

第一次排水 (阶段 1) 引起的沉降量远大于其后阶段的沉降量, 而且其不均匀程度也比后两次排水过程 (阶段 3, 5) 大。6 个阶段末粉土地基上部的沉降分布表明, 第一次排水 (阶段 1) 末地基沉降的不均匀程度最大; 随着排水次数的增加, 地基沉降不均匀程度逐渐减小并趋于稳定。见图 2。

2 基于离心模型试验的地面沉降数值模拟

(1) 数值计算方法与离心模型试验对比验证
建立模拟水井抽水引起地面沉降的数值模拟方

法, 将数值计算结果与离心模型试验结果进行对比分析, 论证数值模拟试验方法的有效性。数值模拟基于商业有限元计算软件 Abaqus 进行。运用有限单元和有限差分方法离散二维 Biot 静力固结方程, 将地基抽水固结沉降问题简化为平面应变问题, 模型采用四节点实体单元剖分。土的本构模型采用修正剑桥模型来模拟, 剑桥模型的试验参数通过三轴不排水试验以及土的侧限试验获得, 土的渗透系数由渗透试验获得。试验所得参数如表 1 所示。

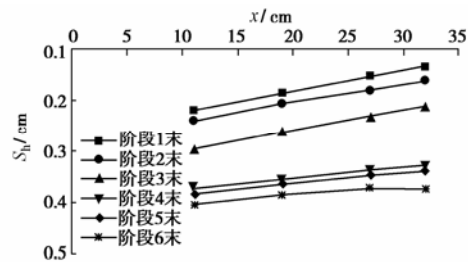


图 2 各阶段末沉降分布对比
Fig. 2 Comparison among settlements at different periods
表 1 材料参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils				
参数	M	λ	K	渗透系数
值	1.38	0.022	0.0058	4×10^{-4} cm/s

图 3 为排水过程中地基位移矢量图, 表明地基沉降时还发生朝向砂井的水平位移。近似的分析比较结果表明, 第一次排水造成的地基侧向变形为 0.01 cm, 大约是第二次排水的 10 倍、第三次排水的 30 倍。

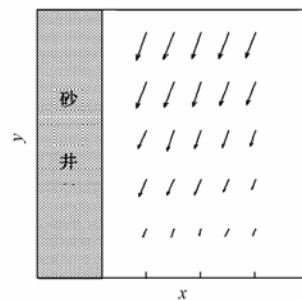


图 3 地基位移矢量示意图
Fig. 3 Vectors of the foundation displacement

地基沉降发展过程的数值计算与离心模型试验结果的对比表明, 数值计算与试验结果相似: 每次排水过程中地基的沉降量快速发展, 而对于后两次排水, 单次排水导致的沉降量随着排水次数的增加逐渐减小 (图 4)。同一高程的 4 个测量点的沉降量并不相同, 其中靠近砂井的区域沉降量比远离砂井的区域大。

三次排水后地基上部土层的沉降分布计算结果与试验结果的对比表明, 排水造成地基中出现不均匀沉

降,阶段 1 末地基不均匀沉降最大,而随着排水次数的增多,地基中不均匀沉降程度有减小的趋势(图 5)。

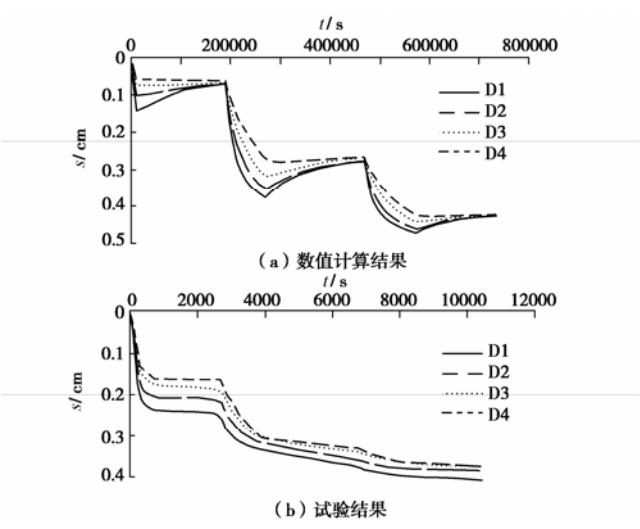


图 4 地基的沉降变化过程 (s: 沉降, t: 时间)
Fig. 4 Histories of settlement in soils

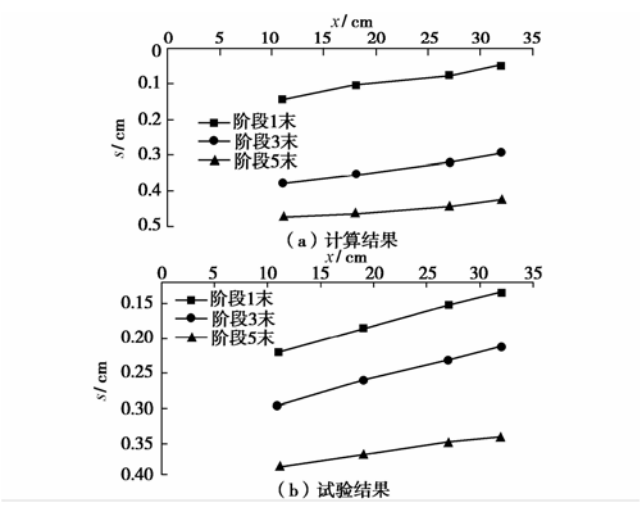


图 5 地基的沉降分布
Fig. 5 The distribution of deformation of soils

当排水时粉土地基中孔压很快下降,而地基沉降经历了由快到慢的过程;地基中同一高程各点的孔压会出现差异,最靠近砂井的区域 P1 孔压下降最快也最大,而远离砂井的区域孔压下降则较小,并且同一高程各点最终沉降量也不相同,靠近砂井的地基沉降发展较快,远离砂井的沉降发展则较慢。这说明粉土地基出现了不均匀沉降。

(2) 地基变形分析

采用验证后的数值计算方法,针对高速铁路经过的北京朝阳地区建立了概化的地质模型。计算中土体采用修正剑桥模型,计算参数来源于铁路勘探试验资料,对于部分没有的土层参数,参考有关资料和工程类比确定。参数值见表 2。

表 2 朝阳区各土层土体计算参考参数

District of Beijing					
土层编号	土层性质	层厚/m	弹性模量 /MPa	初始孔隙比	含水率 /%
L1	黏质粉土	20	10~20	0.9	31
L2	粉细砂	50	20~26	0.812	28
L3	粉质黏土	40	21~33	0.7	25
L4	粉质砂土	50	30~35	0.7	25
L5	粉质黏土	45	30~35	0.7	25
L6	粉细砂	50	35~40	0.7	25
L7	粉质黏土	15	35~50	0.7	25

将地基简化为水平成层的多层地基,将地基不均匀沉降简化为平面应变问题。根据其对称性,采用一半地基进行计算。主要对比分析从不同深度含水层(L6、L4、L2)底部采用相同抽水速率抽水 1 天引起地基沉降规律。考虑到三个不同抽水点的高程不同,为了使得三个抽水点的抽水速率相同以方便对比,将 L6 的抽水点孔压设置为 0, L4 抽水点的孔压设置为 -0.95 MPa, L2 抽水点孔压设置为 -1.85 MPa。见表 3。

表 3 计算方案

Table 3 Computing scheme		
抽水点	孔压边界条件	抽水时间/d
L6 底部	0	3
L4 底部	0.95 MPa	3
L2 底部	1.85 MPa	3

为了研究地基不均匀沉降对高速铁路桥梁的影响,本文对 3 种不同的桥梁(完全刚性桥、简支连续梁桥、简支桁架桥)进行了对比计算。计算中桥梁采用四节点实体单元剖分,选择最不利工况(3 种抽水工况中最不利的工况、桥梁走向沿地基不均匀沉降方向)进行计算。桥梁采用线弹性模型,计算参数弹性模量为 25 GPa,泊松比为 0.22,当模拟铰连接将铰连接部位材料模量降低为 0.25 GPa。

由于计算区域的选取对计算结果会有一定影响,试验中针对从 L6 含水层抽水 3 d,计算模型尺寸分别取 XY 方向为 500 m×270 m、1000 m×270 m、1500 m×270 m、2000 m×270 m,最终选取 2000 m×500 m,此时认为计算区域对计算结果影响较小(图 6)。计算方案如表 3 所示。

计算结果表明,当抽水井开始从含水层抽水时,抽水点的孔压开始下降,地面也开始沉降,第一天内孔压降低与地面沉降发展最为迅速,而第二天与第三天地基孔压基本稳定,地基沉降缓慢发展。对比三种方案下地基沉降的特点,可以看出:当以相同速率抽水时,抽水点越靠近地面地基沉降量越大,而靠近抽水井的区域不均匀沉降程度也越大,但是地面沉降影

响的区域要减小很多。

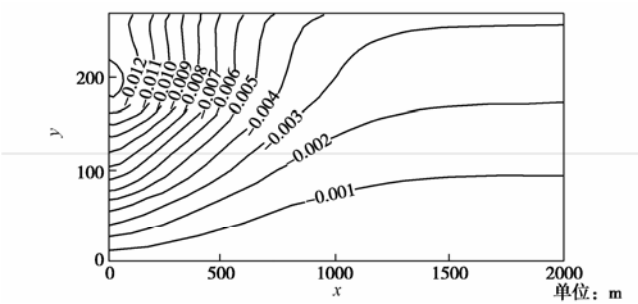


图 6 2000 m×270 m 的竖向位移等值线

Fig. 6 Isoline of vertical displacement within the dimension of 2000 m×270 m

当从较深的 L6 含水层抽水时, 地基中最大的沉降量并不是发生在抽水井处的地面, 而是在地基的某一深度, 随着沉降的逐渐发展, 地基中沉降最大的点逐渐靠近地面。而当从较浅的 L2 含水层抽水时, 地基中的最大沉降发生在抽水井所在的地面处, 见表 4。

表 4 各方案主要计算结果统计表

Table 4 Main calculated results of each case

抽水层	最大沉降量/mm				抽水井处地面沉降量/mm			
	1 h 后	1 d 后	2 d 后	3 d 后	1 h 后	1 d 后	2 d 后	3 d 后
L6	3.00	8.9	11.7	13.3	0.68	6.0	9.46	12.6
L4	4.19	13.3	15.6	18.8	1.97	10.7	15.3	18.8
L2	3.12	16.0	18.5	19.9	3.12	16.0	18.5	19.9

表 5 给出了抽水 3 d 后 3 个计算方案中各土层厚度变化值。可以看出, 当从不同的含水层抽水时, 各土层对沉降的贡献有所不同。进行抽水的含水层以及与该含水层相邻的两个弱透水层对沉降贡献较大。

表 5 各计算方案抽水 3 d 后各土层厚度变化

Table 5 Thickness of each layer in each case after 3 days for pumping water

抽水层	从 L6 抽水	从 L4 抽水	从 L2 抽水
L1	0.10	1.800	6.5000
L2	-0.80	0.100	7.3600
L3	1.40	3.400	4.4300
L4	3.49	7.270	0.9220
L5	3.61	4.030	0.4760
L6	3.52	1.632	0.1577
L7	1.28	0.568	0.0543

注: 压缩为正, 膨胀为负, 单位: mm。

分析表明, 对于抽水井附近区域, 从较浅含水层抽水导致的不均匀沉降较大; 对于范围较广的区域, 从较深含水层抽水导致的地面沉降也是值得注意的。

(3) 地面不均匀沉降对桥梁的影响分析

针对图 7 所示 3 种不同的桥梁(跨长 70 m×110 m

×70 m), 通过从 L2 含水层抽水 3 天这一方案, 研究了不均匀沉降对桥梁的影响。计算网格如图 8 所示, 桥墩位置分别在 $x=10, 80, 190, 260$ m 处。

表 6 桥面最大坡度 (单位: 10^{-5})

Table 6 The largest gradient of bridge face (10^{-5})

桥墩位置	刚性桥	简支连续梁桥	简支桁架桥
$x=80$ m	11.2	22.5	24.3
$x=190$ m	16.6	20.4	20.1

研究表明, 抽水引起地基变形过程中首先对桥梁桩基产生影响, 然后进一步影响到上部结构。沉降区内桥梁桩基均采用摩擦桩, 桩长一般为 45~65 m。抽水过程中地面沉降对桩基的影响主要与抽水深度和距离有关。按从不同深度含水层 (L6、L4、L2) 底部采用相同抽水速率抽水引起地基沉降分析, 抽水点均位于桩尖以下。在抽水点附近, 抽水初期在桩尖附近产生负摩阻, 并逐渐向上部发展, 随着地基的沉降发展, 桩基随之一同沉降。远离抽水点地基变形首先出现在上部, 在桩基的上部出现负摩阻。随着抽水深度的增加, 对桩基的影响逐渐减弱, 但影响范围随之加大。

对桥梁上部结构的影响主要来自不均匀沉降导致的桥梁墩台间的沉降差。根据简支梁桥计算结果, 抽水 3 d 后在不同深度抽水引起的最大沉降差均出现在第二跨, 而从浅层抽水时引起的沉降差明显大于从深层抽水引起的沉降差。见表 7。

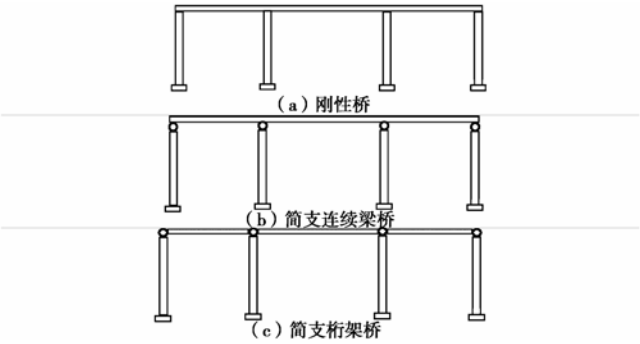


图 7 3 种桥梁型式

Fig.7 Three kinds of bridge patterns

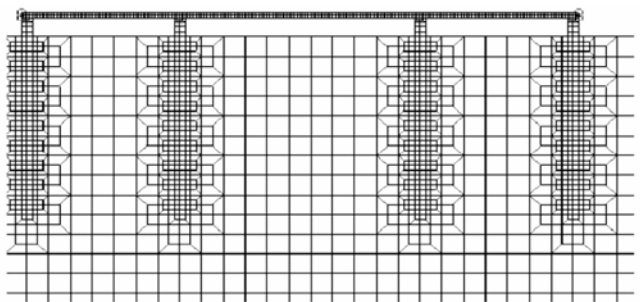


图 8 地基上桥梁有限元网格

Fig. 8 Finite element mesh of the bridge on foundation

表 7 抽水 3 d 后桥梁墩台间沉降差

Table 7 Differential settlement between two piers after 3 days for pumping water

抽水点	抽水井处地面 沉降量/mm	墩台间沉降差/mm		
		X=70 m	X=110 m	X=70 m
L6	12.6	0.6	1.2	0.8
L4	18.8	1.8	3.0	2.0
L2	19.9	2.9	4.0	3.0

3 种不同型式的桥随着抽水引起的地基不均匀沉降, 桥面都出现了轴向应变, 在排水初期, 离抽水点最近的位置附近桥面轴向应变最大, 随着抽水的继续进行, 变形逐渐发展。刚性桥在桥墩处特别是两边桥端出现了比较明显的应力集中, 桥面的轴向变形也大部分集中在这里, 而随着沉降的发展, 轴向应变量逐渐增大, 但主要分布型式没有太大变化。简支连续梁桥首先在两个桥端出现了明显的轴向应变, 随着沉降的发展, 中间两个桥墩处轴向应变迅速发展, 而两桥端的轴向应变没有明显变化。简支桁架桥的轴向应变分布从抽水初期到结束都比较均匀。通过比较, 可以看到刚性桥轴向应变值最大, 简支桁架桥最小, 这说明从桥梁的安全性来比较, 刚性桥桥面最容易破坏, 而简支梁桥最安全。见图 9~11。

3 种桥梁均在桥墩处桥面的坡度变化最大。其中, 刚性桥的桥面坡度变化最小, 而简支桁架桥的桥面坡度变化最大。由于刚性桥整体性较好, 在相同的地基不均匀沉降时, 其桥面的不平顺度最小, 但在桥墩处更容易破坏; 简支桁架桥由于桥面约束相对较小, 桥体本身比较安全, 但由此也会带来桥面更大的不平顺。

3 典型地段地面沉降对桥梁工程影响分析

为了进一步研究华北平原地面沉降扩展区域内的

地面沉降对桥梁工程的影响, 以京沪高速铁路老龙河特大桥及青沧特大桥跨南运河段为背景, 通过数值计算研究因地下水开采引起地面沉降对路面平顺性及桥体稳定性的影响。

(1) 简支结构桥梁

本段位于京沪高速铁路老龙河特大桥桥址区, 段内压缩层深度 180~370 m, 桥梁桩长 45~50 m。计算结果显示, 地下水开采导致压缩层固结引起的地层和桥体变形主要是竖向变形, 最大值为 0.412 m (地层) 和 0.414 m (桥体)。于桥面上选取 17 个节点, 统计节点在各种沉降条件下总位移值, 以表证外界条件变化对路面平顺性的影响。节点位置如图 12 所示。可以看出, 桥梁+车辆荷载与压缩层固结作用对路面平顺性影响效果比较相近, 大致成一直线。

各种状态下桥体内部应力均主要集中于桥板与桥墩接触部位, 即桥体荷载主要集中于桥梁基础上。统计各种状态下桥体应力最大值和最小值, 如表 8 所示。可以看出车辆荷载作用下对桥体应力影响较小, 其中变化最大为 Y 向应力, 约 0.001×10^9 Pa; 压缩层固结条件下桥体应力变化很小。

(2) 连续箱梁结构桥梁

本段位于青沧特大桥跨南运河段, 段内压缩层深度 200~400 m, 桥梁桩基长度 45~65 m。地下水开采所导致压缩层固结引起的地层和桥体变形主要是竖向变形, 最大值为 0.483 m (地层) 和 0.497 m (桥体)。从图 13 中可以看出, 桥体+车辆荷载与压缩层固结作用对路面平顺性影响效果比较相近, 大致成一直线。

桥体内部应力主要集中于桥跨中部。统计各种状态下桥体应力最大值和最小值, 如表 9 所示。车辆荷

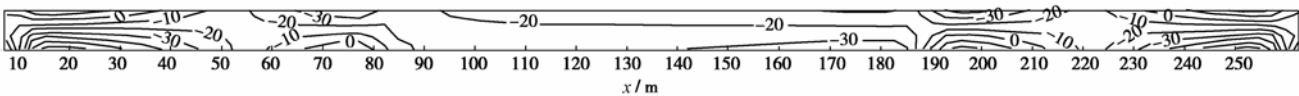


图 9 刚性桥轴向应变 ε_{11} 等值线图
Fig. 9 Isoline of axial strain ε_{11} of the rigid-joint bridge

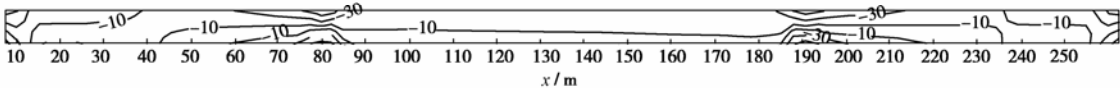


图 10 连续梁桥轴向应变 ε_{11} 等值线图
Fig. 10 Isoline of axial strain ε_{11} of the continuous beam bridge

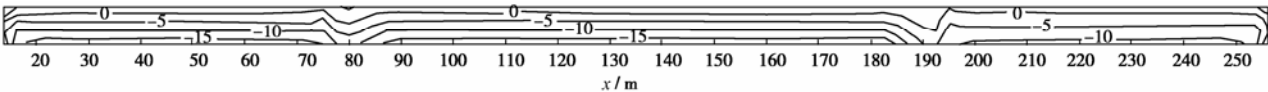


图 11 简支梁桥轴向应变 ε_{11} 等值线图
Fig. 10 Isoline of axial strain ε_{11} of the simply supported girder bridge

表 8 应力最值统计表
Table 8 Statistics for the max. and min. stresses

	X 向应力/Pa		Y 向应力/Pa		XY 剪应力/Pa	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
桥体架设后	0.806×10^8	-0.133×10^9	0.114×10^9	-0.118×10^9	0.540×10^8	-0.735×10^8
车辆荷载	0.806×10^8	-0.135×10^9	0.115×10^9	-0.119×10^9	0.545×10^8	-0.743×10^8
均匀固结	0.806×10^8	-0.133×10^9	0.114×10^9	-0.118×10^9	0.540×10^8	-0.735×10^8

表 9 应力最值统计表
Table 9 Statistics for the max. and min. stresses

	X 向应力/Pa		Y 向应力/Pa		XY 剪应力/Pa	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
桥体架设后	0.208×10^8	-0.202×10^8	0.690×10^8	-0.992×10^8	0.524×10^7	-0.527×10^7
车辆荷载	0.213×10^8	-0.208×10^8	0.690×10^8	-0.992×10^8	0.524×10^7	-0.527×10^7
均匀固结	0.208×10^8	-0.202×10^8	0.690×10^8	-0.992×10^8	0.524×10^7	-0.527×10^7

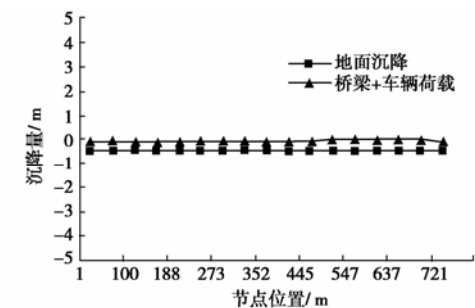


图 12 简支结构桥体表面（路面）平顺性曲线图

Fig. 12 Curves of smoothness on the simply supported bridge surface (railway surface)

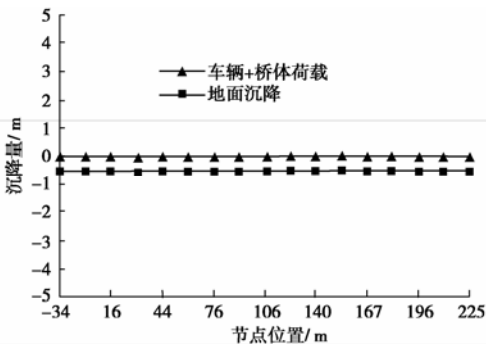


图 13 连续梁桥体表面（路面）平顺性曲线图

Fig. 13 Curves of smoothness on the surface of continuous box beam bridge (railway surface)

载作用下对桥体应力影响较小, 其中变化最大为 Y 向应力, 约 0.003×10^8 Pa; 压缩层固结条件下桥体应力变化也较小。

模拟结果表明, 地面沉降引起地层和桥体变形主要为竖向变形, 表现为桥体连同桩基与地层一同整体下沉。

(3) 其它地段地面沉降对桥梁的影响分析

京沪高速铁路北京至济南段的桥梁结构以简支梁

为主, 跨越重要道路、河流时采用连续梁结构。对于简支结构桥梁地面沉降不会对结构造成较大影响。对于连续梁桥, 如果各桥墩位于同一沉降坡度上, 则坡度变化不会影响结构受力。如果在桥上出现不同沉降坡率的变坡点, 则沉降会引起结构受力。如在 DK234-DK236 段大里程处 DK236+472~DK236+762 为 80+128+80 m 连续梁, 若在连续梁处出现变坡点, 最大将产生 0.02 m 的附加沉降, 此值已超出连续梁设计时所考虑的范围, 会对结构的产生不利影响。

上述分析表明, 在扩展区内, 地面沉降表现为平缓的整体性下沉, 对桥梁及轨道平顺性影响很小, 在拟合后的坡度条件下, 可以满足高速铁路对桥梁及轨道平顺性的技术要求。但不排除出现局部差异沉降较大的地段, 特别是在新增井点附近, 由于开采地下水造成局部的水位快速下降会引起局部的地面下沉, 可能对桥梁结构及轨道平顺性产生较大的影响。

4 结 论

(1) 离心模型试验及数值模拟结果表明, 在抽水井附近地基不均匀沉降较为严重。在抽水初期地面沉降发展迅速, 随着排水次数增加有逐渐减弱的趋势。抽水深度越大, 影响区域越大, 但地面沉降的不均匀程度则有所减缓, 地面沉降对桩基及上部结构的影响也随着压缩层深度的变大而减弱。由于试验采用潮白河粉土且排水时间较短, 抽水引起的地基变形未充分反映黏性土的长期固结作用, 试验所得到的沉降值会小于实际长期抽水造成的地面沉降值。

(2) 地基的不均匀沉降会导致上部桥梁结构的变形, 桥梁变形的发展与地基不均匀沉降发展相对应。刚性桥整体性较好, 其桥面最平顺, 但桥墩处的桥面受到的应力也最大; 简支桁架桥桥面在桥墩处轴向应

变最小, 但桥面最不平顺。减小跨长以及采用铰连接都可以使桥面轴向应变减小。

(3) 在地面沉降的扩展区域内, 采用实测的地面沉降数据进行模拟, 结果表现为地面沉降引起地层及桥体变形主要为竖向变形, 由于桥梁和基础随上部地层一同下沉, 地面沉降对桥梁结构及轨道平顺性影响很小。

(4) 在高速铁路建设中, 应密切注意和严格防范铁路沿线局部差异沉降较大的地段, 如地面沉降中心区域、集中抽水区域及新增井点附近, 由于开采地下水造成局部的水位快速下降而引起不均匀地面下沉, 可能对高速铁路桥梁、路基及轨道等产生较大的影响。

参考文献:

- [1] 张光辉, 费宇红, 聂振龙. 海河平原东部地区地面沉降机理与趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 13 - 17. (ZHANG Guang-hui, FEI Yu-hong, NIE Zhen-long. Mechanism and trend of land subsidence in the east Haihe River Plain[J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Cont, 2005, 16(1): 13 - 17. (in Chinese))
- [2] 邢忠信, 李和学, 张 熟, 郜洪强. 沧州市地面沉降研究及防治对策. 地质调查与研究, 2004, 27(3): 157 - 163. (XING Zhong-xin, LI He-xue, ZHANG Shu, GAO Hong-qiang. Surface subsidence and its countermeasures in Cangzhou City[J]. Geological Survey and Research, 2004, 27(3): 157 - 163. (in Chinese))
- [3] 石建省, 郭 娇, 孙彦敏, 孙 毅, 陈银生. 京津冀德平原区深层水开采与地面沉降关系空间分析[J]. 地质论评, 2006, 52(6): 804 - 809. (SHI Jian-sheng, GUO Jiao, SUN Yan-min, SUN Yi, CHEN Yin-sheng. Spatial analysis of the relation between deep groundwater exploitation and land subsidence in Beijing-Tianjin-Hebei-Dezhou Plain Area[J]. Geological Review, 2006, 52(6): 804 - 809. (in Chinese))
- [4] 李国和, 许再良, 孙树礼, 荆志东. 华北平原地面沉降对高速铁路的影响及对策[J]. 铁道工程学报, 2007, 8(107): 7 - 12. (LI Guo-he, XU Zai-liang, SUN Shu-li, JING Zhi-dong. The influence of land subsidence on high speed railway in north china plain and main engineering measures[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 8(107): 7 - 12. (in Chinese))
- [5] 李国和, 张建民, 张 嘎, 孙振岳, 许再良. 浅层地下水开采对高速铁路工程的影响及对策[J]. 铁道工程学报, 2007, 12(111): 7 - 12. (LI Guo-he, ZHANG Jian-min, ZHANG Ga, SUN Zhen-yue, XU Zai-liang. The influence of pumping shallow groundwater to high speed railway and main engineering countermeasures[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 8(107): 7 - 12. (in Chinese))
- [6] 张 嘎, 牟太平, 张建民. 基于图像分析的土坡离心模型试验变形场测量[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(1): 94 - 97. (ZHANG Ga, MU Tai-ping, ZHANG Jian-min. Displacement measurement using image analysis in centrifuge modeling of slopes[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(1): 94 - 97. (in Chinese))

第十届环境岩土工程与全球可持续发展国际研讨会

(10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT)

第一号通知

由国际环境岩土工程协会 (ISEG) 主办的第十届环境岩土工程与全球可持续发展国际研讨会将于 2009 年 9 月 7~11 日在德国波鸿 (Bochum) 举行。会议面向广大来自学术界、工业界和政府部门的科研人员、工程设计人员以及管理人员, 欢迎参加。

重要日期:

摘要提交截止日期: 2009 年 2 月 28 日; 扩展摘要提交截止日期: 2009 年 7 月 17 日; 全文提交截止日期: 2009 年 7 月 17 日。

其他详细信息请登录网站: <http://iseg2009.tfz-bochum.de/>
(南京大学地球环境计算工程研究所 唐朝生 供稿)