

区域地面沉降对轨道快线建造影响与应对措施分析

连志鹏

河北雄安轨道快线有限责任公司 河北 保定 071700

摘要:受开采深层地下水,河北平原出现区域地面沉降现象。本文以雄安新区至北京大兴国际机场快线河北段沿线作为研究区域,通过对沿线区域地面沉降调查、监测,对地面沉降地质灾害现状危险性进行了评估。调研并总结了区域地面沉降对轨道快线工程影响,提出了轨道快线工程建设过程中区域地面沉降的应对措施。结果表明,雄兴快线河北段沿线地面沉降从南至北逐渐加剧。可采取基础加固、沉降监测、调整设计、轨面高程拟合等措施应对区域地面沉降风险。

关键词:区域地面沉降;京雄城际铁路;预测评估;工程措施

引言

地面沉降是指土壤下沉的现象,其通常由于地下开采、地震、地基不稳定等原因导致。这种现象对于轨道快线的建造具有很大的影响,可能会导致轨道的变形或破坏,并且会增加维护成本^[1-2]。区域地面沉降往往是一个持续性的过程,需要经过较长的时间才能显现出来。区域地面沉降通常发生在大范围的区域内,涉及到大量的建筑物、设施和基础设施,其对周围环境产生的影响往往十分深远,包括道路、桥梁、水电站等工程设施、自然景观等。区域地面沉降可能由多种因素共同作用而产生,例如地质构造、地下水位、人类活动等^[3-6]。

对于区域地面沉降对轨道快线建造的影响与应对措施,是其值得关注和研究的。叶淑君等^[7]依靠上海市大量地面沉降的数据,系统研究了上海地下水过度开采引起地面沉降过程,分析了地面沉降在地理位置和时间上的特征。沈科等^[8]考虑区域地面沉降形成的因素、特征和对路基工程的影响,提出了如地基加固处理、运营期的沉降自动化监测和注浆加固、控制地下水开采等工程防治措施。狄胜同等^[9]构建了博兴县地面沉降三维流固耦合数值模型,预测分析不同地下水开采方案下的沉降演化规律,提出减小20%地下水开采量是较为合理有效的开采

方案。倪岳艳等^[10]基于软件模拟,建立地面沉降数学模型,预测地下水水位下降引发地面沉降发展趋势,并提出了相应防治对策和应对措施。刘运明从地面沉降对高程贯通误差的影响、建设阶段实际地面沉降影响入手,提出了相应的应对。

因此研究区域地面沉降的影响和应对措施对于轨道快线的建造是十分重要的。本文以雄安新区至北京大兴国际机场快线工程为例,分析区域地面沉降对轨道快线建造产生的影响,并提出适当的应对措施,有效控制其影响,对确保轨道快线的安全稳定运行具有重要理论和实际意义。

1 沿线工程地质与水文条件

1.1 沿线工程概况

雄安新区至北京大兴国际机场快线是串联雄安新区与北京大兴机场的骨干市域快线,将大兴区、永清县、霸州市、雄安新区紧密相连。工程跨越北京大兴区、河北廊坊、雄安新区三个地区,下穿永定河、廊涿高速;上跨津保、京九铁路,荣乌、大广高速,大清河等以及多个行政村、苗圃、农田,环境条件复杂。线路全长约86.35km,其中高架段约65.38km,路基及U槽段约1.09km,地下段约19.88km。全线高架段最高运行速度200km/h,地下段最高运行速度160km/h。线路走向和区域位置见图1。

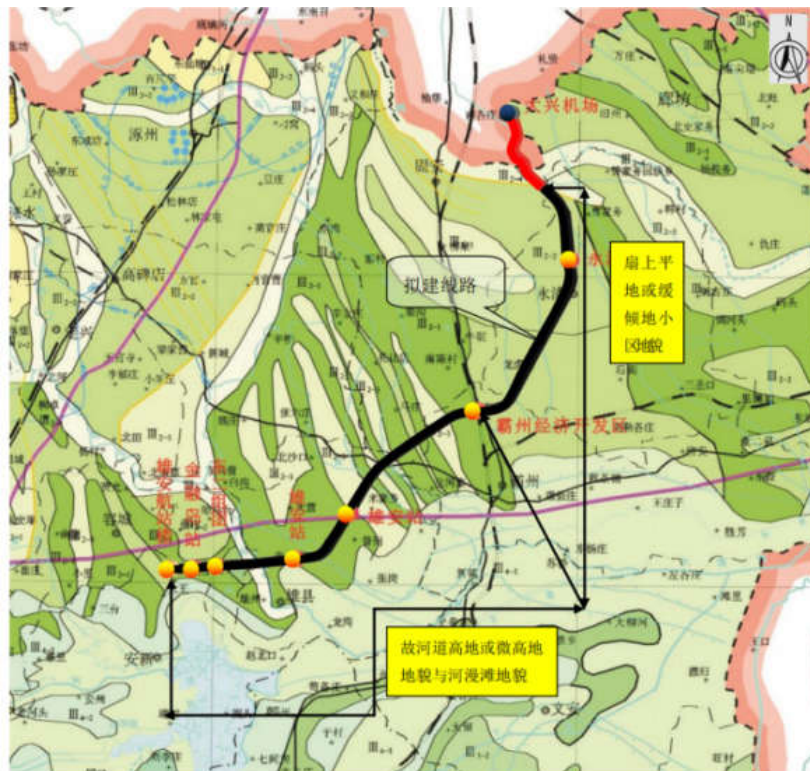


图1 线路平面示意图

1.2 沿线地形地貌

线路所处位置位于华北平原，以冲积平原为主，地形平缓，地面高程27.0~6.0m，地势由西北向东南缓慢倾斜。从北向南穿越微地貌依次为冲积平原、冲积洼地与古河床微高地相间、冲积扇平原、冲积湖积三角洲平原、平坦的冲积低台地、冲积洪积洼地。场地现状以村

庄、农田、林地为主，沿线多深坑塘，并穿越多条河流。遭受古河道的冲洪积作用，工程沿线四周在人工整治和城市建设之前，分布有水塘、沼泽，后经过整治地表已被道路、农田等覆盖，无明显的地形特征，线路周边存在深坑，多数为砖厂取土所致，见图2。



注：III堆积地貌；III₁老冲积平原亚区；III₂新冲积平原亚区；III_{2.1}故河道高地或微高地；III_{2.2}扇上平地或缓倾地小区；III_{2.3}扇上或扇间洼地小区；III_{2.4}河漫滩地小区

图2 拟建工程沿线地形地貌示意图

1.3 沿线工程地质条件

线路沿线第四纪沉积物主要由永定河、大清河冲积物组成，地层分布粘性土、粉土和砂土互层沉积。地层沉积物的结构、空间变化规律具有清晰的区域性特征和过渡、渐变性，并具有典型的多沉积旋回的特征。工程场所属区域在大地构造上隶属于中朝准地台华北断拗。华北断拗位于区域中南部，为新生代强烈断陷区，其构造线及块体总体延伸方向为北北东-北东向。第四纪期间，华北断拗北缘发育了多个呈北西向西斜列展布的断陷盆地。

线路通过区发育的不良地质类型主要有不良地质的作用主要有：断裂、地震液化、区域地面沉降及地裂缝等。对工程不利的地层主要包括人工填土、新近沉积土、有机质土。

1.4 沿线水文条件

沿线区域主要含水层为第四系含水层，主要分为4个含水层组。第I含水层组和第II含水层组为浅层地下水，第III含水层组和第IV含水层组为深层地下水。浅层地下水可分为潜水和浅层承压水，主要赋存于多个不连续的主要含水层中，含水层岩性以粉土、粉细砂为主，局部存在中砂、粗砂。浅层地下水主要接受大气降水补给，同时接受农业灌溉、地表水入渗补给及侧向径流补给，地下水主要排泄方式为人工开采，其次为径流和蒸发排泄。现状条件下，浅层地下水总体由西北向东南方向流动，在白洋淀附近形成局部水丘，地下水向周边径流。深层地下水主要接受侧向径流补给，垂向补给较少。排泄方式以人工开采为主，其次是向周边径流。现状条件下，深层地下水总体有西北向东南径流。

2 沿线区域地面沉降调查、监测与评估

2.1 地面沉降调查

河北平原地区地面的沉降原因是开采深层地下水，地下水位下降，孔隙压降低，含水层和弱透水层颗粒间的有效应力增加，压密释水，引起地面沉降。在收集和分析建设场区及其附近地区的水准点高程变化资料的基础上，重点调查了评估区及附近地区企事业单位、住宅区、商铺的建筑、地铁及公路等建（构）筑物。通过大量的调查表明，建设场地及附近地区未发现由于地面沉降致使建（构）筑物损坏的现象。

2.2 地面沉降级别评估

评估区累积地面沉降等值线和沉降速率如图3，

图4所示。截至2015年，拟建雄安新区至北京大兴国际机场快线项目在里程约K72+000~K94+000及里程约K115+045~K150+380段，累计沉降量为300m~650mm，近五年的年均沉降速率为10mm/a~30mm/a。由《地质灾害危险性评估规范（DZ/T0286-2015）》的规定进行评估如下：地面沉降发育程度为“中”。在里程K94+000~K115+045累计沉降量为300m~650mm，近五年的年均沉降速率为 $\geq 30\text{mm/a}$ 。地面沉降发育程度为“强”。雄安新区主要位于高阳—任丘地面沉降中心的影响，在里程约K80+280~K106+620，近五年的年均沉降速率 $\geq 30\text{mm/a}$ 。属于地面沉降发育程度为“强”。

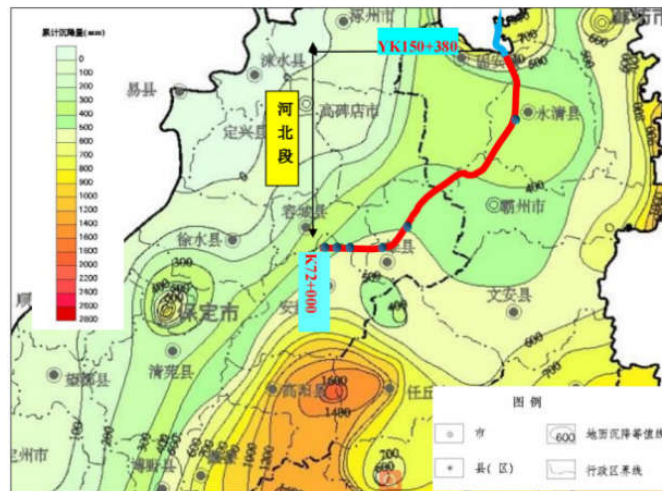


图3 评估区累积地面沉降等值线图

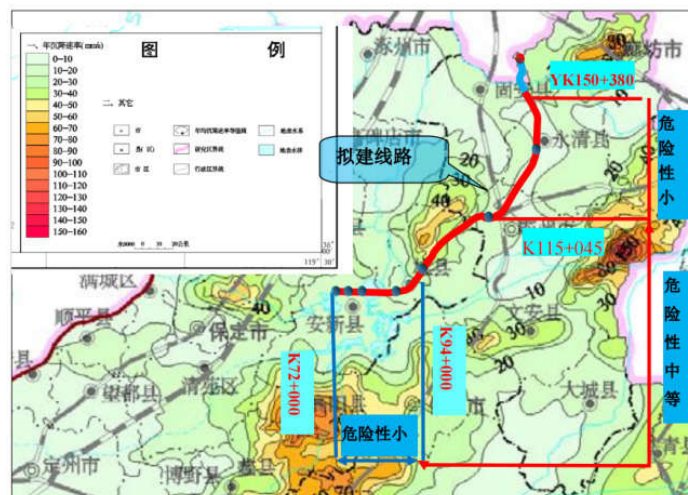


图4 评估区地面沉降速率图

根据搜集资料及现场调查显示，按照《地质灾害危险性评估规范（DZ/T0286-2015）》的规定进行地面沉降现状危险性分级。（1）拟建雄安新区至北京大兴国际

机场快线项目在里程约K72+000~K80+280段及里程约K115+045~K150+380段，评估区建设用地内的的地面沉降地质灾害现状危险性为“小”。（2）拟建雄安新区至

北京大兴国际机场快线项目里程约K80+280~K115+045段；评估区建设用地内的地面沉降地质灾害现状危险性为“中”。

3 区域地面沉降对轨道快线建造影响及危险性预测

3.1 区域地面沉降对轨道快线工程影响

本项目沿线工程影响范围内的地下水按含水层的岩性及地下水赋存形式可划分为第四系含水岩组，第四纪松散岩类孔隙水赋存介质主要为粉土砂土层、圆砾及卵石层；线路浅部为人工填土，下部地层以第四纪粘土、粉土、砂土为主，容易产生地面沉降。

区域地面沉降对轨道快线建造可能会产生以下影响：

(1)对轨道几何要求的影响：区域地面沉降可能导致轨道在水平方向上出现变形，从而影响轨道几何参数的控制和维护，需要采取相应的措施加以应对。

(2)对基础设施的影响：地面沉降可能导致轨道基础设施的不均匀沉降，如路基、桥梁等，造成建筑物和基础设施的位移和变形，可能危及其安全性，需要采取相应的措施加以加固。

(3)维护成本增加：区域地面沉降可能使轨道维护成本增加，需要进行更频繁的检查和维护。

(4)对列车行驶的影响：地面沉降可能导致轨道高差变化，引起列车震动，降低列车行驶的平稳性和安全性，需要采取相应的措施。

(5)对列车排放的影响：地面沉降可能导致轨道坡度变化，增加列车功率需求，进而增加列车尾气排放，对环境产生负面影响。因此，在轨道快线建造前需充分考虑区域地面沉降可能产生的影响，并采取相应的措施，确保轨道和基础设施的安全和稳定。

3.2 影响区域地面沉降的因素

影响区域地面沉降的因素包括：

(1)地质构造：某些地质构造如断层、地裂缝等可能引起地面沉降。

(2)人类活动：人类的大规模开采、地下排水、建筑施工等活动可能导致地面沉降。

(3)地下水位变化：地下水位的变化会影响区域地面沉降，特别在干旱地区大量抽取地下水会使得地面下降。

(4)自然灾害：地震、山体滑坡等自然灾害也会导致地面沉降。

(5)地表覆盖物的厚度和性质：厚重的堆积层会对地面沉降产生影响，而软弱的地基土可能会引起不均匀沉降。

(6)气候变化：气候变化对地面沉降有重要影响，如气候干燥时地面沉降可能更加明显。

3.3 地面沉降灾害危险性预测评估

充分收集区域地质等资料的前提下，调查了工程沿线井点分布、地下水开采情况和水位变化，完成了工程沿线区域地面沉降调研。由于南水北调工程引水工程和河北的一些限制地下水开采相关政策的实施，地下水水位下降速率将得到有效缓和；另外，对于相同地层，由于最终压缩量是一定的，在下降相同水位的情况下，土层压缩速率和压缩量也是降低的。但考虑到地面沉降发展相对于地下水水位下降的滞后效应，本次地面沉降预测评估，仍然以近三年的平均沉降速率近似计算。预计线路评估区将新增一定的沉降量。考虑到南水北调中线一期工程通水等因素影响，地下水水位下降放缓，相应的地面沉降速率也将呈稳定至降低的趋势。因此，按照现状沉降速率进行同比预测的方法是趋于保守且是可行的。

按照《地质灾害危险性评估规范（DZ/T0286-2015）》表13~16的规定进行地面沉降现状危险性分级。预测评估认为见表1。

表1 评估区地面沉降地质灾害危害程度分级表

| 里程段 | 发育程度 | 危害程度 | 危险性等级 |
|--|------|------|-------|
| K72+000~K80+280段 K115+045~K150+380段 | 小 | 小 | 小 |
| K80+280~K115+045段 | 中 | 中 | 中 |

4 应对措施

对于轨道快线工程来说，沉降会对线路、桥梁、车站等设施造成严重影响，甚至直接威胁行车安全。为了保障高铁工程的安全和稳定运营，可采取以下应对措施：

(1)地质勘探：在高铁工程区域建设前，应进行详细的地质勘探，了解地质构造、土壤结构和地下水情况等因素，以预测可能发生的沉降情况。

(2)基础加固：针对地面沉降问题，可以采取基础加固措施，如在地基加装加固材料、增强地基承载能力等，以保证高铁工程的牢固和稳定。

(3)沉降监测：对于高铁工程区域存在沉降问题的地方，应设置沉降监测点，定期实施沉降监测工作，及时发现异常变化并采取相应措施防止危害的发生。

(4)调整设计：根据地质勘探和沉降监测结果，调整高铁工程设计方案，选择合适的建筑方式和地基处理方法，以克服沉降问题。

(5)预防措施：在高铁工程建设过程中，要特别注意防止土地开挖、施工振动和地下水位变化等因素对周边环境造成影响，以减少地面沉降风险。

(6)轨面高程拟合措施：在进行轨面高程拟合时，需要设置足够多的控制点，并合理分布在轨道的不同区域。控制点应该具有较高的稳定性和可靠性，在测量数

据的处理中起到重要作用。拟合后路基地段轨道的调整量宜控制在-4mm~+10mm以内,桥梁地段轨道的调整量宜控制在-4mm~+10mm以内,较差数据变化较大且坡段较长,也可通过拆分坡段来实现。

5 结束语

(1)河北平原地面沉降主要是开采深层地下水引起的,地下水位下降,孔隙压降低,含水层和弱透水层颗粒间有效应力增加,压密释水,引起地面沉降。

(2)地面沉降评估以近三年的平均沉降速率近似计算。预计线路评估区将新增一定的沉降量。K72+000~K80+280段和K115+045~K150+380段沉降风险小,K80+280~K115+045段沉降风险中等。

(3)对于轨道快线工程来说,沉降会对线路、桥梁、车站等设施造成严重影响,甚至直接威胁行车安全。为了保障高铁工程的安全和稳定运营,应采取以下应对措施:基础加固、沉降监测、调整设计、轨面高程拟合等措施。

参考文献

[1]吴艳霞.青岛地铁隧道施工引起地面沉降对建筑物影响规律与防治研究[D].青岛理工大学,2012.(02):153-160.

[2]唐庆尧.兰州地铁车站深基坑降水及开挖对周围环

境的沉降影响研究[D].兰州交通大学,2019.(01):3-16

[3]吴庆军.地面沉降对地铁施工测量的影响及应对措施探析[J].建筑工程技术与设计,2018.(12):53.

[4]薛禹群,张云,叶淑君,吴吉春,魏子新,李勤奋,于军.我国地面沉降若干问题研究[J].高校地质学报,2006(02):153-160.

[5]刘欢欢,张有全,王荣,官辉力,顾兆芹,阚京梁,罗勇,贾三满.京津高铁北京段地面沉降监测及结果分析[J].地球物理学报,2016,59(07):2424-2432.

[6]Galloway D L, Burbey T J. Regional land subsidence accompanying groundwater extraction[J]. Hydrogeology Journal, 2011, 19(8): 1459.

[7]叶淑君,薛禹群,张云等.上海区域地面沉降模型中土层变形特征研究[J].岩土工程学报,2005(02):140-147.

[8]沈科.区域地面沉降对(京沪)高速铁路路基的影响及对策研究[D].西南交通大学,2013.(05):12-15.

[9]狄胜同,贾超,张少鹏等.华北平原鲁北地区地下水超采导致地面沉降区域特征及演化趋势预测[J].地质学报,2020,94(05):1638-1654.

[10]倪岳艳.郑徐客运专线区域地面沉降的影响与应对措施分析[J].土工基础,2020,34(03):296-300+312.