

北京市地下水环境变化对地下交通设施安全的影响分析

Analysis on the Influence of Groundwater Variation to the Safety of Underground-Transportation Facilities in Beijing

李晓松¹ 孙保卫² 姚旭初²

(1.北京市交通委员会,北京 100053;2.北京市勘察设计院,北京 100038)

LI Xiaosong¹, SUN Baowei², and YAO Xuchu²

(1.Beijing Municipal Committee of Communication, Beijing 100053, China; 2.Beijing Geotechnical Institute, Beijing 100038, China)

摘要: 在概述北京市地下交通设施的现状和发展趋势的基础上,分析了北京市区地下水分布、动态规律及其未来变化趋势,探讨了地下水水位变化对地下交通设施的侵蚀、稳定性的影响,对地下交通设施结构材料的影响,分析了地下交通设施建设可能存在的主要问题,并提出了地下水变化对地下交通设施安全影响的几点对策与建议。

Abstract: The current situation and development trend of underground transportation facilities in Beijing are mainly presented in this paper. Then it analyzes the distribution, dynamics and future trends of groundwater in Beijing. The safety problems related to erosion, stability and structure material of underground transportation facilities, which are caused by the change of the groundwater level, are discussed. At the end of the paper, in order to solve the safety problems, some countermeasures and suggestions are provided.

关键词: 地下交通设施; 地下水; 安全; 对策

Keywords: underground transportation facilities; groundwater; security; countermeasures

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2006-12-20

作者简介: 李晓松, 女, 副研究员, 北京市交通委员会副主任, 主要研究方向: 交通工程, 轨道交通等。E-mail: lixiaosong@bjjtw.gov.cn

伴随着城市经济发展, 在土地空间日渐减小的今天, 城市地下交通开始发挥着越来越重要的作用。北京是国内较早利用地下空间发展各类基础设施的城市之一。在交通方面, 1969年北京建成了第一条地铁(地铁1号线), 之后, 又建设了许多包括地下道路、地下步行街、地下停车场等交通基础设施。与此同时, 涉及地下交通基础设施的安全问题也逐渐凸现。对于土建结构特别是地下建筑物, 在所有的破坏因素中, 来自地下水的风险最大也最隐蔽。一个地区的地下水位变化或多或少都会给地下建筑尤其是大型的地下交通设施带来影响, 有时甚至可能造成破坏, 成为影响地下交通设施安全的重大问题之一。

1 北京市地下交通设施现状和发展趋势

目前北京市地下交通设施主要包括城市地铁及换乘枢纽、地下道路、地下步行街、地下停车库以及地面深挖路堑等。

1.1 城市地铁及换乘枢纽

北京地铁始建于1965年7月1日, 第一条地铁线路于1969年10月1日建成通车, 使北京成为中国第一个拥有地铁的城市。迄今为止, 北京地铁已开通的线路包括1号线、2号线、13号线和八通线, 线路总里程114.4 km, 共有70座运营车站。

根据《北京“十一五”时期交通发展规划》, 到2010年北京市轨道交通的运营总里程力争达到270 km以上。按照北京远期规划, 至2050年北京市轨道交通总里程有可能接近1 000 km, 属于地下轨道部分的占60%。

与轨道线网建设相配套的还有一批地下换乘枢纽及若干地下车站。

1.2 地下道路和地下步行街

北京已建和在建的地下交通代表工程有中关村西区地下综合管廊、北京金融街地下道路系统、奥林匹克公园中心区地下交通系统、西单地下步行街等等。

1.3 地下停车场和深挖路堑

为了缓解由于机动车高速增长直接导致的停车问题,这些年来北京市许多新建扩建的大型商业楼、办公楼、住宅区等都按照规划设计要求,配套修建了地下停车基础设施。

北京市已建成的较大型深挖路堑路段有莲花东路、西北四环中关村段、宛平城等几十处。

2 北京市区的地下水及其水位变化

2.1 北京市区的地下水

北京市区的第四系含水层从西部的单一含水层,向东、东北和东南逐渐演变成多个含水层。地下水类型从西部的单一潜水到东部的半承压或承压水。

2.2 北京城区地下水位未来的变化趋势

1) 影响北京城区地下水位未来变化的因素

根据已有的研究成果,影响区域地下水位(主要指潜水、承压水水位)上升或下降变化的主要因素是地下水开采量的减少、官厅水库放水引起的永定河渗漏以及即将实现的“南水北调(中线)”工程等人为活动的影响^[1]。

2) 北京城区地下水位未来的变化趋势

众所周知,一个区域地下水资源的多少是受大气降水、径流汇集以及地表蒸发的影响,但这是一个缓慢的日积月累的过程。北京每年的城市地下水开采量高达23~26亿t,面对如此巨量的城市地下水开采,自然因素变得微不足道。因此,北京市区地下水位的变化取决于地下水的补给量和排放量。当地下水开采量减少时,会引起地下水位的持续回升;当增加地下水的补给量,也会造成区域性的地下水位升高。正如官厅水库1995—1997年放水期间引起永定河渗漏,对北京地区的潜水、承压水水位造成区域性的显著影响。正在实施的“南水北调”工程,当水进京之后,不单

会减少对地下水的开采量,而且多少还会对北京地区地表水系产生直接影响。

3 地下水位变化对地下交通设施安全的影响

3.1 地下水位降低对地下交通设施的影响

地下水位降低对城市地下交通设施安全的影响主要表现为地面沉降及土体内部塌陷^[2]。目前,北京的平原地区已经形成了5个较大的地面沉降区,分别为东郊的八里庄一大郊亭、东北郊朝阳区的来广营、北郊昌平的沙河一东三旗、南郊大兴的庞各庄一榆堡、东北郊顺义的平各庄等地。由于沉降塌陷,已经造成所在区域的许多建筑物损坏。

地面沉降和土体内塌陷造成的建筑物破坏和其他问题在地下交通设施上也有体现^[3-4]。近几年,地面沉降造成北京市地下轨道交通设施破坏的情况见表1、图1和图2。

3.2 地下水位升高对地下交通设施的影响

据研究分析表明,北京地区的地下水位在南水北调的水进京后会有很大幅度的升高,而地下水位的升高对城市地下交通设施的稳定性将产生至关重要的影响。

3.2.1 对地下交通设施的侵蚀影响

区域地下水位升高,工程衬砌长期被地下水所包围,在防水等级不高或质量有瑕疵的部分将会有地下

表1 地面沉降对北京市部分地下轨道交通设施破坏情况
Tab.1 The instances of partial underground transportation facilities in Beijing have been damaged by ground subsidence

编号	发生时间/年	地点	破坏形式及程度
1	2000	朝阳区四惠车辆段	因沉降不均、土体塌陷而使直埋管道被切断,影响段内自来水供应及污水排放
2	2002	石景山区古城车辆段专包库	因沉降不均、土体塌陷而影响古城车辆段专包库停放地铁列车
3	2004	建国门站区间	地基沉降、松散、空洞,造成地铁区间结构下层冒砂
4	2005	西城区太平湖车辆段停车库	地基沉降、松散、空洞,造成地铁轨道严重变形
5	2005	地铁光熙门站	既有结构洞体发生沉降、开裂

水渗入侵蚀,所有诸如地铁、地下车库、地下道路和地下步行街等地下交通设施都存在着遭受地下水渗入侵蚀破坏的危险^[5-6]。

以英国为例,因若干年前政府控制了地下水的开采,特别是工业地下水资源的抽水量大幅度减少后,城市地区地下水位显著上升。在伦敦中心区,自20世纪60年代以来地下水抽水量显著降低,水位稳步上升,到1988年地下水位上升了20 m。地下水位的升高直接导致了布莱顿、利物浦、伦敦、伯明翰等城市发生的地下水渗入地铁的事件。依据近几年的环境调查报告,为了处理渗入地铁中的地下水,伦敦在地铁沿线630个地方使用了1 030个泵进行不间断地抽水,每天抽水量达3 000万升,抽水速度足以在20 min内贮满一个游泳池。

多年来北京区域地下水水位埋置较深,勘测发现许多地区浅部已没有成层分布的地下水,按照当时的地下水位设计建成的地下交通设施很有可能存在着防渗能力不足的情况。调查表明,尤以1970—1980年建设的一批建(构)筑物这类问题最为突出。如位于西客

站北广场前的莲花东路深挖路堑段,在受地下水渗入后发生过严重破坏,几次维修都没有彻底解决。

3.2.2 对地下交通设施稳定性的影响

地下水位上升对地下交通设施整体稳定性的影响主要在以下方面。

1) 地下水水位上升,浮力增加,可对地下交通设施造成破坏或潜伏安全隐患。

北京市的地下交通设施是在区域地下水水位普遍较低的情况下建设的。在2000年以前,许多建(构)筑物很少考虑抗浮问题,即使现在,由于各勘察单位所给出的抗浮设计水位差异很大,很难确保近几年建成的建(构)筑物的抗浮能力能够抵御北京地区未来地下水水位上升所引起的浮力作用。这种来自地下水浮力的破坏危险主要体现在,它会使地下交通设施产生不均匀上浮,使建筑结构底部开裂,导致结构局部变形过大,甚至诱发地下交通设施的整体失效,从而影响地下交通运输安全。

2) 地下水水位上升,孔隙水压力增加,就会对挡墙和地下建(构)筑物造成破坏。

这是因为岩土体内有效应力减小,抗剪强度降低,引起岩土体的变形和破坏,使土体强度指标降低,增加外墙土压力,引起外墙产生严重变形,甚至倾斜^[4]。

3) 线状的地下交通基础设施会对地下水环境产生影响^[7]。

由于永定河的频繁改道,北京地区含水层表现在东西向连通性较好,南北向地层渗透性差异较大,在许多部位形成东西向长条状含水层的展布形态。根据设计,北京已有的和在建的地铁均埋置较深,线状地铁犹如一条拦水坝贯穿地下,势必影响到长期以来形成的地下水渗流通道,特别是南北走向的地铁对地下水环境会产生明显的影响。反之,地下水也会对地铁建筑物及其运营安全带来不利影响。这种影响表现在:

① 地铁沿线上游地下水水位可能远高于下游地下水水位,形成较大的水头差,地层组合不利或人工回填不实地段,在水的侵蚀冲刷作用下,可能造成地铁地基中土颗粒的位移,发生空洞甚至流失(管涌),从而影响地铁地基土的性状,危害地铁运营安全。

② 当地铁沿线地下水的上下游存在水头差,就存在地下水压力的压力差,一座建筑物周边的压力不均



图1 地铁光照门站道床开裂破坏

Fig.1 The cracking damage to railway bed of subway Guangximen station



图2 建国门站区间K224+95处轨道地基层冒砂

Fig.2 A gush of sand in railway foundation of Jianguomen station distancing K224+95

等和不平衡是其产生损坏的重要原因。这一点在以往的地铁结构设计中是没有进行考虑的。

4) 对地下交通设施的结构材料影响

地下水水位升高, 将对地下结构材料(主要为钢筋混凝土)产生影响。地下水水位上升, 会使城市的垃圾填埋场、地下管道以及化粪池的污染物直接进入地下水中, 增加了对地下交通设施中混凝土、金属构件的侵蚀性破坏作用。此类问题在英国的布莱顿、利物浦、伦敦、伯明翰以及沙特的拜耶德等城市均有发生。

3.3 地下交通设施建设可能存在的主要问题

近些年来, 北京市开展了较大规模的地下交通基础设施开发建设, 但在相关的勘察设计、施工以及运行中, 由于对地下水作用的认识不足, 有可能存在如下一些问题:

1) 对地下工程区的水文地质情况把握不准, 在地下交通设施设计方案中对地下水的分析不够, 存在着一定的安全风险。

如前所述, 当地下水水位上升, 特别是当地下水在短时间内大幅上升, 就极可能导致地下工程的主体结构发生破坏。北京地铁1号线、2号线分别于1969年10月和1973年4月建成通车, 当时的地下水水位较低, 还未能充分考虑到将来地下水水位大幅度上升对地铁安全运行的影响。而即将实现的“南水北调”将使北京每年补充水量达12亿 m^3 , 届时北京地区的地下水水位将会大幅度回升, 这可能会成为北京地铁1号线和2号线主体结构遭受破坏的危险因素。

2) 在工程设计中, 由于对地下水患的认识不足, 以及结构设计与防水设计的衔接不周全, 存在着一定的设计缺陷。

有些地下交通工程的设计和施工, 认为渗漏水对结构的安全影响不大, 没有对所建工程的地下水环境进行分析, 因此在设计与施工中对防水工程按一般程序做简单化处理, 缺乏有效的防水方案设计, 造成工程建成后出现不同程度的渗漏问题; 结构形式设计过于复杂, 不利于防水; 防水和管道线路没有很好的衔接配合, 尤其是细部结构, 如果处理不当, 往往成为地下水渗入的主要通道。2005年, 南京地铁中华门站台因变形缝的设计缺陷, 导致地下水渗入, 造成地铁

站台出现裂缝; 南京迈皋桥地铁站因温度降低, 石材收缩, 变形缝变宽, 填缝材料不实, 未能很好地防止地下水渗入, 出现站台部分地面长期积水湿滑现象。

3) 在施工质量和后期维护上, 由于良莠不齐的设计而带来的工程先天不足, 以及在竣工后对地下工程的缺少养护, 存在着一定的工程隐患。

在地下建筑工程的防水混凝土施工环节中, 如果砼捣固不实及漏捣就会形成蜂窝空洞; 如果混凝土中混入杂物, 或绑扎铁丝穿透混凝土层, 就会出现露筋; 如果混凝土养护时间不足, 就会引起裂缝。这些都是今后引起水害的重大隐患。特别是当工程竣工后, 管线没有及时敷设完工, 个别时候还长期浸泡在污水中, 就会使得原有的防水层遭到破坏, 以致在日后产生渗漏。

4 地下水变化对地下交通设施安全影响的对策

4.1 开展地下交通设施安全状况调查

北京市的地下交通设施分别建于不同的年代, 其对地下水设防的标准差异很大。考虑到可预见的未来, 北京地区地下水环境会有很大的变化, 应提前组织对地下交通设施的抗浮稳定性的调查。根据不同的地下交通设施, 划分设定出几个安全等级, 并根据未来地下水水位升高的幅度, 对不同类型的地下交通设施的安全状况做出评价。

4.2 布设地下水水位动态自动监测和预报系统

根据地下交通设施安全状况的调查结果, 筛选出存在不满足安全要求的重要的地下交通设施, 有针对性地建立地下水水位自动监测系统, 实时监测掌握可能威胁地下交通设施的地下水水位动态, 并根据预设的警戒水位, 在地下水水位升高达到危害地下交通设施时, 及时采取措施, 达到监测预防的目的。

4.3 建立预警应急反应机制

防止因地下水环境变化引起地下交通设施安全隐患的工作是一项长期的、系统的工作。为减少因地下水对地下交通设施造成的破坏, 在贯彻“预防为主,

防治结合”原则的同时,还应制定专门的应急预案,建立相应的预警应急机制,保障预警信息传递的迅速畅通,配备应急抢险的人力、资金和物资等。同时,为了突出一个“预”字,要有专人专职专司监测,加强日常对地下水水位的监测工作,当地下水水位自动监测系统发出预警信息时,要在第一时间将信息迅速传达到主管部门,保证在最短的时间内启动相应的应急预案,将由此可能造成的损失降到最低。

4.4 加强建设前的水文地质勘察工作

根据《北京“十一五”时期交通发展规划》,北京市以地铁为代表的地下交通设施将获得更快更大的发展,其增加量将数倍于现在的总里程。而地下交通设施往往是呈线状延伸的,穿越了多个复杂的水文地质单元区段,与看不见的巨大的地下水压力相比较,大多数人工修筑的地下建(构)筑物自重荷载是偏轻的。因此,极有必要查明现状和未来地下交通设施沿线地下水的情况,根据地下交通设施沿线主要含水层的埋藏、岩性、水质及补、径、排之间的关系,实时监测观察各层地下水水位变化及其动态规律,预测地下水对地下交通设施的影响程度并提出相应的治理对策,

从而在勘察设计阶段就保证地下交通设施的安全性。

参考文献

- 1 孙保卫,董津城,张在明,等.北京市区浅层地下水动态规律研究 [R].北京:北京市科学技术委员会,1995
- 2 王炜萍.北京市超量开采地下水引起的地面沉降研究 [J].勘察科学技术,2004,(5):46~49
- 3 许崧,阎长虹,孙亚哲.城市地下工程中的环境岩土工程问题 [J].工程地质学报,2003,11(2):127~132
- 4 于广明,张春会,潘永战,等.与地面环境协调的地下工程开挖预警方法研究 [J].青岛理工大学学报,2006,27(4):1~5
- 5 李名淦.城市地下工程施工对环境的影响 [J].山西建筑,2004,30(8):130~131
- 6 许吉力,王国权,李晓昭.城市地下空间开发对地下水环境影响的初步研究 [J].工程地质学报,1999,7(1):15~19
- 7 庄乾城,罗国煜,李晓昭,阎长虹.地铁建设对城市地下水环境影响的探讨 [J].水文地质工程地质,2003,(4):102~105

(上接第98页)

考察香港公共交通最大的感受有两点:一是路面的多数机动车都是公共汽车;二是出行的人大多在地下。在观察到的车流里,超过50%的车辆是大型公共汽车,其余的还有1/3是出租汽车。所以,在城市交通问题上,为少数人服务还是为多数人服务,以人为本还是以车为本,以公交车为本还是以小汽车为本,值得我们深刻反思。

(张灵鸽 美国环保协会)

香港道路交通管理做得比较好,管理严格、罚金较高,公众从被动守法到慢慢养成高度的自觉性。交通标志人性化,生人不会走错路,外地人到香港后半天之内就会清楚,不用东问西问。地铁乘坐两次就可以熟悉。北京地铁标识缺乏人性化,指示不清晰,晚上许多地方没有灯光,看不见。

(林红 美国环保协会)

香港汽车的价格与国内相比要低很多,但是香港买车的人却不多,这有两个方面的原因:一是因为公交系统十分发达,乘坐公交车比开车方便,甚至更节约时间;二是政府不鼓励私人买车,会有诸如税收和环保等方面的限制。私人小汽车的膨胀与政府对待小汽车发展的政策有直接关系。

(林鑫 江苏绿色之友)

香港这个只有1000多平方千米的土地,可开发的面积只有20%,寸土寸金、地少人多。但政府对交通发展的规划目标非常清晰,可持续发展的重点落在全方位系统思考和规划上,特别是首先大力发展公共交通,建设地铁、轻轨、地面公共交通等立体公交网络,为香港城市交通的可持续发展奠定了基础。

(马天南 厦门绿拾字环保服务社)