城市地铁工程的地下水问题分析

黄家祥　张晓春
(东南大学交通学院)

摘　要　随着城市地铁工程的大量建设,地下水问题是地铁建设十分突出的问题。结合南京地铁 1号和 2号线,从三个方面来考虑地铁建设中的地下水问题:一是施工降水引起土层的压密和缺失,导致地面及其周边建筑物的沉降和变形,地下管线的沉降和移位,乃至破坏;二是由于地下水的渗流对地铁结构的影响;三是地铁建设对地下水环境的影响,改变地下水的渗流路径和分布状态,污染水质。

关键词　地铁　地下水问题　沉降　渗流　环境

在城市地铁建设过程中,如何处理好地下水是一大难题。地下水对隧道的整体稳定、隧道底的隆起稳定、隧道管涌、流沙以及承压水对隧道底部的突涌等都产生一定的影响。地铁施工不同于一般的开挖工程,一是地铁线路绝大部分埋深在地下水位以下,点多、线长、施工时间长;二是地铁线路大部分在建筑物林立、地下管线密集的繁华地区,在施工过程中,必须处理好与交通、占地的关系,严格控制地面沉降,确保周围地面及建筑(构筑)物与各种管线的安全;另外还要系统分析大面积长期的降水等施工过程对地下水资源和周围环境的影响及其控制措施。

1　施工降水起地面的沉降和变形

地铁施工中的降水对周围环境的影响及防范措施是地铁开挖和支护过程中一个至关重要的课题。井点降水降低地下水位引起的地面沉降与开挖施工引起的地面沉降相比,其值较小,但是影响范围很大,影响时间长,应引起足够重视。对深基坑工程的设计与施工,地下水位及地下水渗流特性的影响是十分明显的,需进行专门的降水设计,要求在工程勘察时提供水文地质的必要资料,对地下水的影响估计不足或没有采取合适的工程措施,常会引起工程事故,有时成为基坑工程成败的关键。在地铁建设中,也同样存在上述问题,地下水造成的环境影响不容忽视。高大钊在他的新著中谈及,软土地区城市中地下工程的施工扰动和地下水对城市环境的影响是制约和控制设计和施工的重要因素[1]。

在地铁施工中的人工降水,会改变原来的工程地质条件和水文地质条件,土层的应力场发生了变化,受影响的范围远比地铁净空的范围大得多。在此范围内地下水位下降,土层发生位移,相邻建筑物和地下市政设施产生附加的变形,而且这种局部范围的地面变形会影响附近的地下水管道、电缆、煤气管道的安全,以及附近道路交通的正常运行等,其危害是不可估量的。而地下水向地铁坑道涌水的环境效应不仅表现在施工阶段,而且表现在运营阶段。

随着地下水位的下降,土颗粒会随水流走,同时土体的自重应力增加,引起地层的失水固结,即出现与水位下降线一致的地表固结沉降线。降水引起的地表沉降受地质条件、降水工艺、降水深度及降水时间等多种因素的影响,在此,采用分层总和法计算各土层的最终沉降量。

$$S = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_{ci} h_i}{E_{si}}$$

式中:$\Delta\sigma_{ci}$—第 i层土的应力增量;h_i—第 i层土的厚度;E_{si}—第 i层土的变形模量。

考虑地层的失水固结与时间有关,结合渗透系数等参数可以考虑不同土层的固结系数 C_v和固结时间因素 Tv得到相应的固结度 U,得到开挖过程中的实际失水固结量,从而得到最终的沉降量。

南京地铁一号线中胜站位于河西新区规划中的纬九路南侧,横穿中胜路及 30m宽的规划河道。车站为浅埋地下站,总长 201m,采用明挖顺作法施工。基坑开挖深度 11.58～13.45m,降水深度达 818m,降水影响半径可达 120m,形成范围较大的降落漏斗(图 1)。地面最大沉降达到 183.9mm,从而引起地面及周边建筑物的不均匀沉降。

收稿日期〕 2007 - 9 - 12

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

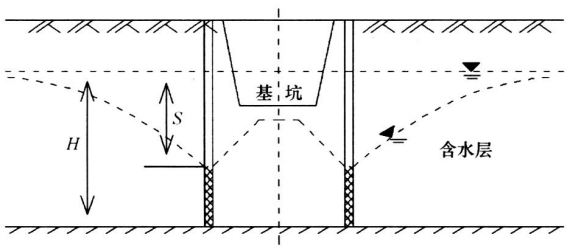


图 1 管井降水水位曲线

2 地下水渗流对地铁结构的影响

(1) 地下水产生的外水压力对围岩及衬砌的影响:隧道开挖后形成的二次应力场改变了原始地应力场分布及地下水渗流场分布,地层中的地下水运动主要以渗流体积力和动水压力的方式作用在围岩与支护结构上,早在 1948年太沙基对初期的土力学评价中指出:“在工程实践中,大多数施工难点与事故是由于地下水渗流所产生的压力引起,但这些压力并未受到重视。”[2]地铁隧道施工过程中,由于开挖前的降水和施工过程中的隧道失水,存在于土体孔隙中的孔隙水压力会产生变化,孔隙水压力的变化会影响土体的应力应变状态,同时应力应变也将改变土体的孔隙比,使土体各部位的渗透系数发生变化,影响其渗流状态。隧道中围岩、支护结构存在着复杂的相互耦合作用,这些方面的研究自 20世纪 70年代以来在水工隧道,铁路山岭隧道已开展了较多的研究工作[3,4]。在地下铁道设计规范中同样考虑了地下水对衬砌结构的作用。从本质上说,地铁隧道承受的静态作用力主要是地层压力和围岩中的水压力。在这种条件下,隧道衬砌承受的作用力取决于支护结构与围岩的接触处的排水条件。在不排水条件下,隧道衬砌要承载围岩地层压力和水压力,接触面的水压力将导致隧道围岩向衬砌变形而承受附加荷载。在完全排水条件下,在接触处水压力为零,因而衬砌只需承受地层围岩压力。因此,在这种条件下存在荷载由支护结构向地层围岩转移的现象,从而使支护结构不完全承受水压力。但是,由于地层中地下水向隧道内的渗流将产生渗流力,该渗流力引起的围岩变形将由于地层的相互作用而转移至支护结构上,承受由于向隧道排水而产生的附加荷载[5]。

(2) 地下水渗漏对地铁及周围土体的影响:在施工过程中,由于施工工艺及管理等问题,造成地下水渗透作用,引起基底隆起,流沙、流土等现象,在过去的地铁施工事故中,大多由于这种原因引起的,在降水过程中,水流带走大量的砂土,引起土层缺失,造成土体坍塌、地面沉陷。由于动水压力的作用,造成连续墙接缝处发生砂土流失,加大围护结构外侧土层的变形。

在地铁的修建过程中,将不可避免地穿越不同水文地质,工程地质条件的岩土体,当隧道通过含水层时,由于人为破坏了原有地下水的渗流条件,在没有施作防水层及防护结构之前,地下水流入隧道,稀释泥浆,降低泥浆的浓度,丧失护壁作用,导致土体向侧向变形,甚至塌方。而在施作防水层及防护结构之后,直至使用运营期间,尽管采取了一定的防治水措施,但总做不到滴水不漏,特别是有些情况下虽然设置了一定的方式的排水措施,渗漏水的危害还还将长期存在,地下水可以通过衬砌背后的盲沟流入地铁坑道,对于封堵方式治水的隧道,地下水也可能通过施工缝,变形缝,裂缝及混凝土空隙中渗漏进隧道从而形成危害。

3 地下水环境污染问题

(1) 施工期间产生的影响。南京地铁一号线,特别是西延线,施工降水范围广、降水量大、历时长,将在一个较长时间内形成施工降落漏斗,使地下水的动力场和化学场发生变化,引起地下水中某些物理化学组分和微生物含量的变化,导致地下水的污染加剧;车站及其区间的施工降水,将对附近水源地的取水产生一定影响;施工中为改善土体的强度和抗渗能力采取化学注浆,施工产生的废水、洗刷水、废浆以及机械漏油等,都可能影响地下水质。

(2) 地铁运营期间对地下水的影响。地铁线路截住了地下水的径流路径,降低了地铁附近地下水的径流速度,使得地下水难以及时向浑河、运河排泄,污染物不断积累,污染加剧。地铁隧道对地下水的拦截作用,使隧道两侧的地下水位发生变化,迎水面水位壅高,背水面下降,影响城市供水及地表植物的生长,进而影响整个城市的生态环境。如南京地铁 1号线全长 16.99km,地铁隧道两次穿越秦淮河古河道,其中三山街车站长 226.6m,许府巷车站长 242.3m,其连续墙埋深超过 30m,插入隔水层中,这些大型构筑物不仅阻碍地下水的传输,而且还通过侵占古河道降低地下水蓄存能力和调节能力。这个影响是大范围、长久的[6]。

对于在建的南京地铁二号线,地铁隧道穿越秦淮河古河道,且与主要导水层重合,降低了古河道地下水的传输能力,使地下水径流量大幅度降低。由

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于古河道在南京市浅层地下水循环中处于主导地位,这种影响使区域地下水流场发生改变,降低古河道"流域"地下水的循环代谢,加剧地下水的污染。根据张宋祜等人的研究结果[7],深层地下水的开采量中35.19%的水量来自上层越流补给,浅层地下水污染的加剧还将对深层地下水产生影响,为城市未来的发展提出了新的环境问题。

相比而言,地铁工程施工期间对地下水环境产生的影响是局部范围内的,在一个较长的时间内是能够得到缓解的,而地铁工程在运营中对地下水环境的影响则是大范围的,在时间上有明显的"滞后性",并且这种影响具有"累积效应"。

4 结论和建议

综上所述,地下水因地铁的修建被打破了原有的平衡,地铁在施工期和营运期不仅会引起地面不均匀沉降,影响邻近建筑物的稳定性,而且还会改变地下水质、造成一定的污染,使地下水径流系统发生变化。为了减轻地铁建设对于地下水环境的不良影响,应查清地下水的现状,寻找地下水的变化规律,使水文地质勘测深度与渗流分析理论相匹配。在地铁隧道的初步设计阶段,就要基本查清隧道地下水的补给、径流、排泄条件以及地下水的分布、运动规律、变化趋势,提出数值计算分析所需的水文地质参数。应加强地下水勘探技术研究和经费投入,提高勘探和分析精度,达到既经济又安全的目的,减少隧道病害的发生,保障隧道的长期稳定与安全。

参 考 文 献

[1] 高大钊. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 北京:人民交通出版社, 2001. 1-1.

[2] 冯国栋(译). 太沙基为岩土技术创刊(1938)所写的前言[J]. 土工基础, 1999(6):3-8.

[3] 张有天, 张武功. 隧洞水荷载的静力计算[J]. 水利学报, 1980,(3).

[4] 梁尧簇. 水工隧洞中的渗透动水压力[J]. 岩土工程学报, 1984,(1).

[5] In-Mo Lee, Seok-Woo Nam. The study of seepage forces acting on the tunnel lining and tunnel face in shallow tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2001(16):31-40.

[6] 许 劼, 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,(1).

[7] 张宗祜,施德鸿,沈照理,等. 人类活动影响下华北平原地下水环境的演化与发展[J]. 地球学报, 1997,18(4):337-3441.

第一作者通讯地址:南京市东南大学成园研究生公寓一舍605 **邮编**:210096

(上接第47页)

同。分层开挖的结果显示:泥皮环分布在桩周,灰色或回黑色的粉质粘土层中分布着黄褐色~灰黄色的可塑~流塑状粉土环,环的宽度视粉质粘土层塑性状态确定。流塑状的粉质粘土中,环的宽度为可塑状粉质粘土中的一倍,即:宽度46mm±,塑性状粉质粘土中环的宽度为21mm±。环外侧比较光滑,环外的原状地基土中没有剪切带和破坏面分布。粉土中分布着粉质粘土的泥皮环,环的宽度同样视粉土层的密实度而有不同的变化,密实度越大,环的宽度越小,反之,则异。环的颜色多为灰色~灰黑色。环的外侧锯齿状明显。环的宽度17~30mm。环的外侧原状土中没有剪切带和破坏面出现。桩的端部下地基土完全被压缩,压缩后的形状与静载荷试验中承压板下的压缩土体的形状完全相同。也与室内试验样变形结果完全相同[1,2]。

不同的是压缩土体中没有传统理论假设的破坏面存在,桩端同样存在一个中鼓、压密实的梯形土体。梯形土体随着桩身下沉过程而不断地被挤出桩周。

5 结论

(1) 传统的极限承载力理论中,地基土土体的力学属性被人们假设刚性-理想弹性体。在破坏状态时,一部分地基土沿着一条稳定的滑动面移动破坏,并且破坏面上的抗剪强度的变化是完全均匀的,破坏面是双螺旋状,忽略了与实际观测结果的差异。

(2) 传统认为地基土体破坏的标志是双螺旋滑动面的四个基点同时处于破坏的状态。即为基础底部的三角体加上相邻的三角体同时失稳。忽略了土的散粒破坏特性即局部破的特点。

参 考 文 献

[1] 施 斌,姜洪涛,等. 在外力作用下土体内部裂隙发育过程的CT研究3[J]. 岩土工程学报, 2000(5):537-540.

[2] 王靖涛,曹红林,丁美英,等. 基于数码相机的土三轴式样变形的数字图像测量[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2004(2):1-4.

第一作者通讯地址:郑州市经七路15号院3号楼58号 **邮编**:450002

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net