

文章编号:1672-6561(2012)01-0096-08

西安地铁隧道穿越饱和软黄土地段的地表沉降监测

贺农农¹, 李攀², 邵生俊², 李佳坤², 焦阳阳²

(1. 西安市地下铁道有限责任公司, 陕西 西安 710018; 2. 西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要:以西安地铁一号线朝阳门站—康复路站区段饱和软黄土地铁隧道为研究对象,通过施工期现场地表沉降变形监测,分析了在饱和软黄土特殊地层条件下隧道浅埋暗挖法施工引起的该区段地表沉降变形规律以及地表沉降槽分布特征。结果表明:在饱和软黄土隧道开挖时,随着掌子面的推进,隧道顶地表沉降可分为沉降微小阶段、沉降显著发展阶段、沉降缓慢阶段和沉降稳定阶段;单线隧道开挖后的最大地表沉降量为18.89 mm,双线隧道开挖后的最大地表沉降量为36.4 mm;已开挖隧道对围岩土体的扰动作用使得后开挖隧道的地表沉降发展较大;双线隧道的地表沉降槽宽度接近单线隧道沉降槽宽度的2倍,因此可以将其近似为单线隧道地表沉降槽宽度与双线隧道轴线中点距离之和;单线隧道开挖后地表沉降槽宽度为8.4~9.3 m,双线隧道开挖后地表沉降槽宽度为16.2~17.5 m;隧道开挖施工的沉降槽宽度参数为0.435~0.467,单线隧道开挖后的地层损失率为0.765%~1.324%,双线隧道开挖后的地层损失率为1.231%~2.200%。

关键词:地质工程;隧道;西安地铁;沉降监测;沉降槽宽度;地层损失率;饱和软黄土

中图分类号:P642.13⁺1;TU94 **文献标志码:**A

Ground settlement monitoring above Xi'an Metro tunnel through the saturated soft loess

HE Nong-nong¹, LI Pan², SHAO Sheng-jun², LI Jia-kun², JIAO Yang-yang²

(1. Xi'an Metro Co. Ltd., Xi'an 710018, Shaanxi, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi, China)

Abstract: The tunnel through the saturated soft loess from Chaoyangmen Station to Kangfulu Station in Line 1 of Xi'an Metro was taken as example; based on the local ground settlement deformation monitoring during the construction, the discipline of ground settlement deformation caused by the tunnel construction with shallow tunneling method under the special condition of saturated soft loess and the distribution of settling vessel were analyzed. The results showed that the ground settlement above the tunnel could be divided into little settlement, significant fast settlement, slow settlement and stable settlement stages when the excavation face went forward continuously, and the tunnel with saturated soft loess was excavated; the maximum settlement was 18.89 mm after single tunnel excavated and 36.4 mm after double tunnels excavated; the ground settlement of tunnel excavated secondly was large because of the disturbance of the tunnel excavated firstly to wall rock; the width of ground settling vessel of double tunnels was approximately twice of single tunnel, so the width of ground settling vessel of double tunnels approximated the sum of the width of ground settling vessel of single tunnel and the distance of

收稿日期:2011-04-15

基金项目:国家自然科学基金项目(10872161);西安市地下铁道有限责任公司项目(D1-YJ-012010058);陕西省黄土力学与工程重点实验室开放基金项目(220909)

作者简介:贺农农(1956-),男,陕西富平人,高级工程师,工学硕士,从事地铁建设与管理研究,E-mail:346716336@qq.com。

axes midpoints between the double tunnels; the widths of ground settling vessel were 8.4-9.3 m after single tunnel excavated and 16.2-17.5 m after double tunnels excavated; the parameters of width of ground settling vessel were 0.435-0.467 after tunnel excavated, loss ratios of stratum were 0.765%-1.324% after single tunnel excavated and 1.231%-2.200% after double tunnels excavated.

Key words: geological engineering; tunnel; Xi'an Metro; settlement monitoring; width of settling vessel; loss ratio of stratum; saturated soft loess

0 引言

近年来,中国城市地铁建设迅速发展,地铁隧道施工过程中不可避免地扰动隧道周围的土层,形成地表沉降槽,影响邻近建筑物和地下管线的安全运行。针对上述问题,学者开展了许多地铁隧道施工引起的地表沉降变形方面的研究^[1-10],对指导工程建设具有重要的理论与实际意义。针对隧道地面沉降变形问题,Peck 提出了地面沉降槽预测模型^[11]; O'Reilly 等结合伦敦地区的经验提出了沉降槽宽度与埋深之间的线性关系^[12],引入地层损失率参数,得到简化的基于最大沉降变形量的预测模型。Attewell等在此基础上对地表沉降做了更为深入的研究^[13-16]。中国学者通过具体工程实际监测也开展了地表沉降变形研究^[17-26]。

目前,西安地铁二号线地下工程已经建成,虽然在隧道等地下工程施工中积累了一些控制地层位移和地表沉降的经验,但对软弱地层中隧道施工引起的围岩变形和地表沉降的量化分析及合理预测还需要进一步探索。由于西安地铁建设场地位于渭河多级阶地,地层上部为疏松的新黄土,其饱和后未经压密的软黄土具有孔隙比大、欠压密、强度低的特性,所以隧道施工扰动必然引起较大的沉降变形。西安地铁一号线朝阳门至康复路段的地层中就分布有2.50~10.30 m厚的饱和软黄土。对于该饱和软黄土隧道区间段的施工,可能存在的施工过程地面沉降过大的问题已经引起了工程技术人员的高度重视。笔者以西安地铁一号线朝阳门至康复路段的地表沉降现场监测数据为基础,探讨了在浅埋暗挖法隧道施工条件下饱和软黄土地段的地表沉降规律,包括地表最大沉降量、地表沉降槽宽度、地表沉降槽宽度参数、地层损失率等。

1 工程背景

1.1 工程概况及地层条件

西安地铁一号线朝阳门站—康复路站的区间

(以下简称“朝康区间”)左、右线隧道长度分别为774.597 m和776.200 m,均采用核心土上、下台阶开挖法,钢拱架加挂网喷层初支法,模筑钢筋混凝土永久衬砌构筑法施工。该区间隧道从朝阳门站东侧出发,下穿长乐西路机动车道和人行道,至康复路站西侧。左、右线隧道在平面上均由直线段和半径为3 000 m及1 000 m的曲线段组成,左、右线隧道间距为15 m。左、右线隧道在朝阳门站东侧具有相同标高,轴线平行,从朝阳门东侧至康复路西侧左线的坡率依次为-0.2%、-0.3%、1.462%、2.419 4%、0.2%,右线的坡率依次为-0.2%、-0.3%、1.462%、2.4%、0.2%。该区间隧道的最大拱顶埋深在朝阳门站东侧261.0 m处,约16.4 m深;最小隧道拱顶埋深在康复路西端,约8.7 m深。

隧道区间的地面标高为404.99~407.91 m,全段东高西低,高差2.92 m。其地貌属黄土梁洼,区间范围内地表一般分布有厚薄不均的全新统杂填土(厚度0.70~1.90 m)和素填土(厚度0.70~5.10 m);其下为上更新统风积新黄土(厚度0.50~5.50 m),饱和软黄土(厚度2.50~10.30 m),残积古土壤(厚度3.20~5.50 m);最下部为中更新统风积老黄土(厚度3.30~9.90 m),冲积粉质黏土(最大厚度19.4 m),粉土、细砂、中砂(厚度0.70~3.50 m)及粗砂等。朝阳门至康复路站隧道区间西段地质剖面见图1。

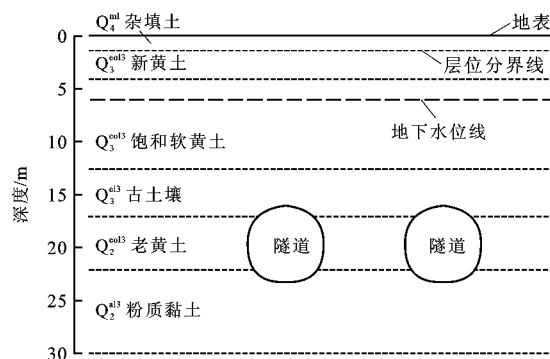


图1 朝阳门站至康复路站隧道区间西端地质剖面

Fig. 1 Geological section at the western end of tunnel from Chaoyangmen Station to Kangfulu Station

隧道区间建设影响范围内的地下水属潜水。地下水埋深 4.30~7.50 m, 标高 397.89~403.41 m。地下水东高西低, 高差 5.52 m。地下水受兴庆湖渗漏水的影响显著, 潜水流向为北偏东。隧道影响范围的地下水主要补给源包括地下径流、人工湖渗水、降雨入渗等。地下水的运动受潜水径流、人工开采及蒸发消耗等影响。该隧道区间地下水赋存于上更新世残积古土壤、中更新世风积黄土及冲积粉质黏土等黏性土层。其主要含水层的更新统冲积粉质黏土中有 2、3 层中砂透镜体夹层, 分布不连续, 透水性好。

1.2 隧道施工

在饱和软弱黄土中开挖隧道时, 应遵循尽量减少对围岩的扰动、避免围岩黄土变形引起强度降低和固结变形发展、合理利用围岩的自身承载能力的

原则。在开挖施工时, 一方面减小降水形成的漏斗区域, 缩短降水历时, 削弱固结变形发展; 另一方面增强初期支护, 在隧道拱顶上部软弱黄土中采用注浆小导管、架设钢拱架、挂网、喷射混凝土形成初期支护结构, 同时, 分上、下台阶开挖, 留置核心土保持掌子面稳定。在下半洞开挖未形成封闭初期支护之前, 上半洞初衬钢拱架脚部连接水平钢支撑锁脚。下半洞开挖架设钢拱架、挂网、喷射混凝土形成封闭衬砌结构之后, 可拆除侧墙腰部水平钢支撑。接下来, 构筑钢筋混凝土衬砌结构。上台阶开挖后, 应及时构筑下半洞初期支护仰拱, 形成初期支护封闭环, 以便控制地层土体变形。单洞开挖施工支护的步骤和顺序如图 2。图 2 中虚线为未施工隧道部分的轮廓线, 实线为已施工隧道部分的轮廓线。

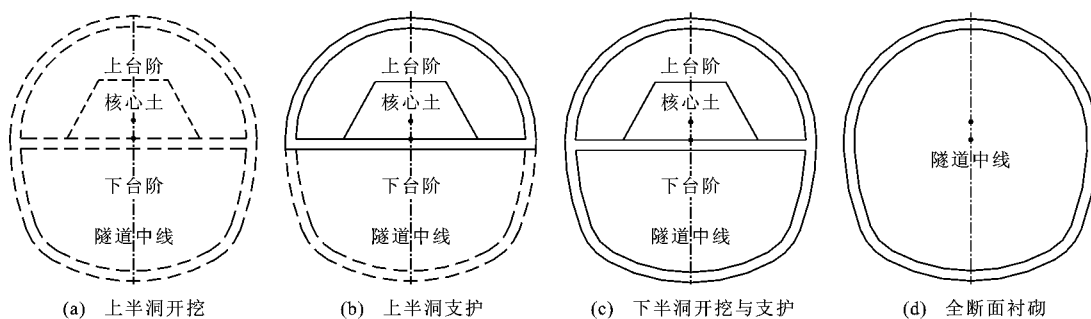


图 2 朝康区间隧道开挖施工与衬砌支护工序

Fig. 2 Constructing procedure of excavating and lining of tunnel from Chaoyangmen Station to Kangfulu Station

2 沉降监测方案

2.1 监测场地

西安地铁一号线朝康区间隧道下穿道路的两侧均有建筑物, 道路两侧地层的沉降影响到建筑物的安全运行。在 DK22+660 至 DK22+730 段隧道的拱顶埋深为 15.4~16.6 m。其中, 右线 DK22+660 至 DK22+680 段为 B 型断面 (高 7 705 mm, 宽 7 100 mm) 隧道; 右线 DK22+690 至 DK22+730 段为 A 型断面 (高 6 550 mm, 宽 6 380 mm) 隧道; 左线 DK22+660 至 DK22+680 段为 C 型断面 (高 8 605 mm, 宽 8 000 mm) 隧道; 左线 DK22+690 至 DK22+715 段为 B 型断面隧道; 左线 DK22+730 段为 A 型断面隧道。场地内有两条主要的管线: 一条为直径 300 mm 的铸铁给水管, 埋设在左线隧道拱顶上方, 埋深 1.70 m; 另一条为直径 1 000 mm 的混凝土排水管, 埋设在右线隧道拱顶上方, 埋深 4.70~5.46 m。

2.2 测点布设

为了了解 DK22+660~DK22+730 段地层沉

降对建筑物和地下管线的影响, 沿隧道轴线选择 DK22+660、DK22+670、DK22+680、DK22+690、DK22+715、DK22+730 等 6 个断面布设地表沉降观测点 (图 3), 监测隧道开挖时引起的地表沉降。

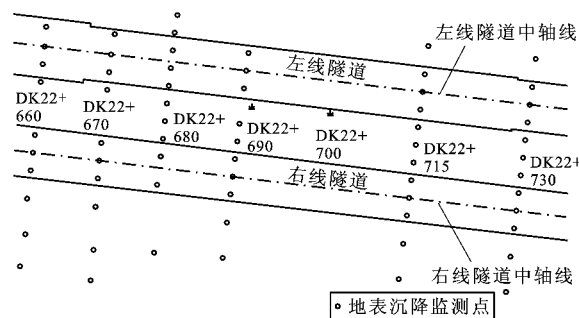


图 3 朝康区间隧道地表沉降监测点分布

Fig. 3 Distribution of monitoring points of ground surface settlement of tunnel from Chaoyangmen Station to Kangfulu Station

使用苏一光 DS05 精密水准仪对地表沉降监测点进行高程测量, 测量出每个点位的即时高程。将测得数据与前次测得数据相减, 可得前后两次监测的地表沉降量。将观测点测量高程与隧道开挖前初

始高程比较,可求得累积地表沉降量。依据同一时间的测量数据也可得到地铁隧道开挖时的地表沉降分布曲线及其发展变化。

3 地表沉降监测结果分析

3.1 地表沉降变形随掌子面的变化

随着隧道开挖后掌子面越来越靠近监测断面,监测断面洞顶上方地面的沉降变形也越来越大。在掌子面通过监测断面后,随着掌子面的支撑和约束作用释放,地面沉降变形继续发展。如果以监测断面为基准,当掌子面未通过监测断面时,掌子面与监测断面的距离为负值;当掌子面通过监测断面后,掌子面与监测断面的距离为正值。那么,以掌子面与监测断面间的距离(L)和隧道洞径(D)之比为横坐标,以洞顶地面沉降量为纵坐标,可得到各监测断面洞顶地面沉降量随掌子面的变化曲线。选择 DK22+680、DK22+690、DK22+715 三个监测断面分析,右线隧道单洞开挖过程中洞顶地面沉降随掌子面的变化曲线如图 4~6。

根据对 DK22+680、DK22+690、DK22+715 三个断面隧道左线洞顶地表沉降分析,可以将隧道地表沉降分为 4 个阶段。沉降微小阶段: $L/D \leq -1$,掌子面在监测断面之前,距监测断面在 1 倍洞径以上,监

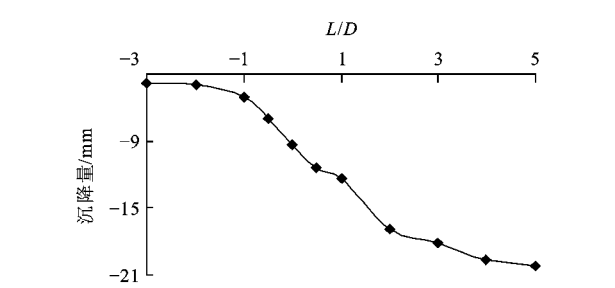


图 6 右线隧道 DK22+715 断面拱顶地表沉降随掌子面的变化
Fig. 6 Changes of ground settlement above the right tunnel vault with the excavation face at DK22+715 section

测断面的沉降发展比较小;沉降显著发展阶段: $-1 \leq L/D \leq 3$,掌子面临近监测断面,且进一步穿越监测断面,地面沉降发展迅速,最大沉降速率达 1.65 mm/d;沉降缓慢阶段: $3 \leq L/D \leq 5$,掌子面距离监测断面较远,监测断面围岩已有初衬支撑,掌子面的变化对监测断面围岩变形的影响越来越小,沉降变形速率减缓;沉降稳定阶段: $L/D \geq 5$,掌子面远离测点断面,沉降变化趋于稳定。除此之外,从图 4~6 还可以看出,当开挖掌子面位于监测点断面时,地表沉降变形达到了稳定变形时的 40%~50%。

3.2 隧道横断面地表沉降变形分析

3.2.1 单线隧道开挖引起的地表沉降变形

随着掌子面的变化,各监测断面地表沉降变形逐渐发展。当掌子面对监测断面围岩的约束和支撑作用全部释放且初期衬砌支撑形成时,地表沉降变形趋于稳定。依据沉降变形稳定时的监测结果,朝康区间右线隧道各监测断面的沉降变形分布如图 7。根据图 7 可以看出,单线隧道开挖时引起的最大地表沉降变形为 18.9 mm;各断面沉降槽宽度见表 1,右线各监测断面沉降槽宽度为 8.4~9.3 m。

表 1 各监测断面地表沉降槽宽度

断面	DK22+660	DK22+670	DK22+680	DK22+690	DK22+715	DK22+730
右线隧道沉降槽宽度/m	9.1	8.4	8.7	9.1	9.1	9.3
左线隧道沉降槽宽度/m	8.9	8.5	8.7	9.1	9.1	8.8
双线隧道沉降槽宽度/m	16.2	16.2	17.5	16.3	16.8	16.2

3.2.2 双线隧道开挖引起的地表沉降变形分析

在双线隧道开挖施工中,随着右线隧道开挖,掌子面逐渐逼近监测断面,地表沉降逐渐发展。当掌子面达到监测断面且进一步向前推进时,地表沉降

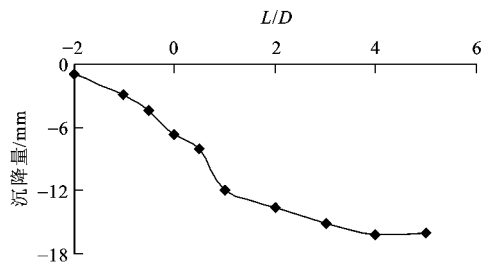


图 4 右线隧道 DK22+680 断面拱顶地表沉降随掌子面的变化
Fig. 4 Changes of ground settlement above the right tunnel vault with the excavation face at DK22+680 section

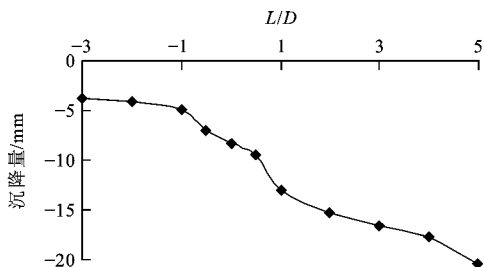


图 5 右线隧道 DK22+690 断面拱顶地表沉降随掌子面的变化
Fig. 5 Changes of ground settlement above the right tunnel vault with the excavation face at DK22+690 section

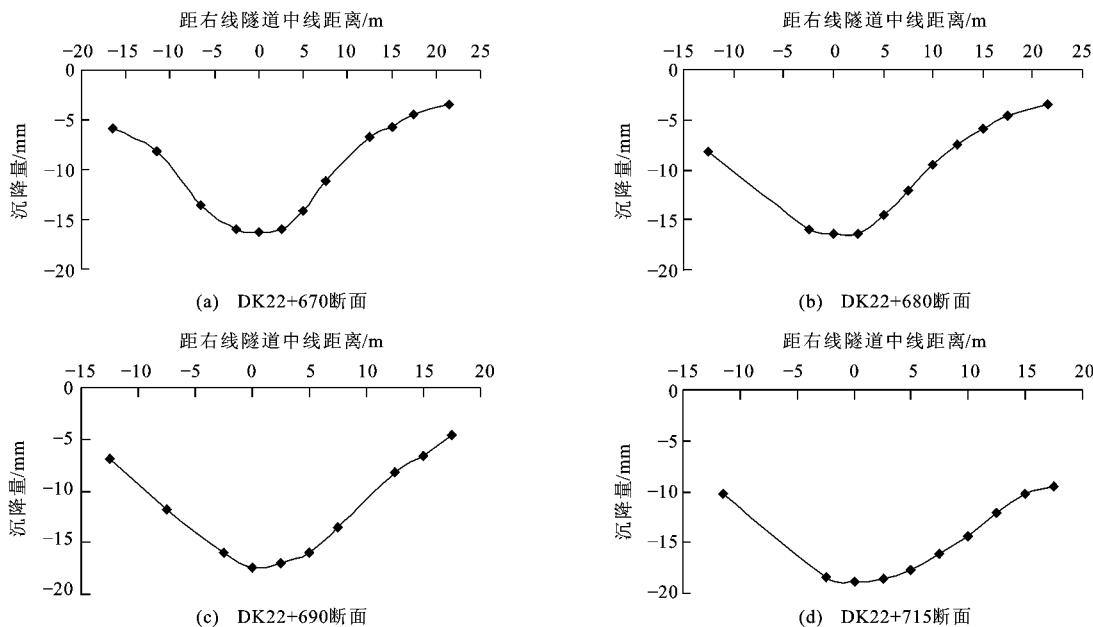


图 7 右线隧道各断面地表沉降分布曲线

Fig. 7 Distribution curves of ground settlement at different monitoring sections of the right tunnel

进一步发展;当掌子面对监测断面的约束全部释放且形成初期衬砌支撑时,单线隧道开挖引起的地表沉降趋于稳定。此后,随着左线开挖,掌子面临近监测断面,地表沉降变形又接着发展。当左线掌子面对监测断面围岩的约束全部释放且构筑形成初期衬砌支撑时,双线隧道开挖引起的地表沉降就趋于稳定。DK22+690 监测断面地表沉降变形的发展过程见图 8。

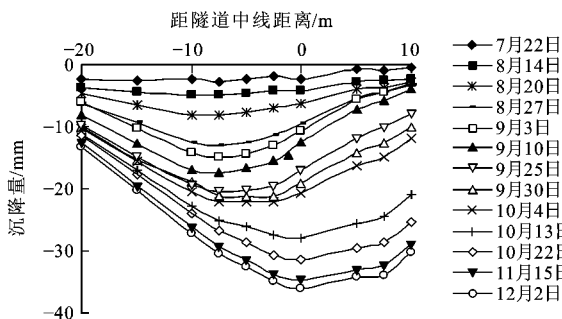


图 8 DK22+690 断面地表沉降变形分布的发展过程

Fig. 8 Changing process of distribution of ground settlement deformation at DK22+690 section

当左、右线隧道开挖引起的地表沉降变形趋于稳定后,依据双线隧道开挖完成后引起的地表沉降量减去右线隧道开挖沉降变形稳定的地表沉降量,可得左线隧道开挖引起的地表沉降量。各监测断面的地表沉降曲线见图 9~11。由此可以得出,左线隧道开挖引起的地表沉降大于右线隧道开挖引起的地表沉降。这是因为右线隧道开挖时已经扰动了左

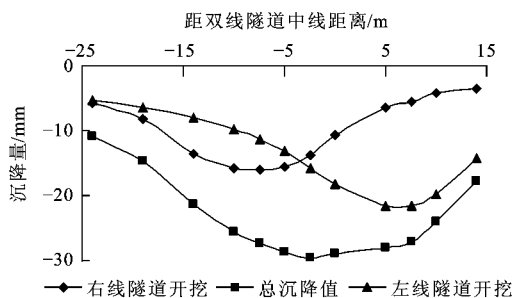


图 9 DK22+670 断面左、右隧道线地表沉降分布

Fig. 9 Distribution of ground settlement of left and right tunnels at DK22+670 section

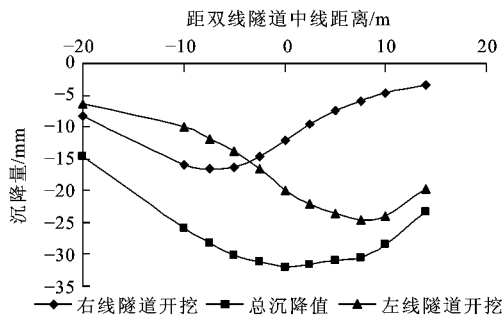


图 10 DK22+680 断面左、右隧道线地表沉降分布

Fig. 10 Distribution of ground settlement of left and right tunnels at DK22+680 section

线隧道周围的土体,当双线隧道开挖的地表沉降稳定后,引起的地表最大沉降达到 36.4 mm。

依据右线、左线和双线开挖引起的地表沉降分布曲线,可得到各监测断面的沉降槽宽度(表 1)。这表明右线隧道开挖引起的地表沉降槽宽度为

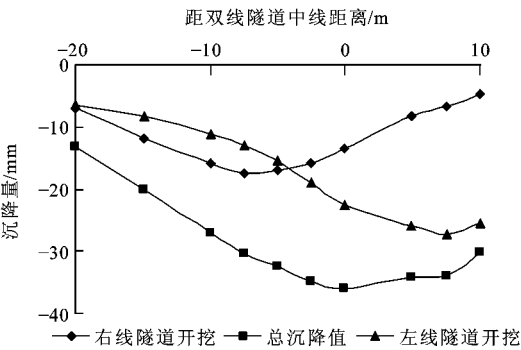


图 11 DK22+690 断面左、右线隧道地表沉降
Fig. 11 Distribution of ground settlement of
left and right tunnels at DK22+690 section

8.4~9.3 m,左线隧道由于围岩土体受到右线开挖扰动的影响,地表沉降量大于右线隧道,但其单线的沉降槽宽度基本与右线相同。双线隧道开挖引起的地表沉降槽宽度为 16.2~17.5 m,接近单线隧道沉降槽宽度的 2 倍,近似等于单线隧道沉降槽宽度与双线隧道轴线中点距离之和。

3.2.3 地面沉降槽宽度分析

前人研究表明,影响地表沉降槽宽度的因素有隧道埋深和隧道断面形状及尺寸。此外,对于超浅埋的城市地铁隧道而言,隧道断面形状及大小变化不大,地表沉降槽的影响范围还与开挖支护措施及隧道围岩土性有密切联系。按照目前应用最广泛的沉降槽计算公式^[12],沉降槽宽度与隧道埋深成正比,其比例系数也称为沉降槽宽度参数,反映了隧道围岩土性及开挖支护措施的影响。沉降槽计算公式为

$$i = Kz_0 \tag{1}$$

式中: i 为地表沉降槽宽度; z_0 为隧道洞轴线埋深; K 为沉降槽宽度参数。依据各监测断面的地表沉降曲线,可得到各断面的沉降槽宽度;利用沉降槽计算公式进而可得到沉降槽宽度参数。从表 2 可以看出,朝康区间隧道地表沉降的沉降槽宽度参数为 0.435~0.467。

3.2.4 地层损失率

地层损失率为地表沉降槽的面积与隧道开挖面积之比。根据地层损失率定义,其与最大沉降位移之间的关系可表述为

$$S_{\max} = \frac{AV_1}{i\sqrt{2\pi}} \tag{2}$$

式中: A 为隧道开挖的面积; S_{\max} 为最大沉降位移; V_1 为地层损失率。依据式(2),可计算得到地层损失率。各监测断面的地层损失率如表 3。

根据表 3 可以看出,当不考虑排水作用时,朝阳

表 2 沉降槽宽度参数
Tab. 2 Parameters of widths of settling vessels

断面		DK22+660	DK22+670	DK22+680	DK22+690	DK22+715	DK22+730
右线隧道	i/m	9.1	8.4	8.7	9.1	9.1	9.3
	z_0/m	19.5	19.3	19.5	19.8	19.9	19.9
	K	0.467	0.435	0.446	0.460	0.457	0.467
左线隧道	i/m	8.9	8.5	8.7	9.1	9.1	8.8
	z_0/m	19.8	19.5	19.5	19.5	20.2	19.6
	K	0.449	0.435	0.446	0.467	0.451	0.449

表 3 各监测断面的地层损失率

Tab. 3 Loss ratios of stratum at different monitoring sections

断面	DK22+660	DK22+670	DK22+680	DK22+690	DK22+715	DK22+730
右线隧道地层损失率/%	0.765	0.781	0.835	1.220	1.324	1.227
左线隧道地层损失率/%	0.916	1.242	0.991	1.443	1.331	1.688
双线隧道地层损失率/%	1.277	1.231	1.449	1.946	2.031	2.200

门段单线隧道(右线隧道)的地层损失率为 0.765%~1.324%;双线隧道开挖时,后开挖隧道(左线隧道)引起的地层损失率较先开挖的大,为 0.916%~1.688%;双线隧道开挖后引起的地层损失率大于单线隧道,为 1.231%~2.200%。

4 结 语

(1)根据西安地铁一号线朝阳门站—康复路区间隧道地表沉降变形随掌子面推进的变化曲线分析,可以把隧道地表沉降分 4 个阶段:沉降微小阶段、沉降显著发展阶段、沉降缓慢阶段、沉降稳定阶段。在沉降显著发展阶段,最大沉降速率可以达到 1.65 mm/d。当掌子面达到监测断面时,地层变形已达到稳定变形时的 40%~50%。

(2)单线隧道开挖引起的地表沉降最大值为 18.9 mm,地表沉降槽宽度为 8.4~9.3 m。双线隧道开挖时,由于已开挖隧道对围岩土体的扰动作用,使得后开挖隧道的地表沉降发展较大;双线隧道的地表沉降槽宽度接近单线隧道沉降槽宽度的 2 倍,近似为单线隧道沉降槽宽度与双线隧道轴线中点距离之和。

(3)根据地表沉降实际监测分布曲线,饱和软黄土隧道的沉降槽宽度参数为 0.435~0.467。单线隧道开挖的地层损失率为 0.765%~1.324%;双线隧道开挖的地层损失率为 1.231%~2.200%。

参考文献:

References:

- [1] 王 霆,刘维宁,张成满,等.地铁车站浅埋暗挖法施工引起地表沉降规律研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(9):1855-1861.
WANG Ting,LIU Wei-ning,ZHANG Cheng-man,et al. Study on ground settlement induced by shallow metro station constructions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2007,26(9):1855-1861. (in Chinese)
- [2] 王梦恕.地下工程浅埋暗挖技术通论[M].合肥:安徽教育出版社,2004.
WANG Meng-shu. General theory of shallow underground excavation technology for underground construction[M]. Hefei:Anhui Education Press,2004. (in Chinese)
- [3] 施成华.城市隧道施工地层变形时空统一预测理论及应用研究[D].长沙:中南大学,2007.
SHI Cheng-hua. Research on time-space united calculation theory of stratum deformation for urban tunnel excavation and its application[D]. Changsha: Central South University, 2007. (in Chinese)
- [4] 姚宣德,王梦恕.地铁浅埋暗挖法施工引起的地表沉降控制标准的统计分析[J].岩石力学与工程学报,2006,25(10):2030-2035.
YAO Xuan-de,WANG Meng-shu. Statistic analysis of guideposts for ground settlement induced by shallow tunnel construction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2006,25(10):2030-2035. (in Chinese)
- [5] 齐震明,李鹏飞.地铁区间浅埋暗挖隧道地表沉降的控制标准[J].北京交通大学学报,2010,34(3):117-121.
QI Zhen-ming,LI Peng-fei. Control standard of ground surface settlements in metro section shallow tunnel[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(3): 117-121. (in Chinese)
- [6] 吴 波,高 波,索晓明,等.城市地铁小间距隧道施工性态的力学模拟与分析[J].中国公路学报,2005,18(3):84-89.
WU Bo,GAO Bo,SUO Xiao-ming,et al. Mechanical simulation and analysis of construction behavior of urban metro tunnelling with small interval[J]. China Journal of Highway and Transport,2005,18(3):84-89. (in Chinese)
- [7] 胡志平,彭建兵,黄强兵,等.地铁盾构隧道30°斜穿地裂缝的物理模拟试验[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(4):63-68.
HU Zhi-ping,PENG Jian-bing,HUANG Qiang-bing,et al. Physical modeling test on shield tunnel crossing ground fissure with 30°[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2009,29(4):63-68. (in Chinese)
- [8] 朱洪高,郑宜枫,陈 昊.双圆盾构隧道土体地表沉降特性[J].建筑科学与工程学报,2006,23(2):62-67.
ZHU Hong-gao,ZHENG Yi-feng,CHEN Hao. Characteristics of soil surface settlement for double-O-tube shield tunnel[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering,2006,23(2):62-67. (in Chinese)
- [9] 杨更社,吴成发,李瑞强.西安地铁1号线区间特殊地段施工风险评估[J].西安科技大学学报,2010,30(2):159-164.
YANG Geng-she,WU Cheng-fa,LI Rui-qiang. Risk assessment of Xi'an Metro Line 1 special sections construction[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology,2010,30(2):159-164. (in Chinese)
- [10] 门玉明,张结红,刘洪佳,等.西安地铁隧道穿越地裂缝带的计算模型探讨[J].地球科学与环境学报,2011,33(1):95-100.
MEN Yu-ming,ZHANG Jie-hong,LIU Hong-jia,et al. Discussion on the computing model for Xi'an Metro tunnel passing through the ground fissure zone[J]. Journal of Earth Sciences and Environment,2011,33(1):95-100. (in Chinese)
- [11] PECK R B. Deep excavations and tunneling in soft ground[C]//Committee of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Proceedings of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico City: Committee of 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,1969:225-290.
- [12] O'REILLY M P,NEW B M. Settlements above tunnels in the United Kingdom: their magnitude and prediction[C]//JONES M J. Tunnelling 82: Papers Presented at the Third International Symposium. London: Institution of Mining and Metallurgy,1982:173-181.
- [13] ATTEWELL P B,WOODMAN J P. Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunneling in soil[J]. Ground Engineering,1982,15(8):13-20.
- [14] ATTEWELL P B,SELBY A R. Tunneling in compressible soils: large ground movements and structural implications[J]. Tunneling and Underground Space Technology,1989,4(4):481-487.
- [15] MAIR R J, TAYLOR R N, BRACEGIRDLE A. Subsurface settlement profiles above tunnels in clays[J]. Geotechnique,1993,43(2):315-320.
- [16] MAIR R J, TAYLOR R N, BURLAND J B. Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunneling[C]//MAIR R J, TAYLOR R N. Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. London: Balkema,1996:713-718.
- [17] 韩 焯,李 宁,STANDING J R. Peck公式在我国隧道施工地面变形预测中的适用性分析[J].岩土力学,2007,28(1):23-28,35.
HAN Xuan,LI Ning,STANDING J R. An adaptability study of Peck Equation applied to predicting ground settlements induced by tunneling in China[J]. Rock and Soil Mechanics,2007,28(1):23-28,35. (in Chinese)
- [18] 郑怀洲.北京地铁东四站地表沉降监测数据分析[J].铁道标准设计,2006(4):60-62.
ZHENG Huai-zhou. Analysis on the ground settlement monitoring in Dongsi Station of Beijing Subway[J]. Railway Standard Design,2006(4):60-62. (in Chinese)
- [19] 姜忻良,赵志民,李 园.隧道开挖引起土层沉降槽曲线形态的分析与计算[J].岩土力学,2004,25(10):1542-1544.

- JIANG Xin-liang, ZHAO Zhi-min, LI Yuan. Analysis and calculation of surface and subsurface settlement trough profiles due to tunneling[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(10): 1542-1544. (in Chinese)
- [20] 缪林昌, 王 非, 吕伟华. 城市地铁隧道施工引起的地面沉降[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2008, 38(2): 293-297.
MIAO Lin-chang, WANG Fei, LU Wei-hua. Ground surface settlement due to urban tunnel construction[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2008, 38(2): 293-297. (in Chinese)
- [21] 关继发. 北京地铁 5 号线暗挖区间地表沉降分析及控制[J]. 现代城市轨道交通, 2008(4): 31-33.
GUAN Ji-fa. Analysis and suggestion on control of ground surface settlement induced by boring running tunnels of Beijing Metro Line 5[J]. Modern Urban Transit, 2008(4): 31-33. (in Chinese)
- [22] 施成华. 隧道开挖及疏水引起的地表沉降与变形[J]. 中国公路学报, 2007, 20(1): 91-95.
SHI Cheng-hua. Ground surface settlement and deformation caused by tunnel excavation and dewatering[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(1): 91-95. (in Chinese)
- [23] 杨晓华, 李新伟, 俞永华. 土工格室加固浅层饱和黄土地基的有限元分析[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2): 12-17.
YANG Xiao-hua, LI Xin-wei, YU Yong-hua. Finite element analysis of shallow saturated loess reinforced with geocell[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2): 12-17. (in Chinese)
- [24] 彭小云, 叶万军, 折学森, 等. 黄土沟壑区湿软路基沉降预测模型[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 70-75.
PENG Xiao-yun, YE Wan-jun, SHE Xue-sen, et al. Settlement prediction model of wettest-soft loess subgrade in ravine regions[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(2): 70-75. (in Chinese)
- [25] 王梦恕, 张成平. 城市地下工程建设的事故分析及控制对策[J]. 建筑科学与工程学报, 2008, 25(2): 1-6.
WANG Meng-shu, ZHANG Cheng-ping. Analysis of accident induced by urban underground project construction and its control measures[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2008, 25(2): 1-6. (in Chinese)
- [26] 任建喜, 张引合, 高丙丽, 等. 浅埋暗挖地铁隧道施工方案 FLAC 优化分析[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(2): 157-162.
REN Jian-xi, ZHANG Yin-he, GAO Bing-li, et al. Optimization analysis on subway tunnel construction plan by shallow dark excavation method with FLAC[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2011, 31(2): 157-162. (in Chinese)

《地球科学与环境学报》投稿须知

为了全面扩大《地球科学与环境学报》的学术影响力,便于审稿和对录用稿件的编辑加工,本刊向作者提出如下要求,期望得到广大作者的配合与协助。

1. 来稿必须包括以下项目:题名(尽量不超过 20 字)、作者姓名、作者单位、摘要(400 字左右)与关键词(5~8 个)必须英汉对照;引言、正文、结语与参考文献应具全;请附第一作者简介、详细联系地址和方式;请在省部级以上基金项目或攻关项目产生的论文首页页脚注明项目名称与编号。

2. 摘要采取第三人称表述,重点报道论文研究的目的、方法、具有独创性的具体结果和结论。

3. 引言应概述前人在该领域内所做的相关工作,指出论文研究的工作与他人的异同、重点及期望在哪些方向上取得成果和突破,并给出相关参考文献,按引用的顺序,在引言内标注参考文献序号,按相应的顺序把参考文献列在文后。

4. 在正文中的图表按出现的先后顺序进行编号,并给出图名和表名(英汉对照)。

5. 在结论中应指出本论文的独创性结果及存在的局限,并指出本文所研究问题的进一步研究方向。

6. 文后参考文献的著录项目一定要齐全;著作应包括著者、书名、版本、出版地、出版者、出版年;期刊论文应包括著者、论文名、刊名、出版年、卷号与期号;论文集中论文应包括论文著者、论文名、论文集编者、论文集名、论文集出版地、论文集出版者、出版年;学位论文应包括著者、论文名、学位授予单位名称、论文保存单位名称与答辩年;技术标准应包括标准代号与标准名称;所有参考文献必须注明被引用的起止页码;所有非英文参考文献都要有英文对照。

7. 作者投稿 1 个月后,可致电、致函本刊编辑部,查询稿件录用情况;3 个月之内作者如收到本刊退稿通知,可自行处理,在此期间作者如收到修改意见或录用通知,不得另投他刊。

8. 本刊已与多种媒体签署出版光盘及上网协议,不愿通过媒体发行者,请来稿时注明,本刊支付给作者的稿费已包括作者的著作权使用费用。

联系地址:陕西省西安市南二环路中段长安大学杂志社

邮政编码:710064

电话:029-82334686

E-mail:dkyhxb@chd.edu.cn