

成都地铁 1 号线工程建设面临的地质问题及对策*

易勇进 蒋良文

(铁道第二勘察设计院 成都 610031)

摘要 成都地铁 1 号线车站和区间隧道主体结构均位于砂卵石地层中。建设中会遇到诸多施工地质与环境地质问题。例如大粒径、高强度砾石和透镜体砂层对盾构机选型、盾构施工及降水施工产生较大影响。同时,地铁工程建设可能会对周边建筑物和地下水径流产生一定影响。但在充分总结类似工程修建的技术和经验基础上。通过选用合理的施工方法、施工设备、施工工艺、施工组织以及采取合理的工程措施,是能够得到解决或控制的。

关键词 地铁 地质问题 砾石 透镜体砂 盾构机

THE GEOLOGY PROBLEM AND COUNTERPLANS THAT THE NO. 1 LINE OF CHENGDU METRO ENGINEERING CONSTRUCTION

YI Yongjin JIANG Liangwen

(The Second Survey and Design Institute of China Railways, Chengdu 610031)

Abstract The station and zone tunnel's corpus structures of No. 1 line of Chengdu metro all locate in the sand and pebble soil. Will meet many construction geologies and the environment geology problem in the construction, for example, big diameter, high strength gravel and the anastigmatic body sand will produce the bigger influence to choose the type of shield machine, construction of shield and the groundwater decline. At the same time, the metro engineering construction may produce the influence to the peripheral building and the groundwater path. But at full summary the technique and the experience of similar engineering in the foundations, from choose the reasonable construction method, construction equipments, construction craft, construction organization and engineering measure, can be solve or control above - mentioned geology problems.

Key words Metro, Geology problem, Gravel, Anastigmatic body sand, Shield machine

1 引言

成都地铁 1 号线是我国西部第一条地铁,是成都市实施西部大开发战略,提升成都市形象的重点工程,对缓解成都市城市交通紧张状况,改善城市环境质量,实现城市可持续发展,完善城市人防工程系统,推动和促进成都市经济建设的发展具有重要意义。

成都地铁 1 号线一期工程初步设计,北起红花堰站北端,然后向西折向站北一路,向南下穿火车北站铁路站场后,沿人民北、中、南路及其南延线南下,出火车南站穿南延线与三环路立交桥进入南都西路,并沿南都西路,经三环路、新益州和孵化园站后,向东穿过外环高速公路折回入南延线,南止于新会展中心,线路全长 18.517km,全部为地下线,共设车站 16 座。车站结构型式结合周边环境条件和建筑型式,一般为地下两层结构或地下一层结构,以明挖

* 第一作者简介:易勇进(1975 -),男,工程师,主要从事工程地质工作,Email:tey_yyj@126.com

顺作法施工为主,局部跨路口区段由于交通疏解要求辅以盖挖法,配合基坑开挖,采用管井井点降水。区间隧道在城区外采用明挖法施工,管井井点降水;城区范围内(红花堰—桐梓林)采用盾构法施工。

本工程工程重要性等级为一级工程,场地复杂程度为二级场地(中等复杂场地),地基复杂程度为一级地基(复杂地基)。

2 区域地质特征

2.1 地形地貌与气象水文

成都市属亚热带湿润气候区,主要特点是:四季分明,气候温和,雨量充沛,夏无酷暑,冬少严寒。区内为岷江都江堰内江水系在平原区的尾水部分,地铁一号线由北向南依次穿过沙河、小沙河、府河、南河等4条河流。

地铁1号线一期工程位于川西平原岷江水系I、II级阶地上,为侵蚀~堆积地貌。区内地形平坦,总体上西高东低、北高南低,海拔高程490~520m,相对高差约17m。

2.2 地质构造

成都平原处于我国新华夏系第三沉降带之川西褶皱带的西南缘,界于龙门山隆褶带山前江油~灌县区域性断裂和龙泉山褶皱带之间,为一断陷盆地。该断陷盆地内,西部的大邑~彭县~什邡和东部的蒲江—新津—成都—广汉两条隐伏断裂将断陷盆地分为西部边缘构造带、中央凹陷和东部边缘构造带3部分,地铁一期工程线路位于东部边缘构造带。

2.3 地层岩性

段内均为第四系(Q)地层覆盖。其中,地表多为第四系全新统人工填土(Q_4^{ml})覆盖,其下为全新统冲积层(Q_4^{al})粘土、卵砾石土夹粉细砂;全新统地层以下分别为第四系上更新统冰水沉积、冲积层(Q_3^{gl+al})及中更新统冰水沉积、冲积层(Q_2^{gl+al})卵石土夹砂透镜体;下伏白垩系上统灌口组(K_2g)泥岩。

2.4 水文地质

2.4.1 地下水的分布特征及渗透性

区内地下水主要为第四系松散堆积砂砾卵石层孔隙潜水,白垩系灌口组泥岩风化裂隙水深埋于第四系堆积层之下,水量小,水质差。

第四系孔隙潜水基本赋存在全新统(Q_4)、上更新统(Q_3)和中更新统(Q_2)的砂、卵石土中,三层砂卵石层含水极其丰富,形成一个整体含水层,具水流交替循环强烈,水位恢复迅速之特点。含水层具西厚东薄、北厚南薄的特点,富水程度随含水层厚度的减薄而减小。成都地铁一期工程沿线第四系孔隙潜水含水层的厚度自北端的30余米逐渐减薄至南端的8m左右。卵石土综合含水层渗透系数 K 为15~25 $m \cdot d^{-1}$,为强透水系。地下车站主体结构和地下区间隧道基本位于该层砂、卵石土中,受该层地下水影响大。

2.4.2 地下水的补给、径流与排泄

充沛的降雨量,构成了地下水的主要补给源。另外农灌、沟渠也是其重要补给源,同时,区内地下水还接受NW方向的侧向径流补给。

成都地铁1号线一期工程处于岷江冰水流水堆积扇上,地表水自扇顶入渗地下,通过径流至扇前、扇间与下游河道又转化为地表水,这是平原内地表、地下水间的一种大的转化循环,这个大循环中,河道起主要排泄作用。本区内的沙河、小沙河、府河、南河为主要排泄通道。成都地区地下水总的流向为北西向南东。

3 地铁建设中面临的施工地质问题及对策

3.1 大粒径、高强度砾石对盾构施工的影响

3.1.1 大粒径砾石的分布特征

根据成都市区及地铁沿线勘察资料,在 Q_2 及 Q_4 地层中大于20cm的大粒径砾石含量较少,主要分布于 Q_3 地层中,含量一般在10%~15%,且局部富集成层,含量高达20%~30%,随机性强。在地铁沿线成都军区、螺马市、红照壁一带,大粒径砾石含量较高。据沿线精图大厦和九医院华帝大厦基坑开挖显示,大粒径砾石主要分布在6~10m及14m以下。粒径一般20~40cm,目前已知的全兴大厦二期基坑开挖揭示最大粒径达67cm,地铁工程勘察时揭示的最大粒径达55cm,地铁天府广场基坑施工时揭示的最大粒径达53cm(表1)。

3.1.2 大粒径砾石成分、强度

大粒径砾石成分主要为岩浆岩和变质岩类岩石,其中 Q_3 、 Q_4 地层中主要为弱风化,少量中等风化; Q_2 地层中为弱~中等风化,岩质坚硬,根据地铁勘察单轴极限抗压强度及点荷载试验资料显示,单

轴极限抗压强度达 53.6 ~ 107MPa(表 2、表 3)。

表 1 砾卵石颗粒级配统计表(个)

Table 1 Statistics table that the gravel gradation

地 层	样 本 数/组	漂石组		卵石组		砾石组	
		>100	80~100	40~80	20~40	10~20	2~10
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
Q ₄	9	5	20	81	288	375	未统计
Q ₃ ²	9	7	7	100	385	462	未统计
Q ₃ ¹	4	6	8	99	308	426	未统计

注:根据《成都市综合水文地质工程勘察报告》,每组样本重量为 50kg。

表 2 砾卵石成份统计表(%)

Table 2 Statistics table that the gravel composition

地 层	样 本 数/个	岩浆岩				变质岩			沉积岩		其 他
		花岗岩	闪长岩	辉绿岩	辉长岩	安山岩	石英岩	其他变质岩	砂岩	石灰岩	
Q ₄	10	34.2	9.0	8.0	1.8	0.6	28.5	10.0	1.8	0.6	5.5
Q ₃	4	43.2	4.5	3.0	0.4	1.0	35.7	8.8	2.1	0.3	0.1
Q ₂	4	40.2	5.4	12.2	7.1	1.0	19.9	6.9	6.3	0.4	0.6

注:根据《成都市综合水文地质工程勘察报告》,每组样本重量为 50kg。

舱内的弃土注入附加剂的方法改善土体的可排性和渗透性,防止地下水穿透密封舱和螺旋输送机的土壤,使其能够适宜在成都地区强透水性砂卵石土地层中使用。

表 3 砾卵石点荷载试验统计表

Table 3 The point load test statistics table of gravel

工 程 名 称	样 本 数	点荷载平均值	
		$I_p(50)/$ MPa	由 $I_p(50)/$ MPa 平均值计算抗 压强度 $R/$ MPa
人民北路—文武路区间	4	3.14~4.93	56.3~78.4
文武路—驷马市区间	2	2.93~7.57	53.6~107

注:根据成都地铁 1 号线人民北路~驷马市区间岩土工工程详勘资料。

同时,盾构在含大粒径、高强度砾石的卵石土夹透镜体砂层中掘进时,难以排除,或因被切削头带动而扰动地层,造成超挖和土体变形、下沉。宜在盾构推出始发井的初始阶段进行以土体变形、沉降为主的监测,以合理确定和调整盾构施工的参数。盾构掘进过程中,应严格控制开挖面的出土量和推进一环时的纠偏量,以减小盾构在土体中的摆动和对土体的扰动,防止超挖。

3.2 透镜体砂层对施工的影响及对策

3.1.3 大粒径、高强度砾石对盾构施工的影响及对策

成都地铁 1 号线全线隧道埋深浅,围岩多为含大粒径、高强度砾石的卵石土夹透镜体砂层,均匀性差,自稳能力差,透水性强,地下水十分丰富,盾构机选型必须满足处理大粒径、高强度砾石的能力,根据北京地铁 4 号线施工经验,宜采用土压平衡式盾构,此种盾构的特点是利用与密封舱相连的螺旋输送机排土,通过充填在密封舱内的弃土并调节螺旋输送机的排土量以平衡开挖面的水、土压力。但由于成都地区砂卵石土的渗透性好,因此,需要通过密封

3.2.1 透镜体砂层的分布特征

成都地区的砂土一般埋藏于粘性土层之下或呈透镜状夹于卵石层中,厚度一般在 1~3m,以 fines 砂为主,多为松散~中密,大部分处于地下水位以下,呈饱和状态。

3.2.2 透镜体砂层对明挖法施工的影响及对策

成都地铁 1 号线各车站及城外段区间隧道均采用明挖法施工,管井井点降水。由于透镜状砂土大多处于饱水状态,以 fines 砂为主,降低地下水位后,在基础附近形成大的水力坡度,当水力坡度大于临界水力坡度时,在渗透压力作用下将细粒土带走,容易产生潜蚀和管涌,使粗粒土颗粒重新排列压缩而引起地面变形。

基坑降水形成潜蚀和管涌作用不仅取决于水力坡度的大小,同时也受土体颗粒级配条件的限制,因此,只要降水井施工时注意确定井管缠丝间距、井管周围的填砾厚度、填砾滤料的级配,控制细颗粒物大量流失,防止潜蚀或管涌的产生是可能的。

3.2.3 透镜体砂层对盾构法施工的影响及对策

透镜体砂层在饱水状态下,自稳能力差,透水性强,盾构施工时,开挖面容易产生涌水,造成细颗粒物大量流失,引起开挖面失稳和地面下沉。

盾构施工时可以采用预注浆加固处理措施,封闭地下水、加固开挖面地层稳定性。另外,可以借鉴北京地铁5号线盾构施工经验,在停机前半环至1环时,向开挖面注入膨润土浆液,提高掘进时的土压,使膨润土浆液较深的渗入土体中,在开挖面形成一层较厚的优质泥皮,亦能达到封堵地下水、加固开挖面地层稳定性的目的。

4 地铁建设中面临的环境地质问题及对策

4.1 地铁建设施工时引起地面沉降、变形

成都地铁1号线所有车站和城区外本区间隧道均拟采用管井降水、明挖法施工;城区内区间隧道采用盾构法施工。明挖法施工时降水使地下水位大幅降低以及抽排地下水时产生的砂潜蚀均可能引起地面和周边建筑物沉降、变形;盾构法施工时对土体的扰动、盾构掘进时压力过大、过小、开挖面失稳、涌水以及注浆不足等亦可能引起地面和周边建筑物沉降、变形。

对于降水施工可能引起的地面沉降、变形,可以通过施工前对周围环境状况的详尽调查,有针对性的选择恰当的开挖支护方案和降水措施、设备等,合理布设管井过滤层,严格控制降水井出砂量,加以预防。施工时可以采取地层注浆的方法,加固地层,防止砂潜蚀。同时,可以对周边重要建筑物本身进行加固,使其结构刚度加强,以适应地基土变形引起的建筑物变形。

对于盾构施工可能引起的地面沉降、变形,可以通过对施工参数的优化,采用合理的施工工艺和施工组织,从源头加以控制。施工时可以采取在盾构隧道和建筑物之间设置隔断工程、对建筑物和土体实施预加固处理等合理的工程措施对周边建筑物进行保护。

同时,应加强施工前、施工中、施工后对地下水位、土体变形、建筑物变形的监测工作。

4.2 工程建成后对地下水径流的影响

由于成都地铁一期工程沿线车站、区间隧道主体结构均位于含有丰富地下水的第四系全新统和更新统砂、卵石层中,工程建成后,将形成一座长大的地下防水、阻水建筑物,犹如一座长大的地下“潜坝”,同时,由于隧道走向与地下水流向大多正交或大角度相交,地铁工程建成后,使地下水的过水断面减小,对地下水的径流会产生较强的阻碍,在其西

侧、北侧可能产生地下水水位壅高,对周边防水性能较差的地下室或地下停车场的正常使用会有一定影响,同时会因地基土随含水量增加而物理力学性能降低,对其安全性有一定影响(表4)。

表4 成都地铁1号线隧道走向与地下水流向的关系
Table 4 The relation that the tunnel alignment and groundwaters flow that the No. 1 line of Chengdu metro

序号	段落	隧道走向	地下水流向	走向与流向的夹角
1	红花堰	EW	S15°W	75°
2	火车北站—万福桥	S4°W	S28°E	32°
3	万福桥—驷马市	S30°W	S60°E	90°
4	驷马市—小天竺	NS	S8°E	8°
5	小天竺—南三环	NS	E	90°
6	南三环—新会展中心	NS	S38°E	38°

随着环境条件改变,地下水渗流场自身会作相应调整,比如通过车站壅水向区间隧道顶部渗流和局部向河谷排泄等方式,可以使地铁工程建成后不会产生大范围、较大的壅水现象。同时,对采用明挖法施工修建的车站和区间隧道可以采用在其顶部回填砂卵石,人为增加地下水过水断面的办法,防止大范围、较大壅水的产生。

5 结语

综上所述,在成都地区砂、卵石土地层中修建地铁,会遇到诸多困难和问题,但在充分借鉴和总结国内外相关工程修建,尤其是北京地铁5号线修建的经验基础上,通过选用合理的施工方法、施工设备、施工工艺、施工组织以及采取合理的工程措施,均能得到圆满的解决或控制。有理由相信成都地铁1号线工程能够取得圆满成功,并能够总结出一套在砂、卵石地层中修建地铁工程的较为完整的施工技术和施工经验。

参 考 文 献

- [1] 四川省地质工程勘察院,成都理工大学,成都市工程咨询公司.成都市地铁一期工程沿线水文、工程、环境地质条件,主要问题及对策专题研究报告[R],2000.
- [2] 铁道第二勘察设计院,四川省地质工程勘察院.成都地铁1号线岩土工程勘察报告[R].
- [3] 王良.盾构法施工在北京地铁5号线的应用[J].都市轨道交通,2004,17(5):33~37.
- [4] 王占生,王梦恕.盾构施工对周围建筑物的安全影响及处理措施[J].中国安全科学学报,2002,12(2):45~49.