

DOI: 10.11779/CJGE2017S2033

某地铁区间盾构法施工隧道事故实例与分析

郑刚^{1,2}, 崔涛^{1,2}, 程雪松^{*1,2}, 孙基斌^{1,2}, 葛隆博^{1,2}

(1. 天津大学滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072; 2. 天津大学土木工程系, 天津 300072)

摘要: 某地铁区间在施工过程中发生漏水事故, 致使区间右线隧道被淹、管片破损。对事故的工程概况、事故发生经过及抢险措施进行了介绍, 并详细分析了漏水事故后地表沉降监测数据、管片变形监测数据。盾构掘进过程中, 盾构机的纠偏要缓慢进行, 避免对已施工管片造成损害。

关键词: 盾构隧道; 漏水漏砂; 工程事故; 监测

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2017)S2-0132-04

作者简介: 郑刚(1967-), 男, 贵州人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事土力学及岩土工程的教学与科研工作。

E-mail: zhenggang1967@163.com。

Introduction and analysis of an accident in a shield tunnel

ZHENG Gang^{1,2}, CUI Tao^{1,2}, CHENG Xue-song^{1,2}, SUN Ji-bin^{1,2}, GE Long-bo^{1,2}

(1. MOE Key Laboratory of Coast Civil Structure Safety, Tianjin 300072, China; 2. Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The right line tunnel is leaked and the segments are damaged due to an accident happening to TBM tunneling on running section in a city. The general situations of the project, the accident process and the emergency measures are introduced. Besides, the monitoring data of surface subsidence and segment deformation are analyzed. The correction measures should be carried out slowly to avoid damage to the completed segments.

Key words: shield tunnel; leakage; engineering accident; monitoring

0 引言

随着中国城市化进程的快速发展, 城市交通压力与日俱增, 城市地下轨道交通得到了快速发展^[1-2]。在大连、天津、上海等软土地区的地铁多采用盾构法施工, 由于软土地区地层复杂、地下水位高, 在盾构施工过程中极易引发严重的工程事故^[3-6]。本文将详细介绍某地铁区间盾构法施工隧道事故的发生过程, 分析事故发生后地表沉降规律及隧道管片变形情况, 以期从中吸取经验教训, 避免类似工程事故的发生。

1 工程概况

某地铁区间左线全长 892.712 m, 右线全长 891.509 m。盾构区间线间距约为 15 m, 盾构区间纵断面采用“V”字坡, 最大纵坡坡度为 2‰, 区间隧道顶部覆土深度为 8~17 m, 自 A 站始发至 B 站接收, 如图 1 所示。

区间隧道穿越地层范围内自上而下分别为⑥₄ 粉质黏土、⑦粉质黏土、⑧₁ 粉质黏土; 盾构区间主要处于⑦、⑧₁ 粉质黏土层, 夹⑧₂ 砂质粉土(透镜体)。

各土层物理力学参数如表 1 所示。

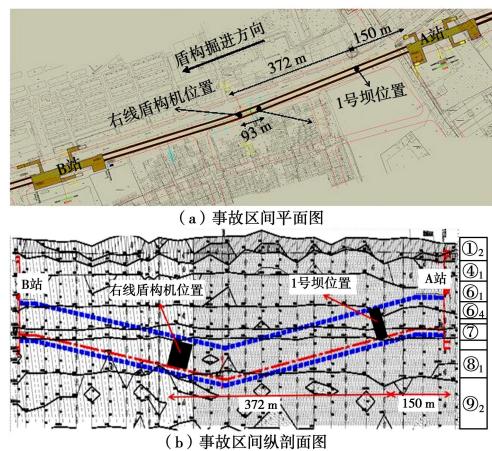


图 1 A-B 区间平剖面图

Fig. 1 Horizontal plan and sectional drawing

区间透水事故发生前, 右线盾构机已掘进至 522 m(第 344 环); 左线盾构机已掘进至 429 m。区间透

基金项目: 国家自然科学基金项目(41630641, 51508382); 国家重点研发计划(2016YFC0802008)

收稿日期: 2017-08-02

*通讯作者(E-mail: cheng_xuesong@163.com)

水后, 距 A 站端 150 m 处施工砼堤坝一座(1号坝)。

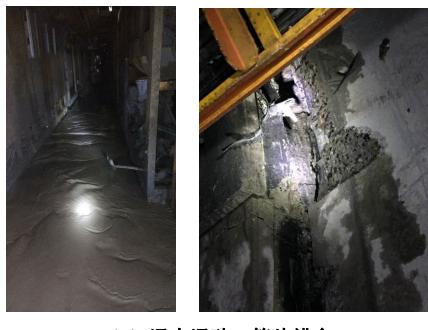
表 1 土体物理力学参数

Table 1 Parameters of soils

地层 编号	岩性	含水 率/%	γ $/(kN \cdot m^3)$	e	E_{s1-2} /MPa	固结快剪	
						c /kPa	$\phi/(^\circ)$
① ₂	素填土	32.44	18.73	0.93	3.60	10.71	12.97
④ ₁	粉质黏土	26.25	19.65	0.74	5.40	15.28	18.61
⑥ ₁	粉质黏土	30.47	19.11	0.86	5.23	13.16	18.46
⑥ ₄	粉质黏土	32.04	18.88	0.90	5.02	14.91	17.52
⑦	粉质黏土	25.17	19.87	0.71	5.11	14.57	16.93
⑧ ₁	粉质黏土	24.50	19.99	0.69	5.41	15.58	16.37
⑨ ₂	砂质粉土	21.46	20.16	0.62	14.24	6.00	29.21

2 事故发生过程与抢险措施

2015 年 3 月 29 日 22:30 左右, 在 A—B 区间右线掘进至第 345 环时, 施工人员发现在第 343 环与第 344 环环缝 5 点钟位置出现了漏水现象, 该处盾构覆土深度为 15.5 m, 位于⑧₁ 层粉质黏土, 局部处于⑧₂ 层砂质粉土层。刚开始肉眼观测漏水点漏出的是同步注浆的浆液, 随后逐步带有泥砂。施工方立即采用海绵、棉被进行封堵, 在第 340 环位置注双液浆, 并布置加强地面变形监测, 同时对地面可能影响位置进行了封闭围挡。因当时水压较大, 30 min 左右未见效果, 接着在第 338、第 339 环处管片整环约 2 点位置出现了较大错台, 在 20~30 cm 左右。随后环缝螺栓发生断裂, 透水险情进一步发展成涌水、涌砂, 险情进一步扩大, 如图 2 所示。



(a) 涌水涌砂、管片错台



(b) 地表大面积沉降

图 2 A—B 区间涌水涌砂事故

Fig. 2 Leakage accident in section A—B

2.1 应急救援情况

应急指挥小组制定了隧道内水泥压填渗水点、地面引孔注浆的抢险方案。凌晨 1:30 左右, 地面第一台钻机就位, 并开始进行引孔注浆。

30 日 2:30, 由于水量过大, 盾构隧道内电瓶车已不能到达盾构机盾尾处, 抢险物资由人工搬运至台车前方渗水处, 采用袋装水泥压填渗水点。

30 日 6:30, 由于水量过大, 台车前方管片出现下沉碎裂情况, 抢险人员已无法进入隧道内抢险, 应急指挥小组决定将抢险人员撤出, 在第 250 环处设置水泥袋围堰堵水, 在第 100 环处设置混凝土封闭墙。

30 日 9:30 左右, 地面注浆机达到 10 台, 后续进场 18 台注浆机, 在盾构机外围 2 m 处, 共布设 57 个注浆孔, 孔深在 25~28 m 之间, 截至 4 月 2 日 14:00, 共注双液浆 2660 m³。

30 日 15:00, 洞内第 250 环水泥围堰堆筑完成, 围堰后方水位上升得到控制, 18:00 开始进行地泵泵管安装、架体搭设、模板安装; 31 日 19:00 正式浇筑封闭墙混凝土, 4 月 1 日 4:10, 143 m³ 混凝土封闭墙浇筑完毕, 19:00 左右分别在 2 点钟位置和正中心位置开始向隧道内注水。

2.2 地表沉降监测

此次应急处置中, 沿隧道左右线及隧道横断面布设了 21 个监测点, 如图 3 所示。于 3 月 29 日晚 22:45 开始进行监测, 监测频率 30 min/次。

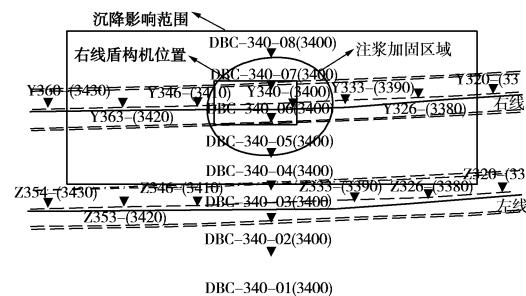


图 3 地面监测点位布设

Fig. 3 Layout of monitoring points of ground

图 4 所示为地表监测点累计沉降量随时间的变化曲线。可以看出, 采取注浆措施后, 地表沉降得到遏制, 随后有隆起趋势, 后期达到稳定。截止至 31 日 11:00, 地面监测点 DBC-340-5、DBC-340-6、DBC-340-7 地表沉降数据已经逐步趋于稳定, 最大沉降量在 DBC-340-6 号点为 -57.38 cm。

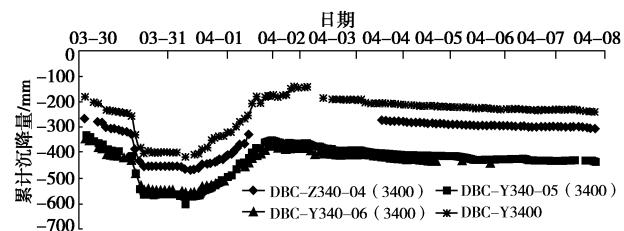


图 4 地表沉降监测点时程曲线

Fig. 4 Time-history curves of monitoring points of surface subsidence

图5所示为隧道横断面沉降曲线，盾构机位置处地表沉降最大，两侧沉降逐渐减小。从3月30日—31日，地表沉降的增加量最大，随着注浆量的增加，地表隆起，后期沉降值基本稳定。

图6所示为右线隧道纵断面地表沉降曲线，监测点Y-3390位置处的沉降值最大，该位置处于隧道盾尾位置，最大沉降量为-28.81 cm。

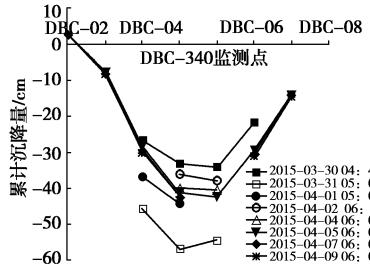


图5 地表横断面沉降曲线

Fig. 5 Curves of cross-sectional subsidence

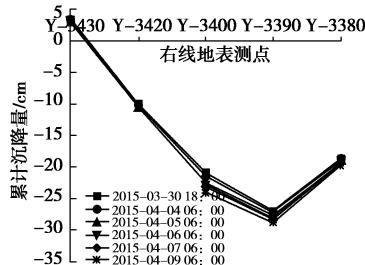


图6 地表纵断面沉降曲线

Fig. 6 Curves of longitudinal profile subsidence

3 事故后区间管片探查

漏水事故抢险完成后，需要对右线漏水段隧道进行修复。拟采用明挖法修复破损的管片，修复之前需首先对区间管片进行探查，进而确定明挖修复段的长度。

区间右线共布设了15个断面，其中盾构机范围布置两个断面，已施工盾构区间布置13个断面，如图7(a)所示。每个断面布置5个探测点，其中管片中心正上方布置一个（编号测点3），测点3两侧各1 m布置测点2和测点4，测点2左侧1.2 m布置测点1，测点4右侧1.2 m布置测点5，如图7(b)所示。盾构隧道管片探测中心线依据施工单位提供的隧道管片拼装轴线。

探测范围分布有三根电信管线，管线采用拉管施工，管线埋深约2~3 m。受电信管线影响断面7和断面8各有一个测点没有布设。整个探测范围共布置15个断面，共73个探测点。

探孔前首先根据坐标现场放点，并量测点位标高，如图8(a)所示，从现状地面标高显示，盾构机至第

326环约18环管片对应的地表沉降较大。

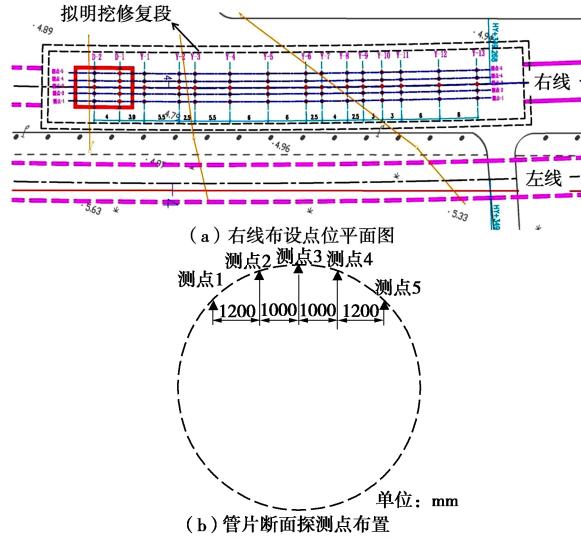


图7 管片监测点位布设

Fig. 7 Layout of monitoring points of segments

地面标高测量完成后，安装孔口管，先使用Φ110 mm钻头钻孔，钻头钻至管片后提出钻头，采用Φ42 mm钻杆测量孔深。钻机移除后，复测钻孔坐标和地面高程。

图8(b)所示为管片顶部3号测点的纵向变化曲线，可以看出，盾构机前盾位置较设计标高沉降了751 mm，盾尾处沉降了1026 mm。已施工隧道管片沉降最大位置发生在第338环和第339环，最大沉降量为1262 mm。图9所示为管片横断面探查结果，盾构机整体下沉，盾尾处最大沉降量为1026 mm。管片破损范围集中在Y1~Y6断面(第343~326环，共18环)。第338环和第339环破损最为严重。

探测断面Y6~Y13(第326~308环，共19环)虽较施工单位提供管片实测数据沉降约120 mm(较设计值沉降约250 mm)，但管片顶高程趋势合理。

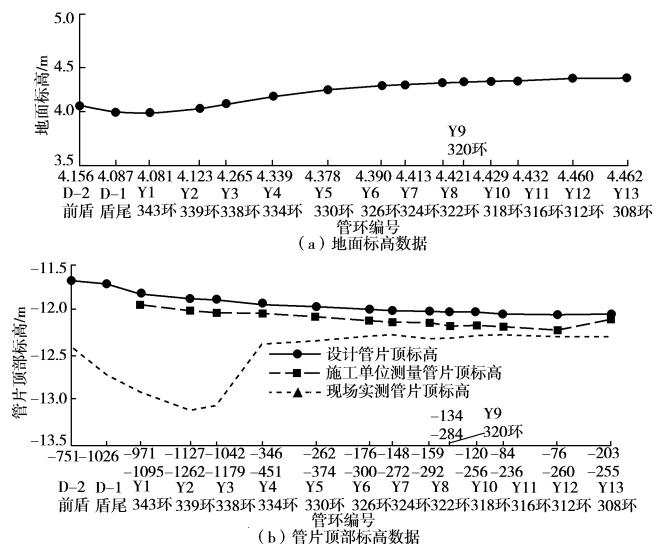


图8 管片顶部标高探查结果

Fig. 8 Prospected results at top of segments

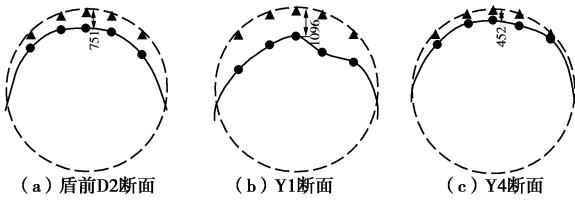


图 9 管片横断面探查结果

Fig. 9 Prospected results of cross-section segments

4 事故发生原因分析

根据调查, 在 A—B 区间右线盾构漏水事件前, 在 3 月 23 日—24 日期间, 盾构掘进到第 311 环左右时, 因盾构机出现了机械故障, 停止施工 2 d。在 3 月 25 日盾构机排除故障后, 于凌晨 0:10 恢复掘进, 恢复掘进后, 发现盾构机姿态垂直偏差过大, 盾构机故障前与复推后姿态垂直偏差前后相差约为 -120 mm (盾前 -102 mm、盾中 -136 mm、盾尾 -178 mm), 并于 3 月 27 日建设单位组织召开了关于盾构机姿态偏差过大的处理措施会议, 进行纠偏。

(1) 直接原因

a) 盾构机在进行纠偏过程中, 强制纠偏, 导致管片角部应力集中, 出现破裂。同时, 施工班组未能及时发现管片碎裂问题, 形成涌水、涌砂。

b) 现场发生漏水险情后, 现场值班人员应急处置不当, 导致透水险情进一步扩大。

(2) 间接原因

a) 盾构正处于平曲线和竖曲线重叠段, 盾构姿态控制难度较大, 容易造成盾构轴线偏离超标。

b) 事发地段, 埋深较大, 隧道底部处于含水量较大、透水性强的砂质粉土透镜体, 易在管片破损处出现透水事故。

5 结语

地铁隧道工程建设于建筑物林立、管道密集的城市环境中, 一旦出现事故, 其对周围环境的影响将是灾难性的。同时, 由于地铁隧道工程属于隐蔽性工程, 其修复工作也将异常艰难。

由于各种原因, 盾构施工造成严重影响环境的事故仍时有发生。因此, 在盾构掘进过程中要建立风险管理制度, 针对不同的工程特点, 进行更细致的风险分析、评估并提出相应的风险对策, 为盾构顺利掘进

奠定良好的基础, 以避免事故的发生。

参考文献:

- [1] 黄润秋, 戚国庆. 地铁隧道盾构法施工对环境的影响研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 23(增刊 1): 2464 - 2468. (HUANG Run-qiu, QI Guo-qing. Study on the influence of subway by shield tunneling on environment[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 23(S1): 2464 - 2468. (in Chinese))
- [2] 傅德明, 周文波. 土压盾构技术在我国地铁隧道工程中的应用和发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(增刊 2): 4888 - 4892. (FU De-ming, ZHOU Wen-bo. Application and development of EPB shield tunneling in metro tunnel projects in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(S2): 4888 - 4892. (in Chinese))
- [3] 方江华, 张志红, 张景钰. 人工冻结法在上海轨道交通四号线修复工程中的应用[J]. 土木工程学报, 2009, 42(8): 124 - 128. (FANG Jiang-hua, ZHANG Zhi-hong, ZHANG Jing-yu. Application of artificial freezing to recovering a collapsed tunnel in Shanghai metro No.4 line[J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(8): 124 - 128. (in Chinese))
- [4] 白 云. 国内外重大地下工程事故与修复技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (BAI Yun. Major accidents in underground engineering and repair technology at home and abroad[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2012. (in Chinese))
- [5] 陆 明, 秦 瀛, 朱祖熹. 上海轨道交通 9 号线盾构区间隧道抢险修复工程介绍[J]. 中国建筑防水, 2007, 27(4): 27 - 30. (LU Ming, QIN Hao, ZHU Zu-xi. Introduction of shield tunnel emergency repair of Shanghai rail rapid transit No.9 line[J]. China Building Waterproofing, 2007, 27(4): 27 - 30. (in Chinese))
- [6] 肖晓春, 袁金荣, 朱雁飞. 新加坡地铁环线 C824 标段失事原因分析(一)——工程总体情况及事故发生过程[J]. 现代隧道技术, 2009, 46(5): 66 - 72. (XIAO Xiao-chun, YUAN Jin-rong, ZHU Yan-fei. Causation analysis of the collapse on Singapore MRT circle line lot C824 (Part I)——Project background and process of collapse [J]. Modern Tunneling Technology, 2009, 46(5): 66 - 72. (in Chinese))

(本文责编 胡海霞)