

地铁盾构始发对周边建筑物、地表影响监测数据分析

张成

上海京海工程技术有限公司, 上海 200120

[摘要] 本篇文章以江苏省南通市地铁 2 号线一期工程体育公园站~易家桥站盾构区间为题材, 主要介绍了区间盾构左右线始发即下穿、侧穿建筑物对该建筑物及周边地表的影响情况, 通过左右线始发下穿、侧穿完成后对周边建筑物及地表影响情况的监测数据分析, 以供后期类似地铁区间隧道工程的始发推进施工作为参考。

[关键词] 地铁盾构; 施工监测; 建筑物沉降; 地表沉降; 监测数据分析

DOI: 10.33142/sca.v7i4.11983

中图分类号: U455.43

文献标识码: A

Analysis of Monitoring Data on the Impact of Subway Shield Tunneling on Surrounding Buildings and Surface

ZHANG Cheng

Shanghai Jing Hai Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: This article takes the shield tunneling section from Sports Park Station to Yijiaqiao Station of the first phase of the Nantong Metro Line 2 project in Jiangsu Province as the theme, mainly introducing the impact of the shield tunneling starting from the left and right lines and passing through buildings on the building and surrounding ground. Through the monitoring data analysis of the impact of the left and right lines starting from the bottom and passing through the side on the surrounding buildings and ground after completion, it provides a reference for the construction of similar subway tunnel projects in the later stage.

Keywords: subway shield tunneling; construction monitoring; building settlement; surface subsidence; monitoring data analysis

引言

近年来,随着国民经济不断增长,大多家庭都购置汽车作为出行交通工具,近而导致城市路面交通堵塞,环境污染严重,因而很多城市将发展地下轨道交通作为缓解地面交通压力,增加老百姓出行便利的新目标,新方向,也作为现代化城市的新名片,随着城市轨道交通建设进展突飞猛进,很多二三线城市也开始轨道交通建设,不仅在轨道交通里程方面越建越长,隧道直径越来越大,在地铁隧道深度方面也越来越深,因而地铁施工造成的事故在近年来也愈发频繁,而且地铁隧道设计走向一般选址在客流量大,地段繁华的市中心地段,施工环境较为复杂,相应线路总会涉及下穿及侧穿建筑物情况,对周边建筑物、地面沉降影响较大,而且不同区域的地质水文条件差异较大,盾构推进各项参数也各不相同,稍有不慎,将会造成极其恶劣的社会影响以及巨大的经济损失;而盾构始发、接收、下穿风险最大,所以在盾构始发及接收端对周边环境测点加密布设,对施工影响范围内的周边环境实施全方位的监测并及时对监测数据进行分析,盾构的始发尤为重要,通过始发推进对周边环境影响的程度大小,收集数据,调整推进参数,为后续推进提供宝贵数据支撑,技术指导,通过监测数据、巡视情况,对盾构施工过程中可能发生的风险及时发出提前预警信

息。因此,盾构推进监测工作是区间隧道施工过程中必不可少的重要环节。

1 工程概况

体育公园站~易家桥站区间隧道出体育公园站后下穿中国体育博物馆南通馆。本区间左线起终点里程为DK09+580.995~DK10+591.256,含短链15.689m,左线长994.572m;右线起终点里程为DK09+581.768~DK10+591.256,右线长1009.488m。隧道顶埋深约11.33~20.553m,始发端埋深17.245米。始发端体育公园站端头加固为三轴搅拌桩+垂直冷冻,地连墙厚度为1.2m。隧道穿越了③2粉砂、③2t含黏性土粉砂、③4粉砂、④1粉质粘土、④1t黏质粉土夹粉质粘土。结合本区间隧道自身风险等级和周边环境等级以及设计规范要求,盾构始发接收段、侧穿或下穿一、二级风险源地段监测等级为一级。设置的监测项目有周边管线沉降、周边建筑物沉降、地表沉降、隧道结构拱顶(底)沉降监测、隧道结构收敛监测项目。本文主要介绍盾构始发端头推进过程中地表及建筑物的监测数据分析。

2 始发端头情况

盾构左线始发区域10环位置下穿建筑物,右线侧穿最近距离为11.7m,该建筑物为混2钢筋混凝土框架结构,管桩基础,桩长约8m,桩底高程-4.75m,区间隧道距离

建筑物桩基最小竖向距离约 8.251m。

始发端头地面为体育博物馆电影院停车场。

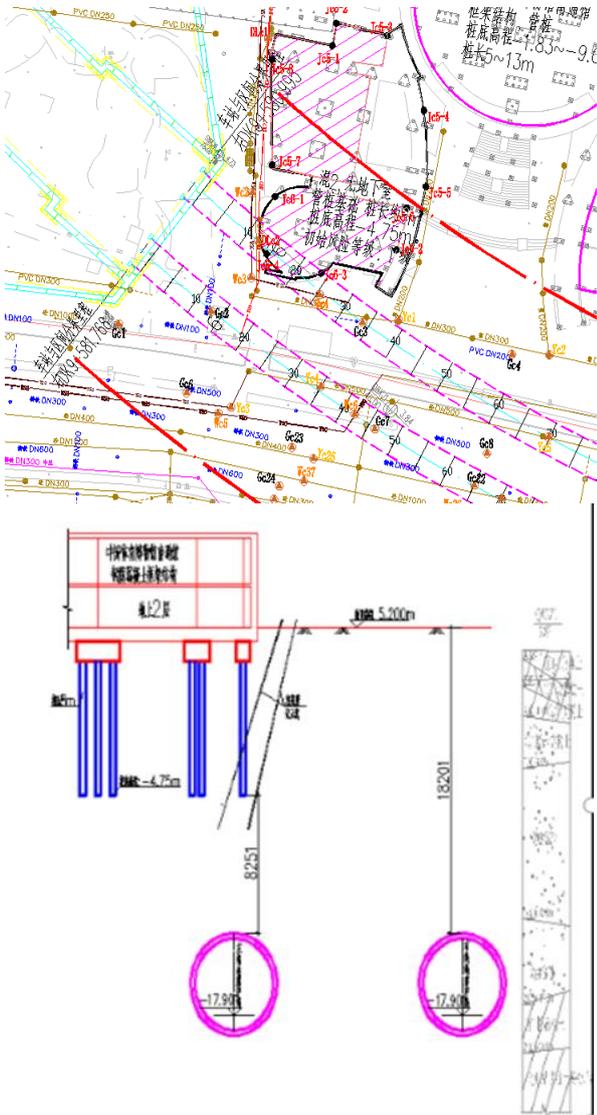


图1 始发端头隧道平面、立面位置关系图

3 测点布置要求及监测方法

(1) 建筑物沉降测点布置方法

①建（构）筑物四角、在外墙或承重柱上布点。间距 10m~15m。

- ②不同地基或基础的分界处。
- ③建（构）筑物不同结构的分界处。
- ④变形缝、抗震缝或严重开裂处的两侧。
- ⑤新、旧建筑物或高、低建筑物交接处的两侧。
- ⑥监测点宜布置于通视良好，不易遭受破坏之处。
- ⑦多边形的建筑物宜沿纵横轴线对称布置。

建筑物沉降监测测点用电锤在建筑物外侧墙体上立柱上打洞，植筋胶填充，确保测点布设在建构筑物主体结构上。



图2 建筑物监测点布置照片

(2) 地表沉降测点布置方法

①盾构进洞段地面监测点，根据设计图纸要求，盾构始发的 50 环范围内，每 5m 布设一横向监测断面，具体测点间距要求见图 01。

②在距始发井大于 50 环且小于 100 环范围内，每 10 环布设监测横断面，每 5 环隧道中心线上布设一点。

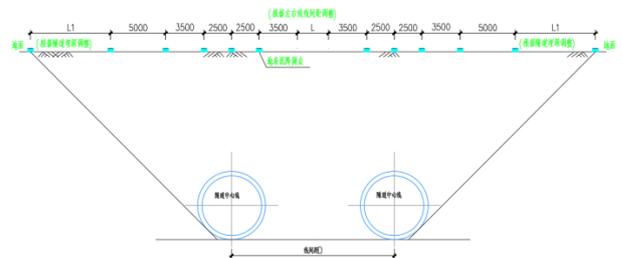


图3 测点布置与隧道位置关系示意图

③地表沉降点埋设

在地面深层沉降监测点布设时穿透路面结构硬壳层，

沉降标杆采用 $\Phi 25$ 螺纹钢标杆，螺纹钢标杆深入原状土 60cm 以上，沉降标杆外侧采用内径 10cm 的金属套管保护。保护套管内的螺纹钢标杆间隙用黄砂回填。金属套管顶部设置管盖，管盖安装须稳固，与原地面齐平；为确保测量精度，螺纹钢标杆顶部在管盖下 20cm。深层监测点埋设结构如图所示。



图 4 地表监测点现场布设照片

(2) 监测方法

沉降监测：沉降监测按照国家二等水准测量精度要求施测，监测采用每公里往返测高程精度为 0.3mm 的 Leica LS15 数字水准仪进行测量，测量过程严格执行国家二等水准测量要求。通过高程基准点、工作基点间联测一条闭合或附合水准线路，由工作基点来测量各监测点的高程。各监测点高程初始值在施工前测定，经验收后使用。监测点本次高程减上次高程的差值为本次沉降量，本次高程减初始高程的差值为累计沉降量。每次测量时直接用基准点或工作基点作单点引测。根据监测点累计值之差进行纵横断面差异沉降分析，结合相关标准，判断建筑物的倾斜和结构裂缝可能出现的情况。

4 监测数据分析

本项目采用徕卡 LS15 水准仪进行现场外业监测数据采集，现场建筑物平面布置如下图所示：



图 5 建筑物监测点平面布置图

4.1 右线侧穿该建筑物沉降变形情况

表 1 侧穿期间建筑物沉降累计量汇总（单位：mm）

点号	洞门凿除施工			推进 1 环~10 环（加固区内）		侧穿中 5 环~35 环		侧穿脱离后 推进至 57 环	
	1/15	1/18	1/20	1/23	1/25	1/26	1/30	1/31	2/1
Jc6-1	-1.15	-1.51	-1.78	-1.40	-1.98	-1.87	-1.48	-1.72	-1.70
Jc6-2	0.44	0.53	0.71	0.84	0.67	0.79	0.15	0.44	0.41
Jc6-3	0.94	1.40	2.34	1.64	1.44	1.24	0.14	-0.22	-0.09
Jc6-4	-1.15	-0.77	-0.34	-1.38	-1.61	-1.80	-2.38	-2.28	-2.17
Jc5-1	0.58	0.94	1.02	1.63	1.39	1.22	-0.07	-0.34	-0.19
Jc5-2	0.83	1.09	1.20	1.33	1.25	1.33	0.14	-0.11	0.19
Jc5-3	-0.33	0.92	1.19	1.37	1.02	1.26	-0.15	-0.36	-0.25
Jc5-4	0.79	0.91	0.91	1.10	1.17	1.34	0.14	-0.10	0.07
Jc5-5	0.84	1.06	1.33	1.45	0.93	0.57	0.33	0.00	0.08
Jc5-6	1.00	1.00	1.55	1.35	1.26	1.43	0.75	0.47	0.41
Jc5-7	0.40	0.33	0.72	1.41	1.17	0.89	-0.88	-0.87	-1.06
Jc5-8	0.61	0.74	1.25	2.04	1.64	1.41	-0.52	-1.11	-0.85



图 6 右线推进期间建筑物沉降曲线图

表 1 是右线盾构机从始发洞门凿除至脱离该建筑物期间累计变化量，该建筑物距离右线外边线最近距离为 11.7m，距离最近建筑物测点为 Jc6-4，在洞门凿除开始该测点累计沉降量为 -1.15mm，出加固区后该测点累计沉降为 -1.61mm，侧穿后为 -2.38mm，推进至 57 环完全脱离该建筑物后为 -2.17mm，右线推进期间该建筑物沉降速率稳定，房屋整体差异沉降较小，房屋结构未发现新增裂缝。

表 2 下穿期间建筑物沉降累计量汇总 (单位: mm)

下穿博物馆	洞门凿除施工		推进 1 环~10 环 (加固区内)		下穿脱离后 推进至 54 环	侧穿三院原 门诊楼	侧穿莱茵豪 家庭	进入接收站 端头井	隧道贯通后期沉降	
	2021/3/8	2021/3/12	2021/3/15	2021/3/18					2021/3/23	2021/3/27
Jc6-1	-3.33	-3.43	-3.52	-2.97	-2.61	-3.49	-3.79	-4.88	-5.9	-7.94
Jc6-2	-2.75	-1.82	-0.52	-0.22	0.43	-0.69	-1.39	-2.39	-3.62	-6.08
Jc6-3	-0.86	-1.18	-1.43	-1.54	-1.7	-3.08	-3.26	-3.82	-4.18	-3.06
Jc6-4	-2.50	-2.15	-2.40	-4.59	-6.46	-7.5	-8.34	-9.19	-10.03	-10.62
Jc5-1	-1.35	-1.35	-0.60	-0.69	-0.44	-1.9	-2.7	-3.08	-4.14	-5.75
Jc5-2	-2.04	-1.62	-1.24	-0.62	0.4	-0.26	0.39	-0.65	-0.21	-1.1
Jc5-3	-1.01	-1.09	-0.51	-0.76	-0.08	-0.8	-1.05	-0.53	0.31	-1.42
Jc5-4	1.01	-0.21	0.02	0.02	0.94	-0.3	-0.33	-0.45	-1.23	-1.86
Jc5-5	0.15	-0.32	0.16	0.46	1.48	0.35	0.53	-0.32	0.2	-0.09
Jc5-6	-1.77	-0.33	0.80	0.79	1.54	-0.34	-1.11	-0.97	-0.43	-0.2
Jc5-7	-1.57	-3.44	-2.20	-1.52	-1.91	-2.87	-2.56	-2.86	-3.32	-3.53
Jc5-8	-0.33	-2.90	-1.50	-1.33	-1.37	-1.69	-1.65	-1.3	-0.74	-1.21

4.2 左线下穿该建筑物沉降变形情况

表 2 是左线盾构机从始发洞门凿除至脱离该建筑物期间累计变化量,该建筑物处于盾构轴线 10 环~25 环正上方,下穿期间该建筑物整体趋于下沉,变化最为敏感点为 Jc6-4,在洞门凿除开始该测点为-2.50mm,从下穿到盾构机完全脱离该建筑物后该测点累计沉降为-6.46mm,当盾构机推进至易家桥站接收端头该建筑物为-9.19mm,建筑物最大差异沉降为-7mm,后续隧道贯通后该建筑物沉降速率稳定,房屋结构未发现新增裂缝。

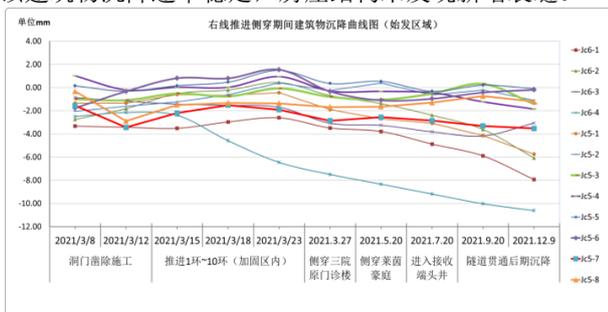


图 7 左线推进期间建筑物沉降曲线图

4.3 右线始发端头地表沉降情况

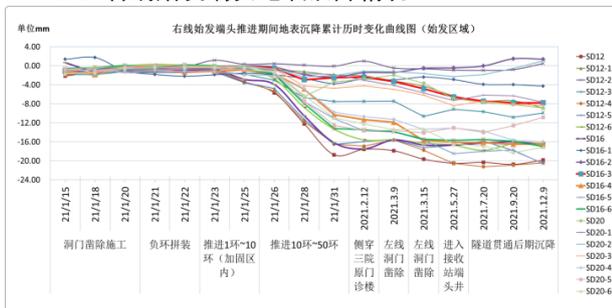


图 8 右线推进期间始发端头地表沉降曲线图

本区间右线盾构机于 2021 年 1 月 23 日开始始发,始发区域 50 环内每 4.8m 设置一个监测断面,共 12 个加密断面 (钻孔),从图 08 可以看出,从洞门凿除到加固区内推进期间,地表测点整体变化速率平缓,出加固区后地表沉降监测点明显处于下沉趋势,至 2021 年 1 月 28 日发生地表沉降监测点速率橙色预警,最大日变量轴线 SD16 达到-4.13mm, (预警值为 2.4mm) 累计沉降量到-10.53mm,预警后及时调整各项施工参数,及时注浆,有效控制到地表下沉趋势,后期该区域地表沉降监测点到右线隧道贯通后,累计沉降最大为 SD12-5 达到-20.52mm,未达到累计预警值 (+8~-24) mm,后期变化速率稳定,周边巡视无异常。

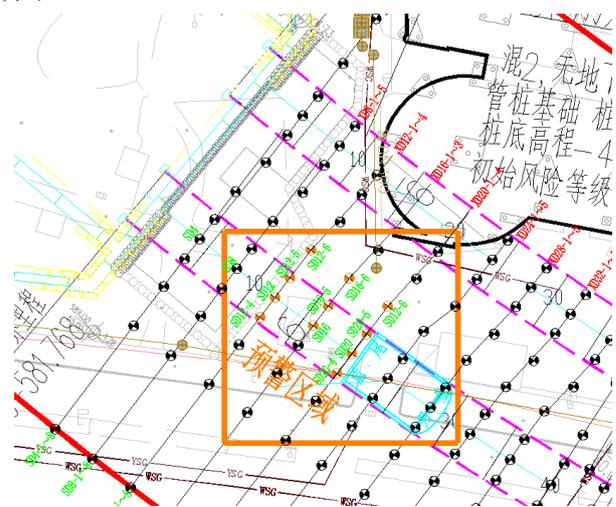


图 9 预警点平面布置示意图

(1) 原因分析

在发布预警通知后,项目部及时组织召开预警分析会,

通过安全巡视并结合现场施工工况,分析认为造成地表沉降达到橙色预警的主要原因为:

区间右线22环已拼装完成,注浆量经统计共118方,平均注浆量5.36方/环,加固体内注浆量大于平均用量,预警部位为12环到20环位置,由于洞门封环注浆导致折页压板及帘布稍变形,12至20环掘进过程中降低同步注浆量(5方/环),且由于盾构机皮带及台车改造,盾构机处于停机状态,导致对应区域地表沉降超过速率控制值。

(2) 监测措施

加大监测频率、巡视频率的方式及应对该监测区域变化量超过预警值的情况,以便及时发现异常,及时通知相关单位采取处置措施。

(3) 施工措施

- ①在12至16环位置进行二次注浆,补充地层空隙;
- ②在后续推进过程中,将同步注浆量提升至5.6方/环,根据监测数值及时调整注浆量;
- ③加强巡视周边地表及建筑物监测频率,确保预警区域监测数值稳定。

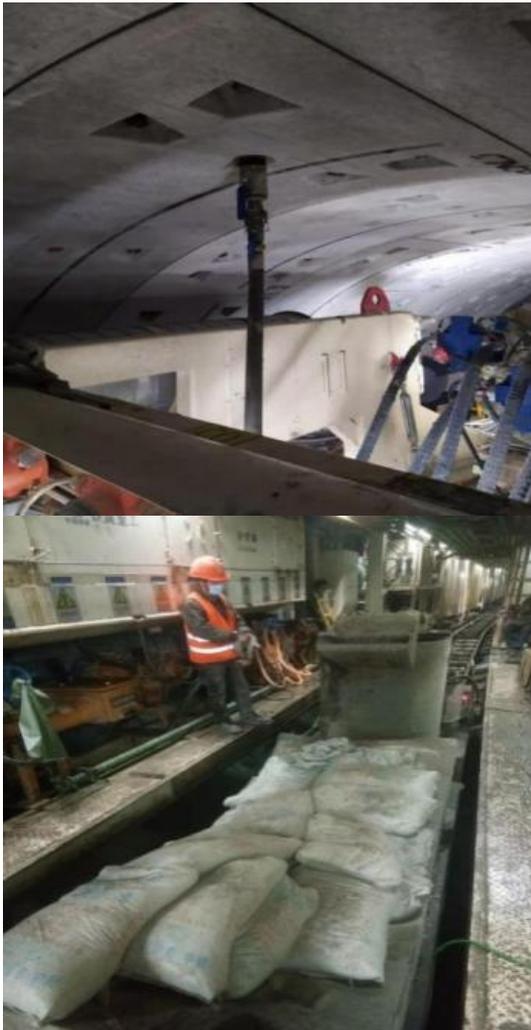


图10 预警后隧道注浆照片

4.4 左线始发端头地表沉降情况

本区间左线盾构机于2021年3月15日开始始发,始发区域50环内每4.8m设置一个监测断面,共12个加密断面(钻孔),从图11可以看出,始发就下穿体育馆新天地电影院,推进过程中施工严格控制各项参数,从洞门凿除到加固区内推进期间,再到出加固区,根据右线始发所总结经验,采取相应措施,地表测点整体变化速率平缓,后期该区域地表沉降监测点到左线隧道贯通后,累计沉降最大为XD16-1达到-16.11mm,未达到累计预警值(+8~-24)mm,后期变化速率平缓,周边巡视无异常。

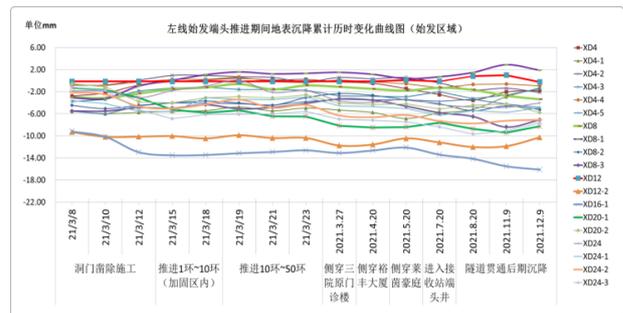


图11 左线推进期间始发端头地表沉降曲线图

5 结论

综合以上个图表数据我们可以得出如下结论:

- (1) 下穿建筑物时要严控推进速度,避免因推行速度过快导致工后沉降大,根据监测数据做好二次注浆,控制建筑物及地表沉降;
- (2) 加固区内推进,地表沉降反应较小,出加固区后要主动提前调整同步注浆量,不能依照加固区内注浆量施工而不做调整,现场及时交底,随后根据监测数据再调整;
- (3) 隧道上方严禁堆载,包括车辆,施工材料等,减少荷载;
- (4) 盾构机在推进过程中不能无故停机,特殊情况停机要做好土仓保压工作,针对停机区域要做好隧道及相应地面巡视工作;
- (5) 施工监测要在监测巡视过程中,发现地面异常,监测数据异常,要及时复核,在确保监测数据准确的情况下及时反馈各参建单位,(盾构队长),做相对应调整,避免出现施工安全问题;
- (6) 监测数据预警后,要及时组织召开分析会,根据监测数据、预警位置、推进土层、推进速度、出土量、平衡压力、同步注浆量全面分析,有效指导后续施工;
- (7) 同步注浆量一般控制在建筑空隙的150%~180%,能较好地控制地面沉降。在正常施工段,同步注浆量取 $5.0m^3$ 。在穿越建筑物期间,同步注浆量定为 $5.5m^3$,具

体注浆量根据监测数据进行适当调整。

综上所述,盾构始发推进过程中的周边环境监测极其重要,不仅能及时反应地面及建筑物的变形趋势,而且能根据监测数据确认沉降区域,以便施工单位对应环号及时注浆,避免持续沉降,造成安全事故,对于同步注浆量多少、是否需要二次注浆、二次注浆量的多少,持续推进的各项参数起到关键指导性作用,因此盾构始发过程中必须密切关注监测数据变化,并及时对数据进行分析,对一线人员包括盾构队长、司机等做技术交底,达到信息化施工

的目的。

[参考文献]

[1] 江苏省城市轨道交通工程监测规程:DGJ32 J195-2015[S]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社,2016.

[2] 城市轨道交通工程监测技术规范:GB50911-2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

作者简介:张成(1992.12—),男,毕业院校:兰州铁路技师学院,所学专业:铁路工程测量,就职单位:上海京海工程技术有限公司,职务:项目经理