

浅谈湾华站联络线隧道下穿不良地质的处置措施

方金帅 周晓峰 郭瑞蛟

中交隧道工程局有限公司 江苏 南京 210001

摘要: 本文针对危大工程湾华站联络线矿山法隧道施工过程中监测数据的异常进行深入分析, 发掘出地质情况与原设计不符, 通过采取补勘、旋喷桩加固等相关处置措施措施规避了隧道下穿不良地质的施工风险, 望对同行其他人员有一定的借鉴意义。

关键词: 暗挖隧道; 不良地质; 监测预警; 地质补勘

引言

最近几年, 我国各大城市大力发展城市轨道交通, 城市轨道交通得到长足的发展, 各项施工技术日趋成熟, 对于城市轨道交通中的隧道施工随着技术的更新, 以盾构法施工为主, 但对于断面较小、长度较短、曲线半径较小、地质复杂的非主线隧道, 仍会采用矿山法施工。矿山法施工的工程风险较之于盾构法较大, 对于在矿山法施工过程中发生异常情况时, 作为监理单位该如何作出积极有效的措施, 以避免出现严重后果, 本文就以佛山城市轨道交通2号线湾华站联络线矿山法隧道的施工为例, 针对危大工程湾华站联络线矿山法隧道施工过程中监测数据出现的异常情况进行深入分析, 发掘出发生异常监测数据的根本原因: 地质情况与原设计不符, 通过采取补勘、旋喷桩加固等相关处置措施措施规避了隧道下穿不良地质的施工风险, 以此作以总结, 希望能够对同行其他人员有一定的借鉴意义。

1 工程概况

湾华站为佛山市城市轨道交通2号线与3号线换乘车站, 2号线车站为地下三层车站, 3号线为地下两层车站, 两线为十字换乘, 两线之间设置联络线隧道, 联络线隧道两端分别连接2号线车站的负三层与3号线车站的负二层, 作用是为了

车辆渡线。联络线结构型式为矿山法施工的马蹄形隧道, 起止里程为: LDK0+47.500~LDK0+276.206, 总长228.706m。联络线矿山法隧道线路最小曲线半径为200m, 线路最大纵坡为 34.716‰。隧道埋深10.2m~17.5m^[1]。原设计显示 LDK0+248~LDK0+236施工段建筑场地地貌较简单, 地形开阔平坦。场地地势较平整, 地表为人工填土及三角洲最后一期沉积物覆盖, 地面高程为3.0~3.6m。上覆人工填土、第四系粉质粘土层, 全~中等风化岩; 隧道底板为强风化岩, 隧道侧壁为全、强风化岩, 隧道洞顶为可塑状粉质粘土。地下水主要赋存在中等风化砂岩、泥岩中, 为弱~中等透水层, 富水性和透水性一般~较好, 稳定地下水标高0.20~1.60m, 地下水对砼为微腐蚀性^[2]。隧道周边建(构)物主要为: 客家庄二层配房、单层厂房, 在施工过程中逐步拆除。

2 施工方法及设计参数

湾华站联络线隧道LDK0+248~LDK0+236段采用预留核心土台阶法施工, 无轨运输。超前支护采用超前注浆小导管。初期支护采用喷混凝土、格栅钢架、钢筋网、注浆锚管组合支护形式。辅助施工措施采用深孔预注浆。仰拱超前及拱墙整体复合式衬砌, 二衬采用模筑钢筋砼, 内外层衬砌之间拱墙铺设防水层。二次衬砌采用9m长台车施工。

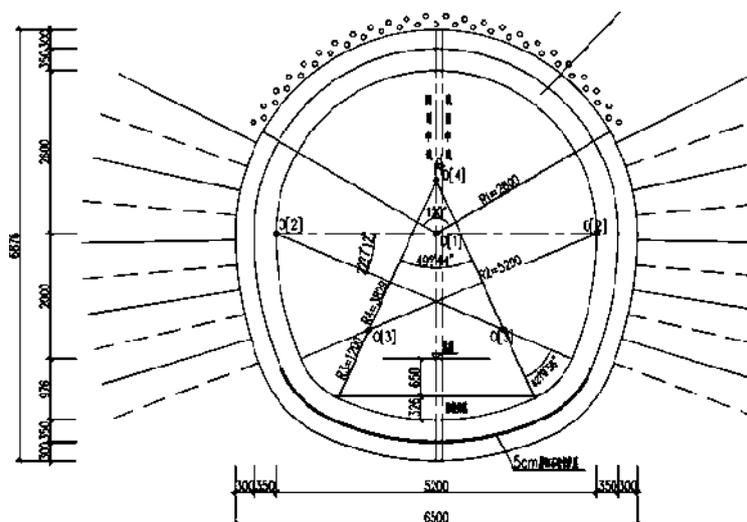


图1 联络线隧道C型衬砌断面

表1 联络线隧道C型衬砌施工参数统计表

初衬类型	里程范围	初期支护参数				二次衬砌	适用范围	施工方法
		系统锚杆(管)	钢筋网	喷射砼	格栅钢架			
单线C型	LDK0+248.0~LDK0+236.0	Φ32注浆锚管, L=3.5m, @0.5(纵向)×0.8(环向)m边墙布置	Φ8钢筋网 @0.15×0.15m 全环单层布置	C25网喷砼, 厚0.30m	间距0.5m	C35、P10模筑钢架砼, 厚0.35m	Ⅵ级	环形台阶法

3 隧道地表沉降监测点预警

3.1 黄色预警及橙色预警

隧道由3号线车站向2号线车站方向开挖过程中, 2019年10月16日当上台阶开挖至掌子面里程LDK0+256时, 第三方监测单位发现部分监测数据异常, 故针对联络线隧道施工下发了黄色和橙色预警通知单, 预警通知单指出: DBC-08-

04-05、DBC-07-12 变化速率超控制值达到橙色预警, DBC-08-02~03 变化速率超预警值达到黄色预警; 位于上台阶掌子面正上方监测预警点 DBC-08-02~05 附近路面上可见明显裂缝, 同时现场观察发现部分地面混凝土有破碎现象。监测数据显示: 地表沉降有下沉趋势; 洞内拱顶沉降和净空收敛数据累计值变化较小。具体监测数据统计表见表2。

表2 地表监测达到黄色和橙色预警情况监测数据统计表

监测项目	点号	2019/10/12(mm)	2019/10/13(mm)	2019/10/14(mm)	变化速率 (mm/d)	控制值 (mm, mm/d)	预警程度
洞内净空收敛	GGJ-24	-0.47	-0.42	-1.04	-0.29	±10, 2	
洞内拱顶沉降	GGC-24	-1.6	-1.9	-2.3	-0.4	-20, 3	
地表沉降	DBC-07-12	-3.25	-6.79	-10.73	-3.74	-30, 3	橙色预警
	DBC-08-02	-7.56	-10.05	-12.76	-2.60	-30, 3	黄色预警
	DBC-08-03	-12.23	-14.88	-18.08	-2.93	-30, 3	黄色预警
	DBC-08-04	0.00	-4.81	-6.51	-3.26	-30, 3	橙色预警
	DBC-08-05	0.00	-4.13	-6.52	-3.26	-30, 3	橙色预警

注: (1) 澄江计算时, “+”为上升, “-”为下降。(2) 监测预警采用双控指标, 双项控制值均达到70%为黄色监测预警, 单项控制值达到85%为黄色监测预警, 双项控制值均达到85%为橙色监测预警, 单项控制值达到100%为橙色监测预警, 双项控制值均达到100%为红色监测预警^[3]。

3.2 黄色预警及橙色预警后处理措施

根据预警通知, 由监理组织, 建设单位、设计单位、地勘单位、施工单位、第三方监测单位等各参建单位参与, 召开湾华联络线监测点变化速率超预警值或控制值预警分析会议, 形成处理意见如下: (1) 根据预警后数据来看, 地表监测点的监测数据仍呈下沉趋势, 拱顶沉降和净空收敛数据变化速率较小, 隧道存在一定风险, 但仍在可控范围内, 需继续严密监测观察。(2) 由于LDK0+248-LDK0+240段为洞内深孔预注浆, 建议提前5米进行深孔预注浆, 确保施工安全。(3) 建议施工单位减少监测数据预警地段的地面施工荷载, 同时加密监测及现场巡视, 监测数据及时反馈相关方

并根据监测数据调整施工并采取有效措施, 保证施工安全。

(4) 土方开挖需严格按照方案进行, 初支及时封闭成环, 及时进行初支背后注浆。

3.3 红色预警

2019年10月22日, 当上台阶开挖至掌子面里程LDK0+247.706时, 监测数据显示地表监测点 DBC-07-12 累计沉降33.03mm、沉降速率3.71mm/d, 双项指标均超过了控制值, 达到红色预警状态, 监理单位根据第三方监测单位下发的红色预警通知单, 要求施工单位立即暂停施工, 同时对现场掌子面进行挂网喷混封闭。

表3 地表监测达到红色预警情况监测数据统计表

监测项目	点号	2019/10/20(mm)	2019/10/21(mm)	2019/10/22(mm)	变化速率 (mm/d)	控制值 (mm, mm/d)	预警程度
洞内净空收敛	GGJ-22	0.27	0.08	0.12	-0.08	±10, 2	
	GGJ-24	-0.41	-0.40	-0.46	0.03	±10, 2	
洞内拱顶沉降	GGC-22	-0.3	-0.5	-1.0	-0.4	-20, 3	
	GGC-24	-2.4	-2.5	-2.3	0.1	-20, 3	
地表沉降	DBC-07-12	-7.07	-30.73	-33.03	-3.71	-30, 3	红色预警

注: (1) 澄江计算时, “+”为上升, “-”为下降。(2) 监测预警采用双控指标, 双项控制值均达到70%为黄色监测预警, 单项控制值达到85%为黄色监测预警, 双项控制值均达到85%为橙色监测预警, 单项控制值达到100%为橙色监测预警, 双项控制值均达到100%为红色监测预警。

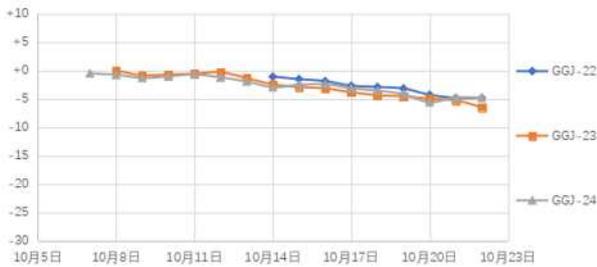


图2(a) 隧道内拱顶沉降变化趋势图



图2(b) 隧道内净空收敛变化趋势图



图2(c) 地表沉降变化趋势图

3.4 红色预警分析会处理意见

根据黄色和橙色预警分析会的会议处理意见, 施工单位均已按照处理意见, 采取了相关处理措施, 但红色预警通知单显示, 之前采取的措施并未收到好的效果, 各项监测数据依旧朝着极为不利的方向发展。因此, 可说明黄色和橙色预警分析会, 并未找到预警的根本原因, 故需重新进行分析, 查找原因, 故红色预警分析会上针对近期的监测数据变化, 各方均深入分析原因, 并作出以下处理意见: (1) 总监理工程师下发工程暂停令, 湾华站联络线隧道立即暂停开挖施工。(2) 由勘察单位对湾华站联络线隧道进行补勘, 充分查明监测点的近期监测数据发生预警的原因, 并将所作的补勘结果形成勘察报告提供给设计单位, 对原设计方案进行审核, 如有必要, 由设计单位根据补勘报告调整原设计方案, 确保后续施工安全。(3) 在上述工作进行的同时, 为保证隧道安全, 施工单位在征得勘察单位和设计单位认可的情况下可采取封闭掌子面、地面注浆等临时加固措施, 控制地表沉降值的发展; 同时由施工单位及上级总承包管理单位牵头, 启动设计变更流程。

4 沉降红色预警处置措施

4.1 重新进行补勘作业

预警分析会之后, 施工单位首先在隧道拱顶位置打设

了超前水平探孔, 由于超前水平探孔仅能够探测到隧道开挖范围内的地质情况, 故经水平探孔探查的结果显示, 地质情况与图纸描述基本相符, 按照原设计的地质情况, 出现沉降量较大的可能性较小; 同时, 根据监测数据显示, 隧道内拱顶沉降及洞内收敛数据变化较小, 说明隧道自身处于稳定状态, 但地表沉降数据变化较大, 初步分析地表沉降极有可能为隧道拱顶地质情况较弱造成的, 因此沉降原因需要进一步查明。随后, 由勘察单位在湾华站联络线隧道地面进行了补勘作业, 结合原地质钻孔的位置, 新增补勘孔位由原详勘阶段的30m间距, 加密至5m间距, 对地质情况进行充分勘探, 孔位布置至于隧道外侧3m位置, 沉降点附近沿隧道纵向加密至2.5m, 钻孔深度为22.4m, 超过隧道开挖深度。通过本次补充勘察, 进一步查明湾华站联络线隧道的岩土层分布情况, 根据场地的岩土工程地质条件, 结论及建议如下: (1) 场地上覆土层厚度为5.90~12.00m, 平均厚度8.70m, 呈南部厚、北部薄。土层底板标高-8.45~-2.60m, 土层底板埋深起伏变化较大, 总体呈北浅南深。上覆土层由素填土、粉质黏土、淤泥质土(流塑状、夹砂)构成, 素填土及淤泥质土等特殊岩土较为发育, 属软弱场地土, 土层力学性质弱, 自持能力差, 若进行隧道施工易发生塌顶现象, 给隧道施工造成困难。(2) 场地下伏强风化基岩, 埋深5.90~12.00m, 标高-8.45~-2.60m。隧道埋深10.2m~17.5m。根据钻探揭示, 隧道南段局部处于淤泥质土层, 其他地段处于强风化岩中, 但拱顶基岩厚度较薄, 隧道采用矿山法施工, 易发生塌顶事故。

4.2 与原详勘报告的差异

通过本次补勘结果与原详勘报告对比, 差异较大位置位于里程段LDK0+248~LDK0+236之间。原详勘报告中显示此段地质情况由上及下依次为素填土、粉质粘土、强风化泥质砂岩、砂质泥岩, 隧道开挖范围内均为强风化泥质砂岩、砂质泥岩; 本次补勘结果显示此段地质情况由上至下依次为素填土、粉质粘土、淤泥质土(流塑状、夹砂)、强风化粉砂质泥岩, 局部位置夹杂粉砂层, 在BK02钻孔位置淤泥质土层已侵入隧道开挖范围, 显示地质条件与原详勘报告相比较差。

4.3 地面高压旋喷桩加固

根据钻探揭示, 隧道里程段LDK0+248~LDK0+236之间地质条件较差, 淤泥质土层已侵入隧道开挖范围, 地表建议采用高压旋喷桩等方式对土层进行加固。为保证隧道安全, 由勘察单位和设计单位针对补勘情况, 提出地面临时加固方案, 由施工单位进行地面临时加固施工。LDK0+248~LDK0+236段地面采用双重管高压旋喷桩对该段隧道进行地面加固处理, 格构部位间距按500*500, 中间部位间距按600*600; 最外侧两排旋喷桩加固范围为地面至隧道上半断面, 其余旋喷桩加固范围为隧道顶以上6m至隧道上半断面。旋喷桩下部需进入强风化粉砂质泥岩。

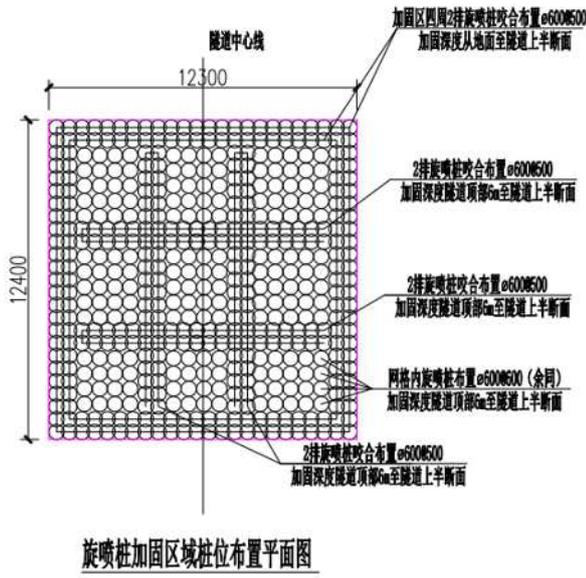


图3 设计变更增加地面旋喷桩加固平面布置图

4.4 后续开挖施工

设计单位给出加固意见后, 施工单位重新组织修订了湾华站联络线隧道施工方案, 经监理审核后由施工单位组织进行了专家论证, 方案通过后, 施工单位按照既定方案进行了高压旋喷桩加固施工, 施工完成后按照检测规范对高压旋喷桩进行抽样检测, 检测结果合格, 即进入隧道重新开挖的准备阶段。隧道重新开挖前, 为充分保证后续施工的安全, 按照关键节点开工前验收管理办法, 由监理单位重新组织了开挖前条件验收会议, 并邀请设计单位、地勘单位、建设单位以及外部专家对开挖前的准备工作进行了综合分析和评估, 评估合格方才开始施工。后续施工过程中, 由监理定期对第三方监测与施工监测针对监测数据的变化进行比对分析, 各项监测数据均显示正常, 再无预警现象发生, 湾华联络线隧道开挖安全顺利地通过了地质不良地段。

5 结语

(1) 通过该案例, 充分说明了在暗挖隧道施工过程中监测工作的重要性, 工程参建各方通过对监测数据的异常进行深入分析, 查找发生监测数据异常的具体原因, 并针对原因提出针对性措施, 提倡数据说话, 科学施工, 反对盲目施工, 是能够在较大程度上避免出现安全事故的有力措施。

(2) 地质风险是暗挖隧道施工主要的安全风险之一。根据目前的相关勘察规范, 勘察孔间距一般为左右线纵向15m, 单侧勘察孔间距达到30m, 对于地质复杂地段的地质勘察, 这种勘察孔的间距布置难以反映暗挖隧道的具体地质情况, 建议根据具体情况进行加密探测, 防止出现勘探盲区从而导致施工措施不适应实际情况的现象发生; 若勘察阶段因特殊原因无法进行加密, 施工单位开工前应积极进行加密补勘, 充分探明地质情况, 发现与设计不符的情况时, 可早发现、提早采取措施, 规避地质风险。(3) 通过该案例也反映了超前地质预报的重要性, 暗挖隧道的超前地质预报工作, 仅采用单一的洞内超前水平探孔的方法是难以提前探测到各类不良地质情况, 尤其是开挖范围外但距离开挖范围较近位置, 这种情况对施工影响较大, 隐蔽性较高, 因此, 在暗挖隧道的施工过程中, 采用多种方法进行超前地质预报是必要的。(4) 通过对该案例分析, 也反映了在流塑性淤泥质砂层的地质条件下, 采用格栅状布置的高压旋喷桩对地层进行加固, 能够起到较好的效果。

参考文献:

- [1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 佛山市轨道交通2号线施工图设计湾华站联络线矿山法隧道施工图.
- [2] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司. 佛山轨道交通2号线工程湾华站岩土工程勘察报告.
- [3] 中交隧道工程局有限公司. 佛山轨道交通2号线(一期)工程TJ2标湾华站联络线矿山法隧道专项施工方案.