

紧邻既有车站的地下空间建设综合变形控制技术与实践

李洪庆¹ 文仁学² 李晋骅³ 巫泳飞³

1. 深圳市地铁集团有限公司; 2. 中铁南方投资集团有限公司; 3. 艾奕康设计与咨询(深圳)有限公司

摘要: 邻近既有地铁车站的基坑或隧道施工, 会引起地铁车站的附加应力及位移, 影响其使用功能, 威胁结构安全。以深圳市黄木岗综合交通枢纽工程为背景, 为确保紧邻的既有7号线车站的深大基坑、暗挖隧道连续施工过程中的安全, 针对复杂的周边环境及工程难点与风险点, 采取分期分区施工、地层加固及控制施工扰动和加强监测等保护措施, 有效控制地铁结构的位移变形, 验证了该方案的合理性, 并通过总结相关经验, 为类似工程提供参考及借鉴。

关键词: 既有地铁车站; 暗挖隧道; 基坑开挖; 地铁保护; 安全评估

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.039

引言

随着城市建设的不断发展, 市区内对交通资源利用效率的需求也日益增加。对于城市轨道交通工程而言, 反映在既有线路的扩充与延伸。在此过程中, 新建轨道交通工程常需要在邻近既有结构(如隧道、地铁车站等)的情况下开展建设, 由此产生了大量近接结构的施工工况^[1], 并呈愈发复杂的趋势。由于既有结构的存在, 使附近土体应力发生重分布, 必然会对新建工程施工过程中的地下空间结构位移及应力产生影响^[2], 如何优化新建地下空间结构设计、有效控制既有结构变形已成为目前研究的热点问题。

近年来, 不少学者从地下空间建设引起邻近结构变形的计算分析、变形控制措施、安全风险评估等方面开展了研究工作。

然而, 对于新建地下工程在复杂情况下(如同时存在侧穿和下穿既有结构的工况)的结构设计及现场监测的相关研究仍然不足。本文以黄木岗综合交通枢纽工程为依托, 研究了新建矿山法隧道近距离下穿和邻近扩建基坑开挖对既有深圳地铁7号线车站的综合安全影响, 并对安全防护方案和现场监测结果进行了分析, 以期研究结果为类似工程提供参考。

一、工程概况

(一) 工程简述

黄木岗交通枢纽位于深圳市福田区东北部, 笋岗西路、泥岗西路、华富路、华强北路五叉路口, 为既有7号线、在建14号线以及规划24号线三线地铁换乘枢纽。既有7号线沿华强北路和泥岗西路地下敷设, 为地下三层叠侧车站; 在建14号线沿华富路和泥岗西路地下敷设, 为地下三层叠侧车站, 与既有7号线同台换乘; 规划24号线沿笋岗西路地下敷设, 为地下四层车站, 与7、14号线形成节点换乘。其中, 既有7号线黄木岗站为地下三层单柱双跨左右线上下叠落侧式站台车站(左下右上), 平面形式呈哑铃形状, 长232m, 两端标准段宽21.85m, 中段宽11.7m, 底板埋深27.6~28.35m; 14号线车站为新建车站, 紧贴既有7号线车站的西侧, 长262m, 宽度约44.6~81.3m, 底板埋深最大约29.1m, 建

成后将与7号线车站连通; 24号线新建车站平面上与既有7号线车站呈70°交叉关系, 长235.2m, 车站标准段宽28.2m, 底板埋深最大约40m。另外, 24线的两条行车隧道将会从7号线车站底部穿过。

(二) 工程地质条件

项目场地地处珠江三角洲地带, 原始地貌为台地及其间沟谷, 现状地形较为平坦, 地表高程约为18.5m~25.50m。车站区域岩土层自上而下依次为: ①-1填土层(局部为①-2填石层)、⑤-2淤泥质土层、⑤-3黏性土层、⑤-5中粗砂层、⑧-1砾质黏性土层以及风化程度不等的花岗岩层。新建地铁车站的基底主要座落在强风化花岗岩与中微风化花岗岩层上, 花岗岩在沿车站剖面上的风化程度具有一定差异性。场地内地下水主要有两种类型: 第四系松散地层中的孔隙水和基岩裂隙水, 分别赋存于第四系砂层与基岩层中。

(三) 新建工程与既有车站的空间关系

黄木岗交通枢纽新建工程主要有两处关键区域在施工中会对既有7号线车站造成明显的影响。一是新建14号线车站, 它与既有7号线车站完全贴合; 二是24号线的新建行车隧道, 左右线两条隧道将从7号线车站基础下方穿过, 隧道顶部与既有车站结构底板之间的最短距离仅为1.9m。

二、工程难点及风险

(一) 既有车站侧墙的拆除

14号线车站在施工中, 需要对新旧车站之间的侧墙进行拆除(原为既有7号线车站的结构墙体), 范围涉及既有7号线车站的地下一层至三层。

根据众多研究者针对车站板墙开洞施工工艺及力学行为的研究, 钢筋混凝土侧墙大开洞不仅改变了原有结构边界条件, 更使其受力模式发生变化^[3]。对于既有车站主体结构而言, 原结构部分作为新旧结构相互作用传递的主要受力构件, 将与新建车站主体结构共同组成整体承担荷载作用。地铁车站开凿接口部位空间结构受力体系转换复杂, 孔洞周边应力集中, 是结构的薄弱环节, 新建结构与开凿部位会对接口处空间受力形态产生显著影响^[4]。

(二) 隧道下穿既有车站

在24号线车站施工至地下四层后, 左右线两条开挖直径为7.5m的隧道将下穿既有7号线车站结构底板。由于下穿隧道的目的是为后期24号线盾构接收提供空推进站条件, 两条隧道均考虑采用矿山法施工, 掘进长度分别为48.8m及39m, 具体见图1。

矿山法隧道下部为中、微风化花岗岩层, 隧道顶部与既有7号线车站之间为强风化花岗岩层, 较薄不足2m。若采用常规爆破施工, 爆破产生的震动将对既有车站及强风化岩层产生较大的扰动。受到施工扰动后, 土状及块状强风化岩层极易失稳, 且易遇水软化崩解, 承载力大幅度降低, 在短时间内极容易发生坍塌变形^[5]。车站基底下部地层的脱离对既有运营的7号线车站稳定

影响较大，同时将对车站轨行区产生较大的安全隐患。

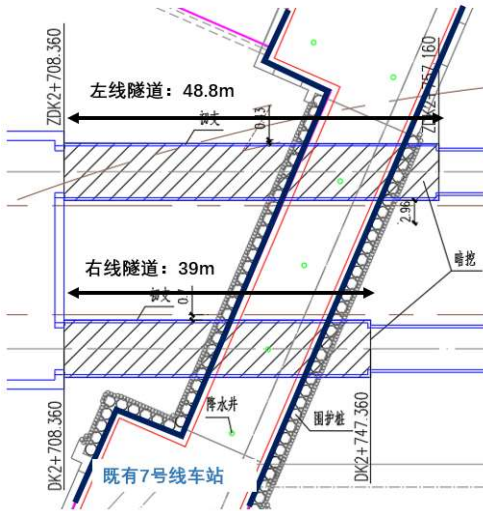


图1 24号线矿山法隧道平面图

三、既有车站变形控制技术

本项目地下空间开发面积大，结构最大深度达40m，施工范围内需考虑保护既有7号线车站结构的使用安全和正常运营，其工程难度与复杂程度是国内轨道交通工程中少见的。为最大限度减少施工对既有车站的影响，除了针对性的施工保护方案外，还应从结构设计方案阶段入手，制定系统性的变形性质措施。

(一) 分期分区逆作法施工

本项目地下空间建设包括新建地铁车站和行车隧道两部分，地下车站主体结构的建设需要先进行基坑支护与开挖。基坑支护可采用多种形式与工法，每种方案的优缺点不一。

在本项目中，既有7号线车站结构的变形是方案选择的关键控制因素之一。根据众多工程实践经验与研究，逆作法在控制基坑开挖对周边环境影响中具有明显的优势^[6]。相较于其他工法，逆作法整体利用楼板作为支撑构件，支撑的刚度大，基坑的变形相比其他工法而言相对较小。出于这点考虑，邻近既有车站的新建14号线车站与24号线车站最终采用了逆作法进行施工。另外，由于基坑面积大且开挖深度不一，特别是中部24号线车站基坑最深达40m，为进一步控制变形，在逆作法的基础上，整体基坑采用分期分区思路进行开挖，具体见图2。依据深度和风险的不同，基坑的施工顺序如下：

- (1) 先进行南北主体基坑的施工；
- (2) 待南北两侧基坑施工至坑底并完成封闭后，进行中区基坑主体基坑的施工；
- (3) 最后进行深度较浅的南北附属基坑施工。

(二) 分层分序拆除侧墙

为确保既有7号线车站正常运营及结构安全，侧墙的拆除将在上述主体基坑施工完成后进行。侧墙拆除改造按照“先支护、后破除、先改造、再恢复、分层分段，逐次实现结构受力转换”的原则，分为三个阶段进行施工。第一阶段主要在7号线车站内进行，对施工区域全围蔽后，在站内靠近待拆除侧墙除架设临时钢立柱支撑；第二阶段采用分层分序的方法，自上而下拆除第一

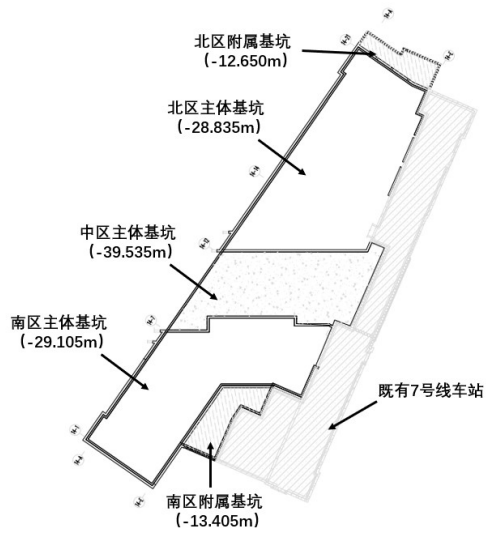
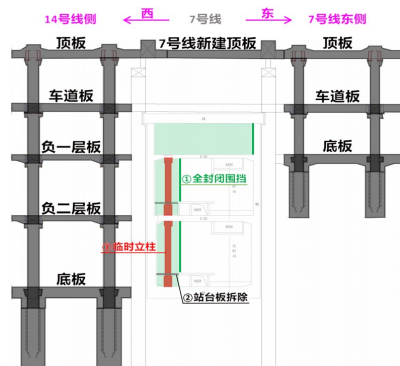
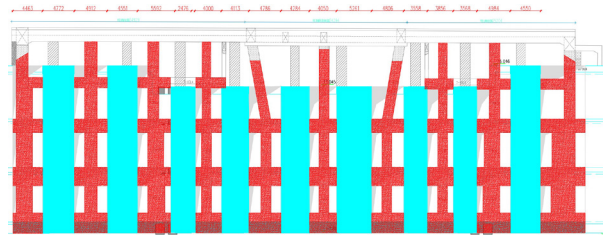


图2 基坑分期分区施工

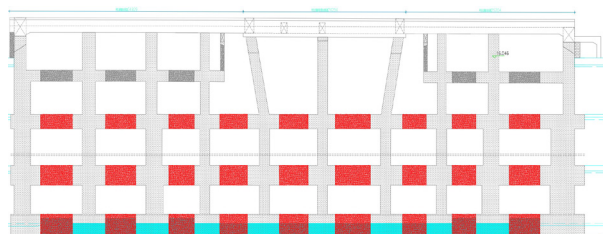
序的车站侧墙，并在拆除完成后自下而上施工新建的叠合梁、混凝土柱；第三阶段遵循相同原则拆除第二序的车站侧墙，待拆除完成后施工剩余的新建叠合梁。详细的工序示意图见图3。



(a) 第一阶段：围蔽施工区域，架立临时立柱



(b) 第二阶段：拆除第一序侧墙，施工新建梁柱



(c) 第三阶段：拆除第二序侧墙，施工剩余叠合梁

图3 侧墙拆除施工工序

(三) 隧道超前预支护

行车隧道下穿既有车站矿山法区段于24号线车站基坑施工至坑底后进行。如2.2节所述,由于隧道顶部与既有车站底板距离小,且顶部为浸水后易软化崩解的强风化花岗岩层,如何保证洞顶岩土层的稳定性与强度是既有车站变形控制的重要课题。

在隧道支护方案上,采取了大管棚+注浆小导管相结合的超前预支护方式。超前预支护于隧道拱顶120°范围内布置,其中大管棚采用了直径108mm,壁厚5mm的钢花管,管间环向间距为30cm,6m长的钢花管以1~2°的仰角向洞顶前方顶进;注浆小导管直径42mm,壁厚3.5mm,管间环向间距为30cm,长度为3m。超前预支护的断面布置如图4。

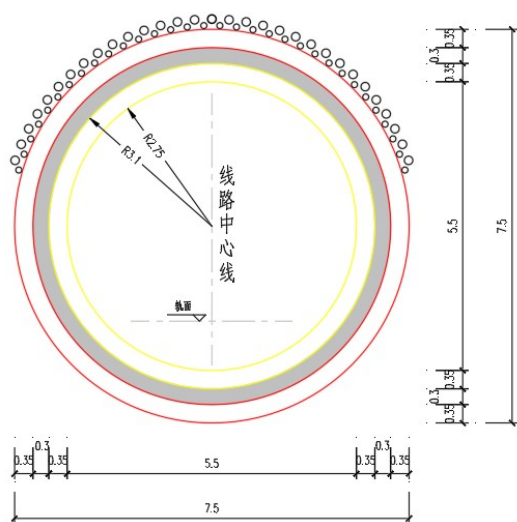


图4 超前支护布置图

隧道的初期衬砌也根据地层岩性和风险特点进行了相应的加强,采用间距0.5m的 $\Phi 22$ 格栅钢架全环布置,钢架内外布置双层钢筋网,以及350mm厚的C25P6喷射混凝土。

同时,对隧道掘进的施工工艺也进行了严格的控制,主要体现在以下几点:

- (1) 施工前,采取超前地质钻孔、地质雷达综合手段进行施工预测、预报工作,并结合地质勘查横纵地质剖面进行多方面验证;
- (2) 采用台阶法开挖施工,严格控制上下台阶长度;
- (3) 隧道掘进采用控制爆破,爆破振速不得大于2.5cm/s。

四、监测结果分析

7号线既有车站结构监测采用自动化与人工监测相结合的方法进行,根据工程的自身风险等级、周边环境风险等级进行划分,监测等级定为一,主要监测项目包括有为结构竖向位移、结构水平位移、变形缝差异沉降、临时立柱轴力等。在车站改造影响范围内,监测点加密至5~10m设置1个监测断面。

监测贯穿了整个新建车站的施工过程,包括从逆作

法基坑施工至侧墙拆除、矿山法隧道施工完成。各阶段的监测结果如表1所示。

表1 7号线既有车站结构监测结果

既有车站监测项目	累计变形值			控制值
	基坑开挖至坑底	侧墙拆除完成	隧道施工完成	
侧墙水平位移	-5.3	-5.45	-7.1	$\pm 10.0\text{mm}$
顶板竖向位移	-2.7	-3.2	-6.07	$\pm 10.0\text{mm}$
B1~B3底板竖向位移	-2.11	-6.32	-7.71	$\pm 10.0\text{mm}$
差异沉降	1.52	2.31	3.06	$\pm 4.0\text{mm}$
临时立柱轴力	196.7	1793.9	-	3200kN

表中可以看出,虽然随着不同施工阶段的开展,7号线既有车站的各项监测数据呈增大趋势,但整体仍处于控制值范围内。

五、结论与建议

黄木岗综合交通枢纽工程周边环境复杂、工程难度大,通过选择合理的基坑开挖形式,制定针对性的施工保护措施,既有车站的变形的得到了有效的控制。借鉴此项目经验,可得到如下结论建议。

(1) 对于紧邻既有车站结构的复杂地下空间开发项目,采用逆作法可有效地控制周边环境及建(构)筑物的变形。对于存在复杂工序的开发项目,合理的方案选择是减少风险的重要因素。

(2) 在类似的项目中,施工过程坚持“分期分区,先支护后改造”的原则十分必要,通过分块施工可进一步减轻施工活动对既有结构的扰动。

(3) 对于复杂的地下空间工程,需要对各个关键的风险点进行综合考虑,并考虑各个风险点之间的相互关系和施工顺序,才能制定出系统性的变形控制措施,将风险降至合理水平内。

(4) 施工过程中的动态监测很重要,包括超前地质预报与自动化监测,可及时反映出预想之外的地质条件与风险。

参考文献

- [1] 张国亮, 韩雪峰, 李元海等. 新建地铁站基坑与既有车站结构间相互影响的数值分析[J]. 隧道建设, 2011, 31(003): 284-288.
- [2] 李新星. 邻近基坑开挖的运营地铁车站结构安全度分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(S2): 382-386.
- [3] 安东辉, 邵文. 地铁车站扩建改造工程对原有结构受力影响分析[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(11): 7.
- [4] 谢顺意, 施成华, 彭立敏, 等. 地铁车站与风道交叉段施工力学行为数值模拟分析[J]. 铁道标准设计, 2012(6): 5.
- [5] 朱宏海. 混合岩残积层物理力学特性及其对地铁工程的影响与处理措施[J]. 现代隧道技术, 2013(1): 29-33.
- [6] 谢贻军, 钱德玲, 魏雪云. 紧邻地铁站的超大深基坑逆作法变形规律研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2014(10): 1231-1238.