

地铁停车场房屋结构上跨高铁隧道群保护设计

文 / 李 航 深圳市市政设计研究院有限公司

摘要: 本文以深圳地铁6号线二期工程民乐停车场运用库上跨杭深铁路隧道、联络线隧道及广深港客运专线隧道组成的高铁隧道群为例, 详细介绍房屋结构上跨高铁隧道群并在隧道群片石混凝土基础上设置桩基础, 在满足停车场运用库的建设, 安全保护高铁隧道群的设计方案。在突破现有的高铁隧道保护规定的下, 定量分析桩基础施工阶段、使用阶段对高铁隧道群的影响, 并采取合理且经济的保护措施。对房屋结构上跨高铁隧道群的保护设计进行归纳总结, 供后续房屋结构、桥梁结构跨越高铁隧道或高铁隧道群提供参考与借鉴。

关键词: 地铁停车场; 房屋结构; 高铁隧道群

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.111

一、工程概况

(一) 停车场概况

深圳市城市轨道交通6号线二期工程民乐停车场位于深圳市梅观立交西北侧, 新区大道与4号线以西, 翠岭华庭以南。用地长度约650m, 宽度约195m, 占地约8.5公顷, 建筑面积6万 m^2 , 场地现状标高100.0m。停车场建筑主要有运用库、咽喉区、洗车库、变电所和公寓楼。

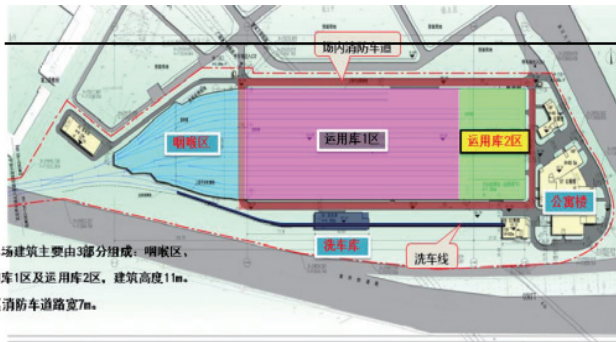


图1 停车场建筑布置平面图

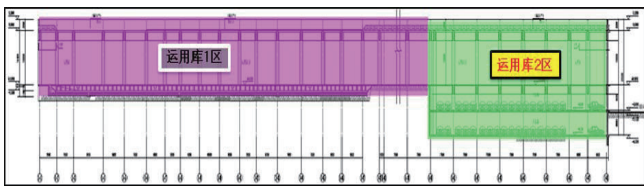


图2 停车场运用库剖面图

(二) 停车场涉铁概况

广深港客运专线隧道、杭深铁路隧道、杭深铁路联络线隧道下穿民乐停车场地块。停车场与大铁隧道斜交, 与广深港客运专线夹角约 45° , 与杭深铁路夹角约为 40° 。广深港客运专线隧道、杭深铁路隧道、杭深铁路联络线隧道下穿停车场运用库1区。停车场地铁列车轨顶设计标高为101.25 (± 0.00), 地坪设计标高为100.95 (-0.30)。

(三) 高铁隧道概况

广深港客运专线的广深段起于广州南站, 止于深圳福田站, 正线全长107公里 (其中广州南站至深圳北站为102公里), 双线电气化, 无砟轨道, 无缝钢轨, 设计速度为350公里/小时, 于2015年12月30日正式开通。

与停车场交叉位置的广深港客运专线隧道为单洞双线矿山法隧道, 隧道洞身位于弱风花岗岩II级围岩, 覆土为56~66m (其中岩层厚为37~41m), 隧道结构采用II级围岩复合式衬砌断面((隧)-(ZH-4)-01-03-03); 隧道结构宽13.54m, 高9.95m, 拱墙初支5cm厚C25喷射混凝土, 二衬35cm厚C35防水混凝土, 未设置配筋, 底板为30cm厚C35钢筋防水混凝土^[1]。

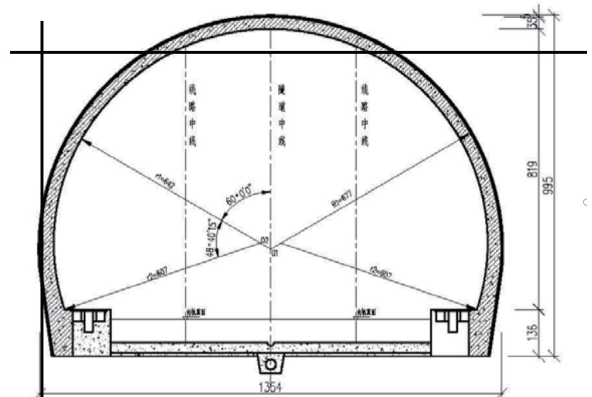


图3 广深港客运专线隧道横断面图

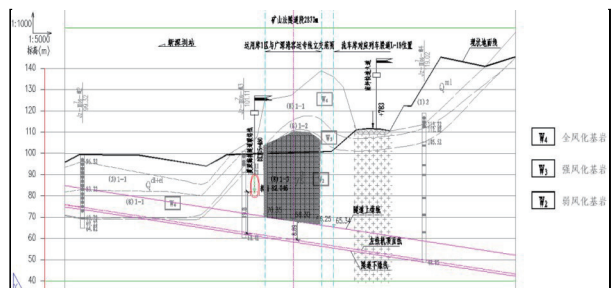


图4 原设计广深港客运专线隧道地质纵断面图

杭深铁路北起杭州东站,全长约1464公里,设计速度目标值250公里/小时,双线电气化,无砟轨道,无缝钢轨,于2013年12月28日全线正式通车运营。

与停车场交叉范围的杭深铁路隧道正线、联络线至K1619+933.5处开始分修,具体采用的结构形式如下:正线K1619+915.5(DK506+350)~K1619+933.5(DK506+368)段采用三线大跨明洞结构形式,明洞结构采用曲墙带仰拱结构,隧道结构宽23.09m,高16.64m,结构拱墙与底板采用100cm厚C35防水钢筋混凝土,环向主筋 $\phi 25@150$ 配筋。

正线K1619+933.5(DK506+368)~K1620+215.5(DK506+650)采用双线明洞结构形式,明洞结构采用直墙底结构,隧道结构宽14.52m,高12.03m,拱墙衬砌厚度为85cm C35防水钢筋混凝土,底板为90cm厚C35防水钢筋混凝土。环向主筋 $\phi 28@200$ 配筋,拱脚为 $\phi 28@100$ 配筋。

联络线LDK0+154~440.32采用单线明洞结构形式,明洞结构采用直墙底板结构,隧道结构宽6.95m,高9.24m,拱墙衬砌厚度为70cm的C35防水钢筋混凝土,底板为80cm厚C35防水钢筋混凝土。环向主筋 $\phi 25@125$ 配筋。

杭深铁路隧道基地范围,明洞底板至基岩采用C25片石混凝土回填,回填坡率1:0.75,明洞结构嵌入C25片石混凝土回填层中50cm。明洞隧道底板至基岩的C25片石混凝土回填层设置范围为杭深铁路正线或联络线隧道外缘以外7.8m范围左右。

根据相关施工图纸,关于杭深铁路明洞隧道回填、永久边坡的设计:明洞回填应对称分层夯实,每层厚度不宜大于0.3m,两侧回填土高差不得大于0.5m,压实度不小于0.9。回填至拱顶后,应分层满铺向上镇筑,严禁任意抛填,土石回填顶部铺设50cm厚粘土隔水层。明洞回填完后,明洞顶每隔50m修建横向排水沟将地表水引入明洞顶线路前进方向右侧纵向排水沟,集中排入市政排水管网^[2]。

二、高铁隧道保护设计

(一) 涉铁结构设计

前后经过4此专家评审会审查后,结合高铁隧道群的安全、经济及停车场的规划,确定停车场运用库采用建筑和桥梁结构相结合的形式跨越高铁隧道群。运用库结构采用两跨简支钢桁桥跨越高铁隧道群,共采用12个独立钢桁桥梁组成,两种不同跨度,最大跨度为88.0米,最小跨度为55.0米,桁架高13.1m。

(二) 涉铁桩基设计

上部结构采用两跨的形式跨越三条高铁隧道,其中有3个桩位设在杭深铁路正线隧道和联络线隧道之间,离杭深正线最近4.29m,离杭深联系线最近3.04m;4个

桩位设在广深港客运专线隧道和联络线隧道之间,离杭深联络线最近6.15m,离广深港最近4.78m;高铁隧道两侧桩基离高铁隧道净距在10m范围外。桩位1桩径为2m,桩位2~桩位7桩径为2.2m,其余桩径为1.2m。

(三) 涉铁桩基础成孔

其中杭深正线及联络线隧道间的桩位1~3柱墩基础落在高铁隧道的片石混凝土基础范围内,桩基础与高铁隧道结构净距范围为3.04m~7.96m。

广深港客运专线隧道与联络线隧道之间桩基(桩位4~桩位7桩基础),采用全回转钻机+永久钢护筒施工;杭深正线隧道与联络线隧道间的桩基础(桩位1~桩位3),微型桩+全回转钻机+永久钢护筒施工;高铁隧道外侧桩基采用旋挖钻成孔。

高铁隧道片石基础处的桩基采用机械成孔施工步骤:

1) 桩基施工前,利用小型钻机在桩周施打一排 $\phi 200$ mm钢筋砼微型桩,咬合50mm,微型桩可以起到桩身施工与桩周土体隔离作用,同时微型桩在钻入时也可预先对高铁隧道片石砼基础及桩身入岩岩体进行切割,为后期桩机施工时减小对隧道的影响^[3]。

2) 采用全套管全回转钻机利用高铁天窗期分段施工桩基,桩底穿透高铁隧道片石混凝土基础进入微风化岩不小于1.5D(D为桩径)。施工特点:(1)钢套管起到了护壁作用,避免施工过程中出现塌孔等安全隐患,能够有效的确保工程质量及施工安全;(2)在高铁、地铁、建筑物周边等特殊复杂环境下施工,通过套管回转对土体、岩石等进行切削、同时采用液压力垂直将套管压入,施工过程不产生振动现象,做到对周围地层、环境无扰动。

三、涉铁结构对高铁隧道的影响分析

(一) 模型建立

采用有限元分析软件MidasGTSNX建立整体三维有限元模型进行计算分析,主要分析桩基施工、后期运营阶段对高铁隧道的影响。模型以停车场长轴向方向为X轴,以停车场短轴向方向为Y轴,竖直方向为Z轴建立三维模型计算分析,为消除模型边界效应,X轴方向取400m,Y轴方向取160m,Z轴方向取80m(Z轴取值已考虑支护与工程桩深度)。方案模型计算采用10节点四面体单元,共划分单元583802个,节点82856个,主要包括隧道及桩基结构。

分别对桩基基础施工阶段和停车场运营阶段进行模拟,分别分析两个阶段对高铁隧道群结构及基础的影响。

(二) 模拟结构分析

1. 桩基基础施工阶段

1) 杭深线正线及联络线隧道变形分析

杭深联络线及正线由于埋深较浅，所处地质为素填土及碎石土，受到桩基影响要明显大于广深港隧道。此区域桩基大部分施工位于隧道右侧，导致隧道右侧在x向和z向变形较大，隧道洞身发生一定倾斜。正线及联络线x向累计最大变形-1.36mm，三线x向累计最大变形为1.32mm。竖向变形上正线及联络线累计最大反弹为1.98mm，联络线累计最大反弹为2.64mm，三线隧道累计最大反弹为2.64mm。

2) 杭深隧道下片石基础变形分析

杭深段线路处于素填土与碎石土层中，对比处于花岗岩中的广深港隧道，产生的变形值要更大。杭深线路下有片石基础，基础受力情况良好，可以明显看到基础两侧桩基施工对于基础的变形影响。x向上基础呈现向两侧扩展趋势，但数值较小，累计变形最大值为-0.32mm。同时可看到，竖向变形上存在桩基的位置变形明显，基础右侧变形大于左侧变形，是因为区域桩基大部分施工位于隧道右侧，累计最大变形值为1.92mm。在桩基嵌入的地方，出现应力集中，桩基嵌入对于基础有所影响。

2. 停车场运营阶段

1) 广深港隧道变形分析

运营之后，停车场承受荷载，对广深港隧道的变形没有明显影响。由于广深港隧道处于花岗岩中，受到的影响相对较小。隧道产生向下变形，横向向洞内收敛，由于左侧桩基的影响，x向变形出现区域化特征，左侧结构的变形要更大，最大值为0.011mm，出现在与桩位置最近的隧道左侧，但是数值极小，认为基本没有影响。z向最大变形为-0.044mm。

2) 杭深线正线及联络线隧道变形分析

与前述分析一致，杭深铁路由于埋深浅，处于情况较差的土体中，变形特征相对明显。该处桩体施工位置调整后距离隧道有一定距离，x向受影响较小，z向整体出现向下变形，且可以分析得到，桩基的深入使得桩基附近的隧道结构出现向桩基方向即隧道中间倾斜。x向变形上，正线及联络线隧道累计变形最大值为0.562mm，三线隧道累计变形最大值为0.464mm。竖向变形上，正线及联络线隧道累计变形最大值为-0.238mm，三线隧道累计变形最大值为0.743mm，可见整个隧道结构出现向下变形。

3) 杭深隧道基础变形分析

隧道附近桩体承载后，基础随隧道结构一起出现向下变形，x向累计变形最大值为-0.212mm。竖向变形上，与上阶段比较，出现向下变形现象，大部分竖向累计变形为-0.40到0.39mm之间，桩基受载对隧道基础造成影响。

四、实施效果

经过三年办的方案研究，四次的专家审查会，广州铁路工程局、中国铁路总公司等公司和部门的层层审批，停车场涉铁保护方案获得铁路总公司的批复。本工程实施过程中，对高铁隧道群、高铁隧道片石混凝土基础的安全未造成影响^[4]。

五、停车场涉铁结构创新点及启示

①建桥合一

停车场主要建筑功能为停车，而只有桥梁方案才能跨越既有高铁隧道，采用了特殊的“桥-建”组合结构，即满足了建筑功能，又满足了跨越高铁隧道需求。

②采用具有上下两个平面的钢桁桥方案

合理地利用钢桁桥具有上下两个平面的空间特点，上层为种植屋面满足景观需求，下层作为停车场列检库满足停车及检修需求。

③不等跨钢桁桥

停车场运用库与三条高铁隧道为斜交，且斜交角度较大，导致钢桁桥左右两片钢桁桥跨度不一样，结构不对称，受力分析及构造复杂。

④采用拖拉滑移施工

由于杭深铁路及联络线隧道埋深较小，钢桁桥不能直接在高铁隧道上方安装，需在涉铁保护区域的两侧拼装然后拖拉滑移就位，最后落梁至桥墩上。

⑤临近高铁隧道桩基设计

停车场桩基础离高铁隧道最小水平距离为3.04m，为以后桥梁跨越高铁隧道桩距高铁隧道水平净距提供参考。

⑥临近高铁隧道桩基施工工艺

停车场共有三个桥墩位于厦深铁路片石混凝土基础，为了减少桩基成孔时对高铁隧道的影响，采用了直径200的微型桩作为隔离桩，同时采用全套筒全回转钻机成孔并保留永久钢护筒，为以后的跨铁工程提供了桩基成孔经验。

参考文献

- [1] 戴维, 刘洋, 陈玉发, 等. 敏感环境条件下地铁停车场桥基施工对下伏高铁隧道群的扰动效应研究[J]. 公路工程, 2020, 45(1): 7.
- [2] 周晨, 刘洋, 陈玉发, 等. 上跨高铁隧道群地铁停车场钢桁梁原位吊装安全性分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(1): 5.
- [3] 王学广, 龙明华. 桩基对既有高铁隧道群变形影响的数值分析[J]. 广东公路交通, 2021, 47(3): 5.
- [4] 李林毅, 阳军生, 高超, 等. 排水管堵塞引起的高铁隧道结构变形与渗流场特征模拟试验研究[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(4): 715-724.