

大跨度无中导洞分岔隧道反挖施工关键技术研究

林秀桂, 潘春辉

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 结合深圳东部过境高速公路连接线工程实际情况,提出了一种地下互通立交分岔节点矿山法隧道的反挖施工方法,用于不具备由大断面隧道段往分岔小断面隧道段施工的条件时,对隧道的地下互通立交分岔节点采用矿山法施工。该方法包括无中导洞连拱隧道施工、先导洞扩挖施工、主隧道反向开挖施工技术,可为类似的地层分岔隧道施工提供经验指导。

关键词: 分岔隧道;新奥法;无中导洞;反挖施工

中图分类号: U455.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0198-05

0 引言

随着城市高速发展,地下互通立交分岔隧道结构越来越多,例如深圳横龙山隧道^[1]、青岛胶州湾隧道^[2]、杭州紫之隧道^[3]等工程均有分岔隧道段。分岔隧道为地下互通立交的关键节点和设计施工重难点,对整个地下互通立交的建设起着控制性作用。

通常情况下,分岔隧道主要包含大跨度主隧道标准段、分岔渐变段、连拱段和小净距段。该隧道受力复杂,工序转换频繁,目前尚未形成确定的施工技术体系。分岔隧道常规的施工顺序采用顺作法,即开挖方向由大跨合流末端向最大跨度段、连拱段、小净距段依次施工。该方案优点在于施工断面逐步扩大、风险可控,主体结构断面易闭合,断面围岩受力形式明确,施工工序相对简单,二衬可及时跟进,安全有保障。然而受暗挖施工工艺特点影响,仅有隧道掌子面为施工作业面,各掌子面施工进度难以控制,特别是对于以矿山法施工的城市隧道,受限因素多,有时很难具备由大断面隧道段往分岔小断面隧道段施工的条件。

本文以深圳东部过境高速公路连接线工程为依托,结合工程现场实际,提出了地下互通立交分岔段无中导洞反挖施工的工法,解决了不具备由大断面隧道向分岔小断面隧道施工条件时,地下互通立交分岔矿山法隧道的施工问题。所建立的科学设计施

工方法,可以使工程快速安全的实施,作为一种极具实用价值的技术资源,具有明显的社会效益和经济效益。

1 研究背景

1.1 工程概况

深圳市东部过境高速公路连接线工程西起爱国路立交,东西贯穿东湖公园,位于深圳水库下游。该工程I标段暗挖隧道主要为下穿谷对岭实施段,其中北主线共776.19 m,南主线共784.75 m,ES匝道共757.9 m,SE匝道共364.9 m。

谷对岭分岔隧道的设计车道数为主线2车道(3.5 m+3.5 m)+匝道设紧急停车带的1车道(3.5 m+2.5 m)连续流。喇叭口分岔隧道设计采用多种断面形式渐近过渡的方式,主线由标准3车道断面逐渐增大,通过渐变段增至大跨段最大断面,大跨段向外侧扩挖,与连拱隧道段相接;随着连拱中墙厚度的不断增大,与小净距隧道顺接,最后分岔为双线分离式隧道。南线谷对岭分岔段设A5+型、B4型、C4型、D4型、E4型和F4型共5种衬砌类型,其中F4型为复合式连拱衬砌。

谷对岭分岔段平面图见图1。

谷对岭分岔隧道为交通分、合流点,该段处最大纵坡约2.8%。大跨段隧道拱顶埋深约26~84 m。

1.2 工程地质条件

谷对岭区域围岩较为破碎,有断层F6、F7、F8通过,如图2所示。断层带岩体主要表现为闭合裂隙极发育,岩体破碎,绿泥石化现象显著,岩体多具碎裂、碎斑结构,岩石多具碎裂岩化特征或为碎裂岩,通常

收稿日期: 2020-12-04

作者简介: 林秀桂(1968—),女,硕士,教授级高级工程师,从事岩土工程、隧道及地下结构工程设计研究工作。

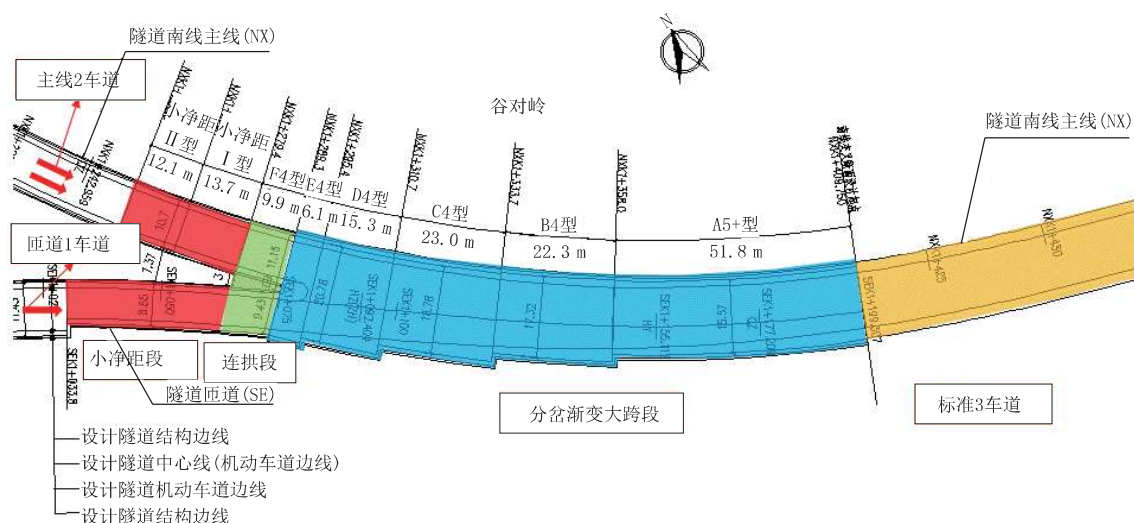


图1 谷对岭分岔段平面图

不均匀分布角砾岩、糜棱岩化团块或薄夹层,微细矿物碎屑多为挤压破碎的绿泥石微粒,且裂隙多为绿泥石充填。

各断层分布情况具体如下:

(1)F6断层:走向大致为东北偏北方向,倾向西北偏西方向,倾角约 $70^{\circ} \sim 75^{\circ}$,其推测断裂带宽度约 $30 \sim 40 \text{ m}$,与本工程主线及匝道呈小角度斜交。

(2)F7断层:起始于深圳水库溢洪道西岸,往南经谷对岭,然后经黄贝岭北坡,至春风路东侧一带。断裂走向由南往北从北东 50° 逐渐弯转为北东 10° 左右,倾角约 60° ,推测断裂带宽度约 $30 \sim 40 \text{ m}$,横穿本工程主线隧道。

(3)F8断层:断裂北段延伸到深圳水库溢洪道右岸,往南经谷对岭南坡麓,穿过沿河北路进入黄贝岭东南坡,抵达文锦路中学一带。断裂切过震旦纪黄婆山组、元古界混合花岗岩、中侏罗统漳平组(即塘厦组)等岩层。断裂走向由南往北为北东 55° 转为北东 10° ,为略向南东凸出的弧形,倾向北西,倾角 $50^{\circ} \sim 75^{\circ}$,推测断裂带宽度约 $30 \sim 40 \text{ m}$ 。

F7构造破碎带岩体主要为碎裂岩夹糜棱岩,局部夹断层泥,断裂面附近岩体呈片理化条带状,矿物结晶定向拉长;F6、F8构造破碎带岩体主要为碎裂岩、角砾岩,绿泥石化现象明显,岩质偏软,较易击碎,局部发育有糜棱岩薄层条带或断层泥。

分岔连拱段F型衬砌及大跨段位于F7主断层带内,覆土 84 m ,IV级围岩地层。隧道开挖断面大,断面变化形式多,各类型断面纵向长度较短,施工工序转换较为复杂,且在大断面上方临近处还存在地下军事设施,施工难度极大。

谷对岭分岔段断层地质平面布置图见图2。

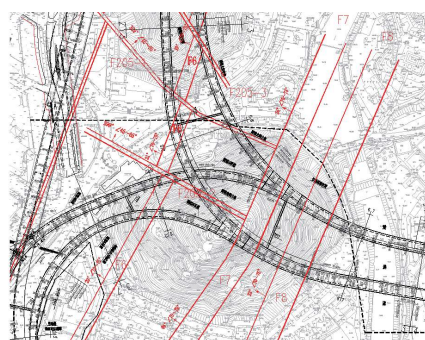


图2 谷对岭分岔段断层地质平面布置图

2 大跨度分岔隧道施工技术

2.1 技术原理

与顺作法相反,在条件不允许的情况下,可采用逆作法,即由主线(或匝道)小净距段(连拱段)向最大跨度段、大跨合流末段依次施工。该方案优点在于灵活多变,不受施工条件限制。但是缺点在于由小断面进入大跨度段,跨度及高度突变增大,常规的施工工法无法满足安全要求。

因此本节点设计采用无中导洞反挖施工方案,通过增设斜坡导坑爬坡至主隧道拱顶,而后横向扩挖形成主洞,再反挖扩挖逐步形成交界最大断面,并向两端施工,如图3所示。将多断面跨度形成并浇筑二衬后,方可完成连拱段及小净距段。

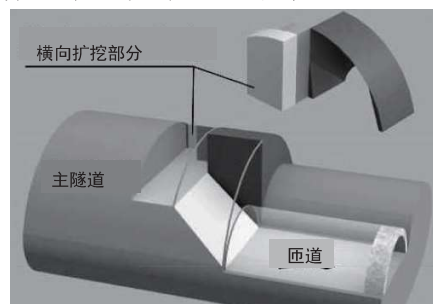


图3 大跨段导坑横向扩挖施工示意图

对于连拱隧道,传统工法需单独开挖中导洞、施工中隔墙,再开挖两侧连拱断面,工序较复杂,如图 4 所示。由于本标段接东连线二标掌子面未提供,该节点无法采用从标准 3 车道向大跨度段开挖的顺作法施工。现场考虑由 SE 匝道进入分岔段,再由大跨度掉头反挖进入南主线。针对本节点,采用无中导洞工法施工连拱段隧道,即在隧道开挖 SE 匝道的同时留出中墙施工空间,在单洞内浇筑中墙和衬砌结构,然后向前开挖至分岔大断面,再回挖南主线,浇筑衬砌结构。具体施工顺序见图 6。

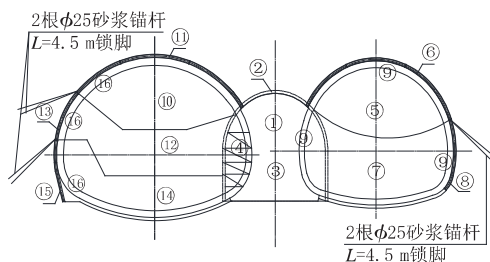


图 4 常规连拱隧道开挖示意图

该技术方案解决了在城市分岔隧道施工中的工序复杂和施工难度大的问题,取消了诸多临时支撑,能够有效节约施工成本,简化施工工艺,给工人和机械设备提供更大的工作空间,提高效率,缩短工期,加快施工进度。

2.2 施工工艺流程

该方案的具体施工流程为：先行洞小净距段→无中导洞连拱段→扩挖导坑进入大跨度渐变段→横向施工横导洞→反挖施工大跨度渐变段→完成后行洞连拱段→完成后行洞小净距段。

分岔大断面及连拱段平面图见图 5, 施工顺序平面图见图 6。

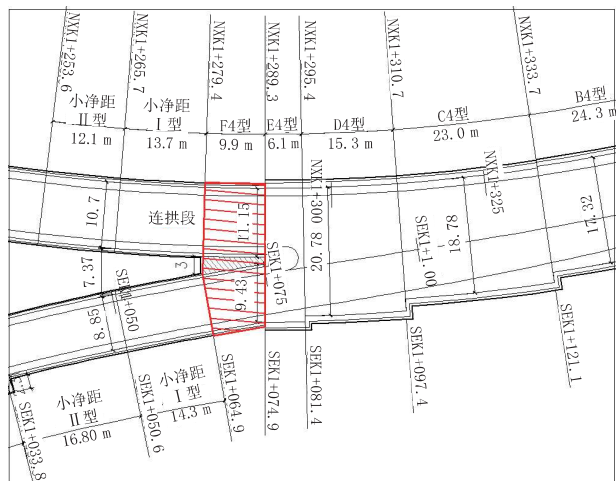


图 5 分岔大断面及连拱段平面图

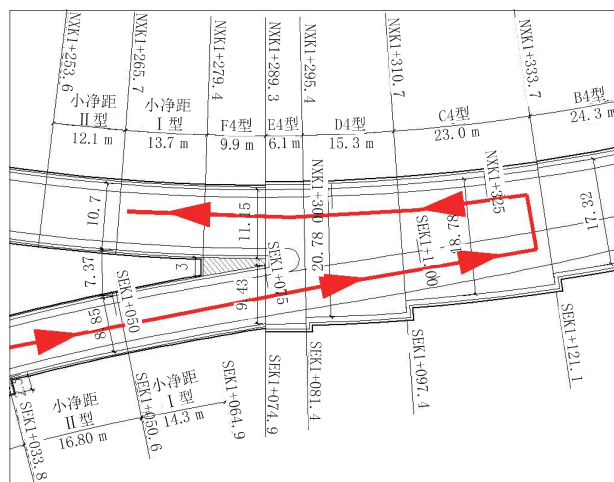


图 6 施工顺序平面图

2.3 技术要点

2.3.1 无中导洞连拱段施工

连拱段隧道采用无中导洞施工工艺^[4],在两隧道中部设置了加强区,并且较小断面的隧道先行开挖,加强区混凝土厚度较大,使两隧道开挖断面面积相近。无中导洞连拱隧道衬砌设计图见图7。

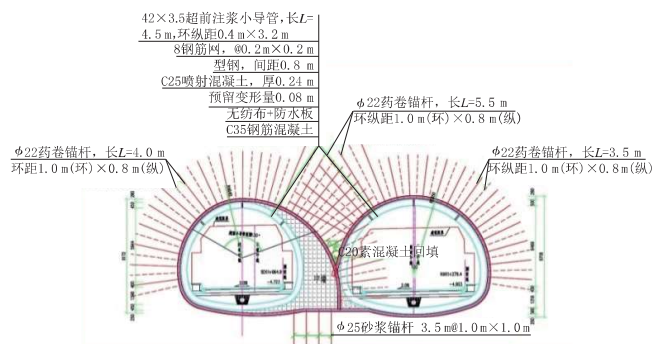


图 7 无中导洞连拱隧道衬砌设计图

连拱段开挖均采用光面爆破施工,爆破震速控制在 1 cm/s 以下,短进尺、弱爆破,尽量减少对拱顶围岩的扰动,以便顺利实现调头,开挖进尺控制在每次 1 榦。连拱中墙为钢筋混凝土结构,由于断面为异型,对异型初支进行加强处理,增加锁脚钢管和加强锚杆。

2.3.2 先行导坑进洞

先行匝道隧道开挖轮廓(含中墙)与主线分岔大断面开挖轮廓断面一般会存在差异,见图 8。

在大跨段 E 衬砌类型段处,其双侧壁右上导洞开挖线最高处约比该处连拱段 F 衬砌类型段最高处高 3.1 m 左右,因此在隧道进尺时需要斜向上扩挖围岩,按照每前进约 0.8 m,扩挖约 0.6 m 高度为原则,通过 5 榀将连拱隧道扩挖至双侧壁导洞顶部。具体施工工艺:延 F 断面向 E 断面逐层扩挖,扩挖 5 榀后再向前正常施工 5 榀即择机回头,将扩挖段 5 榀钢

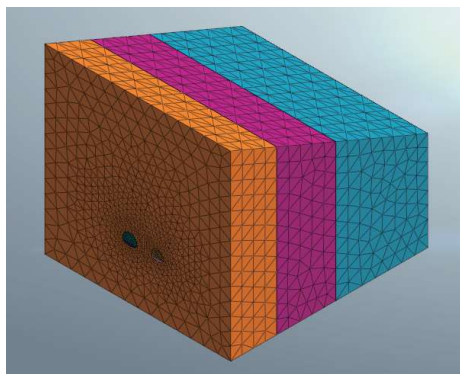


图 11 整体三有限元模型

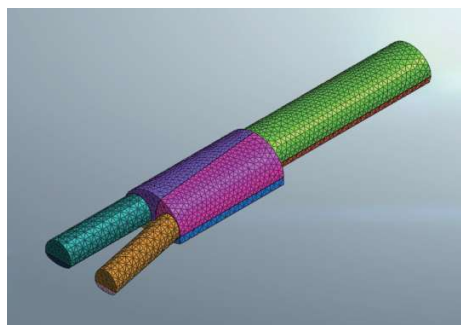


图 12 隧道分岔段三有限元模型

表 1 有限元模型计算参数表

土体	重度 ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	变形模量 (GPa)	泊松比	内摩擦角 ($^{\circ}$)	黏聚力 (MPa)
IV 级围岩	21.5	3.65	0.33	33	0.45

表 2 支护材料物理力学参数

材料种类	重度 ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	泊松比	弹性模量 (GPa)
初衬	25	0.2	30
锚杆	78.5	0.3	200

段,拱顶最大竖向位移为 17.8 mm,位置位于大跨段 D 断面,仰拱隆起最大约 22 mm(见图 13)。

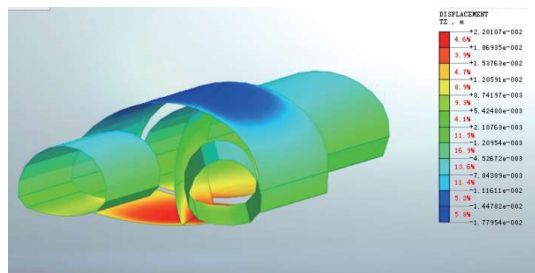


图 13 三维沉降计算云图

因此,根据数值模拟计算,隧道开挖采取先行加强导洞反挖施工方案,支护总体变形安全可控。先行导洞的临时支撑有较大侧向变形和集中弯矩,承受大跨段较大荷载,设计时需要临时支撑进行加强^[7]。

4 监测结果分析

结合隧道开挖施工方法,通过及时反馈监测数

据来指导开挖施工,达到信息化施工的目的,确保隧道开挖安全。针对本工程关键节点,现场进行了专项监测实施方案,通过监测大跨度分岔段各施工节段的变形、围岩支护内力,确定施工掌子面推进时机并调整相关支护参数,保障了施工安全。

本工程监测点位布置示意图见图 14。

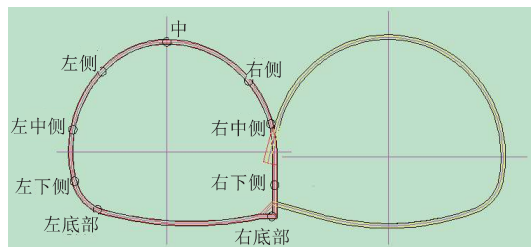
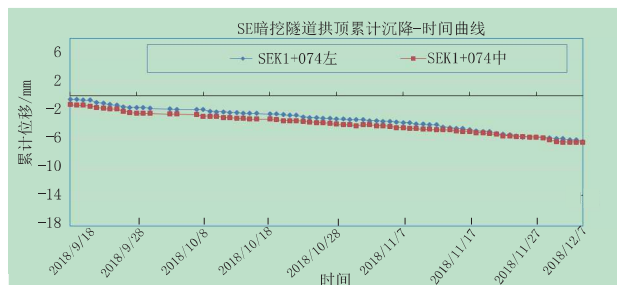
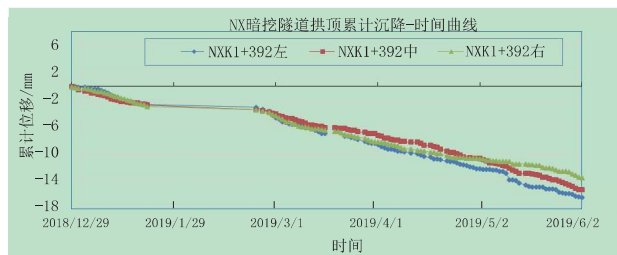


图 14 监测点位布置示意图

本文选取施工中主要的 2 个关键断面,以及连拱段和大跨段的拱部位移数据进行分析。由图 15 可见:连拱段拱部沉降约 6.4 mm;大跨段拱部沉降约 14.9 mm,与数值计算分析的数据基本接近,变形在可控范围内。由此说明,所采取的相关措施对控制开挖过程中的支护结构变形和稳定性具有较好的效果。



(a) 分岔小断面拱顶沉降监测图



(b) 分岔大断面拱顶沉降监测图

图 15 隧道拱顶沉降曲线图

5 结 语

本文基于深圳市过境高速公路连接线工程下穿谷对岭隧道大跨度分岔段,对不具备由大断面隧道段往分岔小断面隧道段施工的条件时,采用反挖法,分阶段完成由分岔小断面隧道往大断面隧道的地下立交分岔节点施工。解决了采用地下互通立交分岔节点矿山法进行隧道施工时,所存在的掌子面施工

(下转第 240 页)