

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.01.063

广西钦州大跨度小净距矿山法隧道群设计

肖 敏

(上海城市交通设计院有限公司, 上海市 200120)

摘 要: 广西钦州北部湾项目有 B1、B2、B3、B4 四条隧道, B2、B3 为双向八车行通道, B1、B4 为人非车道, 相互净距仅 4.5~5 m, 为确保隧道施工期间整体安全, 采取中夹岩加固、严格控制施工工序、加强超前支护和初期支护、根据监控量测结果调整二次衬砌施工时间, 最终确保本项目隧道顺利施工。

关键词: 矿山法隧道群; 大跨度; 小净距

中图分类号: U452.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0260-04

0 引 言

矿山法隧道现有分离式、连拱、小净距隧道等结构形式, 在场地条件允许情况优先选用分离式隧道, 若净距不能满足分离式隧道而连拱隧道又过于复杂, 采用小净距隧道的结构形式能更好地满足场地和施工便利性要求, 但小净距隧道施工时应确保中夹岩稳定, 需严格控制施工期间相互影响^[1]。

常规两洞小净距隧道根据《公路隧道设计规范第一册土建工程》^[2]和《公路隧道设计细则》^[3]规定进行一系列加强设计, 现已有大量工程经验。多条小净距隧道除保证隧道设计加强外, 还应合理要求施工顺序, 避免施工期间相互影响, 类似工程案例较少, 特别是大跨度隧道群项目。

1 隧道概况

某工程项目位于广西钦州, 共设计矿山法隧道四条。其中 B1 号隧道起讫里程 B1K0+000~B1K0+266, 长 266 m, B2 号隧道起讫里程 B2K0+028~B2K0+230, 长 202 m, B3 号隧道起讫里程 B3K0+028~B3K0+234, 长 206 m, B4 号隧道起讫里程 B4K0+028~B4K0+237, 长 209 m。B1 隧道洞口与 B2~B4 洞口错幅约 60 m, 为偏压隧道, 一侧采用抗滑桩确保 B1 隧道稳定性。

隧道两侧接道路, 隧道间净距受制于中央分隔带及侧分带宽度、场地红线要求不能采用分离式隧道布置, 中间双向八车道采用连拱隧道布置工程风

险较大。综合考虑四条隧道平面布置如图 1 所示。

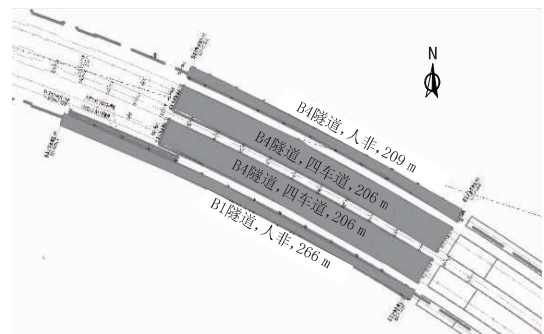


图 1 B1、B2、B3、B4 隧道平面布置图

该项目为 B1、B4 隧道为人非, 建筑限界净宽 6.25 m, 横断面组成为 0.5 m 侧向宽度 + 3 m 非机动车道 + 0.25 m 分隔带 + 2.5 m 人行道, 建筑限界净高 2.5 m。隧道结构净宽 6.55 m, 结构净高 5.525 m, 隧道内轮廓为直墙曲拱形, 拱部半径为 3.275 m (见图 2)。

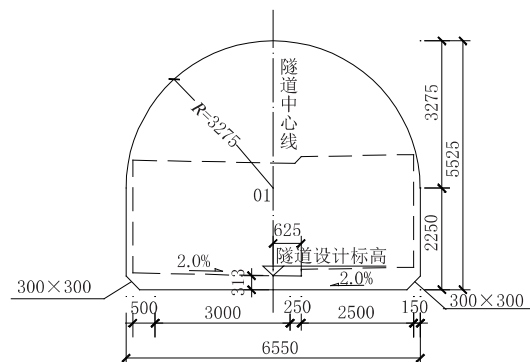


图 2 B1、B4 隧道内轮廓横断面图(单位: mm)

B2、B3 为双向八车道, 建筑限界净宽 17.50 m, 横断面组成为 0.75 m 检修道 + 0.75 m 侧向宽度 + 14.5 m 机动车道 + 0.75 m 侧向宽度 + 0.75 m 检修道, 建筑限界净高 5 m。隧道结构净宽 18.121 m, 结构净高 11.469 m, 隧道内轮廓 R1 为 10 m, R2 为 5.5 m, R3 为 1.5 m, R4 为 20 m (见图 3)。

收稿日期: 2022-03-16

作者简介: 肖敏(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事岩土工程与地下结构设计研究工作。

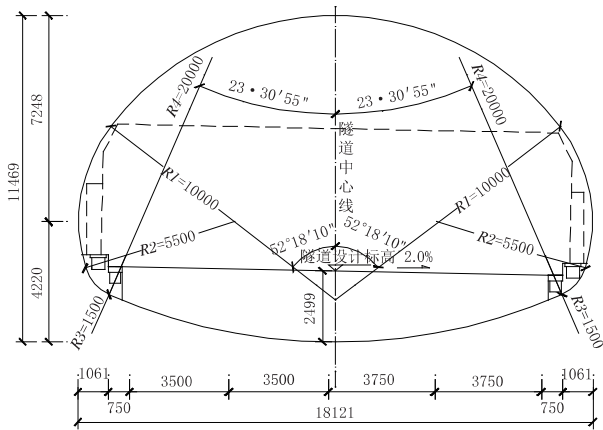


图 3 B2、B3 隧道内轮廓横断面图(单位:mm)

B1、B4 隧道布置在两侧,为人非通道,B2、B3 双八通道布置在中央,中央分隔带及侧分带宽度均为 9 m。B1~B4 隧道横断面布置如图 4 所示。

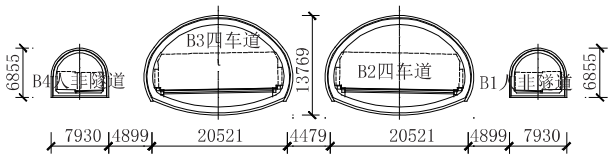


图 4 B1~B4 隧道剖面布置图(单位:mm)

隧道设计标高离地面最大约 60 m,由于洞外红线及征地拆迁限制,四条隧道均采用小净距布置形式,B2、B3 中夹岩的厚度最小仅 4.479 m。B1、B2 和 B3、B4 中夹岩的厚度最小仅 4.899 m。

该项目设计重难点、规范要求及该项目采取措施如下:

(1) B1 与 B2、B2 与 B3、B3 与 B4 隧道间净距较小,最小仅 4.479 m,中夹岩如何保持稳定。规范建议对中夹岩进行加固,该隧道采用对拉预应力锚杆方式进行加固。

(2) 四条隧道施工过程中如何控制后续隧道开挖对已建隧道影响。规范中仅有两条隧道相互施工影响控制规定。该项目为控制影响,按常规方式先行施工 B2、B3 隧道,待 B2、B3 二次结构施工完毕后,采用机械开挖方式施工 B1、B4 隧道。

(3) B1 为偏压隧道,除按偏压隧道进行衬砌设计外,还应平衡隧道两侧岩土压力,确保隧道整体稳定。规范对于偏压隧道衬砌受力设计有详细要求,两侧不平衡力处理方式有反压、回填、挡墙、抗滑桩等建议,该项目采用抗滑桩进行处理。

2 工程水文地质

2.1 工程地质

根据地勘钻孔取芯结果,隧道范围的地层主要为黏土层、强风化砂岩、中风化砂岩。

黏土层:颜色为黄灰色,状态硬塑,局部含少量碎石,揭示层厚 2.5 ~ 7.1 m,平均厚度 3.76 m,属于土层。

强风化岩层:主要岩性为砂岩,岩石较软,钻芯取样为较破碎到破碎,岩体裂隙发育较多,按照规范计算分级判断为 IV 级软石。

中风化岩层:主要岩性为砂岩,岩石较硬,较完整,偶见裂隙,岩芯多呈长柱状,局部少量为短柱状,局部地段岩芯受轻敲后易断裂,断裂面较光滑。按照规范计算分级判断为 V 级岩石且为次坚石。

隧道洞口处于强风化岩,洞身由于隧道埋深较深,主要处于中风化岩层范围。

2.2 水文地质

隧道范围山体经钻孔物探等手段发现地下水主要为孔隙水,由于地形不平缓,大气降水快速经山体排泄,且水量不大。

根据渗透系数综合判断,隧道内粘性土和强风化砂岩为弱透水层,中风化砂岩为弱透水层。

2 隧道衬砌设计

复合式喷锚衬砌支护参数可采用工程类比法或数值计算法确定,在施工过程中应结合现场监控量测资料进行设计。

该隧道设计采用复合式衬砌形式。根据隧道断面尺寸、所处围岩级别,以及类似工程经验,初期支护以锚杆、喷射混凝土、钢拱架及钢筋网组成综合支护体系。B2、B3 隧道初期支护 300 mm 厚 C25 喷射钢纤维混凝土,预留变形量 150 mm,二次衬砌为 800 mm 厚 C40 防水钢筋混凝土衬砌;B1、B4 隧道初期支护 180 mm 厚 C25 喷射混凝土,预留变形量 50 mm,二次衬砌为 4 800 mm 厚 C40 防水钢筋混凝土衬砌。图 5 为隧道中夹岩处理剖面图。具体设计参数见表 1 所列。

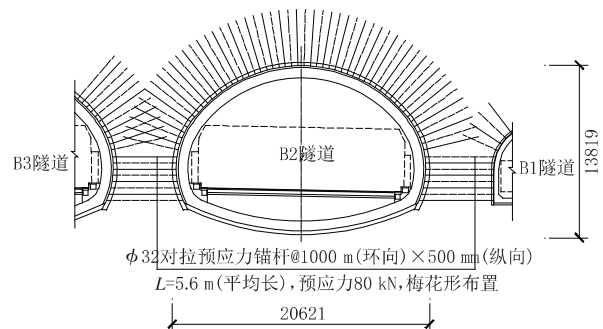


图 5 隧道中夹岩处理剖面图(单位:mm)

由于中夹岩宽度较窄,采用锚杆施工空间不能满足,因此采用对拉预应力锚杆措施,中夹岩柱对拉

表 1 隧道复合式衬砌支护参数表(V级围岩)

隧道	初期支护				预留变形量	二次衬砌 C40 钢筋混凝土
	C25 喷射混凝土	钢筋网	锚杆	钢拱架		
B2、B3	30 cm(含仰拱)	喷射钢纤维	D25 中空, L=5.0 m @0.5 m × 1 m, 中夹岩对拉预应力锚杆	HK200b@0.5 m	15 cm	80 cm (含仰拱)
B1、B4	18 cm	Φ8, 单层 20 cm × 20 cm	D25 中空, L=3 m @1.2 m × 1.2 m, 中夹岩对拉预应力锚杆	I12@1.2 m	5 cm	40 cm (含仰拱)

锚杆采用 5.6 m 左右长 $\phi 32$ 的螺纹钢筋, 环向间距 1 m, 纵向间距 0.5 m, 梅花形布置, 施加预应力 80 kN, 确保中夹岩稳定。

B1 偏压隧道处理(见图 6): 隧道两侧偏压高度约近 21 m, 采用抗滑桩 + 放坡方式, 桩顶控制到隧道顶上约 3 m, 桩顶以上采用两级 1 : 0.75 锚钉框架梁边坡。经计算采用直径 1.8 m 旋挖钻抗滑桩, 桩间距 2.8 m, 桩间采用 300 mm 混凝土模筑混凝土。

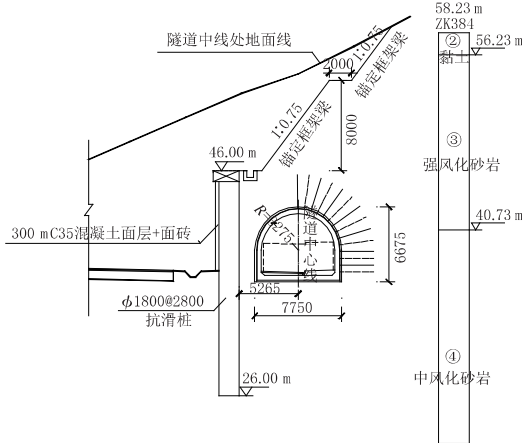


图 6 B1 偏压隧道抗滑桩处理断面图(单位: mm)

3 辅助施工措施

3.1 超前支护

对于 B1、B2、B3、B4 隧道洞口段, 由于隧道围岩条件较差, 均采用超前管棚支护形式以确保围岩稳定性。

对于 B2、B3 隧道洞身段 V 级围岩地段, 采用超前小导管预注浆的措施以保证结构安全(见图 7)。B2、B3 隧道超前小导管拟采用纵向间距 3.5 m 的直径 42 mm 壁厚 4 mm 的热轧无缝钢管, 长度为 5.0 m, 纵向搭接长度大于 1 m, 注浆材料采用双浆。

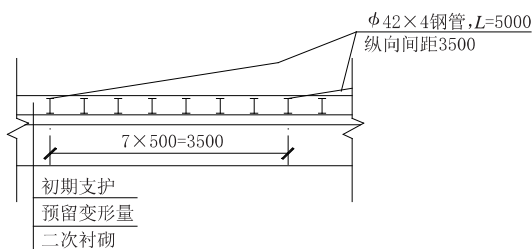


图 7 B2、B3 隧道超前小导管处理措施图示(单位: mm)

B1、B4 隧道由于开挖断面小, 不采用超前支护。

3.2 施工工法

考虑到该隧道 B2、B3 隧道开挖断面大, 施工中本着“化整为零”的原则。对于洞身 V 级围岩段采用双侧壁法施工; 由于 B2、B3 隧道施工风险大, 施工过程中需严格按照新奥法动态化设计施工原则, 根据监测量测结果及时反馈设计, 同步调整开挖节奏, 确保隧道整体安全可控。

对于 B2、B3 隧道, 由于两隧道净距仅 4.479 m, 左、右主洞开挖掌子面错开间隔根据规范要求应不小于 40 m, 同时施工中 B2、B3 隧道主洞开挖掌子面应确保不相互产生不利影响为前提。当根据监测量测的成果发现 B2、B3 隧道初期支护变形不收敛时, 应立即进行补强、提前浇筑二次衬砌。

B1、B4 隧道由于开挖断面较小, 采用台阶法开挖方式。

3.3 施工顺序

由于 B1~B4 隧道间距过近, 为减少相互影响, 先行施工 B2、B3 大断面隧道, 待 B2、B3 隧道二次衬砌结构施工完毕后, 再行开挖 B1、B4 隧道。为减少影响, B1、B4 隧道需采用非爆破开挖技术。

B1 隧道由于与 B2~B4 隧道洞口错台, 需设置抗滑桩确保 B1 隧道整体稳定。

四条隧道具体施工工序如下: (1) 开挖至 B1 隧道抗滑桩顶标高; (2) 施工抗滑桩; (3) B2~B4 隧道洞口外路基开挖; (4) 先采用爆破开挖施工 B2、B3 隧道, 两个隧道的施工工序要求见相关要求; (5) 待 B2、B3 隧道的二次衬砌施工完毕后方可考虑 B1、B4 隧道的施工; (6) B1、B4 隧道的开挖使用非爆破施工技术, 由于该项目岩石为软岩, 采用机械开挖方式, 以避免对已建 B2、B3 隧道主体结构的影响。

3.4 施工监控量测、超前地质预报

根据 B1~B4 隧道地质特点和结构形式, 矿山法隧道监控量测必须按规范要求进行。同时, 由于该项目有四条小净距隧道, 除了对先行施工 B2、B3 隧道进行常规监测外, 在 B1、B4 隧道施工时应加强对已

完成二衬施工的 B2、B3 隧道位移监测(见图 8、图 9)。

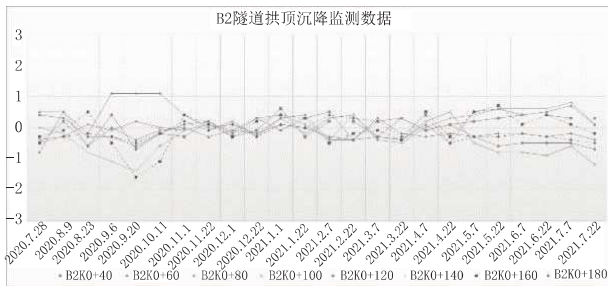


图 8 B2 隧道拱顶监测位移图(单位:mm)

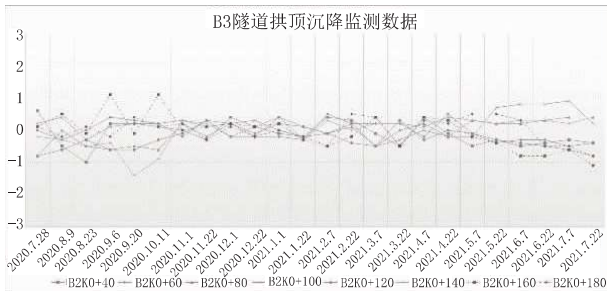


图 9 B3 隧道拱顶监测位移图(单位:mm)

根据监测数据,B2 隧道拱顶沉降最大为 1.6 mm,且日变化量小于 0.2 mm/d。B3 隧道拱顶最大沉降为 1.4 mm(见表 2、表 3)。

表 2 围岩位移报警值一览表

位移/mm	施工状态
$U < U_d/3$	正常施工
$U_d/3 < U < 2U_d/3$	加强支护
$U > 2U_d/3$	采取特殊措施

注:U- 围岩位移监测值;U_d- 围岩位移设计值

表 3 围岩位移速率报警值一览表

位移速率/(mm·d)	围岩状态
<0.2	基本稳定
0.2 ~ 1.0	尚未稳定,加强观测
>1.0	急剧变形,采取措施

位移总值小于 1/3 位移设计值(预留变形量)且日变化量小于 0.2 mm/d。因此 B2、B3 隧道在隧道施工期间拱顶沉降稳定。

在 B1~B4 隧道掌子面开挖前,应采用超前地质预报方式对隧道前方围岩状况进行探测,预报

B1~B4 隧道前方围岩地质情况。如探测结果显示可能存在不良地质,应采取地质雷达进一步验证。必要时,B1~B4 隧道需布置超前探孔以准确定位不良地质的范围及规模,便于提前处治。施工前应有不良地质应急预案。该工程在施工过程中,超前地质预报未发现不良地质。

3.5 施工中遇到问题及处理措施

由于设计采用对拉预应力锚杆进行中夹岩加固,待 B2 先行隧道开挖完毕后打入对拉锚杆,后行隧道 B3 爆破开挖时锚杆破坏较严重,张拉质量难以保证。后经各方讨论决定对 B3 隧道拉锚杆范围采用机械缓慢开挖方式,确保对拉锚杆施工质量。

4 结论

此大跨度小净距矿山法隧道群已于 2018 年开工建设,2021 年 11 月建成,施工过程中监测变形数据均满足规范,B2、B3 隧道在整体隧道施工过程中稳定,整体结构安全。图 10 为隧道现场实景。



图 10 隧道现场照片实景

因此对于多条小净距大跨度隧道,施工过程中先行施工中间隧道,控制左右洞开挖间距,确保中夹岩稳定。待 B2、B3 隧道二次衬砌施工完毕后采用非爆破开挖技术施工 B1、B4 隧道,减少隧道群之间相互影响。此工程为以后此类隧道设计施工积累了宝贵工程经验。

参考文献:

[1] 夏明耀,曾进伦.地下工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
 [2] JTG 3370.1—2018,公路隧道设计规范第一册土建工程[S].
 [3] JTG TD70—2010,《公路隧道设计细则》.