

中老铁路万荣隧道桩基托梁跨越溶洞施工技术

李 强， 李 刚

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

摘 要:介绍了中老铁路磨万线万荣隧道 DK294+700~DK294+770 段岩溶整治采用桩基托梁跨越溶洞的处理方法,既保证了隧洞施工安全,又保证了工期,所取得的经验可为今后岩溶地区类似工程的设计和施工提供参考。

关键词:铁路隧道;桩基托梁;溶洞;跨越;施工技术;中老铁路

中图分类号:[U24];[U25];U21;U215 文献标识码: B 文章编号:1001-2184(2019)04-0001-04

Construction Technology of Pile Foundation Joist Crossing through Karst Cave in Vang Vieng Tunnel of China-Laos Railway

LI Qiang, LI Gang

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: This paper introduces the treatment method of adopting pile foundation joist crossing through karst cave in karst treatment in DK294+700~DK294+770 section of Vang Vieng Tunnel of Boten-Vientiane Line of China-Laos Railway, which not only ensures the safety of tunnel construction, but also guarantees the construction period. The experience gained can provide reference for the design and construction of similar projects in karst areas in the future.

Key words: railway tunnel; pile foundation joist; karst cave; crossing through; construction technology; China-Laos Railway

1 概 述

新建中老铁路磨丁至万象段起于中老边境磨丁口岸,止于老挝首都万象市,线路全长 414.332 km,全线采用中国技术与标准。万荣地区碳酸盐岩广泛分布,地表呈现典型喀斯特地貌,岩溶弱~强烈发育,局部岩溶地段地面塌陷现象严重,其中易、极易塌陷区严重影响到铁路的运营安全,因此,处理好岩溶对隧道施工非常关键,是决定磨万铁路工程成败的重要因素之一。

万荣隧道位于老挝万荣,为Ⅰ级单线客货共线铁路,由电力牵引,设计行车速度为 160 km/h,轨道结构型式为有碴轨道,全长 1 825 m。隧道按“新奥法”原理设计,采取曲墙带仰拱衬砌结构,钻爆法开挖、喷锚支护、模筑混凝土衬砌。隧道衬砌内轮廓轨面以上的有效净空为 42.06 m²,中线处净高 7.1 m,万荣隧道典型断面情况见图 1。

隧区属低山溶蚀、剥蚀地貌,地面标高 210~550 m,相对高差 240 m,自然坡度为 30°~40°,局部为陡壁。隧道进口段坡度较陡,基岩大部分出

露;洞身段植被较好,基岩出露差;出口地形起伏不大。隧道起讫里程为 DK294+643~DK296+468,全长 1 825 m,最大埋深 212 m。不良地质情况为仰坡顺层与岩溶。隧区地表上覆第四系全新统冲洪积层粉质黏土、松软土、粗圆砾土、卵石土、坡残积层粉质黏土。下伏基岩为三叠系砂岩、泥岩夹石英砂岩、煤层,二叠系灰岩夹页岩,石炭系砂岩、板岩夹灰岩。

地表水以楠松河河水为主,楠松河为隧区最大的河流,水量较大,属常年流水,受大气降雨补给,流量随季节及降雨量而变,旱季水质清澈透明,雨季水量暴涨而浑浊,部分沿土层孔隙下渗补给地下水。地下水以土层孔隙潜水和基岩裂隙水、岩溶水为主。灰岩含较丰富的岩溶水,但埋藏较深,隧道处于季节变动带,地表水、地下水对混凝土结构无侵蚀性。

万荣隧道进口于 2017 年 4 月正式进洞,施工至 DK294+720 处时,左侧边墙揭示一溶腔,后续施工中于 DK294+742 左侧拱脚、DK294+745 右侧边墙、DK294+760 掌子面、DK294+762 右

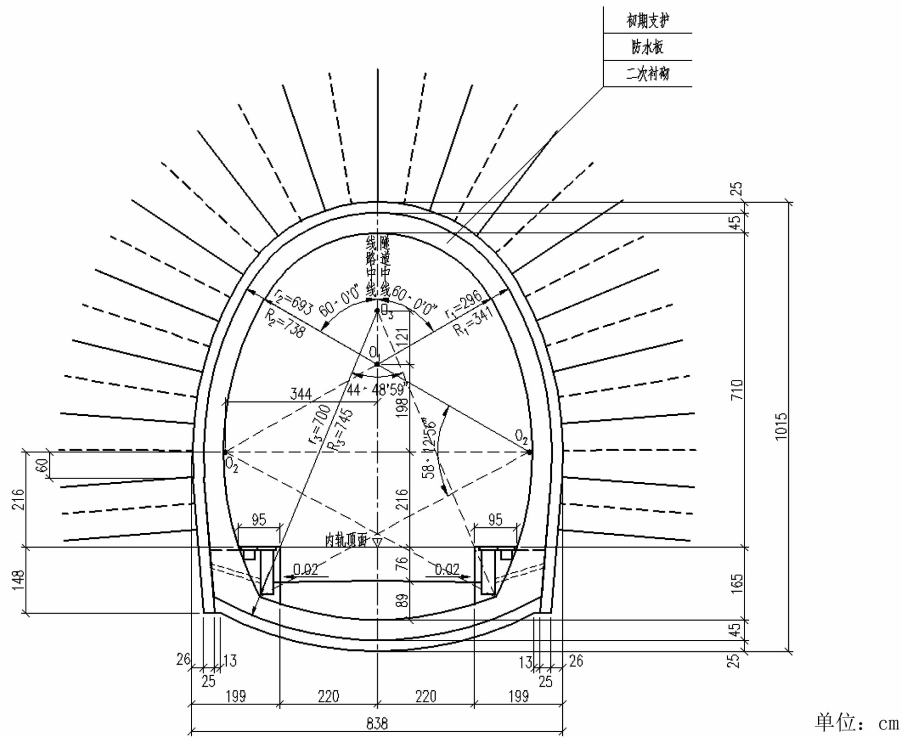


图 1 典型设计断面图

侧拱腰多次揭穿溶洞,开挖揭示的溶洞类型为空洞型及半填充或少许填充型,溶洞内可见钟乳石及石芽,无径流,洞壁稳定。项目部为探查隐伏的岩溶,在确保施工质量和安全的前提下,按 5 m 一个断面完成基底探测,施钻了 33 个孔,其中 22 个钻孔总计揭示 29 个溶洞,钻孔见洞率为 66%,探明洞内岩溶发育强烈,最大溶洞高约 10 m,主要分布于标高 220~229 m 范围内。岩溶形态描述如下:

(1)DK294+703~DK294+725 段。于线路左侧边墙揭示溶腔,尺寸约 4.8 m×17 m×8.7 m(宽×长×高),溶腔位于隧道结构线以外,溶腔纵向与线路走向交角约 10°~15°,在 DK294+720 处有向基底延伸的趋势,无填充物。

(2)DK294+725~DK294+755 段。于 DK294+742 左侧拱脚揭示溶洞,溶洞内侧距边墙约 2.5 m,洞口宽度约 4 m,径向深度约 3.8 m。可测高度约 3.5 m,溶腔内无填充物,溶洞右侧沿轴向掌子面有延伸趋势。于 DK294+745 处掌子面及线路右侧边墙发现两处溶腔。掌子面溶腔最大尺寸约 3.2 m×18 m×6.8 m(宽×长×高),溶腔位于隧道范围内,无填充物,有滴水痕迹,溶腔

上部有向掌子面前方延伸的趋势;右侧溶腔最大尺寸约 3.7 m×21 m×2.6 m,溶腔位于隧道范围之外,有填充物与滴水痕迹,该溶腔有向右侧及掌子面前方延伸的趋势。该段基底岩溶发育,顶板最小厚度仅 3.5 m,溶洞顶板至底板的高度为 1.4~7.5 m,且为连通型。

(3)DK294+755~DK294+770 段。于 DK294+760 掌子面左侧揭示一溶腔,位于结构线以外,尺寸约 4.5 m×3.15 m×10 m(宽×长×高),溶腔从拱顶左侧向右侧延伸;于 DK294+762 右侧揭示一溶腔,尺寸约 2 m×3 m×2.8 m(宽×长×高),从右侧拱脚处以 42°的角度斜向下延伸约 4 m,宽约 2.5 m,溶腔顶部沿裂隙向上延伸。该段基底岩溶较发育,溶洞顶板至仰拱厚度为 8.4~11.8 m,溶洞顶板至溶洞底板的高度为 0.9~2.3 m,规模小且局部连通。

2 针对溶洞采取的处理方法

根据施工开挖揭示的地质条件及补勘揭示的溶洞规模、充填物性质,结合现场施工情况并考虑结构安全,最终决定对 DK294+729.25~DK294+752 段隧底设桩基托梁结构,将衬砌结构调整

墙封堵及圬工回填^[1]。

2.1 洞身溶洞的处理

对于洞身边墙外侧揭示的溶洞,对其清理洞内危石及填充物后采用混凝土回填并设置混凝土挡墙封堵洞口。溶腔顶部预留排水通道并设置φ100 PVC 排水管将溶腔顶部的渗水直接引入侧沟,对排水管露出部分打孔并外裹土工布。

2.2 隧底溶洞的处理

对 DK294+725~DK294+755 段隧底设置桩基托梁结构,桩位处托梁间设置横联。左右侧

托梁中心线距隧道中线 2.78 m,桩截面积为 1.5 m×1.5 m,梁截面积为 1.5 m×1.5 m。左托梁长 30 m,右托梁长 25.75 m。左侧托梁下设 1#、3#、5#、7#、9# 桩,长度分别为 11 m、11 m、12 m、12 m、12 m;右侧托梁下设 2#、4#、6#、8#、10# 桩,长度分别为 11 m、9 m、12 m、12 m、12 m,桩底嵌入基岩的深度不小于 2 m。桩位托梁间设置横联,横联截面尺寸为 1 m×1 m,长 4.06 m,共 5 根。桩基托梁及横联采用 C35 钢筋混凝土。桩基托梁布置平面情况见图 2。

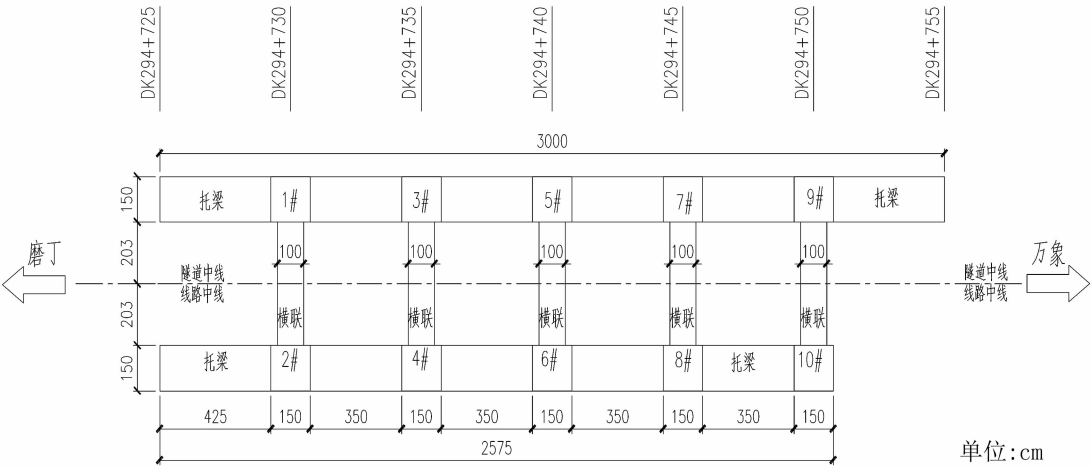


图 2 桩基托梁布置平面图

3 桩基托梁施工技术

3.1 桩基施工

桩基托梁位于隧道内。由于其施工受场地限制,同时桩基完全处于岩溶强烈发育区内,故其孔桩的开挖采用跳桩间隔施工。

(1) 桩孔锁口护壁施工。由于桩孔锁口高出地面 30 cm 以上,为保证出渣车辆行走时锁口的稳定,将锁口厚度确定为 60 cm。隧道侧沟流入端头设置的集水井后由机械抽排至洞外,避免洞内积水流入桩孔。根据施工揭示的围岩情况,采用 20 cm 厚 C20 钢筋混凝土护壁,护壁钢模采用 4 块钢模板,插口连接。护壁钢筋在现场加工,孔内绑扎并留足连接长度以便搭接。护壁混凝土浇筑分层沿四周入模,钢钎捣实,施工前将上节护壁底清理打毛以便连接牢固。为便于施工,在模板顶设置了由角钢、钢板制成的临时操作平台供混凝土浇筑使用。每节护壁模板拆除后,将桩控制轴线、高程引到每节混凝土壁上,可用十字线对中、吊线锤测出中心线,根据基准点测设孔深。孔

口周围设警示标志,挖孔停止后应使用厚 16 mm 的钢板立即覆盖,防止人员与设备等坠入孔内。

(2) 桩孔施工。对于桩孔的施工,强风化层以风镐开挖为主,以减轻开挖对桩孔的震动;对于石质较坚硬的地段,使用风钻浅眼爆破,爆破所用的炸药选用小药卷乳化炸药,爆破方法选用预裂爆破技术,同时严格控制每次的爆破进尺,每次开挖的爆破深度为 0.6~0.8 m,挖至距桩底标高 0.5 m 时,采用风镐找平桩底,以免破坏持力层的强度。

在桩孔开挖过程中,一定要加强桩底超前地质预报和有毒有害气体的监控。爆破钻孔时,施作 2 孔、5 m 长的加深炮孔,结合地质补勘报告,及时准确地掌握不同岩性变化界面及桩底距溶洞顶的厚度,预报可能出现突泥突水的地点、涌水量的大小、地下水中的泥砂含量及对施工的影响,及时制定相应的应对措施^[2,3]。

(3) 桩孔的补强。在岩溶段桩基开挖中经常会遇到饱含填充物的溶腔,极易出现塌孔现象。

为解决该施工难点,采用小导管预注浆超前支护。注浆材料采用 425 号水泥和 II 型水玻璃双液浆,注浆压力为 1.5 MPa。若桩基溶洞内无填充物或填充物不满,则采取先填充碎石或干砂,然后注浆固结;若填充物呈松散或软塑状态时则直接注浆加固;若填充物已固结呈硬塑状态或溶洞填充物为大块石时则直接开挖,但需加强钢模板护壁^[4]。

(4) 桩身钢筋笼的制安及混凝土灌注。桩孔施作完毕,立即清底并用高压水冲洗护壁,做到桩孔内及护壁平整、无松渣、泥污等。隐蔽工程验收合格且桩底地质情况确认后,立即进行钢筋制安。施工时在孔口设置通风机加强通风。隧道内的桩孔钢筋安装因受高度限制而无法实现吊装作业,只能在孔内现场绑扎。为方便现场作业人员下放主筋并绑扎焊接钢筋,在桩孔内每隔 3 m 设置 1 m 宽的工作平台。

灌注桩混凝土灌注前进行渗水量测定,当涌水量未超过 0.3 L/s 时,采用普通方法浇筑;涌水量超过 0.3 L/s 且桩孔积水深度大于 100 cm 时,采用水下混凝土灌注。鉴于 5 号、6 号、7 号、10 号桩基与溶腔连通、过水量大,故采用水下灌注工艺;其余桩基孔内渗水抽排干净后应及时早桩灌注。灌注过程中桩芯混凝土必须一次性浇灌完成。桩芯浇灌时严格控制每根桩顶的标高,并在护壁上刻出标高控制标志。

灌注混凝土采用溜槽将集料输送至井口下料斗,由串筒或导管导入井底,早桩每层的灌注高度不超过 30 cm,分层捣实直至桩顶。振捣方法:由井下的操作工人每 30 cm 振捣一遍,每遍为 15~20 次,串桶中间用尼龙绳吊牢以防其脱落伤人,串桶下口距现浇混凝土面应保持在 1.5 m 内,随混凝土面的增高逐节由井下工人拆除,桩顶混凝土在混凝土初凝前抹压平整,避免出现塑性收缩裂纹或环向干缩裂缝。水桩混凝土灌注前应准确计算出首批混凝土方量,灌注过程中每车混凝土灌注完成或预计拔导管前量测孔内混凝土面的位置,以便及时调整导管的埋深。导管的埋深一般控制在 2~6 m,最小不得小于 1 m。当浇筑速度较快时,可适当提高其深度,但不得超过 8 m。灌注完的桩顶标高应比设计标高高 0.5~1 m。对其高出部分,在混凝土强度达到 80% 以上后凿除,凿除时防止损毁桩身。

3.2 托梁及横联的施工

在托梁与横联的施工过程中,受限于单线隧道净空限制,无法保证隧道内的交通通畅,需暂时封闭掌子面、停止掘进,集中施工托梁横联。托梁横联完成后,及时施作底板和隧道的永久衬砌,尽快由隧道底板、边墙和拱墙组成封闭的支护圈。

托梁及横联的基础框架和隧道底板结构均座落在密实的岩层上,以满足结构受力需要,横联顶部与托梁顶平齐。变形缝宽为 2 cm,采用钢边止水带、聚硫建筑密封胶、聚乙烯泡沫塑料板防水^[5]。

4 结 语

(1) 经现场科研、设计、施工单位技术人员的密切配合,对万荣隧道岩溶段的整治目前已全部结束,由监测得知,隧道无下沉、衬砌无开裂现象发生,整治效果良好,既保证了隧道施工安全,又确保了工期,为类似工程施工积累了经验。

(2) 采用桩基托梁跨越溶洞的措施处理隐伏溶洞方法简单、快捷,所需机具设备简单,结构安全系数大,从安全和经济效益考虑,梁跨方案优势明显。

(3) 对于隧道揭示的岩溶管道或溶隙径流较大、可能会对隧道结构及运营安全造成影响时,除保持原有自然排泄通道的顺畅,确保原设计方案中防排水施工的质量外,必要时可增设泄水洞引排岩溶水,以确保隧道防排水体系的安全有效。

参考文献:

- [1] 孙正兵,岳建,赖新军,等.高速铁路上郭关隧道施工遭遇大型溶洞的处理方案研究[J].铁道标准设计,2015,31(11):83-87.
- [2] 杨昌宇.岩溶地区隧道设计的几点思考与建议[J].现代隧道技术,2011,48(1):90-92.
- [3] 李维,泓江峰,张海波,等.用于大型空洞回填的大体积空心混凝土结构[J].铁道标准设计,2015,31(11):83-87.
- [4] 周威锦.岩溶隧道跨越暗河及穿越大型充填溶洞处理技术[J].四川建筑,2015,22(3):93-94.
- [5] 江伟忠.钻孔灌注桩施工溶洞处理的几点认识[J].中南公路工程,2001,26(4):76-77.

作者简介:

李 强(1980-),男,四川成都人,高级工程师,从事铁路工程建设施工技术与管理工作;

李 刚(1984-),男,四川成都人,工程师,从事铁路工程建设施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)