

文章编号:1671-6833(2012)03-0028-05

下穿既有铁路大跨度架空顶进箱涵的设计与施工关键技术

金继伟

(河南省交通规划勘察设计院有限责任公司,河南 郑州 450052)

摘要:高速公路穿越既有铁路时,对于上覆填土较低大跨度斜交顶推箱涵的设计和施工始终是一个难点。结合洛三高速公路改扩建工程澗陈立交桥的工程,根据其上覆填土较低的特点,采用了架空顶进的方案。该方案针对铁路线路架空安全可靠要求高、施工过程中不间断铁路行车等特点进行了设计,系统地线路加固方案中的便梁支墩挖孔桩的验算、顶进设计中的顶力计算、顶进设备、钢轨后背设计、施工时的施工条件、顶进作业工作顺序、施工注意事项等进行了详细阐述,解决了下穿既有铁路大跨度架空顶进箱涵的设计及施工关键技术,为同类工程提供了理论基础和工程实例,为解决上覆填土低的大跨度顶推箱涵提供了重要的技术支持。

关键词:下穿既有铁路;架空顶进;设计;施工技术

中图分类号:U448.27

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.03.007

0 引言

高速公路穿越既有铁路时,在保证铁路安全运行的前提下,将在铁路路基一侧预制好钢筋混凝土箱型框架,采用高压油泵带动油压千斤顶,并借助于预先修好的后背支承,顶入铁路路基内,成为一座铁路立交桥涵,这种方法称之为顶进法。近年来,随着高速公路建设里程的不断增长,采用顶进法穿越既有铁路越来越多。当上覆填土较低时,对于大跨度斜交顶推箱涵,由于无法形成卸载拱效应,同时由于顶推箱涵与覆土间的摩擦,容易产生路基沉降,难以保证铁路的正常运行,因此需要针对这种情况进行专门地分析研究。目前国内学者对此进行了一些研究,其中杨燕、洪达飞等^[1-2]对既有顶进箱涵的设计、计算进行研究,对铁路的路基、箱涵顶进及就位情况的检测方法进行了研究,提出了合理的方法和建议,保证了铁路行车畅通和安全,为今后下穿铁路顶进箱涵的设计、施工、监控等提供了借鉴。但对线路架空安全性以及顶进钢轨后背桩的设计研究较少,缺乏更深入地系统研究。笔者在对洛三高速公路改扩建工程澗陈立交桥的设计中,针对上述箱涵特点,采用了架空顶进的方案,使箱涵顶进在铁路线路架空的状态下进行。笔者依托该工程对下穿既有铁路

大跨度架空顶进箱涵的设计及施工关键技术进行了系统地总结,为今后同类工程的设计和施工提供参考。

1 工程概况

澗陈立交桥桥址位于连霍高速公路洛阳至三门峡段改扩建工程(RK66+000~RK76+000),全长10 km,属山区重丘区路段。按单向四车道高速公路标准修建,计算行车速度100 km/h,路基宽19.5 m,沥青混凝土路面,桥梁设计荷载为公路I级,主线路基横断面为右侧整体式加宽。

澗陈立交桥为钢筋混凝土箱涵,与既有义煤运输铁路成斜交60°,采用顶进施工,顶进长度为11.8 m,设计涵体净高为9.7 m,净宽为23.25 m,涵底标高532.474 m,板顶标高532.174 m,涵上既有线轨顶标高为533.78 m,其箱涵立面图如图1所示。

2 设计与施工关键技术

2.1 线路加固方案

在顶进施工中,为确保被顶进铁路的行车安全和施工安全,必须在顶进作业前对既有铁路线路进行加固,本项目线路架空采用便梁法,即沿铁路纵向设置便梁架空线路,便梁接头处采用高强

收稿日期:2012-03-12;修订日期:2012-03-29

作者简介:金继伟(1971-),男,江苏太仓人,高级工程师,主要从事桥梁设计和研究,E-mail:jjwldy@gmail.com.

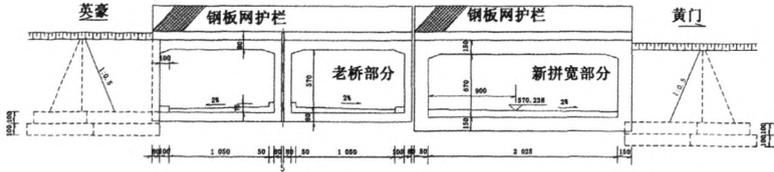


图1 箱涵立面

Fig. 1 Box culverts elevation

度螺栓连接.便梁两端采用1.5 m钢筋混凝土挖孔桩作支点,在纵梁与支撑桩间主架空采用横抬梁连接,横抬梁两端置于1.5 m混凝土挖孔桩上,箱桥顶到相应位置时将混凝土桩拆掉,此时横抬梁已经置于结构顶板上,为减小该处结构顶板上的摩擦力,在顶进过程中横梁下对应位置放置钢滑车减小摩擦力,并在箱桥顶板预埋拉环,用导链锚固铁路轨道,以保证线路的几何形状.在保证行车安全的条件下,施工单位可根据机具设备施工条件自行拟订线路架空方案.其架空正立面图如图2所示,平面图如图3所示.

2.1.1 便梁支墩挖孔桩检算

作用在支墩上的荷载主要有:列车活载,便梁自重,桩身自重等.

查《铁路桥涵设计基本规范》^[3]得 $L = 10.0$ m时, $K_{0.5} = 141.3$ kN/m.

考虑列车荷载动力系数,可求得单个桩顶列车活载为: $P_{活} = 875.35$ kN.

综合便梁自重、钢轨自重和桩身自重,单根挖孔桩顶收到的最大竖向外力: $P = 1\ 413.95$ kN.

2.1.2 挖孔桩单桩承载力计算

按桥涵基础设计规范^[4],摩擦桩轴向受压的容许承载力:

$$[P] = \frac{1}{2}U \sum f_i l_i + \lambda A [\sigma_0] = \frac{1}{2} \times 3.14 \times 1.5 \times (55 \times 2.35 + 40 \times 2.65 + 65 \times 9) + 0.8 \times 1.5^2 \times 3.14 \times 220/4 = 2\ 242.55$$
 kN. (1)

式中: $[P]$ 为桩的容许承载力, kN; U 为桩身截面

周长, m; l_i 为各土层厚度, 第一层为路基填土厚度为3 m, 第二层为粉砂厚度为6 m; A 为桩底支承面积, m^2 ; λ 为系数, 按照规范要求取0.8; f_i 为桩周土的极限摩阻力, kPa, 取55, 40, 65 kPa; $[\sigma_0]$ 为桩底基础承载力, kPa, 取220 kPa.

桩身承载力验算:

$$P = 1\ 413.95$$
 kN < $[P] = 2\ 242.55$ kN.

故桩身承载力满足要求.

2.1.3 桩稳定性检算

$$\sigma_h = P_{max} / [\varphi A] = 1413.95 / (0.7 \times \pi \times 1.5^2 / 4) = 1.143$$
 MPa < 5.5 MPa. (2)

故桩身稳定性满足要求.

2.2 顶进设计

2.2.1 顶力计算

要设计后背墙截面尺寸, 首先要进行最大顶力计算, 箱涵的顶进从启动开始, 至涵洞全部入土时所需之力为最大. 计算时, 应根据顶进箱涵的长度、土质的性质、地下水情况、箱涵的外形及施工方法等因素确定, 按TB 1002.1—2005《铁路桥涵设计基本规范》^[3]桥规第11.2.2条(2-132)式:

$$P = K[N_1 f_1 + (N_1 + N_2) f_2 + 2E f_3 + RA].$$
 (3)

式中: $K = 1.2$; f_1 为桥顶表面与顶部荷重之间的摩阻系数, 取 $f_1 = 0.3$; f_2 为箱底板与基底土的摩阻系数, 取 $f_2 = 0.8$; f_3 为侧面摩阻系数, 取 0.8 ; $R = 55$ t/m².

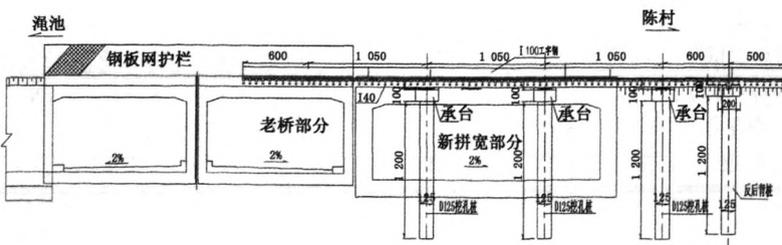


图2 架空正立面

Fig. 2 Aerial front elevation

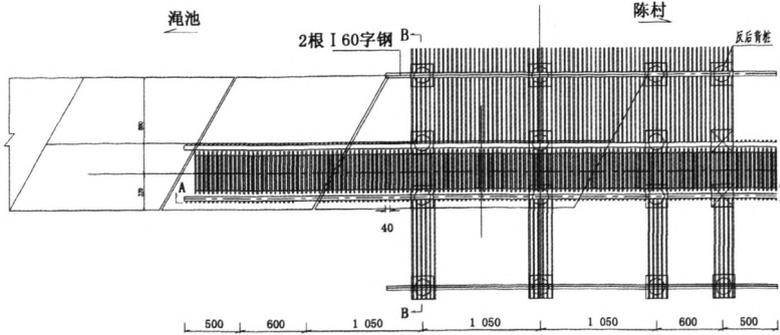


图3 架空平面

Fig.3 Aerial plane

A 为钢刃角正面积, $A = 0$; $RA = 0$; N_1 为箱顶上荷重; N_2 为箱自重; E 为箱两侧土压力。

计算得 $P = 3\ 913.554\ t$, 箱涵最大顶力为: $3\ 913.554\ t$ 。

2.2.2 顶进设备

所需千斤顶台数计算过程如下。

$$N = P_{mas} / T \cdot \eta$$

式中: N 为需用千斤顶台数; T 为千斤顶额定推力; η 为千斤顶的功率系数。采用 $320\ t$ 顶镐, $N_2 = 3\ 913.554 / (320 \times 0.7) \approx 18$ 台

确定采用 $320\ t$ 顶镐 18 台, 备用 4 台, 共计 22 台。

22 台顶镐提供的最大顶力: $320 \times 22 \times 0.7 = 4\ 928\ t$ 。

顶镐布置箱桥后端按一层布置。为保证顶点位置不被顶坏, 在箱桥后端两侧各 $5\ m$ 范围内加设 $\delta = 10 \sim 15\ mm$ 钢板, 钢板按箱桥底板立面在 $5\ m$ 范围满铺。

顶镐必须行程一致, 保持同一种顶力, 顶镐及施顶方向必须与桥轴线一致布置, 为使顶镐作用力均匀传至后背, 在后背和顶镐、箱尾与顶铁之间各设分配梁。

顶进桥涵的主体结构前段应设钢刃角, 安设刃角的边墙端线与水平线的夹角应视土质而定, 刃角挑出部分按施工荷载设计。

2.3 钢轨桩后背设计

钢轨桩后背设计时, 考虑黏聚力, 采用将黏性土的黏聚力影响换算成土的内摩擦角的方法计算土压力, 即综合内摩擦角法。后背为粉质黏土, 内摩擦角 $\psi = 30^\circ$, 黏聚力 $C = 35\ kPa$, 土容重 $\gamma = 19\ kN/m^3$,

如图 4 所示, 桩长 $H = 7.1\ m$, $h' = 2.1\ m$, $h = 5\ m$
 综合内摩擦角 $\psi_0 = \arctg[\tg\psi + C / (\gamma \times H)]$
 $= \arctg[\tg30^\circ + 35 / (19 \times 7.1)] = 34.9^\circ$ 。

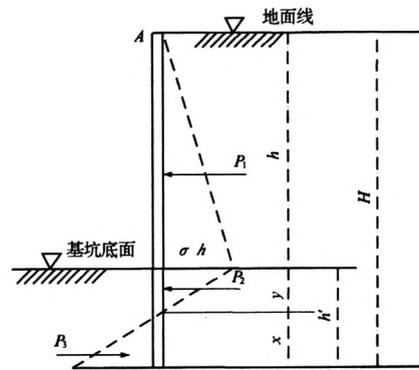


图4 后背计算简图

Fig.4 Back Calculation Sketch

2.3.1 桩后土破裂角

$$\theta = \arctg(45^\circ - \psi_0/2) = 23.6^\circ;$$

$$\text{推力系数: } \lambda = \tg\theta / \tg(\theta + \psi_0) = 0.218;$$

$$\text{主动土压强度 } \sigma_h = \gamma \cdot h \cdot \mu = 20.67\ kN/m^2;$$

$$\text{被动土压系数 } \lambda_p = \tg 2(45^\circ + \psi_0/2) = 4.58;$$

$$\text{主动土压系数 } \lambda_a = \tg 2(45^\circ - \psi_0/2) = 0.22.$$

2.3.2 y 值的计算

设基坑底面以下同一深度 h_0 内主动土压强度为 σ_a , 被动土压强度为 σ_p , 基坑底面桩后产生主动土压力的土层深度为 y , 则有:

$$(\sigma_p - \sigma_a) = \gamma \cdot h_0 (\lambda_p - \lambda_a);$$

$$(\sigma_p - \sigma_a) / h_0 = \gamma (\lambda_p - \lambda_a) = 82.93;$$

$$\text{可得 } y = \sigma_h / \gamma (\lambda_p - \lambda_a) = 0.25\ m.$$

2.3.3 所有外力对桩顶 A 点的力矩

$$P_1 = \gamma/2 \cdot h^2 \cdot \lambda = 51.68\ kN;$$

$$P_2 = \sigma_h \cdot y/2 = 2.58\ kN;$$

$$\Sigma P = P_1 + P_2 = 54.26\ kN;$$

$$M_1 = P_1 \cdot 2h/3 = 172.28\ kN \cdot m;$$

$$M_2 = P_2 \cdot (h + y/3) = 13.10\ kN \cdot m;$$

$$\Sigma M_A = M_1 + M_2 = 185.38\ kN \cdot m.$$

2.3.4 附加深度 x 值的计算

设 x 为在深度 y 下所需的附加深度,则:

$$1/2 \cdot [\gamma(\lambda_p - \lambda_a)x] \cdot x \cdot [2x/3 + y + h] = \Sigma M_A$$

解得 $x = 0.88 \text{ m}$

故钢轨桩需打入基坑底面以下总深度为:

$$h' = y + x = 1.12 \text{ m}$$

现采用 $h' = 2.1 \text{ m}$, 则 $x = h' - y = 1.85 \text{ m}$.

2.3.5 拉力 T 的计算

设钢轨桩顶拉杆拉力为 T

$$P_3 = \gamma(\lambda_p - \lambda_a)x \cdot x/2 \cdot \sigma_x \cdot x/2 = 142.0 \text{ kN}$$

$$T = \Sigma P - P_3 = -87.8 \text{ kN}$$

T 为负值,即拉杆顶端 A 点没有承受拉力,故可不设拉杆。

2.3.6 钢轨桩稳定检算

倾倒地矩为桩后主动土压力对 A 点的力矩总和 ΣM_A , 抵抗倾倒地矩后基坑底面以下桩前被动土压力 P_3 对 A 点力矩 ΣM_3 .

$$\Sigma M_3 = P_3(2x/3 + y + h) = 920.7$$

稳定系数 $K = \Sigma M_3 / \Sigma M_A = 5.0 > 1.3$, 满足要求。

2.3.7 钢轨桩截面计算

控制钢轨桩截面的最大弯矩是开顶后桩后背动土压力所产生的弯矩,作用于分配梁底处,见图5,钢轨桩后背立面见图6。

后背梁下深长度 $L = 0.8 \text{ m}$, $h'' = 2.1 - 0.8 = 1.3 \text{ m}$,

$$q_1 = \gamma(h + L) \text{tg}^2(45^\circ + \psi_0/2) = 505.02 \text{ kN/m};$$

$$q_2 = \gamma(h + h') \text{tg}^2(45^\circ + \psi_0/2) = 618.21 \text{ kN/m};$$

$$e_q = h''/3 \cdot (q_1 + 2q_2)/(q_1 + q_2) = 0.67 \text{ m},$$

$$E_q = (q_1 + q_2) \cdot h''/2 = 730.1 \text{ kN}.$$

对 1—1 截面弯矩 $M_{1-1} = E_q \cdot e_q = 491 \text{ kN} \cdot \text{m}$,

则每米后背需要截面模量为

$$W = M_{1-1} / [\sigma] = 491 \times 1000 / 210 = 2336 \text{ cm}^3.$$

采用 $P50 \text{ kg}$ 钢轨,正倒扣布置,每根钢轨的平均截面模量为

$$w = (287.2 + 251.3) / 2 = 269.2 \text{ cm}^3.$$

则每米后背需要钢轨数为

$$n = 2336 / 269.2 = 8.68, \text{ 取 } 12 \text{ 根}.$$

2.3.8 钢轨桩数量

每米后背提供最大顶力 $E_p = \gamma/2 \cdot H_2 \cdot \lambda_p = 2195 \text{ kN}$.

本桥最大顶力为 4928 t ,需后背宽度:

$$B = 4928 / 2195 \times 10 = 22.45 \text{ m}, \text{ 取 } 23 \text{ m}.$$

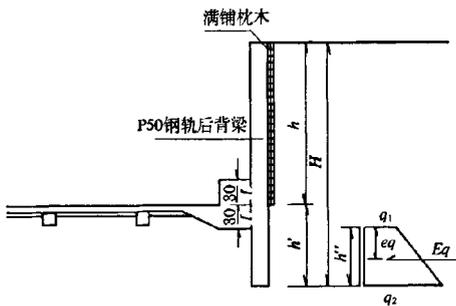


图5 钢轨桩计算简图

Fig.5 Rail pile calculation sketch

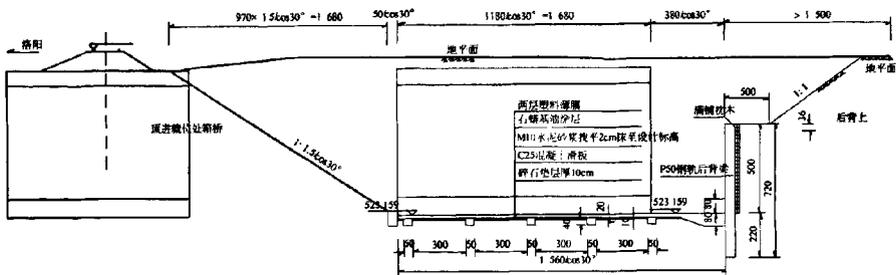


图6 钢轨桩后背立面

Fig.6 Back facade of the rail pile

3 施工要点

3.1 施工条件

由于本次施工的特殊性,即在不中断既有铁路线路正常运营的情况下进行箱桥的施工,根据工期要求和施工单位人员、设备情况,结合工程实际,进行顶推施工。

3.2 顶进作业

顶进法顺序如下:

箱身挖土 → 顶进箱身 → 换顶铁 → 箱身再挖土 → 顶进……循环往复,直至箱身就位^[5]。

3.3 施工注意事项

(1) 保障顶进施工时行车安全和人员安全,并做好针对性防范措施^[6]。

(2)做好铁路线路封锁及慢行措施预案,并做好应急处理预案。

(3)施工便梁安装架设过程中,工字钢之间应采用焊接或螺栓连接牢固,施工过程中应随时观测水平工字钢的下挠和下沉情况,如发现异常现象应及时上报。

(4)在箱桥钢筋骨架过程中,主钢筋应定位准确,如有主筋与其它钢筋位置相冲突时,可适当调整构造钢筋位置。

(5)在混凝土浇筑过程中,必须采取有效措施,保证结构尺寸准确,混凝土振捣密实,浇筑完毕后应合理养护,使其达到设计要求。

4 结论

随着高速公路的建设里程不断增加,高速公路与其他道路、铁路的交叉越来越多,除了采用传统的上跨方案外,高速公路越来越多地采用了顶进方案,但对于上覆填土低的顶进箱涵是一个难点。笔者针对上覆填土较低的情况,结合洛三高速公路改扩建工程澠池-陈村箱型立交桥,系统地

介绍了下穿既有铁路大跨度架空顶进箱涵的设计及施工关键技术,为同类工程提供了理论基础和工程实例,为解决上覆填土低的大跨度顶推箱涵提供了重要的技术支持。

参考文献:

- [1] 杨燕. 厦门双涵路下穿铁路顶进框架桥的施工技术[J]. 工程建设与档案, 2005, 19(6): 458-461.
- [2] 洪达飞. 铁路既有线箱涵顶进施工关键技术分析[J]. 中国科技信息, 2006(6): 140-141.
- [3] 中华人民共和国行业标准. TB 1002. 1—2005. 铁路桥涵设计基本规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [4] 中华人民共和国行业标准. JTG 063—2007 公路桥涵地基基础设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [5] 中华人民共和国行业标准. TB 10203—2002. 铁路桥涵施工规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [6] 顾安邦, 孙国柱. 公路桥涵设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1994.

Key Technique in the Design and Construction of Large Span Overhead Jacking Culvert Beneath the Existing Railway

JIN Ji-wei

(Henan Provincial Communication Planning, Survey & Design Institute Co. Ltd., Zhengzhou 450052, China)

Abstract: The design and construction of large-span overhead jacking culvert beneath the existing railway with lower filling remains a technical problem. This paper deals with the scheme of overhead jacking which is adopted by Mianchi overpass of the extension project of Luosan highway. It elaborates a series of important procedures, such as the beam pier pile checking, jacking force calculation, jacking equipments, rail pile back design and the construction conditions etc.. This project therefore solves the technical problem of the key technology concerning the design and construction of large-span overhead jacking culvert beneath the existing railway. It provides theoretical foundation and project practice for similar type of projects and offers significant technological support for large-span overhead jacking culvert.

Key words: beneath the existing railway; overhead jacking culvert; design; construction technique