

文章编号: 1674—8247(2019)04—0052—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.04.011

铁路高填土涵洞的设计方法

余浪¹ 罗艳² 易大伟¹

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

摘 要:目前的铁路涵洞通用图适用于跨度 ≤ 3 m且填土高 ≤ 20 m和 3 m \leq 跨度 ≤ 6 m且填土高 ≤ 16 m的涵洞,超出上述范围的高填土涵洞需进行特殊设计。文章结合国内有关资料,介绍了铁路高填土涵洞的设计原则,提出了涵洞土压力的计算方法和基底应力计算方法,并采用典型工程实例进行了验证。研究表明:(1)采用非线性土压力计算公式计算高填土涵洞,能反映高填土条件下,涵洞顶部土压力的变化过程,计算方法经济合理。(2)一般情况下,无需单独计算高填土涵洞基底应力,但对于承载力不高的软质岩地层或者冻土地层,建议进行计算,以核查是否满足规范要求。(3)涵洞基础应尽量设于高承载力土层或加固处理后的地基之上,以降低沉降。(4)高填土涵洞受活载影响非常小,盖板、墙身可不考虑活载内力,基底应力计算可不考虑弯矩。

关键词:铁路;高填土;涵洞;土压力;设计

中图分类号:U449.1 **文献标志码:**A

Design Method of High Earth Fill Culvert in Railway

YU Lang¹ LUO Yan² YI Dawei¹

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;
2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The standard drawing of railway culvert is applicable to the following two cases: the span is less than or equal to 3 m and less than 20 m high embankment; the span is greater than or equal to 3 m and less than or equal to 6 m and less than 16 m high embankment. For the high fill culvert beyond the above range, special design is needed. Combined with relevant domestic information, the design principle of high fill culvert in railway is introduced, the calculation method of soil pressure and the calculation method of base stress are put forward, and the two engineering examples are used to verify that. The results of the study show that: (1) The calculation formula of high fill culvert using nonlinear soil pressure can reflect the change process of soil pressure at the top of culvert under the condition of high fill, and the high fill culvert with this formula is more economical and reasonable. (2) The base stress of high fill culverts is generally not required to be calculated alone, but for soft rock or frozen soil layer with low bearing capacity, it is suggested to be calculated to verify whether the requirements are met. (3) In order to reduce settlement, culvert foundation should be placed on high bearing capacity soil layer or on the reinforced foundation. (4) The influence of live load on culvert of high filled culvert is very small. The internal force of live load can not be considered in the cover and wall body. The bending moment is not considered in the calculation of base stress.

收稿日期: 2018-04-03

作者简介: 余浪(1980-),男,高级工程师。

基金项目: 成都理工大学中青年骨干教师培养计划(10912-JXGG201405)

引文格式: 余浪,罗艳,易大伟. 铁路高填土涵洞的设计方法[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(4): 52-55.

YU Lang, LUO Yan, YI Dawei. Design Method of High Earth Fill Culvert in Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(4): 52-55.

Key words: railway; high earth fill; culvert; soil pressure; design

随着我国经济和山区铁路的发展^[1],为了满足线路整体要求,有些铁路尤其是山区铁路部分地段会采用超高路堤,高路堤地段的涵顶填土高度相应较高,有些超过20 m。与低填土涵洞相比,高填土涵洞具有其自身特点,如文献[2]中指出的地基沉降要求高、承受土压力大、活载影响几乎可忽略不计、加固维修难度大及造价高等。

公路高填土涵洞研究已有较丰富的成果,但针对铁路高填土涵洞的研究目前还较少^[3]。铁路涵洞具有与公路涵洞不同的特点(如尺寸大、刚度要求大等),且现有铁路涵洞通用图仅适用于跨度 ≤ 3 m、填土高 ≤ 20 m和 $3 \text{ m} \leq \text{跨度} \leq 6 \text{ m}$ 、填土高 $\leq 16 \text{ m}$ 的涵洞,因此,对超出范围的高填土涵洞,需进行特殊设计,摸索出适用于铁路高填土涵洞的设计方法。

1 设计原则

参考 TB 10002—2017《铁路桥涵设计规范》^[4]和文献[5],铁路高填土涵洞设计采用以下原则。

1.1 盖板设计原则

(1) 涵身盖板按支承于边墙上的简支梁设计、盖板计算跨度按简支计算,其跨度为两支承中心间距离,不考虑由边墙所作用的水平力。

(2) 盖板为钢筋混凝土构件,系按弹性理论设计,应检算其弯曲应力、主拉应力及最大裂缝宽度。

1.2 边墙设计原则

(1) 涵身边墙下端固结于基础上,上端受板的支撑,使两侧边墙顶紧,共同变形,故按上端为铰弹性支承,下端为固结变截面立柱进行计算。

(2) 边墙为素混凝土,背面为斜坡式,截面偏心在主力情况下不超过 $0.25B$ (B 为截面宽度)。

(3) 墙底为最不利截面,按不考虑系数 K 的土压力计算主力控制设计。其中系数 $K \geq 1$,数值可参考 TB 10002—2017《铁路桥涵设计规范》中表4.2.3。

1.3 基底设计原则

为防止基础的不均匀沉降,洞身基础采用刚性联合整体基础,基础厚度按混凝土圬工的刚性角小于 45° 设计。

2 土压力的计算方法

高填土涵洞的土压力占其比重较大,其计算方法对涵洞设计影响较大,TB 10002—2017《铁路桥涵设计

规范》第4.2.3条规定按土柱法计算,公式如下:

$$\text{竖向压力 } p = K\gamma H \quad (1)$$

$$\text{水平压力 } q = \lambda\gamma H \quad (2)$$

式中: γ ——土的重力密度(kN/m^3);

H ——计算截面至路面顶的高度(m);

λ ——系数,填土采用0.25或0.35,视设计的控制情况确定,经久压实的路堤采用0.25。

当计入系数“ K ”时,考虑到其具有短时的性质,故将材料容许应力酌情提高,即采用“主+附”的容许应力。

对于填土较低的涵洞(高度在18 m以内),土压力计算按规范公式是合理的,但填土高度达到一定高度后,涵洞顶上的土压力不再随高度呈线性变化,涵顶和涵台外土压力都明显低于用上式计算的理论土压力。

文献[6]认为当填土达到一定高度后,涵洞上方将产生拱效应,但由于涵洞周围填土是不同于稳定岩石的散粒体,因此这种拱效应具有不稳定性。在填土增加的过程中仍有部分土压力传递到涵顶上,使涵顶土压力随填土高度增加呈非线性增加。通过模型试验与数值模拟对非线性土压力计算公式进行回归分析,提出新的非线性土压力计算公式用于公路涵洞,考虑系数“ K ”后,即可得出适用于铁路的高填土涵洞公式:

$$p = 3.7128K\gamma H^{0.4543} (h \geq 18 \text{ m})$$

$$q = 3.7128\lambda\gamma H^{0.4543} (h \geq 18 \text{ m})$$

应用上述公式时,应保证涵顶填土达到路基施工要求的压实度,且涵洞基底为非软土的稳定地基。

3 基底应力的计算方法

一般认为,涵洞采用刚性联合整体基础,只要跨度 $\leq 6 \text{ m}$ 且基底土层基本承载力 $\geq 150 \text{ kPa}$,就不需对涵洞基底应力进行单独计算。但对于高填土涵洞来说,其承受的土压力大,对地基承载力要求高,地基土的容许承载力是否能满足要求,需要进一步研究。

高填土涵洞基础基底应力计算公式如下:

$$\sigma = N/A \pm M/W \leq [\sigma] \quad (3)$$

式中: σ ——基础基底应力(kPa);

N ——基础基底轴力(m);

M ——基础基底弯矩(m);

A ——基础基底面积(m^2);

W ——基础基底抗弯截面系数(m^3);

[σ]——地基容许承载力,应根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》^[7]中第4.1.3条进行宽度修正。

公式(3)为保守算法,对于整体基础,高填土涵洞由于受活载影响非常小,基底应力计算可不考虑弯矩,按平均压应力计算:

$$\sigma = N/A \leq [\sigma] \quad (4)$$

4 工程实例

4.1 设计参数

根据铁路桥涵参考图,选取某铁路高填土涵洞的两种跨度来设计,其中盖板采用钢筋混凝土盖板,墙身及基础采用素混凝土,涵洞尺寸及填土高如图1及表1所示。

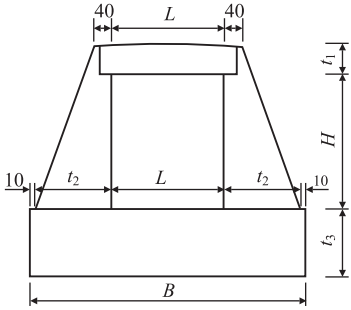


图1 涵洞横断面参数示意图(cm)

表1 涵洞基本资料表(m)

涵洞跨径 L	净高 H	盖板厚度 t ₁	边墙厚度 t ₂	基础厚度 t ₃	基础宽度 B	填土高
2.5	3.0	0.59~0.64	0.4~1.7	1.5	6.1	24.5
6.0	5.0	1.15~1.25	0.4~2.5	3.0	11.2	18.0

4.2 计算参数

(1) 自重

盖板采用钢筋混凝土,容重 26.5 kN/m³,边墙及基础采用素混凝土,容重 25.0 kN/m³。

(2) 二期恒载

厚度按路肩高度取 0.86 m,容重按 23 kN/m³考虑,0.86 × 23 = 19.8 kN/m²。

(3) 土体侧向压力

按规范土柱法和非线性两种方法分别计算土压力,考虑系数 K,结果如表2所示。

表2 高填土涵洞盖板顶土压力计算比较表(kN)

类型	土柱法		非线性法	
	竖向力	水平力	竖向力	水平力
2.5 m 涵洞	714.2	176.9~197.9	461.6	112.7~118.6
6.0 m 涵洞	511.2	132.2~167.2	396.5	98.7~105.6

注:水平力为墙顶到墙底

从表2可看出,非线性土压力与土柱法相比,土压力均有较大的减小,竖向土压力 2.5 m 涵洞减小约 35%,6.0 m 涵洞减小约 22%,填土越高减小越多。

(4) 活载

计算列车竖向活载对涵洞的竖向压力和水平压力时,可参照 TB 10002-2017《铁路桥涵设计规范》第4.3.5条,对于 ZKH 荷载来说,公式如下:

$$\text{竖向压力 } q_h = 179 / (2.6 + h) \quad (5)$$

$$\text{水平压力 } e = \lambda q_h$$

式中:q——特种活载分布集度(kN/m);

h——轨底以下深度(kN/m³)。

TB 10002-2017《铁路桥涵设计规范》对涵洞压力计算公式进行了修正,经计算公式计算出来的活载压力比旧规范大约 8% 左右,对于高填土涵洞,活载本身影响较小,结构计算可忽略不计,规范变化导致的变化不大,但设计低填土涵洞时需注意。

(5) 荷载组合

高填土涵洞荷载组合:自重+二恒+土压力。

4.3 计算结果

(1) 有限元模型

计算采用有限元程序 MIDAS,模型采用梁单元,边界条件按照设计原则中所述处理,模型如图2所示。

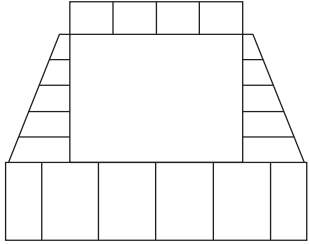


图2 涵洞有限元模型示意图

(2) 盖板计算结果

土压力计算考虑系数 K,盖板按主+附加力控制设计,主+附加力下 C30 混凝土弯曲受压及偏心受压容许应力 [σ_b] = 13 MPa^[8]; C35 的 [σ_b] = 15.34 MPa; HRB400 钢筋 [σ] = 270 MPa; 裂缝宽度 ω_f = 0.24 mm; 考虑系数 K 的土柱法和非线性法的计算比较结果,如表3所示。

从表3中可看出,设计均为裂缝控制,非线性法与土柱法相比,保持盖板高度不变,2.5 m 涵洞钢筋量减少约 40%,6.0 m 涵洞钢筋量减少约 23%,减少量随填土厚度增加而增大。

(3) 边墙计算

边墙墙底为控制截面,计算结果如表4所示,土压力按土柱法计算。

表3 土柱法和非线性法的盖板计算比较结果表

类型	方法	盖板跨中弯矩/(kN·m)	材料	混凝土压应力/mm	钢筋应力/MPa	裂缝宽度/mm
2.5 m 涵洞	土柱法	813.7	C30、21 根 $\phi 22$	12.5	211	0.23
	非线性法	548.0	C30、15 根 $\phi 22$	9.3	195	0.23
6.0 m 涵洞	土柱法	3 764.5	C35、21 根 $\phi 32$	13.5	224	0.21
	非线性法	3 177.1	C35、24 根 $\phi 32$	12.1	229	0.21

表4 边墙计算结果表

类型	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	偏心 e	容许偏心[e]
2.5 m 涵洞	801	217	0.271	0.425
6.0 m 涵洞	1 450	494	0.341	0.625

边墙采用 C25 混凝土,混凝土拉应力最大值为 0.3 MPa,小于规范要求的 0.33 MPa,边墙不需配筋就可满足规范要求。但鉴于填土较高,于边墙内外侧均配置间距 10 cm, $\phi 16$ mm 的护面钢筋。

(4) 基底计算

经计算,2.5 m 涵洞基底弯矩 14 kN·m,6.0 m 涵洞基底弯矩 54 kN·m,基底可按不考虑弯矩计算,结果如表 5 所示,土压力按土柱法计算。

表5 基底应力计算表

类型	轴力/kN	面积/m ²	应力/kPa
2.5 m 涵洞	2 620	6.1	430
6.0 m 涵洞	4 969	11.2	444

基底容许承载力可根据 TB 10093-2017《铁路桥涵地基和基础设计规范》第 4.1.3 条进行宽度修正,结果如表 6 所示。

表6 基底容许承载力修正计算表

类型	高度 h /m	宽度 b /m	h/b	σ_0 /kPa	$[\sigma]$ /kPa
2.5 m 涵洞	24.5	6.1	4	150	885
6.0 m 涵洞	18	11.2	1.6	150	690

由表 5、表 6 可以看出,基底应力满足要求,容许承载力经修正后大大提高,满足基底应力要求。随填土高度增加,修正后的容许承载力随之提高,能满足基底应力要求,不需单独计算。但规范中提出对节理不发育或较发育的岩层和冻土地基暂不做修正,故对承载力不高的软质岩或冻土地基来说,建议进行计算,以核查是否满足规范要求。

5 结论

铁路高填土涵洞需进行特殊设计,本文就设计方法进行的研究,提出高填土涵洞设计的关键技术供今后铁路高填土涵洞设计供参考。

(1) 高填土涵洞采用非线性土压力计算公式计算,能反映高填土条件下,作用于涵洞顶部土压力的变化过程,用其计算的高填土涵洞更经济合理。

(2) 高填土涵洞基底应力一般无需单独计算,但

对于承载力不高的软质岩或者冻土地基,建议进行计算,以核查是否满足规范要求。

(3) 为了进一步提高地基承载力,降低沉降,涵洞地基应尽量位于高承载力土层上或采用旋喷桩等处理措施加固。

(4) 高填土涵洞受活载的影响非常小,盖板、墙身可不考虑活载内力,基底应力计算可不考虑弯矩,按平均土压力计算。

参考文献:

[1] 游励晖,陈思孝. 西南山区铁路桥梁设计的几点思考[J]. 高速铁路技术,2015,6(5):78-82.
YOU Lihui, CHEN Sixiao. Thoughts on Design of Railway Bridge in Southwest Mountain Area[J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(5): 78-82.

[2] 付春辉,毕聪斌,张军. 山区公路高填土涵洞的设计[J]. 北方交通,2008,31(2):115-117.
FU Chunhui, BI Congbin, ZHANG Jun. Design of High Earth Fill Culvert on Highway in Mountain Area[J]. Northern Traffic, 2008, 31(2): 115-117.

[3] 陈列. 对客运专线涵洞设计的探讨[J]. 铁道标准设计,2006,50(8):31-33.
CHEN Lie. Discussion on the Culvert Design of Passenger Dedicated Line[J]. Railway Standard Design, 2006, 50(8): 31-33.

[4] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert[S].

[5] 铁道部第一勘测设计院. 涵洞与拱桥[M]. 北京:中国铁道出版社,1999.
China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd. Culvert and Arch Bridge[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.

[6] 杨锡武. 山区公路高填方涵洞土压力计算方法与结构设计[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
YANG Xiwu. Calculation Method and Structure Design of High Fill Culvert Soil Pressure in Mountain Highway[M]. Beijing: China Communications Press, 2006.

[7] TB 10093-2017 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
TB 10093-2017 Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert[S].

[8] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].
TB 10092-2017 Code for Design of Concrete Structures of Railway Bridge and Culvert[S].

(编辑:赵立红 苏玲梅)