

文章编号:1009-6825(2012)28-0178-03

长大海底隧道合理埋置深度论证

段壮志 张宗强 强文斌

(工程兵学院,江苏 徐州 221004)

摘要:通过对长大海底隧道上覆地层力学性能分析,从海底隧道开挖后毛洞的自稳性角度出发,在无侧向作用的深海水层竖向作用下将海底隧道硬质穿越层考虑为板状岩层,按硬质岩层的抗剪应力理论确定了长大海底隧道的合理埋置深度,对结构设计的受力要求,安全要求和经济要求方面都有其积极的意义。

关键词:海底隧道,合理埋置深度,自稳性

中图分类号:U452.2

文献标识码:A

0 引言

与其他类型的隧道相比,长大海底隧道具有穿越距离长、地质不定性因素多、海底岩层勘测难度大、地质超前预知能力弱等特点。此外,长大海底隧道虽然一般埋置于海平面以下上千米甚至数千米的深度,但扣除海平面到海底软弱岩层厚度(对隧道结构物顶部承压的极不利因素,岩层不能形成自稳体系),海底隧道的净埋深显得很薄。根据海底隧道上覆层中软弱岩层厚度及隧顶到海平面之间的海水深度对海底隧道埋置处围岩及衬砌的压力影响及扰动情况,合理确定其埋置深度对于长大海底隧道的设计是有益的。

1 长大海底隧道的合理埋置深度

1.1 海底隧道对埋深要求的意义

从宏观上讲,为了避免海底隧道穿越不良地质段造成掘进过程中的坍塌、涌水及其他施工事故的发生,海底隧道应该埋置于坚硬、致密、完整的岩体中。从地质学角度及地下勘探结果来看,除了海底表面局部断层、沟壑、软弱破碎带及地下壅水等地质病害地址附近外,地下岩层随着深度的增加地质结构逐渐趋于完整、致密、坚硬,海底隧道埋置深度越大,避开海底断层、沟壑及避免地表海水渗漏或涌入的可能性也越大。同时,海底隧道在岩层中的埋置深度越大,在掘进过程中围岩的自稳性能越好,对海底隧道衬砌结构的受力与施工过程中的掘进环境越有利。因此,海底隧道在硬质岩层中埋置越深,越有利于衬砌结构受力及掘进施工。

但是,随着海底隧道埋置深度的增大,在隧道线路纵坡一定的条件下,穿越相同宽度海域的海底隧道其引入段长度随之增加,对新建海底隧道的经济性是极不利的。以埋深1000 m(含海水深度)的海底公路隧道为例,在隧道内线路最大纵坡限制下(参《公路隧道设计规范》),海底隧道埋深每增加10 m,海底隧道出(入)口引出(入)段须各增加约200 m长度的经济投入。对于海底铁路隧道内线路最大设计纵坡限制的要求,则隧道埋置深度每加深10 m导致其出(入)口引出(入)段增加的长度对工程造价的经济投入影响更为显著。

对于穿越距离较短的海底隧道而言,采用加大隧道埋深改善衬砌结构受力性能与保证施工掘进过程中安全的理念进行设计时,其经济性矛盾显得尤为突出,因此,短距离海底隧道往往不过分追求埋置深度要求,而是以加强支护或采用沉管法等改善设计与施工理念的方法来解决海底复杂地质条件的不良影响。

在长大海底隧道设计时,一方面,穿越长度对线路纵坡设置提供可能的优势使得海底隧道埋入深层硬质岩层客观上可以实

现;另一方面,海底隧道埋置深度的增加对衬砌结构受力、掘进施工安全及隧道运营过程中的渗漏甚至涌水等后续问题的改善极为有益,因此,在长大海底隧道埋置深度设计时,应综合比较围岩与隧道衬砌结构的受力要求、掘进施工安全因素与经济投入之间的制约关系,选定出合理的埋置深度。

1.2 长大海底隧道合理埋置深度含义

长大海底隧道的合理埋置深度是指在满足隧道结构受力要求的前提下,施工掘进过程中允许发生一定范围的围岩变形,在没有初期支护(或仅进行简单支护)的情况下围岩能够形成自稳,同时兼顾经济性要求下长大海底隧道的埋置深度。合理埋置深度是根据围岩类别、上覆岩层与海水的共同作用确定的。

1.3 合理埋置深度的围岩类别要求

我国尚未出台海底隧道围岩类别分级相关规范,借鉴现行的铁路或公路隧道围岩类别分级相关规定,在新建长大海底隧道设计选址时,在穿越海域范围内应使其尽量全布于Ⅰ、Ⅱ类硬质岩层中。

从原则上讲,新建海底隧道设计选址时应尽量避开节理发育、有层状软弱面(或夹层)的硬质岩层或节理较发育的软质岩层等Ⅲ、Ⅳ类围岩,或者,隧顶上覆层各类岩层中所含Ⅲ类以上软弱或较软弱岩层应尽可能薄。一般海底隧道不应在Ⅲ、Ⅳ类岩层中穿越,受地质条件限制隧道必须在该类岩层的海底深沟、断裂带、破碎带处穿越时,应以该段为特殊的设计、施工控制段作专门的围岩岩体、结构衬砌设计与施工方法设计论证。

由于海底Ⅴ、Ⅵ类土质、细砂类或夹土类围岩及属于Ⅳ类围岩中土质类或富夹土质类岩层在海水浸泡或浸润作用下处于流塑状态的地质层,隧道的海底穿越段不能按陆上隧道要求对其进行特殊承载要求设计计算,只能按其其对下覆岩层的纯竖向压力作用进行设计验算,同时,海底隧道一般不在该类围岩中穿越。

1.4 长大海底隧道合理埋置深度的计算

长大海底隧道合理埋置深度 h 如图1所示。

$$h = \sum h_i (i = 1 \sim 5) \quad (1)$$

其中, h_i 为隧顶各类地质层厚度。

隧顶上覆各岩层中 $h_1 \sim h_4$ 的值是确定的,因此,确定海底隧道合理埋置深度主要是确定穿越层(Ⅰ、Ⅱ类岩层)中 h_5 的合理深度。

1) 围岩计算模型。

a. 将海平面到隧道埋置处之间的岩层(含海水层)按其其对海底隧道开挖后围岩能否形成自稳分为三层:第一层是海平面以下

收稿日期:2012-07-31

作者简介:段壮志(1974-),男,讲师

到海底淤积层及属于V, VI类土质、细砂类或夹土类围岩和属于IV类围岩中土质类或富夹土质类岩层(见图2)。该层仅作为对隧道埋置处的纯竖向作用,无自稳性,淤积层及各类土质、富夹土质岩层可按其比重等代换为海水深度简化计算。

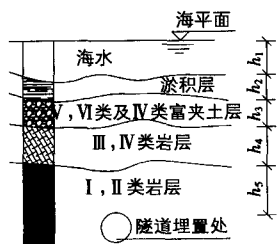


图1 海底隧道埋深示意图

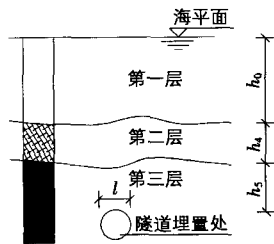


图2 V, VI类及IV类富夹土岩层简化为海水层示意图

b. 将节理发育、有层状软弱面(或夹层)的硬质岩层或节理较发育的软质岩层等III, IV类围岩,或者,隧顶以上覆层各类岩层中所含III类以上软弱或较软弱岩层视为第二层。第二层具有一定的自稳性,由于原则上隧道不在该层穿越,因此,海底隧道的掘进开挖对该层扰动很小,该层沿节理面的层间摩阻力及节理面未贯通的岩体承担(抵消)一部分上层海水(或等代换为海水)及第二层自身重力的作用(即该层的自稳能力)。计算时根据该层岩体的节理发育程度、节理面走向等因素确定其所能抵消的竖向作用。

c. 海底隧道埋置处岩体完整的I, II类硬质围岩为第三层。该层开挖后自稳性良好,侧向变形很小,主要承受上覆各层(包括隧顶以上第三层岩体)的竖向作用。目前,国外长大海底隧道在该类围岩中的埋深一般为数十米到上百米,图2中 h_3 比隧道毛洞跨径 l 大得多,由上覆各层竖向作用产生的弯矩对隧道开挖断面横向跨径的影响已是次要因素,因此,对该层起制约影响的主要为上覆层作用引起的竖向剪力。

d. 陆上隧道开挖后毛洞的围岩力学状态为应力重分布后的二次应力状态,须考虑自重引起的初始地应力场,并将其视为无限体中的孔洞问题。对于长大海底隧道,隧顶以上穿越层硬质围岩(如图2所示第三层)及选址时尽量避开的III, IV类岩层(如图2所示第二层)相对于上千米甚至数千米无侧向作用的海水(含淤积层等)而言可视为板层结构,因此,在计算中可以忽略地场应力,仅考虑上覆各层对该板层的竖向剪应力作用,这样做对海底隧道衬砌结构受力是偏安全的。

2) 合理埋置深度计算(见图1,图2)。

取沿海底隧道穿越方向单位长度的岩柱作为研究对象。

a. 第一层地质层不具有自稳性,该层仅作为纯竖向作用,其竖向作用力 P_1 为:

$$P_1 = \gamma_0 h_0 l \quad (2)$$

其中, γ_0 为海水比重; l 为隧道开挖断面跨径; h_0 为图1中海水层、淤积层和V, VI类及IV类富夹土岩层等各层厚度等代换为海水层的厚度。其等代方法为:

$$\gamma_0 h_0 = \sum_{i=1}^3 \gamma_i h_i$$

$$\text{即: } h_0 = \frac{\sum_{i=1}^3 \gamma_i h_i}{\gamma_0} \quad (3)$$

其中, h_i 为海水层、淤积层和V, VI类及IV类富夹土岩层的各层厚度; $i=1$ 时,取 $\gamma_1 = \gamma_0$ 。

b. 第二层自重 P_2 为:

$$P_2 = \gamma_2 h_2 l \quad (4)$$

其中, γ_2 为第二层的岩层比重。

第二层岩体可以抵抗的竖向作用力 F_2 为:

$$F_2 = \alpha [\tau_2] A_2 = \alpha [\tau_2] h_2 \times 2 \times (1+l) \quad (5)$$

其中, α 为第二层岩体相对于完整岩体的破碎程度折减系数,根据勘测资料中岩体的破碎程度取值; $[\tau_2]$ 为该岩层的容许抗剪应力; $2(1+l)$ 为海底隧道穿越方向单位长度研究对象(岩层)的水平截面周长。

岩体可以抵抗竖向作用力 F_2 的大小直接反映该岩层开挖或扰动时的自稳性能。

c. 第三层(海底隧道穿越层)隧顶以上自重 P_3 为:

$$P_3 = \gamma_3 h_3 l \quad (6)$$

其中, γ_3 为第三层的岩层比重。

第三层所需抵抗的竖向作用 F_3 为:

$$F_3 = \sum_{i=1}^3 P_i - F_2 = [\tau_3] A_3 = [\tau_3] h_3 \times 2 \times (1+l)$$

$$\text{即: } h_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i - F_2}{2(1+l)[\tau_3]} \quad (7)$$

其中, $[\tau_3]$ 为第三层岩体的容许抗剪应力; $\sum_{i=1}^3 P_i$ 由式(2),式(4),式(6)确定; F_2 由式(5)确定。

1.5 结论

长大海底隧道合理埋置深度 h 为(见图1):

$$h = \sum_{i=1}^5 h_i \quad (8)$$

其中, $h_1 \sim h_4$ 根据对地层勘测实测而得; h_5 由式(7)确定。

式(8)主要用于长大海底隧道在海底穿越段的合理埋置深度计算。对于长大海底隧道出入口引出或引入段的隧道部分,其上覆层没有地表海水,可由陆上隧道成熟的设计、施工方法根据不同围岩类别要求进行设计计算或施工。

2 讨论

相对于陆上隧道,长大海底隧道最显著的特点是上覆层中深度很大的地表海水作用对隧道净埋置层受力模式的影响,使得长大海底隧道在计算过程中可以忽略开挖后地层的应力重分布问题。同时,深地表海水及无自稳性的淤积层、土质层或富夹土层在计算模式中的纯竖向作用使长大海底隧道合理埋置深度计算(不能将其视为无限体中的孔洞问题求解)成为区别于陆上隧道的又一显著特点。

此外,文中对于第二层岩层抗剪力的分析中,相对于完整岩体的破碎程度折减系数 α 在计算中具有一定的科学性与合理性,但在国内外隧道计算理论中尚未明确提出,其取值的具体性与合理性尚需有关专家进一步论证。

3 结语

综合经济性要求,长大海底隧道在合理埋置深度条件下一方面避开了海底断层、沟壑、破碎带等浅层不良地质段及海底电缆、光缆等管线,另一方面考虑了埋置深度增加造成隧道设计长度增大的影响,对结构设计的受力要求、掘进施工的安全要求及新建海底隧道资金投入的经济要求方面都有其积极的意义。

参考文献:

- [1] 关宝树. 隧道工程设计要点集[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [2] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社,2002.

文章编号:1009-6825(2012)28-0180-02

上海轨道交通桥梁动力特性评估方法研究

朱 妍 沈志毅

(上海轨道交通维护保障中心工务公司,上海 200233)

摘 要:通过对轨道交通桥梁动力特性主要影响因素现有评价方法进行分析,引入层次分析法平衡各因素之间的权重,并结合模糊综合评价法最终得到评价结构动力特性的评价系统,并应用于工程实践,验证了该系统的科学性和可操作性。

关键词:轨道交通桥梁,动力特性评估,层次分析法,模糊综合评价

中图分类号:U441

文献标识码:A

1 概述

桥梁结构动力特性是反映其自身整体刚度以及工作性能的重要指标,通过对结构动力特性进行分析评定,可以间接评定桥梁结构的行车舒适度以及结构内部病害的发展情况,是目前桥梁检测领域评价桥梁结构的主要手段之一。对于轨道交通桥梁,其设计荷载、设计标准、设计参数以及计算方法等多个方面均与公路桥梁有所差别,与干线铁路桥梁也不相同;在结构刚度以及频响反应等多个方面,GB 50157-2003 地铁设计规范均提出了相对严格的标准。在轨道交通桥梁检测过程中,如何有效利用检测结果,科学、合理的评价桥梁结构的动力特性,是有别于公路桥梁评定过程的主要方面,也是轨道交通桥梁结构评估工作的关键。本文基于现有的桥梁检测手段及结果,综合考虑影响评定桥梁结构动力特性的各个因素,引入模糊数学综合评判方法,合理分析各影响因素之间的相互关系,最终得出基于模糊数学理论的轨道交通桥梁结构动力特性评定方法。

2 影响结构动力特性的主要因素

对桥梁结构动力特性的评定存在影响的因素有以下几个方面:

1) 自振频率、阻尼比:直接结构动力特性的测试结果包括自振频率、阻尼比两个方面;2) 动挠度:主要承重构件的动挠度测试结果可以间接反映结构整体刚度以及工作状态;3) 边界条件及横向联系病害:表观病害方面,支座边界条件以及横向联系病害发展的状况可以对结构整体受力机理产生明显的影响。

结构的自振频率以及阻尼比可以通过将实测结果与理论值进行对比的方式,或者通过将本次测试结果与以往测试结果进行对比的方式,对每个单项指标进行评定;动挠度方面,在 GB 50157-2003 地铁设计规范中,对于轨道交通桥梁的动挠度限值均给出了明确的要求;表观病害方面,对于支座构件以及横向联系构

件的分级评定标准目前已经相对成熟。

上述因素均可单独作为评判轨道交通桥梁结构的动力特性的一个参数,但是如何综合全面的考虑各因素之间的影响,建立起一个全面的评价体系,目前相关的规范中还没有完整的办法以及解决方案。合理的评价体系一方面要衡量单项因素与整体的关系,另一方面要均衡各影响因素之间的关系。目前使用较多的综合评判方法中,基于层次分析法的参数权重分析方法可以较好的解决这一问题,下面进行详细阐述。

3 层次分析法

层次分析法(the Analytic Hierarchy Process,简称 AHP),是一种多准则决策方法。它把一个由多因素多方面条件决定的事件,通过逐层分析评分的方法,引入人为判断因素,最终得出事件的优劣等级。这种方法可以用于对于方案的比选,也可以用于对某一时间进行评分,可实现将复杂事件系统化、简洁化的目的。

以往桥梁结构采用的分层评分分析法,按照构件—部件—整体的顺序,先对“零件”进行评定,然后对整体进行评定,这种方法适用于对结构的全面病害情况进行评定,其权重根据各构件、各部件对于结构的重要程度来确定,主要采用专家评定的方法。对于桥梁动力特性的评定方法,这一思路是不适用的,动力特性评定的因素相互关联,自成体系,对整体的影响关系及相互影响关系较难通过直接评价的方法给予确定,因此引入层次分析法,先确定各影响参数的评分,然后逐层综合,最后得到整座桥梁的评价结果。运用 AHP 进行决策时,主要分为 3 个步骤:

步骤 1:建立各因素之间相互关系评价指标。将复杂问题的层次条理化,分析评价体系模型中的层次数以及每层中的参数数量,这一体系的建立是整个评价体系科学性、完整性的体现,问题越复杂、影响因素越多,建立体系需要的时间就越长,对体系详尽

[3] 柳新华,刘良忠,侯鲜明. 国内外跨海通道发展百年回顾与

前瞻[J]. 科技导报,2006(24):11.

Proof on the reasonable depth of embedment of long subsea tunnel

DUAN Zhuang-zhi ZHANG Zong-qiang QIANG Wen-bin

(Engineer Command College of Chinese PLA, Xuzhou 221004, China)

Abstract: In this article, the mechanical property of superstratum of long subsea tunnel is analysed. Considering the autologous stability of stratum of rock cavity after the undersea tunnel is tunneled, the stratum cut across by the long subsea tunnel is looked as tabular stratum on the condition of deep sea water's vertical action. Based on the theoretical of shearing stress of scleroid stratum, the reasonable depth of embedment of long subsea tunnel is confirmed, which has positive significance for the stress demand, security demand and economic demand of the structural design.

Key words: subsea tunnel, reasonable depth of embedment, autologous stability

收稿日期:2012-07-09

作者简介:朱 妍(1969-),女,高级工程师