

探析基于不同埋深条件隧道结构的地震动力响应

叶建军

(北京城建设计发展集团股份有限公司西南分院, 重庆 400000)

摘要: 本文主要阐述隧道工程抗震结构设计要点, 然后就不同埋深条件下隧道结构地震动力响应进行分析, 提出要严格进行隧道工程抗震结构设计, 不断优化隧道结构的截面形式、埋置深度等重要参数。同时, 还要对施工现场的地层结构、地质条件等要素进行研究, 以提高隧道结构的抗震性与安全性。

关键词: 隧道结构; 埋深; 地震动力响应

中图分类号: U458

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)15-0143-02

0 引言

在开展隧道结构抗震设计时, 深埋和浅埋隧道在计算方法、支护方式等方面存在较大的差异, 同时二者在施工难度与工程造价上也有很大的差异。因而, 具体设计期间要结合施工技术、施工现场条件等要素, 确定不同地震条件下的隧道结构形式及其埋置深度, 并且在确保隧道结构的抗震性、安全性与稳定性的同时, 尽可能降低隧道结构的施工难度和工程造价。

1 隧道结构抗震设计要点分析

现阶段, 对于隧道结构的抗震设计需要重点关注: ①合理确定隧道结构的深埋类型。对于隧道结构而言, 深埋与浅埋隧道的抗震设计工作有很大的不同, 合理确定隧道结构埋置深度, 能够有效提高隧道结构的抗震性与稳定性。这一过程中, 要合理明确隧道结构深埋、浅埋的界限; ②设计过程中, 要合理选择隧道结构模型。在对隧道抗震结构模型进行简化期间, 要建立合理的动力非线性本构模型, 并且确保隧道结构模型与隧道结构本身具有良好的契合度; ③对于隧道结构的计算、分析工作而言, 要尽可能选择高效、精确、快速的算法。这一期间, 可以结合设计要求建立相似度较高的隧道结构三维模型。同时, 也可结合三维非线性结构动力模型开展相应的设计, 进而更加精确地掌握隧道结构的地震动力响应; ④要对隧道结构的整体抗震性能做出全面有效的评估。一般来说, 该过程通常采用的是动力时程分析方法, 该方法具有良好的可靠性、适用性, 可以对隧道结构的抗震性能做出深入的分析与评估。同时, 抗震性分析期间, 还要对隧道结构的承载能力做出准确的评估, 对地震作用下隧道结构的破坏模式进行研究; ⑤为提高隧道结构的整体抗震性能, 当前还应加强对抗震理论的深入研究与应用, 结合振动台试验、数值模拟等方法, 加强对复杂地震条件下隧道结构埋置深度的研究。

2 埋深对隧道结构地震动力响应的影响

对于隧道结构地震动力响应方面的研究, 常见的研究方法主要是大型振动台试验, 同时辅助一些软件模拟、数值分析等一系列方式。常采用的力学参数主要有加速度及其方法系数、土压力以及衬砌应力等。

2.1 加速度及其放大系数研究

为研究不同地震条件、不同埋置深度下的隧道结构动力响应, 可采取大型振动台模型试验的方式。试验期间需要通过计算机输入不同类型的地震波, 比如玉树波、EL-Centro 波以及汶川波等。借助加速度传感器, 可以实时监测到不同埋置深度条件下隧道结构的加速度动力响应情况。大量试验数据分析表明, 随着隧道结构埋深的不断增大, 加速度放大系数总体呈现出递增的趋势。尤其在埋置深度为 20-80m 的范围内, 隧道结构的加速度放大系数逐步增大。其次, 在这一埋置深度范围内, 随着埋置深度的不断增大, 隧道结构的稳定性逐步降低。另外, 不同类型地震波的作用下, 当隧道结构的埋置深度达到 40m 左右时, 监测到的加速度放大系数有明显减小, 由此也可以说明, 40m 埋置深度可以作为隧道动力深埋的一项重要参考, 同时 40m 的埋置深度可以作为深埋隧道和浅埋隧道的重要分界线。其中, 图 1 为振动台试验的现场图, 开展振动台试验期间要结合隧道结构的自身形式与试验要求, 合理布设传感器。

2.2 围岩动态土压力研究

围岩作为隧道结构的重要组成部分, 通过研究围岩的动态土压力情况, 可以很好地反映隧道结构的地震动力响应特点。为实时了解围岩结构的动态土压力情况, 同样需要开展振动台模型试验。试验期间, 由于输入地震波类型的不同, 不同位置、不同埋深的动态土压力存在很大的差异。比如, 在输入汶川波的情况下,



图1 振动台试验现场

随着埋置深度的不断增大,拱顶位置的动态土压力呈现出先减小、后增大的趋势。此外,在输入汶川波、阪神波的情况下,当隧道结构埋置深度达到40m左右时,拱顶位置所监测到的动态土压力出现了减小的现象。由此可以说明,40m埋置深度可以作为区分隧道动力深浅埋的一个重要参考。另外,在围岩的侧墙处,随着隧道结构埋置深度的不断增大,动土压力存在先减小、后增大的现象。与围岩顶部动土压力不同的是,当埋置深度在40~60m时,侧墙位置的动土压力出现减小的现象,该现象也可作为隧道深浅埋的一项依据。其中,图2为振动台试验过程中常用到的土压力传感器。



图2 土压力传感器

2.3 衬砌应力研究

①在衬砌顶部位置处,输入不同类型地震波的情况下,衬砌应力均随着埋置深度的不断增大,而呈现出先增大、后减小的变化趋势。尤其在输入EL地震波以及阪神波的情况下,这一变化规律更加明显;②隧道结构的埋置深度达到40m左右时,隧道衬砌结构顶部的应力出现了由增到减的现象,由此可以说明40m的埋置深度可以作为隧道动力深浅埋的一项重要依据;③研究表明在输入同一地震波的情况下,地震波的强度变化对于并没有改变衬砌应力的变化趋势;④在隧道衬砌结构的底部位置处,随着隧道结构埋置深度的不断增大,应力表现出先减小后增大的趋势。在输入不同类型地震波的情况下,隧道衬砌底部位置应力的转折点也出现在40m位置处。同时,在输入同一种地震波的情况下,不断增大地震波的强度并没有改变衬砌底部应力响应规律;⑤在衬砌结构的侧墙位置处,应力变化存在如下规律:在输入不同类型地震波的情况下,随着隧道结构埋置深度的不断增大,侧墙位置的应力整体表现出先减小、后增大、再减小的规律。与衬砌顶部、底部相同的是,当埋置深度达到40m左右时,衬

砌侧墙位置的应力有原来的减小趋势转变为应力增大的趋势。该现象同样能够说明,当隧道结构的埋置深度达到40m左右时,其地震动力响应出现了显著的变化,并且40m埋置深度能够作为隧道深浅埋的一项重要参考依据。

2.4 结合数值模拟结果分析隧道结构地震动力响应

在研究隧道结构地震动力响应的过程中,除了振动台这一方式外,还可以借助有限元软件模拟的方式,对隧道结构的相关力学参数进行计算和分析,进而深入研究隧道结构的动力响应情况。一般来说,数值模拟结果与振动台试验结果基本一致,但二者亦存在细微的差别。首先,就隧道结构的埋置深度而言,数值模拟结果显示,在隧道结构的顶部位置处,当埋置深度达到40m左右时,土压力从原来的增大趋势变化为减小的趋势,土压力的拐点同样出现在40m埋深位置。其次,随着隧道结构埋置深度的不断增大,隧道结构顶部位置的应力呈现出不断增大的趋势,而隧道结构底部位置的应力则表现处先减小、后增大的变化趋势。通过将振动台模型试验与数值模拟结果做出对比分析之后,不难发现两种研究方式下,隧道顶部、侧墙位置的土压力变化规律一致。此外,从振动台模型试验的结果来看,隧道结构顶部位置、侧墙位置土压力的拐点均出现在40m左右,这与数值模拟的结果一致。由上述两种不同的研究方式可以表明,隧道结构40m埋深能够作为隧道结构动力深浅埋的一项重要参考依据。

3 结语

需要注意的是,不管采用振动台试验的研究方式,还是采用数值模拟的研究方式,二者所得到的应力、土压力以及加速度等参数,与真实隧道结构的地震动力响应均存在一定的差距。对于振动台试验而言,其力学参数的准确性受到材料相似比、模型尺寸大小以及振动台输入参数等诸多因素的影响;对于数值模拟的方式而言,建模过程中基础参数设置的准确性、合理性亦会对计算结果有较大的影响。因而,要不断完善试验条件,优化数值模拟过程,提高研究结果的准确性。

参考文献

- [1] 崔光耀,王明年,林国进.汶川地震公路隧道洞口段震害机理及抗震对策研究[J].现代隧道技术,2011(6):214-253.
- [2] 程小虎.土质隧道深浅埋分界的理论解析[J].地下空间与工程学报,2017(1):37-42.
- [3] 王明年,郭军,罗禄森.高速铁路大断面黄土隧道深浅埋分界深度研究[J].岩土力学,2016(4):157-162.
- [4] 高峰,孙常新,谭绪凯,等.不同埋深隧道的地震响应振动台试验研究[J].岩土力学,2015(9):17-22.
- [5] 言志信,黄文贵,史盛.埋深与围岩质量对隧洞围岩稳定性的影响探究[J].山东科技大学学报,2013(6):18-25.
- [6] 张鸿.地震波作用下地下隧洞结构动力响应特征研究[D].北京:北京科技大学,2014.

收稿日期:2021-03-14

作者简介:叶建军(1977—),男,汉族,重庆人,研究生,高级工程师,主要从事土木工程施工图设计及审查工作。