

# 地铁车站结构地震反应的影响分析

张彦岭\*

郑州市轨道交通设计研究院有限公司, 河南 450000

**摘要:** 在地铁车站建设中, 车站结构能否有效的对抗地震导致的车站力学结构变化是车站建筑质量的重要影响因素之一。因此, 需要针对地铁车站结构地震反应的影响进行全面的分析和研究。在本文中, 使用模型计算方法针对某地铁车站工程的结构地震反应进行了全面测算, 并在这一基础上探究了结构地震反应对地铁车站产生的影响。

**关键词:** 结构地震反应; 地铁车站; 模型计算

## 一、前言

在各种自然灾害中, 地震是一种预测难度最大, 且危害比较严重的自然灾害。由于地铁的主体结构位于地下, 因而地震会对地铁的主体结构造成严重的破坏。在我国拥有地铁的城市中虽然并未发生过严重地震, 但日本等国家发生的地震造成的地铁系统瘫痪以及人员伤亡为我国地铁的建设工作提供了值得借鉴的经验和教训<sup>[1]</sup>。基于这一背景, 有必要针对地铁车站结构地震反应进行深入研究。

## 二、计算模型的建立

在本研究中, 将采用模型计算方法针对地铁车站的结构地震反应进行研究, 为保障研究的科学性, 将针对计算模型的建立和计算过程进行详细的分析与解读。

### (一) 模型设计

本文以我国S市的某地铁车站建设工程作为研究对象, 并在这一基础上建立地铁车站结构地震反应的计算模型, 测算该工程项目在地震爆发时可能产生的结构地震反应。该地铁车站的施工场地存在厚度不同的软涂层场地, 因而研究其地震反应规律, 对于施工企业进行结构设计和质量优化工作具有至关重要的意义<sup>[2]</sup>。同时, 建立计算模型研究某地铁车站工程的结构地震反应, 也能够为软土层下地下建筑施工中的抗震设计提供一些参考依据。

### (二) 土体与混凝土的非线性动力模型

本文针对土体与混凝土的结构地震反应建立了软土记忆型非线性动力模型。该模型主要针对软土在地震发生时的变形特点, 采用等向硬化与随机硬化结合的理论建立模型。在混凝土非线性动力计算模型方面, 采用的是混凝土粘塑性动力损伤模型。该模型的最主要计算指标就是混凝土在不同级别地震中产生的断裂能。详细模型见图1与图2。

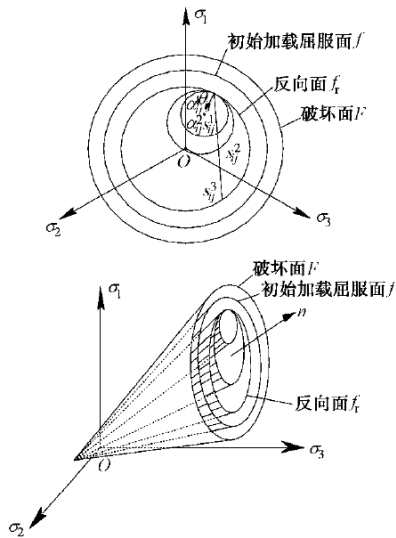


图1 土体非线性动力模型

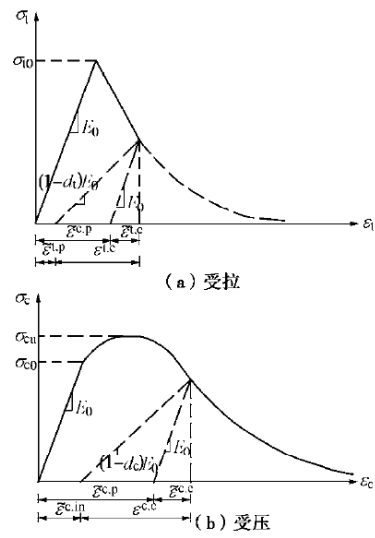


图2 混凝土非线性动力模型

\*通讯作者: 张彦岭, 1983年2月, 男, 汉, 河南郑州人, 现任职于郑州市轨道交通设计研究院有限公司, 中级工程师, 本科。研究方向: 结构力学。

(三) 计算模型的建立机制

在本为中, 作为研究对象的地铁车站设计宽度为22.7 m, 高度为12.3 m。车站结构底板厚度0.9 m, 顶板厚度0.8 m, 底层侧墙与顶层侧墙的厚度分别与底板、顶板厚度相同。在设计计算模型之前, 首先需要深入研究上述数据, 并在这一基础上设计建筑结构地震反应的计算模型。

(四) 数据的导入

在建立计算模型之后, 导入相关数据进行计算。

1. 在导入数据之前, 需要对数据的准确性进行再次检查, 确保导入的数据为准确数据。
2. 在进行数据导入的过程中, 需要收集和整理国内外地震中地铁车站的结构地震反应数据并进行研究, 在这一基础上将不同震级下地铁车站的结构地震反应数据导入到模型中作为计算参数。
3. 在导入数据之后, 使用计算模型对本项目的结构地震反应数据进行计算<sup>[3]</sup>。

三、计算结果分析

(一) 车站结构变形反应分析

通过计算发现, 在场地条件不同的前提下, 车站结构数据中顶底间最大水平位移反应值也会出现较大幅度的变化。具体来说, 在地震动峰值加速度不断增加的前提下, 同一场地类型的地铁车站结构顶底间最大水平位移反应值也会相应增长。详细变化见图3。同时, 在场地条件相对较好的前提下, 顶底间最大水平位移反应值的增速相对缓慢。而在场地条件相对较差的情况下, 顶底间最大水平位移反应值的增速也会进一步增加<sup>[4]</sup>。从这一规律中可以发现, 顶底间最大水平位移反应值的变化, 与场地条件及地震动峰值加速度息息相关。在地震波对车站结构摆动幅度的影响方面, 一般情况下, 地震中地铁车站结构的左摆幅相对较小, 而右摆幅相对较大。在这一问题的影响下, 在进行地铁车站设计和施工的过程中, 就需要对车站结构中容易产生较大摆动幅度的部位进行重点加固, 从而避免地震对车站结构造成严重破坏<sup>[5]</sup>。同时, 在地震时, 与从车站上层建筑相比, 下层建筑结构会受到更大程度的破坏。因此, 需要对地铁车站的下层结构进行重点的防震设计与加固。

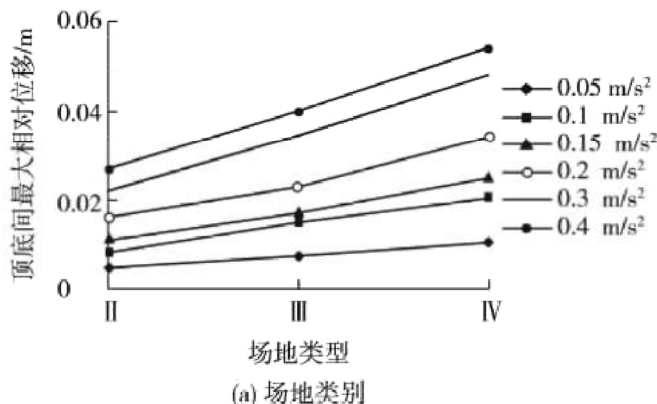


图3 地震动峰值加速度与车站结构顶底间最大水平位移反应值的关系

(二) 车站结构应力反应

通过对车站结构应力反应的相关数据进行分析可以发现, 在场地土层硬度相对较高的前提下, 地震发生时车站结构变形的幅度相对较小。在这样的情况下, 震级与破坏力相对较小的地震不会对车站的主体结构造成严重破坏<sup>[5]</sup>。相比之下, 土层硬度较小的场地, 在地震来临时车站结构的变形幅度较大, 同样等级的地震会对车站主体结构造成更大的破坏。因此, 在进行地铁车站建设的过程中, 需要在规划时尽量避开土层硬度比较小的施工区域规划和设计车站。同时, 在对车站主体结构进行施工的过程中, 需要根据施工现场的土层硬度对建筑的主体结构进行加固, 从而保障地震来临时车站主体结构的稳定<sup>[6]</sup>。

四、结构地震反应的规律

在发生地震之后, 地铁车站的结构地震反应也呈现出一定的规律性。通过对这一规律进行研究, 能够为制定科学的车站结构加固方案打下坚实的基础。具体来说, 地震发生时车站结构的地震反应规律主要包括加速度反应规律、侧向位移反应规律以及应力反应规律三个方面。

(一) 加速度反应规律

在本研究中, 首先针对搭地铁车站结构的加速度反应规律进行了研究。通过研究发现, 随着土层硬度的降低, 地

铁车站结构的加速度反应呈现出以下规律:

1. 在土层硬度较高的前提下, 车站整体结构的峰值加速度就会明显增加。其中, 底层结构的峰值加速度增长幅度最大。
2. 在场地土层硬度减小的前提下, 建筑结构整体的峰值加速度会出现降低趋势, 但底板处的峰值加速度会进一步增大<sup>[7]</sup>。之所以出现这一情况, 主要的原因是软土层能够对地震波起到一定的衰减作用。同时, 中板处的峰值加速度变化幅度则相对较小。
3. 在土层硬度进一步降低的基础上, 软土层对地震波的衰减作用也就无法充分发挥。因此, 如果土层硬度进一步减小, 则车站结构中底板、中板、顶板的加速度都会出现进一步降低的趋势。同时, 随着土层硬度的进一步减小, 这一趋势会变得愈发明显。根据这一规律, 需要在车站结构设计与施工过程中根据土层硬度采取不同的加固措施对车站结构进行进一步加固, 从而保障车站结构的稳定性, 加强其抗震能力<sup>[8]</sup>。

#### (二) 侧向位移反应规律

在地震强度较大的情况下, 软土层就会产生比较大的变形, 进而导致地铁车站的侧墙发生位移或变形。而在不同的土层条件下, 地铁车站的结构侧向位移反应也会呈现出一定的变化规律。具体来说, 包括以下几个方面:

1. 在软土层位于地铁车站侧向地基或附近的前提下地铁车站整体结构的侧向位移幅度会增大。同时, 位移增加的幅度会随着软土层的增厚而进一步增加。因此, 在进行地铁车站设计和规划的过程中, 需要尽量避免车站侧墙及周边存在软土层。如果确实无法避免, 就需要对车站侧墙进行重点加固<sup>[9]</sup>。
2. 当软土层位于车站结构底部时, 由于软土层会对地震波产生一定的专兼作用, 因而车站整体结构在地震中的摆动幅度会随着土层厚度的增加而逐渐减小。需要注意的是, 如果土层硬度过低, 则软土层对地震波的衰减作用也会减弱。因此, 在进行地铁车站施工的过程中, 可以在底部铺设硬度和厚度适中的软涂层, 从而降低地震波对车站结构的破坏作用<sup>[10]</sup>。总之, 只有合理规划了软土层的位置和厚度, 才能更加有效的发挥其对地震波的衰减作用, 保护地铁车站的整体结构不被严重破坏。

#### (三) 应力反应规律

通过对地铁车站结构动应力反应过程进行计算和动画演示可以发现, 在地震发生时, 地铁车站结构动应力反应过程主要表现出以下规律:

1. 在其他条件大致相当的前提下, 车站结构中侧墙部位、上侧墙顶部、下侧墙顶部的应力反应明显大于其他部位产生的应力反应。其中, 下侧墙底部的应力反应大于其他部位的应力反应<sup>[11]</sup>。由此可见, 当侧墙中部和底部存在软土层时, 车站结构对地震产生的应力反应更加强烈。因此, 在规划和设计地铁车站时, 需要尽量避免这一问题的产生。只有如此, 地铁车站在地震中的结构稳定性才能得到有效的保护。
2. 在软土层位于车站侧墙中部时, 地震时上层中柱产生的应力反应最大。在软土层位于车站侧墙下部时, 地震过程中下层中柱的应力反应最大。因此, 如果在车站设计和施工过程中无法全面消除侧墙附近的软土层, 就需要根据软土层位置的不同对相应位置的侧墙和中柱结构进行更加系统的加固和强化<sup>[12]</sup>。只有做到这一点, 才能在地震爆发时尽量避免车站结构变化造成的损失。
3. 当软土层位于车站结构底部时, 虽然会对地震波产生一定程度的衰减作用, 但同时也会导致水平楼板的应力反应加大。因此, 在非必要的情况下, 尽量不要在软土层附近规划和修建地铁车站。

### 五、结构地震反应产生的影响

通过以上研究发现, 在地震发生时, 地铁车站等地下建筑会产生不同程度的结构反应。具体来说, 就是地下建筑的结构发生变化, 导致地下建筑的损坏或坍塌。这种情况不仅会造成不同程度的经济损失, 而且有很大可能导致人民群众出现重大伤亡。因此, 需要对地震反应产生的影响进行全面分析, 并采取科学的措施尽量削减地铁车站的结构地震反应。只有如此, 才能有效的保护人民群众的生命财产安全, 保障城市交通的顺利运行。

#### (一) 对车站整体结构的影响

在地震发生时, 结构地震反应对车站整体结构产生的影响主要包括以下几个方面:

1. 地震会导致车站结构产生侧向位移, 对车站的整体结构造成不同程度的破坏。在这一前提下, 车站发生坍塌的几率就会大幅度增加, 从而增加了地铁车辆与司乘人员的安全风险。
2. 在地震时, 结构的变化会导致部分地面或墙体出现塌陷、损坏等问题, 影响到地铁车站的正常使用, 同时威胁地铁车站中人员的生命安全<sup>[13]</sup>。
3. 在车站结构发生变化的前提下, 车站中的各种精密设施也就无法正常使用, 导致地铁运行完全或部分瘫痪。这

种情况不仅影响到城市交通的通畅程度,而且会对城市的重建和经济发展造成不利影响。

### (二)对混凝土结构强度的影响

地铁车站结构地震反应的影响还体现在对混凝土结构强度的影响方面。具体来说:

1. 在发生地震之后,地铁车站结构产生的侧向位移并不平均。一般来说,周围存在软土层的车站侧墙发生位移的幅度较大。相比之下,侧墙周围土层硬度较高的部位侧向位移的幅度较小。在这样的情况下,车站的整体混凝土结构就会遭到不同程度的破坏,进一步降低建筑使用的安全性。

2. 在地震波的刺激下,混凝土构件内部会出现不同程度的损伤。在地震强度不高的情况下,这种损伤一般无法通过肉眼直接发现。如果继续使用该地铁车站,就会形成不同程度的安全隐患。

3. 在混凝土构件和整体结构的强度受到损伤之后,部分混凝土构件会出现开裂、损坏等问题。在这些问题的影响下,地铁车站也就无法正常投入使用,导致地铁交通部分或完全瘫痪<sup>[4]</sup>。

### (三)对交通网络的影响

地铁车站结构地震反应对交通网络的影响主要体现在以下两个方面:

1. 在发生地震之后,地铁车站的整体结构会遭到不同程度的破坏,导致车站的作用无法正常发挥。在这样的情况下,地铁交通线路势必会出现部分乃至全部停运的问题。

2. 在进行地铁车站规划和设计的过程中,车站的位置往往被规划在城市主要交通线的地下。在发生地震之后,如果地震强度高或地铁车站的结构强度不足,就会出现地铁车站塌陷问题。在这一问题的影响下,地上交通线路也会出现部分或全部瘫痪的问题。因此,可以说,对地铁车站的结构进行优化和加固,能够在地震发生时为城市交通安全与通畅提供一定程度的保障<sup>[5]</sup>。

## 六、结语

综上所述,作为城市交通的重要枢纽,地铁车站结构的稳定在地震发生时会对城市交通的通畅程度以及灾后重建工作产生至关重要的影响。因此,需要针对地铁车站的结构地震反应及其影响进行深入研究。通过本研究,针对地铁车站结构地震反应总结了以下规律:

(一)在车站侧墙附近存在软土层的情况下,车站的结构地震反应强度会比较激烈,进而导致车站整体结构受到更大程度的损坏。

(二)车站底层结构存在一定厚度的软土层有利于削弱车站的结构地震反应,但过厚的软土层会导致其对地震波产生的衰减作用减弱或消失,进而破坏车站的整体结构。

(三)在其他条件大致相当的情况下,软土层越厚,车站的结构地震反应越激烈,车站结构在地震中的损坏程度也就越高。因此,在进行地铁车站规划和设计时,应该尽量规避和绕开软土层。如果必须在软土层附近规划和建设地铁车站,则需要对软土层的位置和厚度进行合理的规划与改造。同时,还需要根据软土层分布的特点,针对地铁车站的结构进行科学的设计和加固,从而保障地震时地铁车站的结构稳定性。

### 参考文献:

- [1]王建宁,庄海洋,马国伟,于旭,窦远明,李景文.软土层场地复杂地铁地下车站结构地震反应分析[J].振动与冲击,2019,38(19):115-122+160.
- [2]陶连金,刘硕,韩学川,张宇,吴晓娟.临近地上高层结构的地铁车站地震响应[J].黑龙江科技大学学报,2019,29(05):569-574.
- [3]王建宁,窦远明,庄海洋,付继赛,马国伟.土-地下连续墙-复杂异跨地铁车站结构动力相互作用分析[J].岩土工程学报,2019,41(07):1235-1243.
- [4]范益,陈力,还毅,郑康.强震作用下地铁车站结构损伤破坏的高效分析方法[J].地震工程学报,2019,41(03):672-678.
- [5]冯智.考虑施工过程影响的暗挖地铁车站结构抗震设计方法研究[D].北京交通大学,2019.
- [6]董新勇.黄土场地条件下地铁隧道地震响应研究[D].长安大学,2019.
- [7]窦远明,冯帆,王建宁,范俊超,郑姝妍.软弱夹层对地铁车站结构地震动力响应影响的三维数值分析[J].结构工程师,2019,35(02):140-148.
- [8]武丰豪.基于榫槽注浆式接头的全预制装配式地铁车站结构抗震性能研究[D].北京交通大学,2019.
- [9]庄海洋,周家甫,陈苏,陈国兴.微倾斜可液化场地中地铁地下结构地震反应的振动台模型试验研究[J].地震工程与工程振动,2019,39(02):46-56.
- [10]王建宁,付继赛,庄海洋,马国伟,窦远明,李景文.节点圈梁对复杂异跨地铁车站结构地震反应的影响[J].自然灾害

学报, 2018,27(06):19-26.

[11]付继赛,庄海洋,王旭,陈苏,陈国兴.地下连续墙连接方式对地铁车站结构地震反应的影响研究[J].自然灾害学报, 2018,27(06):42-50.

[12]陈清军,李文婷.地铁车站-隧道-土相互作用体系地震反应[J].地震工程与工程振动, 2018,38(04):9-15.

[13]杜修力,许紫刚,袁雪纯,许成顺,张驰宇.地震动峰值位移和峰值速度对地下结构地震反应的影响[J].震灾防御技术, 2018,13(02):293-303.

[14]梁艳仙.软弱地基地铁车站结构地震反应特性分析[J].成都航空职业技术学院学报, 2017,33(03):56-58.

[15]庄海洋,周建波,周家甫,张敏敏.不同类别场地上地铁高架车站结构抗震性能的研究[J].地震工程与工程振动, 2017,37(02):56-64.