

整体式无缝桥抗震性能分析

黄 勇 谢贤涛 黄科菁 黄昱翔 蒋小斌

(湖南工学院 湖南衡阳 421000)

【摘 要】为促进无伸缩缝桥梁的推广应用,本文对整体式无缝桥梁进行抗震性能分析。根据传统桥梁无缝化改造技术方案建立了有限分析模型,进行了动力特性分析和在E1地震作用下的地震响应分析,并比较了传统桥梁在无缝化改造前后的抗震性能区别,以及在不同桩基尺寸情况下的地震响应情况,得到了一些有益的结论,能为该类桥梁的抗震设计提供参考。

DOI: 10.18686/jyyxx.v3i8.52729

我国是一个多地震国家,地震活动频繁,震级强,给人民的生命财产安全带来了极大的威胁,桥梁作为交通运输、抗震救灾的枢纽,其抗震性能的研究一直是土木工程较为重视的课题。近年来,无伸缩缝桥梁由于取消了伸缩缝,有效地减少了伸缩缝病害和维修更换问题,且提高了行车舒适性,越来越成为国内桥梁的研究热点。无伸缩缝桥梁包括整体式桥台无伸缩缝桥梁、半整体式无伸缩缝桥梁和延伸桥面板桥。目前,整体式无缝桥在国外得到广泛应用,其取消了桥台和上部结构之间的支座,让桥台和上部结构刚性连接,整体性较好,地震作用下也不容易出现常见的落梁现象,因此这种桥型相比有缝桥梁具有较好的抗震性能。

目前,国内对无伸缩缝桥梁的设计研究较多,并出台了一些地方性和行业性的设计技术规程,大大推动了无伸缩缝桥梁在我国的应用发展。然而,这些技术规程并没有涉及无缝桥梁的抗震设计和构造,这给无缝桥梁的抗震设计带来了难题,因此,本文通过对某单跨整体式无缝桥梁建立有限元模型进行抗震分析,对比整体式桥在不同设计参数下的抗震响应,总结出整体式桥的抗震设计规律,为该类桥梁的抗震设计提供有益参考。

1 算例桥梁概况

本文以衡阳市某单跨 40m 简支梁桥进行无缝化改造的技术方案为算例桥梁,原桥为预应力混凝土 T 型梁桥, U 型桥台,桩基础为单排桩,桩长 10m,土层为均质强风化粉砂岩,场地类别为 II 类,结构抗震设防烈度为 VII 度。上部结构构造如图 1 所示。

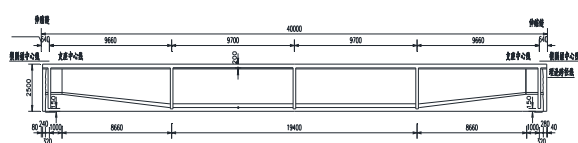


图 1 原算例桥梁上部结构构造

根据陈宝春、庄一周等人提出的桥台处的无缝化改造

方案,把单跨简支桥梁改造成无缝桥梁的桥台节点构造如图 2 所示。

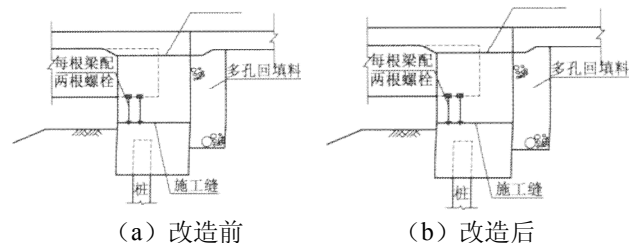


图 2 改造前后的桥台节点构造

2 模型建立

本文采用 Midas Civil 软件对算例桥梁根据已有文献建立了有限元计算模型。主梁建立梁单元模型,不考虑上部结构构件材料或几何形状所引起的非线性,将主梁视为弹性结构合理,因为通过地震调查表明,桥梁地震易损性构件为墩台支座等下部结构,主梁除了出现落梁以外,不出现其他结构损伤。整体式桥上部结构和桥台刚接,而桥台与桩基础也为刚接。为了简化计算,本文仅考虑 E1 地震作用下的地震响应状况,根据文献要求,在 E1 地震作用下,要求各类桥梁在弹性范围工作,结构强度和刚度基本保持不变,因此,桩基础采用的是梁单元模型。该类桥梁抗震分析的难点在于难以明确桩土之间的相互作用,本文采用工程设计人员较为熟悉的“m”法进行模型土弹簧作用,计算模型示意如图 3 所示。

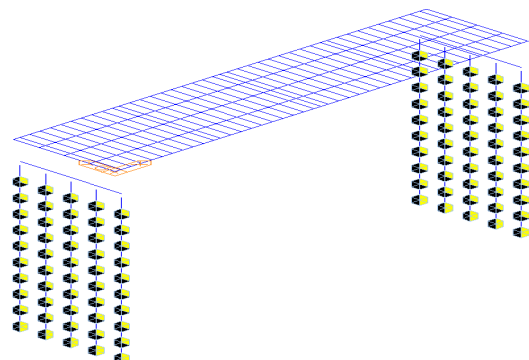


图 3 软件分析模型

3 计算结果

本文分别对无缝化改造前（简支桥梁）和无缝化改造后（整体式桥）进行动力特性分析，计算结果如表 1 所示。

3.1 动力特性分析

表 1 模态分析计算结果

模态号	无缝化改造前（简支桥梁）		无缝化改造前后（整体式桥）	
	周期（s）	振型方向	周期	振型方向
1	2.552	横桥向平动	0.432	横桥向扭转
2	0.500	纵桥向平动	0.226	横桥向扭转
3	0.400	纵向扭转	0.219	纵桥向
4	0.339	横桥向扭转	0.191	纵桥向
5	0.250	横桥向扭转	0.175	主梁扭转

表 1 计算结果表明，整体式桥与传统的有缝桥相比，其动力特性存在较大差异。由于整体桥的下部结构和上部结构连成整体，具有更大的结构刚性，导致其自振周期相比有缝桥更小。同时，从振型来看，整体式桥的主要振型为横桥向，然而在实际工程中，横桥向台后土基本无法发挥作用，因而在地震作用下整体桥更容易发生桩基的横桥

向破坏。

3.2 地震响应分析

为了简化计算，本文仅考虑了 E1 地震作用，采用反应谱法分别对无缝化改造前（简支桥梁）和无缝化改造后（整体式桥）进行了地震响应分析，计算结果如表 2 所示。

表 2 E1 地震作用下的地震响应

地震作用方向	地震效应	无缝化改造后	无缝化改造前	相差
纵桥向 E1	桥台剪力 Qx (kN)	137.7	89.4	54%
	桥台剪力 Qy (kN)	0.0	13.3	-
	桩顶弯矩 Mx (kN.m)	0.0	0.0	-
	桩顶弯矩 My (kN.m)	726.3	763.8	-5%
	桩顶位移 Sx (mm)	3.6	7.8	-54%
	桩顶位移 Sy (mm)	0.0	0.0	-
横桥向 E1	桥台剪力 Qx (kN)	377.2	251.9	50%
	桥台剪力 Qy (kN)	154.5	141.0	10%
	桩顶弯矩 Mx (kN.m)	0.0	0.0	-
	桩顶弯矩 My (kN.m)	524.0	790.8	-34%
	桩顶位移 Sx (mm)	1.6	8.6	-81%
	桩顶位移 Sy (mm)	3.5	2.8	25%

表 2 计算结果表明，传统有缝桥梁进行无缝化改造后，由于桥台和上部结构刚接，结构刚度增加，导致桩顶位移减小，同时桩顶剪力增加，桩基将承受更高的地震作用，是整体桥最薄弱的部位之一，尤其采用混凝土桩基础时，其刚度较大，抗剪承载力不高，最容易受损。因此，需要进一步分析桩基础在不同刚度条件下的地震响应，以找出相应规律，为设计提供有益参考。

3.3 不同尺寸桩基下的地震响应分析

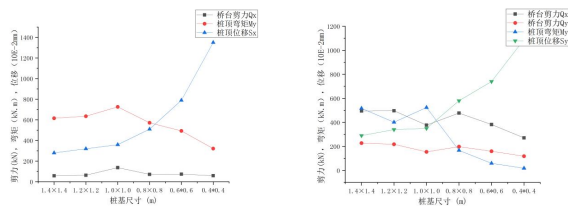
为了研究不同刚度桩基础对结构地震响应的影响，本文比较了不同尺寸桩基在地震作用下的响应状况，样本分别为 1.4×1.4、1.2×1.2、1.0×1.0、0.8×0.8、0.6×0.6、0.4×0.4 矩形方桩（单位：m），抗震分析计算结果如表 3 所示。

表 3 不同尺寸矩形桩基础地震响应

地震作用方向	地震效应	1.4×1.4	1.2×1.2	1.0×1.0	0.8×0.8	0.6×0.6	0.4×0.4
纵桥向 E1	桥台剪力 Qx (kN)	58.6	63.5	137.7	71.9	73.9	59.5
	桩顶弯矩 My (kN.m)	615.8	635.6	726.3	572.2	493.3	321.8
	桩顶位移 Sx (mm)	2.8	3.2	3.6	5.1	7.9	13.5
横桥向 E1	桥台剪力 Qx (kN)	495.1	497.2	377.2	477.7	382.3	271.3
	桥台剪力 Qy (kN)	227.5	217.9	154.5	198.1	159.6	118.4
	桩顶弯矩 My (kN.m)	516.8	401.3	524.0	167.0	59.3	18.3
	桩顶位移 Sx (mm)	0.4	0.4	1.6	0.6	0.5	0.4

桩顶位移 Sy (mm)	2.9	3.4	3.5	5.8	7.4	10.9
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	------

表 3 和图 4 结果表明,随着桩基尺寸减小,桩基刚度降低,桩顶位移增加,很多桩顶水平剪力有逐步减小的趋势,但这种趋势并不明显。同时,桩顶横桥向弯矩减小,这对桩基而言是非常关键的,因为受压构件的轴力—弯矩承载力曲线表明,弯矩越小,结构所能承受的轴力越大,这对桩基础的设计非常有利。因此,整体式桥在设计中减小桩基础的尺寸有利于提高结构抗震性能,但由于在相同上部结构竖向荷载的前提下,桩基础压应力随尺寸减小而增加,这就需要桩基础采用高强材料,例如,可采用超高性能混凝土(UHPC)桩或钢桩。



(a) 顺桥向 E1 地震作用 (b) 横桥向 E1 地震作用
图 4 不同尺寸桩基地震响应对比

4 结论与展望

综上所述,本文得出以下结论:

(1) 整体式桥与传统的有缝桥相比,其动力特性存在较大差异。由于整体桥具有更大的结构刚性,导致其自

振周期相比有缝桥更小。同时,从振型来看,整体式桥的主要振型为横桥向,在地震作用下整体桥更容易发生桩基的横桥向破坏。

(2) 传统有缝桥梁进行无缝化改造后,在地震作用下桩顶位移减小,同时桩顶剪力增加,桩基将承受更高的地震作用,当桩基础采用混凝土材料时,抗剪承载力不高,是整体桥最容易受损的部位之一。

(3) 随着桩基尺寸减小,桩基刚度降低,桩顶位移增加,桩顶横桥向弯矩减小,整体式桥在设计中减小桩基础的尺寸有利于提高结构抗震性能,但由于在相同上部结构竖向荷载的前提下,桩基础压应力随尺寸减小而增加,因此,整体桥在设计中应尽量考虑高强材料桩基础。

本文仅考虑在小震作用下整体桥的抗震性能,在大震作用下,结构将进入非线性状态,这是本文研究所欠缺的。同时,对于桩土相互作用的模拟,本文采用工程设计中推荐的“m”法,其合理的适用范围目前尚无法准确界定,需进一步研究。

作者简介: 黄勇(1985.9—),男,江西上高人,硕士,讲师,研究方向:桥梁结构分析。

课题: 湖南省省级创新创业计划项目“衡阳地区无缝桥梁新建和改造可行性研究”(S202011528030)。

【参考文献】

- [1] DB13/T2482-2017.公路无伸缩缝桥梁技术规程(河北省地方标准)[S].
- [2] DBJ/T13-265-2017.福建省城市无伸缩缝桥梁技术规程[S].
- [3] T/CECSG: D60-01-2020.公路无伸缩缝桥梁技术规程[S].
- [4] JTG/T2231-01-2020.公路桥梁抗震设计规范[S].
- [5] LaFave J, Fahnstock L, Foutch D, Steelman J, Revell J, Filipov E, et al. Seismic performance of quasi-isolated highway bridges in Illinois[J]. Springfield, IL, USA: Illinois Department of Transportation, 2013.
- [6] 雷超.桩土结构相互作用体系的振动台试验研究[D].合肥:合肥工业大学, 2007.
- [7] 陈宝春, 陈国栋, 苏家战, 等. 采用 UHPC-RC 阶梯桩的整体桥试设计[J]. 建筑科学与工程学报, 2018, 35(1): 1-8.