

Influence of Damping Ratio on Structure of Suspension Bridge under Earthquake

Yecheng Chen¹, Qiang Sun²

¹Kunming Construction Quality and Safety Supervision and Management Center, Kunming Yunnan

²Construction Engineering Faculty, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan

Email: 302819445@qq.com

Received: Sep. 5th, 2018; accepted: Sep. 19th, 2018; published: Sep. 26th, 2018

Abstract

The characteristics of suspension bridges are large span, small rigidity and long natural vibration period. The spectrum characteristics of seismic waves will be greatly affected by seismic responses. Damping is an important parameter of suspension bridge. Analysis of damping ratio on the structure of suspension bridge has a great effect on the safety of suspension bridge structure under earthquake. A finite element model of 730 m-span Jindong Bridge is established to analyze the influence of damping ratio on seismic response.

Keywords

Suspension Bridge, Seismic Action, Damping Ratio

地震作用下阻尼比对于悬索桥结构的影响

陈业成¹, 孙 强²

¹昆明市建设工程质量安全监督管理总站, 云南 昆明

²昆明理工大学, 建筑工程学院, 云南 昆明

Email: 302819445@qq.com

收稿日期: 2018年9月5日; 录用日期: 2018年9月19日; 发布日期: 2018年9月26日

摘 要

悬索桥的特点是跨径大, 刚度小, 自振周期较长。在地震响应下地震波的频谱特性会产生很大的影响。阻尼是悬索桥结构的一个重要参数。正确的分析阻尼比在地震作用下对于悬索桥结构的影响, 对于悬索桥结构的安全性有巨大的作用。本文以一跨730 m的金东大桥为例, 建立有限元模型, 分析阻尼比在地

文章引用: 陈业成, 孙强. 地震作用下阻尼比对于悬索桥结构的影响[J]. 土木工程, 2018, 7(5): 746-750.

DOI: 10.12677/hjce.2018.75089

震反应中的影响进行分析。

关键词

悬索桥, 地震作用, 阻尼比

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地震是一种传播速度快, 破坏面积极大的灾害。地震时地壳的剧烈的活动瞬时释放能量, 使得陆地产生猛烈的晃动[1]。地震对于桥梁的危害极大, 地震时桥梁会产生较大的变形和位移。一直以来没有发现悬索桥在地震中遭到破坏的案例, 但是由于悬索桥的造价极大, 如果损坏对于地区经济和交通破坏极大[2]。所以对于悬索桥的抗震的研究迫在眉睫。

近年以来, 随着研究人员对抗震理念的认识不断加深, 运用仿真模型在不同环境下, 进行不同的模拟实验, 对实际施工提供有力保障。李胜利、张帅[3]等利用有限元软件对吊索阻尼比进行分析; 方海、刘伟庆[4]等通过有限元软件、研究分析悬索桥在地震作用下的行波效应; 罗俊杰[5]等对某大跨度悬索桥进行 3 向地震反应谱响应分析, 发现不同构件的阻尼比对悬索桥在地震作用下产生的影响不同。以上研究都是通过计算模型与实际桥梁, 在地震作用下对悬索桥各构件的阻尼比进行了大量研究, 但是在跨径悬索桥梁结构上选用多少合适的阻尼比范围并没有很深入的研究, 本文通过理论分析, 数据比较来研究大跨径悬索桥在地震反应中应选用的合理的阻尼比。

2. 工程概况

本文以金东大桥为工程背景, 该桥位于四川省凉山州与云南昆明的交界处, 主桥跨径为 730 m 的单跨双铰桁架悬索桥, 全长为 914 m。桥宽为 20 m, 在凉山州境内采用 6 跨 20 m 的钢筋混凝土箱梁作为引桥, 在昆明方向采用 2 跨 25 m 的预应力混凝土箱梁作为引桥。

主桥跨度为 730 m, 采用 1:10 的矢跨比, 在主塔的顶部主缆的理论转折点的高程为 929.00 m, 而其中心线的最低点的高程为 856.00 m。在凉山州境内背缆水平距离为 120 m, 而锚固端理论的散索点的高程是 880.00 m。该桥纵坡为 1.2% (图 1)。

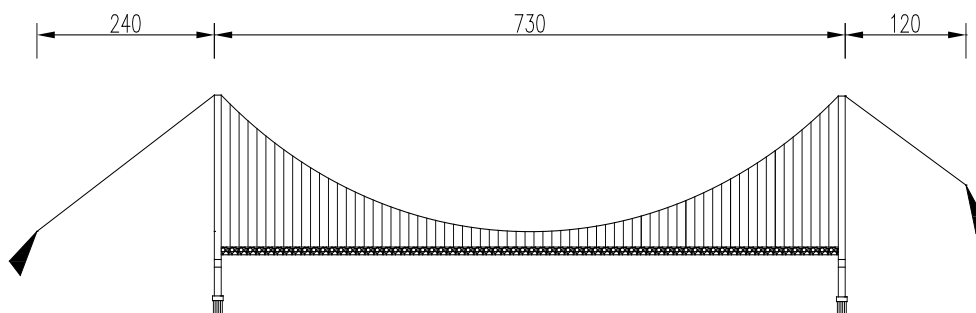


Figure 1. Bridge layout plan
图 1. 桥型布置图

对于悬索桥进行动力特性及地震反应分析的关键是建立精确的模型。而在建模之前要先对实际工程中的桥梁结构进行合理的离散和模拟, 这对于建立正确的模型至关重要。在悬索桥中其桥面系的作用是辅助传力, 金东大桥采用的是钢桁架的加劲梁、纵向采用的工字钢, 还有桥面板组成的桥面系[6]。在实际建模中, 采用空间的梁单元去模拟桁架和杆件, 然后用均布荷载去模拟工字钢还有桥面板, 为了让模型的质量更加的精确把均布荷载划分在桁架还有横杆上。

悬索桥的主塔是至关重要的结构, 并且在地震发生时也是极易被破坏的结构, 主塔则包括了塔和柱还有横梁。采用梁单元模拟时, 划分单元是尽量细分单元, 因为质量在模型中都是堆积在节点上的, 所以悬索桥的主塔和横梁都用梁单元模拟, 并且单元划分的粗细的程度会影响到堆积质量的分布, 所以细化单元结构十分重要[7]。

在计算中, 模型的主缆和吊索采用受拉索单元模拟[8], 从最开始平衡状态下的实际的张力作为初始荷载输入, 并且由此结算出吊杆还有索的重力的刚度。边界条件的模拟对于模型的分析影响很大, 只有输入正确的边界条件, 才可以得到正确的结果。悬索桥的边界条件相对简单, 在塔和梁连接的地方根据支座的形式选取合适的自由度。根据实际情况, 主缆和塔顶采用刚性连接。主缆在锚固的地方采用固结。主塔的基础采用群桩基础。

动力特性有效的反应了该桥的刚度指标, 周期较长, 结构就越柔, 这对于悬索桥的设计和抗震的分析有着极大的影响。全桥模型一共有 1579 个节点, 单元有 4556 个单元。

3. 行波效应对悬索桥地震反应的影响

对于各类大跨桥梁来说, 各支承点相距较远, 地震波在地基内以一定波速传播到结构各支承点处时。由于地震波在传播过程中经历了不同地质条件, 可能产生某些变化效应, 这些可能的变化效应包括行波效应、部分相干效应、衰减效应及局部场地效应等。其中以行波效应的影响较大。

分别选取三种工况, 工况一为塔底固结、一致输入、阻尼比 0.05。工况二采用塔底固结、行波波速 500 m/s、阻尼比 0.05。工况三采用塔底固结、行波波速 1000 m/s、阻尼比 0.05。

从下表 1 可以看出行波效应影响下, 当波速较低时, 行波效应会导致特征截面的位移值相对于一致激励时产生波动。随着波速的增大, 位移结果值是不断趋近于一致激励的。弹塑性动力时程分析的内力

Table 1. Internal force values of different seismic waves on main structural sections under different working conditions
表 1. 不同工况下不同地震波对主要结构截面的内力值

地震波	工况号	截面位置					
		主梁跨中		凉山侧主塔塔底部		昆明侧主塔塔底部	
		(竖向 + 纵向) Fx (KN)	(横向 + 竖向) Fx (KN)	(竖向 + 纵向) My (KN·m)	(横向 + 竖向) Mz (KN·m)	(竖向 + 纵向) My (KN·m)	(横向 + 竖向) Mz (KN·m)
Taft 波	1	811	1951	354,526	226,851	256,271	206,501
	2	502	1901	304,430	207,230	212,529	184,479
	3	809	1979	355,229	226,230	260,589	233,029
Elcent 波	1	895	1477	340,195	258,900	286,048	251,257
	2	658	1915	190,459	207,569	231,455	199,804
	3	904	1305	222,070	129,019	234,005	124,234
Sanfer 波	1	743	1767	246,691	113,278	237,382	143,259
	2	676	1513	205,650	94,748	207,736	111,500
	3	698	1279	246,936	108,405	222,289	147,128

结果与位移结果变化规律类似, 当波速较低时内力结果的波动较大, 相对于一致激励时, 增大或减小的最大值在 20%以上, 随着波速的增大, 内力结果值也几乎是单调增长并不断趋近于一致激励结果的。

4. 阻尼比对悬索桥地震反应的影响

因为有阻尼的存在, 物体产生的自由振动会逐渐的衰退, 所以物体不会无休止的振动。并且阻尼对于动力分析有着很大的影响, 对于结构来说是一个十分重要的动力特性。

阻尼对于结构整体有着很大的影响, 是悬索桥在地震响应下一个重要的因数, 其大小和特性会直接影响桥梁结构的基本动力反应特征。在桥梁结构中的阻尼现象是很复杂的, 是由于能量的逸散机理所引起的, 这种现象人们提出来很多方式来解释它。目前有两种线性的阻尼理论得到来广泛的应用[9]。即复阻尼理论和粘滞阻尼理论。

复阻尼理论假设结构拥有一个复刚度, 当受到阻尼的影响时采用一个复常数去乘以一个刚度系数。但是这种理论的局限性很大, 只能运用于简谐振动或者有限频带内的振动分析。再加上要考虑到复刚度问题, 对于比较常规的结构抗震分析就显得很复杂。然而粘滞阻尼理论相对计算来说就比较简便。它指出结构的阻尼比与结构的运动速度成正比[10], 呈线性关系。通过阻尼比来表示阻尼的大小。

在对一般的桥梁结构进行抗震反应分析的时候, 阻尼可以采用简单的形式来表达。采用阻尼比的形式输入阻尼, 但是悬索桥的阻尼是不均匀的, 所以采用的是阻尼矩阵的方法[11]。

采用三条地震波, 分别是 Taft 波、Elcent 波、Sanfer 波。选取三种工况, 其中工况一的阻尼比为 0.01, 采用塔和底固结; 工况二采用的阻尼比为 0.02, 也采用塔和底固结; 工况三阻尼比为 0.05, 采用塔和底固结。不同地震波在不同工况下对主要结构的断面产生的内力如下表 2 所示。

从下表的数据可以发现, 当阻尼比越小时, 结构断面的内力响应明显增加。当输入的阻尼比为 0.02 的时候, 地震动时截面上内力值约为阻尼比为 0.05 是的 1.5 倍左右。当输入的阻尼比为 0.01 的时候, 地震动截面上所产生的内力的数值是阻尼比为 0.05 时的 1.8 倍左右。《公路桥梁抗震设计细则》[12]中规定: 混凝土梁桥和拱桥的阻尼比不宜于大于 0.05, 然而悬索桥的阻尼比不能大于 0.02。可以看出阻尼比对于悬索桥的抗震性能影响巨大, 因此设计桥梁的时候一定要考虑阻尼比对于桥梁抗震性能的影响。而根据工程实例来看, 一般情况下大跨度的悬索桥梁结构采用的阻尼比不应大于 0.01。

Table 2. Internal force values of different seismic waves on main structural sections under different working conditions
表 2. 不同工况下不同地震波对主要结构截面的内力值

地震波	工况号	截面位置					
		主梁跨中		凉山侧主塔塔底部		昆明侧主塔塔底部	
		(竖向 + 纵向) Fx (KN)	(横向 + 竖向) Fx (KN)	(竖向 + 纵向) My (KN·m)	(横向 + 竖向) Mz (KN·m)	(竖向 + 纵向) My (KN·m)	(横向 + 竖向) Mz (KN·m)
Taft 波	一	811	1951	354,526	226,851	256,271	206,501
	二	649	1449	256,369	177,289	202,529	174,479
	三	409	979	185,229	126,259	160,589	133,029
Elcent 波	一	1125	2477	340,195	258,915	386,048	251,257
	二	858	1915	290,459	207,529	331,455	199,804
	三	504	1305	222,070	129,219	234,005	124,234
Sanfer 波	一	243	767	246,691	113,278	237,382	143,259
	二	176	513	165,650	94,748	177,736	111,500
	三	98	279	106,938	67,405	102,289	67,128

5. 结论

通过建立有限元模型进行计算和分析, 研究阻尼比和行波效应对金东大桥地震响应内力的影响, 得出如下结论:

- 1) 在行波效应的影响下, 当波速较低时, 行波效应会导致特征截面的内力值相对于一致激励时产生波动, 随着波速的增大, 内力结果值是不断趋近于一致激励的。
- 2) 阻尼比对于悬索桥的抗震性能影响巨大, 在设计桥梁的时候一定要考虑阻尼比对于桥梁抗震性能的影响, 而根据工程实例来看, 一般情况下大跨度的悬索桥梁结构采用的阻尼比不应大于 0.01。

参考文献

- [1] 陈惠发, 段炼. 桥梁工程抗震设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 李光军. 大跨度悬索桥地震反应分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2012.
- [3] 李胜利, 张帅, 王东炜, 欧进萍. 大跨悬索桥吊索阻尼比影响因素分析[J]. 振动与冲击, 2017, 36(16): 79-84.
- [4] 方海、刘伟庆、王仁贵. 自锚式悬索桥结构阻尼比解析与行波效应[C]//中国土木工程学会. 第三届全国防震减灾工程学术研讨会论文集. 北京: 中国土木工程学会, 2007: 331-334.
- [5] 罗俊杰, 温留汉·黑沙. 结构构件阻尼比大跨度悬索桥地震响应的影响[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2016, 15(2): 16-20.
- [6] 于伟. 大跨度悬索桥静风稳定性非线性分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [7] 王毅. 武灌路马河大桥地震反应分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2009.
- [8] 杨舒蔚. 悬索桥地震响应分析的阻尼模型研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [9] 廖平若. 南宁永和大桥抗震反应计算分析研究[J]. 中外建筑, 2011(4): 97-99.
- [10] 张新军, 张超. 大跨度悬索桥合理抗震结构体系研究[J]. 世界桥梁, 2017, 45(1): 39-44.
- [11] 赵晓丹, 徐俊杰, 王西富. 利用分段积分识别阻尼比研究[J]. 振动与冲击, 2015, 34(20): 109-114.
- [12] 重庆交通科研设计院. JTG/T B02-01-2008 公路桥梁抗震设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org