

桥梁下部结构设计分析核心探寻

杨超

贵州新空间城市设计院有限公司

摘要:在市政桥梁施工建设中,优化桥梁下部结构设计,加固桥梁结构,需要准确计算桥梁基桩承载力和桥墩承载力,做好桥梁抗震设计工作,改善桥梁抗震性能,设计科学的桥梁下部结构加固方案。与此同时,要注重设计科学的悬浇合龙方案。另外,需要在对承台的加固工作实施有限元模拟,包括承台加固前与加固后的模拟,同时,要构建空间桁架计算模型,做好桥梁排水设计工作。本文将某市政桥梁工程为例,简单分析桥梁下部结构设计要点,希望能为市政桥梁工程设计工作提供借鉴。

关键词:市政桥梁;下部结构;设计分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.17.097

某桥梁工程路线全长5.03千米,桥梁的总长度是1095.27米,主桥长达150米,引桥长为945.27米。其中主桥采用(40+70+40m)的预应力混凝土悬浇箱梁,引桥为30m、40m预应力先简支后连续小箱梁桥,引道长度

为3.935千米,路基的宽度是33.5米,桥梁标准宽度为33米。本文将以此桥梁为例,简单分析桥梁下部结构设计要点。

一、准确计算桥墩承载力

桥墩是桥梁下部结构的重要组成部分,做好桥梁下部结构设计工作,首先要准确计算桥墩的承载力。在某桥梁工程施工中,设计师协同施工技术人员根据《公路工程抗震设计规范》(JTJ/T 2231-01-2020)中指定的荷载组合内容,对桥墩承载力进行了计算。从荷载组合来看,桥墩承载力可分为两种组合:第一种荷载包括恒载、静活载、横桥向多遇地震作用、摇摆力、动水压力等参数。第二种荷载组合包括恒载、静活载、顺桥向多遇地震作用、摇摆力和动水压力等参数。

在计算过程中,设计师运用BIM技术搭建了有限元模型,全面分析了多遇地震作用下的桥梁反应谱,紧密结合墩颈截面和墩底截面,对本桥梁的截面强度实施了检算。表一是某桥梁墩身的截面横桥向内力计算结果统计表:

表一 某桥梁墩身的截面横桥向内力计算结果统计表

墩号		13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#
主力 +横桥向地震	墩顶 轴力 (kN)	-9245.7	-13084	-12233	-12215	-12209.7	-12248	-12983	-10752
	截面 弯矩 (kN·m)	5358.2	5668.3	5627.5	4950.4	6112.3	4857.4	5283.6	5884.7
	墩底 轴力 (kN)	-10573.1	-15126.8	-14301.2	-14267.3	-14661.2	-14291.5	-14642.6	-12829.2
	截面 弯矩 (kN·m)	9778.1	13411.2	14171.2	12751.2	15461.3	12661.4	11101.6	14412.1
主力 +顺桥向地震	墩顶 轴力 (kN)	-9836.1	-13011.2	-12113.9	-12115.8	-12370.2	-12451.1	-13122.9	-11225.1
	截面 弯矩 (kN·m)	674.1	462.1	484.1	475.2	588.1	492.3	652.9	573.1
	墩底 轴力 (kN)	-12683.9	-14992.8	-14150.1	-14152.4	-14911.6	-14590.2	-14783.3	-13314.2
	截面 弯矩 (kN·m)	714.6	785.2	916.7	935.2	1347.1	987.2	1412.4	1334.5

除了固定桥墩17#的墩身是200号钢筋混凝土,其他桥墩的墩身均是150号混凝土,对加固桥墩结构起到了良好的作用。

为了增强桥墩结构的稳固性,降低地震灾害的负面影响,在某桥梁设计工作中,设计师谨遵《铁路桥涵混凝土和砌体结构设计规范》与《铁路工程抗震设计规范》,将混凝土容许压应力和钢筋容许拉应力的提高系数设置成1.5。同时,预设为中心受压的情况下,C20钢筋混凝土结构中的混凝土容许应力值是8.1MPa。如果处于弯曲受压和偏心受压的情况下,其容许应力值大概是10.2MPa。对于C15混凝土结构来说,其内部混凝土如果处于中心受压的环境下,其容许应力值通常是6.0MPa,如果处于弯曲受压和偏心受压的情况下,其容许应力是7.5MPa。一般情况下,钢筋的容许拉应力值是195MPa^[1]。

在某桥梁工程施工设计中,各方面计算结果与研究结果表明,受到主力+横桥向地震的影响,桥梁截面混

凝土压应力并没有超过规范中的允许限值,与标准要求相符。然而,受主力+顺桥向地震的影响,固定墩17#桥墩的钢筋拉应力高于规范允许限值,其承载力不符合标准要求。为此,设计师按照标准规范,对施工方案进行了调整,进一步加固桥墩。

二、做好桥梁基桩承载力计算作业

在市政桥梁工程下部结构设计工作中,做好基桩承载力计算工作至关重要。在某桥梁施工设计中,设计师构建了BIM模型,根据《公路工程抗震设计规范》(JTJ/T 2231-01-2020)中的要求,对桥梁基桩承载力进行了精确计算。桥梁基桩的承载力可分为两种组合:第一种荷载包括恒载、静活载、横桥向多遇地震作用、摇摆力、动水压力等参数。第二种荷载组合包括恒载、静活载、顺桥向多遇地震作用、摇摆力和动水压力等参数。表二是某桥梁工程基桩最不利断面横桥向内力计算结果统计表:

表二 某桥梁基桩最不利断面横桥向内力计算结果

墩号		13#	14#	15#	16#	17#	18#	19#	20#
主力 +横桥向 断面一地震	轴力 (kN)	-1534.7	-2697.2	-2081.3	-2234.5	-2107.2	-2408.3	-2783.6	-1905.2
	弯矩 (kN·m)	458.3	536.2	537.5	2050.4	825.3	1457.4	363.6	763.7
	轴力 (kN)	-5173.21	-6792.8	-6301.2	-7812.3	-5421.2	-7329.5	-6014.6	-6829.2
	弯矩 (kN·m)	629.1	624.2	713.2	1435.2	511.3	1041.4	511.6	912.1
主力 +顺桥向 断面二地震	轴力 (kN)	-2345.1	-369.2	-3087.9	-3579.8	-487.2	-4041.1	-3359.9	-2015.1
	弯矩 (kN·m)	30.1	30.2	14.1	92.2	45.8	72.3	6.2	33.1
	轴力 (kN)	-5563.9	-7069.8	-6369.1	7302.4	-7459.6	-7137.2	-6519.3	-6183.2
	弯矩 (kN·m)	0	0	0	0	0	0	0	0

设计师对计算结果进行了统计和研究,总结出:除了固定桥墩17#的基桩以外,受到主力和横桥向地震的双重影响,基桩纵向钢筋拉应力最高的当属16#桥墩,其数值为196.28MPa。因为17#桥墩的基桩存在偏心受拉问题,所以导致16#桥墩的基桩纵向钢筋拉应力参数高于标准要求的限值范围,其承载力无法达到安全抗震要求。其他桥墩的基桩混凝土压应力参数和纵向钢筋拉应力符合规范允许限值,因此,能够起到抗震作用,有助于加固桥梁下部结构^[2]。

三、优化桥梁抗震设计方案

延长市政桥梁使用寿命,维护桥梁安全性,须注重改善桥梁抗震性能,优化桥梁抗震设计方案。在具体设计工作中,首先要对施工区域的实际抗震等级进行勘察,严格按照《公路工程抗震设计规范》(JTG/T 2231-01-2020)做好桥梁抗震设计工作,结合分级抗震原则,做好两水准设防两阶段设计。在桥梁工程设计工作中,设计师曾经对以往的地震损坏情况进行了调查,地震破坏主要表现为落梁、桥墩弯曲破坏、桥墩剪切破坏、桩顶破坏、梁体碰撞、支座破坏等。因此全面研究地震对桥梁的损害,选择合理的抗震方案是必要的。常规桥梁尽量采用结构连续的装配式箱梁结构,进而减少落梁的可能性,提高桥上行车舒适性。加宽墩台盖梁宽度满足抗震规范要求。抗震计算时采用空间梁单元建模,考虑桩土耦合作用及多联边界条件,正确反映桥梁各部刚度、质量分布和阻尼特性。抗震计算采用反应谱方法进行地震作用分析,振型组合方法采用CQC方法,按规范要求E1和E2地震作用下的抗震设计。某桥梁处于设计基本地震加速度值为0.15g,地震基本烈度为7度,设计地震分组为第二组,场地类别Ⅲ类,反应谱特征周期0.55s。B类桥梁应采用两水准抗震设防,在E1和E2地震作用下,抗震设防目标: E1地震作用下可正常使用,结构总体反应在弹性范围,基本无损伤, E2地震作用下经临时加固后可供维持应急交通使用,不致倒塌或产生严重结构损伤。为减小地震作用对结构的影响。桥梁抗震体系采用减隔震体系,地震作用下,桥梁的耗能部位位于桥梁上、下部连接构件,包括减隔震支座和

耗能装置。经计算,装配式预应力混凝土小箱梁采用高阻尼支座,现浇箱梁考虑跨度及自重较大,采用摩擦摆支座, E2地震作用下桥墩未屈服,处于弹性阶段,满足抗震要求。减隔震设计与延性设计相比,由于支座的耗能,地震作用下能够有效降低立柱底部弯矩,下部结构经桥规计算,桥墩及桩基箍筋配筋率可显著降低。因此,结合桥梁情况,合理选择抗震体系,能够有效降低地震作用对结构的影响。此外,需要注意共振现象,这种物理现象在自然界中颇为常见,受到外力作用后,物体之间会产生一致的自然振动。在市政桥梁抗震设计工作中,必须采取科学的措施尽可能降低共振现象对桥梁的不利影响。与此同时,在桥梁设计工作中,需要设置减震器,这样能够削弱共振的负面影响,缩短共振时间,以此削弱桥梁的共振效应,维护桥梁结构安全。

四、设计科学的悬浇合龙方案

在正式施工前,要设计合理的悬浇合龙方案。必须注意的是,因为高墩大跨径悬臂端比较长,所以要做好各项施工技术处理工作。在某公路桥梁施工设计中,设计师非常注重优化整个合龙段,以此确保悬浇梁的整体结构质量。在具体设计工作中,设计师首先会对合龙施工顺序进行规范,协同施工技术人员拟定合理的施工方案。其次,设计师非常重视合龙体系转化分析工作,在此阶段,设计师会协同施工技术人员对悬浇梁构件的受力情况和位移问题进行深度分析,制定合理的校验方案,设计精确的图纸,标注清晰的监测点,同时,会根据施工现场情况科学布设监测点,以便于处理好实际施工环境和监测方案的差别。为了确保整座桥梁工程的施工质量,设计师会协同施工技术人员全面优化施工方案,不断改善混凝土结构弹性与张拉能力,做好施工技术交底工作,维护桥梁下部结构的安全性和稳固性。

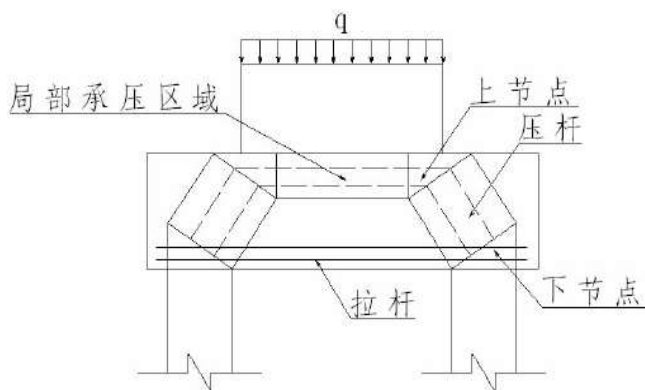
五、对承台的加固工作实施有限元模拟

在桥梁承台加固设计工作中,需要实施有限元模拟,构建ANSYS有限元模型,通过模型分析对承台加固前和加固后的情况进行预测评估。与此同时,要注重合理确定承台的厚度。在某桥梁承台加固设计工作中,设计师运用有限元模拟对新设承台的结构强度、受理参数

与承台厚度进行了预测性计算，结合刚性结构，计算承台板的厚度不可小于1.5米，将刚性角的角度控制在45度以下。另外，设计师按照标准规范，确保承台混凝土强度等级的不小于C30。在某桥梁内，承台厚度不尽相同，有2米、2.5米、3米、3.5米和4米等。

六、构建空间桁架计算模型

为了合理设计承台，设计师构建了空间桁架计算模型，图一就是竖向荷载下的空间桁架模型结构图：



图一 竖向荷载下的空间桁架模型结构图

设计师考虑到承台在单独竖向荷载的作用下，其内部主压应力流会沿着墩身和桩基的连线实施传递，在其他范围内，承台内部主压应力的分布比较少，承台墩身的外边缘和桥梁桩基的连线范围内的混凝土类似于压杆。在承台底部，会分布更多主拉应力，这些主拉应力是由桩基顶部的钢筋来负载，在模型构建过程中，可以将这部分的钢筋看作拉杆。

七、做好桥梁排水设计工作

在某桥梁排水设计工作中，设计师为了避免桥梁下部结构严重的水蚀问题，非常注重做好桥梁排水系统设计工作，着重优化径流收集效果，坚持环保设计理念，制定了三种排水环保设计方案：第一，根据桥长管道实施排水，按纵向为桥梁的两侧分别设置雨水管道，以便于实现雨水资源的统一收集与处理。在该方案实施中，施工技术人员在桥梁的两侧分别设置了排水管道及其支撑结构。第二，安装移动潜水泵，以便于顺利排水。与此同时，设计师会协同施工技术人员为桥面设置适量的雨水口，这样雨水资源在汇集后，会经过雨水管道或者桥梁组合箱梁结构顺利流入集水池，然后用移动潜水泵进行抽水，将雨水资源收集到指定的地点进行净化处理，等水质达标后，再将这些经过处理的雨水排入附近河流内。第三，设置钢筋混凝土集水池，对潜水泵进行固定，优化排水功能，为桥梁设置雨水口，对雨水进行汇集，使雨水资源经过管道或者组合箱梁箱体结构流入泵站集水池里，同时，根据地面径流的大小对钢筋混凝土集水池的间隔进行科学控制。另

外，需要在集水池里配备具有液位信号控制功能的潜水泵，这样可以及时监控水质是否合格，如果经过处理的雨水质量符合标准要求，就可以经过泵送排放到桥梁工程附近的河流。在桥梁排水管道安装施工期间，首先要注重优化排水管道节能设计方案，结合本地所处区域年均降水量，准确计算相关参数，选用合适口径的排水管道。同时，要注意将污水排水管道和桥梁雨水排水管道分开设计，全线统筹考虑排水方案，确保在雨涝季节，桥面未汇入排水管部分的大量雨水能顺畅排放于桥头相应的水井内或排水沟内。其次，如果排水管道必须经过特殊部位，像桥洞，就需要做好套管设置工作，全面改善排水系统。排水管道所安装的套管以钢套管为主，这样方能确保排水管道功能得以充分发挥。再次，要科学开展排水管道闭水试验作业，谨遵相关标准要求，确保排水管道施工作业顺利开展，避免出现排水不畅和管道破裂、污水乱流问题。在排水管道安装闭水试验过程中，应仔细检查管道是否存在裂缝或者损伤问题，并及时进行修复，确保管道结构的完整性与稳固性。另外，如果是在桥梁外侧设紧急停车带，则需要依托于该范围内上层沥青混合料，设置完善的排水沟，这样有助于提高排水效率。需要注意的是，这种方案的虽然能够在一定程度上满足桥梁排水要求，改善桥梁的美观性，却也存在局限性——结构布设必须具有连续性，无法配备伸缩装置。某桥梁排水设计中选用的排水管为PVC构件，过水截面圆形内径30cm，桥面纵坡位于竖曲线上，折算纵坡约为0.003，故以下计算均采用此纵坡数值： $I=0.003$ ，管壁粗糙系数较不利考虑取 $n=0.010$ ，管内平均流速： $V=0.974\text{m/s}$ ，PVC泄水能力： $Q_c=VA=0.974\pi\times 0.152=0.0689\text{m}^3/\text{s}$ 。排水管排泄能力应当满足每秒排水量大于水槽范围内桥面径流的总和则 $Q_c=0.0689\text{m}^3/\text{s}>Q_s=0.065\text{m}^3/\text{s}$ ，即排水槽尺寸满足要求。

结束语：

综上所述，全面优化桥梁下部结构设计方案，首先必须注重加强桥梁结构抗震能力，通过准确计算参数来加固桥墩和基桩，设计合理的悬浇合龙方案。其次，要注重加固桥梁承台。另外，应注意做好桥梁排水工作，降低桥梁下部结构水蚀问题。

参考文献

[1] 庄泳浩, 刘芳. 公路桥梁结构的抗震设计要点分析[J]. 中国市政工程, 2020(06): 133.
 [2] 王子冉. 悬臂浇筑大跨径预应力混凝土连续桥梁合拢段施工关键技术探析[J]. 江西建材, 2021(12): 203-205.
 [3] 李万成. 大跨径连续刚构桥梁挂篮悬臂浇筑施工中的内力、线形控制措施[J]. 四川建材(下旬刊), 2019, 37(2): 155-157.