

刘红卫
冯海江 编著

装配式梁桥设计



科学出版社

装配式梁桥设计

刘红卫 冯海江 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要针对装配式预应力混凝土先简支后连续体系的公路及城市桥梁设计中的问题,以问答方式进行了分析和解答。本书共5章:第1章总体设计,主要涉及装配式桥梁的桥型方案、结构体系、适用情况等;第2章上部结构,主要涉及断面类型、布梁原则、横向联系等;第3章下部结构,主要涉及墩台类型、盖梁设计等;第4章基础,主要涉及基础类型、桩基配筋等;第5章附属其他,主要涉及防护、护栏、排水、铺装等。各章的内容均从力学理论、计算分析、构造要求、施工条件、后期维护等方面进行了论述。

本书可供桥梁设计、施工、监理、管理及科研人员参考,也可作为高等学校桥梁专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

装配式梁桥设计/刘红卫,冯海江编著. —北京:科学出版社,2012.6

ISBN 978-7-03-034741-1

I. ①装… II. ①刘…②冯… III. ①装配式梁桥-桥梁设计

IV. ①U448.212.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第123534号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:包志虹

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年6月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:265 000

定价:50.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

目前,在我国公路及城市桥梁中,20~50m跨径的梁桥数量占到90%以上,上部结构大多采用预制装配式结构,其形式简单、受力明确、施工方便、工业化标准高。广大桥梁建设者的主要工作一般围绕装配式结构进行设计、研究、施工及管理。尽管这种结构形式已经比较成熟,在桥梁宏观建设方面发挥了其他结构形式不可替代的作用,但从很多项目的设计来看,技术层面上仍存在不足之处,因此,对这种结构进行必要的规范研究及技术总结具有重要的意义。

作者从事公路桥梁设计二十余年,对从普通钢筋混凝土的简支板、普通钢筋混凝土的先简支后连续板、后张预应力混凝土的先简支后连续空心板、先张预应力混凝土的简支空心板、后张预应力混凝土的先简支后连续T梁到后张预应力混凝土的先简支后连续箱梁等这些装配式的桥梁(涵洞)均有较深入的体会。感觉到桥梁设计人员在设计这一类型的桥梁时,虽然桥梁简单,但仍有感到困惑的问题,一直想对此类桥梁的设计经验进行总结,希望对设计人员起到解惑释疑的作用。

随着我国桥梁建设步伐的加快,很多结构已不再适用或逐渐趋于淘汰,因此本书的重点放在了最常见的装配式后张预应力混凝土的先简支后连续T(箱)形梁上,对小桥中仍然使用的预应力混凝土简支空心板有所涉及,并对钢-混组合梁桥的相关内容进行了适当阐述。

从全书的构思上来说,本书以“为什么”的提问方式引出问题,其目的是在问题中先给出回答的“然”,然后在回答中论述“所以然”。采取这样的方式更有利于读者理解问题的关键所在,便于引起读者对所阐述问题的兴趣,并引导读者进行深入理解。从装配式桥梁的结构方向来说,涉及力学理论、计算分析、构造要求、施工条件、后期维护等方面;从装配式结构桥梁的部位来说,涉及总体内容、上部结构、下部结构、基础、附属及其他等一系列问题。全书的编排也是按此进行的,便于读者迅速找到自己感兴趣的问题的答案。有的问题需要回答的内容很简单,但本书在回答此类问题时,对其涉及的其他方面也进行了延伸讨论。

本书重点讨论的是公路桥梁,本书中《通规》是指中华人民共和国行业标准《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004),《桥规》是指中华人民共和国行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)。

本书由刘红卫、冯海江编写,石家庄冀星路桥工程设计有限公司的王进、王艳东为本书的编写做了大量的具体工作,刘辉锁先生对本书的细节问题提供了帮助

和指导,在此向他们深表感谢。

由于作者水平有限,书中的问题及回答有不全面或不妥当之处,敬请读者批评指正。

刘红卫:liuliuleo@163.com;冯海江:fhj2004qhd@163.com。

作 者

2012年4月于石家庄

目 录

前言

第 1 章 总体设计	1
1.1 为什么障碍物、地形、地质等是决定桥梁孔跨的主要因素	1
1.2 为什么装配式的混凝土及预应力混凝土桥梁在桥梁中占的比重绝对大	2
1.3 为什么当桥梁在曲线半径较小时一般不宜采用装配式桥梁	3
1.4 为什么简支结构与先简支后连续结构的选择要从所处的环境、服务的对象和适应的规模来考虑	5
1.5 为什么高烈度区特别是地质破碎区域的梁桥设计时不应仅关注结构体系的选择	6
1.6 为什么装配式桥梁在纵向体系上多为连续梁.....	10
1.7 为什么连续墩上的支座一般选用普通板式橡胶支座.....	12
1.8 为什么装配式桥梁横向布置多采用分块制作.....	14
1.9 为什么装配式桥梁横向分布系数的计算方法很多.....	17
1.10 为什么装配式桥梁横坡的形成较复杂	21
1.11 为什么装配式桥梁正弯矩一般采用全预应力,而负弯矩采用部分预应力	26
1.12 为什么高墩的装配式桥梁与常规桥梁相比有时会有很大的区别	28
1.13 为什么隐盖梁式的桥梁多用于城市桥梁	29
1.14 为什么先张板的横坡楔形块常采用外贴块方式	33
1.15 为什么桥面连续与结构连续是有本质区别的	34
1.16 为什么装配式桥梁的一联长度宜控制在 200m 以内	35
1.17 为什么斜弯桥采用圆形支座,而直线桥宜采用矩形支座.....	38
1.18 为什么先简支后连续结构的施工顺序对结构应力的影响不大	39
1.19 为什么装配式桥梁的护栏和桥面铺装宜在体系完成后施工	46
1.20 为什么钢-混组合梁桥的施工顺序不宜改动	53
1.21 为什么钢-混组合梁桥节段连接多采用摩擦型高强度螺栓	59
1.22 为什么说城市桥梁与公路桥梁有很多的不同	60
1.23 为什么装配式桥梁横向块数的多少决定着桥梁的整体设计	66
1.24 为什么要对城市高架桥下的安全考虑得更多	70

1.25	为什么说装配式连续-刚构体系桥梁,区域温差的影响不大	73
1.26	为什么桥头处路基高度的选取,主要受到地质、造价及土地资源等因素的影响	78
第2章	上部结构	82
2.1	为什么装配式桥梁一般多采用T形和箱形断面	82
2.2	为什么装配式桥梁有时宜采用箱形断面,有时却可采用T形断面	84
2.3	为什么当桥梁处在平曲线上时,同一跨的各片梁的跨长有时不相同	86
2.4	为什么当桥梁处在曲线上时,为了保证梁长一致,可对湿接缝进行调整	87
2.5	为什么箱梁及T梁桥的横向湿接缝宽度一般控制在35~110cm的范围内为宜	89
2.6	为什么曲线桥布梁时,当边梁翼缘矢高较大时,要考虑梁体的平移	91
2.7	为什么对出现在超高段的箱梁桥可采用梁体旋转放置	92
2.8	为什么斜交桥梁的横隔板可采用正布也可采用斜布	93
2.9	为什么桥梁的横隔板连接目前多采用湿接,而很少采用干接	94
2.10	为什么桥梁的横隔板道数是随着跨径变化的	96
2.11	为什么当桥梁纵断处在竖曲线上时,计算梁底纵坡时不能简单用切线坡来替代	97
2.12	为什么连续钢-混组合梁的负弯矩区是设计考虑的重点	99
2.13	为什么装配式桥梁存梁期长短会影响成桥后的状况	101
2.14	为什么装配式桥梁在采用上部标准图时,要注意桥梁宽度和斜度的影响	105
第3章	下部结构	109
3.1	为什么装配式桥梁的下部一般多采用桩柱式墩台	109
3.2	为什么对梁体平移的桥梁应注意对下部结构的影响	111
3.3	为什么桥台处的垫石高度与支撑总高度的位置有关	113
3.4	为什么在计算桥台各处高程时,应以背墙前缘处的高程控制为宜	114
3.5	为什么桥台背墙一般是在梁体架上去后浇注更好	116
3.6	为什么处在非直线段上的斜交桥,其桥台尺寸按背墙前缘线展开与按盖梁中心线展开是不同的	118
3.7	为什么当桥梁采用柱式桥墩时,其横向墩柱高差应由横向地形控制	120

3.8	为什么当桥梁处在比较复杂的地形时,尤其纵向地形较陡的情况下,要对相关墩台进行处理·····	125
3.9	为什么柱径、柱间距及盖梁截面等参数相同时,虽然有时柱高不同但柱子及盖梁配筋却可相同·····	127
3.10	为什么桩柱式桥墩一般需设置系梁·····	130
3.11	为什么过渡墩的高低盖梁配筋会有三种方式·····	136
3.12	为什么桥梁桥墩一般不采用装配式构件·····	141
第4章	基础 ·····	143
4.1	为什么装配式桥梁的基础一般多采用桩基础·····	143
4.2	为什么桥梁基础顶面标高首先是由地面高程控制的·····	144
4.3	为什么桥梁基础的埋置深度会受到地形、冲刷等因素的影响·····	146
4.4	为什么桩基和承台的接头处需要进行处理·····	150
4.5	为什么桥梁桩基螺旋筋的螺距要在一定范围加密·····	151
4.6	为什么桩基底部一般有一段素混凝土,它的取值是如何考虑的·····	153
第5章	附属其他 ·····	159
5.1	为什么墩台防护设计是桥梁设计的重要环节·····	159
5.2	为什么桥梁上的护栏形式及尺寸有不同的选择·····	163
5.3	为什么有的桥梁设置防落物网,有的不需要设置·····	166
5.4	为什么桥梁的排水不仅仅需要考虑横纵坡的影响·····	168
5.5	为什么主梁顶面一般设置伸入现浇混凝土层的连接钢筋·····	171
5.6	为什么同一长度的桥梁伸缩缝宽度取值却可不同·····	174
5.7	为什么搭板长度主要是由桥头填土高度决定的·····	177
5.8	为什么一般桥梁不设置避雷措施·····	183
5.9	为什么桥头防护一般采用锥坡防护·····	184
5.10	为什么双幅桥的桥台一般向中央分隔带处延伸·····	188
5.11	为什么桥梁的一些构造措施能起到减隔震的作用·····	189
5.12	为什么支座垫石高度宜控制在10~30cm·····	195
5.13	为什么装配式桥梁的混凝土铺装层要比现浇结构的偏厚·····	198
5.14	为什么桥梁铺装层要设置防水混凝土,而不是普通混凝土·····	201
5.15	为什么装配式铰接板桥梁铰缝与桥面铺装宜同时施工·····	202
	参考文献 ·····	206
	后记 ·····	209

第1章 总体设计

1.1 为什么障碍物、地形、地质等是决定桥梁孔跨的主要因素

桥梁是什么？或者说桥梁的主要功能是什么？简单地说“桥梁是跨越障碍物的人工建筑物”，因此，桥梁的主要功能之一是跨越障碍物。障碍物的类别、尺寸等决定着桥梁的跨径，障碍物可以是河流、水渠，也可以是公路、铁路、管线等，只要是和桥梁交叉且又不能废弃的均是桥梁的障碍物。

如桥梁需要跨越河流，那么河床的宽度、交叉的角度、水位的高低及是否通航等因素决定了桥梁的跨径（或长度）及高度。例如，有行洪要求的桥梁，首先要计算河流的流量，由流量的大小去控制桥梁的跨径（或长度），同时还需计算水位、水流的壅水及浪高，决定桥梁的最小高度；对于跨越有通航的河流时，航道的建筑限界要求决定了桥梁跨径及高度的选择。如桥梁需要跨越的是道路，那么道路的宽度、道路要求的高度（建筑限界）也同样决定了桥梁的跨径及高度。道路的等级、道路的横断面形式、道路与桥梁的交叉角度、桥梁是否考虑景观要求等，决定所建桥梁的跨径大小、布孔及桥梁的结构形式。

山区的道路往往出现大量的高填方地段，此时桥梁不仅要满足跨越障碍物的要求，还应考虑填方的沉降、环保、经济性等因素，在这种情况下决定桥梁跨径和孔数的因素还包括地形的要求，此时桥梁的长度受桥头填土高度的控制，甚至有时没有明显的障碍物，而仅仅因为地形的限制需设置桥梁。

地质条件一般影响着桥梁的两个方面：一是跨径的选择，二是基础类型的选择。如地质条件较好可以适当选用大跨径来布孔（如35m或40m），反之则可采用20m或25m的跨径来布设。地质条件一般时可选择连续体系或刚构体系，地质条件很差时可能要选择简支体系的桥梁。

地质条件较好时，选择大跨径的桥梁，减少桥墩的个数，此时桥墩基础工程量增加的并不是很多。反之，地质条件较差，如增大跨径会带来基础工程量的迅速加大，反而不如选择小跨径时经济。

地质条件很差，如溶洞、采空区、软土区等地区，地基的不均匀沉降难以避免，选择简支体系比连续体系更为合理。

地质条件也决定着桥头高度的取值，一般地质条件下桥头高度不宜大于7m，软土等不良地质时，桥头高度不宜大于5m，否则不但路桥相接段的沉降差值难以控制或消除，从而影响行车的安全性和舒适性，而且桥台本身的安全性也

可能存在隐患。

图 1.1 为某互通主线桥的布孔简图,桥梁高度由铁路净空控制,而跨径的选择需要考虑的主要障碍物为:铁路、国道、高速公路、规划路及大桩号方向的两条匝道。由于主要障碍物与路线斜向交叉,考虑到其建筑限界及路堑边坡等地形因素,主跨采用了较大的 60m 跨径跨越。11 号台的平面位置受限(11 号台侧的路基部分已处在变宽段上,应避免桥梁处在变宽段上而增加施工难度),其填土高度在 7m 左右,从而其位置及形式已定;而两条匝道与路线走向接近正交,且二者位置较远,若采用一孔跨越的形式则跨径太大,同时考虑到小桩号侧的地形因素,两侧桥跨均采用了 35m 的跨径。综上,桥型布孔采用了 35m 与 60m 的组合跨径,桥梁布孔为:5×35m(装配式预应力混凝土连续箱梁)+3×60m(装配式钢-混组合简支箱梁)+3×35m(装配式预应力混凝土连续箱梁),桥跨长 460m。

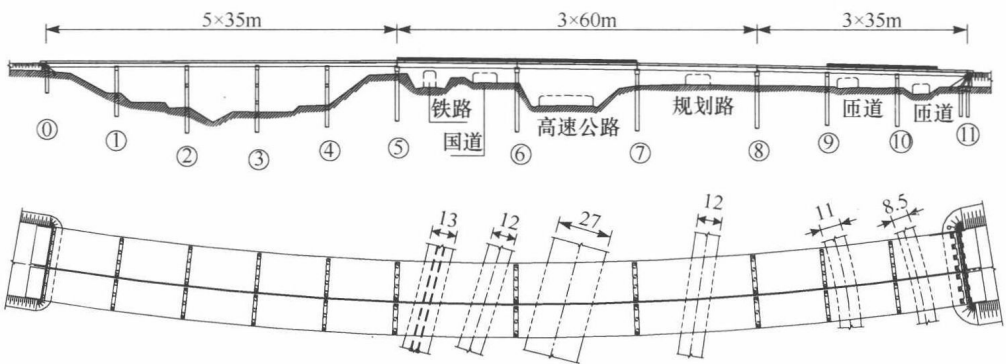


图 1.1 典型桥梁布孔图

从以上所述内容可以看出,决定桥梁布孔的因素往往不仅限于一个条件,桥梁布孔时要首先明确哪个因素是控制因素,然后再结合其他因素,综合考虑整座桥梁的跨径、孔数、桥长、结构形式等。

1.2 为什么装配式的混凝土及预应力混凝土桥梁在桥梁中占的比重绝对大

钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥都是采用抗压性能好的混凝土和抗拉能力强的钢筋结合在一起建成的。根据混凝土受预压程度的不同,预应力混凝土结构又分为全预应力和部分预应力两种。前一种在作用短期效应组合下主梁上下边缘的混凝土不出现拉应力,后一种则是通过限制作用短期效应组合下的拉应力数值或裂缝宽度,以此改善构件的使用性能,并获得更好的经济效益。目前钢筋混凝土梁桥在国内外桥梁建筑上仍占有重要地位。中小跨径的永久性桥梁,无论是公路、铁路或城市桥梁,大部分均采用钢筋混凝土或预应力混凝土梁

式桥。

在施工方法上,除了一些特殊情况尚采用现场整体浇筑外,大量的的是采用预制的装配式梁桥。

装配式梁桥和整体式梁桥相比,具有以下主要优点:

(1) 桥梁构件的形式和尺寸趋于标准化,有利于大规模工业化制造。

(2) 在工厂或预制场内集中管理进行工业化预制生产,可充分采用先进的半自动或自动化、机械化的施工技术,以节省劳动力和降低劳动强度,提高工程质量和劳动生产率,从而显著减低工程造价。

(3) 构件的制造不受季节影响,并且上、下部构造也可同时施工,大大加快桥梁的建造速度,缩短工期。

(4) 能节省大量支架、模板等的材料消耗。

当然,装配式梁桥的预制构件对运输和起重设备有一定的要求(特别是较大跨径时)。同时,桥梁的支座数量也较多,如更换支座工作量较大,施工控制较烦琐。为了保证全桥的整体性,装配式梁桥尚需牢靠的接头构造措施,目前一般均采用“湿接”集整措施(纵向及横向)。

不宜采用装配式桥梁的情况主要有以下几种:单跨跨径较大时;预制场地、运输、起重受限制时;特殊斜弯桥及变宽桥时;工程范围内桥梁数量很少时等。

因此,当桥梁确定为梁桥后,首选的应是装配式钢筋混凝土及预应力混凝土结构,只有当桥梁跨径必须足够大(如需 50m)才满足功能要求,桥梁平面线形很难适应装配式的需求,或者桥梁美学方面的要求很高时,才会选择整体浇筑的桥梁。正是基于这样的桥梁选择思路,使得桥梁的建设管理、设计施工、运营养护等工作大都是围绕装配式钢筋混凝土及预应力混凝土的桥梁,也使得装配式桥梁具有很强的生命力。在未来的桥梁建设中,装配式的桥梁仍将占据绝大多数市场。

1.3 为什么当桥梁在曲线半径较小时一般不宜采用装配式桥梁

装配式桥梁有两个“直线预制”:一是纵向梁体按直线制作;二是横向梁块按等截面“直线”制作。如果梁体均按桥梁的曲线要求预制,那预制装配的优点将变得毫无意义。因此,讨论装配式梁的外形时,均是按“直线”来考虑的。对于曲线桥梁,它是以最终的折线来代替曲线的,简单地说所有装配式桥梁都是“以折代曲、以弦代弧”,因此对于曲线上的桥梁来说,曲线半径和桥梁的跨径成了两个重要的参数,当曲线半径较小时,不能采用跨径大的装配式结构,否则会出现很复杂的几何处理措施。

图 1.2 是 3 跨桥梁的平面布梁简图,影响折线代替曲线的主要因素如下:在曲线上时,由于矢高 f 的存在,使得处在桥梁内外弧侧的边梁翼缘板宽度均为变值,

一般情况下当最大矢高 f 超过 30cm 时,建议梁体平移布置(有关梁体平移的问题见 3.2 节)。

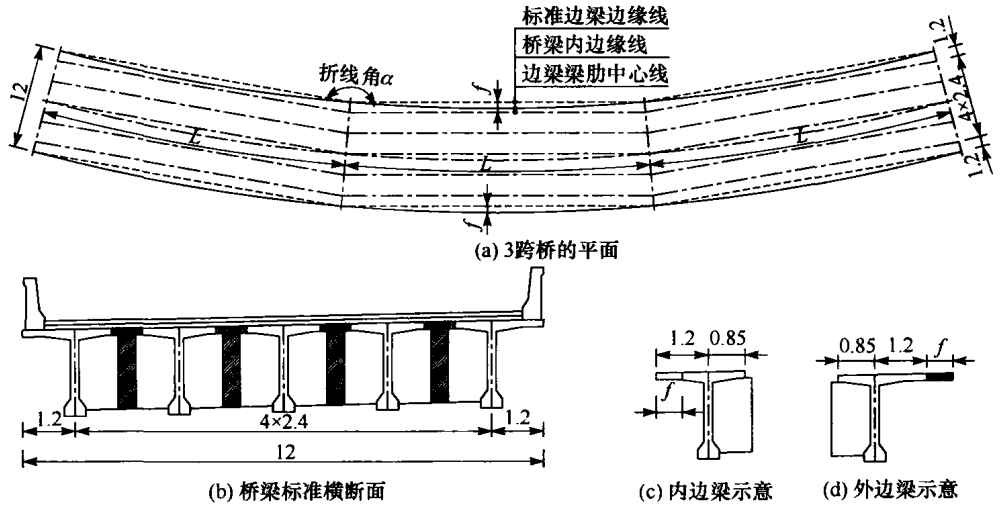


图 1.2 曲线桥梁的装配式布梁图(单位:m)

由于各跨采用了相同的布梁原则,在墩顶处会出现折线角 α ,对于简支结构来说不会有很大影响,但对于先简支后连续的预应力结构来说,会对墩顶施加预应力有一定影响。由于张拉时必须满足钢束的最小平弯半径($R=4m$)要求(《桥规》9.4.10),同时平弯切线点不得侵入预制梁体内,这样必然会对折线角 α 的大小有所限制(图 1.3)。

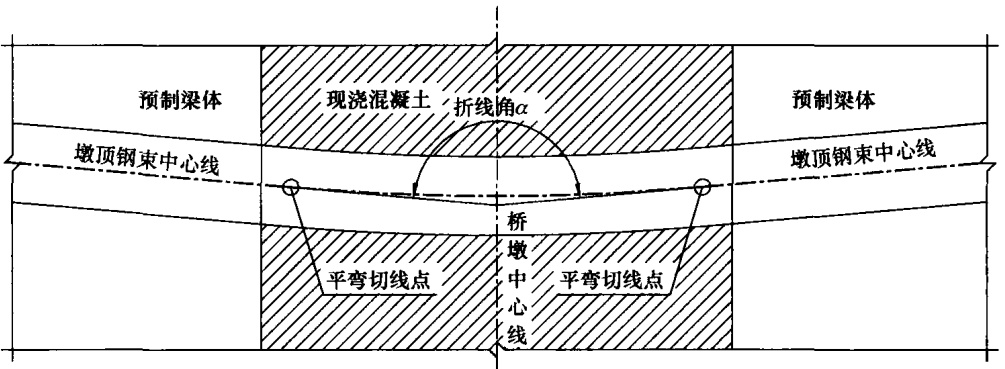


图 1.3 墩顶钢束平弯处理

当然还有重要的因素跨径 L ,在曲线半径不变的情况下,减小跨径 L 能有效减少矢高 f 和折线角 α ,也就是说,当曲线半径较小时,适当缩减跨径 L 是必需的,但前提是满足桥梁的主要使用功能——跨越障碍物。

前面讨论的仅是几何关系对曲线桥的影响。一般情况下,桥梁的跨径是依据

使用功能来确定的,是首先的决定因素。当跨径确定,而桥梁又恰好处在小半径的平曲线上时,将使桥梁的布梁很难进行,因此从几何关系上来说,曲线半径较小时不宜采用装配式结构。

从曲线桥与直线桥的受力特点来说,曲线桥梁是空间结构,由于平面圆弧曲杆挠曲与扭转的耦合,不但垂直于弯曲平面的竖向力可以产生弯矩和剪力等内力,竖向荷载对曲梁剪力中心线的偏心扭矩也可以产生这些内力。更重要的是,由自重和预加力产生的扭矩和扭转变形是不容忽视的,在曲线半径较小、较大跨径的曲线梁桥中,主梁组合最大扭矩有时可达纵向最大弯矩值的50%以上。

相关研究认为,圆心角、曲线半径、桥梁宽度及截面抗弯抗扭刚度比等,是区分曲线梁和直线梁受力特征的主要因素,把 ξ 称为曲线影响综合系数。

$$\xi = \frac{L^2}{RW}$$

式中, L ——跨径弧长;

R ——曲线半径;

W ——桥梁全宽。

在加拿大安大略省公路桥梁设计规范中,当 $\xi < 0.5$ 时认为可用直线梁计算结果代替曲线梁。在其他条件相同的情况下,桥面越宽,曲线影响综合系数越小。

曲线梁桥要求的抗弯刚度与同样条件下直线梁桥差不多,但要求的抗扭刚度比较大。当曲线梁桥的横截面为箱形、空心板、实心板时,其截面尺寸可参考同样跨径、同样宽度的直线梁桥的有关尺寸,抗弯、抗扭强度一般都能满足要求;但如采用开口的梁肋式截面,其肋厚(主要是在支点附近的腹板厚)必须大大增加。同时由于抗扭的作用必然会影响到截面的横向联系(横隔板等)的受力加大,必要时对横隔板等处的钢筋应做处理。

当半径一定时,桥梁较宽的曲线桥相对窄桥来说,曲线影响综合系数小,采用装配式结构“以折代曲”对结构的受力影响也较小。

1.4 为什么简支结构与先简支后连续结构的选择要从所处的环境、服务的对象和适应的规模来考虑

装配式桥梁一般有两类:一类是简支结构(有时做成桥面连续);一类是先简支后连续结构。连续结构在力学性能上优于简支结构,它具有结构刚度大、桥面变形小、动力性能好、变形曲线平顺、有利于高速行驶等突出优点。但连续梁是一种外部超静定结构,基础的不均匀沉降会引起结构的附加力,初始预加力、混凝土的收缩、徐变、温差作用等都会引起超静定结构内力的变化。

一般情况下,多跨的简支结构均采用了桥面简易连续。桥面简易连续是在多跨的混凝土简支梁桥中,为了改善车辆行驶的平稳舒适性,减少伸缩缝的设置和经

常性的维护工作,将其桥面做成连续的,形成竖向荷载作用下为简支体系、水平力作用下具有一定连续功能的结构。虽然桥面连续能使行车时比较平顺,但其并非真正意义上的连续结构。

结构连续就是对多跨简支梁的两端做完全连接处理,使结构呈现出连续梁桥的特性。由于墩顶处梁的连接段不承受一期恒载的作用,使得其中支点负弯矩较普通连续梁桥小得多,因而有时仅需配置普通钢筋就能解决连续问题,给施工带来方便。

那么,当桥梁适合设置装配式桥梁时,两种结构如何选择呢?下面从几个方面进行分析。

(1) 桥梁所处环境的影响。

桥梁所处的环境主要是指地质环境,当地质条件较好时,一般选择连续结构;当地质条件为不均匀沉降易发生地段,如地质溶洞或地下矿产采空区较多的地段,为减少基础的处理难度建议选择简支结构。

(2) 桥梁的服务对象。

当桥梁的服务对象是公路交通时,一般采用连续结构,尤其是高速公路。当服务于城市道路或低等级公路时,一般选用简支结构。其中的原因除了各自的施工场地、施工条件等不同以外,还与公路和城市道路上行驶车辆的要求不同,公路桥梁侧重通行的速度,而城市桥梁侧重通行的能力。

当桥梁是为重载交通特殊设计时,如采用连续结构,由于墩顶负弯矩较大,布束受到构造的限制难以曲线配束,往往很难满足墩顶负弯矩的需求。这种情况下,宜采用简支结构。

(3) 桥梁的规模。

桥梁的长度也是选择结构形式的一个依据,当桥梁为1~2跨时,一般选择简支结构,当桥梁超过3跨后,多数情况采用连续结构。桥梁的规模越大越趋于选择连续结构。

当桥梁确定采用装配式结构后,应根据上述条件综合考虑,选择采用简支结构或连续结构。

1.5 为什么高烈度区特别是地质破碎区域的梁桥设计时不应仅关注结构体系的选择

桥梁震害按结构破坏机理可分为直接震害和间接震害;前者是地震直接造成的结构灾害,如落梁、移位、局部碰撞、桥墩破坏等(图1.4);后者系由地震诱发的山体崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害对桥梁结构的破坏(图1.5),与直接震害相比,间接震害动辄桥墩被砸断而导致落梁破坏,损失更甚、更具毁灭性。

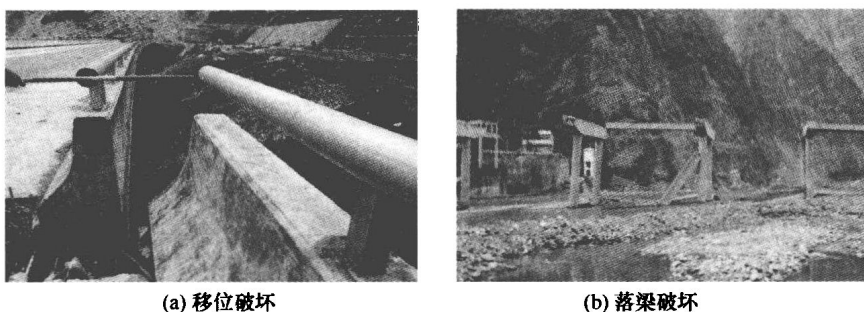


图 1.4 直接震害

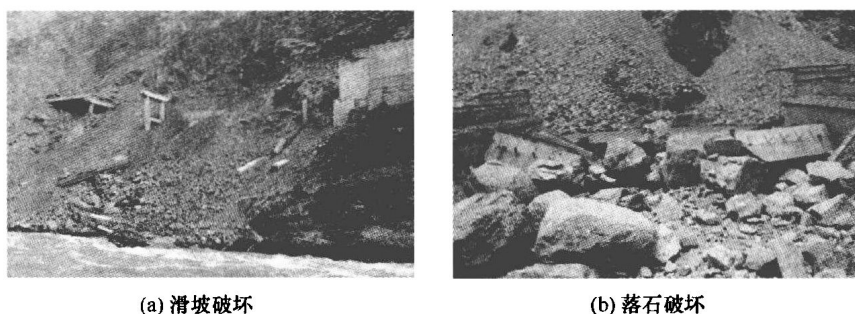


图 1.5 间接震害

客观地说,大地震中桥梁不受损坏几乎是不可能的,但是在地震来临之时,如果能够保证墩台不倒塌、桥面不落梁,就可最大限度地减少灾区损失,极大地方便抢险救灾。因为桥梁结构属于公路网中的节点,对于缺少合理冗余度的路网结构而言,一旦桥梁结构损坏,即导致路网功能丧失、交通瘫痪。尤其在我国西南部地区,不仅公路网脆弱、可靠性低,又处在地震高烈度区,再加上地质破碎、生态脆弱等因素,地震时极易发生滑坡、泥石流等次生灾害。

从汶川震后重灾区国(省)主干线公路桥梁震害调查来看,在破坏严重的桥梁中,次生地质灾害所致的比例高达40%。因此,设计理念从单一的地震灾害防御向多灾害综合防御转变的意义显得更加重要,即在设计时不仅要重视结构本身的抗震性能,而且要评估次生灾害的危险,采取相应的对策,特别是对地处高烈度区且地质破碎区域的桥梁。

综上所述,桥梁抗震不仅要遵循《中华人民共和国防震减灾法》中“实行预防为主方针,减轻公路桥梁的地震破坏,保障人民生命财产安全,减少经济损失,更好地发挥公路交通网的功能及其在抗震救灾中的作用”的宗旨,根据现行《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02—01—2008)(以下简称《08抗震细则》)“两水平设防、两阶段设计”的思想进行设计,并结合以往的桥梁震害调查与分析。针对公路中广泛采用的梁桥结构,提出如下建议:

(1) 首先是抗震设防理念的转变,应从如何抵抗地震力转变为如何去适应地表的位移,在策略上是从刚性抗震设计转变为柔性对策的隔震、延性、耗能设计。

(2) 在高烈区进行桥梁抗震设计时,应从宏观考虑不同桥型的抗震能力及其结构自身的抗震弱点加以设防。桥型抗震性能的优劣不能一概而论,例如,多跨简支结构虽然整体性差,发生落梁的危险远大于连续梁桥,但简支结构下部墩身的震害损伤程度要弱于连续结构,这主要是后者由于固定墩的设置及墩身高度的差异,使各桥墩水平抗推刚度差异大,地震时水平地震力分配严重不均所致。从震后梁桥震害损伤调查来看(表 1.1),简支梁经历了严峻考验而不逊于连续梁,问题的关键是抗震构造措施设置的是否合理、有效。针对简支结构整体性不足、易落梁等问题,可以通过加强梁(板)之间的纵、横向联系,做成桥面连续加以改善,并采取合理的限位措施(如设置纵向挡块、控制联长等)。

表 1.1 梁桥结构震害程度调查表

桥型	桥梁数/座	所占比例/%	震害比例/%			
			完好及轻微破坏	中度破坏	严重破坏	损毁
简支体系桥	1337	97.6	82.87	9.35	7.03	0.75
连续梁桥	33	2.4	72.73	12.12	9.09	6.06

(3) 由于弯、斜桥在地震中的破坏普遍较直线正交桥严重,因此在地震高烈度地区应尽量减少弯、斜桥。对于山区公路线形有良好适应性的曲线梁桥而言,宜选用小桥长、小跨度的连续梁结构。

(4) 落梁震害与支撑破坏密切相关,但从支座构造入手来解决落梁问题是困难的,设计中应将支座、主梁搁置长度、主梁限位装置作为一个统一的防落梁系统来考虑。对于主梁搁置长度问题,《08 抗震细则》仅给出了简支梁的情况,在缺乏精确分析的情况下,建议连续梁也采用该公式控制主梁的最小搁置长度。

(5) 宜坚持上部结构与下部结构“弱”连接的设计原则,同时必须加强防落梁措施设计、桥墩与构件延性及细部设计。具体如下:

① 在支座设计方面,将现有的“浮放”方式改为在底部与桥墩锚栓连接的形式。

② 在防落梁措施方面,横向挡块宜适当加强但不可过刚,配筋必须注意具备足够锚固长度,竖向深入到盖梁内部;并在梁与梁之间、梁与桥台胸墙、梁与挡块之间设置弹性垫块,以缓和地震的冲击力。

(6) 桥墩及构件设计,桥台的胸墙及与翼墙交接处应进行地震时主梁冲击荷载下的强度校核;桥墩的设计应当充分考虑延性,尽量采用直径 12mm 以上的 HRB335 螺纹钢筋作为箍筋,并减小箍筋的间距以保证足够的配箍率,实现对核心混凝土的约束作用;排架墩间系梁的设置应防止出现“强梁弱柱”效应,保证第一塑性铰产生在系梁而不是桥墩上;桩柱式结构应尽量避免在墩底出现整齐的施工接缝,

并严禁纵筋在柱脚等关键受力部位的截断或搭接,以切实提高其延性抗震能力。

以上几点内容,也仅是从结构自身方面采取措施,以达到减轻直接震害对结构损伤的目的,而对于山体崩塌、滑坡、堰塞湖等次生灾害导致桥梁损毁,以及地基震害等非结构性震害,显然是不够的。结合以往工程经验及震害调查,除正确选择桥位,布置足够的孔跨、桥孔高度,正确选择基础形式,设计足够埋深,配置相应的拦挡、防撞、排导构造物等之外,高烈度区及地质破碎区域的桥梁还应在“技术可行、经济合理”的原则下,适当提高设计标准,合理加强防护。设计时应考虑以下原则:

(1) 避让原则。桥位应尽量避免避开断层、滑坡、泥石流、强岩溶及其他不良地质地段,若受地形限制,要采取适当的措施。例如,在路线穿越易发生泥石流的沟口处,一般应布设桥梁跨越,桥跨和净高要充分考虑泥石流的宣泄,“宁大勿小”,为减小泥石流对桥跨下部结构施加的冲击力、剥蚀力,确保桥梁结构安全、耐久性要求,除在桥墩周围做必要的导流、防冲击、剥蚀构造外,路线应尽可能与泥石流沟口保持一定的距离(图 1.6)。

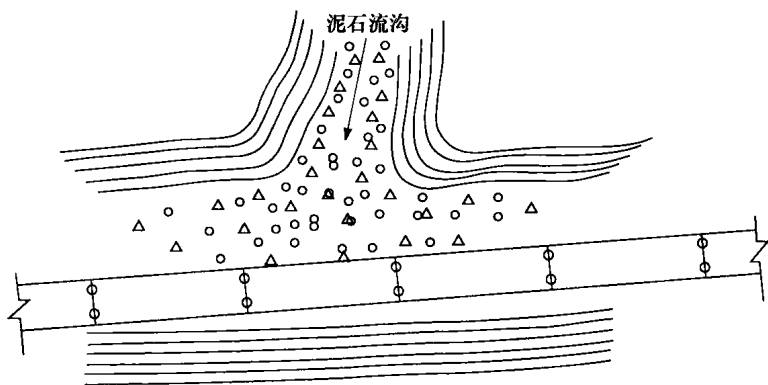


图 1.6 桥梁跨越泥石流沟口

(2) 防护原则。由于特殊的地理环境,桥位无法避让破碎山体时,应特别重视对桥梁迎坡一侧的山体进行工程防护和生态植物防护,必要时清除山体之上的悬石,避免山体坍塌、落石对桥梁的损坏。桥墩宜采取适当的防护、隔离措施,例如,迎坡侧采取浆砌块石防护,其与桥墩间应留有适当的缓冲距离。

(3) 构造措施最强原则。构造措施对保证桥梁在不可预期的“大震”下的抗震能力非常重要,同时其造价相对桥梁总投资又很低廉。因此建议构造措施部分不再依“设防烈度”设计(规范做法),而是采用能够维持桥梁“大震”后应急通行功能的“最强原则”设计。这也可与人类对地震发生时间、地点、强度等的认识水平极其有限相适应。

(4) 慎重选择桥位场地。桥址场地及地质条件(或经处理后)必须能够确保桥台的整体稳定性;在宽阔河漫滩、山(河)谷修建桥梁时必须重视砂土液化问题;在