

混 凝 土 箱 梁 桥

〔美〕 Oris H. 迪根库布著

吴	德	心	译
孙	怀	慈	校

人 民 交 通 出 版 社

〔一九八二年一月八日〕

混 凝 土 箱 梁 桥

[美] Oris H. 迪根库布 著

吴 德 心 译

孙 怀 慈 校

人 民 交 通 出 版 社

036461

内 容 提 要

本书系美国混凝土学会 (ACI) 专著丛书之一。作者专门介绍了混凝土箱梁桥及其各组成部分的构造、性能、施工要领和设计中必须考虑的各种要素。

本书内容丰富、简明扼要,是作者从事桥梁工作卅余年和加利福尼亚州建成四千余座混凝土箱梁桥的经验总结。该书可供从事桥梁设计、施工、科研和教学人员参考,也可作为路桥专业高年级学生的参考书。

Concrete Box Girder Bridges

Oris H. Degenkolb

Published jointly by

The Iowa State University Press

American Concrete Institute

1977.

混 凝 土 箱 梁 桥

吴德心 译

孙怀慈 校

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 3 字数: 64 千

1981 年 10 月 第 1 版

1981 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—4,000 册 定价: 0.50 元

目 录

1. 基本情况	1
2. 几何图形	4
2.1 跨径	4
2.2 梁高	5
2.3 构架型式	5
2.4 梁肋间距	6
3. 桥面	6
3.1 桥面功能	6
3.2 桥面钢筋	7
3.3 最小保护层	10
3.4 桥面板厚度	10
3.5 桥面模板	11
3.6 桥面板损坏	11
3.7 施工	13
4. 箱梁底板	14
4.1 底板的作用	14
4.2 底板的厚度	14
4.3 底板的造型	15
4.4 孔洞	16
4.5 照明	16
5. 梁肋	16
5.1 概述	16
5.2 施工	18

5.3	水平承托	20
5.4	竖向承托	21
5.5	箱梁箍筋	21
5.6	艺术处理	23
6.	隔板	25
6.1	端隔板	25
6.2	中间横隔板	26
7.	施工缝	27
7.1	概述	27
7.2	浇筑工序	27
7.3	水平施工缝	28
7.4	竖向施工缝	29
8.	盖梁	30
8.1	概述	30
8.2	设计假定	30
8.3	钢筋细节	32
8.4	抗震的要求	33
8.5	过渡性的钢筋	33
9.	铰	34
9.1	概述	34
9.2	平衡铰的移动	38
9.3	阻尼器——新型的构造	39
9.4	竖向阻尼器	41
9.5	横向剪力键	41
9.6	旧桥增设的阻尼器	41
10.	梁的钢筋	42
10.1	选择和排列	42
10.2	渐变钢筋	45

10.3 过渡性的钢筋	45
11. 荷载分配	46
11.1 基本情况	46
11.2 整体设计	46
11.3 梁的共同作用	47
12. 静载挠度和预拱度	47
12.1 静载挠度	47
12.2 预拱度	48
13. 活载挠度和振动	49
14. 温度影响	51
14.1 概述	51
14.2 纵向	52
14.3 横向	53
15. 钢筋	55
15.1 钢筋的等级	55
15.2 混凝土保护层	55
15.3 拼接	56
15.4 大号钢筋	57
15.5 墩柱钢筋	57
16. 预应力	57
16.1 与混凝土箱梁桥比较	57
16.2 细节构造	58
17. 轻骨料混凝土	62
18. 斜桥和弯桥	63
18.1 斜桥	63
18.2 弯桥	64
19. 铁路桥	65
20. 分段预加应力	67

20.1	概述.....	67
20.2	预制块件.....	71
20.3	就地浇筑块件.....	76
20.4	设计.....	77
20.5	挠度和预拱度.....	81
21.	公用设备.....	83
21.1	安全措施.....	83
21.2	安装公用设备.....	83
21.3	公用设备出入口.....	86
21.4	未来的公用设备.....	86
	参考文献.....	88

1. 基本情况

第一批钢筋混凝土箱梁桥修建于欧洲，它是普通长度的短双悬臂单跨桥。悬臂主要是平衡重，在支座处产生负弯矩，减少跨中的正弯矩。美国第一座钢筋混凝土箱梁桥修建于1937年。1950年以前，4个州修建了箱梁桥，其声望提高了。到1960年26个州均修建了箱梁桥。这种建筑型式盛行于美国西部，主要在加利福尼亚州，该州已经设计和建造了3100座钢筋混凝土箱梁桥和1100座预应力混凝土箱梁桥。

设计第一批箱梁桥时，混凝土桥梁的有效规范是供短跨径用的，且静载只占总设计荷载的一小部分。由于这种设计规范要求静载和活载同样的安全系数，这对于大的跨径，一般的混凝土桥型是不经济的，因为如果跨径长度增加，静载对总设计荷载的比率迅速增长。为了解决这一课题，发展了空心梁混凝土桥。进一步应用连续性能，提高了箱梁桥的经济性。

为设计第一批箱梁桥，使用了T型梁桥的修订规范。经过几年，在经验、鉴定、理论和研究的基础上，又修订了这一规范。为纠正缺陷，达到更加经济，并跟上新的发展（在这些发展中，预应力是最重要的），对这些规范进行了不断地修订。

实际上建于美国的所有公路桥梁，均按照美国各州公路与运输工作者协会（AASHTO）的规范进行设计。1973年11月11日以前，该组织通称为美国各州公路工作者协会（AASHO）。这些设计规范与其他建筑规范有许多相同之

处。对设计每座桥梁来说，这些规范决不是一部能硬性遵循的“烹调书”。它们决不是经验、良好的判断力或想象力的代用品。这些规范一般适合于常用的跨径、结构宽度、高度和施工方法等有限范围。

预应力的出现，增加了箱梁桥的实际长度，同时也允许考虑很薄的结构。1960年美国公路安全标准限制在公路驾驶人员的右侧采用墩柱时，两跨连续就地浇筑后张法预应力混凝土箱梁成为跨线结构的理想型式，这种结构的经济的高跨比远较其他建筑型式为小。预应力混凝土桥跨与其他建筑型式在梁高上的差别是足以保证在脚手架下面可以通过现有交通量，而且完工后的结构垂直净空是比较大的。如果不是跨越交通线修建，可使道路的坡度彼此较为接近，这就大大地减少了引道的挖方和填方量。竣工后的结构也是美观舒适的，并且只需要最低限度的养护。然而，至今建于美国州道上约全部钢筋混凝土箱梁桥的90%。其跨径小于100英尺，加利福尼亚州1100座预应力混凝土箱梁桥大约40%的跨径超过150英尺。

目前就地浇筑后张法预应力混凝土箱梁桥，从100英尺以下到300英尺以上（30~90米）是与其他桥梁结构型式经济竞争者。对于更大的跨径则悬臂混凝土箱梁桥是经济竞争者。

1950年，德国采用悬臂拼装法架设了一座预应力箱梁桥。这种设计和施工方法大大增加混凝土箱梁桥的实际的和经济的跨径。到目前为止，最长的竣工跨径为787英尺（240米），一座790英尺（241米）跨径的施工已经开始了。更长的跨径可期待于未来。

所有建造的桥梁习惯上按容许应力设计（WSD）法计算。近几年对所有的建筑型式致力于转到荷载系数设计

(LFD)。极限强度设计 (USD) 这个术语，与荷载系数设计往往作为同义词使用。

为了经济起见，一座桥梁的每个部件不应该过于安全的设计。如果实际加于桥梁构件上的活载是设计活载的两倍，同时假如是按容许应力设计法计算构件，容许应力的10%分配给静载，90%分配给活载，该构件将超应力达90%。若以同样方法设计同一桥梁的另一构件，而容许应力的90%来自于静载，而10%来自于活载，桥上必须作用一个10倍于设计活载的活载，该构件才能超应力90%。这个例子中的后一构件显然地过于安全设计，因此，第一个构件完全破坏后，后一个构件仍然保留有一个很大的储备能力。以荷载系数法规范设计的结构中，所有构件几乎有同样的安全系数来抵抗超载引起的破坏。因为构件任何部分没有不必要的过于安全设计，从而达到了最经济。

美国商业部公路局1966年8月出版了钢筋混凝土桥梁构件极限设计强度与使用可靠性标准。1969年10月美国联邦公路管理局（公路局的后继者）出版了第二版。这两个荷载系数设计规范，都曾经在一定的基础上代替美国各州公路工作者协会公路桥梁容许应力设计规范。1973年作为一种荷载系数设计规范被美国各州公路与运输工作者协会所采纳。可以预期，不久美国铁路土木工程 (AREA) 对铁路桥梁也将采用荷载系数设计规范。

按照荷载系数设计规范设计一座公路桥，比按容许应力规范来设计它，具有较少的主梁钢筋和较轻的梁肋。

2. 几何图形

2.1 跨 径

已经建成的钢筋混凝土箱梁桥，其跨径从30英尺到至少为235英尺（9~72米）。公路跨线立体交叉结构一般变动范围为50到150英尺（15~46米）。简支跨径，因为静载挠度很大，其跨径应被限制在110英尺（34米）左右。再长的简支跨径应施加预应力。

预应力箱梁结构对60英尺（18米）及以上的跨径是合适的。已建成的就地浇筑结构，其跨径至少已达460英尺（140米）。对于从130英尺（40米）到787英尺（240米）以内的建筑跨径，已经采用了分段悬臂施工。

钢筋混凝土箱梁结构与预应力混凝土箱梁相比较，在经济上有相当交错之处。在上述范围内的所有结构，在一定条件下在经济上都是有竞争力的。对于公路跨线立体交叉构造，在80到120英尺（24~27米）范围内两种型式都可能是合适的，钢筋混凝土结构对较短的跨径更为适宜，而预应力结构以较大跨径的结构为佳。但个别结构可以超出上述范围。

为了将引道工程、坡度和排水等问题减少到最低程度，通常要求公路跨线立体交叉结构具有最小的梁高。在这种情况下，预应力构造可能更经济，也合乎审美观点的要求。跨越有足够垂直净空的河流或立体交叉，较长跨径的钢筋混凝土箱梁桥可以与预应力的构造相竞争。从审美观点来说，长跨径钢筋混凝土箱梁需要较大的梁高，对在下行路之上具有最小净空的公路是不合适。梁高小一些在外观上通常更合适一些。

在公路立体交叉结构中，桥梁跨径通常由公路几何图形和安全标准来确定。桥梁设计者难得有机会把它调整到最经济或者在构造上合乎要求的比例。

按结构而言，使端跨跨径大约为相邻中跨跨径的 $3/4$ 是合适的。为了防止梁端在桥台处上翘，端跨跨径只应稍小于相邻中跨跨径的 $1/3$ 。

当跨径不受公路几何图形或其他自然条件限制时，通常由经济性或审美观点来决定。每一个桥址是个特定的位置，必须按其情况作出评价。对于绝大多数情况，端跨为中跨的 $3/4$ 通常是经济和舒适的。端跨是相邻中跨的一半或者更短时，采用时应该谨慎，而且一般来说不甚美观。

2.2 梁 高

为了保证足够的刚度以限制挠度，而免影响钢筋混凝土箱梁桥的强度和使用性，建议简支梁的高跨比约为 0.060 ，连续梁为 0.055 。预应力混凝土箱梁桥，相应的高跨比约为 0.045 和 0.040 。不论钢筋混凝土或预应力混凝土结构，对于变截面的建筑物，连续梁桥的跨中高度应约为跨长的 $0.02 \sim 0.03$ 倍，而支点处结构高度应约为跨长的 $0.05 \sim 0.08$ 。这些比率应作为试算的数值，但为了适应于混凝土强度、净空要求、美观、荷载和其他的因素，可以改变。虽然可以采用比上述所给定的比率还要小的高度来设计钢筋混凝土结构，但这样的设计应该谨慎进行，因为在极矮的梁中会遇到徐变的困难。

2.3 构 架 型 式

为了适应温度和混凝土收缩所引起的纵向移动，长的多跨桥往往需要在某些中间跨设铰。除非采取足够的预防措施

施，以限制铰端张开的允许距离，否则在地震情况下，已表明铰是事故的源由。铰往往无法抵抗结构的横向挠曲。如果在某长跨径结构的两邻跨中间都设铰，那末两铰之间的结构单元没有相当的约束而可能过分地旋转。在地震过程中，这种作用能引起整个结构的过分变形，甚至毁坏。为了防止这种情况，建议铰至少由两个排架所分隔。

2.4 梁 肋 间 距

一般箱梁结构最经济的梁肋间距，其变化范围大约从8英尺到12英尺（2.4~3.7米）。由于跨径的加长和梁高的增加，梁肋间距亦相应加大，对于立体交叉公路跨线桥，梁肋间距平均幅度应为8~9英尺（2.4~2.7米）。更大的梁肋间距必需增加桥面板和底板的厚度，但附加的混凝土费用可以通过减少梁肋的总数来抵消。梁肋较少，所需的模板也少，使混凝土单价较低。20英尺（6米）或更大的梁肋间距在大跨径悬臂结构中并不罕见。

从边梁肋挑出悬臂桥面板，能减少梁肋的数目。桥面板的悬臂长约为主梁间距的一半，一般能得到很满意的结果。这种布置使得桥梁既更加美观，又更为经济。

3. 桥 面

3.1 桥 面 功 能

混凝土桥梁的桥面有两个主要功能：(a)承受桥上的活载；(b)充当纵梁的上翼缘。混凝土是根据两个方向最大受力程度设计的。通常不考虑两个方向同时作用的最大应力。

3.2 桥面钢筋

桥面一般需设四层钢筋。为了承受活载并把荷载传递给主梁，在板顶和板底设计横向钢筋。纵向“分布钢筋”置于桥面跨径中部 $1/2$ 跨长处下层横向钢筋的上面，以便把车辆荷载分布到更大的桥面纵向区域。布置在板跨外侧 $1/4$ 处的额外的钢筋，作为温度和收缩钢筋。

主梁钢筋沿纵向恰好布置在顶层横向钢筋的下面。主梁钢筋的间隔超过 18 英寸 (460 毫米) 的区域内，温度钢筋和收缩钢筋拼接于主梁钢筋的两端。

为了经受住桥面板混凝土浇筑工序中遇到的集中荷载和集中力，四层钢筋需要相当数量的绑扎和支架。

在加利福尼亚州，许多桥梁包商在横向桥面钢筋底层下面设置纵向钢筋 (通常是 #4S)，费用由他们自己负担 这已成为普遍的惯例。这些“奉送”钢筋支承桥面的所有钢筋。采用这些附加的钢筋，整个桥面板内的钢筋用很少量的绑扎和极少量的支架就能够成为一个刚性单元。由于实践证明这种钢筋是经济合理的，目前加利福尼亚州公路局在承包设计方案中规定设置这种钢筋。在板跨中间 $1/2$ 跨长内的“奉送”钢筋，作为分布钢筋的一部分 (图3.1)。

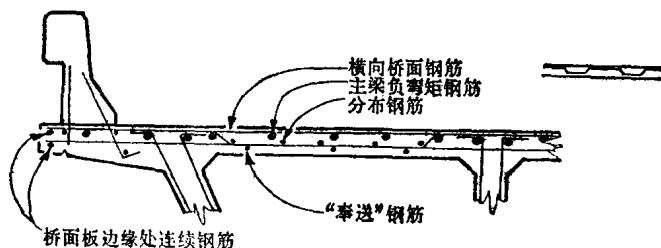


图3.1 典型的桥面钢筋

横向桥面钢筋主要由连续的相互交替的弯向顶部和弯向底部成“桁架”一样的连续钢筋组成。因此，这些钢筋过梁肋时，应布置在板的顶部，在梁肋间位于板的底部。这些“桁架”钢筋充当顶层和底层钢筋间的定位钢筋，同时也作为正弯矩钢筋和负弯矩钢筋之用。在变宽度结构中，梁肋被加宽而横向桥面板跨径不是固定的。设计细节、制作、加工和安放许多不同尺寸的钢筋，费用较高。这种情况下，正弯矩钢筋和负弯矩钢筋规定用短的直钢筋，一般较为经济。在特殊情况下，只采用连续的顶部和底部钢筋，有时更加经济。一般在斜交桥的端部，板的钢筋作扇形布置或垂直于梁肋方向布置，所有的钢筋长度都不同。

桁架式的钢筋弯制比较昂贵，但在工地安装简便。直钢筋在车间生产费用少，但需更多的劳力去安设。如果不用桁架钢筋，必须用钢筋垫将两层直钢筋隔开。

尽管采用桁架钢筋与连续的顶部和底部钢筋相结合，通常是比较经济的桥面布筋方法，但有时按当地的劳力条件和施工方法，全部采用直钢筋也可能更有利。

弯桥上的桥面钢筋一般作扇形沿径向布置，这些钢筋的间隔沿桥面中心线或某一同心参考线来度量。这种布置法，钢筋的用量要稍微加大，但和钢筋互相平行布置相比，许多不同尺寸的桁架钢筋种数得以减少，制作、编号、加工、架设许多尺寸订制的钢筋所需的额外费用也减少。

桥面斜度在 20° 或 30° 内，一般采取平行于排架墩和桥台布置横向桥面钢筋较好。若钢筋不垂直于梁肋，设计者应谨慎地核对所需的钢筋追加面积；平面图应将钢筋间隔清楚地标注是沿桥中线度量，还是垂直方向去度量。斜交超过 20° 到 30° ，桥面所有钢筋应垂直于梁肋方向布置，而桥面三角形端部上只采用直钢筋（图3.2）。若有相当部分的桥面从边

主梁挑出，要保证桥面板板角被充分加强。在斜度大的斜交桥的桥面板尖角处需绘专门的详图。

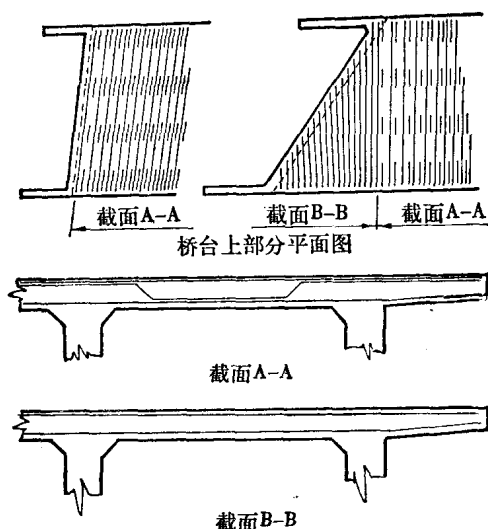


图3.2 桥面板横向钢筋

连续的桥面横向钢筋，理论上可以被认为是承受压力，以降低混凝土的计算应力，减少桥面板的厚度。实际上，这种改善往往略而不计。

桥面板作为单向受弯板进行设计。当桥面板连接于端隔板、或盖梁，或通过中间隔板时，在短距离内承受双向弯曲。在桥面横向钢筋下面，主梁负弯矩钢筋间距不密的地方，应附加纵向钢筋，防止该处桥面板出现横向裂缝。

桥面钢筋 # 16 或更粗的钢丝牢固地绑扎在与其他钢筋的交点上，同时采用在作用荷载下有足够强度去抵抗压碎或破坏的预制水泥块、铁凳，分隔物或其他垫块，把桥面钢筋准确地牢靠地安放定位。钢筋在模板内就位后，要使材料不被破坏、锈蚀、收缩或容许潮气到达钢筋。

虽然加利福尼亚州公路局对桥面板有横向加筋的桥梁建筑仅采用钢的极限容许应力为 20000 磅/英寸²(1400 千克力/厘米²)的60级钢筋。这种界限是以桥面板开裂为经验基础的。

3.3 最小保护层

由于桥面板的底面被箱室很好地保护着，因此所有情况下，底面钢筋留 1 英寸（25 毫米）的保护层就足够了。桥面板顶面钢筋上的保护层，任何情况应不小于 1½ 英寸（38 毫米）。对海蚀环境建议增加 1/2 英寸（13 毫米）。对于磨损通常则增加 1/2 英寸（13 毫米），但计算板的有效高度时不计入。如果桥面要受盐分或其他防冻剂的作用（这对混凝土是有害的），应该考虑特殊的覆盖层或防护。

有些州考虑到磨损或恶劣的气候条件的影响，如桥面板受冰冻和防冻剂的作用，采取桥面板钢筋上面加 额 外 保 护 层。为了增加抗滑能力，一些地区在混凝土路面或桥面上刻槽，已成为通常的做法。在考虑磨损的额外保护层时，可以考虑进上述的可能性。

3.4 桥面板厚度

虽然许多州按设计要求采用所需的最小桥面板厚度，但是变化相当大，而有些州使用的厚度要大得多。同样的梁肋间距，在不同的州，桥面板厚度的变化范围为 6 至 9 英寸（150~200 毫米）。

多年来已趋向于增加混凝土和钢筋的容许应力，结果桥面板的柔性较大。连同轮荷的增加，这往往被认为是促使桥面板破坏的因素之一。有许多非常柔性、严重开裂的桥面板，正在很满意地使用着，也许将继续使用多年。但是，它们所处的地方气候很温和，那儿没有其他不利的因素。