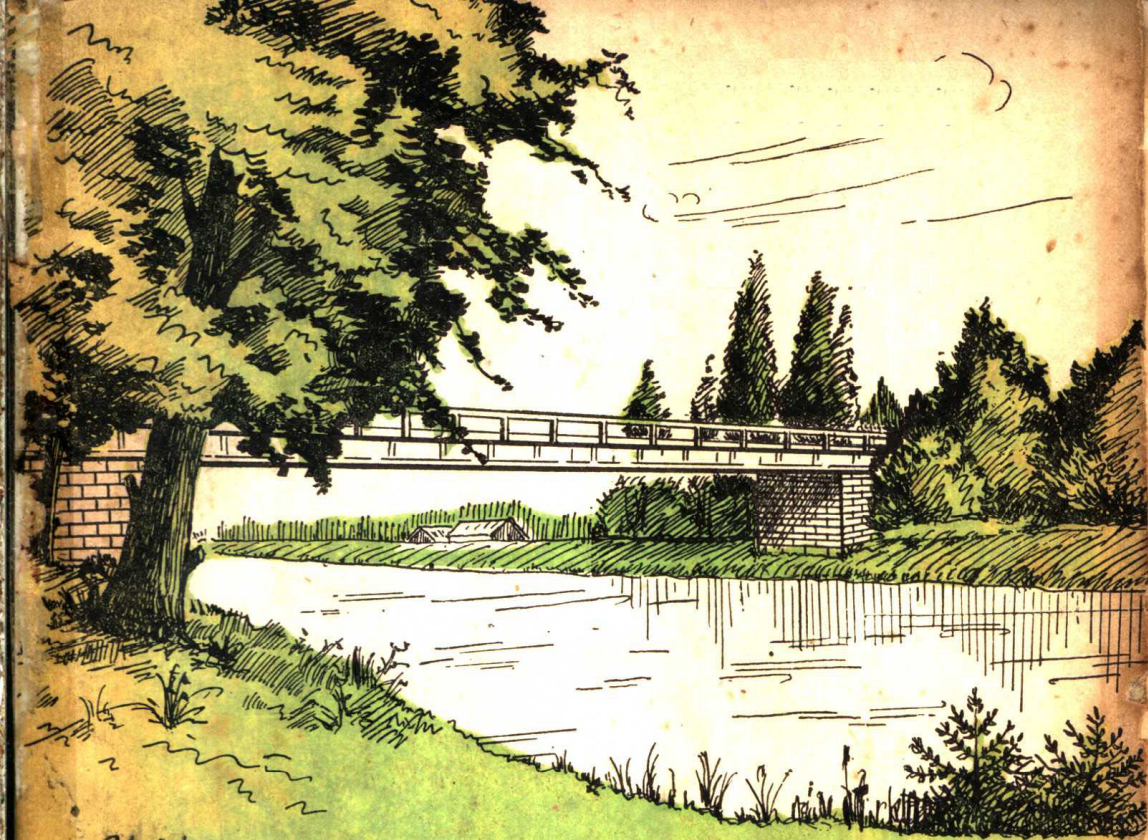




86.51
WLC 01

梁式桥立体计算

[苏联] 烏里茨基 著
郭偉賢 等譯
張自鑑 等校

人民交通出版社

梁式桥立体计算

〔苏联〕烏里茨基 著
郭偉賢 等譯
張自鑑 等校

人民交通出版社

本書闡述了梁式橋上部構造立體計算的基本原理，並對板橋、行車道梁式板、主梁的計算以及橫隔梁的工作分別作了具體分析。書中還列舉了大量的例題。

該書緒論至第七章由郭偉賢譯，第八章由張叔輝譯。緒論至第四章由周丰初校，第五章至第八章由曾威初校。全書由張自鑑複校。

梁式橋立體計算

Б. Е. УЛИЦКИЙ
Д-р техн. наук

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСЧЕТЫ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов транспортных вузов,
обучающихся по специальности
«Мосты и тоннели»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
И ШОССЕВЫХ ДОРОГ РСФСР
Москва 1962

本書根據蘇聯汽車運輸與公路部出版社1962年莫斯科俄文版本譯出

郭偉賢 等譯 張自鑑 等校

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新华書店北京發行所發行 全國新华書店經售

人民交通出版社印刷廠印刷

1966年3月北京第一版 1966年3月北京第一次印刷

開本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張：6 $\frac{1}{4}$ 張

全書：162,000字 印數：1—3,250冊

統一書號：15044·1514

定價(科六)：0.95元

目 录

作者序言	3
书中符号	4
緒論	6

第一篇 桥梁梁式结构立体計算的理論基础

第一章 計算的基本原理	8
§ 1 作为空间体系的桥梁上部构造的现行計算方法和課題	8
§ 2 簡略的历史概况	11
§ 3 作者提出的計算方法的原理	15
第二章 板的平面应力状态	21
§ 4 基本原理和各种計算情形	21
§ 5 板与梁的共同工作	32
§ 6 算例	38
第三章 板的弯曲	48
§ 7 基本原理	48
§ 8 四边簡支板的計算	55
§ 9 边缘具有不同固結情况的板的計算	64
§ 10 板边具有不同加载情况的板的計算	69
§ 11 两边与弹性梁相联結的板的計算	77
§ 12 算例	86
第四章 板梁结构的一般应力状态	93
§ 13 板的平面应力状态与弯曲的組合	93
§ 14 算例	98

第二篇 梁式桥上部构造的立体計算

第五章 板桥的計算	111
-----------------	-----

§ 15	板作为一种梁式结构	111
§ 16	算例	114
第六章	行車道梁式板的計算	129
§ 17	基本情况	129
§ 18	梁式板的簡化計算	130
§ 19	算例	142
第七章	主梁的計算	149
§ 20	簡化的計算方法	149
§ 21	算例	155
第八章	关于上部构造中横隔梁的工作	173
§ 22	各种計算图式的研究	173
§ 23	横隔梁工作情况的分析	186
結束語		191
附录		192
参考书目		197

作者序言

桥梁結構理論的发展与桥梁建筑的实践紧密相联，并有助于創建更輕便、更经济和更完善的桥梁結構。

如果在桥梁建筑的早期阶段，根据材料力学教程的簡明計算方法已能使設計工作者滿足的話，那么，随着結構型式的发展、经济的鋼筋混凝土薄壁結構和高强度材料的出現，就要求利用弹性力学作更加准确的計算。

认为結構构件不是孤立地工作，而是与結構中所有其他部分相联系的立体（空間）計算理論是桥梁結構理論最重要的領域之一。这样的計算方法能确定結構中应力分布的真实状况，并了解在荷載作用下結構物中发生什么样的过程。

桥梁专业的学生学习立体計算方法是有益的和必要的，因为它将有助于丰富他們的見解，使他們对于結構中在荷載作用下发生的各种变化具有清晰的概念，并能更主动地来处理构造物的設計。

桥梁設計工程师在設計新的、試驗性的或獨創性的构造物时，科研工作者在进行不容許用近似計算方法的实验和理論研究时，都可利用本书所闡述的計算方法。

在編写本书时考虑读者已具备桥梁专业高年級学生教学大綱范围内的弹性力学知識。

书中具有很多例題，便于读者掌握书上所闡述的桥梁上部构造的立体計算方法，并能把这种計算方法直接地应用于实践。

作者对給本书提供宝貴指示的人們表示衷心的感謝。

書 中 符 号

l ——板的計算长度;

b ——板的計算寬度;

δ ——板的厚度;

F ——梁的橫截面面积;

I_B 和 I_T ——梁的截面对于它的水平和豎直中性軸的慣矩;

h ——梁的高度;

b_0 ——梁在板的水平面上的寬度;

a ——从梁截面的中性軸到板的中間平面的距离;

G ——梁的剪切模量;

I_p ——梁截面的扭转慣矩;

E_0 ——梁的材料弹性模量;

E ——板的材料弹性模量;

μ ——泊松系数;

$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ ——板的抗弯刚度;

X_x 和 Y_y ——在板的截面中, 垂直于 x 軸和 y 軸的法向应力;

X_y ——在板的截面中, 垂直于 y 軸的切向应力;

$\tau(x)$ 和 $\bar{\tau}(x)$ ——对称和反对称的切向应力;

$p(x)$ 和 $\bar{p}(x)$ ——对称和反对称的法向应力;

$T_y(x) = \delta\tau(x)$ ——对称的切向力;

$\bar{T}_y(x) = \delta\bar{\tau}(x)$ ——反对称的切向力;

$N_y(x) = \delta p(x)$ ——对称的法向力;

$N_y(x) = \delta\bar{p}(x)$ ——反对称的法向力;

$Q_y(x)$ 和 $\bar{Q}_y(x)$ ——对称和反对称的剪力;

$M_y(x)$ 和 $\bar{M}_y(x)$ ——对称的和反对称的弯矩;

在板与梁相接的截面上

q ——在板的全部或部分表面上的均布荷载, kg/cm^2 。

q_δ ——梁的纵向均布荷载, kg/cm^2 ;

w ——板的挠度;

N_δ ——作用在梁上的法向外力;

M_δ ——由施加于梁上的外荷载作用而产生在梁上的弯矩;

ε_{xx} ——在 x 轴方向纤维的纵向变形;

$\frac{1}{\rho_{\Pi x}}$ ——在板的平面内梁的曲率;

$\frac{1}{\rho_{\delta x}}$ ——梁在本身平面内的曲率;

M_x ——在垂直于 x 轴的截面上的竖向平面上的弯矩;

M_y ——在垂直于 y 轴的截面上的竖向平面上的弯矩;

M_y^r ——在垂直于 y 轴的截面上的水平平面上的弯矩;

M_{xy} ——垂直于 x 轴的截面上的扭矩;

M_{yx} ——垂直于 y 轴的截面上的扭矩;

x, y, z ——结构上某点的坐标;

Q_x ——垂直于 x 轴截面上的剪力;

Q_y ——垂直于 y 轴截面上的剪力;

$M_{\text{кр.}\delta}$ ——作用在梁上的扭矩;

φ_x ——转角。

緒 論

在公路运输事业不断发展的同时，改进公路桥梁结构，必能减少材料消耗和降低桥梁建筑成本，这是具有国民经济意义的重要任务之一。

所设计的结构的质量，在很大程度上视所采用的计算图式与结构实际工作情况的符合程度而定。

多次进行的桥梁试验证明，上部构造中构件的实际应力和总变形同计算所得的是有差别的。

虽然在同一个构造物上也有相反的现象，但一般的情况总是实际应力和变形低于计算值。由此可见，现代的桥梁结构还是具有很大的强度安全储备，减小这些安全储备时，能够得到更加经济的设计，但是为了避免在使用过程中出现缺陷和附加的耗资，结构的个别构件按较大的强度设计还是合理的。

构造物的实际工作情况与理论上计算的情况不相符合的原因之一，在于计算中缺乏充分地考虑结构物作为空间体系的工作特征。

工程构造物的空间（立体）工作问题，在苏联和国外的工程技术人員中引起了很大的兴趣。

结构的立体计算理论方面，在苏联有关人士的著作中已有不少的论述，这些著作提出并解决构造物空间工作的各种问题。

梁式桥上部构造的立体工作及与其相关的立体计算就是这类问题之一。

“立体（空间）计算”一词应当视为是有条件性的。有些专家建议用另一种术语“空间结构的计算”来代替它；但因任何结构均具有三维，它们都可以称为空间结构，因此“空间结构的计算”这一术语并不表明计算的任何特点。

B.3. 符拉索夫教授根据结构的空間維度的特征建议把它区分为四类:

1. 实体的物体, 它們的特征是在三維空間所有方向上的維度都相近, 例如球体、立方体、不太长的六面棱柱体;

2. 薄板和薄壳, 它的三个維度之一 (如結構物的厚度) 比大小相近的其他两个維度要小得多, 可列为薄壁空間体系;

3. 长条形的实体截面的杆件, 它的特征是維度之一 (长度) 比橫截面的其他两个維度要大得多;

4. 长棱柱形的或圆筒形的壳体状薄壁杆件, 它的特征是空間的三个維度相差都較大; 壳体的厚度比橫截面的任何尺寸要小得多, 而橫截面尺寸又比壳体长度要小得多。

以上所列举的所有結構形式都可以包括在各种形式的桥梁結構里。

属于第一种形式的, 有桥梁的支座、鉸和产生很大的局部应力的各种零件; 属于第二种的, 有行車部分的宽度与跨径的长度相近的桥梁上部构造; 属于第三种的, 有受弯时按平截面定律工作的、而受扭时按純扭理論工作的单个梁和实体截面的长条形杆件, 这种体系的計算理論和計算方法組成了材料力学教程的基本內容; 属于第四种的, 有长桥的上部构造以及焊接的和鉚接的鋼梁。薄壁杆件的特性在于当扭转时它的纖維伸长, 并在其中产生纵向法向应力。这些在純扭转理論中不予研究的, 由于阻止截面翘曲而产生的附加的纵向法向应力可能达到很大的数值。

本书所闡述的基本上是属于第二和第四种形式 (薄板、薄壳和薄壁杆件) 的桥梁結構和它的构件的計算, 大部分桥梁上部构造的結構和它的构件都属于这些形式。

第一篇 桥梁梁式结构立体计算的 理论基础

第一章 计算的基本原理

§ 1 作为空间体系的桥梁上部构造的 现行计算方法和课题

桥梁的上部构造是由一些位于不同平面内而相互联结成为整体的单独部分或构件所组成。所有这些部分彼此间保持着一定的相互关系；当加载于构造物时，这些部分便各自完成其本身的工作。

最简单的上部构造是板桥，这种桥必须按横向两边铰接支承和纵向两边自由支承的四边形板来计算。

在设计实践中，一般把这样的结构当作有两个支点的梁来计算，这就势必导致很大的误差。

当存在与上部构造的板刚性联结的人行道时，应当考虑它们间共同的工作和相互的影响。

梁式桥的上部构造包括平置的板，以及竖置的主梁和次梁。在现行的简化计算中，把结构划分为独立的平面体系，并分别计算。至于结构的空間特性对于独立的平面体系的影响和独立部分间的相互作用，则引入不同的人为系数予以考虑。

应当指出，由于任何系数不可能反映出空間结构工作上的所有特点，所以这种计算方式本身已经隐藏着误差。

为了更明确地理解问题的本质，透彻分析梁式桥上部构造的简化计算方式是有益的。

平置的并直接承受荷载影响的行车道板，近似的按支承在絕

对刚性支点上的板来计算。然而作为板的支承的主梁和次梁，在板的影响下发生弹性挠曲和弹性扭转，使板受到反作用。因此，严格的计算时，除计算板的特性外，同时必须考虑承重梁的结构和尺寸、梁的建筑材料的物理-力学性质以及板与梁联结的构造。

在设计实践中通用的主梁计算方法可以区分为二个阶段。

1) 确定计算弯矩和剪力；

2) 确定应力和变形。

确定弯矩和剪力时，在上部构造主梁间，出现荷载的弹性分布问题。这个问题对于设计宽度大的公路桥和城市桥具有特别重大的意义，因为在这种桥上，荷载可能出现在桥长和桥宽的各种不同的部位上。显然，荷载在全部主梁之间的分布越均匀，主梁也就越经济。

在现有的设计实践中，由计算荷载传到各个主梁上的压力，采用横向分部系数来求算。在过去确定横向分布系数的最普遍的方法是，梁间荷载分布按杠杆原理以及所谓“偏心受压”法。

随着理论研究的发展，出现了确定横向分布系数的一些新方法，这些方法可以分为两类：一类方法把上部构造假设为梁排；另一类方法则把上部构造假设为正交异性板。

在第一种情形下，假设梁排是由桥梁上部构造的全部主梁（纵向的）和次梁（横向的）所构成。行车道板则作为独立构件而不引入计算，但它对结构工作的影响，则作为稍微加大梁的断面来表现。

在第二种情形下，正交异性板的刚度相应于上部构造在相互垂直方向的平均刚度（计入纵梁和横梁）。梁作为上部构造的独立构件而不予考虑。

应当指出，以简化计算图式代替真实结构不总是正确的假定。这样，当以梁排代替整体式上部构造时，由于从总的整体中去掉不同于梁格作用的，结构工作具有特殊性质的板，结构的性质就被改变。当以正交异性板代替上部构造时，由于在结构中取消了集中地承担最大内力的主梁，结构的性质同样有非常重大的

改变。

在行車道板未联成整体的装配式钢筋混凝土桥中，以梁排代替上部构造还是比较合理的。

在确定所计算的梁的应力时，就发生了所谓板的“有效宽度”的问题，也就是在计算梁的惯矩时应包括在梁截面的组成部分中的这个宽度。这一计算阶段——前面已合理的完成；它出现了涉及采用分解空间结构为平面计算构件的方法。

毫无疑问，与梁相邻的板在梁受弯时会有有效的参与工作，而减少了梁的应力。

在简化计算中，板的“有效宽度”采用与板厚、梁的间距和板的计算跨径有关的三个数值中的最小值，而不考虑荷载的性质和位置。这种确定板的有效宽度的方法可以认为是近似的，因为上部构造上荷载的性质和位置是其中一个重要的因素。随着荷载位置的改变，板的有效宽度也就改变，甚至在梁的两边也不相等。

在偏离梁中轴的荷载的作用下，将引起梁的扭转和它的腹板离开其自身平面的弯曲，其结果是产生了附加应力。最近时期以前，在桥梁上部构造的计算中，梁的扭转是不加考虑的。近年来，由于大量推广钢筋混凝土薄壁结构，开始将扭转计算列为必要的。

当前，在设计装配式钢筋混凝土桥时，有时候考虑扭转，然而还没有一个普遍采用的计算方法。

特别要提出的是有关桥梁上部构造横隔梁的工作问题。横隔梁在整体式桥的上部构造中的效果应当根据它把活载分布于主梁间的均匀程度来研究。此外，横隔梁提高了上部构造和它的构件的稳定性。

普遍采用的计算横隔梁的方法也还没有。

最近时期，建造和成功的使用了一系列无横梁的桥梁上部构造。

在行車道板间有缝的装配式钢筋混凝土桥中，横隔梁与主梁

同样是上部构造的主要构件，应作为梁排中的构件加以研究。

应当指出，整个现行的桥梁上部构造简化计算方法就说明了在计算一个构造物的单个部分的许多不同方法中，不可能建立有关结构工作完整的和清晰的概念。同时引用横向分布系数和板的有效宽度的现行计算方法，使用起来却非常简单和便利。

立体计算的任务是根据将所有各部分视如相互依赖和相互作用的，而且把整个结构作为一个空间整体，来确定构造物的构件和各部分的应力和变形。

结构的立体计算方法是相当复杂和困难的。显而易见，只有在促使计算过程简化的计算技术和数学学科的更进一步发展下，立体计算方法在日常的设计实践中是能获得广泛推广的。

§ 2 簡略的历史概况

由于发展各种结构理论问题和为解决个别特殊问题而工作的前辈科学家的劳动，建立了现代的结构立体计算方法。

有关各向同性和正交异性板的计算，梁排的计算，板的有效宽度的确定和扭转的计算等问题，对于桥梁的设计问题具有直接的关系。

板的计算问题不仅与桥梁建筑有关，而且也涉及其他工程方面。同时，它也是相当复杂的，到现在还没有完善的解法。

泊松、郭希、馬克斯威尔、克希霍夫、克列勃施、圣維南等都提出过板的计算问题。由于那維埃和列威的劳动，板的计算方法已经得到相当大的进展。在上一世纪末，那維埃提出板弯曲的微分方程式的重三角级数解，而 M. 列威——提出单三角级数解，使一系列问题便于解答。

И.Г. 布勃諾夫[4]、С.П. 鉄摩辛柯[23, 24]、П.Ф. 巴普科維奇[19]、尤其是Б.Г. 迦辽金[10]的著作中都论述了各种支承条件的板，其中也包括梁。

在1924年，Г. 馬尔庫斯[17]提出了计算板的数值方法，这种方法后来被其他的科学工作者所发展。

П.М. 瓦尔瓦克在其著作中提出詳細拟制的网格法，对于板的計算理論和实践提供了重要的发展。这个方法的精度全靠所采用网格的密度。当网格稠密时，計算的精确度提高，但是，同时在相当大的程度上增加了工作量。B.З. 符拉索夫的变分法則給出近似解。

工程师們对于肋形板（即板与肋联結成一体）的計算問題特別感兴趣。在桥梁建筑工程人員面前，当設計梁式桥上部构造时就产生同样的問題，在这种梁式桥中板是支承在弹性梁上，同时板与梁是刚性联結的。

此外，在本世紀初期，И.Г. 布勃諾夫[4]已经注意到肋形板的工作求得了不計入某些因素的近似解。

这个問題的解决在B.Г. 迦辽金、П.Ф. 巴普科維奇、С.П. 鉄摩辛柯、Ю.А. 施曼斯基、А.С. 馬里叶夫等的著作中得到了进一步的发展。

А.С. 馬里叶夫[16]在采用初参数法来計算肋形板时，在計算中他不仅考虑肋的弹性挠曲，而且考虑它的扭转。

П.Л. 柏斯杰尔那克[20]在其著作中考虑了肋的扭转并提出計算方法。在这个方法中利用了具有两个特征的弹性地基上的梁的理論。

与肋形板相联系的許多实践問題，可以利用B.З. 符拉索夫的方法予以解决。

下面介紹肋形板計算方法的发展情况。

在开头的著作中，仅局部的反映当肋与板共同工作时肋在其弯曲平面內的弹性，后来才开始考虑引起肋的弹性扭转和弯矩。結果这个因素在計算中引起非常重要的修正。不过，板的弯曲是与肋的弯曲分別計算的；它們中的每一构件都具有各自的中性軸。在以后的研究中，就是計算由于板与肋共同受弯而引起的板与肋間的剪力，以及由于肋的扭转和它在板的平面內的弯曲引起的板与肋間的法向力。

不論基于指定問題的那一种假設或简化，对于各种个别的情

形均有一系列的近似解。当存在圓滿的解时，可以判断各种近似解的誤差的意义和实际的可接受性。

有关作为梁排或正交异性板的桥梁上部构造的計算問題已有研究工作者提出过。梁排是作为多次超靜定体系来計算的。在一般情况中，当梁排中的梁彼此是刚性联結时，則超靜定的次数等于由纵、横梁所构成的格数的三倍。这样，仅仅在三根主梁和五根横梁的体系中就已经出现了24次超靜定，要計算它就必然要求解非常繁多的方程式組。当然，这样的梁排計算方式不会在实际应用。

根据一系列的理論和实践的工作，已经建立了不考虑梁排中构件的扭转的近似計算方法。

早在本世紀之初，Л.Д.普罗斯庫辽闊夫[22]导出了有关简支于弹性支承上梁的荷載弹性分布問題的解。他考虑了当变形的构件支承在3个、5个和7个弹性支承上这三种情形。这种解法已被利用于公路木桥的計算理論中，以考虑桥面板和横梁之間以及横梁和大梁之間荷載的弹性分布。

現有的近似計算是以布置在跨径中央的一根等代的横梁来代替所有横梁的条件为根据的。由于这种緣故，应当提到被用于公路桥梁上部构造的結構計算中的B.B.格里哥里叶夫法。

在已发表的一系列科学著作中，提出过考虑构件的扭转的計算梁排的各种方法。例如，B.克列恩普是利用傅里叶級数計算，B.E.烏里茨基[25]提出过利用クロス法（弯矩分配法）与形变法相組合的方法。

由于弹性理論方法的显著发展，正交异性板的計算最近比較接近合理。

由于正交异性板的精确計算存在着很大的数学困难，有些学者用容許简化的正交异性板来代替上部构造。这样，法国居易翁工程师在計算中就不考虑梁的扭转；馬松尼工程师就是根据泊松系数等于零的条件来計算的。

将肋形上部构造作为正交异性板的計算問題，Г.哥母別尔

格[30]、科尔聶里烏斯、皮尔利、特連克斯等在他們的著作中都有闡述。將肋形上部構造作為正交异性板的最完善計算方法是由B.Г.頓欽柯[12]提出來的。在他的著作中附有計算用表，可以減輕重複計算工作。

確定板的有效寬度的問題在很多著作中有所闡述。

用於寬翼緣梁中板的有效寬度的理論確定方法，已見于卡尔曼、梅特采尔、鉄摩辛柯等的著作中，他們都認為單肋結構中板的有效寬度主要是取決于跨徑大小和彎矩圖的特征。C.П.鉄摩辛柯用指數函數來表示寬翼緣梁的翼緣的應力變化，後來美國工程師穆利研究了這個問題，把鉄摩辛柯和卡尔曼對於單肋結構的結論推廣到多肋結構上，將所有的肋和與肋相聯部分的板的應力圖形迭加起來。由此，穆利以板的有效寬度與梁的間距的關係為三種形狀的圖式作成了圖表。

應當指出，單肋結構的工作基本上不同於多肋結構，因此機械地搬用屬於單肋結構的理論研究結果於多肋結構中，那是不容許的。

在求解扭轉變形問題中產生了嚴重的困難。扭轉計算的方法的發展歷史早於18世紀就開始，那時候庫倫提出了純扭轉理論。後來，那維埃、聖維南、巴赫、普朗特、格利菲特斯、泰勒、費普里、魏別爾、密爾施等學者就致力於扭轉問題的研究。

在1905年~1906年，C.П.鉄摩辛柯研究扭轉的彎曲效應並建立了彎曲扭轉理論或約束扭轉理論的基礎。

1920年以後，馬伊阿爾、李茨、迦辽金、列伊本松、魏別爾、瓦格尼爾、勃萊赫等就致力於約束扭轉理論的研究。

特別應當指出B.З.符拉索夫的工作[8]，他提出了薄壁截面約束扭轉的最完善的計算理論。

A.A.烏曼斯基[28]完成了飛機薄壁結構和浮橋的扭轉和彎曲計算的有價值的 research。

在橋梁上部構造的立體計算上要綜合考慮上述這些問題，因此，就有必要利用各個現成的解法。