

吊桥设计实例

貴州省交通勘察設計院 編著



人民交通出版社

吊桥设计实例

貴州省交通勘察設計院 編著

人民交通出版社

本書介紹了斜纜式吊橋與拋物綫加勁桁架式吊橋的計算實例，在實例中說明了吊橋結構的應力分析，各部構件的選擇及其具體計算方法。此外，還簡述了吊橋的各種類型及其基本設計理論。本書可供橋梁設計人員及橋梁專業學生參考。

本書由貴州省交通勘察設計院橋梁科朱崇俊、雷傳瀛、林作蒸、鄧興都、葉祖鎔、周相略、徐光遠、張銘光等同志合編。

吊 橋 設 計 實 例

貴州省交通勘察設計院 編著

*

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

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 廠 印 刷

*

1962年12月北京第一版 1964年6月北京第二次印刷

開本：850×1168_{毫米} 印張：8 $\frac{1}{2}$ 張 插頁4

全書：282,000字 印數：1001-3000冊

統一書號：15044·1466

定價(科六)：1.40元

目 录

第一章 概 論.....	3
第一节 吊桥的特点.....	3
第二节 吊桥的类型.....	4
第二章 斜纜式吊桥的設计.....	6
第一节 概述.....	6
第二节 斜纜系的主要尺寸.....	8
第三节 斜纜系的重量公式.....	8
第四节 斜纜系的感应纜.....	9
第五节 斜纜系的构造.....	13
第三章 简单柔式吊桥的計算.....	15
第一节 鋼纜形状和拉力計算.....	15
第二节 柔式吊桥的鋼纜变形.....	16
第四章 加勁梁式吊桥的基本理論.....	19
第一节 設計理論的基本假定.....	19
第二节 单孔二鉸加勁梁(或桁架)式吊桥的計算.....	20
第五章 斜纜系吊桥設計实例.....	31
第一节 基本数据和规范.....	31
第二节 桥面系計算.....	31
第三节 抗风构造計算.....	50
第四节 主索及連接构件計算.....	60
第五节 鋼塔計算.....	84
第六节 鋼塔下桥墩計算.....	121
第七节 北岸桥台錨碇計算.....	135
第八节 南岸桥台錨碇計算.....	145
第六章 单孔加勁桁架式吊桥設計实例.....	148
第一节 主要說明及基本数据.....	148

第二节	桥面系计算.....	149
第三节	钢缆及加劲桁架（包括风构、吊杆、索夹）计算.....	164
第四节	横梁计算.....	190
第五节	塔顶索鞍及桁架支座计算.....	230
第六节	塔架计算.....	239
第七节	锚碇计算.....	260
主要参考书目.....		270

第一章 概 論

第一节 吊桥的特点

設計桥梁时，对桥型結構的选择，除应結合施工設備、桥的使用条件、美观要求等多方面加以考虑外，对于技术經濟的合理性也必須全面分析比較，而后予以决定。

当建桥所用的建筑材料能够充分發揮其特性时，在技术方面來說这种結構型式是比較合理的。只有在某种結構型式中主要应力与材料性能相适应时才能充分發揮材料的潛力，才能說在經濟方面是合理的。

例如石料的抗压强度特別大，受弯受剪就比較差，因此我們使用石料来修建石拱桥，从技术上来說确是非常合理的。同时在石拱桥設計中使拱圈的拱軸形式在外力作用下尽量避免发生拉应力就可以降低灰浆标号，減薄拱圈厚度，充分發揮石料的抗压性能，这样当然就可以降低造价。

同样，因为鋼材的抗拉强度特別大，假設用来拼制較大的压力杆件就不很合适。而吊桥的主要承重杆件是用高級鋼預制成的鉸鍊、纜或斜纜，它們在結構中完全承受拉力。在設計大跨径桥梁时常常必須采用鋼結構，因此結構型式最好能够以发生拉应力为主，在这种情况下，当然只有采用吊桥最为恰当了。近代吊桥中广泛地采用高級鋼鋼絲絞扭起来的鋼纜，其极限强度达到15,000~18,000 公斤/平方厘米。由于鋼纜在吊桥中只受拉力而且容許应力又高，这样就使桥身重量減輕，耗用鋼料最少，更可以减少桥墩数量，因此也就最便于用以跨越很寬的河流。当桥梁設計通过活荷載与桥本身靜重之比愈小时，則采用吊桥就更显得經濟合理。

另一方面由于吊桥各部构件比較輕巧，在施工中便于采用悬吊拼装法，这就避免了大量脚手模架等材料設備，更重要地是在跨越洪水急流以及悬岩深谷时，采用其他型式的桥梁，在施工中会遇到很多难以估計的困难，此时吊桥的优点就更为突出了。除此以外，吊桥的外形一般比較美观，因此世界各国在修建大跨径公路桥和城市桥梁时，多采用吊桥型式。

吊桥的缺点是刚度較差，且在有节奏的荷載作用下（例如齐步行走的人群）容易发生强烈的震动。

第二节 吊桥的类型

吊桥根据承重结构可以分为两种主要类型：

一、未加劲式

(一) 未加劲式吊桥的桥面系是直接系于曲线形缆索或铰链的吊杆上，缆索两端通过塔顶后作为拉缆并分别锚固在两岸基础或桥台圬工中。这种吊桥的刚度较小，当活载在桥上通过时，缆索或铰链的几何形状随着发生变化，载重愈大结构挠度愈大，桥面形成的波状也愈大。所以它只能在跨径较小、活载较轻时才被采用。一般称之为简单柔式吊桥(见图1-1)。



甲、最简单的未加劲式吊桥



乙、跨端设有补充斜缆的未加劲式吊桥

图1-1 未加劲式吊桥(简单柔式吊桥)

(二) 另一种未加劲式吊桥的桥面系是直接悬挂在形成倾斜直线体系的很多缆索或其结点上。这些斜缆固定在塔架上，两岸另设拉缆，一端连结平衡塔顶，另一端锚固在基础或桥台圬工中，普通叫这种桥为斜缆式吊桥。在缆索体系中每根斜缆只受到拉力，因此虽然没有加劲桁梁，但是不论活载在桥上任何位置时，缆索体系的几何形状永远不变。当然为了在设计中达到这个目的，还必须使桥面系静重在每根斜缆中所引起的拉力，始终大于各该感应



甲、最简单放射式



乙、法国希斯克略尔式(-)



丙、苏联拉比诺维契式



乙、法国希斯克略尔式(二)



丁、苏联罗斯诺夫斯基式

图1-2 未加劲式吊桥(新缆式吊桥)

綫上活載重位置可能产生的最大压力值。一般來說，斜纜式吊橋的刚度比加勁式吊橋要差些，因此跨径大于 100 米以上时，就應該与加勁式吊橋作多方面研究比較（見图1-2）。

二、加勁式

（一）为了提高吊橋刚度起見，把橋面系支承在鋼板梁或桁架上，再用吊杆把板梁或桁架悬挂在纜索或鉸鍊上，这就是最合理的、最常用的加勁型式，一般簡称为加勁梁式吊橋。由于板梁或桁架的刚度远較鋼纜为大，所以由吊杆传递到鋼纜的載重大致成为均匀性質，也就是在板梁或桁架上加载不对称的活荷重时，鋼纜也不致发生显著的变形。加勁梁式吊橋中最簡單的式样是单孔跨越河流，桁架两端直接支承在两岸橋台上；比較常用的是三孔吊橋，除中孔悬挂外根据边孔跨径的大小也可以装設或不装設吊杆，加勁梁或桁架可以采用三跨連續的或鉸接的。三孔吊橋的拉纜有采用鉋碇鉋固的，也有采用固定在边孔梁端的。后者拉纜的水平分力由边孔梁承受（見图1-3）。

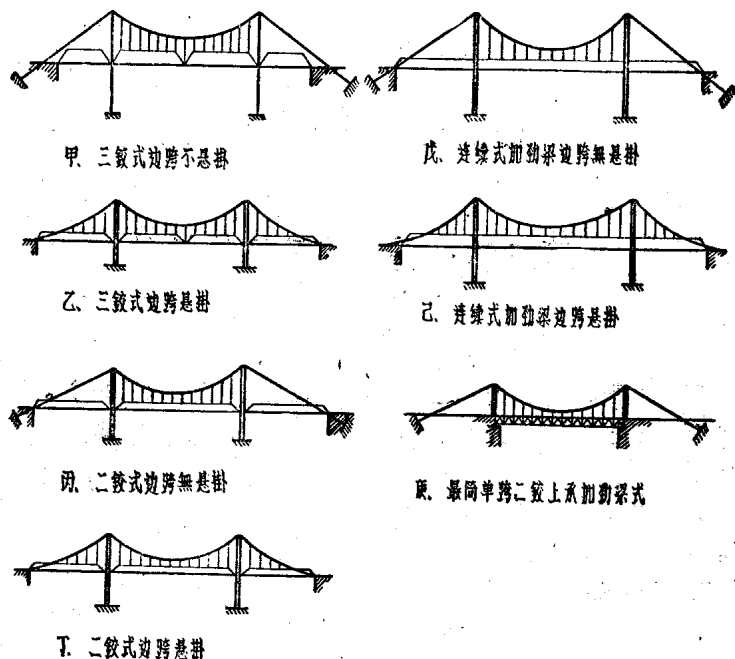


图1-3 加勁式吊橋（加勁梁式吊橋）

(二) 另一种加劲形式是沿缆的位置做成一个反拱形的刚性桁架，这样也就达到了加强抵抗变形的目的，一般就叫做加劲悬桁式吊桥。在刚性桁架中的受拉弦杆可以用钢缆做成，也可以全部用刚性杆件铆合组成。实际上悬桁杆件和节点的构造同钢拱桥没有多大出入。但由于这类吊桥的静重大、造价高，目前已很少采用（见图1-4）。



甲. 三铰式悬桁边跨未加劲不悬桁



乙. 二铰式悬桁边跨悬桁



丙. 无铰式悬桁边跨加劲并悬桁

图1-4 加劲式吊桥（加劲悬桁式吊桥）

第二章 斜缆式吊桥的设计

第一节 概述

斜缆式吊桥是由斜向或直向的钢缆交織而成的吊桥（图2-1）。钢缆构成几何形状应当保持不变，并且活载摆在桥上任何位置，各部钢缆都只受到拉力。

斜缆式吊桥的式样很多，最常用的几种型式已在第一章概论中介绍过了。

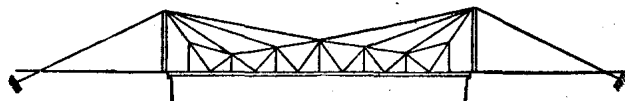


图2-1 斜缆式吊桥

部分鋼纜在单独活載的作用下可能产生压力，由于活載发生的压力是依靠靜載产生的拉力来抵消，并需保留一定的安全因素，因此得出以下的平衡式：

$$g(\Omega_1 - \Omega_2) \geq \alpha K \Omega_2 \quad (2-1)$$

式中：
 g ——沿桥长每米长度上的靜載；
 K ——沿桥长每米长度上的活載；
 Ω_1 ——杆件力的感应綫正的面积；
 Ω_2 ——杆件力的感应綫負的面积；
 α ——安全系数。

$$\text{令： } \frac{K}{g} = \beta, \quad \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = \gamma$$

$$\text{則安全系数 } \alpha \geq \frac{\gamma - 1}{\beta}$$

在斜纜系中任何一根鋼索出現压力，就会破坏整个鋼纜构成的几何形状，因此系数 α 必須大于 1。一般要求每一根斜纜的安全系数 α 不小于 1.5 至 1.7。

在布置斜纜系的輪廓和尺寸时，必須保証使所有的斜纜都要有足够的安系数。这一要求可用調整斜纜系的形状和尺寸来滿足。

由于斜纜中只有拉力，并能保証全部体系的几何形状不变，因此斜纜系要比简单柔式悬索系坚固得多，就不需要設置加劲梁。

斜纜系的抗风构是設置在桥面系的下面，它可使桥梁結構在横向具有足够的刚度。

斜纜系的支承力是传递到塔架上和拉纜中，拉纜則 錨固 在 錨 碇的实体內，或固定在錨碇支承的鋼筋混凝土版梁上。

塔架的下端如果是固定的，在塔頂支承斜纜处就要作成活动的。如果塔架的下端設弧铰式支座，使塔架可沿桥梁縱向前后搖动，这样便可将塔頂支承斜纜处作成固定的。

斜纜系的优点是：桥面有足够的刚度和稳定性，所用鋼料比加劲鋼桁架式所用的較少，因此在山区公路上建造这种型式的吊桥是較为合理的。

斜纜系的缺点是：纜系的連接构件加工比較复杂，桥孔跨度不能过大，一般不宜大于 120 米，塔架高度比加劲梁式者要高，施工比較困难。虽然如此，这种型式的吊桥还是有它一定的使用价值。

第二节 斜纜系的主要尺寸

斜纜系的主要尺寸包括塔高 H 及矢高 f (图2-2)，它們直接影响全桥挠度的大小，因而应当符合桥梁豎向刚度的規定。

斜纜系在桥孔中央的挠度以下列公式来表示：

$$\text{挠度} \quad \Delta f = \frac{1}{E} \left(\frac{\sigma_1 S_1}{\sin \alpha} + \frac{\sigma_2 S_2 \operatorname{ctg} \alpha}{\cos \varphi} \right) \quad (2-2)$$

式中： S_1 ——主斜纜的长度；

σ_1 ——主斜纜中的应力；

S_2 ——拉纜的长度；

σ_2 ——拉纜中的应力；

α ——主斜纜对水平綫的斜角；

φ ——拉纜对水平綫的斜角。

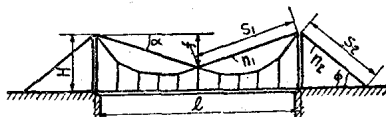


图2-2 斜纜系主要尺寸

$$\text{挠度率} \quad \frac{\Delta f}{l} = \frac{1}{Ef} \left(\frac{\sigma_1 S_1}{2 \cos \alpha} + \frac{\sigma_2 S_2}{2 \cos \varphi} \right) \quad (2-3)$$

式中： l ——塔架中至中的距离（跨度）。

由以上公式可以看出，桥梁的刚度是与斜角 α 、 φ 及矢高 f 有关系的。在活載的作用下，挠度率应不超过以下数值：

$$\frac{\Delta f}{l} = \frac{1}{350} \sim \frac{1}{400}$$

斜纜系的矢高一般为：

$$f = \frac{l}{6} \sim \frac{l}{8}$$

第三节 斜纜系的重量公式

斜纜系包括吊杆在一起的重量可以近似地用 E. H. 克里尔卓夫工程师的公式来计算：

$$G = \psi \frac{(P+K) \gamma l}{4 \sigma} \left(1 + \frac{1}{2 \cos^2 \alpha} \right) \operatorname{ctg} \alpha \quad (2-4)$$

$$\text{式中：} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{l}{2f}$$

P ——沿桥长单位长度上的静载；

K ——对桥孔中央的等代活载；

l ——桥的跨度；

f ——矢高；

γ ——斜缆系钢料的比重（一般 $\gamma=8.0\sim8.5$ ）；

σ ——缆的容许应力；

ψ ——构造系数（一般 $\psi=1.4\sim1.6$ ）。

矢高对跨度的比数在 $1/7$ 左右时，斜缆系的重量接近最小。

第四节 斜缆系的感应线

斜缆系的结构型式大都是静定结构体系。钢缆内力可以用普通的结构静力学来分析，也就是用各节点受力的平衡条件，或是割切断面以后列出力矩方程式来求得。

为了便于计算钢缆在静载及活载的作用下所产生的内力，就需要绘出斜缆系各部分的感应线，如图 2-3 所示。

在图 2-3 中，长斜杆 D_1 和 D_1' 是基本的杆件，当荷重在任何位置时，它们都发生作用。杆件 D_2 和 U_1 只当荷重在跨度的左半部时发生作用。杆件 D_3 和 U_2 则当荷重不在杆件 U_2 的右边时发生作用，其他可类推。

图 2-3(a) 是表示杆件 D_1 的感应线。当荷重在节点 C 的右边时，在左半部中只有杆件 D_1 发生作用，切断 D_1 并列出对支铰点 B 的力矩方程式，将发现 D_1 的内力是依照直线变化的。在节点 C 下的感应线纵坐标可以确定如下：将单位荷重 $P=1$ 放在节点 C 下，在整个结构中只是杆件 D_1 和 D_1' 发生作用，它们的内力可以从图 2-3(a) 所示的力三角形来确定。感应线的第二段直线可用零点来确定，零点的位置是在直线 D_2 和 D_1' 的交点下面。实际上，当荷重在零点下面时，它是由 D_2 和 D_1' 的拉力所平衡，而杆件 D_1 并不参加负重。

其他感应线可用相似的方式绘制。 D_2 和 U_1 感应线在节点 F 下的纵坐标可以从图 2-3(b) 的力三角形中得到，其中单位荷重 $P=1$ 是沿着 D_2 和 U_1 两个方向分解的，其他可以类推。

塔顶水平力 H 感应线在节点 C 下的纵坐标仍然可以用图 2-3(a) 所示的力三角形来确定，因为当单位荷重 $P=1$ 在节点 C 下面时，塔顶垂直力 $V = \frac{1}{2}$ 。塔顶水平力可用下式表示：

$$H:V = \frac{l}{2} : f$$

$$H = \frac{Vl}{2f} = \frac{l}{4f} \quad (2-5)$$

塔頂垂直力 V 感應綫在节点 K 下的縱坐标可以确定如下：将单位荷重 $P=1$ 放在节点 K 下，将全跨作为簡支梁求出 A 点反力，就是节点 K 下的縱坐标，塔頂垂直力可用下式表示：

$$V \times 8 = 1 \times 7$$

$$V = \frac{7}{8} = 0.875 \quad (2-6)$$

另外一种常用型式的斜纜系的感應綫示于图2-4。

此种斜纜系塔頂 H 和 V 的感應綫和前一型式斜纜系的作法相同。

杆件 S_1 的感應綫确定如下：割切断面1-1，列出对 a 点的力矩方程式：

$$M_a - Hy_1 + S_1 Z_1 = 0$$

$$\text{內力 } S_1 = \frac{Hy_1}{Z_1} - \frac{M_a}{Z_1} \quad (2-7)$$

其中 M_a 为垂直外力对 a 点的弯矩（即簡支梁的弯矩）。

杆件 S_2 的感應綫同样地列出对 b 点的力矩方程式：

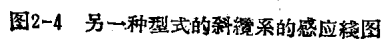
$$M_b - Hy_2 + S_1 Z'_1 + S_2 Z_2 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{內力 } S_2 &= H \frac{y_2}{Z_2} - \frac{M_b}{Z_2} - \left(\frac{Hy_1}{Z_1} - \frac{M_a}{Z_1} \right) \frac{Z'_1}{Z_2} \\ &= M_a \frac{Z'_1}{Z_1 Z_2} - \frac{M_b}{Z_2} - \frac{H}{Z_2} \left(\frac{y_1 Z'_1}{Z_1} - y_2 \right) \end{aligned} \quad (2-8)$$

其中 M_b 为垂直外力对 b 点的弯矩（即簡支梁的弯矩）。

S_s 和 S_{ab} 感應綫在节点 b 下的縱坐标可从图2-4中 S_s 感應綫的力三角形得到，其中单位荷重 $P=1$ 是沿着 S_s 和 S_{ab} 两个方向分解，可用下列公式表示：

$$S_s = \frac{P \cos \alpha}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (2-9)$$



$$S_{ab} = \frac{P \sin \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \quad (2-10)$$

S_4 和 S_{bc} 感应綫也可以照同样方法求出。

第五节 斜 纜 系 的 构 造

斜纜系的节点是用鋼銷把各个不同方向的鋼纜連接起来。每根鋼索的末端連結在特制的鋼鑄件—套筒中，在套筒上有圓錐形的孔，鋼索伸入孔內，將索端分散开，并注滿熔化的鉛錫合金或其他合金，使鋼索与套筒牢固地結合起来（图2-5）。

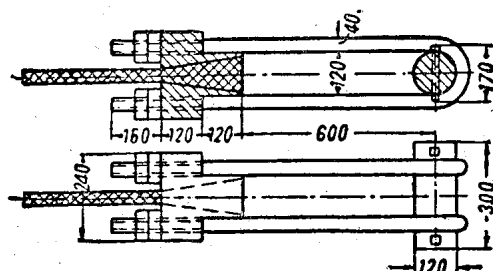


图2-5 纜端連結在套筒中

套筒的两旁設有圓孔，用以穿过环形拉杆的末端，并用螺帽和保險帽連牢在套筒上。所有在节点上会合的环形拉杆都套在一个共同的鋼銷上（图2-6）

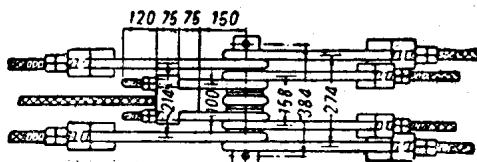
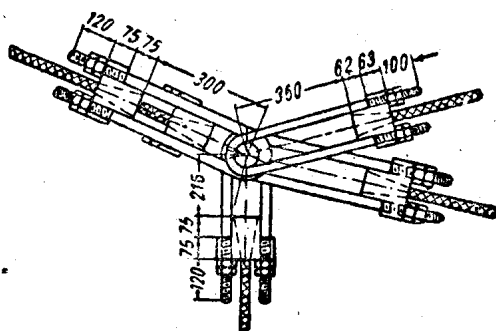


图2-6 鋼銷連接斜纜系节点图

或連接在节点板上(图2-7)。

在平面图上,节点处会合的鋼纜应在节点上对称地連接,以保持鋼銷在空

