

定义：钢桥是指上部承重结构采用钢结构的桥梁，与之对应的有木桥、圉工桥、钢筋混凝土桥、预应力钢筋混凝土桥等。对于钢-混凝土组合结构桥梁、钢-混凝土混合结构桥梁，根据其施工和计算的特点，也可归类为钢桥。

材料特点：钢材拉压同性，同时具有更高的抗拉、抗压强度和弹性模量，钢材有较高的强重比。

结构特点：

- 1.钢梁的抗剪设计则通过设置**横向加劲肋**，以**防止剪力引起的斜向主压应力**导致腹板发生剪切失稳。
- 2.钢桥设计的重点是解决好**结构、构件和板件的稳定**问题。
- 3.钢桥**活载**所占比重较高，且局部构造较为复杂，因此，钢桥的**受拉问题**主要是解决活载或其他反复荷载作用下的疲劳问题，以及低温断裂问题。

施工特点：钢桥施工包括**制造、运输、二次拼装与桥位现场安装**等工序。

- 1.钢桥**工业化程度高，构件制作加工精度高**，质量易于控制，施工速度快，工期短。
- 2.由于钢材拉压同性、轻质高强，钢桥可以灵活地**适应各种施工方法**，节约大量的施工临时措施费。

运营维护特点：

- 1.混凝土桥梁的养护重点是裂缝，而**钢桥的养护重点是锈蚀**。
- 2.混凝土桥梁一旦裂缝宽度超限，进一步出现钢筋锈蚀及锈胀开裂，

其养护加固的难度较大；相比而言，钢桥锈蚀后，可除锈后再涂装，其养护更易处理和控制在。

3. 钢桥构件在受到损伤后易于修复、更换和回收。

运输：构件节段的划分一般取决于桥位与钢结构制造厂之间的运输和吊装能力，大节段一般采用水路运输，在交通不便的山区通常采用公路运输。

适用范围：钢材不仅具有很高的强度，而且拉压同性，因此不但适用于以受压为主的拱桥，也适用于以受拉为主的索桥和拉压组合受力的梁桥。钢材的高强重比使得钢桥跨越能力在各种结构体系中均最强。

第二章

失效概率：作用效应 S 和结构抗力 R 都可理解为随机变量，因此，结构是否满足功能要求的事件也是随机的。一般把结构不满足功能要求这一事件的概率称为结构失效概率，把结构满足功能要求的概率称为结构可靠概率。

容许应力设计法

以弹性理论为基础的容许应力设计法，要求在规定的荷载标准值作用下，按弹性理论计算得到的构件截面任一点的应力不应大于规定的容许应力，而容许应力由材料强度除以综合安全系数得到。

$$\sigma = \frac{\sum N_i}{S} \leq \gamma \frac{f_y \text{ (或 } f_u)}{K} = \gamma [\sigma]$$

式中： N_i ——根据荷载标准值求得的内力；

f_y ——钢材的屈服强度；

f_u ——钢材的抗拉强度；

S ——构件截面的几何特性；

K ——综合安全系数， $K=K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$

K_1 ——荷载系数；

K_2 ——材料系数；

K_3 ——调整系数，一般结构 $K_3=1$ ；

γ ——不同荷载组合的容许应力提高系数。

$[\sigma]$ ——钢材的基本容许应力

- **荷载系数 K_1** ：考虑了实际荷载可能有变动，而与设计荷载存在偏差、并留有一定安全储备的系数
 - 恒载超载系数：考虑钢结构自重的变异性，一般取1.1~1.5；
 - 活载超载系数：一般取1.4；
 - 荷载系数 K_1 综合取值为1.35；
- **材料系数 K_2** ：考虑钢材强度变异的系数
 - 对于常用的低合金钢，材料系数一般取值 $1/0.8=1.25$ ；
- **调整系数 K_3** ：考虑**荷载的特殊变异、结构受力状况和工作条件**等这些特殊的变异因素的系数
 - 一般取值为1.0；
- **综合安全系数 $K=K_1 \cdot K_2 \cdot K_3=1.35 \times 1.25 \times 1 \approx 1.7$**

仅采用单一安全系数难以考虑桥梁上不同荷载出现的概率不同的情况，因此，对各种荷载组合应有不同的安全储备，采用的安全系数也应有所区别。应考虑不同荷载组合的容许应力提高系数 γ 。

以概率理论为基础的极限状态设计法基于可靠度理论，把荷载、抗力等各种参数作为随机变量，运用基于概率分析的分项安全系数来考虑其变异性并确定设计采用值，所以，该方法也称为**荷载抗力分项系数设计法**（Load and Resistant Factor Design）。

1) 可靠度与极限状态

结构可靠度：在**规定时间内**，在**规定条件下**，完成**预定功能**的概率。

对**可靠性的定量描述**

设计使用年限：

- 在正常设计、正常施工、正常使用和正常养护条件下，桥涵结构或结构构件不需进行大修或更换，即可按其预定目的使用的年限。
- 是体现结构耐久性的重要指标。当结构的使用年限超过设计使用年限后，结构的可靠度将降低。

- **极限状态**：当整个结构或结构的一部分超过某一特定状态而不能满足设计规定的某一功能要求时，则此特定状态称为该功能的极限状态。

承载能力极限状态

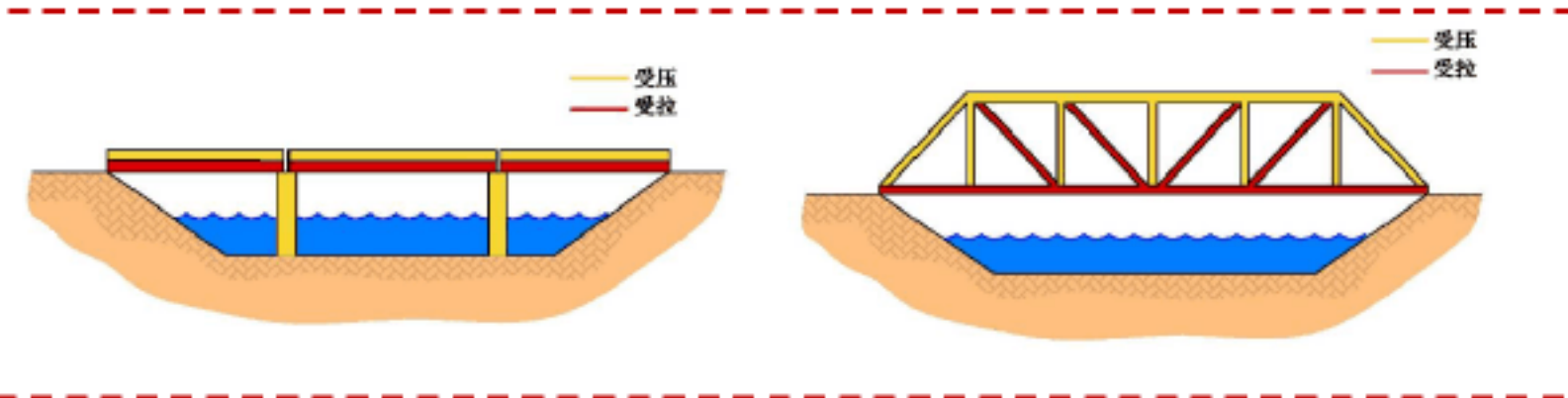
- (1) 结构构件或连接因超过材料强度而破坏，或因过度变形而不适于继续承载；
- (2) 整个结构或其一部分作为刚体失去平衡；
- (3) 结构转变为机动体系；
- (4) 结构或结构构件丧失稳定；
- (5) 结构因局部破坏而发生连续倒塌；
- (6) 地基丧失承载力而破坏；
- (7) 结构构件或连接的疲劳破坏。

正常使用极限状态

- (1) 影响正常使用或外观的变形；
- (2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏；
- (3) 影响正常使用的振动；
- (4) 影响正常使用的其他特定状态。

1) 梁桥体系

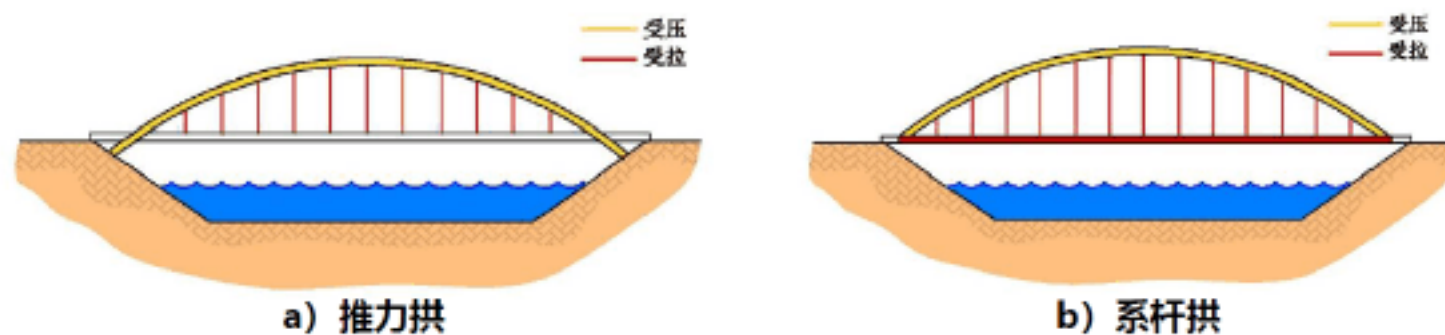
- 梁桥以受弯为主的梁作为承重构件。
- 荷载作用方向一般与梁的轴线垂直，梁发生弯曲变形，截面中性轴一侧受拉另一侧受压，偏心荷载下，在梁内产生扭矩，发生扭转变形。



- 传力路径：桥面系(主梁) → 墩台 → 基础

2) 拱桥体系

拱桥体系的主要承重构件是拱肋。拱肋以受压为主，竖向荷载作用下拱脚产生水平推力。



- 传力路径：桥面系—吊杆或立柱—拱肋—拱座或系杆（系杆拱）—墩台—基础

3) 斜拉桥体系

- 斜拉桥是将斜拉索两端分别锚固在塔和梁或其他载体上，形成塔、梁、索共同承载的结构体系。
- 斜拉桥的荷载传递路径一般为：主梁—斜拉索—索塔—墩台—基础。

4) 悬索桥体系

- 悬索桥是以悬挂于索塔顶并锚固于锚碇或加劲梁的主缆作为主要承重构件的桥梁。
- 悬索桥的传力路径为：加劲梁—吊索—主缆—索塔和锚碇（或加劲梁）—基础。

5) 组合体系桥梁

- 为了充分发挥各结构体系的优势，可对两种或两种以上基本体系桥梁进行组合，形成组合体系桥梁，受力特点继承了基本体系的受力特点。

钢材牌号: Q345qD

- Q——桥梁用钢屈服强度的“屈”字汉语拼音的首字母。
- 345——屈服强度数值, 单位为MPa。
- q——桥梁用钢的“桥”字汉语拼音的首字母。
- D——质量等级为D级。 C ,D ,E ,F 四种等级 由低到高

2) 钢材的基本力学性能指标

有明显流幅的钢材

- 通过拉伸实验可以得到钢材**屈服强度 f_y** 、**抗拉强度 f_u** 和**伸长率 δ** 三项指标;
- 弹性极限 f_e 与屈服强度 f_y 接近, 常把 f_y 作为承载能力极限状态的标志之一;
- 屈强比定义为 f_y / f_u , 屈强比越大, 强度储备越小, 安全性降低, 屈强比越小, 强度利用率低, 不经济;
- 伸长率 δ 越大, 塑性能力越强。

没有明显流幅的钢材

- 以产生0.2%的塑性变形时对应的应力值作为屈服强度

3) 钢材的冲击韧性指标

- 冲击韧性是钢材冲击荷载下断裂时吸收机械能的一种能力, 是衡量钢材抵抗脆性断裂能力的指标。

- 钢材的脆性断裂指钢材在低名义应力情况下发生突然断裂的破坏。

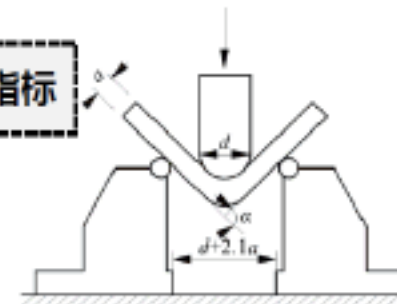
4) 钢材的工艺性能指标

(1) 冷弯性能

冷弯性能是衡量钢材常温下弯曲加工产生塑性变形时抵抗裂纹能力的一项指标

180°弯曲试验要求

厚度 $a \leq 16\text{mm}$	厚度 $a > 16\text{mm}$	弯曲结果
$d=2a$	$d=3a$	在试样外表面不应有肉眼可见的裂纹



钢材冷弯试验

(2) 可焊性

定义：钢材的可焊性好是指在一定的工艺和构造条件下，钢材经过焊接后能够获得良好的性能，主要表现为焊接安全、可靠，不产生焊接裂纹，焊接接头和焊缝的冲击韧性以及热影响区的力学性能都不低于母材。

6) 钢桥选材的原则

(1) 结构重要性

由于使用要求不同、结构所处部位不同，结构及其构件破坏可能产生的后果的严重性也不同，设计时应根据不同情况有区别地选用钢材，并对材质提出不同的要求。例如，《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)中规定，钢梁主体结构应采用桥梁用结构钢，桥梁辅助结构可采用碳素结构钢。

(2) 荷载性质

钢桥所承受的荷载分为静力荷载、动力荷载。对直接承受动力荷载的构件，应选择质量和韧性较好的钢材，对承受静力和间接动力荷载的构件，可采用一般质量的钢材；根据不同的荷载性质对钢材可提出不同的项目要求。

(3) 应力状态

结构的脆性断裂事故多发生在构件内部有局部缺陷（如缺口刻痕、裂纹、夹渣等）的部位。同样的缺陷下，拉应力比压应力产生的影响更大。应力水平较高的受拉构件或处于三向受拉复杂应力状态的构件，应该选用质量等级更高的钢材。

(4) 连接方法

对于焊接结构，由于在焊接过程中的不均匀加热和冷却使构件内产生焊接残余应力、残余变形以及其它焊接缺陷（如咬边、气孔、裂纹和夹渣等），可能导致结构产生裂纹和发生脆性断裂。此外，碳和硫的含量过高会严重影响钢材的焊接性能。因此，焊接结构的钢材质量等级应高于同样情况下的非焊接结构，同时应严格控制碳、硫、磷的含量。

(5) 钢材厚度

厚度大的钢材由于轧制时压缩比小，钢材中的气孔和夹渣比薄板多，存在较多缺陷，不但强度较低，冲击韧性和焊接性能也较差，并且容易产生三向残余应力。因此，厚度大的焊接结构应采用质量等级较高的钢材，并对钢板厚度方向性能作出要求。

(6) 环境温度

钢材的塑性和韧性随温度的降低而降低，低温下更容易发生脆性断裂。因此对经常处于或可能处于低温环境下工作的钢桥，特别是焊接结构，应选择冲击韧性好的钢材，并尽量避免使用厚钢板。

分类	名称
永久作用	结构重力 (包括结构附加重力)
	预加力
	土的重力
	土侧压力
	混凝土收缩、徐变作用
	水浮力
	基础变位作用
	汽车荷载
	汽车冲击力
	汽车离心力
可变作用	汽车引起的土侧压力
	汽车制动力
	人群荷载
	疲劳荷载

1) 永久作用

是指在设计基准期内，始终存在且其量值变化与平均值相比可忽略不计的作用，或其变化是单调的并趋于某个限值的作用。

(1) 结构重力

结构重力 = 结构自重 + 结构附加重力

2) 可变作用

■ 可变作用是指在设计基准期内其量值随时间而变化，且变化值与平均值相比不可忽略不计的作用。

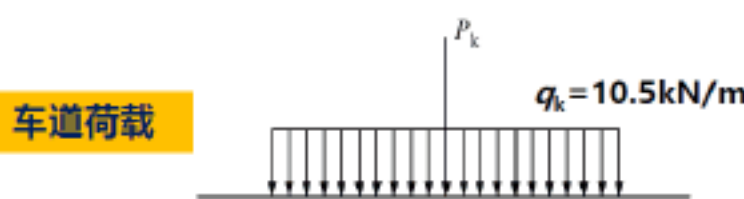
(1) 汽车荷载

汽车荷载由车辆荷载和车道荷载组成。

■ 不仅包括汽车自重，还包括汽车行驶过程中对桥梁产生的冲击力、离心力和制动力。

① 汽车荷载的标准值

荷载等级	公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
汽车荷载等级		公路-I级	公路-I级	公路-I级	公路-II级	公路-II级



集中荷载取值			
计算跨径 L_0 (m)	$L_0 \leq 5$	$5 < L_0 < 50$	$L_0 \geq 50$
P_k (kN)	270	$2(L_0 + 130)$	360

②汽车荷载的冲击力

- 汽车荷载冲击力标准值=汽车荷载标准值×冲击系数 μ 。
- 冲击系数是汽车过桥时对桥梁结构产生的竖向动力效应的增大系数。

$$\mu = \begin{cases} 0.05 & f < 1.5 \text{ Hz} \\ 0.1767 \ln f - 0.0157 & 1.5 \text{ Hz} \leq f \leq 14 \text{ Hz} \\ 0.45 & f > 14 \text{ Hz} \end{cases}$$

汽车荷载的离心力：汽车荷载对桥梁的离心力是一种伴随着车辆在弯道行驶时所产生的惯性力，其以水平力的形式作用于桥梁，是弯桥横向受力与抗扭计算所考虑的主要因素。汽车荷载离心力标准值为车辆荷载(不考虑冲击力)标准值乘以离心力系数 C。

汽车荷载制动力：按同向行驶的汽车荷载(不计冲击力)计算，以使桥梁墩台产生最不利纵向力的加载长度进行纵向折减。

温度作用：桥梁受温度作用的影响，常年气温变化导致桥梁沿纵向均匀的变形，对于静定结构不产生内力，对超静定结构产生温度次内力，太阳辐射使结构沿高度或宽度方向形成非线性的温度梯度，导致结构产生次内力。

均匀温度：计算外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始，考虑最高和最低有效温度的作用效应。

竖向温度梯度：计算引起的效应时，对于混凝土结构， $A=H/100$ ，最大为 300，带混凝土桥面板的钢结构， $A=300$ ，混凝土上部结构和带

混凝土桥面板的钢结构的竖向日照反温差为正温差的-0.5.

横向温度梯度：对于无悬臂的**宽幅钢箱梁**，宜考虑横向温度梯度引起的效应，横向温度梯度一般根据桥梁的地理位置、环境条件等确定，钢箱梁 T_1 取 3.0, T_2 取-1.5.

作用效应组合：承载能力极限状态计算时的作用效应组合(基本组合、偶然组合、地震组合)，正常使用极限状态计算时的作用效应组合(频域组合、准永久组合)

- 根据分析方法的精细程度，桥梁结构分析可分为**简化分析**和**精细化分析**。
- 简化分析主要采用**一维杆系分析方法**。 一维杆系模型
- 精细化分析包括**二维板壳**和**三维实体有限元分析方法**。
- 应根据计算目的和结构的复杂程度，选择合适的有限元分析模型。

简化方法：采用一维杆系分析方法简化分析钢桥，需要针对**荷载横向分布、钢梁薄壁效应和剪力滞效应**三个钢桥空间效应进行近似处理，从而适应现行规范的设计、计算、验算。

剪力滞效应：**薄壁钢梁弯曲时**，翼缘板在靠近**腹板处**的正应力要大些，而远离腹板处的正应力逐渐减小，这种由于**翼缘板剪切变形不均匀**造成**弯曲正应力沿宽度方向不均匀分布**的现象称为剪力滞效应。

简化分析：简化分析方法相对简单，在初步设计阶段使用方便，也可与精细化分析相互验证。采用一维杆系分析的方法就是简化分析。

精细化分析：在施工图设计阶段，需要详细地分析每一个构件或连接的受力特性、应力状态，要建立比较精细的有限元计算模型进行精细化分析。(**二维板壳模型、三维实体模型、多尺度模型**)

结构整体验算内容： 1. **结构的整体稳定性** (钢梁桥应按受弯构件进行

、**结构倾覆稳定性**（独柱

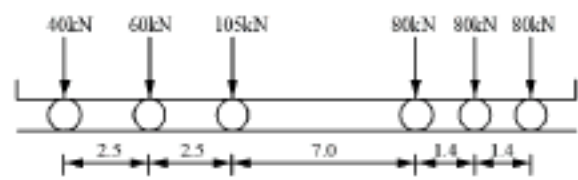
墩支撑、城市宽翼缘钢桥、弯桥）、3.**支座脱空**（在作用基本组合下，单向受压支座始终保持受压状态，不能出现负反力。）、4.**结构振动**（桥梁受到车辆、人群或风荷载等作用会振动，可能影响乘客的舒适性或行车安全性）、5.**结构挠度**（竖向挠度，横向挠度）、6.**梁端转角**。

桥面系验算方法：1)混凝土桥面板：混凝土桥面板与钢梁形成组合截面共同抵抗桥梁整体受力产生的效应。同时，桥面板需承担来自车轮荷载、温度作用、收缩徐变、预应力等引起的局部效应。根据支承条件和受力不同，可以分为**单向板、双向板和悬臂板**。2)正交异性钢桥面板：为了能够清楚地描述正交异性钢桥面板的复杂结构行为，传统方法是根据车轮荷载的传力途径将整体结构系统分解为三个基本结构体系（**主梁体系、桥面体系、盖板体系**）；假设各个结构体系的线性行为不相互影响，分别计算出各体系应力后，根据不同的设计极限状态，按照**线性叠加原理**进行计算。

疲劳验算：钢桥的疲劳是指钢结构在循环荷载反复作用下，在应力低于钢材强度时发生损伤甚至断裂的现象。



②通过规范的疲劳荷载模型计算等效应力幅



疲劳荷载模型II



疲劳荷载模型III

《公路钢结构桥梁设计规范》的三种疲劳荷载模型:

■ 疲劳荷载模型I

等效车道荷载，集中荷载为 $0.7P_k$ ，均布荷载为 $0.3q_k$ ，应考虑横向布载系数；

■ 疲劳荷载模型II

双车模型，两辆模型车轴距与轴重相同，两模型车中心距不小于40m；

■ 疲劳荷载模型III

1、2模型均可采用杆系

单车模型

模型，通过影响线最不

■ 采用规则

利加载计算最大应力幅。

• 当构件和连接不满足疲劳荷载模型I验算要求时，应按模型II验算；

• 桥面系构件应采用疲劳荷载模型III验算。

1.收集资料（设计标准、线形资料、地质资料、水文资料、其他资料）、2.钢桥选型与选材（结构体系选择，钢材选择）、3.总体布置（桥跨布置、横断面布置、主梁布置、联结系布置）、4.结构与构件设计、5.结构整体验算、6.构件与连接的验算。

第三章

钢板组合梁：钢板组合梁是由工字形截面钢梁与混凝土桥面板通过剪力连接件形成共同受力的梁式结构，以钢板组合梁为主要承重结构的梁桥称为钢板组合梁桥。

组成：钢板组合梁桥的上部结构由混凝土桥面板、钢板梁、横向联结系及纵向联结系组成。

作用：混凝土桥面板除作为主要承重结构外，同时提供行车空间和承受车轮局部荷载。

横向联结系：置于桥梁横向平面内，一般与腹板的横向加劲肋相连，分为桁架式和框架式横向联结系，前者简称横联，后者简称横梁，当布置在支承位置时称为端横联（端横梁），布置在跨内时称为中横联

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/267133201061006142>