

桥博 V4 组合算法

公路规范中规定了桥梁设计时用到的各种组合,包含基本组合,偶然组合,频遇组合等。

本文主要对桥博 V4 的组合算法进行了介绍,由于基本组合较其他组合更为繁琐,本文以基本组合为例,介绍了各荷载类型和荷载工况下分项系数、组合值系数以及在不同情况下的调整系数的具体取值方法。

1 基本组合:永久作用设计值与可变作用设计值相组合。

1) 作用基本组合的效应设计值可按下式计算:

$$S_{\text{ud}} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} G_{ik}, \gamma_{Q_1} \gamma_{1i} Q_{1k}, \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{1,j} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (4.1.5-1)$$

或

$$S_{\text{ud}} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m G_{id}, Q_{1d}, \sum_{j=2}^n Q_{jd} \right) \quad (4.1.5-2)$$

式中: S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值;

$S(\quad)$ ——作用组合的效应函数;

γ_0 ——结构重要性系数,按表 4.1.5-1 规定的结构设计安全等级采用,按持久状况和短暂状况承载能力极限状态设计时,公路桥涵结构设计安全等级应不低于表 4.1.5-1 的规定,对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 1.1、1.0 和 0.9;

γ_{G_i} ——第 i 个永久作用的分项系数,应按表 4.1.5-2 的规定采用;

G_{ik} 、 G_{id} ——第 i 个永久作用的标准值和设计值;

γ_{Q_1} ——汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的分项系数。采用车道荷载计算时取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$,采用车辆荷载计算时,其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.8$ 。当某个可变作用在组合中其效应值超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$;对专为承受某作用而设置的结构或装置,设计时该作用的分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$;计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载,其分项系数也取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$;

Q_{1k} 、 Q_{1d} ——汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的标准值和设计值;

γ_{Q_j} ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用的分项系数,取 $\gamma_{Q_j} = 1.4$,但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Q_j} = 1.1$;

Q_{jk} 、 Q_{jd} ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用的标准值和设计值;

ψ_c ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用的组合值系数,取 $\psi_c = 0.75$;

$\psi_c Q_{jk}$ ——在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的第 j 个可变作用的组合值;

$\gamma_{1,j}$ ——第 j 个可变作用的结构设计使用年限荷载调整系数。公路桥涵结构的设计使用年限按现行《公路工程技术标准》(JTG B01)取值时,可变作用的设计使用年限荷载调整系数取 $\gamma_{1,j} = 1.0$;否则, $\gamma_{1,j}$ 取值应按专题研究确定。

2) 当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用基本组合的效应设计值 S_{ud} 可通过作用效应代数相加计算。

3) 设计弯桥时,当离心力与制动力同时参与组合时,制动力标准值或设计值按 70% 取用。

荷载组合方式分为三种：**都参与组合、挑有贡献参与组合、挑最值参与组合**。见规范配置【A 总则】-【05 荷载定义】

一、 都参与组合：

不管荷载有利或不利，都参与组合，只是组合系数有区别。

①特殊情况 1：

当同一荷载类型下有多个荷载工况，则多个工况首先进行合并后再判断是否有利，并选择相应的组合系数。

例：

荷载类型	荷载工况	N (kN)
结构重力及附加重力	自重	-200
	附加重力	100

对于 maxN 组合：两工况首先合并， $-200+100=-100$ ，为不利荷载，因此系数取 1.2，即自重和附加重力两工况均取不利系数 1.2，则该荷载类型的效应为 $1.2 * (-200+100) = -120\text{kN}$ 。

组合系数定义			
编号	荷载类型	受力不利时系数	受力有利时系数
1	结构重力及附加重力	1.2	1
2	施工措施荷载	1.2	1
3	预加力次效应_施工阶段	1.2	1

②特殊情况 2：

对于组合方式为都参与组合的复合荷载类型，例如 85 规范中的结构重力、土重力及土侧压力，如果含有多个工况，则拆分为各自的荷载子类型，取各自的组合系数分别进行组合。

例：

复合荷载类型	子荷载类型	荷载工况	N (kN)
结构重力、土重力及土侧压力	结构重力	自重	-200
		附加重力	100
	土的重力及土侧压力	土重力	250
		土侧压力	-100

同样对于 maxN 组合，结构重力的内力值合并为 $-200+100=-100$ ，为有利荷载，取系数 0.9。

土的重力及土侧压力的内力值合并为 $250-100=150$ ，为不利荷载，取系数 1.2。则结构重力、土重力及土侧压力这一复合荷载类型的最终效应为 $0.9*(-200+100)+1.2*(250-100)=90\text{kN}$ 。

组合复合荷载类型		
编号	合并类型	包含的荷载类型
1	汽车(含冲击力、直接荷载)	汽车_荷载, 汽车冲击力...
2	人群(含直接荷载)	人群_荷载, 人群
3	结构重力、土重力及土侧压力	结构重力, 土的重力及...

组合系数定义			
编号	荷载类型	受力不利时系数	受力有利时系数
1	结构重力、土重力及土侧压力	1.2	0.9
2	汽车(含冲击力、直接荷载)	1.4	0
3	人群(含直接荷载)	1.4	0

---85 规范配置【B 组合】-01 组合 I (承载能力极限状态)

③特殊情况 3:

对于都参与组合的荷载，如果其值为 0，程序约定取受力有利时系数，即取 1（对并发内力有影响）。根据规范配置【A 总则】-【03 计算规定】，如下图，内力组合时效应值有效位数为 3，当荷载数值小于 10^{-3}N 时（注意单位为 N，m），该荷载取 0。

例：

荷载类型	N (N)	M (N.m)
结构重力及附加重力	0.0005	500

对于 $\max N$ 组合， $0.0005 < 10^{-3}$ ，取 $N=0$ 。约定为取有利系数，即 1。则该荷载最终效应为 $N=1*0=0\text{N}$ ， $M=1*500=500\text{N.m}$ 。

验算	
弯起钢束判断相对坡度 (%)	2
抗剪验算计入弯起钢筋超过 $40\%V_d$	
内力组合时效应值有效位数	3

④特殊情况 4:

运营阶段的预应力和收缩徐变效应，虽然组合类型为都参与组合，但有利系数为 0，即组合时作为可变作用，但其他可变作用不同，因为同一荷载类型下不同工况还是先合并再判断是否有利，而不是分别判断。

例：

荷载类型	荷载工况	N (kN)
收缩_运营阶段	收缩 1	-200
	收缩 2	100

对于 maxN 组合，收缩_运营阶段的内力值合并为 $-200+100=-100$ ，为有利荷载，取系数 0，则该荷载类型下荷载效应为 $0 * (-200+100) = 0$ 。

组合系数定义			
编号	荷载类型	受力不利时系数	受力有利时系数
1	结构重力及附加重力	1.2	1
2	施工措施荷载	1.2	1
3	预加力次效应_施工阶段	1.2	1
4	预加力次效应_运营阶段	1.2	0
5	土的重力	1.2	1
6	土侧压力	1.4	1
7	收缩_施工阶段	1	1
8	收缩_运营阶段	1	0
9	徐变_施工阶段	1	1
10	徐变_运营阶段	1	0

二、挑有贡献参与组合：

荷载不利时参与组合，有利时不参与组合。对于同一荷载类型下的不同荷载工况，各自判断，可以叠加。

例：

荷载类型	荷载工况	N (kN)
基础变位	沉降 1	-200
	沉降 2	100
	沉降 3	150
	沉降 4	-100

对于 maxN 组合，基础变位的四个工况各自取最不利进行叠加，即 $0 * (-200) + 0.5 * 100 + 0.5 * 150 + 0 * (-100) = 125\text{kN}$ 。

组合系数定义			
编号	荷载类型	受力不利时系数	受力有利时系数
1	结构重力及附加重力	1.2	1
2	施工措施荷载	1.2	1
3	预加力次效应_施工阶段	1.2	1
4	预加力次效应_运营阶段	1.2	0
5	土的重力	1.2	1
6	土侧压力	1.4	1
7	收缩_施工阶段	1	1
8	收缩_运营阶段	1	0
9	徐变_施工阶段	1	1
10	徐变_运营阶段	1	0
11	水的浮力	1	1
12	基础变位_施工阶段	1	1
13	基础变位	0.5	0

三、挑最值参与组合：

对于同一荷载类型下的不同荷载工况，挑选其中一种最不利荷载工况进行组合。

例：

荷载类型	荷载工况	N (kN)
流水压力	流水压力 1	-200
	流水压力 2	100
	流水压力 3	150
	流水压力 4	-100

对于 maxN 组合，流水压力的四个工况取最不利的一种工况，即流水压力 3 进行组合，该荷载类型的荷载效应为 $1.4 \times 150 = 210 \text{kN}$ 。

20	施工风	1.1	0
21	极限风	1.1	0
22	有车风	1.1	0
23	流水压力	1.4	0
24	冰压力	1.4	0

四、 组合调整系数：

1. 根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015) 4.1.5-1 规定，除最大可变作用外，其余可变作用乘以组合值系数 0.75，有车风除外（《公路桥梁抗风设计规范》JTG / T_3360-01-2018 第 3.3.2-2）。

判断最大可变作用时，对于复合荷载类型车道（含冲击力、离心力），三种荷载类型作为整体荷载与其他可变作用进行比较。若车道、冲击力和离心力均参与组合，程序保证其组合值系数一致。

2. 当制动力与离心力同时存在时，制动力按 70%取用。根据这一原则，程序分两种情况考虑：离心力（不含车道、冲击力）+0.7*制动力、制动力，取最不利情况计算。
3. 《公路桥梁抗风设计规范》JTG / T_3360-01-2018 第 3.3.2，当风荷载不作为最大可变荷载时，分项系数为 1.1，作为最大可变荷载时，分项系数 1.4。

组合调整系数定义				
调整条件	系数值	荷载类型	组名	说明
1	0.75	[AllKeBian]-[MaxKeBian]		除最大可变作用之外的其它作用，乘以组合值系数0.75，不含有车风
{ \$IF([LiXinLi], =, 1) }	*0.7	汽车制动力	情况1	汽车制动力与离心力同时组合，制动力按70%取用
{ \$IF([ZhiDongLi], =, 1) }	*0	车道(含冲击力、离心力)	情况2	只考虑制动力不考虑离心力。情况1、情况2取不利。同时考虑制动力及离心力的一般是下部...
{ \$IF([MaxKeBian], =, 施工风) }	-1.4	施工风		《公路桥梁抗风设计规范》(2018)第3.3.2-1条
{ \$IF([MaxKeBian], =, 极限风) }	-1.4	极限风		《公路桥梁抗风设计规范》(2018)第3.3.2-1条
{ \$IF([MaxKeBian], =, 有车风) }	-1.4	有车风		《通用规范》(2015)第4.1.5-1-1)对VQ1的解释，并参照《公路桥梁抗风设计规范》(2018)...

组合系数定义			
编号	荷载类型	受力不利时系数	受力有利时系数
1	结构重力及附加重力	1.2	1
2	施工措施荷载	1.2	1
3	预加力次效应_施工阶段	1.2	1
4	预加力次效应_运营阶段	1.2	0
5	土的重力	1.2	1
6	土侧压力	1.4	1
7	收缩_施工阶段	1	1
8	收缩_运营阶段	1	0
9	徐变_施工阶段	1	1
10	徐变_运营阶段	1	0
11	水的浮力	1	1
12	基础变位_施工阶段	1	1
13	基础变位	0.5	0
14	车道(含冲击力、离心力)	1.4	0
15	车辆(含冲击力)	1.8	0
16	汽车引起的土侧压力	1.4	0
17	汽车制动力	1.4	0
18	人群(含直接荷载)	1.4	0
19	施工活载	1.4	0
20	施工风	1.1	0
21	极限风	1.1	0
22	有车风	1.1	0

例：

复合荷载类型	子荷载类型	荷载工况	N(kN)
车道(含冲击力、离心力)	车道荷载	车道 Max_Qz	154.5
	冲击力	车道冲击力 Max_Qz	46.3
		离心力 1	93.9
梯度温度		离心力 2	187.8
		梯度升温	0.2
基础变位		梯度降温	-0.1
		沉降 1	-34.4
		沉降 2	34.4
有车风		沉降 3	15.1
		有车风	281.7

计算 maxN 组合。首先考虑最大可变荷载。上述表格中最大可变荷载单项为有车风 281.7kN。

而考虑到复合荷载类型，车道(含冲击力、离心力)的荷载值为： $154.5+46.3+\max(93.9, 187.8)$

=154.5+46.3+187.8=388.6kN>281.7kN。即最大可变荷载为车道(含冲击力、离心力)，其分项系数为 1.4。其余可变荷载的分项系数和组合值系数见下表。

荷载工况	N(kN)	分项系数	组合值系数
车道 Max_Qz	154.5	最大可变荷载，取 1.4	最大可变荷载，不乘组合值系数
车道冲击力 Max_Qz	46.3		
离心力 2	187.8		
梯度升温	0.2	1.4	其余可变荷载，取 0.75
沉降 2	34.4	0.5	根据规范规定，基础变位为永久作用，不存在组合值系数。
沉降 3	15.1	0.5	
有车风	281.7	1.1	根据抗风规范，取 1

最终组合结果为：1.1（重要性系数）*[1.4*(154.5+46.3+187.8)+1.4*0.75*0.2+0.5*34.4+0.5*15.1+1.1*1*281.7]=966.757kN。

另外，根据规范规定，考虑互斥作用。即互斥荷载类型不能同时存在。

组合互斥定义		
编号	荷载类型	互斥项
1	汽车制动力	流水压力,冰压力,波浪力,支座摩阻力
2	流水压力	汽车制动力,冰压力,波浪力
3	波浪力	汽车制动力,流水压力,冰压力
4	冰压力	汽车制动力,流水压力,波浪力
5	支座摩阻力	汽车制动力
6	极限风	汽车引起的土侧压力,汽车制动力,有车风,特种荷载,疲劳荷载I,疲劳荷载II,疲劳荷载III,车道_荷载,车道冲击力_荷载,车道,车道冲击力,...

注：文中截图除特殊说明外，均来自 2018 公路规范【B 组合】-01 基本组合