重庆市工程建设标准

轨道交通U形梁结构技术标准

Technical Specification for Structures of Rail Transit U-beam

DBJ50/T-331-2019

重庆工程建设

主编单位:重庆市轨道交通(集团)有限公司
批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会
施行日期:2020年1月1日

2019 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标〔2019〕10 号

重庆市住房和城乡建设委员会
关于发布《轨道交通 U 形梁结构技术标准》
的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《轨道交通 U 形梁结构技术标准》为我市工程建设推荐性标准,编号为 DBJ50/T-331-2019,自 2020 年 1 月 1 日起施行。本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,重庆市轨道交通(集团)有限公司负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2019 年 9 月 28 日

重庆工程建设

重庆工程建设

前　言

本标准是根据重庆市城乡建设委员会《关于下达2011年工程建设标准制订、修订项目计划的通知》(渝建[2011]460号)的要求,本标准编制组全体编制人员在深入总结和分析我国轨道交通钢轮钢轨U形梁设计和施工建设经验及相关科研成果的基础上,经多次反复论证和研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国内先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本标准。

本标准共分12章,主要技术内容是:总则,术语和符号,基本规定,材料,设计荷载,结构设计,模板,钢筋,混凝土,预应力,存梁、运输及安装,工程验收等。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,由重庆市轨道交通(集团)有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中,如有意见和建议请寄送至重庆市轨道交通(集团)有限公司(地址:重庆市渝北区金开大道西段210号大竹林轻轨综合基地,邮编:401122;传真:023-68808355,电子邮箱:chensong324@sina.com),以供今后修订时参考。

重庆工程建设

本标准主编单位、参编单位、主要起草人员和主要审查人员：

主 编 单 位：重庆市轨道交通(集团)有限公司

参 编 单 位：北京城建设计发展集团股份有限公司
重庆单轨交通工程有限责任公司
中铁二院(成都)咨询监理有限责任公司

主要起草人：林　莉　张宏杰　陈　松　朱君卿　陈智文
王承勋　陈德超　王　响　付铁军　陈礼祥
艾小军　吴建忠　李　斌　张宇川　项丽琳
余秋阳　黄建靖

主要审查人：向中富　刘安双　肖　宇　陈　波　于海洋
余　斌　周世军

重庆工程建设

目　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 2
3　基本规定 …… 5
3.1　一般规定 …… 5
3.2　桥面布置 …… 5
3.3　附属设施 …… 6
4　材料 …… 7
4.1　混凝土 …… 7
4.2　钢筋 …… 7
4.3　钢材 …… 9
5　设计荷载 …… 10
5.1　荷载分类 …… 10
5.2　荷载取值 …… 11
5.3　荷载组合 …… 14
6　结构设计 …… 15
6.1　一般规定 …… 15
6.2　刚度要求 …… 16
6.3　梁体设计 …… 17
6.4　构造要求 …… 20
7　模板 …… 22
7.1　一般规定 …… 22
7.2　模板制作和拼装 …… 22
7.3　模板拆除 …… 23

重庆工程建设

7.4 质量检验及质量标准 …… 23
8 钢筋 …… 25
8.1 一般规定 …… 25
8.2 钢筋加工 …… 25
8.3 钢筋安装 …… 26
8.4 质量检验及质量标准 …… 27
9 混凝土 …… 29
9.1 一般规定 …… 29
9.2 原材料 …… 29
9.3 混凝土配合比 …… 35
9.4 混凝土浇筑 …… 35
9.5 混凝土养护 …… 36
9.6 质量检验及质量标准 …… 37
10 预应力 …… 40
10.1 一般规定 …… 40
10.2 预应力筋、锚具、夹具和连接器 …… 40
10.3 预应力管道制作与安装 …… 41
10.4 预应力筋制作与安装 …… 42
10.5 预应力张拉 …… 42
10.6 预应力管道压浆与封锚(端) …… 44
10.7 质量检验及质量标准 …… 47
11 存梁、运输及安装 …… 49
11.1 一般规定 …… 49
11.2 存梁 …… 49
11.3 运输 …… 49
11.4 架桥机安装 …… 50
11.5 吊车安装 …… 51
11.6 质量检验及质量标准 …… 52
12 工程验收 …… 55

12.1　一般规定 …… 55
12.2　验收单元的划分 …… 55
12.3　验收内容和要求 …… 55
12.4　验收程序和组织 …… 56
本标准用词说明 …… 57
引用标准名录 …… 58
条文说明 …… 61

重庆工程建设

重庆工程建设

Contents

1 General Provisions ····· 1
2 Terms ····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbol ····· 2
3 Basic requirements ····· 5
3.1 General Requirements ····· 5
3.2 Bridge Deck Arrangement ····· 5
3.3 Ancillary Facilities ····· 6
4 Materials ····· 7
4.1 Concretes ····· 7
4.2 Steel Reinforcement ····· 7
4.3 Structural Steels ····· 9
5 Loads and stiffness ····· 10
5.1 Classification of Loads ····· 10
5.2 Character Values of Loads ····· 11
5.3 Load Combinations ····· 14
6 Structural Design and Structure ····· 15
6.1 General Requirements ····· 15
6.2 Stiffness Requirement ····· 16
6.3 Structural Design ····· 17
6.4 Structural Requirements ····· 20
7 Template ····· 22
7.1 General Requirements ····· 22
7.2 Template Made and Assemble ····· 22
7.3 Template Removal ····· 23

重庆工程建设

7.4 Quality Inspection and Quality Standard ····· 23
8 Steel Reinforcement ····· 25
8.1 General Requirements ····· 25
8.2 Preparation of Steel Reinforcement ····· 25
8.3 Steel Reinforcement Installation ····· 26
8.4 Quality Inspection and Quality Standard ····· 27
9 Concrete ····· 29
9.1 General Requirements ····· 29
9.2 Raw Material ····· 29
9.3 Concrete Mix Ratio ····· 35
9.4 Concrete Pouring ····· 35
9.5 Concrete Curing ····· 36
9.6 Quality Inspection and Quality Standard ····· 37
10 Prestress ····· 40
10.1 General Requirements ····· 40
10.2 Prestressed Tendon, Anchorage, Jig and Coupler ····· 40
10.3 Prestressed Duct Production and Installation ····· 41
10.4 Prestressed TendonProduction and Installation ··· 42
10.5 Prestressed Tension ····· 42
10.6 Prestressed Duct Grouting and Anchoring(end) ··· 44
10.7 Quality Inspection and Quality Standard ····· 47
11 Storage of Beams, Transport and Transport ····· 49
11.1 General Requirements ····· 49
11.2 Storage of Beams ····· 49
11.3 Transport ····· 49
11.4 Transport of Bridge Erector ····· 50
11.5 Crane Installation ····· 51
11.6 Quality Inspection and Quality Standard ····· 52

重庆工程建设

12 Acceptance ····· 55
12.1 General Requirements ····· 55
12.2 Division of Acceptance Units ····· 55
12.3 Acceptance Contents and Requirements ····· 55
12.4 Acceptance Procedures and Organization ····· 56
Explanation of wording in this code ····· 57
List of Quoted Standards ····· 58
Addition: Explanation of Provisions ····· 61

重庆工程建设

重庆工程建设

1 总 则

1.0.1 为满足重庆市轨道交通桥梁工程建设的需要，使轨道交通U形梁的设计、施工和验收等技术工作符合安全可靠、耐久适用、技术先进、经济合理、环保美观的要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于重庆市轨道交通跨度不大于72m、最高运行速度不超过120km/h的钢轮钢轨U形梁新建工程的设计、施工和验收。

1.0.3 U形梁的设计、施工和验收除应符合本标准外，尚应符合现行国家及重庆市相关标准的规定。

重庆工程建设

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 U形梁 U-beam

全称预应力混凝土U形梁，由两侧腹板、腹板顶翼缘板和底板组成，底板直接承受轨道交通车辆钢轮钢轨传递的活载作用。

2.1.2 救援列车荷载 rescue train load

运营列车发生故障时，进行救援产生的附加荷载。

2.1.3 纵向水平力 longitudinal force due to continuous welded rail

由桥梁和无缝线路间相对位移引起的水平力。

2.1.4 断轨力 breaking force of continuous welded rail

无缝线路钢轨突然折断引起桥梁与钢轨间相对位移产生的水平力。

2.1.5 桥道板 carriageway slab

支撑列车运行的板。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能有关符号

C55——混凝土强度等级；

E_c——混凝土弹性模量；

E_p——预应力钢绞线弹性模量；

E_s——普通钢筋弹性模量；

G_c——混凝土剪切变形模量；

f_c、f_{ct}——混凝土轴心抗压、抗拉极限强度；

f_{pk}、f_{sk}——预应力钢筋、普通钢筋抗拉强度标准值；

f_s、f_s'——普通钢筋抗拉、抗压计算强度；

f_p、f_p'——预应力钢筋抗拉、抗压计算强度；

f_{sv}——箍筋的抗拉计算强度；

f_{sd}——纵向钢筋抗拉计算强度；

ν_c——混凝土泊松比。

2.2.2 几何参数

A_{sv1}——纯扭计算中箍筋的单肢截面面积；

A_{st}——纯扭计算中沿截面周边对称配置的全部普通纵向钢筋截面面积；

A_{cor}——由箍筋内表面包围的截面核芯面积；

a——钢轨支点纵向间距；

b——垂直于弯矩作用平面的矩形截面宽度或箱形截面腹板总宽度；

h_0——平行于弯矩作用平面的矩形或箱形截面的有效高度；

h——U 梁高度；

h_{cor}——核芯面积的长边边长；

S_v——纯扭计算中箍筋的间距；

t_1——腹板厚；

t_2——底板厚；

U_{cor}——截面核芯面积的周长；

W_t——截面受扭塑性抵抗矩；

W_{tw}——腹板或矩形箱体的塑性抵抗矩；

W_{tf}——翼缘板的塑性抵抗矩；

W_{tb}——组合截面顶(底)板的塑性抵抗矩。

2.2.3 荷载及荷载效应

M_0——以腹板内侧间距为计算跨径的简支板跨中弯矩；

P——列车轴重考虑纵向分布后的集中荷载；

Q_{vi}——列车轴重引起的集中荷载；

q——分布荷载的集度；

T——截面扭矩；

T_w——分配给腹板或矩形箱体的扭矩；

T_f——分配给翼缘板的扭矩；

T_b——分配给组合截面顶(底)板的扭矩；

V——截面计算剪力；

σ_{tp-1}——有箍筋及斜筋时的容许主拉应力；

σ_{tp-2}——无箍筋及斜筋时的容许主拉应力。

2.2.4 其他计算参数

K——强度安全系数；

R——曲线半径；

V——列车的运行速度；

ξ——纯扭构件纵向钢筋与箍筋的配筋强度比；

β_a——系数。

重庆工程建设

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 U形梁的结构形式应满足城市景观和减振、降噪的要求。

3.1.2 U形梁宜构造简洁，便于施工和运营维护。

3.1.3 标准梁段应采用简支预应力混凝土结构，并宜采用预制架设、预制节段拼装的设计、施工方法；跨越节点时可采用连续U形梁。

3.1.4 U形梁结构设计使用年限应不低于100年。

3.1.5 U形梁在制造、运输、安装和运营过程中应具有足够的强度、刚度、稳定性，并应满足使用耐久性要求。

3.1.6 U形梁设计应预留设备的安装、检修和更换条件，并应满足养护、维修的要求。

3.2 桥面布置

3.2.1 U形梁桥桥面宽度及线间距应根据建筑限界、应急疏散、设备布置、铺轨误差、桥梁跨度、吊装误差、曲线半径、布梁方式等因素计算确定，并应满足桥上设备安装、维修、更换和乘客紧急疏散的要求。

3.2.2 U形梁桥桥面上的接触网、声屏障、信号、通信、排水、照明等各类设施的布设宜与桥梁整体景观协调，并对桥上管线、设备进行集成。

重庆工程建设

3.3 附属设施

3.3.1 梁缝处应设伸缩缝，伸缩缝应能适应梁端部自由伸缩，且具备防止桥面水下漏的功能。

3.3.2 桥面应设置防水层，其技术指标及施工工艺应符合现行行业标准《铁路混凝土桥面防水层技术条件》TB/T 2965 的相关规定。

3.3.3 桥面防水保护层顶面宜设置不小于 2%的排水横坡和不小于 3‰的排水纵坡；当桥梁位于长大纵坡时，宜增加疏水挡块，必要时可在 U 形梁腹板上设置泄水孔。

3.3.4 U 形梁结构不应作为下列设施的支承结构：

1 输送压力大于或等于 0.4MPa 的燃气管道；

2 电压高于 10kV 的供电电缆；

3 污水管；

4 可燃、有毒或腐蚀性的液体管和气体管；

5 广告牌、警示牌等。

重庆工程建设

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.1 U形梁应采用混凝土强度等级不低于C55的高性能混凝土，管道压浆用水泥浆强度等级不低于M50。

4.1.2 封锚材料应采用干硬性聚合物混凝土，封端材料应采用塑性混凝土，封锚及封端混凝土的强度应不低于梁本体混凝土。

4.1.3 混凝土的极限强度、受压和受拉弹性模量 E_c 的取值应符合表4.1.3的规定。混凝土的剪切变形模量 G_c 宜按表4.1.3规定的弹性模量 E_c 的0.43倍采用。混凝土泊松比 ν_c 宜采用0.2。

表4.1.3 混凝土极限强度和弹性模量(MPa)

强度种类	符号	混凝土强度等级	
		C55	C60
轴心抗压	f_c	37.0	40.0
轴心抗拉	f_{ct}	3.30	3.50
弹性模量	E_c	3.60×10^4	3.65×10^4

4.1.4 混凝土的容许应力应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定。

4.2 钢 筋

4.2.1 混凝土结构的普通钢筋和预应力钢筋应符合下列规定：

1 普通钢筋可采用HPB300和未经高压穿水处理过的HRB400或HRB500钢筋。HPB300应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1的相关规定；HRB400和HRB500应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢第2

部分:热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的相关规定;HRB400 钢筋的化学成分应不大于 0.5%;HRB500 钢筋的化学成分应不大于 0.52%;

2 预应力钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的相关规定。

4.2.2 普通钢筋的抗拉强度标准值应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 钢筋抗拉强度标准值(MPa)

强度	普通钢筋 f_{sk}		
	HPB300	HRB400	HRB500
抗拉强度标准值	300	400	500

4.2.3 预应力钢绞线抗拉强度标准值应符合表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 预应力钢绞线抗拉强度标准值 f_{pk}(MPa)

公称直径(mm)	15.2	17.8
	1×7	1×7
抗拉强度标准值	1860 1960	1860

4.2.4 钢筋计算强度的取值应符合表 4.2.4 的规定。

表 4.2.4 钢筋计算强度(MPa)

钢筋类型		抗拉计算强度 f_p 或 f_s	抗压计算强度 f_p' 或 f_s'
预应力筋	钢绞线	$0.9f_{pk}$	380
普通钢筋	HPB300	300	300
	HRB400	400	400
	HRB500	500	500

4.2.5 钢筋弹性模量的取值应符合表 4.2.5 的规定,其中计算钢绞线伸长值时,钢绞线的弹性模量可按 $E_p \pm 0.1 \times 10^5$ MPa 作为上限、下限。

重庆工程建设

表 4.2.5　钢筋弹性模量(MPa)

钢筋种类	符号	弹性模量
钢绞线	E_p	1.95×10^5
HPB300	E_s	2.1×10^5
HRB400	E_s	2.0×10^5
HRB500	E_s	2.0×10^5

4.2.6　钢筋的容许应力应符合表 4.2.6 的规定：

表 4.2.6　钢筋容许应力(MPa)

钢筋种类	主力	主力＋附加力	恒载＋施工临时荷载	主力＋特殊力
HPB300	160	210	230	240
HRB400	210	270	297	315
HRB500	260	320	370	390

4.3　钢　材

4.3.1　U 形梁预埋件应采用 Q235 或 Q345 钢材，Q235 应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的相关规定，Q345 钢材应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的相关规定。

4.3.2　U 形梁预埋件防腐宜采用锌镍渗层的工艺，并应满足重庆市地方标准《钢铁制件锌镍渗层》DB/T 50 474 的相关规定。

4.3.3　预埋件钢材的强度设计值 f、弹性模量 E、剪切模量 G 和泊松比 ν 等应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定。

重庆工程建设

5　设计荷载

5.1　荷载分类

5.1.1　U形梁结构设计荷载及分类应符合表5.1.1的规定。

表5.1.1　荷载及分类

荷载分类		荷载名称
主力	恒载	结构自重 附属设备和附属建筑自重 预加力 混凝土收缩及徐变影响 基础变位的影响
	活载	列车竖向静活载 列车竖向动力作用 列车离心力 列车横向摇摆力 人群荷载
附加力		制动力或牵引力 风力 温度影响力 救援、检修列车荷载 顶梁荷载
特殊荷载		施工临时荷载 列车脱轨荷载 列车脱轨水平撞击力

重庆工程建设

5.2 荷载取值

5.2.1 计算结构自重时，材料容重应按现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002 的相关规定取用；对于附属设备和附属建筑的自重或材料容重，可按所属专业的设计值或所属专业现行规范、标准中的规定取用。

5.2.2 列车竖向静活载确定应符合下列规定：

1 列车竖向静活载图式按本线列车的最大轴重、轴距及初、近、远期中最长的列车编组确定。

2 对于单线或双线桥梁结构，按列车活载作用于每一条线路确定。

3 多于两线的桥梁结构，按下列最不利情况确定。

1）按两条线路在最不利位置承受列车活载，其余线路不承受列车活载；

2）所有线路在最不利位置承受 75%的列车活载。

4 对承受局部荷载的构件，均应为该活荷载的 100%。

5 活载图式按实际列车编组进行加载，但对影响线异符号区段，轴重按空车重计。列车加载长度应采用本线初、近、远期中最不利的编组。

5.2.3 列车活载的效应为列车静活载与列车竖向动力作用效应之和，列车的竖向动力作用应按列车竖向静活载乘以动力系数 μ 进行计算。动力系数 μ 的取值应符合下列规定：

1 列车最高运行速度为 80km/h 及以下时，μ 应按现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002 规定的值乘以 0.8；

2 列车最高运行速度为 120km/h 时，μ 应按现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002 规定取值；

3 当最高运行速度大于 80km/h，但不大于 120 km/h 时，μ 应按列车最高运行速度线性插值确定；

4 单线 U 形梁桥道板的动力系数 μ 宜取 0.4，双线 U 形梁桥道板的动力系数宜取 0.3。

5.2.4 救援列车荷载和检修列车荷载应符合下列规定：

1 救援列车荷载应根据运营救援模式确定。当无详细资料时，救援列车荷载宜取一列满载列车，并应与运营列车进行最不利组合；

2 检修列车荷载应根据检修列车的实际情况确定。

5.2.5 列车轴重引起的集中荷载由于轨道结构引起的分布宜按下列规定进行计算：

1 列车轴重引起的集中荷载沿线路方向可分布于如图 5.2.5-1 所示的三个钢轨支点上；

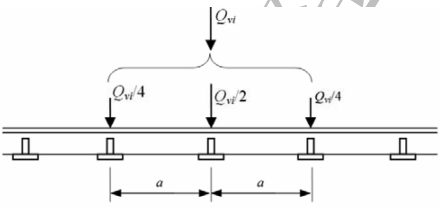

图 5.2.5-1 列车轴重荷载沿线路方向的分布

Q_{vi}——列车轴重引起的集中荷载；a——钢轨支点纵向间距

2 列车轴重引起的集中荷载在无砟轨道中垂直线路方向的分布宽度宜按轨底宽加两倍轨下基础高度计算（图 5.2.5-2）。

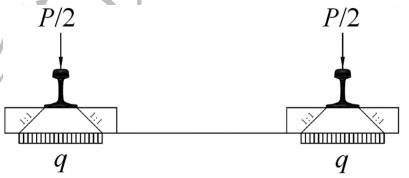

图 5.2.5-2 列车轴重荷载沿垂直线路方向的分布

P——列车轴重考虑纵向分布后的集中荷载；q——分布荷载的集度

5.2.6 位于曲线上的桥梁应考虑列车产生的离心力，离心力作用于轨顶以上 1.8m 处。离心力的大小应等于列车竖向静活载乘以离心力率 C。离心力率 C 值按下式计算：

$$C = \frac{V^2}{127R} \tag{5.2.6}$$

式中：V——列车的运行速度(km/h)；

R——曲线半径(m)。

5.2.7 列车横向摇摆力应按相邻两节车四个轴轴重的15%计，应以横桥向集中力形式取最不利位置作用于轨顶面。多线桥可只计算任意一条线上的横向摇摆力。

5.2.8 风荷载应按现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002的相关规定执行。

5.2.9 温度影响(体系温差、温度梯度)的取值应符合下列规定：

1 混凝土结构桥梁的体系温差宜分别取合龙温度与历年最冷月平均气温最低值、最热月平均气温最高值的差值；

2 U形梁温度梯度的计算可只考虑在底板位置的升降温，按照±6℃计算。

5.2.10 混凝土的收缩、徐变影响宜按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362的相关规定执行。

5.2.11 桥梁设计应计列车脱轨荷载作用，列车脱轨荷载宜分别按下列三种情况取值，并验算结构的强度和稳定性。对于多线桥宜仅计一线脱轨荷载，且其他线路上不作用列车荷载。

1 列车脱轨后，一侧车轮仍停留在轨道范围内；该状态下应检算桥面板强度，材料的容许应力提高系数宜采用1.4。脱轨荷载为集中荷载，数值取本线列车实际轴重的1/2，不宜计列车动力系数，作用于桥面板的最不利位置处；

2 列车脱轨后，已离开轨道范围，但仍停留在桥面上；该状态下应检算结构的横向倾覆稳定性，倾覆稳定系数不得小于1.3。脱轨荷载为平行于线路的线荷载，长度20m、作用于桥面板横向最不利位置处，线荷载数值宜取本线列车一节车轴重之和除以20m，不宜计列车动力系数、离心力和另一线竖向荷载；

3 U形梁横向脱轨荷载应按30kN/m考虑，横向作用在腹

板翼缘部位顺桥向 10m 范围内，该作用力应与上述 1 和 2 规定的竖向脱轨力组合进行结构的强度和稳定性验算。

5.2.12 施工临时荷载应根据施工方法和工艺的实际情况确定，桥梁结构检算应考虑施工机械和养护维修荷载，且应按不同施工阶段的施工荷载检算。

5.2.13 桥面人行道和疏散平台的竖向静活载应采用 4.0kPa，人行道板应按竖向集中荷载 1.5kN 检算。

5.2.14 桥梁疏散平台及人行道栏杆的横向水平推力和竖向压力应分别按 0.75kN/m 和 0.36kN/m 计算。

5.3 荷载组合

5.3.1 设计应根据各种结构的不同荷载组合，将材料基本容许应力乘以不同的提高系数。

5.3.2 U 形梁结构应根据其结构特征按本规范第 5.1.1 条所列荷载，就其可能出现的最不利组合进行计算，主要组合如下：

1 组合Ⅰ：主力（自重＋二期＋预应力＋收缩徐变＋活载）；

2 组合Ⅱ：主力＋附加力（自重＋二期＋预应力＋收缩徐变＋活载＋温度作用）；

3 组合Ⅲ：主力＋特殊力（自重＋二期＋预应力＋收缩徐变＋脱轨荷载）；

4 组合Ⅳ：恒载＋特殊力（自重＋预应力＋收缩徐变＋架桥机荷载）；

5 组合Ⅴ：主力＋附加力（自重＋二期＋预应力＋活载＋风荷载＋离心力＋列车摇摆力）。

重庆工程建设

6 结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 U形梁应采用预应力混凝土结构，其耐久性设计应满足现行行业标准《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005的相关规定。

6.1.2 U形梁设计除应符合本标准的规定外，尚应符合现行行业标准《铁路桥涵设计规范》TB 10002、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定。

6.1.3 U形梁结构在最不利组合荷载作用下，支座不脱空系数应不小于1.3。

6.1.4 U形梁应验算顶梁工况。顶梁验算应保证在荷载作用下桥梁整体和局部构件的安全性。

6.1.5 当结构自重(包括附加建筑自重)、预加力、前期收缩徐变及静活载引起的竖向挠度大于15mm或跨度的1/1600时，应设置预拱度；预拱度曲线应与结构自重(包括附加建筑自重)、预加力、前期收缩徐变及1/2静活载所产生的挠度曲线基本相同，但方向相反。

6.1.6 铺设无砟轨道的预应力混凝土简支U形梁的后期徐变变形量不宜大于10mm。连续U形梁的徐变变形应满足：L小于50m时徐变拱度或挠度不大于10mm，L不小于50m时徐变拱度或挠度不大于L/5000，其中L为桥梁的跨度。

6.1.7 U形梁支座宜采用轨道交通标准系列球形钢支座，其支座构造应满足支座检修和更换要求。

6.1.8 U形梁桥道板的受力宜建立空间实体有限元模型进行计算，初步设计阶段可按下列公式进行估算：

1 桥道板跨中的横向最大正弯矩 M_1：

$$M_1 = M_0 \tag{6.1.8-1}$$

2 桥道板支点的横向最大正弯矩 M_2：

$$M_2 = 0.25M_0 \tag{6.1.8-2}$$

3 桥道板支点的横向最大负弯矩 M_3：

$$M_3 = 0.5M_0 \tag{6.1.8-3}$$

式中：M_0——以腹板内侧间距为计算跨径的简支板跨中弯矩（kN·m）。

6.1.9 U形梁桥道板横桥向宜按照偏心受拉钢筋混凝土构件进行计算，其计算裂缝宽度不宜大于0.14mm。

6.1.10 在不考虑混凝土抗拉强度时，U形梁正截面抗裂安全系数不宜小于1.2。

6.1.11 U形梁内腹板顶作为疏散平台时，两梁缝之间的距离不宜大于0.1m。

6.1.12 U形梁的抗震措施应按现行行业标准《铁路工程抗震设计规范》GB 50111的相关规定进行设计和计算。

6.1.13 U形梁普通钢筋和预应力钢筋的应力幅应符合现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定。

6.2 刚度要求

6.2.1 U形梁桥跨结构由列车竖向静活载引起的竖向挠度不应超过表6.2.1规定的容许值。

表6.2.1 梁体竖向挠度的容许值

跨度 L(m)	竖向挠度容许值
$L \leqslant 30$	$L/2000$
$30 < L \leqslant 60$	$L/1500$
$60 < L \leqslant 80$	$L/1200$

6.2.2 在列车静活载作用下，有砟轨道桥梁梁体单端竖向转角

重庆工程建设

不应大于 5‰，无砟轨道桥梁梁体单端转角不应大于 3‰。无砟轨道桥梁梁体单端竖向转角大于 2‰时，应检算梁端处轨道扣件的上拔力。

6.2.3 在列车横向摇摆力、离心力、风力和温度力作用下，桥跨结构梁体的横向水平挠度不宜大于计算跨度的 1/4000。

6.2.4 在计入动力系数的列车活载作用下，桥跨结构梁体同一横断面一条线上两根钢轨的竖向变形差形成的两轨动态不平顺度不应大于 6mm。不能满足时，应进行车桥或风车桥系统耦合振动分析。

6.3 梁体设计

6.3.1 U 形梁弯扭构件的塑性抵抗矩和截面扭矩应符合下列规定：

1 U 形梁可以分解为腹板、翼缘板以及底板组合而成的矩形截面。

2 U 形梁截面受扭塑性抵抗矩 W_t、腹板塑性抵抗矩 W_{tw}、翼缘板塑性抵抗矩 W_{tf}、组合截面顶(底)板塑性抵抗矩 W_{tb}应按下列公式 6.3.1-1～4 式计算。

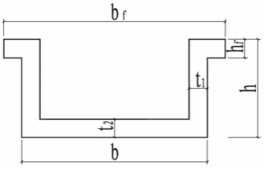

图 6.3.1 U 形梁截面

$$W_{tw} = \frac{t_1^{\ 2}}{6}(3h - t_1) + \frac{t_2^{\ 2}}{6}(3h - t_2) \qquad (6.3.1\text{-}1)$$

$$W_{tf} = \frac{h_f^2}{2}(b_f - b) \qquad (6.3.1\text{-}2)$$

$$W_{tb} = \frac{t_2^2}{6}[3(b - 2t_1) - t_2] \qquad (6.3.1\text{-}3)$$

$$W_t = W_{tw} + W_{tf} + W_{tb} \tag{6.3.1-4}$$

式中：W_t——截面受扭塑性抵抗矩（m^3）；

W_{tw}——腹板或矩形箱体的塑性抵抗矩（m^3）；

W_{tf}——翼缘板的塑性抵抗矩（m^3）；

W_{tb}——组合截面顶（底）板的塑性抵抗矩（m^3）。

3 U形梁弯扭构件的扭矩分配应按下列公式计算：

$$T_w = \frac{W_{tw}}{W_t} \times T \tag{6.3.1-5}$$

$$T_f = \frac{W_{tf}}{W_t} \times T \tag{6.3.1-6}$$

$$T_b = \frac{W_{tb}}{W_t} \times T \tag{6.3.1-7}$$

式中：T——截面扭矩（kN·m）；

T_w——分配给腹板或矩形箱体的扭矩（kN·m）；

T_f——分配给翼缘板的扭矩（kN·m）；

T_b——分配给组合截面顶（底）板的扭矩（kN·m）。

6.3.2 U形梁截面弯扭构件纵向钢筋和箍筋计算应符合下列规定：

1 正截面抗弯强度计算应按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定执行；

2 抗扭强度计算所需的纵向钢筋和箍筋面积宜按本标准公式6.3.3-3～6计算，并应沿周边均匀对称布置；

3 纵向钢筋面积可按弯矩最大值对应扭矩值或扭矩最大值对应弯矩值分别计算，进行叠加，应取最大值配置。

6.3.3 U形梁作为弯扭构件其截面尺寸、抗扭强度以及抗剪强度应符合下列规定：

1 U形梁的截面尺寸应符合下式要求：

$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \leq [\sigma_{tp-1}] \tag{6.3.3-1}$$

式中：V——截面计算剪力（kN）；

T——计算扭矩(kN·m)；

b——垂直于弯矩作用平面的矩形截面宽度或箱形截面腹板总宽度(m)；

h_0——平行于弯矩作用平面的矩形或箱形截面的有效高度(m)；

W_t——截面受扭塑性抵抗矩(m^3)；

$[\sigma_{tp-1}]$——有箍筋及斜筋时的容许主拉应力(kPa)。

2 当U形梁截面弯扭构件满足式(6.3.3-2)时，可不进行抗扭、抗剪强度计算，但应按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定配置构造钢筋：

$$\frac{V}{bh_0}+\frac{T}{W_t}\leq[\sigma_{tp-2}] \qquad (6.3.3\text{-}2)$$

式中：$[\sigma_{tp-2}]$——无箍筋及斜筋时的容许主拉应力(kPa)。

3 U形梁作为弯扭构件的抗扭强度宜按下列公式的规定计算，抗剪强度宜按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定计算。

$$KT\leq 0.35\beta_a f_{ct}W_t+1.2\sqrt{\xi}\,\frac{f_{sv}A_{sv1}A_{cor}}{S_v} \qquad (6.3.3\text{-}3)$$

式中：K——强度安全系数，按现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的相关规定取值；

ξ——纯扭构件纵向钢筋与箍筋的配筋强度比；

β_a——系数；

h——U形梁高度(m)；

t_1——腹板厚(m)；

t_2——底板厚(m)；

A_{cor}——由箍筋内表面包围的截面核芯面积(m^2)；

f_{ct}——混凝土抗拉极限强度(kPa)；

f_{sv}——箍筋的抗拉计算强度(kPa)。

4 纯扭构件纵向钢筋与箍筋的配筋强度比ξ、截面核芯面积的周长U_{cor}及由箍筋内表面包围的截面核芯面积宜按下列公式的

规定计算：

$$\xi + \frac{f_{sd} A_{st} S_v}{f_{sv} A_{sv1} U_{cor}} \tag{6.3.3-4}$$

$$A_{cor} = b_{cor} h_{cor} \tag{6.3.3-5}$$

$$U_{cor} = 2(b_{cor} + h_{cor}) \tag{6.3.3-6}$$

A_{sv1}——纯扭计算中箍筋的单肢截面面积(m^2)；

A_{st}——纯扭计算中沿截面周边对称配置的全部普通纵向钢筋截面面积(m^2)；

f_{sd}——纵向钢筋抗拉计算强度(kPa)；

b_{cor}——核芯面积的短边边长(m)；

h_{cor}——核芯面积的长边边长(m)；

S_v——纯扭计算中箍筋的间距(m)；

U_{cor}——截面核芯面积的周长(m)。

6.4 构造要求

6.4.1 U形梁的构造应符合下列规定：

1 单线梁桥面板厚度应不小于0.26m；双线梁桥面板厚度应不小于0.3m；

2 梁端部应设置与桥面板构成整体的端横梁，其设置长度应考虑支座安装、临时吊装、限位挡块、斜交梁施工的需求；

3 腹板与底板结合部应设置加腋构造。

6.4.2 弯扭构件的纵向钢筋应符合下列规定：

1 梁内受扭纵向钢筋的最小配筋率 ρ_{min} 应按式(6.4.2-1)计算，纵向钢筋的最小面积 A_{stl}(m^2)应按式(6.4.2-2)计算：

$$\rho_{min} = 0.4\sqrt{\frac{T}{V_b}}\frac{f_{ct}}{f_s}\left(当\frac{T}{V_b} > 2.0\text{ 时，取}\frac{T}{V_b} = 2.0\right) \tag{6.4.2-1}$$

$$A_{stl} = \rho_{min} bh \tag{6.4.2-2}$$

式中：f_s——普通钢筋抗拉计算强度(MPa)。

公式(6.4.2-1)和公式(6.4.2-2)中的截面宽度 b 和结构高度 h 应按本标准图 6.3.1 的规定取用；

2 受扭纵向钢筋除应在梁截面四角设置外，其余宜沿截面周边均匀对称布置，间距应不大于 200mm 及梁截面短边长度。受扭纵向钢筋的锚固要求应与受拉钢筋相同。

6.4.3 承受弯剪扭构件的箍筋配筋率应不小于 $0.044\frac{f_c}{f_s}$。

6.4.4 U 形梁混凝土宜添加高强、高模量纤维。

重庆工程建设

7 模 板

7.1 一般规定

7.1.1 模板应采用整体式液压钢模板，由底模、侧模、内模、端模组成，其结构应具有足够的强度、刚度和稳定性；应能保证周转期内梁体各部形状及尺寸的准确性。

7.1.2 先张梁模板应设计足够的放张滑移量，后张梁模板应设计压缩量。

7.2 模板制作和拼装

7.2.1 底模板应符合下列规定：

1 底模水平高差应符合下列规定：

1）端截面（支座处）任意两点高差的允许偏差为±2 mm；

2）跨中、1/4跨度横截面内任意两点高差的允许偏差为±5 mm；

3）沿梁长任意两点高差的允许偏差为±4mm。

2 底模侧向弯曲的允许偏差为±8 mm。

3 底模顶面平整度的允许偏差每米应为±2mm。

7.2.2 侧模板应符合下列规定：

1 钢板厚度应不小于8mm；

2 翼缘顶内侧距离的允许偏差应为0 mm～＋10mm；

3 翼缘顶宽的允许偏差应为0 mm～＋5mm；

4 翼缘中心线偏差的允许偏差为±5mm；

5 翼缘顶外边线偏差的允许偏差为±5mm；

6　相邻模板高低差的允许偏差为±2mm；

7　平整度的允许偏差每米应不大于 3mm。

7.2.3　端模应符合下列规定：

1　端模高度的允许偏差范围应为 0 mm～＋10mm；

2　端模板预留孔偏离设计位置的允许偏差为±3mm。

7.2.4　密封装置应密封有效。

7.3　模板拆除

7.3.1　拆模时，梁体混凝土抗压强度应符合设计要求。拆模时，梁体混凝土芯部与表层、表层与环境温差均不宜大于 15℃，且应保证棱角完整。当环境温度低于 0℃，应待表层混凝土冷却至 5℃以下方可拆除模板。

7.3.2　当混凝土采用蒸汽养护时，撤除保温设施至拆模的时间间隔应不少于 2h。大风或气温急剧变化时，不宜拆除模板。

7.3.3　先张梁拆模放张时，梁体强度应符合设计要求，放张卸载时，应进行整体连贯放张，严禁单根放张。

7.3.4　拆除侧模板支撑时，应做好防倾覆措施。

7.4　质量检验及质量标准

Ⅰ　主控项目

7.4.1　模板的材料质量及结构应符合施工设计要求。

检验数量：全数。

检验方法：观察和测量。

7.4.2　模板安装应符合施工设计要求。安装应稳固牢靠，模板接缝严密，不应漏浆。模板与混凝土的接触面应清理干净并涂刷隔离剂。浇筑混凝土前，模板内的积水和杂物应清理干净。

检验数量：全数。

检验方法：观察和测量，检查施工记录。

II　一般项目

7.4.3　模板安装允许偏差和检验方法应符合表 7.4.3 的规定。

表 7.4.3　模板安装尺寸允许偏差

序　号	检 查 项 目	允 许 偏 差
1	模具总长	±10mm
2	模板宽	+5mm，0
3	模板中心线与设计位置偏差	≤2mm
4	腹板内侧（上下口）与梁体中心线偏差	≤10mm
5	模板倾斜度偏差	≤3‰
6	翼缘顶内侧距离	+10mm，0
7	翼缘顶宽	+10mm，0
8	底模不平整度	≤2mm/m
9	腹板厚度	+10mm，0
10	底板厚度	+10mm，0
11	相邻模板拼缝高低差及间隙	≤1mm
12	止水槽直线度偏差	≤5mm
13	预留反拱偏差（后张梁）	≤-2mm，0
14	支座位置偏差	±2mm
15	预埋件位置偏差	±5mm
16	对角线	±5mm

检验数量：全数。

7.4.4　预埋件的安装位置及数量应符合施工设计要求。

检验数量：全数。

检验方法：观察和测量。

重庆工程建设

8 钢 筋

8.1 一般规定

8.1.1 混凝土结构用钢筋的牌号、规格、接头连接方式及部位应符合设计要求和国家、行业现行标准的规定。

8.1.2 采用的 HRB400、HRB500 钢筋不得经过高压穿水处理，其碳当量 C(熔炼分析)应分别不大于 0.5%、0.52%。

8.1.3 钢筋在运输和储存过程中应上盖下垫，防止锈蚀、污染和变形。装卸钢筋时不得从高处抛掷。

8.1.4 钢筋加工应设置专用加工场地。场内钢筋应按牌号、批号、规格、检验状态等分类标志存放，堆码整齐。其他焊接材料应分类存放、妥善管理，并应采取防止锈蚀、受潮变质的措施。

8.1.5 钢筋机械连接施工前，施工单位应对不同钢筋生产厂的进场钢筋进行现场条件下的接头工艺检验。施工过程中如更换钢筋生产厂，应补充进行工艺检验。

8.1.6 预埋件和钢配件(含钢筋机械连接套筒)应符合下列规定：

1 所用钢板、型钢及圆钢的材质和规格应符合设计要求及国家现行有关标准的规定；

2 防腐处理应满足设计要求；

3 运输和储存过程中应分类包装、标志，码放整齐，不得混淆和锈蚀。

8.2 钢筋加工

8.2.1 钢筋加工前应清除表面的油渍、漆污、水泥浆和用锤敲击

能剥落的浮皮、铁锈等，表面有颗粒状、片状老锈或有损伤的钢筋不得使用。加工前的钢筋应平直，无局部折曲，加工后的钢筋表面不应有削弱钢筋截面的伤痕。

8.2.2 成盘或有弯曲的钢筋在使用前应采用调直机械进行调直。调直过程中不应损伤带肋钢筋的横肋。调直后的钢筋应平直，不应有局部弯曲、死弯、小波浪形等现象。

8.2.3 钢筋宜在常温状态下加工，不宜加热。弯制钢筋宜从中部开始，逐步弯向两端，应一次弯成。

8.2.4 钢筋下料前应核对钢筋的牌号、规格、尺寸和数量，计算下料长度，并分别编制钢筋配料单。钢筋下料长度应按钢筋弯曲后的中心线长度计算，并应考虑钢筋弯钩增加长度以及弯曲调整值。

8.2.5 钢筋下料应采用机械切断。

8.2.6 套筒及锁母应选用不低于 45 号的优质碳素结构钢、低合金高强度结构钢以及其他经型式检验确认符合国家、行业现行标准的钢材。制造单位应提供钢材质量保证书。

8.3 钢筋安装

8.3.1 钢筋连接可采用焊接连接、机械连接和绑扎连接。钢筋连接方式、接头位置应符合设计要求。

8.3.2 为保证混凝土保护层厚度，应在钢筋与模板之间采用垫块支垫。垫块应符合相关规定要求。

8.3.3 钢筋骨(网)架宜先行预制，并应有足够的刚度，必要时可补入辅助钢筋或在钢筋的某些交叉点处焊牢，但不得在主筋上起弧。

8.3.4 安装钢筋骨(网)架时，应保证其在模型中的正确位置，不得倾斜、扭曲，也不得改变保护层的规定厚度。

8.4 质量检验及质量标准

Ⅰ 主控项目

8.4.1 钢筋进场后，应对其质量指标进行全面检查，按批检查其直径、每延米重量并抽取试件做力学性能试验，其质量应符合设计要求和国家现行标准的规定。

检验数量：按每批进行检查。

检验方法：检查出厂合格证、试验报告单和复检报告单。

8.4.2 钢筋的弯制和末端的弯钩应符合设计要求。

检验数量：按钢筋编号各抽检10%，且各部少于3件。

检验方法：尺量。

8.4.3 钢筋接头的技术要求和外观质量应符合现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424的规定。钢筋焊接接头和机械连接接头应按批抽取试件做力学性能检验，其质量应符合设计要求和国家现行标准的规定。

检验数量：焊接接头的力学性能检验以同等级、同规格、同接头形式每300个接头为一批，不足300个也按一批计。机械连接的力学性能检验以同一施工条件下同批材料、同等级、同规格、同接头形式的每500个接头为一批，不足500个也按一批计。

检验方法：外观检查及试验报告单。

8.4.4 安装的钢筋品种、等级、规格、数量应符合设计要求。

检验数量：全数。

检验方法：观察、尺量。

8.4.5 钢筋保护层的垫块规格、数量、位置应符合设计要求，并应均匀分布，设置牢固。

检验数量：全数。

检验方法：观察和测量。

重庆工程建设

II 一般项目

8.4.6 钢筋应平直，无损伤，表面无裂纹、油污、颗粒状或片状老锈。

检测数量：全数。

检查方法：观察。

8.4.7 钢筋加工的允许偏差应符合表 8.4.7 的规定。

表 8.4.7 钢筋加工允许偏差

序号	项目	允许偏差(mm)	检验方法
1	受力钢筋顺长度方向全长净尺寸	±10	尺量
2	弯起钢筋的弯折位置	±20	尺量
3	箍筋内净尺寸	±3	尺量

检验数量：抽查 10%，且各不少于 3 件。

8.4.8 钢筋安装应符合现行施工规范要求，钢筋安装允许偏差应符合表 8.4.8 的规定。

表 8.4.8 钢筋安装及保护层厚度允许偏差

序号	检 验 项 目	允许偏差(mm)	检验方法
1	桥道板钢筋绑扎尺寸偏差	10	尺量
2	腹板钢筋绑扎尺寸偏差	10	尺量
3	箍筋间距	±15	尺量
4	定位网片尺寸误差	±2	尺量
5	定位网片不在同一平面误差	≤8	尺量
6	箍筋垂直度	≤15	吊线、尺量
7	钢筋保护层厚度	0～+5	尺量

检验数量：抽检不少于 5 处。

公路工程建设

9 混凝土

9.1 一般规定

9.1.1 混凝土所用原材料应按现行的相关施工质量验收标准进行进场验收，合格后方可使用。

9.1.2 混凝土施工前应选定混凝土配合比。当混凝土施工经历不同季节时，应根据气候条件选定不同的配合比，并应制定相应的施工技术措施。

9.1.3 梁体混凝土结构施工前宜进行混凝土试浇筑，并应对混凝土配合比、施工工艺、施工机具的适应性进行检验。对有代表性的混凝土结构内部混凝土温升过程应进行测定，发现问题应及时调整。

9.2 原材料

1 水泥

9.2.1 水泥宜选用强度等级 52.5 的硅酸盐水泥或普通硅酸盐低碱水泥。不宜使用早强水泥。硅酸盐水泥和普通硅酸盐低碱水泥的性能应符合表 9.2.1 的规定。

表 9.2.1 水泥的性能

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	比表面积	$300m^2/kg$～$350m^2/kg$	按 GB/T8074 检验
2	凝结时间	初凝≥45min，终凝≤600min （硅酸盐水泥≤390min）	按 GB/T1346 检验
3	安定性	沸煮法合格	按 GB/T1346 检验

续表 9.2.1

序号	检验项目	技术要求				检验方法
4	胶砂强度	抗压强度		抗折强度		按 GB/T17671 检验
		3d	28d	3d	28d	
		≥23.0	≥52.5	≥4.0	≥7.0	
5	烧失量	≤5.0%(P·O)，≤3.5%(P·Ⅱ)，≤3.0%(P·Ⅰ)				按 GB/T176 检验
6	游离氧化钙含量	≤1.0%				
7	氧化镁含量	≤5.0%				
8	三氧化硫含量	≤3.5%				
9	氯离子含量	≤0.06%				
10	碱含量	≤0.80%				
11	熟料中的铝酸三钙含量	≤8%				按 GB/T21372 检验

Ⅱ 细骨料

9.2.2 细骨料应选用级配合理、质地坚固、吸水率低、空隙率小的洁净天然河砂，也可选用专门机组生产的机制砂。配制混凝土时宜优先选用中砂(细度模数 3.0～2.3)。技术要求应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的相关规定和现行地方标准《机制砂，混合砂混凝土应用技术规程》DB50/T 5030 的相关规定。

9.2.3 细骨料的颗粒级配应符合表 9.2.3 的规定。

表 9.2.3 细骨料的颗粒级配范围(%)

级配区 / 筛孔尺寸(mm)	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区
10.0	0	0	0
5.00	10～0	10～0	10～0
2.50	35～5	25～0	15～0
1.25	65～35	50～10	25～0

续表 9.2.3

筛孔尺寸(mm) \ 级配区	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区
0.63	85～71	70～41	40～16
0.315	95～80	92～70	85～55
0.160	100～90	100～90	100～90

9.2.4 细骨料的其他性能应满足表 9.2.4 的规定。

表 9.2.4 细骨料的性能

序号	检验项目		技术要求	检验方法
1	含泥量		≤2.0%	按 GB/T14684 检验
2	泥块含量		≤0.5%	
3	云母含量		≤0.5%	
4	轻物质含量		≤0.5%	
5	有机物含量		浅于标准色	
6	压碎指标(机制砂)		≤25%	
7	石粉含量(机制砂)	MB<1.40	≤5.0%	
		MB≥1.40	≤2.0%	
8	吸水率		≤2.0%	
9	坚固性		≤8%	
10	硫化物及硫酸盐含量		≤0.5%	
11	氯化物含量		≤0.02%	

Ⅲ 粗骨料

9.2.5 粗骨料应选用级配合理、粒形良好、质地均匀坚固、线胀系数小的洁净碎石。宜采用公称粒径不大于 20mm 的二级或多级级配混配而成,最大粒径不应大于 25mm,其它技术要求应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的相关规定。

9.2.6 粗骨料的性能应符合表 9.2.6 的规定。

重庆工程建设

表 9.2.6　粗骨料的性能

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	含泥量	≤0.5%	按 GB/T14685 检验
2	针片状颗粒总含量	≤5%	
3	泥块含量	≤0.2%	
4	岩石抗压强度	大于等于 1.5 倍混凝土抗压强度等级	
5	吸水率	≤2.0%	
6	紧密孔隙率	≤40%	
7	坚固性	≤5%	
8	硫化物及硫酸盐含量	≤0.5%	
9	氯化物含量	≤0.02%	按 TB/T3275 检验
10	有机物含量(卵石)	浅于标准色	按 GB/T14685 检验

Ⅳ 矿物掺合料

9.2.7　矿物掺合料应选用品质稳定的产品，宜为Ⅰ级粉煤灰、矿渣粉、硅灰或其中几种复配而成的复合矿物掺合料。矿物掺合料的掺加量不宜超过胶凝材料总量的 30%。矿物掺合料的性能应符合相应的规定。

9.2.8　粉煤灰的性能应符合表 9.2.8 的规定。

表 9.2.8　粉煤灰的性能

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	细度	≤12%	按 GB1596 检验
2	需水量比	≤95%	
3	烧失量	≤5.0%	按 GB/T176 检验
4	含水量	≤1.0%	按 GB1596 检验
5	Cl－含量	≤0.02%	按 GB/T176 检验
6	SO3 含量	≤3.0%	
7	CaO3 含量	≤10%	
8	游离 CaO3 含量	≤1.0%	

9.2.9 矿渣粉的性能应符合表 9.2.9 的规定。

表 9.2.9 矿渣粉的性能

序号	检验项目		技术要求	检验方法
1	密度		≥2.8g/cm³	按 GB/T208 检验
2	比表面积		≥400m²/kg	按 GB/T8074 检验
3	烧失量		≤1.0%	按 GB/T18046 检验
4	流动度比		≥95%	
5	SO3 含量		≤4.0%	按 GB/T176 检验
6	Cl－含量		≤0.02%	
7	MgO 含量		≤14.0%	
8	含水量		≤1.0%	按 GB/T18046 检验
9	活性指数	7d	≥75%	
		28d	≥95%	

9.2.10 硅灰的性能应符合表 9.2.10 的规定。

表 9.2.10 硅灰的性能

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	烧失量	≤4.0%	按 GB/T176 检验
2	氯离子含量	≤0.02%	
3	二氧化硅含量	≥85%	
4	碱含量	≤1.5%	
5	比表面积	≥18000m²/kg	按 GB/T18736 检验
6	需水量比	≤125%	
7	含水量	≤3.0%	按 GB/T1596 检验
8	碱含量	≤1.5%	
9	28d 活性指数	≥85%	按 GB/T18736 检验

Ⅴ 外加剂

9.2.11 外加剂宜选用高效减水剂或高性能减水剂。外加剂与水泥及矿物掺合料之间应具有良好的相容性，其技术指标应符合

重庆工程建设

现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的规定。外加剂的性能应符合表 9.2.11 的规定。

表 9.2.11　外加剂的性能

序号	检验项目		技术要求	检验方法
1	水泥净浆流动度		≥240mm	按 GB/T8077 检验
2	硫酸钠含量(按折固含量计)		≤10.0%	
3	氯离子含量(按折固含量计)		≤0.6%	
4	碱含量(按折固含量计)		≤10.0%	
5	减水率		≥20%	按 GB8076 检验
6	含气量		≤3.0%	按 GB8076 检验
7	坍落度保留值	30min	≥180mm	按 JC473 检验
		60min	≥150mm	
8	常压泌水率比		≤20%	按 GB8076 检验
9	压力泌水率比(用于配制泵送混凝土)		≤90%	按 JC473 检验
10	抗压强度比	1d	≥140%	按 GB8076 检验
		3d	≥130%	
		7d	≥125%	
		28d	≥120%	
11	对钢筋锈蚀作用		无锈蚀	按 GB8076 检验
12	收缩率比		≤125%	按 GB8076 检验

Ⅵ 拌和及养护用水

9.2.12　除不溶物、可溶物可不作要求外，养护用水其他性能应符合表 9.2.12 的规定。

表 9.2.12　拌合及养护用水

序号	检验项目	技术要求	检验方法
1	pH 值	>6.5	按 JGJ63 检验
2	不溶物含量(mg/L)	<2000	
3	可溶物含量(mg/L)	<2000	
4	氯化物含量(mg/L)	<350	
5	硫酸盐含量(mg/L)	<600	

重庆工程建设

续表 9.2.12

序号	检验项目	技术要求	检验方法
6	碱含量(mg/L)	<1500	按 GB/T176 检验
7	28d 抗压强度比(%)	≥90	按 JGJ63 检验
8	凝结时间差(min)	≤30	

9.2.13 回收重复利用水的 pH 值、氯化物含量、硫酸盐含量和碱含量应符合表 9.2.12 的规定。

9.3 混凝土配合比

9.3.1 混凝土的配合比应根据设计使用年限、环境条件和施工工艺等,通过试配、调整、试件检测和试浇筑等步骤选定。混凝土的耐久性指标和长期性能要求应满足现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定。

9.3.2 混凝土中应适量掺加粉煤灰、矿渣粉或硅灰等矿物掺合料。

9.3.3 混凝土的胶凝材料最大用量不宜超过 500kg/m^3,水胶比不宜大于 0.35。矿物掺合料掺加量不宜超过胶凝材料总量的 30%。

9.3.4 混凝土拌合物中各种原材料引入的氯离子含量不得超过胶凝材料总量的 0.06%。碱的总含量不应大于 3.0kg/m^3。

9.3.5 混凝土所用原材料发生变化时,必须重新选定配合比。

9.4 混凝土浇筑

9.4.1 搅拌混凝土前,应测定粗、细骨料的含水率,及时调整施工配合比。每工班至少抽测一次,雨天应增加抽测次数。

9.4.2 混凝土拌和物配料应采用自动计量装置,所使用的称料衡器应定期检验校证。拌合时,水泥、水、掺合料、外加剂计量误

差为±1%，砂、石计量误差为2%(均按质量计)。粗、细骨料中的含水量应及时测定，并按实际测定值调整用水量、粗、细骨料用量；拌和物出机后禁止加水。

9.4.3 浇筑混凝土前，应仔细复核模板的安装尺寸并检查预埋件的种类、规格、数量、位置符合设计要求。

9.4.4 每盘混凝土料拌合时间不得小于120s。

9.4.5 混凝土灌筑时，模板温度宜在5℃～35℃，混凝土拌和物入模温度宜在5℃～30℃。

9.4.6 梁体宜采用泵送混凝土连续灌筑，灌筑时间不宜超过5h且不得超过混凝土的初凝时间。

9.4.7 梁体混凝土应具有良好的密实性。灌筑时，宜采用附着式振捣器及插入式振捣棒联合振动工艺，并应防止过振、漏振。

9.4.8 当昼夜平均气温低于5℃或最低气温低于-3℃时，应采取保温措施，并按冬季施工处理。

9.4.9 在灌筑混凝土过程中，应随机取样制作标准养护和施工用混凝土强度、弹性模量试件，施工试件应随梁体或在同样条件下振动成型、养护，28d标准试件按标准养护办理。每片U形梁制作不少于6组抗压试件和1组弹性模量试件，其中：28天混凝土强度评定三组抗压试件；脱模、一批张拉、二批张拉各一组抗压试件；二批张拉一组弹模试件。

9.5 混凝土养护

9.5.1 梁体混凝土养护可采用蒸汽养护或自然养护，并应符合下列规定：

1 采用蒸气养护时，分为静停、升温、恒温、降温四个阶段。静停期间应保持棚温不低于5℃，灌筑完4h后方可升温，升温速度不得大于10℃/h，恒温养护期间蒸汽温度不宜超过45℃，混凝土芯部温度不宜超过60℃，不得超过65℃；降温速度不得大于

10℃/h。恒温养护时间应根据梁体拆模强度要求、混凝土配合比及环境等通过试验确定；

2 自然养护时，应在混凝土浇筑完毕后 1h 内对混凝土进行保温保湿养护。

9.5.2 梁体养护期间及撤除保温设施时，应采取措施保证梁体混凝土芯部与表层、表层与环境温差不应超过 15℃。

9.5.3 梁体自然养护时，洒水养护时间不少于 7d。

9.5.4 当环境温度低于 5℃时，禁止对混凝土表面进行洒水养护，但应采取保温、保湿养护措施。

9.6 质量检验及质量标准

Ⅰ 主控项目

9.6.1 混凝土所用原材料、配合比设计、拌和质量及施工验收应符合设计要求和现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定。

检验数量：全数。

检验方法：检查出厂合格证、试验报告和施工记录。

9.6.2 混凝土强度的评定应符合现行国家标准《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的相关规定。

检验数量：全数。

检验方法：检查试验报告和施工记录。

9.6.3 U 形梁静载试验应符合现行行业标准《预应力混凝土铁路简支梁静载弯曲试验方法及评定标准》TB/T 2092 的相关规定。

检验数量：按规定数量抽检。

检验方法：施工单位检验；监理单位见证检验。

9.6.4 梁体表面的非受力裂缝宽度不应大于 0.2mm，预应力区域混凝土表面不应出现裂缝。

检验数量：全数。

检验方法：观察和测量。

II　一般项目

9.6.5　U形梁的梁体外形尺寸允许偏差和检验方法应符合表9.6.5的规定。

表9.6.5　U形梁梁体外形尺寸允许偏差和检验方法

序号	检查项目			技术要求	检验方法
1	产品外形尺寸	桥梁全长		10mm	检查桥面及桥道板两侧
		桥梁跨度		10mm	
		腹板厚度		+10mm、-5mm	检查1/4L、跨中、3/4L和梁两端
		桥道板宽度		5mm	检查1/4L、跨中、3/4L和梁两端
		桥面外侧偏离设计位置		10mm	从支座螺栓中心放线，引向桥面
		梁高		5mm	检查两端
		梁体上拱度		L/3000	终张拉、放张后30d时
		桥道板厚		+10mm、0	检查最大误差处
		表面倾斜偏差		3mm/m	检查两端，抽查腹板
		钢筋保护层厚度		在90%保证率下不小于设计值(每孔梁抽样总数不少于300点，并按不同部位分别统计后合计)	梁跨中、梁两端的底板顶底面、两腹板内外侧面、梁两端面各40点
		桥道板顶面不平整度		10mm/m	检查1/4L、跨中、3/4L和梁两端
		支座板	每块边缘高差	1mm	用水平尺靠量
			支座在中心线偏离设计位置	3mm	
			螺栓孔	垂直梁底板	
		螺栓中心偏差		2mm	指每块板上四个螺栓中心距
		外露底面		平整无损、无飞边，做防锈处理	

编辑工程建设

续表 9.6.5

序号	检查项目	技术要求	检验方法
2	桥面附属结构预留钢筋	齐全设置,位置正确	按 JGJ225 检验
	接触网支架座钢筋	齐全设置,位置正确	
	泄水管、管盖	齐全完整,安装牢固,位置正确	
	梁牌	标志正确,安装牢固	

检验数量:全数。

9.6.6 梁体预埋件应埋置种类数量齐全、位置准确、管道通畅,其预埋位置应符合设计要求。

检验数量:全数。

检验方法:观察和测量。

9.6.7 梁体及封锚(端)混凝土外观质量应平整密实、滴水槽顺直、颜色均匀、整洁、无露筋、空洞、石子堆垒、桥面流水畅通。

检验数量:全数。

检验方法:目测。

重庆工程建设

10　预应力

10.1　一般规定

10.1.1　预应力张拉设备和管道压浆设备应定期维护，测力传感器、仪表和量具应按规定使用周期检定。张拉设备应配套标定、配套使用。采用自动张拉设备的应通过对比试验保证张拉可靠性。当使用过程中出现异常或设备维修后，应重新标定。

10.1.2　后张法预应力U形梁、折线配筋先张法预应力U形梁预应力张拉前，应按设计要求或相关标准规定对孔道摩阻损失、锚垫板摩阻损失和锚口摩阻损失进行实际测定。设计单位根据实际测试结果对张拉控制力进行调整或确认。

10.2　预应力筋、锚具、夹具和连接器

10.2.1　预应力钢绞线质量、性能指标、验收规则应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224的有关规定。锚具、夹具和连接器应根据预应力筋品种、锚固要求和张拉工艺等配套选用，其性能应符合国家现行标准的有关规定和现行地方标准《重庆市市政基础设施工程预应力施工质量验收规范》DBJ50/T-134的相关规定。

10.2.2　预应力筋进场时，应进行分批验收，每批重量不得大于60t。

10.2.3　锚具、夹具和连接器应通过静载试验进行分批验收，锚具应以不超过1000套为一个验收批；连接器、夹具应以不超过500套为一个验收批。每批锚具、夹具和连接器应由同一批次组成。

10.2.4 锚具、夹具和连接器的性能应符合下列规定：

1 锚具的静载锚固下列应满足 $\eta_a \geqslant 0.95$、$\varepsilon_{apu} \geqslant 2.0\%$；

2 内缩量不得大于 6mm；

3 锚具的锚口摩擦损失率不得大于 6%；

4 锚具应满足分级张拉、补张拉及放松钢绞线的要求；

5 夹具应具有良好的自锚、退锚和安全的重复使用性能。

10.2.5 预应力结构在钢筋绑扎安装过程中，螺旋筋应与锚垫板同心，并应保证钢筋网之间的架立筋数量、预应力束锚固和局部加强腹板箍筋及纵向钢筋的位置符合设计要求。

10.3 预应力管道制作与安装

10.3.1 后张法 U 形梁的管道成孔方式应符合设计要求。成孔方式可采用塑料波纹管或金属波纹管。塑料波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土桥梁用塑料波纹管》JT/T 529 的有关规定，金属波纹管应符合现行行业标准《预应力混凝土用金属波纹管》JG 225 的有关规定。

10.3.2 预应力管道材料及其性能应符合下列规定：

1 管道应具有足够的强度和刚度，以使其在安装和浇筑混凝土的重力、浮力荷载以及振捣器激振力作用下能保持原有的形状；

2 管道和接头应有足够的密封性，防止浆体渗漏及抽真空时漏气；

3 管道成型用圆形管道的内径应比预应力筋或连接器的轮廓直径大于 6mm，其内截面积不应小于预应力筋截面积的2.5倍。

10.3.3 预应力管道安装应符合下列规定：

1 预埋管道的尺寸与位置应准确，管道应平顺并与定位钢筋绑扎牢固，端部的预埋锚垫板应垂直于管道中心线，且在混凝土浇筑时管道不产生位移；

2　当预埋管道与普通钢筋位置冲突时，应移动钢筋位置，不得改变管道的设计位置；

3　凡施工时需要预先起拱的构件，预埋管道应随构件同时起拱。

10.4　预应力筋制作与安装

10.4.1　预应力筋下料长度应经计算确定，其同束内长度相对差值不应大于计算下料长度的1/5000，且其极差不得大于5mm。

10.4.2　预应力筋的切割应采用砂轮锯切断，不得采用电弧或气焊切断。

10.4.3　预应力钢绞线编束时，梁体同一张拉截面上的钢绞线束应由同一厂家、同一品种、同一规格、同一批号的钢绞线组成。制束及移运时防止变形、碰伤和污染。

10.5　预应力张拉

10.5.1　预应力张拉设备及油压表的选用应符合相关规定，先张法预应力混凝土U形梁宜采用单束初调、整拉整放和补张拉工艺，其加荷速度、张拉力、张拉伸长量等数据具备自动记录保存能力；单束初调工序宜采用穿心式千斤顶，整体张拉和整体放张宜采用自锁式千斤顶。张拉过程测控应符合现行地方标准《重庆市市政基础设施工程预应力施工质量验收规范》DBJ50/T-134的相关规定。

10.5.2　张拉千斤顶的摩阻系数不应大于1.05，油压表应选用防震型，其精度不得低于0.4级。

10.5.3　预应力筋张拉前，应计算所需初拉力、张拉控制力，相应的压力表读数、张拉伸长值，并明确张拉顺序和程序。预应力筋的初拉力、张拉控制力应符合设计要求。

10.5.4 预施应力值以压力表读数为主，以预应力筋伸长值作校核，并应符合下列规定：

1 实侧伸长值与理论伸长值的偏差不应超过±6%，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉；

2 理论伸长值的计算应采用实测预应力筋弹性模量、孔道摩阻系数。

10.5.5 先张法预应力U形梁的张拉应符合下列规定：

1 张拉前应对台座、横梁及张拉设备进行详细检查，符合安全和工艺要求后方可进行操作；

2 预应力筋的张拉分为初张拉和整体张拉两个阶段，单根初张拉应力设计有要求时应按照设计值张拉，没有要求时初张拉取值应为控制应力的20%。张拉顺序为：0→初应力→1.0σ_{con}（持荷3min）；

3 预应力筋张拉工艺应符合设计要求，设计无要求时宜采用单束初调、整体张拉工艺。单根张拉控制应力误差不得大于1%；

4 配有折线预应力筋时宜先单束初调直线预应力筋，再单束初调、整体张拉折线预应力筋，最后整体张拉直线预应力筋；

5 用整体张拉工艺张拉过程中，应使活动端横梁与固定端横梁始终保持平行；

6 在浇筑混凝土前，应检查应力失效管套位置及预应力筋的情况，发生断丝或滑脱的预应力筋必须予以更换；

7 预应力筋张拉完毕后的位置与设计值偏差不得大于5mm，同时不得大于构件最短边长的4%；

8 预应力筋张拉完毕后，宜在4h内浇筑混凝土，浇筑混凝土与张拉预应力筋时的环境温差不宜超过20℃。

10.5.6 先张法预应力U形梁的放张应符合下列规定：

1 预应力筋放张时混凝土强度、弹性模量和龄期应符合设计要求。放张之前应将限制梁体位移的模板拆除；

2　预应力筋的放张顺序应符合设计要求。设计无要求时，应分阶段、对称、相互交错地放张；

3　放张应采用楔块或千斤顶整体放张，并符合设计要求；

4　预应力筋的放张速度不宜过快；

5　放张后预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，逐次切向另一端。

10.5.7　后张法预应力U形梁的张拉应符合下列规定：

1　预施应力之前，应对梁体的外观和尺寸以及锚垫板后的混凝土密实性进行检查，并将孔道中的灰浆清理干净；

2　各阶段预施应力时的混凝土强度、弹性模量和龄期应符合设计要求；

3　预应力筋的张拉顺序应符合设计要求；

4　预施应力时，锚垫板、锚具和千斤顶应位于同一轴线上。采用两端张拉时，预施应力过程中应保持两端同步，并且两端的伸长量基本一致；

5　预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固，锚固完结并经检验合格后即可切割端头多余的预应力筋，切割端头多余的预应力筋应符合相关规定，切割后的外露长度不宜小于其直径的1.5倍，且不宜小于30mm；

6　预应力筋断丝或滑脱数量不得超过预应力筋总数的5‰，并不得位于结构的同一侧，且每束内断丝不得超过一丝。

10.6　预应力管道压浆与封锚(端)

10.6.1　压浆原材料应符合下列规定：

1　水泥应采用性能稳定、强度等级不低于42.5级的低碱硅酸盐或低碱普通硅酸盐水泥(掺合料仅为粉煤灰或矿渣)，水泥熟料中C_3A含量不应大于8%，其余性能应符合本标准第9章的有关规定；

2 矿物掺合料的品种宜为Ⅰ级粉煤灰、矿渣粉或硅灰。矿物掺合料的性能应符合本标准第9章的有关规定；

3 梁体管道压浆应采用高性能减水剂，其性能与所用水泥之间应具有良好的适应性。高性能减水剂和其他外加剂的性能指标应符合本规程第9章的有关规定；

4 压浆材料不应使用总碱含量超过0.75%的膨胀剂，严禁掺入含氯盐类、亚硝酸盐类或其他对预应力筋有腐蚀作用的外加剂；

5 采用压浆剂或压浆料时，材料的性能指标应符合现行行业标准《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192的规定。

10.6.2 管道压浆浆体的强度、流动度、凝结时间、泌水率、膨胀率、含气量、氯离子含量等性能应符合设计要求。当设计无要求时，应符合表10.6.2的规定。

表10.6.2 浆体性能指标

序号	检验项目		性能指标
1	凝结时间(h)	初凝	≥4
2		终凝	≤24
3	流动度(s)	出机流动度	18±4
4		30min流动度	≤28
5	泌水率(%)	24h自由泌水率	0
6		3h毛细泌水率	≤0.1
7	压力泌水率(%)	0.22MPa(当孔道垂直高度≤1.8m时)	≤3.5
8		0.36 MPa.(当孔道垂直高度>1.8m时)	
9	充盈度	合格	
10	7 d强度(MPa)	抗折	≥6.5
11		抗压	≥35

重庆工程建设

续表 10.6.2

序号	检验项目		性能指标
12	28 d 强度（MPa）	抗折	≥10
13		抗压	≥50
14	24h 自由膨胀率（%）		0～3
15	对钢筋的锈蚀作用		无锈蚀
16	含气量（%）		1～3
17	氯离子含量（%）		0.06

10.6.3 搅拌工艺应符合相关规定，应采用真空辅助压浆工艺。压浆前应首先进行抽真空，使管道内的真空度稳定在-0.06MPa～-0.08MPa 之间。真空度稳定后，应立即开启管道压浆端阀门，同时开启压浆泵进行连续压浆。

10.6.4 张拉完成后，应在 48h 内进行管道压浆。移动梁体时压浆强度必须符合设计要求，设计无要求时压浆强度应不小于设计强度的 80%。

10.6.5 孔道压浆完毕，经检查无不饱和情况，浆体已凝固后，应及时进行封锚（端）作业。先张 U 形梁在切除端部预应力筋且外露面涂刷防水涂料后即可进行封端。

10.6.6 封锚（端）混凝土灌筑前，应清除锚垫板表面粘浆和锚具表面灰浆，封锚（端）处的混凝土应进行凿毛处理并安装钢筋网片。

10.6.7 封锚（端）所用材料和质量应符合设计要求。设计无要求时，宜采用水胶比较梁本体混凝土小的干硬性混凝土或补偿收缩混凝土，减少粗骨料大颗粒的比例，其强度、耐久性应不低于梁本体混凝土。

10.6.8 封锚（端）混凝土应进行保湿保温养护，养护结束后，应按设计要求进行防水处理。

10.7 质量检验及质量标准

Ⅰ 主控项目

10.7.1 预应力张拉所用材料的品种、规格、数量必须符合设计要求，其质量应符合现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定。

检验数量：全数。

检验方法：检查验收记录。

10.7.2 预应力筋制作和安装、张拉或放张、压浆、封锚（端）的检验应符合现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定要求。

10.7.3 先张 U 形梁梁预应力筋的安装顺序、隔离套筒的品种、规格和位置应符合设计要求。

检验数量：全数。

检验方法：观察和尺量。

10.7.4 预应力筋张拉工艺应符合设计要求。先张 U 形梁预应力筋张拉宜采用单束初调、整体初张、单束终张。张拉时宜先进行直线预应力筋初调，再初调和张拉折线预应力筋，最后张拉直线预应力筋。

检验数量：全数。

检验方法：观察和尺量。

10.7.5 预应力筋的张拉或放张应在梁体混凝土强度、弹性模量及龄期均符合设计要求时进行。放张工艺应采用整体放张，并应符合设计要求。

检验数量：全数。

检验方法：检查相关记录。

重庆工程建设

10.7.6　预应力筋表面质量、孔道位置和张拉端内缩量允许偏差的检验应符合现行行业标准《铁路混凝土工程施工质量验收标准》TB 10424 的相关规定。

检验数量：全数。

检验方法：观察和尺量。

10.7.7　先张 U 形梁预应力筋位置允许偏差：跨中 5m 范围内应不大于 1mm，梁端部位应不大于 2mm。

检查数量：检查预应力筋总数的 3%且不得少于 5 处。

检验方法：尺量检查两端、跨中、1/4 跨、3/4 跨各一处。

10.7.8　先张 U 形梁预应力筋隔离管道下料长度允许偏差不应大于 20mm。

检查数量：检查预应力筋总数的 10%且不得少于 5 处；

检验方法：尺量。

重庆工程建设

11　存梁、运输及安装

11.1　一般规定

11.1.1　存梁、起吊和运输时，均不得对U形梁产生任何形式的损伤及变形。

11.1.2　存梁、起吊和运输时，应保证U形梁每支点实际反力与四个支点的反力平均值平均值相差不超过±10%或四个支点不平整量不大于2mm。

11.2　存　梁

11.2.1　存放时的最大悬臂长度应满足设计要求。

11.2.2　未经设计允许，不得进行重叠存放。

11.2.3　存梁台座应坚固稳定，并应附设排水设施。

11.3　运　输

11.3.1　U形梁验收合格并办理交接手续后方能运输。

11.3.2　吊、移梁时应设置专用吊具及平衡系统，与梁体接触位置应设置护铁，保护梁体不受损伤。

11.3.3　预制梁吊运或运输时，严禁在梁上堆放各种重物。

11.3.4　起吊或运输前后张梁预应力管道压浆强度应符合设计要求，如无要求时不低于40MPa。

11.3.5　运输平板拖车应具有足够的刚度和不平顺道路的自补偿支承系统。梁的支点应设活动转盘上。

11.3.6　U形梁在起吊和运输阶段均应采用联动液压装置或三

点平面支撑方式，保证各支点受力均匀。

11.4 架桥机安装

11.4.1 支座安装应符合下列规定：

1 支座进入工地后，施工单位应根据现行《城市轨道交通桥梁球型钢支座》CJ/T 482 对支座的外观尺寸和组装质量进行检查，符合设计要求才能进行安装；

2 支座安装前，应检查桥梁跨距、支座位置及预留锚栓孔位置、尺寸和支座垫石顶面高程、平整度，并均应符合设计要求；

3 支座安装检验标准应符合表 11.6.1 的规定。

11.4.2 架梁应符合下列规定：

1 架桥机设备的性能应满足技术要求，并有专职的人员操作；

2 各类架桥机应经过检查、验收和试吊签证；

3 选择适用的 U 形梁桥上运输方案。U 形梁自重大，且截面为薄壁结构，根据荷载计算情况选择合理的架桥机支承方式及位置；

4 架桥机组装完成后达到架梁状态，用梁上运梁车将梁运至架桥机尾部，依次架设，架设至线路尾部；

5 架梁前对盖梁预留孔洞的位置、尺寸等进行复核，存在偏差及时处理；

6 预制梁架设时，首先应按设计位置准确落在两端的临时支点，同时应保证每支点反力与四个支点反力的平均值相差不超过±5%；支承垫石顶面与支座底面间隙应控制在 20mm～30mm，锚栓孔及支承垫石顶面与支座底面间隙应采用支座灌浆料填实；

7 支座灌浆料的 28d 抗压强度不应小于 50MPa，弹性模量不应小于 30GPa；24h 抗折强度不应小于 10MPa。有架桥机通过

要求，支座灌浆料可采用早强快硬材料；

8 在没有可靠保温措施、支座灌浆料低温性能未进行试验验证时，严禁在负温条件下进行注浆施工；

9 预制梁架设后，梁体位置偏差应符合表 11.4.2 的要求。

表 11.4.2 预制梁安装允许偏差

序号	项目		要求
1	平面位置	顺桥方向与设计桥梁轴线位置偏差	≤10mm
		横桥方向与设计位置偏差	≤5mm
2	相邻预制梁支点处高差		≤10mm
3	相邻预制梁接缝宽度与设计值偏差		≤20mm
4	支点处桥面标高误差		+0～-20mm
5	支座板	水平位置与设计位置偏差(4 个角点)	≤5mm
		4 个角点的高差	≤1mm

11.5 吊车安装

11.5.1 架梁应符合下列规定：

1 采用汽车式起重机或履带式起重机安装 U 形梁时：

1）所有运载工具、走行道路、提升吊架、支承托架等均必须经过重载试验，并有签证记录。所有吊具、扁担梁均应经过检查及重载试验；

2）起重机工作有效半径和有效高度范围内不得有障碍物；

3）起重机严禁做斜拉或卷扬机用；

4）两台起重机抬吊同一构件时，应保证操作尽量协调一致；

5）在架空输电线路附近工作时，应遵守安全用电规定，如遇特殊情况应在供电部门监护下采取适当有效的绝缘措施。

2 采用龙门吊架梁时：

1）龙门吊走形轨道应按设计和规范要求对地基进行处理和加固；

2）龙门吊组装时，在支腿两侧应及时设置缆风绳；

3）龙门吊架梁时，两台龙门吊的动作应同步；

4）龙门吊在工作组装后应进行静、动载试验和试运转，确认符合要求后，方可进行架梁；

5）龙门吊应按国家标准规定安装限制器、提升限位器、缓冲器、制动器、止轮器等安全装置。

11.6 质量检验及质量标准

Ⅰ 主控项目

11.6.1 支座安装前，应检查桥梁跨距、支座位置及预留锚栓孔位置、尺寸和支座垫石顶面高程、平整度，并均应符合设计要求。

11.6.2 支座品种、规格、性能、结构及涂装质量必须符合设计要求和行业现行标准《城市轨道交通桥梁球型钢支座》CJ/T 482 的规定。

检验数量：全数。

检查方法：观察和检查产品出厂合格证。

11.6.3 固定支座及活动支座安装位置必须符合设计要求。

检验数量：全数。

检查方法：观察。

11.6.4 支座上下座板必须水平安装，固定支座上下座板应互相对正，活动支座上下座板横向应对正。

检验数量：全数。

检查方法：观察和尺量。

11.6.5 支座与梁底及垫石之间必须密贴无空隙，垫层材料质量

及强度应符合设计要求。支座配件必须齐全，水平各层部件间应密贴无空隙。

检验数量：全数。

检查方法：观察。

11.6.6 支座锚栓质量及埋置深度和螺栓外露长度必须符合设计要求，支座锚栓固结应在支座及锚栓位置调整准确后进行施工，预留锚栓孔必须填满捣实，填料种类和质量必须符合设计要求。

检验数量：全数。

检查方法：观察和尺量。

11.6.7 梁存放和运输支点位置必须符合设计要求，而且支点应位于同一平面上，U 形梁同一端支点相对高差不得大于 2mm。架设时吊点位置必须符合设计要求。

检验数量：全数。

检查方法：观察和尺量。

11.6.8 梁片架设落梁应采用支点反力控制，支承垫石顶面与支座地面间隙压浆硬化前，每个支点反力与四个支点反力的平均值之差不得超过±5%。

检验数量：全数。

检查方法：观察和尺量。

11.6.9 梁体就位后，两片梁端部应平齐，端部错位不应大于 10mm，相对高差不应大于 25mm。

检验数量：全数。

检查方法：观察和尺量。

11.6.10 预制 U 梁支承垫石顶面与支座底面间的压浆厚度不应小于 20mm，也不得大于 30mm。

检验数量：全数。

检查方法：测量检查。

11.6.11 梁体稳固，梁缝均匀，梁体无损伤。

重庆工程建设

检验数量：全数。

检查方法：观察。

II　一般项目

11.6.12　架梁支座安装应符合下列规定：

表 11.6.12　支座安装检验标准

序号	项目		允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
				范围	点数	
1	支座下座板中心与墩台纵向错动量	墩台高度＜30m	20	每个支座	2	经纬仪测量
		墩台高度≥30m	15			
2	支座下座板中心与墩台横向错动量	墩台高度＜30m	15		2	
		墩台高度≥30m	10			
3	同端支座中心横向距离	偏差与桥梁设计中心对称时	＋30，－10		1	用钢尺量
		偏差与桥梁设计中心不对称时	＋15，－10			
4	盆式橡胶支座	支座板四角高差	1		2	用铁水平检测对角线
		上下座板中心十字线扭转	1		1	用钢尺量
		同一梁端两支座相对高差	2		1	水准仪
		四个支座中，一个支座不平整限值	3		1	用钢尺量
		固定支座上下座板及中线的纵、横错动量（按设计气温定位后）	1		1	
		活动支座中线的纵横错动量（按设计气温定位后）	3		1	

重庆工程建设

12　工程验收

12.1　一般规定

12.1.1　U形梁结构按下列规定进行施工质量控制：

1　对主要材料、配件和设备，施工单位应对其外观、规格、型号和质量证明文件等进行验收，并经监理工程师检查认可。凡涉及结构安全和使用功能的，施工单位应进行检验，监理单位应按规定进行平行检验或见证取样检测；

2　各工序应按施工技术标准进行质量控制，每道工序完成后，施工单位应进行检查，并形成记录；

3　工序之间应进行交接检验，上道工序应满足下道工序的施工条件和技术要求，工序之间的交接检验应经监理工程师检查认可，未经检查或经检查不合格的，不得进行下道工序施工。

12.1.2　参与施工质量验收的各方人员应具备相应的资格，承担见证取样检测及有关结构安全检测的单位应具有相应的资质。

12.2　验收单元的划分

12.2.1　U形梁预制划分为模板、钢筋、混凝土、预应力等分项工程；U形梁架设工程划分为支座和架梁分项工程。

12.2.2　分项工程由若干个检验批组成，每榀梁为一个检验批。

12.3　验收内容和要求

12.3.1　检验批合格质量应符合下列规定：

1　主控项目的质量经抽样检验全部合格；

2　一般项目的质量经抽样检验全部合格。其中，有允许偏差的抽查点除有专门要求外，其合格点率应达到80%及以上，且不应有严重缺陷；

3　具有完整的施工操作依据、质量检查记录；

4　外观质量验收应符合要求。

12.3.2　分项工程质量验收合格应符合下列规定：

1　所含的检验批均验收合格；

2　所含的检验批的质量验收记录应完整。

12.3.3　当检验批质量不符合要求时，应按以下规定进行处理：

1　经整改或返工重做的检验批，应重新进行验收；

2　当对试块试件的试验结果有怀疑时，或因试块试件丢失损坏、试验资料丢失等无法判断实体质量时，应由有资质的法定检测单位对实体质量进行检测鉴定，凡达到设计及相关规范要求的检验批可予以验收。

12.3.4　U形梁出厂应具有出厂合格证或技术证明书，产品质量应符合有关技术条件的规定。

12.4　验收程序和组织

12.4.1　施工单位应组织有关人员对U形梁施工质量进行自检。总监理工程师应组织各专业监理工程师对产品质量进行验收，发现存在施工质量问题时，应由施工单位整改。整改完毕后，方可进行质量验收。

12.4.2　检验批应由专业监理工程师组织施工单位专职质量检查员、专业工长等进行验收。监理单位应对全部主控项目进行检查，对一般项目的检查内容和数量可根据实际情况确定。

12.4.3　分项工程应由专业监理工程师组织施工单位项目分项工程技术负责人、质量负责人等进行验收。

重庆工程建设

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本标准中指明应按其他有关标准、标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

重庆工程建设

引用标准名录

1 《钢筋混凝土用钢第1部分:热轧光圆钢筋》GB 1499.1

2 《钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋》GB 1499.2

3 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224

4 《混凝土结构设计规范》GB 50010

5 《混凝土外加剂》GB 8076

6 《地铁设计规范》GB 50157

7 《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234

8 《钢结构设计标准》GB 50017

9 《碳素结构钢》GB/T 700

10 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

11 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596

12 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370

13 《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107

14 《铁路桥涵设计规范》TB 10002

15 《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005

16 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092

17 《铁路混凝土桥面防水层技术条件》TB/T 2965

18 《铁路工程预应力筋用夹片式锚具、夹具和连接器技术条件》TB/T 3193

19 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362

20 《纤维混凝土应用技术规程要求》JGJ/T 221

21 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

22 《混凝土用水标准》JGJ 63

23 《城市轨道交通桥梁球型钢支座》CJ/T 482

24 《钢铁制件锌镍渗层》DB50/T 474

25 《重庆市市政基础设施工程预应力施工质量验收规范》DBJ50/T-134

26 《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》Q/CR 409

重庆工程建设

重庆工程建设

重庆市工程建设标准

轨道交通 U 形梁结构技术标准

DBJ50/T-331-2019

条文说明

重庆工程建设

2019 重 庆

重庆工程建设

制定说明

本标准是为了加强重庆市轨道交通 U 形梁工程设计施工质量管理，统一施工质量验收，确保工程质量，根据重庆市城乡建设委员会《关于下达 2011 年工程建设标准制订、修订项目计划的通知》(渝建[2011]460 号)的要求，由重庆市轨道交通(集团)有限公司为主编单位，并会同参编单位有北京城建设计发展集团股份有限公司、重庆单轨交通工程有限责任公司、中铁二院(成都)咨询监理有限责任公司，于 2010 年 06 月开始重庆市工程建设标准《重庆市轨道交通 U 形梁结构技术标准》的编写工作。

U 形梁建筑高度低，为常规简支箱梁的三分之一左右，其腹板结构本身可有效阻隔轮轨噪声，代替桥上栏板和部分声屏障，可防止车辆脱轨后倾覆更安全，桥梁总体建筑效果更为纤细，适合于运营安全和景观效果要求高的城市轨道交通高架线桥梁结构，有广泛应用前景。目前城市轨道交通 U 形梁设计和施工，没有专门的规范可依从，只能参照铁路桥涵及公路桥涵体系的规范开展设计和施工工作，难以适应重庆轨道交通 U 形梁设计和施工过程中不断碰到的新问题。

鉴于以上因素，为确保设计和施工科学合理，适应重庆市轨道交通全面建设和发展的形势要求，尽快针对重庆市 U 形梁设计和施工工作制定相应的标准，除作为设计和施工依据以合理确定各种技术控制指标、规范设计和施工外，还将填补重庆地方标准在这一领域的空白，并为重庆市轨道交通建设带来技术与质量水平的提高和显著的经济效益。

本标准主要起草人：林　莉　张宏杰　陈　松　朱君卿
陈智文　王承勋　陈德超　王　响
付铁军　陈礼祥　艾小军　吴建忠

重庆工程建设

李　斌　张宇川　项丽琳　余秋阳
黄建靖

本标准在编制过程中，得到重庆市住房和城乡建设委员会等众多单位和专家的支持，并为本标准的编制原则、指导思想、具体条文等提出较多宝贵意见。

另外，为便于广大设计、施工、监理、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，本标准按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。在使用过程中如发现条文说明不妥之处，请将意见和建议寄送至重庆市轨道交通（集团）有限公司（地址：重庆市渝北区金开大道西段 210 号大竹林轻轨综合基地，邮编：401122；传真：023-68808355，电子邮箱：chensong324@sina.com）

重庆工程建设

目　次

1　总则 …… 67
3　基本规定 …… 68
3.1　总体要求 …… 68
3.2　桥面布置 …… 68
3.3　附属设施 …… 69
4　材料 …… 70
4.1　混凝土 …… 70
4.2　钢筋 …… 70
5　设计荷载 …… 71
5.1　荷载分类 …… 71
5.2　荷载取值 …… 71
5.3　荷载组合 …… 74
6　结构设计与构造 …… 75
6.1　一般规定 …… 75
6.2　刚度要求 …… 76
6.3　梁体设计 …… 77
6.4　构造要求 …… 78
7　模板 …… 79
7.1　一般规定 …… 79
7.2　模板制作和安装 …… 79
8　钢筋 …… 80
8.3　钢筋安装 …… 80
8.4　质量检验及质量标准 …… 80
9　混凝土 …… 81
9.2　原材料 …… 81

重庆工程建设

9.3　混凝土配合比 …… 81
9.4　混凝土浇筑 …… 82
10　预应力 …… 83
10.1　一般规定 …… 83
10.5　预应力张拉 …… 83

重庆工程建设

1 总 则

1.0.1 随着U形梁在国内外的设计实践，U形梁作为城市轨道交通高架桥一种新的结构形式，与传统箱梁有不同的特点，U形梁作为一种下承式预应力混凝土空间开口薄壁结构，以其建筑高度低、降噪效果好、建筑造型美观、环境适应性好、经济性好、断面空间利用率高、行车安全、施工方法多样性等优势，逐渐成为轨道交通高架桥的一种重要梁型，在国内外正被逐渐得到推广和应用。为规范U形梁的设计、施工和养护，确保工程质量和桥梁的使用性能，在总结已有研究成果与工程经验的基础上，制定本标准。

1.0.3 本标准中的很多参数，如材料、荷载等，都引用了国家和行业现行有关标准的规定，因此，除本标准有明确的规定外，还应遵守国家现行有关标准的规定。

重庆工程建设

3 基本规定

3.1 总体要求

3.1.1 U形梁的建筑结构形式应充分重视对周边环境的影响，这包括城市及城市周边景观上的要求、对周边环境的保护（如噪声、振动防治等）。

3.1.2 城市轨道交通行车密度较大，要求结构设计尽量标准、简洁，减少养护和维修的工作量。

3.1.3 为减少施工时对城市环境、交通的不利影响，加快施工速度，改善施工质量，宜推广采用预制架设、节段拼装的设计、施工方法。

3.1.4 国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 第3.3.1强制性条文明确规定“工程结构设计时，应规定结构的设计使用年限”。按照国家标准《地铁设计规范》GB 50157 第1.0.12条主体结构设计使用年限为100年的规定、国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 附录A.2.3条“铁路桥涵结构的设计使用年限应为100年”的规定，本标准规定U形梁主体结构的设计使用年限为100年。

3.2 桥面布置

3.2.1 建筑限界是在车辆故障状态运行下最大动态包络线的基础上，满足设备和管线安装后的最小有效断面。为了避免桥上设备安装、检修、更换的困难甚至不可能，在桥面系设计时，应为桥上设备安装、检修、更换预留必要的空间和操作平台等。

3.3 附属设施

3.3.1 桥梁伸缩量由列车竖向和水平活载、梁体的收缩徐变、温度变化等引起的位移组成。伸缩缝选择时，应使其最大伸缩量大于以上各项位移之和。

3.3.3 当桥梁纵坡小于3‰时，可通过桥面防水保护层厚度的调整形成不小于3‰的桥面排水纵坡。当由于轨道结构的限制造成排水困难时，可在U形梁腹板上设置泄水孔。

3.3.4 对于桥上设施作出限制，主要是确保桥梁结构的运营安全，避免发生危及桥梁结构安全或通行列车安全的事故。

重庆工程建设

4 材 料

4.1 混凝土

4.1.1 高性能混凝土因其良好的性能，已经在国内外桥梁工程中广泛采用，并取得了良好的效果。为适应城市轨道交通桥梁工程高耐久性的要求，控制 U 形梁质量，推动重庆市轨道交通桥梁技术进步，本条建议 U 形梁采用高性能混凝土。根据行业标准《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192 的要求，预应力结构管道压浆材料的 28d 抗压强度不小于 50MPa，因此本标准规定预应力管道压浆用水泥浆强度等级不宜低于 M50。

4.1.2 引用行业标准《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005 的有关规定。

4.2 钢 筋

4.2.2 本条引用现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关内容。

4.2.3 本条引用现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224-2014 第 7.2.4 的相关内容。

4.2.4 本条引用现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关内容。

4.2.5 本条引用现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关内容。

4.2.6 本条引用现行行业标准《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 的相关内容。

5　设计荷载

5.1　荷载分类

5.1.1　按照荷载发生的概率，将荷载分为主力，附加力和特殊荷载三类，主力是永久作用或经常作用的荷载，附加力不是经常发生或发生概率较小的；特殊荷载是发生概率极小、作用时间短、有的还是灾难性的。

本标准根据轨道交通运营的实际情况，新增了救援列车荷载和检修列车荷载，考虑到其作用时间短、发生频率低，因此将其列为附加力。

本标准新增了列车水平脱轨撞击力，由于其作用性质属于灾难性荷载，故将其列为特殊荷载。

5.2　荷载取值

5.2.1　轨道交通桥梁上有众多的附属设备如声屏障、接触网支柱、轨道、电力、通信、信号的线缆和设备、桥梁养护维修设备等，个别桥梁由于景观或使用功能的需要，还设有一些附属建筑，这些设施的材料类型各异、构造不一，规范中很难给出确切数值，因此本标准规定其取值根据其构造和类型按照相关行业的规范、标准或所属专业的设计值选用。

5.2.2　轨道交通的车辆荷载类型多样，常见主要类型有轨道交通 A、B、C、A_S 型车等类型，线路总体设计时应首先确定的采用车辆类型（最大轴重和轴距），列车的最大加载长度按照初、近、远期中最长的编组长度确定。桥梁设计时，应根据构件影响线长度的不同分别选用本线初、近、远期的最不利编组。

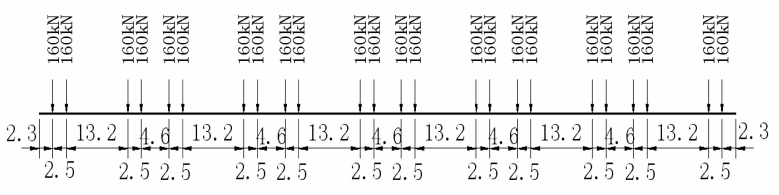

图 4.2.2-1　地铁 A 型车活载图示

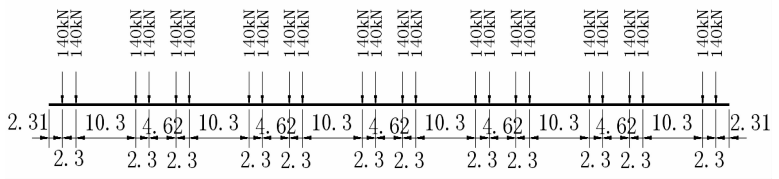

图 4.2.2-2　地铁 B 型车活载图示

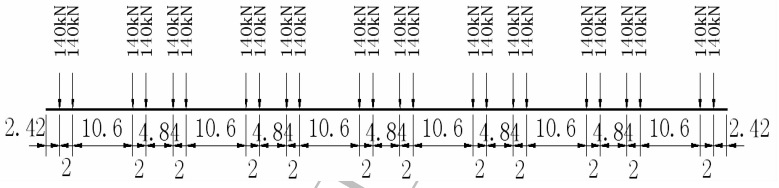

图 4.2.2-3　地铁 C 型车活载图示

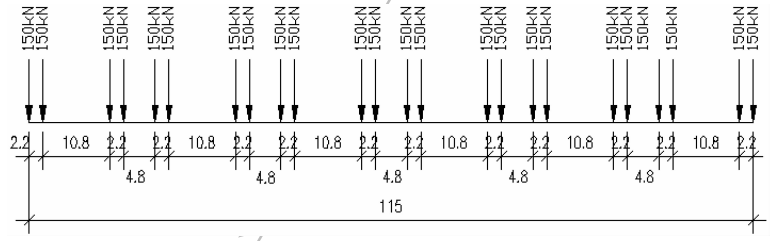

图 4.2.2-4 重庆 A_S 型车活载图示

承受多条轨道交通线路的桥梁，考虑到其同时发生最不利情况的可能性较小，因此应对多线桥的竖向静活载予以折减。对于双线桥，与普通的铁路桥梁不同，由于轨道交通的行车密度高，两线同时发生最不利情况的可能性相对较大，因此不予折减。对于三线以上的桥梁，本标准沿用了国家标准《地铁设计规范》GB 50157-2013 中 0.75 的折减系数。

但是，对于承受局部荷载的构件，由于同时发生最不利荷载的可能性较大，不得对竖向静活载进行折减。

5.2.3 列车的竖向动力作用主要与运行速度、车辆性能和轨道不平顺有关，轨道交通桥梁的运行速度较低，常用跨度桥梁的竖向刚度与普通铁路桥梁接近，同时车辆的性能较好，因此其竖向动力作用要小于一般铁路桥梁。因此，本标准对于最高运行时速在 80km/h 及以下的轨道交通桥梁偏于安全的取铁路桥涵设计基本标准规定值的 0.8 倍，与地铁设计规范保持一致。

近年来，随着轨道交通车辆性能的提高，已经有多条轨道交通线路的最高运行速度确定为 120km/h 或更高，因此在列车运行速度大于等于 120km/h 的情况下，由于列车动力响应的增加，轨道交通桥梁的动力系数可偏于安全的按照《铁路桥涵设计规范》TB 10002-2017 的规定取值。

U 形梁桥道板的冲击系数是依据上海城建设计研究院和同济大学的研究成果，并与实测结果进行比较后得出的。

5.2.4 运营列车发生故障后，对故障列车实施救援是轨道交通运营中可能发生的一种特殊工况。根据统计，某地铁线路在两年内共发生了 17 起列车故障救援，因此桥梁设计中考虑救援工况是十分必要的。救援工况的设计对于中小跨度桥梁的影响不大，但对于大型桥梁如果在设计阶段不考虑救援工况，则会给后期运营带来不便。

救援荷载与列车的救援模式有关，本标准考虑了一列同编组列车将事故列车推出，同时另外一线保持正常运营的工况；考虑到救援列车可能携带救援设备及人员，因此在无详细资料的情况下偏于安全的取一列满载列车的重量，并与运营荷载进行最不利组合。

桥梁建成后，除通行运营车辆外，还需通过检修列车，在某城市的轨道交通建设中，出现了检修列车的效应大于运营列车的情况，因此设计中应根据检修列车的荷载分布情况进行结构检算。

考虑到上述两种情况作用的时间短，发生的可能性小，因此将其列为附加力。

5.2.5 列车集中荷载的纵向分布是横向计算时经常遇到的问题，欧洲规范规定可以将轮对作用的集中力分布到三个钢轨支点上，中间支点为 0.5P，边支点为 0.25P；本标准制定时对该问题进行了有限元分析，有限元模型考虑了轨道的支承刚度等影响，结果表明其数值与欧洲规范的数值十分接近，因此采用欧洲规范的取值。

列车集中荷载沿轨道结构的横向分布，与通常的集中力的传递问题类似，因此采用轨下沿 45 度角扩散的原则。

5.2.6 离心力的作用点位于列车重心高度处，由于实际的车辆类型众多，设计十分不便，考虑到其对结构设计的影响有限，同时考虑到地铁车辆与高速铁路车辆的轴重和形式较为类似，因此偏于安全的取轨面以上 1.8m 作为作用点。

5.2.7 本条引用《地铁设计规范》GB 50157 第 10.3.6 条。

5.2.9 温度效应依据标准可以划分为二类：体系温差（均匀升降温）、温度梯度，下面分别进行说明。

1 体系温差的变化幅度与桥梁所在地区的自然条件和结构类型有关，其计算应从结构物的合龙温度算起。对于混凝土桥，由于自身的导热性差，故对尺寸较大的构件，其温度变化要滞后于气温变化，因此采用重庆地区历年最热月平均气温和最低月平均气温；

2 温度梯度的规定根据 U 形梁的结构形式和重庆地区的自然条件确定。

5.3 荷载组合

5.3.1 结构计算方法沿用目前我国铁路桥涵设计规范系列提出的方法，相关系数参照其办理。

6　结构设计与构造

6.1　一般规定

6.1.3　铁路规范规定上部结构抗倾覆系数不小于 1.3。但对于城市轨道交通，在满足抗倾覆系数时，其支座仍有可能存在脱空的可能，这对于城市轨道交通来说是不可接受的。因此，本条明确 U 形梁上部结构支座不脱空安全系数不小于 1.3。

6.1.7　球形钢支座生产技术成熟、耐久性好、造价比盆式支座略高，从全寿命期使用成本考虑，本条建议采用球形钢支座。考虑到国内部分轨道交通线路检修、更换支座的经验，本条要求支座设计时应考虑检修、更换的需求。

6.1.8　由于 U 形梁桥构造的特殊性，桥道板的约束情况及计算跨度不够明确，采用平面梁计算不能反映实际情况，因此桥道板内力宜采用空间有限元模型进行计算。估算的方法只限用于初步设计。

6.1.9　根据重庆 1 号线沙大段 U 形梁足尺寸疲劳试验结果，600 万次疲劳试验后，底板顺桥向裂缝的最大值较理论计算的结果偏大，在裂缝计算公式无法改变的前提下，同时考虑到提高底板混凝土的耐久性要求，将桥道板顺桥向计算裂缝的最大值控制在 0.14mm 以内，以保证结构的安全。底板横桥向实际上是偏心受拉构件，对于裂缝计算是有影响的，故本条要求按偏心受拉构件计算裂缝宽度。

6.1.10　现行铁路规范计算正截面抗裂安全系数时是考虑混凝土抗拉塑性强度贡献的。但重庆 1 号线沙大段 U 形梁足尺寸疲劳试验结果表明，随着疲劳荷载的施加（80 万次左右），混凝土的抗拉强度逐渐消失，疲劳试验完成后的正截面抗裂安全系数的试

验已测不出混凝土塑性抗拉强度的贡献(混凝土抗拉强度已不存在)。因此,本条规定在不考虑混凝土塑性抗拉强度的前提下,正截面抗裂安全系数仍不应小于 1.2,相当于较铁路规范提高了安全度。

6.2 刚度要求

6.2.1 竖向刚度控制指标是桥梁设计的重要参数,与线路的运行速度、列车运行的平顺性和舒适度等因素有关,铁路一般采用竖向挠度和自振频率双控。与铁路不同,轨道交通由于列车运行速度低,当列车运行速度为 80km/h～120km/h 时,列车的激振频率一般为 1.0Hz～1.5Hz,常用跨度轨道交通桥梁的自振频率已经远大于该频率,因此限定自振频率的必要性不大。

本条关于桥梁刚度控制指标主要基于以下三个因素:(1)采用无砟轨道后,由于扣件的调整量有限,需要对梁体的徐变变形进行控制,而控制梁体的徐变变形就需对梁体刚度进行限制;(2)为避免在梁端处产生的轨道不平顺,同时为了控制梁端转角引起的无砟轨道扣件的上拔力和下压力,需控制梁端转角,实际上也对竖向刚度提出了要求,两者宜基本一致;(3)为保证列车运行的舒适性和安全性,也需对梁体刚度进行控制。综合上述因素,故本条引用了国家标准《地铁设计规范》GB 50157 的相关规定。

6.2.2 竖向挠度限值即挠跨比确定后,梁端转角也已确定。对于有砟轨道而言,转角过大会影响梁缝处的道床的稳定性;对无砟轨道而言,梁端转角会引起梁缝两端的扣件分别出现上拔和下压现象,转角过大时梁端轨道扣件的上拔力将超过扣件的扣压力容许值,造成垫板滑出,而扣压力过大则有可能造成垫板产生破坏,因此本标准规定梁端转角大于 3‰时,要计算轨道扣件工作性能。本条引用《地铁设计规范》GB 50157 第 10.2.2 条。

6.2.3 本条来源于《地铁设计规范》GB 50157 第 10.2.3 条。当

桥梁的横向刚度不满足该规定时，应进行风-车-桥系统耦合振动分析，并检算车辆的动力学指标和桥梁的动力学性能是否满足要求，并结合其它使用功能的要求确定桥梁的刚度指标。

6.2.4 本条引用《地铁设计规范》GB 50157 第 10.2.4 条。

6.3 梁体设计

6.3.1 U 形梁在计算中可将其截面划分为几个矩形截面。划分的原则是：按截面总高度划出腹板，受压翼缘和受拉底板。每个矩形基本单元体所承受的扭矩设计值，按其截面受扭塑性抵抗矩与总截面的受扭塑性抵抗矩的比值从构件总扭矩中分担。本条引用自现行国家标准《城市轨道交通桥梁设计规范》GB/T 51234-2017 附录 A 相关条文。

6.3.2 U 形梁为弯扭构件，本标准将纵向钢筋面积按弯矩最大值对应扭矩值或扭矩最大值对应弯矩值分别计算，进行叠加，取最大值配置。

6.3.3 试验表明，受扭构件当钢筋配置过多时，可能出现混凝土先于钢筋破坏的情况，因此须通过限制剪应力水平对截面最小尺寸进行控制。弯扭构件由于其受力的复杂性，目前只能将扭矩和剪力产生的剪应力进行叠加，使其总和不超过规定的剪应力限值。

本标准的剪应力的限值采用了《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092 中的，该取值与《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 相当，比较结果见表 6.3.3-1。

表 6.3.3-1 比较结果

强度等级	C55	C60
本标准	2.97	3.15
公路规范/1.4	2.70	2.82

当构件的剪应力小于，该取值与《公路钢筋混凝土及预应力

混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 相当，比较结果见表 6.3.3-2。

表 6.3.3-2　比较结果

强度等级		C55	C60
本标准		1.10	1.17
公路规范/1.4	允许开裂	0.95	0.98
	未开裂	1.18	1.23

6.4　构造要求

6.4.1　根据近年来国内轨道交通 U 形梁的建设和运营经验，适当增加桥面板的厚度，对于降低振动和噪声是有利的；在梁端设置端横梁后，有利于提高 U 形梁的整体刚度，改善梁端桥面板的局部受力。

6.4.2　本条来源于现行国家标准《混凝土结构设计规范（2015版）》GB 50010 的规定，并将最小配筋率的公式进行了转换，原公式中混凝土轴心抗拉设计值 ft 与本标准混凝土轴心抗拉极限强度值 fy 之比乘以 0.6 约为 0.4。经比较与国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定相当。

6.4.3　本条来源于现行公路行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 第 9.3.13 条第 3 款，经强度系数换算后得出本条结果。

6.4.4　为增加 U 形梁结构的抗裂性能，U 形梁混凝土中宜添加高强、高模量纤维。现行国家、行业标准中对高强、高模量纤维并无明确规定。设计时，建议参考成熟经验选取高强、高模量纤维的具体参数指标。

南京工程建设

7 模 板

7.1 一般规定

7.1.1 本条规定模板应采用整体式液压钢模，主要是由于钢模板坚固、耐用、拆装方便，可根据梁长需要进行调整组合并多次重复使用，钢模板表面平整光滑，易于浇筑外表美观的混凝土结构物，是确保工程质量和施工安全的前提，因此必须严格执行。

7.2 模板制作和安装

7.2.1～7.2.3 规定了模板制作使用材料的要求，并非构成工程的主体，但必须符合施工设计对材质的要求并符合专业验收标准的相关规定。

重庆工程建设

8 钢 筋

8.3 钢筋安装

8.3.1 钢筋有多种连接方式，采用哪一种方式，必须符合设计要求，以保证钢筋应力传递及结构受力要求。钢筋接头的技术要求、外观质量和允许偏差以附表形式列入本标准。

8.4 质量检验及质量标准

8.4.8 本条根据国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204，结合规定交通工程的实际，对钢筋安装及其保护层厚度允许偏差作出规定。鉴于钢筋混凝土保护层对结构的承载力和耐久性有显著影响，因此钢筋保护层厚度允许偏差值均从严作了规定。

重庆工程建设

9 混凝土

9.2 原材料

9.2.2 采用专门机组生产的机制砂，具有很好的粒形，且因在磨制前已被清洗，故其含泥量较低，可以用来配制高性能混凝土。机制砂中的石粉不同于黏土、泥块，少量石粉在混凝土中有调整和易性、提高混凝土韧性的有利作用。

9.2.5 粗骨料在运输和装卸过程中，其级配可能发生变化。为了保证骨料具有良好的级配，一个有效可行的技术措施是采用多级配石。使用过程中可通过对粗骨料实行分级采购、分级存储、分级计量，配合比测试时再确定各级配石的具体量，以使骨料具有尽可能小的空隙率，从而降低混凝土的胶凝材料用量。

9.2.11 掺减水剂是制备高性能混凝土的关键技术之一。减水剂的性能品质与工程原材料相适应是成功配制高性能混凝土的基本条件。为了能够制备出满足设计使用要求的混凝土，现场所用的减水剂必须根据现场水泥、掺合料、骨料等进行调整。

9.3 混凝土配合比

9.3.3 配合比设计是确保混凝土耐久性最关键的环节，水胶比与胶凝材料用量限值是保证混凝土耐久性所需要的抗渗性与力学性能的重要参数。由于混凝土拌合时的用水量在其浇筑成型后被水化结合的很少，大量游离水随后成为混凝土的薄弱环节，给混凝土的开裂和耐久性带来不利影响，控制混凝土拌合物最大用水量可以有效地改善其各项性能。

9.3.5 混凝土配合比选定的好坏，直接关系到结构物的使用寿

命和整个工程的经济效益。混凝土配合比的设计不仅考虑强度等级而且还要考虑耐久性能等。当混凝土原材料和施工工艺等发生变化时，必须重新选定配合比。当施工工艺和环境条件未发生明显变化、原材料的品质在合格的基础上发生波动时，可对混凝土外加剂用量、粗骨料分级比例、砂率进行适当调整，调整后混凝土的拌合物性能应与原配合比一致。

9.4 混凝土浇筑

9.4.4 底板纤维混凝土的投料顺序、搅拌方法和搅拌时间应保证纤维分布的均匀和混凝土搅拌的均匀性。规定一定的搅拌时间是为了保证纤维混凝土的匀质性，其实际搅拌时间应比普通混凝土延长 1min～2min。

9.4.5 混凝土的入模温度宜根据气温调整。降低入模温度对控制混凝土的裂缝非常重要。同样的混凝土，入模温度高的，其温升值要比入模温度低的大很多。在气温很高时，更应采取措施设法降低混凝土的入模温度。但如果入模温度降得太多，则接触气温的表面比内部硬化得快，等到内部升温而膨胀时，表面产生拉应力容易开裂。因此，冬季用热混凝土比夏季用冷混凝土有利。夏季在降低入模温度同时，还要冷却模板并注意使混凝土表面避免日晒。为了避免混凝土早期受冻，冬季搅拌混凝土应具有一定的出机温度和入模温度。当施工现场存在机械运输困难、运距较长等问题时，应适当提高混凝土出机温度，以保证混凝土在运输过程中不致被冻坏。在高温下拌合、浇筑和养护会损害混凝土的质量和耐久性，过热会使塌落度损失过快，拌合物用水量增大，因此，炎热天气施工对混凝土的最高温度和浇筑作业应有限制。

10　预应力

10.1　一般规定

10.1.2　预应力混凝土结构的大量实验表明，通过测试管道、锚口和喇叭口摩阻以及钢绞线弹性模量确定预应力筋伸长量，并严格控制预应力管道位置，可以获得准确的梁体混凝土预施应力。因此，必须在张拉前测定，根据实测结果对张拉控制应力做适当调整。为了获得较为准确的预应力束伸长量，要求钢绞线的弹性模量应较为稳定，因此要求供应商应提供每批钢绞线的实际弹性模量值。

10.5　预应力张拉

10.5.4、10.5.5　预应力筋的张拉一般采用双控。除以张拉力为主进行控制外，还应以实际伸长值与计算伸长值之差的百分率进行校核。相差长度允许偏差±6%，有利于保证张拉质量。

重庆工程建设

重庆工程建设