

文章编号: 1674—8247(2020)06—0080—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.06.015

## 铁路钢盖梁混凝土柱组合门式墩设计研究

余浪<sup>1</sup> 罗艳<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

**摘要:** 本文以某铁路组合门式墩为依托工程, 比选不同梁柱约束体系对其力学行为的影响, 确定最优方案。根据梁柱两端固结组合门式墩的结构特点, 采用空间杆系有限元分析方法, 对其盖梁跨高比、墩柱高宽比及关键部位进行了研究。研究表明: 梁柱两端固结的约束体系刚度大, 用钢量较省, 铁路尤其是高速铁路应优先采用; 梁柱两端固结组合门式墩的钢盖梁最大挠度随跨高比的减小而减小, 并逐步趋于稳定; 位于非地震区时, 梁柱两端固结组合门式墩高宽比宜大于3且应取高值, 位于地震区时, 高宽比宜在3~5之间且应取低值; 角隅构造应优先采用底板左右断开的处理方式; 墩柱连接构造推荐采用锚栓式连接构造。

**关键词:** 铁路桥; 组合门式墩; 梁柱约束; 跨高比; 高宽比; 角隅构造; 墩柱连接构造

中图分类号: U443.22

文献标志码: A

## Research on Design of Composite Portal Pier with Steel Capping Beam and Concrete Column of Railway

YU Lang<sup>1</sup> LUO Yan<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Based on a railway composite portal pier, this paper compares the influence of different beam and column constraint systems on their mechanical behaviors and determines the optimal scheme. According to the structural characteristics of composite portal pier with both ends of beam and column consolidated, the span-height ratio of its capping beam, the height-width ratio of its pier column and the key parts are studied by using the finite element analysis method with spatial member system. The results show that the restraint system consolidated at both ends of beam and column has high stiffness and less steel consumption, and it should be preferred in railways, especially high-speed railways. The maximum deflection of steel capping beam of composite portal pier consolidated at both ends of beam and column decreases with the decrease of span-height ratio, and gradually tends to be stable. The height-width ratio of the composite portal pier consolidated at both ends of beam and column should be greater than 3 in non-seismic area and higher value shall be taken, while the height-width ratio should be between 3 and 5 in seismic area and lower value shall be taken. Splitting the bottom plate into left and right halves shall be the preferred treatment method for corner structure. Anchor bolt connection structure is recommended for pier column connection structure.

**Key words:** railway bridge; composite portal pier; beam and column constraint; span-height ratio; height-width ratio; corner structure; pier column connection structure

收稿日期: 2021-03-20

作者简介: 余浪(1980-), 男, 高级工程师。

引文格式: 余浪, 罗艳. 铁路钢盖梁混凝土柱组合门式墩设计研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(6): 80-84.

YU Lang, LUO Yan. Research on Design of Composite Portal Pier with Steel Capping Beam and Concrete Column of Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(6): 80-84.

随着我国铁路的快速发展,城市内尤其是铁路枢纽内经常会出现新建铁路桥梁跨越既有线的情况,此时采用门式墩跨越是一种较为安全、稳妥的方法。目前,钢盖梁混凝土柱组合门式墩越来越被广泛采用,该组合门式墩的优点是钢盖梁较轻,可分段工厂制造,运到桥位拼接成整体后,在铁路窗口时间一次吊装到位,施工速度快,对既有铁路干扰较少,可有效降低施工难度及对运营安全的影响,应用前景非常广泛。但此类结构为钢混组合结构,受力复杂,结构细节与普通混凝土门式墩不同,且研究成果较少<sup>[1-9]</sup>,有必要对其结构形式和受力情况进行研究。

1 基本模型

某单线铁路桥梁,设计速度 200 km/h。梁部采用部颁标准 2201 系列 32 m 简支 T 梁,采用钢盖梁混凝土柱组合门式墩下跨越既有铁路,钢盖梁中心跨度 21 m,墩柱高 9 m,钢盖梁尺寸 2.5 m×2 m(横×竖),墩柱尺寸 3.5 m×3 m(横×竖),钢盖梁采用 Q345qD,混凝土标号为 C35,梁柱两端固结的组合门式墩构造如图 1 所示。

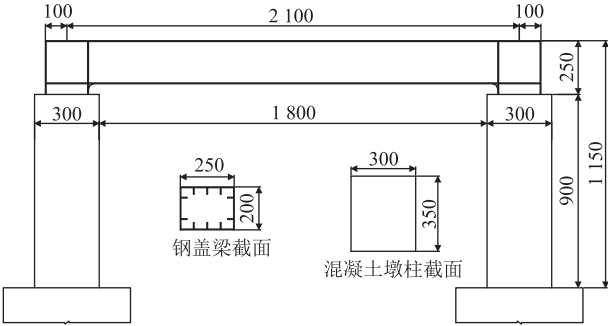


图1 梁柱固结的组合门式墩构造图(cm)

采用有限元软件 Midas Civil 建立模型,模型选取梁单元,结构承台底边界按固结考虑,墩柱连接按实际边界条件考虑。荷载考虑(1)恒载:自重+二恒;(2)活载:ZKH;(3)温度:整体升温 30℃;(4)地震:场地类别为Ⅲ类,八度地震反应谱(0.2g)。

2 梁柱约束体系

组合门式墩的钢盖梁和混凝土柱之间的约束体系主要有两端固结、一铰一活动和一固一活动 3 种方案。两端固结方案的钢盖梁构造相对复杂,梁柱需当做整体设计。温度荷载对门式墩影响较大,当墩高 1 m 时,钢盖梁角隅处温度应力达 100 MPa。因此,两端固结方案不宜在桥墩很矮的情况下采用。

一铰一活动方案构造简单,梁柱可分开设计,钢盖梁按承受集中力的简支钢箱梁设计,混凝土柱按普通桥墩方法设计。温度荷载只会引起位移变化,无受力变化,适用于任何墩柱高度。

一固一活动方案介于两者之间,不再进一步分析比较,一固一活动方案适合横向地形高差较大,一边墩高一边墩很矮的情况。

根据基本模型计算两端固结方案和一铰一活动方案主力(恒+活)下的应力和活载下的挠度情况,结果对比如表 1 所示。

表1 方案计算结果对比表

约束体系	主力作用下		活载作用下
	钢梁最大应力 /MPa	混凝土柱压应力 /MPa	钢梁最大挠度 /mm
两端固结	109	5.9(柱顶)	4.9
一铰一活动	168	8.0(柱底)	11.8

由表 1 可知,与一铰一活动方案相比,两端固结方案钢梁最大应力减小 35%,混凝土应力减小 26%,挠度减小 60% 左右。

综上所述,梁柱两端固结方案最优,该方案刚度大,应力水平低,用钢量较省,铁路尤其是高速铁路应优先采用。温度荷载对梁柱两端固结方案影响较大,因此,混凝土柱不宜过矮,线路标高不宜距离地面太低,以防导致门式墩设计困难。

3 钢盖梁跨高比对门式墩挠度的影响

引入跨高比  $K_1$ ,对梁柱两端固结的组合门式墩作进一步分析。

$$K_1 = L/h \tag{1}$$

式中: $h$ ——钢箱高度;  
 $L$ ——钢箱跨度。

钢盖梁一般是刚度控制设计,应力水平可通过加大钢箱板厚度来满足要求。根据基本模型,通过变化钢盖梁钢箱高度来调整跨高比,分析跨高比对挠度的影响,得出活载作用下挠度与跨高比的关系曲线如图 2 所示。

从图 2 可以看出,钢盖梁最大挠度随跨高比的减小而减小,并逐步趋于稳定,考虑到钢盖梁挠度还需与梁部挠度叠加,钢盖梁最大挠度宜在毫米级以内,跨高比取值范围 7~10,可有效控制钢盖梁最大挠度。列车时速越高,跨高比取值应越小。

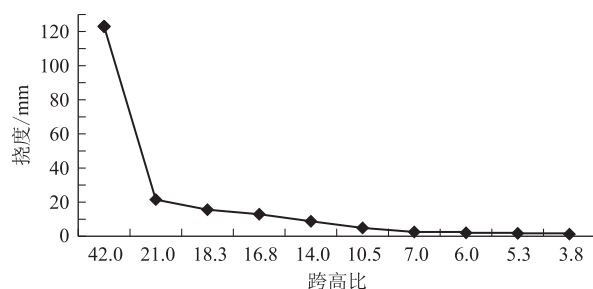


图2 活载下竖向挠度与跨高比的关系曲线图

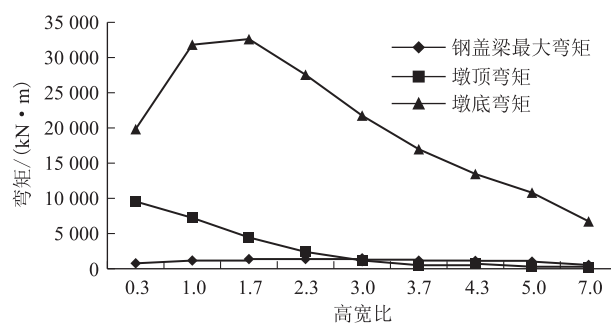


图4 温度荷载下梁柱弯矩与高宽比的关系曲线图

## 4 混凝土柱高宽比对门式墩受力的影响

引入混凝土柱高宽比  $K_2$ , 对梁柱两端固结的组合门式墩作进一步分析。

$$K_2 = H/b \quad (2)$$

式中:  $H$ ——混凝土柱高度;

$b$ ——混凝土柱受力方向宽度。

根据基本模型,通过变化混凝土柱高度来调整高宽比,由于墩顶轴力小,墩底轴力大,墩顶弯矩可能控制墩柱设计,设计时需重点关注。

### 4.1 高宽比对主力的影响

研究高宽比对主力的影响,得出主力下的弯矩效应与高宽比的关系曲线如图3所示。

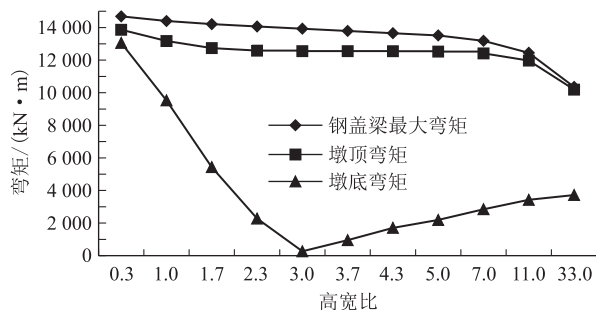


图3 主力下梁柱弯矩与高宽比的关系曲线图

从图3可以看出,钢盖梁和墩顶弯矩数值变化不大,高宽比的变化对钢盖梁和墩顶影响不大,墩底弯矩均未超过墩顶弯矩,墩顶弯矩控制设计。墩底受高宽比影响较大,高宽比为3时,墩底弯矩处于最小值,高宽比 $>2$ 时,墩底弯矩可维持在较低水平。随着高宽比增大,钢盖梁和墩顶弯矩均缓慢减小。

### 4.2 高宽比对温度荷载的影响

分析高宽比对温度荷载的影响,得出温度荷载下的弯矩效应与高宽比的关系曲线如图4所示。

从图4可以看出,钢盖梁弯矩数值变化不大,高宽比的变化对钢盖梁影响不大。温度对墩底弯矩影响较

大,高宽比较小即桥墩较矮时,墩顶弯矩较大,相应的角隅处及钢混结合段受力较大。高宽比 $>3$ 时,墩顶弯矩可维持在较低水平,高宽比为1~2时,墩底弯矩数值最高,高宽比 $>3$ 后,弯矩迅速减小。

### 4.3 高宽比对地震力的影响

研究高宽比对地震力的影响,计算罕遇地震下梁柱弯矩,得出地震力下的弯矩效应与高宽比的关系曲线如图5、图6所示。

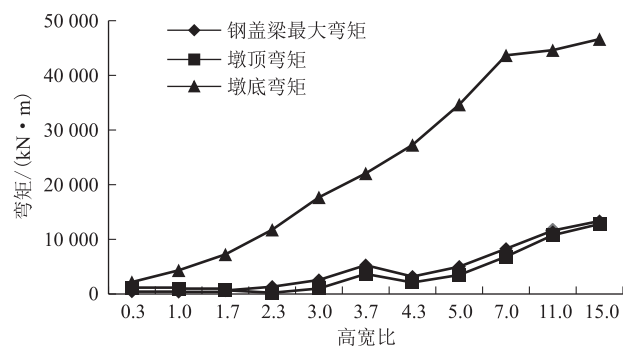


图5 横向罕遇地震力下梁柱弯矩与高宽比的关系曲线图

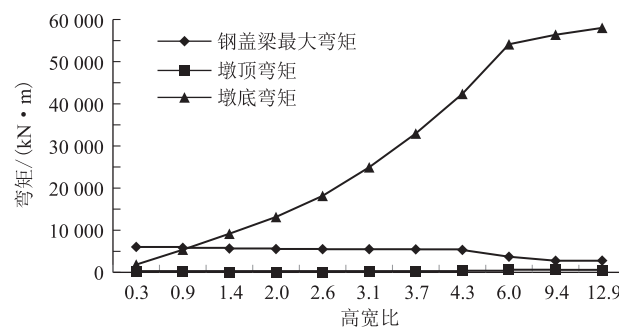


图6 纵向罕遇地震力下梁柱弯矩与高宽比的关系曲线图

从图5、图6可以看出,钢盖梁及墩顶弯矩数值较低,且变化不大。随着高宽比变大,墩顶弯矩在横向罕遇地震力作用下逐渐加大,纵向罕遇地震力作用下逐渐减小,高宽比 $<5$ 时,墩顶弯矩可维持在较低水平。墩底弯矩随着高宽比的增大而增大。

综上所述,梁柱两端固结组合门式墩位于非地震区时,高宽比宜 $>3$ 且应取高值;位于地震区时,高宽比宜在 $3\sim5$ 之间且应取低值。

## 5 梁柱固结组合门式墩的关键部位设计

钢盖梁角隅和墩柱钢混连接部位是梁柱两端固结组合门式墩两个非常重要的部位,传递荷载较大,传力机理复杂且局部应力集中。为确保组合门式墩的安全,参考日本及国内公路钢结构设计细节,进行角隅和墩柱钢混连接部位的构造设计。

### 5.1 角隅部位设计

角隅的作用是将钢盖梁的荷载顺利传递到混凝土墩柱上,角隅构造为空间矩形体,构造简单,传力清晰。角隅设计的关键是各板之间的断开处理方式,本文提出两种断开处理方式:

(1)顶板、腹板和内外竖板连续,底板在角隅内竖板左右断开,腹板和内竖板均为整板,传力连续,底板主要受压。此种断开方式焊缝数量少,焊接工作量小。

(2)底板连续,腹板和内竖板在底板上下断开,同时承受拉力和压力。此种断开方式焊缝数量多,焊接工作量大。

综上所述,底板左右断开的处理方式优点明显,应优先采用,具体构造如图7所示。

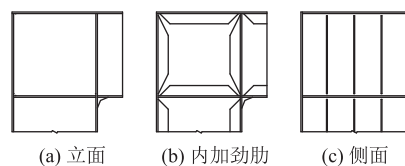


图7 角隅构造图

角隅构造的腹板应在内竖板处倒圆角,其内部六面均设若干倒角加劲肋,与钢盖梁和钢混柱加劲肋对应,可有效减少局部应力。角隅受力复杂,为确保角隅部位传力匀顺,底板与内竖板之间、腹板竖板与顶板之间要求采用融透焊。

### 5.2 墩柱连接部位设计

墩柱连接部位为钢混结构,多采用构造成熟的钢混梁,但组合门式墩有其自身特点,不能照搬,需进一步研究,本文提出两种连接构造。

#### 5.2.1 插入式连接

钢立柱插入混凝土柱预埋,预埋深度参考JTG/T D65-06-2015《公路钢管混凝土拱桥设计规范》<sup>[10]</sup>,按照不小于1.5倍钢立柱长边 $B$ 控制,混凝土柱宽于钢立柱50cm左右,预埋钢立柱内外表面设置

剪力钉,外包的混凝土柱箍筋加强,钢立柱内部灌注混凝土,如图8所示。

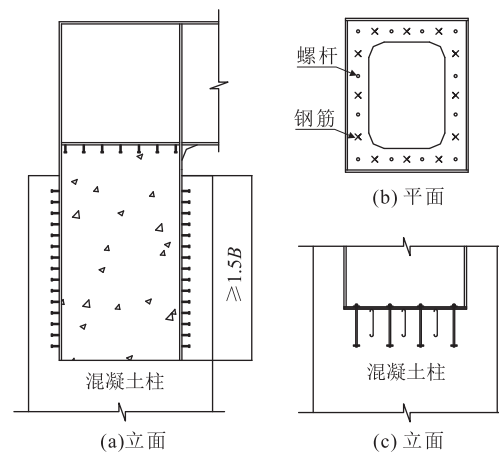


图8 插入式连接构造图

钢立柱底部依次设置承压板、预埋钢板和3层钢筋网。预埋钢板底设置钢筋与混凝土柱相连,并用环氧砂浆找平,钢盖梁吊装到位后,将预埋钢板和承压钢板对齐,并用螺栓拧紧,起到临时固结的作用。角隅底板还需设置灌注孔,用于灌注钢立柱内部混凝土。

#### 5.2.2 锚栓式连接

##### (1) 构造形式

锚栓式连接构造从上至下依次为锚栓支承托座、承压板、锚栓和预埋角钢骨架,如图9所示。锚栓支承托座设置在钢立柱两侧,在锚栓周围采用若干加劲板来传递锚栓力;承压板设置在钢立柱底部,承压板铺设3层钢筋网,并用环氧砂浆找平;锚栓下端预埋在混凝土柱内,上端锚固在锚栓支承托座上,下端设置若干角钢形成骨架。

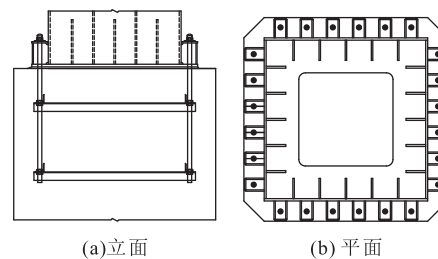


图9 锚杆式连接构造图

锚栓上端采用双螺母,拧紧后点焊。为提高外漏锚栓的耐久性,可在防腐后将锚栓螺母和支承托座用混凝土外包密闭。锚栓需后张预拉力,为了保证预压力的有效传递,可在浇筑混凝土墩柱前,在螺杆表面涂抹黄油并缠绕玻璃布,以实现和混凝土之间的无粘结连接。

##### (2) 锚栓计算方法

选取 40Cr 材质、10.9S 级锚栓,按抗拉极限力的 35% 预加张拉力。锚栓拉力计算公式为:

$$N_{\max} = N/n + (M \times z_i) / \sum z_i^2 \leq [N] \quad (3)$$

式中: $N_{\max}$ ——单个锚栓最大轴力(kN);

$N$ ——最不利工况下立柱钢混面轴力(kN);

$M$ ——最不利工况下立柱钢混面弯矩(kN);

$[N]$ ——锚栓预张拉力(kN);

$n$ ——锚栓总个数;

$z_i$ ——各锚栓到钢立柱中心距离。

锚栓仅承受拉力,抗剪由钢混面摩擦力抵抗,计算公式为:

$$V \leq [V] = 0.4([N] - N_{\max}) \quad (4)$$

式中: $V$ ——最不利工况下立柱钢混面剪力(kN)。

按上述公式计算,承压板能保证全截面受压,承压板下混凝土最大压应力为:

$$\sigma_{\max} = (N + n[N]) / (L \times B) \times (1 + 6e/L) \leq [\sigma] \quad (5)$$

式中: $\sigma_{\max}$ ——承压板混凝土最大压应力(kPa);

$L$ ——承压板长度(m);

$B$ ——承压板宽度(m);

$e$ ——偏心距, $e = M/N$ ;

$[\sigma]$ ——局部承压容许力(kPa)。

插入式和锚栓式两种墩柱连接构造均有工程实例。与插入式连接相比,锚栓式连接不需设置钢混结合段,其构造简洁,受力明确,施工简单,用钢量较省,费用较低。因此,墩柱连接部位推荐采用锚栓式连接。

## 6 结论

本文对铁路钢盖梁混凝土柱组合门式墩的结构形式和受力情况进行初步分析,得出如下结论。

(1) 梁柱两端固结方案刚度大,应力水平低,用钢量较省,铁路尤其是高速铁路应优先采用。

(2) 墩柱两端固结组合门式墩钢盖梁的最大挠度随跨高比的减小而减小,并逐步趋于稳定,跨高比取值为 7~10 时,可有效控制钢盖梁最大挠度。列车时速越高,跨高比取值应越小。

(3) 位于非地震区时,墩柱两端固结组合门式墩高宽比宜 >3 且应取高值;位于地震区时,高宽比宜在 3~5 之间且应取低值。

(4) 角隅部位优先采用底板左右断开的处理方式,该断开方式传力连续,底板主要受压,焊缝数量少,焊接工作量小。

(5) 墩柱连接部位推荐采用锚栓式连接,构造简

洁,受力明确,施工简单,用钢量较省,费用较低。

## 参考文献:

- [1] 戴公连, 闫斌, 魏标. 门式墩纵向刚度及其对无缝线路纵向力的影响[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(11): 33-36.  
DAI Gonglian, YAN Bin, WEI Biao. Longitudinal Stiffness of Frame Pier and Its Influence on Longitudinal Force on CWR[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology. Nature Science, 2012, 40(11): 33-36.
- [2] 闫斌, 刘从新, 杜凯, 等. 门式墩上高速铁路连续梁桥梁轨相互作用[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(3): 81-84.  
YAN Bin, LIU Congxin, DU Kai, et al. Track-beam Interaction of High-speed Railway Continuous Beam Bridge on Frame Pier[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology. Nature Science, 2012, 40(3): 81-84.
- [3] 刘彬. 四线铁路连续梁空心薄壁刚架主墩设计[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(1): 97-100.  
LIU Bin. Design of Hollow Thin-wall Rigid Frame Main Pier of Bridge with Continuous Beams on Four-line Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 97-100.
- [4] 刘彦明. 跨越既有铁路桥梁方案设计研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(2): 57-61.  
LIU Yanming. Research on Design Schemes of Bridges Crossing Existing Railway[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(2): 57-61.
- [5] 艾宗良. 铁路门式墩非线性时程反应分析研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(2): 61-66.  
AI Zongliang. Study of Nonlinear Time-history Analysis on Railway Portal Pier[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(2): 61-66.
- [6] 陈杰. 铁路大跨度钢横梁门式墩设计[J]. 铁道勘察, 2017, 43(4): 92-95.  
CHEN Jie. Design of Railway Large Span Steel Beam Portal Pier[J]. Railway Investigation and Surveying, 2017, 43(4): 92-95.
- [7] 刘阳明. 帽梁与墩柱刚度比对门式墩受力的影响[J]. 四川建筑, 2010, 30(2): 188-189.  
LIU Yangming. Influence of Stiffness Ratio of Cap Beam to Pier Column on the Force of Portal Pier[J]. Sichuan Architecture, 2010, 30(2): 188-189.
- [8] 吴伟宏, 薛芳. 钢横梁混凝土立柱组合门式墩设计与施工[J]. 工程建设与设计, 2013(6): 121-123.  
WU Weihong, XUE Fang. Design and Construction of Portal Pier with Steel Beam and Concrete Column[J]. Construction & Design for Project, 2013(6): 121-123.
- [9] 王高彦, 王君, 张齐东. 大吨位钢横梁跨既有营业线吊装施工技术[J]. 施工技术, 2012, 41(S): 208-212.  
Wang Gaoyan, Wang Jun, Zhang Qidong. Hoisting Construction Technology of Large Tonnage Steel Beam Across Existing Business Lines[J]. Construction Technique, 2012, 41(S): 208-212.
- [10] JTG/T D65-06-2015 公路钢管混凝土拱桥设计规范[S].  
JTG/T D65-06-2015 Specifications for Design of Highway Concrete-filled Steel Tubular Arch Bridges[S].