

文章编号:1001 7372(2005)01-0073-04

钢管混凝土哑铃形拱肋灌注混凝土时的截面应力分析

陈宝春¹, 肖泽荣², 韦建刚¹

(1. 福州大学 土木建筑工程学院, 福建 福州 350002; 2. 福州市规划设计研究院, 福建 福州 350003)

摘要:针对钢管混凝土哑铃形拱肋灌注混凝土时容易发生爆管事故的问题,建立了有限元模型,对灌注管内混凝土时钢管拱肋的截面应力进行了分析。分析时考虑了各种灌注顺序和工况。分析结果表明:哑铃形截面在灌注腹腔混凝土时,钢管与腹板交接处将产生很大的应力,是产生爆管事故的主要原因。哑铃形截面灌注混凝土时的受力情况与灌注顺序有关,灌注的顺序以先腹腔后两管的顺序最为不利,先两管后腹腔的受力较为有利。为防止爆管事故,建议采用拉杆或型钢加劲腹板,并采用分腔灌注。

关键词:桥梁工程;钢管混凝土;有限元法;哑铃形拱肋;应力;施工

中图分类号:U448.22

文献标志码:A

Analysis on stresses of dumbbell-shaped cross-section of CFST arch rib during concrete pouring construction

CHEN Bao-chun¹, XIAO Ze-rong², WEI Jian-gang¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;

2. Fuzhou Planning Design and Research Institute, Fuzhou 350003, China)

Abstract: During the construction procedure, filling concrete into the web spaces of concrete filled steel tubular (CFST) dumbbell arch ribs, sometimes cracks will occur in the weld sealing. In this paper, finite element models are established to analyze the stresses of CFST dumbbell-shaped cross-section of arch rib caused by the pressure of fresh concrete. Different construction order and cases are considered. Calculation results show that the great stresses which will take place in the connection points of the steel webs and the steel tubes under the fresh concrete pressure are the main cause of the cracking accidents in construction. The filling order of the concrete to the three spaces (two tubes and one web space) will influence the stresses in the cross-sections. The stresses will be the smallest one in this order that the two tubes are filled with concrete at first and then the web space. The stresses will be the largest one in the order that the web space is filled with concrete at the first. In order to prevent the cracking accident, means should be taken in construction to control the fresh concrete pressure as small as possible, such as, the web space of the rib is divided into several spaces, concrete filled by manpower and steel bars is used to connect the two web places.

Key words: bridge engineering; CFST; FEM; dumbbell-shaped arch rib; stress; construction

收稿日期:2004-06-14

基金项目:福建省高等学校科技项目(JA03016)

作者简介:陈宝春(1958-),男,福建罗源人,福州大学教授,博士生导师,工学博士, E-mail:baochunchen@fzu.edu.cn

0 引言

哑铃形截面是常见的钢管混凝土拱肋截面的形式之一。在灌注拱肋腹腔混凝土时,腹板受混凝土压力的作用容易外鼓,严重时钢管与腹板连接处的焊缝会被拉裂而引发爆管事故^[1,2]。目前仅见文献[2]对某工程的爆管事故进行了受力分析。但文献[2]在建立平面有限元模型时,作了简化处理。此外,文献[2]是针对具体工程事故进行的分析,对其他可能出现的灌注管内混凝土顺序的工况没有进行分析。为此,笔者试图建立起更接近实际受力情况的计算模型,对可能出现的施工工况进行全面的分析,以对钢管混凝土哑铃形截面灌注管内混凝土时的截面受力有更为全面、更为准确的了解,以供工程实践参考。

1 施工工况

哑铃形截面共有两根钢管和一个腹腔(共3个空腔)需要灌注混凝土,施工时一般是一个空腔整根拱肋灌注完毕后,再灌另一个空腔直至3个空腔全部灌完。在灌注混凝土时,一般来说,泵送混凝土的内压力产生的截面应力要远大于混凝土自重产生的应力。为了简化分析,笔者在分析时不计混凝土自重对截面受力的影响,即认为上下管的灌注顺序可以互换。略去自重影响后的分析,同时可适用于横哑铃形断面。这样,哑铃形截面灌注拱肋混凝土的顺序有3种,每一种顺序中又有3个工况,共9个工况,如图1所示。

在9个工况中,工况1-1和工况2-1、工况1-3和工况3-3完全相同,因此,完全独立的工况有7个,即工况1-1、1-2、1-3、2-2、2-3、3-1和3-2。

考虑到两根管中间隔着腹腔,所以灌注某一根管内混凝土时截面的受力与另一根管是否已灌混凝土关系不大,这样,工况2-2和工况2-1、工况3-2与工况3-3又可视作相同。这样工况继续简化至5个,即工况1-1、1-2、1-3、2-3和3-2。这5个工况可以分为两大类:灌管内混凝土和灌腹腔内混凝土。在下面的分析中仅对这5种工况[图1(a)~(c)、(f)、(g)]进行讨论,即:

灌管内混凝土:工况1-1(腹腔空)和工况1-3(腹腔内已灌混凝土)。

灌腹腔内混凝土:工况3-1(两管空)、工况1-2(一管已灌一管空)和工况2-3(两管已灌)。

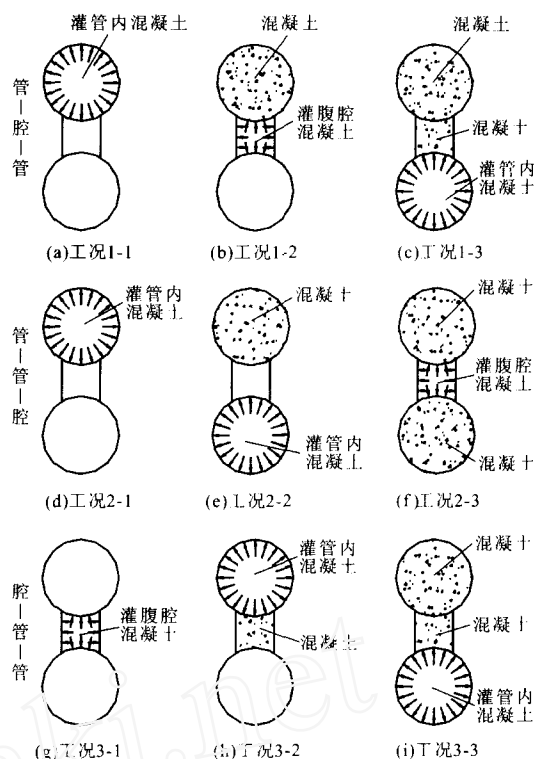


图1 拱肋灌注混凝土工况

Fig. 1 Case of concrete filling into arch rib

2 算例与计算模型

2.1 算例

选取两座实际的拱肋截面作为算例^[3],如图2所示。算例截面的钢管和腹板采用Q345钢,其弹性模量取

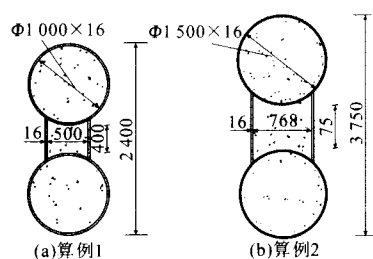


图2 哑铃形截面算例尺寸/mm

混凝土等级为C50,弹性模量取 3.45×10^4 MPa,假设灌注混凝土时的内压力为 q (MPa)。

2.2 计算模型

哑铃形截面在灌注混凝土时可以简化成平面问题,因此,笔者建立平面有限元模型进行分析。在建立平面模型时,对钢管和混凝土分别划分单元,钢管和混凝土均采用8结点的PLANE82单元,在输入材料类型时取各自的材料参数,钢和混凝土接触面通过共用节点来模拟。钢管与混凝土的单元划分由计算机自动完成。钢管较薄,划分为单层单元,一根圆管共计80个单元,一块腹板共计20个单元;混凝土划

分为面积相差不大的单元,一根圆管内的混凝土共计 1 186 个单元,一个腹腔内的混凝土共计 280 单元。

文献[2]在建立有限元模型时,作了如下简化:当一管内混凝土达到要求强度,即混凝土和钢管粘结形成整体共同受力后,而将腹板简化成在固定支座上。

上述的简化,夸大了钢管对腹板相交处的约束,可能使计算结果与实际有较大的出入,因此,笔者未采用这种简化模型,分析时始终采用包含两根圆管和两块腹板的全截面模型。本文和文献[2]的有限元模型见图 3、4。文献[2]仅进行了工况 1-2 和工况 2-3 的分析,其他工况未进行分析,因此,图 3 中仅有本文的计算模型,图 4 中仅工况 1-2 和工况 2-3 有文献[2]的计算模型。

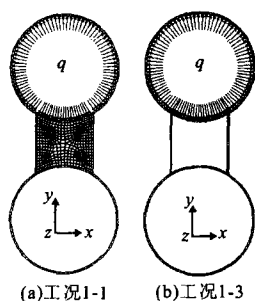


图 3 灌管内混凝土计算模型

Fig. 3 Calculation model for concrete filling into steel tube

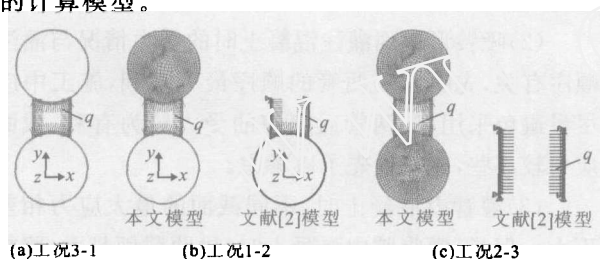


图 4 灌腹腔内混凝土计算模型

Fig. 4 Calculation model for concrete filling into web space

3 计算结果与分析

3.1 计算结果

图 5、6 给出了应用本文的计算模型对算例 1 计算的最大应力及变形图。算例 2 的变形图及最大应力发生位置与算例 1 完全相同,只是最大应力值有所差别。最大应力值见表 1。

3.2 不同工况

从表 1 的最大应力看:灌腹腔混凝土时截面的最大应力远大于灌管内混凝土时的截面最大应力。从图 5、6 可以看出:5 种工况中最大应力均发生在钢管与腹板的相交处。而这个地方由于交角较小,焊缝质量不易保证并且也较难检查,加上加工时通常是上下两管先弯曲成型再焊接腹板,因此,腹板与钢管相交处有较大的残余应力。因此,哑铃形截面灌注拱肋混凝土时,容易在腹板与钢管相交处开裂,引发工程事故,尤其是在灌腹腔混凝土时。

表 1 各工况下的截面最大应力

Tab. 1 Maximum stress in cross-section in different cases

工 况		算例 1		算例 2	
		本文	文献[2]	本文	文献[2]
灌 管	工况 1-1	37.3q		56.3q	
	工况 3-2	39.5q		59.5q	
灌 腹 腔	工况 3-1	563.8q		1 561q	
	工况 1-2	574.6q	1 552q	1 569q	3 324q
	工况 2-3	456.7q	1 370q	1 512q	3 070q

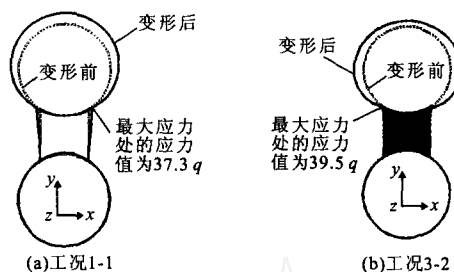


图 5 灌管内混凝土时的计算结果

Fig. 5 Calculation results for concrete filling into steel tube

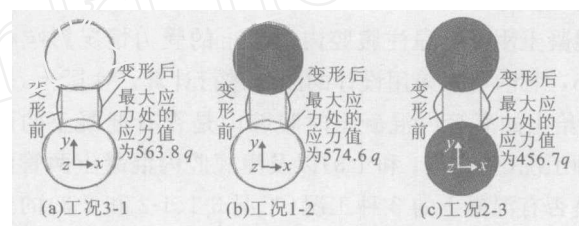


图 6 灌腹腔内混凝土时的计算结果

Fig. 6 Calculation results for concrete filling into web space

灌管内混凝土时,圆管承受均布压力,钢管截面以受拉为主,较小的弯矩主要由于腹板处的约束而产生,工况 1-3 由于腹腔内灌有混凝土,因此使这种约束刚度加大,所以工况 1-3 产生的最大应力稍大于工况 1-1 产生的最大应力。灌腹腔混凝土时,腹板产生较大的弯矩,使截面的应力较大。在灌注腹腔内混凝土的 3 种工况中,工况 2-3 的最大应力最小,而且钢管内已有混凝土,不会使钢管产生内凹变形,因此是灌注腹腔混凝土最好的工况。所以,在 3 种灌注拱肋混凝土的顺序中,第二种施工顺序,即先灌注两管最后灌注腹腔混凝土是哑铃形拱肋灌注拱肋混凝土最好的方案。而第三种施工顺序,即先灌注腹腔后灌注两管混凝土,截面的受力最为不利,施工中应尽可能避免采用。

3.3 不同计算模型

采用文献[2]的模型计算所得的最大应力也都发生在钢管与腹板的相交处,其变形也基本相同。然而,从表 1 可以看出:文献[2]的简化模型使钢管和腹板连接处的约束刚度加大,应力集中现象更加

突出,计算的最大应力远大于本文的计算结果。当然,本文的模型由于更接近于实际结构受力情况,其建模与计算较为费时,然而在目前的计算条件下困难不是很大,因此在分析时宜于采用。

3.4 不同拱肋截面

比较表 1 中两个算例的最大应力可以看出,灌管内混凝土时,不同截面的最大应力相差不大。但是,灌腹腔内混凝土时,拱肋截面越大,腹板高度越高,截面受力越不利,因此其施工问题更应引起注意。

3.5 混凝土刚度

以上计算中,混凝土的刚度均取混凝土达到强度后所对应的刚度值,而实际施工中,为了缩短工期往往在前一工况灌注的混凝土尚未达到设计强度就开始下一工况的施工,而混凝土的刚度是随着强度的增长而增长的,因此,混凝土的弹模不能取设计的弹模。为考察混凝土刚度对截面受力计算结果的影响,笔者对工况 1-2 和工况 2-3 已灌注的管内混凝土刚度的不同取值进行了计算。计算结果见表 2。由表 2 可知:混凝土刚度对灌注腹腔内混凝土的受力情况影响很小,因此,可以采用设计的刚度进行计算。实际上,表 1 给出的灌管内混凝土时腹腔内是否有混凝土的两种工况(工况 1-1 和 1-3)以及灌腹腔内混凝土两管内是否有混凝土的 3 种工况(工况 3-1、1-2 和 2-3)的最大应力不是相差很大,也可以说明已灌混凝土的刚度取值对截面最大应力的计算结果影响不大。

表 2 管内混凝土刚度取值对截面受力情况的影响

Tab. 2 Influence of stiffness value of concrete in steel tube to stresses of cross-section

工 况	管内混凝土实际强度/ 管内混凝土设计强度	最大应力值
工况 1-2	—管 0%	569.3 q
	—管 50%	572.3 q
	—管 100%	574.6 q
工况 2-3	—管 0%,另一管 0%	569.3 q
	—管 0%,另一管 50%	572.3 q
	—管 0%,另一管 100%	574.6 q
	—管 50%,另一管 50%	463.2 q
	—管 50%,另一管 100%	466.5 q
	—管 100%,另一管 100%	456.7 q

3.6 截面受力

以算例 1 为例,当施工中采用受力最有利的施工顺序二时,在灌注腹腔内混凝土时产生的最大应力值为 456.7q,为了保证腹板和钢管处的最大应力值不超过 Q345 钢的屈服强度,q 必须小于 0.76 MPa。而采用泵送混凝土方法施工时,压力太小则无法将混凝土

泵送到设计的高度。在文献[2]分析的实例中,在灌注腹腔内混凝土时,当泵送混凝土压力约为 0.9 MPa 时,钢管与腹板的连接处就出现开裂现象。如果在算例 1 中灌注腹腔内混凝土时采用分腔、人工灌注的方法,此时没有泵送压力,但需考虑新鲜混凝土的静水压力,取混凝土的容重 γ 为 2.5 kN/m³,为了使得 q 小于 0.76 MPa,灌注高度必须小于 3.04 m。因此,施工将变得非常复杂。因此,为防止哑铃形钢管混凝土拱肋在灌注腹腔内混凝土时出现爆管事故,还应在拱肋结构上采取构造措施,如采用对拉杆和型钢加劲。文献[2]对采用拉杆后的截面受力表明,拉杆可以大大减小灌注腹腔内混凝土时的截面受力。实际施工时,常常是既采用构造措施又采用分腔灌注的方法,以确保施工的安全与质量。

4 结 语

(1)哑铃形截面在灌注腹腔混凝土时,钢管与腹板交接处将产生很大的应力,容易引发爆管事故,应引起工程界的注意。

(2)哑铃形截面灌注混凝土时的受力情况与灌注顺序有关,先腹腔后两管的顺序最为不利,施工中应尽量避免采用;先两管后腹腔的受力较为有利,截面应力较小些,建议优先予以考虑。

(3)灌管内混凝土时,不同截面的最大应力相差不大。但是,灌腹腔内混凝土时,拱肋截面越大,腹板高度越高,截面受力越不利。

(4)分析灌注混凝土时哑铃形拱肋截面的受力,采用文献[2]的简化计算模型将使计算应力偏大,建议采用本文模型。

(5)哑铃形截面灌注腹腔内混凝土时,管内混凝土的刚度取值对截面最大应力的计算结果影响较小,可以采用设计刚度进行计算。

(6)对于腹腔内灌注混凝土的哑铃形拱肋,建议采用拉杆或型钢加劲腹板,并采用分腔灌注,以改善施工受力,避免爆管事故的发生。

参考文献:

- [1] 李志能. 佛陈大桥设计施工及施工过程的监测[J]. 中南公路工程, 1994, 20(4): 42—45.
- [2] 秦 荣, 谢肖礼, 彭文立, 等. 钢管混凝土拱桥钢管开裂事故分析[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 74—77.
- [3] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集(一)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.