

# 空心薄壁桥墩钻孔后局部应力分析

田学民<sup>1</sup> 陈兴冲<sup>2</sup> 王春芬<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学土木工程学院 成都 610031; 2. 兰州铁道学院土木工程学院 兰州 730070)

**摘 要** 对既有桥梁做工程检测时,有时需在桥墩壁上钻孔以便搭设工作平台。对于空心薄壁墩,钻孔较多可能会对墩截面造成局部削弱,结构安全性及工作性能受到影响。运用有限元法对墩壁钻孔后的平面应力进行了弹性分析,按离散裂缝模式对孔周局部损伤作了分析,得出结论,为类似工程提供参考。

**关键词** 铁路桥 空心薄壁墩 钻孔 局部应力

## 1 概述

近年来,对既有桥梁工程进行检测和评估引起了工程界人士的重视。在对高墩桥梁结构进行检测时有时需在桥墩上钻孔搭设工作平台。当桥墩是薄壁空心墩时,这种开孔可能会对截面造成较大的削弱。截面削弱后结构的工作性能是否受到影响,需通过计算分析确定。本文以高 39 m 的颍河六号桥 2<sup>#</sup> 薄壁空心墩为例,分析薄壁空心墩开孔后在各种荷载组合下结构的受力性能,讨论结构的安全性。

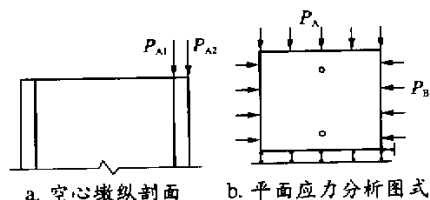
颍河六号桥 2<sup>#</sup> 墩内壁因开孔引起局部损伤,是具有明确几何边界的宏观裂纹问题。本文通过对孔周及裂纹前沿做应力、应变和位移分析,对裂纹的扩展和结构的安全性进行了预测。分析时把分布于材料内部的损伤演变并发展成为确定几何尺寸的宏观裂纹,研究桥墩开孔前后在各种使用荷载作用下的静力学性能。通过对裂纹开展长度及宽度的讨论,确定了桥墩在技术改造后的安全性。

## 2 应力分析

### 2.1 计算图式

颍河 6 号桥 2<sup>#</sup> 墩高 39 m,是变截面圆端形混凝土空心桥墩,混凝土强度等级 C18, C18 混凝土  $R_a$ 、 $R_l$  分别为 14 MPa、1.6 MPa,取弹性模量  $E = 2.7 \times 10^4$  MPa,泊松比  $\mu = 1/6$ 。安装检查板支架时开孔部位距帽托盘及桥墩底部实体段的高度大于边界

干扰局部应力的影响长度 3.74 m,基本不受固端干扰力的影响。分析表明,最下一排孔周围应力是所有 6 排孔中最大的,这一排孔处于最不利截面,所以取最下一排锚固孔位进行讨论。每排 16 个孔,空心墩矩形段孔间距 0.95 m,圆端部分每 30° 设置一个孔,圆孔直径 2.2 cm,竖向孔距 40 cm。由于孔径很小,可选取无限大平面中有圆孔的平面 8 节点单元弹性力学图式进行计算,板高取 0.8 m,板宽取 0.95 m。计算图式见图 1。计算过程中,比较了 4 m × 4 m 平面单元,发现边界对孔局部应力值的影响不大。



$P_{A1}$  为墩壁外侧应力,  $P_{A2}$  为墩壁内侧应力;  $P_A$  为墩壁竖向应力,  $P_B$  为墩壁侧向应力

图 1 计算图式

### 2.2 荷载组合

荷载组合分别考虑纵、横两个方向的最不利情况。荷载组合计算值见表 1。

应力检算点的位置如图 2 所示。

### 2.3 局部弹性应力分析

2<sup>#</sup> 墩开孔孔径远,较所取平板的几何尺寸小,按照上述选取的计算图式,孔径由小到大变化,支架锚固螺栓的孔距由大到小变化,运用平面应力问题

表 1 最不利荷载组合的荷载计算值 MPa

荷 载 组 合	$P_A$	$P_B$
组合 1 (双重 + 制动力 + 纵风 + 日照温差)	- 2.944	- 0.987
组合 2 (双重 + 离心力 + 横风 + 日照温差)	- 1.644	0.134
组合 3 (双重 + 离心力 + 横风)	- 1.749	0

注 (1) 组合 1 是最大压应力组合, 组合 2 是最大拉应力组合, 组合 3 是常温施工时的内力组合 (2) “+”为拉, “-”为压 (3) 离心力按车速 70 km/h 计算 (4) 日照温差取 5℃ 计算

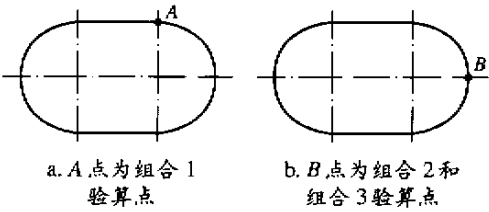


图 2 应力检算点位置

的有限元法对开孔后的平板进行了弹性应力分析。计算结果见表 2、表 3。

表 2 孔径变化对应力的影响 (孔间距 40 cm)

内容	荷载组合 1			荷载组合 2		
	孔径 2.2 cm	孔径 6 cm	孔径 10 cm	孔径 2.2 cm	孔径 6 cm	孔径 10 cm
最大压应力/MPa	- 7.862	- 8.212	- 8.155	- 5.107	- 5.366	- 5.292
最大拉应力/MPa	0.692	0.711	0.567	2.073	2.407	2.134

表 3 上下两孔间距变化对应力的影响 (孔径 2.2 cm)

内容	荷载组合 1				荷载组合 2			
	孔距 50 cm	孔距 40 cm	孔距 30 cm	孔距 20 cm	孔距 50 cm	孔距 40 cm	孔距 30 cm	孔距 20 cm
最大压应力/MPa	- 7.696	- 7.862	- 7.847	- 7.601	- 5.725	- 5.107	- 5.226	- 5.022
最大拉应力/MPa	0.745	0.692	0.646	0.693	1.876	2.073	2.073	2.011

从表 2 及表 3 可得应力验算结论: 按荷载组合 1 计算所得的最大拉、压应力均小于混凝土的抗拉、抗压强度, 在此荷载组合下, 孔周围不会造成大的损伤。按荷载组合 2 计算所得最大压应力小于混凝土的抗压强度, 不会产生压碎现象, 但最大拉应力已超过混凝土的抗拉强度, 可能会在孔的上下缘产生竖向裂缝, 应进一步进行开裂后的应力分析。

2.4 开裂后的应力分析

混凝土的抗拉强度低, 在较小的拉应力作用下就会出现裂缝, 混凝土开裂是钢筋混凝土结构的最主要非线性特征之一。

在钢筋混凝土结构的有限元分析中, 常用的裂缝模型有分布裂缝模型、离散裂缝模型、断裂力学模型。我们主要研究孔周围的受拉裂缝, 故采用离散裂缝模型。模拟方法是沿着预定的裂缝, 将同一几何坐标点分为 2 个节点, 即所谓双节点法。在裂缝形式上, 取单独裂缝模型进行研究, 这种沿单元边界形成的单独裂缝模型具有简单且概念明确的优点。如果研究结构物的主裂缝影响, 这种模型是最合理的, 它表达了应变的非连续性, 其结果更接近真实情况。特别是研究已知裂缝分布的某些构件混凝土的局部应力问题, 优点更为突出。

离散裂缝模式裂缝位置示于图 3, 开裂后的应力分析结果列于表 4 和表 5。

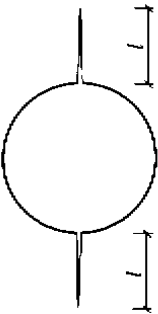


图 3 孔边开裂图式 (l 为裂缝长度)

表 4 开裂后的应力分析 (荷载组合 2)

裂缝长度 l/mm	5	10	20	40
最大拉应力/MPa	2.581	1.948	1.906	1.304
最大压应力/MPa	- 5.103	- 5.112	- 5.056	- 4.930

表 5 开裂后的应力分析 (荷载组合 3)

裂缝长度 l/mm	0	10	20
最大拉应力/MPa	1.801	0.993	0.399
最大压应力/MPa	- 5.305	- 5.405	- 5.401

注: l 为 0 时是未开裂时的状态, 此时弹性力学数值解: 最大拉应力 1.749 MPa, 最大压应力为 - 5.247 MPa, 与所求数值非常接近

计算结果表明, 开裂后拉应力将得到释放。在荷载组合 2 作用下, 当裂缝延伸至 40 mm 时, 最大拉应力已小于混凝土的抗拉极限强度, 裂缝停止发展, 最大裂缝宽度仅为 0.002 mm, 不需灌浆修复; 在荷载组合 3 作用下, 裂缝长度不到 10 mm, 最大裂缝宽度小于 0.002 mm, 也不需灌浆修复。经过以上分析可见, 开孔直径取 2.2 cm, 孔间距取 40 cm 是可行的。

# 防渗地下连续墙在黄草乌江大桥 3<sup>#</sup> 墩基础施工中的应用

秦文强<sup>1</sup> 蔡维放<sup>1</sup> 杜玉波<sup>1</sup> 吴焕通<sup>2</sup>

(中铁十三局集团第一工程有限公司 大连 116033)

**摘 要** 黄草乌江大桥 3<sup>#</sup> 墩承台基础需开挖的部分岩石位于乌江水中,经研究采取筑岛方案进行承台基础施工。详细介绍了压浆固结技术在岛面与乌江水相通情况下形成防渗地下连续墙的应用情况。

**关键词** 承台基础 地下连续墙 注浆

## 1 工程概况

渝怀铁路第 14 标段的黄草乌江大桥位于四川省武隆县,是渝怀铁路上一座复杂大桥。桥梁全长 410.65 m,桥跨布置为 1×32 m 预应力钢筋混凝土简支梁+(96 m+168 m+96 m)预应力钢筋混凝土连续刚构梁。跨越乌江的黄草乌江大桥墩身高 56 m,位于乌江边的 3<sup>#</sup> 墩设计为钻孔桩承台基础,地处高山峡谷中,地质条件为石英砂岩、页岩、页岩夹砂岩,岩石硬度为 120 MPa,软硬互层,软岩厚度为 0.3~0.6 m。由于 3<sup>#</sup> 墩承台基础施工需开挖岩石,靠山侧约占开挖总量的 75%,靠乌江侧落入乌

江中约占开挖总量的 25%,如图 1 所示。施工采取筑岛方案,筑岛材料用开挖桩基础弃渣(砂岩及页岩)。由于乌江水暴涨暴落,冲刷大,边回填边冲刷,筑岛空隙率约为 30%~40%,弃渣中粉尘及小颗粒均被冲走,造成了岛面与江水相通。

## 2 工期要求

黄草乌江大桥 3<sup>#</sup> 墩地处乌江水系,汇水面积大,水位高差为 36.09 m,3<sup>#</sup> 墩基础设计要求枯水季节完成。如果 2002 年 3 月初 3<sup>#</sup> 墩高墩施工不出洪水线,则工期将推迟 1 年,因此 3<sup>#</sup> 墩承台施工必须在 2002 年 2 月中旬完成,工期十分紧张。

## 3 方案比选

由于承台基础为砂岩、页岩,硬度较硬,钢套筒

混凝土截面进行的。若考虑钢筋的影响,则裂缝长度将减小。为安全起见,钻孔后应尽快安装定位锚栓并灌浆封填。

(4)在无车时开孔,孔周围局部应力集中与孔周裂缝会小,桥墩损伤也小,建议开孔工作应选在无车时进行。

### 参考文献

- 徐芝纶.弹性力学.北京:高等教育出版社,1986
- Bazant Z P. 钢筋混凝土有限元法分析.南京:河海大学出版社,1998

收稿日期 2002-01-28  
第一作者简介:秦文强,男,工程师。1995 年毕业于上海铁道大学铁道工程专业

## 3 结论与建议

(1)对受力状态下的墩壁开孔,孔周附近将发生应力集中现象,这种应力集中现象径向延伸到 3 倍孔径之外,影响不到的部分和未开孔前应力状态基本相同。

(2)桥墩壁钻孔时,如果钻孔形状不规则,孔附近应力集中现象会加剧,施工时应注意。

(3)在不同的荷载组合下,裂缝的宽度和长度有所不同,但裂缝的宽度均很小,不会对结构的整体受力产生显著影响。

需要指出,孔壁开裂后的局部应力分析是按素