

Ω 型无缝接合件的设计与应用

祝文琴, 王凤才

江阴职业技术学院机电工程系, 江苏江阴 214405

[摘要] 针对现有国内外公路桥梁伸缩缝接合件的局限性, 研制了一种新颖实用、性能优越的 Ω 型承重封闭式弹性接合件 (简称 Ω 型无缝接合件)。阐述了 Ω 型无缝接合件的结构组成与工作原理, 分析了在环境温度变化下接合件的受力、应力及其变形情况, 并以此提出设计无缝接合件的计算方法。最后, 介绍了无缝接合件的拓展应用。

[关键词] 各向异性; 热胀冷缩; 补偿; 变形; 应力

[中图分类号] U443.31

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)15-0027-04

Design and Application of the Ω Type Junction Workpiece Without Slot

ZHU Wenqin, WANG Fengcai

Department of Mechanical and Electronical Engineering, Jiangyin Polytechnic College, Jiangyin 214405, Jiangsu Province, China

Abstract: In view of the drawbacks of the existing highway bridge expansion joint, this paper proposes a kind of the Ω type spandrel elastic junction workpiece, with novel design and good performance. The structure and working principle of the joint are presented. The force, stress and deformation are analyzed under the circumstances with temperature variations. The calculation method of the junction workpiece without slot and its extended application are discussed.

Key Words: anisotropy; expand when hot and contract when cold; compensation; deformation; stress

CLC Number: U443.31

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)15-0027-04

0 引言

公路桥梁的大梁结合处, 因热胀冷缩物理现象, 需要留有一定的伸缩缝。这种伸缩缝的大小是根据大梁的跨距、环境温差、材料热膨胀系数等因素综合考虑后设计预留的, 在伸缩缝处应安装接合件。现在, 国内外所使用的较先进的伸缩缝接合件是钢质护板接合件, 取代了原先较落后的齿形钢板或角铁式接合件。但是, 这些接合件是伸缩缝有缝接合件, 存在许多无法弥补的缺陷, 例如不能将伸缩缝接合处全封闭, 雨水、杂物易从缝隙中下落, 破坏环境; 接合处路面仍不很平滑, 车辆经过时会引起颠簸; 经常损坏, 维护修理困难; 在铺路机浇注沥青路面时要避开缝隙, 路面施工困难等等。根据国内外发展的趋势, 伸缩缝接合技术应朝着使

接合处缝隙全封闭、路面全平滑、施工更方便、寿命比较长的方向发展, 即急需发展无缝式伸缩缝接合件。

美国等西方国家于 20 世纪 90 年代末研制了悬臂式无缝伸缩缝接合件, 由于最终未解决伸缩缝接合处路面裂缝问题, 这种悬臂式接合件未能得到推广。

作者研制的路桥伸缩缝 Ω 型无缝接合件^[1], 是一种对桥梁伸缩缝实行全封闭安装、使伸缩缝接合处能平滑、长寿命、施工及维修方便的接合件。具体讲有以下特点: ① 能完全实现伸缩缝无缝; ② 能满足一切公路的各种复杂路面、高要求路面伸缩缝的接合技术; ③ 能实现伸缩缝接合处平滑、长命; ④ 能将产品开发应用到隧道、机场、高层建筑、水库拦河坝等工程伸缩缝接合处。该项目获得了国家发明专利^[2]。

收稿日期: 2007-03-12

作者简介: 祝文琴, 江苏省江阴市锡澄路 168 号江阴职业技术学院机电工程系, 助教, 研究方向为力学应用;

E-mail: wangfc2222@126.com

王凤才 (通讯作者), 江苏省江阴市锡澄路 168 号江阴职业技术学院机电工程系, 教授, 研究方向为力学应用;

E-mail: wangfc2222@126.com

1 Ω 型无缝接合件结构设计

Ω 型无缝接合件,其横截面形状如 Ω ,见图 1。它由中间单拱体 1 和两侧的连接件 2 组成。单拱体 1 上开设有一定数量的轴向与环向窄缝,并按一定设计要求连通。单拱体外径按桥梁伸缩缝预留间隙大小的要求设计。连接件 2 选用与单拱体 1 材料、壁厚相同的平板,最后将件 1 与件 2 焊接。也可直接拉制成 Ω 型。

Ω 型无缝接合件性能特点是受力呈各向异性状态,即接合件在水平方向变形抗力较小,易伸缩变形,在铅垂方向几乎是刚性,能承受较大的压力。

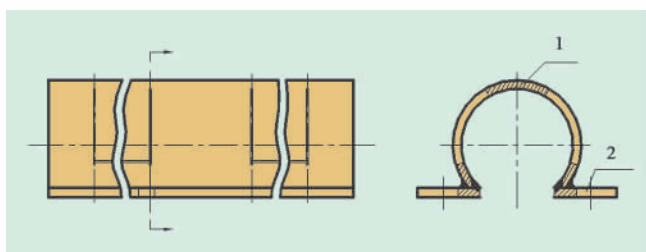


图 1 Ω 型无缝伸缩缝结构

注:1—单拱体;2—连接件

Fig. 1 Joint workpiece structure

Notes: 1: single arch body; 2: bridge piece

2 Ω 型无缝接合件工作原理

图 2 是 Ω 型无缝接合件的安装简图。桥梁的两大梁 4 分左右搁置在桥墩 5 上,一端的下底面固定,另一端下底面自由,可沿水平方向移动。两梁之间留有伸缩缝,将 Ω 型无缝接合件 2 横跨伸缩缝,牢固结于左右两边大梁端部,在其上方铺设沥青路面。当桥梁受环境升温影响,大梁要胀长,其端部沿水平方向移动,向伸缩缝间隙挤压,缝隙变小,使单拱体变形,直径变小(称闭合移动),以此满足大梁伸长变形的要求。在路面上,沥青受热伸胀,体积变大,这可由单拱体直径变小

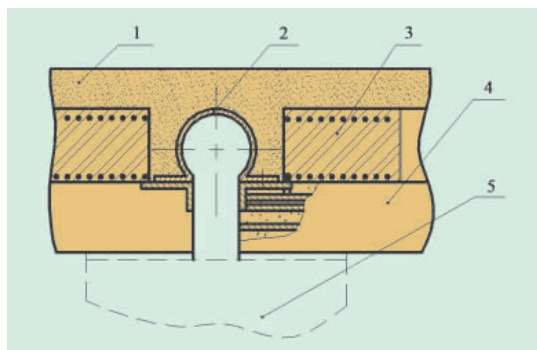


图 2 安装简图

注:1—沥青;2— Ω 型无缝伸缩缝;3—桥面板;4—大梁;5—桥墩

Fig. 2 Installation diagram

Notes: 1: asphalt; 2: Ω type jointion workpiece; 3: kneading board;

4: summer beam; 5: bridge pier

的缩小空间补偿,沥青路面不会产生裂缝或隆起。

当环境降温时,大梁要缩短,伸缩缝缝隙变大,单拱体发生张开移动,满足大梁缩短的变形要求。同样,沥青路面收缩的体积可由单拱体直径变大后增大的体积来补偿,使路面沥青不易产生横向裂缝,保证了伸缩缝处的路面质量完好。 Ω 型无缝接合件单拱体自身发生张开或闭合移动,给予伸缩缝处路面沥青以体积补偿,是沥青路面不易产生横向裂缝的基本原因。

3 Ω 型无缝接合件力学性能与设计

3.1 受力与应力分析

图 3 是受大梁挤压力和路面等分布载荷时的 Ω 型无缝接合件截面受力模型。

假设接合件长度为 b ,单拱体豁口宽为 a ,受到的分布载荷为 q 、挤压力为 p 、约束反力为 N_A, N_B 。

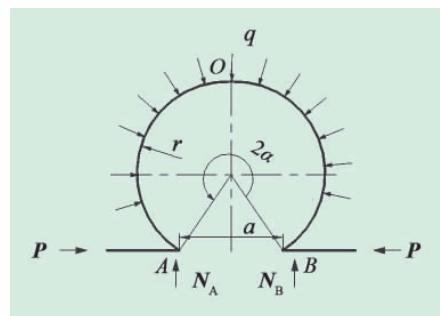


图 3 受力模型

Fig. 3 Free-body diagram

由于 Ω 型无缝接合件结构对称,单拱体危险截面发生在其顶部 O 处,该处矩形截面的上、下两底弯曲应力最大,而剪力为零。为简单起见,在研究 O 截面处的弯曲应力时,由于挤压分布力 q 对其影响较小,略去不计,仅考虑力 p 作用。在研究单拱体的稳定性时,由于 A, B 两端固支,力 p 对其影响很小,仅考虑分布力 q 的作用。

O 截面图形如图 4。

忽略 q 作用时,则有如下特性。

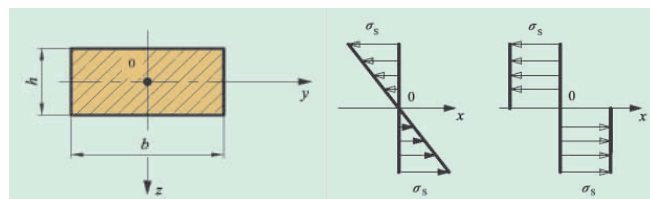


图 4 O 截面图形

Fig. 4 O section

图 5 O 截面正应力分布

Fig. 5 Stress distribution in O section

1) O 横截面上弹性状态最大弯矩 M_s 为^[3]

$$M_0 = M_s = \sigma_s W = \sigma_s b h^2 / 6 \quad (1)$$

式中 σ_s 为材料的屈服应力。

2) 当力 p 较大, 单拱体 O 截面上呈理想刚塑性或理想弹塑性状态, 根据弹塑性理论^[4], 该处极限弯矩 M_T 为

$$M_0 = M_T = \sigma_s b h^2 / 4 \quad (2)$$

图 5(a) 与图 5(b) 分别为 O 截面上最大弹性状态和理想刚塑性状态时的应力分布情况。

设计接合件单拱体时, 要求 $M_T \approx PL \geq \sigma_s b h^2 / 4$, 即要求壁厚

$$h \leq \sqrt{4PL} / b \sigma_s = 2\sqrt{PL} / b \sigma_s \quad (3)$$

上式表明, 接合件设计壁厚与构件所受压力、单拱体高度 L 、接合件长度 b 和材料屈服极限 σ_s 有关。

3.2 变形分析

1) 半单拱体受力见图 6, 当单拱体 O 截面处于弹性状态 $M \leq M_s$ 时, 用能量法计算 A 端挠度^[5]。

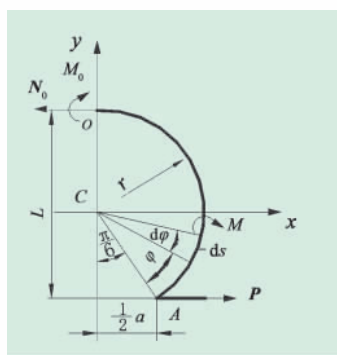


图 6 简化的半单拱体力学模型

Fig. 6 Mechanical model of simplified half single arch body

忽略剪力、轴力引起的较小变形能, 仅考虑由弯矩引起的变形能。

$$M(\varphi) = pr \left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{6} \right) \right]$$

A 点的挠度(位移)为

$$\omega = \int_s \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial P} ds = 0.603 p L^3 / EI = 1.206 \sigma_s L^2 / Eh \quad (4)$$

2) 当接合件单拱体 O 截面处在极限应力 σ_s 时, 发生弹塑性变形, A 点的挠度可利用有限元来分析。

在 MARC 有限元软件中, 建立构件模型并对其受力过程进行了数值模拟^[6]。

图 7 是 Ω 型接合件单元划分后的网格图。

根据图 2 的实际安装情况和图 3 的力学模型, 在 MARC 软件中设置如图 8 的有限元结构受力边界条件。

Apply 1 为限制 Ω 型接合件一端在 x, y, z 方向的移动, 相当于实际中的一端的下底固定。

Apply 2 为限制 Ω 型接合件另一端在 y 方向上的移动, 相当于另一端下底面设有滚轮。

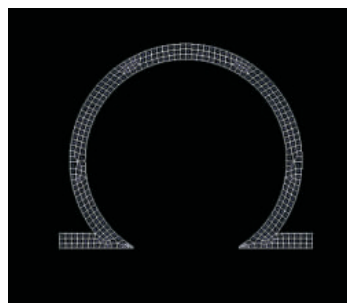


图 7 接合件网格图

Fig. 7 Grids chart of junction workpiece

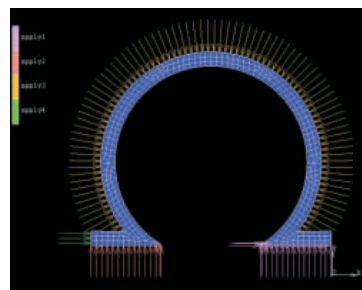


图 8 有限元结构受力图

Fig. 8 Free-body diagram of finite element

Apply 3 为单拱体所承受的分布压力 q_0 。

Apply 4 为接合件没有固定的一端在 x 方向受到的阻力, 即大梁对接合件的水平压力 P 。

本算例采用 Newton-Raphsonsun 算法, 每次迭代需重新形成切线刚度矩阵, 收敛较快, 适用于高度非线性问题。如给定具体参数输入, 即可得到计算结果。

例如, 材料参数为: 材料的弹性模量 $E=210 \times 10^9$ Pa, 其屈服应力 $\sigma_s=320$ MPa, 泊松比为 0.3, 设 $D=160$ mm, $h=12$ mm, $P=4\ 608$ N 时(忽略 q 作用), 得到活动支点的位移图形, 见图 9。

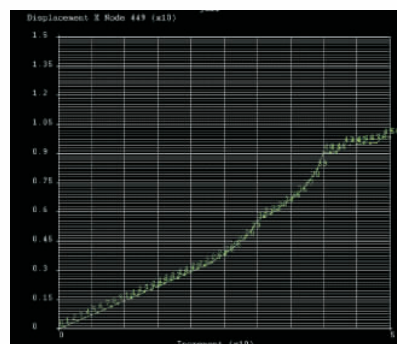


图 9 位移图形

Fig. 9 Displacements

分析图 9 可知, 位移随载荷的增加而增加, 当材料接近屈服时, 位移增加较快, 后端曲线出现材料强化现象。

3) 如果伸缩缝要求接合件变形更大, 有两种途径

实现, 要么单拱体 O 截面周围部分区域发生全塑性变形, 要么选用内径较大的单拱体。实践证明, 这两种途径都是可行的。

3.3 稳定计算

当单拱体受较大分布载荷 q 时, 设计时应考虑失稳问题^[7]。一般地, 两边固支的无铰拱易发生反对称失稳。

如图 3, 当 Ω 型接合件 A, B 两端固支, 拱半径为 r , 圆心角为 2α , 壁厚为 h , 长为 b , 其临界分布压力 p_c 为^[8]

$$p_c = EI(k^2 - 1)/r^3 \quad (5)$$

式中, E 为接合件材料的弹性模量, I 为接合件 O 截面的惯性矩, k 可从手册查得^[8]。

公路伸缩缝处最大分布压力 $q_{\max}$ 应符合下列条件

$$q_{\max} \leq [p_c] = p/n \quad (6)$$

式中 n 为稳定安全系数, 一般取 $n=3\sim 5$ 。式(6)在实际工程中只作为稳定性校核。

3.4 算例

如图 3 所示, 某种规格的 Ω 型接合件, 单拱体直径 $D=2r=160$ mm, 长度 $b=1000$ mm, 壁厚 $h=12$ mm, 惯性矩 $I=0.9\times 10^{-9}$ m⁴, 材料的弹性模量 $E=210\times 10^9$ Pa, 其屈服应力 $\sigma_s=320$ MPa。自由状态时, $AB=80$ mm, 即 $\alpha=150^\circ$, A, B 两边焊接固支, 求解当接合件两侧连接件受拉、单拱体处于极限状态时所受的拉力 p , 以及此时 A, B 间的位移 ω , 并当分布载荷 $q_{\max}=120$ kN/m, 稳定安全系数 $n=5$ 时, 校核其稳定性。

解: 1) $L=80(1+\sqrt{3}/2)\approx 150$ mm

在弹塑性极限状态下, 由式(2)得

$$p = \sigma_s b h^2 / 4 = 4608 \text{ N}$$

2) 在此极限载荷下, 由图 9 得出 A 点挠度为

$$[\omega]_1 = 9.80 \text{ mm}$$

3) 稳定性校核。

查手册, 当 $\alpha=150^\circ$ 时, $k=2.16$ 。

由式(5)得

$$p_c = EI(k^2 - 1)/r^3 = 210 \times 10^9 \times 0.9 \times 10^{-9} \times (2.16^2 - 1) / 0.08^3 = 1350 \text{ kN/m}$$

由式(6)得

$$[p_c] = p/n = 1350/5 = 270 \text{ kN/m} > q_{\max} = 120 \text{ kN/m}$$

由此可见, 所设计的 Ω 型接合件能承受外载荷的压力, 保持稳定。

4 结论

Ω 型无缝接合件除了广泛使用在公路桥梁上外, 还可应用到其他各种场合, 凡是需考虑热胀冷缩要留有伸缩缝的地方, 均可考虑使用。例如, 高层双子楼的接合部、中低建筑楼与楼之间的接合处, 使用 Ω 型无缝接合件后, 能够解决楼与楼之间的热胀冷缩、间隙防漏问题, 还具备吸能抗震作用; 又如, 拱形隧道、拦河大坝等使用 Ω 型无缝接合件后, 既可解决建筑物结构之间

的伸缩问题, 又可解决接合缝处的渗漏, 还具有增强建筑结构强度和吸能抗震作用, 减轻地震等灾害对建筑物的破坏影响。当然, Ω 型无缝接合件也可使用在机场跑道、大型机械、舰船等处, 将使其伸缩问题趋于简单而能解决。

上面介绍了 Ω 型接合件的结构、工作原理和设计计算。由于该产品结构新颖、设计与制造工艺不太复杂, 且成本较低、非常实用、使用性能优越, 将会得到广泛的应用。

参考文献 (References)

- [1] 王凤才, 祝文琴. Ω 型承重封闭式弹性接合件[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2006, 5(6): 708-710.
WANG Feng-cai, ZHU Wen-qin. Research on the mold spandrel confining elastic junction workpiece [J]. Journal of Southern Yangtze University (Natural Science Edition), 2006, 5(6): 708-710.
- [2] 江阴职工大学. 全封闭弹性接合件: 中国, ZL00112185.5[P]. 2003-10.
Jiangyin Vocational University. Whole-sealed elastic junction workpiece: China, ZL00112185.5[P]. 2003-10.
- [3] 哈尔滨工业大学材料力学教研组. 材料力学 [M]. 上册. 北京: 高等教育出版社, 1997: 200-250.
Mechanics of Materials Educational Research Group of Harbin Institute of Technology. Mechanics of Materials[M]. vol I. Beijing: Higher Education Press, 1997: 200-250.
- [4] 孔超群, 李康先. 塑性力学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1979: 139-158.
KONG Chaoqun, LI Kangxian. Plasticity [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 1979: 139-158.
- [5] 刘鸿文. 材料力学 [M]. 下册. 北京: 人民教育出版社, 1982: 1-24.
LIU Hongwen. Mechanics of Materials [M]. vol II. Peoples Education Press, 1982: 1-24.
- [6] 陈火红. MARC 有限元实例分析过程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
CHEN Huohong. The analysis process of MARC finite element's example [M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [7] 刘古岷, 张若晞, 张田申. 应用结构稳定计算 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 257-282.
LIU Gumin, ZHANG Ruoxi, ZHANG Tianshen. The calculation of applied structure [M]. Beijing: Science Press, 2004: 257-282.
- [8] 机械工程手册机电工程手册编委会. 机械工程师手册[M]. 第 4 篇. 北京: 机械工业出版社, 1992: 248-250.
Mechanical Engineering Handbook Compiles Committee. Mechanical engineer handbook [M]. vol IV. Beijing: China Machine Press, 1992: 248-250.

(责任编辑 齐志红)