



# 港口工程大跨度跨堤桁架弦杆拼接节点设计

王蔚, 吴旭旺, 朱勇兵

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 为保证港口工程大跨度桁架的结构安全, 根据高强度螺栓摩擦型连接的传力特点, 分析了全截面等强拼接的必要条件; 提出高强度螺栓摩擦型连接拼接节点的等强系数及其计算方法, 提出净截面系数不应大于等强系数的设计原则。

**关键词:** 等强拼接; 等强系数; 大圆孔; 净截面系数

中图分类号: TU 393.3; U 653

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0066-04

## Design of chord member connecting node on large-span striding-dike truss in port engineering

WANG Wei, WU Xu-wang, ZHU Yong-bing

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

**Abstract:** According to the force transmission characteristic of friction-type connection for the high-strength bolt, we analyzed the necessary conditions for the equal-strength connection of the whole section, and proposed the equal-strength coefficient for the friction-type connection node of high-strength bolt and the calculation method for the coefficient, and put forward the design principle that the net section coefficient should not be greater than the equal-strength coefficient to ensure the structural safety of the large-span truss in port engineering.

**Keywords:** equal-strength connection; equal-strength coefficient; large round hole; net section coefficient

港口工程输油管廊、皮带运输机栈桥在跨越大堤时, 常采用大跨度钢结构桁架作为主要传力体系(图1), 受型钢长度的限制, 大跨度桁架弦杆需设置拼接接头, 接头多采用高强度螺栓摩擦型连接(图2)。桁架下弦杆承受较大的拉力, 下弦杆的拼接节点至关重要, 根据 JGJ 82—2011《钢结构高强度螺栓连接技术规程》的规定, 桁架

下弦杆拼接接头宜按等强度原则进行设计。本文根据高强度螺栓摩擦型连接的传力特点, 分析全截面等强拼接的必要条件, 提出高强度螺栓摩擦型连接拼接节点的等强系数及其计算方法, 同时提出了在桁架结构整体计算中净截面系数不应大于等强系数的设计原则。

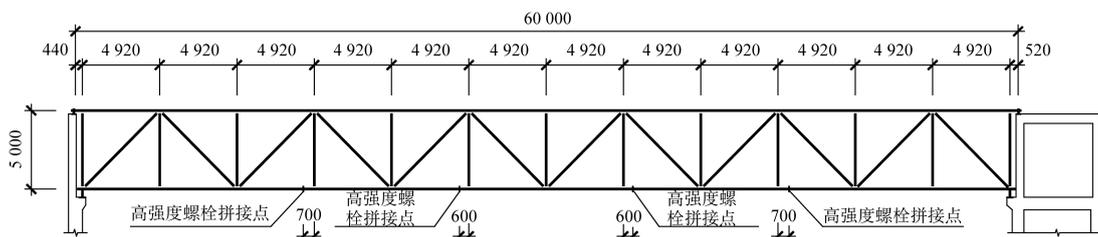


图1 某港口工程跨堤桁架立面 (单位: mm)

收稿日期: 2016-03-28

作者简介: 王蔚 (1961—), 男, 高级工程师, 从事港口建筑设计、管理工作。



### 3 高强度螺栓摩擦型连接拼接节点的等强系数

#### 3.1 等强系数的提出

为了衡量高强度螺栓摩擦型连接处的净截面承载力与构件全截面承载力的比值,本文引入了等强系数  $k_{eq}$ :

$$k_{eq} = \frac{N/A}{\left(1 - 0.5 \times \frac{n_1}{n}\right) \frac{N}{A_n}} = \frac{A_n}{\left(1 - 0.5 \times \frac{n_1}{n}\right) A} \quad (3)$$

当孔前传力与被螺栓孔削弱部分的承载力相等,即  $0.5 \times \frac{n_1}{n} N = (A - A_n) f$  时,  $k_{eq} = 1$ , 此时拼接节点的承载力与构件全截面承载力相等; 当  $0.5 \times \frac{n_1}{n} N < (A - A_n) f$  时,  $k_{eq} < 1$ , 拼接节点的承载力小于构件全截面的承载力。

#### 3.2 等强系数的确定

JGJ 82—2011《钢结构高强度螺栓连接技术规程》第 6.4.8 条规定: 安装高强度螺栓时, 严禁强行穿入。当不能自由穿入时, 该孔应用铰刀进行修整, 修整后孔的最大直径不应大于 1.2 倍螺栓直径, 且修孔数量不应超过该节点螺栓数量的 25%; 第 6.4.9 条规定: 按标准孔型设计的孔, 修整后孔的最大直径超过 1.2 倍直径或修孔数量超过该节点螺栓数量的 25% 时, 应经过设计单位同意<sup>[2]</sup>。

从上述两条规定可以得出: 当修整后孔的最大直径不大于 1.2 倍螺栓直径, 且修孔数量不超过该节点螺栓数量的 25% 时, 可不经设计单位同意, 也就是说规范允许在这种情况下不采取处理措施。对于承受较大拉力的桁架下弦杆拼接节点, 在设计时根据《钢结构高强度螺栓连接技术规程》第 6.4.8 条的规定考虑施工扩孔的不利影响是必要的。式(1)给出的等强系数  $k_{eq}$  的计算公式中, 没有考虑施工扩孔对净截面承载力的不利影响。

单个螺栓考虑施工扩孔时等强系数为

$$k'_{eq} = \frac{0.85 \times 0.5 N_v^b}{1.2 d f} \quad (4)$$

式中 0.85 为大圆孔系数。以 M20 螺栓为例,  $\frac{k'_{eq}}{k_{eq}} =$

0.78, 即 M20 高强度螺栓采用大圆孔时的等强系数是采用标准孔时等强系数的 78%。

当拼接节点螺栓总数  $n < 4$  时, 不允许施工扩孔, 设计时可不考虑大圆孔 ( $n_d = 0$ ); 当  $4 \leq n < 8$  时, 允许有 1 个扩孔, 设计应考虑 1 个大圆孔 ( $n_d = 1$ ); 当  $8 \leq n < 12$  时, 允许有 2 个扩孔, 设计应考虑 2 个大圆孔 ( $n_d = 2$ ); 当  $12 \leq n < 16$  时, 允许有 3 个扩孔, 设计应考虑 3 个大圆孔 ( $n_d = 3$ ), 依此类推。

因不能确定扩孔是否位于最危险截面, 在进行最危险截面的强度验算时, 偏安全地考虑大圆孔布置在最危险截面, 以大圆孔数量和危险截面螺栓数量的较小值作为危险截面的大圆孔数量加以考虑, 即  $n_{d1} = \min\{n_d, n_1\}$ , 此时等强系数为:

$$k_{eqd} = \frac{A_{nd}}{\left[1 - 0.5 \times \frac{0.85 n_{d1} + (n_1 - n_{d1})}{0.85 n_{d1} + (n - n_{d1})}\right] A} \quad (5)$$

本节以孔前传力与被螺栓孔削弱部分的承载力相等作为全截面等强连接的条件, 引入等强系数  $k_{eq}$  来衡量高强度螺栓摩擦型连接处净截面承载力与构件全截面承载力的比值, 并给出了计算公式。在施工过程中, 因种种原因, 扩孔问题时有发生, 考虑到《钢结构高强度螺栓连接技术规程》允许对螺栓孔进行修整, 修整后孔的最大直径不大于 1.2 倍螺栓直径, 且修孔数量不超过该节点螺栓数量的 25%, 在设计过程中应考虑施工扩孔对螺栓连接承载力的不利影响。

## 4 工程应用

某港口工程跨堤桁架跨度 60 m、高度 5 m, 上、下弦杆采用 HW400×400。桁架立面见图 1。该桁架下弦杆设 3 个拼接节点, 拼接节点见图 2。

### 4.1 腹板等强系数的确定

下弦杆为宽翼缘 H 型钢 HW400×400, 其腹板高 358 mm、厚 13 mm, 材质 Q345B, 单侧采用 9 个 10.9 级 M24 高强度螺栓连接, 行距 80 mm,

列距 80 mm。

当不考虑施工扩孔时,等强系数  $k_{eq}=0.9385$ 。

当考虑施工扩孔时,  $n=9$ ,  $n_d=2$ ,  $n_{d1}=\min\{2, 3\}=2$ , 等强系数  $k_{eqd}=0.836$ 。

对腹板来讲,考虑施工扩孔后,高强度螺栓连接的抗拉承载力为腹板全截面抗拉承载力的 0.836 倍,为保证结构安全,在整体结构计算中,净截面系数不应大于 0.836(取腹板和翼缘等强系数的较小值)。

#### 4.2 翼缘等强系数的确定

下弦杆为宽翼缘 H 型钢 HW400×400,其上翼缘宽 400 mm、厚 21 mm,材质 Q345B,单侧采用 12 个 10.9 级 M27 高强度螺栓连接,列距 65 mm。

当不考虑施工扩孔时,等强系数  $k_{eq}=0.9273$ 。

当考虑施工扩孔时,  $n=12$ ,  $n_d=2$ ,  $n_{d1}=\min\{2, 2\}=2$ , 等强系数  $k_{eqd}=0.890$ 。

对上翼缘来讲,考虑施工扩孔后,高强度螺栓连接的抗拉承载力为上翼缘全截面抗拉承载力的 0.890 倍,下翼缘与上翼缘相同。

采用软件进行桁架结构整体分析时,需要输入净截面系数,一般软件会给出默认值,如 PKPM 给出的默认值为 0.85,该默认值有时偏于保守,有时又过高估计了净截面承载力,需要根据实际情况进行设置。本例经过计算,确定了等强系数为  $\min\{0.836, 0.890\}=0.836$ 。综上所述,为保证结构安全,在整体结构计算中,净截面系数取 0.836。

## 5 结语

1) 等强拼接节点分为全截面等强拼接节点和净截面等强拼接节点,当板件较厚、钢材强度较高(如 Q345、Q490 等)时,全截面等强拼接节点较难实现。

2) 将高强度螺栓摩擦型连接处净截面承载力与构件全截面承载力的比值定义为等强系数  $k_{eq}$ ,该系数按式(5)计算。

3) 考虑到 JGJ 82—2011《钢结构高强度螺栓连接技术规程》允许对螺栓孔进行修整,修整后孔的最大直径不大于 1.2 倍螺栓直径,且修孔数量不超过该节点螺栓数量的 25%,在设计过程中应考虑施工扩孔对螺栓连接承载力的不利影响。

4) 以大圆孔数量和危险截面螺栓数量的较小值作为危险截面的大圆孔数量加以考虑,按式(5)计算等强系数。

5) 结构整体计算中,净截面系数不应大于按式(5)计算的等强系数。

#### 参考文献:

- [1] 张石波,王荣辉,黄永辉,等.长列高强螺栓接头传力特性的有限元数值模拟[J].土木建筑与环境工程,2010,32(6):74-78.
- [2] JGJ 82—2011 钢结构高强度螺栓连接技术规程[S].
- [3] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].
- [4] 李星荣,魏才昂,丁峙岷,等.钢结构连接节点设计手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2004.

(本文编辑 武亚庆)

## · 消 息 ·

### 东营港东营港区南防波堤工程开工

7月16日,中交上航局航道建设有限公司承建的东营港东营港区南防波堤工程开工。

南防波堤为东营港区的南部边界,位于港区现有南防砂堤南侧 2 800 m 处。项目将新建防波堤 8 613 m,采用充填袋结构和抛石斜坡堤结构实施。项目投资约 12.76 亿元,工期 730 d。

工程建成后,可与在建的北防波堤、规划建设的一突堤共同构成东营港区的掩护体系,对实现港口的可持续发展意义重大。