

钢绞线张拉应力实用控制方法

林加惠, 郭子雄, 黄群贤

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 提出一种钢绞线张拉应力实用控制方法,即采用扭力扳手拧紧螺栓,实现对钢绞线张拉和应力水平的控制.研究表明:张拉应力值可通过螺栓的拧紧力矩计算公式确定,扭矩系数取值通过试验确定.对完成张拉端锚固后的钢绞线张拉力值进行 48 h 连续监测,研究施工阶段钢绞线的张拉应力损失规律.

关键词: 结构加固; 钢绞线; 张拉应力; 张拉应力损失

中图分类号: TU 4

文献标志码: A

韩国较早提出钢绞线网片-聚合物砂浆加固法,并进行了相关的应用试验研究^[1-2].近年来,钢绞线网片-聚合物砂浆加固技术得到工程界的广泛关注,也取得了大量的研究成果^[3-8].然而,钢绞线属于高强度材料,其抗拉强度可达 2 GPa 以上,在加固工程应用中往往存在以下问题:1) 当钢绞线的应力发挥到一个较高水平的时候,构件的裂缝宽度和挠度已经不能满足正常使用要求^[9];2) 加固工程二次受力会造成明显的应力滞后.因此,对钢绞线施加一定的张拉应力,不仅可以有效减轻应力滞后效应,而且可减少正常使用极限状态下的裂缝和挠度,提高钢绞线的材料利用率和加固的效果.本文将对该钢绞线张拉应力实用控制方法进行试验研究.

1 理论推导

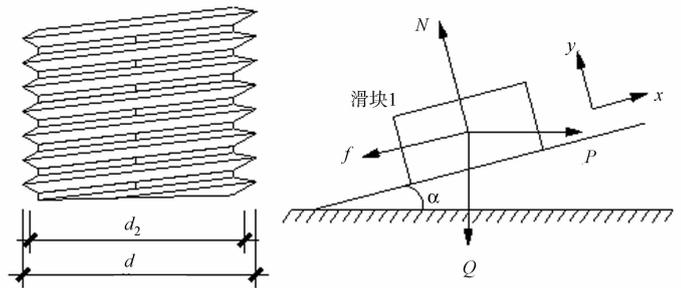
拧紧力矩公式推导示意,如图 1 所示.图 1 中: α 是此卷绕斜面的螺纹升角; φ 为螺纹摩擦角; d_2 为螺纹中径(螺纹外径与内径的平均值).三角形螺纹螺栓的几何特征,如图 1(a)所示.取螺栓外表面一点为研究对象,将其转为力学模型,如图 1(b)所示.将拧紧螺母视为滑块 1,滑块 1 受到水平拉力 P (拧紧螺母时在螺纹中径处施加的圆周力)作用下沿着斜面向上运动.在滑块 1 上的作用力有摩擦力 f ;轴向拉力 Q (螺栓的张拉力);斜面对滑块的支持力 N .

由力的平衡条件,可得

$$P = Q \tan(\alpha + \varphi). \quad (1)$$

P 对螺纹轴心线的力矩即为拧紧螺母时所需要的拧紧力矩 T ,故

$$T = P d_2 / 2 = Q d_2 \tan(\alpha + \varphi) / 2. \quad (2)$$



(a) 螺栓几何特征 (b) 力学模型

图 1 拧紧力矩公式推导示意

Fig. 1 Schematic diagram of the derivation of tightening torque equation

令

$$k = \frac{d_2}{d} \tan((\alpha + \varphi)/2), \tag{3}$$

将式(3)代入式(2)可得螺栓拧紧力矩,有

$$T = k \cdot Q \cdot d. \tag{4}$$

式(4)中: T 为拧紧力矩; d 为螺栓螺纹外直径; k 为扭矩系数.

由于扭矩系数 k 以及螺栓直径 d 均为常数,由式(4)可知:拧紧扭矩 T 与张拉力 Q 之间存在线性关系.因此,螺栓的直径 d 已知,通过试验测定相应的扭矩 T 和张拉力 Q 之间的关系,即可得出扭矩系数 k 的取值.

2 张拉应力的施加试验

2.1 试验概况

钢绞线张拉和端部锚固方式^[10],如图2所示.端部锚固方式采用螺栓对钢绞线进行固定,避免了原先采用拉环进行固定存在的锚固强度不足和容易脱落等问题,在实际工程中应用较广.

根据钢绞线网片-聚合物砂浆加固法的施工工艺,设计了与加固法对应的试验装置,如图3所示.试件共12根,试件所采用钢绞线直径和螺栓型号均一致.

试件为轴心受拉的构件,由钢绞线与两端的螺栓连接构成.螺栓受到的钢绞线张拉力为 Q .镀锌钢绞线采用 $6 \times 7 + \text{IWS}$ 型,公称直径为 3.6 mm ,横截面面积为 6.16 mm^2 ,破断力为 10.61 kN .所用部件均为钢绞线网片-聚合物砂浆加固法配套部件,其中螺栓的型号规格为 $8 \text{ mm} \times 97 \text{ mm}$ (直径 \times 长度)5.6级;抗拉强度为 519 MPa ;角钢为 $\text{L}50 \times 6$ 等边角钢,角钢上钻有圆孔,孔径为 8.5 mm .钢绞线与螺栓之间的连接锚固采用配套的铝扣,将钢绞线穿过螺栓孔之后用液压钳将铝扣和钢绞线压紧.

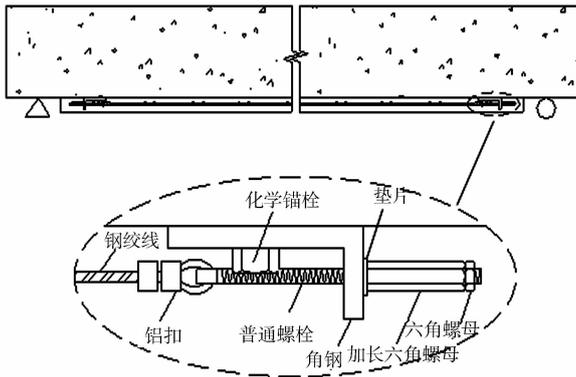


图2 端部锚固方法示意

Fig. 2 Schematic diagram of the anchoring method

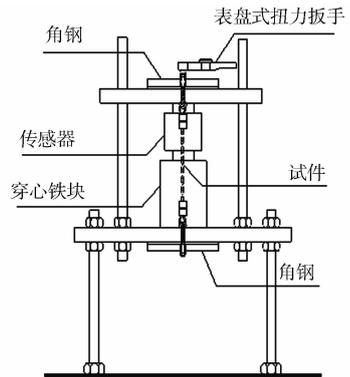


图3 试验装置

Fig. 3 Test setup

2.2 试验的加载与量测

通过扭力扳手旋紧螺栓,对钢绞线进行张拉,钢绞线与两端螺栓连接构成一个轴心受拉构件.由于传感器高度较小,以及试件长度的需要,将穿心的铁块进行垫高.试件穿过穿孔式压力传感器、穿心铁块以及上下两端的角钢后,下端用螺栓旋紧后不动,上端用表盘式扭力扳手(型号为欧田 $\text{ACD}0-30 \text{ N} \cdot \text{m}$)旋紧螺母来进行拧紧力矩的施加.试验加载至钢绞线张拉力为 $0.45F_b$ (F_b 为钢绞线破断力),即预应力度为 0.45 ,停止加载.每级扭矩下,分别旋紧螺母,逐渐增大扭矩,直至螺栓达到预定的张拉值时停止加载.试验量测内容包括:1)通过表盘式扭力扳手旋紧螺母来施加张拉应力,扭矩值从扭力扳手所带表盘读出;2)通过穿孔式压力传感器,以及 $\text{DH}3816$ 静态应变采集系统对钢绞线的张拉力进行实时采集.

2.3 试验结果及分析

试件拧紧力矩与张拉力关系曲线,如图4所示.由图4可知:拧紧力矩与张拉力基本呈线性关系.各试件的扭矩系数 k 由拧紧力矩-张拉力曲线的斜率(T/Q)除以螺栓的直径 d 得到.根据试验数据,可确定扭矩系数 k 范围在 $0.222 \sim 0.276$,平均值为 0.251 ,标准差为 0.017 .在实际工程中,只要钢绞线的目

标张拉应力确定,即可通过式(4)对拧紧力矩进行控制。

3 施工阶段钢绞线张拉应力损失量测

3.1 试验概况

施工阶段钢绞线会出现一定的张拉应力损失,为了测定钢绞线在张拉锁定后的张拉应力损失量,对张拉端锚固完成后的试件进行48 h连续的钢绞线张拉力的数据采集。文献[5]提出了钢绞线张拉控制最大允许值为 $0.65F_b$,故本试验对0.65,0.45和0.25三种预应力力度的钢绞线张拉力值进行监测,并计算确定不同预应力力度下张拉应力损失量的大小。试件数量为12根,其中试件

EP1~EP4 预应力度为0.65,EP5~EP8 预应力度为0.45,EP9~EP12 预应力度为0.25。试验装置不变,通过穿孔式压力传感器,以及DH3816静态应变测试系统对钢绞线的张拉力进行实时采集。

3.2 试验结果及分析

张拉应力损失一般包括两部分:一部分是螺栓锁定后,在较短时间内由于锚具的变形、接缝压缩、钢绞线回缩等造成的损失;另一部分是在长期荷载作用下,由于混凝土徐变、钢绞线应力松弛等造成的损失。初拉应力越高,钢绞线应力松弛越明显。张拉后的钢绞线松弛与时间有关,初期发展快,1 h 松弛量可达到50%,以后逐渐趋向稳定。施工阶段张拉应力损失主要有:1)张拉完成后较短时间内由于锚具变形引起的张拉应力损失量;2)钢绞线的应力松弛引起的张拉应力损失。48 h内钢绞线张拉应力与时间的关系曲线,如图5所示。从图5可以看出:应力 σ 在0~5 h时间段,张拉应力损失较快,张拉应力损失量约占总张拉应力损失量的60%;在5~12 h时间段,仍然有张拉应力损失,但损失趋势变缓;在12~48 h,应力 σ 基本趋于稳定。由此可见:在张拉锁定5 h后进行补偿张拉是消除张拉应力损失的有效方法。当受工期限制不能进行补偿张拉时,采用超张拉3%~6%的设计锁定荷载能达到同样的效果。同时,采用反复张拉和超张拉还可减小钢绞线的应力松弛。

张拉应力度分别为0.25,0.45和0.65时,对应施加张拉应力值分别为422,763,1 120 MPa,由试验测得张拉应力损失量分别为33,65,97 MPa。张拉应力损失量约为施加张拉应力值的7.7%,8.5%和8.7%。张拉应力值与张拉应力损失量的关系,如图6所示。由图6可以看出:张拉应力损失量 σ_1 与张拉应力值 σ 基本呈线性关系为

$$\sigma_1 = 0.093\sigma + 6.5. \quad (5)$$

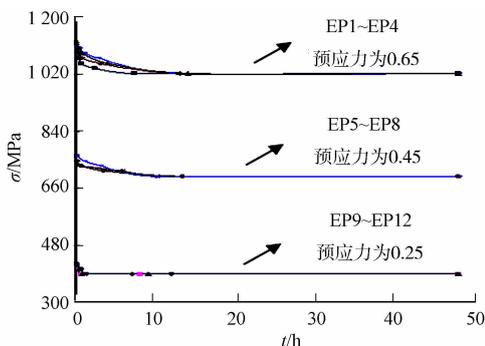


图5 应力-时间曲线
Fig. 5 Stress-time curve

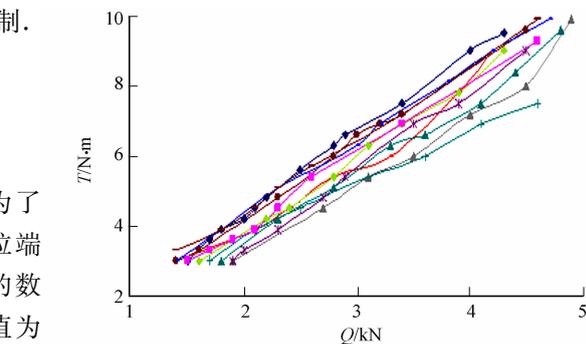


图4 拧紧力矩-张拉力曲线
Fig. 4 Torque-tension force curve

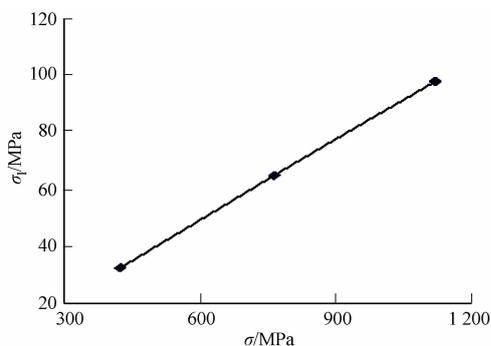


图6 张拉应力损失量-张拉应力值关系曲线
Fig. 6 Tensioning stress loss-tensioning stress curve

4 结论

针对一种新型钢绞线网片-聚合物砂浆加固工艺,提出一种钢绞线张拉应力控制的方法,通过试验

研究得到以下3点结论.

1) 拧紧力矩 T 与张拉力 Q 满足线性关系, 拧紧力矩可根据目标张拉力通过式(4)计算确定, 由试验得到扭矩系数 k 可取 0.251.

2) 钢绞线张拉应力损失量随张拉应力值的增大而增大, 试验得到张拉应力损失量 σ_l 与张拉应力值 σ 满足线性关系, 可由式(5)确定.

3) 施工阶段钢绞线存在张拉应力损失, 钢绞线的张拉应力值在前 5 h 损失较快, 在张拉锁定 5 h 后可通过补偿张拉来消除张拉应力损失.

参考文献:

- [1] 聂建国, 张天申. 高强不锈钢绞线网-高强渗透性砂浆加固技术发展现状及工程应用[C]// 土木工程结构检测鉴定与加固改造新进展及工程实例. 北京: 中国建材工业出版社, 2006: 613-626.
- [2] 姚志华. 高强钢绞线网-聚合物砂浆复合面层加固 RC 梁的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2008: 7-8.
- [3] 曹忠民, 李爱群, 王亚勇. 高强钢绞线网-聚合物砂浆加固技术的研究和应用[J]. 建筑技术, 2007, 8(6): 415-418.
- [4] 黄华, 刘伯权, 邢国华, 等. 高强不锈钢绞线网-渗透性聚合砂浆加固的 T 型梁桥试验[J]. 中国公路学报, 2007, 20(4): 83-90.
- [5] 聂建国, 陶巍, 张天申. 张拉应力高强不锈钢绞线网-高性能砂浆抗弯加固试验研究[J]. 土木工程学报, 2007, 40(8): 1-7.
- [6] 黄华, 刘伯权, 刘卫铎. 高强钢绞线网-聚合物砂浆抗剪加固梁二次受力试验研究[J]. 工业建筑, 2009, 39(2): 123-127.
- [7] 刘鸣, 刘伯权, 邢国华. 钢绞线网-复合砂浆加固钢筋混凝土梁的受弯性能[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(4): 10-15.
- [8] SUNG-HOON K, DAE-KON K. Seismic retrofit of rectangular RC bridge columns using wire mesh wrap casing[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2011, 15(7): 27-36.
- [9] American Concrete Institute. ACI committee 318: Building code requirements for structural concrete(ACI 318-05) and commentary (ACI 318R-05)[S]. Michigan: American Concrete Institute, 2005: 111-118.
- [10] 阮爱兵. 钢丝绳(钢绞线)网片-聚合物砂浆外加固工法应用现状[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2013, 41(4): 463-470.

Study on the Practical Control Method of the Strand Tensioning Stress

LIN Jia-hui, GUO Zi-xiong, HUANG Qun-xian

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: A practical control method of applying the strand tensioning stress was proposed, in which the torque wrench is used to screw down the bolts, to exert and control the tensioning stress in the strand. The experimental results show that: tensioning stress can be calculated by the formula of the tightening torque and the torque coefficient is given by test. After the locking of the anchor end, the stress of strand was monitored continuously in 48 hours to study the tensioning stress loss.

Keywords: structural strengthening; stranded; tensioning stress; tensioning stress loss

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)