

玻璃钢螺旋锚的设计和试制

王 钊¹, 周红安², 李丽华¹, 储开明³, 崔伯军³

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 武汉 430072; 2. 深圳市勘察测绘院, 深圳 518028; 3. 江苏九鼎集团, 江苏 如皋 226500)

摘 要: 试制了一种新型玻璃钢螺旋锚, 该种螺旋锚采用渐开不等径螺旋叶片, 能逐渐排开土层中的碎砾, 对土层的扰动较小。采用强度比很高的玻璃钢代替金属制成的锚杆具有一定的柔韧性, 不易腐蚀, 能延长使用寿命。还给出锚的结构和设计以及锚杆的拉伸和蠕变特性, 并详细描述了下锚的工具和方法。

关 键 词: 玻璃钢; 螺旋锚; 设计; 试制; 拉伸; 蠕变

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

Design and trial production of fiber reinforced plastic screw anchor

WANG Zhao¹, ZHOU Hong-an², LI Li-hua¹, CHU Kai-ming³, CUI Bai-jun³

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Shenzhen Geotechnical Investigation and Survey Institute, Shenzhen 518028, China; 3. Jiangsu Jiuding Group, Rugao 226500, China)

Abstract: A new kind of the fiber reinforced plastic (FRP) screw anchor has been trial-produced. Screw vane with involute shape applied to this anchor can crush out little stones around the vane, so the anchor can be turned into soil a desired length with less disturbance. FRP is adopted as anchor rod, which is flexible and not prone to corrosion, so the service life is extended. The material properties, structure and design, tensile and creep properties, the instrument and method of installation of the anchor are given in detail.

Key words: fiber reinforced plastic; screw anchor; design; trial production; tension; creep

1 引 言

螺旋锚作为一种锚固技术在 20 世纪 50 年代就用于岩土工程施工或原位测试的临时锚固措施, 到了 70 年代, 加拿大等国将螺旋锚用于超高压输电线路杆塔的基础和拉线地锚。抗拔试验表明, 直径为 35 cm 螺旋锚进入黏土层深度为 3.7 m 时的抗拔力达 145 kN^[1], 像木螺丝那样, 可旋转自进到较深土层, 钻进过程扰动的圆柱形土体, 经过一段时间静置后其强度将有很程度的恢复, 故能承受较大拉拔力, 因不需灌浆, 施工速度快、无环境污染。螺旋锚的另一优点是, 根据锚杆在坡面的锁紧扭矩计算抗拔力 P :

$$T = 0.2Pd \quad (1)$$

式中: T 为锁紧扭矩 (kN·m); P 为螺纹锁紧力 (kN); d 为锚杆螺纹的直径 (m)。

曾在孝感商场等基坑支护中采用螺旋锚^[2], 锚

片由薄钢板制成, 焊接在钢管锚杆上, 钢管另一端焊有锁紧护坡面板的螺钉, 用测力板手锁紧螺母可检测锚杆的抗拔力, 但为了承担大的入土扭矩需较大截面钢管, 而锚能承担的抗拔力所需截面很小, 引起材料的浪费, 且钢材易生锈。

从 80 年代开始, 国内外积极探索采用新型材料代替钢锚杆, 高分子复合材料, 特别是树脂基体复合材料被广泛应用于锚杆试验研究, 并取得进展。FRP (fibers reinforced plastic) 为纤维增强塑料, 其中用玻璃纤维增强的俗称玻璃钢。玻璃钢具有质量轻、强度高、蠕变小、较好的切割性能、较强的抗腐蚀能力, 但玻璃钢构件的抗剪切能力差、延性小, 易发生脆性破坏、不易制成形状复杂的的构件。90 年代初, 前苏联以玻璃纤维为增强材料的绞合式聚合材料锚杆试制成功, 并应用于井下工业试验。瑞士研制出全螺纹锚杆、注浆锚杆和全螺纹锚索, 并在矿山、隧道等工程中得到应用。法国研制、生

产出简单实用的玻璃钢锚杆。加拿大研制成功玻璃钢纤维锚索等^[3]。

本文介绍了螺旋锚玻璃钢的基本特性、螺旋锚的结构、锚杆的拉伸和蠕变特性、下锚工具，以及与护坡结构的连接方法。

2 玻璃钢螺旋锚材料的性质

2.1 物理力学特性

FRP 螺旋锚由锚头、锚杆和锚尾组成。材料基体为不饱和聚酯树脂，增强体为玻璃纤维。材料的物理力学特性由江苏九鼎新材料股份有限公司国家自然科学基金项目合作单位提供。

锚头采用片状模塑料 (SMC) 制作，纤维含量约为 30%，纤维无方向性。锚杆为拉挤单向复合材料，纤维含量约为 70%。锚头和锚杆照片见图 1。



图 1 玻璃钢螺旋锚的锚头和锚杆

Fig.1 The screw plate and rod of FRP screw anchor

SMC 制作工艺是一种纤维增强热固性树脂的模压料，其成型工艺操作简单，并且能适应自动化、机械化生产的要求，可以改善劳动条件，适宜于高效率的生产玻璃钢产品^[4]。拉挤成型工艺是将浸渍过树脂胶液的连续玻璃纤维束模塑成型，并且在热模中进行固化，在牵引拉力作用下连续引拔出无限长度的玻璃钢型材，这种工艺适宜于成型各种断面形状的玻璃钢型材。锚头和锚杆材料的物理力学特性，分别见表 1 和表 2。

表 1 锚头材料的物理力学性能

Table 1 The physico-mechanical properties of screw plate

拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	弯曲强度 / MPa	弯曲弹性模量 / GPa	剪切强度 / MPa	压缩强度 / MPa
80	10	170	10.5	70	160

表 2 杆体材料的物理力学性能

Table 2 The physico-mechanical properties of rod

拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	压缩强度 / MPa	伸长率 / %	泊松比
500	25	400	1.3	0.3

锚头结构比较复杂，材料的纤维含量较低，其拉伸强度和压缩强度与锚杆相比要低得多（分别为 16% 和 40%），可见纤维含量对玻璃钢的强度值影响极大。目前，国外工程中采用的碳纤维加筋塑料的极限拉伸强度一般能达到 2 000 MPa，有的甚至超过 2 500 MPa，玻璃纤维加筋的玻璃钢极限拉伸强度也超过 1 000 MPa^[5]，可见国内生产出的产品力学性能还较低。

2.2 材料的安全系数

玻璃钢材料安全系数的确定比较复杂，它涉及到产品原材料、工艺和应用的各个环节，需要从试验研究和实践中不断完善。例如，在英国 BS 标准中，总安全系数由 6 个分系数组成：

$$K_m = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \quad (2)$$

式中： K_0 为极限强度安全系数，一般取 2.0； K_1 为制造工艺影响系数，机械操作取 1.4，手糊取 1.6，喷射取 3.0； K_2 为长期特性影响系数，取值 1.2~2.0； K_3 为温度影响系数，取决于树脂的热变形温度和工作温度，按相关图查取（略），取值 1.0~1.25； K_4 为交变荷载影响系数，按相关图查取（略），取值 1.0~2.0； K_5 为固化过程影响系数，取值 1.1~1.5。一般规定材料总安全系数不得小于 6.0，手糊工艺取 16.0 左右。

在 FRP 螺旋锚的设计中，因锚杆是用机械操作工艺生产，取 $K_0 = 2.0$ ， $K_1 = 1.4$ ， $K_2 = 1.2$ ， $K_3 = 1.0$ ， $K_4 = 1.0$ ， $K_5 = 1.1$ ，则材料安全系数 $K_m = 3.70$ ，取 4.0，这与英国 BS 标准规定的一般总安全系数不得小于 6.0 相违背，但是国外玻璃钢材料极限强度普遍比国内要高，如果国内材料取较大的安全系数，所得材料强度设计值较小，实用价值不大。考虑到螺旋锚使用的重要性不高，同时考虑到实际测得的 FRP 锚杆蠕变应变极小，认为 6 个分系数按要求取值后，最后得到的安全系数是有效的。

2.3 设计抗拔力的确定

材料的允许抗拔力：

$$T_{am} = \frac{\sigma_m A}{K_m} \quad (3)$$

式中： T_{am} 为材料的允许抗拔力 (MN)； σ_m 为材料的拉伸强度 (MPa)； A 为锚杆的横截面积 (m^2)。

拉拔试验的允许抗拔力：

$$T_{ap} = \frac{T_{up}}{F_s} \quad (4)$$

式中: T_{ap} 为拉拔试验的允许抗拔力 (MN); T_{up} 为拉拔试验的极限抗拔力 (MN); F_s 为抗拔力安全系数; FRP 螺旋锚用于边坡浅层锚固, 取 2.0。取 T_{am} 和 T_{ap} 中的较小者作为锚杆的设计抗拔力 T_a 。

3 玻璃钢螺旋锚的结构

玻璃钢螺旋锚的锚头、锚杆和锚尾三部分通过一定方式连接, 形成一个承受拉拔力的整体构件。

3.1 锚头部分

与常用钢制螺旋锚不同, 玻璃钢螺旋锚的螺旋叶片与锚头设在一起, 而不是设在锚杆上。为了在下锚过程中排开土层中的砂砾和减小对土层的扰动, 螺旋叶片设计成渐开线型。为了与锚杆连接, 锚头分成两部分, 锚头根部和锚头端部。

螺旋叶片整体成型在锚头根部的圆筒上, 圆筒一端设两道啮合口与下锚钢管啮合, 以备下锚, 另一端设咬合口, 与锚头端部通过销钉连接。圆筒的内径渐变 (形成 3° 锥度), 以便与锚杆通过圆台形楔块锁紧 (图 2)。楔块也是由玻璃钢制成。

螺旋叶片的直径由要求的抗拔力确定, 设计时, 将螺旋形叶片视为刚性圆形平板, 要求处于常见土基中该面积的承载力特征值不小于材料的允许抗拔力 T_{am} 。第一批试制的螺旋叶片直径为 200 mm。叶片的厚度按均布荷载下的抗弯和抗剪要求计算, 在靠近圆筒部位较厚。

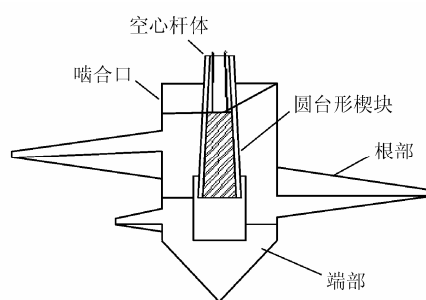


图 2 锚头部分结构示意图
Fig.2 The screw plate of anchor

3.2 锚杆

锚杆横截面为空心圆环, 由 6 股等弧瓣状组成, 锚杆截面尺寸由锚杆的设计抗拔力确定。锚杆插入内径渐变的锚头根部圆筒内, 然后用楔块锁紧, 最后通过销钉连接锚头端部。

采用 6 股等弧瓣状组成的锚杆原因如下: (1) 增加杆体柔性。充分发挥玻璃钢抗拉强度高的特点, 尽可能使杆体发生轴向拉伸破坏; (2) 便于生产和运输。一瓣杆件易于制模生产, 且在运输途中

可形成卷材。在现场施工时, 杆体可以根据设计下锚深度截取, 甚至可由 4 瓣组成, 以满足不同的锚固要求; (3) 利于排水加速土体固结, 提高土体抗剪强度。第一批试制的 6 瓣锚杆构成的空心圆环, 其外径为 12 mm, 内径为 8 mm。

3.3 锚尾部分

锚尾处的等弧瓣状玻璃钢杆被插入一定长度的钢套管, 钢套管内表面形成 3° 锥度, 用同样的圆台形楔块锁紧。钢套管外表面设置螺纹, 通过垫板、螺母与预制框架护坡连接 (图 3)。大量的拉拔试验表明, 在合理的楔块长度和锥度条件下, 锚尾都是因为锚杆材料达到极限强度而破坏, 不会产生拉脱破坏。

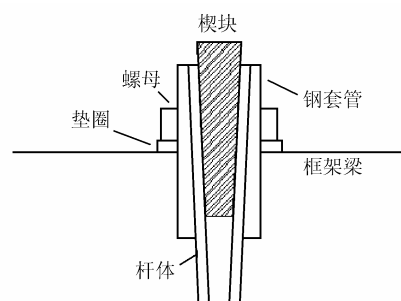


图 3 锚尾部分结构示意图
Fig.3 The tail of anchor

4 玻璃钢锚杆的拉伸蠕变特性

4.1 锚杆的拉伸试验

拉伸试验在 TZY-1 型土工合成材料综合测定仪上进行, 该仪器能自动记录拉力和伸长量。由于玻璃钢瓣状锚杆拉伸时极易滑移或夹裂, 根据锚杆内外半径尺寸, 在两块夹具的中间分别开了凹凸槽, 选取 10 组试样测定抗拉强度和延伸率。试样计量长度即夹具间距取 100 mm, 拉伸速率为 20 mm/min。

由测试的 10 组数据平均得到单瓣玻璃钢锚杆的抗拉强度为 5.34 kN, 延伸率为 5.08 %。抗拉强度的均方差为 0.576 kN、变异系数为 10.8 %, 伸长率的均方差和变异系数分别为 0.1 % 和 19.33 %。按单瓣锚杆的截面积和表 2 的材料拉伸强度计算得抗拉强度为 5.18 kN, 可见实测的抗拉强度稍大。

4.2 蠕变试验

(1) 试样尺寸及应变测量。试样尺寸选取与拉伸试验相同, 计量长度取 100 mm, 伸长应变采用不锈钢直尺人工测量, 观测时间间隔按国际标准化组织 ISO 的要求: 当整个拉伸蠕变荷载施加完毕起, 在下列时刻测量试样长度的变化: 1, 2, 4, 8, 15,

30 min 和 60 min, 2, 4, 8 h 和 24 h 以及 3, 7, 14, 21 d 和 42 d 等^[6]。

(2) 试样夹持方法。试样夹具和拉伸夹具同, 每组夹具由两块小铝板组成, 铝板中央分别刻有玻璃钢锚杆内外半径的凹凸槽, 保证了长期夹持而不滑移。

(3) 试样加载。采用恒定重量的砝码加载, 选用了 3 种不同的蠕变试验拉伸荷载, 为抗拉强度 T 的 10%, 20%, 40%。将试样和夹具铅直悬吊, 拉力用砝码一次施加。

(4) 试验环境。试验在室温下进行, 没有调湿。

(5) 试验结果和分析。从 2004 年 11 月 29 日起, 到 2005 年 3 月 29 日止, 试验历时 4 个月。除加载初期的瞬时变形外, 没有观测到蠕变应变, 试验曲线如图 4 所示。

从以上试验结果可知, 玻璃钢作为一种新型的土工合成材料, 其拉伸和蠕变性能优良。

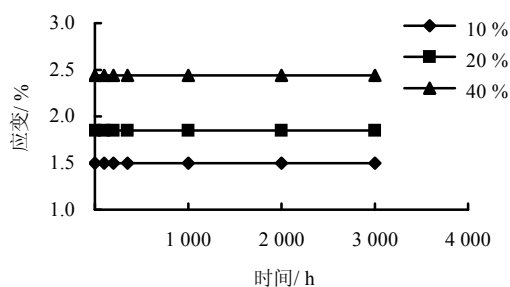


图 4 玻璃钢锚杆的蠕变曲线

Fig.4 Creep curve of FRP rod

5 玻璃钢螺旋锚的下锚工艺

5.1 下锚钢管和副锚片

下锚钢管为热轧无缝钢管 $\phi 50 \times 8$ mm。玻璃钢螺旋锚按设计要求能广泛应用于膨胀土等特殊土的护坡工程中。我国国家标准《膨胀土地区建筑技术规范》^[7] 中列出大气影响深度一般不超过 5.0 m, 其中大气影响急剧层深度一般不超过 2.3 m, 可见下锚长度至少应该达到 2.3 m, 才能得到较好的锚固效果, 最好能达到 5.0 m。按入土长度的要求, 下锚钢管每段长度为 1.2 m, 共 5 节, 相互之间通过螺纹连接。

为了和锚头根部圆筒一端的两道啮合口啮合, 在最靠近锚头的下锚钢管上, 设一带有副锚片的连接件, 连接件的一端与钢管罗纹连接, 另一端为啮合口和锚头啮合, 副螺旋锚片的直径为 150 mm。

5.2 下锚工艺

下锚扭矩通过下锚钢管和连接件传递到锚头,

将锚头和锚杆组件 (图 1) 拧到设计深度后, 反旋松开啮合口, 并借助副螺旋叶片退出, 该装置还可在退出过程中借助下锚钢管实施灌浆。

下锚过程如遇到较大的砾石可用带副锚片的钢制引锚工具引锚, 以防玻璃钢锚片破坏。引锚和下锚扭矩的设计值为 $1000 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。图 5 为手动下锚过程。



图 5 手动下锚

Fig.5 Hand installation of anchor

6 结 语

玻璃钢螺旋锚可自旋进入较深土层, 在无灌浆的条件下, 因搅动土的触变性, 静置一段时间后就具有一定的抗拔力, 如对搅动圆柱土体实施灌浆可望进一步提高抗拔力。玻璃钢螺旋锚有如下几个特点:

(1) 锚头端部采用渐开不等径螺旋叶片, 在下锚过程中砂砾等能逐渐从叶片边缘排开, 容易达到设计下锚长度, 并且这种螺旋叶片的型式对土层的扰动较小。

(2) 采用强质比很高的玻璃钢代替金属制成的锚杆, 材料的抗拉强度大、无蠕变变形, 具有一定的柔韧性, 可以成卷运输, 同时, 锚杆的长度和瓣数可根据实际下锚情况灵活截取, 能满足不同土质边坡的锚固需要, 此外, 在不灌浆的情况下, 空心锚杆可排除坡内水分。

(3) 玻璃钢锚杆不易产生电腐蚀和化学腐蚀, 后期维护费用低, 且不易老化, 能用于永久工程。

(4) 玻璃钢螺旋锚可以根据设计抗拔力的大小确定是否采用灌浆, 故单根螺旋锚抗拔力的取值变化区间较大, 能适应不同锚固需要。

(5) 下锚钢管可兼作灌浆管使用, 使下锚和灌浆一次完成。玻璃钢螺旋锚及护坡结构采用装配式, 能实行生产工业化和施工机械化 (需研制下锚机械), 从而减少施工工序, 加快施工速度。

参 考 文 献

- [1] Klym T W, Radhakrishna H S. 杆塔基础的螺旋锚板[J]. 王钊译. 冯国栋校. 土工基础. 1991, 5(2): 39—45.
Klym T W, Radhakrishna H S. Helical anchored plate of tower foundation[J]. Translated by Wang Zhao. Collated by Feng Guo-dong. **Soil Engineering and Foundation**, 1991, 5(2): 39—45.
- [2] 王钊, 刘祖德, 程葆田. 螺旋锚的试制和在基坑支护中的应用[J]. 土木工程学报, 1993, 26(4): 47—53.
WANG Zhao, LIU Zu-de, CHEN Bao-tian. Trail production of screw anchor and its application to fencing foundation pit[J]. **China Civil Engineering Journal**, 1993, 26(4): 47—53.
- [3] 周红安. FRP 螺旋锚和预制混凝土框架护坡技术研究[硕士论文 D]. 武汉大学, 2004.
- [4] 中国腐蚀与防护学会, 李国莱等. 合成树脂及玻璃钢(修订版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995.
- [5] Brahim Benmokrane, Burong Zhang, Adil Chennouf. Tensile properties and behavior of AFRP and CFRP rods for grouted anchor applications[J]. **Construction and Building Materials**, 2000, (14): 157—170.
- [6] 王钊, 王协群, 李丽华. 蠕变试验和蠕变折减系数[J]. 岩土力学, 2004, 25(5): 723—727.
WANG Zhao, WANG Xie-qun, LI Li-hua. Creep tests and creep reduction factor[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(5): 723—727.