

# 一种新型倒刺锚杆创新研究

张立乾, 闫晶, 陈红, 李兵, 孟良, 吴星

北京特种工程设计研究院, 北京  
Email: 847220673@qq.com

收稿日期: 2020年10月2日; 录用日期: 2020年10月20日; 发布日期: 2020年10月27日

## 摘要

创新发明了一种新型的倒刺锚杆, 由母体锚杆和子体倒刺构成, 母体锚杆一般采用HRB400或HRB500粗钢筋, 子体倒刺为四周带有外扩薄片如倒刺的中空结构, 可以通过内置螺纹和母体锚杆螺纹连接固定, 也可通过焊接和母体螺杆连接。子体倒刺沿母体锚杆成一定间距布设。成孔后锚杆放入时, 倒刺结构的外扩薄片在孔壁约束下, 呈微收缩状态紧贴孔壁滑动, 到达预定位置后, 锚杆在向外拉力作用下, 由于孔壁表面呈凹凸糙面, 倒刺外扩薄片会顶住孔壁, 如果孔壁为硬质岩石, 外扩薄片和孔壁之间则为硬接触关系, 如果孔壁为软质岩石或土质, 外扩薄片则会刺入孔壁, 扩大作用范围, 提高承载力。基于ABAQUS数值计算软件, 研究了倒刺锚杆在硬质岩壁中的力学行为, 研究表明: 由于倒刺的存在, 提高了锚杆的抗拔承载能力, 当孔壁为硬质岩石时, 外扩薄片和孔壁之间则为硬接触关系, 不考虑灌注水泥浆体, 倒刺锚杆的抗拔力可达数吨; 如果考虑注浆体, 倒刺锚杆的抗拔能力会大幅提高, 可达几十吨。同时倒刺锚杆制作简便、倒刺结构兼具锚杆对中支架的作用, 很有应用发展前景。不足之处在于倒刺锚杆由于倒刺直接和孔壁接触, 在作为永久锚杆时, 一般只能用于无腐蚀或微腐蚀环境, 不宜应用于腐蚀的环境。

## 关键词

倒刺锚杆, 承载力, 接触, 腐蚀

# Innovative Research on a New Type of Barbed Anchor

Liqian Zhang, Jin Yan, Hong Chen, Bing Li, Liang Meng, Xing Wu

Beijing Special Engineering Design and Research Institute, Beijing  
Email: 847220673@qq.com

Received: Oct. 2<sup>nd</sup>, 2020; accepted: Oct. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

A new type of barbed anchor is innovated and invented, which is composed of parent anchor and daughter barbed anchor. The parent anchor generally adopts HRB400 or HRB500 thick steel bar.

The daughter barbed anchor is a hollow structure with external expansion sheet, such as barb. It can be fixed by internal thread and parent anchor thread connection, and can also be connected with parent screw through welding. The daughter barbs are arranged at a certain distance along the parent anchor. When the anchor is put into the hole after hole forming, the outward expanded sheet of the barbed structure slides close to the hole wall in a micro contraction state under the constraint of the hole wall. After reaching the predetermined position, the barbed outward expanded sheet will support the hole wall due to the concave convex rough surface of the hole wall under the action of outward tension. If the hole wall is hard rock, the relationship between the expanded thin section and the hole wall is hard, and if the hole wall is soft rock Stone or soil, the expansion of thin sections will pierce into the hole wall, further expand the scope of action. Based on ABAQUS numerical calculation software, the mechanical behavior of barbed anchor in hard rock wall is studied, and the results show that: because of the existence of barb, the uplift bearing capacity of the anchor rod is improved. When the hole wall is hard rock, the relationship between the expanded thin plate and the hole wall is hard contact. If the grouting body is considered, the pull-out capacity of the barbed bolt can reach several tons; if the grouting body is considered, the pull-out capacity of the barbed bolt will be greatly improved, up to dozens of tons. At the same time, the barbed anchor is easy to make and the barbed structure has the function of anchor centering support, so it has a good application prospect. The disadvantage is that the barbed anchor is in direct contact with the hole wall. As a permanent anchor, it can only be used in non corrosive or micro corrosive environment, not suitable for corrosive environment.

## Keywords

Barbed Anchor, Bearing Capacity, Contact, Corrosive

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



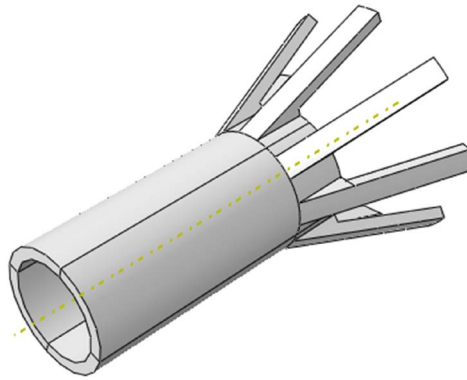
Open Access

## 1. 引言

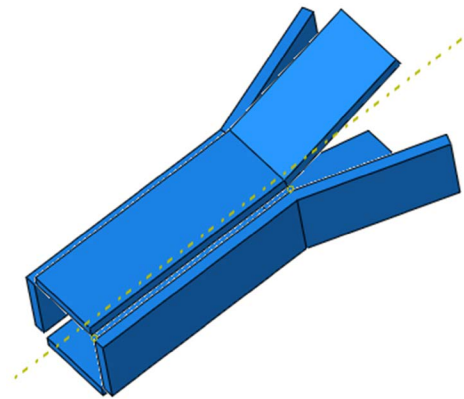
锚杆一般由放置于孔道的直粗钢筋和后注浆体构成，其承载力主要取决于三方面：锚杆钢筋的受拉能力、注浆体和孔壁的粘结能力、锚杆钢筋和注浆体之间的粘结能力[1]。在锚杆材质和直径确定即确定锚杆受拉能力的情况下，如何提高注浆体和孔壁的粘结能力以及锚杆钢筋和注浆体之间的粘结能力是提高锚杆承载能力的关键，其中注浆体和孔壁粘结能力更为关键[2] [3] [4]。倒刺锚杆正是针对解决这一问题而提出。

## 2. 倒刺锚杆结构构造

创新发明了一种新型的倒刺锚杆，由母体锚杆和子体倒刺构成，母体锚杆一般采用 HRB400 或 HRB500 粗钢筋，子体倒刺为四周带有外扩薄片如倒刺的中空结构，可以通过内置螺纹和母体锚杆螺纹连接固定，也可通过焊接和母体螺杆连接。子体倒刺沿母体锚杆成一定间距布设。成孔后锚杆放入时，倒刺结构的外扩薄片在孔壁约束下，呈微收缩状态紧贴孔壁滑动，到达预定位置后，锚杆在向外拉力作用下，由于孔壁表面呈凹凸糙面，倒刺外扩薄片会顶住孔壁，如果孔壁为硬质岩石，外扩薄片和孔壁之间则为硬接触关系，如果孔壁为软质岩石或土质，外扩薄片则会刺入孔壁，扩大作用范围，提高承载力。倒刺结构典型的构造示意图间图 1、图 2 所示。倒刺和锚杆组合拼装图见图 3、图 4 所示。CAD 尺寸图见图 5 所示。



**Figure 1.** Round barbed structure  
**图 1.** 圆型倒刺结构



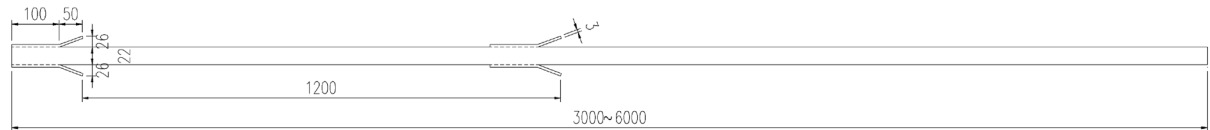
**Figure 2.** Square barbed structure  
**图 2.** 方型倒刺结构



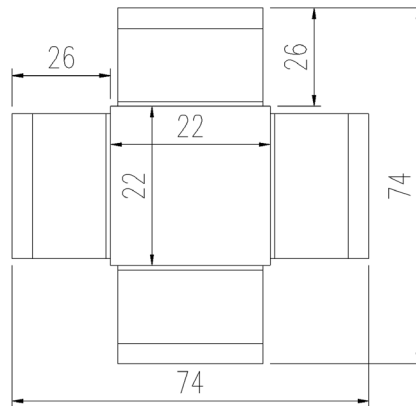
**Figure 3.** Combination of round barb and anchor  
**图 3.** 圆形倒刺与锚杆组合



**Figure 4.** Combination of Square barb and anchor  
**图 4.** 方形倒刺与锚杆组合



(a) 方形倒刺锚杆立面图



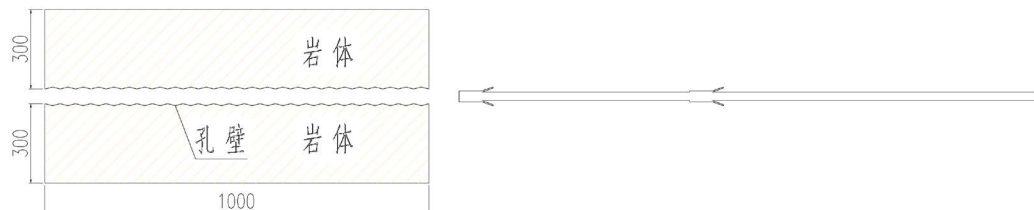
(b) 方形倒刺锚杆断面图

**Figure 5.** Geometric dimension drawing of square barbed anchor (Units: mm)**图 5.** 方形倒刺锚杆几何尺寸图(单位: mm)

### 3. 倒刺锚杆承载性能研究

#### 3.1. 计算模型

物理力学模型模拟问题涉及大变形、接触高度非线性问题,采用平面应变单元进行分析,模拟倒刺锚杆插入岩孔、拔出岩孔全过程,物理力学模型尺寸见图6所示。

**Figure 6.** Dimension drawing of physical and mechanical model (Units: mm)**图 6.** 方形倒刺锚杆几何尺寸图(单位: mm)

采用 ABAQUS 软件建立数值计算模型,如图7所示。模型物理力学参数见表1所示[5]。

模型尺寸:倒刺外扩薄片、锚孔凹凸转折处为了提高分析精度,防止接触面发生侵彻问题,细分单元,其大小为  $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$  左右,锚杆杆体单元边长大小为  $5\sim 10\text{ mm}$  左右,锚孔孔壁外扩  $300\text{ mm}$  为岩体,由孔壁向外逐渐放大单元尺寸。

材料本构关系:倒刺采用高强钢弹性本构,锚杆采用四级钢弹性本构,孔壁岩体采用微风化花岗岩岩体弹性本构。

相互作用:倒刺外扩薄片钢和孔壁之间为接触关系,切向摩擦系数为  $0.6$ ,法向接触为硬接触。孔内注浆体和孔壁之间为绑定约束。

边界条件:孔壁岩体外侧为水平约束和竖向约束,倒刺锚杆轴线水平竖向约束。

载荷:倒刺锚杆根部施加水平向左的强迫位移,即向左插入岩体  $1000\text{ mm}$ ,然后向右外拉  $200\text{ mm}$ 。

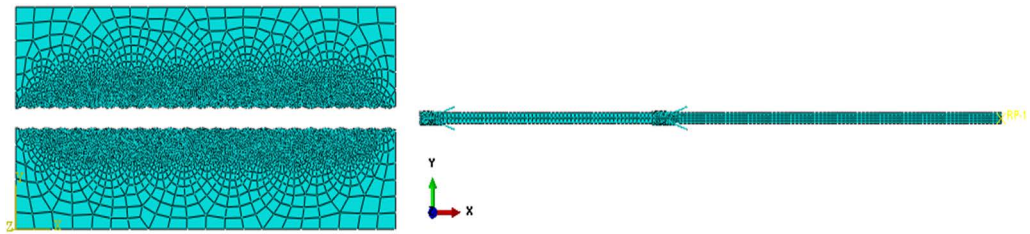


Figure 7. Model unit division  
图 7. 模型单元划分

Table 1. Physical mechanics indicator  
表 1. 物理力学指标表

模型名称	密度 g/mm <sup>3</sup>	弹性模量 MPa	泊松比
倒刺	7.85	2.0E5	0.3
锚杆	7.85	2.1E5	0.3
孔壁岩体	2.6	3.5E4	0.2

### 3.2. 工况——不考虑注浆时插入与拔出承载力分析

倒刺锚杆初始位置距离锚孔端部 62.5 mm，向左插入 937.5 mm。不同时刻的锚杆和孔壁位置关系及应力云图见图 8~10 所示。

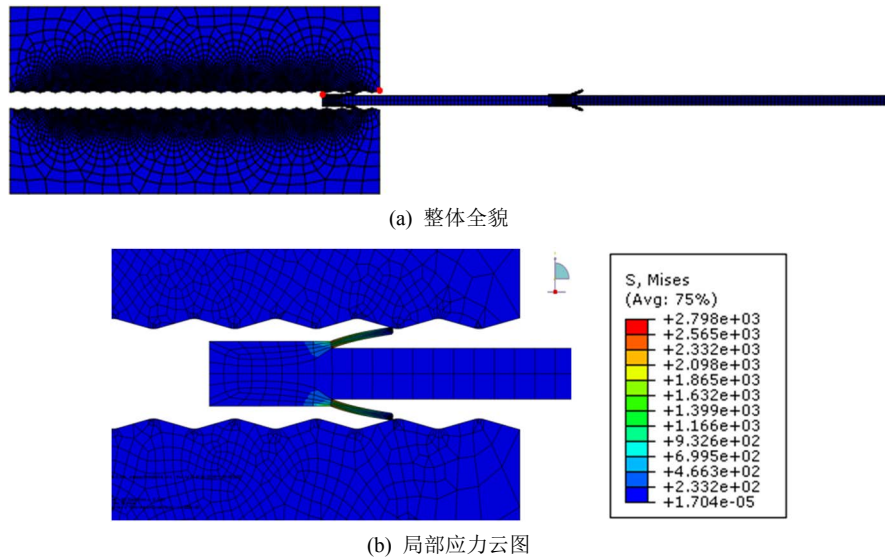
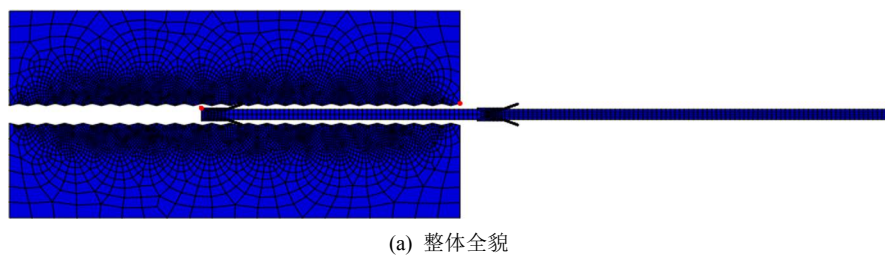
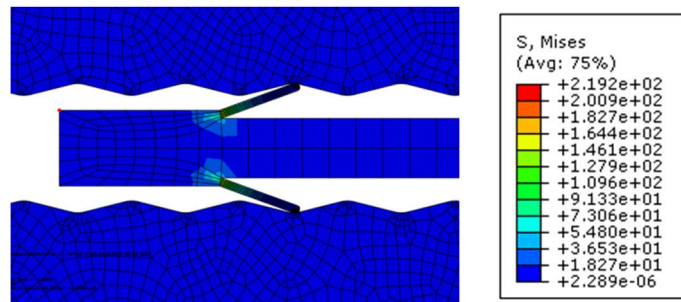
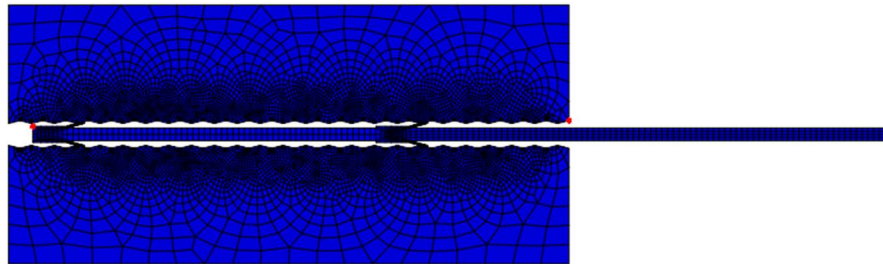


Figure 8. Position relation and Mises stress nephogram of inserting anchor hole 62.5 mm  
图 8. 插入锚孔 62.5 mm 的位置关系及 Mises 应力云图

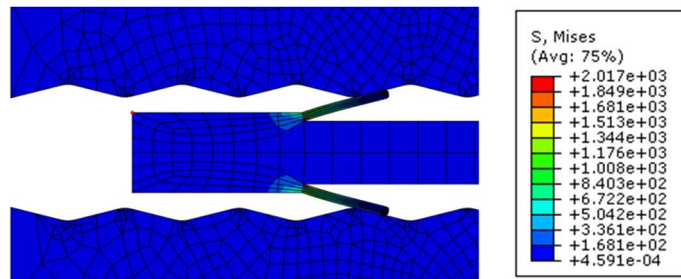




(b) 局部应力云图

**Figure 9.** Position relation and Mises stress nephogram of inserting anchor hole 615 mm**图 9.** 插入锚孔 615 mm 的位置关系及 Mises 应力云图

(a) 整体全貌

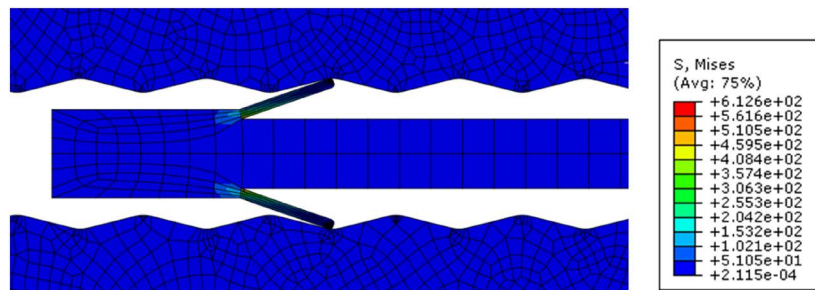


(b) 局部应力云图

**Figure 10.** Position relation and Mises stress nephogram of inserting anchor hole 937.5 mm**图 10.** 插入锚孔 937.5 mm 的位置关系及 Mises 应力云图

由图 8~10 可以看出,在倒刺锚杆插入的过程中,倒刺外扩薄钢板始终和孔壁接触,当倒刺外扩薄钢板处于孔壁凸起部位时,Mises 应力最大,可达 279.8 Mpa,当倒刺外扩薄钢板处于孔壁凹入部位时,Mises 应力最小,为 21.9 Mpa。

向外拔出的过程见图 11 所示。



(a) 倒刺外扩薄钢板处于孔壁凹处

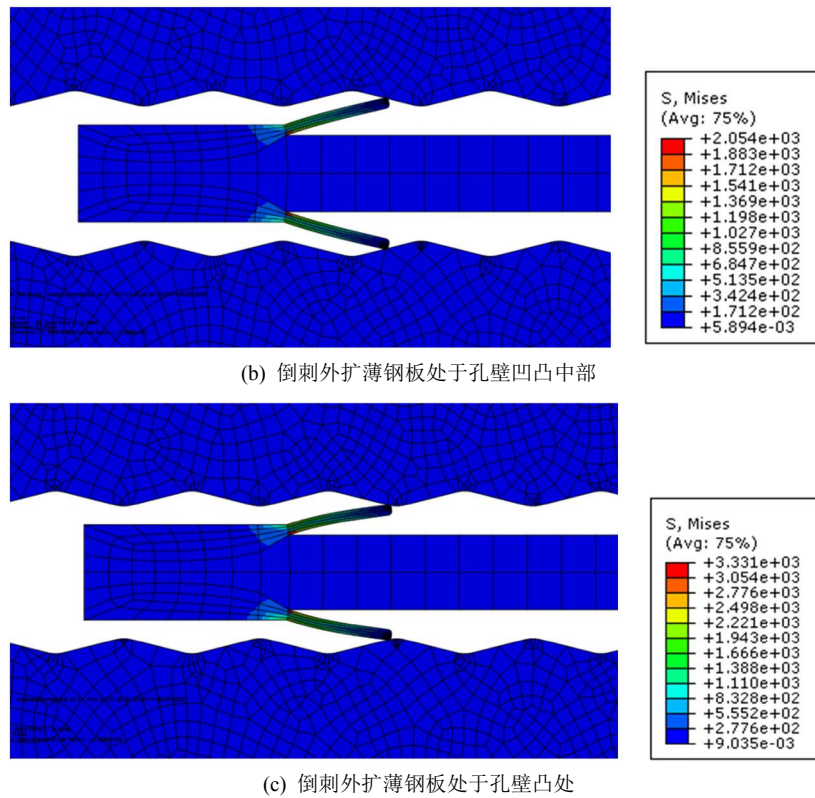


Figure 11. Mises stress nephogram of anchor during external tension  
图 11. 锚杆外拉过程中 Mises 应力云图

由图 11 可以看出，由于孔壁假定为理想的硬面，且凹凸处进行了倒角光滑处理，倒刺锚杆在外拉过程中，并未发生“卡住”计算不收敛等问题，带有一定切向摩擦的法向光滑接触导致了外拉过程中倒刺锚杆外扩薄钢板不断收缩、扩张，同时其 Mises 应力也发生相应的变化，变化区间为 61.2~333.1 Mpa。

在插入、外拉阶段将锚杆根部合并为一点受力，用来捕获锚杆在插入、外拉过程中的推力和抗拔力大小，见图 12 所示。

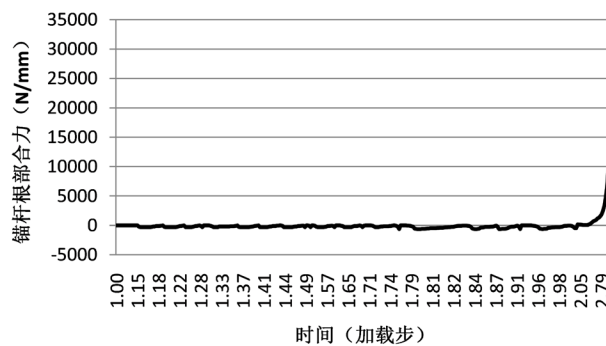


Figure 12. Curve of root resultant force of anchor rod during bolt insertion and pulling out  
图 12. 锚杆插入和外拉过程中锚杆根部合力曲线图

由图 13 可以看出，在插入阶段的前 1.75 步前，倒刺锚杆中一个倒刺插入孔壁，当倒刺锚杆外扩薄钢板位于孔壁凸起处时对应锚杆根部推力峰值 320 N/mm，当倒刺锚杆外扩薄钢板位于孔壁凹入处时对应锚杆根部推力低值，呈波峰波谷交替状态；在插入阶段的 1.75 步后 2.00 步前，倒刺锚杆中两个倒刺均插入孔壁，

导致锚杆根部推力增大至 620 N/mm，该阶段也呈波峰波谷交替状态；在拔出阶段(对应载荷步 2.00)，锚杆根部合力变为正值(抗拔力)，其力的幅值为 1180 N/mm，换算为整个锚杆的抗拔力为 25.96 KN，即 2.6 吨力。也由此看出倒刺锚杆在理想孔壁的情况下，其向的抗拔力为推进时抗力的 2 倍左右，易进不易出。

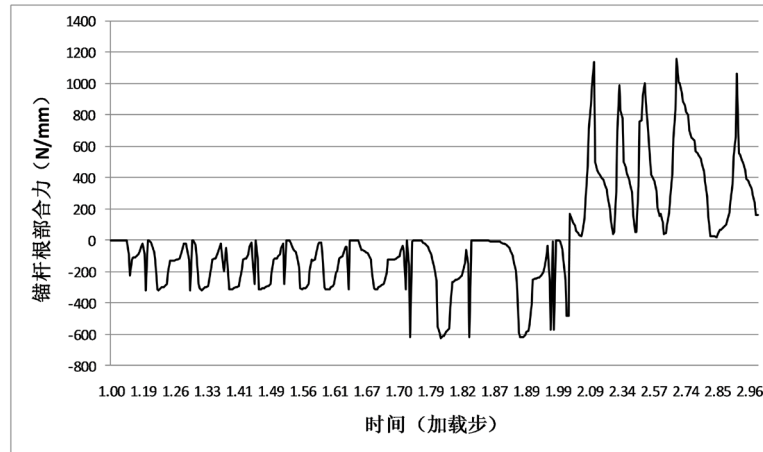


Figure 13. Curve of root resultant force of anchor rod during bolt insertion and pulling out  
图 13. 锚杆插入和外拉过程中锚杆根部合力曲线图

### 3.3. 工况二—考虑注浆时插入与拔出承载力分析

采用单元生死技术模拟倒刺锚杆插入后的注浆体。见图 14 所示。外拉受力终态应力云图见图 15 所示。由图 15 可以看出，注浆体阻止了倒刺锚杆外扩薄钢板的运动，从而产生很大的 Mises 应力，其最大 Mises 应力为 1387 Mpa。

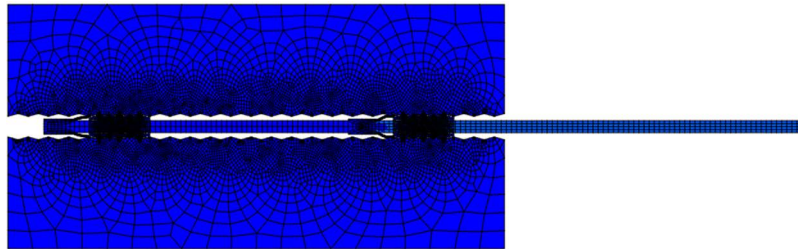


Figure 14. Relation diagram of grouting section, anchor and hole wall rock mass  
图 14. 注浆段、锚杆和孔壁岩体关系图

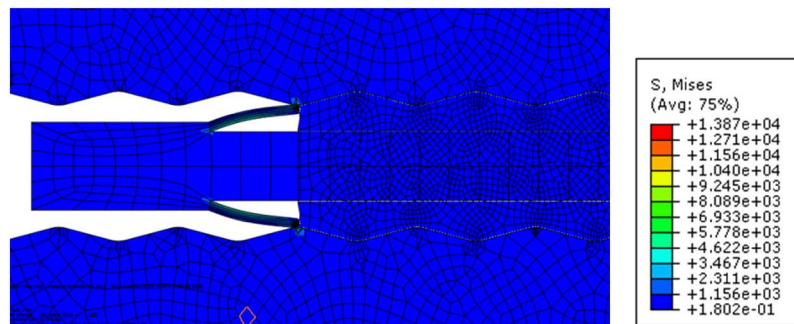


Figure 15. Mises stress nephogram of anchor during external tension  
图 15. 锚杆外拉过程中 Mises 应力云图



在插入、外拉阶段将锚杆根部合并为一点受力，用来捕获锚杆在插入、外拉过程中的推力和抗拔力大小，见图 12 所示。

由图 5 可以看出，倒刺锚杆在倒刺外扩薄钢板抵住水泥砂浆后，锚杆根部的抗拔力急剧增大至 30,000 N/mm，换算成整个锚杆体抗拔力则为 660 KN，即 66 吨力，相较不考虑灌浆的锚杆增大近 25 倍。

#### 4. 结论

创新发明的新型倒刺锚杆，具有明显的优点和特点。

1) 由于倒刺的存在，提高了锚杆的抗拔承载能力。成孔后锚杆放入时，倒刺结构的外扩薄片在孔壁约束下，呈微收缩状态紧贴孔壁滑动，到达预定位置后，锚杆在向外拉力作用下，由于孔壁表面呈凹凸糙面，倒刺外扩薄片会顶住孔壁，如果孔壁为硬质岩石，外扩薄片和孔壁之间则为硬接触关系，不考虑灌注水泥浆体，倒刺锚杆的抗拔力可达数吨。

2) 如果考虑注浆体，倒刺锚杆的抗拔能力会大幅提高，可达几十吨。

3) 带刺锚杆制作简便，有较为广阔的市场前景。倒刺锚杆由母体锚杆和子体倒刺构成，母体锚杆一般采用 HRB400 或 HRB500 粗钢筋，子体倒刺为四周带有外扩薄片如倒刺的中空结构，可以通过内置螺纹和母体锚杆螺纹连接固定，也可通过焊接和母体螺杆连接，倒刺结构兼具锚杆对中支架的作用。

4) 倒刺锚杆由于倒刺直接和孔壁接触，在作为永久锚杆时，一般只能用于无腐蚀或微腐蚀环境，不宜应用于腐蚀的环境。

#### 参考文献

- [1] 程良奎, 胡建林, 张培文. 岩土锚固技术新发展[J]. 工业建筑, 2010(1): 98-101.
- [2] 叶强, 刘强. 岩土锚固技术在公路边坡治理中的应用[J]. 公路, 2011(12): 43-45.
- [3] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(s1): 2214-2221.
- [4] 庄心善, 胡其志, 何世秀. 锚杆加固岩体边坡设计法分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002(7): 1013-1015.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50086-2015 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 2015.