

# 预应力锚索锚固段钢绞线应力分布研究

王全成, 杨 栋, 严君凤

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

**摘要:**使用磁通量传感器对拉力集中型预应力锚索锚固段钢绞线应力分布进行研究,分析了预应力锚索锚固段钢绞线应力传递和分布的规律;结合长期监测,分析了锚固段钢绞线应力损失情况以及张拉锁定前后锚固段钢绞线应力分布调整的规律。研究应用表明,磁通量传感器技术可作为锚索基本试验等各种试验中钢绞线应力分布检测的一种有效的方法。

**关键词:**预应力锚索;锚固段;钢绞线;应力分布;磁通量传感器技术

**中图分类号:**P642.22;U641 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)07-0016-03

**Study on Stress Distribution of Steel Strand for Anchoring Section of Pre-stressed Anchor Cable/WANG Quan-cheng, YANG Dong, YAN Jun-feng (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)**

**Abstract:** The paper introduces the study on stress distribution of steel strand in anchoring section of concentrated tension pre-stressed anchor cable by magnetic flux sensor, the stress transfer and distribution of steel strand in anchoring section are analyzed. Combined with long-term monitoring, the steel strand stress loss in anchoring section and the laws of stress distribution adjustment of steel strand in anchoring section before and after stretch locking are analyzed. The study and the application show that magnetic flux sensor technology can be an effective method for basic cable test and steel strand stress distribution detection in other tests.

**Key words:** pre-stressed anchor cable; anchoring section; steel strand; stress distribution; magnetic flux sensor

## 1 开展研究的意义

在锚索工程中,怎么快速合理地确定锚固段长度,一直都是一个难题,工程设计中均以经验取值为准,偏差较大;在锚固体系内部应力(钢绞线和砂浆体应力)的监测方面,开展的工作也不是很多。基于这种现状,锚固体系的合理性、可靠性,特别是经济性就具有不确定性。

在理论研究上,蒋忠信提出了拉力型锚索锚固段剪应力分布的高斯曲线模型<sup>[1]</sup>,朱玉等提出了确定预应力锚索锚固段长度的复合幂函数模型<sup>[2]</sup>,朱晗迺、陈安敏等对锚索预应力的变化规律进行了分析,并探讨了不同的预应力数学预测模型<sup>[3,4]</sup>,但在实际的工程应用中,受到岩土体性质差异、浆体胶结程度、锚索材料等多种因素的影响,相关理论的应用就受到限制,对实际应用缺乏定量化的指导作用。

在实际的工程应用中,通过锚索的基本试验,如果能准确把握锚固体系内部的应力分布,特别是钢绞线和砂浆体的应力分布,就能准确判断临界锚固段长度,对预应力锚索的设计和施工就能起到定量化的指导作用。基于以上因素考虑,拟采用切实可行的监测手段,对锚固体系的内部应力进行监测,通

过对锚固体系内部应力分布的研究,合理确定锚固段长度。同时,通过试验研究,提供一种快速合理的确定锚固段长度的有效手段,并对锚固体系内部应力的长期监测提供一种可靠有效的方法。

## 2 试验方案

本次试验为现场试验,在现场施工锚索,利用埋设在锚固段的应力传感器,检测锚索锚固段的钢绞线应力传递和分布,研究锚固段钢绞线应力分布规律,对合理确定锚固段钢绞线的长度提供科学依据,为工程优化设计提供依据。

现场试验实施前,对电阻应变片技术、光纤光栅传感器技术、磁通量传感器技术进行了对比分析。相比传统的电阻式等应变检测技术,光纤光栅传感器具有良好的耐久性、抗腐蚀、抗电磁干扰,适合于在恶劣环境中长期工作等,在野外试验中具有布线更方便的特点。磁通量传感器通过测量铁磁性材料制成的构件的磁导率变化,来测定构件的内力,具有高精度、非接触测量、自动温度补偿等特点。但光纤光栅传感器存在存活率低、成本高昂的问题,所以综合比选,最终选用磁通量传感器对锚固段钢绞线应

收稿日期:2013-06-15

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目“西部复杂山体滑坡快速加固技术研究”(1212011014023)

作者简介:王全成(1974-),男(汉族),四川达州人,中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师,勘察工程专业,从事岩土工程及地质灾害防治技术工作,四川省成都市金牛区一环路北二段1号。

力分布进行检测。

本次试验总计施工 3 束 1500 kN 级的拉力集中型锚索(9 根钢绞线),锚索总长 30 m,锚固段长度 10 m,在每束锚索中取一根钢绞线作为本次应力分布研究的对象。在自由段两端各布置一套磁通量传感器,在锚固段每隔 1 m 布置一套磁通量传感器,总计布置了 12 套磁通量传感器,详见图 1、图 2。图 3 为磁弹仪检测应力分布状态。

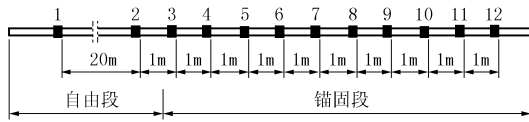


图 1 磁通量传感器布置图



图 2 锚索制作及磁通量传感器的安装



图 3 PS-500 磁弹仪检测锚固段钢绞线应力分布

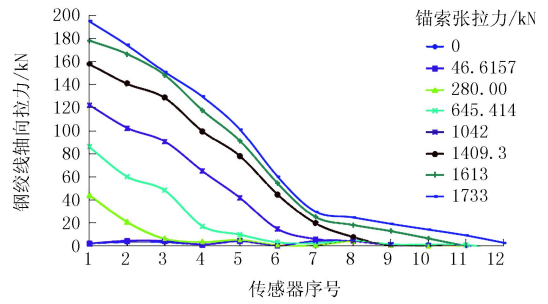
### 3 试验结果分析

测试中,对锚索进行了分级张拉,为了更准确把握锚固段钢绞线应力传递和分布,张拉过程分级级数增加。由于受地基承载力影响,有 2 根锚索未达到超张拉值,但不影响对钢绞线应力分布的研究。

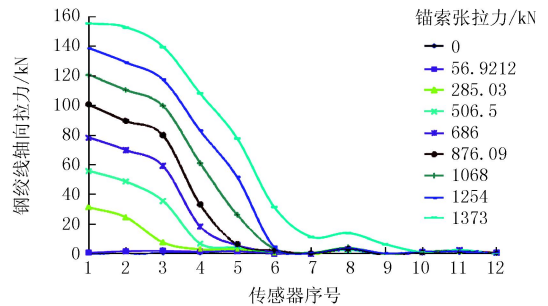
#### 3.1 锚固段钢绞线应力传递和分布规律

张拉过程中,每一级张拉,均对钢绞线应力(磁弹仪测到的数据为钢绞线轴向拉力,所以以下均称为轴向拉力)进行了检测、记录。随锚索张拉钢绞线轴向拉力变化曲线详见图 4。

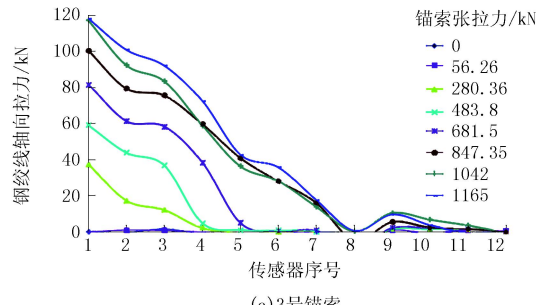
从以上曲线可以看到,随着张拉力的增加,锚固段钢绞线上各位置的轴向拉力由近自由段开始逐渐



(a) 1号锚索



(b) 2号锚索



(c) 3号锚索

图 4 锚索钢绞线轴向拉力变化曲线

增加,逐步向锚固段内部传递,靠近自由段的传感器读数增加较快,而近锚固段末端的传感器读数变化不大。锚固段钢绞线轴向拉力的分布呈靠近自由段的一段有明显应力集中,靠近孔底端的一段轴向拉力明显衰减,整体分布形态为指数函数形式,与许多学者研究成果相同<sup>[5,6]</sup>。在设计锚固力时,近自由段 0~4 m 范围内的锚固段为主要承力段,近孔底端 2~3 m 范围内的锚固段钢绞线轴向拉力基本不受锚索张拉力的影响,轴向拉力接近 0,说明该部分钢绞线未受力,未发挥承载的作用,据此推测,该部分钢绞线可以去掉(或作为安全储备),在工程应用中,去掉该部分钢绞线可达到减少锚索长度,节省材料,降低成本的目的。

#### 3.2 锚固段钢绞线应力分布的监测

在锚索张拉锁定后,对锚索锚固段钢绞线轴向拉力进行了将近 20 天的长期监测,锚索锚固段轴向拉力长期监测曲线见图 5。

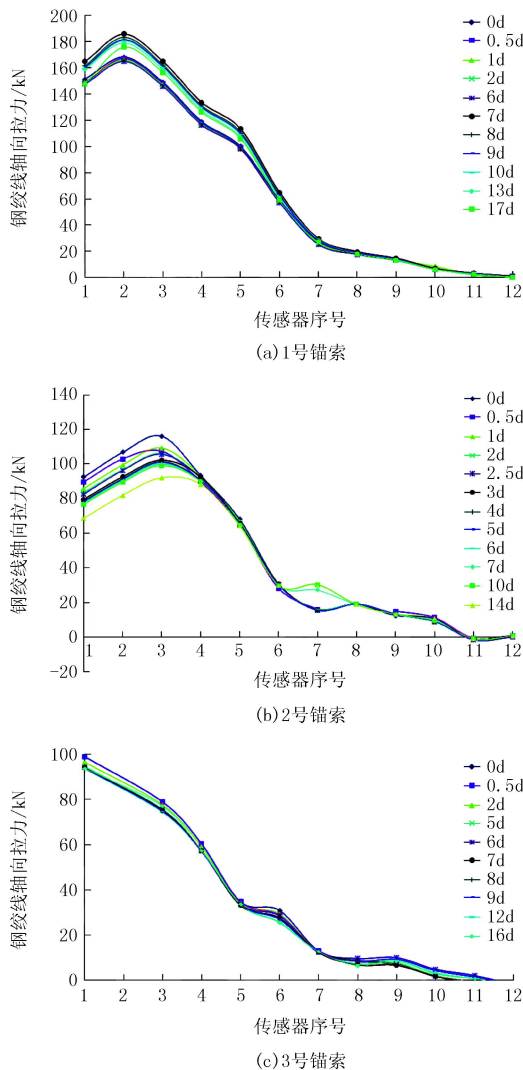


图5 锚索轴向拉力长期监测曲线

从长期监测曲线可以看出,在张拉锁定后前3天,轴向拉力损失较大,损失率约为2%~5%,由于2号锚索在张拉过程中地基开裂,损失率较大,最大达12.7%。轴向拉力的损失主要集中在近自由段的3 m锚固段内,靠近自由段损失率最大,向孔底方向损失率逐渐降低。3天后,锚固段轴向拉力分布曲线接近重合,轴向拉力分布趋于稳定。

### 3.3 锚索锁定后锚固段钢绞线应力分布调整的分析

对比图4(a)和图5(b)可以看出,在张拉过程中,自由段两端的传感器1、2处的轴向拉力并不完全相等,在张拉过程中,靠近千斤顶的传感器1处的轴向拉力大于靠近锚固段的传感器2处的轴向拉力,在张拉锁定后,靠近千斤顶的传感器1处的轴向拉力反而小于靠近锚固段的传感器2处的轴向拉力,说明即使自由段穿了防护管,也存在摩擦阻力,导致自由段两端的张拉力不一致,试验锚索20 m自由段两端钢绞线轴向拉力相差约10%~15%。

通过对比分析张拉过程轴向拉力变化曲线和轴向拉力长期监测曲线可以看出,1号锚索属于正常张拉锁定,所以呈现以上的变化规律。2号锚索由于在张拉过程中地基出现开裂,在张拉锁定后,由于地基的进一步压缩变形,近孔口的自由段传感器1、2处的轴向拉力减小,甚至减小到比锚固段近自由段的传感器3处的轴向拉力还小,分析认为,由于受砂浆的握裹力作用,传感器3处的轴向拉力下降较少。3号锚索在张拉过程中发生了整体滑移,导致长期监测曲线中,轴向拉力的分布由靠近孔口向孔底全长锚索范围内呈整体减少的趋势。所以通过轴向拉力的监测,除了能把握锚索轴向拉力的分布外,也能进一步反映锚索的施工质量。

## 4 结语

(1) 拉力集中型锚索锚固段钢绞线应力分布具有明显的应力集中现象,在设计锚固力时,近自由段0~4 m范围内的锚固段为主要承力段,近孔底端2~3 m范围内的锚固段钢绞线承受拉力基本为0。

(2) 锚索自由段即使设置了防腐管进行防护,还是存在摩擦阻力,导致自由段两端的张拉力不一致,试验锚索20 m自由段两端钢绞线轴向拉力相差约10%~15%。

(3) 采用磁通量传感器技术对锚索锚固段钢绞线的应力分布进行检测或监测,精度高,受干扰小,反映的数据真实可靠,磁通量传感器技术可作为锚索基本试验等各种试验中钢绞线应力分布检测的一种有效的方法。

(4) 期望通过努力,能寻找到一种准确可靠地检测锚固系统砂浆体应力的技术方法,进一步揭示锚固系统的应力分布,为合理确定锚固段长度提供技术方法。

## 参考文献:

- [1] 蒋忠信. 拉力型锚索锚固段剪应力分布的高斯曲线模式[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(6): 696-699.
- [2] 朱玉, 卫军, 廖朝华. 确定预应力锚索锚固长度的复合幂函数模型法[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(6): 61-63.
- [3] 朱哈迈, 尚岳全, 陆锡铭. 锚索预应力长期损失与坡体蠕变耦合分析[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(4): 465-467.
- [4] 陈安敏, 顾金才, 沈俊. 软岩加固中锚索张拉吨位随时间变化规律的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(2): 251-256.
- [5] 尤春安, 战玉宝. 预应力锚索锚固段的应力分布规律及分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 2113.
- [6] 丁秀丽, 盛谦, 韩军. 预应力锚索锚固机理的数值模拟试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 980-988.