

Design of Safe Pressure-Dispersion Anchor Cable and Application in Subway Station Construction

Bin Jiang¹, Zhanglin Chen¹, Xiao Song², Yongdong Jiang²

¹China Railway Tunnel Group Erchu Co. Ltd., Yanjiao Hebei

²State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing
Email: jiangyd1015@163.com

Received: Oct. 20th, 2018; accepted: Nov. 8th, 2018; published: Nov. 15th, 2018

Abstract

A new designed technique of safe pressure-dispersion anchor cable is introduced in this paper, and successfully applied in TouTang Subway Station project of Chongqing 4 line rail transportation. According to the field monitoring data, the anchor cable can effectively control the surrounding rock stability and rock creep slip. The influence on pre-stress loss by situation of anchor cable stretching and locking, magnitude of pre-stress, the slack of the material and construction condition was analyzed. The results showed that change of the pre-stress after stretching and locking can be divided into three stages: rapid loss stage, fluctuation change stage and steady change stage. According to the analysis of the loss and variation of pre-stressing of anchor cable, optimized combination of type of material and equipment, stretching and locking method and locking value can be obtained in order to compensate for pre-stress loss. The practices have provided valid evidence for the application of safe pressure-dispersion anchor cable technique in geotechnical engineering field.

Keywords

Safe Pressure-Dispersion Anchor Cable, Subway Station, Pre-Stress Loss, Compensation for Pre-Stress

安全型压力分散锚索设计及在地铁车站中的应用

江 斌¹, 陈章林¹, 宋 晓², 姜永东²

¹中铁隧道集团二处有限公司, 河北 燕郊

²重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆
Email: jiangyd1015@163.com

收稿日期: 2018年10月20日; 录用日期: 2018年11月8日; 发布日期: 2018年11月15日

摘要

本文设计了一种新的安全型压力分散锚索，该锚索在重庆市轨道交通四号线头塘地铁车站岩体支护体系中进行了应用，根据现场监测数据表明，该锚索能有效控制了车站围岩的稳定性和岩层蠕滑，并分析了锚索的张拉和锁定、预应力大小、材料松弛、施工因素对预应力损失的影响，锚索预应力的变化分为快速损失、波动变化、平稳变化三个阶段。根据锚索预应力损失和变化规律，针对不同的影响因素提出了合理选择材料、设备，选择适当的张拉方式，适当提高张拉锁定值等措施来补偿锚索预应力的损失。实践表明，所发明的锚索可以在岩土工程领域中推广应用。

关键词

安全型压力分散锚索，地铁车站，预应力损失，预应力补偿

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

拉力型锚索是岩土工程加固中常采用的锚索类型，具有结构简单、施工方便、造价较低等优点，但其锚固段受力机制却不尽合理[1][2]。压力分散型锚索利用分散布置于钻孔不同深度处的各个单元锚固段来共同承担锚索总的锚固力，利用各单元的承载体将无粘结锚索的拉力转化为对锚固段注浆体的压力，从而将锚索总的锚固力以压力形式分散作用于不同深度的岩土体上，具有诸多优点[3][4]。

当前，对压力分散型锚索的研究主要集中在锚固机理、结构参数设计、数值分析、张拉工艺等方面[5]，已被广泛应用于边坡、深基坑、坝基、硐室加固等工程领域[6][7]，而在大断面地铁车站开挖中应用较少。

采用安全型压力分散锚索作为暗挖初期支护可有效地控制隧道侧壁岩土体的大变形，尤其是围岩存在滑层的情况下，该技术对于保证隧道开挖和紧邻建构筑物的安全意义重大[8]。但由于安全型压力分散锚索抗拔力受地层条件、材料强度、张拉机具等因素影响较大[9][10]，容易出现锚固力不足的现象，导致隧道侧壁变形、地表下沉，故施工中确保锚索锚固力达到设计值无疑对隧道施工的安全性有重大影响。本文以重庆市轨道交通四号线头塘地铁车站为工程背景，设计了一种新的安全型压力分散锚索，并在工程中应用。

2. 工程概况

重庆市轨道交通四号线头塘地铁车站地处重庆市江北区，位于海尔路与内环快速路交叉口虾子蝙立交处，平行于海尔路路侧敷设，呈东西向布置，车站主体上方地面为内环高速。车站跨度 26.4 m，高度 28.2 m，长 237 m，断面面积 667 m²，埋深为 20.0~32.4 m，属于浅埋特大断面隧道。隧道围岩主要为砂质泥岩夹砂岩，围岩基本分级为IV级，隧道左侧壁岩层面顺向临空，存在偏压，右侧壁 J1 裂隙顺向临空，采用预留 T 型岩梁岩柱工法施工，分 13 部开挖，钻爆法掘进。

3. 安全型压力分散锚索的设计与布置

锚索承载力受注浆体的抗压强度、注浆体与围岩体间的粘结强度、锚索锚固单元的长度、锚索孔径以及钢绞线的强度等因素的影响[11]。由于头塘地铁车站周边建筑物及环境极其复杂，对岩体的变形、侧向位移量需严加控制，本工程锚固体的承载力主要由变形提供，通过施工前对安全型压力分散锚索进行抗拔

性能试验来作为检验设计各项数据和工程锚索施工的依据, 所设计锚索结构见图 1, 结构参数见表 1。

隧道左右两侧采用型钢拱架支护 + 五道预应力锚索支护, 以 K17+193.942-DK17+353.942 为例, 锚索的布置如图 2 所示, 具体参数为: 锚索间距 $3 \times 3 \text{ m}$, 锚索钻孔孔径为 $\Phi 170 \text{ mm}$, 左侧道锚索采用 12 股 $\Phi 15.2 \text{ mm}$ 的无粘结型钢绞线, 锚索与水平方向呈 25° 夹角; 右侧道锚索采用 8 股 $\Phi 15.2 \text{ mm}$ 的无粘结型钢绞线, 锚索与水平方向呈 15° 夹角。

锚索安装 7 天, 当锚固体强度大于 15 MPa 后, 开始张拉锁定, 隧道左侧锚索受拉设计值 1600 kN , 锁定载荷 800 kN , 锚索长度 $18.1 \sim 29.8 \text{ m}$; 隧道右侧锚索受拉设计值 1050 kN , 锁定载荷 525 kN , 锚索长度 $13 \sim 20.1 \text{ m}$ 。

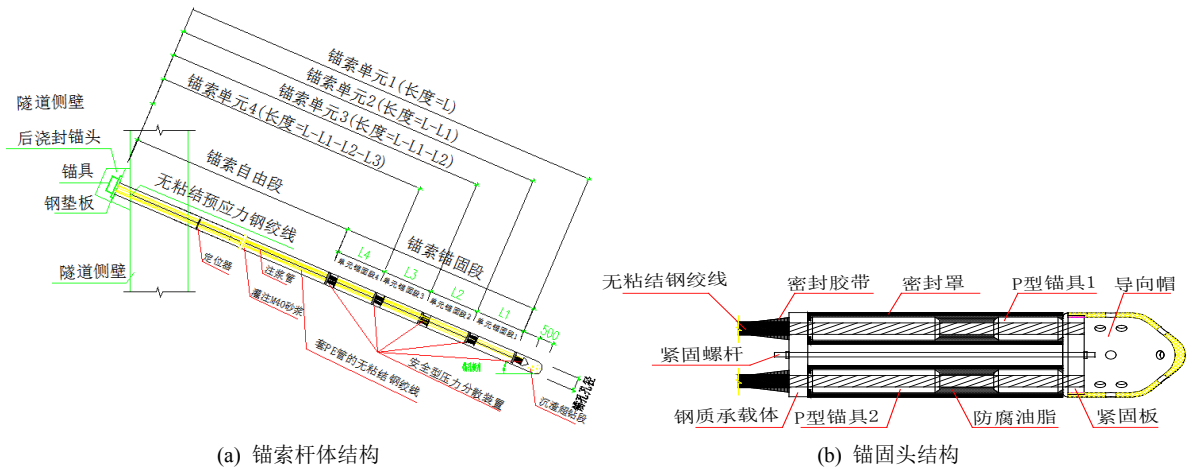


Figure 1. Structure diagram of anchor cable
图 1. 锚索结构示意图

Table 1. Safety pressure dispersion anchor cable type
表 1. 安全型压力分散锚索参数

| 序号 | 锚固段长度/m | 锚孔直径/mm | 锚孔倾角/ $^\circ$ | 钢绞线根数 | 设计荷载/kN | 锁定荷载/kN |
|----|---------|---------|----------------|-------|---------|---------|
| 1 | 12 | 170 | 25 | 12 | 1600 | 800 |
| 2 | 8 | 170 | 15 | 8 | 1050 | 525 |

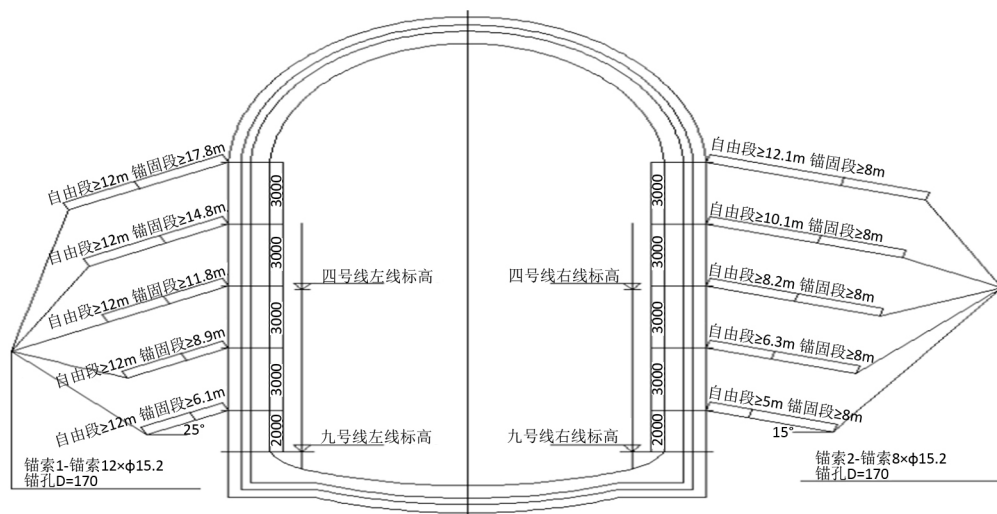


Figure 2. Anchor cable layout
图 2. 锚索布置图

4. 安全型压力分散锚索应力损失

4.1. 张拉、锁定对预应力损失的影响

锚索的张拉、锁定检测数据见表 2 所示, 从表 2 可以看出, 锚索在张拉、锁定后有预应力损失, 但其损失较小, 锚索 YD1-23、YD1-26、YD1-27 的损失率分别为 0.62%、1.36%、0.12%, 产生预应力损失的原因主要是由于张拉结束后对锚索进行锁定时所安装的锚具夹片会在锚索收缩时被拉入所引起[12]。

Table 2. Data of anchor rope tension and locking

表 2. 锚索张拉、锁定检测数据

| 序号 | 锚索编号 | 油压表载荷/kN | 测力计载荷/kN | 相差百分比/% | 锁定载荷/kN | 锁定损失率/% |
|----|--------|----------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | YD1-23 | 825.00 | 805.00 | 2.42 | 800.00 | 0.62 |
| 2 | YD1-26 | 835.00 | 811.00 | 2.87 | 800.00 | 1.36 |
| 3 | YD1-27 | 815.00 | 801.00 | 1.72 | 800.00 | 0.12 |

4.2. 预应力大小对预应力损失的影响

韩光[13]研究得出预应力大小会对预应力损失产生影响。该工程对锚索的预应力损失的现场测试结果见表 3 所示, 从中可以看出, 800 kN 级、525 kN 级锚索预应力损失平均值分别为 15.5 kN、11.33 kN, 损失率分别为 1.92%、2.16%。结果表明, 高吨位预应力锚索其损失值较大、损失率较低。

Table 3. Data of anchor loss rate

表 3. 锚索损失率数据

| 序号 | 锚索编号 | 锁定值/kN | 损失值/kN | 损失率/% |
|-----|--------|--------|--------|-------|
| 1 | YD1-30 | | 15.00 | 1.88 |
| 2 | YD1-35 | 800 | 13.00 | 1.63 |
| 3 | YD1-40 | | 18.00 | 2.25 |
| 平均值 | | | 15.33 | 1.92 |
| 4 | ZD1-30 | | 14.00 | 2.67 |
| 5 | ZD1-35 | 525 | 11.00 | 2.10 |
| 6 | ZD1-40 | | 9.00 | 1.71 |
| 平均值 | | | 11.33 | 2.61 |

4.3. 锚索材料松弛对预应力损失的影响

在巨大的张拉预应力作用下, 锚索会产生松弛损失, 当锚索长度不变时, 随着时间增加, 钢绞线内部应力将损失, 这是预应力锚索产生预应力损失的主要原因[14]。

4.4. 施工因素对预应力损失的影响

由于锚索施工过程复杂, 将不可避免地导致锚索预应力的损失, 主要表现在以下几个方面: ①外锚段封孔注浆, 由于浆体温度高于锚索温度, 将导致锚索膨胀、预应力减少; ②岩体的裂隙度, 当岩体中的裂隙较多, 浆体充填岩体中裂隙也将导致岩体发生膨胀变形, 从而会使预应力提高; ③钻孔倾斜, 研究资料表明[15], 钻孔斜率越大, 锚索预应力损失也越大。

4.5. 预应力损失变化规律

通过工程现场监测得出锚索预应力变化曲线如图 3 所示, 可将其划分为快速损失、波动变化和平稳变化三个阶段。从 1 月初到 1 月中旬, 为快速损失阶段, 持续时间为两周左右, 预应力快速降低, 预应力的损失受岩石岩性等因素影响; 从 1 月中旬到 2 月中旬, 为波动变化阶段, 持续时间约为一个月, 预应力呈上下波动趋势, 其原因主要是岩体和锚索内部应力调整引起; 从 2 月中旬到 2 月下旬, 为平稳变化阶段, 持续时间约为 10 天, 预应力变化较小, 达到稳定状态。所得结果与大量的工程实例结果相吻合。

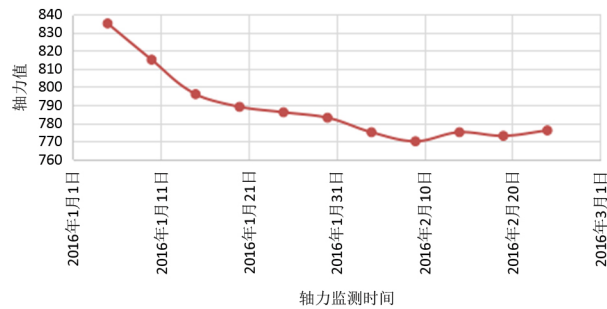


Figure 3. Monitoring curve of prestress change of anchor rope
图 3. 锚索预应力变化实测曲线

5. 锚索预应力的补偿

根据锚索预应力损失及变化规律, 提出了以下锚索预应力损失的补偿措施。

5.1. 合理选择材料及设备

可选用低松弛高强度无粘结钢绞线, 该材料在不同的破断负荷下、随着时间增加下的应力损失都比普通钢绞丝的应力损失小的多; 选择合适的钻孔设备, 尽可能降低钻孔斜率, 降低预应力损失率。

5.2. 选择适当的张拉方式

锚索在张拉、锁定中存在预应力损失, 在对锚索张拉、锁定的工作中应选择合适的时间对其进行张拉、锁定。现场实践证明, 必要的超张拉和反复超张拉可以减少锚索的预应力损失。锚索锁定后还可对其进行补偿张拉来弥补应力损失, 本工程实践得出锚索进行两次补偿张拉后的结果如图 4 所示, 可补偿锚索应力损失的 90%以上, 但补偿张拉时间不宜拖得太久, 可通过增加补偿次数降低应力损失。

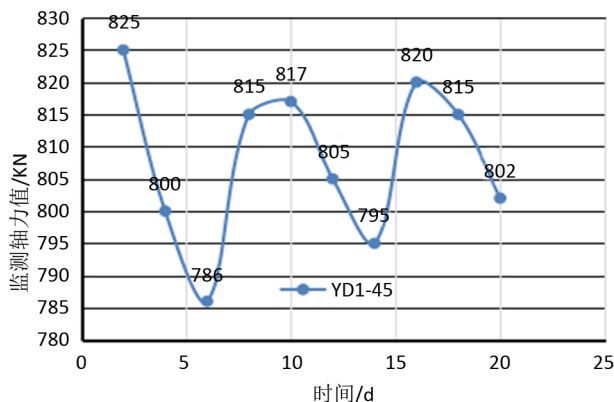


Figure 4. The axial force curve of anchor cable after tensioning
图 4. 补偿张拉后锚索监测轴力曲线图

5.3. 适当提高张拉锁定值

实测得出提高锁定载荷后预应力损失百分比的变化如图 5 所示, 结果表明适当提高锚索张拉时锁定值大小, 将有利于减低锚索轴力损失百分比。

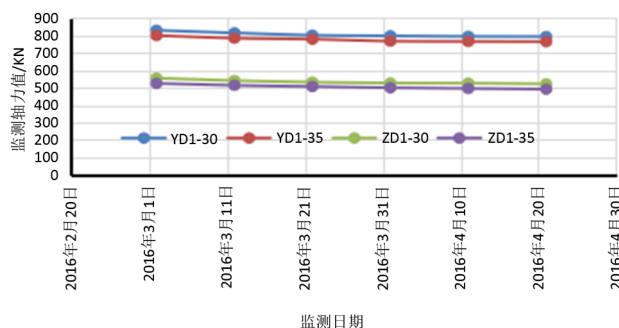


Figure 5. Improving the locking load on the conventional locking load axial force monitoring curve

图 5. 提高锁定载荷与常规锁定载荷轴力监测曲线

6. 结论

- 1) 设计了一种新的安全型压力分散锚索, 实践表明, 该锚索能有效控制车站围岩的稳定性和岩层蠕滑。
- 2) 分析了张拉、锁定、预应力大小、锚索材料松弛、施工因素对预应力损失的影响, 将预应力损失变化规律划分为快速损失、波动变化和平稳变化三个阶段。
- 3) 根据锚索预应力损失及变化规律, 提出了合理选择材料及设备、选择适当的张拉方式、适当提高张拉锁定值三种预应力损失补偿措施。

参考文献

- [1] 刘永权, 刘新荣, 杨忠平, 等. 不同类型预应力锚索锚固性能现场试验对比研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 275-283.
- [2] 曹兴松, 周德培. 压力分散型锚索锚固段的设计方法[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(9): 1033-1039.
- [3] 刘鸿, 冯君. 压力分散型锚索锚固机理数值分析研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(2): 446-455.
- [4] 刘海龙. 压力分散型锚索锚固段力学性能及其设计方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2013.
- [5] 叶红, 陈燕平. 压力型锚索动态响应的应力数值模拟分析[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(6): 1695-1701.
- [6] 曹伟. 压力分散型预应力锚索在边坡工程中的运用[J]. 江西建材, 2018(4): 143-144.
- [7] 吴曙光, 付红梅, 张岩岩. 拉压分散型锚索锚固机制及工程应用研究[J]. 岩土力学, 2018(6): 2155-2163 + 2174.
- [8] 王灼英, 刘成清, 李俊君. 高边坡压力分散型预应力锚索施工技术与安全质量管理[J]. 防灾减灾工程学报, 2013(S1): 63-67.
- [9] 罗博. 压力分散型锚索在高边坡加固中的应用[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [10] 朱晗迓, 孙红月, 汪会帮, 等. 边坡加固锚索预应力变化规律分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2756-2760.
- [11] 赵世华. 压力分散型锚索性能研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(增刊): 86-90.
- [12] 周德培, 刘世雄, 刘鸿. 压力分散型锚索设计中应考虑的几个问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(8): 1513-1519.
- [13] 韩光, 朱训国, 王大国. 锚索预应力损失的影响因素分析及其补偿措施[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2008, 27(2): 176-179.
- [14] 顾金才, 沈俊, 陈安敏, 等. 预应力锚索加固机理与设计计算方法研究[C]/第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集. 2004.
- [15] 芮瑞, 夏元友, 顾金才, 等. 压力分散型锚索锚固段受力特性试验分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(5): 917-923.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org