

预应力锚索结构受力分析及防腐保护

陈文杰 杨雄文 刘璇 孙学毅

【摘要】通过对拉力型预应力锚索受力分析,指出岩体、土体中拉力型锚索自由段分别应深入假想滑动面 1~2m 和 2~3m,并建议全长锚固拉力型锚索在孔口处应保留 50 公分长的一截自由段,以减少温度变化产生的剪应力。针对软弱岩体的流变位移和破碎岩体张拉、锁定后应力传递、能量耗散产生迟后位移,建议预应力锚索施工规范中应增加压力分散型锚索补偿张拉规定。文中最后介绍了柳州 OVM 公司新型高防腐锚索的结构。

【关键词】岩土锚固、预应力锚索、自由长度、锚索防腐

1、前言

近年来锚索在边坡、船闸、坝基加固等工程的应用越来越多,据初步统计单是在三峡船闸加固工程中就已经安装有 8 万根之多,今后几年三峡库区的岸坡加固和云南省的高速公路边坡加固还将要安装几十万米锚索,全国范围将是一个惊人的数据。

随着锚索在工程中大量应用,锚索结构在拉力型的基础上发展出了压力型和拉压型。在研究和工程应用实践中笔者认为对预应力锚索而言,除了研究结构之外,必须研究工作状态和防腐处理。一种理想的永久预应力锚索应适合地层特性、

工程环境和具有高防腐性能。

2、几种常见预应力锚索结构

1.1 拉力型预应力锚索

图 1 所示,拉力型预应力锚索一般由索体、粘结石、锚墩、锚头构成。索体常采用有粘结钢绞线,并常把滑动面作为界面而分成锚固段和自由段,滑动面以下为锚固段。

1.2 压力型预应力锚索

压力型预应力锚索索体采用无粘结钢绞线,孔底处有一个承压板,钢绞线固定在承压板上,其它结构与拉力型锚索相同(如图 2 所示)。

1.3 压力分散型预应力锚索

压力分散型预应力锚索是在锚孔内分散安装几个结构与压力型锚索相同的承压板,不同长度的钢绞线固定在分散的承压板上,形成分级承载

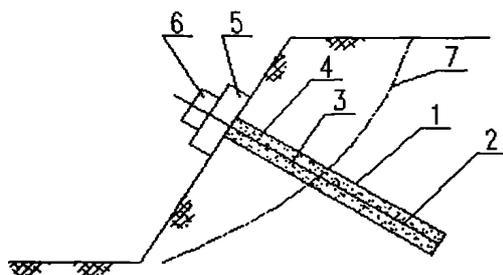


图 1 拉力型预应力锚索

1、锚索孔 2、锚体锚固段 3、锚体自由段
4、水泥芯柱 5、锚墩 6、锚头 7、滑动面

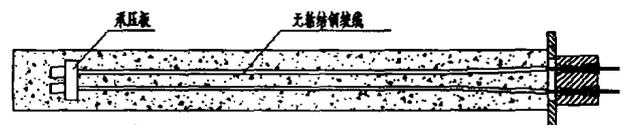


图 2 拉力型预应力锚索

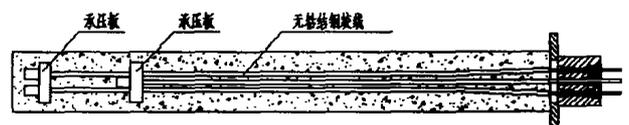


图 3 压力分散型预应力锚索

陈文杰：柳州欧维姆机械有限责任公司

锚索(如图 3 所示)。

3、拉力型预应力锚索受力分析

3.1 早期拉力型预应力锚索受力分析

早期拉力型预应力锚索注浆分两次进行。第一次只注锚固段部分,水泥浆达到强度后进行预应力张拉、锁定,第二次注浆是将自由段部分的锚孔注满水泥浆。

基于上述注浆、张拉过程可把问题归结到半无限固体中受集中力作用的位移解(Mindilin, 1936年)。傅作新^{[1][2]}研究得出:当锚索长 L 与锚索直径 d 之比(L/d)为一定时,锚索受力特点与材料的刚度系数 K 有很大的关系。

$$K = \frac{\text{锚索体弹性模量}}{\text{围岩的弹性模量}} \quad (1)$$

现举例应用上述结果:

考察安装在灰岩中一根拉力型锚索。灰岩弹性模量 $E_{\alpha} = 0.4 \times 10^5 \text{Mpa}$, 钻孔直径 $\phi = 80 \text{mm}$, 锚索直径 $d = 15.2 \text{mm}$, 2根钢绞线, 锚固段长 5m 。计算结果表明,当张拉力为 312KN 时,钻孔壁剪应力 τ 沿锚索轴向分布如图 4 所示。

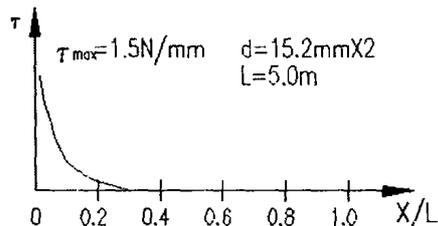


图 4 孔壁剪应力沿锚索轴分布

从图 4 可以看出,从锚固段外端起,锚索张拉后孔壁剪应力分布深度只有 $5 \text{m} \times 0.28 = 1.4 \text{m}$ 。进一步研究得出,当孔壁岩石硬且较完整,锚索张拉时孔壁剪应力只作用在锚固段外端很小范围,离开外端稍远孔壁剪应力便急剧减少并迅速趋向于零。

3.2 研究结果利用

分析上述结果认为:

- 1) 岩体边坡锚索设计时自由段长度进入假想滑动面内 $1 \sim 2 \text{m}$ 为可靠。
- 2) 土体边坡自由段长度进入假想滑动面 $2 \sim$

3m 为可靠。因为土体边坡破坏时,并不是一个曲面而是一个剪切滑动带。

3.3 改进拉力型预应力锚索受力分析

改进拉力型预应力锚索是把索体自由段钢绞线涂上黄油套上塑料管使其变成无粘结钢绞线。采用一次全长灌浆方式将索体与钻孔壁粘结在一起。

上述安装工艺实际上是把拉力型锚索改变成拉压型预应力锚索,当进行预应力张拉时,在自由段与锚固段界面处,锚固段水泥芯柱受拉,自由段水泥芯柱受压,其结果使锚固段水泥芯柱的拉应力峰值有所降低。同样在拉压界面处自由段的孔壁也产生剪应力,自由段孔壁剪应力的出现会使锚固段剪应力峰值有所降低。其力学模型示意如图 5。

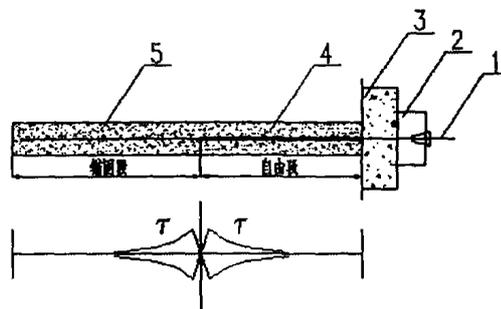


图 5 改进拉力型预应力锚索孔壁剪应力分布示意图

1、锚索体 2、锚头 3、锚墩
4、锚孔 5、水泥芯柱

3.4 分析结果利用

1) 作者认为改进拉力型预应力锚索在某种程度上克服了早期拉力型锚索易使水泥芯柱拉裂的缺点,在工程仍有应用价值。

2) 改进拉力型预应力锚索自由段是无粘结筋,这段钢绞线伸缩是自由的。作者认为这点与早期拉力型预应力锚索相比有很大改进。早期拉力型预应力锚索钢绞线全长与水泥芯柱粘结很有害处。傅作新^[2]在三峡船闸闸墙锚杆分析中得出结论:温度应力将使锚杆外端产生很大的剪应力,

这种剪应力在锚杆服务期内反复作用将导致不良后果。三峡船闸闸墙锚杆设计中采用了自由段结构, 计算表明大大减少了温度应力的影响。

4、压力型锚索受力分析

压力型锚索索体采用无粘结钢绞线, 通过孔底的承压板使锚索张拉力转化成压力作用在水泥芯柱上。

由于钢绞线是无粘结的, 锚索张拉后任一截面索体的轴向力是相等的, 基于这一前提条件, 现在只研究水泥芯柱受压, 压应力轴向分布规律和水泥芯柱与钻孔壁间剪应力分布规律。

4.1 这个问题仍然可归结到 MindLin 的位移解。尤春安^[3] 曹国金^[4] 得出的结果可以借鉴。

$$\tau = \frac{PKZ}{2\pi r} e^{-\frac{1}{2}kz^2} \quad (2)$$

式中: τ — 孔壁剪应力;

P — 作用在承压板压力;

r — 锚孔半径;

$$K = \frac{1}{(1+\mu)(3-2\mu)r^2} (E/E_\alpha)$$

μ — 岩石泊松比;

E — 岩石弹性模量;

E_α — 水泥芯柱弹性模量;

现研究设置在完整岩石中的一根压力型锚索。

已知:

岩石弹性模量 $E=4 \times 10^4 \text{Mpa}$

岩石泊松比 $\mu = 0.3$

水泥芯柱弹性模量 $E_\alpha = 2.8 \times 10^4 \text{Mpa}$

钻孔半径 $r=60\text{mm}$

张拉力 $P=312\text{KN}$

代入上述数据求得结果(表 1 和图 6):

上述分析虽然是定性的, 但是它说明压力型

表 1

Z (mm)	τ (pa)	Z (mm)	τ (pa)
10	5233.065	150	29693.23
20	16144.47	200	13008.53
30	23458.8	250	3887.44
40	29916.43	300	811.45
50	35315.07	350	119.1
60	395144.59	400	12.61
100	43836.39	450	0.95

预应力锚索孔壁剪应力主要集中在承压板附近有限的范围。

4.2 现估算承压板附近的水泥芯柱受压状态。

在本例中水泥芯柱抗压强度 $R_{\text{压}}=17 \times 10^3 \text{Kpa}$, 面积 $S=0.0113\text{m}^2$, 无侧限时, 允许压力 $P_{\text{允}}=17 \times 10^3 \text{Kpa} \times 0.0113\text{m}^2=192\text{KN}$

上述估算表明锚索预应力 P 大于水泥芯柱无侧限抗压强度。当然水泥芯柱是有侧限的, 抗压强度高得多, 但中间带孔的水泥芯柱也会使抗压能力大大降低。

综合上述分析, 认为压力型预应力锚索张拉后在承压板附近潜在着孔壁剪应力超载或水泥芯柱受压超载。

5、压力分散型预应力锚索受力分析

由于压力型锚索在承压板附近存在剪应力、压应力集中的缺点, 近年来国内外开始大量采用压力分散型预应力锚索。

压力分散型预应力锚索通过几个承压板将锚索预应力进行分散, 结构非常合理, 大大提高了锚索孔壁粘结力利用率。

但是通过几个工程应用分析的结果认识到, 压力分散型预应力锚索的工作状态有以下两方面缺点:

(1) 软弱岩体由于蠕变给分散型锚索带来不利

引用某工程边坡加固采用压力分散型预应力锚索的资料:

被锚固的岩体为炭质页岩, 易风化, 遇水膨胀。锚索荷载 1248KN, 分三级分散:

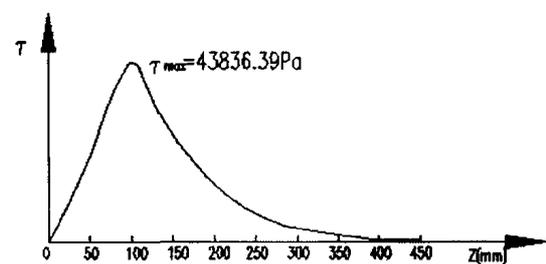


图 6 应力分布图

1号承压板：3根钢绞线，钢绞线长25m，预应力468KN

2号承压板：2根钢绞线，钢绞线长20m，预应力312KN

3号承压板：3根钢绞线，钢绞线长15m，预应力468KN

钢绞线强度1860Mpa，截面积140mm²。

假设边坡加固后营运5年岩体流变位移50mm，位移沿深度分布值为：

25m 范围位移：50mm

20m 范围位移：45mm

15m 范围位移：40mm

现按弹性伸长计算，岩体流变位移使锚索各段荷载增加值为：

1号承压板： $\Delta P_1 = 50\text{mm} \times 2 \times 10^5 \text{Mpa} \times 140\text{mm}^2 \times 3 / 25000\text{mm} = 168\text{KN}$

2号承压板： $\Delta P_2 = 45\text{mm} \times 2 \times 10^5 \text{Mpa} \times 140\text{mm}^2 \times 2 / 20000\text{mm} = 126\text{KN}$

3号承压板： $\Delta P_3 = 40\text{mm} \times 2 \times 10^5 \text{Mpa} \times 140\text{mm}^2 \times 3 / 15000\text{mm} = 224\text{KN}$

上例说明压力分散型预应力锚索在长期服务中岩体发生位移后各承压板处的钢绞线工作状态不一样，受力不均，这将影响锚索的锚固效果。

(2) 破碎岩体施加很大压力给分散型锚索带来不利

工程实践表明破碎岩体由于开挖或风化原因使边坡表面岩体产生松动。破碎岩体本身强度就低，大吨位预应力锚索张拉锁定后将给边坡岩体表面施加一个很大的压力，这必然使预应力在岩体中产生应力传递和能量耗散过程，其结果将使

边坡表面岩体产生一个迟后压缩变形，并使钢绞线产生应力降低。

现以破碎、风化砂砾岩边坡为例。压力分散型预应力锚索参数设计与前面相同，现分析因锚索张拉使边坡表面产生迟后压缩变形对3号承压板钢绞线产生的预应力损失。

已知锚墩截面积800mm×800mm，预应力为1248KN，则作用在锚墩底面的应力为2Mpa，这一数值已经超过破碎风化岩体的抗压强度。假定锚索张拉锁定后60天产生的迟后压缩变形为7mm，则钢绞线产生的应力松弛为：

$$\Delta P_3 = 7\text{mm} \times 2 \times 10^5 \text{Mpa} \times 140\text{mm}^2 \times 3 / 15000\text{mm} = 39.3\text{KN}$$

这个数值约为预应力的8.4%，已经超出规定范围。

分析结果应用：

①由于永久压力分散型预应力锚索在服务期内存在各承压板受力不均的缺点，有必要对其结构进行改进。

②由于永久压力分散型预应力锚索在服务期内各承压板受力不均，建议在规范中增加补偿张拉规定。

6、锚索防腐

永久型预应力锚索防腐是近年来重点研究的

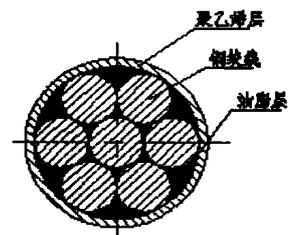


图7 无粘结筋结构示意图

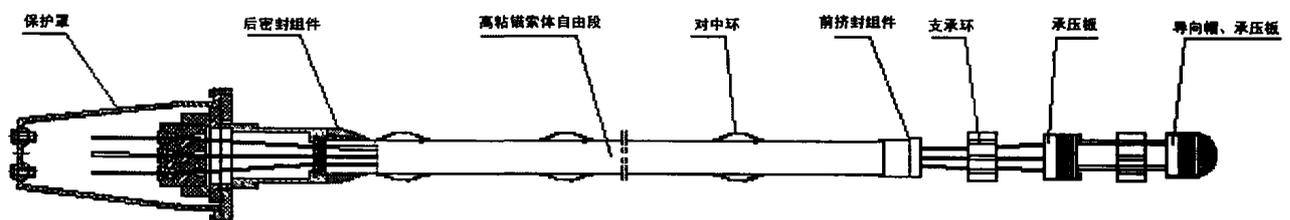


图8 OVM高防腐成品锚索

课题且必须解决的问题。

下面重点介绍压力分散型预应力锚索的防腐保护。

6.1 钢绞线防腐

无粘结钢绞线防腐有两种。一种是光面钢绞线涂油脂挤聚乙烯套管(截面如图7所示),另一种是钢绞线表面喷涂环氧树脂再涂油脂挤聚乙烯套管。

6.2 承压板端锚固结构整体防腐

近期柳州欧维姆机械有限责任公司研制出一种高防腐成品锚索(见图8),在承压板位置的锚固结构上采用特殊挤压套把无粘结钢绞线聚乙烯层和绞线整体挤压,然后整体用环氧树脂密封。该技术已受专利保护。

6.3 锚索孔口防腐

自由段采用套管双重防腐,自由段在孔口位

置安装一密封装置。

6.4 锚头防腐

锚头盖上一个防腐罩,罩内充满防锈油脂、环氧砂浆或水泥砂浆,并皆可实现多次补偿张拉改变荷载。

参考文献

- 1、彭宣茂、傅作新等,“岩基中的垂直锚杆分析”,岩土工程学报,13(5):54
- 2、傅作新、梅明荣、张燎军、陈和群“大型船闸闸墙锚杆的分析与设计”土木工程学报,32(1):60
- 3、尤春安,“全长粘结式锚杆的受力分析”,岩石力学与工程学报,19(3):339
- 4、曹国金、姜弘道、熊红梅,“一种确定拉力型锚杆支护长度的方法”,岩石力学与工程学报,22(7):1141

● 信息窗 ●

宜柳高速公路边坡锚固工程顺利完工

宜柳高速公路边坡锚固工程目前顺利完工。该工程于今年6月底开工,经过4个多月的紧张施工,项目部按时、按量地完成了加固任务,并已顺利通过基础上部的自检及业主的初检,很快就可进行最终的竣工验收。

本工程位于宜柳高速公路 K1078+165~+210 处,地处柳江县洛满镇境内,距洛满镇约3公里。边坡由于坡高陡峭,雨水冲刷,加之原加固措施的简单,该坡段已出现明显的裂缝,并有不断扩大的趋势。为了保证高速公路的行车安全,南柳高速公路管理处决定对其进行加固处理。工程是采取公开的招投标方式确定施工单位的,我公司通过竞标以最接近标底的价格及良好的加固方案

取得了这一施工任务。加固的边坡共分三级。第一级布设24根预应力锚索、2条水平地梁、14条纵向地梁、7个泻水孔,同时坡面采用浆砌片石加2条急流槽;第二级布设44根预应力锚索、3条水平地梁、46条纵向地梁、9个泻水孔,坡面采用15#细石砼封闭,1条排水沟;第三级布设62根钢筋锚杆、4条水平地梁、53条纵向地梁、6个泻水孔,坡面采用浆砌片石护面。锚索形式采用了现已被广泛使用的OVM新型压力分散型锚索,为了加强锚索的防腐蚀性能,钢绞线用了OVM公司生产的环氧喷涂无粘结筋。

(孔建华)