

一种提高锚索边坡稳定性的施工方法

杨明斌

云南腾珑检测服务有限公司，云南文山，663099；

摘要：路基高边坡的稳定性是高速公路建设中亟需解决的重要问题之一。锚索框架梁防护技术通过利用锚索的拉力作用并结合框架梁的支撑作用实现对边坡的有效加固。该技术具有施工方便、适应性强、稳定性好等优点，因此在路基高边坡防护中得到广泛应用。锚索框架梁通过预应力锚索对边坡施加的拉力，以及框架梁对边坡表面的支撑作用，共同提高边坡的整体稳定性。锚索的预应力作用使得边坡内部的岩土体受到压缩，减少滑移面的剪切力，从而增强边坡的抗滑能力。框架梁则通过其刚性结构，有效地分散边坡表面的荷载，防止边坡表面的局部破坏，同时通过与锚索的连接，将锚索的拉力传递到边坡表面，进一步增强边坡的整体稳定性。

关键词：锚索框架梁；预应力锚索；稳定性

DOI：10. 64216/3080-1508. 25. 10. 001

引言

锚索框架梁防护施工技术的实施涉及多个环节，技术难度较大。多数情况下张拉后锚下应力损失较多需要二次补张拉且补张拉后效果不佳，锚下应力依然损失较多。通过对以往数据统计发现锚下应力损失为 20%，远超规范容许值 10% 以内。这种结果会造成边坡整体稳定性差。故亟需一套标准化锚索施工方法作为指导锚索施工，已达到提升锚索施工质量的目的。

锚索框架梁的施工工艺流程包括施工准备、钻孔、钻孔冲洗、安装锚索、锚固段注浆、承压垫座施工、张拉、封孔、验收试验等工序。根据以往施工经验，为进一步提升锚索施工质量提出以下需求。

采用何种方法进一步提高成孔质量；如何保证足够的锚下应力且长久不损失从而提高边坡抗滑移能力；如何实现边坡变形实时监测及时发现边坡的变形情况。

1 对策实施

边坡开挖后测量放样准确定位出锚孔位置。开孔后较传统方法增加角度靠尺严格控制钻具的倾角与方向角。钻孔过程中严格遵循小钻压、低转速、短回次、多排粉的原则，提高锚孔一次成型合格率，张拉用钢绞线选用无粘结型钢绞线，有效防止钢绞线自由段锈蚀减小锚下应力损失，通过室内模拟试验确定最优注浆材料配比大大提高浆液扩散能力与及稳固岩体的粘结能力，通过现场工艺试验确定最优锚固段长度。张拉前，对锚索进行预紧，确保锚索处于良好的工作状态，减少张拉过程中的不确定性。通过现场工艺试验确定张拉加载速率、分级张拉力值、张拉终值，同时监测锚索和框架梁的变形情况。并埋设锚索应力计监测其锚下应力情况。较传

统方法选取代表性点位钻孔安设深部位移计监测其边坡整体位移变形情况，检验其施工质量。具体的控制要点如下图所示



图 1-1 锚索施工控制要点

1.1 钻孔角度控制

采用角度靠尺进行过程控制，在钻孔开始时量测钻具与台座的夹角进行控制，钻孔过程中没钻进 2m 对钻杆与坡面的夹角进行复核，若存在角度变化及时调整钻具与台座的夹角。钻孔完成后采用直径 70mm 的塑料套管进行检验其锚孔的顺直度，若顺直度不符合要求重行进行扫孔。



图 1.1-1 角度靠尺量测照片



图 1.1-2 套管检验顺直度照片

对已施作 10 个锚孔的孔径、孔深、顺直度及倾角进行检验。检验结果如下：

表 1 锚孔质量检验结果

锚孔编号	孔深	孔径	顺直度	倾角
2-2-1	合格	合格	合格	19
2-2-2	合格	合格	合格	20
2-4-1	合格	合格	合格	21
2-4-2	合格	合格	合格	19
2-6-1	合格	合格	合格	20
2-8-1	合格	合格	合格	19
2-8-2	合格	合格	合格	20
2-9-1	合格	合格	合格	20
2-11-1	合格	合格	合格	19
2-11-2	合格	合格	合格	20

通过采用角度靠尺进行钻孔角度控制，锚孔倾角得到有效控制。

1.2 钢绞线的选型

现场采用粘结型钢绞线配合 PVC 套管、密封胶带设置自由端与无黏结型钢绞线对比。



图 1.2-1 粘结型钢绞线



图 1.2-2 无黏结型钢绞线

采用无粘结型钢绞线具有较强的防锈能力。

1.3 注浆材料的选择

为提供充足的锚固力，注浆体必需具有足够的密实度、强度以及与稳固岩体的粘结力。在保证密实度前提下注浆材料需具有良好的流动性，锚孔结构特殊为保证密实度必须采用孔底返浆，使得注浆材料的流动性要求更高，但流动性的大小与浆体强度呈反比关系与在岩土中的扩散能力呈正比关系，如何兼顾二者关系是我们需要解决的问题。

采用细度较高的水泥进行配置，设置 0.4、0.45、0.5、0.55、0.6 五个水胶比进行浆液配置观测其流动度及强度。在此水胶比的基础上分别掺配 0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 聚羧酸高性能减水剂观测其流动度选择最优减水剂掺量。以此获得在保证强度的前提下满足大流动度的需求。

表 1.3-1 不同水胶比下净浆强度及流动度结果

水胶比	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
28d 强度/MPa	40	36	34	30	28
流动度/s	22	20	17	16	14

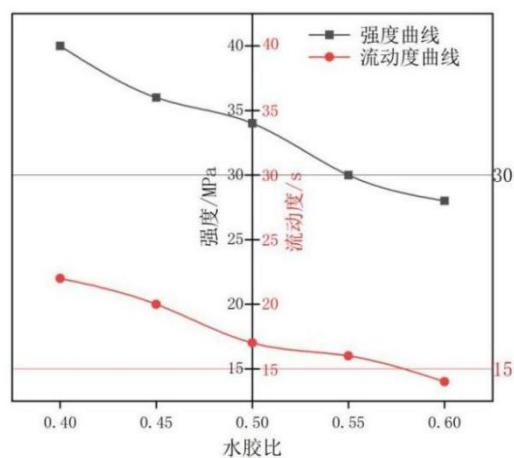


图 1.3-1 不同水胶比下净浆强度及流动度曲线

通过上述图表我们预将净浆强度控制在 30MPa 以上，流动度控制在 15s 以下，这样浆液在满足强度的前提下

有具有较强的扩散能力，可使锚固体与稳定岩体有较强的粘接应力。同时考虑现场不利因素我们选取 0.5 的水胶比为基准，掺配聚羧酸高性能减水剂以达到获得大流动的目的。

表 1-3-2 0.5 水胶比下净浆强度及流动度结果

水胶比	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%
28d 强度/MPa	35	34	34	33	34
流动度/s	17	15	14	14	14

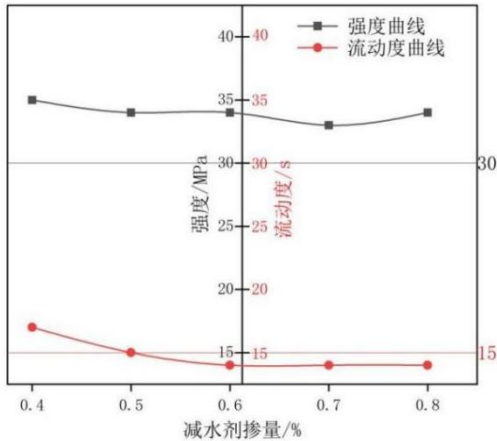


图 1.3-2 不同减水剂掺量下净浆强度及流动度曲线

表 1-4-1 不同锚固体长度下锚下应力情况

时间	2-2-1(12m)/KN	2-2-2(14m)/KN	2-4-1(16m)/KN	时间
张拉结束后	438	442	438	张拉结束后
1d	418	430	425	1d
3d	406	423	420	3d
7d	400	420	418	7d
30d	398	418	417	30d
锚下应力损失率/%	9.1%	5.4%	4.7%	锚下应力损失率/%

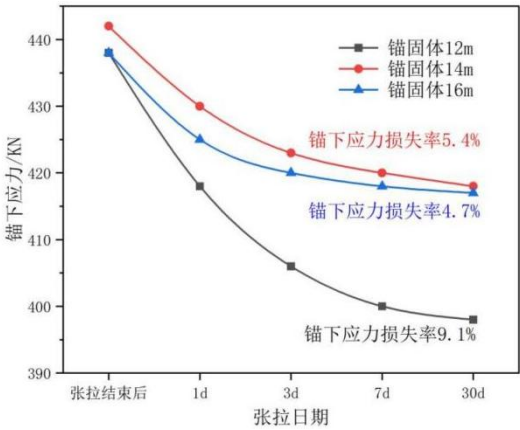


图 1.4-1 不同锚固体长度下锚下应力变化曲线

通过图表数据可以看出锚下应力损失率随着锚固的长度增加而减小，但锚固体由 14m 增加至 16m 时锚下应力损失相差不大且在 30d 左右锚下应力趋于稳定。为

通过上述图表可以看出选取 0.5 水胶比为基准随着减水剂掺量的提高净浆强度几乎没有变化，但流动度随着减水剂的掺量提高由开始的 17s 缩减至 14s，随后随着减水剂掺量的增加流动度无变化。这是因为减水剂的分散作用已接近上限，若在 0.6% 的基础上再提高减水剂的掺量一是成本的增加，而是可能造成浆液离析泌水。故最终选定的配比为 0.5 的水胶比减水剂掺量为 0.6%。相应强度及流动度能达到相关要求，对策目标达成。

1.4 锚固体长度的确定

该实施段落中 2-2-1、2-2-2、2-4-1 三个锚孔在钻孔过程中发现其地质条件较其他锚孔差，在钻孔过程中均出现塌孔现象。选择其作为探究锚固长度工艺试验的对象。其余边界条件钻孔质量控制、钢绞线选型、注浆材料、承压台座施工模板的选择、张拉锁定工艺均按上述确定的最优方案执行。设置三个锚孔锚固体长度分别为 12m、14m、16m。对其进行锚下应力观测，探究出最优锚固体长度。

达成活动目标且考虑到使用的是无粘结型钢绞线制作的锚索，锚固段需要人工去除外层包裹的橡胶层和油脂，为减少人工投入并综合锚下应力损失情况选择锚固段设置为 14m 时，对策目标达成。

1.5 承压台座施工模板的选择

采用塑钢模板立模浇筑框架梁，每浇筑 50cm 关闭顶模采用插入式振动棒进行振动，在锚具与框架梁连接部位加大振动频率，每条框架梁浇筑结束后人工沿侧模及顶模采用橡胶锤敲击一圈。浇筑结束后采用 3m 直尺验收其顺直度及配合塞尺检验锚具与框架梁连接部位的平整度，对策目标达成。

1.6 张拉锁定工艺的选择

在地质、锚孔质量大致相同、钢绞线均采用无粘结

型钢绞线、注浆材料一致、锚固段长度设置均按 14m 设置、锚具与框架梁连接部位平整度符合要求的前提下选择 6 个锚孔作为试验组。2 个锚孔采用设计张拉力的 100%预张拉，张拉后按照设计给出的五级张拉程序进行张拉仅采用锚垫板封锚，编号分别为 A1、A2；2 个锚孔采用设计张拉力的 100%预张拉后在按照设计张拉程序进行张拉采用封锚四件套进行封锚，锚孔编号分别为 B1、

B2；2 个锚孔按设计张拉力的 10%进行预张拉后按设计给出的 5 级进行张拉，张拉后采用封锚四件套进行封锚，锚孔编号分别为 C1、C2。对其进行封锚前 30d 锚下应力监测。观测其锚下应力变化情况从而获取最优张拉工艺。最后将 6 个锚孔进行二次张拉张拉力按照设计的 1.1 进行张拉观测其锚下初始值，在进行封锚观测其 60d 内锚下应力变化情况最终获取锁定工艺。

表 1. 6-1 不同张拉工艺下锚下应力情况

时间	A1	A2	B1	B2	C1	C2
张拉结束后	438	440	442	448	445	447
1d	426	423	435	440	423	421
3d	415	417	425	432	412	414
7d	405	408	422	428	382	385
30d	394	393	420	427	376	374
锚下应力损失率/%	10.0	10.7	5.0	4.7	15.5	16.3

表 1. 6-2 不同锁定工艺下锚下应力情况

时间	A1	A2	B1	B2	C1	C2
锁定时	445	438	442	439	447	446
1d	430	428	435	432	425	424
3d	428	422	433	431	422	418
7d	422	410	432	430	405	412
30d	420	416	431	430	402	408
45d	419	415	429	428	400	407
60d	418	414	429	428	398	406
锚下应力损失率/%	5.6	5.0	2.5	2.1	10.1	8.5

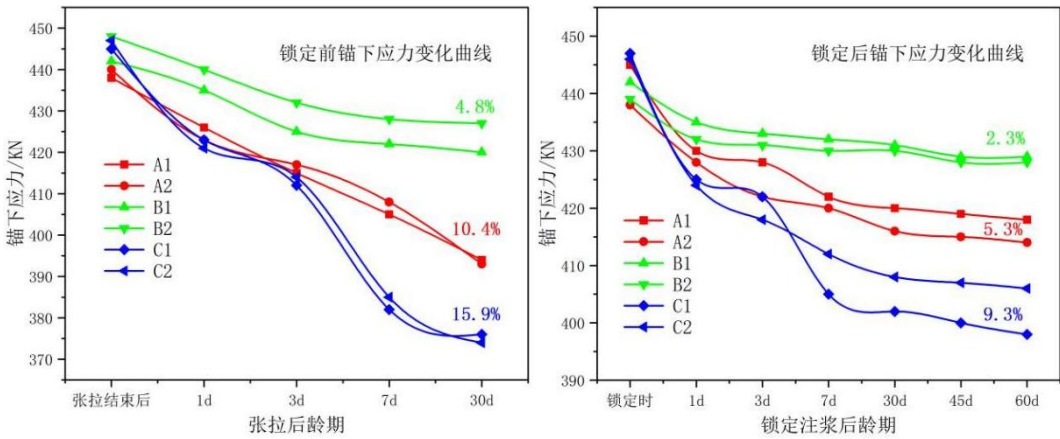


图 1. 6-1 不同张拉锁定工艺下锚下应力变化曲线

通过上述图表可以看出采用B试验组的张拉锁定工艺具有明显减小锚下应力损失的效果。这是因为预张拉时采用设计力值 400kN 对其进行张拉，这样能充分保证钢绞线的顺直度且能保证在张拉过程中各根钢绞线的受力均匀。锁定后同样 B 试验组具有优越性因为其采用封锚四件套可有效减少应力损失。综合可以得出采用设计力 400kN 对其进行预张拉，正式张拉时按设计张拉等级进行张拉，封锚采用封锚四件套及锚具、螺旋筋、

锚垫板、金属套管可有效减少锚下应力损失。且可一次张拉到位无需二次张拉。

1. 7 边坡位移变形观测方法

采用钻孔 40m 安装测斜管，并在测斜管内每间隔 2m 安装倾斜传感器，即可获取边坡内部不同高程的水平位移状态，相对于传统的边坡位移监测而言，这种应用可方便地实现远程遥测，并可准确而连续地监测建筑物或结构物内部或剖面的变形情况。

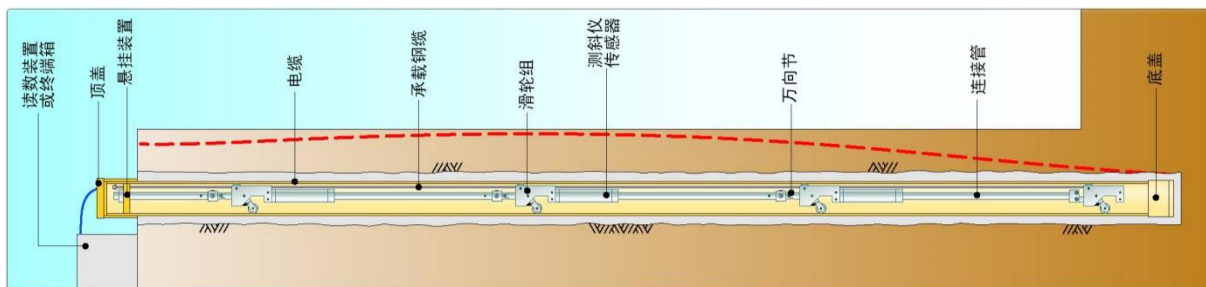


图 1.7-1 测斜仪安装示意图

具体的安装步骤为:

(1) 钻孔, 钻孔的直径为 $\phi 110 \sim 146$, 钻孔完成后应注意测量孔斜是否满足要求, 一般应在 $\pm 2^\circ$ 以内。

(2) 测斜管安装, 安装前在测斜孔上方搭设一支架, 用以支撑及吊装测斜管, 以防测斜管在安装过程中落入孔内。

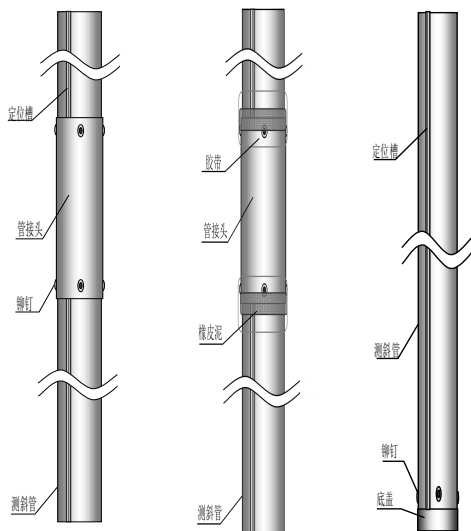


图 1.7-2 测斜管安装示意图

(3) 回填, 在测斜管安装完毕后, 即可进行回填灌浆工作。为保证回填密实度, 回填的浆料仍采用粘土、

细纱及少量水泥的混合材料灌浆处理。灌浆中应在测斜管中加清水平衡, 避免测斜管浮起。首次灌浆后, 浆液会有所回落的现象, 届时再进行补灌直到达到孔口为止。待 24 小时后, 即可安装固定式测斜仪。

(4) 固定测斜仪传感器安装, 在同一测斜管中, 固定式测斜仪安装的原则:

1. 所有传感器的安装方向必须一致;
2. 所有滑轮组的固定轮方向必须一致, 且固定轮的方向必须与测斜管的预期倾斜方向一致, 以保持系统侧向压力的大部分作用在固定轮一侧;
3. 必须准确记录传感器的编号、安装深度及测点间距;
4. 特别提示: 安装完毕的测斜仪系统必须是自由地悬挂在测斜管中, 即由顶部挂件受力而不是由底部滑轮承重或电缆承重; 如果存在底部受力现象, 应调整顶部挂件与顶部滑轮间的连接长度, 必要时重新调整各测点的间距。

5. 安装完毕后的安全绳应呈松弛状态, 富余的部分应固定在管口以外而不是放入管口内。

通过对平台数据的查阅发下该检测系统运行良好能实时进行边坡位移变形监测并上传数据。对对策目标达成。

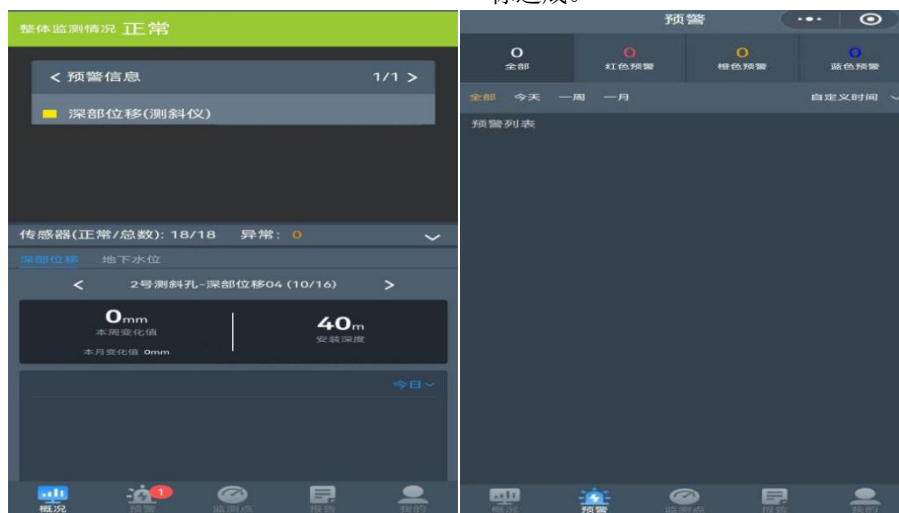


图 1.7-3 实时监测数据界面

2 工程实践状况

2024 年 5 月 30 日 K43+348-K43+472 右侧高边坡全面施工完成, 活动过程中各项对策均得到有效的实施, 达到了预期目标。目标设定为: 锚下应力损失将低至 8%, 边坡深部位移变形速率小于 0.1mm/d。

2024 年 5 月 30 日~2024 年 12 月 25 日, 在该级边坡埋设 6 个锚索计每间隔 15d 读取一次数值, 以及对长达半年的边坡位移变形位移数据统计。具体的监测结果如下:

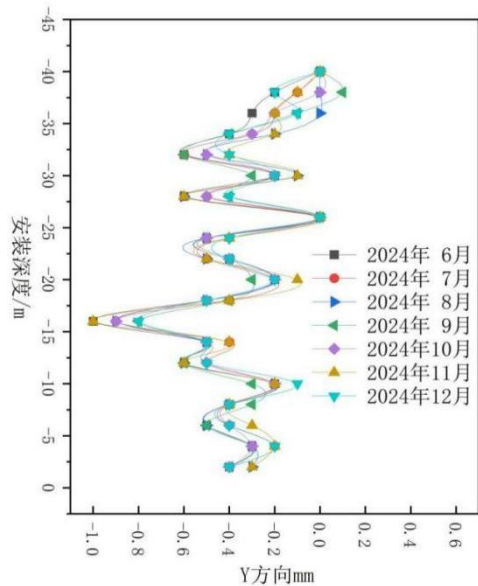
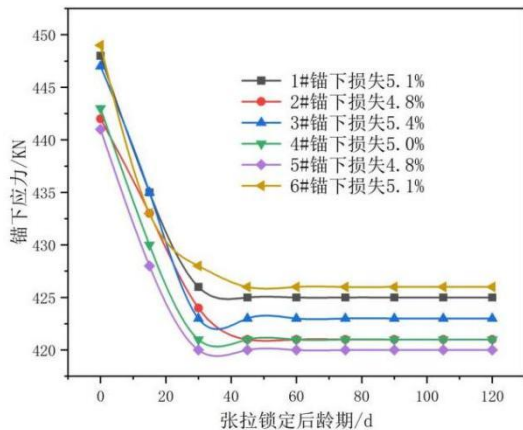


图 2-1 锚下应力变化及边坡深部位移变形曲线图

通过数据可以看出采用试验工艺法锚下应力损失在张拉锁定后 30 天后趋与稳定且采用上述锚索施工方法可有效降低锚下应力损失, 具体为锚下应力损失由原来的 20%下降至 5%, 边坡深部位移速率由历史统计数据 0.5mm/d 降低至 0.001mm/d。

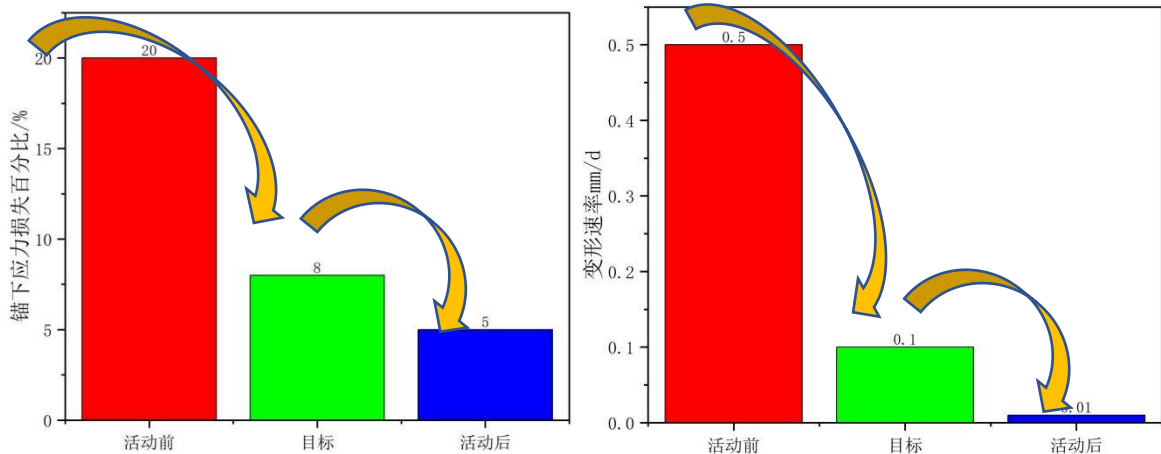


图 2-2 结果变化示意图

3 结语

采用上述确定的锚索施工方法, 解决了锚下应力不足的问题。大大提高了边坡锚索的施工质量增加了边坡的稳定性, 质量安全可靠。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 公路路基施工技术规范. JTG/T 3610-2019. 北京: 人民交通出版社, 2019
- [2] 中华人民共和国行业标准. 填充型环氧涂层钢绞线预应力锚索. JT/T 803-2011. 北京: 人民交通出版社,

2011

- [3] 中华人民共和国国家标准. 岩土锚杆(索)技术规程. CECS 22: 2005. 北京: 人民交通出版社, 2005
- [4] 中华人民共和国国家标准. 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范. GB 50086-2015. 北京: 人民交通出版社, 2015
- [5] 陈骏. 复杂岩溶坑壁超长锚索成孔技术研究, 湖南: 长沙, 2015, 12
- [6] 杨晓龙. 路基高边坡锚索框架梁防护施工技术研究, 四川: 成都, 2022, 12