

# 三处滑坡工后锚索承载性能现场试验对比分析

赖国泉

(中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 工后边(滑)坡预应力锚固工程的长期工作性能是影响锚固工程安全性的一个关键问题。通过一种改进的拉拔检测设备,对重庆三处滑坡工后锚索结构进行了锚索抗拔力检测。通过对各工点检测结果的分析,对各工点锚索结构物当前预应力状态、预应力损失率、锚索安全储备进行了科学判定,为补强整治提供依据。对比分析了造成三处滑坡预应力损失差别较大的原因,岩体蠕变变形及锚索的松弛耦合变形是导致工后锚索预应力损失的主要原因,对于过于松散破碎或含水量较大的滑坡体尽量避免采用预应力锚索结构。通过对比分析各工点工后锚固工程的应力状态及锚索破坏方式表明,锚固段破坏是引起锚固工程失效的主要方式之一,今后锚索工程施工时,应重点注意锚索的长度及注浆等施工质量。对于大型的边(滑)坡中的预应力锚固工程建议安装锚索测力设备,以便及时掌握预应力损失情况,及时进行补张拉,防患于未然;对于未安装锚索测力设备的,建议封锚时,预留钢绞线长度大于 5 cm,以便工后进行拉拔检测试验。此种改进的拉拔检测设备具有简单、实用、易操作等特点,值得在工后岩土锚固工程长期性能评价领域推广应用。

**关键词:** 锚索工程;抗拔力检测;应力状态;长期性能评价

**中图分类号:** P642. 22, TU413

**文献标志码:** A

预应力锚固技术由于变被动受力结构支护为主动受力结构支护,可以充分发挥岩土体自稳能力,大大减轻加固结构体自重和节约工程材料,同时又由于其施工的安全性与时效性,从而在岩土工程领域得到了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>。

预应力锚固结构物由于其复杂性及高度的隐蔽性,在经历较长的时间(一般 > 2 a),锚索结构物的各部分工作性能受岩土体的蠕变、钢绞线的松弛、锈蚀、降雨等的影响,将发生不同程度的变化,主要体现在反力结构、锚头部位结构及预应力损失及承载力的变化<sup>[3-7]</sup>。

预应力锚固结构长期预应力的损失以及承载能力的降低,存在极大安全隐患,一旦预应力锚固结构失效,有可能引起治理工程的整体失效。因此研究锚固工程的工后长期的工作性能,对重大的锚固工程进行安全评价,及时对出现预应力损失严重的锚固工程进行合理的工程处治是非常有必要的。目

前,预应力锚固结构工后状态评价主要有四种方法<sup>[8]</sup>:破坏性试验、拉拔试验、长期监控及无损检测。其中,无损检测目前理论尚未成熟,对工后锚固工程检测的可靠性较差,长期监控需要的成本较高,破坏性试验对工后锚索检测不适合,选取一定数量的锚索,对工后锚索锚固性能检测采用拉拔试验,是可靠可行的<sup>[9-12]</sup>。

本文以重庆山区高速公路三处工后边(滑)坡工程预应力锚索工程锚固性能检测为例,对三处边(滑)坡锚固工程工作状况进行了分析评估,对比分析了三处边(滑)坡锚固工程预应力损失存在较大差异的原因,为评估各边(滑)坡长期的稳定性及采取补强治理提供可科学依据。

## 1 工程概况

三处滑坡工程概况见表 1。

**收稿日期** (Received date): 2013 - 11 - 21; **修回日期** (Accepted): 2014 - 03 - 21。

**作者简介** (Biography): 赖国泉(1981 - ),男,甘肃兰州人,硕士,工程师,主要从事岩土工程、地下工程等领域的勘察设计工作。[Lai Guoquan (1981 - ), male, from Lan Zhou, Gan Su, master of engineering, engineers, engaged in geotechnical engineering, under-ground engineering survey and design consulting work.] E-mail: 2730856461@qq.com

表 1 各工点概况

Table 1 The general situation of each worksite

编号	工点概况	治理工程措施	备注
1#工点	老滑坡的基础上发育的顺层岩石滑坡;地面坡度 20°~25°;斜坡出露的岩层为侏罗系中统中薄层泥岩与厚层砂岩,岩层产状 NE67°/N25°~30°,上部泥岩层强风化呈土状,含泥量较高,砂岩因其具厚层构造而呈中风化较完整状	采用锚索墩、锚索地梁、抗滑桩等工程措施,在 1~4 级坡面上布设 16 排锚索,锚索长度 15~32 m,锚索端部设置锚梁和锚墩。锚索设计荷载 800 kN,锁定荷载 800 kN,锚索张拉分 5 级进行,分别为设计荷载的 0.25、0.5、0.75、1.0、1.2 倍。共实施锚索 535 孔,共计 14 579 m	截止目前滑坡治理后,高速公路已运营 9 a
2#工点	该滑坡由 1#潜在堆积层滑坡和 2#顺层岩石滑坡组成。堆积层滑坡在平面上形成呈簸箕形态,滑面倾角约 34°;滑坡体滑体主要物质为崩坡积的块碎石土组成,滑带物质以粘土夹碎石层为主,灰黑色,呈软塑~可塑状,滑床为下伏的砂岩,相对完整,隔水性好。2#为顺层岩石滑坡,主要分布侏罗系黑色泥岩,节理发育较发育	在 2~5 级边坡段坡面上分别布置 3(2)排预应力锚索,锚索长度 17~25 m,倾角为 20°;锚索均由 8Φs15.2 mm 高强度低松弛的 1 860 级钢绞线组成,锚固段长均为 10 m;锚索端部设置 I(II)型框架,锚索设计荷载均为 880 kN,锁定荷载 800 kN,锚索张拉分 5 级进行,分别为设计荷载的 0.25、0.5、0.75、1.0、1.2 倍。共实施锚索 535 孔,共计 14 579 m	截止目前滑坡治理后,高速公路已运营 3 a
3#工点	为切层岩石滑坡,分东西两块滑坡。滑体物质为第四系堆积层,以块碎石土为主,多为残积成因,坡积次之;滑床物质为中~强风化泥岩、砂岩	在 1~6 级坡面上分别设置 2(3)排预应力锚索,锚索由 8 到 9 根钢绞线组成,锚索长 15~25 m 不等,锚固段长 10 m,在锚索端部设置框架,7Φs 锚索设计荷载均为 770 kN,锁定荷载 700 kN,8Φs 设计荷载均为 880 kN,锁定荷载 800 kN,9Φs 锚索设计荷载均为 990 kN,锁定荷载 900 kN;张拉分 5 级进行,分别为设计荷载的 0.25、0.5、0.75、1.0、1.2 倍。共实施锚索 468 孔,总长 10 878 m	截止目前滑坡治理后,高速公路已运营 3 a

2 检测技术

为研究锚索锚固性能,通过拉拔试验检验锚索抗拔力是否满足要求,根据不同滑坡、不同地层的检测数据,分析锚固体的工后承载性能。

2.1 检测设备

工后边坡锚索已经封锚,传统的拉拔试验,需破坏混凝土受力构件,为了进行无损检测,通过接长钢绞线的办法,对传统的拉拔试验设备进行了改进见图 1。

2.2 检测原理

通过锚索预应力与承载力状态检测设备对锚索进行张拉,当外力逐渐增加并达到与锚索内力(锚索预应力)平衡时,锚索锚筋并未伸长,当外力继续增加至大于锚索原有内力时,锚索锚筋将产生伸长变形,锚索锚筋开始伸长变形时的张拉荷载即为锚索预应力。锚索预应力可以通过锚索张拉荷载~位移曲线来确定,OA'B'C 为理想情况下(自由段完全自由)的荷载~位移曲线,OABC 为自由段存在摩阻情况下的荷载~位移曲线,P0 为确定的锚索预应力(图 2)。

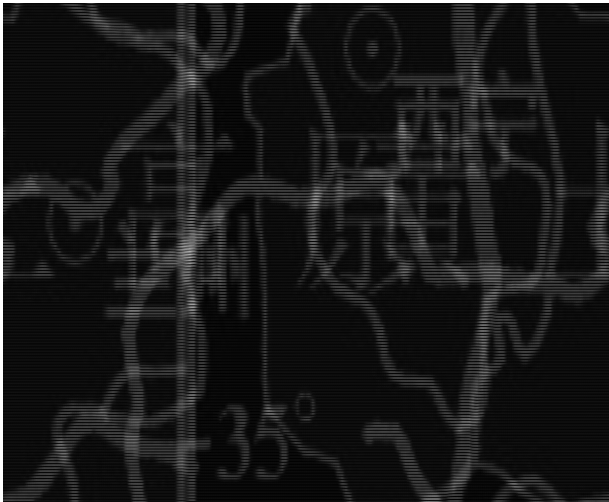


图 1 拉拔试验设备

Fig. 1 The drawing testing equipment

2.3 检测方法

试验采取分级加载,逐级测量锚索钢绞线变形的方式进行。由于锚索钢绞线上还存在原施工单位施加的荷载,首先进行一道卸荷程序,取出工作锚夹片使钢绞线处于自然状态后方可进行拉拔试验。试验按以下方式进行: 1. 拆除锚索端头封锚混凝土,



图 2 锚索当前预应力值确定图

Fig. 2 The figure of the anchor cable prestress value

清扫干净锚索、查看锚索张拉情况,并记录;2. 安装连接器、千斤顶;3. 试拉几次,使连接器件消除间隙,以确保记录的数据为锚索的真实伸长量;4. 加荷至设计值的 10% 后安装记录用百分表;5. 分别按设计荷载的 25%、50%、75%、100%、120% 逐级进行循环加荷,若张拉期间每个循环均未出现锚索破坏的现象,则一般不少于两个循环;6. 对张拉过程中出现的特殊情况进行记录和拍摄影像留存。

2.4 检测评定标准

锚索的破坏准则按如下标准确定:1. 后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 2 倍,即荷载-位移曲线出现明显的拐点;2. 油压表读数突然回落,锚头位移持续增长;3. 油压表指针瞬间严重摆动,锚索钢绞线断裂;4. 锚索承载体混凝土结构发生破坏。

出现以上特征之一时,取其前一级荷载作为当前极限荷载值,与设计荷载的比值作为当前安全储备系数

$$K = \frac{P}{P_A}$$

式中 K:安全储备系数;P:极限荷载(kN) P<sub>A</sub>:锚索设计荷载(kN)。

3 检测结果及分析

现场凿开锚头封锚砼,进行锚头检查工作中发现部分锚头外所留钢绞线长度太短(<3 cm)、钢绞线缺失(缩回)、锚筋与锚板及夹片滑脱,失去功效,

不具备检测条件,见图 3。

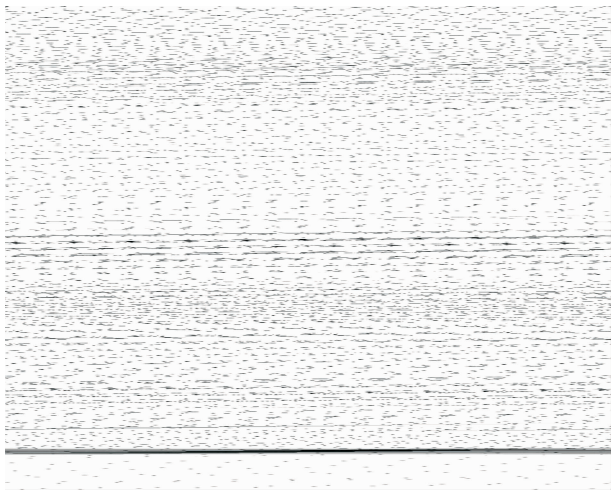


图 3 凿开后的部分锚头现状

Fig. 3 The current situation of part of the cutted anchor head

各工点检测锚索选取见表 2 所示,实际凿开孔数较表 2 多。

表 2 各工点锚索规格标准  
Table 2 The anchor cable standard of each worksite

工点编号	锚索孔数	检测孔数	设计荷载	锁定荷载	钢绞线规格
			/kN	/kN	
1#	535	12	800	800	Φs15.24 mm
2#	535	32	880	800	Φs15.24 mm
3#	468	20	880	800	Φs15.24 mm
			990	900	Φs15.24 mm

3.1 检测结果

各工点检测结果见表 3~表 5。

通过对表 3 分析可知,工点 1 本次抽检 12 孔锚索,其中 8 孔锚索的预应力值可以达到设计预应力值或预应力损失较小,合格率达到 67%。但大部分钢绞线最大位移量未超过该规范要求的荷载范围自由段长度预应力筋的理论弹性伸长值的 80% 的规定。

有 2 孔锚索(JC1-2、JC3-3)安全储备小于 1.2,虽没有破坏迹象,但存在将来锚固段破坏的可能性。有 3 孔锚索(JC2-2、JC3-1、JC3-2)安全储备远远小于 1.2,有破坏迹象,加至荷载最大时,钢绞线被拉断。说明锚固力不够或者锚固段长度不够,不具备补张拉条件。其余抽检锚索的安全储备

大于 1.2,满足建筑边坡规范要求。经过 8 a 的运营,该滑坡锚索结构近 61% 安全储备仍然满足规范要求。

表 3 工点 1 检测结果

Table 3 The testing result of the First worksite

编号	最大试验荷载 /kN	现锁定荷载 /kN	应力状态 /%	应力变化率 /%	锚索安全储备
JCK1-1	960	918.77	114.85	14.85	1.20
JCK1-2	896.06	782.51	97.81	-2.19	1.12
JCK1-3	960	782.51	97.81	-2.19	1.20
JCK1-4	1 056	888.63	111.08	11.08	1.32
JCK2-1	960	918.77	114.85	14.85	1.20
JCK2-2	351.02	196.6	24.58	-75.43	0.44
JCK2-3	1 056	803.3	100.41	0.41	1.32
JCK2-4	1 056	803.3	100.41	0.41	1.32
JCK3-1	328.31	214.76	26.85	-73.16	0.41
JCK3-2	305.6	237.47	29.68	-70.32	0.38
JCK3-3	880.1	713.48	89.19	-10.82	1.10
JCK3-4	1 056	660.03	82.5	-17.5	1.32

通过对表 4 分析可知,工点 2 本次抽检 32 孔锚索,2 孔(JCK1-1、JCK3-3)无法测到预应力值(预张拉过程中即出现钢绞线持续被拉出、油压上不去现象,推测可能为预应力损失殆尽或锚固段破坏造成),其余锚索的预应力值大部分损失 60% 以上,只有两孔(JCK7-3、JCK5-3)预应力损失为 45%、46%。说明大部分锚索均未达到设计所预期的工作状态。

7 孔锚索(JCK1-3、JCK2-3、JCK3-1、JCK3-3、JCK4-1、JCK8-1 和 JCK8-4)张拉荷载很小或者未达到超张拉时即出现钢绞线被拉断(有一根钢绞线被拉断即停止张拉),部分锚索拉断时钢绞线位移量超过规范要求,钢绞线位移量未超长而拉断的锚索可能为钢绞线受力不均或长度不够,钢绞线位移量超长而拉断可能为锚固段破坏而造成的。

4 孔锚索(JCK3-2、JCK5-3、JCK7-2 和 JCK9-1)锚索符合补张拉条件,即能够进行超张拉,超张拉时试验荷载都达到最大试验荷载值,最后一级荷载 15 min 持荷观测期间,油压稳定,钢绞线位移大量不增加,表明锚固段和索体均未出现破坏,张拉后锚头恢复原位,完好无损,故对 5 孔锚索进行了

补张拉。

有 24 孔锚索,张拉钢绞线位移超出该荷载范围自由段长度预应力筋的理论弹性伸长值的 80%,且小于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的预应力筋的理论弹性伸长值的规定,在完全卸荷后锚头未能恢复原位,说明锚固段锚固效果差,究其原因可能为

表 4 工点 2 检测结果

Table 4 The testing result of the Second worksite

编号	最大试验荷载 /kN	现锁定荷载 /kN	应力状态 /%	应力变化率 /%	锚索安全储备
JCK0-1	960.00	214.76	27	-73.16	1.20
JCK0-2	960.00	169.35	21	-78.83	1.20
JCK1-1	<100	<100	-	-	-
JCK1-2	960.00	214.76	27	-73.16	1.20
JCK1-3	902.86	182.97	23	-77.13	1.13
JCK2-1	960.00	428.24	54	-46.47	1.20
JCK2-2	960.00	196.60	25	-75.43	1.20
JCK2-3	941.48	351.02	44	-56.12	1.18
JCK2-4	373.73	169.35	21	-78.83	0.47
JCK3-1	896.06	169.35	21	-78.83	1.12
JCK3-2	960.00	214.76	27	-73.16	1.20
JCK3-3	101.22	101.22	13	-87.35	0.13
JCK3-4	668.96	260.18	33	-67.48	0.84
JCK4-1	725.73	227.48	28	-71.57	0.91
JCK4-2	960.00	192.05	24	-75.99	1.20
JCK4-3	960.00	196.60	25	-75.43	1.20
JCK1	960.00	234.47	29	-70.69	1.20
JCK5-3	960.00	428.24	54	-46.47	1.20
JCK5-4	960.00	196.60	25	-75.43	1.20
JCK2	960.00	260.18	33	-67.48	1.20
JCK3	960.00	223.85	28	-72.02	1.20
JCK7-1	600.00	183.88	23	-77.02	0.75
JCK7-2	960.00	237.47	30	-70.32	1.20
JCK7-3	960.00	441.86	55	-44.77	1.20
JCK7-4	623.54	282.89	35	-64.64	0.78
JCK8-1	960.00	214.76	27	-73.16	1.20
JCK8-2	960.00	237.47	30	-70.32	1.20
JCK8-3	960.00	234.47	29	-70.69	1.20
JCK8-4	918.77	146.64	18	-81.67	1.15
JCK9-1	960.00	146.64	18	-81.67	1.20
JCK9-2	960.00	196.60	25	-75.43	1.20
JCK9-3	960.00	237.47	30	-70.32	1.20

锚固段已经破坏或注浆效果较差。

有 11 孔锚索安全储备  $< 1.2$ , 其中安全储备系数在  $1 \sim 1.2$  之间的没有破坏迹象, 安全储备系数远远  $< 1.2$  的有破坏迹象。其余抽检锚索的安全储备等于  $1.2$ , 处于临界状态, 基本满足建筑边坡规范要求。经过 2 a 的运营, 该滑坡锚索结构近 71% 安全储备仍然满足规范要求。

表 5 工点 3 检测结果

Table 5 The testing result of the Third worksite

编号	最大试验荷载 /kN	现锁定荷载 /kN	应力状态 /%	应力变化率 /%	锚索安全储备
JCK1-1	903	182.97	20	-79.67	1.00
JCK1-2	1080	214.76	24	-76.14	1.20
JCK2-1	960	237.47	30	-70.32	1.20
JCK2-2	960	373.73	47	-53.28	1.20
JCK2-3	960	351.02	44	-56.12	1.20
JCK2-4	960	282.89	35	-64.64	1.20
JCK3-1	960	151.18	19	-81.10	1.20
JCK3-2	960	169.35	21	-78.83	1.20
JCK3-3	960	260.18	33	-67.48	1.20
JCK3-4	669	260.18	33	-67.48	0.84
JCK4-1	292	192.05	24	-75.99	0.36
JCK4-2	960	328.31	41	-58.96	1.20
JCK4-3	960	196.60	25	-75.43	1.20
JCK5-1	—	—	—	—	—
JCK6-1	960	196.60	25	-75.43	1.20
JCK6-2	960	214.76	27	-73.16	1.20
JCK7-1	960	73.96	09	-90.76	1.20
JCK7-2	960	196.60	25	-75.43	1.20
JCK8-1	896	196.60	25	-75.43	1.12
JCK8-2	960	441.86	55	-44.77	1.20

通过对表 5 分析可知, 工点 3 本次抽检 20 孔锚索, 1 孔 (JCK5-1) 无法测到预应力值 (预张拉过程中即出现钢绞线持续被拉出, 油压上不去现象, 推测可能为预应力损失殆尽或锚固段破坏造成), 其余锚索的预应力值大部分损失 60% 以上, 只有 4 孔预应力损失小于 60%。说明大部分锚索均未达到设计所预期的工作状态。

14 孔锚索在完全卸荷后, 锚头未能恢复原位。说明锚固段锚固效果差, 究其原因可能为锚固段已经破坏或注浆效果较差。JCK4-1 张拉荷载很小

时, 钢绞线被拉断。

3 孔 (JCK2-1、JCK2-4 和 JCK4-2) 锚索能进行超张拉, 具备补张拉条件, 对其进行了补张拉。

有 5 孔锚索安全储备小于  $1.2$ , 其中安全储备系数在  $1 \sim 1.2$  之间的没有破坏迹象, 安全储备系数远远  $< 1.2$  的有破坏迹象。其余抽检锚索的安全储备  $\geq 1.2$ , 满足建筑边坡规范要求。经过 2 a 的运营, 该滑坡锚索结构近 75% 安全储备仍然满足规范要求。

3.2 对比分析

边坡锚索结构工后应力状态主要有<sup>[13]</sup>: 1. 应力不足: 锚索结构当前应力低于设计荷载的 90%, 属于非正常工作状态。2. 应力损失: 锚索结构当前应力低于设计荷载, 但高于设计荷载的 90%, 属于正常工作状态。3. 应力增加: 锚索结构当前应力处于 100% 至 120% 设计荷载之间, 属于正常工作状态。4. 应力超限: 锚索结构当前应力超过 120% 设计荷载, 超过安全储备, 属于非正常工作状态。5. 锚固段破坏: 锚索结构的锚固段由于强度不足引起的锚固段结构破坏, 属于非正常工作状态。6. 锚筋破坏: 锚索结构由于锚筋材料极限强度低于 120% 设计荷载, 在试验过程中锚筋被拉断的现象, 安全储备不足, 属于非正常工作状态。

通过对 3 个工点 64 孔锚索检测结果的统计分类, 各种破坏模式所占比例见图 4 所示。



图 4 各工点检测结果统计图

Fig. 4 The results statistical figure of each worksite

由图 4 表明, 只有工点 1 约有 60% 的锚索处于正常的工作状态, 约有 40% 锚索处于应力不足状态。其典型的  $Q-S$  曲线见图 5。

应力不足情况对于边坡的整体锚固效果具有影响, 边坡锚固结构的稳定性降低。部分应力不足的锚索结构可通过应力补偿后仍能恢复设计的锚固作用, 对于具有补张拉条件的锚索进行了补张拉。

其他两个工点锚索均处于非正常工作状态。工



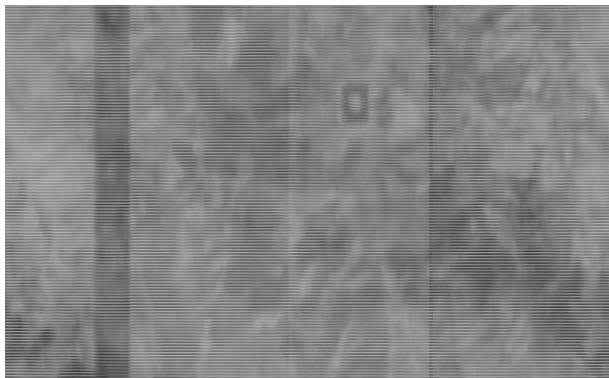
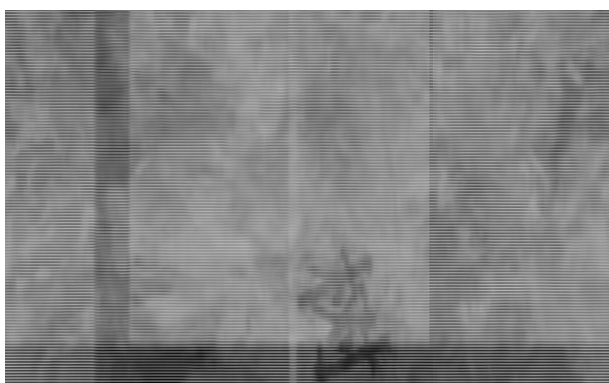
图5 应力不足典型  $Q-S$  曲线Fig.5 The  $Q-S$  typical curve of understressing

图6 锚固段破坏典型曲线

Fig.6 The  $Q-S$  typical curve of the anchoring damaged

点2、3检测锚索破坏以锚固段破坏为主,典型的 $Q-S$ 曲线见图6。

之所以出现锚固段的破坏,是因为应力超限锚索数量的增多,随着锚索当前应力的急剧增大,当超过锚固段锚固强度时,锚固段提供的锚固力不足,锚固段被破坏,锚索失效。对于此种锚索,应重点进行锚固力的补强整治。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本次3个工点的锚索应力检测采用的统一的检测仪器、检测方法及人员,但工点1与工点2、3(2个工点相距不远)检测的结果相差甚远。总体来看工点1虽然已通车运营8a,但预应力损失较小,约有60%的锚索处于正常的工作状态。工点2、3通车运营近2a,但预应力损失较大,全部被抽检的锚索处于非正常的工作状态。

引起预应力损失的影响因素众多<sup>[14-17]</sup>,其中由

于岩土体蠕变、钢绞线松弛原因引起的预应力损失较大。这是由于锚索锁定后,岩体在预应力锚索作用下,在受荷载影响区域内,会产生时效变形(主要发生在应力集中区域,即内锚头和外锚头部位)。流变引起的预应力损失与岩体的软硬和密实程度有关,岩体越坚硬密实,流变越小,预应力损失也就越小。而松散破碎含水量高的岩体,由于预应力压缩岩体产生的变形较大,而且变形持续时间较长,因岩体流变引起的预应力损失值较大。

工点1出露的岩层以中风化砂岩为主,夹有泥岩夹层,总体地层岩性较好,强度高,在营力的作用下较难产生蠕变变形,因岩体流变引起的预应力损失较小。工点2、3滑体物质为第四系堆积层,以块碎石土为主,滑体地下水丰富,滑床物质为中~强风化泥岩、砂岩。锚索自由段多位于堆积层中,锚固段则位于中风化泥岩、砂岩中。根据以往锚索抗拔试验以及张拉经验来看,锚固段可以提供足够的锚固力。但滑体物质松散,工后随时间推移一般会产生一定的蠕变变形,土体的蠕变变形可能引起锚索的松弛变形,造成预应力损失过大;另一方面,锚索端部一般设置框架或地梁作为反力装置,堆积层表层土体松散,在降雨情况下,地表径流易冲刷边坡,进而对框架底进行淘蚀,使得框架底部松散,导致锚索松弛变形,造成预应力损失。因此岩体流变变形及锚索的松弛耦合变形是导致工后锚索预应力损失主要原因。

由以上分析可知,地层岩性及滑坡体富水程度对锚索锚固质量影响较大。预应力锚索不是万能的,有一定的使用条件,对于过于松散破碎或含水量较大的滑坡体,因岩体流变引起的预应力损失值较大,尽量避免采用预应力锚索结构。

现场检测时凿开锚头封锚砼,进行锚头检查工作中发现部分锚头外所留钢绞线长度太短(短于3cm),造成无法进行检测,建议今后对于大型的边(滑)坡中的预应力锚固工程建议安装锚索测力设备,以便随时掌握预应力损失情况,及时进行补张拉,防患于未然;对于未安装锚索测力设备的,建议封锚时,预留钢绞线长度>5cm,以便工后进行拉拔检测试验。

工后边坡安全评估体系,在我国刚刚起步,许多大型、重要重要锚固工程存在重大安全隐患。因此,完善和提高工后锚索工程承载性能评价系统,是岩土工程领域的一项重大课题。本文介绍的此种改进

的拉拔检测设备具有简单、实用、易操作等特点,值得在工后岩土锚固工程长期性能评价领域推广应用。

## 4.2 结论

1. 通过一种简单、实用、经济的锚索抗拔力检测技术对工后边坡锚索承载性能做出了科学评价,为补强设计提供了科学依据。

2. 通过对3个工点工后预应力检测结果的对比分析表明,地层岩性及滑坡体富水程度对锚索锚固质量影响较大,预应力锚索不是万能的,有一定的使用条件,对于过于松散破碎或含水量较大的滑坡体,因岩体流变引起的预应力损失值较大,尽量避免采用预应力锚索结构。

3. 对于大型的边(滑)坡中的预应力锚固工程建议安装锚索测力设备,以便及时掌握预应力损失情况,及时进行补张拉,防患于未然;对于未安装锚索测力设备的,建议封锚时,预留钢绞线长度大于5 cm,以便工后进行拉拔检测试验。

4. 工后锚固工程的应力状态及锚索破坏方式表明,锚固段破坏是引起锚固工程失效的主要方式之一,今后锚索工程施工时,应重点注意锚索的长度及注浆等施工质量。

## 参考文献(References)

- [1] Cheng Liangkui. Research and new progress in ground anchorage [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3803-3811 [程良奎. 岩土锚固研究与新进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3803-3811]
- [2] Cheng Liangkui, Han Jun, Zhang Peiwen. Long-term performance and safety assessment of anchorage in geotechnical engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(5): 865-872 [程良奎, 韩军, 张培文. 岩土锚固工程的长期性能与安全评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(5): 865-872]
- [3] Zhu Benzheng, Wang Jiansong, Zheng Jing, et al. Study of anchor cable long-term performance testing and load compensation [J]. Journal of Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(Suppl. 2): 683-685 [朱本珍, 王建松, 郑静, 等. 锚索长期工作性能检测与荷载补偿技术研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(增刊2): 683-685]
- [4] Zheng Jing, Hang Long, Zhu Benzheng, et al. The problems related to the anchorage engineering for side slope and their effects [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009, (1): 27-31 [郑静, 韩龙, 朱本珍, 等. 边坡锚固工程质量问题及其影响[J]. 铁道工程学报, 2009, (1): 27-31]
- [5] Zheng Jing, Zhu Benzheng. Failure Factor and failure damage type of slope anchor structure [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010, (1): 27-31 [郑静, 朱本珍. 边坡锚索结构的失效因素与破坏类型[J]. 铁道工程学报, 2010, (1): 27-31]
- [6] Li Yingyong, Wang Mengshu, Zhang Dingli, et al. Study on influential factors and model for variation of anchor cable prestress [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(Suppl. 1): 3140-3146 [李英勇, 王梦恕, 张顶立, 等. 锚索预应力变化影响因素及模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增刊1): 3140-3146]
- [7] Zheng Jing, Zeng Huihui, Zhu Benzheng. Test study of influence of erosion on mechanical behavior of anchor [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(12): 2469-2474 [郑静, 曾辉辉, 朱本珍. 腐蚀对锚索力学性能影响的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(12): 2469-2474]
- [8] Luo Bin, Tang Shumin, Tang Zhonglin, et al. Nondestructive examination detection technique for anchor rope and its application [J]. Technology of Highway and transport, 2009, 12(6): 45-47 [罗斌, 唐树民, 唐忠林, 等. 边坡锚索无损检测技术及应用[J]. 公路交通技术, 2009, 12(6): 45-47]
- [9] Nie Biao, Wang Jiansong, Gao Hebin, et al. Application of prestress detection and compensation technology in high-slope anchorage [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(Suppl. 1): 239-242 [聂彪, 王建松, 高和斌, 等. 高边坡锚索结构预应力检测及补强修复技术的应用[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(增刊1): 239-242]
- [10] Han Kan, Li Dengke, Wu Guanzhong. Pull-out test on anchoring force of prestressed anchor cable [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(Suppl. 1): 385-387 [韩侃, 李登科, 吴冠仲. 预应力锚索锚固力拉拔试验分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(增刊1): 385-387]
- [11] Wang Jiansong, Zhu Benzheng, Liu Qinyuan, et al. The application of Anchoring engineering quality and long-term safety testing new technology in highway construction [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Version, 2010, (03): 62-65 [王建松, 朱本珍, 刘庆元, 等. 锚固工程质量及长期安全检测新技术在公路建设中的应用[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2010, (03): 62-65]
- [12] Gao Hebin, Ma Xinkai, Nie Biao. The application of the detection technology of anchoring engineering in a high slope stability analysis [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Version, 2010, (06): 76-78 [高和斌, 马新凯, 聂彪. 锚固工程工后检测技术在某高边坡稳定性分析中的应用[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2010, (06): 76-78]
- [13] Nie Biao, Wang Jiansong, Gao Hebin, et al. The brief analysis of stress state after work about slope anchor cable structure [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Version, 2010, (5): 62-64 [聂彪, 王建松, 高和斌, 等. 路堑边坡锚索结构工后应力状态浅析[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2010, (5): 62-64]
- [14] Liang Longlong, Cheng Jianjun, Liu Qinyuan, et al. Study on detection technique of long-term bearing capacity performance and safety evaluation method for anchor [J]. Journal of Modern Transportation Technology, 2011, 8(3): 1-3 [梁龙龙, 程建军, 刘庆元, 等. 锚索长期承载性能检测技术及安全评价方法研究]

- [J]. 现代交通技术, 2011, 8(3): 1-3]
- [15] Han Guang, Zhu Xunguo, Wang Daguo. Analysis of factors affecting pre-stressing cable anchor and compensative measures [J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2008, 27(2): 176-179 [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: 自然科学版, 2008, 27(2): 176-179]
- [16] Zhou Depei, Cai Wei. Influence factors and countermeasure about the loss of pre-stressing force of anchor cable[G]// The eighth of Chinese rock mechanics and engineering conference proceedings. Beijing: Science Press, 2004: 610-613 [周德培, 蔡伟. 锚索预应力损失的影响因素及对策[G]//第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集. 北京: 科学出版社, 2004: 610-613]

## The Contrastive Analysis of Anchor Bearing Performance of Three Landslides

LAI Guoquan

(Northwest Research Institute Co., Ltd. of C. R. E. C., Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The long-term performance of prestressed anchoring engineering is the key problem that affecting the anchoring construction safety. To detection of the anchor rope pulling force through an improved drawing testing equipment. To make the scientific decision by the anchor cable prestress value, the prestressed loss and anchor rope safety reserve, it provides the basis of reinforcement renovation. To analyzed the causes of stress loss distinction between each worksite, the rock mass creep and loose coupling deformation of anchor cable is the main reason that caused prestress loss after work, to avoid using prestressed anchor cable structure for larger too loose and broken or moisture content of landslides. Through the analysis of the anchoring construction worksite after stress state and anchor cable failure mode shows that the anchoring damage is one of the main methods of failure caused by anchoring engineering, anchor cable engineering construction in the future, should focus on the length of anchor cable, grouting construction quality, etc. For large prestressed anchorage engineering of side slope (slip) suggest installation of anchor cable force measurement equipment, in order to grasp the prestress losses, in a timely manner for tensioning, nip in the bud; for not installed cable force measurement equipment, it is recommended that the sealing anchor, steel strand length is more than 5 cm, reserved for drawing test experiment was carried out after work. This paper introduces the drawing of this improved detection device has the characteristics of simple, practical and easy to operate, is worth in the field of rock and earth anchoring construction after long-term performance evaluation.

**Key words:** anchor cable engineering; pull-out force test; stress state; long-term performance