

西藏公路滑坡防治中锚固结构的耐久性及修复技术

张正波¹, 何思明², 田金昌¹, 钟建¹, 杨天军¹

ZHANG Zheng-bo¹, HE Si-ming², TIAN Jin-chang¹, ZHONG Jian¹, YANG Tian-jun¹

1. 西藏自治区交通工程质量安全监督局, 西藏 拉萨 850000;

2. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041

1. *Traffic Engineering Quality and Safety Supervision Bureau of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, Tibet, China;*

2. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China*

摘要: 预应力锚固技术已成为西藏公路滑坡防治中最常用的工程技术。由于西藏特殊的地质地貌环境及气候条件, 预应力锚固工程较易出现耐久性的问题。对西藏公路滑坡预应力锚固工程进行调查, 存在的耐久性问题可归纳为 3 类: 锚头封锚破坏、框架梁悬空破坏和坡体局部变形滑动而引起锚索失效。在分析影响锚固结构耐久性主控因素的基础上, 针对性地提出了 3 种修复加固技术: 锚固结构封锚破坏及锚头损毁修复加固技术、预应力锚索框架维修加固技术和补增预应力提高锚固结构抗滑力技术。

关键词: 西藏公路; 滑坡; 预应力锚固; 修复技术

中图分类号: P642.22; P694

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2013)12-2038-06

Zhang Z B, He S M, Tian J C, Zhong J, Yang T J. The duration and remediation technologies of anchorage structure applied to the landslide prevention and control along the highway of Tibet. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(12):2038-2043

Abstract: The prestressed anchorage has been a common engineering technology for landslide prevention and mitigation along the highway in Tibet. Due to special geological and geomorphical environment and climate condition, the durability problem is prone to occur in prestressed anchorage. Based on the investigation of the prestressed anchorage engineering project applied to landslide along the highway in Tibet, the authors have classified the durability problems into three sorts, i.e., ① anchor seal failure; ② frame beam cavitation destruction; ③ anchor cable failure because of partial deformation of the sliding slope. On the basis of an analysis of the key factors that impact the duration of anchorage structure, three remediation and reinforcement technologies have been put forward, i.e., the remediation and reinforcement technology applied in the seal of anchorage structure failure and anchor head damage, the remediation and reinforcement technology applied in the prestressed anchorage cable and frame beam, and the technology applied in the supplement of prestress to improve the anti-sliding force of anchorage structure.

Key words: highway in Tibet; landslide; prestressed anchorage; remediation technology

预应力锚固技术具有对岩土体扰动小、施工快、安全、经济等优点, 在滑坡防治工程中已得到了广泛应用, 并取得了显著的经济和社会效益^[1-2]。预应力锚固结构的使用寿命取决于其耐久性, 目前国内外已经出现大量锚固工程破坏或失效的耐久性案例^[3-4]。锚固结构耐久性与修复技术日益引起关注。

近 10 余年来, 预应力锚固技术成为西藏公路滑坡防治中最常用的工程技术, 如川藏公路 102 滑坡治理工程共采用了 768 根锚索。西藏地处世界屋脊的青藏高原腹地, 特殊的高寒(年平均气温低于 0℃, 极端最低气温 -36~-45℃)、高温差(极端日温差 ≥ 70℃)、高湿差(常年干旱, 但时常伴有短时暴雨)、高

收稿日期: 2013-08-20; 修订日期: 2013-11-04

资助项目: 国家科技支撑计划专题项目(编号: 2012BAK10B02-4)、国家自然科学基金项目(批准号: 40971015)和国家重点基础研究发展(973)计划(编号: 2013CB733205)

作者简介: 张正波(1965-), 男, 高级工程师, 从事山地灾害防御技术研究。E-mail: zzb0127@sina.com

盐碱(土壤中普遍存在 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等侵蚀性介质)、高紫外线照射环境,使锚固结构的耐久性面临极大的挑战。目前,逐渐出现了诸如预应力损失、锚固结构锈蚀、锚头破坏等问题。因此,开展锚固结构的耐久性研究,提出科学合理的修复技术,具有重要的工程意义。

1 西藏公路滑坡防治中锚固结构应用现状

1.1 锚固结构的应用

与国内其它地区相比,西藏在滑坡防治工程中应用锚固结构较晚。20 世纪 90 年代后期,随着国家对西藏公路建设投资力度的增强,加之对西藏滑坡发育规律认识水平的提高,各种新型的抗滑支撑结构开始应用于西藏的滑坡防治中。预应力锚索抗滑桩、格梁(肋板)预应力锚固体体系等新技术,先后应用在西藏拉贡公路滑坡、中尼公路卡如滑坡、川藏公路色季拉滑坡、嘎玛沟滑坡、102 滑坡等防治工程中。据统计,现有超过 40 处滑坡(边坡)采用了预应力锚固技术。

1.2 工程概况

为研究锚固工程的耐久性,笔者调查了西藏公路设置有锚固结构治理工程的 30 多处边坡点,重点对川藏公路南线(G318)102 滑坡锚固工程开展了研究。

102 滑坡(102 滑坡群中的 2[#] 滑坡,简称 102 滑坡)位于波密县通麦以东约 8 km 的帕隆藏布右岸。滑坡体积达 $5.1 \times 10^6 \text{m}^3$ 。1991 年曾发生了大规模快速滑动,堵断帕隆藏布^[5]。102 滑坡群一带路段分布着多种类型地质灾害,包括泥石流、滑坡、滚石、崩塌、碎屑流、水毁等,是川藏公路地质灾害最集中、类型最多和规模最大的路段。其中,以 102 滑坡对川藏公路的影响最大、最持久。

102 号滑坡防治工程于 2002 年开始实施,防治工程包括两部分:①适当减重卸载,并配以大量截排水工程,减少地表水入渗,增加滑坡体稳定性;②以锚索肋板挡墙等支挡工程稳固滑坡。滑坡治理共采用 768 根锚索,绝大多数布置在滑坡中、下部的公路内外边坡。锚索设计长度 25~50m,设计拉力为 600 kN,锚索孔径 135mm,钻孔俯角 15°。一般填方路段以锚索肋板挡墙处理路基外边坡并稳固滑坡;半挖半填路段以预应力锚索肋板挡墙分别稳固路基内、外边坡并加固滑坡(图 1)。

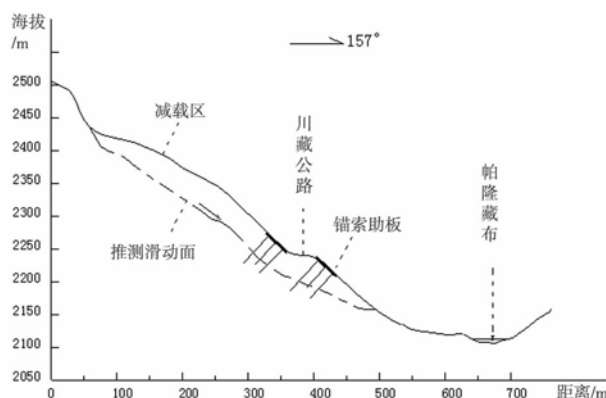


图 1 102 滑坡段整治工程锚索布置形式

Fig. 1 The arrangement forms of anchor cable in the landslide control engineering project

1.3 锚固结构评估

现场调查发现,102 滑坡整治工程中预应力锚索结构总体运行情况较好,锚固结构对 102 滑坡的整体稳定性起到了积极的作用,但也出现一些外锚头破坏、锚索锈蚀、局部架空失效等锚固结构损坏问题(图 2、图 3)。分析认为,由于滑坡体结构松散,在雨水冲刷作用下滑体上发育了一些冲沟,暴雨激发生成了泥石流灾害。泥石流中的块石冲击破坏锚索结构中的突出部位,造成外锚头破坏,部分暴露的锚索发生了一定程度的锈蚀。少数锚索框架被淘蚀悬空,致使预应力失效。这主要与西藏高原气候相对干旱和季节性集中降雨所导致的坡面径流侵蚀有关。

1.4 锚固结构破坏型式分析

基于对西藏公路滑坡预应力锚固工程的调查,发现耐久性问题主要有 3 类。

(1) 锚头封锚破坏

锚固结构损伤多为锚头封锚被泥石流、滚石等外力损坏,但是锚固结构仍可以发挥作用。

(2) 框架梁悬空破坏

在雨水冲刷和冻融循环作用下, 框架锚索下伏土体容易被侵蚀流失, 造成框架梁悬空破坏及锚索锈蚀或失效。

(3) 坡体局部滑动变形而引起锚索失效

有少数锚索因坡体局部变形而引起锚索失效。

2 影响西藏公路滑坡锚固结构耐久性的 主控因素分析

影响西藏干线公路边坡锚固结构耐久性的主控



图2 102 滑坡的预应力锚索锚头封锚被破坏

Fig. 2 The destruction of the seal
of prestressed anchorage cable



图3 102 滑坡的框架被部分淘蚀悬空

Fig. 3 The suspension of part of frame
beam because of cavitation

因素包括气候、环境等外部条件,砂浆特性、施工质量等内部条件。此外,还有特殊因素(人为或边坡落石等)及服役时间的影响^[6](图4)。

2.1 外部因素

外界影响因素主要指土体的腐蚀性和锚索所处的工作环境,前者是由土体的物理化学性质决定的。研究表明,反映土体腐蚀性的重要指标是土体孔隙度、土体电阻率、含水量、含盐量、pH 值、土体质地、地下水和地面水成分、地层的有效电阻率、地层的氧化还原电势、地下水和地面水的导电率,以及微生物

的种类等。一般认为土体腐蚀性的主要影响因素为地层土性质、土体含水量、土层侵蚀性等。

锚索所处工作环境包括地下水位与锚杆的相对位置及其变化情况,例如是处于地下水位以上(下),还是地下水位始终上、下波动。此外,影响因素还有大气、降水的侵蚀性、周围是否有外电场等。

上述因素中,影响锚固结构耐久性的物理因子主要是锚固结构承受的荷载、机械磨损、流水冲刷、温度和湿度;化学因子是侵蚀离子、氧气、水、二氧化碳等,如硫酸盐浓度、氯化物含量等。此外,锚固结构周围的植物对其耐久性的影响也不容忽视,其影响可概括为生物生长和生物腐烂 2 个方面。地质条件对锚固结构的耐久性也有重要影响。

2.2 内部因素

内部构造因素主要是指锚固结构形式及具体的设计参数。同腐蚀相关的内部构造有锚杆类型、锚固预应力、灌浆方式、锚头封闭措施等。锚杆类型分为压力型和拉力型;预应力水平高的杆体容易引起应力腐蚀。灌浆方式分为一次灌浆、二次灌浆和二次高压灌浆,它们在防腐方面有差别。锚头的封闭措施不同,如采用混凝土、钢罩还是塑料,或是锚头外露。它们引起腐蚀的可能性及其程度也有所不同。

锚固结构所使用的钢筋类型和混凝土等级均会影响锚固结构的使用寿命。而对构件是否采取防腐措施及采用何种防腐措施也会在一定程度上对锚固结构的耐久性能产生影响。此外,普通砂浆锚杆常采

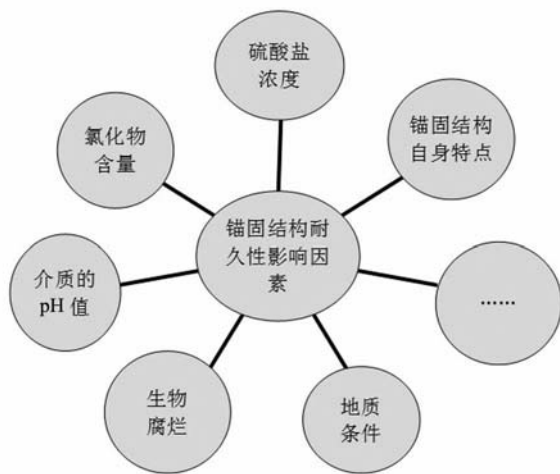


图4 影响西藏公路滑坡锚固结构耐久性的主控因素

Fig. 4 Key factors impacting the duration of landslide
anchorage structure along the highway in Tibet

用先灌浆后插筋的工艺,人为因素对灌浆饱满度影响较大,灌浆饱满程度难于保证,常导致实际的有效锚固区与设计要求相差甚远,而当前又缺乏检验砂浆饱满度的有效方法。锚杆的抗拔试验也无法判定这类全长粘结型锚杆是否满足设计要求。由于锚杆施工中砂浆饱满度难以控制,钻孔内的孔隙、空腔和杆体钢筋裸露现象难以避免。这为地下水(特别是含腐蚀介质的地下水)的入侵提供了通路,导致钢质杆体的锈蚀,严重影响锚杆的耐久性。

2.3 其它因素

一些不可预计的事件,诸如边坡落石、设计中的失误或偏差、施工中灌浆体的密实和均匀度等也可能对锚固结构的耐久性产生影响。

3 西藏公路滑坡锚固结构维护与修复技术

西藏公路滑坡锚固结构以胶结式拉力型锚索为主。灌注的常规水泥砂浆抗拉强度低、抗断裂韧性差,较易出现耐久性问题。目前锚固结构运行时间尚短,随着运行年限增加,锚固结构耐久性的问题也将逐步暴露。

本文基于锚固结构耐久性的分析与评价,结合新的工程技术手段,提出西藏公路滑坡锚固结构的修复加固技术。

3.1 锚固结构封锚破坏及锚头损毁修复加固技术

西藏公路边坡崩塌滚石灾害频发。除造成人员

伤亡外,也往往砸坏锚固结构的封锚,影响锚固结构的耐久性。基于此,可采用新型封锚设计,即通过开挖坡面,将封锚嵌入坡体来避免滚石撞击,甚至避免坡面流水的侵蚀,增加结构的耐久性^[7](图 5)。

3.2 预应力锚索框架维修加固技术

(1) 框架梁跨中缺损加固

框架梁跨中易出现截面抗弯能力不足和弯曲裂缝较大两种缺损病害。为此,可以通过加大跨中截面和增加纵向受力钢筋的方法来处理(图 6)。

设计施工的要点:①将原有混凝土表层凿除,露出梁的箍筋和纵向受力钢筋;②将新增纵向受力钢筋两头与原有的纵向受力钢筋焊接,纵向受力钢筋可以紧靠原受拉钢筋,如果紧靠不能满足要求时,可在靠河侧重新布置一排。新增受拉钢筋和原有受力钢筋的间距要满足规范要求;③将新增箍筋和原有的箍筋焊接;④立模浇注混凝土。

(2) 框架梁节点缺损加固

框架梁节点处有可能出现缺损病害,如截面靠山侧抗弯能力不足、截面靠山侧出现较大的弯曲裂缝、截面出现斜向剪切裂缝。对这 3 种缺损病害都可以采用扩大节点的方法进行处理(图 7)。

设计施工要点:①从节点附近的侧面凿除混凝土,露出框架梁的纵向受力钢筋;②将新增加的斜向受力钢筋以 45°夹角和框架梁的竖肋、横梁钢筋焊接;③在节点的水平方向和竖直方向新增设箍筋,分别和竖肋与横梁焊接。

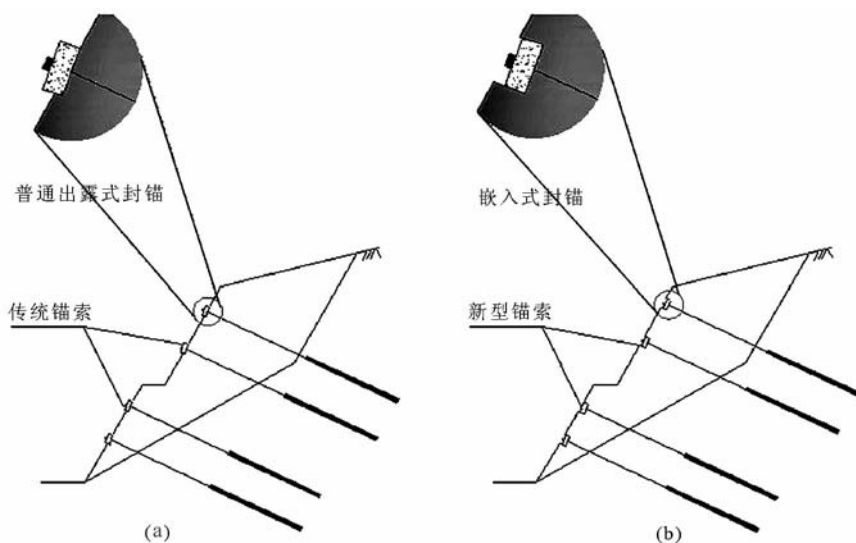


图 5 普通封锚与嵌入式封锚对比

Fig. 5 Comparison between common anchor seal and embedded anchor seal

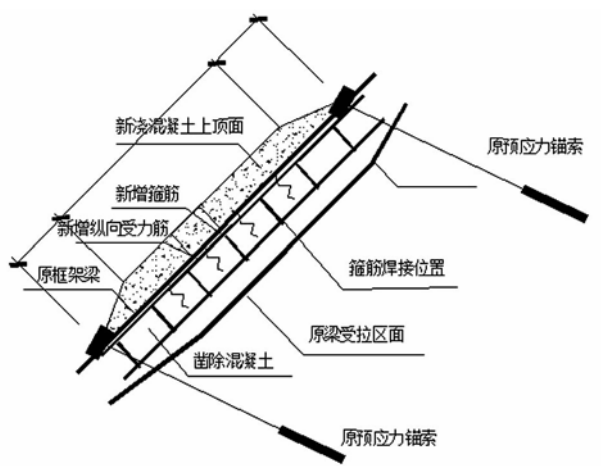


图6 框架梁跨中缺损病害加固图

Fig. 6 Diagram of failure reinforcement of frame beam span

(3) 框架梁凹陷加固

框架梁凹陷是由于框架梁下部的边坡岩土承载力较低,可采用注浆方法进行加固。加固的深度以超出软弱层的厚度为准。注浆孔的方向有“竖直方向”和“预应力锚索方向”2种方式(图8)。

如果边坡表层较松散,整体性较差,可增加小孔注浆的措施:在节点和跨中深层注浆孔间以小孔注浆进行加密,注浆深度2~3m即可;也可以在梁上采用小孔注浆加固措施。具体操作方法如下:①凿除框架横梁和竖肋混凝土,露出纵向受力钢筋和箍筋;②在钢筋间隙中钻孔至松散层以下;③插入 $\Phi 25$ 钢管至孔底,钢管与岩土接触部分每隔15cm钻孔眼;④将孔口段用封孔材料封孔;⑤在钢管中进行压力注浆;⑥恢复凿除的混凝土。

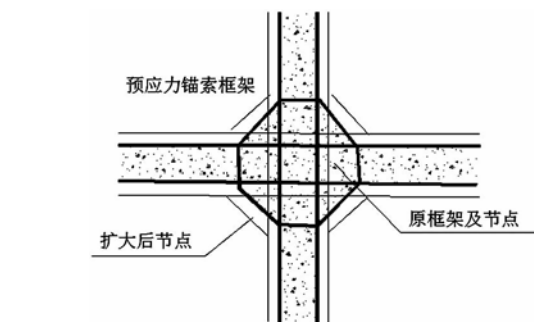
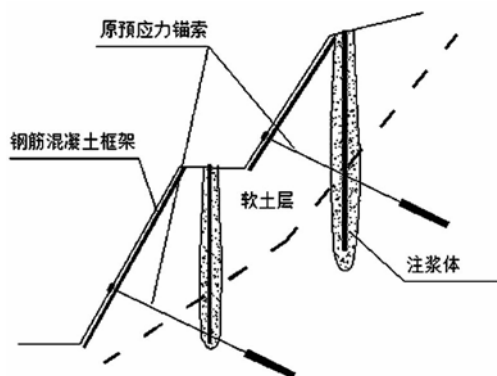


图7 框架梁节点加固图

Fig. 7 Diagram of node reinforcement of frame beam

(4) 框架悬空加固措施

根据底部悬空的原因、范围和发展趋势选用不同的方法进行加固。若框架底部的岩土仅仅是松动、框架底部脱落,可以采用注浆的方法进行加固(图8);若已发生一定规模的坍塌,可采用砂袋或浆砌片石填补加锚索(杆)框架方法加固。

3.3 提高锚固结构抗滑力技术

锚索的预应力损失是边坡锚固结构失效的主要因素之一。锚索的预应力损失包括两部分,一部分是锚索张力锁定后,在较短时间内由于锚索体系的回弹变形、锚墩下基础变形等原因造成的预应力损失量;另一部分是预应力锚索在长期荷载作用下,由于灌浆材料的徐变、锚固段周围岩体蠕变和钢绞线应力松弛等原因造成的预应力损失。

在计算确定了预应力损失量后,可以通过超张拉和补偿张拉给予弥补。锚索荷载补偿的原理是通过外力对已锁固的预应力锚索重新进行张拉锁定,

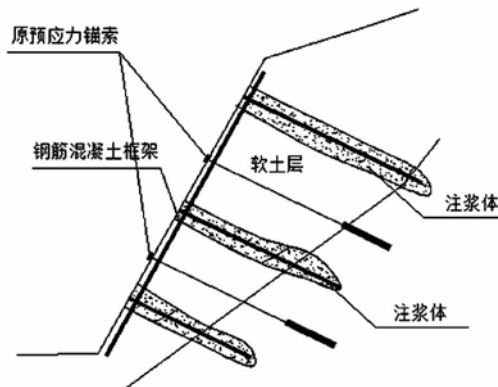


图8 注浆加固图

Fig. 8 Diagram of grouting reinforcement

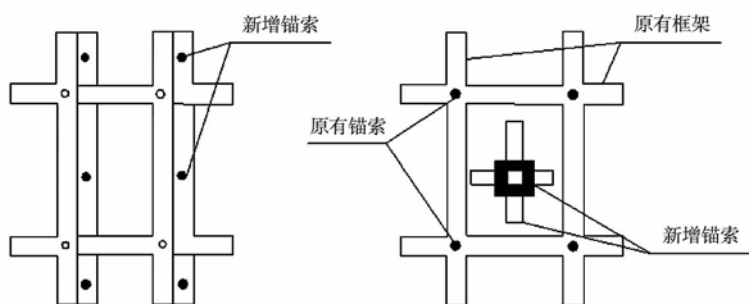


图9 预应力锚索补强加固立面

Fig. 9 Facade of prestressed anchorage cable reinforcement

补偿已损失的预应力,使之达到设计要求或最大可用值,以充分发挥预应力锚索的锚固作用^[8]。

对于荷载补偿后仍达不到结构安全需要的,则需要增加其它工程措施,如补增预应力锚索进行补强加固,以保证结构的安全^[9]。本方法也适用于设计预应力不足的状况。

补增的预应力锚索需满足以下要求:①锚固段应穿过变形体破裂面后一定的距离;②和原有的预应力锚索要有一定的间距。如果最小间距满足不了《岩土锚杆(索)技术规程》的要求,要沿预应力锚索伸入方向与原预应力锚索的锚固段错开。

增加的预应力锚索与新增加的竖肋连接,竖肋要紧靠原框架的竖肋。在与横梁交叉处凿除横梁混凝土,新增竖肋的纵向钢筋穿过横梁。其内力计算和配筋按独立的连续梁或弹性地基梁法计算,竖肋厚度和原有框架梁的厚度一致,宽度按满足截面配筋和地基承载力的要求确定。预应力锚索补强加固也可采用在原有框架中间设置“十”字梁或锚墩的方法设计(图9)。

4 结 语

预应力锚固技术已成为西藏公路滑坡防治中最常用的工程技术。由于特殊的地质地貌环境及气候

条件,较易出现耐久性问题。基于西藏锚固结构耐久性的分析与评价,针对已出现的耐久性问题提出了3种修复加固技术,供工程实践参考。

目前关于极端条件下的工程滑坡研究较少。研究锚固结构耐久性的一个重要目标是指导工程设计,如何对耐久性指标进行定量分析与检测,根据不同的设计寿命提出不同的控制指标,更好地为工程实践服务,这是值得深入研究的问题。

致谢:在研究工作中,重庆交通大学周建庭教授、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所李新坡副研究员参与了野外调查或室内分析,中国地质科学研究院吴树仁研究员认真审阅本文初稿并提出许多宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 7-12.
- [2]苏自约, 松祯祥. 岩土锚固技术与工程运用[M]. 北京: 人民交通出版, 2004: 67-71.
- [3]T H 汉纳, 著. 胡定, 等译. 锚固技术在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 1-18.
- [4]曾宪明, 陈肇元, 王靖涛, 等. 锚固类结构安全性与耐久性问题探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(13): 2235-2242.
- [5]张晓刚, 王成华, 孔纪名, 等. 川藏公路“102”滑坡群的基本特征[J]. 山地研究, 1998, 16(2): 151-155.
- [6]唐树名, 饶泉宇, 张永兴. 公路边坡锚固失效模式及影响因素[J]. 公路交通技术, 2005(5): 26-28.
- [7]张思峰, 宋修广, 周健, 等. 预应力锚固结构耐久性及其二次加固技术研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(2): 30-33.
- [8]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, 4(27): 176-179.
- [9]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, 11(5): 865-872.