

# 格宾技术在喀喇昆仑公路改扩建中的应用

## Application of Gabion Technology in Reconstruction and Extension of Karakoram Highway

陶双成<sup>1,2</sup>, 陈济丁<sup>1</sup>, 王云<sup>1</sup>, 叶成银<sup>3</sup>, 庞明<sup>3</sup>

TAO Shuang-cheng<sup>1,2</sup>, CHEN Ji-ding<sup>1</sup>, WANG Yun<sup>1</sup>, YE Cheng-yin<sup>3</sup>, PANG Ming<sup>3</sup>

1. 交通运输部科学研究院, 北京 100029

2. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710064

3. 中国路桥工程有限责任公司, 北京 100011

1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China

2. School of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China

3. China Road & Bridge Corporation, Beijing 100011, China

**【摘要】**结合格宾技术柔性系统的消能特性及其他工程优点,以喀喇昆仑公路改扩建中临水路基防护工程为例,分析了在喀喇昆仑公路改扩建工程中采用格宾型透水丁坝进行临水路基防护设置的可行性和有效性,总结了格宾型透水丁坝在该工程应用中的设计要点,可供同类路基防护工程参考。

**【Abstract】** Combined with the energy dissipation characteristics and engineering advantages of Gabion technology flexible system, the feasibility and effectiveness of using Gabion-type permeable spur to protect the subgrade adjacent to water were analysed based on the reconstruction and extension project of Karakoram highway. The design features were summarized for Karakoram highway. The conclusion can be used for reference by similar projects for subgrade protection.

**【关键词】** 柔性系统; 格宾技术; 透水丁坝; 路基防护

**【Key words】** flexible system; Gabion technology; permeable spur; subgrade protection

中图分类号: U418.8

文献标志码: B

文章编号: 1000-033X(2012)01-0053-04

## 0 引言

中国—巴基斯坦喀喇昆仑公路简称为喀喇昆仑公路或KKH,是中国政府于20世纪60年代中期援建、70年代末竣工通车的一条连接中国西部城市喀什和巴基斯坦北部城市塔科特的国际公路。该路沿古“丝绸之路”修建,由于公路沿线地形复杂,修建难度大,因此被誉为“世界第八大奇迹”。近年来,由于泥石流、冰湖溃决等自然灾害破坏和养护技术条件限制,这条公路路况持续下降,严重影响了正常、安全运营。

2006年2月,中巴签订谅解备忘录,决定改扩建喀喇

昆仑公路雷科特桥至红其拉甫段。改扩建工程起点位于巴基斯坦的雷科特大桥以西300 m处,终点位于巴基斯坦与中国交界的红其拉甫山口,全长331.992 km。该段公路全线90%以上路段毗邻印度河、吉尔吉特河、洪扎河和红其拉甫河,公路与河流在山涧峡谷内蜿蜒并行。公路沿线河流补给以冰川融水为主,在洪水季节冰川融水中裹挟有大量的悬移质和沿途的块石、碎石等<sup>[1]</sup>,对喀喇昆仑公路与河流蜿蜒并行段的凹岸路基及其防护工程造成明显的冲刷和破坏,特别是当冰川融水不断蓄积后冰湖溃决导致大规模泥石流发生时,从冰川峡谷中倾泻而下的泥石流甚至会将附近区域内的整段路基冲毁。因此,为了减少河流对凹岸冲刷点的淘蚀,减缓泥石流对路基及其防护工程的直接冲击,保护喀喇昆仑公路临水路基的稳

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2008 318 221 56)

定性和耐久性,在喀喇昆仑公路改扩建工程中对临水路基和靠近泥石流沟段路基设置导流型或防护型丁坝是项目改扩建工程中最重要的一项建设工程之一<sup>[2-3]</sup>。笔者在分析格宾系统消能特性及其他工程优点的基础上,结合国内外相关研究人员对丁坝防护机理分析和试验研究的成果,提出适用于喀喇昆仑公路沿线环境地理特征的格宾型丁坝路基工程防护技术。

## 1 格宾柔性系统消能特性分析

喀喇昆仑公路路侧的印度河、吉尔吉特河、洪扎河和红其拉甫河地表径流受季节影响比较明显,而且伴随着季节变化经常会出现洪水和泥石流灾害,这也是喀喇昆仑公路临水路基遭到损坏的主要因素。因此,采取合适的临水路基防护措施是保证喀喇昆仑公路运营安全的重要任务。格宾柔性系统应用于喀喇昆仑公路改扩建工程中临水路基防护工程的一个主要原因,就在于其柔性系统具有很好的消能特性。

有研究指出,泥石流对格宾丁坝的冲击能量主要是由泥石流中裹挟的碎石及泥土的质量、移动速度、惯性矩、转动速度等综合因素共同决定的<sup>[4]</sup>。各因素之间的具体关系为

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (1)$$

式中: $m$ ——质量(kg);

$v$ ——速度( $m \cdot s^{-1}$ );

$I$ ——旋转的惯性质量(kg);

$\omega$ ——旋转速度( $rad \cdot s^{-1}$ )。

对于丁坝等防护系统而言,必须能将泥石流中裹挟的所有碎石以及泥沙流动中产生的能量吸收,且结构体不被破坏,才能视为是有效的防护。根据传统运动学对冲量的定义,同一撞击条件下撞击接触时间越短,产生的平均力越大。平均力的计算式为

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (2)$$

式中: $F_{av}$ ——平均力(N);

$\Delta p$ ——动量差( $kg \cdot m \cdot s^{-1}$ );

$\Delta t$ ——时间差(s)。

由以上公式可以看出,传统的浆砌片石等刚性防护措施应用在喀喇昆仑公路改扩建工程临河路基工程防护时,当冰川融水裹挟沟谷内的沙砾、石块倾泻而下时,由于这些刚性防护结构体本身刚性较大,受泥石流撞击后会将泥石流中的岩块迅速反弹,撞击时间相当短,从而使刚性防护结构体在极短时间内受到了极大的冲击。洪

水和泥石流中石块运动时产生的巨大能量通过撞击作用迅速传到路基防护系统中,如果防护系统的刚性太大,能量就无法通过防护结构体变形而消散,使得在极短时间内防护系统内累积巨大应变能量而造成结构体破坏。这种硬碰硬的路基防护方式应用在喀喇昆仑公路沿线临水路基防护中,将导致路基工程使用寿命大大缩短,临水路段运营难度增加。

因此,为了应对该地区公路路基持续遭受河流淘蚀和季节性泥石流冲击破坏的问题,从能量转移的角度考虑,提出在改扩建工程中对临水、临沟路基采用格宾石笼柔性防护措施,通过柔性防护系统中环圈、钢索等柔性构件的连接形式,将冰湖溃决后形成的泥石流石块的巨大动量中的冲击力分散,从而在保护路基工程的同时也保证柔性防护系统不被损坏,确保公路临水路基的稳定性,增加防护工程的使用年限。

## 2 格宾防护系统的其他工程优点

喀喇昆仑公路改扩建工程沿线地区海拔较高,其中K671+100至项目终点路段海拔均在2 300 m以上,项目终点路段海拔一度达到4 500 m。项目沿线地质情况极为复杂,在多年冻土、软基、冰湖溃决、泥石流、多雨雪、气温低、昼夜温差大、施工期短等环境下,浆砌片石防护技术暴露出了诸多弊病,严重影响公路及其防护工程的使用寿命和改扩建工程的施工进度。格宾丁坝防护技术应用在喀喇昆仑公路改扩建工程中,除了柔性消能特性外,在高海拔、深峡谷路段,还具有其他一些普通丁坝防护结构无法比拟的优势,主要表现在以下几个方面。

(1) 高强度和耐久性。格宾石笼网是由低碳钢高镀锌线机编成双绞、六边形网目的建材,可保证60年不发生变形破坏,并且在冻土、冰川泥石流地区可有效防范因冻胀和泥石流冲击引起的沉降等病害<sup>[5]</sup>。

(2) 抗变形、抗冲刷性能好。格宾型丁坝为软性材料,具有较好的抗变形能力与刚性或半刚性结构丁坝相比,格宾型丁坝常设置在预期会产生沉降或腐蚀(冲刷)的区域,具有很强的弹性。23 cm厚的石笼丁坝体抗冲刷极限流速为 $6.1 m \cdot s^{-1}$ ,30 cm厚的石笼丁坝体抗冲刷极限流速为 $6.4 m \cdot s^{-1}$ ,均为普通砌石和堆石护坡的2~3倍。

(3) 具渗透性,有助于减少环境的冲击。格宾型丁坝体本质上都具有透水性,而且对于地下水的自然作用及过滤具有包容性,所以对于丁坝体周围环境系统的维系有不可或缺的作用。由于丁坝体的过滤作用,水流中的淤泥沉淀于填石石缝中,可促进自然植物的生长,这不但加强了格宾丁坝结构与沟谷水体环境的融合,而且促进了

该地区原有生态系统的恢复。

(4) 格宾石笼丁坝防护工程对石质强度要求不高,分布在喀喇昆仑公路河谷路段多数地区的卵石和花岗岩都能达到要求,可节省大量的水泥材料和长途运输费用,降低工程造价。

(5) 格宾石笼网箱比浆砌片石施工更简单。石笼网箱生产快,运输储存便利,组合简单,施工方便,不受高海拔、低气温的影响,且施工期长,工程质量容易控制,很适合在喀喇昆仑公路重点冻土标段(C、D标段)使用。

(6) 格宾石笼防护技术可节省大量劳动力,施工进度快,养护方便,不受时间、气温的限制,可以将石料准备与石笼箱安置、装填工作分开,因此可大大延长寒冷地区路基防护工程的施工期,提高喀喇昆仑公路改扩建工程的整体进度。

### 3 格宾丁坝系统的设计要点

虽然格宾型透水丁坝技术在逐步推广,但是对其关键设计参数的研究仍然处于讨论阶段。因此,喀喇昆仑公路改扩建工程中关于格宾型透水丁坝的设置,主要是通过参考国内现有的实体丁坝和透水丁坝的设计资料进行初步设计,再结合工程现场具体路段的地形图,纵、横断面图,造床流量及相应流速,多年平均枯水位及土质类别等水文、环境特征因素进行格宾丁坝的长度、间距、角度等参数的现场优化。

#### 3.1 格宾丁坝载体的确定

格宾丁坝的承载体是用钢丝编制结成网格的笼状物体,内砌块石(图1)。网格的大小以不漏出填充的石块为限。喀喇昆仑公路改扩建工程中设计的钢丝石笼采用表面经防锈处理的低碳钢丝,用机械编织成双铰六角形柔性金属网后,经剪裁、编边和组合后制成各种规格的网笼,并按0.5 m×0.5 m的间距布置好对拉铅丝,将上、下网片与砌体绑紧,以增强石笼的整体性。

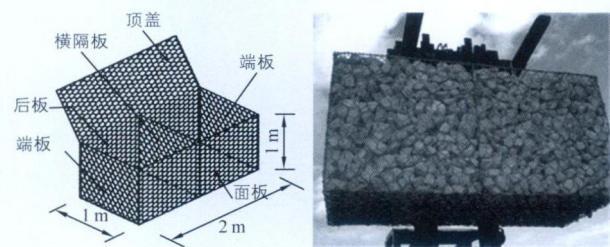


图1 格宾石笼载体的设置和组装

使用的钢丝具有抗拉强度大、耐磨损、抗腐蚀等优点。钢丝直径不小于2 mm,锌+5%铝+稀土合金防腐,抗拉强度值大于1 500 MPa,单位面积承载强度大于35 kN。

钢丝网笼的孔径为15 cm,单个网笼使用的钢丝网面积不小于25 m<sup>2</sup>,每个钢丝网笼内充填不小于5 m<sup>3</sup>的块石。块石采用喀喇昆仑公路沿线易于采集的鹅卵石和花岗岩,石质坚硬,遇水不易破碎或水解,湿抗压强度大于50 MPa,软化系数大于0.7,密度不小于2.65×10<sup>3</sup> kg·m<sup>-3</sup>。要求花岗岩块石粒径为0.15~0.5 m,单块质量不小于10 kg。

#### 3.2 格宾丁坝局部冲刷深度的计算

在喀喇昆仑公路改扩建工程中,对于格宾透水丁坝局部冲刷深度的计算,主要参考武汉大学冯红春等<sup>[6]</sup>人通过水槽试验和量纲分析法导出的非淹没透水丁坝冲刷深度的计算公式。但该公式是由室内试验得到的,缺少实际工程资料的验证,也未考虑透水丁坝挑角角度等其他相关因素的影响。

$$h_s = 0.6 \frac{(1-p^2)^{0.4} v_1^{0.8} h D^{0.4} d_{50}^{0.08}}{(B-D)^{0.1}} \quad (3)$$

式中: $h_s$ ——透水丁坝的冲刷深度;

$p$ ——透水丁坝的透水强度;

$D$ ——丁坝长度;

$B$ ——河宽;

$h$ ——水深;

$d_{50}$ ——泥沙中值粒径;

$v_1$ ——上游水流流速。

因此,在喀喇昆仑公路改扩建工程应用中还要参考桥墩冲刷公式和实体丁坝最大冲刷深度计算公式,结合当地工程实际情况进行补算,然后根据设计者的经验来决定其最大冲深,最终确定格宾丁坝基础的合理埋深。在实际工程中,除了确定丁坝整体的合理埋深之外还要对上游格宾丁坝的前缘荷载进行加重、加深,防止丁坝前缘被水流淘蚀而导致局部或整体崩陷塌落。

#### 3.3 格宾丁坝的位置和长度

喀喇昆仑公路沿河道蜿蜒前行,格宾丁坝的设置主要是为了防止路侧地表径流对临水路基的冲刷淘蚀以及冰川泥石流对公路路基的冲击和破坏。因此,改扩建工程中格宾丁坝的位置主要是在河流弯道凹岸路基工程段和泥石流冲沟正对及影响路段。凹岸冲刷路段格宾丁坝布置的起始位置一般在河流与公路形成凹岸冲刷弯道部位的上游;泥石流防治路段的起始位置也在泥石流沟正对位置上侧。如果采用丁坝群进行路基防护,丁坝群的坝头连线设置与公路路基走向趋势线保持一致,呈平缓曲线<sup>[7-8]</sup>。格宾丁坝设置的有效长度一般考虑为河宽的10%~30%。

#### 3.4 格宾丁坝角度的设置

根据丁坝与水流方向之间交角 $\alpha$ 的不同,可将丁坝分为上挑( $\alpha > 90^\circ$ )、正挑( $\alpha = 90^\circ$ )和下挑( $\alpha < 90^\circ$ )<sup>[9-10]</sup>。 $\alpha$ 值对水流结构、坝后回流区的大小和坝后淤沙效果均产生

不同影响。

在喀喇昆仑公路沿河路基冲刷防护中,推荐采用正挑丁坝;在季节性泥石流沟冲击路段,建议采用下挑丁坝,下挑丁坝挑角一般控制在 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 为宜。

### 3.5 格宾丁坝群的间距

喀喇昆仑公路改扩建工程中需要设置多个丁坝群来实现路基工程防护功能,丁坝群内各丁坝之间要有适当的间距。间距过小,浪费物料,提高造价;间距过大,起不到此迎彼送的效果,不能形成理想的路基保护形状。这就需要合理估算丁坝下游的保护范围,对于不透水丁坝,常参考其回流长度,但当格宾丁坝透水率达到 $20\%\sim 30\%$ 时,坝后水流回流强度已经十分微弱或基本消失,成为一个流速变化幅度不大的相对静水区,因而也就无从计算其回流长度。因此,在喀喇昆仑公路改扩建工程中,格宾丁坝群的间距设置主要还是参考了实体丁坝的相关研究及工程应用成果,设计的格宾透水丁坝间距为其有效长度的 $1.5\sim 4$ 倍。从整体布置考虑,一组丁坝从起始位置开始角度小,间距亦小,而后丁坝间距和角度逐步增大,末端时减小丁坝角度,增大丁坝间距。

## 4 结语

喀喇昆仑公路整体海拔较高,大部分路段穿越区域属于季节性冻土区域,公路沿线河流在寒冷季节存在明显的冰封期,河道的冻胀性很强,特别在水流急、河道狭窄的路段对丁坝护砌结构综合指标要求更高。而传统刚性混凝土板、浆砌石等丁坝结构,由于其刚性构造特点,在河流结冻时易受到冻胀力的破坏而无法继续使用,而且在经历几年反复的冻胀和融沉作用后,极易发生断裂、破碎甚至坍塌,在洪水季节受公路沿线冰川泥石流“硬碰硬”冲击后损坏更加严重。而格宾防护技术具有良好的整体性,且适应冻融变形能力强,还有一定的透水性,减小了绕流冲刷作用;既增强了整套防护工程运行的稳定性和耐久性,解决了低温情况下传统浆砌片石工程质量不

易控制的缺点,又保护了生态环境。

另外,根据国内同类地区公路防护工程投标控制价可知,格宾石笼防护工程投标控制价为 $172\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$ ,浆砌片石挡墙投标控制价为 $203\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$ ,用格宾石笼丁坝防护工程替代传统的浆砌片石挡墙防护工程,至少节省 $15\%$ 以上的投资。而且在喀喇昆仑公路改扩建工程中,公路沿线的鹅卵石和花岗岩石块又是极易获取的原材料,因此采用格宾丁坝防护技术进行路基工程防护的工程造价会更低。

### 参考文献:

- [1] 陶双成,陈济丁,王云,等.喀喇昆仑公路沿线地表水理化特征分析[J].冰川冻土,2010,32(6):1220-1225.
- [2] 田伟平,黄丽玲,万利.沿河路基冲刷的综合防护效果[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(2):10-14.
- [3] 施雅凤.摸着石头过河的创新研究——记喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与中巴公路修复通过方案[J].冰川冻土,2003,25(4):479-481.
- [4] 杨三强,黄勇,陈洪凯.泥石流与公路路基相互作用的耦合数值仿真[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(1):36-40.
- [5] 刘海成.铅丝石笼防护在我省部分公路建设中的应用[J].青海交通科技,2008(6):41-42.
- [6] 冯红春,石自堂,刘景国.非潜漫透水丁坝冲刷深度计算公式初探[J].中国农村水利水电,2002(5):46-49.
- [7] 田伟平,李惠萍,伍瑛.沿河公路冲刷防护中丁坝与护坦的配合使用[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(5):32-36.
- [8] 袁捷,林小平,凌建明,等.丁坝与挡土墙配合防护沿河公路路基机理分析[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(3):330-334.
- [9] 林小平,凌建明,赵鸿铎,等.丁坝群和挡土墙配合防护沿河公路路基的机理分析[J].中南公路工程,2007,32(2):45-48,60.
- [10] 田伟平,李惠萍,武炎.沿河公路的丁坝群冲刷防护试验研究[J].重庆交通学院学报,2003,22(3):111-115.

收稿日期:2011-08-09

[责任编辑:袁宝燕]

查询《筑路机械与施工机械化》稿件处理请访问

<http://www.roadm-china.com>