文章编号: 1008－2786－(2010)6－747－06

国道 217线天山公路沿河路基水毁防护优化工程
——以 K970＋564～K970＋839段为例

乔国文
(新疆公路规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830006)

摘 要: 国道 217线独山子—库车段亦称天山公路, 是横贯天山, 连接新疆自治区南、北疆的一条重要交通干线, 全长 537 km。天山公路的很多路段沿河布设, 由于原有公路的防护工程标准较低, 很多路段的路基已经被山洪完全损毁, 造成交通中断。研究合理的沿河路基水毁防护技术, 已经成为改建后公路能否正常运营的必要条件。以 K970＋564～K970＋839段为例, 总结该段公路路基水毁现状, 提出了防护工程优化组合的方案及适用条件, 提出了典型水毁的防治对策和防治方案, 为有效、合理、科学的保护天山公路沿河路基提供了科学依据。

关键词: 天山公路; 路基水毁; 防治
中图分类号: P642 文献标识码: A

国道 217线独山子—库车段亦称"天山公路", 是横贯天山, 连接新疆南、北疆的一条重要交通干线, 全长 537 km。天山公路是国家规划西部重点公路建设的组成部分, 更是国防公路网中的重要组成线路, 无论在政治、经济还是国防上, 天山公路都发挥着非常重要的作用。然而, 国道 217线天山公路沿线自然条件复杂, 地势起伏较大、构造岩性复杂多变、气候条件变化莫测, 形成公路水毁的各种因素在空间分布与组合上差异很大, 从而发育了多种类型的水毁, 成为水毁规模较大、破坏程度较强的路线之一。在多种水毁中, 沿河冲刷型水毁 16.67 km, 危害最为严重。在冲刷型水毁的段落, 过去也采取了大量的防护措施, 但效果总体来说都比较差。

为了研究不同环境条件下的沿河路基防护工程, 本文在实地调研的基础上, 针对该区典型水毁段(国道 217线 K970＋564～K970＋839段), 提出了工程治理比选方案, 并根据技术条件、施工条件及经济等条件的推出优选方案。

1 工程段地貌地质概况

工程段位于库车河上游的高山峡谷区, 河道为高山间开阔宽浅段, 水毁段为"S"型后半弯曲段, 河谷两岸为高陡山坡, 高程变幅为 2 038～2 380 m, 坡度为中倾—陡倾, 山坡中底处坡度在 20°～40°, 中上部为 40°～50°。山坡中下部少量坡积, 泥石流沟不太发育。公路修筑于河道左侧的河漫滩上。

该段地层无大的断裂及构造通过, 裂隙发育, 基岩为大理岩和泥灰岩, 大理岩为中厚层, 泥灰岩为中薄层。第四纪物质主要为河流冲、洪积物, 为砂砾石, 平均粒径 34.1 mm, 属于级配不良砾, 河床中可以见到块径为 3 m×2 m×1.5 m的大漂石。

该河段河槽内物质主要分为两套, 一套为坡面堆积, 其下为河漫滩卵石层; 另一套为冲、洪积卵石堆积, 此套为现有河床部分, 河床常水面宽 10 m左右, 河漫滩较宽, 河漫滩主要为卵石, 填充中、粗砂, 部分见有漂石, 最大块径超过 3 m, 河道中偶见水毁

收稿日期(Received date): 2009－05－11; 改回日期(Accepted): 2010－06－14。
基金项目(Foundation item): 交通部西部交通建设科技项目(200431800003)资助。[This research is supported by the Ministry of Communications (200431800003).]
作者简介(Biography): 乔国文(1979－), 男(汉族), 安徽人, 工程师, 主要从事公路岩土工程工作。[Qiao Guowen (1979－), male, Han nationality, born in Anhui, engineer, major in Rock & Soil engineering study in highway.]
?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

破坏的桥涵混凝土板。

该段河床总体平面特征见图 1所示。

2 沿河路基的现状和成因

该段沿河公路于 2002年洪水期被完全毁坏，路基被完全冲毁的长度约 220 m，严重阻碍交通。根据洪痕调查，2002年的山洪流量约为 240 m^3/s。水毁的原因，一方面是因为水量较大，另一方面是由于河道形状原因，因水毁段河道形状是“S”型的后半段，水流通过“S”型前半段的顶冲折流，直接冲蚀公路所在一侧的河岸，形成掏蚀；第三方面是由于公路修筑在河漫滩上，侵占河道，同时公路边坡迎水侧挡墙基础埋深浅，也是导致路基被完全冲毁的主要原因。

改建公路同样是修筑在河漫滩上，因此，必须对其进行水毁防护。

3 沿河路基水毁防护工程优化方案

. 河段防护工程设计参数计算

1. 设计洪峰流量

根据库车河下游兰干水文站记载的 1957～2004年库车河最大洪峰流量的数据，运用皮尔逊Ⅲ型曲线，及汇流面积递减因素，确定该段的 50 a一遇设计洪峰流量为 379.85 m^3/s。

2. 设计流速

河弯进水口设计流速，采用满宁公式（Manning，1890年）

$$v = 1/n (R)^{2/3} J^{1/2} \quad (1)$$

式中 n为粗糙系数（$s/m^{1/3}$），R为水力半径（m），J为水力坡度，v为设计流速（m/s）。

3. 河床其他水文参数如表 1

4. 护墙及丁坝防护最大冲刷深度的计算

根据《天山公路沿线水毁病害评价及防治研究》成果，此段河流宽深比 B/h=70.84，河段曲折系数 Kr=1.05，属于弯曲变迁型河段，冲刷深度计算采用高冬光公式

$$h_s = 1.48 \left(\frac{B}{r}\right)^{0.24} \left(\frac{B}{h}\right)^{0.17} \left(\frac{h}{d}\right)^{0.05} h \quad (2)$$

式中 h_s为弯道最大冲刷处水深（m），h为弯道进口或上游直段平均水深（m），B为弯道进口或上游直

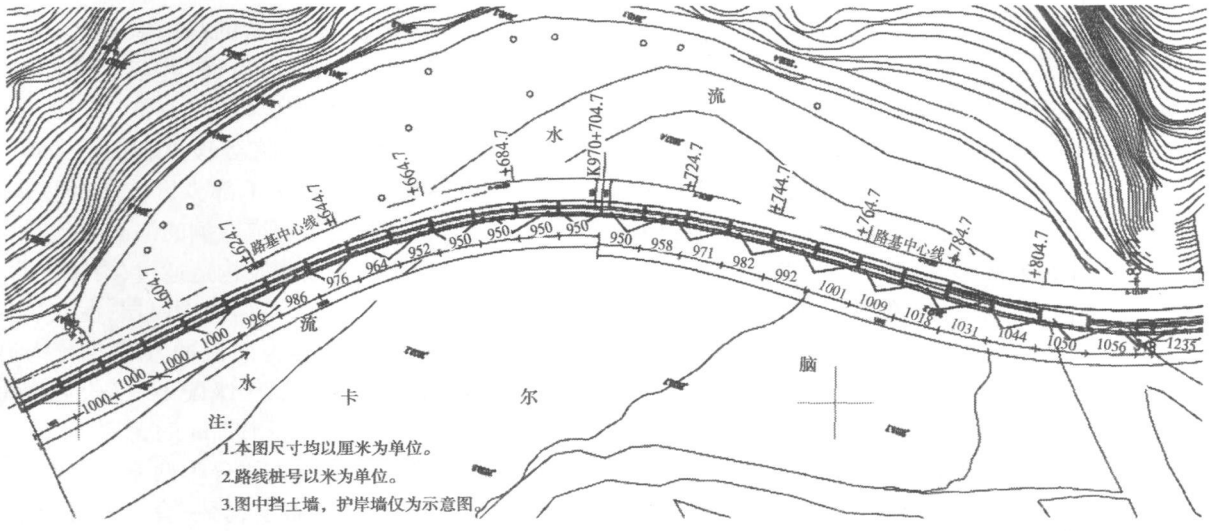

图 1 K970+564～K970+839段河床平面及防护布置示意图

Fig.1 The K970+564～K970+839 rivermap and protection works

表 1 K970+564～K970+839段水毁防护设计参数

Table 1 The Design Parameters of the K970+564～K970+839 water destruction protection

设计山洪流量 (m^3/s)	河段曲折系数 Kr	比降 i	弯道进口宽 B(m)	进口平均水深 h(m)	河流弯道中心线半径 Rc(m)	河床颗粒平均粒径 d_{50}(m)	流速 (m/s)
379.85	1.05	0.014	102.73	1.45	200	0.035	2.56

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

段水面宽（m）, r为弯道中线半径（m）, d为河床质平均粒径（m）。

将表 1参数带入公式 2, 得到 50 a一遇的山洪设计流量下的最大冲刷深度, 为 3.09 m。根据构造要求及一定的安全系数, 冲刷防护深度采用 4.0 m。

丁坝冲刷公式采用公式

$$\frac{h_s}{h}=1.167\left(\frac{L_D}{h}\right)^{0.41}Fr^{0.143}e^{-0.07m} \qquad (3)$$

式中　$Fr=\frac{v}{\sqrt{gh}}$式中: Fr为河道水流的弗汝德数, L_D为丁坝阻水长度（m）, 其余符号同前。

. 防护工程设计

针对该处水毁的特点, 确定修建永久防护工程的方案, 根据该段河床土质及凹岸冲刷特点, 初步选择了护墙 +刚性丁坝群方案、护墙 +柔性丁坝群方案和护墙 +矶头坝方案。

3.2.1 护墙 +刚性丁坝群方案

本段河道较宽, 水毁危害段较长, 现有比较严重段达到 220 m, 该段河道洪水期水量较大, 水毁冲刷深度较大, 设计流量下, 护墙埋置深度达到 4.0 m, 且河道容易形成侧蚀, 因此, 若采用护墙防护, 一方面基础埋置深度大, 不利于水下作业, 另一方面, 防护长度长, 工程量大, 因此选用 "浆砌石护墙 +刚性丁坝群 "防护的方案。

1. 平面布置

丁坝间距根据其回流长度公式计算

$$L_{Hi}=C_0^2hL_{Di}\frac{\ln\frac{B}{B-L_{Di}}+0.58}{L_{Di}+0.05C_0^2h} \qquad (4)$$

式中　$C_0=h^{1/6}/n\sqrt{g}$, L_{Hi}为丁坝回流长度（m）, 以垂直流向计, B弯道进口或上游直段水面宽（m）。n是粗糙系数, C_0为无量刚谢才系数 —。

1号丁坝长度采用 4 m, 其余丁坝采用 8 m, 向河流下游倾斜 45°, 将相关数据带入公式 3, 计算结果得到 1号丁坝与 2号丁坝的间距为 18 m, 采用 15 m, 其余丁坝间的计算间距为 26 m, 采用 24 m, 其余符号同前。

2. 浆砌石护墙的高度

路基边坡采用浸水护墙型式。护墙高度根据路基高度及路基的放坡坡率考虑, 本段设计水位下水深为 1.45 m, 则河床面以上护墙最小高度为 2.95 m, 取 3.0 m。护墙基础埋深满足构造要求即可, 结合本段气候、地质条件, 护墙基础埋深取 2 m。

3. 浆砌石丁坝的埋置深度及高度

浆砌石丁坝埋深根据公式 3, 带入相关参数计算得到, 1号丁坝采用 3.0 m, 其余丁坝采用 3.5 m。丁坝顶面一般与设计水位相平或稍低于设计水位, 设计水位平均水深 1.45 m, 则 1号丁坝总高取 4.0 m, 2号以后丁坝总高取 4.5 m。

4. 浆砌石护墙、浆砌石丁坝断面设计

护墙内、外倾坡率均采用 1: 0.25, 护墙厚度, 根据护墙验算求得。顶面向河心有 2%的坡度; 顶面宽度采用 200 cm, 丁坝迎水面坡率 1: 2, 背水面坡率 1: 1.5, 坝身及坝顶均采用 M10浆砌片石砌筑, 坝身及坝顶浆砌厚度取 40 cm, 坝头浆砌厚度取 60 cm。

5. 浆砌石护墙、浆砌石丁坝断面验算

根据丁坝受力特点及截面特征进行受力分析, 验算丁坝稳定情况。丁坝主要受动水压力、丁坝自身重力及基底摩擦力的共同作用, 应满足地基承载力、抗滑、抗倾覆的要求, 其计算结果如下:

1）物理参数

圬工砌体重度 V_c为 22.000 kN/m³; 基底摩擦系数 μ为 0.600。

砌体种类: 片石砌体及片石填筑; 砂浆标号: 10, 石料强度: 30。

地基土重度 V=18.000 kN/m³; 修正后地基土容许承载力 f_{ao}=600 kPa; 墙底摩擦系数 μ_a=0.500, 地基土类型: 土质地基; 地基土内摩擦角 φ为 30°。

2）滑动稳定性验算

动水压力 u=134.22 kN, 丁坝自身重力 G=736 kN, 基底摩擦系数 u= 0.500, 滑移力 E_a= 134.22 kN, 抗滑力 E_p=368 kN,

滑移验算满足: K_c= 2.742> 1.300。

3）倾覆稳定性验算

验算丁坝绕坝趾的倾覆稳定性:

倾覆力矩 M_r= 268.44 kN·m, 抗倾覆力矩 M_s= 5 152 kN·m,

倾覆验算满足: K_o= 19.19>1.300。

4）地基承载力验算

基础底面宽度 B=14.600 m, 基底最大压应力踵部 P_M=62.16 kPa, 地基承载力验算满足: 最大压应力 P_M=62.16< 600 kPa。经验算, 护墙、刚性丁坝的抗滑、抗倾覆和承载力均满足设计要求。

3.2.2 浆砌石护墙 +柔性丁坝群方案

浆砌石护墙 +柔性丁坝群方案布置与方案一相同, 只是浆砌石刚性丁坝变成柔性石笼丁坝, 与刚性丁坝相比, 优点是当丁坝头部受到掏蚀后, 石笼丁坝

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

可根据自己的柔性,适应变形,而不影响整体稳定性。

1. 平面布置

平面布置与方案一相同。1号丁坝与2号丁坝的间距为采用15 m,其余丁坝间的计算间距采用24 m。

2. 浆砌石护墙的高度

浆砌石护墙的高度与方案一布置相同。

3. 石笼丁坝的埋置深度及高度

丁坝的埋置深度及高度与方案一相同。

4. 浆砌石护墙、石笼丁坝断面设计

丁坝高度采用4 m,四层重叠,单层厚度为1 m。顶、底面向河床倾斜2%~5%,丁坝头部上下层石笼错开1~1.5 m。丁坝顶部宽度2 m,迎水面上下石笼错开1 m,被水面上下石笼错开0.5 m,坝头上下石笼错开1 m,最下层石笼与上一层石笼错开3 m,冲刷时可通过其柔性变形,以起到护底的作用。石笼丁坝采用的钢筋石笼尺寸为长宽高为2~4 m×1 m×1 m,填充粒径10~20 cm的片石(卵漂)石,格宾石笼的网片应满足强度要求,摆放时各石笼相连,形成整体,构成丁坝,为了防止撞击,丁坝迎水前缘、坝头范围可以设置抛石防护。

5. 浆砌石护墙、石笼丁坝断面验算

此处护墙设计时套用标准图,不需要稳定性验算。只对柔性丁坝断面验算,柔性丁坝的验算与刚性丁坝验算大致相同,只是柔性丁坝的截面形式及材料不同。

经验算,护墙、石笼丁坝的抗滑、抗倾覆和承载力均满足设计要求。

3.2.3 浆砌石护墙+矶头坝

本文增加选择了在新疆沿河防护中较多采用的矶头坝型式进行方案设计。矶头坝在新疆几条重要的路线上均有应用,如GZ045线后沟段及G218线部分段落,矶头坝防冲效果较好,从现场调查看,矶头坝保存完整,矶头坝间有河床物质淤积,很好的起到了减轻掏蚀的效果。该水毁段冲刷深度大,水毁危害段长,单丁坝坝头受挑流后形成的绕流作用,形成急速旋转的漩涡,并逐渐向下游传播扩散,卷起携带坝头附近河床床面的泥沙,形成冲刷坑,丁坝在保护岸堤的同时,坝头的冲刷深度较大,丁坝的薄弱点往往是从坝头开始破坏的。矶头坝主要是针对一般丁坝的上述缺点而作的相应修改的构造形式,矶头坝迎水截面短而背水面较长,迎水截面短,可以尽量少的侵占河道,在一定流量的情况下,河道过水断面大,则消弱水流的冲蚀能力;背水面较长,具有导流作用,同时,可减小因水流绕过坝头偏转后的扩散角,减轻形成漩涡对坝头及路基的淘刷。

1. 平面布置

矶头的迎水面与被水面夹角取110°,本段位于河湾迎水面与河岸交角取45°。

2. 浆砌石护墙的高度

浆砌石护墙的高度与方案一布置相同。

3. 矶头坝的埋置深度及高度

由于对矶头坝的冲刷没有成熟的公式计算,以往的设计埋深往往是根据现场调查的冲刷深度,再给以一定的安全值确定,具有随意性。本次调查及物理模拟试验发现,矶头坝的冲刷现象和短丁坝较相似,因此,采用丁坝的计算公式计算,结果应该是偏安全的。矶头坝迎水面均按45°下挑设置,迎水面坝长度为5.66 m(投影长度为4 m),迎水面、背水面均为直立,将上述参数带入丁坝模型计算公式3.经计算,得到矶头坝冲刷深度为2.10 m,考虑矶头坝的构造及安全系数要求,矶头坝埋置深度采用3.1 m。坝高与方案一相同,采用漫水坝形式,坝高为4.1 m。

4. 浆砌石护墙+矶头坝方案设计

浆砌石护墙的断面设计与方案一相同,坝顶采用M10号浆砌片石封闭。详细断面如图2所示。

5. 浆砌石护墙+矶头坝方案截面验算

浆砌石护墙验算与方案一相同。由于矶头坝较短小且平面呈三角形分布,矶头坝尾部嵌入护墙内,因此,矶头坝与护墙之间的嵌合力是保证矶头坝稳定的关键力,施工中只要保证嵌合牢固及可基本保证矶头坝的稳定性。矶头坝嵌入挡墙可以提高其整体刚度,从而提高其稳定性。同时矶头坝阻水界面小,受到动水压力较小。矶头坝一般设置在稳定的卵石层地基上。综合分析及根据以往的施工经验,矶头坝一般不做稳定性验算。

. 方案比较

提出了三个工程方案,三个方案的经济与技术比较情况分别见表2和表3.

经综合比选,浆砌石护墙+矶头坝方案的工程量最小,工程造价最低,布设方便、灵活,在新疆有大量的工程实例,对防止局部冲刷可以起到较好的挑流、防护作用,因此推荐方案三,即"浆砌石护墙+矶头坝方案"。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

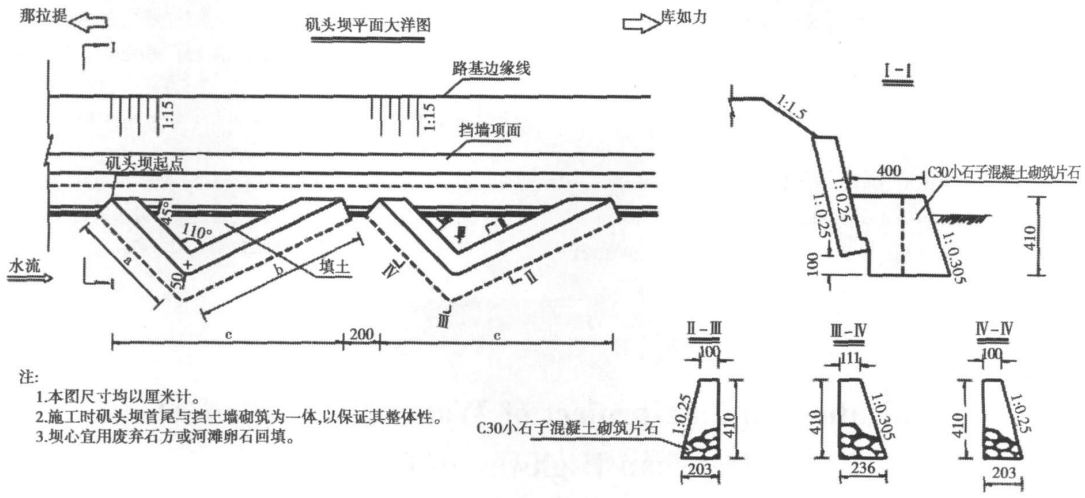

图 2　矶头坝平面图及断面图

Fig. 2　The map and Sectional drawings of the JITOU dam

表 2　三个方案工作量及经济比较

Table 2　The comparison of the work amounts and economy about the three schemes

方案一 护墙+刚性丁坝群方案				方案二 护墙+柔性丁坝群方案				方案三 护墙+矶头坝方案			
工程数量			造价	工程数量			造价	工程数量			造价
护墙 (m³)	浆砌石丁坝 (m³)	挖基土方 (m³)	(建安费) (万元)	护墙 (m³)	石笼丁坝 (m³)	挖基土方 (m³)	(建安费) (万元)	护墙 (m³)	矶头坝 (m³)	挖基土方 (m³)	(建安费) (万元)
1 879.52	1 566.43	2 745	98.44	1 879.52	2 740	6 897	161.30	1 879.52	1 244.64	3 501	91.15

表 3　三个方案的技术比较

Table 3　The comparison of the technology about the three schemes

项目	方案一 护墙+刚性丁坝群	方案二 护墙+柔性丁坝群	方案三 护墙+矶头坝
优点	① 能调治洪水流向, 防护路基坡脚免受洪水淘蚀。 ② 单坝防护回流区长。 ③坝体整体强度高, 有较高的抗冲击能力。	① 能调治洪水流向, 防护路基坡脚。 ② 单坝防护回流区长。 ③ 柔性变形能适应基底的局部淘蚀, 不易发生整体破坏。	① 阻水截面小, 抗冲能力强。 ② 布设方便, 灵活。 ③与护墙浑然一体, 提高了护墙的整体强度。
缺点	①阻水面积大, 会受到较大的冲刷和冲击。 ②局部破坏容易引发全部破坏, 并危及路基安全。 ③ 对洪水流势的改变, 对上下游及对岸均会产生影响, 对设计要求高。	① 阻水面积大, 会受到较大的冲刷和冲击。 ② 对洪水流势的改变, 对上下游及对岸均会产生影响, 对设计要求高。 ③ 在冲刷和冲击的作用下, 对石笼的网箱易造成破坏, 耐久性差。	① 对水流的调治效果相对较差。

4　结语

本文以国道 217线 K970+564 ~ K970+839段为例, 分析了天山公路山区沿河公路水毁的特点, 原有水毁防护的现状, 并根据工程特点, 选择护墙+刚性丁坝群方案、护墙+柔性丁坝群和护墙+矶头坝三种适合的水毁防护型式, 以 50 a一遇的山洪频率进行设计, 并从技术条件、施工条件及经济方面进行综合比选, 选择最为适合的一种水毁防护型式。为

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

新疆天山公路的水毁防护工程建设提供了借鉴和依据。

参考文献(References)

[1] Cheng Zunlan, Liang Guangmo, Zhang Zhengbo. Strategy on safe-project of water-damaged roadbed along river in mountain area of southeast Tibet[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(Suppl.): 157~160[程尊兰, 梁光模, 张正波. 藏东南高山区沿河公路路基水毁防护工程对策[J]. 山地学报, 2003, 21(增刊): 157~160]

[2] Cheng Zunlan, You Yong, Wu Jishan. Prevention work of roadbed water-damage along meandering channel in Tibet[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(4): 472~476[程尊兰, 游勇, 吴积善. 川藏公路尼洋河下游宽浅游荡型河段水毁路基防护试点工程[J]. 山地学报, 2004, 22(4): 472~476]

Optimization on Safe-project of Water Destruction Along Tianshan Highway of G217

—— Taking K970+564~K970+839 of G217 as an Example

QIAO Guowen

(Xinjiang Highway Planning Survey and Design Institute, Xinjiang Wulumuqi 830006, China)

Abstract: The national highway 217 of Dushanzi—Kuche county called Tianshan Mountains highway, is to traverse Tianshan Mountains, linking the Xinjiang north and south, overall length is 537 km. Many section of the Tianshan Mountains highway is located in river bank, many roadbeds is mangled, brought about traffic interruption completely by the flood, study the rational water destroys protection technology, already become the prerequisite rebuilding queen highway being able to be in motion and do business regularly or not. This paper taking K970+564~K970+839 as an example, have analyzed the rivers characteristic and the river engineering geology and hydrology water power characteristic, and the relationship of the characteristics and the roadbed water destroy, have brought forward the scheme and condition suitable for use protecting a project several kinds; all of these has provided the effect, reasonableness, science basis to protection the Tianshan Mountains highway roadbeds.

Key words: the Tianshan Mountains highway; water destroy of subgrade; prevention

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net