

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.05.020

# 喀喇昆仑公路改扩建对沿线地表水的影响

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

**摘要:** 为分析喀喇昆仑公路改扩建工程施工对沿线地表水环境的影响, 对喀喇昆仑公路典型施工路段路侧地表径流和冰川融水支流的水环境状况进行了现场监测和采样分析, 并对 K754+400~K788+000 路段内公路弃渣对河道压缩情况进行了现场勘测。结果表明: 喀喇昆仑公路改扩建施工对沿线地表径流中悬移质浓度、离子浓度影响很小, 沿线地表径流也未受到石油类和生活污水的污染影响, 局部路段路侧径流中悬移质浓度的迅速增加与汇入的冰川融水支流水质特征有显著关系。改扩建工程部分路段施工弃渣对路侧河漫滩地(老路路界至水体距离)产生了一定的挤压和占用, 占用比例在 12%~100% 不等, 但尚未对河道过水断面形成挤占。最后针对公路与河道的典型位置关系特征提出了相应的水环境保护对策。

**关键词:** 环境工程; 地表水; 现场勘测; 喀喇昆仑公路; 地表水离子浓度; 河道压缩

中图分类号: X734.08

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)05-0126-06

## Influence of Reconstruction and Extension of Karakoram Highway on Surface Water along the Highway

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

(1. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China; 2. School of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China; 3. China Road & Bridge Corporation, Beijing 100011, China)

**Abstract:** In order to analyse the influence of the reconstruction and extension of Karakoram Highway on the surface water environment, the water environment of roadside surface runoff and branch melt water from glacier in the typical construction section along Karakoram Highway are monitored and collected, and the watercourse compression condition caused by dumped waste rocky material in section K754+400~K788+000 is surveyed. The results indicate that (1) the suspended sediment concentration and ion concentration of surface runoff along Karakoram Highway are influenced very slightly by the reconstruction and extension of the highway over the construction period, the surface runoff along the highway is not influenced by the impact of petroleum and sewage pollution, the concentration of suspended sediment in roadside runoff increases rapidly in some sections, which is affected by the quality of branch melt water from glacier; (2) although 12% to 100% sections of watercourse are compressed by some waste rocky material dumped in flood plain (between right-of-way line and river bank) during the construction period, the cross-section of river is not diverted. The prevention measures to water environment in view of spatial location relation between highway and watercourse are given.

**Key words:** environmental engineering; surface water; site survey; Karakoram Highway; surface water ion concentration; watercourse compression

收稿日期: 2012-09-26

基金项目: 科技部国际科技合作专项(2012DFA20980); 交通运输部西部交通建设科技项目(200831822156)

作者简介: 陶双成(1981-), 男, 甘肃白银人, 博士研究生。(tsc504@126.com)

## 0 引言

中国—巴基斯坦喀喇昆仑公路 (Karakoram Highway) 简称为喀喇昆仑公路或 KKH, 是唯一一条巴基斯坦连接中国的陆上交通要道, 公路沿古“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”。该公路于 20 世纪 70 年代末竣工通车<sup>[1]</sup>。近年来, 由于泥石流、冰湖溃决、砾石坡滑塌等自然灾害破坏和养护技术条件限制, 公路路况持续下降, 公路正常、安全运营受到严重影响。2006 年 2 月中巴签订谅解备忘录, 决定改建、扩建喀喇昆仑公路雷科特桥至红其拉甫段<sup>[2]</sup>。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 (见图 1) 在改扩建工程施工中就不可避免地会对路侧地表水环境产生影响。

相关研究指出<sup>[2]</sup>, 喀喇昆仑公路改扩建工程沿线的印度河至红其拉甫河下游河段水体悬移质浓度的季节变化明显, 红其拉甫河中上游河段水中悬移质随季节变化较小。从 K736+000 往上的红其拉甫河中上游河段, 水中的悬移质浓度较低, 地表径流受悬移质污染程度较轻, 该路段是喀喇昆仑公路改扩建施工过程中需要重点注意水环境保护的河段。为了定量判断公路改扩建施工对该路段路侧地表水水质、水文条件产生的影响, 为工程建设中有针对性地制订水环境保护措施, 论文根据公路施工对沿线地表水环境的影响特点<sup>[3-5]</sup>, 在 2010 年 9 月对 K750+010 ~ K811+000 路段 (红其拉甫国家公园内) 路侧干流和 K763+700 路侧流水体的透明度、pH 值、悬移质浓度、石油类、主要离子浓度等水环境质量特征因子进行取样分析, 研究了喀喇昆仑公路改扩建中路基土石方和隧道施工路段地表水水质变化特征, 并对 K754+400 ~ K788+000 路段内公路弃渣对河道压缩情况进行了现场勘测, 定量分析了工程弃渣对河道行洪的影响, 提出了峡谷阶地公路弃渣的原则和防护建议。

## 1 研究区概况

喀喇昆仑公路位于巴基斯坦伊斯兰共和国的北部地区, 起于巴基斯坦首都伊斯兰堡 (Islamabad) 以北的曼塞赫拉 (Mansehra), 终于中国新疆的喀什市 (Kashi), 全长 1 224 km。本次改建工程为巴基斯坦境内的雷科特桥 (K470+500) 至红其拉甫 (K811+343.165) 段, 起点地理坐标为东经 74°35′



图 1 喀喇昆仑公路改扩建项目沿线地表径流情况

Fig. 1 Surface runoff system along reconstruction and extension section of Karakoram Highway

42.9"、北纬 35°27'57.8", 终点地理坐标为东经 75°25'42.9"、北纬 36°49'08.4", 改扩建旧路里程 331.992 km。

公路沿线水系均属太平洋水系印度河的上游, 河水以冰川融雪 (冰) 补给为主, 冬季流量较小, 夏季河水暴涨, 流量较大, 每年的 7—9 月为汛期<sup>[6]</sup>。公路沿印度河 (K470+500 ~ K505+700)、吉尔吉特河 (K505+700 ~ K538+800)、洪扎河 (K538+800 ~ K641+910) 和红其拉甫河 (K641+910 ~ K811+343.165) 一路北上, 最后到达项目终点红其拉甫山口。

根据之前调查组对喀喇昆仑公路沿线地表水理化特征分析的结果<sup>[2]</sup>, 结合公路与沿线河流的位置关系, 本次调查重点针对红其拉甫河段中地表水环境质量较好、河流与公路高差较小、在公路改扩建土石方施工中水质、河道行洪条件易受到工程影响的河段, 相应的公路里程桩号范围为 K750+010 ~ K811+000, 同时该路段也是 2010 年喀喇昆仑公路改扩建工程受堰塞湖影响后唯一在进行全面土石方施工的路段。

## 2 观测与试验分析

### 2.1 现场观测

在 2010 年 9 月考察期间, 公路沿线的红其拉甫

中上游河段路基土石方施工路段、隧道施工点上、下游及冰川融水支流汇入河段靠近公路一侧设立人工水文断面,并在每次断面点取样时用塞氏盘对水体透明度进行现场观测。由于施工环境条件限制等原因,造成现场观测中有个别观测点透明度观测值有缺失。现场观测时采用测定淡水水体透明度的黑白相间形式的SD-20型塞氏盘,盘面直径20 cm,在使用时将塞氏盘下沉至刚好看不清的深度,以此来标定水体最大透明度。

在K754+000~K788+000路段调查时,每隔5 km设置一个观测断面,用图帕斯200测高测距测角仪对公路改扩建工程施工中公路占地宽度、公路路面与河流高差、公路路界至水体的距离、施工中的河道宽度以及公路弃渣和便道对路侧的扰动范围等进行了现场测量。现场测量的主要距离参数见图2。



图2 公路改扩建工程对河道压缩情况分析示意图

Fig. 2 Schematic diagrams of river compression condition in reconstruction and extension of Karakoram Highway

## 2.2 试验分析

调查组在红其拉甫河中上游河段采集地表径流样品,其中K763+700样品为路侧较大支流水体样品,K750+800和K750+010之间有一条较大的峡谷支流汇入。本研究在水样分析中重点分析了样品pH值、悬移质浓度、石油类、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 离子浓度。鉴于pH值的实验室分析受水样保存温度和保存时间的限制,水样取出后用pH值测量范围为-2.00~16.00,测

量精度为 $\pm 0.01\text{pH}$ 的便携式HI8424型pH计进行现场测量。

采样瓶为聚乙烯瓶,采样过程中先用河水清洗聚乙烯瓶3次,再取水样,然后密封保存,带回实验室分析。样品带回实验室后,放在实验室恒温箱内采取4℃冷藏,测试分析前再取出。实验室采用孔径0.45 μm的醋酸纤维微孔滤膜法分析水样中的悬移质浓度。

采用9 mmol/L酒石酸为流动相测定碱金属离子,以9 mmol/L酒石酸-6 mmol/L乙二胺为流动相测定碱土金属离子,流速1.0 mL/min,进样体积为20 μL,检测器灵敏度4 μS/cm。采用3.2 mmol/L三羟甲基氨基甲烷(Tris),以50 mmol/L硼酸,8.0 mmol/L对羟基苯甲酸为流动相测定阴离子,流速1.2 mL/min,进样体积为20 μL,检测器灵敏度4 μS/cm。主要仪器为LC-20AD型色谱仪(日本岛津),CDD-10A电导检测器,CTO-20AC色谱柱温箱,5.0 mm ID×150 mm Shim-pack IC-Cl阳离子交换柱,4.6 mm ID×150 mm Shim-pack IC-A3阳离子交换柱。标准溶液为中国计量科学研究院配置。

## 3 结果与讨论

### 3.1 公路施工对沿线地表水水质的影响

表1是喀喇昆仑公路改扩建工程沿线红其拉甫中上游河段地表水水质特征分析结果。其中K763+700样品为路侧较大支流水体样品,支流水体较清澈。K750+800路段为隧道出口施工点上游,K750+010为隧道入口施工点下游,在K750+900处有一条较大的峡谷支流汇入,支流的水体呈现浑浊状态。K750+000~K811+000路段正在进行土石方工程施工。

表1 公路沿线红其拉甫河中上游段地表水水质特征分析结果(单位:mg/L)

Tab. 1 Analysis result of properties of surface water quality in middle and upper reaches of Khunjerap river along Karakoram Highway (units: mg/L)

桩号	海拔/m	pH	透明度/cm	悬移质浓度	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$	石油类
K811+000	4 720	7.39	/	0.91	0.83	1.35	8.06	4.76	9.34	25.25	4.12	—	—
K789+300	3 930	8.11	>40	0.38	—	1.90	46.61	5.50	—	44.55	10.41	—	—
K774+400	3 580	7.09	67	10.74	0.49	1.81	33.29	5.04	—	38.80	5.81	—	—
K763+700	3 360	8.36	/	9.42	0.50	1.73	33.36	5.02	9.18	39.19	5.28	—	—
K758+060	3 300	7.86	34	20.96	—	1.64	39.60	5.32	—	40.76	7.97	—	—
K750+800	3 100	7.46	20	76.67	—	1.63	42.11	5.45	9.18	42.36	8.38	—	—
K750+010	3 090	8.12	6	246.8	0.36	1.69	54.88	5.93	9.70	47.06	11.82	—	—

注:“—”表示未检测出“>”表示现场能够观测到的最大水深处塞氏盘依然可辨“/”表示没有进行该指标的观测;

通过对喀喇昆仑公路沿线地表水水质指标进行分析, 可以得出公路沿线不同施工路段 pH 值、悬移质浓度、离子浓度的对比情况, 见图 3。

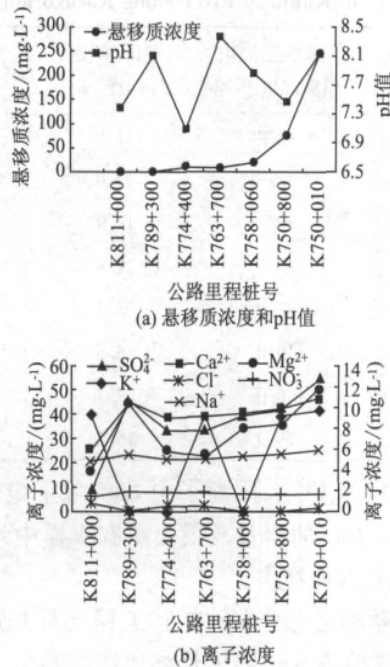


图 3 公路沿线不同路段地表水中悬移质浓度、pH 值、离子浓度对比

Fig. 3 Comparison of suspended sediment concentrations, pH values and ion concentrations of surface water of different sections along Karakoram Highway

从图 3 可以看出, 喀喇昆仑公路沿线红其拉甫河中上游干流河段地表水 pH 值在 7.09 ~ 8.12 之间, 水质呈现中性偏碱性, 这与相关研究结论一致<sup>[2]</sup>, 其中 K763 + 700 路侧峡谷支流水体 pH 值为 8.36, 要明显高于路侧河水 pH 值, 可能与峡谷中冰川融水激流直下过程中与周围岩石发生的水岩作用有关<sup>[7-8]</sup>, 其他路段水样 pH 值的大小波动情况比较明显, 但采集的地表水样总体呈现中性偏碱性。

公路沿线地表水阴离子中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量最高, 浓度平均范围在 8.06 ~ 54.88 mg/L 之间; 其次是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度平均范围在 1.35 ~ 1.81 mg/L 之间; Cl<sup>-</sup> 浓度在 0.36 ~ 0.83 mg/L 之间, 但在 K789 + 300、K758 + 060 和 K750 + 800 路段未被检出。阳离子中 Ca<sup>2+</sup> 是含量最高的离子, 浓度平均范围达到了 25.25 ~ 47.06 mg/L; K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 次之, 浓度平均范围分别在 9.18 ~ 9.70 mg/L 和 4.12 ~ 11.82 mg/L, 但在 K789 + 300、K774 + 400 和 K758 + 060 路段未检出 K<sup>+</sup>; Na<sup>+</sup> 的含量较低, 离子浓度平均范围在 4.76 ~ 5.93 mg/L。在所有水样中均未检测出 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和石油类物质。

从图 3 中 K758 + 060 至 K811 + 000 路段的观测点数据分析可以看出, 喀喇昆仑公路改扩建工程终点路段 K811 + 000 路侧地表水中的固体悬移质浓度最低达到 8.06 mg/L, 其他离子浓度也相对较低。分析原因可能是由于该路段水体为公路沿线地表水的源头水, 取样处地势平缓、水流流速较小, 水中的悬移质经过沉淀后其悬移质浓度和离子浓度都相对较低。同时这也表明该路段水环境质量状况较好, 水质受喀喇昆仑公路改扩建工程土石方施工影响很小。

K758 + 060 到 K789 + 300 路段进行土石方施工, 但在该路段内路侧地表水中的悬移质浓度和离子浓度随公路里程变化很小, 可以认为该路段喀喇昆仑公路改扩建工程土石方施工对公路路侧河水环境固体悬移质浓度、阴阳离子浓度的影响较小。值得注意的是从 K750 + 800 到 K750 + 010 隧道施工路段, 虽然隧道施工弃渣都作为路基填筑材料完全利用, 并没有在该路段产生工程弃渣等问题, 但水体透明度从 20 cm 迅速降低至 6 cm, 悬移质浓度从 76.67 mg/L 增加到 246.8 mg/L, 增加了 2 倍多, 水中其他离子浓度如 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 等均呈现迅速增加趋势。分析原因, 这可能由于在该路段有一条较大的冰川融水支流汇入, 现场调查中明显看到该支流水体浑浊。另外, 在本次调查的施工路段中, 路侧地表水取样分析中都没有检测出 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和石油类物质。

综合以上分析认为, 喀喇昆仑公路改扩建工程土石方施工没有对公路沿线地表水中固体悬移质浓度和离子浓度造成明显变化, 也没有发生机械漏油或施工营地污水排放污染沿线地表水水质的情况。公路沿线局部路段悬移质浓度的迅速增加与路侧浑浊的冰川融水支流的汇入有显著关系。因此, 可以认为喀喇昆仑公路改扩建工程土石方施工对沿线地表水中固体悬移质浓度、离子浓度影响很小, 沿线地表水也未受到石油类和生活污水的污染影响。

### 3.2 公路施工对沿线河道的影响

表 2 是喀喇昆仑公路改扩建工程沿线红其拉甫河中上游段河道压缩情况统计表。根据表 2 中的现场勘测结果, 结合图 1 和图 2 可以看出, 喀喇昆仑公路在 K754 + 400 至 K788 + 000 路段与路侧河流蜿蜒并行, 原有公路布线全部在河道峡谷内, 因此改扩建工程施工中不可避免地会对路侧河漫滩地 (老路路界至水体距离) 产生一定的挤压和占用。统计结果表明其占用比例在 12% ~ 100% 不等, 但尚未对原有的河道水面宽度形成明显挤占。改扩建工程施

工中不同路段公路占地宽度较设计的占地宽度有不同程度的增加,变化范围在1%~84%不等,分析认

为其主要是由于局部路段线形较差、改扩建施工中老路拓宽作为施工便道等造成的。

表2 公路沿线红其拉甫河中上游段河道压缩情况统计表

Tab. 2 Statistical table of compression conditions in middle and upper reaches of Kunjirap River along Karakoram Highway

桩号	海拔/m	纬度 N	经度 E	公路与河流 高差/m	公路占地 (AB) / 设计占地/m	路界至水体 距离 (BC) /m	河流宽度 (CD) /m	扰动范围/m
K788+000	3 930	36°49'59"	75°15'59"	32.3	15.7/8.5	42.4	11.9	41.7
K783+000	3 850	36°50'45"	75°13'11"	53.2	8.8/8.5	106.0	11.0	12.9
K778+000	3 660	36°51'55"	75°10'02"	6.3	8.6/8.5	12.7	11.9	12.7
K773+000	3 510	36°52'11"	75°07'46"	2.8	15.3/8.5	29.1	21.8	7.1
K768+000	3 400	36°51'39"	75°04'03"	4.8	9.7/8.5	37.4	22.2	13.8
K763+000	3 330	36°51'40"	75°01'34"	6.2	10.1/8.5	19.6	15.6	3.6
K758+000	3 300	36°50'59"	73°58'05"	5.2	11.2/8.5	18.0	27.7	4.5
K754+400	3 320	36°49'26"	74°58'04"	7.1	10.5/8.5	59.3	15.1	51.4

结合现场踏勘分析认为,在同类地区内进行公路改扩建工程施工时有以下3种情况使公路施工更容易对河道产生压缩:(1)当公路与河流高差较大,路界至河流水体距离较小时(如K788+000路段),容易产生公路弃渣或挡墙施工弃渣自然滑落对河道压缩的问题<sup>[9]</sup>,因此对于此类路段进行施工作业时要做好施工弃渣外运处理和临时防护措施;(2)当公路与河流高差较小,路界至河流水体距离较大时(如K754+400路段),由于此类路段路侧空地较大,易被施工单位选择为集中弃渣场或搅拌站等临时施工场地,因此很容易产生公路集中弃渣对河道压缩的问题,对于此类路段弃渣时施工单位要按照设计文件做好弃渣临水侧挡墙防护和河道行洪可行性论证<sup>[10-11]</sup>;(3)当公路与河流高差较小,路界至河流水体距离较小时(如K778+000路段),容易产生公路临河路基防护工程施工中基坑开挖弃渣对河道的阶段性压缩问题<sup>[12]</sup>,因此对于此类路段进行施工作业时要做好基坑开挖临时弃渣的成坝设置和临时防护工作,并在工程建设结束后及时用钩机等施工机械对河道弃渣进行清理,保证河道行洪要求。

#### 4 结论

(1) 喀喇昆仑公路改扩建工程沿线红其拉甫河中上游干流河段地表水 pH 值在 7.09~8.12 之间,水质呈现中性偏碱性,其中 K763+700 路侧峡谷支流水体 pH 值为 8.36,明显高于路侧干流水体,可能与峡谷中冰川融水激流直下过程中与周围岩石发生的水岩作用有关。

(2) 公路沿线地表水阴离子中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量最高,

其次是  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Cl}^-$ ,阳离子中  $\text{Ca}^{2+}$  含量最高, $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  次之, $\text{Na}^+$  的含量较低;所有水样中均未检测出  $\text{NH}_4^+$  和石油类物质。

(3) 喀喇昆仑公路改扩建工程土石方施工没有对公路沿线地表水中固体悬移质浓度和离子浓度造成明显变化,也没有发生机械漏油或施工营地污水排放污染沿线地表水水质的情况,局部路段悬移质浓度的迅速增加与汇入的冰川融水支流水质特征有显著关系。

(4) 喀喇昆仑公路在 K754+400 至 K788+000 路段进行改扩建工程施工中对路侧河漫滩地(老路路界至水体距离)产生一定的挤压和占用,占用比例在 12%~100% 不等,但未对原有的河道水面宽度形成明显挤占。

(5) 改扩建工程施工中不同路段公路占地宽度较设计的占地宽度有增加,变化范围在 1%~84% 不等,其主要是由于局部路段线性较差、改扩建施工中老路拓宽作为施工便道等原因造成的。

(6) 提出在同类地区内进行公路改扩建工程施工时有 3 种情况会使得公路施工更容易对河道产生压缩,针对公路与河道的典型位置关系特征提出了弃渣外运、挡墙防护和临时防护等相应的水环境保护措施。

参考文献:

References:

- [1] 施雅风. 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.  
SHI Ya-feng. An Exploring Innovative Research Case:

- Recollection of the Batura Glacier Expedition and Research on Restoring Karakorum Highway Project [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25 (4): 479-481.
- [2] 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.  
TAO Shuang-cheng, CHEN Ji-ding, WANG Yun, et al. Analysis on the Physical and Chemical Properties of Surface Water along the Karakoram Highway [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32 (6): 1220-1225.
- [3] 陈学强.水电建设项目施工废水处理方法与污染控制研究[D].西安:长安大学,2008.  
CHEN Xue-qiang. Study on Construction Wastewater Treatment and Pollution Control of Hydropower Station [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [4] 杨云峰,赵剑强,董小林,等.中国西北地区高速公路建设与水资源保护[J].*长安大学学报:自然科学版*,2003,23(6):75-78.  
YANG Yun-feng, ZHAO Jian-qiang, DONG Xiao-lin, et al. Freeway Construction in Chinese Northwest Area and Water Resource Protection [J]. *Journal of Chang'an University: Natural Science Edition*, 2003, 23 (6): 75-78.
- [5] 田育新,李正南,周刚,等.开发建设项目借土场、弃渣场的分类、选择及防治措施布局[J].*水土保持研究*,2005,12(2):149-105,153.  
TIAN Yu-xin, LI Zheng-nan, ZHOU Gang, et al. Classification, Selection and Layout of Soil Pits and Residue Pits and the Control in Development and Construction Project [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12 (2): 149-105, 153.
- [6] 张康生.巴基斯坦的自然环境及存在问题[J].*环境科学进展*,1997,5(6):66-72.  
ZHANG Kang-sheng. Natural Environment and Problems in Pakistan [J]. *Advances in Environmental Science*, 1997, 5 (6): 66-72.
- [7] 王建,丁永建,许君利,等.西天山科其喀尔冰川消融径流的水化学分析[J].*环境科学*,2006,27(7):1305-1311.  
WANG Jian, DING Yong-jian, XU Jun-li, et al. Hydrochemical Characteristic Analysis of Melting Water Flow in Keqikaer Glacier, Tianshan (West) Mountains [J]. *Environmental Science*, 2006, 27 (7): 1305-1311.
- [8] 赵华标,姚檀栋,徐柏青.慕士塔格卡尔塔马克冰川作用区的水文与水化学特征[J].*冰川冻土*,2006,28(2):269-275.  
ZHAO Hua-biao, YAO Tan-dong, XU Bai-qing. Hydrological and Hydrochemical Features of Kartamak Glacier Area in Muztag Ata [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28 (2): 269-275.
- [9] 胡建刚,张亮,苟睿,等.公路水毁的破坏型式、成因及防治对策初步研究[J].*公路交通科技*,2005,22(增1):26-29.  
HU Jian-gang, ZHANG Liang, GOU Rui, et al. The Destroy Type, Origin and Controlling Measurement of Water-damage of Highway [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2005, 22 (S1): 26-29.
- [10] 罗雷,何丙辉,王锐亮.弃渣场堆渣及挡渣墙稳定性分析[J].*水土保持研究*,2006,13(2):253-256.  
LUO Lei, HE Bing-hui, WANG Rui-liang. Stability Analysis on Piling Dregs in Abandoned Dreg Field and Retaining Wall [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13 (2): 253-256.
- [11] 黄向京,许桂林,杨果林,等.加筋格宾新型组合支挡结构试验研究[J].*公路交通科技*,2011,28(2):7-13.  
HUANG Xiang-jing, XU Gui-lin, YANG Guo-lin, et al. Experimental Research on a New Kind of Compound Supporting and Retaining Structure with Reinforced Gabion Retaining Wall [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2011, 28 (2): 7-13.
- [12] 赵炼恒,罗强,李亮,等.水位升降和流水淘蚀对临河路基边坡稳定性的影响[J].*公路交通科技*,2010,27(6):1-8.  
ZHAO Lian-heng, LUO Qiang, LI Liang, et al. Study on Stability of Subgrade Slope along River Subjected to Water Level Fluctuation and Stream Erosion [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2010, 27 (6): 1-8.