

文章编号:1006-2106(2015)05-0012-06

# 基于遥感技术的中吉乌铁路地质构造分析<sup>\*</sup>

余绍淮<sup>\*\*</sup> 陈楚江 张 霄

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 武汉 430056)

**摘要:**研究目的:针对中吉乌铁路工程勘察区域地质构造复杂,常规地质调查方法难以从宏观至微观对各个路线走廊带进行同等深度方案比选的实际问题,采用遥感地质技术对中吉乌铁路勘察区域的地质构造进行遥感地质解译与特征分析,科学、合理地确定中吉乌铁路路线方案。

**研究结论:**(1)地质构造遥感勘察可有效识别地球表层的各类断裂、褶皱等地质构造,分析其分布规律及构造属性特征;(2)基于遥感技术的中吉乌铁路地质构造分析查明了中吉乌铁路的地质构造条件,为铁路路线走廊带的比选与优化提供了地质依据;(3)综合中吉乌铁路地质遥感勘察成果,推荐更为科学、合理、安全和经济的中吉乌铁路北部路线走廊带;(4)该研究成果可为其他类似工程的选址选线提供指导作用。

**关键词:**地质构造;工程地质勘察;遥感地质解译;中吉乌铁路

中图分类号:U212 文献标识码:A

## Analysis of the Geological Structure for China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway Based on Remote Sensing

YU Shao – huai, CHEN Chu – jiang, ZHANG Xiao

(CCCC Second Highway Consultants Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430056, China)

**Abstract: Research purposes:** In view of the practical problems of the complex geologic structure of China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway, and the conventional geological investigation is difficult to carry out, a method of geological interpretation and characteristic analysis of the geological structure of China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway based on remote sensing technology has been proposed.

**Research conclusions:** (1) Remote sensing interpretation was very effective to identify geologic structure and analyze its properties. (2) The geological structure of China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway was investigated, and the railway scheme comparison and optimization were implemented. (3) Based on the results of remote sensing interpretation, the north route corridor belt scheme of China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway has been determined scientifically and reasonably. (4) This research result would be a good guidance to location selection of other similar projects.

**Key words:** geological structure; engineering geological investigation; remote sensing geological interpretation; China – Kyrgyzstan – Uzbekistan Railway

## 1 引言

中吉乌国际铁路起自中国南疆铁路喀什站,途经吉尔吉斯斯坦的卡拉苏,终点为原苏联土西铁路乌兹别克斯坦的安集延站,是我国通往中亚、南欧国家的一

条国际通道。中吉乌铁路吉尔吉斯斯坦段(以下简称“中吉乌铁路”)路线方案分南、北两个路线走廊带,其南部走廊带以卡拉苏为起点,沿亚瑟河谷南北两岸各布设 1 个比选方案(AⅢK、AⅣK),穿越费尔干纳山脉到达阿尔帕河谷,沿恰特尔古力湖南部到达吐尔尕特

<sup>\*</sup> 收稿日期:2014-12-11

<sup>\*\*</sup> 作者简介:余绍淮,1979 年出生,男,高级工程师。

口岸进入中国境内,全长约 271 km;北部走廊带以贾拉拉巴德市为起点(AK),经科克杨加克,穿越费尔干纳山脉至阿尔帕河谷与南部走廊交汇,全长 243 km。

中吉乌铁路整体位于天山构造带,受尼科利夫断裂带、阿特巴希-伊尼尔凯克斯基断裂带及特拉斯-弗加恩斯基断裂带等区域性断裂带影响,区域地质构造复杂,活动构造发育。遥感图像由于具有概括性好、宏观性强、视域广阔、信息量多、包含丰富的“透视”信息、受地面条件限制少等特点,利用遥感卫星图像的光谱特征和结构特征,能够发现和判别地球表层的各类断裂、褶皱等地质构造,分析其分布规律及构造属性特征,比常规的野外地质调查工作更为有效。为此,本文采用地质遥感技术对中吉乌铁路地质构造进行遥感地质解译与特征分析,为铁路路线走廊带的比选与优化提供依据。

## 2 地质构造遥感研究

### 2.1 地质构造解译标志

遥感卫星图像具体而微地显示了区域宏观地表形态特征。在遥感卫星图像上,地质构造主要表现为由色调、色彩或地形地貌等大体沿空间上某一方向有规律地展布所构成的线性图像特征。构成线性图像的因素有很多,有的与地质构造有关,如断裂、节理、劈理、岩层界线等地质构造现象;有的间接有关,如走向笔直的分水岭、沟谷、河流等天然地形地物;有的则毫无关系,如公路、铁路等人类工程。地质构造解译的主要内容是寻找识别遥感图像上的线性图像特征,解译与区分其中与地质作用有关或受地质构造控制的线性图像,确定地质构造的存在及其性质。

地质构造的遥感解译标志有图形形态、色调或色彩、水系分析、地貌形态、影纹图案、土壤植被等。遥感解译标志分为直接解译标志和间接解译标志两类。直接解译标志指地物、地质体或地质现象自身属性在图像上直接表现出来的图像特征,如形状、大小、色调或色彩、阴影、图案花纹等;间接解译标志指与地物的自身属性有内在联系,通过相关分析能够推断地物或地质体性质的图像特征,如岩性、构造可以通过地貌形态、土壤类型、水系格局、植被土壤等图像特征反映出来。地质构造遥感解译主要依靠图形形态和色调(色彩)两类标志,但也不能忽视大小、位置、阴影等遥感解译标志,各种标志都有其普遍性和特殊性。

### 2.2 地质构造解译识别模式

#### 2.2.1 线性影像特征

在遥感图像上,地质构造常表现出线或带状的色调、色彩界面,并与背景色调、色彩存在显著差异。色

调异常带多反映规模巨大的断裂或断裂带;色度陡梯度变化带常与断层两侧岩石性质截然不同的线性界面相关;色度缓梯变化带则反映深大断裂带或同类岩区的局部断裂构造带;在第四纪沉积物覆盖地区,色调异常界面常常是解译隐伏断裂的重要线索。图1为中吉乌铁路勘察区域发育的北北西向断层,在 ETM+ 卫星图像 753 波段组合下,断裂构造带内以浅黄色调为主,呈北北西方向带状展布,其周围岩石呈现色调及纹理特征均不同。



图1 断裂带色度异常

#### 2.2.2 线状负地形分布特征

受断层控制作用,地表容易形成具有线性分布规律的负地形与串珠状地形,如断层三角面、断层崖、断层垭口、断层沟谷、串珠状盆地与串珠状湖泊、洼地等,是十分常见的地质构造间接解译标志。断层三角面是断层经剥蚀而裸露残留的部分,代表了断层面的产状,一般呈三角形,个别呈梯形,沿断裂的许多三角面彼此呈现整齐的线状排列。断层崖是断层破碎带后期遭受强烈侵蚀或崩塌作用后形成的。断层三角面、断层崖呈直线状分布并断续延伸一定距离,往往是断层的反映。图2为中吉乌铁路勘察区域发育的北东向断层,其负地形表现为线状的水系及断层垭口(白色箭头处)。断层西北段可见明显的陡坡、规则的三角形,在空间上呈直线延伸,地形犹如锯齿状。



图2 线性负地形特征

### 2.2.3 水系网络异常特征

水系是反映断裂活动的一种最敏感的因素。水系变异通常是断裂构造,特别是活动断裂构造的一种常用的解译标志。自然河道上的一些特征点,如汇流点、改流点、决口点、分流点、曲流段和直线段的起迄点等,都是解译断裂构造是否存在并有无活动的依据。河流的汇流点常常出现在强烈下沉地带或几组断裂交汇地带,分流点上游方向常指向棱角状水系,平直河段的直角拐弯或许多支流都以直角汇入主流,以及河谷局部地段突然变宽或变窄都是断裂存在的标志。图3为中吉乌铁路勘察区域受费尔干纳断裂控制的水系特征。沿断层方向,北侧水系受断层影响,直角转弯后直线向南东方向流入,与沿直线北西向流入的南侧水系交汇,形成特殊的对口河现象。同时,在断裂带西侧形成线状断裂带垭口。



图3 受费尔干纳断层控制的对口河

### 2.2.4 不良地质体线状分布特征

不良地质体的成因除受岩性及地形地貌影响外,往往还受到断裂构造控制。受断层控制作用,不良地质体边缘常具有线状、带状等线性特点,如滑坡体边缘、崩塌体临空面前缘等。同类不良地质体在空间上也易形成线状分布现象,如滑坡、崩塌、岩堆的成排分布等,可作为断裂构造的间接解译标志。图4为中吉乌铁路勘察区域内不良地质体发育与地质构造分布情况,受北西向断层的控制作用,崩塌边缘具有线性锯齿状特点。

### 2.3 活动断裂构造识别

活动断裂构造对铁路工程的影响较稳定断裂更为复杂,破坏力更大。在遥感图像上,活动断裂除在色调、水系方面表现有线性异常外,地貌、土壤、植被等现代地貌要素也会有异常表现。活动断裂的色调标志一般比较清晰,常表现为粗细、深浅、长短、隐显不同的线状、带状色调,更多的是不同色调的界面。有些活动断裂的线性图像虽不是很明显,但却往往控制着一系列活动异常点的线状展布,如新生代侵入岩体或火山口



图4 断裂带内崩塌灾害发育

的线状展布、多条河流同步拐点的连接线,若与断裂所在的位置相吻合,亦可作为断裂活动的佐证。

活动断裂在第四系沉积物上表现特征最为明显。活动断层通过位置出现阶地、夷平面、洪积扇等地貌要素的错动或呈直线切割现象,同时地表植被往往呈线性带状分布。图5为中吉乌铁路路线方案终点恰特尔古力湖附近的北西向活动断裂,活动断层切割洪积扇,洪积扇扇根呈直线分布,并控制恰特尔古力湖西北边缘呈线状特征。

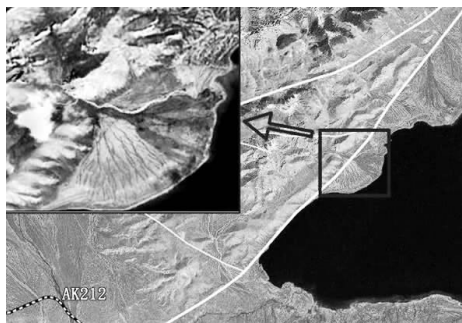


图5 活动断层切割洪积扇

## 3 中吉乌铁路地质构造的遥感勘察

### 3.1 区域性断裂带

中吉乌铁路所在的吉尔吉斯斯坦整体位于天山构造带,地学界通常依据近东西向的尼科利夫断裂和北北东向阿特巴希-伊尼尔凯克斯基断裂,自北向南分为北天山、中天山和南天山等3个主要构造带,同时又以北西向的特拉斯-弗加恩斯基断裂将上述各带分割成东、西两部分。中吉乌铁路跨越上述3个一级构造单元。

#### 3.1.1 尼科利夫断裂带

尼科利夫断裂带在遥感卫星图像上清晰可见,呈近东西向展布,是北天山与中天山的分界线。断裂带由东向西延伸进入工程勘察区域,被北西向的特拉斯-弗加恩斯基断裂所切断。在勘察区域内走向大致可

分为东、西两段。东段呈北东东向展布,山前第四系发育;西段直线状特征典型,沟谷地貌发育,沟谷两侧滑坡较发育。断裂带宽 10 ~ 20 km,由多条近平行断裂组成,是控制区域地质演化的主干断裂。

图 6 为尼科利夫断裂带中的一条断裂构造,呈近东西走向,其对区域地形地貌起到了一定的控制作用。断裂东段以北主要为新生代以来的地层,地势相对平坦;以南主要为晚古生代的地层,分布零星,地势较高且险峻。在遥感影像上,该断裂所经过的岩石因为受其影响而发生了不同程度的变质、变形作用。



图 6 尼科利夫断裂带

3.1.2 阿特巴希 – 伊尼尔凯克斯基断裂带

阿特巴希 – 伊尼尔凯克斯基断裂带是中天山与南天山构造带的分界线,断裂带由东向西延伸进入工程勘察区域,同时被北西向的特拉斯 – 弗加恩斯基断裂分割为东、西两部分。断裂东段近东西向展布,直线状影像特征明显,断层崖清楚,第四纪洪积扇线状分布;西段大致呈北东向展布,直线状影像特征显著,可见断层崖和断层三角面。该断裂带为中、南天山间的板块缝合带,带内岩石变形强烈。

在遥感卫星图像上,阿特巴希 – 伊尼尔凯克斯基断裂带通过中吉乌铁路路线终点恰特尔古力湖以北(如图 7 所示),穿过第四纪冰水冲积物,控制其西南端河流的发育。断裂带走向总体为北东向,带宽为 15 ~ 20 km,勘察区域内延伸长约 70 km。

3.1.3 特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带

特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带为中亚地区最大规模的断裂,总长度超过 1 000 km,由多条北西向次级断裂

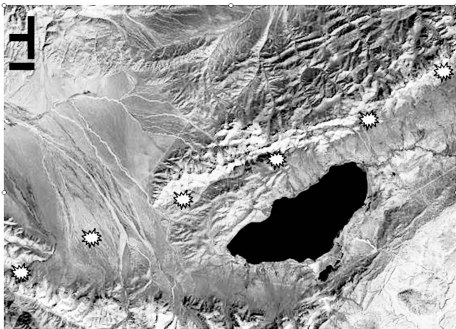


图 7 阿特巴希 – 伊尼尔凯克斯基断裂带

组成。在空间上,特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带分别切断了尼科利夫断裂带和阿特巴希 – 伊尼尔凯克斯基断裂带等两条区域大断裂。中吉乌铁路主要受特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带费尔干纳山脉段影响。

在遥感卫星图像上,特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带沿着费尔干纳山脉呈北西向展布,勘察区域内延伸长约 100 km,断裂带宽为 10 ~ 15 km。断裂带东西两侧影像特征差异明显:东侧线性构造清楚,形成明显的线状沟谷地貌,构造地貌特征明显;西侧大致可以分为北、中、南三段,北段直线状影像特征,主干断裂在空间上展布连续性相对较差;中段直线状影像特征典型,直线状沟谷地貌发育;南段主要发育于山前地带,形成了盆地与山区的分界线(如图 8 所示)。



图 8 特拉斯 – 弗加恩斯基断裂带

3.2 活动断裂构造

中吉乌铁路构造活动强烈,遥感解译共识别了 9 条规模巨大的活动断层,如表 1 所示。

表 1 勘察区域的活动断层

名称	走向	断层性质	遥感影像特征
凯泽桑格断层	NE	活动断层	线性影像特征清晰,断层两侧地貌差异明显,有明显的山前断裂特征,沿断面上有裂陷谷地地貌发育
库尔沙布河 – 乌兹根断层	NE	活动断层 右行断层	以库尔沙布河交界分为南、北两段,南段线性沟谷地貌发育,所有水系汇集于沟谷;北段主要沿山前地带展布,两盘地貌差异明显



续表 1 勘察区域的活动断层

名 称	走向	断层性质	遥感影像特征
库尔沙布河－贾拉拉巴德断层	NNW	活动断层正断层	沿山前地带展布,通过一系列山前洪积扇扇根,洪积扇有明显的错动现象
贝曼－博特断层	NE	活动断层正断层	由于上盘不断抬升,使得一系列山前洪积扇沿断层线整齐展布,河流向源侵蚀现象明显,沿河谷上游发育大量的崩滑现象
萨瑞布拉克断层	NE	活动断层	影像可见与其伴生的小断层有明显的切割洪积扇的迹象,因受断层影响,扇面上水系呈 90°拐弯现象,扇面被切割迹象典型
费尔干纳山脉北东断层	EW	活动断层	断层按空间展布可分为三段,其中主体为中段,呈近东西向展布;西段和东段大致呈北西西向展布,主体发育于第四系中,第四系地表有明显的断裂构造特征
阿尔巴断层	NE	活动断层	北段水系异常特征明显,河谷出现两次近 90°拐弯现象,冲洪积扇扇面近似平行水系发育;南段地貌特征差异明显,表现为冰水沉积扇和绿洲之间沿断层方向呈直线接触关系
恰特尔古力湖西北断层	NE	活动断层	断层主体发育于山前第四系洪冲积层,沿山前地带展布,山前洪积扇有明显的切割迹象
吐尔尕特口岸断层	NE	活动断层正断层	断层主体发育于山前第四系洪冲积层,直线状特征明显,山前洪积扇有明显的切割迹象

3.3 一般性断裂

一般性断裂不仅通过孕育地质灾害直接影响铁路工程安全,而且导致岩体破碎,对铁路隧道工程稳定性造成较大影响。断裂构造是孕育崩塌、滑坡等地质灾

害的重要影响因子,断裂构造发育区域的岩性破碎、岩层松动,是形成崩滑现象的有利条件。中吉乌铁路地质构造遥感解译共识别出一般性断裂构造 235 条,如图 9 所示。

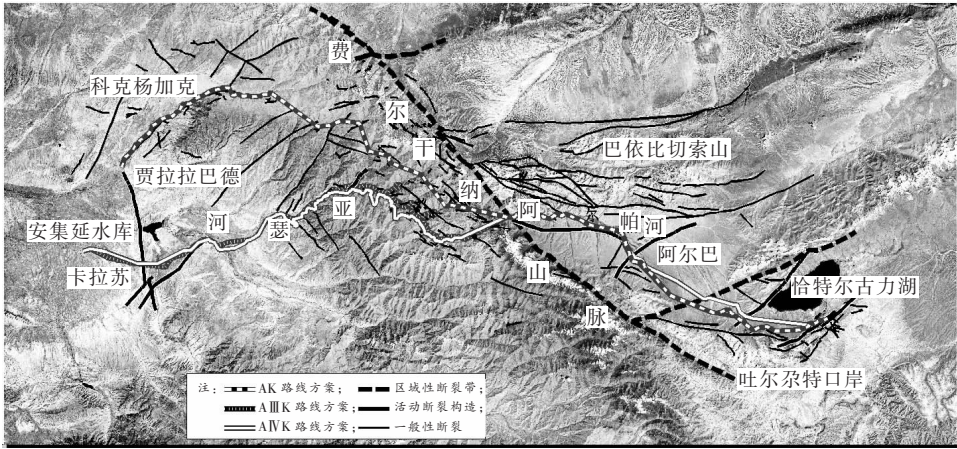


图 9 遥感解译成果

4 结论

通过中吉乌铁路地质构造遥感勘察,得出以下结论:

- (1) 基于遥感技术的中吉乌铁路地质构造分析,共解译出大小性质不同地质构造 247 条,其中区域性断裂带 3 条、活动断裂 9 条和一般性断裂 235 条,为铁路路线走廊带的比选与优化提供了依据。
- (2) 中吉乌铁路南、北两个路线走廊带均受北西向特拉斯－弗加恩斯基断裂带费尔干纳山脉段作用,铁路穿越费尔干纳山脉路段路基稳定性受到一定影

响。相比较而言,南部路线走廊带在亚瑟河上游一带构造活动更为强烈,而北部路线走廊带受断裂活动相对较小。

(3) 综合中吉乌铁路南、北路线走廊带的地质构造、不良地质体、雪害易发程度及岩土稳定性情况,充分考虑铁路设计的合理性、科学性,初步认为北部路线走廊带更为科学、合理、安全和经济。

参考文献:

[1] TB 10041—2003/J 262—2003, 铁路工程地质遥感技术规程[S].  
TB 10041—2003/J 262—2003, Code for Technique on

- Remote Sensing of Railway Engineering Geology**[S].
- [2] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1999.
- The First Railway Survey and Design Institute. Handbook of Railway Engineering Geology** [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.
- [3] 卓宝熙. 工程地质遥感判释与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- Zhuo Baoxi. Remote Sensing Interpretation & Application of Geology Engineering**[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002.
- [4] 高山. 铁路遥感地质勘察技术体系研究[J]. 铁道工程学报, 2014(4): 6-10.
- Gao Shan. Research on the Technology System of Geological Remote Sensing for Railway Survey** [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(4): 6-10.
- [5] 金建荣, 魏国安. 遥感在新建中吉乌国际铁路中国境内段可行性研究中的应用[J]. 铁道工程学报, 2003(1): 38-42.
- Jin Jianrong, Wei Guoan. Application of Remote Sensing in Feasibility Study of Sections Inside of Territory of China for Newly—Built China - Kyrgyzstan - Uzbekistan International Railway**[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2003(1): 38-42.
- [6] 刘桂卫, 乔平. 铁路地质判释遥感图像融合算法优选与应用[J]. 铁道工程学报, 2013(8): 22-26.
- Liu Guiwei, Qiao Ping. Selection and Application of Fusion Algorithms for Interpretation of Remote Sensing Images for Railway Geology** [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013(8): 22-26.
- [7] 施文翔, 廖群安, 胡远清, 等. 东天山地区中天山地块内中元古代花岗岩的特征及地质意义[J]. 地质科技情报, 2010(1): 29-37.
- Shi Wenxiang, Liao Qunan, Hu Yuanqing, etc. Characteristics of Mesoproterozoic Granites and Their Geological Significances from Middle Tianshan Block, East Tianshan District, NW China** [J]. Geological Science and Technology Information, 2010(1): 29-37.
- [8] BATALEV V Y, BATALEVA E A, EGOVA V V, etc. The Lithospheric Structure of the Central and Southern Tien Shan: MTS Data Correlated with Petrology and Laboratory Studies of Lower - crust and Upper - mantle Xenoliths [J]. Russian Geology and Geophysics, 2011(12): 1592-1599.
- [9] BINDI D, ABDRAKHMATOV K, PAROLAI S, etc. Seismic Hazard Assessment in Central Asia: Outcomes from a Site Approach [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2012(37): 84-91.
- [10] JOHAN D G, GLORIE S, MIKHAIL M B, etc. Thermo - tectonic History of the Issyk - Kul Basement (Kyrgyz Northern Tien Shan, Central Asia) [J]. Gondwana Research, 2013(3): 998-1020.

=====

(上接第11页 From P. 11)

- [5] 庞巍, 叶朝良, 杨广庆, 等. 电石灰改良滨海地区盐渍土路基可行性研究[J]. 岩土力学, 2009(4): 1068-1072.
- Pang Wei, Ye Chaoliang, Yang Guangqing, etc. Study of Feasibility of Calcium Carbide Dust Improved Inshore Area Saline Soil for Highway Subgrade**[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009(4): 1068-1072.
- [6] 黄晓波, 周立新, 何淑军, 等. 浸水预溶强夯法处理盐渍土地基试验研究[J]. 岩土力学, 2006(11): 2080-2084.
- Huang Xiaobo, Zhou Lixin, He Shujun, etc. Study on Test of Saline Soil Ground Treatment with the Soaking and Dissolving Combined Dynamic Compaction Method** [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006(11): 2080-2084.
- [7] 隆威, 曹增国. 盐渍土工程特征分析及地基处理方法探讨[J]. 岩土工程界, 2002(4): 43-45.
- Long Wei, Cao Zengguo. Characteristics of Saline Soil and Method of Handling Foundation** [J]. Geotechnical Engineering World, 2002(4): 43-45.
- [8] 杨海容, 蒋富强, 王翔, 等. 青藏铁路察尔汗盐湖盐岩和岩溶工程地质特性及路基修筑技术[J]. 铁道工程学报, 2005(5): 373-378.
- Yang Hairong, Jiang Fuqiang, Wang Xiang, etc. Characteristics of Salt Rock and Salt - dissolution Engineering Geology and Subgrade Construction in Chaerhan Salt Lake along Qinghai - Tibet Railway** [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(5): 373-378.
- [9] 房建宏, 刘建坤, 徐安花. 察尔汗盐湖路基的灌注法加固及效果分析[J]. 交通标准化, 2005(12): 127-131.
- Fang Jianhong, Liu Jiankun, Xu Anhua. Grouting Method of Salt Lake Roadbed and Results Evaluation** [J]. Communication Standardization, 2005(12): 127-131.