

# 陕西安塞—靖边高速公路段工程地质条件

任军峰<sup>1</sup>, 滕志宏<sup>1</sup>, 戴文晗<sup>2</sup>, 胡 巍<sup>3</sup>

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 陕西省公路设计院, 陕西 西安 710069; 3. 陕西省勘查技术研究院, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 经过野外勘察, 结合遥感图像解译, 进一步查明了安塞—靖边高速公路段地质构造概况、工程地质、水文条件和地质灾害的类型与分布。结果表明: 路段内崩塌及危岩体主要分布于延河上游及其支流康河、桥川河的凹岸; 滑坡灾害主要发育在黄土层分布区及部分基岩段; 路段中、南部的黄土多具湿陷性; 现代流动沙丘及沙漠化灾害主要见于靖边县一带, 及其以北毛乌素沙漠地段。在此基础上, 将设计路线带划分为3个工程地质区, 即风积沙漠滩地、风积黄土梁峁及河谷阶地、涧地工程地质区, 为合理选线提供了科学依据。

**关键词:** 高速公路; 工程地质; 安塞县; 靖边县; 陕西省

**中图分类号:** P64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274X(2003)04-0451-05

陕西安塞—靖边高速公路段是西部大通道包头—北海高速公路, 即陕西“米”字型高速公路规划建设中的主要组成部分, 北端与石(家庄)银(川)高速公路相接, 具有连接南北、贯通东西的交通枢纽作用, 在西部大开发及经济腾飞中具有重要的意义。

该公路段南起安塞县北(K117+000), 北止靖边县东北的杨家湾(K286+100), 全长约110 km。路段总体延伸方向为330°, 地理坐标为北纬36°50′~37°40′、东经108°30′~109°30′。

安靖高速公路横跨黄土高原地貌区和风沙地貌区, 其间黄土沟壑纵横, 岭谷相间, 危岩崩塌灾害普遍, 湿陷性黄土分布较广, 导致黄土侵蚀及水土流失加剧, 沙漠化日趋严重。由于自然和人为因素形成的潜在地质灾害对公路的选线 and 建设影响较大, 在公路建设前采用地表地质并结合遥感解译查明路段工程地质条件, 对公路选线 and 建设非常必要。

## 1 路段自然地理及地质概况

### 1.1 自然地理概况

安靖高速公路段地理环境复杂多变, 以白于山

—鸭行山—白猪山一线为界, 南北环境差异较大: 南部(以安塞县为主)地处陕北黄土高原丘陵沟壑区, 海拔可由1 802 m(镰刀湾乡高岭山)降至1 009 m(河湾乡罗家沟); 东部为黄土梁峁沟壑地形, 相对高差约150 m, 河谷宽缓; 西部属河源梁状丘陵沟壑地形, 谷深坡陡, 相对高差为200~300 m; 北部(以靖边县为主)自南向北倾斜, 由黄土覆盖的白于山区渐变为黄土梁峁区; 最北部为风沙草滩盆地区, 梁、涧交错, 川道、台地的地势平坦开阔, 由于地下水位较浅, 大小洼地、水库星罗棋布<sup>[1]</sup>。

从地貌类型上看, 安靖高速公路段地处毛乌素沙漠南缘、黄土高原北部, 毛乌素沙漠绵延于北, 黄土高原横亘于南, 白于山—白猪山呈近东西向居中, 构成黄土覆盖的中山地貌。其绝对高差近550 m, 起终点高差约200 m。

安靖高速公路段水系密布, 主要发源于白于山, 次为鸭行山和白猪山, 主要水系有红柳河、芦河、延河、桥川河及清水河等。北部的红柳河及芦河总体流向由西南向东北, 而南部的延河呈北西向东南流向。上述河流平水期水量较少, 夏秋季水量及含沙量均较大, 水土流失严重, 加快了沙漠和黄土地貌的演化

收稿日期: 2002-04-27

基金项目: 陕西省公路勘察设计院资助项目

作者简介: 任军峰(1978-), 男, 陕西岐山人, 西北大学硕士生, 从事构造地质、工程地质及水文地质研究。

过程,直接影响着高速公路的建设。

## 1.2 地质概况

安靖高速公路段地质构造比较简单,黄土覆盖面积较大,基岩平缓,岩性单一,褶皱断裂构造不甚发育,基本属于较稳定的地质构造环境(见图 1)。

1.2.1 沉积地层 以白于山—白猪山分水岭为界,南北地层结构有明显差异<sup>[2]</sup>。

南部地段,地表广覆厚约 5~10 m 不等的灰黄

色马兰组风积黄土层,局部马兰黄土下可见离石黄土分布,但厚度不大,范围较小,未见典型的早更新世午城黄土出露。黄土层继承性覆盖在古丘陵地貌之上,呈披盖状,随基底古地形起伏而起伏,经剥蚀局部可出露于中低山顶顶部。南部河谷深切,可见  $Q_4$ — $Q_3$  冲积砂砾石层及冲积粘土层,但沉积层较薄,3~5 m 不等。

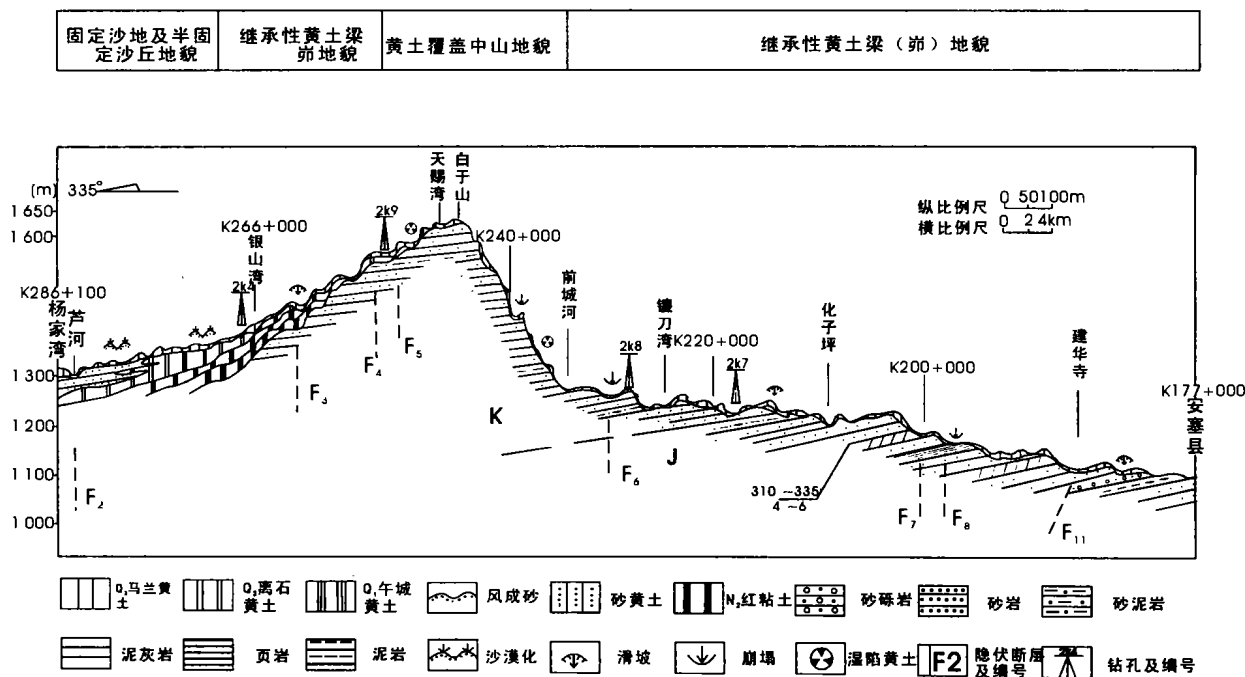


图 1 安塞—靖边高速公路段工程地质断面图

Fig. 1 Engineering geological transverse section of Ansai-Jinbian Expressway

北部地段、南部邻近分水岭一带地层结构基本同南部相似,往北  $J_2$ — $K_1$  基岩埋深较大。第三系和第四系沉积增厚,地层也较全,个别剖面显示(乔沟湾),除上部  $Q_3$ — $Q_1$  风积黄土外,下部还可见  $N_2$  红色粘土层,厚度 50~100 m 不等,一般未见基岩出露,地表大部分被现代风沙沉积覆盖。值得注意的是,风沙沉积下所见黄土属  $Q_2$  离石黄土,即地表风沙沉积可与黄土高原马兰黄土相对比。这种现象可有两种解释:① 沙体与马兰黄土分属同时代不同环境沉积;② 北部沙漠下的马兰黄土被风蚀和沙漠化。比较而言,前者的可能性较大。北部区很少有基岩出露,以冲积沙泥沉积为主。

1.2.2 地质构造 安靖高速公路段属华北板块中的鄂尔多斯晚古生代—中生代上迭式盆地,是由周缘河套、渭河、银川及山西断陷带所围限的相对构造稳定区。第四系下伏的基岩构造型式主要表现为断裂构造,中生代地层单斜缓倾,褶皱构造不发

育,具地台构造特征。由于本区黄土广覆,断裂在地表的迹象和证据较少,主要根据水系变化、沟壑深切、航磁异常及影像特征等综合分析推断。据安塞及靖边遥感地质调查,路段内对公路建设有影响的断裂共 13 条,而且均为隐伏状的基底断裂。其中  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_4$ ,  $F_6$  和  $F_7$  断裂规模较大,延伸较远,与公路设计线直交或斜交,但对公路选线和建设的影响甚微。

1.2.3 新构造活动 根据黄河中游地震( $M \geq 6$ )震中分布及地震烈度区划图可知,安靖高速公路段及其邻区位于由鄂尔多斯周缘新构造强烈活动带及高等级地震发育带所围限的较稳定地台区<sup>[3]</sup>。无论从新构造的展布、活动性,还是从史前地震灾害上看,较周缘有明显的差异。即路段内不仅新构造少,活动弱,而且地震强度低,即使有,也周期长,震级小,多为微震,目前对公路建设影响不大。

但是,随着鄂尔多斯地台周缘新构造活动的增强,加上路段内自然或人为活动等综合因素(地下

固、液态矿产资源和水资源的过量开采等),基底断裂活动有增强的趋势。因此,从公路建设的长远规划考虑,不排除在公路设计带内的基底断裂有局部活化的可能,仍需重点防范,做到万无一失。

## 2 岩土体类型及工程地质分区

安靖高速公路沿线及邻区内的岩土体类型主要为松散土体,次为部分半坚硬及坚硬沉积岩类,北部有零星沙漠覆盖。

### 2.1 岩土体类型

**2.1.1 土体工程地质类型** 根据土体的成因特征、岩性组合及物理力学性质等,路段区域内土体可划分为含砾砂土、粘性土和风积黄土3类。含砾砂土主要分布于延河、芦河及其支流的河漫滩和一级阶地下部,以含砾中粗砂为主,结构疏松,密实性差,水位埋深浅,易砂土液化,基本承载力250~500 kPa,干容重 $1.9\sim 2.3\text{ g/cm}^3$ ,渗透系数 $50\sim 300\text{ m/d}$ 。粘性土主要见于河谷阶地、涧地和掌地范围,以全新统一上更新统粉质粘土和上新统红粘土为主,常夹砂土透镜体和钙结核层,厚度变化大。粉质土呈中压缩性,压缩系数 $0.01\sim 0.07$ ,孔隙比 $0.72\sim 0.88$ ,湿陷系数 $\leq 0.03$ ,承载力基本值 $200\sim 150\text{ kPa}$ ,渗透系数 $0.05\sim 0.5\text{ m/d}$ ,或基本不透水。第四纪风积黄土,尤其是表层 $Q_4-Q_3$ 湿陷黄土,以粉土为主,夹多层灰棕色古土壤,底部含钙质结核,厚 $5\sim 10\text{ m}$ 不等。自上而下,土体密实程度增强,大孔隙减少,工程地质属性变好,湿陷性黄土孔隙比 $0.93\sim 1.11$ ,湿陷系数 $0.02\sim 0.08$ ,天然干容重 $1.31\sim 1.50\text{ g/cm}^3$ ,具中等湿陷性,易形成黄土陷穴等岩溶地貌。中、下更新统黄土及湿陷性黄土中古土壤层的工程地质条件相对较好,孔隙小而承载力大,一般不具湿陷性。

**2.1.2 沙体工程地质类型** 见于靖边古长城一线以北,长城以南地表亦有零星沙体覆盖,构成流动、半固定沙丘及固定沙地。沙体以松散的细砂和粉砂为主,次为中砂,粒度自西北向东南递减,单粒结构,孔隙率 $40\%\sim 50\%$ ,干容重 $1.4\sim 1.8\text{ g/cm}^3$ ,密度 $1.8\sim 2.0\text{ g/cm}^3$ ,渗透系数 $3\sim 50\text{ m/d}$ ,透水性及压缩性均强,内聚力 $\approx 0$ 。该类沙体除沙漠化侵袭频发外,局部饱和状态的砂土经强震可诱发砂土液化,对公路建设有较大的影响。

**2.1.3 坚硬、半坚硬岩体工程地质类型** 主要见于分水岭及其以南路段各深切河谷两侧及部分基岩裸

露区,以中侏罗统和下白垩统碎屑岩和碳酸盐岩为主。其中:下白垩统洛河组白云质灰岩、中细粒石英砂岩、粉砂岩(出露较少)的抗压强度 $1\ 020\sim 1\ 350\text{ kg/cm}^2$ ,岩石坚硬致密,弱透水性,具有良好的工程地质性质;较为广泛出露的白垩系和侏罗系砂岩和砂泥岩、泥灰岩、泥岩及煤层等,岩石坚硬且质脆,抗压强度 $200\sim 400\text{ kg/cm}^2$ ,具有较好的工程地质属性。

### 2.2 工程地质分区

根据地貌类型和岩土体工程地质特征,将设计路线带划分为3个工程地质区,即风积沙漠滩地、风积黄土梁峁及河谷阶地、涧地工程地质区<sup>[4~5]</sup>。上述工程地质区还可根据微地貌及岩性特征进一步划分为若干亚区,不同区、亚区工程地质条件有明显差异,对高速公路选线至关重要(见表1)。

## 3 水文地质条件

安靖高速公路设计带内构造、地貌、岩性特征及水文气象条件,是沿线地下水补给、径流及排泄的主要控制因素。根据地下水赋存条件和化学物理性质,该路线带内地下水主要有潜水和承压水两类。

### 3.1 水化学特征

潜水的化学特征主要受地形、气候及径排条件的制约,路段内黄土梁峁区,地势高而且地层破碎。黄土层中潜水具有就地补给和排泄的特征,径流良好。因而,其水质主要取决于黄土层本身易溶岩含量,多形成矿化度小于1的重碳酸型水。滩地地下水径流不畅,埋深浅,蒸发快,易形成矿化度较大的 $\text{SO}_4^{2-}$ 型水( $1\sim 3\text{ g/L}$ )。沙丘地带因地势较平坦,易接受大气降水和下渗,形成矿化度小于1的重碳酸型水。河谷阶(涧)地区潜水水化学特征受基岩裂隙水化学特征控制<sup>[7]</sup>。

承压水的化学特征一般为,浅层的水质优于深层的,平原区的水质优于山地区。白垩系洛河组碎屑岩的水质较佳,矿化度一般为 $1\text{ g/L}$ 左右。中侏罗统砂页岩水化学成分与埋深密切相关,尤其在侵蚀面以下,随深度增加水质条件变差,矿化度可由 $1\sim 3\text{ g/L}$ 增至 $3\sim 20\text{ g/L}$ ,水化学类型为 $\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$ 型或 $\text{Cl}^-$ 型<sup>[7]</sup>,矿化度较高。这是由于中生代地层为一套干燥气候条件下形成的易溶盐含量较高的富煤、油沉积建造。

### 3.2 地下水类型

**3.2.1 潜水** 其形成与新生代的松散沉积层及其相关地貌有成因联系。潜水资源主要分布在第四

系冲湖积层孔隙和风成黄土孔隙裂隙中<sup>[6]</sup>,地下潜水埋深一般数米到数十米不等,最大埋深可达 60 m (黄土梁峁区和基岩区)。单井涌水量视地貌和沉积类型不同而异:黄土梁峁地貌(层)区一般小于 10 m<sup>3</sup>/d;第四纪冲湖积滩地区 100~900 m<sup>3</sup>/d,最高可达 2 000 m<sup>3</sup>/d;阶地、洞地中的冲积层为 50~200 m<sup>3</sup>/d;中生代碎屑岩变化较大,一般 100~1 000

m<sup>3</sup>/d。

3.2.2 承压水 主要分布于下白垩统和中侏罗统碎屑岩中,含水层为向北西微倾的单斜构造层中的中细粒砂岩和砂页岩间互层,孔隙大,交错层理及裂隙发育,为地下水赋存创造了良好条件。其泉流量一般为 0.2~2.5 m<sup>3</sup>/h,单井涌水量为 200~700 m<sup>3</sup>/d,局部地段可在沟谷中自流<sup>[6]</sup>。

表 1 工程地质分区及其工程地质特征

Tab. 1 Engineering geological partition and corresponding characteristics

工程地质区	工程地质亚区	工程地质主要特征
风积沙漠滩地	半固定及流动沙丘	靖边县以北及以东地区,松散细砂构成沙丘、沙滩地貌,沙丘流动大,沙漠化严重,易掩盖公路。
	固定沙地	长城以北,芦河以南,沙地波状起伏,时而出露 Q <sub>2</sub> 黄土,沙体薄,且被自然及人为防护林带固结。
	湖泊滩地	沙漠南缘的芦河流域,由大小不等的滩地组成,地势平坦且开阔,冲积砂及粘土厚 10 余米。
风积黄土梁峁	黄土斜梁	长城南侧,坡面由南向北缓倾,砂黄土上广覆薄层沙体,坡面起伏较小,沟谷切割较深。
	黄土梁峁	长城以南广大范围,马兰黄土厚而广,北部下伏早、中更新世黄土,沟谷 V 型,边坡失稳。上部滑坡,下部基岩崩塌及危岩带普遍,新黄土具湿陷。
	黄土中山	白于山—鸦行山—白猪山一带,广覆马兰黄土,局部剥露出基岩。谷深坡陡,河床见白垩系红砂岩,崩危带普遍。
河谷阶(洞)地	河谷阶地	延河及芦河流域,具二元结构。第四系厚 3~5 m,基座阶地居多,具较好的工程地质基础。
	黄土洞地	北部黄土梁峁间,半封闭开阔谷地,具二元结构。表层冲积砂黄土较厚,工程地质条件较好。
	基岩河谷	深切河谷谷壁及谷底部分,上游窄深,中、下游宽浅,曲流发育。凹岸严重掏蚀多易崩塌,潜在崩滑灾害到处可见。

## 4 不良地质体及其类型

安靖高速公路段是不良地质体频繁发作的路段,是当代大气环流(风、雨)作用在路线带内特定地质、地貌环境下的一种灾害体,同时无时无刻不在变化,对公路选线建设和维护至关重要。

据路段内地貌、地质构造、地层岩性及工程地质、水文地质条件不同,不同路段内灾害体类型和危害程度亦不同。路段内主要不良地质体有以下几类。

### 4.1 崩塌及危岩体

崩塌及危岩体主要分布于延河上游及其支流康河、桥川河的凹岸,尤其是白于山—白猪山段的深切

河谷中。由于中生代红色基岩分布于高处,河曲发育,砂、泥岩呈互层且胶结程度差,在凹岸强烈掏蚀作用下,均形成水平状岩穴及陡峻岩壁,构成不稳定危岩带并继而产生大量基岩崩塌体。经调查,路段内规模较大,对公路有明显影响的崩塌体约 16 处,危岩数十处。

### 4.2 滑坡灾害体

路段内滑坡灾害主要发育在黄土层分布区及部分基岩段,该区黄土层为继承性成因,多呈倾斜状,以中、上更新统黄土为主,在沟谷坡地,主、支流交会处及人工开挖段易发生黄土滑坡。但是,由于黄土沉积层较薄,出露高度较大且呈披盖状,典型的较大规模的滑坡体不多,所见者均为古滑坡,目前处于较稳定状态,且多属滑崩性质。路段内调绘出明显滑坡十

多处,以黄土滑坡为主。

#### 4.3 黄土湿陷性

本路段的中、南部多被上更新统一全新统湿陷黄土覆盖。其孔隙大,结构疏松,垂直节理发育,湿陷系数 0.076~0.040,侵蚀后在自重压力下,易发生湿陷,并形成典型的串珠状陷穴、洞和黄土桥等微地貌,这些灾害对公路选线有较大的影响。由于中部白于山两侧黄土沉积较厚,黄土湿陷性较为强烈,属中—强等级湿陷。

#### 4.4 现代流动沙丘及沙漠化灾害

该类不良地质地貌现象主要见于靖边县一带及其以北毛乌素沙漠地段。其地表地势虽较平缓,但分布较广的流动沙丘和半固定沙丘(地)中植被稀疏,在强烈的西北风驱使下沙体(土)向东南方向迁移,沙丘、沙链及沙堆位置和形态多变,常覆盖、淹没农田。随着当代气候的局部恶化(如厄尔尼诺现象等),近年来,包括该路段在内的我国北方频发的沙尘暴天气加大了这一灾害过程,对高速公路有较大的影响。

#### 参考文献:

- [1] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志(1:500 000) [Z]. 北京:地质出版社,1982.
- [2] 滕志宏. 黄河流域黄土分布图——黄河流域地图集 [Z]. 上海:中国地图出版社,1989.
- [3] 国家地震局. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京:地震出版社,1988.
- [4] 地质矿产部水文地质工程地质研究所. 中国黄土类工程地质图及说明书(1:1 000 000)[Z]. 北京:中国工业出版社,1965.
- [5] 陕西省地质矿产局第二水文队. 黄河中下游区域工程地质[M]. 北京:地质出版社,1986.
- [6] 胡 巍,张银玲,滕志宏. 黄土高原地下水分布规律与成因类型[J]. 西北大学学报(自然科学版),1999,29(3):299-304.
- [7] 滕志宏,张银玲,胡 巍. 黄土高原地下水资源与水质初步评价[J]. 西北大学学报(自然科学版),2000,30(1):60-64.

(编辑 张银玲)

## Engineering geological condition in Ansai-Jingbian expressway, Shaanxi Province

REN Jun-feng<sup>1</sup>, TENG Zhi-hong<sup>1</sup>, DAI Wen-han<sup>2</sup>, HU Wei<sup>3</sup>

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Shaanxi Engineering Institute of Highway, Xi'an 710069, China; 3. Shaanxi Bureau of Geology and Mineralogy, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** Detailed geological investigation and interpretation of remote-sensing images of Ansai-Jingbian expressway have provided us with further understanding of its general geological, engineering geologic and hydrogeologic situations, types and developing rules of geologic disasters. Collapse mainly happened on concave banks of upstream of Yanhe, Kanghe and Luhe; landslip mainly develops in loess areas and basement rock areas; central part and southern part mainly have settlement by loess soaking; modern active sand dune and desertifications spread in Jingbian and northern part of Maowusu desert. On the basis of these information, this area may be divided into three engineering geologic subareas: aeolian accumulation desert engineering geologic section, aeolian accumulation loess engineering geologic section and river terrace engineering geologic section, and provide scientific evidences for rational choice.

**Key words:** expressway; engineering geology; Ansai County; Jingbian County; Shaanxi Province.