

S HANBEI HUANGTU DIQU GAOSU GONGLU
JIANSHE GUANJIAN JISHU

陕北黄土地区高速公路 建设关键技术

主编 靳宏利 郭利平 房 斌



人民交通出版社
China Communications Press

Shanbei Huangtu Diqu Gaosu Gonglu Jianshe Guanjian Jishu

陕北黄土地区高速公路建设关键技术

靳宏利 郭利平 房 斌 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容根据陕西省交通运输厅科技项目“陕北黄土地区高速公路建设关键技术研究”课题成果总结而成。全书共九章,内容主要包括:基于生态环保理念的线形设计与景观建设技术,黄土边坡剥落病害处治技术,黄土沟壑区湿软地基处理技术,黄土路堑高边坡稳定性分析及其防护技术,黄土沟壑路段路基防排水技术,黄土边坡偏心预应力锚索抗滑桩技术,基于抗裂、抗冲刷耐久性要求的基层修筑技术,基于骨架密实特性的沥青混合料面层修筑技术以及黄土隧道结构设计与控制技术。本书内容对促进陕西乃至我国黄土地区高速公路建设的快速发展有着积极的指导作用。

本书可供公路建设、运营管理人员使用,也可供高等院校相关专业师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

陕北黄土地区高速公路建设关键技术/靳宏利,郭利平,房斌主编. —北京:人民交通出版社,2012.9

ISBN 978-7-114-09765-2

I. ①陕… II. ①靳…②郭…③房… III. ①黄土区—高速公路—道路工程—施工技术—陕西省 IV. ①U419.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 071912 号

书 名: 陕北黄土地区高速公路建设关键技术

著 作 者: 靳宏利 郭利平 房 斌

责任编辑: 郑蕉林 周 宇 付宇斌

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 23.5

字 数: 701 千

版 次: 2012 年 9 月 第 1 版

印 次: 2012 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09765-2

定 价: 75.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《陕北黄土地区高速公路建设关键技术》 编写委员会

主 编:靳宏利 郭利平 房 斌

编 委:曹可勇 王 琛 张永刚 李拴平 赵 洁

王永祥 杨文奇 罗素莲 庞 琪 蔡鹏宏

王学礼 梁 涛 折学森 徐培华 陈忠达

夏永旭 金 波 郝培文 马保林 边世斌

林新元 刘俊起 陈华鑫 温立影 蔡乾东

毛述永 任海洋 杨江伟 颜 赫 王 猛

陕北黄土地区位于我国黄土高原的中部,地处陕西北部,主要包括六盘山以东,吕梁山以西,渭河北山以北,长城以南的地区,属于典型的黄土台塬、黄土梁峁及沟壑区,海拔 800~1 500m,降水量年际变化大,丰水年的降水量为枯水年的 3~4 倍;年内分布不均,汛期 6~9 月降水量占年降水量的 70%,且以暴雨形式为主,年最高气温 36.6℃,最低气温 -23.1℃。

黄(陵)至延(安)(以下简称黄延)高速公路坐落在陕北黄土高原的南部,是国家规划的西部大通道包头至北海线在陕西境内的重要组成部分,是陕西省“十五”计划重点建设项目之一,是陕西省“米”字形公路主骨架的重要路段,是连接我国华北、西北、西南、华南四大经济区的關鍵纵向通道,它不仅是一条纵贯陕北、连接中华人文始祖黄帝陵和革命圣地延安的朝圣之路,加快陕北能源重化工基地建设、造福老区人民的幸福之路,更是鄂尔多斯台地能源化工基地的重要经济大动脉。因该工程面临黄土高原特殊的地形地貌和复杂的水文地质条件,黄延高速公路建设中如何解决高墩大跨桥梁、富水黄土隧道、黄土高边坡支挡与防护、黄土沟壑区软土地基处治和黄土路基防排水等技术难题,是工程建设成败的关键。

在交通运输部、陕西省各级领导的关怀和支持下,各级政府高度重视黄延高速公路建设,明确要求“要把黄延高速公路建成政治路、红色旅游路、环保景观路”。陕西省高速公路建设集团公司、陕西黄延高速公路有限责任公司通过深入研究与科学论证,联合长安大学、中国有色金属工业西安勘察设计院等多家单位成立了“陕北黄土地区高速公路建设关键技术研究”课题攻关小组。经过 8 年的艰苦努力,课题组重点围绕黄延高速公路地质、土质、环境、气候、交通条件等特点,坚持科研为生产服务的指导思想,以科学实用为原则,以安全、环保、质量、效益为重点,采取技术攻关与工程实践相结合、调查与试验相结合、定性分析与定量评价相结合的研究方法,并结合大量的室内试验和工程实践,创立了一系列适用于黄土地区勘察、设计、施工和质量控制的关键技术。研究成果卓有成效,为黄延高速公路顺利建成通车作出了卓越贡献。

为了有效总结陕北黄土地区公路建设成果,特编著本书,内容主要包括:基于生态环保理念的线形设计与景观建设技术,黄土边坡剥落病害处治技术,黄土沟壑区湿软地基处理技术,黄土路堑高边坡稳定性分析及其防护技术,黄土沟壑路段路基防排水技术,黄土边坡偏心预应力锚索抗滑桩技术,基于抗裂、抗冲刷耐久性要求的基层修筑技术,基于骨架密实特性的沥青混合料面层修筑技术以及黄土隧道结构设计与施工控制技术等。

在本书编写过程中,得到了陕西省高速公路建设集团领导的高度重视与热心关怀,并得到

了陕西省高速公路建设集团黄延分公司、长安大学、西安公路研究院、中国有色金属工业西安勘察设计研究院等单位和研究人员的鼎力支持,在此一并表示感谢!

由于时间和编者水平所限,挂一漏万在所难免,不足之处,恳请读者批评指正,以便在今后的应用中加以完善。

编 者
2012 年 2 月

第一章 基于生态环保理念的线形设计与景观建设技术	1
第一节 工程概况与自然环境	1
第二节 黄土沟壑区高速公路设计理念与方法	5
第三节 基于生态环保的黄延公路路线设计	6
第四节 基于生态环保的黄延公路线形方案比选	10
第五节 黄延高速公路环境建设技术	14
第六节 黄延高速公路建设与运营期环境保护措施	18
第七节 黄延高速公路景观建设技术	22
第八节 小结	27
第二章 黄土边坡剥落病害处治技术	30
第一节 黄土边坡剥落类型与特点	30
第二节 黄土边坡剥落预测评价方法	36
第三节 黄土边坡剥落病害形成机理	42
第四节 黄土边坡剥落病害处治试验研究	52
第五节 黄土边坡剥落病害处治技术	62
第六节 小结	72
第三章 黄土沟壑区湿软地基处理技术	74
第一节 黄土沟壑区湿软地基的工程地质特性及其参数	74
第二节 黄延公路湿软地基处理现场试验	78
第三节 黄土沟壑区湿软地基变形规律及沉降计算	81
第四节 黄土沟壑区湿软地基处理方案优化	88
第五节 黄土沟壑区高速公路湿软地基综合处理技术及病害防治措施	92
第六节 小结	94
第四章 黄土路堑高边坡稳定性分析及其防护技术	96
第一节 陕北黄土路堑高边坡的地质结构	96
第二节 陕北黄土路堑高边坡的特点及其物理力学性质	98
第三节 陕北黄土路堑高边坡优化设计	101
第四节 陕北黄土路堑高边坡坡面防护及坡体排水技术	107
第五节 小结	118
第五章 黄土沟壑路段路基防排水技术	121
第一节 黄土沟壑地区水文地质特征及其对路基的影响	121
第二节 黄土沟壑路段路基防排水设计与施工评价	125
第三节 黄土沟壑路段路基防排水优化	130
第四节 黄土沟壑路段路基防排水现场观测及验算	147

第五节	黄土沟壑路段路基工后防排水养护技术及病害防治·····	157
第六节	小结·····	160
第六章	黄土边坡偏心预应力锚索抗滑桩技术·····	162
第一节	黄延高速 K224 滑坡发生机理·····	162
第二节	偏心预应力锚索抗滑桩设计·····	172
第三节	偏心预应力锚索抗滑桩室内模型试验·····	190
第四节	预应力锚索抗滑桩滑坡现场测试·····	200
第五节	预应力损失测试·····	209
第六节	小结·····	212
第七章	基于抗裂、抗冲刷耐久性要求的基层修筑技术·····	213
第一节	半刚性基层材料组成设计·····	213
第二节	半刚性基层材料路用性能研究·····	221
第三节	半刚性基层施工质量控制技术研究·····	232
第四节	沥青稳定碎石基层性能分析与级配设计·····	239
第五节	沥青稳定碎石最佳沥青用量研究·····	250
第六节	沥青稳定碎石路用性能研究·····	258
第七节	小结·····	269
第八章	基于骨架密实特性的沥青混合料面层修筑技术·····	272
第一节	沥青混合料粗细集料分界标准与骨架特性·····	272
第二节	基于骨架密实特性的沥青混合料组成设计·····	299
第三节	基面层黏结材料研究·····	309
第四节	沥青面层施工质量控制技术·····	314
第五节	小结·····	320
第九章	黄土隧道结构设计与施工控制技术·····	322
第一节	黄土隧道总体设计·····	322
第二节	黄土隧道支护结构与施工过程数值模拟分析·····	329
第三节	黄土隧道施工技术·····	337
第四节	黄土隧道防排水技术·····	341
第五节	黄土隧道工程应用·····	345
第六节	小结·····	352
参考文献	·····	354

基于生态环保理念的线形设计与景观建设技术

第一节 工程概况与自然环境

一、陕北黄土特点

我国黄土地区主要指黄河中游的黄土高原地区,该地区位于北纬 34°~41°、东经 103°~114°,地势西北高、东南低,海拔高度介于 1 000~2 000m 之间。其范围北至长城,南抵汾渭盆地北缘,东起吕梁山西麓,西起陇西盆地西缘,包括陇西、宁夏回族自治区南部、陇东、陕北、晋西等地区,呈东西向展布,总面积约 23 万 km²。

黄土高原的地貌类型主要有塬、梁、峁及各类沟谷,共同构成了各种地貌类型区。在黄土塬部分区域,因塬面平坦,侵蚀较弱,水流向沟谷集中,土壤侵蚀类型以沟蚀为主,沟蚀量占流域侵蚀总量的 80% 以上。晋西、陕北等黄土丘陵区域,即使谷间地面积较沟谷地稍大,侵蚀类型仍然是面蚀和沟蚀同等重要。六盘山以西的陇中地区,谷间地面积较大,坡地的坡度小,坡长大,坡面侵蚀特别严重。靖边、定边、环县、固原、海原和定西等地,在黄土丘陵的发展历史过程中形成的各种地貌类型,有的已被沟谷切割,或目前正在逐步遭受溯源侵蚀影响,形成了黄土高原中、北部区域的独特现代侵蚀过程。通常,以沟壑密度、地面坡度和地面破裂程度作为表示地貌形态因子与侵蚀关系的指标。

黄土高原是中国黄土的主体堆积地,黄土厚度大,地层完整,按形成的年代可分为老黄土和新黄土。老黄土有午城黄土及离石黄土,新黄土有马兰黄土及新近堆积黄土。新近堆积黄土形成年代较晚,距今约 5 000 年,一般土质疏松。马兰黄土及新近堆积黄土均具有侵水湿陷性,故又称之湿陷性黄土。各层黄土形成年代见表 1-1。

黄 土 形 成 年 代 表 1-1

年 代		黄 土 名 称			备 注
全新世 Q ₄	近期	—	新黄土	新近堆积	杂乱无章,具不均匀性、高压缩性、强湿陷性
	早期	马兰黄土		一般湿陷性黄土	浅黄色,一般具有湿陷性
晚更新世 Q ₃			老黄土		
中更新世 Q ₂					
早更新世 Q ₁					

黄土高原的年平均气温为 3.6~14.3℃,其分布特点是由南而北,自东而西逐渐降低。西安年平均气温为 13.3℃,兰州为 9.1℃,榆林仅 8.1℃。全区最冷月(一月)的平均温度都在 0℃ 以下,西安为 -2.0℃,兰州为 -7.2℃,榆林为 -9.9℃。全区最热月(七月)的平均温度都在 22℃ 以上,渭河平原为黄土高原七月平均气温最高的地区,高于 25℃,平均最高气温大都在 30℃ 以上。因而黄土高原具有冬季寒冷、夏季暖热的特点。

如图 1-1 所示,黄土高原的年降雨量在 200~650mm 之间,但降雨的区域分布不均匀,总的分布特

征为年降雨量由南向北、由东向西逐渐减少。

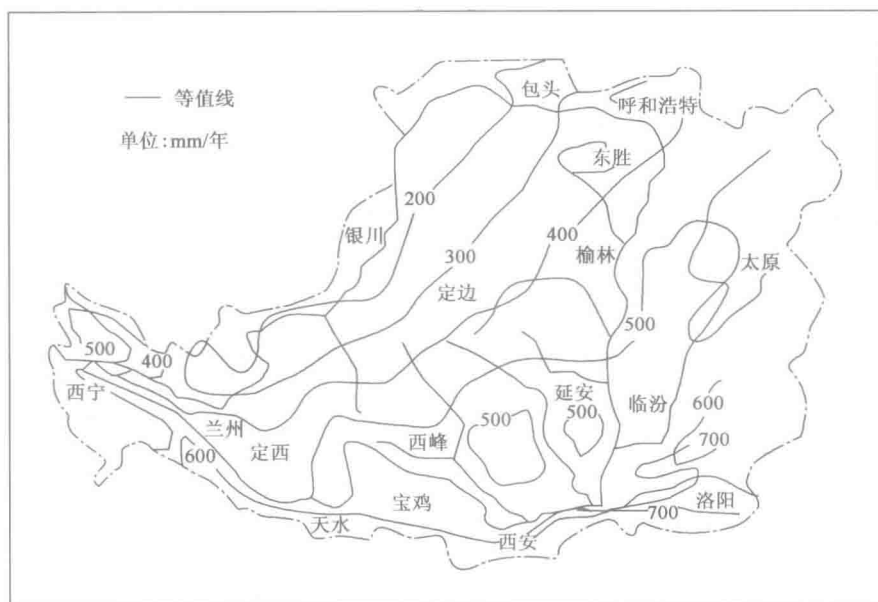


图 1-1 黄土高原多年平均降雨量等值线图

二、黄延高速公路工程概况

黄延高速公路是国家规划的西部大通道包头至北海线在陕西境内的重要组成部分,是陕西省“十五”计划重点建设项目之一,同时也是陕西省“米”字形公路主骨架的重要路段。黄延高速公路不仅是贯通陕西省陕北、关中、陕南的一条大动脉,而且是连接我国华北、西北、西南、华南四大经济区的一条纵向大通道,对我国中西部地区及陕西的经济发展具有重要意义。黄延高速公路建成后,不仅可以有效地加快陕北能源重化工基地的开发和建设,改变革命老区贫困落后面貌,而且对于推动区域旅游事业的发展,改善区域投资环境,促进陕西经济全面、协调、持续、快速发展具有重要作用。

黄延高速公路起自黄陵县康崖底(K155+746),经洛川县、富县、甘泉县、延安市宝塔区,跨越淤泥河、葫芦河、洛河、南川河、延河等 12 条河流,穿过黄土台原、黄土梁、黄土沟壑区,终于延安市西北的河庄坪(K298+951),与延安至安塞高速公路相接,全长 143.205km,2002 年开工建设,2006 年建成通车。黄延高速公路位置走向见图 1-2。

黄延高速公路路基宽 24.5m,采用全封闭、全立交、分道分向行驶,并具有完善的监控和通信系统,计算行车速度 80km/h,桥涵设计荷载采用公路 I 级(汽—超 20 级,挂—120)。工程共设互通立交 6 处,匝道收费站 5 处;服务区 3 处,停车区 1 处,养护工区 3 处。全线共设特大桥全幅 8 座(长 9 822.82m)、半幅 1 座(长 647m),大中桥全幅 88 座(长 7 557.5m)、半幅 35 座(长 4 204.12m),天桥 21 座,通道 29 道,涵洞 281 道;共有隧道 22 座,全长 27 363.4m,均为单洞,并按设计要求设有通风设施。

黄延高速公路工程全线共征用永久性占地 12 656.74 亩(1 亩=666.6m²),拆除窑洞、房屋 3 102 户(72 000m²)。

三、地形、地貌及气候特征

1. 地形、地貌特征

黄延高速公路地处黄土沟壑区,属于黄土地区的特殊地貌形态,这种地貌形态是各种瞬变地质事件(地震、滑坡)和缓变地质事件(冲刷侵蚀和淤积、断裂蠕动、湿陷沉降)综合作用的结果,也是未来地表变迁的基础或起点。黄土沟壑区主要有黄土丘陵沟壑区、黄土残源沟壑区、黄土高源沟壑区三种地貌类

型。沿线地貌景观如图 1-3 和图 1-4 所示。黄土沟壑区是我国乃至全球生态环境最为脆弱和水土流失最为严重的地区之一,沟壑大都是流水集中进行线状侵蚀并伴以滑塌、泻溜的结果。



图 1-2 黄延高速公路位置走向



图 1-3 沿线地貌景观一



图 1-4 沿线地貌景观二

(1)黄土丘陵沟壑区,丘陵起伏,沟壑纵横,地形破碎,土质疏松,植被稀少,气候干旱。

(2)黄土残源沟壑区,黄土深厚,源面起伏不平,源边残破,沟深坡陡,沟源相对高差 100~200m。水力、重力和道路侵蚀都很严重,随着沟壑越冲越大,源面越来越小,地形越来越破碎,完整的源面逐渐变成残源,继续流失,将来会变成丘陵沟壑区。

(3)黄土高原沟壑区,源边沟壑发育,支离破碎,水土流失较重。径流主要来自源面,泥沙主要来自沟道。源面径流占径流总量的 67.4%,沟壑径流占 32.6%,源面侵蚀量占总量的 12.3%,沟壑侵蚀量占 87.7%。侵蚀特征以水蚀、重力侵蚀为主,严重的土壤侵蚀危害主要表现为沟头前进和沟床下切等。

2. 气象水文条件

黄土沟壑区属大陆性气候,年平均降水量随地区不同而不同,一般在 500~660mm 之间,年蒸发量 1 000~1 500mm 之间,湿度不大,6~8 月份相对月平均最大湿度为 83%左右。降水量的年际变化比较明显,枯水年和丰水年相间出现,一年内降水量分配很不均匀,7~9 月降水占全年的 50%~63%,且多以阵雨、暴雨形式出现,因而容易造成水土流失和地质灾害。汛期 7~9 月径流量占年径流量的 53%左右,沙量占 97%左右。冬季降水量十分稀少,仅占年降水量的 3%左右。表 1-2 给出了陕北各站多年平

均年降水量、年内分配及多年平均一日最大降水量。从表中数据可以看出,黄土高原地区年降水量的地理分布特点是:从西北向东南有逐渐增加的趋势,而且由北向南的增加趋势更为明显。例如:西东一线,绥德(423.4mm)、吴旗(513.5mm)、延安(572.3mm),年降水量东西相差 148.9mm;北南一线,子长(534.34mm)、延安(572.3mm)、富县(641.1mm)、宜君(720.4mm),年降水量南北差 186.1mm。

陕北各站多年平均年降水量、年内分配及多年平均一日最大降水表

表 1-2

站名	年降水量 (mm)	多年平均各月降水量占年总量百分数(%)												一日最大 降水量 (mm)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
延安	572.3	0.6	0.9	2.9	6.2	8.6	10.3	21.6	22.4	15.6	7.3	3.1	0.5	58.86
延长	595.5	0.7	1.0	3.0	6.7	9.3	9.9	24.6	20.1	14.9	6.4	3.1	0.5	56.83
宜川	583.5	0.7	0.9	3.2	6.3	8.0	9.2	24.7	19.1	16.5	7.1	3.9	0.4	58.36
富县	641.1	0.6	1.0	3.0	7.1	10.8	9.1	21.0	16.8	18.9	7.5	3.7	0.4	56.58
洛川	623.2	1.0	1.4	4.0	7.8	8.4	10.3	20.5	18.5	16.3	7.4	3.7	0.6	55.16
黄龙	606.2	0.6	1.1	3.1	7.3	8.3	9.4	23.2	16.3	16.1	10.1	3.8	0.6	54.97
宜君	720.4	1.1	1.3	3.6	8.2	9.0	11.4	18.5	19.0	15.8	7.7	3.9	0.5	52.24

年降水量因受季风的影响,同一地区不同年的降水量差异很大。据资料记载,每 3~4 年出现一次由于旱到丰水期的周期循环。在局部地区,还随地形的增高及森林区的增多而增大。比如,宜君等山区的降水量均比四周高,并形成局部高值带。

我国气象部门规定:24h 降水量为 50mm 或以上的降雨称为暴雨。按照这个定义,暴雨是一个强度概念。它应是雨量和雨时的函数,因此,它也应反映出不同历时的雨量大小。我国目前气象部门的规定一般并不能包括 24h 降雨量小于 50mm,而降雨强度却很大的降雨。但是,在黄土沟壑区,这类暴雨的发生频率最高,造成的水土流失最为严重,对路基排水构造物造成的危害也最大,必须给予充分的重视。

有学者对黄土地区的暴雨频率进行了分析归纳,得出陕西省北部黄土地区年平均暴雨 3~5 次,几乎每年都有暴雨发生,年最多发生暴雨 10 次以上,见表 1-3。暴雨历时小于 1h 的约占 40%~50%,3h 以下的约占 70%~80%,由西向东,短历时暴雨逐渐减少,长历时暴雨相应增多。

陕北黄土地区暴雨频数

表 1-3

地点	资料年限 (年)	暴雨总数 (次)	年均次数 (次)	年最多次数 (次)	无暴雨 次数	其 中		各历时年占百分比(%)	
						年降水量为 6~8mm 的次数 (次)	占暴雨总数 百分比 (%)	≤60min	≤180min
榆林	26	94	3.6	9	0	82	93.2	40.0	67.0
延安	25	132	5.3	11	0	112	84.8	50.0	74.6
洛川	25	100	4.0	9	0	85	85.0	44.0	78.0

四、生态环境

1. 土壤

公路所属地区土壤总的分布从南到北依次为淋溶褐土、褐土、石灰性褐土、褐土性土、黏黑垆土、黄绵土、沙黑垆土、潮土、沼泽土、水稻土等,均零星分布于枸骨构地。从分布地域特征上看,梁峁沟壑主要以黄绵土等岩性土壤为主。沟谷为川台黄绵土、川台沙质黄绵土、涧地沙质黄绵土及少量黑垆土、沙质黑垆土。沟坡为红土、红胶土、坡黄绵土、坡沙质黄绵土等。山地土壤以褐土为主。山间沟谷分布有黄土冲击,坡积物多为新积土。原区分布的主要是黏黑垆土、黄壤土、生草黄壤土和红土等。

2. 植被

项目所经地区多为水土流失重点区,自然环境较为脆弱。区域内主要植被为以天然次生林为主的灌木林和人工林,所涉及桥山、劳山两林区,为黄土高原最大的天然林次生林区子午岭至黄龙山林区的重要组成部分。天然植被乔木有油松、辽东栎、山杨、白桦、侧柏等;灌木有荆条、酸枣、绣线菊等;草本植物有长芒草、香茅等。人工植被主要有人工林和牧草,其中树种主要有刺槐、小叶杨、旱柳、沙棘等,人工草种主要有紫花苜蓿、沙打旺等。粮食作物和经济林主要分布在沟壑冲积平原和阶梯田上,主要种植玉米粮食作物,经济林主要以栽植苹果为主。

3. 野生动物

本区丰富的森林、灌木、草原,为野生动物提供了优越的生存条件,因此野生动物较为丰富。本区动物区系属古北界华北区黄土高原亚区。有兽类约 30 余种,鸟类约 70 余种,数量较多的有石鸡、环颈雉、岩鸽、草兔等;数量一般,分布较广的有鸭、黄鼬、野猪等;大白鹭、狐、金钱豹等数量较少。由于人为活动增加,沿线的生态环境遭到一定程度的破坏,珍贵的野生动物数量和种类日趋减少。

4. 土地利用情况

项目所在区域有耕地面积约 1 400 万亩,占总土地面积的 25.21%,其中水浇地面积 25.92 万亩,原地浇水分布于洛川、黄陵、富县的老亩、隆坊、交道原上,其余县市以川地水浇地为主。沿线各县均有苹果栽植,以洛川最多,面积达 4.44 万亩;林地集中分布于子午岭至梁山山系,各县市除延安市外,其余均在 200 万亩以上;水稻田面积 2.70 万亩,主要分布在项目影响区的富县,有 1.2 万亩,其次是延安市和黄陵县;草地面积较小但覆盖率高。随着地区经济的快速发展,城乡居民用地和交通用地正不断扩大。

第二节 黄土沟壑区高速公路设计理念与方法

黄延高速公路地跨黄土高原沟壑区、丘陵沟壑区和黄土丘陵林区三个水土保持类型区,其地貌以黄土高原典型的黄土塬、台、梁、峁、沟壑为主。该地域处于半干旱气候区,年蒸发量远远大于降水量,多大风扬尘天气。而且该区域主要地质基底为三叠纪—侏罗系层状基岩,上部覆盖第四纪黄土,中部夹少量第三纪较疏松土层,降雨又比较集中,容易形成较大的地表径流,使得黄土极易崩塌、侵蚀,甚至引起黄土滑坡和泥石流等自然灾害。同时黄延高速公路施工建设中,对基础的开挖、填筑、取土、取石等极易破坏原有的地貌形态和地表林草;路基边坡、取土场开挖易造成崩塌、滑坡等重力侵蚀;弃渣、弃土堆放压埋又会毁坏地表植被,引起水土流失和泥石流的形成。为此,在公路建设规划和线形设计中,项目考虑了生态环保的理念,分别从平、纵、横三曲线进行了灵活设计,并取得了良好的环境保护和景观效果:平曲线以自然流畅、顺势而为为特点;纵曲线以低填浅挖为设计根本;横断面以灵活、贴近自然为宗旨,争取实现“不破坏就是最好的保护”的设计思路。

一、黄土沟壑区高速公路总体设计理念

1. 指导思想

目前,我国将坚持环境保护、坚持可持续发展作为基本国策,环境保护已成为所有公民的义务和权力。因此,在黄土沟壑区高速公路设计中,必须将环境保护列为最重要的指导思想,注重水土保持效果,并作为检验设计成果好坏的第一标准。所以山区高速公路总体设计指导思想如下。

- (1) 重视水土保持,坚持环境保护持续发展策略。
- (2) 强调技术标准的严肃性,合理掌握和运用技术标准。
- (3) 满足公路使用功能,尽量降低工程造价,保证行车安全。
- (4) 强调技术创新,广泛采用新技术、新材料、新工艺,提高勘察设计质量。

2. 总体设计原则

按照黄土沟壑区高速公路总体设计指导思想,设计原则的制订紧紧围绕环境保护这个主题。

- (1) 坚持围绕生态环境保护这一主题,进行路线多方案论证比选的原则。
- (2) 坚持技术指标与地形条件相协调。
- (3) 坚持按地质、环境条件选线的原则。
- (4) 坚持对典型工程方案进行综合比选原则。
- (5) 正确处理公路建设与自然景观、人文景观的关系。
- (6) 正确处理公路建设与占地、拆迁的关系。
- (7) 综合考虑路线与水源地、水利设施的关系。
- (8) 合理利用路线走廊资源,充分进行分期修建的论证。
- (9) 综合考虑铁路、管线、公路等交叉处理。
- (10) 充分考虑土石方平衡,减少土石方数量,做好土地复垦、弃方造地和恢复植被设计。

二、基于生态环保的高速公路设计方法

1. 3S 技术

3S(GIS、GPS、RS)技术为公路工程、地层环境灾害防治与科学预测提供了新一代的观测手段、描述语言和思想观念。GIS 所具有的分析功能有利于数据库与其他先进数据分析系统接口进行分析预测, GPS 和 RS 是 GIS 的重要数据库和数据更新手段, GPS 和 GIS 的结合可用于实时监测空间位置变化, RS 具有的可比较性、综合性和动态性,为快速获取区域变化信息提供了条件。三维地学模型分析技术为地下岩层结构和性质分析提供了“穿透镜”,通过对地上、地下三维空间环境分析、模拟,综合考虑沿线地质、地形、气候、水文分布、生态敏感点、公路工程和工程量等因素,开展合理边坡治理工程的数值模拟,实现公路路线优选、公路工程设计和生物工程设计的自动化和科学化。利用计算机和遥感图集进行路线选线,既简单又经济,还能直观地在卫星图片上比较方案。考虑了工程、社会、经济和环境等诸多因素,所确定的路线线形好、标准高,大幅度地降低了公路工程费用和勘测设计费用,缩短了公路选线的时间。

2. 方案比选法

方案比选法是在已经确定的路域范围内,根据所确定的路线走廊和主要控制点,结合沿线地形、地貌、水文、地质、河流、城镇规划等特点以及生态环保理念,对路线方案进行比选。其具体步骤是:首先,在所有的路线方案中,选择两三个比较合适的方案,作为分析、比较的对象;其次,计算每一种方案的环境、经济等方面费用;最后,根据实际情况,利用计算的结果,分析和确定最优路线方案。

第三节 基于生态环保的黄延公路路线设计

一、黄延高速公路生态设计要素

黄延高速公路设计,应全面考虑公路本身的性质和黄土沟壑区的自然环境,主要生态要素如下。

- (1) 水土保持。黄延高速公路穿越黄土高原沟壑区,地形破碎、山高、坡陡、沟深、沟谷密度大;春季干旱少雨,夏秋暴雨,自然环境和气候环境较为复杂。因此,水土保持是该地区显著的生态设计要素之一。
- (2) 水资源缺乏。黄土高原沟壑区降水较为集中,地表径流较大;水资源量少、分布不均、缺乏常规水源。如何降低公路建设对水资源的影响,减少降水对坡面的冲刷,是该地区生态设计的另一要素。

二、基于生态环保的黄延公路路线设计技术

根据先进的生态环保理念,设计者以环保、生态为目标,坚持地质选线,减少黄土滑坡、高边坡的产生;坚持环保选线和景观选线,减少对不良地质的扰动,减少对生态环境的破坏。建立多目标设计原则,

通过沿线特点分析,综合考虑生态环境保护、地形、地质及工程造价等诸方面因素进行比选,采用先进的卫星遥感、航测图像综合分析和全球定位系统等综合分析技术,最终在保证安全的基础上,将黄延高速公路建设对环境的影响降到最低。

1. 先进的选线技术

设计中,黄延高速公路采用全球定位系统(GPS)进行平面控制,利用数字化地形图进行纸上定线和地方路改线设计,利用全站仪进行导线控制测量和路中线布设,部分横断面利用数模地形图校对。借鉴本地区已建成山区公路路基边坡绿化防护形式,坡面防护多采用浆砌片石拱形骨架护坡加植草防护。在施工图设计的全过程中,应用了 CARD/1, 纬地 4.6 和桥梁、路基路面 CAD 技术,所有设计图表的绘制和计算工作均由计算机完成。

2. 基于地质选线

设计中采用卫星遥感、航测图像综合分析和全球定位系统等综合分析技术,准确而清晰地分析黄延高速公路沿线的不良地质分布情况,查清区域地质构造特征;合理布设线形,减少了土石方量,保护了河道,减少了高边坡的产生,降低了边坡灾害产生的几率。

K207+000~K215+200(界子河至相西堡)段,路线长 8km,路线逆界子河而上,设线于界子河的一级阶地上。该段工程地质情况一般。地层以砂质黏土、砂土、粉土、卵石土等松散土体为主,厚度小于 7m,易冲蚀,土体不稳定;河床受水侵蚀,露有较坚硬岩体。基岩边坡普遍陡立,坡脚有岩质碎落堆积上覆松散土体,易产生滑坡和崩塌。设计中,路线达到了少占耕地、少填少挖少拆迁、走阳坡,或以桥梁结构而非路基通过(图 1-5)的目的,巧妙地避让了大部分滑坡和崩塌体。

平面线位布设时,还充分考虑了沿线居民的利益,尽量避免路线穿越村镇。如 K278+136.5~K286+000 段,路线先顺草房沟布设 1.0km 至老鹄沟沟口,线位布设在沟侧台地上。之后,路线进入延安市南沟,此沟沟谷开阔,延安市柳林乡金庄、侯庄、牛庄的村民沿沟右岸建窑洞或盖房而居,设线时避开了村庄,在沟中间或左侧通过。在长约 6km 的路段内,路线与河道相互干扰,尽管布设了 15 座中小桥,但路线有效地避开了村庄。

全线共设平曲线 124 个,平均每公里 0.865 个,一般最小半径两个($R=400\text{m}$),不设超高半径 45 个,平曲线占路线总长 68.84%;最大直线长度 2 666.47m,平面技术指标掌握适当。

设计中同向曲线之间的直线段长度未达到规范规定的“6V”长度,经调整,平曲线半径或缓和曲线长度满足了规范要求,增强了线形的流畅性(图 1-6),如 JD₉—JD₁₀, JD₆₆—JD₆₇ 等。



图 1-5 以桥代路基



图 1-6 流畅的线形

K254+000~K255+300 段连续小偏角交点间距较短,虽半径较大,但平面线形仍不舒展,经 JD₆₀—JD₆₅ 的调整,平面线形达到了舒展平顺的要求。

JD₇₇、JD₇₈ 为小偏角平曲线,且 JD₇₈ 位于长隧道洞口附近,这种大半径小偏角线形弯直难辨,视觉条件较差,不利于安全。经 JD₇₆—JD₇₈ 的调整,长隧道洞口线形调整,视觉条件改善较好,提高了道路安全性。

3. 基于环境选线

设计中适当增加隧道和桥梁设施,最大限度地减少了公路建设对自然地形、地貌和植被的破坏,减小对天然河道的挤压,保持沿线的自然面貌,最大限度地减少了对环境的扰动。

黄延高速公路纵曲线设计中,通过详细调查当地的水文地质情况,并根据调查资料对纵断面进行控制。在地形、地质、构造物等条件允许的情况下,尽量采用浅挖低填方案,降低路基高度(图 1-7),节约占地,尽量避免黄土地区高陡边坡对公路及其周围环境带来的自然灾害。最大限度地减少对生态环境的扰动和对景观的破坏,体现“不破坏就是最大的保护”的理念,使公路与自然环境更加和谐(图 1-8)。



图 1-7 跨越耕地时降低路基高度



图 1-8 纵断面设计与原地形自然结合

全线共设变坡点 157 个,平均每公里 1.09 个变坡点,最大纵坡 5%,平均坡长 914m,最大坡长 3200m,最短坡长 400m,最小竖曲线半径凸形为 5897m、凹形为 7754m,竖曲线占路线总长 54.74%,纵断面技术指标基本合理。

公路纵断面设计充分利用黄土高原地形,在穿越农田段采用了低路基形式,通过纵向填挖平衡,减少了取土场更多占地。这些措施不仅避免了路基扩大占地范围,而且降低了对植被的影响。

K201 段之后,地势趋向平缓,沟谷、河流渐少,但时有山岗阻隔,大多数以隧道穿越,全线 12 座隧道有 7 座分布在此路段内,路线纵断面设计平坦、顺适,线形舒缓、流畅。

深路堑地段局部进行了平面、纵断面线位调整,适当增加桥梁高度,降低路堑深度,减少挖方和废方,减少了高边坡隐患对自然生态环境的不良影响。

洛河特大桥,凌空飞渡,桥下洛水潺潺,西(安)延(安)铁路穿桥而过,为陕北洛川这片“凤栖之地”,增添了一大景观,往来旅游者均在此停车留念(图 1-9)。黄延高速公路洛河特大桥总投资 1.3 亿元,全长 1056m,有 18 个墩台,桥面高度 152.9m,最高墩 143.5m,是黄延高速公路的重点控制工程,也是当时“亚洲第一高墩”,主桥为连续刚构,两岸引桥为预应力混凝土连续箱梁,科技含量高,施工难度大。针对此桥开展了多项技术课题研究。



图 1-9 洛河特大桥雄姿

高墩、大跨、曲线、悬灌是洛河特大桥的施工技术难点。大桥开工以后全面运用新技术、新工艺、新

材料,并邀请全国多家科研院所的 30 多名桥梁专家,量身定做了大桥施工方案。施工中,为确保最高墩倾斜度和墩顶平面位置控制在有效范围内,采用激光铅垂仪和全站仪实行双控,并不断提高控制过程频率;为加快墩身以及高空横系梁施工进度,创新使用液压翻模施工工艺和 CABR 等强镦粗直螺纹钢连接技术,将传统的多次分层浇筑大体积混凝土改为连续浇筑一次成型;为确保曲线连续刚构桥线形优美与工程高质量,采用了箱梁管道真空压浆以及先进的测量控制技术。这些先进技术的创新运用,确保了大桥质量和外表线形美观,并为降低施工成本创造了必要条件。为确保桥梁悬臂施工万无一失,建立了“三级质量监控体系”,高薪聘任了专职安检员、技术人员,并实行质量终身负责制。自大桥开工至建成的 30 个月内,洛河特大桥工程合格率达 100%,优良率达 97.7%,取得了质量和安全事故零记录的优异成绩。该高墩大跨桥梁设计实践将成为中国桥梁设计的宝贵财富,为黄土地区高速公路的设计积累了宝贵经验,对未来类似工程建设具有重要的指导意义。

洛河特大桥的设置,减少了对地貌环境的破坏,保护了河道。

黄延高速公路横断面设计灵活自然(图 1-10、图 1-11)。填方坡脚、挖方坡顶几何形状以接近自然曲线设计为主,路堤、路堑边坡在增加工程量不大的情况下,可尽量降低边坡坡率,能缓则缓,宜陡则陡,以求尽量与自然起伏的地形相适应,融入自然。浅挖路段均采用了安全性、实用性较强的边沟,形成较好的视觉效果,使填挖过渡缓和、自然。为了节约土地资源,同时使断面形式与地表自然衔接,在保证安全的基础上,低填浅挖段尽量不设置护坡道、碎落台;其他需要设置护坡道、碎落台的段落,将结合边沟进行一体化设计,形成流畅的视觉效果。

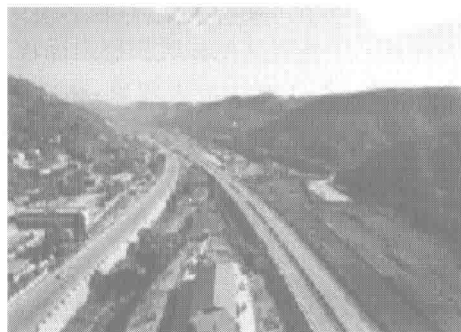


图 1-10 分离式路基随地形布设



图 1-11 横断面设计灵活自然

黄延高速公路线形合理。结合工程地形、地质、水文等条件,把线形组合设计贯穿于定线工作的始终,平、纵、横综合考虑,不单纯追求路基填挖平衡,尽量避免大填大挖,减少对山坡自然平衡的破坏,避免对周围环境产生不良影响,经反复推敲,最终较好地解决了平、纵线形的组合及线形指标与工程量之间的矛盾,确定了合理的线形方案(图 1-12)。通过透视图检查,全线线形连续、顺适,纵坡均衡,平纵配合协调,指标运用合理,视觉连续、诱导良好,无扭曲、凹陷、遮挡、暗弯等不良线形存在。



图 1-12 线形组合合理