

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.026

引用格式:李先锋,唐成,徐静,等.基于“旱改水”的平原地区新建高速公路取土模式适宜性评价体系构建[J].公路与汽运,2025,41(1):132-136.

Citation:LI Xianfeng,TANG Cheng,XU Jing,et al.Construction of suitability evaluation system based on "dry land is changed into paddy fields" for new highway in plain area[J].Highways & Automotive Applications,2025,41(1):132-136.

基于“旱改水”的平原地区新建高速公路取土模式适宜性评价体系构建*

李先锋¹,唐成¹,徐静¹,张鹏²

(1.安徽省交控建设管理有限公司,安徽合肥 230088;2.南京交科数智科技发展有限公司,江苏南京 211112)

摘要:平原地区高速公路建设需要大量外借土方。而平原地区农业发达,高速公路穿越区土地大部分为耕地,造成平原地区高速公路建设取土十分困难,亟须建立一种既能提供稳定土方供给又能节约土地资源的取土模式。文中在梳理现有工程取土和土地复垦模式的基础上,提出建立基于“旱改水”复垦的平原地区新建高速公路取土模式;构建复合取土模式适宜性评价体系,分别对“旱改水”建设适宜性和为新建高速公路提供路基填筑材料的供土适宜性进行评价,分析复合取土模式实施适宜性。

关键词:工程管理;高速公路;取土;旱改水;土地复垦;路基填料

中图分类号:U415.11

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0132-05

高速公路建设中,路基贯穿整个道路,其质量是影响道路质量和安全的关键因素之一^[1]。受路基两侧地面积水、地下水、毛细水及通道净空等的影响,平原地区新建高速公路的路基高度一般为3.0~3.8 m^[2]。因此,平原地区高速公路建设需要大量外借土方。然而,平原地区农业发达,高速公路穿越区土地大部分为耕地。为确保使用耕地面积基本稳定,国家对建设占用耕地实行严格管制,造成平原地区高速公路建设取土十分困难^[3]。一些高速公路建设中,土方工程的花费占高速公路建设成本的50%。因此,在平原地区新建高速公路时亟须建立一种既能提供稳定土方供给又能节约土地资源的取土模式^[4]。本文在梳理现有工程取土和土地复垦模式的基础上,提出基于“旱改水”的平原地区新建高速公路取土模式,并构建复合取土模式适宜性评价体系,为工程建设取土方案制定提供思路。

1 新建高速公路现有取土及土地复垦模式

在平原微丘地区,高速公路路基以填方为主,需

要大量土方。目前,新建高速公路取土方式主要有:

(1) 征地取土。征地取土是新建高速公路施工中传统取土方式,即在路侧设置小型取土场或线外设置大型取土场,通过开采取土场获得土源。采用这种取土方式,一方面,高速公路临时用地价格越来越高,取土成本增加;另一方面,平原地区农业发达,高速公路沿线大部分为农田,取土场设置不可避免地占用农田。

(2) 湖泊、水库、坑塘底泥取土。湖泊、水库和坑塘等底泥可用来建设高速公路,但底泥取土存在很大局限。一方面,底泥不一定能满足高速公路填料质量要求,需通过试验确定;另一方面,底泥在用作高速公路填土前需要晒干,晾晒场地要足够大,同时天气变化会导致晾土时间不确定,难以保证稳定的工程用土供给。

(3) 城市建筑废弃物取土。城市建设过程中会产生大量废弃建筑垃圾,如基坑开挖产生大量土方及废弃路面的沥青、混凝土、碎石等,可作为高速公路用土来源^[5]。但城市建筑废弃物的产生不是连续

* 基金项目:江苏省省级现代服务业发展专项资金项目(苏发改服务发〔2022〕65号);江苏省自然科学基金资助项目(BK20170156)

的,产生时间和高速公路修建时间经常不一致。

(4) 河道挖泥取土。浅的河道含有丰富的泥土,在河道疏浚过程中,可以收集这些淤泥,经处理后用于修建高速公路^[6]。但河道疏浚中难以布置水土保持装置,短期内会影响下游的生态环境。另外,河道淤泥含水量高,用作路基填土前需要晒干,难以保证工程用土的及时供给。

(5) 荒山、贫瘠地取土。开垦荒山、荒地作为高速公路用土不仅可减少水土流失,还能增大土地利用面积,有效改善生态环境。但荒山和贫瘠地土壤质量差、水源供应不充分,取土后的土地复垦难度大。

(6) 以粉煤灰替代土。中国每年产生大量粉煤灰,在高速公路建设中采用粉煤灰作为路基填料^[7],可节省投资,防止粉煤灰对环境的污染。但粉煤灰替代土的取土方式适合煤炭资源丰富的地区,且要求粉煤灰制造企业距离高速公路修建区域较近。

目前高速公路建设取土形式多样,但都依赖工程区周边地形地貌或社会生活活动,且未与土地开发整理、土地复垦等其他工程相结合。如何保证高速公路建设中取土与土地复垦利用有机结合,达到节约用地的目的,在高速公路建设中践行资源节约、环境友好、可持续发展理念,是当今高速公路建设亟待研究的问题^[8]。

2 基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式的内涵和意义

“早改水”复垦是指通过一定的工程手段把原来种植旱作物的旱地进行整治,改造为种植水稻的水田。“早改水”在中国历史悠久,是一种有效的改土增产措施^[9]。水田由于蓄水需求,总体标高会低于旱地。田埂高度一般高于田面 25 cm,生产机耕道一般高出田面 50 cm,工作道路一般高出田面 25~30 cm。在平原地面少起伏地区进行“早改水”时,为达到稻田对田埂和道路与田面高差的要求,在耕作层土壤剥离后,抛弃一部分底部土方,耕作层土壤回填后,水田田面标高会低于原旱地标高,从而满足稻田对田埂和道路与田面高差的要求^[10]。如果将剩余土方量进行资源化利用,将“早改水”工程与工程建设取土相结合,如为高速公路建设等工程提供土源,则弃土层土方收益可降低“早改水”成本,进一步促进“早改水”工程的实施(见图 1)。

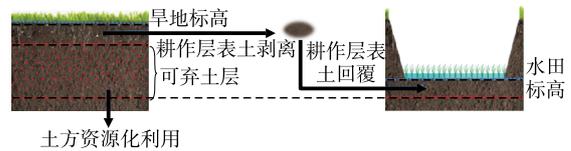


图 1 “早改水”工程可弃土层资源化利用示意图

与目前新建高速公路常用取土方式相比,基于“早改水”复垦的取土模式主要具有以下优势^[11]:

(1) 符合国家政策导向。中国对耕地保护红线 18 亿亩(约 12 000.06 亿 m^2)严防死守,确保耕地面积维持稳定。《中华人民共和国土地管理法》明确规定不得占用耕地进行工程取土,实行最严格的耕地保护制度,遵循占优补优、占水田补水田、数量质量并重的原则。基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式能实现占旱地补水田、占差补优,不仅符合土地政策,也践行了资源节约、环境友好、可持续发展的绿色公路发展理念。

(2) 能为平原地区工程建设提供稳定土源。对于地势较平坦的平原地区,高速公路建设主要以填方路基取土为主,但穿越区土地大部分为耕地,取土十分困难。水田由于蓄水需求,总体标高低于旱地,“早改水”土地复垦中剩余土方可为高速公路建设等工程取土提供稳定土源。

(3) 有效增加土壤肥力,提高农作物产量。高速公路建设的取土过程实现“早改水”,能解决原来土地利用不充分、不合理的状况。土地由旱地改为水田,土壤有机质分解变慢、累积增多,从而使土壤的肥力得到增强。水稻的产量高于一般旱地作物,“早改水”后耕地质量的改善能提高农作物产量,形成良性循环,增加水田的稳定性,改善生态环境。

(4) 扶贫帮困,增加农民收入,助推社会持续发展。水稻价格高,稳定性好,为经济型作物,能有效提高土地的产出效益,增加农民收益。缓解人多地少的矛盾,解决剩余劳动力就业问题,稳定农村社区,提升区域的粮食生产力。

基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式优势明显,但目前的“早改水”技术要求较高,如何将“早改水”技术与新建高速公路取土有机结合,既为平原地区工程建设提供稳定土源,又切实做好“早改水”工程,是亟须解决的难题。

3 基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式适宜性评价

对基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式

适宜性进行评价,需要综合考虑“旱改水”建设适宜性和可弃土层为新建高速公路提供路基填料的供土适宜性。建设适宜性评价因子包括农业气候资源条件、地形条件、土壤条件和灌溉排水条件,供土适宜性评价因子为可弃土层土质条件。

3.1 评价指标确定

参考 GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》、GB/T 28405—2012《农用地定级规程》等规范,筛选有效积温、降雨量等 12 个指标作为“旱改水”建设适宜性评价指标(见表 1)。水田是以种植水生作物水稻为主的农田,“旱改水”的建设适宜性以水稻生长特性进行选取。水稻的产量受气候影响,积温、

降雨和日照是影响其生长的重要气候条件^[12]。地形会影响耕地质量,坡度太高不适宜进行“旱改水”^[13]。土壤质量是影响“旱改水”后水田质量的最基本要素,表土质地、pH 值直接影响土壤理化性状;有效土层厚度和有机质质量浓度能反映土壤的自然生产潜力。受长期工业化进程和不合理农业生产的影响,现有农田土壤环境质量发生改变,重金属污染越发严重,影响水稻的生长和大米的质量,主要污染物为汞(Hg)、镍(Ni)、镉(Cd)、铜(Cu)、砷(As)等。水田需水量大,需要完善的灌溉条件和排水条件,灌溉保证率和排水条件越好,越适宜进行“旱改水”建设改造。

表 1 基于“旱改水”的平原地区新建高速公路取土模式适宜性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	权重	内涵
建设适宜性	农业气候资源条件	有效积温	0.13	日平均气温与水稻生物学零度之差的总和(℃)
		降雨量	0.06	从天空降落到地面上的液态或固态水,未经蒸发、渗透、流失,在水平面上积聚的深度(mm)
		日照时数	0.06	一天内太阳直射光线照射地面的时间(h)
	地形条件	高程	0.05	地块的绝对高度(m)
		地形坡度	0.10	地块的倾斜角度(°)
	土壤条件	有效土层厚度	0.10	植物生长的实际土层厚度(cm)
		有机质体积分数	0.05	单位体积土壤所含有机质的量(%)
		表层土壤质地	0.10	土壤类型
		土壤 pH 值	0.05	平衡时土壤溶液中氢离子质量分数
		土壤重金属质量分数	0.05	土壤中汞、镍、镉、铜、砷的质量分数(mg/kg)
	灌溉排水条件	灌溉保证率	0.17	水田能得到灌溉保证的预期出现概率
		排水条件	0.08	排水灌渠的完善程度
供土适宜性	可弃土层土质条件	土壤类型	0.30	土壤杂质、有机质及易溶盐等综合指标
		土壤最小承载比	0.40	标准试件在规定贯入量时所施加试验荷载与标准碎石材料在相同贯入量时所施加荷载之比(%)
		土壤颗粒最大粒径	0.40	土壤颗粒 100%能通过的最小标准筛筛孔尺寸(mm)

高速公路路基填料质量影响路基质量,进而影响高速公路整体质量。根据 JTG/T 3610—2019《公路路基施工技术规范》对高速公路路基填料的质量要求,初步筛选土壤类型、土壤最小承载比、土壤颗粒最大粒径作为供土适宜性评价指标(见表 1)。路基填料宜选用级配好的砾类土、砂类土等粗粒土。承载比可用于评定路基土的强度,常用作确定路基填料的标准和依据,是路基、路面设计及施工的重要参数。路基填料的颗粒级配影响路基的稳定性和压

实度,土壤颗粒最大粒径是土壤级配的体现。

利用层次分析法,根据专家意见,参考以往研究成果,确定上述评价指标的权重。将评价指标分为建设适宜性和供土适宜性两个平行层,各自权重之和为 1,同一层次中每个指标的权重根据其相对重要性赋值(见表 1)。

3.2 评价指标的量化

“旱改水”建设适宜性及供土适宜性的 15 个评价指标的内涵和作用不同,从不同方面影响基于“旱

改水”复垦的新建高速公路取土模式适宜性评价结果。根据 GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》、JTG/T 3610—2019《公路路基施工技术规范》、

GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》,咨询专家意见并参考以往研究成果,采用层次分析法确定各指标的各级分值(见表 2)。

表 2 “早改水”建设指标量化标准

指标层	各级分值						
	100	90	80	70	60	50	30
有效积温/℃	≥3 300	—	≥3 200~3 300	—	≥3 100~3 200	—	<3 100
降雨量/mm	≥700	—	≥650~700	—	≥600~650	—	<600
日照时数/h	≥1 300	—	≥1 200~1 300	—	≥1 100~1 200	—	<1 100
高程/m	<300	—	≥300~500	—	≥500~750	≥750~1 000	>1 000
地形坡度/(°)	<2	≥2~5	—	≥5~8	≥8~10	≥10~15	≥15~25
有效土层厚度/cm	≥100	≥60~100	—	—	≥30~60	—	<30
有机质体积分数/%	≥3.0	≥2.0~3.0	—	≥1.0~2.0	≥0.6~1.0	<0.6	—
表层土壤质地	轻壤、中壤、重壤	黏土	—	砾质壤土、砾质黏土	—	砾土	砾质土
土壤 pH 值	≥6.0~7.9	≥5.5~6.0	—	—	≥5.0~5.5、 ≥7.9~8.5	≥4.5~5.0	<4.5、>8.5
土壤重金属质量分数	均满足规定	1 项超标<10%	2 项超标<10%	3 项超标<10%	大于 3 项超标或 1 项超标≥10%	1 项超标≥20%	其他
灌溉保证率	充分满足	—	基本满足	—	一般满足	—	无灌溉
排水条件	充分满足	—	基本满足	—	一般满足	—	无排水
土壤类型	砾类土、砂类土	—	—	—	—	—	有机质土、粉质土等
土壤最小承载比/%	≥8	—	≥5	—	≥4	—	≥3
土壤颗粒最大粒径/mm	<100	—	<130	—	<150	—	<200

采用综合指数法计算各耕地图斑的“早改水”建设适宜性指数及供土适宜性指数^[14],公式如下:

$$H_i = \sum_{j=1}^n P_{ij}M_j \quad (1)$$

$$G_i = \sum_{j=1}^m P_{ij}M_j \quad (2)$$

式中: H_i 为评价单元*i*的建设适宜性指数; n 为建设适宜性评价指标总数; P_{ij} 为评价单元*i*第*j*个评价指标的标准化值; M_j 为第*j*个评价指标的权重; G_i 为评价单元*i*的供土适宜性指数; m 为供土适宜性评价指标总数。

若 $H \leq 50$,则判断该耕地图斑不适宜进行“早改水”建设;若 $50 < H \leq 70$,则判断该耕地图斑勉强适宜进行“早改水”建设;若 $70 < H \leq 90$,则判断该耕地图斑中度适宜进行“早改水”建设;若 $90 < H \leq$

100,则判断该耕地图斑高度适宜进行“早改水”建设。同理,若 $G \leq 50$,则判断该单元可弃土层不适宜为新建高速公路提供路基填筑材料;若 $50 < G \leq 70$,则判断该单元可弃土层勉强适宜为新建高速公路提供路基填筑材料;若 $70 < G \leq 90$,则判断该单元可弃土层中度适宜为新建高速公路提供路基填筑材料;若 $90 < G \leq 100$,则判断该单元可弃土层高度适宜为新建高速公路提供路基填筑材料。

“早改水”的建设适宜性指数和供土适宜性指数并不是独立存在的,它们之间相互促进、相互制约。因此,通过耦合协调度模型反映基于“早改水”复垦的新建高速公路取土模式的适宜性^[15],避免出现建设适宜性和供土适宜性耦合度较低但总体得分较高的情况,使评价结果更加合理。耦合协调度模型计算公式如下:

$$O_i = \left\{ \frac{H_i G_i}{[(H_i + G_i)/l]^l} \right\}^{1/l} \quad (3)$$

$$Z_i = \alpha H_i + \beta G_i \quad (4)$$

$$X_i = \sqrt{O_i Z_i} \quad (5)$$

式中： O_i 为评价单元*i*的耦合度，其值越大，系统耦合程度越好，反之越差； l 为子系统个数，取2； Z_i 为“旱改水”建设适宜性和供土适宜性协同效应的综合指数； α 、 β 为待定系数，取 $\alpha = \beta = 0.5$ （建设适宜性和供土适宜性同等重要）； X_i 为评价单元*i*的协调度。

根据“旱改水”建设适宜性指数与供土适宜性指数的耦合协调度大小，将基于“旱改水”复垦的新建高速公路取土模式的适宜性分为4种类型（见表3），确定适宜复合取土模式的地块。

表3 基于“旱改水”的新建高速公路取土模式的耦合协调类型判别标准

耦合协调类型	协调度	实施复合取土模式的难易程度
优良协调型	≥ 0.8	适宜实施地块
中度协调型	$\geq 0.70 \sim 0.80$	可以实施地块
勉强协调型	$\geq 0.60 \sim 0.70$	较难实施地块
濒临失调或失调	< 0.60	不能实施地块

4 结语

本文提出基于“旱改水”复垦的平原地区新建高速公路取土模式，并从“旱改水”建设适宜性和为新建高速公路提供路基填筑材料的供土适宜性两方面构建复合取土模式适宜性评价体系，通过量化各评价指标，提出判断复合取土模式实施适宜性的方法。采用复合取土模式，能实现对高速公路建设的土方供给，同时提高土地利用率和产出率，实现耕地总量动态平衡。该取土模式能为平原地区工程建设取土提供新的思路。

参考文献：

[1] 林学春,刘文杰,阙云.不良地质高填方路堤边坡稳定性分析与治理[J].公路工程,2023,48(3):132-137.

[2] 张贤祥.安徽省高速公路项目建设成本控制研究[D].合肥:安徽大学,2015.

[3] 胡铁山,周忻,王勇.平原区高速公路装配式桥梁方案设计探讨[J].中外公路,2019,39(6):141-144.

[4] 陈风琴,赵莹.山东平原区高速公路取土场问题初探[J].甘肃水利水电技术,2010,46(4):16-17+38.

[5] 李少康.建筑垃圾在公路路基中的应用研究[D].西安:长安大学,2014.

[6] 张春雷,管非凡,李磊,等.中国疏浚淤泥的处理处置及资源化利用进展[J].环境工程,2014,32(12):95-99.

[7] 丁勇.高速公路粉煤灰路基填筑施工技术研究[J].交通世界(中旬刊),2020(10):51-52.

[8] 陈刘忠.安徽省新建高速公路临时用地复垦模式与技术研究[D].合肥:安徽农业大学,2015.

[9] 阙国坤.苏北地区农业旱改水的历史研究(1953—1983)[D].南京:南京农业大学,2010.

[10] 刘金鹏,赵华甫,梁健健,等.高速公路建设与耕作层土壤剥离利用组合关系研究[J].公路,2020,65(2):259-264.

[11] 黄占斌,冯俊义,马浩冉,等.腐植酸在旱地农业土壤改良和水肥增效中的作用研究[J].干旱地区农业研究,2023,41(3):49-54.

[12] 左松,蔡朕.基于GIS的旱改水潜力研究:以重庆市彭水县为例[J].农村经济与科技,2018,29(23):13-15.

[13] 罗晓虹.丘陵山区“旱改水”适宜性及整治技术研究:以重庆市万州区为例[D].成都:西南大学,2021.

[14] 李颖慧,姜小三,王振华,等.基于土壤肥力和重金属污染风险的农用地土壤质量综合评价研究:以山东省博兴县为例[J].土壤通报,2021,52(5):1052-1062.

[15] 王淑佳,孔伟,任亮,等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报,2021,36(3):793-810.

收稿日期:2023-11-14

(上接第 70 页)

[14] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC^{3D}基础与工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

[15] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].2版.北京:中国水利水电出版社,1996.

[16] 陈星光.高速公路扩建工程差异沉降控制技术研究[D].西安:长安大学,2006.

收稿日期:2024-01-12