

沿海低路堤高速公路大型排水蒸发池应用研究

陈力¹, 黄蕾鸣²

(1.广东省交通规划设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510507;2.广东省高速公路有限公司, 广东 广州 510100)

摘要: 广东湛江雷州半岛某高速公路地处华南沿海台风区, 鉴于该地区降雨量和蒸发量较大、地势平缓、地表水系不发达、土源短缺且广泛分布玄武岩残积高液限土, 采用对沿线景观破坏较小的低路堤方案。针对低路堤方案产生的部分涵洞排水困难的问题, 在公路沿线设置超大型蒸发池, 解决沿海低路堤高速公路线外排水困难的难题。所设计的蒸发池在“贝碧嘉”热带风暴期间排、蓄水效果良好, 验证了其设计的合理性。

关键词: 公路; 高速公路; 排水蒸发池; 低路堤; 沿海地区

中图分类号: U417.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)01-0085-05

1 工程概况

雷州半岛地处广东省湛江市, 三面临海。某高速公路位于半岛南部, 全线以台地为主, 间夹冲积平原或台间洼地, 偶有低山丘陵。地形较平缓, 起伏不大。属亚热带季风气候, 年均气温 22~23℃, 降水量较充沛, 但也是广东省陆地蒸发最高值区, 且蒸发量和降水时空分布极不均匀, 有文献描述雷州半岛“十年九旱”。该项目沿线水系不发育, 无天然河流, 降雨多沿地表漫流, 地表冲沟较少, 遇台风或连续暴雨天气地表排水困难。地下水相对丰富, 但地表水

贫乏, 农作物灌溉基本靠抽取地下水。另外, 所在地区路基填土资源稀缺, 广泛分布玄武岩残积土。

该项目路基借土方量较大, 为最大限度减少对已有植被的大量开挖, 节约土地资源, 使公路更好地融于周边环境, 采用低路堤绿色公路方案。路基填方高度为 2~6 m, 以减少路基外借填筑土方; 优化路线平纵面设计, 尽量压低路线纵断面高程, 如下穿省道, 以增加利用土方; 合理调整桥梁长度, 采用下穿铁路方案, 不仅线形指标较好, 更有利于与地方道路相接, 且工程规模较小, 造价较低(见表 1)。

由于采用低路堤方案(大部分路堤填土高度约

表 1 投资节省情况

工程名称	原设计方案	实际设计方案	节省投资/万元	备注
省道段	上跨	下穿	6 000	减少桥梁长度 1 000 m
铁路段	上跨	下穿	6 000	减少桥梁长度 1 000 m
主线填方路堤	高路堤平均高约 7 m	低路堤平均高约 4 m	1 800	减少填筑土方 120 万 m ³
高液限土	改良	直接填筑	9 750	65 万 m ³

4 m), 为保证涵洞和桥下改路净空要求, 部分涵洞出水口或改路低于原地面 1 m 左右。产生的问题是雨水积在涵洞口排不出(见图 1、图 2), 淤泥沉积在涵洞内阻碍村民出行, 部分涵洞孔雨水冲毁道路、

庄稼地, 严重浸泡主线路基, 影响路基的稳定性。原方案 200~400 m 线外排水沟终点多为庄稼地或宅基地附近, 自流排水方式无法实施。如何处理高速公路线外排水难题是急需解决的民生问题。



图 1 涵洞口积水排不出



图 2 某桥下改路积水

2 下挖式通道线外排水困难解决方案

2.1 沿线水系分布

该项目沿线范围地形较平坦,降雨多沿地表漫流,地表冲沟较少,水系不发育,无天然河流,仅有2条人工修筑的灌溉渠,零星分布有小型沼泽地。遇到台风或连续暴雨天气,庄稼地被雨水冲毁、地方公路积水时有发生。地下水类型为松散岩类孔隙承压水,基岩裂隙水不丰富;地下水位局部埋藏较大,当地农民均通过打井抽取地下水到蓄水池,再通过滴灌系统抽水对农作物进行灌溉,公路沿线分布有大量人工开挖的灌溉蓄水池和水井(见图3)。



图3 农民灌溉蓄水池

2.2 下挖式通道排水方案比选

查阅相关文献,结合山东、河北、山西、陕西等省高速公路调查结果,下挖型通道积水是北方平原区高速公路的常见问题,其解决方案有设置蒸发池、排水泵站、雨棚、渗井。各种方案的比较见表2。针对雷州半岛沿海高速公路的特点,拟定采用蒸发池方案。

表2 主要排水方案比较

方案	特点	适应性	高速公路案例
排水泵	常见城市下挖式隧道,配套排水泵房,抽水量大、速度快。但施工难度大,需专人管理	造价昂贵,后期养护管理难度较大,不适用于高速公路	无
雨棚	常见城市地下停车库,遮挡局部雨水的下挖进出口通道,占地少,施工简单	造价最低,无法满足雷州台风期间蓄、排水要求,容易损坏,维护难度大	无
渗井	地下水低、含水层渗透性好且埋深不超过10 m的通道,用地小。但施工、后期养护难度较大,污染地下水	造价昂贵,适于北方降雨量小于600 mm的地区,无法满足雷州台风期间蓄、排水要求	大广(大庆—广州)高速公路
蒸发池	排蓄水效果好,施工和养护简单。但用地较大,需设计护栏设施	费用较低,后期管理维护简单,在北方高速公路已实施多年	西咸(西安—咸阳)高速公路

2.3 雷州半岛蒸发池方案可行性分析

在北方干旱、半干旱地区,高速公路设计中常遇到地势平缓、短距离找不到恰当排水出口的情况,通常在高速主线两侧红线外一定距离设置开敞式蒸发池,将汇集的雨水汇入蒸发池渗透和蒸发。蒸发池多为方斗形,采用浆砌片石建造。如西安至咸阳机场高速公路、禹闫(禹门口—闫村)高速公路、永寿至长武、凤翔路口高速公路沿线均设计有蒸发池,呼和浩特至包头高速公路在东兴互通式立交圈内设置蒸发池,济南至青岛高速公路在下挖通道积水严重的地方设置散排蒸发池。

2.3.1 蒸发量

雷州半岛年均降水量约1500 mm,大于JTG D30—2015《公路路基设计规范》的相关要求(蒸发池排水方式可用于降雨量小于400 mm、蒸发强度大、地下水位低的通道排水)。虽然该地区降雨量大,但其蒸发量也较高,年均水面蒸发量约1100

mm,夏季阳光充足、酷暑晴热,秋季天气干燥、沿海风大时为年内蒸发量高峰期,最大年蒸发量为1312 mm,最小年蒸发量为842 mm。且蒸发分布很不均匀,4~8月蒸发量大、易出现干旱,是广东省陆地蒸发最高值区,有利于蒸发池中的水快速蒸发。

2.3.2 土壤渗透性

土壤渗透系数对蒸发池容积大小的影响较大,渗透系数越大,蒸发池的容积较小,比较经济。除北方特别干旱地区外,在南方广东地区设置蒸发池,在雨季特别是台风影响期间其一个月的蒸发量通常小于汇入池中的降雨量。因此,仅靠蒸发耗散池中水分非常困难,修建蒸发池的条件除气候干燥、地下水位低、蒸发大外,更重要的是土壤的渗透性要大。

雷州半岛土壤渗透性空间差异较大(0.04~8.83 m/d)。该项目位于半岛南部,沿线用地基本是桉树、苗圃、菜地、菠萝地,土壤渗透性较好,特别是桉树地(0.12 m/d)、苗圃地(0.14 m/d)、菜地(0.28

m/d),有利于蒸发池中的水量及时完成渗透。

2.3.3 经济性分析

选择该项目 K514+012、K515+300、K516+600 处 3 个蒸发池与原设计线外排水沟作经济性对比分析,即取消 4 条线外排水沟(合计长 666 m),变更为在涵洞口附近分别增设蒸发池,将涵洞出口水汇集到蒸发池中。通过比较,蒸发池方案的建安费比原线外排水沟方案减少约 2.68 万元,经济性可行(见表 3)。

表 3 蒸发池与排水沟造价对比

工程名称	主要工程量			差值/ 万元
	挖土 方/m ³	M7.5 浆砌 片石/m ³	造价/ 元	
4 条线外排水沟	2 154	1 384	50.594	-2.68
3 个蒸发池	12 980	998	47.910	

注:不含征地费用。

综上,在降水量、蒸发量较大的雷州半岛地区的低路堤高速公路外侧设置蒸发池的方案可行。

3 蒸发池设计

3.1 蒸发池容量计算

3.1.1 规范要求

根据 JTJ 018—97《公路排水设计规范》和《公路低路堤设计指南》,蒸发池的容量以一个月内地表水汇入池中的水量能及时完成渗透和蒸发为依据,每个池的容量不超过 200~300 m³,蓄水深度不大于 1.5~2.0 m。JTG/T D33—2012《公路排水设计规范》中规定,蒸发池的容积应能满足及时完成渗透和蒸发的要求。规范均只对蒸发池的设计作了简单说明,对蒸发池容量的计算没有明确的方法。且 JTG/T D33—2012 去掉了一个月的规定,对蒸发池的大小和蓄水深度也没有限制要求。

3.1.2 容量计算案例

金继伟针对河南地区某高速公路,采用重现期为 15 年一遇连续 3 d 的最大降雨强度计算被交道路最大汇水量 Q [见式(1)]。渗透池最大汇水量需小于渗透池最大储水量+最大渗透水量,而蒸发量可忽略不计。

$$Q = S\gamma \quad (1)$$

式中: S 为汇水面积(m²); γ 为 15 年一遇连续 3 d 最大降水量。

宋武生等针对吉林地区,分别采用式(2)、式(3)、式(4)计算 12、18 h 和 1、3、7、15、30 d 等时段

的汇水径流总量、蒸发量及下渗量,得出 3 d 时蒸发池面积最大。设计蒸发池面积 F_z 需满足 $Q_s \leq Q_z + Q_Y + Q_C/2$ (Q_C 为蒸发池容量)的要求,即留一半空间的安全余量。

$$Q_s = q_s \psi F \quad (2)$$

式中: Q_s 为径流总量(m³); q_s 为多年平均最大降雨量(mm); ψ 为径流系数; F 为汇水面积(m²)。

$$Q_z = q_z F_z \quad (3)$$

式中: Q_z 为蒸发池径流总量(m³); q_z 为蒸发量(mm); F_z 为池口平面面积(m²)。

$$Q_Y = K F_z J t \quad (4)$$

式中: Q_Y 为蒸发池中水的下渗量(m³); K 为土的渗透系数(m/d); J 为水力坡度, $J = h_w/L$; h_w 为水头高差(m); L 为渗流长度(m); t 为每月的天数(d)。

上述两个案例均位于北方地区,且蒸发池容积均在 400 m³ 左右,无法满足广东雷州半岛台风期间蓄、排水要求。

3.2 蒸发池设计示例

选取 K516+600、K515+300 蒸发池作为工程实例进行说明。雷州半岛南部 3 d 最大平均降雨量 q_s 均值为 220 mm;沥青砼路面径流系数 ψ 为 0.95,路面外径流系数为 0.45;平均蒸发量为 1 186.8 mm/年,蒸发量 q_z 为 99 mm/月;菜地渗透系数 K 为 0.28 m/d;蒸发池深度均为 3.0 m,蓄水深度为 1.5 m,水力坡度 $J = 4$ 。计算 3 d 最大平均降雨量下蒸发池的容积。

(1) K516+600 蒸发池。该项目主线 K516+380—900 段长 520 m 填方路基排水困难。原设计公路右侧涵洞线外排水沟(长 140 m)、涵洞改路两侧排水边沟(长 539.6 m)均排到农民庄稼地(见图 4),即这两个涵洞的线外排水沟终点均找不到排水出口,故在涵洞附近增设一蒸发池(深 3 m,体积约 2 700 m³,见图 5)。

(2) K515+300 蒸发池。该项目 K515+293—K516+380 段长 1 087 m 路基排水困难。原设计涵洞线外排水沟(长 68 m)终点周围几公里均为庄稼地,变更为在涵洞口附近增设蒸发池(深 3 m,体积约 3 700 m³,见图 6、图 7)。

4 蒸发池的效果

4.1 路堤稳定性

K514+012位置右侧设置一蒸发池(长约97 m,

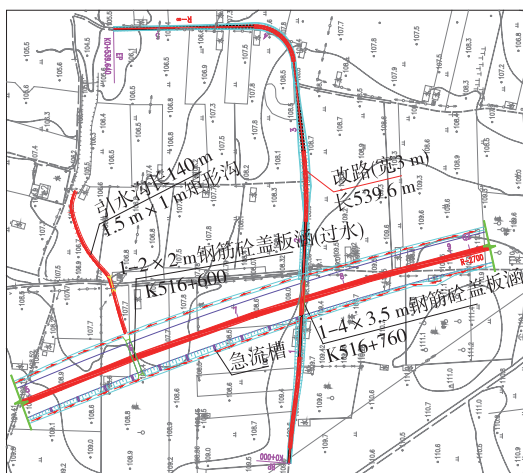


图4 K516+600排水沟排水方案

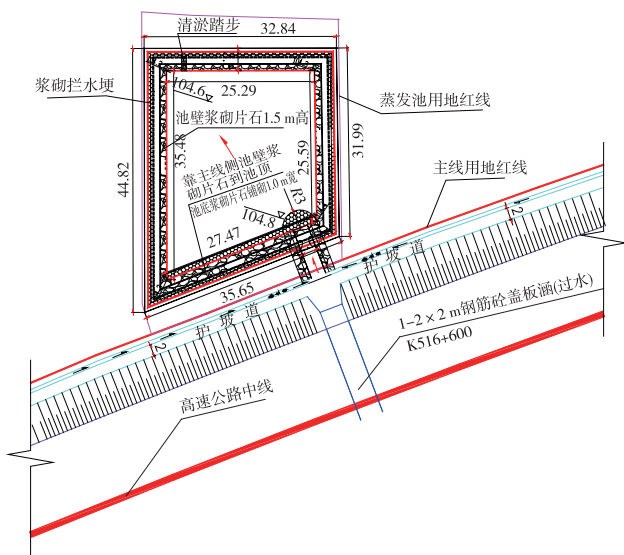


图5 K516+600蒸发池排水方案(单位:m)

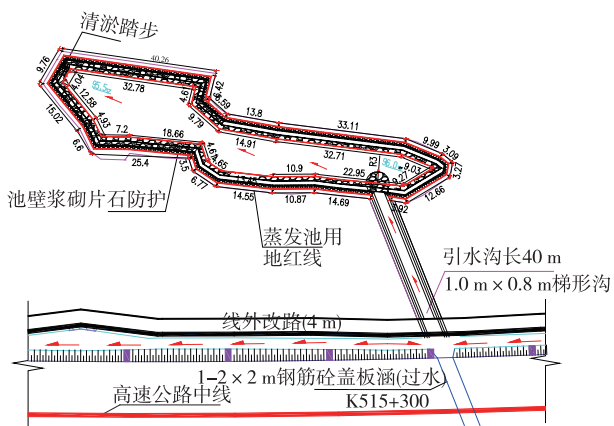


图6 K515+300蒸发池排水方案(单位:m)

宽约 37 m, 深 3 m, 体积约 6 500 m³)。该段路基采用高液限土填筑, 填土高度约 4.2 m, 路堤边坡坡率



图7 K515+300蒸发池航拍图

1:1.5, 蒸发池坡率 1:0.75, 坡脚到蒸发池的距离为 7 m。基本地震动峰值加速度 0.2 g 地区浸水路堤应验算抗震稳定性, 蓄水前后路堤稳定性安全系数计算结果见图 8、图 9, 均满足规范要求。

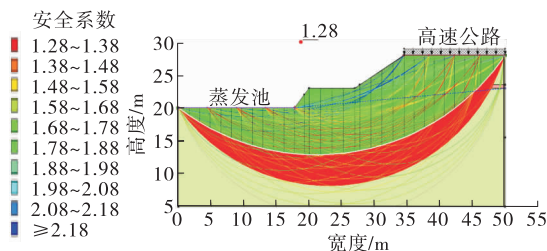


图8 蓄水前路堤安全系数云图(地震工况)

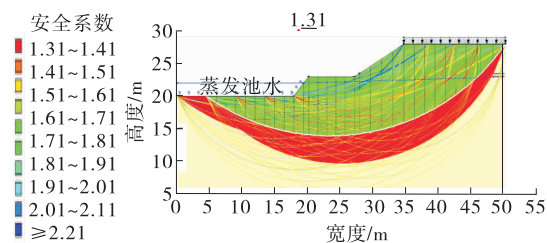


图9 蓄水后路堤安全系数云图(地震工况)

4.2 效果验证

2018 年第 16 号台风“贝碧嘉”先后 3 次登陆雷州沿海, 中心附近最大风力 9 级 (23 m/s), 累计过程最大点降雨量海南高岭站为 802 mm、广东江门扫描塘站为 606 mm、广西涠洲岛站为 249 mm, 琼州海峡累计停航 96 h。受“贝碧嘉”风暴的影响, 雷州半岛连续近 2 周下雨, 蒸发池排、蓄水效果良好, 蓄水深度约 1.5 m, 还留有一半安全存量空间(见图 10、图 11), 与拟定的蒸发池容积计算结果相符, 验证了该项目蒸发池设计的合理性。

5 结论

(1) 依据雷州半岛地形特点和气候条件, 通过优化路线设计、调整桥梁长度等, 采用低路堤方案, 减少了占地面积和工程投资, 最大限度地减少了对沿海自然景观的破坏, 实现了资源节约、生态环保的



(a) 蓄水前



(b) “贝碧嘉”风暴后

图 10 K514+012 蒸发池



(a) 蓄水前



(b) “贝碧嘉”风暴后

图 11 K515+300 蒸发池

绿色公路设计理念。

(2) 针对低路堤方案导致部分涵洞口、桥下改路积水的问题,在年平均降水量大(1 500 mm)、蒸发量大(1 100 mm)的雷州半岛地区,采用在高速公路路基外侧设置大型线外排水蒸发池(最大体积约 6 500 m³)解决低路堤公路线外排水难题。

(3) 雷州半岛南部大部分是桉树、菜地、菠萝地,土壤渗透性较好(池中水消散主要靠渗透入地

下,蒸发量较小),有利于蒸发池中水及时完成渗透。另外,该区域地下水位较深,蒸发池中的水能快速下渗。经过对比分析,将长距离(一般大于 200 m)线外排水沟变更为蒸发池具有一定经济优势,在雷州半岛高速公路外侧设置大型排水蒸发池可行。

参考文献:

- [1] 黄湛军.绿色公路在广梧高速公路中的设计实践[J].中外公路,2018,38(4).
- [2] 张胜华.雷州半岛地表水与地下水联合利用浅析[J].广西水利水电,2016(1).
- [3] 张先伟,孔令伟,臧濛.雷州半岛玄武岩残积土的工程地质特性研究[J].岩土工程学报,2014,36(5).
- [4] 吴健,江兴旺,李刚,等.下挖型通道排水方案的探讨[J].中外公路,2011,31(2).
- [5] 张洪亮,王秉纲,张春雷,等.平原区低路堤高速公路排水系统研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2010,29(2).
- [6] 仇佩华.高速公路蒸发池设计改革模式[J].水土保持通报,2006(2).
- [7] 肖仕鼎,黄其叙,陈红宏.湛江市水文特征[J].广东水利水电,2008(2).
- [8] 梁冬梅,赵新锋,陈建耀,等.雷州半岛土壤渗透性及其与地下水补给关系[J].热带地理,2016,36(6).
- [9] JTG/T D33—2012,公路排水设计规范[S].
- [10] 金继伟.平原区高速公路通道排水系统研究及应用[J].交通标准化,2012(9).
- [11] 宋武生,刘忠雨.新规范下蒸发池面积计算方法研究[J].北方交通,2014(增刊 2).
- [12] 2018 年 8 月全国汛情、旱情、灾情[J].中国防汛抗旱,2018(9).
- [13] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].

收稿日期:2019-04-26

(上接第 67 页)

同济大学学报:自然科学版,2017,45(11).

- [2] 曾梦澜,薛子龙,谷世君,等.开级配水泥稳定碎石基层路用性能的试验研究[J].北京工业大学学报,2015,41(4).
- [3] 陈仲明.基层钢模支护工艺技术[J].科技视界,2014(13).
- [4] 柴金玲,王永,栗威,等.水泥稳定碎石基层快速养护早强技术试验研究[J].施工技术,2016,45(23).
- [5] 马士宾,杨鑫玮,徐文斌,等.水泥稳定碎石基层材料微

裂力学特性研究[J].公路工程,2017,42(4).

- [6] 郭伏国.沥青稳定碎石基层性能试验及应用研究[J].公路与汽运,2018(1).
- [7] 付志国.低剂量水泥稳定级配碎石基层材料收缩性能分析[J].公路与汽运,2018(1).
- [8] JTG D50—2017,公路沥青路面设计规范[S].
- [9] 秦川,胡先磊.抗裂型水泥稳定级配碎石基层配比设计及施工控制[J].公路与汽运,2017(3).

收稿日期:2019-03-18