

GDJT XXX-XX-20XX

GDJT

广东省交通运输厅指导性技术文件

GDJT XXX-XX-20XX

高速公路宽幅路面排水设计指南

(征求意见稿)

Guidelines for Drainage Design of Wide Expressway

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

广东省交通运输厅发布

前 言

为指导广东省高速公路新建、改扩建及养护工程的宽幅路面排水设计，提升雨天行车安全，依据《交通运输部关于进一步提升公路防灾抗灾能力的指导意见》、《广东省交通运输厅部署全面提升行业地质灾害防治能力》等文件精神，编制本指南。

本指南参考 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本指南为推荐性文件，不涉及专利。

本指南由广东省交通运输厅提出并归口管理。

主编单位：广东省高速公路发展股份有限公司

参编单位：广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司

广东省高速公路发展股份有限公司佛开分公司

广东华路交通科技有限公司

苏交科集团股份有限公司

主要编审人员：

主要编写人员：

主要审查人员：

引言

为了适应交通需求的增长，广东省内开始陆续建成八车道及以上宽幅路面高速公路，随着路幅宽度的增加，路面排水也变得复杂。现行规范对宽幅高速公路路面排水设计的规定针对性不强，宽幅高速公路雨天排水问题逐渐突出。在充分调研宽幅路面排水研究现状，总结广东省多年来改扩建排水设计实践经验、相关科研成果，编制本指南，旨在为全省高速公路建设、管理、养护及勘察设计、施工、监理等相关单位提供实用技术指导。

本指南主要内容涵盖基本规定、路线几何设计、排水设施设计、特殊路段排水沥青路面设计及施工、交安设施设计等，并附有算例与工程案例。希望本指南能为提升宽幅高速公路排水效能、保障行车安全发挥积极作用。

请有关单位在应用过程中，将发现的相关问题和建议函告广东省高速公路发展股份有限公司（地址：广东省广州市越秀区白云路 83、85 号广东高速公路大厦 1209 房，邮编 510550，联系人：王国华，电话：13826107570，，邮箱：531707606@qq.com）或广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司（地址：广东省广州市白云区鹤瑞路 8 号，邮编：510440，联系人：程正刚，电话：13560027267，邮箱：1073gang@163.com），以便修订时研用。

目 次

目录

前 言	2
引 言	3
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 基本规定	5
4.1 新建工程	5
4.2 改扩建工程	7
4.3 养护工程	8
5 路线几何设计	9
5.1 一般规定	9
5.2 水膜厚度	10
5.3 横坡及超高	14
5.4 平纵组合设计	17
6 排水设施设计	19
6.1 一般规定	19
6.2 路面边部排水	19
6.3 中央分隔带排水	22
6.4 特殊路段排水	24
6.5 构造物路段排水	28
6.6 路面内部排水	31
7 排水沥青路面设计及施工	32
7.1 结构设计	32
7.2 材料	35
7.3 配合比设计	41
7.4 施工	42

7.5 质量要求	47
7.6 养护	49
8 交安设施设计	51
附录 A (资料性) 改扩建及养护项目外业调查及相关要求	52
附录 B (资料性) 宽幅路面典型排水算例	54
附录 C (资料性) 典型案例与工程经验	64
附录 D (资料性) 养护阶段宽幅路面排水综合提升改造设计工作流程	69

高速公路宽幅路面排水设计指南

1 范围

本文件适用于广东省新建工程、改扩建工程及养护工程的高速公路宽幅路面排水设计。其他等级道路可参照执行。

本文件规定了高速公路宽幅路面新建工程、改扩建工程及养护工程排水设计和交安设施设计等相关内容。

高速公路排水设计应重视环境保护和水土保持，防止水体污染。

高速公路排水设计除应符合本指南的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG B01 公路工程技术标准

JTG D20 公路路线设计规范

JTG D30 公路路基设计规范

JTG D50 公路沥青路面设计规范

JTG/T D33 公路排水设计规范

JTG/T D3350-03 排水沥青路面设计与施工规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 宽幅公路 wide road

单方向整体式路基基本车道数大于等于 4 车道的高速公路。

3.2 路面水膜 pavement surface water film

降雨过程中在路面表面形成的极薄连续水层，其厚度通常以毫米（mm）计，是评估雨天行车安全、轮胎抗滑性能和排水能力的重要指标。

3.3 路表水膜厚度 water film thickness

路表水膜厚度是指在降雨条件下，路面表面所形成的水膜从路面微观凸点（构造顶面）到水膜自由表面的垂直厚度，通常以毫米（mm）表示。

3.4 水滑现象 hydroplaning

当轮胎受路面水膜隔离，造成与路面的摩擦力不足或丧失，车辆可能产生失控滑移的现象，即水滑现象。

3.5 路面径流路径 pavement surface drainage path

降雨时，路面积水在路面表面沿横坡、纵坡及合成坡度方向流动所形成的实际水流轨迹。该路径由路面几何形态（横坡、纵坡、超高）、路拱形状及边界排水设施共同决定，是评价路面排水效率的关键指标。

3.6 路面径流路径长度 length of pavement surface drainage path

降雨时，路面积水沿路面表面从汇水起点至排水出口（如边沟、纵向排水沟、泄水口等）之间所经历的实际流动轨迹长度。

3.7 公路排水系统 highway drainage system

由拦截、汇集、输送并排放公路用地范围内地表水和地下水的各类排水设施所构成的系统。

3.8 特殊排水路段 special drainage sections

本指南中特殊路段包括：凹形竖曲线底部、超高过渡段、缓坡段、长下坡路段、局部超宽段（立交分合流）等路段。

3.9 超高缓坡段 superelevation section

超高渐变段中，横坡值接近零或变化较小的路段，本指南中指横坡在 $-0.5\% \sim 0.5\%$ 范围内的区域。

4 基本规定

4.1 新建工程

4.1.1 高速公路宽幅路面的排水设计宜与总体设计协调统筹，选择经济合理、技术可靠且便于实施养护的排水方案。

条文说明

应结合项目沿线的地形地貌条件，在充分调查和梳理地表排水通道、排水条件的基础上，进行公路排水系统的综合设计。

4.1.2 路线指标应考虑路面排水需求，合理确定宽幅路段的路线几何设计参数，以降低排水不良风险。若通过调整几何参数仍不能满足排水要求，宜对该路段进行专项设计处理。宽幅路面排水设计流程可参考图 4.1.2。

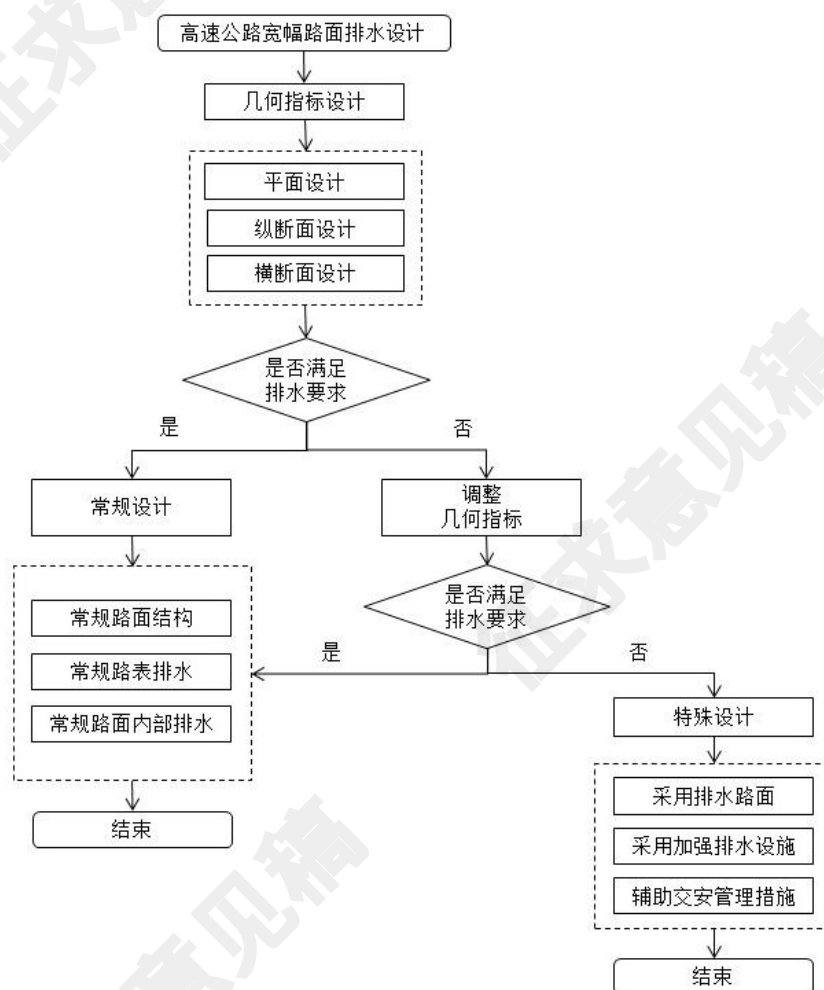


图 4.1.2 宽幅路面排水设计流程图

条文说明

常规设计是完成路线设计后，再进行路面排水设计，路面排水系统被动适应路线线形，造成设置不合理或代价较大。本指南提出宽幅路面排水设计是以预防排水不良为主，路线设计与路面排水需求同步考虑。总体设计需统筹考虑路面排水系统需要，选择合理的道路线形指标，避免或减少排水困难的问题；在设计条件受限路段，可通过采用局部增强改善排水手段（如加密排水管、缝隙排水暗沟、采用特殊路面等），有必要时结合交安措施等，消解排水安全隐患。

4.1.3 在施工图设计阶段宜针对特殊排水路段绘制路面排水路径图，以验证排水方向、径流路径长度及排水设施布置合理性，从而降低滞水风险并提高与总体设计的协调性。

条文说明

对特殊路段绘制如图 4.1.3 的路面排水路径图，该图为超高渐变段排水路径图，分析该段最大排水路径长度，也是对道路几何设计的排水方案可行性提供理论支撑。

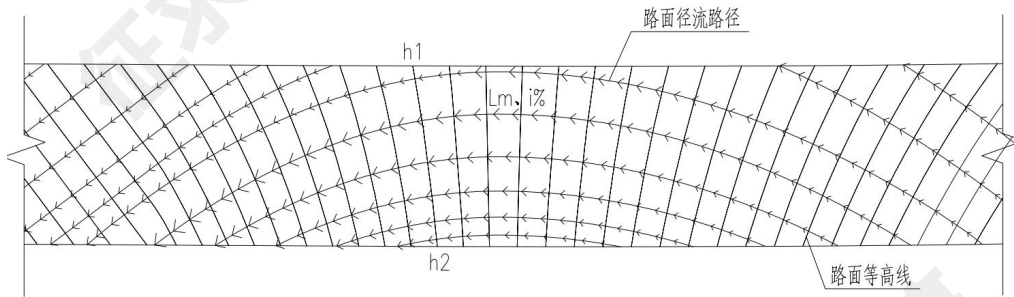


图 4.1.3 超高过渡段排水路径示意图

注：图中 h_1 、 h_2 为路面边缘标高、 L_m 为路面径流路径长度、 i 为路面径流路径坡度。

4.1.4 路面排水系统应与路基排水设计相衔接，确保地表水与地下水的排除路径连续、排放能力匹配，形成协同工作的综合排水系统。对与路面排水有关的排水沟、排水管以及超高段纵向集水设施等，宜按照水文与水力要求进行专项计算与校核。

条文说明

调研发现，部分路段因为与路面排水系统衔接的界外排水缓慢，影响了路面排水系统，造成壅水。因此建议对相关衔接的排水系统进行调查分析。

排水设施主要包括：涵洞、排水沟、边沟、横向排水管、纵向排水渗沟、急流槽等。

4.1.5 排水系统的设计应在满足排水能力与雨天行车安全要求的前提下，兼顾施工实施及后期养护的便利性与可达性。

条文说明

通过调研发现，部分路段排水设施设置不合理、尺寸偏小，容易造成堵塞，运营养护也较为困难；

此外排水系统的施工方案也应根据实际道路的情况进行调整,需充分考虑排水设施施工、养护的便利性。

4.1.6 高速公路宽幅路面排水设计可结合工程特点,在符合现行标准并通过工程验证的前提下选用新技术、新材料、新设备和新工艺,确保其安全性与适用性。

4.2 改扩建工程

4.2.1 改扩建工程项目中,应对现状道路排水设施、路面结构、路面性能等进行调查和资料收集。在调查评价的基础上,结合改扩建需求,应充分利用既有公路的排水设施。调查内容及指标详见附录 A 表 A.1。

条文说明

本指南提出调查和资料收集的目的,主要是梳理分析行车安全与路面排水的关联性。为路面排水系统改善采取措施提供依据。

应充分调查现状道路的项目概况(包括项目范围、地质、水文、气象和交通量等)、项目主要技术指标(路幅宽度、设计速度、最小圆曲线半径、最大纵坡等)、项目事故数据(桩号及方向、时间、天气、降雨强度、横向位置、车型、车速、事故类型等)、项目设计图纸(施工图设计、变更、竣工等各阶段设计图纸)等相关资料。

应充分调查现状道路的排水设施(主要包括路面表面排水设施、中央分隔带排水设施、超高段排水设施、边缘排水系统、排水基层和排水垫层等)采用的型式、设置间距和直径、材料、厚度等,以及是否存在堵塞、损坏的现象。

应充分调查现状道路的路面结构,其路面性能指标主要包括破损率、平整度、车辙、抗滑(构造深度、横向力系数)、弯沉、渗水系数等,也可参考《公路技术状况评定指标》(JTG5210)等相关条文。

调查内容及指标详见附录 A 表 A.1。

4.2.2 应结合调查成果和安全评价成果,梳理与排水相关的道路重点路段。

条文说明

重点路段一般按前后各取 100-200m 范围内作为一个工点,当位于缓和曲线段建议取全缓和段,对道路与周围构造物及相邻段进行高程测量,成果与设计资料对比,判别道路是否发生不均匀沉降、凹陷等问题,分析路面排水不良的原因,以便开展系统设计工作。

4.2.3 改扩建工程应对旧路路面开展精密高程测量工作,强化高程控制点的复核校正,严格控制测量精度。宜对新旧路基拼接带、桥涵台背过渡段、互通立交及排水系统改造关键路段等重点区域,采用不低于二等水准测量精度测绘 1:500 路面地形图;对直线段、缓坡段等一般路段,采用不低于三等水准测

量精度测绘 1:1000 路面地形图。测量工作需以国家二等水准点为基准，建立统一高程控制网，确保新旧路面高程系统一致，为路基路面调平、结构层拼接及排水系统优化提供精准数据支撑。重点路段测量成果平面精度不宜低于 5cm，高程精度不宜低于 2cm。

4.2.4 应结合测量成果，加强对改扩建项目的平、纵、横拟合设计，保证工程质量，确保拼宽路面横坡衔接顺畅。

4.2.5 当既有路基排水设施需改造或拆除重建时，按照“永临结合”的原则，统筹设计临时排水设施。临时排水设施的过水能力需满足施工期最大降雨强度下的排水需求，且应在既有排水设施停用前完成施工与验收，实现排水功能无缝衔接，保障施工期路基排水系统通畅。

4.2.6 对原路面提升改造加铺沥青路面，宜采用两层结构，下层兼具调平功能，上层为磨耗层。摊铺厚度不宜小于集料公称最大粒径的 2.5-3 倍，摊铺厚度过大时应分层填筑，以保证压实质量。

条文说明

经过多个改扩建项目调研，经过多年运营后，原路面较多路段存在横坡变缓、或平整度较差，如采用一层路面结构，较难达到设计横坡，从而造成路面排水不畅。宜采用两层路面结构，下层摊铺后几何指标满足设计要求，上层采用等厚的磨耗层或排水沥青层。

4.3 养护工程

4.3.1 应在资料收集的基础上，以工点为单位对宽幅路面排水不良路段开展路面测量及外业调查，编制调查分析报告和专项安全评价报告。

4.3.2 对提升范围的路面建议开展精密高程测量，基于测量数据绘制纵横坡及合成坡等高线图，系统分析评价现状路面各车道纵横坡度达标情况，精准划定路面积水范围，溯源异常路段积水成因。

条文说明

为识别排水不畅路段或检测排水路面下承层是否存在积水，在营运高速路面积水处治过程中，可采用三维激光动态精密测量进行路表高程测量（纵、横断面高程数据间距不宜大于 2 米），对现状路面的几何线形参数（路面横坡、纵坡）进行检测，复核实际几何线形与设计参数的偏差，为改造设计及路面摊铺提供数据支持。确保排水沥青路面横坡、纵坡以及合成纵坡等几何线形参数满足设计要求，保证路面排水顺畅。运营阶段养护设计，应以工点设计为单位进行分析。确定工点数量、每个工点的范围，有利于针对性的开展相关工作。

4.3.4 应对现状道路的路面结构、纵横坡度、病害分布，桥梁、涵洞等构造物的结构完好性，以及排水管网的走向、管径、过水能力、淤堵情况开展详细调查。结合本项目事故分析报告，重点分析现状设施缺陷与路面积水、交通安全事故的关联性，为后续养护维修方案制定提供依据。

4.3.5 可通过绘制路面排水路径图，分析路面水膜厚度分布特征及其对路面抗滑性能的影响。

条文说明

通过对省内多条扩建后运营高速事故发生位置统计分析，路面径流路径长、合成坡度小等会产生局部水膜超标，特别是在超高过渡段，常为事故多发路段，尤其是在（-0.5%~0.5%）的横坡渐变段最为突出。通过绘制路面等高线图及路面排水路径图（如图 4.3.5-1、图 4.3.5-2 所示），可直观查看排水路径情况，发现积水风险。

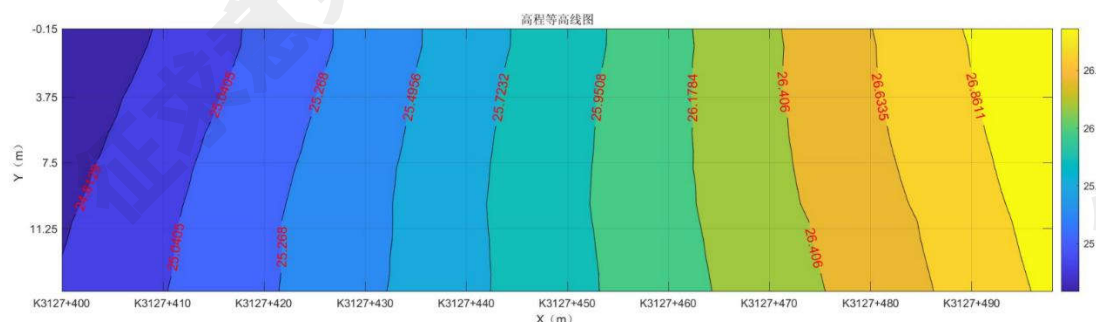


图 4.3.5-1 超高过渡段 路面高程图示意

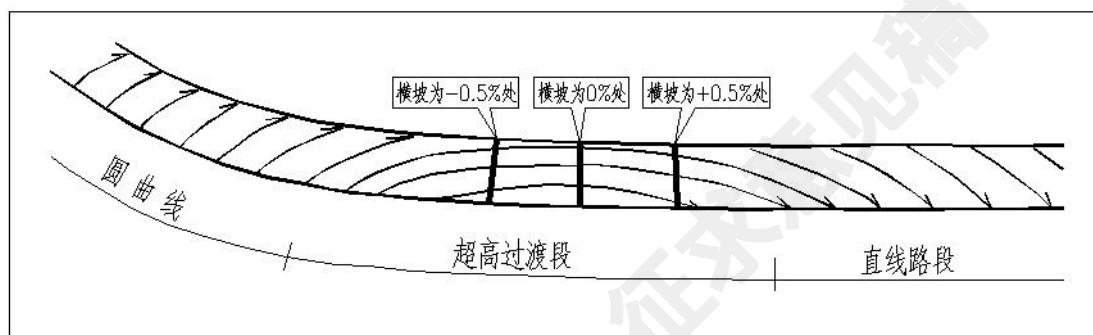


图 4.3.5-2 超高为-0.5%~0.5%段排水路径图示

5 路线几何设计

5.1 一般规定

5.1.1 高速公路新建、改扩建宽幅道路几何指标设计应满足现行《公路路线设计规范》（JTGD20）及《高速公路改扩建设计细则》（JTGT L11-2014）中的相关要求。

条文说明

高速公路改扩建宽幅道路几何指标设计主要包括：道路纵断面设计指标（纵坡）、横断面设计指标（含横坡、超高渐变率）等。

5.1.2 高速公路改扩建工程设计过程中，平面、纵断面及横断面各指标均应充分考虑与原路的平顺衔接，同时加强特殊排水路段的综合设计。

条文说明

根据降水强度和道路排水条件进行分析，由于高速公路改扩建使公路断面加宽后，汇水面积增大，特别是对于中等及以上降雨强度的地区的单向3车道或以上的高速公路，道路排水成为影响安全的较大因素。改扩建公路经车道加宽后，道路排水需求增加，通过优化线形指标设计，解决预防排水问题。

5.1.3 高速公路宽幅路面养护工程应结合工点精密测量数据、历史养护及运营资料、排水隐患专项分析结果，有条件时应调整路面横坡、纵坡及超高渐变参数等道路几何设计，同步完善排水系统优化方案。

条文说明

既有高速公路运营多年，受施工、养护加铺、路基沉降等因素的影响，部分路段横坡会出现凹陷（见图1）或小于2.0%的情况。部分高速公路改扩建时，对横坡拟合和恢复重视不足，导致改扩建后横坡较小，甚至出现旧路与拼宽部分横坡不连续的情况，从而产生积水现象（见图5.1.3）。

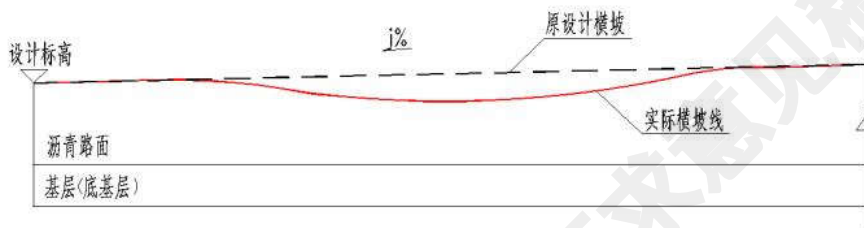


图 5.1.3 旧路发生局部沉降

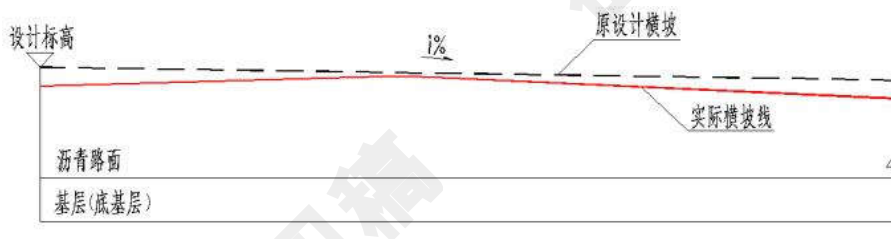


图 5.1.3 新、旧路段衔接处产生折线坡

5.2 水膜厚度

5.2.1 可根据道路所处的气象条件和道路指标情况，选用合适的水膜计算模型计算不同位置的水膜

厚度，分析路面的水膜分布状况。

条文说明

目前国内外对路表水膜厚度计算模型的研究较多，暂未有统一的水膜计算公式，计算得到的水膜厚度值也不完全一致，但基本认为水膜厚度除与降雨强度有关外，还与路面径流长度、合成坡度、路面构造深度相关，设计人员可结合具体路段的路面状况、环境特征、交通构成等情况，选用合适的水膜计算模型计算水膜厚度，总体而言计算结果差别并不是很大。常用水膜厚度计算公式如下。

(1) 美国各州公路与运输工作者协会 (AASHTO) 《公路排水设计指南》(2007 年第四版) 中推荐的 Gallaway 路表水膜厚度计算公式：

$$WFT = \frac{0.00338 \cdot MTD^{0.11} \cdot L^{0.43} \cdot I^{0.59}}{S^{0.42}} - MTD \quad (\text{式 5.2.1})$$

式中： WFT ——路表水膜厚度 (in) (不含构造深度)；

L ——水流路径长度 (ft)；

S ——水流路径合成坡度 (%)；

I ——降雨强度 (in/hr)；

MTD ——路面构造深度 (in)。

(2) 根据海南省交通科技项目《海南省暴雨气象条件下公路交通安全防治技术研究》项目研究成果，通过室内大型降雨模拟试验标定的公路路面水膜厚度计算公式：

$$W_D = 0.068 \times \frac{L^{0.32} \cdot I^{0.41} \cdot T_{XD}^{1.17}}{S^{0.31}} \quad (\text{式 5.2.2})$$

式中： W_D ——路面水膜厚度 (mm) (含构造深度)；

L ——水流路径长度 (m)；

S ——水流路径合成坡度 (%)；

I ——降雨强度 (mm/h)；

T_{XD} ——路面构造深度 (mm)。

(3) 在广东省交通集团科技项目《高速公路宽幅路面排水关键技术研究》课题研究中，通过室内外模拟降雨试验，确定预测模型关键参数，回归拟合提出水膜厚度计算公式：

$$d = 0.39 \cdot I^{0.515} \cdot L_i^{0.36} \cdot S_i^{-0.276} \cdot T^{0.445} \quad (\text{式 5.2.3})$$

式中： d ——路面水膜厚度 (mm) (含构造深度)；

L_i ——水流路径线上第 i 个点位的排水路径长度 (m)；

S_i ——水流路径线上第 i 个点位的合成坡度 (%)；

I ——降雨强度 (mm/min)；

T ——路面构造深度 (mm)。

5.2.2 对重点路段宜根据运行速度进行水膜厚度验算或水滑速度验算。当验算不通过时,可通过几何线形改善、排水系统加强设计、增加安全标识提醒警示或采用排水路面等措施予以改善。

条文说明

在降雨条件下,路面会产生水膜,汽车行驶时轮胎与路面被水膜隔开,导致轮胎与路面间摩擦力减小或丧失的现象就称作是水滑或水滑现象 (Hydroplaning),此时运行速度称为临界水滑速度,对应的水膜厚度为临界水膜厚度。

影响水滑现象产生的因素众多:①行驶速度:水滑现象产生和行驶速度密切相关,行驶速度越高,可能产生水滑现象的水膜厚度越小;②路面状况与几何线形:构造深度、车辙、沉陷、平整度、材料渗透性等路面状况、纵坡与横坡坡度、路面宽度或者排水路径长度等几何线形,直接决定地表水的形成、流动与排散效率;③环境因素:降雨强度、历时、风速及温度,动态影响水膜的厚度分布与存续时间;④车辆参数:轮胎花纹深度与类型、轴重、胎压,决定了轮胎与路面间水力学作用的特性;⑤驾驶行为:紧急制动、急转向等操作会改变轮胎滑移状态,可能诱发或加剧水滑现象。

国内外学者对水滑现象进行了大量研究,在行驶速度较高 (>72km/h 或 45 mile/h) 的情况下,即使很薄的水膜厚度也可能产生水滑现象。由于水滑现象产生的影响因素众多,目前对不同速度下的临界水膜厚度或者不同水膜厚度下的临界水滑速度并无统一的标准。

由于水滑现象的产生和行驶速度高度相关,美国通常采用临界水滑速度进行验算。常用的验算模型包括 1979 年联邦公路局 FHWA 研究项目提出的 Gallaway 模型、1998 年国家合作公路研究计划 NCHRP 提出的 Anderson PAVDRN 模型、2012 年佛罗里达州交通厅研究项目提出的 USF 模型,其临界水滑速度计算公式分别如下:

(1) Gallaway 模型

$$v = S_D^{0.04} \cdot p_t^{0.3} \cdot (T_D + 1)^{0.06} \cdot A \quad (\text{式 } 5.2.4)$$

式中: v ——临界水滑速度 (mph)；

S_D ——速度下降的百分比(根据车辆分别在湿滑和干燥路面上的转速计算) (%)；

P_t ——轮胎胎压 (psi)；

T_D ——轮胎花纹深度 (in/32)；

$$A = \text{Max} \left(\frac{10.409}{WFT^{0.06}} + 3.507, \left[\frac{28.952}{WFT^{0.06}} - 7.817 \right] \cdot MTD^{0.14} \right)$$

WFT ——水膜厚度 (in) ;

MTD ——路面构造深度 (in) 。

(2) Anderson PAVDRN 模型

$$v = \begin{cases} 26.04 \cdot WFT^{-0.259}, & WFT < 2.4\text{mm} \\ 3.09 \cdot A, & WFT \geq 2.4\text{mm} \end{cases} \quad (\text{式 } 5.2.5)$$

式中: v ——临界水滑速度 (mph) ;

WFT ——水膜厚度 (in) ;

A ——取值与式 5.2.5 一致。

(3) USF 模型

$$v = WL^{0.2} \cdot p_t^{0.5} \cdot \left(\frac{0.82}{WFT^{0.06}} + 0.49 \right) \quad (\text{式 } 5.2.6)$$

式中: v ——临界水滑速度 (km/h) ;

WL ——车轮荷载 (N) ;

P_t ——轮胎胎压 (kPa) ;

WFT ——水膜厚度 (mm) 。

美国各州公路与运输工作者协会 (AASHTO) 《公路排水设计指南》(2007 年第四版) 中指出相对认可产生水滑现象的水膜厚度大致在 1.5mm-5mm 之间, 然而由于缺乏基于证据的分析支持, 该值仍有争议。同时在宽幅道路尤其是在暴雨条件下, 在考虑其他几何线形设计要求时, 在现实中不超过上述较薄的水膜厚度值是基本不可能的。

国外的路表水膜厚度通常不含路面构造深度, 国内罗京等认为路面水膜厚度应考虑构造深度, 其在《海南省暴雨气象条件下公路交通安全防治技术研究》项目研究成果提出水膜厚度验算判定标准如下表。

表 5.2.2 水膜厚度验算判定标准

水膜厚度范围 /mm	判定标准	对应措施
<2.5	一般值	可接受
2.5~3.2	对四车道及以下高速公路采用 2.5 mm 作为一般值	需考虑水膜影响
3.2~4.0	对四车道以上高速公路采用 3.2 mm 作为一般值	需考虑水膜影响
>4.0	极限值	需改善设计

在广东或华南等强降雨地区,在夏季台风期极易或普遍出现水膜厚度超过非常薄的临界水膜厚度的情况,而现实中出现水滑现象或者事故的比例或者概率似乎并没有预想中的高,考虑到前期研究主要通过室内试验、理论分析和数值模拟进行,广东省交通集团科技项目“广东省高速公路宽幅路面排水设计关键技术研究”课题中尝试依据广东省内28处滑水现场事故等数据分析提出了120km/h速度下临界路面水膜厚度(含路面构造深度)建议值为5mm。当水膜厚度大于该值时,意味着有较高的水滑事故风险,应引起特别关注并及时采取相应措施。

美国各州公路与运输工作者协会排水手册(AASHTO Drainage Manual 2014)中指出,“水滑现象影响因素较多,设计人员不能对所有影响水滑的因素进行控制”,“速度似乎是水滑现象发生的重要因素。因此,驾驶员有责任在潮湿条件下谨慎驾驶。”由于行车速度高更易产生水滑现象导致事故,而驾驶速度主要为驾驶人员责任,因此在雨天应加强驾驶员安全驾驶宣传,雨天降速行驶、增强责任和风险意识。

建议设计人员应结合具体路段的路面状况、环境特征、交通构成等情况,选用相应合适的水滑模型分析水膜厚度安全阈值或水滑速度验算,并采取合理可行的缓解改善措施。此外,在工程应用时,建议遵循以下原则:

(1) 特殊路段强化:对于长大纵坡、小半径弯道、超高过渡段、收费站广场等特殊路段,以及暴雨多发、易形成径流汇集的不利区段,可采用更为严格的控制标准,并辅以局部强化排水措施。

(2) 系统安全评价:在进行道路安全评价时,应结合具体路段的路面状况、几何线形、环境特征、交通构成及驾驶行为进行综合分析。必要时,应开展专门的水膜厚度监测与水滑风险评估,进行必要的标识警示。

(3) 主动排水理念:在道路设计与养护中,采用高排水性能的路面材料与结构形式,提升路面自身排散雨水的的能力,从而主动、有效地控制水膜厚度,从根本上降低水滑风险。

5.3横坡及超高

5.3.1 高速公路宽幅路面的标准横坡宜满足以下规定:

- 1 新建宽幅路面的标准横坡宜不小于2.5%。
- 2 改扩建路段的标准横坡宜与既有道路相同,且不小于2.0%;

条文说明

《公路路线设计规范》(JTG D20-2017)第 6.5.1 条文规定为：“位于中等强度降雨地区时，路拱坡度宜为 2%；位于降雨较大地区时，路拱坡度可适当增大”。根据《高速公路宽幅路面排水关键技术研究》课题分析发现，增大标准横坡值可以有效减少行车范围内各区域的水膜厚度值，且随着纵坡增大，降低水膜厚度值的效果越明显：当横坡由 1.5%提高到 2%时，水膜厚度可下降 9.4%；横坡由 2%提高到 2.5%，水膜厚度可下降 7.6%；横坡由 2.5%提高到 3%，水膜厚度可下降 6.1%。横坡增大可使路表水在一定宽度的道路上流经的距离减少，在行车范围内滞留时间减短，因此水膜厚度大大降低。美国《城市排水设计》(第四版)当同向三车道以上断面，建议逐车道增加横坡，每车道增加 0.5%-1%，总横坡不大于 4%。高强降雨区域，可适当增加横坡(如 2.5%)以提升排水效率。

一般路段横坡值对排水效率的影响最大，但对于高速公路改扩建工程来说，增大标准横坡值会施工复杂，增加工程量，同时施工保通方案复杂，故改扩建路段的横坡建议维持原有横坡不变。

5.3.2 高速公路新建宽幅路面的超高值不宜小于 2.5%；改扩建路段的超高值不宜小于 2.0%。

5.3.3 设置超高过渡段时，超高设计宜满足以下规定：

- 1 应充分考虑与原路的接顺、结构的设置等。

条文说明

既有公路超高值满足现行标准要求时，超高设计可按既有明式构造物的横坡进行控制。当超高过渡段中缓坡段过长时，宜分段设置超高渐变率。当超高过渡段长度大于老路缓和曲线长度时，可考虑将部分超高渐变段布设于直线或圆曲线上，但应对横向力系数进行验算，保证车辆行驶安全及舒适性。

- 2 可采用三次抛物线的超高渐变形式，其排水效果优于线性渐变。采用线性渐变时，超高渐变率最大值应满足《公路路线设计规范》(JTG D20-2017)的相关规定，最小值宜取超高渐变的上限值。

条文说明

在《高速公路宽幅路面排水关键技术研究》课题中仿真分析，对于采用三次抛物线超高渐变方式的路段，研究点位水膜厚度随纵坡、超高渐变率以及单向车道数取值改变的变化趋势与线性超高渐变路段基本一致，但变化程度有所不同，采用三次抛物线超高渐变方式更有利于排水；对于超高纵坡方向相同的工况，水膜厚度差异百分比 e 最大可达 5.79%；对于超高纵坡方向相反的工况，水膜厚度差异百分比最大可达 5.32%。

当超高渐变率较小时，三次抛物线渐变方式的排水效果优于线性渐变；当纵坡小于 1%时，采用线性渐变的排水效果优于三次抛物线渐变；当纵坡大于 1%时，采用三次抛物线渐变方式的排水效果优于线性渐变，且纵坡越接近 3%，优势越明显；不路幅宽度时，线性渐变方式与三次抛物线渐变的排水效果差异不大。

表 5.3.3-1 纵坡与附加纵坡方向相同的超高缓和段最小超高渐变率 p 取值表

(超高旋转轴位置位于边线)

设计速度 (km/h)		120		100		80	
单向车道数 (条)		4	5	4	5	4	5
纵坡 (%)	1	*	*	1/272~1/330	1/209~1/327	1/330	1/330
	2	*	*	1/330	1/330	1/330	1/330
	3	*	*	1/330	1/330	1/330	1/330
	4	*	*	1/330	1/330	1/330	1/330
	5	—	—	1/330	1/330	1/330	1/330
	6	—	—	—	—	1/330	1/330

注：表中“*”表示在该条件下，以《公路路线设计规范》(JTG/D20-2017) (以下简称《规范》) 中的要求对超高渐变率进行取值，均无法满足雨天道路行车安全需求。建议超高渐变率取《规范》最大值并参照本指南进行加强排水设计。

“—”表示该设计速度下，纵坡值已超出《规范》中的相关要求。

表 5.3.3-2 纵坡与附加纵坡方向相反的超高缓和段最小超高渐变率 p 取值表

(超高旋转轴位置位于边线)

设计速度 (km/h)		120		100		80	
单向车道数 (条)		4	5	4	5	4	5
纵坡 (%)	1	*	*	1/175~1/225	*	1/330	1/330
	2	*	*	1/249~1/330	1/175~1/257	1/330	1/330
	3	*	*	1/330	1/266~1/330	1/330	1/330
	4	*	*	1/330	1/330	1/330	1/330
	5	—	—	1/330	1/330	1/330	1/330
	6	—	—	—	—	1/330	1/330

注：表中“*”表示在该条件下，以《公路路线设计规范》(JTG/D20-2017) (以下简称《规范》) 中的要求对超高渐变率进行取值，均无法满足雨天道路行车安全需求。建议超高渐变率取《规范》建议的最大值并参照本指南进行加强排水设计。

“—”表示该设计速度下，纵坡值已超出《规范》中的相关要求。

5.3.4 对于高速公路宽幅路面养护工程，在凹形竖曲线底部、超高过渡段、缓坡段、局部超宽段（如立交分合流位置）及长下坡底部路段等特殊路段排水不良问题，路线几何指标可参考前述条文进行分析，需调整道路几何指标时，可采用以下措施：

- 1 调整道路标准横坡/最小超高横坡，按不小于 2.5%控制；
- 2 调整道路综合纵坡，按不小于 0.5%控制；
- 3 调整超高渐变率；
- 4 可结合本指南第 6 章对排水系统局部重构。

5.4 平纵组合设计

5.4.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程的平纵指标尽可能满足“平包竖”的总体设计要求，同时避免凹形竖曲线临界纵坡值为（-0.5%，0.5%）与超高值（-0.5%，0.5%）的组合。

条文说明

平包竖是指，为获得良好的道路空间线形，在进行平、纵线形组合时，使平曲线和竖曲线对应，最好使竖曲线的起终点分别放在平曲线的两个缓和曲线内。竖曲线上任一点的切线斜率即坡度简化计算如式 5.4.1-1 所示。

$$i_x = \frac{i_2 - i_1}{L} \cdot x + i_1 \quad (\text{式 5.4.1-1})$$

式中： i_x ——竖曲线任意点 x 位置的坡度（%）；

L ——竖曲线全长（m）；

x ——计算点到竖曲线起点的距离（m）；

i_1 ——竖曲线起点的坡度（%）；

i_2 ——竖曲线终点的坡度（%）。

当横坡一定时，路面排水主要受纵坡影响。当纵断面线形设计中出现凹形竖曲线时，可通过式 5.4.1-2 计算得到纵坡小于 0.5% 的路段长度。

$$L_z = 2 \times 0.5\% \times R_z = 0.01R_z \quad (\text{式 } 5.4.1-2)$$

式中： L_z ——纵坡小于 0.5% 的路段长度 (m)；

R_z ——竖曲线半径 (m)；

L_z 的值即为排水不良路段，设计时应结合附近地形地物、构造物等进行具体分析，可采用移动路脊法改善该处排水问题，必要时设置排水路面等。详见本指南第 6、7 章。

通过对竖曲线与超高渐变段部分重合的缓和曲线路段进行仿真计算，定量分析竖曲线变坡点与超高渐变段零坡点的距离（下文中简称为“零点轴距 L ”，如图 5.4.1 所示）对宽幅路面排水的影响。

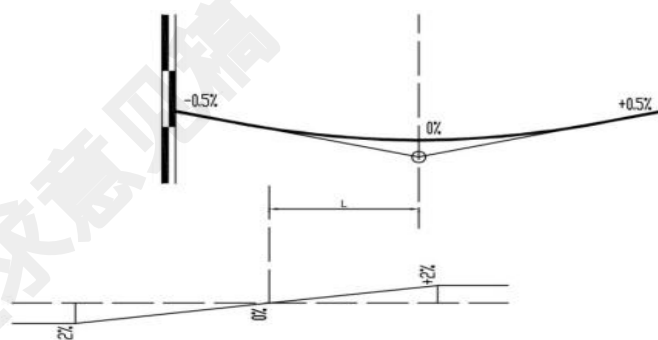


图 5.4.1 零点轴距 L 示意图

零点轴距 L 对超高缓坡段路表的排水能力影响较大，增大零点轴距 L ，使竖曲线小纵坡段与超高渐变段的小超高段尽可能远离，可以有效减少内侧行车范围的水膜厚度值，在单向路幅宽度越宽，提高零点轴距 L 对降低水膜厚度值的效果越好。

对于超高缓坡段，将零点轴距 L 由 0m 提高到 35m，在单向四、五、六、七车道下研究点位水膜厚度降幅分别可达原来的 3.0%、4.3%、6.2%、7.9%。可见零点轴距 L 越大，内侧行车道的排水效率更高，水膜厚度越小，并且在单向车道数越大的情况下，增大凹形竖曲线变坡点与超高渐变段零坡点的距离对减小研究点位水膜厚度越有利。

5.4.2 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，互通式立交分合流鼻端及变速车道不宜位于凹形竖曲线附近。无法避免必须设置在凹形竖曲线范围内时，应参考后续章节加强排水专项设计。

条文说明

在立交分合流范围内，由于设置辅助车道或变速车道，导致在改范围内主线路幅宽度大幅增加，部分可达七车道，汇水面积增大，排水路径长度大幅增加，雨水在路面的滞留时间变长，从而导致行车范围内出现过大的水膜厚度，影响行车安全。

6 排水设施设计

6.1 一般规定

6.1.1 高速公路宽幅路面和边部排水设计降雨重现期与《公路排水设计规范》（JTG/T D33）一致。

条文说明

设计降雨重现期《公路排水设计规范》（JTG/T D33）规定高速公路和一级公路为路面和路肩表面排水采用 5 年、路界内坡面排水采用 15 年；《广东省公路路基边坡防护及排水设计指南（试行）》（GDJT 002-01-2024）把路界内坡面排水的设计降雨重现期提高到 25 年，路面和边部排水仍维持 5 年。因此，本指南路面和路肩表面排水设计降雨重现期采用 5 年。

6.1.2 高速公路宽幅路面排水系统，在改扩建阶段宜结合水文水力、路面积水和水膜验算结果、在运营阶段宜结合雨天事故多发段情况，对现状排水设施的完好率、排水断面尺寸、管材老化程度、排水系统的连通性等进行综合评估后开展排水改善设计。

6.1.3 高速公路宽幅路面养护工程，对于极端天气、安全隐患突出、交通事故多发路段，宜采取适当的排水增强措施。

条文说明

（1）优化加大路面横坡，加快路面排水，并设置排水路面；（2）加密布设超高段路基横向排水管，适度加大排水管孔径，延长纵向排水沟；（3）路面增设缝隙式横向及纵向排水沟。

6.2 路面边部排水

6.2.1 密级配沥青路面边部排水

6.2.1.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，对于一般填方路段，路面边部排水宜采用集中排水形式；采用集中排水时，拦水带泄水口间距可按下列要求设置：

- a) 拦水带泄水口的间距应根据过水断面水面漫盖宽度的要求和泄水口的泄水能力计算确定。
- b) 对于单向三、四车道，拦水带泄水口的间距宜为 20-40m；对于单向五车道，泄水口的间距宜为 15-35m；单向车道数大于 5 的宽幅高速公路，泄水口间距可结合汇流量核算结果适当加密。

条文说明

对于广东省高速公路宽幅路面填方路段，假设出水口可以完全排水积水，路面表面水汇集在拦水带过水断面内而形成积水。根据水文与水力计算结果，得到路面过水断面参数随出水口间距的变化情况如表 6.2.1.1 所示。

表 6.2.1.1 过水断面参数随出水口间距的变化情况（5 年重现期）

出水口间距 l (m)	车道数	水面宽度 B_s (m)
60	单向四车道	3.01
50	单向四车道	2.81
40	单向四车道	2.58
30	单向四车道	2.32
20	单向四车道	1.99

经过理论计算可知，对于单向四车道，出水口间距 l 超过 50m 时，过水断面的水面均已浸入行车道，不符合排水要求；而当出水口间距 l 不超过 40m 时，单向四车道过水断面的水面不会浸入行车道。

根据《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）6.2.3 条，拦水带泄水口的间距宜为 25-50m；高速公路车道较多时，宜选用较小的泄水口间距。考虑到广东省降雨量大，宽幅路面汇水面积大，并结合目前改扩建工程实践，对于单向三、四车道，拦水带泄水口的间距宜为 20-40m。

6.2.1.2 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，当拦水带形成的过水断面不足时，可采用沿土路肩设置 U 型路肩边沟措施加大过水断面，如图 6.2.1.2 所示。

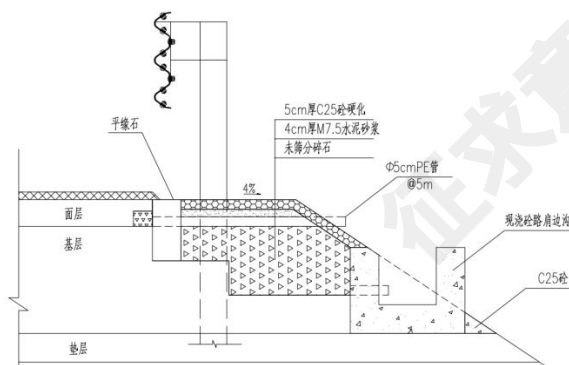


图 6.2.1.2 U 形路肩边沟示意图

6.2.1.3 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，对于路堤高度较低或者挖方路段，可采用分散排水形式，采用分散排水时，宜采用 2.0%~2.5% 的路面横坡，对土路肩采取硬化处理或植草防护，并对坡面设置急流槽等加固措施，引导水流汇入路基边沟。当路面汇水量大，设置集中排水会造成局部壅水，也可考虑采用分散排水与集中排水相结合的形式。

条文说明

低填和挖方路段，路面边缘宜设置平缘石，并对土路肩进行硬化处治，可参考示意图 6.2.1.3。

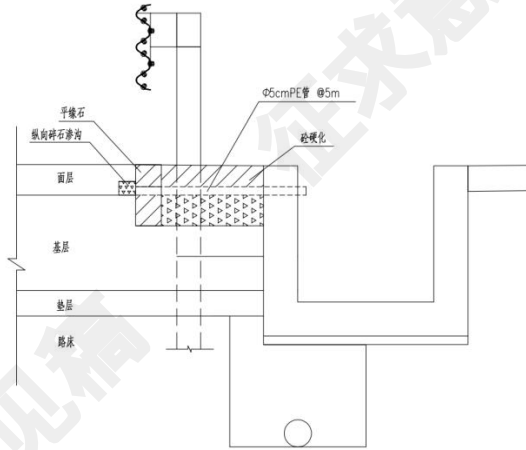
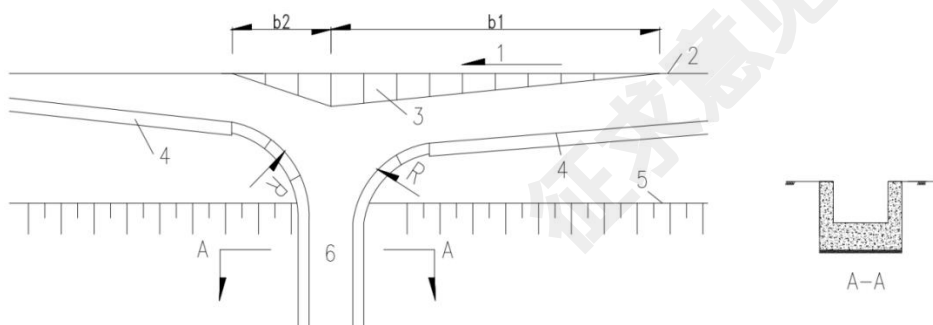


图 6.2.1.3 低填和挖方路段分散排水示意图

6.2.1.4 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，拦水带宜采用水泥混凝土预制拼装或现场浇筑施工；拦水带泄水口一般宜设置为对称喇叭口式，位于大纵坡路段的泄水口，宜采用非对称的喇叭口式，以适配高速汇流的水力特性，如图 6.2.1.4 所示。

条文说明

拦水带泄水口可做成对称式或非对称式的喇叭口。在平坡或缓坡坡段上，泄水口可做成对称式；较大纵坡的路段上，宜做成不对称的喇叭口，并在硬路肩边缘的外侧设置逐渐变宽的低凹区。



(1-水流流向；2-硬路肩边缘；3-低凹区；4-拦水带顶；5-路堤边坡坡顶；6-急流槽)

图 6.2.1.4 纵坡坡段上拦水带不对称泄水口平面布置示意（尺寸单位：cm）

对称式泄水口便于施工，但非对称式泄水口的泄水能力由于水流顺畅而优于对称式。水流通过泄水口水流状况为孔口流，为提高泄水口的泄水量，可在泄水口处设置低凹区。

6.2.1.5 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，路面与中央分隔带路缘石的接缝位置，以及路面边部 50cm

内碾压薄弱区域宜进行封水处理。封水材料可选用聚氨酯密封胶、乳化沥青基防水涂料等，封层厚度不宜不小于 2mm，确保阻断雨水下渗路径。

6.2.1.6 高速公路宽幅路面养护工程，路面表面排水不良的路段，可采用疏通堵塞、调整横坡、增设泄水口等方式改善排水通道，泄水口增设方式可参考 6.2.1.1 要求。

6.2.2 开级配沥青路面边部排水

6.2.2.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，设置排水沥青路面时，宜在土路肩内侧设置平缘石，平缘石顶面标高应与排水路面底部标高齐平，并在土路肩外侧设置纵向排水沟排除路面水。

条文说明

通过调研发现，佛开高速（南段）公路、开阳高速公路、广清高速公路、杭金衢高速公路、南钦防高速公路等部分双向八车道改扩建工程，表面层均采用了排水路面的形式。

6.3 中央分隔带排水

6.3.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，对于设混凝土防撞护栏的中央分隔带路段，可通过在两侧防撞护栏底部每 2m 分别预留一处直径为 40-50mm 泄水孔排除中央分隔带内部水。宜在两侧左侧路缘带内设置纵向排水沟，以快速排出中分带积水及部分车道路表水。

条文说明

通过调研发现，广韶、中江、开阳、茂湛、清花、深汕西高速公路改扩建工程中分带基本都采用了混凝土墙式护栏。广韶高速砂砾层底部向路侧纵向每隔 2m 设置一根 $\Phi 5\text{cm}$ PVC 泄水管，中江高速砂砾反虑层底部向路侧纵向每隔 2m 设置一根 $\Phi 4\text{cm}$ 泄水孔，茂湛高速砂砾层底部向路侧纵向每隔 4m 设置一 $\Phi 3\text{cm}$ 泄水孔，最终将中央分隔带下渗水引至路面排走。清花高速中央分隔带下渗水通过墙式护栏上每隔 2m 预留 $\Phi 2\text{cm}$ PVC 排水管引至路面排走。结合国内设混凝土防撞护栏的中央分隔带排水实践，参考示意图如图 6.3.1 所示。

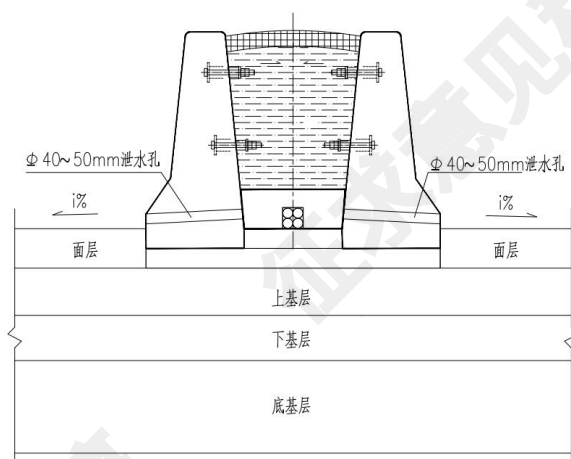


图 6.3.1 设混凝土防撞护栏的中央分隔带排水示意图

6.3.2 高速公路宽幅路面改扩建工程，在调查评估基础上，当原有排水设施满足排水要求时，宜利用原旧路中央分隔带排水设施。扩建前后均设波形梁护栏的中央分隔带路段，当原纵向排水盲沟有效且横向排水管排水能力满足时，可将原横向排水管按原横坡接长处理，接长段管材规格应与原管一致；横向排水管间距宜采用 30-50m，管材内径宜为 100~200mm，管材宜选用 PVC-U 或 HDPE 等耐腐蚀材料，如图 6.3.2 所示。否则，应重建中央分隔带排水系统。

条文说明

《公路沥青路面设计规范》（JTG D50-2006）10.0.6 条，中分带横向排水管间距为 40-80m，考虑到广东省降雨量大，并结合目前高速公路中分带横向排水管间距设置情况，横向排水管间距调整为 30-50m。

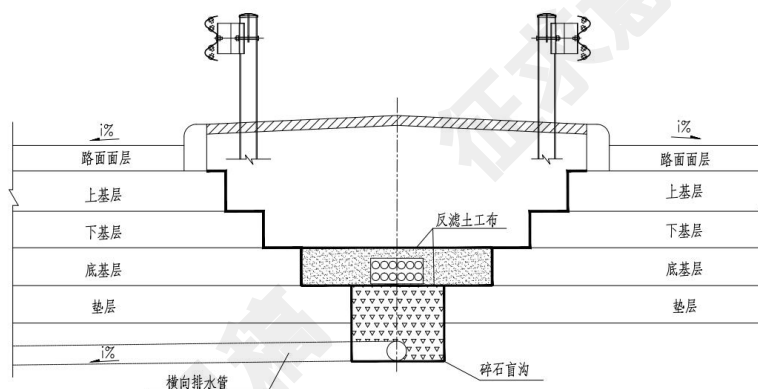


图 6.3.2 设波形梁护栏的中央分隔带排水示意图

6.3.3 高速公路宽幅路面养护工程，对中央分隔带排水能力不足或失效路段，应通过重做防水层，疏通堵塞，增设横向排水管和纵向排水沟等方式修复或改善排水通道。

6.4 特殊路段排水

6.4.1 超高路段排水

6.4.1.1 左侧路缘带宜设置带孔平盖板的矩形纵向排水沟，沟底宜与路线纵坡一致，且不宜小于 0.5%。纵向排水沟应沿排水方向延长 10-20m。

条文说明

《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）4.4.4 条，沟底宜与路线纵坡一致，且不宜小于 0.3%，考虑到广东省降雨量大，宽幅路面汇水面积大，将沟底纵坡限值提高到 0.5%。建议设置平盖板，主要是减少车辆误行较难回到路面情况。超高过渡段横坡为零点附近，存在较多的路面积水，因此，纵向排水沟应延长设置至过横坡零点 10-20m，降低路面积水风险。

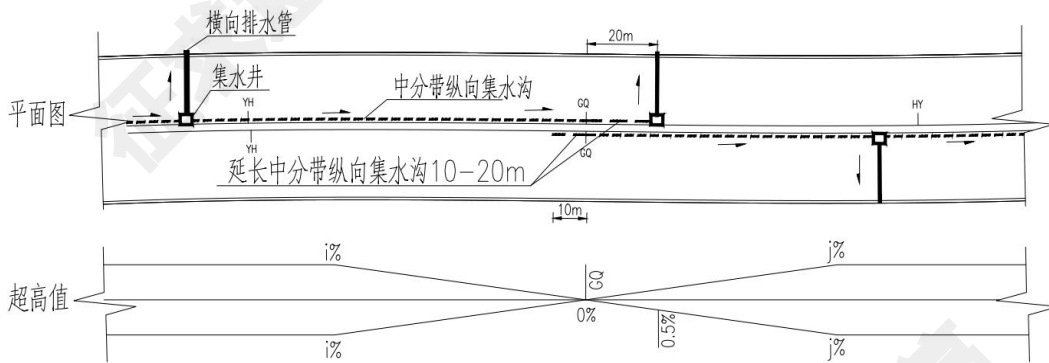


图 6.4.1.1 纵向排水沟加长示意图

6.4.1.2 超高段横向排水管内径不宜小于 500mm，管底纵坡不宜小于 0.5%。

条文说明

超高路段在横向排水管管径一定的情况下，随着横向排水管坡度的增大，出水口设置也相应的增大。随着近年来极端暴雨事件频繁发生，且运营一段时间后，排水设施会出现部分淤泥或垃圾堵塞的情况，故横向排水管和集水井的设置参数宜在理论分析的基础上适当保守。

对于改扩建工程，旧的横向排水管管径一般偏小且长期运营后，排水效果往往难以保证，本次推荐采用明挖重建横向排水管的处理措施。并考虑到设置管径大的横向排水管可以减小旧路面的横向开挖以及集水井的数量，本次推荐横向排水管管径（内径）设置为不低于 500mm。

6.4.1.3 集水井的形式、数量和间距应根据超高路段的外侧半幅路面汇水面积、流量及出水口的泄流能力通过水力、水文计算确定，并与横向排水管相连引至边坡的急流槽或暗管。横向排水管出口应接坡面并

做好防护，确保出水通畅。

6.4.1.4 高速公路宽幅路面改扩建工程，旧路基横向排水管应结合排水能力与结构完好性评估结果，对淤堵、破损或排水能力不满足改扩建后汇水需求的管材宜予以重构。对所有需重构、新增设或接长的横向排水管，均宜采用反开挖施工方法，施工时应分层回填夯实，回填土压实度不应低于路基对应层位的压实标准。

6.4.1.5 合成坡度较小的超高过渡段可结合路表水膜厚度验算，进行综合设计。

条文说明

根据《广东省高速公路宽幅路面防排水设计指南》研究报告结论，对于单坡超高渐变段，当超高渐变段的超高值在某一特定范围内时（ $-0.5\% \sim 0.5\%$ ），由于合成坡度较小，会产生较长的排水路径，路面水排出效率较低，在路表滞留时间较长，从而导致路面水膜厚度超过安全阈值。尤其对于高速公路宽幅路面改扩建工程，在路幅较宽，纵坡较小的情况下，如果沿用旧路标准的超高渐变率，会使得超高变化过缓，合成坡度较小的路段偏长，导致较长的排水路径长度，水膜厚度较高的现象更加严重。因此，建议合成坡度较小的超高过渡段应进行路表最大水膜厚度验算，并结合验算结果进行针对性的综合排水设计。

6.4.1.6 当路侧为挡土墙等构造物路段时，构造物应预留横向排水管的出口；预留出口的直径应大于横向排水管的管径，如图 6.4.1.6 所示。

条文说明

当路侧为挡土墙等构造物路段时，可参考以下挡土墙路段设置。

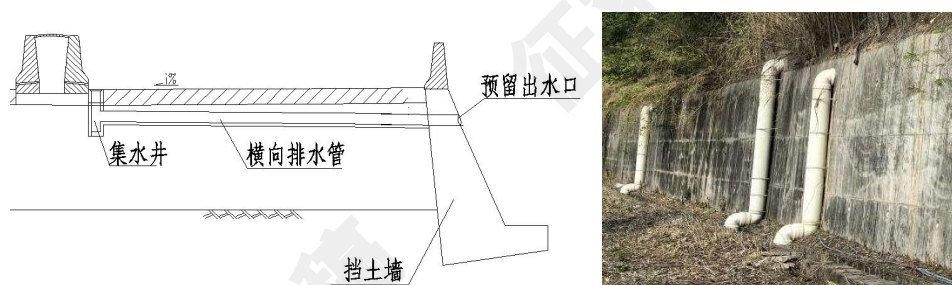


图 6.4.1.6 路侧挡土墙路段横向排水管设置示意图

6.4.2 凹形竖曲线路段排水

6.4.2.1 凹形竖曲线底部路段可结合路表水膜厚度验算，进行综合设计。

6.4.2.2 凹形竖曲线底部 $\pm 0.5\%$ 范围内，宜采用分散排水方式。采用分散排水时，宜在土路肩内侧边缘设置平缘石，并应对土路肩及坡面进行加固。

6.4.2.3 凹形竖曲线路段采用集中排水方式时，宜在底部设置拦水带泄水口。泄水口宜采用开口式泄水口，并设置对称式喇叭口。

条文说明

在凹形竖曲线底部，由于需要排出的水流量来自三个方向，即两个坡段上的剩余水量和其流域范围内铺面的水流量。采用集中排水方式时，路表水沿排水路径线流至硬路肩后并不会马上排出，而是沿着立缘石边缘继续往竖曲线底部流动，最后于排水口处流出。在上述过程中，不仅排水路径长度增加，且多条排水路径于硬路肩汇集，容易在立缘石附近形成较大的水膜厚度。因此对于凹形竖曲线底部应尽可能避免采用集中排水方式，在条件受限采用集中排水方式时，建议减小排水口间距或铺设排水路面，从而避免产生大水膜区域，降低雨天行车安全风险。

6.4.2.4 凹形竖曲线路段拦水带泄水口间距可根据泄水口的泄水能力、设计流量、上游泄水口溢流量及过水断面水面漫盖宽度的要求按《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）第9章计算确定。对于单向三、四车道，拦水带泄水口的间距宜加密为10-20m；对于单向五车道，泄水口的间距宜加密为8-20m；单向车道数大于5的宽幅高速公路，泄水口间距可适当加密。

6.4.2.5 高速公路宽幅面养护工程，对于汇水量较大需要快速排出路表水的凹形竖曲线底部路段，可采用分散排水的方式，具体可参考6.4.2.1~6.4.2.4相关要求；

6.4.3 长陡纵坡路段排水

6.4.3.1 长陡纵坡路段宜采用分散排水方式排除路面水。

6.4.3.2 长陡纵坡路段采用集中排水方式时，宜优先考虑采用格栅式泄水口，格栅式泄水口的布设间距可根据设计流量及截留要求按《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）第9章计算确定；

6.4.3.3 长陡纵坡路段条件受限，无法采用分散排水或格栅式泄水口时，可采用开口式泄水口。泄水口间距可根据设计流量和截留效率按《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）第9章计算确定，

条文说明

随着纵坡的增大，开口式泄水口的截留效率逐渐下降。根据相关研究，当纵坡较大时，截留效率将低至20%~30%，开口式泄水口排水能力较弱，由纵坡段上泄水口溢流的水会沿着路肩逐渐汇集至路面

低点，当纵坡较长时，汇水量较大，容易在凹形竖曲线底部形成积水，影响行车安全。因此，有条件时建议在纵坡段上采用分散排水方式。采用集中排水方式时，格栅式泄水口相对开口式排水口具有更大的排水效率，因此，长陡纵坡段采用集中排水方式时，推荐优先考虑采用格栅式排水口。

6.4.3.4 长陡纵坡路段采用集中排水方式时，可根据泄水口的截留效率，计算纵坡段上的溢流量，对与之相邻的凹形竖曲线底部泄水口进行加密。拦水带泄水口的间距宜加密至 10-20m，并在凹形竖曲线底部以及前后 2-4m 处各设置一个泄水口。

条文说明

根据相关文献研究，纵坡段上泄水口截留率无法达到 100%，且随着纵坡的增大，泄水口的截留率逐渐下降。因此，对于长陡纵坡路段，存在部分纵坡段上路面水溢流汇集至凹形竖曲线底部，导致凹形竖曲线底部汇水量较大。因此，对于长陡纵坡路段的凹形竖曲线底部，应对泄水口进行加密。

6.4.3.5 高速公路宽幅路面长陡坡底部纵坡为 0%处可增设 1 道横向缝隙式排水沟，缩短排水路径长度，提高排水效率，如图 6.4.3.5 所示。

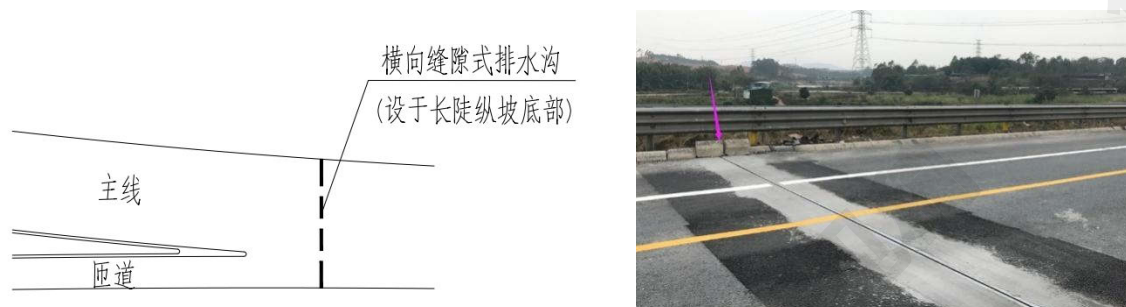


图 6.4.3.5 长陡纵坡路段底部设置横向排水示意图

6.4.4 立交分合流超宽路面路段排水

6.4.4.1 立交分合流局部超宽段，宜在分合流鼻端增设纵横向截排水设施（推荐采用缝隙式排水沟），以缩短排水路径、减小汇水面积，提升排水效果，如图 6.4.4.1 所示。

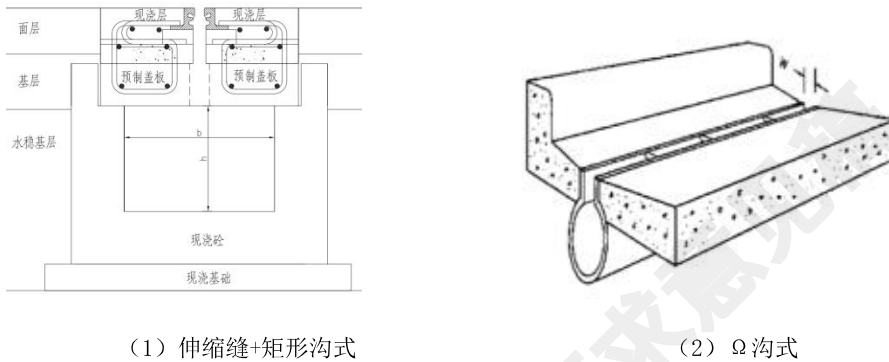


图 6.4.4.1 立交分合流段 设置纵向排水示意图

6.4.4.2 分合流鼻端设置的纵向缝隙式排水沟应间隔设置集水井并通过横向排水管连接至路基排水系统，集水井、横向排水管间距可根据路面汇水面积、流量及出水口的泄流能力通过水力、水文计算确定，如图 6.4.4.2 所示。

条文说明

通过调研发现，清花高速公路、广韶高速公路等改扩建工程在互通立交分合流鼻端且合成坡度较小路段，在三角带设置纵向缝隙式排水沟；汕梅高速、中江高速公路等在互通立交分合流鼻端超宽路段，在三角带范围内设置带孔盖板式矩形混凝土集水沟用于排水。



(1) 伸缩缝+矩形沟式

(2) Ω沟式

图 6.4.4.2 缝隙式排水暗沟 示意图

6.5 构造物路段排水

6.5.1 桥梁路段排水

6.5.1.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，桥面水通过横坡和纵坡排入泄水口，并汇集到纵向排水管排出。宜采用竖向泄水口[图 6.5.1.1]，泄水口直径对于单向三、四车道宜不小于 15cm，单向五车道宜不小于 20cm，泄水口间距均宜不小于 3m。在桥梁伸缩缝的上游方向、桥面凹形竖曲线底部以及前后 2-4m 处各增设一个泄水口。

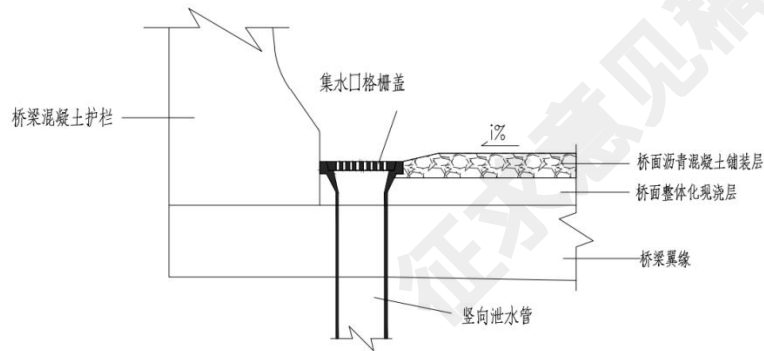


图 6.5.1.1 桥梁竖向泄水口

条文说明

理论计算表明，对于单向四~五车道高速公路桥面，不同竖向泄水管管内径和泄水口间距之间的数值对应关系如表 6.5.1.1 所示。

表 6.5.1.1 桥面泄水口标准间距表

车道类型	泄水管管内径 (cm)	泄水口标准间距 (m)	凹曲线底部加密 (m)
单向四车道	15	5	2
	20	6	3
	25	8	4
	30	9	5
单向五车道	15	4	2
	20	5	3
	25	6	3
	30	8	4

6.5.1.2 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，汇水量较大的桥面区域，可采用矩形格栅式泄水口[图 6.5.1.2]与竖向泄水管组合的形式，加大桥面截水断面尺寸。组合式泄水口设置间距应根据设计流量和泄水口的泄水能力按《公路排水设计规范》(JTG/T D33-2012)第 9 章计算确定。

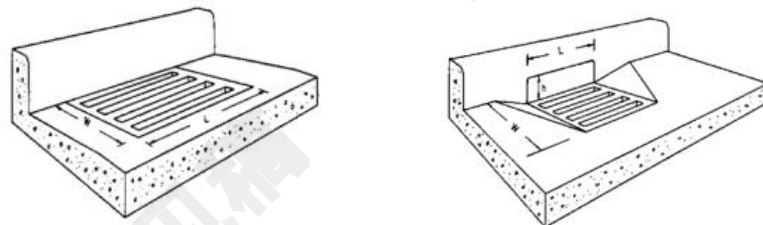


图 6.5.1.2 矩形格栅式泄水口

6.5.1.3 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，为排除桥面铺装结构内部积水，可在铺装边缘设置渗沟[图 6.5.1.3]，渗沟与泄水口相接，渗沟宜采用洁净、单一粒径碎石或大孔隙水泥混凝土；为快速排出桥面

表面以及铺装结构内部积水，也可采用边部明沟排水，明沟宽度宜为 10-15cm。

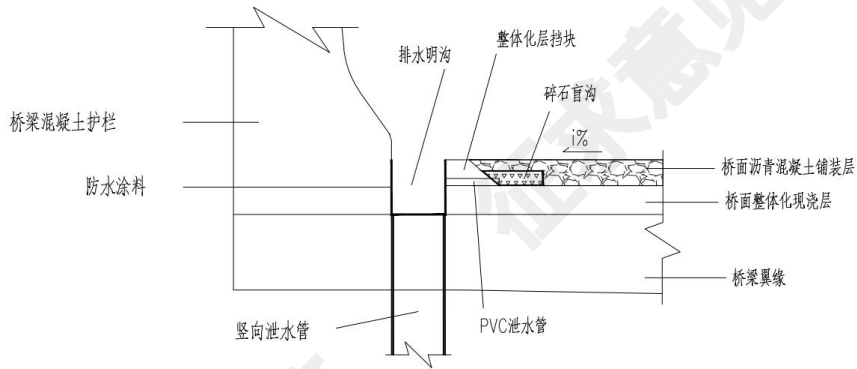


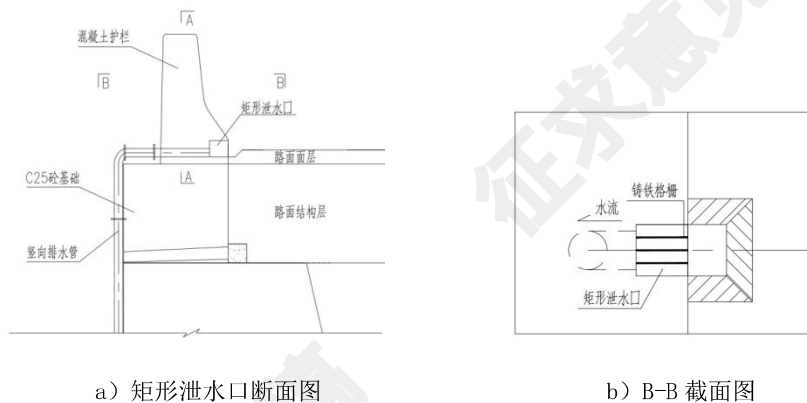
图 6.5.1.3 桥面铺装边缘排水明沟

6.5.1.4 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，桥面位于超高段时，内侧车道边缘处宜设置纵向明沟排水，明沟宽度宜为 10-15cm。

6.5.1.5 高速公路宽幅路面养护工程，对于桥面边缘排水不良的路段，为快速排出桥面表面以及铺装结构内部积水，可采用边部明沟排水，明沟宽度宜 10-15cm。

6.5.2 挡墙路段排水

6.5.2.1 高速公路宽幅路面新建、改扩建工程，路侧设置混凝土护栏的路段，可在混凝土护栏底部设置泄水口。泄水口宜采用矩形泄水口，尺寸不小于 20×15cm，间距不宜大于 5m；汇水面积大时，可采用路面边部明沟排水，明沟宽度宜为 10~15cm。



a) 矩形泄水口断面图

b) B-B 截面图

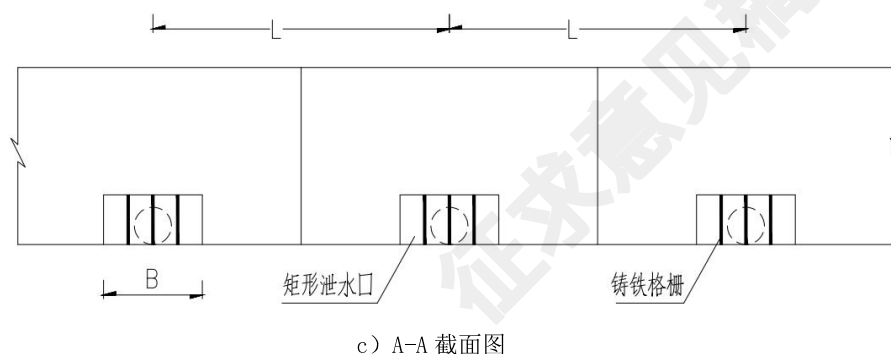


图 6.5.2.1 混凝土护栏矩形泄水口示意图

6.5.2.2 高速公路宽幅路面养护工程，挡墙段排水可参考上述条文相关要求。

6.6 路面内部排水

6.6.1 高速公路宽幅路面新建工程，路面边缘排水应结合当地经验设计，可用碎石、砂砾等透水性材料填筑路肩，并与横向出水管、过滤织物（土工布）组成排水系统。

6.6.2 高速公路宽幅路面新建工程，地下水丰富的低填和挖方路段的路基顶面宜设置排水垫层，同时需考虑在排水垫层边缘加强边部排水。排水垫层可采用级配碎石，厚度不宜小于 15cm。

条文说明

路面内部排水，其它未特殊说明的事项，可参照《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）进行设计。

6.6.3 高速公路宽幅路面改扩建工程，宜对现状路面边缘、排水基层和垫层等排水系统进行详细调查，结合水文及地质情况，验算、评估现状排水设施的排水能力是否满足扩建后排水要求。对现状排水不良路段，分析原因并针对性进行排水设计。

6.6.4 高速公路宽幅路面改扩建工程，旧路基层采用排水基层时，加宽部位宜采用相同厚度、相同材料的排水基层形式。基层材料可采用沥青处治碎石、水泥处治碎石或者级配碎石等。

6.6.5 高速公路宽幅路面养护工程，路面结构内部排水不良的路段，应完善结构内部排水系统，可采用增设排水盲沟、铺设排水基层或垫层、设置 SBS 改性沥青或橡胶沥青碎石封层及相应功能层等措施。

7 排水沥青路面设计及施工

7.1 结构设计

7.1.1 对于多车道宽幅高速公路的特殊路段宜设置排水功能层。

条文说明

对于高速公路宽幅沥青路面，由于路幅宽度变宽，排水路径变长，强降雨情况下超高过渡段、凹形竖曲线底部、局部超宽段（立交分合流）等特殊路段容易形成路表面积水，为提高雨天行车安全性，在施工图设计阶段应进行排水专项设计。

7.1.2 排水沥青路面结构由排水功能层、防水黏结层、下承层、基层以及必要的功能层组成。下承层应密实、防水，且具有较强的抗车辙和抗水损害性能。

条文说明

排水沥青路面结构层次与常规密级配沥青路面基本相同，不同之处在于表层为多空隙的沥青混合料，导致其与下承层表面的接触面积比减小，为防止雨水下渗及增强排水功能层与下承层之间的黏结强度，在排水功能层与下承层之间应设置防水黏结层。另外，下承层具备较高的抗车辙能力且具有较好的防水能力。

7.1.3 排水功能层分为单层和双层结构。对路面排水能力需求一般的路段，宜采用单层；对路面排水能力需求较高的路段，可采用双层。排水功能层厚度及混合料类型应满足以下规定：

- 1 单层排水功能层厚度宜为 20~50mm，分为薄层（20~30mm）和普通单层（40~50mm）。混合料类型宜采用 PA-10 或 HET-P 或 PA-13 等。
- 2 双层排水功能层上层厚度宜为 20~40mm，下层厚度宜为 35~60mm，上层混合料类型宜为 PA-10 或 HET-P 或 PA-13，下层宜为 PA-16 或 PA-20。

条文说明

目前省内应用的排水沥青混合料主要有薄层和普通单层两种。薄层来源于美国的开级配磨耗层（Open Graded Friction Course，简称 OGFC），设计空隙率一般为 12%~15%，厚度一般为 19~25mm，最大公称粒径为 9.5mm，其主要通过良好的抗滑性能提高路面行驶安全性，而不具备充分的排水性能，仅作为路表磨耗层；随后，广东逐渐应用了 NovaChip 超薄磨耗层、UHPP 超高性能排水磨耗层、HET-P

排水降噪型高性能抗滑薄层等。NovaChip 超薄磨耗层设计空隙率一般为 12%~18%，厚度一般为 20mm；UHPP 超高性能排水磨耗层设计空隙率为 20%左右，厚度一般为 20mm；HET-P（High performance economical thin layer-Porous asphalt, 简称 HET-P）排水降噪型高性能抗滑薄层设计空隙率一般为 18%~22%，厚度一般为 20~30mm。普通单层则主要来源于欧洲的多空隙沥青混凝土（Porous asphalt，简称 PA），空隙率一般为 18%~25%，厚度一般为 40~50mm。鉴于省内高速公路沥青上面层的厚度通常为 40mm，因此工程实践中的排水功能层厚度也一般为 40mm，结构型式以 PA-13 为主。同时，为便于混合料压实，压实厚度一般不宜小于集料公称最大粒径的 2~2.5 倍。

对于排水需求量小、排水路径短等路段，普遍采用厚度为 20~50mm 的单层排水沥青路面；对于排水量大、排水路径较长等路段，可考虑设置 55~100mm 的双层排水沥青路面，双层排水沥青路面上层（小粒径排水沥青混合料）与下层（大粒径排水沥青混合料）常用组合型式主要为 PA-10 或 HET-P/PA-16 及 PA-13/PA-20。宽幅排水沥青路面常见结构形式如图 7.1.3-1 及图 7.1.3-2：

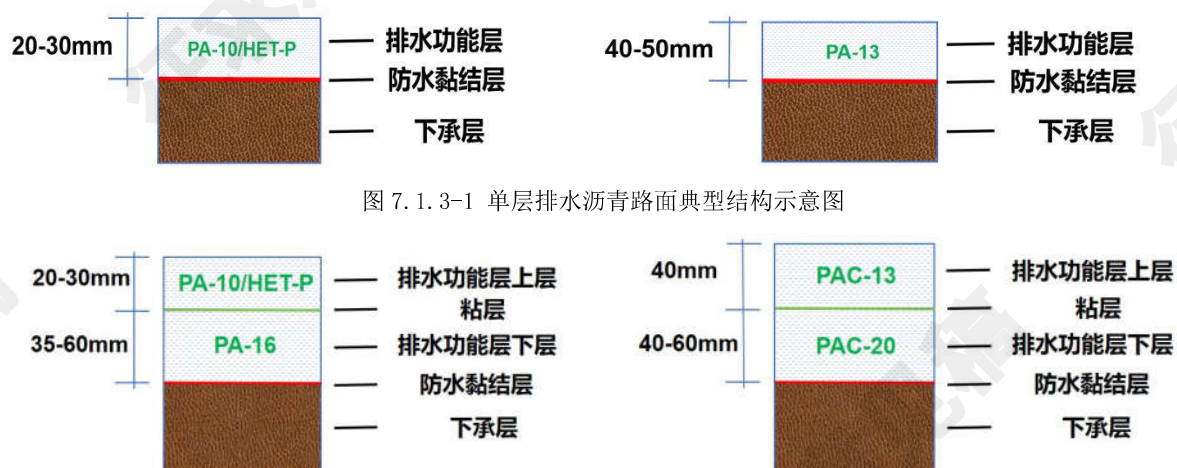


图 7.1.3-1 单层排水沥青路面典型结构示意图



图 7.1.3-2 双层排水沥青路面典型结构示意图

7.1.4 排水功能层厚度应根据项目所在地的降雨强度、路面横坡、纵坡及排水径流长度等因素综合确定，并根据公称最大粒径选择合适的混合料类型。

条文说明

排水功能层的设计是影响排水沥青路面排水性能的关键。不同的空隙率、排水层厚度、横坡、纵坡及排水径流长度等直接决定着其排水性能的大小。相关研究表明，排水沥青路面的空隙率、排水层厚度、路面横坡及纵坡与排水沥青路面的排水能力成正相关，排水径流长度与排水沥青路面的排水能力成负相关。因此，在设计排水功能层时，应综合考虑项目所在地的降雨强度、路面横坡、纵坡及排水径流长度等因素。

7.1.5 对于宽幅高速公路养护工程设置排水功能层时，应满足以下规定：

- 1 对于桥面或隧道等荷载、净空受限路段或预防性养护工程项目加铺排水功能层时，宜采用20~30mm的PA-10或HET-P等薄层排水沥青混合料。

条文说明

桥面段和隧道段一般采用与路基段相同的上（4cmSMA-13）、中（6cmGAC-20）路面结构。采用密级配的沥青路面结构时，一是难以满足桥面、隧道等路段对荷载、净空等要求；二是强降雨情况下，隧道仰坡地表水流至路面，且隧道口路缘侧及中分带侧设置了防撞墩，极大地降低了路面排水能力，从而容易在路表形成积水，给行车安全带来巨大隐患。

为解决上述问题，可在该处铺设20~30mm的PA-10或HET-P等薄层排水沥青混合料，一是既可以满足荷载、净空的要求，提供良好的路用性能；二是可起到较好的排水效果。

- 2 对于功能性修复工程项目，可采用加铺排水功能层或铣刨上面层再铺筑排水功能层的结构型式。
- 3 对于结构性修复工程项目，应在既有路面面层或基层病害处治后，加铺排水功能层或铣刨上面层再铺筑排水功能层。

7.1.6 设置排水功能层的沥青路面结构应满足以下规定：

- 1 排水功能层与下承层之间应设置防水黏结层，防水黏结层应具有较好的防水和层间黏结性能。

2 防水黏结层宜采用高黏改性乳化沥青或“高黏改性乳化沥青+不黏轮黏结剂”或“热洒改性沥青+预拌碎石”。高黏改性乳化沥青洒布量为 $0.8\sim 1.2\text{kg}/\text{m}^2$ ，不黏轮黏结剂喷洒量在 $0.2\sim 0.4\text{kg}/\text{m}^2$ ；热洒改性沥青洒布量宜为 $1.3\sim 1.6\text{kg}/\text{m}^2$ ，预拌碎石采用同母岩材料，规格为5~10mm，且小于0.075mm颗粒含量不大于0.8%，沥青用量宜为0.2%~0.5%，碎石覆盖率宜为60%~80%（以不粘轮为度）。

- 3 下承层的横坡、纵坡及合成坡度等几何线形参数应满足设计要求。

条文说明

排水沥青路面结构设计采用“上透、下排”原理，即雨水进入大空隙的排水沥青路面后迅速下渗，由下承层表面横向排出路基，进入边沟。为保证排水沥青路面排水顺畅，排水沥青路面施工前，宜采用三维激光动态精密测量系统对下承层的横坡、纵坡及合成坡度等几何线形参数进行检测，确保施工满足设计要求。

4 排水沥青路面基层类型为无机结合料稳定类基层或在复合式路面加铺时，应采取减少基层收缩开裂和路面反射裂缝的技术措施。

条文说明

目前，高速公路路面结构类型主要为半刚性基层沥青路面、组合式沥青路面及复合式沥青路面。当排水沥青路面采用半刚性基层时，由于无机结合料稳定类基层容易产生横向开裂及反射裂缝，施工时可通过采用骨架密实结构的水泥稳定级配碎石、控制水泥剂量上限、合理的养生工艺减少裂缝的发生，必要时在无机结合料稳定类基层上设置沥青碎石层、应力吸收层等措施减少对面层开裂的影响。当排水沥青路面设置于复合式沥青路面时，宜在沥青层与水泥混凝土层之间设置应力吸收层。

7.2 材料

7.2.1 排水沥青路面应采用高黏度改性沥青，其质量应符合表 7.2.1 的技术要求。

表 7.2.1 高黏度改性沥青技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		薄层	普通单层	
针入度（25℃，100g，5s），不小于	0.1mm	40	40	T 0604
软化点（TR&B），不小于	℃	90	80	T 0606
延度（5℃，5cm/s），不小于	cm	30	30	T 0605
动力粘度（60℃），不小于	Pa·s	300000	200000	T 0620
运动粘度（150℃），不大于	Pa·s	3.0	3.0	T 0625
弹性恢复（25℃），不小于	%	95	95	T 0662
闪点，不小于	℃	230	230	T 0611
黏韧性，不小于	N·m	25	25	T 0624
韧性，不小于	N·m	20	20	T 0624
RTFOT 后残留物				
针入度比（25℃），不小于	%	75	65	T 0604

延度 (5°C, 5cm/s), 不小于	cm	15	20	T 0605
动态剪切 $G^*/\sin\delta$, 82°C 不小于	kPa	2.20	/	T 0628
PAV 老化残留沥青 (100°C, 20h)				
动态剪切 $G^* \cdot \sin\delta$, 31°C 不大于	kPa	5000	/	T 0628
蠕变 m 值 -6°C, 不小于	-	0.3	/	T 0627
蠕变劲度模量-6°C, 不大于	MPa	300	/	T 0627

条文说明

本条针对排水沥青路面用高黏度改性沥青,按“薄层”与“普通单层”两种应用场景分别规定了不同的技术指标,其差异主要体现在软化点、动力粘度、针入度比及延度四项关键参数上。其中,薄层排水沥青路面因沥青层厚度较薄,对高温稳定性和黏结强度要求更高,因此其软化点(不小于90°C)和动力粘度(不小于300000Pa·s)均高于普通单层(分别不小于80°C和200000Pa·s),以增强沥青在薄层条件下的抗流动变形能力和与集料的握裹力;同时,薄层结构对沥青的抗老化性能要求更为严苛,故其RTFOT后的针入度比(不小于75%)显著高于普通单层(不小于65%),确保在更严苛的服役环境下仍能保持较好的柔韧性与耐久性;而在低温延度方面,薄层虽同样要求不小于30cm,但其RTFOT后的延度要求(不小于15cm)略低于普通单层(不小于20cm),这主要是由于薄层沥青更侧重于高温性能和抗老化能力,在低温延性上适度放宽,以平衡整体性能要求,适应其特定的结构厚度与受力特征。

7.2.2 粗集料应选用耐磨耗性能好、与沥青黏附性能好的辉绿岩、玄武岩、变质砂岩、闪长岩等硬质石料,其质量和规格应符合表7.2.2-1及7.2.2-2要求。

表 7.2.2-1 粗集料质量技术要求

试验项目	单位	技术要求	测试方法
压碎值, 不大于	%	18	T 0316
高温压碎值, 不大于	%	20	T 0316
洛杉矶磨耗损失, 不大于	%	20	T 0317
表观相对密度, 不小于	-	2.70	T 0304
吸水率, 不大于	%	1.0	T 0304
坚固性, 不大于	%	12	T 0314
与沥青的粘附性, 不小于	级	5	T 0616
针片状颗粒含量 (4.75~9.5mm), 不大于	%	12	T 0321
水洗法 <0.075mm 颗粒含量, 不大于	%	0.8	T 0310

软石含量, 不大于	%	1.0	T 0320
磨光值 PSV, 不小于	-	42	T 0321

条文说明

本条对排水沥青路面用粗集料的技术指标作出了规定, 其指标严于普通沥青路面的规范要求, 主要源于排水沥青混合料独特的骨架空隙结构及其对集料品质的更高依赖性。与密级配沥青混合料不同, 排水沥青路面依靠单一粒径碎石形成的“石对石”骨架嵌挤结构来承受荷载, 粗集料之间为点接触, 缺乏细集料和沥青胶浆的有效填充支撑, 这使得集料颗粒自身的强度、耐磨性及形状特征直接决定了混合料的结构稳定性与耐久性。因此, 本条将粗集料压碎值严格控制在 18%以内、洛杉矶磨耗损失控制在 20%以内, 并规定针片状颗粒含量不超过 12%, 均比常规沥青路面指标更为严格, 目的是确保粗集料在无细料充分支撑的条件下, 仍能承受车辆荷载的反复作用而不发生破碎或棱角磨损, 从而维持骨架结构的稳定。同时, 考虑到排水沥青路面以保障雨天行车安全为核心功能, 本条对集料磨光值提出了不小于 42 的较高要求, 并规定与沥青粘附性达到 5 级, 这是因为在开级配条件下, 集料表面直接暴露于轮胎摩擦和环境侵蚀, 只有具备优良的抗磨光能力和粘附性能, 才能长期保持路面的微观纹理和抗滑能力。此外, 表观相对密度不低于 2.70、吸水率不大于 1.0%等要求, 也是为了优选质地致密、孔隙率低的高品质石料, 以增强集料与沥青的界面粘结强度, 从而提升排水沥青路面的水稳定性和整体服役寿命。

表 7.2.2-2 粗集料规格技术要求

集料规格 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
11~22	100	90~100	55~75	25~45	0~10	0~3	-	-
11~18	100	100	90~100	50~70	0~10	0~3	-	-
11~15	100	100	100	90~100	0~15	0~3	-	-
6~11	100	100	100	100	85~100	0~10	0~5	< 1

7.2.3 细集料应采用岩浆岩中的强基性岩石经制砂机 100%破碎加工而成的机制砂, 应洁净无杂质, 与沥青有良好的黏结能力, 其质量和规格应符合表 7.2.3-1、表 7.2.3-2 中的规定。

表 7.2.3-1 细集料质量技术要求

试验项目	单位	技术要求	测试方法
母岩抗压强度, 不小于	MPa	60	T 0221

表观相对密度，不小于	-	2.7	T 0328
坚固性 (>0.3mm 部分)，不大于	%	3	T 0340
砂当量，不小于	%	65	T 0334
亚甲蓝值，不大于	g/kg	2.5	T 0349
棱角性，不小于	s	30	T 0345

条文说明

本条对排水沥青路面用细集料的技术指标作出了规定，其指标严于《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)及《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03-2020)中的常规要求，主要源于排水沥青混合料独特的大空隙骨架结构对细集料品质提出了更高标准。与普通沥青混合料不同，排水沥青路面以粗集料嵌挤形成主体骨架，细集料虽用量较少，但其品质直接影响混合料的施工和易性、沥青胶浆的黏结强度及空隙结构的稳定性。因此，本条将母岩抗压强度提高至不小于 60MPa、表观相对密度提升至不小于 2.7，旨在优选高强致密的石料，确保细集料在开级配条件下仍具备足够的承载能力和耐久性；将坚固性 (>0.3mm 部分) 严格控制在 3%以内，远高于常规规范的限值，以防止细集料在交通荷载反复作用下发生破碎而导致结构松散；砂当量不小于 65%、亚甲蓝值不大于 2.5g/kg 的要求，则是为了严格控制细集料中黏土质和 0.075mm 以下粉料含量，避免细粉过多堵塞排水空隙、影响沥青与集料的黏附性；棱角性不小于 30 的要求，保证了细集料具有足够的颗粒棱角以增强骨架内聚力，弥补细料不足带来的结构稳定性损失。这些更为严格的指标设置，共同确保了排水沥青混合料在保持高孔隙率排水功能的同时，仍具有足够的施工性能和长期耐久性能。

表 7.2.3-2 细集料规格技术要求

集料规格(mm)	筛孔 (mm)						
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0~3	100	80~100	55~80	25~60	8~45	0~25	0~12

7.2.4 纤维宜采用木质素纤维或聚酯纤维。对于薄层排水沥青混合料，宜采用木质素纤维，其掺量为混合料质量的 0.2%~0.5%；对于普通单层排水沥青混合料，宜采用聚酯纤维，其掺量为混合料质量的 0.1%~0.2%。木质素纤维质量应满足 JT/T 533-2020 相关规定，聚酯纤维质量应符合表 7.2.4-1 的要求。

表 7.2.4-1 聚酯纤维质量技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
耐热性 (210℃, 2h)	/	体积、颜色无明显变化	JT/T534

断裂强度，不小于	MPa	500	GB/T 3916
断裂伸长率，不小于	%	15	GB/T 3916
长度	mm	9±1	GB/T 14436
直径	μm	15±5	GB/T 10685
密度	g/cm ³	1.360±0.050	JT/T533-2020
卷曲纤维含量，不大于	%	3	JT/T533-2020
熔点，不小于	%	240	GB/T 16582

条文说明

本条对排水沥青路面用聚酯纤维的质量技术要求作出了规定，其指标在断裂强度、断裂伸长率等关键参数上与《沥青路面用纤维》(JT/T 533)及《排水沥青路面设计与施工技术规范》(JTG/T 3350-03-2020)中的常规要求存在差异，这主要源于排水沥青混合料独特的大空隙骨架结构对纤维增强功能提出的更高要求。与密级配沥青混合料（如 AC、SMA）不同，排水沥青路面因孔隙率大（通常 18%~22%）、粗集料间以点接触形成骨架，缺乏细料的充分支撑，使得混合料在车辆荷载反复作用下更易产生飞散、开裂等早期损坏，因此对纤维的增强增韧作用要求更为苛刻。本条文将聚酯纤维的断裂强度提高至不小于 500MPa（常规规范多为≥450MPa），旨在增强纤维在开级配混合料中的加筋效果，更有效地抵抗交通荷载产生的拉应力和剪应力，防止粗集料从骨架中脱落；同时将断裂伸长率提升至不小于 15%（常规规范多为≥20%的放宽要求或相当），这一看似“降低”的调整实际上是基于排水沥青混合料对纤维“高强度、适度模量”的平衡需求——过高的伸长率可能导致纤维在高温重载条件下变形过大，无法有效约束骨架变形，而适中的断裂伸长率配合更高的断裂强度，可更好地兼顾混合料的高温抗车辙能力与低温抗裂性能。此外，熔点不小于 240℃的要求确保了纤维在沥青混合料高达 170~190℃的拌和温度下不发生熔融变形，维持其三维空间网状结构的稳定性。这些指标的差异化设置，共同保障了聚酯纤维在排水沥青路面这一特殊结构类型中能够充分发挥加筋、增韧、抗飞散的核心功能，从而延长路面的服役寿命。

7.2.5 高黏改性乳化沥青技术指标应符合表 7.2.5-1 的规定；不黏轮黏结剂技术指标要求应符合表 7.2.5-2 的规定。

表 7.2.5-1 高黏改性乳化沥青技术指标要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
破乳速度	-	快裂	T 0658
离子电荷	-	阳离子	T 0653

筛上剩余量 (1.18mm)，不大于		%	0.1	T 0652
标准黏度 C25, 3		s	12~60	T 0625
储藏稳定性试验，1d，不大于		%	1	T 0655
储藏稳定性试验，5d，不大于		%	5	T 0655
与矿料的黏附性，不小于		裹覆面积	2/3	T 0654
蒸发残留物	固含量，不小于	%	60	T 0651
	动力黏度 (60℃)，不小于	Pa·s	30000	T 0620
	溶解度，不小于	%	97.5	T 0607
	针入度 (25℃)	0.1mm	40~80	T 0604
	延度 (5℃)，不小于	cm	20	T 0605
	弹性恢复 (25℃)	%	85	T 0662
	软化点，不小于	℃	65	T 0606

条文说明

本条对排水沥青路面用高黏改性乳化沥青的技术要求作出了规定，其指标在软化点、60℃动力黏度、弹性恢复、固含量及蒸发残留物针入度等方面均严于《排水沥青路面设计与施工技术规范》（JTG/T 3350-03-2020）中的常规要求，这主要是针对广东省高温、多雨、重载的特殊气候与交通条件进行的针对性强化。广东省地处亚热带，夏季高温持续时间长、极端温度高，且台风季暴雨频繁，路面长期处于高温与水损害双重耦合的恶劣服役环境中，同时珠三角地区交通流量大、重载车辆比例高，对层间粘结材料的抗高温变形能力、粘结强度及耐久性提出了更高要求。研究表明，改性乳化沥青的软化点与60℃时的剪切强度呈强正相关，将软化点提高至不小于65℃、60℃动力黏度提升至不小于30000Pa·s，可显著增强粘层在极端高温条件下的抗剪切和抗推移能力，防止因层间粘结失效导致的路面滑移、拥包等早期损坏；弹性恢复率设定为不小于85%，旨在确保粘层在反复荷载作用下仍能保持优异的回弹性能和层间协同变形能力；固含量提高至不小于60%，是为了在单位喷洒量下提供更多的有效沥青膜厚度，增强粘结效果；蒸发残留物针入度控制在40~80（0.1mm）的适中范围，兼顾了高温抗车辙能力与低温抗裂性能的平衡，避免过软导致高温失稳或过硬引发低温开裂。这些指标的差异化提升，充分体现了广东地区对排水沥青路面防水粘结层“高温不软化、多雨不剥落、重载不推移”的严苛性能需求，确保路面在复杂服役条件下仍能保持结构完整性和长期耐久性。

表 7.2.5-2 不黏轮黏结剂技术指标要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
------	----	------	------

破乳速度		-	快裂或中裂	T 0658
筛上剩余量 (1.18mm), 不大于		%	0.2	T 0652
标准黏度 C25, 3		s	12~60	T 0625
储藏稳定性试验, 1d, 不大于		%	1	T 0655
层间黏结强度 (25℃), 不小于		MPa	0.25	T 0985
不黏轮性, 不大于		MPa	3×10^{-3}	附录 A
蒸发残留物	含量, 不小于	%	50	T 0651
	溶解度, 不小于	%	97.5	T 0607
	针入度 (25℃)	0.1mm	40~80	T 0604
	软化点, 不小于	℃	60	T 0606

7.3 配合比设计

7.3.1 排水沥青混合料级配范围应符合表 7.3.1 的要求。

表 7.3.1 排水沥青混合料的级配范围

筛孔尺寸 (mm)	通过量 (%)				
	PA-10	HET-P	PA-13	PA-16	PA-20
26.5	—	—	—	—	100
19.0	—	—	—	100	95~100
16.0	—	—	100	90~100	—
13.2	100	100	90~100	60~90	64~84
9.5	80~100	80~100	40~71	40~60	—
4.75	8~28	10~30	10~30	10~26	10~31
2.36	5~15	8~20	9~20	9~20	10~20
1.18	5~12	7~15	7~17	7~17	7~17
0.60	4~10	5~12	6~14	6~14	6~14
0.30	4~9	4~10	5~12	5~11	5~11
0.15	4~8	4~8	4~9	4~9	4~9
0.075	3~6	3~7	3~6	3~5	3~5

7.3.2 排水沥青混合料技术指标应符合表 7.3.2 的要求。

表 7.3.2 排水沥青混合料技术指标要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		薄层	普通单层	
马歇尔试件击实次数	次	双面击实 50 次	双面击实 50 次	T0702

空隙率（体积法）		%	18~22	18~22	T0708 体积法
连通空隙率，不小于		%	/	14	/
肯德堡浸水飞散损失，不大于		%	10	15	T0733
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失，不大于		%	0.5	0.6	T0732
冻融劈裂残留强度比，不小于		%	85	85	T0729
浸水马歇尔试验残留稳定度，不小于		%	85	85	T0709
车辙试验动稳定度	60℃，不小于	次/mm	5000	5000	T0719
	70℃，不小于		3000	/	
渗水系数，不小于		mL/min	3500	5000	T0730

条文说明

空隙率是影响排水沥青路面排水性能、耐久性能的关键因素。空隙率过小，难以将雨水迅速排出；空隙率过大，路面耐久性能降低。根据试验研究结果、省内外排水沥青路面设计空隙率及运营效果调研，结合广东地区气候环境、交通特点，综合考虑排水沥青路面排水性能及路用耐久性，当薄层、普通单层排水沥青路面的目标空隙率分别为 18%~22%时，可使二者性能最佳。

连通空隙率是反映排水沥青混合料透水性能的重要指标，结合室内试验及广东省排水沥青路面应用实际，当普通单层连通空隙率不小于 14%时，能较好的满足排水需求。

飞散及飞散引发的坑槽是排水沥青路面最主要的病害型式，研究表明，排水沥青路面发生飞散破坏的比重占有所有病害类型的 75%左右，这种病害一旦出现，后续石料的飞散会加快，呈现“多米诺骨牌效应”。为保证排水沥青路面耐久性，根据我省特殊的气候交通条件，对薄层和普通单层肯德堡浸水飞散损失作出相应的规定。

根据佛开高速、开阳高速、中江高速等多个排水沥青路面混合料设计及使用效果，结合广东地区特殊气候条件，普通单层冻融劈裂残留强度比不小于 85%时，混合料具有良好的抗水损害性能；普通单层析漏试验的结合料损失不大于 0.6%时，可有效保障排水沥青路面的长期性能。

7.4 施工

7.4.1 改扩建项目沥青路面施工应符合下列要求：

- 1 沥青路面调坡应采用挂线施工工艺，严格控制中面层施工标高。
- 2 既有路面标高超过设计标高或路面横、纵坡不满足排水需求时，应根据设计横坡及纵坡要求，以

5m 为一个铣刨段对既有路面横、纵坡进行铣刨。

3 既有路面铣刨路段应进行路面结构验算，铣刨后路面结构应满足设计交通荷载要求，否则应对新路设计标高进行调整。

4 新旧路面拼接应采用台阶形式，拼接缝宜避开轮迹带。

条文说明

在公路改扩建实施过程中，关键在于处理新旧路基的差异沉降。由于新旧路基拼接位置材料存在固结时间的差异，使得填筑后的路堤易出现不均匀沉降，从而产生纵向裂缝、路堤失稳、甚至滑坡等病害。因此，为避免改扩建后的应力集中于新旧路基拼接部位，改善拼接部位的受力状态，提高新旧路基的拼接质量，应采取错层式开挖、台阶式拼接的方式进行路面结构的拼接。同时，为减少或避免车辆的荷载作用，应合理控制新旧路面的拼接位置，避开轮迹带，尽可能的将其设置在车道分线处。新旧路基路面拼接施工见图 7.4.1。

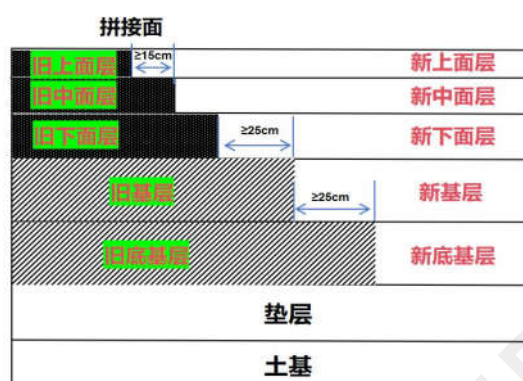


图 7.4.1 新旧路基路面拼接施工图

7.4.2 宽幅路面养护工程现状路面局部凸起或凹陷、纵横坡不顺处，需通过调坡改善排水能力时，宜在排水功能层底面调至设计坡度，保证排水功能层厚度。同时，还应满足下列要求：

1 现状路面标高超过设计标高或路面横、纵坡不满足排水需求时，应根据调坡要求、现状路面面层厚度合理确定铣刨深度和长度，以 10m 为一个铣刨段进行铣刨，相邻铣刨作业面的高差不宜大于 5mm。

2 铣刨后路面的表面纹理应为网格状或均匀间断的纵向条纹状，破损的不规则表面处应再次精铣刨，确保铣刨后的表面无松散、纹路清晰。

3 铣刨结束后，应将表面和裂缝内的灰尘、松散颗粒清理干净，确保铣刨裸露面洁净和干燥。

4 铣刨后路面质量验收应包含：表面纹理、铣刨深度与宽度、纵断面高程、横坡度及路面平整度。验收合格后方可进行调平层施工。

条文说明

对现状路面铣刨施工时，应结合路面结构特性、铣刨方式、铣刨深度、铣刨料质量特性、松动料多少及施工机械性能，合理选择施工参数。铣刨后表面无松散夹层、纹路清晰，要求铣刨面具有网格状或均匀间断的纵向条纹状纹理，不合格的应进行二次铣刨或精铣刨施工。对于桥梁伸缩缝特殊部位铣刨作业时，应在伸缩缝两侧预留不小于 10cm 宽度不予铣刨，采用小型机具或人工清除，避免破坏伸缩缝。

铣刨施工后，应及时对铣刨面（见图 7.4.2）进行质量检查验收，铣刨面检查验收项目、频率及要求应按表 7.4.2 进行。

表 7.4.2 面层或桥面铺装铣刨面检查验收要求

检查项目	检查频率	检查要求
外观	随时	表面纹理应为网格状或均匀间断的纵向条纹状
宽度	每 1 公里检测 20 个断面	不小于设计宽度
深度	每 1 公里检测 5 点	设计值的 10%
纵断面高程	每 20 延米 1 个断面，每个断面 3~5 点	±20mm
横坡度	每 100 延米 3 处	±0.5%
平整度	每 20 延米 2 处，每处连续 10 尺	5mm

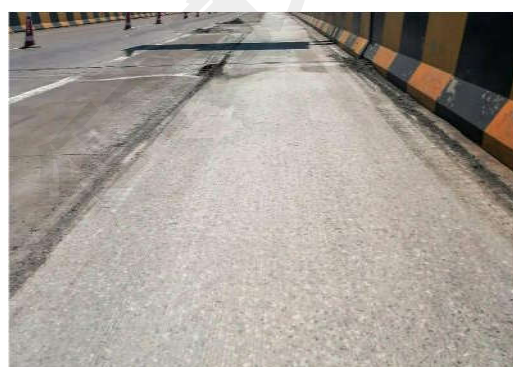


图 7.4.2 沥青路面铣刨及铣刨后表面观图

7.4.3 当调坡实施存在困难时，可在下承层内设置间隔 10~20m、宽度 1~2m、坡度不小于 2%的排水通道，再采用与排水功能层相同的混合料填平压实。

条文说明

对于宽幅高速公路养护工程，当通过调坡难以改善排水或调坡实施存在困难时，为防止雨水沿纵向流动使路表面溢水和“水漂”现象发生，在排水功能层的下部，可垂直于道路纵向或与道路纵向成一定角度设置横向排水沟，再使用与表面功能层相同的排水沥青混合料填平压实，以提高路面排水能力，排水通道的施工示意图见图 7.4.3。



图 7.4.3 排水通道施工示意图

7.4.4 防水黏结层施工应符合下列要求：

1 施工防水黏结层前，应对下承层沥青路面渗水情况进行调查评价，调查部位及方法按表 7.4.4 执行。对下承层表面不密实、渗水较大的部位，宜采用局部挖补、回填或喷洒改性乳化沥青等措施进行处理。

表 7.4.4 渗水情况调查部位及方法

检查项目	频度	试验方法
外观	全线	人工调查、记录
裂纹或裂缝	全线	人工调查、记录
渗水系数	表面混合料离析及路肩边缘等薄弱部位；桥面	采用路面渗水仪或电子渗水仪测定

2 防水黏结层采用同步法施工时，可采用“高黏改性乳化沥青”；采用异步施工时，可采用“热洒改性沥青+预拌碎石”或“高黏改性乳化沥青+不黏轮黏结剂”。碎石撒布时，采用轻型轮胎压路机紧跟洒布车碾压 1~2 遍，压至碎石稳定。

条文说明

目前省内排水沥青路面防水黏结层常用的主要有三种，传统的一种是“改性热沥青+预拌碎石”，即撒布改性热沥青后，立即撒布一层经拌和楼预拌的瓜米石作为保护层，并经轻型轮胎压路机稳压 1~2 遍后施工排水功能层；一种是撒布“高黏改性乳化沥青”，即采用智能型沥青洒布车喷洒高黏改性乳化

沥青；最后一种是“高黏改性乳化沥青+不黏轮黏结剂”，两种组分采用智能洒布车同步喷洒，两种组分接触反应后会迅速形成隔离膜，达到不粘轮效果，有效提升施工效率及施工质量。

3 改性乳化沥青防水黏结层撒布量要求较大时，可通过多次洒布以满足要求。待改性乳化沥青完全破乳后，方可进行排水沥青层的施工。

7.4.5 排水沥青混合料出料温度宜为 175~185℃。低温季节施工时，宜提升 5~10℃。

7.4.6 生产时应按照集料-纤维-矿粉（或水泥）-沥青的顺序进行投放，干拌时间不小于 10s，湿拌不小于 50s。并通过试拌确定最终的拌和时间，确保沥青集料颗粒表面均匀、完整被沥青包裹。

7.4.7 排水沥青混合料应随拌随用，运输或储料时间最长不宜超过 2h。

条文说明

研究表明，排水沥青混合料运输时间越长，沥青混合料表面温度会降低，内部温度会升高，容易形成“糊料”，从而影响面层质量。另外，运输或储料时间越长，可能会导致沥青老化，混合料越容易发生飞散。根据保温时间与析漏损失的关系，排水沥青混合料储料时间在 2h 以内时，析漏损失满足技术要求。

7.4.8 排水沥青混合料的摊铺应符合下列要求：

1 排水功能层摊铺时运料车应在指定地点调头倒行至摊铺机处，限速 5km/h，禁止急刹车。

2 薄层摊铺速度宜为 5m/min~8m/min；普通单层摊铺速度宜为 2~3m/min（一般路段），弯道等特殊路段应降低至 1~2m/min。可采用 3D 摊铺技术对弯道等特殊路段摊铺，控制摊铺精度。

3 当采用两台或多台摊铺机时，摊铺机应机型相同、新旧程度接近，摊铺机前后间距不应超过 20m，搭接宽度不应小于 15cm；接缝位置宜避开车道轮迹带，宜设置于标线或行车道中间位置处，上下层纵向接缝应错开 20cm（热接缝）或 1m（冷接缝）以上。

7.4.9 排水沥青路面的横向接缝应采用平接缝，纵向接缝宜采用热接缝。

条文说明

接缝位置处为排水沥青路面施工的薄弱部位。若接缝处理不当易发生路面骨料飞散，影响路面平整度，导致路面形成早期病害；除此之外，若接缝处理不当会阻断排水面层的排水通道，降低排水面层的排水效率。因此，在排水沥青路面施工时需对接缝施工进行特殊处理。

横向接缝应采用平接缝。为了防止接缝面的空隙堵塞，不宜采用切割机切缝，可在摊铺前采用铣刨方式挖除待废弃路面，并用钢刷处理接缝面，风干或烘干接缝区域，保证接缝面清洁，待干燥后涂刷黏层沥青。碾压时应先进行横向压实，再纵向碾压成为一体。

纵向接缝宜采用热接缝。采用梯队作业摊铺时，将已铺部分留下 10~20cm 宽暂不碾压，作为后续部分的基准面，然后跨缝碾压以消除缝迹。

7.4.10 薄层排水沥青混合料摊铺成型后，采用 13t 双钢轮压路机静压 2~3 遍；普通单层排水沥青混合料的碾压机械、碾压速度和碾压遍数可按表 7.4.10 选用，对于排水功能层厚度为 40mm 的排水沥青混合料一般采用双钢轮压路机静压 4~6 遍。

表 7.4.10 排水沥青混合料的压实及成型

阶段	压路机类型及碾压方式	碾压遍数	碾压温度（℃）	碾压速度（km/h）
初压	双钢轮压路机静压	1~2	155~170	2~3
复压	双钢轮压路机静压	2~4	135~150	3~4.5
终压	双钢轮压路机静压	1~2	不低于 100	3~6

7.4.11 排水沥青路面最小施工长度应不小于 300m，排水沥青路面之间间隔施工长度宜不小于 800m，否则宜全部采用排水沥青路面，并连续施工。

条文说明

为便于摊铺机作业，保证沥青路面施工质量，排水沥青路面最小施工长度应不小于 300m，排水沥青路面之间间隔施工长度宜不小于 800m。

7.4.12 薄层排水沥青混合料压实结束后养护 2h，路面温度降低至 50℃ 以下方可开放交通；普通单层排水沥青混合料施工结束后，应养生 48h 以上方可开放交通。

7.5 质量要求

7.5.1 渗水系数的检测：排水沥青路面渗水均匀性及渗水系数宜采用全断面渗水检测车和自动电子式渗水仪进行检测。首先通过全断面渗水检测车检测排水沥青路面的渗水均匀性，然后使用电子渗水仪复核渗水系数（检测频率按 200m 取 1 个测点，每个测试点进行 3 次平行试验，取 3 次平行试验的平均值作为该点的渗水系数），排水沥青路面渗水系数合格率不小于 90%。

条文说明

排水沥青路面整体的渗水性能与其渗水均匀性密切相关，依靠渗水系数点的检测难以有效判定面域

级别的渗水状况。基于此，广东华路交通科技有限公司自主研发了全断面红外渗水状况检测车（见图 7.5.1-1），该红外渗水检测车通过光电技术检测沥青路面热辐射的红外线特定波段信号，通过数据处理软件将该信号转换成可供视觉分辨的图像和图形，通过沥青路面温度差来判断路面渗水状况（见图 7.5.1-2）。在路面整体渗水状况检测基础上，采用电子式渗水仪进行复测，当排水沥青路面渗水系数合格率不小于 90%时，路面整体渗水系数较好。



图 7.5.1-1 红外渗水状况检测车

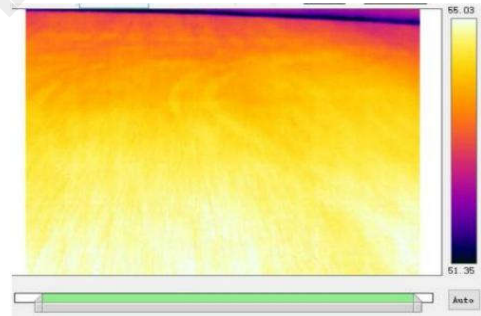


图 7.5.1-2 红外渗水扫描结果

7.5.2 密度均匀性检测：排水沥青路面密度均匀性宜采用无核密度仪进行检测。在测试路段随机抽取 2~3 个检测路段（每段长度不少于 50m），按行车方向间隔 5m，横断面间隔 1~1.5m 选择测试点进行检测，获得各测试点的空隙率，各测点空隙率大于 18%的占比不宜小于 90%。

条文说明

排水沥青混合料在摊铺和压实过程中若出现波动，将导致排水沥青混合料的空隙率与设计值产生偏差。为判断空隙率的整体情况，宜采用无核密度仪进行压实均匀性检测。一般在试验段起点、中部位置及终点附近各测试一段，每段长度为 50m，每段沿行车方向间隔 5m 连续测试 11 个断面，每个横断面从中央分隔带内侧开始，按照 1~1.5m 测试 1 个点（见图 7.5.2-1），将无核密度仪测试结果与试验段芯样毛体积相对密度进行标定修正，得到各检测点的毛体积相对密度，再将其与室内最大理论相对密度进行换算处理，即可得到各测试点的空隙率，绘制空隙率分布云图（见图 7.5.2-2）。当各测点空隙率大于 18%占比不小于 90%时，基本可判定路段空隙率整体分布较均匀。

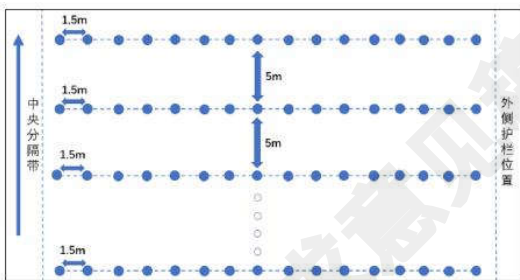


图 7.5.2-1 密度均匀性检测试点

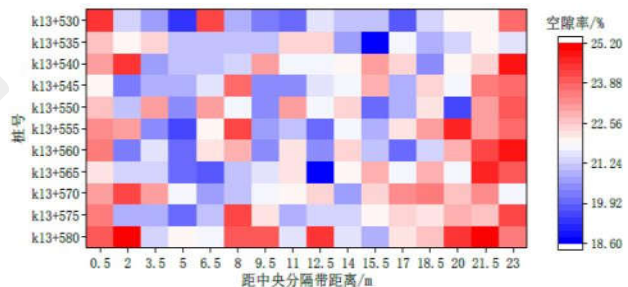


图 7.5.2-2 空隙率分布云图（示例）

7.5.3 纹理均匀性检测：排水沥青路面路表纹理均匀性宜采用激光纹理仪进行检测。检测时按照横向间隔 2~4m 连续布设测线，每条测线长度不小于 350m，沿着测线以 2~3km/h 的速度推动激光纹理仪对路表纹理均匀性进行检测，利用数理统计方法对检测数据进行分析，确定测评区域表面构造深度数学期望值及判定离析程度区间。当期望值为 1.0，路面离析程度判别标准如表 7.5.3 所示；当测试路段期望值为 A 时，则 A 乘以表 7.5.3 所示的判别标准即为测试路段的表面离析分级定量界限。同时，统计各离析等级所占的比例，当非离析占比不小于 90%时，其路段均匀性及施工质量较好。

表 7.5.3 表面构造离析判别标准

离析级别	细离析	非离析	轻微离析	中度离析	重度离析
下限	/	0.8	1.10	1.40	1.70
上限	0.8	1.10	1.40	1.70	/

注：当期望值为 1.0 时，其表面构造离析判别标准如表 7.5.3 所示。

条文说明

对于离析程度的量化界定是非常重要的。采用何种方法进行分析是正确评价离析的关键，不同分析方法得到的评价结果存在较大的差异。根据大量的工程实践表明，当期望值为 1.0mm，表面构造深度的测量值与期望值的比值处于表 7.5.3 时，离析程度判别与实际工程施工均匀性较为吻合。如构造深度期望值为 1.0mm，测量值与期望值的比值介于 0.80~1.10 之间的路段，定义为非离析路段，依此类推。非离析路段所占的比例越大，说明路面施工均匀性控制的越好。

7.6 养护

7.6.1 排水沥青路面通车后，宜定期对排水沥青路面的路用性能（包括损坏状况、平整度、车辙、抗滑性能等）及排水功能进行全车道检测。

条文说明

排水沥青路面与密级配沥青路面结构不同，由于排水沥青路面的大空隙结构，在光、雨水、行车荷载等综合作用下，排水沥青路面易出现磨损、掉粒、空隙堵塞、车辙及路表功能退化等病害，为保证排水沥青路面运营期间良好的使用性能及排水功能，通车后 1~3 年，宜对实施排水沥青路面的路段每年检测 1 次；运营时间超过 3 年时，宜每半年检测一次。

7.6.2 当薄层排水沥青路面渗水系数指标低于 1400mL/min 或普通单层排水沥青路面渗水系数指标低于 2000mL/min 时，可采用专用清孔设备进行清孔；排水沥青路面出现掉粒、松散等迹象时，可采用排水沥青路面专用粘结剂进行预防性养护。

条文说明

排水沥青路面由于空隙较大，容易在使用过程中被粉尘、砂砾等异物堵塞，导致排水功能降低，当全线渗水系数普遍小于 1400mL/min（薄层）或 2000ml/min（普通单层），应采取适当的措施进行孔隙恢复处治。路面堵塞情况不严重时，可采用高压水枪清洗路面。反之，宜采用排水沥青路面专用清孔设备，通过高压水及真空泵吸相结合的方式对排水性沥青路面内部的灰尘、泥沙等堵塞杂物进行清理和回收，实现对排水沥青路面的功能性养护。

排水沥青路面通车运营一般 5 年后，可能出现松散、掉粒等问题，此时，可在路面均匀喷洒预防性养护材料或水性环氧树脂，以稳固路面有掉粒迹象的集料颗粒及增强路面内部集料间的粘聚力，在保留路面渗水功能的前提下进一步延长路面的使用寿命。

8 交安设施设计

8.1 应根据排水设计方案，合理进行交安设施的优化设计，如：

- 1 在线形指标较低、排水路径长的路段宜设置透水标线或加密边缘标线排水开口；
- 2 排水缓慢路段可设置可变信息板等交通标志，及时发布强降雨警告信息；
- 3 排水不良路段可设置水膜厚度监控及可变信息板，及时发布限速信息。
- 4 必要时可设置降雨预警装置，警示驾驶员在特殊路段减速、注意行车安全；
- 5 交通标志标线的设置应与排水方案相协调，避免设置横向减速标线、减速带等设施。

条文说明

采用了排水路面的情况下，建议采用透水标线，减少标线的阻水情况；同时，通过研究分析发现，相同条件下，车速越快，临界水膜厚度越小，车辆发生水滑的风险越高，因此在雨天及时发布降雨和控速信息，有利于提高运营安全。

8.2 应合理选用交通安全设施材料，提高雨天反光和警示效果。

条文说明

在线形指标较低、排水路径长的路段，应考虑有利于驾驶员保持信息获取能力的交通标志、标线材料，如雨夜标线、防水防雾标线等。

8.3 排水不良路段，宜增设路灯，提高车辆夜间行驶安全系数。

条文说明

在互通立交、服务区、主线分合流等路况复杂路段，建议增设路灯，提高车辆夜间行驶安全系数，佛开高速在大雁山互通、昆东互通、共和互通、平连互通、司前互通等安装了太阳能灯，效果良好。

附录 A

(资料性)

改扩建及养护项目外业调查及相关要求

改扩建及养护项目外业调查主要内容见表 A.1 所示。

表 A.1 改扩建及养护项目外业调查内容及指标

调查项目		调查内容	调查指标
基础 资料 收集		项目概况	项目范围、地质、水文、气象环境、交通量等
		项目主要技术指标	路幅宽度、设计速度、最小圆曲线半径、最大纵坡等
		项目事故数据	时间、天气、降雨强度、发生位置、车型、车速、事故类型
		项目设计图纸	工可、初步设计、施工图设计、变更、竣工等各阶段设计图纸
		几何指标测量	现状道路的平面指标、高程信息等
排水 设施	路界 地表 排水	路面表面排水设施	横坡、纵坡、面层类型
			边部排水型式（集中排水和散排）
			纵向排水沟尺寸
			拦水带泄水口直径、间距
			是否存在堵塞、损坏等现象
	路界 地表 排水	中央分隔带排水设施	中分带型式（新泽西护栏、波形梁护栏等）
			横向排水管管径、间距
			是否存在堵塞、损坏等现象
		超高段排水设施	纵向集水沟型式（缝隙式集水沟/盖板边沟等）
			横向排水管管径、间距
	集水井大小、间距		
	是否存在堵塞、损坏等现象		
		凹曲线底部、局部加宽段等特殊路段排水设施	采用的排水型式
	桥面排水设施	泄水口型式、直径、间距	
路面 内部 排水	排水基层	厚度、设置范围	
	排水垫层	厚度、设置范围	
路面 结构	路面概况	路面结构及材料	
	路面性能状况	破损、平整度、车辙、抗滑、渗水系数等	

表 A.2 路面排水不良路段

序号	起止桩号	方向	车道	积水面积 (m ²)	最大积水深度 (cm)	排水不良的原因	备注

附录 B

(资料性)

宽幅路面典型排水算例

B.1 泄水口间距计算

(1) 计算设计径流量

利用现有规范的水文与水力计算模型，计算多车道高速公路的路面表面排水的泄水口间距。

拟在路肩外边缘设置拦水带，拦水带间距为 L ，计算设计径流量。计算示意如图 B.1，计算流程 B.2 如图所示。

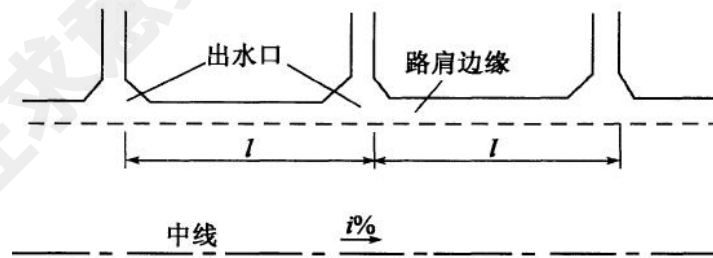


图 B.1 计算设计径流量示意图

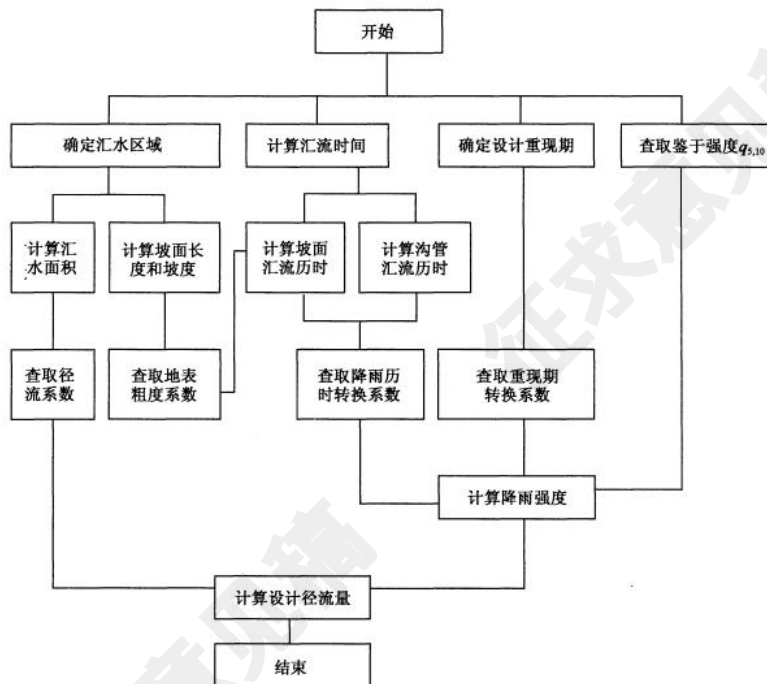


图 B.2 设计径流计算过程

按《公路排水设计规范》(JTG/T D33-2012)式(9.1.1)计算设计径流量：

$$Q=16.67\psi q_{p,t}F \quad (\text{B.1})$$

式中：Q——设计径流量(m³/s)；

$q_{p,t}$ ——设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度(mm/min)；

Ψ ——径流系数，沥青混凝土路面取0.95；

F——汇水面积(km²)。

以单向四车道为例，设出水口间距为1，两个出水口之间的汇水面积为： $F=l \times 18.75 \times 10^{-6} \text{km}^2$

取5年设计重现期时， $q_{5,3}=3.92 \text{mm/min}$ ，

$$Q=16.67 \times 0.95 \times 3.92 \times l \times 18.75 \times 10^{-6} = 0.0012l (\text{m}^3/\text{s})。$$

(2) 根据设计径流量确定过水断面宽度和水深

单一横坡浅沟的泄水能力 Q_c 可按《公路排水设计规范》(JTG/T D33-2012)式(9.2.4-1)计算：

$$Q_c = 0.377 \frac{1}{i_h n} h^{\frac{8}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.2})$$

其中，沥青砼粗糙系数取 $n=0.016$ 、路肩横坡 $i_h=2\%$ 。水力坡度取路线纵坡， $I=1\%$ 。

$$0.0012l = 0.377 \times \frac{1}{0.02 \times 0.016} \times h^{\frac{8}{3}} \times 0.01^{\frac{1}{2}} \quad (\text{B.3})$$

取出水口间距 $l=60\text{m}$ 时，经式(B.3)推算得到，过水断面水深 $h=0.06\text{m}$ ，水面宽度 B_s 为3.01m，已大于硬路肩宽度，过水断面的水面已浸入行车道。

取出水口间距 $l=50\text{m}$ 时，经推算得到水面宽度 B_s 为2.81m，小于硬路肩宽度(取3m)，此时，过水断面的水面不会浸入行车道。

表 B.1 5 年重现期过水断面参数随出水口间距的变化情况

出水口间距 l (m)	边沟水深 h (m)	水面宽度 B_s (m)
60	0.060	3.01
50	0.056	2.81
40	0.052	2.58
30	0.046	2.32
20	0.040	1.99

取15年设计重现期时， $q_{15,3}=4.98 \text{mm/min}$ ，得到 $Q=0.0015l (\text{m}^3/\text{s})$ 。同理得到表B.2计算结果。

表 B.2 15 年重现期过水断面参数随出水口间距的变化情况

出水口间距 l (m)	边沟水深 h (m)	水面宽度 B_s (m)
60	0.066	3.29
50	0.063	3.15
40	0.057	2.83
30	0.051	2.54
20	0.044	2.18

由表B.2计算可知，出水口间距 l 超过50m时，过水断面的水面已浸入行车道；而当出水口间距 l 不超过40m时，过水断面的水面不会浸入行车道。

综合以上5年、15年的设计重现期分析，考虑到受全球气候变化影响，各地近年来极端暴雨事件频繁发生，出水口间距 l 上限按照40m进行控制。

同理，进一步验算单向五车道宽幅路面过水断面宽度随出水口间距的变化情况汇总如表B.3所示。

表 B.3 15 年重现期过水断面参数随出水口间距的变化情况

出水口间距 l (m)	车道数	水面宽度 B_s (m)
50	单向四车道	3.15
	单向五车道	3.29
40	单向四车道	2.83
	单向五车道	3.03
30	单向四车道	2.54
	单向五车道	2.72
25	单向四车道	2.37
	单向五车道	2.54
20	单向四车道	2.18
	单向五车道	2.33

经过理论计算可知，对于单向四车道，出水口间距 l 超过50m时，过水断面的水面均已浸入行车道，不符合排水要求；而当出水口间距 l 不超过40m时，除单向四车道过水断面的水面不会浸入行车道，单向五已侵入行车道范围。

根据《公路排水设计规范》（JTG/T D33-2012）4.2.3条，拦水带泄水口的间距宜为25-50m；高速公路车道较多时，宜选用较小的泄水口间距。考虑到广东省降雨量大，宽幅路面汇水面积大，并结合目前改扩建工程实践，对于单向四车道，拦水带泄水口的间距宜为20-40m；对于单向五、六车道，泄水口的间距设置为20-30m；对于单向七车道，泄水口的间距设置为20-25m。

(3) 拦水带开口泄水量确定

以单向四车道为例，设拦水带开口为40m，由步骤(2)可知水面宽度 $B_s=2.58m$ ，边沟水深 $h=0.052m$ ，此时设计径流量 $Q_c=0.044m^3/s$ 。现行《公路排水设计规范》(JTGT D33-2012)中根据规范中《附录C 开口式泄水口截流率计算诺谟图》确定泄水口截流率，而现行规范诺谟图中未给出实际工程中常见泄水口形式的截流率数据。因此根据实际工程经验，假定截流率为 $Q_0/Q_c=0.75$ 。则开口泄水量为：

$$Q_0 = 0.75 \times Q_c = 0.75 \times 0.044 = 0.0326m^3/s$$

(4) 计算坡度为1%的连续坡段上第一个泄水口初始间距

由步骤(1)，设计流量同泄水口间距关系为 $Q=0.0012l$ 。设 $B_s=2.58m$ ，拦水带内缘处的水深 $h = B_s i_h = 2.58 \times 0.02 = 0.052m$

由《公路排水设计规范》(JTGT D33-2012)式(9.2.4-1)，可计算拦水带过水断面泄水量：

$$Q_c = 0.377 \times \frac{1}{0.03 \times 0.016} 0.052^{\frac{8}{3}} \times 0.01^{0.5} = 0.044m^3/s$$

由 $Q_c=Q$ ，便可得到第一个泄水口距坡段起点的位置 $l = 36.231m \approx 36.0m$ 。

(5) 连续坡段上下方泄水口间距计算

根据由步骤(4)中假定 $Q_0/Q_c=0.75$ ，则 $Q_0 = 0.75 \times Q_c = 0.75 \times 0.044 = 0.0326m^3/s$ 。

由 $Q_c=Q$ ，可得到泄水口的间距为 $l = 0.0326 / 0.0012 = 27m$

为采用统一的泄水口间距，将第一个泄水口也设在距坡段起点27m处，由于间距缩短，路面表面径流量相应减少为 $Q = 0.0012 \times l = 0.0012 \times 27 = 0.0324m^3/s$ 。拦水带过水断面的水深根据《公路排水设计规范》(JTGT D33-2012)式(9.2.4-1)进行反算，求得 $h' = 0.046m$ 。

过水断面的水面宽度减少为 $B_s = h / i_h = 0.043 / 0.02 = 2.32m$ 。

(6) 凹曲线底部泄水口计算

坡段上最后一个泄水口向竖曲线底部泄水口溢流的流量为 $(1-0.75) \times 0.044 = 0.011m^3/s$ 。如果两个泄水口之间的距离为27m，则此段间距内表面径流量为 $0.0012 \times 27 = 0.0324m^3/s$ 。从一侧坡段上流向底部泄水口的径流量便为 $0.0324 + 0.011 = 0.044m^3/s$ 。假设另一侧凹曲线坡度相同，凹曲线底部泄水口假定截流率为 $Q_0/Q_c=0.80$ ，则凹曲线底部加密间距为 $l = 0.044 \times 0.8 / (0.0012 \times 2) = 14m$ 。

B.2 超高路段排水计算

(1) 降雨强度

以广东地区单向四车道高速公路为例，坡面流长度 L_p 取18.75m (=0.75m左侧路缘带宽+4×3.75m行车道+3m硬路肩)，路面行车道横坡取2%，5年重现期和10min降雨历时的标准降雨强度 $q_{5,10}$ 取2.8mm/min。

根据附录B.1计算结果，得到 $q_{15,3} = 4.98\text{mm/min}$ 。

(2) 设计径流量

按式 (C.1) 计算设计径流量为：

$$Q = 16.67 \times 0.95 \times 4.98 \times l \times 18.75 \times 10^{-6} = 1.5 \times 10^{-3} l (\text{m}^3/\text{s}) \quad (\text{B.4})$$

(3) 集水井校验汇流历时

本项目为单向四车道高速公路，汇流历时按式 (B.2) 计算：

沥青路面地标粗糙度系数 $s=0.013$ ，横坡为0.3%，坡面流长度为18.75m，计算汇流历时如下：

$$t_1 = 1.445 \times \left(\frac{0.013 \times 18.75}{\sqrt{0.003}} \right)^{0.467} = 2.9 \text{ min} \quad (\text{B.5})$$

由沟底（路线）纵坡 $i_m=1\%$ ，可计算得到平均流速为：

$$v_m = 20 \times i_m^{0.6} = 20 \times 0.003^{0.6} = 0.61 \text{ m/s} \quad (\text{B.6})$$

再按下式计算得到沟管汇流历时：

$$t_2 = \frac{50}{60 \times 0.61} = 1.36 \text{ min} \quad (\text{B.7})$$

由此，可得到汇流历时为：

$$t = t_1 + t_2 = 2.9 + 1.36 = 4.26 \text{ min} < 5 \text{ min} \text{ 满足要求。}$$

(4) 横向排水管验算

集水井汇集路面水后，通过横向排水管将水排到路堤边坡的急流槽。假设横向排水管管底纵坡 $i_g=0.5\%$ ，直径 $d=0.5\text{m}$ 计算平均流速 v 和横向管的泄水能力。

$$\text{圆形排水管的过水断面面积 } A = 3.14 \times d^2 / 4 = 0.196 \text{ m}^2 ;$$

$$\text{水力半径 } R = d/4 = 0.125 \text{ m} ;$$

$$\text{沟内平均流速: } v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} = 1.768 \text{ m/s} ;$$

因此，横向管的泄水能力 $Q_c = vA = 0.347 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

横向排水管的泄水能力必须大于其设计径流量，即 $Q_c > 2Q$ ，可反算出水口间距 l 为 117m。同理，可反算其他工况的计算结果，具体如表 B.4 所示。

表 B.4 超高路段横向排水管内径和间距随横向排水管坡度的变化情况

横向排水管坡度 (%)	横向排水管内径 (cm)	出水口最大间距 (m)	横向排水管坡度 (%)	横向排水管内径 (cm)	出水口最大间距 (m)
0.5%	30	30	2%	30	60
	40	64		40	129
	50	117		50	234
	60	190		60	381
1%	30	42	2.5%	30	67
	40	91		40	144
	50	165		50	262
	60	269		60	426

当横向排水管管径（内径）设置为 500mm，横向排水管坡度较小（取 0.5%），进一步验算对于单向五、六、七车道对应的集水井间距的计算结果，如表 B.5 所示。

表 B.5 超高路段横向排水管间距随宽幅路面车道数的变化情况

横向排水管坡度 (%)	横向排水管内径 (cm)	双向车道数	出水口最大间距 (m)
0.5%	50	双向十车道	97
		双向十二车道	86
		双向十四车道	73

B.3 桥面泄水口

(1) 降雨强度

以广东地区单向四车道高速公路为例，坡面流长度 L_p 取18.75m(=0.75m左侧路缘带宽+4×3.75m行车道+3m硬路肩)，路面行车道横坡取2%，5年重现期和10min降雨历时的标准降雨强度 $q_{5,10}$ 取2.8mm/min。

(2) 路面合成坡度线汇流历时计算

路面合成坡度 $i_p = \sqrt{(2^2 + 0.5^2)} = 2.062\%$ ，取计算横坡为2%。

路面合成坡度线斜长度 $L_p = \frac{18.75}{2} \times 2.062 = 19.327\text{m}$

代入公式(B.0.2)中可得：

路面合成坡度线汇流历时 $t_1 = 1.445 \left(\frac{0.013 \times 19.327}{\sqrt{2.062/100}} \right)^{0.467} = 1.877\text{min}$

(3) 泄水孔间距计算

代入公式(C.0.2)可得过水断面最大泄水量：

$$Q_c = 0.377 \times \frac{1}{\frac{2}{100} \times 0.013} \left(3.0 \times \frac{2}{100} \right)^{\frac{8}{3}} \left(\frac{0.5}{100} \right)^{\frac{1}{2}} = 56.57\text{L/s}$$

在计算泄水管最大泄水量时，取过水断面最大水深与泄水管顶的0.03m低凹高差之和作为溢流管顶水头高度。参考《建筑给水排水设计标准》F.0.5条直管式溢流公式计算，考虑沟顶格栅盖面积减少和可能有杂物阻塞的情况，取格栅面积减少系数为0.8，阻塞系数为0.6，综合调整系数为 $0.8 \times 0.6 = 0.40$ 。泄水管最大泄水量 q_{yL} 可按式(B.9)计算：

$$q_{yL} = 0.40 \times 1130 \times D_{yL} \times \sqrt{2gh_{y3}^{3/2}} \quad (\text{B.9})$$

式中： q_{yL} ——泄水管最大泄水量(L/s)；

D_{yL} ——直管式溢流管内径(m)，此处取0.15m；

h_{y3} ——喇叭口上边缘溢流水位深度，取过水断面最大水深与0.03m之和；

g ——重力加速度(m/s²)，取9.81。

计算参数代入公式可得泄水管最大泄水量：

$$q_{yL} = 0.40 \times 1130 \times 0.15 \times \sqrt{2 \times 9.81} (0.06)^{\frac{3}{2}} = 5.30\text{L/s}$$

桥面设计径流量的计算参考B.1中的过程，即可求得四车道桥面泄水口间距为4.6m。在实际工程中，间距通常选取整数，即5.0m。

桥面泄水口标准间距表（单向四车道）

泄水管管内径（cm）	泄水口标准间距（m）	凹曲线底部加密（m）
15	5	2
20	6	3
25	8	4
30	9	5

桥面泄水口标准间距表（单向五车道）

泄水管管内径（cm）	泄水口标准间距（m）	凹曲线底部加密（m）
15	4	2
20	5	3
25	6	3
30	8	4

B.5 缝隙式排水沟

(1) 以道路断面宽度为18.75m为例，设计径流量按式 (B.1) 计算，单位距离长度设计径流量计算结果见表 (B.11)。

表 B.11 设计径流量计算

名称	径流系数	降雨强度 (5 年)	出水口间距	汇水面积	设计径流量 (5 年)	设计径流量 (15 年)
单位	ψ	$q_{p,t}$	l	F/km^2	$Q/(\text{m}^3/\text{s})$	$Q/(\text{m}^3/\text{s})$
计算结果	0.95	3.92	1	0.00001875	0.0012	0.0015

(2) 缝隙式排水沟排水能力计算

缝隙式排水沟过流能力主要取决于管沟主体过水能力和缝隙泄流量中的较小值。

a. 沟或管的泄水能力 Q_1 可按式 (B.10) 计算：

$$Q_1 = vA \times 1000 \quad (\text{B.10})$$

式中： Q_1 ——沟或管的泄水能力 (L/s)；

v ——沟或管内流速 (m/s)，取沟或管内平均流速和最大允许流速较小值；

A ——沟或管截面积 (m²)；

沟或管内平均流速 v 按式 (B.11) 计算：

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (\text{B.11})$$

式中： n ——沟、管壁的粗糙系数；

R ——水力半径 (m)；

i ——水力坡度。

40x40矩形沟设计泄水量 $Q_1 = vA * 1000 = 2.792 * 0.216 * 1000 = 602.64$ (L/s)

b. 缝隙式进水结构的泄水力确定过程如下：

盖板下方的预留排水孔数量应按式 (B.12) 计算：

$$N = \text{int} \left((l - 0.3 * 2) / 0.125 \right) \quad (\text{B.12})$$

式中： N ——预留排水口数量；

l ——缝隙式排水沟长度 (m)。

盖板下方得预留排水孔数量为： $N = \text{int} \left((18.75 - 0.3 * 2) / 0.125 \right) = \text{int} \left((18.75 - 0.3 * 2) / 0.125 \right) = 144$

单个排水孔的极限泄水能力 q_1 参考《建筑给水排水设计标准》(GB50015-2019)附录G确定。

排水孔由缝隙式排水沟的面积折减系数为 n_1 取0.35；根据工程实际养护经验，车道数越多，缝隙排水沟阻塞率越高，因此根据车道数不同阻塞系数为 n_2 取0.425~0.50。

根据工程实际养护经验，车道数越多，缝隙式排水沟养护效果会有一定程度下降，根据车道数不同阻塞系数为 n_2 取0.425~0.50。则单个排水孔的实际泄水能力为 $q_2=q_1 \times n_1 \times n_2=4.30 \times 0.35 \times 0.5=0.75$ （L/s）。

盖板沟所有排水孔实际泄水能力： $Q_2=N \times q_2=4.30 \times 0.35 \times 0.5=0.75 \times 144=103.85$ （L/s）

c.缝隙式排水沟实际排水能力 $Q=\min(Q_1, Q_2)=103.85$ （L/s）

（3）缝隙式排水沟设置间距确定

计算过程采用试算法，通过计算并比较第 n 次径流量（一般试算2~3次）与缝隙式排水沟泄水能力的接近程度，计算得到不同工况条件下的标准间距，见下表。

表 B.12 缝隙式排水沟标准间距表（硬路肩宽度 3m）

类型	单向 4 车道	单向 5 车道	单向 6 车道	单向 7 车道
标准间距	89	83	81	74

附录 C
(资料性)
典型案例与工程经验

C.1 佛开高速公路（南段）排水改造工程案例

(1) 工程概况

佛开高速公路南段起于鹤山三保，终于开平水口，路线全长33.603km。项目采用双向八车道标准建设，路基标准宽度为42m，均为沥青路面，设计时速为120km/h。

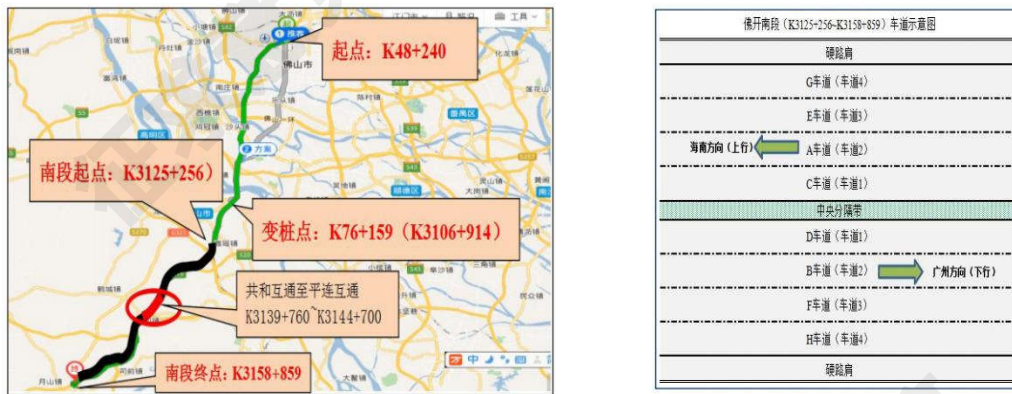


图 C.1 佛开高速公路项目位置及车道示意图

建成通车后，在日常管养中发现，强降雨期间 K3135+600 路段（广州方向）、K3128+925 路段（开平方向）、K3146+400 路段（开平方向）等 9 个工点 11 个路段路面存在较深积水，见表 1-1。其中 K3128 路段尤为突出，积水深度约 3cm，严重影响行车安全性。因此，2022 年 1 月对上述 11 个路段进行了排水优化提升，截止目前，项目雨天排水效果较佳，交通事故率明显降低。

表 C.1 处治路段

序号	位置	桩号	长度 (m)	小计
工点 1	海南方向	K3127+303~K3127+666	363	720
	海南方向	K3128+131~K3128+488	357	
工点 2	海南方向	K3132+246~K3132+436	180	420
	海南方向	K3133+634~K3133+834	240	
工点 3	海南方向	K3145+842~K3146+170	328.4	548.5
	海南方向	K3146+255~K3146+475	220	
工点 4	广州方向	K3125+990~K3126+299	309	656

	广州方向	K3126+611~K3126+958	347	
工点 5	广州方向	K3127+333~K3127+641	308	616
	广州方向	K3128+159~K3128+467	308	
工点 6	广州方向	K3134+000~K3134+220	220	380
	广州方向	K3134+730~K3134+890	160	
工点 7	广州方向	K3135+450~K3135+730	340	590
	广州方向	K3136+110~K3136+370	250	
工点 8	广州方向	K3141+085~K3141+205	120	220
	广州方向	K3141+780~K3141+880	100	
工点 9	广州方向	K3155+270~K3155+530	260	500
	广州方向	K3156+140~K3156+380	240	
合计				4640.5

(2) 改造措施

1) 既有路面测量

①路面施工与设计偏差

- 1 对旧路高程进行测量，并将旧路高程测量结果与设计标高进行对比分析，采用同步测量同步设计理念，结合路面高程专项测量结果，及时调整路面铣刨和加铺厚度；
- 2 凹陷区利用改性沥青混凝土进行填平压实，使路面横坡满足正常排水需求；
- 3 对旧路进行适当铣刨并调坡，保证新、旧路面横坡接顺。

②既有道路与改扩建道路衔接

- 1 对现状道路高程进行测量，保证改扩建新建道路与旧路横坡衔接顺畅；
- 2 施工完成后对路面高程进行复测，确保施工精度满足设计要求。

2) 路线总体设计

- ①旧路及改扩建路面横坡按 $\geq 2.0\%$ ，新建道路横坡按 $\geq 2.5\%$ 控制；
- ②对于超高零坡路段，合成纵坡按不小于 0.7% 控制；
- ③在超宽段，特别是立交路段变速车道范围加大横坡（建议按 2.5% 设置）或设置双路拱；
- ④对于超高零坡路段，设计速度为 120km/h 时，超高渐变率按不小于 $1/225$ 控制；设计速度 100km/h 时，超高渐变率按不小于 $1/200$ 控制；
- ⑤采用双路拱、移动路拱设计。

3) 排水系统设计

- ①直线/未设超高大半径圆曲线路段

对于排水路径较长（排水路径 $\geq 50\text{m}$ ）、水膜较厚（水膜厚度 $\geq 4\text{mm}$ ）、最小合成坡度小于 0.5%路段，采取了以下改造措施：

- 1 设置缝隙式排水沟；
- 2 在路侧增设急流槽。

②超高路段

超高段内侧设置带孔平盖板的矩形纵向排水沟，沟底坡度与路线纵坡一致（ $\geq 0.5\%$ ）；纵向排水沟从缓和曲线起点做到缓和曲线终点，并延长 10~20m；

- 1 集水井间距按 20~40m 控制；
- 2 疏通原有横向排水通道；
- 3 对原横向排水管进行接长，接长管管径按不小于 50cm 控制，横向排水管间距按 30~50m、管底纵坡按不小于 0.5%控制；同时，加密增设横向排水管；
- 4 路侧新泽西护栏增设泄水孔，同时，加大泄水孔孔径及降低泄水孔底部标高；
- 5 路肩处最低点增设急流槽；
- 6 应急车道增设斜向排水槽。

③对于长陡坡底部路段，设置横向缝隙式排水沟；

④在凹曲线底部，边部采用分散排水，路肩设置平缘石；

⑤对于局部加宽路段，设置纵向缝隙式排水暗沟；

⑥对混凝土护栏泄水孔进行疏通，混凝土护栏泄水孔采用矩形泄水口，尺寸不小于 10cm \times 5cm，泄水口间距 5~10m；

⑦桥面排水设计

1 在桥面铺装边缘设置渗沟，渗沟宽 15cm \times 深 10cm，渗沟与泄水口相接；同时，渗沟采用洁净、单一粒径碎石或大孔隙水泥混凝土回填；

2 在桥梁伸缩缝的上游方向增设泄水口；在桥面凹形竖曲线底部以及前后 2~4m 处各设置一个泄水口；采用竖向泄水口，泄水口直径按不小于 15cm 控制。

⑧在小纵坡与超高过渡零坡等特殊路段，采用绘制排水路径图检查排水路径。

⑨在挡墙路段，挡墙预留横向排水管出水口。

4) 排水路面设计

①原材料方面

本项目粗、细集料采用广西友信矿业有限公司生产辉绿岩；矿粉采用四会市富鸿环保材料厂生产的石灰岩矿粉；水泥采用广西都安西江鱼峰水泥有限公司的普通硅酸盐水泥；采用的胶结料动力黏度不小于 300000Pa·s，PG 分级为 PG94 高黏高弹改性沥青。

②混合料设计方面

配制的 OGFC-13 沥青混合料目标配合比为：10~15mm：5~10mm：0~3mm：矿粉：水泥=45：41：11：1.5：1.5，纤维掺量为沥青混合料的 0.35%，最佳油石比为 4.96%；生产配合比为：12~16mm：6~12mm：0~3mm：矿粉：水泥=41：44：10.5：3.0：1.5，纤维掺量为沥青混合料的 0.35%，最佳油石比为 4.96%。

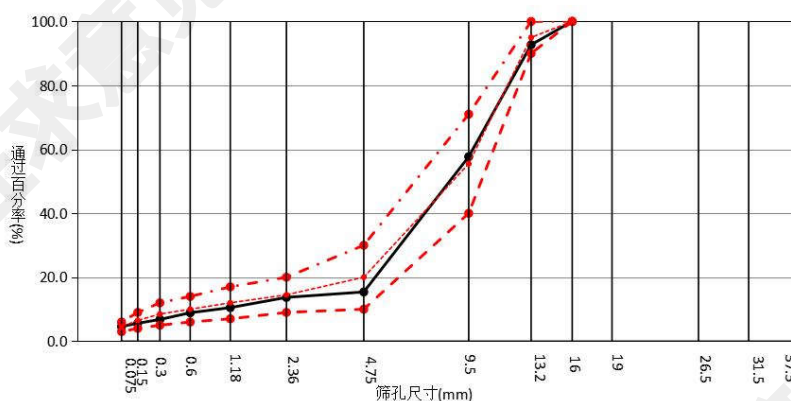


图 C.2 OGFC-13 目标配合比合成级配曲线图

表 C.1-1 OGFC-13 目标配合比及生产配合比设计试验结果

试验	目标配合比结果	生产配合比结果	设计要求	
油石比 (%)	4.96	4.96	-	
试件相对密度	实际	2.696	2.678	-
	理论	2.147	2.139	-
空隙率 (%)	20.4	20.1	18~25	
间隙率 (%)	29.1	29.6	-	
稳定度 (KN)	7.02	7.08	≧5.0	
析漏损失 (%)	0.35	0.33	≤0.8	
飞散损失	4.42	4.70	≤15	
60℃动稳定度(次/mm)	7638	7571	≧5000	
残留稳定度 (%)	92.3	91.3	≧85	
劈裂抗裂强度比 (%)	90.3	91.5	≧80	
渗水系数 (mL/min)	5305	5298	≧5000	

③结构设计方面

- 1 针对一般路段，按直接加铺 4cm~hcm 开级配沥青磨耗层（OGFC-13）至设计标高，且 $h \leq 6.5\text{cm}$ ；
- 2 针对局部凹陷厚度小于 4cm 路段，将局部凹陷区域范围上面层全部铣刨，再采用改性沥青砼 AC-13C 填平压实后，再整体加铺 4~hcm 开级配沥青磨耗层（OGFC-13），且 $h \leq 6.5\text{cm}$ ；
- 3 针对桥面路段，先铣刨上面层，再整体加铺 4cm 开级配沥青磨耗层（OGFC-13），在边部设置明沟加快排水，加快路面水引入泄水孔；
- 4 针对加铺厚度大于 6.5cm 路段，先采用改性沥青砼 AC-13C 调坡，然后整体加铺 4cm 开级配沥青磨耗层（OGFC-13）。

④施工及质量检测方面

- 1 防水黏结层采用高黏改性乳化沥青，喷洒均匀，用量不低于 $0.8\text{L}/\text{m}^2$ ；
- 2 混合料干拌约 10s，湿拌约 50s，总拌和时间约 60s，出料温度 $175^\circ\text{C} \sim 180^\circ\text{C}$ ；
- 3 混合料在高温条件下碾压均匀密实，一般采用双钢轮压路机静压 4~6 遍；
- 4 摊铺完成后，采用铺砂法、渗水仪、高精度断面仪进行构造深度、渗水系数及平整度检测；采用横向力系数车进行横向力系数检测，总体符合设计要求；
- 5 行车道边缘线采用点状透水标线。

(3) 改造效果

截止 2022 年 11 月，处治路段路面经受住了台风“马鞍”带来的强降雨的洗礼，根据对处治完成路段雨天事故的统计，交通事故得到明显降低，有效地保证了过往司乘人员的生命、财产安全。



图 C.3 排水路面加铺前后雨天路面情况示意图

附录 D

(资料性)

养护阶段宽幅路面排水综合提升改造设计工作流程

