DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.250660

城市超长隧道排水系统精细化设计探讨

殷　琪
[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘　要:关于城市下穿隧道排水的设计标准、设计原则及基本要求,现行的设计规范、导则及指南中已有较为详细的规定。然而,如何开展精细化设计,增强隧道排水能力,仍需不断探索。以无锡市高浪路快速化改造工程隧道为例,从隧道废水组成、纵断面设计、挡水系统设计及排水系统设计四个方面探讨了城市超长隧道排水系统的精细化设计要点,并总结了工程施工及竣工验收过程中发现的一些问题及改进措施,以期为相似工程提供设计指引和案例参考。

关键词:下穿隧道;超长隧道;隧道排水;内涝防治;排水泵站
中图分类号:TU992　　**文献标志码**:B　　**文章编号**:1009-7716(2026)01-0274-06

Discussion on Refined Design of Drainage System for Urban Super-long Tunnel

YIN Qi
[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The current design specifications, guidelines and handbooks already contain the detailed regulations regarding the design standards, design principles and fundamental requirements for the drainage of urban underpass tunnels. However, how to carry out the refined design and enhance the drainage capacity of tunnels still requires continuous exploration. Taking the tunnel of the Wuxi Gaolang Road Expressway Reconstruction Project as an example, the key points in the refined design of urban super-long tunnel drainage system are discussed from four aspects of the tunnel wastewater composition, longitudinal section design, water retaining system design and drainage system design. And some problems found in the engineering construction and final acceptance, and the improvement measures are summarized in order to provide the design guidance and reference cases for similar projects.

Keywords: underpass tunnel; super-long tunnel; tunnel drainage; waterlogging prevention; drainage pumping station

1　工程概况

无锡市高浪路快速化改造工程一期西起于蠡湖大道学府立交(与学府立交改造时预留的隧道结构相接),东至高浪大桥西侧桥台,路线全长 8.35 km。本工程隧道西接蠡湖大道学府立交,东端止于瑞景道东侧,隧道长度约 5.1 km[1-2]。

高浪路一期隧道主线西端断头(预留远期改造),东端出地面。根据隧道平面及纵断面方案,本工程隧道共设 9 座雨水泵房(8 座匝道雨水泵房、1 座主线雨水泵房)和 6 座废水泵房,详见图 1。

高浪路一期工程于 2019 年 12 月取得工可批复,2020 年底完成施工图设计,并于 2024 年初建成通车。

收稿日期:2025-06-30
作者简介:殷琪(1991—),男,硕士,工程师,从事市政排水设计工作。

2　隧道排水设计标准及方案

2.1　隧道排水设计标准

2.1.1　雨水设计标准

(1)暴雨强度公式

无锡市暴雨强度公式见式(1)。

$$q=\frac{4\,758.5+3\,089.5\lg P}{(t+18.469)^{0.845}} \tag{1}$$

式中:q 为设计暴雨强度,L/(s·hm²);P 为设计暴雨重现期,a;t 为降雨历时,$t=t_1+t_2$,t_1 为地面集水时间,t_2 为管渠内雨水流行,min。

(2)设计暴雨重现期

本工程隧道西接蠡湖大道隧道(2018 年建成,暴雨重现期采用 30 年),隧道排水设计标准原则上与其保持一致。考虑发展预留,暴雨重现期采用 30 年设计,并按 50 年校核。

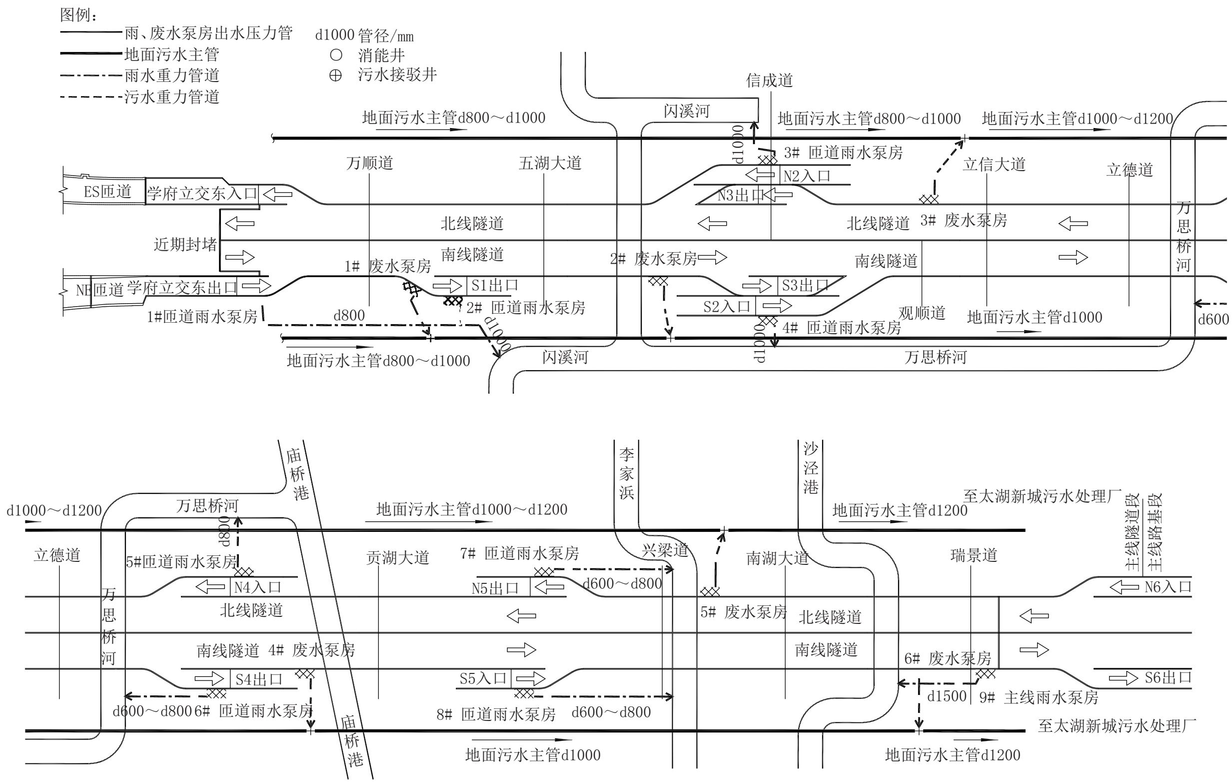

图1　隧道排水方案示意图

(3)隧道路面径流系数取0.9。

(4)雨水泵房设计规模按不小于设计流量的1.2倍确定。

2.1.2　废水设计标准

本工程隧道属于一类城市交通隧道，隧道内消火栓系统设计流量为20 L/s，泡沫水喷雾系统设计流量为110 L/s，最大消防流量为130 L/s。废水泵房设计流量按最大消防流量设计，即130 L/s。隧道消防时不考虑冲洗及结构渗漏水量。

2.2　隧道排水设计方案

本工程隧道线路复杂，总长约5.1 km，共设1个主线出入口、11个匝道出入口及6个纵断面低点。如何将隧道内分散的雨水、废水快速有效地分类收集和排除，是隧道排水设计的重点和难点[3]。

本工程隧道排水采用雨废分流制，高水高排、低水低排[4]。

表1　雨水泵房一览

名称	规模/(L·s^{-1})	平面净尺寸/(m×m)	集水池有效容积/m^3	水泵配置
1#雨水泵房	260	8.0×4.6	56	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=330 m^3/h，H=14.5 m，N=30 kW；清空泵1台，Q=80 m^3/h，H=16 m，N=11 kW
2#雨水泵房	170	8.0×4.6	49	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=220 m^3/h，H=10 m，N=18.5 kW；清空泵1台，Q=80 m^3/h，H=11.5 m，N=11 kW
3#雨水泵房	350	10×7.5	66	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=450 m^3/h，H=11.5 m，N=37 kW；清空泵1台，Q=120 m^3/h，H=13 m，N=15 kW
4#雨水泵房	350	10×7.5	73	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=450 m^3/h，H=11.5 m，N=37 kW；清空泵1台，Q=120 m^3/h，H=13 m，N=15 kW
5#雨水泵房	170	8.0×4.6	49	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=220 m^3/h，H=10 m，N=18.5 kW；清空泵1台，Q=80 m^3/h，H=11.5 m，N=11 kW
6#雨水泵房	170	8.0×4.6	49	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=220 m^3/h，H=10 m，N=18.5 kW；清空泵1台，单Q=80 m^3/h，H=11.5 m，N=11 kW
7#雨水泵房	170	8.0×4.6	49	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=220m^3/h，H=10 m，N=18.5 kW；清空泵1台，Q=80m^3/h，H=11.5m，N=11kW
8#雨水泵房	170	8.0×4.6	49	雨水泵4台，3用1备，单泵Q=220 m^3/h，H=10 m，N=18.5 kW；清空泵1台，Q=80 m^3/h，H=11.5 m，N=11 kW
9#雨水泵房	950	14×9.5	148	雨水泵5台，4用1备，单泵Q=900 m^3/h，H=11 m，N=55 kW；清空泵1台，Q=150 m^3/h，H=13 m，N=15 kW

2.2.1　雨水系统方案

隧道雨水排放方案根据纵断面线型确定。在隧道出入口敞开段起始设置横截沟,拦截路面雨水,就近接入地面雨水管道系统,避免进入隧道。此外,在隧道敞开段与暗埋段交界处各设置2道600 mm宽横截沟,就近收集敞开段雨水至雨水泵房。

考虑到ES及NE匝道汇水范围仅80 m和71 m,为避免雨水泵房过多,将两条匝道雨水通过边沟、横截沟收集后统一汇至1#匝道雨水泵房。此外,N2和N3匝道、S2和S3匝道紧邻布置,具有较好的合并排放条件。因此,将N2和N3匝道雨水通过管沟收集后统一汇至3#匝道雨水泵房;将S2和S3匝道雨水通过管沟收集后统一汇至4#匝道雨水泵房。其余匝道雨水泵房均单独设置。根据以上原则,共设匝道雨水泵房8座、主线雨水泵房1座。上述雨水泵房均设置于隧道敞开段与暗埋段交界处附近,具体布置见图1。

本工程雨水泵房数量较多,设计流量相近的雨水泵房尽量采用相同的设计规模及水泵配置,互为备用。为便于泵房集水池排空,每座泵房内设置1台清空泵。详细设计参数见表1。

2.2.2　废水系统方案

为收集隧道冲洗废水、结构渗漏水及消防废水等,在隧道两侧横断面低点处设置150 mm宽边沟,在隧道低点处设置一道600 mm宽横截沟,将废水收集至位于低点的废水泵房。本工程隧道纵断面共设有6个低点,根据以上原则,共设废水泵房6座。上述废水泵房均设置于隧道低点附近,具体布置见图1。

本工程6座废水泵房设计规模均为130 L/s,尽量采用相同水泵配置,互为备用。为便于泵房集水池排空,每座泵房内设置1台清空泵。详细设计参数见表2。

表2　废水泵房一览

泵房名称	规模/(L·s^{-1})	平面净尺寸/(m×m)	集水池有效容积/m^3	水泵配置
1#废水泵房	130	6.8×4.6	47	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=13 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=14.5 m,N=11 kW
2#废水泵房	130	6.8×4.6	40	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=14.5 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=16 m,N=11 kW
3#废水泵房	130	6.8×4.6	40	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=13 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=14.5 m,N=11 kW
4#废水泵房	130	6.8×4.6	43	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=14.5 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=16 m,N=11 kW
5#废水泵房	130	6.8×4.6	43	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=16 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=17.5 m,N=11 kW
6#废水泵房	130	6.8×4.6	43	污水泵3台,2用1备,单泵Q=240 m^3/h,H=16 m,N=22 kW;清空泵1台,Q=80 m^3/h,H=17.5 m,N=11 kW

3　隧道排水精细化设计要点探讨

关于城市下穿隧道排水的设计标准、设计原则及基本要求,现行的设计规范、导则及指南中已有较为详细的规定,此处不再展开讨论。此处以无锡高浪路隧道为例,对隧道排水设计过程中遇到的几个设计细节进行探讨。

3.1　隧道废水组成与水质分析

隧道内废水的主要来源包括3部分,即:正常情况下的冲洗废水、结构渗漏水及发生火灾时的消防废水[5]。下面以本工程隧道为例,分析隧道废水的组成、水量及水质,并验证其排至污水管道是必要的。

(1)冲洗水量

关于隧道冲洗水量,设计规范中没有明确规定,主要还是结合实际管养需求确定。通过对接隧道管理中心得知,本隧道每天常规化冲洗水量约9 m^3;每周集中冲洗一次搪瓷钢板及防撞墙等,用水量约60 m^3。因此,每周冲洗水量共计约123 m^3,折合约16.7 m^3/d。

(2)结构渗漏水量

结构渗漏水量与隧道的施工工法密切相关。本工程隧道采用明挖法施工,隧道平均渗漏量按不大于0.05 L/(m^2·d)设计,折合不超过20 m^3/d。

(3)消防水量

本工程隧道属于一类城市交通隧道,消防系统由室内消火栓系统、泡沫水喷雾系统和灭火器系统组成。按同一时间内发生一次火灾考虑。隧道内消火栓系统设计流量为20 L/s,火灾延续时间3 h,用水量216 m^3;泡沫水喷雾系统设计流量为110 L/s,持续

时间1 h,用水量396 m^3。综上所述,隧道内最大消防流量为130 L/s,一次消防最大用水量为612 m^3。

通过上述数据可知,隧道消防水量远大于隧道冲洗水量及结构渗漏水量。因此,废水泵房设计流量按最大消防流量设计是可靠的。

(4)废水水质分析

高浪路隧道竣工通车后,按照污水主管部门要求测定6座废水泵房进水化学需氧量(COD)、氨氮(NH_4^+-N)及总磷(TP)等常规水质指标。水质检测分晴天、雨后两种工况进行,均在隧道集中冲洗后测定。

表3　废水水质一览　单位:mg/L

工况	项目	COD	NH_4^+-N	TP
晴天	范围	143~485	0.32~6.93	0.07~0.43
	平均值	316	2.58	0.23
雨后	范围	114~792	0.22~7.52	0.04~0.44
	平均值	367	3.09	0.21

由表3可知,隧道废水COD浓度较高,是《地表水环境质量标准》中V类水标准限值(40 mg/L)的2.9~19.8倍;NH_4^+-N和TP浓度相对较低,分别是《地表水环境质量标准》中V类水标准限值(2.0 mg/L和0.4 mg/L)的0.1~3.8倍和0.1~1.1倍。据此数据判断,隧道废水排至污水管道是必要的。

3.2　隧道纵断面设计要点

关于隧道接地点外侧驼峰的设置及出入口纵坡要求,现行的设计规范中已有明文规定[4,6]。但关于隧道纵断面低点的设置暂无明确规定。因此,从排水角度出发,对纵断面低点设计做一个简单探讨。

(1)隧道废水泵房通常设置于隧道低点附近,外挂于隧道两侧。如主线纵断面低点设置在匝道范围,则废水泵房需避开匝道布置。这势必会增加隧道内管沟数量及埋深,同时也会增加运营阶段的管养难度。因此,主线纵断面低点不宜设置在匝道范围。如废水泵房可设置于隧道中仓下方,则可不受此条要求限制。

(2)为尽量减少泵房数量,通常不建议匝道单独设置废水泵房。本工程隧道N4、S4匝道内各设置了一处低点,虽然通过横截沟反向找坡、主线边沟加深等方式将匝道低点处废水引至了主线废水泵房,但隧道通车运营后发现,此段边沟、横截沟经常性淤堵,感官效果较差。因此,如非必要,匝道纵断面不宜设置低点。

(3)为便于废水泵房主体结构及出水管施工,隧道低点应尽量避开河道、轨道交通、铁路、综合管廊及重大管线等障碍物。

3.3　隧道挡水系统设计要点

隧道挡水系统通常包括驼峰、接地点外横截沟、侧墙等。研究表明,接地点处横截沟截水效果有限,往往很难达到设计的预期[5]。分析其原因,主要是细节设计不到位。

(1)大部分设计只是通过增加横截沟宽度和数量来提高截水效果,而忽视了路面横坡对横截沟收水效果的影响。由于路面横坡的存在,雨水并不是沿隧道纵向均匀地趟至横截沟,而是先沿合成坡趟至两侧,再集中沿纵坡趟至横截沟。由此可知,发挥拦截作用的仅是路侧那一小段横截沟。雨量较大时,往往来不及拦截雨水。为此,比较简便的做法是在路侧设置纵向明沟将横截沟连通,这可显著提高横截沟的收水效果。

(2)横截沟箅面标高同样不可忽视,设计阶段应复核横截沟最低点的水位线,确保自排的安全性,防止箅面雨水倒灌。如低于受纳水体最高水位,则需适当抬高横截沟的布置位置或优化接地点纵断面设计。

3.4　隧道排水系统设计要点

3.4.1　边沟横截沟

(1)为便于清通养护,盖板边沟、横截沟宜每隔20~30 m设置一处可拆卸盖板。为减少跳车风险,横截沟可拆卸盖板宜设置于路侧。

(2)隧道内管沟之间,尤其是隧道主线和匝道分合流点处,应互联互通,避免路面淌水。本工程在隧道主线和匝道分合流点采用了两种不同的衔接方式。一是通过设置横截沟连接,二是通过设置暗管连接。隧道通车后发现,由于正常情况下管沟内水流较小,此节点处经常淤堵。横截沟虽然在一定程度上降低了行车舒适性,但清通管理较为简便。因此,建议隧道内尽量采用边沟、横截沟排水,而少设暗管。

(3)本工程隧道收水系统由小圆边沟、盖板边沟、横截沟组成。受制于混凝土浇筑、支模工艺等问题,小圆边沟与盖板边沟、边沟与横截沟直接连接容易被混凝土堵塞,凿除后断面粗糙,经常导致排水不畅(见图2、图3)。通过在衔接处预埋圆管连接,有效解决了这一问题。

3.4.2　雨废水泵房

(1)设计流量

图2　小圆边沟与盖板边沟直接连接

图3　小圆边沟与横截沟埋管连接

在暴雨重现期一定的情况下,汇水面积是计算雨水泵房设计流量的最主要参数。根据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)第5.2.7条规定:屋面的汇水面积应按屋面水平投影面积计算。高出裙房屋面的毗邻侧墙,应附加其最大受雨面正投影的1/2计算[7]。隧道排水需参照执行。常规算法是:隧道敞开段汇水面积=敞开段路面面积+1/2单侧侧墙面积[8-10]。但上述算法并未完全理解此条文的意义。一是忽略了洞口兜水的影响,二是并未计算组合侧墙的投影面积。

如图4所示,隧道敞开段可近似等效成此图形。敞开段两侧侧墙面积相等、兜水方向相反,因此可相互抵消。按此简化后,隧道敞开段汇水面积=路面水平投影面积+1/2洞口正投影面积。

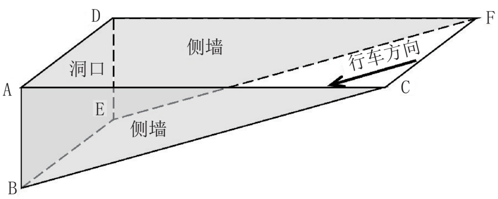

图4　敞开段侧墙汇水面积图

在求得汇水面积之后,可通过式(2)求得雨水设计流量。为保障隧道排水安全,雨水泵房设计规模通常按不小于雨水设计流量的1.2~1.3倍确定。废水泵房设计规模通常按最大消防流量设计即可。

$$Q=\psi qF \tag{2}$$

式中:Q为雨水设计流量,L/s;ψ为径流系数;q为设计暴雨强度,L/(s·hm²);F为汇水面积,hm²。

(2)设计扬程

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)第6.2.4及6.2.5条规定,雨水泵的设计扬程无需考虑安全水头,污水泵的设计扬程需考虑0.3~0.5 m的安全水头[4]。结合以往工程经验,泵房外压力管道施工时往往会因施工时序、管线综合等原因增加几处弯头,从而导致水头损失增加。因此,建议适当增加安全水头,雨水泵考虑0.5 m左右的安全水头,污水泵考虑1.0 m左右的安全水头。

(3)集水池

泵房集水池有效容积是隧道排水韧性的重要表征指标之一。近年来,全国极端暴雨频发。因此,建议适当提高雨废水泵房的调蓄能力,雨水、废水泵房集水池有效容积分别按不小于最大一台泵5、10 min的出水量设计。

此外,为便于泵房集水池排空,通常会在集水池底部设置一集水坑。本工程设计阶段与隧道管理部门对接,集水坑内设置一台清空泵,清空泵设计流量按0.5~1.0 h排空集水池底部存水控制。

3.4.3　出水设施

(1)泵房出水压力管

雨水、废水泵房压力管的出水方向需考虑泵房顶板覆土及管线综合等因素。废水泵房通常设置于隧道低点附近,顶板覆土较深,为便于泵房外压力管道施工,通常可从泵房顶板穿出。雨水泵房通常设置于隧道敞开与暗埋交界处附近,顶板覆土较浅,且雨水压力管管径较大,管道从顶板穿出后可能不满足道路下最小覆土要求,因此建议从侧墙穿出。

此外,雨水、废水泵房出水压力管应尽量短,否则需考虑管道系统特性曲线对水泵并联工作的影响。

(2)消能井

当两座及以上泵房共用一根出水管时,消能井宜设置于分支管上,以减小对主管内水流的冲击。如图1所示,本工程1#雨水泵房与2#雨水泵房共用一根d1000雨水管,泵房压力出水经消能后再接至雨水总管;本工程6座废水泵房也均先消能后再接至地面污水总管。

此外,为避免极端情况下井盖受内水压力顶托跳起造成人员伤亡及财产损失,消能井不宜布置于车行道下,宜优先布置于绿化带内。

4　经验总结及提升措施

(1)由于对“隧道废水”认知差异,污水主管部门

认为隧道消防、冲洗水性质与雨水类似，不应接至污水管。为此，验收阶段与主管部门再次对接，梳理现行规范、导则及指南等关于隧道排水的相关规定，总结得出：有城市污水管网时，隧道废水应排入污水管网或合流管网。其次，通过实测晴天、雨后两种工况下废水泵房的进水水质，以试验数据证明了隧道废水纳入污水管网的必要性。因此，设计阶段一定要和主管部门各科室积极对接，明确雨废分流原则，避免引起不必要的返工。

（2）本工程ES匝道敞开段汇水长度仅约80 m，为提高行车舒适性，匝道敞开与暗埋交接处未设置横截沟，仅在匝道横断面较低侧设置边沟收水。隧道建成通车后发现，敞开段雨水虽能通过边沟收集，但不可避免地会在路面形成小范围淌水。冬季雨雪天气路面易结冰，车辆易打滑，存在一定安全隐患。因此，无论敞开段多短，敞开段与暗埋段交接处设置横截沟都是非常有必要的。

（3）本工程雨水、废水泵房集水池水泵吊装孔采用花纹钢盖板。竣工验收阶段，隧道管养单位提出，现场无法快速观察集水池内水位情况。为便于现场观测，建议后续项目可采用镀锌网格盖板或玻璃钢格栅盖板。

（4）隧道雨水、废水泵房内通常配备3~5台水泵，并根据不同工况切换运行。水泵运行时，现场能听见水泵在运转，但难以快速识别是哪台水泵在运行。为便于现场观测，建议后续项目可在水泵出水管上增设压力表。

5 结　语

城市超长隧道排水系统复杂，如何将隧道内分散的雨水、废水快速有效地分类收集和排除，是隧道排水设计的重点和难点。本文以无锡高浪路隧道为例，探讨了隧道废水组成、纵断面设计、挡水系统设计及排水系统设计四个方面的设计要点，并归纳总结了工程施工及竣工验收过程中发现的一些问题及改进措施，以期为相似工程提供设计指引和案例参考。

参考文献：

[1] 林巧飞. 高浪路快速化改造工程总体方案研究思路透析[J]. 城市道桥与防洪，2020（8）：10-14.

[2] 陆沁. 无锡市高浪快速路总体设计[J]. 城市道桥与防洪，2021（6）：21-24.

[3] 周杰. 多匝道大型隧道排水设计方案技术要点分析[J]. 山西建筑，2023，49（7）：165-168.

[4] GB 50014—2021，室外排水设计标准[S].

[5] 殷琪. 城市水下明挖隧道排水系统设计要点探讨[J]. 城市道桥与防洪，2025（3）：189-193.

[6] CJJ 221—2015，城市地下道路工程设计规范[S].

[7] GB 50015—2019，建筑给水排水设计标准[S].

[8] 顾雨涵，李佳钰. 新规范城市下穿隧道排水泵站的设计[J]. 城市道桥与防洪，2023（2）：130-133；141.

[9] 黄思进. 城市下穿式隧道排水设计[J]. 城市道桥与防洪，2025（1）：162-166.

[10] 欧阳玉宝，付朝晖. 珠海金琴快线某车行隧道排水系统设计[J]. 中国给水排水，2024，40（10）：86-90.