

北京市公路工程防洪 设计指南

**Beijing Municipal Highway Engineering Flood Control Design
Guideline**

北京市规划和自然资源委员会

2025年6月

北京市规划和自然资源委员会

关于印发《北京市公路工程防洪设计 指南》的通知

京规自发〔2025〕139号

各分局、机关各处室、委属各单位，市城乡结合部建设办：

为全面落实市委、市政府关于“23·7”极端强降雨灾后重建工作部署，扎实推进“一年基本恢复、三年全面提升、长远高质量发展”的总体目标，为北京公路交通基础设施建设提供技术支持，依据《北京市“十四五”时期规划和自然资源标准化工作规划》的要求，我委研究制定了《北京市公路工程防洪设计指南》（以下简称《指南》）。本《指南》自发布之日起实施，请设计单位、建设单位及管理部门参照执行。

特此通知。

北京市规划和自然资源委员会

2025年6月5日

前　　言

为全面落实北京市委、市政府关于“23·7”极端强降雨灾后重建工作部署，扎实推进“一年基本恢复、三年全面提升、长远高质量发展”的总体目标，为北京公路交通基础设施建设提供技术支持，依据《北京市“十四五”时期规划和自然资源标准化工作规划》的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，吸取科研成果，并在广泛征求意见的基础上，完成了指南的编制工作。

本指南的主要技术内容是：1. 总则；2. 总体要求；3. 路线；4. 路基路面；5. 桥隧；6. 排水。

本指南由北京市规划和自然资源委员会归口管理，北京市规划和自然资源标准化中心负责日常管理，北京市市政工程设计研究总院有限公司（地址：北京市海淀区西直门北大街32号3号楼市政总院大厦，邮编：100082，电话：88216754，邮箱：luofei@bmedi.cn）负责具体技术内容解释工作。本指南执行过程中如有意见和建议，请寄送至北京市规划和自然资源标准化中心（电话：55595000，邮箱：bjbb@ghzrzyw.beijing.gov.cn），以供今后修订时参考。

本指南主编单位：北京市市政工程设计研究总院有限公司

本指南参编单位：北京市城市规划设计研究院

北京市水务规划研究院

交通运输部公路科学研究院

北京公科固桥技术有限公司

石家庄冀星路桥工程设计有限公司

北京工业大学

北京市首都规划设计工程咨询开发有限公司

本指南主要起草人：李盼到、罗飞、刘洪洋、钟晓颖、张慧敏、邓卫东

汪洋、张蓉、李凤翀、张义、李江龙、田芸

冯海江、郭金燕、尼颖升、廖昭华、白玉磊、忽惠卿

孙帅勤、李婷婷、廖军、张建涛、涂强、王绍斌

刘洋、刘向阳、邱成、任杰、张浩

本指南主要审查人员：张仁、郭明洋、王仲民、孙增奎、杨忠山、刘洪伟

李正熔、郝景贤、张建青

目 次

1	总则	1
2	总体要求	2
2.1	一般规定	2
2.2	公路工程防洪标准	2
2.3	公路防洪设计总体要求	3
2.4	水文调查与设计洪水计算	3
3	路线	4
3.1	一般规定	4
3.2	平原微丘区选线	4
3.3	山岭重丘区选线	5
3.4	不良地质区选线	9
3.5	路基横断面设计	10
4	路基路面	11
4.1	一般规定	11
4.2	路堤防护工程设计	15
4.3	路堑防护工程设计	20
4.4	路面工程设计	27
5	桥隧	29
5.1	一般规定	29
5.2	桥位选择和孔径设计	29
5.3	桥梁结构形式及构造措施	29
5.4	桥涵防护工程设计	32
5.5	隧道防洪设计	36
6	排水	37
6.1	一般规定	37
6.2	道路边沟设计	37
6.3	桥梁纵断面凹点溢流设计	39
6.4	桥下空间雨水径流滞蓄塘设计	39
6.5	隧道、下凹桥区防洪设计	40
附录 A	设计洪水计算方法	41
附录 B	北京市山区洪水分区图	44
附录 C	北京山区暴雨径流历时 (H-h-t) 关系图	45
附录 D	北京市平原区 P+Pa--Δ-R 相关图	46
本指南用词说明	47	
引用名录	48	

1 总 则

1.0.1 为指导北京市公路工程防洪设计，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于北京市市域范围内新建、改建和扩建公路工程的设计。

1.0.3 公路建设项目应进行防洪设计，以确保公路的安全性和耐久性。

公路工程防洪设计涉及面较广，具有多专业和多学科的特点，须综合考虑自然条件、路基防护、桥梁结构以及排水系统等多方面因素，其主要内容：

1 防洪标准

依据《防洪标准》GB 50201，公路的防洪设计应根据公路的功能和交通量分为不同的防护等级，并针对公路路基、桥梁和隧道规定了具体的防洪标准。

2 路基和路面设计

公路路基和路面设计应考虑洪水的冲刷、侵蚀和泥沙沉积作用。具体包括增加排水设施、采用抗冲刷材料、设置护坡和护岸等措施。

3 桥梁和涵洞设计

桥梁和涵洞作为公路防洪设计中的重要构筑物，需要确保孔径和净空满足行洪要求，结构强度能抵抗水流冲击作用，并考虑洪水对基础的冲刷。

4 排水系统设计

排水系统对于防止洪水汇聚和保护公路安全具有重要作用，其设计通常包括边沟、排水沟、急流槽等排水设施。

5 洪水预警和监测

在洪水风险较大地区的公路，建议设置洪水预警设施和监测系统。

1.0.4 公路工程防洪设计除应符合本指南外，尚应符合国家、行业和北京市现行标准的规定。

2 总体要求

2.1 一般规定

2.1.1 公路工程防洪设计是公路设计的重要组成部分，应与道路的规划功能定位和规划要求相符合，根据各级国土空间规划及防洪和地质风险综合研判，合理确定公路技术等级及防洪标准。

2.1.2 公路工程防洪设计内容包括路线、路基路面、桥涵、隧道、排水、路线交叉、交通工程及沿线设施等，以及桥位上下游一定范围的相关防洪工程。

2.1.3 公路工程防洪设计应遵循以下原则：

1 系统性原则：坚持科学规划、空间统筹、因地制宜、安全韧性、平急结合，实现技术经济合理性；

2 适应性原则：根据地貌地质、水文条件、防洪标准及重要性，确定平纵面线形与桥涵等方案；

3 可持续原则：注重生态保护与土地集约利用，推广节能技术，保障可持续发展。

公路重要性需要根据规划中明确的技术等级和功能定位，并结合交通需求预测进行综合分析后确定。

2.1.4 公路防洪设计前应开展风险识别与评估，包括历史水文数据分析、洪水灾害调查，并基于地质条件预测潜在灾害类型及风险等级。

2.1.5 城乡建设区段公路防洪设计应满足区域防洪体系要求，并与用地规划、竖向设计、市政管线等统筹协调。

2.1.6 沿溪线公路防洪设计前应统筹研究公路与河道用地，划定河道蓝线（洪水淹没线）及公路红线，优化水域与公路空间布局，减少土地占用。

2.1.7 优先保障交通生命线走廊及随路市政生命线的安全，选线及设施选址应充分考虑次生灾害的影响。

交通生命线走廊需统筹考虑公路水毁情况、既有公路网规划和技术标准、建设工程代价、常住人口和旅游经济的产业分布等因素，综合确定。以“连单线成环网、串人口保安全”为原则，将交通主干生命线走廊划分为对外主干生命线走廊和内部联络生命线，前者侧重保障外部应急物资及人员往来，后者侧重形成路径可选的环形应急防灾通道，解决单一孤立通道韧性不足的问题。后续可在设计方案中进一步对局部公路纵断面进行优化，系统研判采取提高局部路段的防洪标准或采取具有针对性的加固措施，提高生命线的防灾能力。

2.2 公路工程防洪标准

2.2.1 公路工程防洪标准应根据国家法规、技术标准及行业规范，结合流域防洪规划、区域防洪体系及上下游防洪协调要求，科学合理确定。

2.2.2 符合下列条件之一的公路，经技术经济综合论证后可提高防洪标准，并应避免对相邻区域造成风险转移：

1 承担干线公路功能或交通生命线走廊；

2 沿线布设重要市政生命线设施；

3 作为村镇唯一对外交通通道。

现行国家《防洪标准》GB 50201 明确三级公路小桥、路基、涵洞及小型排水构筑物、中短隧道防洪标准为 25 年一遇，但对四级公路路基、涵洞及小型排水构筑物未作明确规定。建议三级公路路基、涵洞及小型排水构筑物、中短隧道防洪标准适当提高；四级公路路基、涵洞及小型排水构筑物防洪标准不低于 20 年一遇。

2.2.3 当公路承担城乡建设区洪水防御功能时，其防洪标准还应满足城乡防洪保护要求。

2.2.4 涉及水库、蓄滞洪区、塘坝等水利设施的公路，防洪标准结合水利设施建设标准及运用要求确定。

2.2.5 防洪识别为高风险的公路应采取有效措施，提高抵抗超标准洪水的能力。

2.3 公路防洪设计总体要求

2.3.1 公路选线应符合北京城市总体规划、分区规划、乡镇国土空间规划及村庄规划，统筹河湖水系、村镇建设、文旅用地、文物保护等空间关系，并与防洪管理体系衔接。根据北京市“三区三线”划定成果，严格落实永久基本农田和生态保护红线的相关管理保护要求。

2.3.2 公路路基防洪设计应符合下列规定：

1 应基于地形进行洪水风险分析，结合现状条件设置截洪沟、拦砂坝、撇洪渠等设施，并预留防洪工程用地；

2 沿溪线公路路基边线至沟道上口线（或淹没线）距离不宜小于 5.0m，并设置护岸、挡墙等支挡结构；

3 沿溪线纵断面设计高程应按河道设计洪水位（含壅水高度、波浪爬高及安全超高）控制。

2.3.3 公路桥涵防洪设计应符合以下规定：

1 梁底标高应满足计算水位和桥下净空要求；

2 调查洪水期大漂流物及洪水推移质影响，合理确定桥梁形式、跨径；

3 桥孔布置原则上不得随意缩窄河道行洪断面，不得降低河岸高程，不得阻断两岸巡河路通行；

4 应对桥区段上下游进行同步疏挖治理；

5 河道内桥墩轴线宜沿顺水流方向布置。

2.3.4 随路建设的服务区、加油站、停车场、收费站及观景台等公路配套设施的布局选址、高程设置等，应充分考虑防洪和内涝风险，有条件的兼顾平急两用需求。

2.3.5 公路隧道出入口及配套通风洞口应充分分析洪水风险，并综合考虑地形、地质、工程投资、路网衔接等条件，确定隧道线位、洞口位置及高程，并采取有效措施防止超标准洪水进入隧道。

2.3.6 公路设计不宜改变区域排水分区，或应符合相关河道、排水规划并按规划同步实施；排涝设施布置应考虑坡面雨洪的防御及排泄，路面、桥面等区域排水应根据实际情况采取相应措施，降低洪涝风险。

2.4 水文调查与设计洪水计算

2.4.1 水文调查应根据工程设计要求和区域条件，综合采用现场调查、洪水调查和历史水文资料考证等方法。

2.4.2 水文调查应包括以下内容：

1 流域自然特征：地形地貌、植被和土壤类型等；

2 水文气象数据：工程沿线雨量站或水文站观测系列、历史洪水痕迹与洪峰流量等；

3 水利工程分布：已建水库特征水位、河堤防洪标准及河道整治工程的实施状态；

4 水空间管控要求：河道管理及保护范围线、生态敏感区保护范围、涉水建设约束条件。

2.4.3 设计洪水计算应包括洪峰流量与洪水总量的计算分析，具体方法应符合附录 A 的规定；相关附图如下：

1 附录 B：北京市山区洪水分区图；

2 附录 C：北京山区暴雨径流历时（H-h-t）关系图；

3 附录 D：北京市平原区 P+Pa--Δ-R 相关图。

2.4.4 在数据与成果管理过程中，应评估水文调查数据、分析成果及计算成果的可靠性。

3 路 线

3.1 一般规定

3.1.1 公路设计应根据相关规划确定功能定位、技术等级及防洪标准，并应结合交通量、建设条件等因素综合选定主要技术指标。

3.1.2 公路总体设计应统筹协调路线、路基路面、桥涵、隧道、交叉工程、排水系统及沿线设施的关系，通过系统化布局实现功能协调、综合合理。

3.1.3 公路路线设计应以规划路网为依据，并应符合下列规定：

- 1 应通过多方案比选论证路线基本走向；
- 2 应结合主要控制因素，综合比选确定路线走廊带及布局方案；
- 3 应按技术标准对平、纵、横断面进行协同优化，合理确定路线方案。

主要控制因素应符合《公路路线设计规范》JTG 20 的相关要求。

3.1.4 公路路线线位确定应符合下列规定：

1 应在工程地质、水文地质、气候条件、生态保护、文物景观等专项调查基础上，结合路网规划、地形地物特征，合理确定平纵面技术指标；

- 2 应对可行路线方案进行技术经济综合比选。

北京市地形为西北高、东南低，呈西北向东南倾斜的半盆地地形。山地约占全市面积的 62%，平原约占 38%。西部、北部山地海拔在 1000m 以上，东南部平原高程大部分海拔 20–60m。

结合北京市地形特点及山区常见的不良地质类型，主要考虑平原区、山岭区以及不良地质灾害区（滑坡、泥石流等）公路选线应关注的防洪设计要点。

3.1.5 公路选线及构筑物设置应避免破坏原有排水系统，不降低排水能力，并宜维持原有排水路径。

3.1.6 公路改扩建工程应根据规划和沿线条件，遵循“改建结合、综合利用”原则，合理利用既有工程设施。

3.2 平原微丘区选线

3.2.1 平原微丘区地形相对平坦且起伏较小，路线一般不受地形限制。河流水网和公路网具有明显的规划特征，路线方案应结合路网规划合理布设，优先采用短捷顺直线形与较高平纵面技术指标，确保技术指标均衡且过渡平顺。

3.2.2 原河网地区选线应依据干流、支流分布及通航等级要求，优先采用较高技术指标选择适宜跨越点位，宜使路线与河道正交，并减少跨河构筑物数量。

3.2.3 路线通过蓄滞洪区时，桥涵及路基设计应根据水文资料预留足够孔径与高程，避免洪水淹没沿线设施及用地，并强化防洪设计。

3.2.4 路线应与农田水利建设协调，减少与灌溉渠道交叉，宜布设于渠道上游非灌溉侧或渠系末端。路线与河（渠）道并行时，可采用堤路结合或桥闸结合形式沿河（渠）堤布线，集约利用土地并保障灌溉功能。

3.2.5 路线临近村庄或农田布设时，应结合河道形态与用地条件设置防护工程，保障村庄及农田防洪安全。

3.2.6 平原区桥位选择与路线设计的关系应符合下列要求：

1 路线跨越平原游荡型河段时，桥位应优先选择两岸岸线稳定、河床束窄的河段，桥梁轴线宜与河岸正交；跨越平原顺直或微弯河段时，桥位宜选择河槽与河床走向一致且河槽流量较大的河段，桥梁轴线应与河道主流方向正交；

2 特大桥的设置原则上应服从路线走向并满足桥头接线的要求,桥梁轴线宜与洪水的主流流向正交。

特大桥桥位是路线基本走向的控制点,其桥位选择和路线总体线位的确定关系紧密,应结合桥位位置、道路总体线形、交通量、工程投资等因素综合比选确定最优方案。应注意避免两种情况:一是强调桥位,造成路线迂回,或由于强调正交桥位,出现桥头急弯而影响行车安全;二是强调线形顺直,造成桥位不合适或斜交过大,增加建桥难度。图 3.2.6 中路线跨河有三个方案:从路线里程来看, A 线位最短,但桥梁多,且都为斜交;从桥位选择来看, B 线位较好,但路线较长; C 线位则各桥都近于正交,线形也较平顺。三个方案都各有优缺点,需要结合其他条件,如公路功能、交通量、用地条件及工程投资等综合比选后确定最优方案。

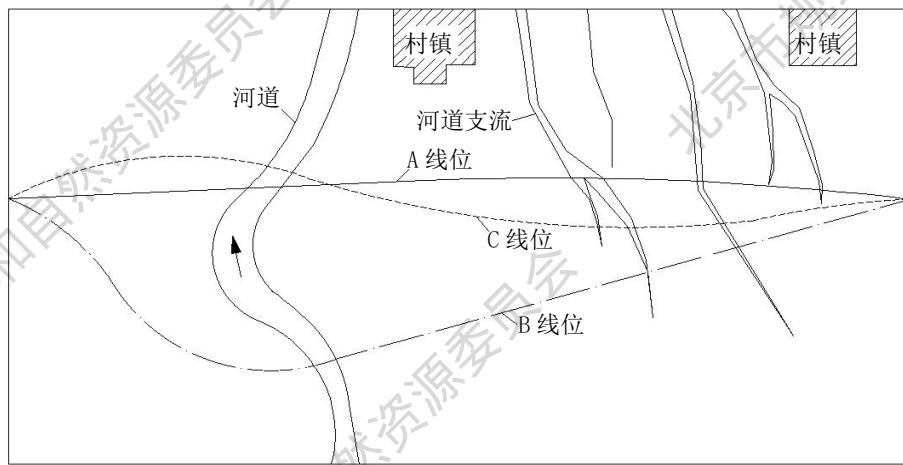


图 3.2.6 路线选择与桥位关系示意

3 中、小桥和涵洞位置应服从路线走向。如遇到与河道斜交,夹角范围应在 75° - 105° 之间或一跨过河,夹角较小时宜设置独柱墩。

3.2.7 桥头路基的路肩最低点高程应高于桥梁设计洪水位 0.50m。其中,大中桥设计洪水位包括壅水和浪高,小桥涵洪水位可不计浪高。当受洪水冲刷风险较大时,大中桥桥头路基段可布设为桥梁。

《公路路线设计规范》JTG D20 规定了桥涵两端路基段的设计标高,大、中桥引道与沿河路基规定基本一致,小桥涵规定不计浪高。

根据“23·7”极端强降雨公路水毁情况,桥头路基也是水毁严重段落,在设计中应结合水文计算分析,确定桥头一定范围内的路基高程。

对于沿桥头方向的长度在相关规范中无明确规定,一般大中桥的台后路基防护段应超出洪水泛滥范围,也可通过水文分析判定对路基的影响长度确定桥头路基段高程和加强冲刷防护段长度。在无法确定影响范围时,建议桥梁按台后每侧处理范围 $10m+H$,涵洞台后每侧处理范围 $5m+H$ (H 为路基填土高度)。

3.3 山岭重丘区选线

3.3.1 山岭重丘区地形起伏剧烈、坡度陡峭,不良地质作用(崩塌、滑坡、泥石流等)发育,洪水具有洪峰高、径流量小、流速湍急及冲刷破坏性强等特征。路线布设应结合地形、地质及水文条件,通过展线、设置桥梁和隧道实现灵活布线。

山岭区公路选线受自然条件制约较多,一般分为沿溪(河)线、山脊线、山腰线、越岭线等路线布设形式,在实际工程中通常采用多种路线形式的组合,进行灵活布设。

3.3.2 山岭区路线设计应充分利用有利地形,优先采用曲线定线。当地形开阔、利于布设路线时,应采用较高技术指标;当地形起伏受限时,可采用较低技术指标。

3.3.3 沿溪（河）线是指沿河、溪岸布设的路线，河岸选择、线位高程和桥位布设应符合下列要求：

1 路线布设河岸的选取应综合考虑地形、地质、水文、气候条件，城镇及居民点的分布、工程投资等，综合分析比选确定；

路线优先选在地形宽坦、有台地可利用、支沟较少且较小、地质条件良好、不易被水流冲刷或冲刷较轻的一岸。这些有利的条件常交错出现在河流的两岸，选线时应深入调查，综合比较，全面权衡，决定取舍。

积雪冰冻地区，在不影响路线整体布局的前提下，宜选择阳坡侧或主导风向背风侧一岸布线。

结合农田及城镇分布条件，高等级公路路线应尽量远离村镇，减少对居民的影响，可采取设置连接线的方式为村镇提供交通服务；二级及以下公路路线宜选择在居民点和企业单位分布较集中的一侧，便于提供服务，但应避免大量拆迁和妨碍城镇发展。严禁占用永久基本农田，优先利用荒地、劣地，确需占用耕地时应落实占补平衡。

2 路线设计高程应满足路基防洪设计水位要求，并预留安全值。线位方案应综合比选高线位与低线位，重点论证地质条件、居民出行便捷性、工程投资及防洪风险等因素，综合确定设计高程。

路线高程选择可分为高线位和低线位两种方案。高线位方案的优点在于其位置较高，能有效避免洪水的威胁，保障路线的安全性；缺点在于线位位于山坡上，会导致平面线形差，工程规模较大，需要设置较高的挡土墙或其他构造物，同时在避让不良地质和路线跨河换岸方面存在困难，且不利于居民出行。低线位方案的优点是平纵线形较为顺直、平缓，土石方数量较小，边坡较低，易于稳定，便于利用有利地形和避让不良地形、地质，跨河也较为方便；缺点是高出设计水位不多，受洪水威胁大，需要设置较多的防护工程。

路线高程确定时应针对路线高、低线位方案，在地质条件、居民出行便捷性、工程投资、防洪风险等多方面同深度进行比选，最终确定最优的线位高程。高等级公路路线多选择高线位，并通过设置连接道路与地方道路及村镇连通；低等级公路路线多以低线位为主，同时结合洪水位调查，做好防护工程，保证路基稳定和安全。

3 沿溪（河）线路基边缘设计高程应高出设计洪水频率对应的洪水位、壅水高度、波浪爬高及0.50m安全高度之和。

位于北京山区的某三级公路，受“23.7”特大暴雨影响，沿河段路基水毁严重（图3.3.3-1）。该段河岸呈S形弯道，河床纵坡较大，河道狭窄，水流急，原路基高度较低，与淤积后河床高度基本一致，暴雨期间路基路面冲刷严重（特别是河流凹岸段），路肩墙出现不同程度的损毁。该项目在恢复重建设计中进行了专项水文分析，并根据控制条件适当提高了水毁淹没段路基设计高程，以减少未来洪水再次淹没公路造成损毁的风险。



图3.3.3-1 某公路水毁灾后影像

（1）路基设计高程计算公式：

根据公路规范，沿河路基在设计洪水频率下，路基边缘最低设计高程应为高出设计洪水频率计算水位加壅水高度、波浪侵袭高及0.50m的安全高度之和。

本案例考虑公路沿河流断面影响范围外布设，未压缩河道过水断面，且未设置桥梁构筑物，路基设计高程计算中可不计壅水高度。但需考虑波浪爬高、局部冲高、河湾超高及床面淤高等因素。凹岸段局部冲高值与波浪爬高值比较，取大值计波浪爬高值。河床将随公路重建同步治理，床面淤高不计。故本案例路基边缘最低设计高程计算为：洪水频率计算水位+波浪爬高（ H_e ）+河湾超高（ $\Delta H_w/2$ ）+安全高度（0.5m）。

（2）设计水位计算

设计水位可由河道规划部门提供，当无相关规划资料时，也可根据计算的洪水流量与现场实测的河床形态断面，推算设计水位。洪水流量计算可采用附录A的方法，或采用其它方法进行对比验证，并与区域段落实际流量进行比较，选取合理的计算结果。

本案例中根据计算结果发现河湾超高值是路基设计高度影响较大因素之一，顺直河道段路基设计高程可不考虑，河道急弯处路基设计高程应做重点考虑。

在山区沿溪（河）线低等级公路设计中，当无法获取水文计算分析资料时，路基设计高程建议在对应洪水频率设计水位加0.5m安全高度基础上，增加不小于0.2m的壅水高度和波浪侵袭高。

4 桥位选择应符合下列要求：

1) 山区开阔河段，桥位应选择河槽稳定、水深较浅且流速平缓的区段；山前变迁河段，桥位宜布设于两岸与河槽相对稳定的束窄河段；必须跨越扩散段时，应选择河槽摆动范围较小的区段，桥梁轴线应与洪水主流方向正交；

2) 桥位选择应确保桥头引道线形顺畅，协调桥位与路线平纵面关系；

3) 桥位宜优先选择河湾附近有利位置跨越，避开凹岸冲刷强烈河段（图3.3.3-2）；

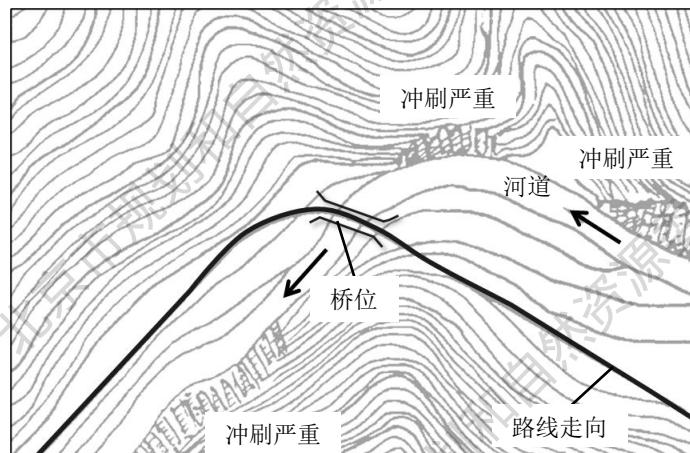


图3.3.3-2 在河弯附近跨河路线选择

4) 桥位宜设置在S形主河道腰部，以争取桥轴线与河道成较大交角（图3.3.3-3）；



图3.3.3-3 桥位宜选在“S”形河道腰部



a) 跨河选线不良案例

b) 大桥平行河道跨河选线桥头杓形曲线

图 3.3.3-4 桥头线形处理

3.3.4 在山嘴或河湾处选线时，应对沿河绕行与取直方案结合道路等级进行综合比选后确定，并应符合下列规定：

- 1 高等级公路宜优先采用取直方案，以优化线形技术指标；
- 2 低等级公路应通过技术指标、工程造价及环境影响综合比选确定方案。

沿山嘴自然地形绕行方案，由于线路展长，在坡度受限地段利于展线（隧道除外），但易受不良地质的危害和河流冲刷的威胁，需做好防护措施。路堑或隧道取直方案路线短直，安全条件较好，但当隧道较长时，工程投资增加，应全面分析，综合进行比选。通常在绕行方案与取直方案工程投资相近的情况下，采用取直方案为宜。高等级公路采用隧道形式时，线位应尽量向山体内部偏移，以减少隧道偏压。

路线遇到河弯时，有沿河绕行、建桥跨河和改移河道三种方案。一般情况下，沿河绕行方案，路线迂回，岸坡陡峭，水流冲刷严重，路基防护工程大，路线安全条件差；建桥跨河和改河方案，裁弯取直，路线短，安全条件好。路线方案选择应保障河道行洪安全，根据地形、地质、水文等条件，综合比选后确定。

3.3.5 越岭线是指沿分水岭一侧山坡爬上山脊，在适当地点穿过垭口，再沿另一侧山坡下降的路线，主要用于二级及二级以下公路。越岭线路线设计应符合以下要求：

- 1 应充分利用地形条件，尽量避免高填深挖，以降低高边坡滑塌风险；
- 2 应避免在雨水汇流量大或存在泥石流风险的坡面设置多处回头曲线，宜采用绕山嘴、沿冲沟展线或山脊螺旋展线，减轻不良地质侵蚀。

同一坡面设置多处回头曲线，线形标准低，对山体环境破坏大。当一处边坡滑塌后易造成上下关联路段的破坏，形成大路段的道路损毁，且修复困难，应尽量避免。

当路线受到限制，需在某处集中提高或降低一定高度，以充分利用前后有利地形时，可考虑采用螺旋展线。螺旋展线一般多在山脊利用山包盘旋，通过旱桥或隧道跨线（图 3.3.5-1）；或设置在峡谷内，路线就地迂回，利用建桥跨线（图 3.3.5-2）。

螺旋展线可视为回头展线的一种变形，在特定地形条件下可用来代替连续回头展线。螺旋展线比回头展线线形好，避免路线重叠，但需建隧道或桥梁，造价较高。应根据路线性质和地质条件，与回头展线的方案进行详细比较后再确定。



图 3.3.5-1 山脊螺旋展线案例

图 3.3.5-2 山谷螺旋展线案例

3.3.6 山脊线是指沿分水岭布设的路线，主要适用于二级及二级以下公路。其线位应根据地形条件、平纵线形、工程量及路基稳定性等因素，通过方案比选确定路线走向及控制垭口，并应符合下列要求：

- 1 分水岭顺直且起伏较小时，各垭口均可作为控制垭口；
- 2 地形复杂、各垭口高差悬殊时，宜选取低垭口作为控制垭口；
- 3 对相邻间距较小的并排垭口，宜选择前后路线衔接顺畅、线形较短的垭口作为控制点。

3.3.7 山腰线线位应结合地形、地质及环境条件，统筹路基、桥梁、隧道等构造物设置要求，并应符合下列要求：

- 1 山腰线应避免高填深挖，降低强降雨渗流或洪水冲刷引发的高边坡滑塌风险；
- 2 隧道应严格遵循“早进晚出”原则，科学确定洞口位置，不应将洞口布设于不良地质体、排水不畅沟谷或欠稳定山体区域，避免在洞口形成高边坡和高仰坡。

3.4 不良地质区选线

3.4.1 不良工程地质区选线应符合下列要求：

- 1 应对路线所经区域、走廊带及其沿线的工程地质与水文地质条件进行深入调查与勘察，明确其对公路工程的影响程度。遇不良工程地质地段时，应根据其对路线的影响程度，对绕避、穿越等方案进行综合比选论证；
- 2 初步选线应优先避让病害规模大、处治困难的不良地质区域；宜选择少开挖、易防护的路线方案，减少地质扰动及后期整治工程量；可采用短隧道替代深路堑、桥梁替代高路堤或“多过河”方式避开深挖高填及高边坡区域；多方案比选应结合地质勘察钻探资料进行同等深度论证；
- 3 当路线必须穿越不良地质路段时，应避免高填深挖，减少对自然环境的扰动，降低诱发滑坡、泥石流、塌陷等地质灾害的风险，防止水土流失及次生灾害对公路工程的破坏。

3.4.2 泥石流区域选线应遵循以下原则：

- 1 路线应绕避大型、活动强烈且集中的泥石流形成区；
- 2 路线必须穿越泥石流流通区时，应选择沟床稳定、形态规则的直线段，优先采用桥梁形式通过；桥位应与主河道正交，并设置较大跨径及较高净空。受高程限制时可采用明洞或隧道方案，明洞及隧道应满足最小埋深要求，洞口应设置于泥石流影响范围之外；
- 3 路线应避开沟床纵坡由陡变缓段、断面突变收缩或扩散区段，以及弯道转折处；
- 4 路线通过泥石流堆积扇时，桥位应避开堆积扇中部扩散段及扇顶区域，宜选择扇缘或尾部布设；桥梁应沿等高线采用分散式桥跨布置；
- 5 小型泥石流地段经可靠工程治理后，线位可布设于沉积区，并采用分散式桥梁群。

3.4.3 滑坡区段选线应遵循以下原则：

- 1 路线应优先绕避滑坡发育严重及滑坡频发路段；
- 2 路线应绕避地质条件复杂、治理工程量大、处治困难的大型滑坡区域；

3 对中小型滑坡应采取安全可靠的综合治理措施；对存在潜在滑坡隐患的路段，应实施工程治理措施或预防性防护措施，保障施工期及运营期安全。

3.5 路基横断面设计

3.5.1 路基横断面设计应根据公路等级，结合区域地质条件、边坡岩土体工程特性、路线与河道空间关系等要素，从安全稳定性、经济合理性及工程可行性等方面进行综合比选确定。

3.5.2 沿溪（河）线横断面设计应优先满足河道管控要求（含河道蓝线范围、顺河桥梁布设规定等），系统分析上边坡岩土体工程地质特性，合理确定边坡防护措施、支挡结构型式及坡率，并统筹生态保护需求。

3.5.3 山区公路横断面设计应避免大填大挖。通过优化断面形式及支护措施，降低路基开挖对边坡稳定性的影响。特殊路段可采用半路半桥（图 3.5.3-1）、半路半隧、棚洞式隧道（图 3.5.3-2）或分离式路基等型式。



图 3.5.3-1 半路半桥型式



图 3.5.3-2 棚洞式隧道型式

3.5.4 路基横断面设计应统筹排水系统需求与排水构筑物断面尺寸进行协同设计，路堑段设计时应重点校核方边坡坡脚排水设施（含边沟、截水沟等）的布设空间，确保排水结构物与路基断面匹配合理。

4 路基路面

4.1 一般规定

4.1.1 公路路基路面设计应与水文地质勘察紧密结合，查明沿线地形、地质与水文条件，获取设计所需计算参数，并进行防洪设计的计算分析。

4.1.2 公路路基路面防洪设计应结合路基形式、与河道的空间关系及沿线地质灾害分布特征，并应进行水毁类型识别，采取相应的防护措施。

北京市 23.7 特大暴雨所引发山洪，严重的冲击破坏了山区公路。根据对公路水毁类型的调查总结，公路路基存在以下主要损毁类型：

(1) 洪水冲刷路基边坡及支挡结构，造成沿河公路路基（特别是河流凹岸侧）掏空破坏或整体垮塌（图 4.1.2-1）；



图 4.1.2-1 沿河公路路基冲毁

(2) 在洪水冲刷、渗流及岩土体饱和度高的情况下，造成挖方边坡失稳和填方支挡构筑物破坏，引起路基坍塌（图 4.1.2-2、图 4.1.2-3）；



图 4.1.2-2 路基边坡失稳损毁



图 4.1.2-3 路堑边坡崩塌

(3) 路线跨越河流段的桥头路基受洪水冲刷严重, 造成大段路基冲毁 (图 4.1.2-4) ;



图 4.1.2-4 桥头路基冲毁

(4) 不良地质路段受滑坡、泥石流等地质灾害影响, 造成公路损毁破坏 (图 4.1.2-5) ;



图 4.1.2-5 滑坡、泥石流类地质灾害造成公路损毁

(5) 沥青混凝土面层剥落损毁 (图 4.1.2-6) ;



图 4.1.2-6 沥青混凝土面层剥落

(6) 路面基层掏空破坏 (图 4.1.2-7)。



图 4.1.2-7 路面基层掏空

4.1.3 公路路基防护工程设计应根据气候、水文、地形及地质条件，采取工程与植物防护相结合的综合措施，设置系统完整的截排水工程，保障路基稳定和防洪安全，并与周边环境景观相协调。

4.1.4 沿河路基应强化路堤冲刷防护。边坡防护与支挡结构应通过冲刷深度计算确定其基础埋深及防护措施，并宜结合历史洪水水文数据和类似工程水毁案例进行复核验证。

4.1.5 山岭区公路路基应加强边坡岩土勘测工作，查清边坡及地基情况，进行填（挖）边坡的稳定性计算，必要时采取安全可行的防护措施，同时配合做好截排水工程的系统性设计。

4.1.6 公路路堑滑坡、崩塌稳定应根据相关要求进行定量或定性分析，并宜结合地区暴雨作用下路堑、崩塌调查情况进行复核、验证。

路堑坡面在强降雨径流、渗流作用下，易引起堆积土层或碎裂状、层状岩质边坡的失稳滑塌、块状岩质边坡的滑移破坏，主要型式见表 4.1.6。

表 4.1.6 公路路堑边坡坡体结构类型及破坏型式

坡体结构类型	基本特征	坡体结构示意图	破坏模式
土质、类土质 坡体结构	由各种成因的残坡积、堆积层构成，潜在滑面为坡体中的最大剪应力面，或不同成因、不同时期的堆积层面		蠕滑-拉裂
层状或似层状坡体结构	顺倾层状坡体结构 主要由软硬相间的沉积岩，以及沉积岩变质而成的副变质岩组成，岩层倾向临空面，坡面与层面走向夹角小于40°		滑移-拉裂
			滑移-弯曲
	反倾层状坡体结构 主要由软硬相间的沉积岩和副变质岩组成，岩层倾向坡内，倾角相对较缓		弯曲-拉裂 蠕滑-拉裂
			弯曲-拉裂
	基岩产状较陡，坡体下部断层等软弱地层发育		塑流-拉裂
碎裂岩质坡体结构	坡体多位于构造影响带、强卸荷、强风化带、蚀变带等区域，岩体破碎、松弛，构造裂隙切割严重，结构组数多且密度大		蠕滑-拉裂
块状或块体状 坡体结构	完整性较好的岩浆岩、厚层或巨厚层沉积岩、变质岩构成，主要结构面为节理、岩脉、接触面或层面		蠕滑-滑移-拉裂
楔形 坡体结构	坡体中发育两组或两组以上外倾结构面，与临空面组合形成楔形欠稳定块体		滑移-拉裂
二元 坡体结构	坡体下部为基岩，上部为各种成因的土质或类土质堆积体		蠕滑-拉裂 塑流-拉裂



4.1.7 涉及大型滑坡、泥石流等地质灾害高风险区应结合区域地灾治理项目统筹实施。

4.2 路堤防护工程设计

4.2.1 路堤防护工程设计应针对洪水冲刷导致的基底或坡面掏空、坍塌等破坏，采取坡面防护及支挡结构措施。

4.2.2 坡面防护工程应布设于稳定边坡。对于稳定性不足的边坡，应结合支挡结构实施加固；对于沿河路基、桥涵两端路基及凹形竖曲线底部等易冲刷路段，应强化坡面与坡脚的防冲刷设计。

4.2.3 沿河路堤冲刷计算应包含河床自然演变冲刷、一般冲刷与局部冲刷。针对直接防护工程的顺水流向构造物（如浆砌片石护坡、混凝土护面、挡土墙等），应考虑河槽自然演变及一般冲刷影响；河湾凹岸处与水流流向夹角大于 20° 的防护构造物，应计算斜向冲刷作用下的局部冲刷深度。

河床自然演变冲刷由河槽纵向或横向迁移、水文周期内周期性冲淤变形引起，因难以准确计算，应结合历史河道演变调查及实测数据综合预估。沿河路堤的一般冲刷由路基填筑压缩河道过水断面导致流速增大、挟沙能力增强引发，局部冲刷则由凹岸路基阻挡水流形成涡流剧烈淘蚀河床所致，冲刷坑深度随水流能量衰减趋于稳定。冲刷深度应按《公路工程水文勘测设计规范》JTG C30 进行水力计算，或参照《公路路基设计手册》（第三版）理论公式分析，并应结合现场实测数据校核验证。

4.2.4 沿河路基及桥头路基段边坡防护工程顶面高程，应为设计水位、波浪爬高、壅水高度及安全高度之和。临河侧边坡防护宜采用混凝土或片石混凝土结构，护脚基底宜埋置于局部冲刷深度以下不小于1m或嵌入基岩（图 4.2.4）；冲刷深度较大且施工困难时，可设置防冲刷护坦等设施。



图 4.2.4 混凝土护坡

4.2.5 受水流冲刷的沿河挡土墙应采用混凝土、片石混凝土或钢筋混凝土结构，不宜采用浆砌块石或干砌石挡土墙。挡墙基底宜埋置于局部冲刷深度以下不小于1.0m或嵌入基岩；基础外侧可根据河道形态、冲刷强度等设置混凝土护坦、石笼等防护设施，提升基础抗冲刷性能。

受“23·7”极端强降雨引发洪水影响，北京市西部山区公路路基遭受洪水冲刷严重，大部分临河的浆砌片石或干砌片石挡土墙基础冲刷掏空，墙体垮塌，路基失去支挡保护而冲毁。因此建议可能受洪水冲刷的挡土墙不再采用浆砌块石或干砌片石。对于河道凹岸段，应同时加强基底防冲刷能力，积极采用护坦、石笼等防护措施。

4.2.6 采用护坦与边坡防护或挡土墙结合防护时，应确定护坦宽度、埋深及防护范围。设置护坦时，顶板应与挡土墙或护坡基础连结成整体以提升抗冲刷能力（图 4.2.6-1）；护坦也可与石笼防护结合使用（图 4.2.6-2）。

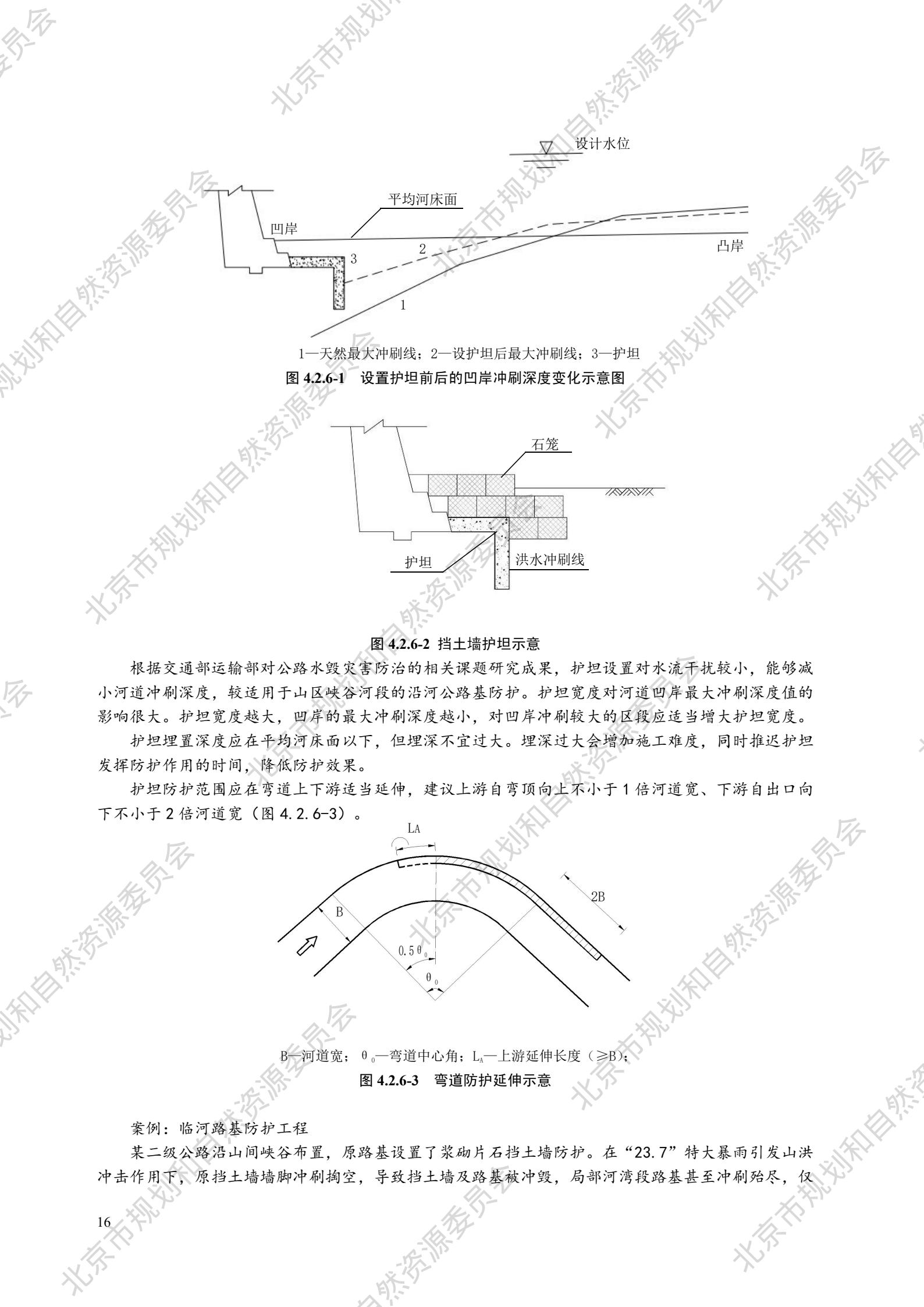


图 4.2.6-1 设置护坦前后的凹岸冲刷深度变化示意图

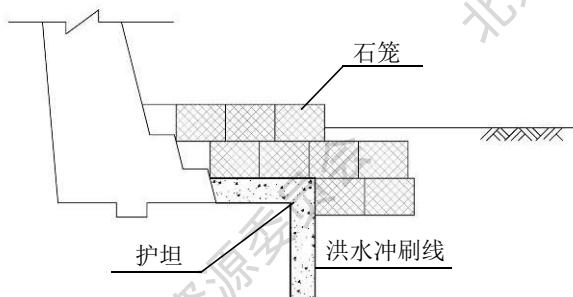
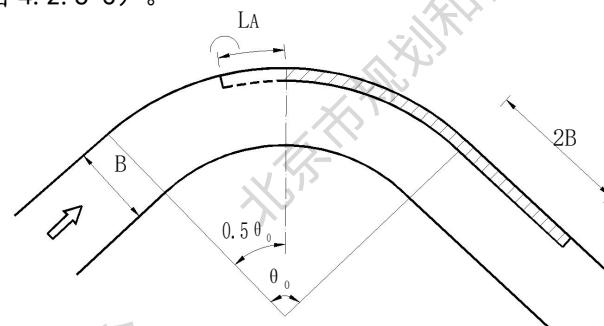


图 4.2.6-2 挡土墙护坦示意

根据交通部运输部对公路水毁灾害防治的相关课题研究成果,护坦设置对水流干扰较小,能够减小河道冲刷深度,较适用于山区峡谷河段的沿河公路基防护。护坦宽度对河道凹岸最大冲刷深度值的影响很大。护坦宽度越大,凹岸的最大冲刷深度越小,对凹岸冲刷较大的区段应适当增大护坦宽度。

护坦埋置深度应在平均河床面以下,但埋深不宜过大。埋深过大会增加施工难度,同时推迟护坦发挥防护作用的时间,降低防护效果。

护坦防护范围应在弯道上下游适当延伸,建议上游自弯顶向上不小于1倍河道宽、下游自出口向下不小于2倍河道宽(图 4.2.6-3)。



B—河道宽; θ_0 —弯道中心角; L_A —上游延伸长度 ($\geq B$);

图 4.2.6-3 弯道防护延伸示意

案例: 临河路基防护工程

某二级公路沿山间峡谷布置,原路基设置了浆砌片石挡土墙防护。在“23.7”特大暴雨引发山洪冲击作用下,原挡土墙墙脚冲刷掏空,导致挡土墙及路基被冲毁,局部河湾段路基甚至冲刷殆尽,仅

基岩残存（图 4.2.6-4）。



图 4.2.6-4 沿河公路受洪水冲刷造成挡土墙及路基垮塌

（1）水文条件

工程区属拒马河流域，路线沿拒马河支沟-马鞍沟布设。据水文站观测资料，此次暴雨期间拒马河洪水来势快、量级大、峰值高，最大洪峰流量为 $6200\text{m}^3/\text{s}$ ，相当于 2012 年“7.21”强降雨的 4 倍。

（2）地质构造

工程区处于十渡-房山中穹褶的穹顶，沿线较大规模的断裂和褶皱构造不发育，仅分布小规模褶皱和断裂构造。受构造、岩性影响，山势陡峻、沟谷狭窄。工程所在区内出露的地层主要为第四系坡积碎石土、冲洪积地层，局部强-中风化元古界沉积白云岩。

（3）原因分析

工程区沟谷狭窄、纵坡大，洪水快速行进破坏力巨大。路基位于河湾顶冲段，路基浆砌片石挡土墙在洪水冲刷作用下，墙体基础掏空，导致挡土墙及路基冲毁。

（4）处治方案

1) 重建挡土墙采用 C25 片石混凝土浇筑，挡土墙基础置于冲刷线以下不小于 1m，并在墙趾外侧增设护坦。此外，在河湾迎水面处，在护坦外侧增设石笼（图 4.2.6-5）。护坦结构厚度一般取 0.5m，护坦宽度、垂裙深度一般取 2m，同时垂裙底应埋置于局部冲刷线以下不小于 1m，石笼竖向一般布置 2~3 层。

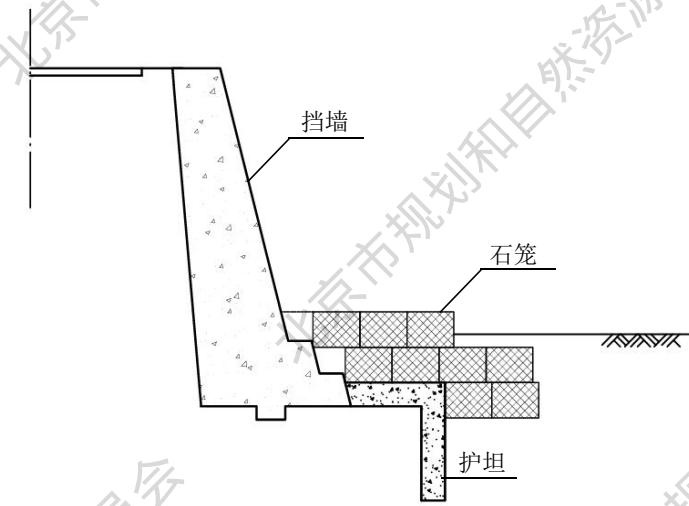


图 4.2.6-5 临河挡土墙及护坦示意

2) 新旧路基采用台阶搭接，台阶宽度不小于 1m，台阶顶面铺设土工格栅，以加强新旧路基之间的连接（图 4.2.6-6）。对于挡墙台后回填宽度狭窄、土方压实困难段落，如宽度小于 2m，可采用低标号混凝土回填。

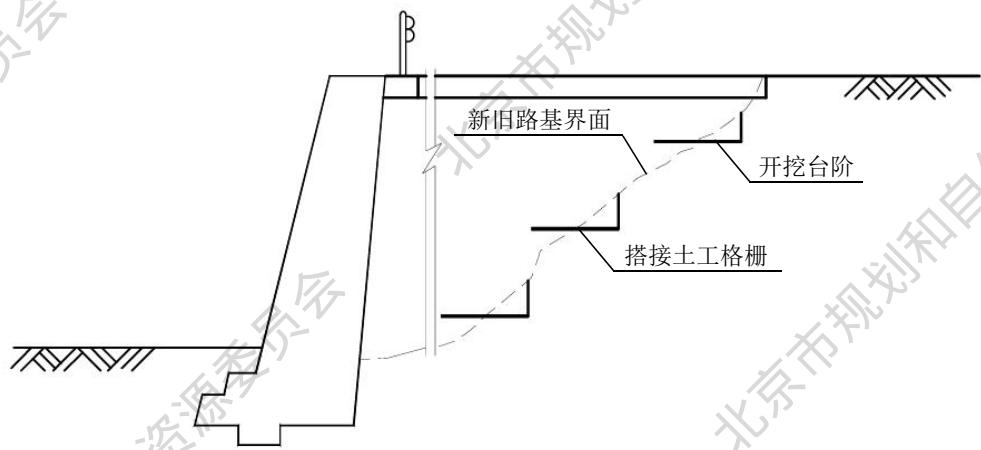


图 4.2.6-6 路基搭接示意

(5) 实施情况

临河路基水毁修复前后对比（图 4.2.6-7）。



图 4.2.6-7 临河路基水毁重建实施情况

4.2.7 路堤及路肩挡土墙宜选用基槽开挖量小、受力性能优的仰斜式结构（图 4.2.7-1），墙底可设置凸榫或倾斜基底；场地受限路段宜采用重心内移、面坡较陡的衡重式挡土墙（图 4.2.7-2）；陡坡路段宜采用地形适应性强的微型桩挡土墙（图 4.2.7-3）。

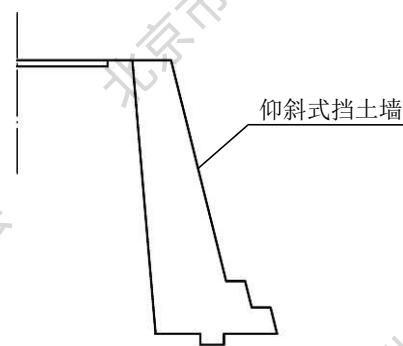


图 4.2.7-1 仰斜式挡土墙示意

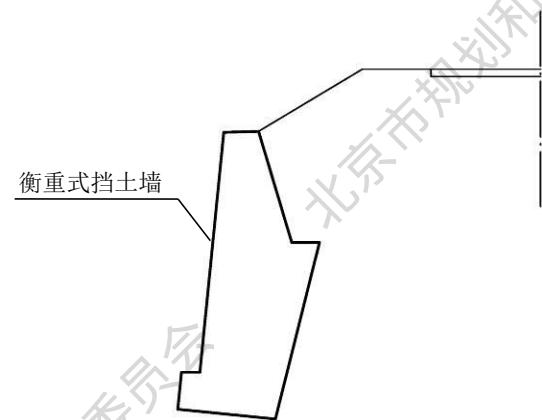


图 4.2.7-2 衡重式挡土墙示意



图 4.2.7-3 微型桩挡土墙示意

微型桩挡土墙是一种由微型桩与挡土墙组合的新型支挡结构,微型桩一般采用小直径注浆钢管桩,桩径一般小于30cm。在微型桩挡土墙组合结构中,微型桩主要提供结构的抗滑、抗倾覆、抗剪和挡土墙的地基承载力,与传统挡土墙相比,其挡土墙的襟边及地基承载力要求降低,基础的开挖规模更为集约,安全性也得到提升。

案例：陡坡路基防护工程

某二级公路跨越小型冲沟,在冲沟陡坡上填筑路基,边坡采用植草灌防护。在“23.7”特大暴雨作用下,内侧冲沟汇水持续冲刷路基边坡,造成路基边坡大范围滑塌,后缘近乎直立、悬空(图4.2.7-4)。



图 4.2.7-4 沿河公路受洪水冲刷造成路基边坡垮塌



(1) 水文地质条件

项目跨越冲沟，沟底分布冲洪积地层，以下为元古界沉积灰岩。

(2) 原因分析

极端强降雨汇水在冲沟内形成地表径流及边坡渗流，径流造成边坡冲刷、渗流进一步造成边坡失稳，进而造成边坡大范围滑塌，直至基岩出露。

(3) 处治方案

冲沟陡坡段地形陡峭，常规路基加宽、挡土墙施工受限，采用适应地形能力更强的微型桩挡土墙进行支挡。

微型桩挡土墙布置于外侧路肩，顶宽 2.2m，高度 11m，墙面坡率 1: 0.25，采用 C25 片石砼浇筑；微型钢管桩设置于挡土墙底部，直径为 14cm，长度为 8m，共设 2 排，梅花形布置。微型桩沿路线间距 1.2m，沿横向间距 1m，（图 4.2.7-5）。

图 4.2.7-5 陡坡微型桩挡土墙示意

(4) 实施情况

陡坡路基水毁修复前后对比（图 4.2.7-6）。

图 4.2.7-6 陡坡路基水毁重建实施情况

4.3 路堑防护工程设计

4.3.1 路堑边坡设计应设置完善的截排水系统，并宜设置踏步、扶手，便于养护人员巡查。

4.3.2 路堑防护工程设计应进行边坡稳定性分析，并应针对强降雨可能引发的滑坡、崩塌等边坡失稳破坏，采取边坡防护及支挡措施。

应按照《公路路基设计规范》JTG D30 推荐的方法验算稳定性。对于规模较大的碎裂结构岩质边坡和土质边坡采用简化 Bishop 法计算稳定性，对于可能产生直线滑动的边坡宜采用平面滑动法计算稳定性，对于可能沿结构面或软弱层面滑动的折线形破坏的滑坡采用不平衡推力法计算稳定性。

(1) 简化 Bishop 法计算公式见 (4.3.2-1)、(4.3.2-2)。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i b_i + (W_i + Q_i) \tan \varphi_i] \frac{1}{m_{\alpha i}}}{\sum_{i=1}^n (W_i + Q_i) \sin \alpha_i} \quad (4.3.2-1)$$

$$m_{\alpha i} = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \tan \varphi_i}{F_s} \quad (4.3.2-2)$$

式中： F_s —路堤稳定系数；

b_i —第 i 个土条宽度 (m)；

α_i —第 i 个土条底滑面的倾角 (°)；

c_i 、 φ_i —第 i 个土条滑弧所在土层的粘聚力 (kPa) 和内摩擦角 (°)；

W_i —第 i 个土条重力 (kN)；

Q_i —第 i 个土条垂直方向外力 (kN)。

(2) 折线滑动不平衡推力法计算公式见 (4.3.2-3)、(4.3.2-4)。

$$E_i = W_{Qi} \sin \alpha_i - \frac{1}{F_s} (c_i l_i + W_{Qi} \cos \alpha_i \tan \varphi_i) + E_{i-1} \psi_{i-1} \quad (4.3.2-3)$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{\tan \varphi_i}{F_s} (\sin \alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (4.3.2-4)$$

式中： W_{Q1} —第一个土条的重力与外加竖向荷载之和 (kN)；

F_s —安全系数；

α_i 、 α_{i-1} —第 i 和 $i-1$ 滑块对应滑面的倾角 (°)；

φ_i —第 i 滑块滑面的内摩擦角 (°)；

c_i —第 i 滑块滑面的黏聚力 (kN/m)；

l_i —第 i 滑块的滑面长度 (m)；

ψ_i —传递系数；

E_{i-1} —第 $i-1$ 个土条传给第 i 个土条的下滑力 (kN)。

4.3.3 路堑边坡稳定性分析计算工况应符合下列要求：

- 1 正常工况：边坡处于天然状态；
- 2 非正常工况I：边坡处于暴雨或连续降雨状态；
- 3 非正常工况II：边坡受地震等荷载作用。

4.3.4 边坡稳定性可分为稳定、基本稳定、欠稳定及不稳定四种状态，可根据稳定性分析结果按表 4-3-4 确定。

表 4.3.4 边坡稳定性状态划分

边坡稳定性系数 K_s	$K_s < 1.00$	$1.0 \leq K_s < 1.05$	$1.05 \leq K_s < K_{st}$	$K_s \geq K_{st}$
边坡稳定性状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

注: K_{st} 为边坡稳定安全系数。

4.3.5 路堑边坡安全系数不得小于表 4.3.5 所列数值。对非正常工况 II, 边坡稳定性分析及稳定安全系数应符合现行《公路工程抗震规范》JTG B02 的规定。

表 4.3.5 路堑边坡稳定安全系数

分析工况	路堑边坡稳定安全系数	
	高速公路及一级公路	二级及以下公路
正常工况	1.20~1.30	1.15~1.25
非正常工况 I	1.10~1.20	1.05~1.15

注: 1. 路堑边坡地质条件复杂或破坏后危害严重时, 稳定安全系数取大值; 地质条件简单或破坏后危害较轻时, 稳定安全系数可取小值。

2. 路堑边坡破坏后的影响区域内有重要建筑物(桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等)、村庄和学校时, 稳定安全系数取大值。
3. 施工边坡的临时稳定安全系数不应小于 1.05。

4.3.6 新建公路路堑边坡宜采用圬工结构与植被防护结合形式, 如锚杆(索)框架梁内生态绿化(图 4.3.6-1); 低等级公路可采用路堑挡墙或拦渣墙, 墙顶以上边坡宜采用坡面柔性防护(图 4.3.6-2、图 4.3.6-3)。

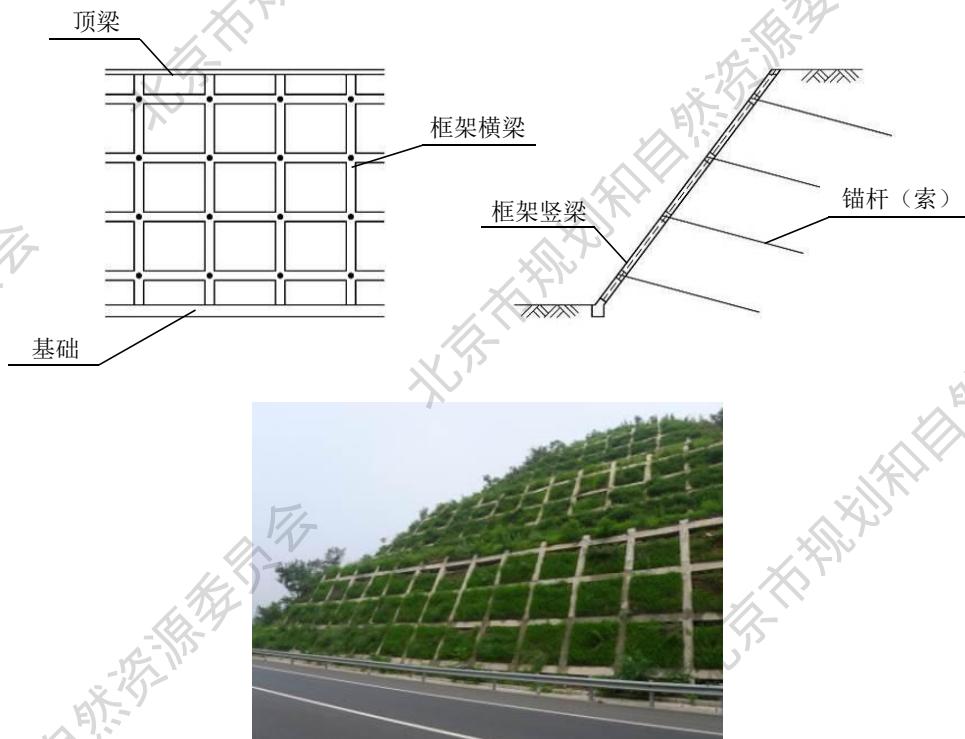


图 4.3.6-1 锚杆(索)框架植被防护



图 4.3.6-2 路堑挡土墙

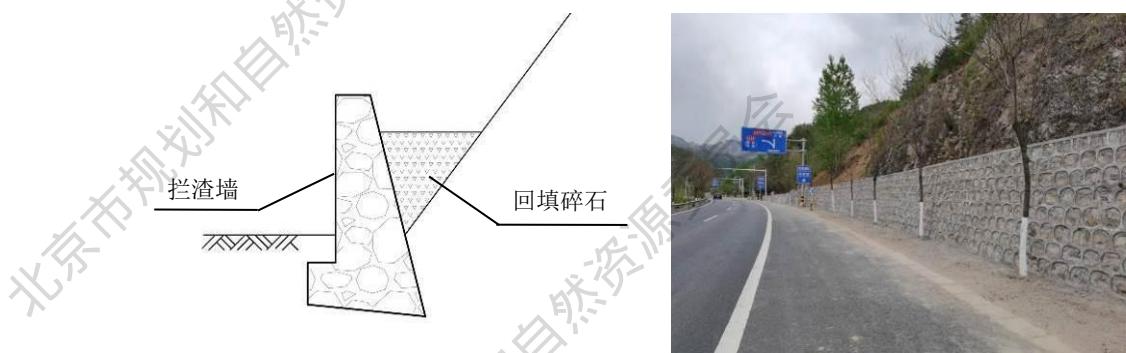


图 4.3.6-3 拦渣墙

根据“23·7”极端强降雨北京西部山区公路水毁调查情况来看，因高等级公路深路堑边坡大部分都采用了锚杆（索）框架梁防护型式，在短时强降雨作用下边坡防冲刷及稳定性均较好；而开挖深度小于20m的一般路堑边坡，因采用的是骨架植被防护或挂网植草灌植被防护，在极端强降雨作用下有一定的坡面滑塌破坏。

低等级公路受限于修建年代原因及后期改造的实施条件，较少采用锚杆（索）框架防护型式，更多采用可快速实施的矮路堑墙及坡面柔性防护型式。该型式在一般水文年的降雨季可有效防护坡面小型崩塌类破坏；对于极端强降雨引发的较大滑塌类破坏，需快速进行滑坡体清理及防护工程修复。有条件时建议采用锚杆（索）框架梁，框格内生态绿化的防护形式。

4.3.7 深路堑边坡稳定性不满足要求时，应通过放缓边坡、设置支挡结构等措施比选优化；治理难度较大时，可综合比选调整平纵线形、采用分离式高低路基或隧道穿越等方案。

4.3.8 危岩受强降雨影响的主要的破坏形式是切割软弱结构面而产生崩塌破坏，应参考表4.3-8的基本特征进行风险识别。

表 4-3-8 公路危岩崩塌破坏型式

类型	基本特征	示意图
滑移式	距坡脚一定高度的岩土体被结构面切割成相对独立的块体，且下伏倾向临空面的结构面。上部块体在重力、水压力、地震力等作用下的下滑力大于结构面抗剪力时，崩塌体沿下伏外倾结构面滑出堆积于坡脚的地质现象。	
倾倒式	坡体中发育贯通性垂直结构面，将岩土块体与后部母岩切割分离形成欠稳定或不稳定岩体，在重力、水压力、地震力等形成的外倾力矩作用下发生的折断、倾倒。	

注：上表参考《崩塌防治工程勘察规范》（T/CAGP011-2018）。

4.3.9 当识别有危岩崩塌风险时，应进行崩塌体稳定性计算。

根据《北京市地质灾害治理项目实施技术指南》和《工程地质手册》（第五版）的相关规定，针对不同的崩塌类型，可参考以下公式进行计算。

（1）滑移式崩塌

采用平面滑动法公式（4.3.9-1）、（4.3.9-2）、（4.3.9-3）计算稳定系数。

$$K = \frac{R}{T} \quad (4.3.9-1)$$

$$R = (G \cos \theta - V \sin \theta - U) \tan \varphi + cL \quad (4.3.9-2)$$

$$T = G \sin \theta + V \cos \theta \quad (4.3.9-3)$$

式中： K_s —危岩滑移稳定系数；

R —滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力（kN/m）；

T —滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力（kN/m）；

c_i 、 φ_i —结构面的粘聚力（kPa）和内摩擦角（°）；

G —岩土的单位宽度的面积（ m^2 ）；

L —结构面的长度（m）；

θ —结构面的倾角（°）；

U —滑面单位宽度总水压力（kN/m）；

V —后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力（kN/m）。

（2）倾倒式崩塌



倾倒式崩塌为危岩体已基本脱离母岩，在雨季降雨的静水压力作用下发生破坏。采用公式(4.3.9-4)计算倾倒式崩塌危岩的抗倾覆稳定系数。

$$K = \frac{W \times a}{f \times \frac{h_0}{3}} = \frac{W \times a}{\frac{r_w h_0^2}{2} \times \frac{h_0}{3}} = \frac{6aW}{r_w h_0^3} \quad (4.3.9-4)$$

式中：
K—崩塌体抗倾覆稳定性系数；

h_0 —水位高，暴雨时等于岩体高度(m)；

γ_w —水的重度：10kN/m³；

W—崩塌体重量(kN)；

a—趾部转点至重力延长线的垂直距离，这里为崩塌体宽度的1/2(m)。

崩塌稳定计算也可参考其他公式和理论方法，并宜结合地区实际崩塌落石情况进行核查。

4.3.10 崩塌稳定性分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四种状态，稳定状态划分见表4.3.10-1，稳定安全系数见表4.3.10-2。

表 4.3.10-1 崩塌稳定性状态划分

崩塌类型	崩塌稳定状态			
	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
滑移式崩塌	$K_s < 1.00$	$1.0 \leq K_s < 1.15$	$1.15 \leq K_s < K_{st}$	$K_s \geq K_{st}$
倾倒式崩塌	$K_s < 1.00$	$1.0 \leq K_s < 1.25$	$1.25 \leq K_s < K_{st}$	$K_s \geq K_{st}$

表 4.3.10-2 崩塌稳定安全系数 K_{st}

崩塌类型	防护工程等级			
	I 级		II 级	
	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况
滑移式崩塌	1.40	1.15	1.30	1.10
倾倒式崩塌	1.50	1.20	1.40	1.15

注：1. 高速公路、一级公路崩塌防护工程等级一般为I级，二级及以下公路崩塌防护工程等级一般为II级。

2. 一般工况为天然工况和暴雨工况，校核工况为地震工况。

本指南崩塌防护工程等级，参照了《崩塌防治工程勘察规范》T/CAGP011-2018相关规定，见表4.3.10-3。

表 4.3.10-3 崩塌防护工程等级划分

崩塌防治工程等级		特级	I 级	II 级	III 级
威胁对象	威胁人数/人	≥ 5000	≥ 500 且 < 5000	≥ 100 且 < 500	< 100
	危险设施的重要性	非常重要	重要	较重要	一般

根据规定，高等级公路属于重要设施，二级及以下公路属于较重要设施。而公路属于带状构筑物，一般崩塌威胁人数不会达到千位数量级。故本指南规定为I级、II级。

4.3.11 崩塌落石的运动轨迹、速度及撞击能量等参数宜通过落石分析模拟软件计算，并应根据计算结果合理确定防护措施的防护能级与布设位置。



4.3.12 崩塌危岩应根据危岩类型及破坏模式,采用清除、锚固、凹腔嵌补、柔性防护等综合措施处治,并应符合下列规定:

- 1 山坡或边坡坡面崩塌岩块规模较小且岩体破碎程度较低时,宜采用清除措施;
- 2 岩体严重破碎的落石频发路段,宜采用柔性防护系统或拦石墙与落石槽等拦截设施;拦石墙与落石槽宜配合设置,位置应根据地形合理确定;落石槽深度及底宽应通过现场调查与试验分析确定,拦石墙墙背应设缓冲层;
- 3 边坡局部悬空岩体完整性较好但可能失稳时,可采用钢筋混凝土立柱、浆砌片石支撑或柔性防护系统;
- 4 软硬岩互层边坡中软岩风化形成凹腔时,宜采用浆砌片石嵌补;
- 5 易引发整体崩塌的大型危岩宜采用锚固措施;高位、远程崩塌体锚固或拦截困难时,可采用混凝土明洞、棚洞或柔性棚洞等遮蔽结构。

4.3.13 柔性防护网设置应符合下列规定:

- 1 高度小于20m、节理裂隙发育且整体稳定的弱风化硬质岩质边坡,宜采用主动防护网(图4.3.13-1)或覆盖式引导网(图4.3.13-2);
- 2 高度大于20m、节理裂隙发育且整体稳定的岩质边坡,危石分散且具备变形空间条件时,应采用被动防护网(图4.3.13-3);
- 3 存在高位、远程危石的岩质边坡,应采用防护能级高、大覆盖范围的张口式引导网(图4.3.14-4)。



1—坡面; 2—锚杆; 3—柔性金属网

图 4.3.13-1 主动防护网



1—上锚杆; 2—柔性金属网; 3—横向绳; 4—坡面; 5—下锚杆;

图 4.3.13-2 覆盖式引导网



1—锚杆；2—拉锚绳；3—消能装置；4—钢柱；5—柔性金属网；6—基座；

图 4.3.13-3 被动防护网

1—引导部分；2—柔性金属网；3—钢柱；4—拦截部分；5—上锚杆；6—横向绳；7—坡面；8—下锚杆；

图 4.3.13-4 张口式引导网

4.4 路面工程设计

4.4.1 路面防洪设计应针对山洪及水流冲刷引发的沥青面层剥落、基层掏空，以及崩塌落石冲击等破坏，采取下列措施：

1 易发生崩塌落石或易受洪水淹没的临河低等级路段，路面宜采用水泥混凝土结构；桥梁、涵洞两侧受水流冲刷影响的路面基层宜采用水泥混凝土；

2 沥青面层间应设置粘结层，粘结材料宜选用改性乳化沥青、改性沥青或道路石油沥青，强冲刷路段可采用高粘改性沥青；

3 公路穿越河道不宜采用漫水路形式。低等级公路必须采用时，路面结构应采用水泥混凝土，路基边坡应设置加强型护砌。

本条文中低等级公路指四级及等外公路。

4.4.2 路肩防洪措施宜与路肩排水设施协同设计，可采用浅碟形边沟与路肩硬化一体化结构（图 4.4.2-1、图 4.4.2-2）。

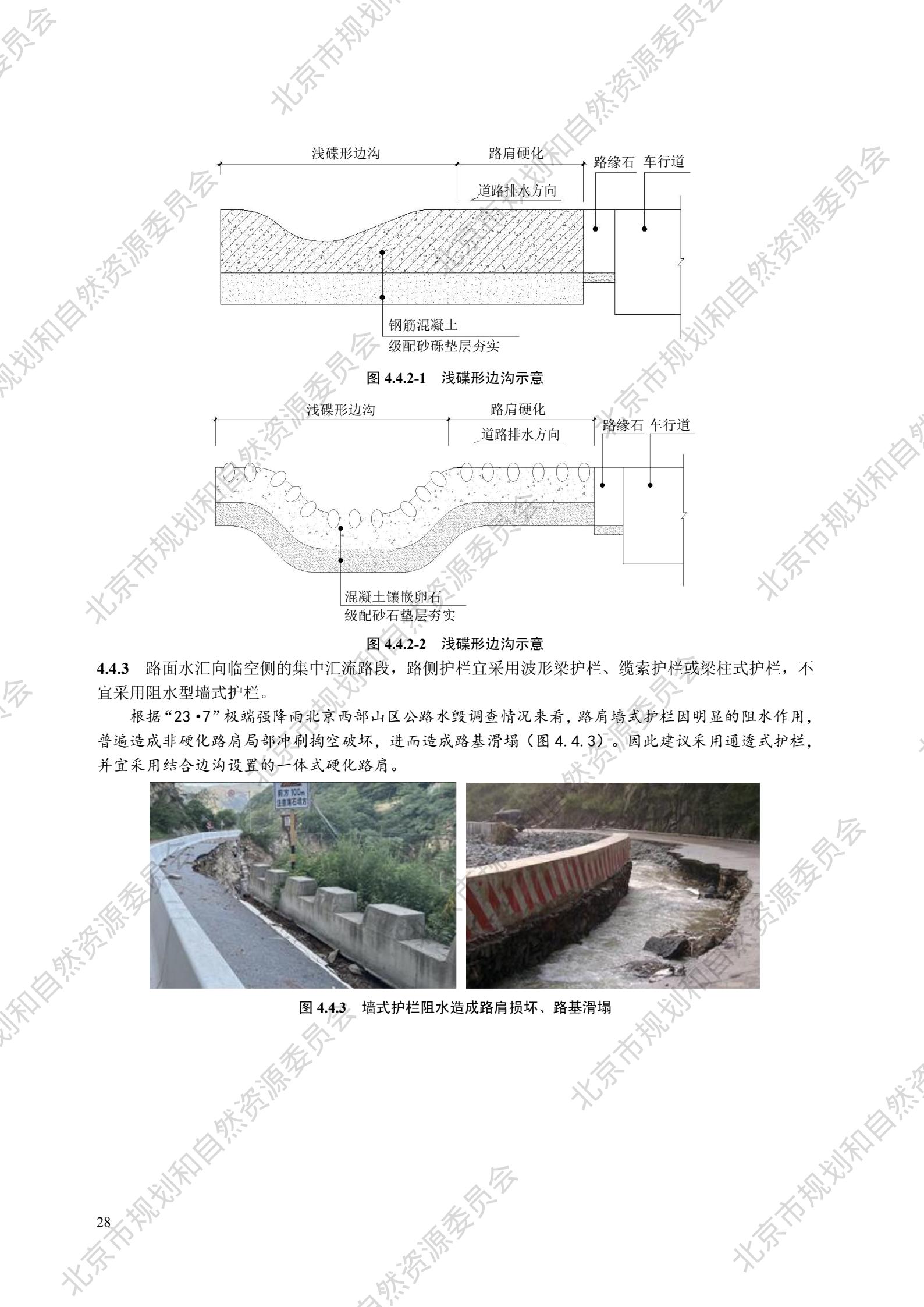


图 4.4.2-1 浅碟形边沟示意

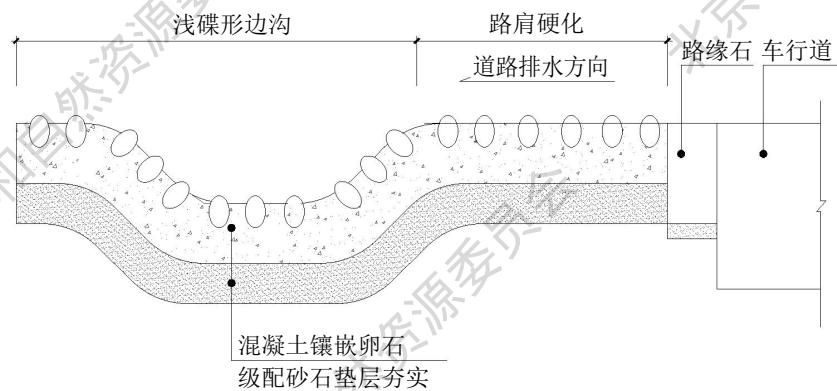


图 4.4.2-2 浅碟形边沟示意

4.4.3 路面水汇向临空侧的集中汇流路段,路侧护栏宜采用波形梁护栏、缆索护栏或梁柱式护栏,不宜采用阻水型墙式护栏。

根据“23·7”极端强降雨北京西部山区公路水毁调查情况来看,路肩墙式护栏因明显的阻水作用,普遍造成非硬化路肩局部冲刷掏空破坏,进而造成路基滑塌(图 4.4.3)。因此建议采用通透式护栏,并宜采用结合边沟设置的一体式硬化路肩。



图 4.4.3 墙式护栏阻水造成路肩损坏、路基滑塌

5 桥 隧

5.1 一般规定

5.1.1 桥涵设计满足行洪要求的前提下，应分析水力对桥梁的作用，保证桥梁结构安全。

相关研究表明，水毁已成为桥梁倒塌失效的首要因素，具有显著的突发性、巨大的破坏性以及较高的隐蔽性。据统计 2007~2015 年期间中国发生倒塌的 102 座桥梁，发现因水文灾害导致垮塌的桥梁数目占比高达 43.1%。水毁桥梁的平均使用寿命为 28.9 年，大多数集中在 30~40 年之间。随着桥梁水毁事故发生频率的不断增加，桥梁水害问题已逐渐引起工程师的重视。

洪水对桥梁结构的作用包括基础冲刷、水平冲击力、竖向上浮力，冲刷是导致桥梁水毁的最主要因素。目前计算冲刷的经验公式法尚存在局限性，洪水波流竖向升力计算公式较少考虑脉动压力，浪荷载水槽试验尚未完全探明波浪特性与作用力间的联系，下部结构流挂枯枝、杂草、树木等洪水漂浮物时，没有可靠的公式计算墩柱承受的推力。桥梁防洪设计较为复杂，应该从桥跨布置、结构形式、防冲刷措施和抗冲击构造等多方面进行设计，确保洪水作用下的桥梁安全。

5.1.2 桥涵防洪设计应基于水毁类型及其成因的充分调查或预判展开，具体实施应包括以下内容：

1 通过收集历史洪水数据及桥梁水毁案例，分析桥梁损毁或垮塌的主因，识别洪水冲刷、漂浮物撞击、水流致振等潜在水毁类型；

2 应详细调查河流水文特性（含流量、流速、水位变化及洪水频率等参数），结合河流地质条件及河床地形特征，评估冲刷与侵蚀的潜在风险；

3 依据水文地质条件和地形特征，优选桥梁类型及布局方案，提升防洪能力。

5.1.3 桥涵设计应结合桥梁结构、防洪标准、桥梁与河道的关系，采取针对性防洪措施。

5.1.4 根据桥位河段具体情况，依据《公路工程水文勘测设计规范》JTG C30 进行冲刷计算，并取河床自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷的最不利组合，作为墩台基础埋深的依据。

5.1.5 隧道防洪设计应结合洞口位置、防洪标准、洞口及明洞防排水、洞口与路桥衔接关系，采取针对性措施。

5.2 桥位选择和孔径设计

5.2.1 桥位选择和桥孔布设应保证桥梁主体结构在超设计洪水位水力作用下的安全。

5.2.2 桥梁与河道的交角应符合公路和水利部门的相关规定。

桥梁轴线宜与河道正交布置，受实际地形或地物限制难以满足正交要求时，应与高水位流向优先保持正交。若斜交不可避免，应采取加大孔径、优先选用水力条件较优的独柱墩形式、增加基础埋深并强化桥墩抗冲击性能等措施。最终方案应取得水利部门行政许可。

5.2.3 峡谷河段宜采用单孔跨越，桥面设计高程根据两岸地形确定，并满足洪水位要求。

5.2.4 宽滩河段不宜设置小桥，且最小跨径不宜小于 30m。

5.2.5 桥下净空是保证桥梁结构安全的关键因素，工程条件允许情况下，应加大桥下净空安全高度。

5.3 桥梁结构形式及构造措施

5.3.1 主梁易遭受洪水上托力、撞击力作用的桥梁，上部结构应采用连续结构，并在上下部结构之间采用抗浮和横向限位连接措施。

5.3.2 河道中的墩柱截面应设计为流线型，并顺洪流方向，尽量减少中墩的数量，且边墩不宜贴近河岸布置。

5.3.3 柱式排架墩宜设置桩顶系梁, 未设置盖梁的桥墩应设置墩顶系梁, 增加结构的横向抗推刚度(图 5.3.3)。

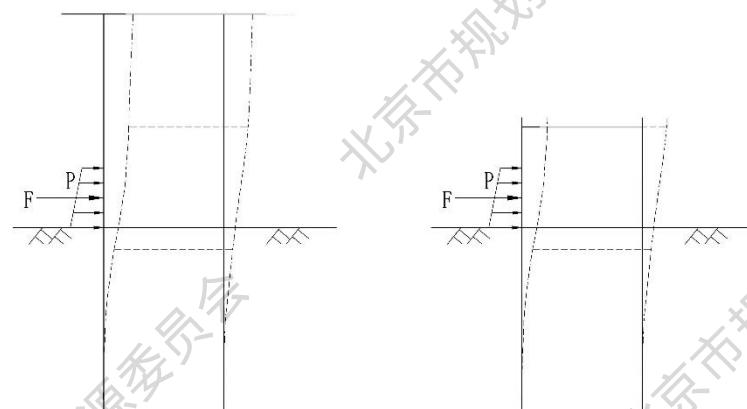
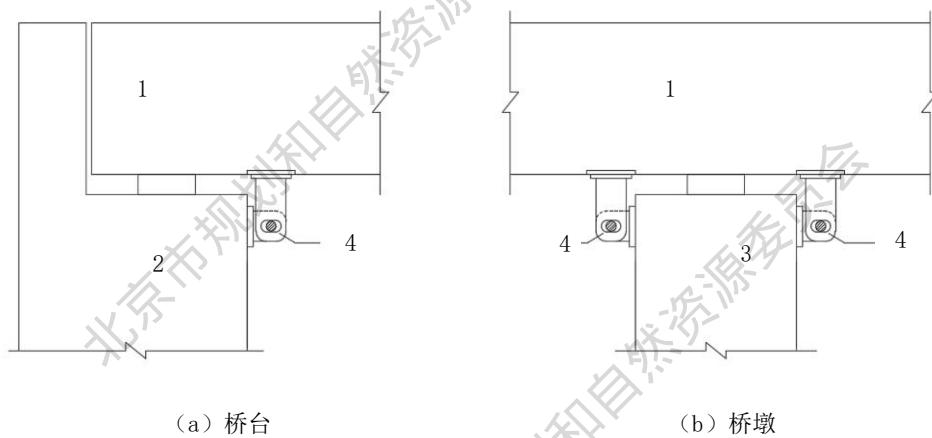


图 5.3.3 洪流作用下的力学示意

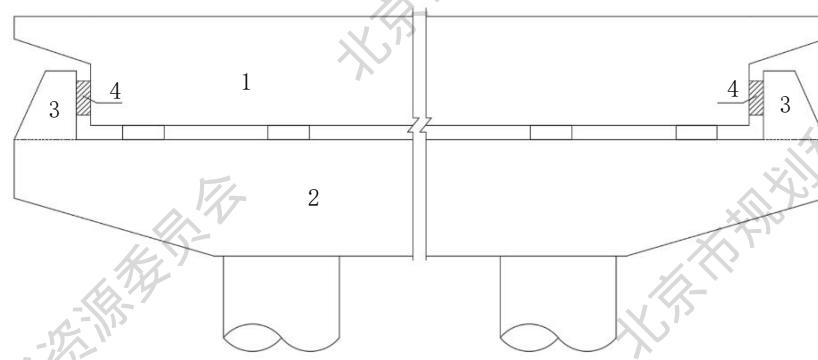
5.3.4 基础宜采用桩基础, 当裸露或埋深较浅的岩石极限抗压强度大于 30Mpa, 且岩体完整节理、裂隙和层理少、风化微弱, 可采用扩大基础, 但基底宜埋入岩面以下 0.2~0.5m, 并设置岩石锚杆, 锚杆尺寸和数量可参考《建筑地基基础设计规范》GB 50007 计算确定。

5.3.5 上部结构宜设置可靠的防侧移和抗浮措施, 如锚栓、挡块等 (图 5.3.5-1、图 5.3.5-2、图 5.3.5-3)。



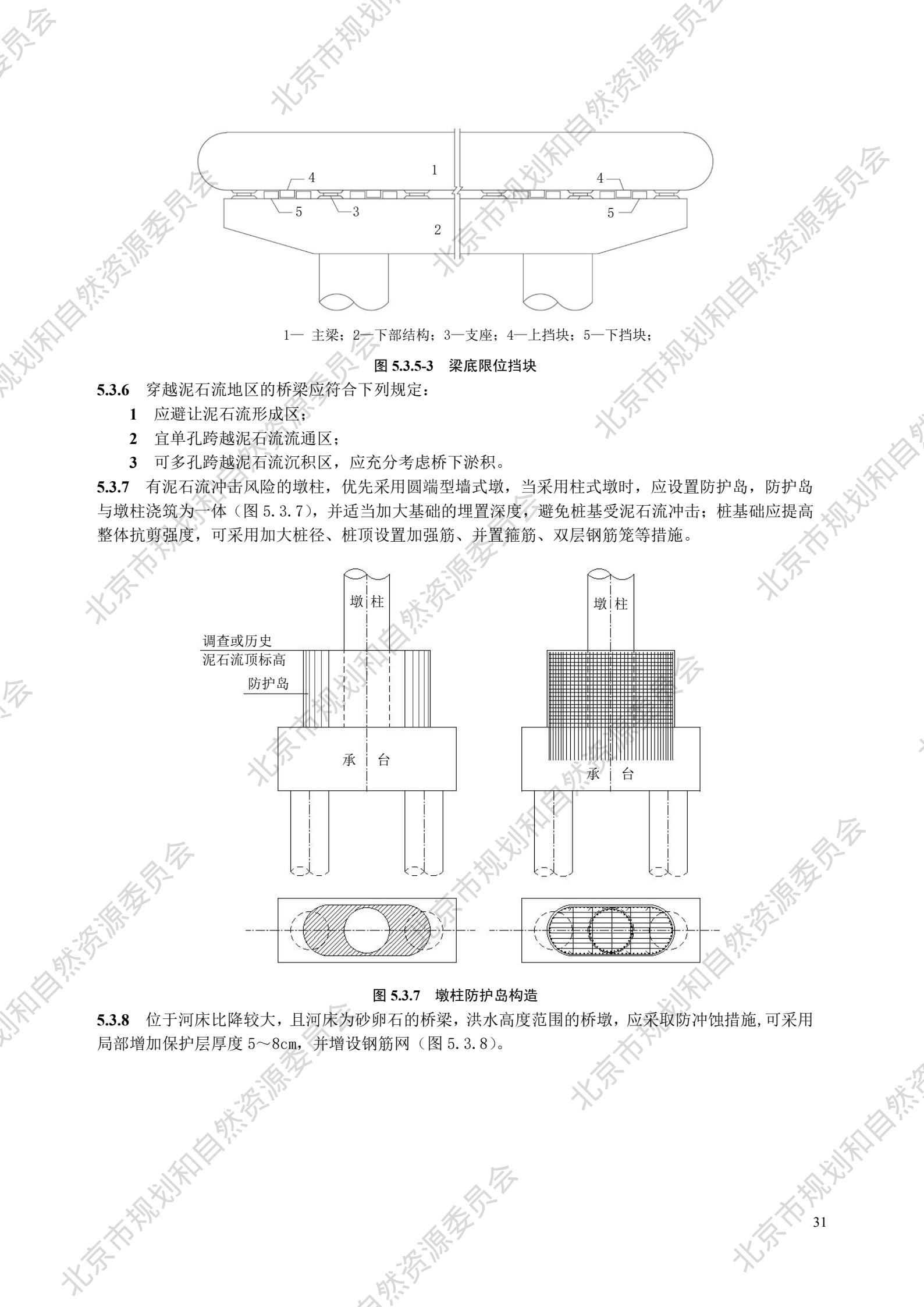
1—主梁; 2—桥台; 3—桥墩; 4—抗浮设施;

图 5.3.5-1 抗浮装置



1—主梁; 2—下部结构; 3—横向挡块; 4—横向限位装置;

图 5.3.5-2 横向限位挡块



1— 主梁；2— 下部结构；3— 支座；4— 上挡块；5— 下挡块；

图 5.3.5-3 梁底限位挡块

5.3.6 穿越泥石流地区的桥梁应符合下列规定：

- 1 应避让泥石流形成区；
- 2 宜单孔跨越泥石流流通区；
- 3 可多孔跨越泥石流沉积区，应充分考虑桥下淤积。

5.3.7 有泥石流冲击风险的墩柱，优先采用圆端型墙式墩，当采用柱式墩时，应设置防护岛，防护岛与墩柱浇筑为一体（图 5.3.7），并适当加大基础的埋置深度，避免桩基受泥石流冲击；桩基础应提高整体抗剪强度，可采用加大桩径、桩顶设置加强筋、并置箍筋、双层钢筋笼等措施。

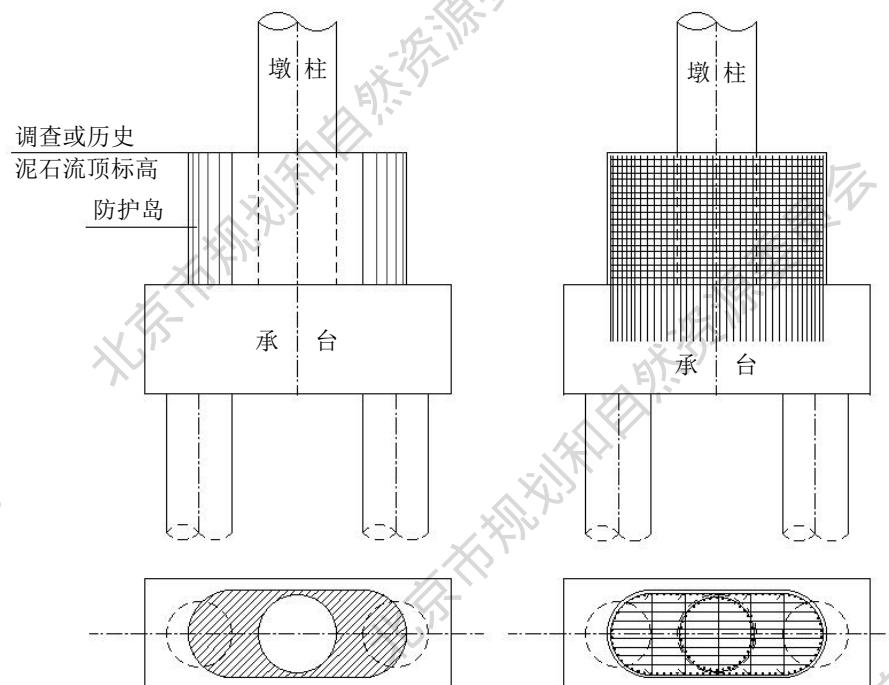


图 5.3.7 墩柱防护岛构造

5.3.8 位于河床比降较大，且河床为砂卵石的桥梁，洪水高度范围的桥墩，应采取防冲刷措施，可采用局部增加保护层厚度 5~8cm，并增设钢筋网（图 5.3.8）。



图 5.3.8 墩柱防护构造

5.3.9 历史洪水位超过桥面或接近桥面的桥梁, 桥面不应设置装饰建筑, 护栏应采用可拆卸梁柱式栏杆, 并设置水位警示标尺。

5.4 桥涵防护工程设计

5.4.1 桥梁基础的冲刷防护设置应符合以下原则:

- 1 当改扩建工程实施条件困难时, 可采用永久和半永久结合的防护方案;
- 2 防护方案的经济合理性应结合耐久性和全生命周期效益进行评价;
- 3 防护方案应全桥整体考虑, 包括台后路基防护, 不得存在防冲刷薄弱部位;
- 4 桥梁防护应与河道整治相结合;
- 5 防护形式不应缩窄行洪断面。

桥墩冲刷是一种动态现象, 随水深、流速、水流角度、桥墩形状和宽度以及其他因素而变化。如果判断桥墩处的冲刷会对桥梁的稳定性产生不利影响, 则应采取保护桥墩的防冲刷措施, 由于潜在冲刷的防护措施成本比较高, 必须选择设计、施工和维护最合适的防护措施, 必要时考虑分期实施, 当一般冲刷充分发展后, 再采取局部防冲刷措施, 往往会取得较好的效果。

5.4.2 常用的防护类型按规模可分为两大类, 整体防护和局部防护, 防护类型的选择影响因素较多, 主要依据洪水调查资料确定, 具体适用范围和容许最大流速可参考表 5.4.2-1 和表 5.4.2-2。

表 5.4.2-1 冲刷防护类型

类型	防护形式	适用范围
整体防护	全桥防护, 采用浆砌片石或混凝土护底	依据洪水调查资料, 并结合以下情况确定是否实施整体防护: 1) 孔径较小的桥梁; 2) 水深较浅, 便于施工的桥梁; 3) 河道实现规划的桥梁, 结合河道断面进行整体防护; 4) 平原区冲刷不严重的桥梁; 5) 山区及山前区河床为漂石及砂质的桥梁
	主河道内防护, 浆砌片石护砌, 通常结合河道工程实施	

表 5.4.2-1 冲刷防护类型 (续)

类型	防护形式	适用范围
局部防护	平面防护, 在墩台范围设置石笼、混凝土护板、块石等防护	1) 一般冲刷较小的桥梁; 2) 一般冲刷已经充分发展的桥梁; 3) 孔径较大的桥梁
	立体防护, 在墩的上下游设置地下桩帷幕防护	1) 水流急、局部冲刷较大的桥梁; 2) 现况为扩大基础的桥梁; 3) 河床地质便于桩基施工的桥梁
	临时防护, 抛石或石笼汛期抢险防护	在汛期洪水冲刷严重威胁桥梁安全的情况, 应根据桥梁状况提前预判实施

表 5.4.2-2 常用防护类型的容许最大流速参考值

序号	防护类型	容许最大流速 (m/s)
1	混凝土护底, 厚 0.3~0.4m	大于 4.0
2	浆砌片石护底	3.0 (厚 0.3m)、4.0 (厚 0.4m)
3	钢筋混凝土块排护基	3.5~4.5
4	料石护基	3.5~4.5
5	铅丝石笼护底护基	2.5~3.5
6	干砌片石	2.0~3.0

局部防护是指在桥墩台周围为防止水流局部冲刷面设置的防护措施。显然, 局部防护仅能防止水流局部冲刷而不能防止一般冲刷, 因此, 局部防护必须在一般冲刷已充分发展的基础上才能获得应有的效果。也就是说局部防护的顶面高程应设置在一般冲刷线, 才能获得预期效果, 如果将局部防护布置得高于一般冲刷, 则可能增大桥墩阻水面积并形成较强的涡流, 导致局部冲刷加剧, 而且桥下过流断面减少后又会增大桥下的一般冲刷, 引起跨中拉沟的不利情况, 以致造成相反的效果。但是一般冲刷深度尚难以准确计算, 局部冲刷线更不易准确划定, 因此, 局部防护的关键问题是防护体顶面的标高应当尽量接近一般冲刷线。

5.4.3 桥下整体防护可采用浆砌片石或混凝土护底, 铺砌面顶高程应略低于河床面高程, 最大水流速度不大于 4.0m/s 的桥梁采用浆砌片石护底 (图 5.4.3-1), 否则宜采用混凝土护底, 并设置多道挑坎或在下游垂裙处填抛片石 (图 5.4.3-2)。

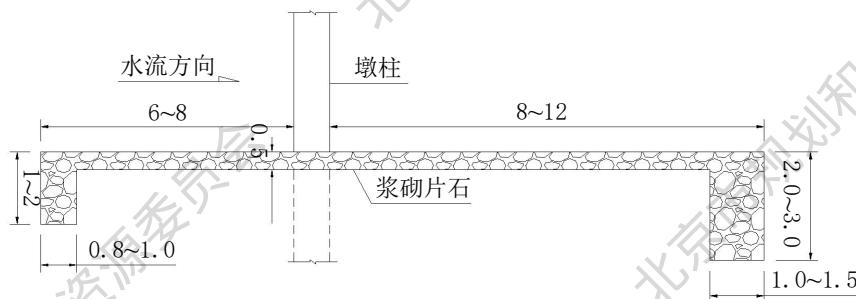


图 5.4.3-1 浆砌片石护底示意(单位: m)

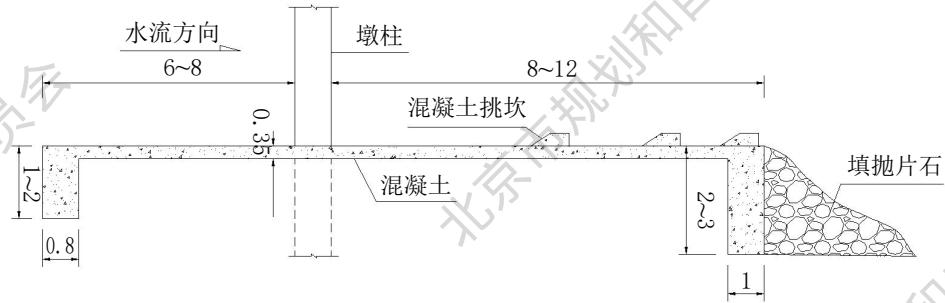


图 5.4.3-2 混凝土石护底示意(单位: m)

此类防护适用于山区及山前区,漂石、卵石及沙质河床(或平原沙质河床集中冲刷不严重的河流),枯水期水不深便于放工,梁跨较小,净空允许,局部防护难以设置于一般冲刷线者。若防护顶面有条件设置于一般冲刷线,则采用局部防护即可,而不必采用整孔防护。

5.4.4 石笼防护通常用在局部冲刷严重的墩台防护,笼顶高程应在一般冲刷线以下,依据桥墩形式、桥宽及局部冲刷情况确定布置形式和尺寸,平面形式可采用一字形(图 5.4.4-1)、马蹄形(图 5.4.4-2)等。

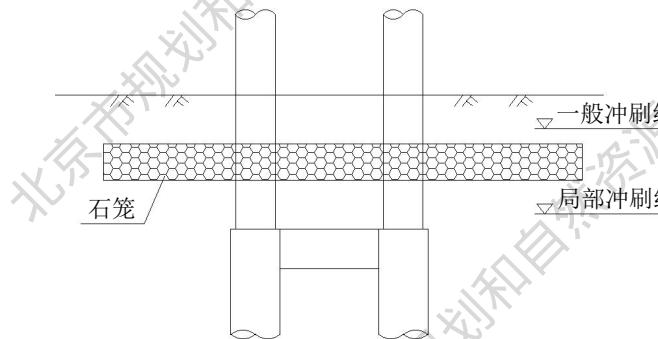


图 5.4.4-1 一字型防护石笼示意

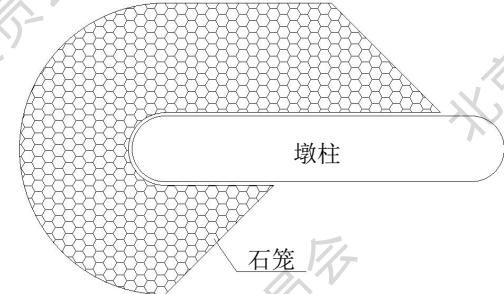


图 5.4.4-2 马蹄形石笼示意

柔性防护(铅丝石笼)受到河流冲击时具有灵活性,即使个别石块可能丢失,它也可以保持功能,并且相对容易修复,需要定期和洪水过后进行检查和维护。以往工程经验表明,金属丝网的耐久性不能得到有效保证,其作为桥墩防冲刷措施具有不确定性,为了保证石笼稳定,通常向石笼内注浆加固,形成半刚性平面防护措施。

5.4.5 改扩建工程利用的现况桥,且基础为扩大基础,需加强抗冲刷防护时,墩头可采用桩板组合防护结构,桩顶高程应位于最大冲刷线以下,板顶高程位于一般冲刷线以下,且不低于基础顶(图 5.4.5)。

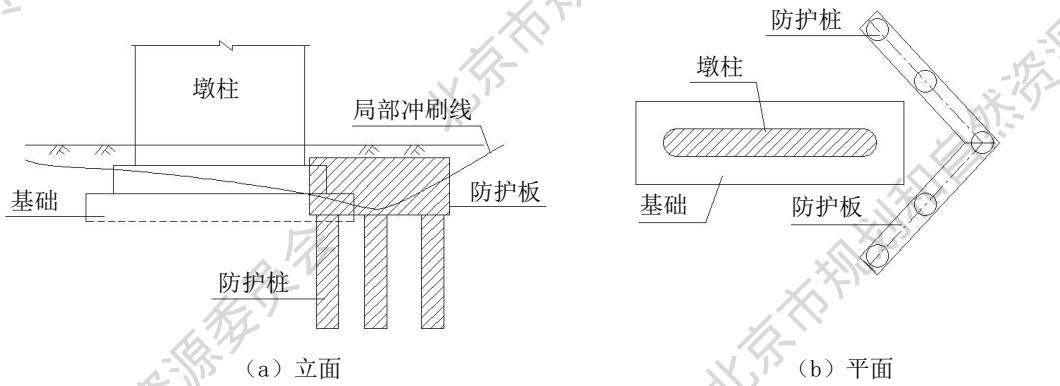
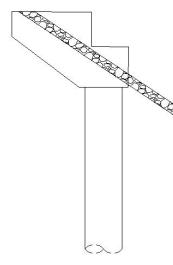


图 5.4.5 墩头桩板防护结构示意

5.4.6 桥台锥坡基础宜埋置在一般冲刷线以下不小于 $0.5\sim1.0$ m (图 5.4.6-1), 当一般冲刷线较低, 基础开挖较深, 实施困难时, 可将基础底置于一般冲刷线之上, 可根据实际河道情况在基脚设置柔性护坦措施 (图 5.4.6-2), 护坦宽度 B 依据 h 值现场确定。



河床
一般冲刷线
 $0.5\sim1.0$



河床
B
一般冲刷线

图 5.4.6-1 锥坡防护示意 (一) (单位: m) 图 5.4.6-2 锥坡防护示意 (二) (单位: m)

5.4.7 桥台锥体填方的坡面应全高进行铺砌防护, 水流作用部分的防护类型还应按水流流速、流冰、流木等冲击情况确定, 最高洪水位以下部分宜采用混凝土护面, 护面厚度不小于 30cm。

5.4.8 桥头上下游调治构筑物的设置:

- 1 不能以设置导流堤作为压缩桥孔的理由和手段, 应结合具体情况布设;
- 2 导流堤的设计洪水频率应与桥梁的设计洪水频率相同;
- 3 山前区冲积扇河段, 布设导流堤应与当地的防护堤坝、灌溉设施及其他水利工程相结合;
- 4 山前变迁河段可布设封闭导流堤, 限制天然情况下河道的变迁摆动;
- 5 平原河段可根据河道特点和桥梁与河道的关系布设封闭式导流堤 (图 5.4.8-1)、非封闭式导流堤 (图 5.4.8-2) 或梨形导流堤 (图 5.4.8)。



图 5.4.8-1 封闭式导流堤

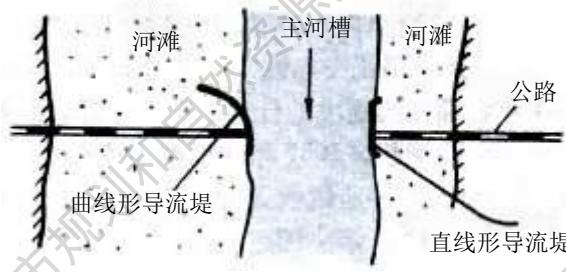
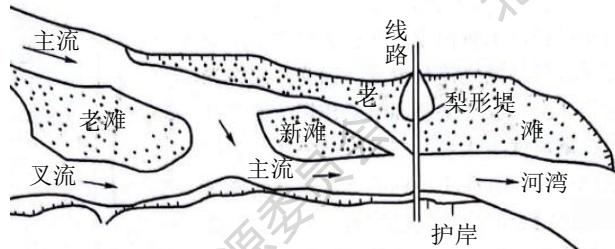
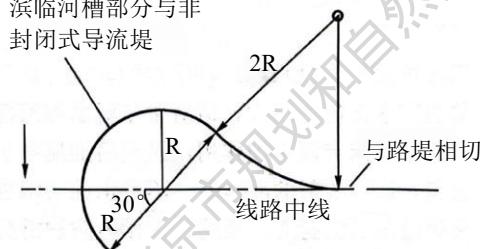


图 5.4.8-2 非封闭式导流堤



(a) 梨形堤示意



(b) 梨形堤平面布置示意

图 5.4.8 梨形导流堤

桥孔和调治构造物是形成完善排洪系统的重要组成部分, 二者缺一不可。目前, 大多数桥梁的全部或局部毁坏多归因于缺乏导流设施或导流不善, 未能有效配合桥孔形成排洪系统。由于导流、护岸

和河床整治不善而毁于泥石流的桥梁则更为常见。因此，需要结合水文、地形和地质等条件，合理布设调治构造物，如导流堤和截水坝等，以确保水流均匀顺畅地通过桥孔，防止桥位附近的河床和河岸发生不利变形，确保桥梁墩台和桥头引道的正常使用。

5.4.9 当台后路基较多的压缩河滩行洪断面，但水流流向不直接冲击路基时，路基防护基础按常规防护，仅考虑河床自然演变冲刷和河滩一般冲刷。对于路基明显压缩水流断面，且洪水明显冲击路基挡墙或护坡的台后路基防护应考虑局部冲刷。

5.4.10 漫水桥的设计洪水频率应根据容许阻断交通频次和时间长短、生态补水水位、桥头引道高程、桥下泥沙淤塞和上下游河床淤高等因素确定。

5.5 隧道防洪设计

5.5.1 隧道洞口位置不宜设在泥石流不良地质地段，以及排水困难的沟谷低洼处。

5.5.2 濒临水库、沿河、沿溪的隧道，其洞口路肩设计高程应高出计算洪水位（包括壅水高、浪高、爬高及超高等）不小于 0.5m。

5.5.3 隧道洞口影响范围内有自然沟渠、水渠跨越时，应考虑改造沟渠、渡槽，改造后的过水断面应满足不小于隧道设计洪水频率标准的流量要求。

5.5.4 隧道洞外的路基边沟与洞外路面水不宜流入隧道内，当隧道长度小于 500m，经技术和维护管养论证可行时，可经由隧道引排至隧道出口路基边沟。

5.5.5 当隧道出洞方向线路为上坡时，应将洞外路堑边沟做成与线路坡度相反且不小于 0.5%的坡度。

5.5.6 当隧道出洞方向线路为上坡且桥隧衔接时，应在临近洞口桥面两侧和伸缩缝处设置雨水收集系统。

6 排水

6.1 一般规定

6.1.1 排水工程设计应分析公路沿线现状水环境存在的问题和由于公路建设可能引起新的水环境问题，并以问题为导向制定解决方案。

公路建设涉及的水环境问题大致有：水土流失、水质污染、地表径流的改变、自然排水系统的改变、生态敏感区域的影响、地下水、饮用水安全等等。公路工程的排水设计，主要是解决公路建设可能引起新的水环境问题，其原则是维持项目地原来的水环境稳定持续，不能恶化。对已有的水环境问题，宜随工程建设一并解决。

6.1.2 排水工程设计应收集公路沿线水环境保护的相关资料，例如地表和地下水源保护区、地面水环境功能区划等，并制定相应的保护措施。

6.1.3 排水工程设计中应采用渗、滞、蓄、净等方式对路面雨水径流进行消减和净化，减少公路的排水对公路自身的冲刷和周边水环境的不利影响。

公路工程的排水设施，是为了迅速排除路面雨水径流而设置，但是应避免造成公路路基和桥梁墩柱基础等的冲刷损毁。由于径流系数的增加导致了地面雨水径流峰值和总量的增加，若处理不当，会造成工程区域的水土流失，严重的会造成塌方、滑坡、淹溺等灾害。

6.1.4 承担区域抗灾救灾功能的道路，应具有可靠的工程措施及完善的非工程措施组成的洪涝防治工程体系。

6.2 道路边沟设计

6.2.1 在不影响路基等道路设施结构稳定性的情况下，道路边沟宜设计为生态型，生态型边沟可以减少雨水地面径流的总量和峰值。

例如边沟的护砌可采用渗透型的护砌（图 6.2.1）。

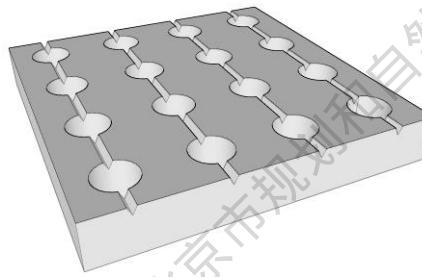


图 6.2.1 一种新型护砌多孔砖

6.2.2 在不影响路基等道路设施结构稳定性的情况下，道路边沟中宜设置拦水堰，对雨水进行滞蓄（图 6.2.2）。

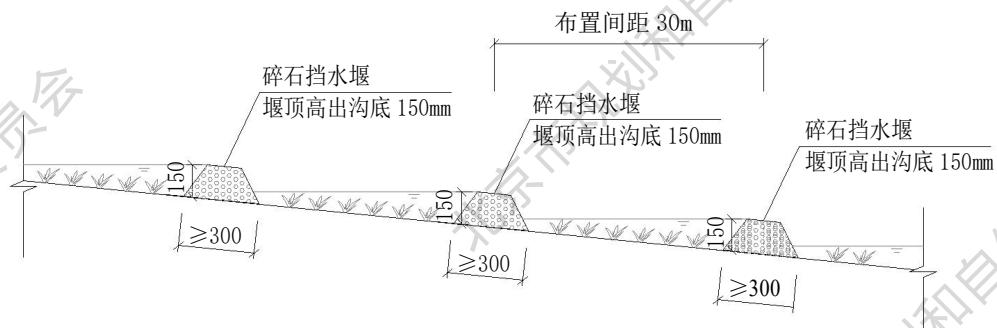


图 6.2.2-1 拦水堰设计示意



图 6.2.2-2 拦水堰实景照片

6.2.3 为了避免道路急流槽的来水对边沟、路基等造成冲刷，应在急流槽汇入边沟的局部采用硬质护砌，且宜设置消力池（图 6.2.3）。

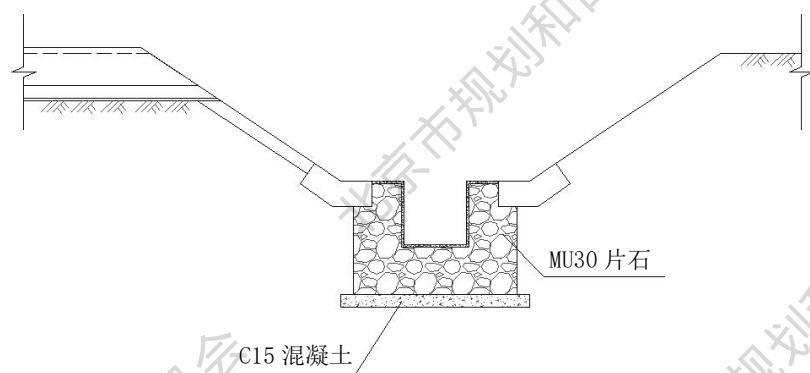


图 6.2.3-1 消力池设计示意



图 6.2.3-2 消力池实景照片

6.3 桥梁纵断面凹点溢流设计

6.3.1 为了避免由于超标降雨或者桥梁排水设施堵塞造成桥梁纵断面凹点路段积水，凹点位置应设置溢流设施。

6.3.2 桥梁纵断面凹点，应避免设置在道路、铁路、积水区域、人员活动区域、水环境敏感区域等的上方。

6.4 桥下空间雨水径流滞蓄塘设计

6.4.1 桥下空间宜建设雨水滞蓄塘设施，桥梁路面雨水径流排到里面，通过蒸发、下渗和滞蓄对雨水径流量进行消减，避免道路雨水对下游产生冲刷、淹没等灾害（图 6.4.1）。

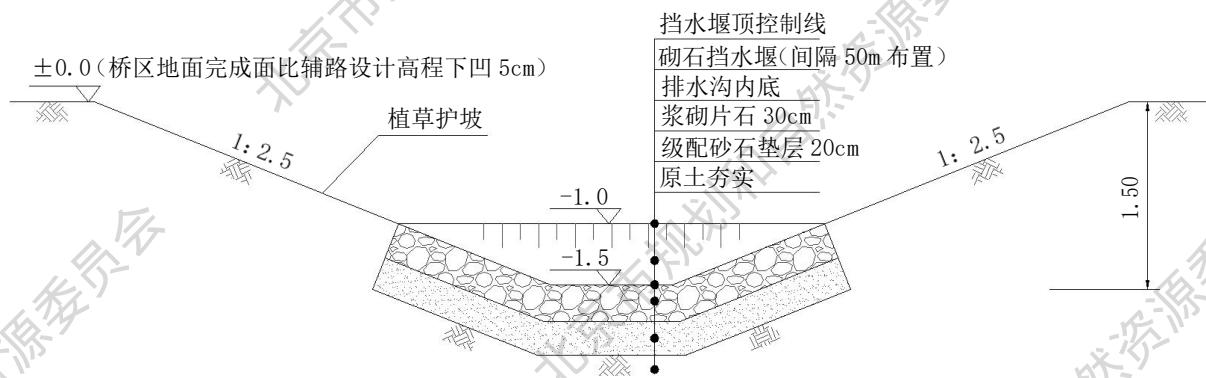


图 6.4.1-1 高架桥下雨水滞蓄塘设计示意（单位: m）



图 6.4.1-2 高速公路高架桥下雨水滞蓄塘

6.4.2 桥下滞蓄设施最大水深不宜超过 0.5m, 且应设置警示标志及防护措施, 避免人员误入造成危险。

6.5 隧道、下凹桥区防洪设计

6.5.1 受洪水威胁的隧道、下凹桥区应进行防洪专项设计。

6.5.2 隧道、下凹桥区的高水防护系统应采用工程措施满足其防洪标准, 低水排水系统应与其下游排水系统相协调, 避免对下游排水系统造成冲击。

6.5.3 隧道、下凹桥区若与其他地下设施连通, 上述设施的防洪标准应一致且满足各自的防洪要求。

附录 A 设计洪水计算方法

A.0.1 本指南中设计洪水计算方法，主要依据《北京市水文手册》的“第一分册暴雨图集”及“第二分册洪水篇”。

本指南中设计洪水计算方法，是针对上游无水利工程的情况，实际应用中的设计洪水成果，应考虑本流域的水土保持、小流域生态治理等工程措施对其的影响。

A.0.2 有实测洪水资料地区设计洪水计算方法应符合下列规定：

1 当工程所在河道流域内建有水文站，并具有 30 年以上实测洪水系列资料时，可通过频率适线法计算分析设计洪水；

2 用于计算分析的洪水资料，应具有可靠性、代表性和一致性；

3 实测流量的经验频率应按以下方法计算：

1) 对于实测洪水，在 n 项连序洪水系列内，按大小顺序排位第 m 项的经验频率可按下列公式计算：

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad m=1, \dots, n \quad (A.0.2-1)$$

2) 对于历史洪水，在调查考证期 N 年中有特大洪水 a 个，按大小顺序排位第 M 项的经验频率可按下列公式计算：

$$P = \frac{M}{N+1} \times 100\% \quad M=1, 2, \dots, a \quad (A.0.2-2)$$

3) 对于不连序系列，在调查考证期 N 年中有特大洪水 a 个，其中有 b 个发生在 n 项连序系列内，按大小顺序排位第 m 项的经验频率可按下列公式计算：

$$p = \frac{a}{N+1} + \left(1 - \frac{a}{N+1}\right) \times \frac{m-b}{n-b+1} \quad m=b+1, \dots, n \quad (A.0.2-3)$$

4 实测洪水系列流量频率适线的线型宜采用 P-III 曲线。由 n 年实测洪水系列和 a 个历史洪水及实测特大洪水资料组成的系列，洪水理论频率曲线的均值 \bar{Q} 、变差系数 Cv 可分别按下列公式计算：

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^a Q_i + \frac{N-a}{n} \sum_{i=1}^n Q_i}{N} \quad (A.0.2-4)$$

$$Cv = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^a \left(\frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 + \frac{N-a}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{\bar{Q}} - 1 \right)^2 \right]} \quad (A.0.2-5)$$

北京地区洪水系列的偏差系数 Cs 取值通常为变差系数 Cv 的 2 倍或 2.5 倍。北京山区的变差系数 Cv 一般在 1.5~2.5 左右。

5 设计洪峰流量、设计洪水总量计算

从洪峰流量、洪量频率适线后确定的理论频率曲线上，可直接查出各频率设计洪峰流量值 Q_p 、洪量 W_p 。

另外根据上述所求的洪水特征值（均值、 Cv 、 Cs ），查 P-III 型曲线模比系数 K_p 值表，也可得到不同重现期对应的 K_p 值。不同重现期的洪峰流量、洪水总量可分别按下列算式计算：

$$Q_p = K_p \times Q_0 \quad (A.0.2-6)$$

$$W_p = K_p \times W_0 \quad (A.0.2-7)$$

式中: Q_p 、 W_p — 某一重现期的洪峰流量 (m^3/s)、洪水总量 (m^3);

Q_0 、 W_0 — 多年平均的洪峰流量 (m^3/s)、洪水总量 (m^3)。

A.0.3 无实测洪水资料地区设计洪水计算应符合下列规定:

1 当工程所在河道流域内无实测洪水时, 可通过地区经验公式、暴雨资料间接推算的推理公式等方法估算设计洪水;

2 根据地形和气候特征等情况, 将北京山区划分为三个洪水分区: 背山区、山后区和山前区。背山区 (I 区) 指延庆盆地和白河上游地区; 山后区 (II 区) 包括永定河清水河地区和潮河密云水库上游地区; 山前区 (III 区) 指山前迎风区, 包括房山漫水河、昌平十三陵、怀柔北台上水库、密云水库、红门川沟、沟洳河流域的沿线地区。北京市山区洪水分区见附录 B;

3 设计暴雨包括设计流域不同历时的面平均暴雨量、暴雨的时程分配等内容, 可按《北京市水文手册—第一分册 暴雨图集》方法查算。根据工程设计要求, 一般均需查算相应设计标准的最大 24h 雨量, 另外, 根据采用设计洪水的计算方法要求, 再查算其它历时的设计雨量及暴雨时程分配;

4 设计洪峰流量, 根据《水利水电工程设计洪水计算规范》等要求, 在计算无实测资料地区设计洪水时, 应尽可能采用多种方法, 并对各方法计算的成果进行综合分析, 合理选定设计采用值。

1) 经验公式法: 根据北京市山区 240 处调查历史洪水资料, 按不同重现期、自然地理条件、洪水分区分析而得, 并与山区水文站实测洪峰流量分析成果及推理公式计算成果等进行了协调。

北京市现用经验公式基本型式:

$$Q = KN^m F^n \quad (A.0.3-1)$$

式中: Q — 洪峰流量 (m^3/s);

K — 综合系数;

N — 重现期;

F — 流域面积 (km^2);

m 、 n — 指数。

各分区经验公式型式及适用范围见表 1。

表 1 北京山区各分区经验公式

分区	经验公式	适用范围
I	$Q = 2N^{0.63}F^{0.60}$	$20 \leq N \leq 100, 20 \leq F \leq 1000 km^2$
II	$Q = 2N^{0.68}F^{0.60}$	$20 \leq N \leq 100, 10 \leq F \leq 600 km^2$
III	$Q = 9N^{0.40}F^{0.65}$	$20 \leq N \leq 100, 10 \leq F \leq 600 km^2$

2) 推理公式法: 根据设计暴雨推求洪峰流量的一种方法, 在北京山区主要采用推理公式法计算洪峰流量。推理公式基本型式:

$$Q_p = 0.278\psi FS/\tau^n \quad (A.0.3-2)$$

式中: Q_p — 洪峰流量 (m^3/s);

S — 最大 1 小时降雨量 (mm);

F — 流域面积 (km^2);

n — 暴雨递减指数;

ψ — 洪峰径流系数;

τ — 汇流时间 (h)。

上述公式中所确定的参数均根据北京山区 (洪水分区的 III 区和 II 区) 资料求出, 其流域面积多数在 $90 \sim 700 km^2$, 少数在 $20 km^2$ 左右。因此, 推理公式适宜用在北京山区 (洪水分区的 III 区和 II 区),

最适合流域面积在 $90\sim700\text{km}^2$ ，少数在 20km^2 以上也可适用。对于小于 20km^2 以下的流域，可依据采用短历时雨量进行改进后的推理公式进行流量计算，并进行合理性分析后推荐采用的成果。

北京地区推求洪峰流量，通常是根据 24 小时设计雨量 H_{24} ，先查算出暴雨递减指数 n ，按公式反推短历时设计雨量后，再按推理公式计算出洪峰流量。

3) 平原区排涝模数法：根据设计地点的流域位置，流域坡度及岩性选择计算公式。

$$\text{公式①: } M = 0.032 R^{0.93} \cdot F^{-0.16} \quad (\text{A.0.3-3})$$

适用于城北、西部山前平原区。流域坡度大于 2% ，地表岩性为黄土质亚砂土的地区；

$$\text{公式②: } M = 0.026 R^{0.93} \cdot F^{-0.16} \quad (\text{A.0.3-4})$$

适用于城南平原区，流域坡度小于 2% ，地表岩性为亚砂土的地区，或流域坡度大于 2% 的砂土地区；

$$\text{公式③: } M = 0.021 R^{0.93} \cdot F^{-0.16} \quad (\text{A.0.3-5})$$

适用于平原区流域坡度小于 2% ，地表岩性为砂土的地区。

式中：M——设计排水模数 ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$)

R——设计径流深 (mm)

F——排水河道设计断面控制的排水面积 (km^2)

4) 由洪水位推算洪峰流量方法：根据实测或调查的洪水位、河道断面等资料情况，可采用明渠均匀流水力计算（比降面积法）计算洪峰流量。公式如下：

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \times A \quad (\text{A.0.3-6})$$

其中：Q——流量 (m^3/s)；

R——水力半径 (m)；

A——过水断面面积 (m^2)；

n——糙率，根据河床组成及床面特征，河道平面及水流流态，以及主槽、滩地植被特征等，参考《水力学计算手册》（第二版）河道糙率表综合确定。

I——水力坡降；根据上下游洪水位计算，并对照该段河道河底纵坡、设计的水面比降等对比后综合确定。

5) 洪水总量的计算：根据不同时段的设计雨量，由暴雨径流历时相关图（见附录 C、D），查算出相应径流深 h ，时段设计洪量按下式计算：

$$W = 1000 \times h \times F \quad (\text{A.0.3-7})$$

式中：W——设计洪量 (m^3)；

h——设计径流深 (mm)；

F——流域面积 (km^2)。

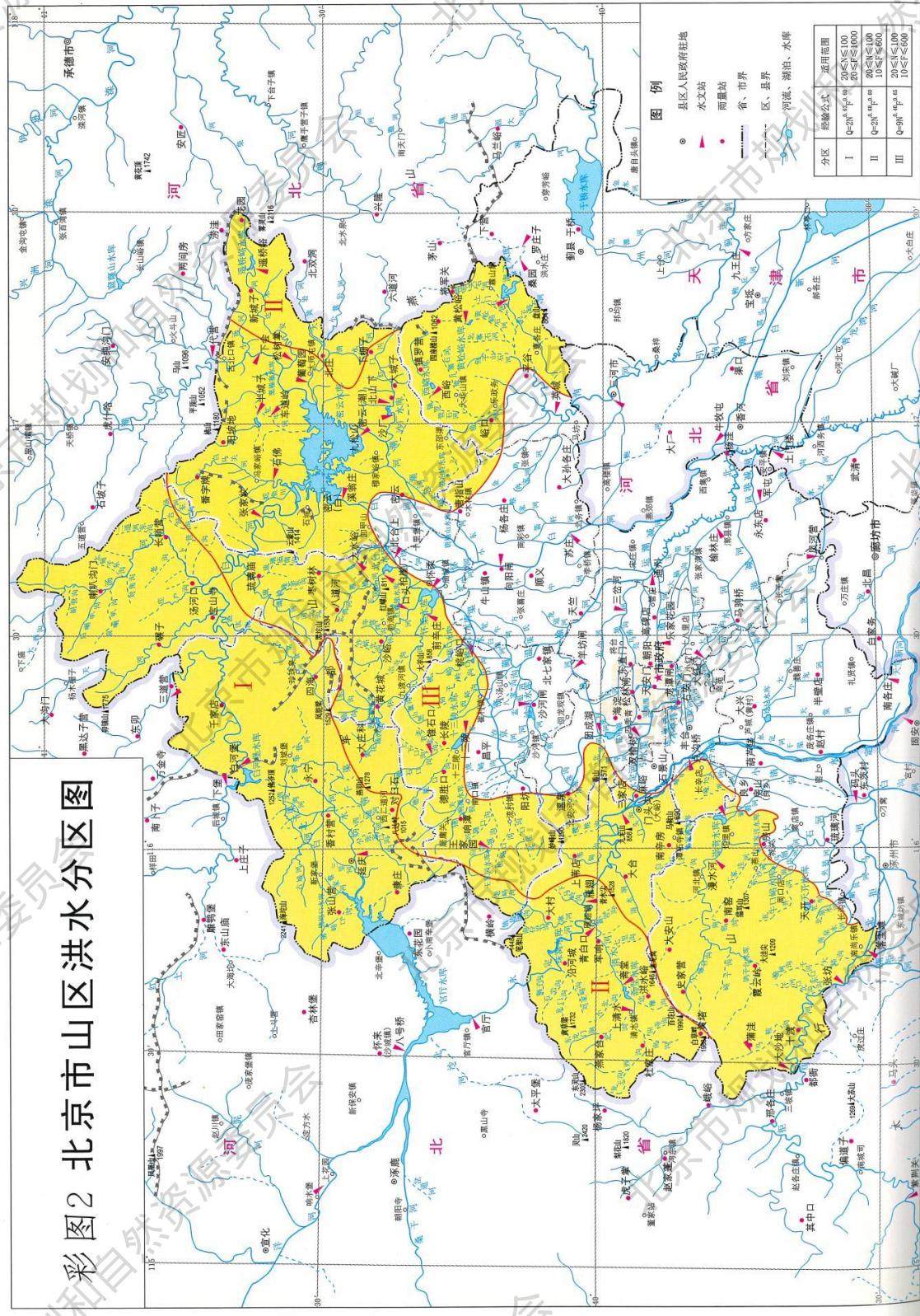
A.0.4 设计洪水成果合理性分析与检查方法应符合下列规定：

1 根据《水利水电工程水文计算规范》SL/T 278 和《水利水电工程设计洪水计算规范》SL44 的相关规定，对计算结果应进行多方面分析，检查论证其合理性。水文资料短缺地区的水文计算，应采用多种方法，对计算成果应综合分析、合理选定；

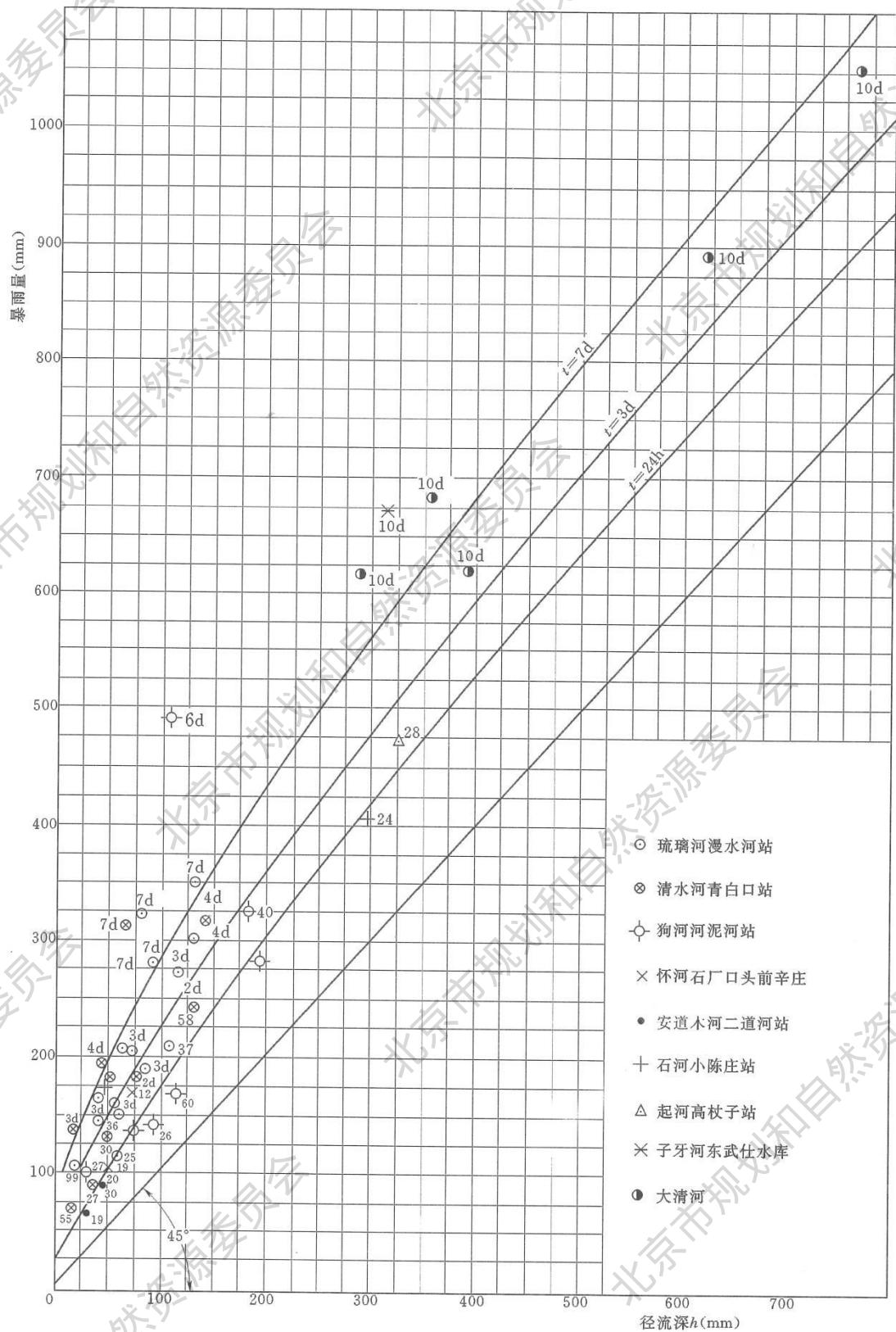
2 针对某项工程设计洪水的计算，应先根据本流域特性和资料情况，确定采用的几种计算方法，对计算成果经综合分析后，依据本流域自然地理条件、降雨产汇流特征和该工程的性质及规模等情况，推荐采用合理的成果；

3 设计洪水的合理性分析与检查，可通过本流域及邻近地区调查洪水成果进行验证、并与上下游和邻近地区设计洪水成果比较分析等方面进行。

附录 B 北京市山区洪水分区图

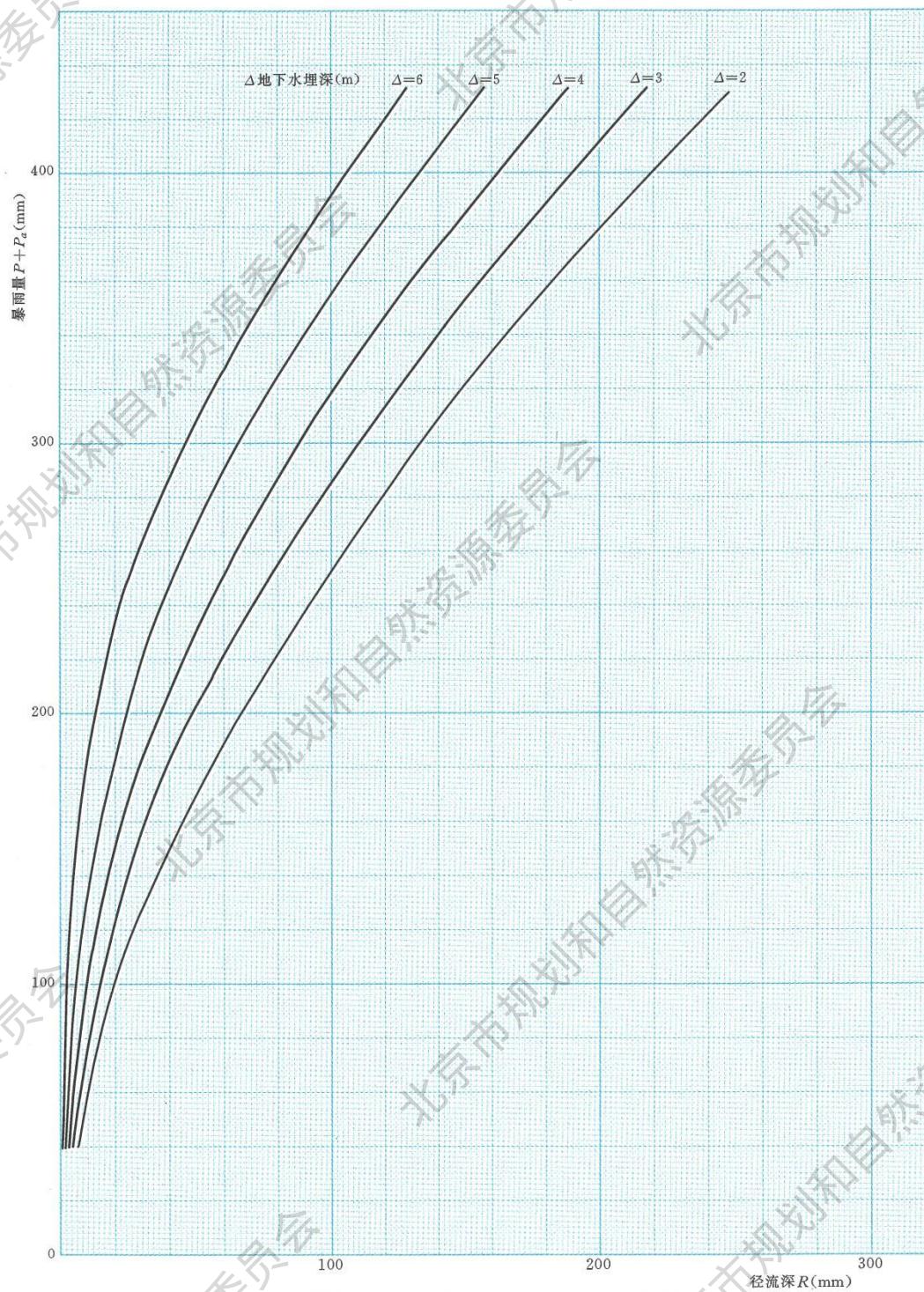


附录 C 北京山区暴雨径流历时 (H-h-t) 关系图



附图 3 北京山区暴雨径流历时 ($H-h-t$) 关系线

附录 D 北京市平原区 $P+P_a-\Delta-R$ 相关图



附图 9 北京市平原区 $P+P_a-\Delta-R$ 相关图

本指南用词说明

- 1 为便于在执行本指南条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用名录

- 1 《防洪标准》 GB 50201
- 2 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 3 《公路工程水文勘测设计规范》 JTG C30
- 4 《公路路基设计规范》 JTG D30
- 5 《公路路线设计规范》 JTG D20
- 6 《公路工程抗震规范》 JTG B02
- 7 《公路滑坡防治设计规范》 JTG/T 3334
- 8 《崩塌防治工程勘察规范》 T/CAGP 011
- 9 《水利水电工程设计洪水计算规范》 SL 44
- 10 《水利水电工程水文计算规范》 SL/T 278
- 11 《水力学计算手册》（第二版）
- 12 《北京市水文手册》
- 13 《公路路基设计手册》（第三版）