公路隧道防排水技术规范

1 范围

本文件确立了公路隧道防排水设计和施工的总体原则，规定了防水系统设计、排水系统设计、防排水施工等技术要求。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内采用钻爆法施工的新建、改扩建的公路隧道。

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。

GB 18173.2 高分子防水材料 第2部分：止水带

GB/T 23457 预铺/湿铺防水卷材

GB 50108 地下工程防水技术规范

GB 50208 地下防水工程质量验收规范

JTG 3370.1 公路隧道设计规范 第一册：土建工程

JTG/T 3660 公路隧道施工技术规范

JTG/T D33 公路排水设计规范

JTG/T D70 公路隧道设计细则

JT/T 1432.2 公路工程土工合成材料第2部分：土工织物

TB/T 3360.1 铁路隧道防水材料 第1部分：防水板

TB/T 3360.2 铁路隧道防水材料 第2部分：止水带

TB/T 3360.3 铁路隧道防水材料 第3部分：防排水带

TB/T 3354 铁路隧道排水板

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

防排水系统 waterproof and drainage system

隧道中为了保证施工及运营过程中不致因渗漏水、涌水造成病害、灾害，危及施工及行车安全，腐蚀洞内设备，降低结构使用寿命而采取的防水及排水措施。

3.2

防水层 waterproof layer

附着在衬砌上防水结构，包括水泥砂浆防水层、卷材防水层和涂料防水层等。

3.3

主排水系统 main drainage system

排泄地下水流的纵向主沟，一般包括中心水沟、侧向盲沟。

3.4

辅助排水通道 auxiliary drainage channel

为满足排水、泄洪或降低地下水位等需求而设置在主洞附近的辅助通道，常见的包括泄水洞、排水廊道、隧底涵洞等。

3.5

泄水洞 drainage channel

设置在隧道主洞附近辅助主洞进行排水、泄洪或降低地下水位的大型洞室，根据与隧道的空间关系分为横向泄水洞和纵向泄水洞。

3.6

排水廊道 drainage corridor

设置在隧道内某一富水地段一侧起排水、沉砂、防淤积作用的横向或纵向廊道，通过人行横洞、车行横洞或在衬砌上开设的门洞与主洞相连。

3.7

隧底涵洞 culvert at the bottom of tunnel

在隧道二次衬砌仰拱下部设置的排水、泄洪或降低地下水位的涵洞，根据与隧道的空间关系分为横向隧底涵洞和纵向隧底涵洞。

4 符号

A_c——隧道洞内主排水系统的过水断面面积。

A_s——泄水洞的过水断面面积。

A_d——洞顶截水沟、洞顶排水沟的过水断面面积。

D——基面相邻两凸面间凹进去的深度。

F——汇水面积。

I——隧道洞内主排水系统的底坡。

L——基面相邻两凸面间的距离。

K——隧道通过含水体的渗透系数。

K_c——隧道洞内主排水系统的排泄能力富余系数。

K_d——洞顶截水沟、洞顶排水沟的排泄能力富余系数。

K_s——泄水洞的排泄能力富余系数。

R——隧道洞内主排水系统的水力半径。

Q_c——隧道洞内主排水系统的设计排泄能力。

Q_d——洞顶截水沟、洞顶排水沟的设计排泄能力。

Q_t——隧道预测涌水量或实测的总涌水量。

Q_i——隧道洞内设计排水量或实测进入到初期支护内部的涌水量。

Q_o——隧道初期支护外部的设计排水量。

n——隧道洞内主排水系统的沟壁或管壁的粗糙系数。

$q_{\mathrm{p,t}}$——设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度。

v_c——隧道洞内主排水系统的设计平均流速。

v_d——洞外截水沟、洞顶排水沟的设计平均流速。

v_s——泄水洞的设计平均流速。

ρ——隧道洞内主排水系统的过水断面湿周。

ψ——径流系数。

5 基本规定

5.1 公路隧道应重视防排水工程，防排水系统的设计和施工应遵循“防、排（疏）、堵、截相结合，因地制宜，综合治理”的基本原则。

5.2 对于地下水环境要求高、大量排水可能造成生态环境恶化或影响居民生产生活的隧道（地段），宜采取“以堵为主，限量排放”的防排水措施；对岩溶隧道，宜采取“以疏为主”的防排水措施；其它隧道（地段）应采取“以排为主”的防排水措施。

5.3 公路隧道应在收集分析已有资料的基础上，采用测绘、物探、钻探、试验、动态观测、监测等手段，查明隧址区的水文地质条件，分析、评价地下水对隧道工程影响及隧道工程建设对水文地质环境的影响，为隧道工程设计和施工提供水文地质资料。

5.4 水文地质条件复杂，且地下水对隧道建设和运营安全可能会造成重大影响，或隧道工程建设可能会对水位地质环境造成严重影响的公路隧道应进行专项水文地质勘察。

5.5 水文地质条件复杂的隧道应进行防排水专项设计，详细规划防、排、堵、截措施及排水路径，确保洞内、外防排水系统完整、通畅。

5.6 隧道防排水施工宜编制专项施工方案，规划临时排水方案，做好施工涌突水预警和应急预案并加强演练。

5.7 隧道防排水系统的设计和施工应遵守国家和地方有关环境保护及水土保持等方面的法律法规，并充分考虑对水资源和生态环境的影响。

5.8 隧道防排水系统的设计和施工应贯彻国家有关技术经济政策，积极采用新技术、新工艺、新材料、新设备。

5.9 隧道防排水系统的设计和施工除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

6 防水系统设计

6.1 一般规定

6.1.1 隧道防水应采取“源头截水、围岩堵水、衬砌防渗、接缝防漏、卷材防水”相结合的措施，形成完整的防水系统。

6.1.2 隧道防水等级可分为四个等级，各等级防水标准应符合表 1 的规定。

表1 隧道防水等级划分标准

防水等级	防水标准
一级	不允许渗水，结构表面无湿渍
二级	不允许漏水，结构表面可有少量湿渍； 总湿渍面积不应大于总防水面积的2/1000；任意100㎡防水面积上的湿渍不超过3处，单个湿渍的最大面积不大于0.2㎡
三级	有少量漏水点，不得有线流和漏泥沙； 任意100㎡防水面积上的漏水或湿渍点数不超过7处，单个漏水点的最大漏水量不大于2.5L/d，单个湿渍的最大面积不大于0.3㎡
四级	有漏水点，不得有线流和漏泥沙； 整个工程平均漏水量不大于2L/(㎡•d)；任意100㎡防水面积上的平均漏水量不大于4L/d

6.1.3 不同防水等级的适用范围，应根据工程的重要性和使用中对防水的要求按表 2 确定。

表2　不同防水等级的适用范围

防水等级	适用范围
一级	地下风机房、大型电器设备洞室、路面
二级	（1）高速公路、一级公路、二级公路隧道主洞； （2）三级公路长及特长隧道主洞； （3）四级公路特长隧道主洞； （4）设备洞室
三级	（1）三级公路中、短隧道主洞； （2）四级公路隧道主洞； （3）通风竖井或斜井； （4）人行横洞、车行横洞
四级	（1）施工辅助坑道； （2）紧急疏散通道

6.1.4　隧道的防水措施，应根据使用功能、使用年限、水文地质、结构形式、环境条件、施工方法及材料性能等因素综合选用；明洞防水措施应按表 3 选用；暗洞防水措施应按表 4 选用。

表3　明洞防水措施选用

防水等级	部位						
	洞身结构			施工缝		变形缝	
	衬砌防水	卷材防水	防水砂浆	中埋式止水带	背贴式止水带	中埋式止水带	背贴式止水带
一级	应选	应选	应选	应选	应选	应选	应选
二级	应选	应选	应选	应选	宜选	应选	应选
三级	应选	应选	应选	应选	可选	应选	宜选
四级	可选	可选	可选	应选	——	应选	宜选

表4　暗洞防水措施选用

防水等级	部位						
	洞身结构			施工缝		变形缝	
	衬砌防水	卷材防水	注浆堵水	中埋式止水带	背贴式止水带	中埋式止水带	背贴式止水带
一级	应选	应选	应选	应选	应选	应选	应选
二级	应选	应选	宜选	应选	宜选	应选	应选
三级	应选	应选	可选	应选	可选	应选	宜选
四级	可选	可选	——	应选	——	应选	宜选

6.1.5　隧道应根据不同地段地下水发育情况采取分区防水措施，并将富水地段的防水措施向相邻段延伸，延伸的长度应根据水量、水压大小以及防水措施、二次衬砌一次施工长度、衬砌加强段延伸长度等综合确定，不宜小于 10m。

6.1.6　不同防水分区接头处宜设置防水隔断，并应符合下列规定：

a)　防水隔断宜设置在围岩相对较完整、渗水量相对较少的地段。

b)　防水隔断宜结合地质条件确定，宜为 3～5m。

c)　防水隔断处初期支护背后的围岩应进行注浆防渗。

d)　防水隔断处应用柔性橡胶垫层取代无纺布。

e)　防水隔断处纵向排水管应断开。

6.2　源头截水

6.2.1　应重视隧道地表沟槽、池塘、洼地、落水洞、溶蚀槽谷及岩溶地表塌陷等汇水对隧道的影响。

6.2.2　具备施工条件时，宜在隧道施工前对池塘、洼地、溶潭、落水洞、溶蚀槽谷及岩溶地表塌陷进行封闭处理或引排出洞身范围外，减少地表水下渗。

6.2.3　隧道地表的截水措施应与引排效能措施及泄、消水措施统筹考虑，确保地表水的截、引、消及

时、有效、安全。

6.3 围岩堵水

6.3.1 隧道涌水无法完全排除影响施工及结构安全，或隧道施工可能造成水土流失，影响当地居民生产、生活的区段或环境敏感段落，应在查明地下水流性质的基础上，采取针对性的围岩堵水措施，并符合下列规定：

a) 对防水等级一、二级的工程，注浆堵水后围岩的渗透系数应降低至 10^{-4}～10-5cm/s 以下。

b) 对防水等级三、四级的工程及临时工程，注浆堵水后围岩的渗透系数应降低至 10-3cm/s 以下。

6.3.2 应根据工程地质和水文地质条件选择围岩堵水方案，并符合下列规定：

a) 在工程开挖前，预计涌水量大的软弱地层地段，宜采用超前预注浆。

b) 开挖后有大面积渗漏水或大股涌水时，宜采用支护前围岩注浆。

c) 衬砌（支护）后渗漏水严重的地段或充填衬砌背后的空隙地段，宜采用回填注浆。

d) 衬砌后或回填注浆后仍有渗漏水时，宜采用衬砌内注浆或衬砌后围岩注浆。

6.3.3 注浆材可根据隧道围岩工程地质和水文地质情况、注浆目的、注浆工艺和设备、经济性等因素选择，并符合下列规定：

——超前预注浆和支护前围岩注浆，选用水泥浆液、水泥—水玻璃浆液，必要时可用化学浆液；

——衬砌背后围岩注浆，选用水泥砂浆、水泥浆液、化学浆液；

——回填注浆选用水泥浆液、水泥砂浆或掺有石灰、黏土、粉煤灰的水泥浆液；

——衬砌内注浆选用水泥浆液、特种水泥浆和超细水泥浆、化学浆液。

6.3.4 水泥类浆液应选用强度不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥。浆液的配合比、注浆压力等，应经现场试验后确定。

6.4 衬砌防渗

6.4.1 衬砌防渗应与围岩堵水、接缝防漏、卷材防水等形成综合的防水体系。

6.4.2 衬砌模筑混凝土应满足抗渗要求，并应根据隧道工程所处的环境条件、工作条件，满足抗压、抗冻和抗侵蚀性等耐久性要求：

——二级及以下防水等级地段混凝土抗渗等级不宜低于 P8。

——一级防水等级地段混凝土抗渗等级不宜低于 P10。

6.4.3 防水混凝土衬砌厚度不应小于 300mm；衬砌裂缝宽度不得大于 0.2mm，并不得贯通；衬砌钢筋保护层厚度应根据结构的耐久性和工程环境选用，迎水面钢筋保护层厚度不应小于 50mm。

6.4.4 处于侵蚀性介质中防水混凝土的耐侵蚀要求应根据介质的性质按有关标准执行。

6.4.5 富水高压隧道（地段）且水压变化幅度较大时，应考虑采取加大配筋率、加厚衬砌、提高抗渗等级等衬砌自防水工程措施。

6.5 接缝防漏

6.5.1 接缝防漏措施应符合下列要求：

a) 采用两种或两道以上的接缝防水措施，且均具有一定的抗水压能力；

b) 环向施工缝、变形缝宜沿隧道全断面设置；

c) 宜合并设置施工缝、变形缝。

6.5.2 隧道二次衬砌的环向施工缝、变形缝应采取可靠的防漏措施，并应符合下列要求：

——环向施工缝宜采用背贴式止水带与中埋式钢边橡胶止水带（施工缝用）组合形式防水构造。

——环向变形缝宜采用背贴式止水带与中埋式钢边橡胶止水带（变形缝用）组合形式防水构造。

6.5.3 止水带的各项指标应符合表 5 的规定。

表5 止水带的性能指标

序号	项目		单位	指标
1	硬度（邵尔A）		度	60±5
2	拉伸强度 ≥		MPa	10
3	拉断伸长率 ≥		%	380
4	压缩永久变形	70℃×24h，25% ≤	%	35
		23℃×168h，25% ≤	%	20
5	撕裂强度 ≥		kN/m	30
6	脆性温度 ≤		℃	-45
7	热空气老化 70℃×168h	硬度变化（邵尔A） ≤	度	+8
		拉伸强度 ≥	MPa	9
		拉断伸长率 ≥	%	300
8	臭氧老化50×10-8：20%，(40±2) ℃×48h			无裂纹
9	橡胶与金属粘合[a]			橡胶间破坏
[a]橡胶与金属粘合项仅适用于钢边橡胶止水带				

6.5.4 纵向施工缝可根据模板台车、施工工艺等情况进行调整，但不宜低于纵向排水管顶部标高，纵向施工缝处宜设置钢板止水带。

6.6 卷材防水

6.6.1 卷材防水层宜采用预铺反粘类防水卷材与无纺布的组合，应沿隧道全长铺设。

6.6.2 防水卷材的厚度、性能应根据水量、水压力、防水形式等综合确定。

6.6.3 预铺反粘类防水卷材宜采用宽幅且易于焊接的高分子柔性防水卷材，厚度不应小于 1.2mm，其各项指标应符合表 6 的规定。

表6 预铺防水卷材主要技术指标

序号	项目		单位	指标
1	拉伸性能	拉力 ≥	N/50mm	600
		拉伸强度 ≥	MPa	16
		膜断裂伸长率 ≥	%	400
		拉伸时现象	胶层与主体材料或胎基无分离现象	
2	钉杆撕裂强度 ≥		N	400
3	抗穿刺强度 ≥		N	350
4	抗冲击性能（0.5kg•m）		无渗漏	
5	抗静态荷载		20kg，无渗漏	
6	耐热性		80℃，2h无滑移、流淌、滴落	
7	低温弯折性		主体材料-35℃，无裂纹	
8	低温柔性		胶层-25℃，无裂纹	
9	渗油性 ≤		张数	1
10	抗窜水性（水力梯度）		0.8MPa/35mm，4h不窜水	
11	不透水性（0.3MPa，120min）		不透水	
12	与后浇混凝土剥离强度	无处理 ≥	N/mm	1.5
		浸水处理 ≥	N/mm	1.0
		泥沙污染表面 ≥	N/mm	1.0
		紫外线处理 ≥	N/mm	1.0
		热处理 ≥	N/mm	1.0
13	卷材与卷材剥离强度（搭接边）[a]	无处理 ≥	N/mm	0.8
		浸水处理 ≥	N/mm	0.8
14	卷材防粘处理部位剥离强度[b] ≤		N/mm	0.1或不粘合

序号	项目		单位	指标
15	热老化（80℃，168h）	拉力保持率 ≥	%	90
		伸长率保持率 ≥	%	80
		低温弯折性	主体材料-32℃，无裂纹	
		低温柔性	胶层-23℃，无裂纹	
16	尺寸变化率≤		%	±1.5
[a] 仅适用于卷材纵向采用自粘搭接的产品； [b] 颗粒表面产品可以直接表示为不粘合。				

6.6.4 无纺布单宜采用位面积质量不宜小于 300g/m^2 的聚丙烯针刺非织造土工布，其各项指标应符合表 7～表 9 的规定。

表7 土工织物外观质量通用要求

序号	项 目	要 求
1	无纺织物布面不匀，折痕	轻微处每200m^{2}不允许超过1个，不允许有严重处
2	杂物	软质杂物，尺寸小于5mm每200m^{2}不允许超过1个；不允许有硬质杂物或尺寸大于5mm的软质杂物
3	边不良	小于300cm时，每50cm计一处，每200m^{2}不允许超过1个；不允许有大于300cm的边不良
4	破损	小于0.5cm的破损，每200m^{2}不允许超过1个；不允许有最大尺寸大于0.5cm的破洞

表8 隧道用无纺布主要技术指标（聚丙烯短纤无纺土工织物）

序号	项目	单位	标称强度（产品规格）							
			5	8	11	20	24	28	34	50
1	单位面积偏差率	%	±5							
2	厚度偏差率	%	±10							
3	幅宽偏差率	%	0～0.5							
4	等效孔径O_{95}	mm	0.05～0.2							
5	垂直渗透系数	cm/s	$K\times(10^{-1}\sim10^{-3})$，其中：$K$=1.0～9.9							
6	抗紫外线强度保持率（荧光紫外灯法）	%	≥80							
7	抗酸碱强度保持率	%	≥80							
8	纵横向断裂强度	kN/m	≥5.0	≥8.0	≥11	≥20	≥24	≥28	≥34	≥50
9	纵横向断裂伸长率	%	50～90							
10	CBR 顶破强力	kN	≥1.0	≥1.7	≥2.5	≥3.5	≥4.3	≥5.3	≥6.2	≥1.7
11	纵横向撕破强力	kN	≥0.15	≥0.24	≥0.35	≥0.42	≥0.50	≥0.58	≥0.65	≥0.90

表9 隧道用无纺布主要技术指标（聚丙烯长丝无纺土工织物）

序号	项目	单位	标称强度（产品规格）						
			6.5	8	10	13	21	28	45
1	单位面积偏差率	%	±5						
2	厚度偏差率	%	±10						
3	幅宽偏差率	%	0～0.5						
4	等效孔径O_{95}	mm	0.05～0.2						
5	垂直渗透系数	cm/s	$K\times(10^{-1}\sim10^{-3})$，其中：$K$=1.0～9.9						
6	抗紫外线强度保持率（荧光紫外灯法）	%	≥80						
7	抗酸碱强度保持率	%	≥80						
8	纵横向断裂强度	kN/m	≥6.5	≥8.0	≥10.0	≥13.0	≥21.0	≥28.0	≥45.0
9	纵横向断裂伸长率	%	40～100						
10	CBR 顶破强力	kN	≥1.0	≥1.3	≥1.6	≥2.0	≥3.0	≥4.2	≥6.5
11	纵横向撕破强力	kN	≥0.20	≥0.25	≥0.30	≥0.50	≥0.75	≥1.0	≥1.50

7 排水系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 公路隧道的洞内排水系统应与洞外排水系统、既有排水设施、自然水系等平顺衔接，并根据需要设置消能、沉淀、拦污等设施，避免对农田、民房等设施造成不利影响。

7.1.2 公路隧道的地下水排出后宜采取措施综合利用。

7.2 洞内排水

7.2.1 洞内排水管、沟应具有一定的安全富余，排水管、沟的间距、孔径或截面应根据段落内的预测涌水量大小，并充分考虑排水系统淤塞、结晶等不利因素及施工、运营期间的可维护性进行设计。

7.2.2 隧道洞内主排水系统的设计排泄能力应按式（1）～（4）进行计算：

$$Q_c = K_c v_c A_c \quad \cdots\cdots (1)$$

$$Q_c \geq Q_i = Q_t - Q_o \quad \cdots\cdots (2)$$

$$v_c = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$R = \frac{A_c}{\rho} \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：Q_c——隧道洞内主排水系统的设计排泄能力（m^3/s）；

Q_t——隧道预测涌水量或实测的总涌水量（m^3/s），隧道位于岩溶区的垂直渗流地段且隧顶有直接相连的消水洼地或落水洞地段（隧道）宜取最大涌水量，其他地段（隧道）宜取正常涌水量；

Q_i——隧道洞内设计排水量或实测进入到初期支护内部的涌水量（m^3/s）；

Q_o——隧道初期支护外部的设计排水量，包括注浆堵水及辅助排水通道排泄的涌水量（m^3/s）；

K_c——隧道洞内主排水系统的排泄能力富余系数，对一般隧道建议不小于 1.2，对岩溶隧道或富水隧道建议不小于 1.5；

v_c——隧道洞内主排水系统的设计平均流速（m/s）；

A_c——隧道洞内主排水系统的过水断面面积（m^2）；

R——隧道洞内主排水系统的水力半径（m）；

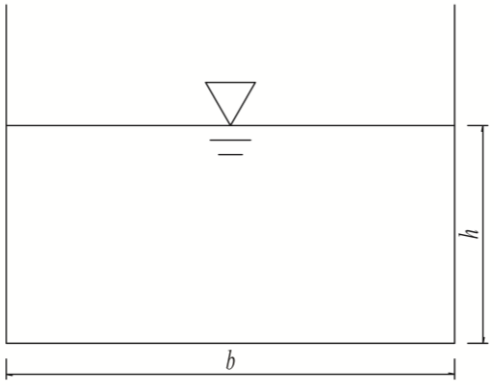
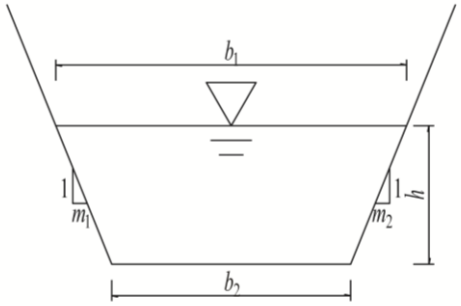
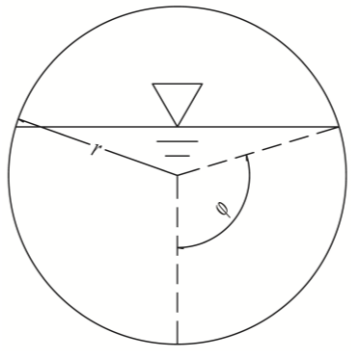
ρ——隧道洞内主排水系统的过水断面湿周（m）；

n——隧道洞内主排水系统的沟壁或管壁的粗糙系数；

I——隧道洞内主排水系统的底坡。

常见沟、管形式的过水断面面积、湿周的计算公式如表 10 所示：

表10　常见沟壁、管壁的过水断面面积A_c、湿周ρ计算公式

断面形状	断面图式	过水断面面积A_c	过水断面湿周ρ
矩形		$A_c = bh$	$\rho = b + 2h$
梯形		$A_c = 0.5(b_1 + b_2)h$	$\rho = b_2 + h\left(\sqrt{1+m_1^2} + \sqrt{1+m_2^2}\right)$
圆形	 a	$A_c = r^2\left(\varphi - \frac{1}{2}sin2\varphi\right)$	$\rho = 2\varphi r$
[a] 圆形断面中圆心角φ以弧度计量			

常见沟、管类型的粗糙系数如表11所示。

表11　常见沟壁、管壁的粗糙系数n

沟或管的类型	n	沟或管的类型	n
塑料管（聚氯乙烯）	0.010	砂砾质明沟	0.025
水泥混凝土管	0.013	岩石明沟	0.035
铸铁管	0.015	浆砌石明沟	0.025
波纹管	0.027	干砌石明沟	0.032
陶土管	0.013	水泥混凝土明沟（馒抹面）	0.015
土质明沟	0.022	水泥混凝土明沟（预制）	0.012

7.2.3　沟、管的允许流速应符合下列规定：

a)　明沟的最小允许流速为0.4m/s，暗沟和管的最小允许流速为0.75m/s。

b)　管的最大允许流速为：金属管10m/s；非金属管5m/s。

c) 明沟的最大允许流速，在水深为 0.4～1.0m 时，可按表 12 的规定采用；在此水深范围外的允许值，可按表 12 所列值乘表 13 中所列相应的修正系数。

表12 明沟的最大允许流速（m/s）

明沟类型	最大允许流速	明沟类型	最大允许流速
亚砂土	0.8	黏土	1.2
亚黏土	1.0	草坡护坡	1.6
干砌片石	2.0	水泥混凝土	4.0
浆砌片石	3.0		

表13 最大允许流速的水深修正系数

水深h（m）	h＜0.4	0.4≤h＜1.0	1.0≤h＜2.0	h≥2.0
修正系数	0.85	1.00	1.25	1.40

7.2.4 中心水沟宜采用路面底下矩形排水沟。

7.2.5 除全封闭衬砌外，衬砌背后应设置完整的排水系统，并符合下列要求：

a) 地下水发育地段排水盲管间距加密、管径加粗，且盲管直接引入纵向排水管或主排水沟、辅助排水通道。

b) 集中出水点设置竖向盲管，管径根据出水量计算确定，竖向盲管直接引入纵向排水管或主排水沟、辅助排水通道。

c) 隧底地下水发育的地段设置隧底排水系统。

d) 集中涌水处设置专用排水设施。

7.3 洞外排水

7.3.1 隧道洞外截水沟、洞顶排水沟的设计排泄能力可按式(1)计算：

$$Q_d = K_d v_d A_d \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：Q_d——洞外截水沟、洞顶排水沟的设计排泄能力（m^3/s），应按本规范第 7.3.2 条计算确定；

K_d——洞外截水沟、洞顶排水沟的排泄能力富余系数，建议不小于 1.2；

v_d——洞外截水沟、洞顶排水沟的设计平均流速（m/s），应根据本规范第 7.2.2 条公式（3）及洞外截水沟、洞顶排水沟的参数计算确定；

A_d——洞外截水沟、洞顶排水沟的过水断面面积（m^2），应根据洞外截水沟、洞顶排水沟的过水断面特征按本规范第 7.2.2 条表 10 确定。

7.3.2 公路隧道洞顶截水沟、洞顶排水沟等所需排泄的设计径流量可按式(2)计算确定。

$$Q_{\mathrm{d}} = 16.67\psi q_{\mathrm{p,t}} F \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：Q_d——洞外截、排水设施所需排泄的设计径流量（m^3/s）；

ψ——径流系数，应按汇水区域内的地表种类由表 14 确定；当汇水区域内有多种类型的地表时，应分别为每种类型选取径流系数后，按相应的面积大小取加权平均值；

$q_{\mathrm{p,t}}$——设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度（mm/min），按照 JTG/T D33 第 9.1.5～9.1.6 条取值，设计重现期按表 15 确定，降雨历时按照 JTG/T D33 第 9.1.4 条计算；

F——汇水面积（km^2）。

表14　径流系数ψ

地表种类	径流系数ψ	地表种类	径流系数ψ
硬质岩石坡面	0.70～0.85	平坦的耕地	0.45～0.60
软质岩石坡面	0.50～0.75	落叶林地	0.35～0.60
陡峻的山地	0.75～0.90	针叶林地	0.25～0.50
起伏的山地	0.60～0.80	水田、水面	0.70～0.80
起伏的草地	0.40～0.65		

表15　设计降雨的重现期（年）

公路等级	洞顶截水沟、洞顶排水沟
高速公路、一级公路	15
二级及二级以下公路	10

7.3.3　桥隧相接地段，应做好隧道洞外排水与桥梁构造的衔接，应避免冲刷桥梁结构。

7.3.4　洞口处于冲沟附近时，冲沟水流的引、排应避免水流直冲洞门墙，并应将冲沟水流引出隧道影响范围外。

7.4　富水及岩溶发育地段排水

7.4.1　地下涌水量很大，中心水沟不能满足要求时，应采取措施加大主排水沟排水能力：

a)　宜优先扩大中心水沟断面。

b)　可增设双侧盲沟，双侧盲沟与中心水沟之间应采用横向导水管连接。

c)　泥沙杂质较多时，可采用口字件巨型中心水沟。

7.4.2　隧道穿越地表有大型水体或溶蚀洼地、岩溶漏斗、暗河、向斜构造核部、富水断层、可溶岩与非可溶岩接触带等储水构造地段，应强化对应洞身段的引、排水能力。

7.4.3　当地下水含较多泥沙杂质或化学结晶杂质时，隧道排水系统宜考虑防泥沙和结晶淤塞措施及运营期间的可检修性、可维护性。

7.4.4　严重渗水段应在隧道路面层以下设置纵横贯通的渗沟排水体系，并接入主排水沟或辅助排水通道。

7.4.5　裂隙较密集、富水的地段，可采用泄水孔进行排水降压，并应符合下列规定：

a)　泄水孔设置在拱脚或集中出水点，并引排至主排水沟。

b)　泄水孔穿透二次衬砌、初期支护深入裂隙或岩溶管道内部。

c)　仰拱底部渗水量较大时，在仰拱填充层中钻孔或预留管道引排至主排水沟。

7.4.6　当地下水十分丰富，采用常规的排水设施和堵水措施不能满足要求，且经评估可能危及隧道工程施工及运营安全时，应设置辅助通道加强排水。

——长大隧道位于岩溶水水平径流带、季节变动带、大面积封闭洼地下方或河流、湖泊等水体下方，通过洞内防排水措施无法满足要求时，宜设置泄水洞。

——受季节性涌水影响严重或可能产生严重淤积的富水地段，可在隧道一侧或两侧设置集水廊道集中排水。

——隧道跨越溶洞段，宜采用隧底涵洞保持原有排水通道通畅。

——设置有施工迂回导坑的隧道，可利用迂回导坑进行辅助排水。

7.4.7　泄水洞的设置应符合下列规定：

a)　按永久结构设计，满足结构安全、使用功能及耐久性要求。

b)　泄水洞断面应根据排水量、机具配置及施工方法、运营维护要求等因素综合确定，断面尺寸不应小于 2.5m（宽）×3.0m（高），断面形式宜采用直墙拱形断面，设计泄水能力应按式（1）进行计算：

$$Q_s = K_s v_s A_s \cdots\cdots (1)$$

式中：Q_s——泄水洞的设计排泄能力（m^3/s），，按本规范 7.2.2 条取值；

K_s——泄水洞的排泄能力富余系数，建议不小于 1.5；

v_s——泄水洞的设计平均流速（m/s），按第 7.2.2 条公式（3）及泄水洞的参数计算确定；

A_s——泄水洞的过水断面面积（m^2），应根据泄水洞的过水断面特征按本规范第 7.2.2 条表 10 确定。

c) 泄水洞纵坡应根据排水量大小、设计流速等要求设置；采用同向纵坡时，不宜小于主洞纵坡。

d) 泄水洞与主洞、集中出水点的连接可采用打设泄水孔的方式；条件适宜的，可通过疏通岩溶管道、岩溶裂隙等相连；当主洞揭示有涌突水风险的岩溶通道或断层破碎带时，泄水洞与之有效连通并确保足够的排水能力；

e) 泄水洞洞口设置在主洞洞口路基影响范围外，且出口标高应低于主洞排水系统出口。

f) 采用无轨运输方式的泄水洞应设置加宽错车道，间距不宜大于 200m～300m。

7.4.8 泄水洞的衬砌结构设计应符合下列规定：

a) 设计参数应根据围岩级别、断面尺寸、施工方法等条件采用工程类比、结构计算确定。

b) Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级围岩段宜采用喷锚衬砌，软弱破碎围岩地段、洞口段、岔洞段、与主洞交叉段及有特殊要求地段应采用复合式衬砌

c) 泄水洞与主洞交叉段，主洞衬砌加强，加强范围应根据围岩条件、空间受力特征等综合确定。

7.4.9 集水廊道设置应符合下列规定：

a) 宜设置在地下水迎水面一侧。

b) 廊道内可通过打设泄水孔与岩溶管道、岩溶裂隙、集中出水点相连。

c) 廊道断面尺寸可根据岩溶水涌水量、检修便捷性等因素确定。

d) 廊道底部应低于隧道仰拱底部标高。

e) 软弱破碎围岩地段、与正洞交叉段及有特殊要求地段可采用喷锚支护或复合式衬砌。

f) 设置廊道处的主洞衬砌应加强，加强范围应根据围岩条件、空间受力特征等综合确定。

g) 主洞二次衬砌上应预留门洞便于后期维修、保养。

7.4.10 隧底涵洞应符合下列规定：

a) 宜沿原始排水通道设置隧底涵洞，其两端与隧道主排水沟或天然排水通道接通，确保岩溶水流畅通。

b) 涵洞管径或断面尺寸应根据岩溶水量大小确定，并保留一定的安全储备，同时应考虑后期的可养护和维修性。

c) 采用隧底涵洞地段应按照涉水路基要求进行填筑。

8 防排水施工

8.1 一般规定

8.1.1 隧道防排水施工采用的材料、工艺、设备应满足国家或行业现行的有关规范或标准要求，应积极采用新技术、新材料、新工艺、新设备。

8.1.2 隧道防排水施工应重视环境保护，施工前应对周围环境进行调查，并进行全过程监控和必要的试验。

8.1.3 隧道排水系统施工过程中，应详细记录围岩渗漏水情况，并对排水系统的盲管位置进行现场标记。

8.2 施工准备

8.2.1 施工前应充分熟悉图纸和水文地质资料，做好各项技术交底，并实地踏勘，了解隧址区地表水、地下水等水文地质情况，岩溶区应了解溶洞、竖井、漏斗、洼地、落水洞、塌陷坑、岩溶泉、暗河进出口等的岩溶发育状况。

8.2.2 施工前应检查机具设备和风、水、电等管线路，并试运转，确保各项作业正常进行，并做好现场劳动组织。

8.2.3 施工前应规划好临时排水方案；进行反坡施工时，应根据反坡段的地质条件编制专项施工排水方案，配置满足正常施工需求的机械排水系统。

8.2.4 施工前应根据可能发生的突水突泥、地表坍陷等灾害情况，对施工场地及临时工程等进行系统规划布置。

8.2.5 风险评估为高度风险～极高风险的隧道应制定突发事件应急预案，贮备抢险器材、物资和设备，并组织演练。

8.2.6 隧道正式施工前，应完成洞外截水沟的施工，并将其水流引入到路基排水沟或其他沟渠中。

8.3 防水施工

8.3.1 衬砌防渗施工

8.3.1.1 二次衬砌应采用防水混凝土，其施工应符合国家现行标准的规定，并满足设计的强度等级、抗渗性、耐久性等要求。

8.3.1.2 衬砌防水混凝土配制前应对原材料进行检验，水泥、水、砂、石、掺合料等各项技术指标应符合设计要求。

8.3.1.3 衬砌防水混凝土施工配合比应根据混凝土原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性的要求，通过计算、试配、试件检测、调整后确定。

8.3.1.4 衬砌防水混凝土试配时的抗渗等级应比设计值提高 0.2MPa，并不得小于 P8，应采用标准养护条件下混凝土抗渗试件的试验结果评定，试件应在混凝土浇筑地点制作。

8.3.1.5 衬砌防水混凝土应结构密实、表面平整光滑、曲线圆顺、颜色均匀，不得有漏筋、蜂窝、孔洞、疏松、麻面和缺棱掉角等缺陷。

8.3.2 卷材防水施工

8.3.2.1 采用复合式衬砌的隧道，在初期支护与二次衬砌之间应铺设卷材防水层，由土工布和防水卷材组成，应分开铺设。

8.3.2.2 卷材防水层应采用专用台车铺设，环向整幅铺设，宜由拱部向两侧边墙铺设，宜采用无钉工艺铺设。

8.3.2.3 卷材防水层铺设应超前二次衬砌施工 1～2 个衬砌段长度，并应与开挖工作面保持一定的安全距离。

8.3.2.4 土工布铺设前，应对基面（初期支护表面）的渗漏水、外露的突出物及表面凸凹不平处进行检查、处理，且应符合下列规定：

a) 基层应平整、无尖锐物，平整度应满足下列式（1）的要求：

$$D/L \leq 1/6 \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：D——基面相邻两凸面间凹进去的深度（mm）；

L——基面相邻两凸面间的距离（mm，$L \leq 1$m）。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/298132040061006075