**UDC**

广西壮族自治区工程建设地方标准 **DB**

**DBJ/T 45-XXX-202X**

**P 备案号：JXXXXX-XXX**

**盾构法隧道岩溶风险防控技术规范**

Technical specification for karst risk prevention and control in shield tunnels

（征求意见稿）

**202X年XX月XX**发布 **202X年XX月XX** 实施

**广西壮族自治区住房和城乡建设厅 发布**

**广西壮族自治区工程建设地方标准**

**盾构法隧道岩溶风险防控技术规范**

Technical specification for karst risk prevention and control in shield tunnels

DBJ/T 45-XXX-202X

批准部门：广西壮族自治区住房和城乡建设厅

主编单位：南宁轨道交通集团有限责任公司

施行日期：202X年XX月XX日

**202X年 南宁**

**前 言**

根据广西壮族自治区住房和城乡建设厅《关于下达2022年度全区工程建设地方标准（修）订项目计划的通知》（桂建标[2022]4号文）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国家现行有关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定了《盾构法隧道岩溶风险防控技术规范》。

本规范共7章核7个附录，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、勘察阶段岩溶风险防控、设计阶段岩溶风险防控、施工阶段岩溶风险防控、运营阶段岩溶风险防控等。

本规范由广西壮族自治区住房和城乡建设厅负责管理，由南宁轨道交通集团有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广西壮族自治区住房和城乡建设厅标准定额处（地址：南宁市金湖路58号，邮政编码：530028）和南宁轨道交通集团有限责任公司（地址：南宁市青秀区云景路69号，邮编：530029），以供修订时参考。

本 规 范 主 编 单 位：南宁轨道交通集团有限责任公司

本 规 范 参 编 单 位：中南大学

同济大学

中国地质科学院岩溶地质研究所

北京安捷工程咨询有限公司

广西交通设计集团有限公司

广州地铁设计研究院有限公司

北京城建设计发展集团股份有限公司

中铁第六勘察设计院集团有限公司

中铁隧道勘察设计研究院有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

中铁二院工程集团有限责任公司

中咨工程管理咨询有限公司

中铁隧道局集团有限公司

中铁隧道股份有限公司

中铁工程装备集团有限公司

广西南宁机场综合交通枢纽建设有限公司

广西建设职业技术学院

本规范主要起草人员： 黄钟晖 赵喜斌 柏 挺 张世荣

钟有信 阳军生 谢雄耀 朱鑫磊

郭松涛 孙双喜 左 龙 朱国琦

林柏亨 侯建刚 王位赢 刘松地

孟庆军 李 军 米德才 蒋小珍

付仲润 徐敬贺 詹龙飞 张吉港

曾继杰 佘林辉 李 俊 简 亮

万建军 韩守程 李鹏展 许 培

罗贤民 谢金行 曾少武 周景景

吴心瑜 李 斌 赖 萱 王 玥

林 静 纪学斌 胡盛斌 范学博

黎高辉 雷世创 赵伶杰 刘 昊

韦晓阳 廖天兰 谢顺意 欧成章

宋 茂 韦海荣 孙会良 高 涛

周 峰 张 聪 张 睿 潘芳禄

本规范主要审查人员：

**目 次**

[1 总则 3](#_Toc142410856)

[2 术语 4](#_Toc142410862)

[3 基本规定 5](#_Toc142410863)

[3.1 一般规定 5](#_Toc142410864)

[3.2 盾构法隧道岩溶风险分析 5](#_Toc142410869)

[3.3 盾构法隧道岩溶风险分级标准及接收准则 6](#_Toc142410873)

[3.4 盾构法隧道岩溶风险防控管理 8](#_Toc142410879)

[4 勘察阶段岩溶风险防控 11](#_Toc142410887)

[4.1 一般规定 11](#_Toc142410888)

[4.2 岩溶风险防控勘察内容及流程 11](#_Toc142410893)

[4.3 岩溶风险防控勘察技术要求 12](#_Toc142410896)

[5 设计阶段岩溶风险防控 15](#_Toc142410901)

[5.1 一般规定 15](#_Toc142410902)

[5.2 岩溶风险防控设计内容及流程 15](#_Toc142410909)

[5.3 岩溶风险防控设计技术要求 17](#_Toc142410914)

[6 施工阶段岩溶风险防控 20](#_Toc142410923)

[6.1 一般规定 20](#_Toc142410924)

[6.2 岩溶风险防控施工内容及流程 20](#_Toc142410931)

[6.3 岩溶风险防控预处理施工技术要求 21](#_Toc142410935)

[6.4 岩溶风险防控施工技术要求 24](#_Toc142410942)

[7 运营阶段岩溶风险防控 26](#_Toc142410955)

[7.1 一般规定 26](#_Toc142410956)

[7.2 岩溶风险防控运营内容及流程 26](#_Toc142410961)

[7.3 岩溶风险防控运营技术要求 27](#_Toc142410964)

[附录A 盾构法隧道岩溶风险辨识表 29](#_Toc142410973)

[附录B 盾构法隧道岩溶风险清单 30](#_Toc142410974)

[附录C 岩溶地区物探方法选用表 31](#_Toc142410975)

[附录D 岩溶发育程度分级表 32](#_Toc142410976)

[附录E 岩溶充填注浆预处理施工记录表 33](#_Toc142410977)

[附录F 盾构法岩溶隧道运营巡检记录表 34](#_Toc142410978)

[本规范用词说明 35](#_Toc142410979)

[引用标准名录 36](#_Toc142410980)

附：条文说明

Contents

[1 General principles 3](#_Toc138598019)

[2 Terms](#_Toc138598025) 4

[3 Basicprovisions 5](#_Toc138598026)

[3.1 General provisions 5](#_Toc138598027)

[3.2 Karst risk analysis in shield tunnels 5](#_Toc138598032)

3.3 Karst risk grading standards and allowable karst risk standards in shield tunnelling 6

[3.4 Prevention and control management of karst hazards in shield tunnelling 8](#_Toc138598043)

[4 Prevention and control of karst risks in geological survey 1](#_Toc138598049)1

[4.1 General provisions 1](#_Toc138598050)1

[4.2 Survey content and procedures for the prevention and control of karst hazards 1](#_Toc138598055)1

[4.3 Technical requirements for the prevention and control survey of karst hazards 1](#_Toc138598058)2

[5 Karst hazards prevention and control in the design phase 1](#_Toc138598063)5

[5.1 General provisions 1](#_Toc138598064)5

[5.2 Design content and process for the prevention and control of karst hazards 1](#_Toc138598071)5

[5.3 Technical requirements for the prevention and control design of karst hazards 1](#_Toc138598076)7

[6 Karst hazards prevention and control in the construction stage 2](#_Toc138598085)0

[6.1 General provisions 2](#_Toc138598086)0

[6.2 Prevention and control construction content and process for karst hazards 2](#_Toc138598094)0

[6.3 Technical requirements for the prevention and control pretreatment construction of karst hazards 2](#_Toc138598098)1

[6.4 Technical requirements for the prevention and control construction of karst hazards 2](#_Toc138598105)4

[7 prevention and control of karst hazards in operational period 2](#_Toc138598119)6

[7.1 General Provisions 2](#_Toc138598120)6

[7.2 Prevention and control operation content and process for karst hazards 2](#_Toc138598125)6

[7.3 Technical requirements for prevention and control of karst hazards in operation 2](#_Toc138598128)7

[Appendix A Karst risk identification table in shield tunnels 29](#_Toc138598137)

[Appendix B List of karst risks in shield tunnels 3](#_Toc138598138)0

[Appendix C Table of geophysical invesigtation methods in karst areas](#_Toc138598139) 31

[Appendix D Classification table for degree of karst development 3](#_Toc138598140)2

[Appendix E Karst filling grouting pretreatment construction record table 3](#_Toc138598141)3

[Appendix F Operation inspection record table for shield tunnels in karst areas 3](#_Toc138598142)4

[Explanation of terms used in this specification 3](#_Toc138598143)5

[List of reference standards 3](#_Toc138598144)6

Addition：[Description of the provisions 3](#_Toc138598144)7

# 1 总则

### **1.0.1** 为有效防控城市轨道交通盾构法隧道岩溶风险，规范岩溶区盾构法隧道工程勘察、设计、施工、运营的风险防控技术，制定本规范。

### **1.0.2** 本规范适用于广西壮族自治区城市轨道交通盾构法隧道工程勘察、设计、施工、运营的岩溶风险防控。

### **1.0.3** 盾构法隧道岩溶风险防控应遵循安全第一、预防为主、动态管理、环境友好、可持续发展的准则。

### **1.0.4** 盾构法隧道岩溶风险防控应贯彻国家有关技术经济政策，鼓励采用新技术、新材料、新设备、新工艺。

### **1.0.5** 盾构法隧道岩溶风险防控除应符合本规范外，尚应符合国家、行业和广西壮族自治区现行有关标准的规定。

# 2 术语

**2.0.1 盾构法隧道 shield tunnel**

采用盾构掘进并拼装预制管片衬砌的隧道。

**2.0.2初始风险等级 initial risk level**

在未采取任何防控措施前，基于某种评估方法或模型对特定风险的初始评估等级。

**2.0.3残余风险等级 residual risk level**

在采取了一系列防控措施后，对残余风险进行的评估等级。

**2.0.4岩溶风险辨识 karst risk identification**

对岩溶风险进行调查、识别，并进行筛选、分类。

**2.0.5岩溶风险防控 karst risk prevention and control**

对岩溶风险采取一系列预防与控制措施，以降低或消除可能对人民生命财产、安全造成的损失。

**2.0.6岩溶风险工后评估 post risk assessment for karst hazards**

工程竣工后，对岩溶风险进行分析和评价，对其危害性及其处置措施进行决策。

**2.0.7 风险接受准则 risk acceptance criteria**

对风险进行分析与决策，判断风险是否可接受的等级标准。

# 基本规定

## 一般规定

### 岩溶区盾构法隧道应在勘察、设计、施工、运营的全过程开展岩溶风险防控工作。

### 岩溶区盾构法隧道勘察应查明场地岩溶情况，岩溶发育地段开展专项勘察，分析评价岩溶风险对工程的影响，并提出针对性工程措施建议。

### 岩溶区盾构法隧道设计应遵循“防控结合、超前处治、安全经济”的原则，评估岩溶对建设和运营全过程的影响，提出防控设计措施。

### 岩溶区盾构法隧道施工阶段风险防控应遵循分级管控与动态管理的原则，组织开展岩溶预处理和掘进过程岩溶风险控制，施工完成后应开展岩溶风险工后评估。

## 盾构法隧道岩溶风险分析

### 岩溶风险辨识前，应收集下列资料：

1. 工程地质、水文地质等地质勘察资料。
2. 本地区相关或类似工程建设风险或事故资料。
3. 工程规划、可行性分析、设计与施工方案等相关资料。
4. 轨道交通、铁路、地下管线、道路、桥梁、民防设施等周边建（构）筑物的相关资料。
5. 其他相关资料。

### 工程勘察与设计风险评估中宜采用定性、定量风险分析方法，并辅以综合风险分析方法。

### 工程施工风险管理中宜采用综合风险分析方法。

## 盾构法隧道岩溶风险分级标准及接受准则

### 盾构法隧道岩溶风险等级标准应符合下列规定：

1. 接近程度应根据盾构法隧道与岩溶的空间位置关系确定，接近程度的判定标准宜按表3.3.1确定。

表3.3.1 接近程度的判定标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 相对净距 | | | 接近程度 |
| 隧道结构上方 | 隧道结构下方 | 隧道结构左右侧 |
| L＜0.3D | L＜0.3D | L＜0.3D | 非常接近（含穿越） |
| 0.3D≤L＜0.8D | 0.3D≤L＜0.8D | 0.3D≤L＜0.5D | 接近 |
| 0.8D≤L＜1.0D | 0.8D≤L＜1.0D | 0.5D≤L＜0.8D | 较接近 |
| L≥1.0D | L≥1.0D | L≥0.8D | 不接近 |

注：D为盾构法隧道的外径，L为盾构隧道外轮廓线到岩溶外轮廓线的最小净距。

1. 岩溶的工程影响分区宜按表3.3.1-2确定。

表3.3.1-2 岩溶的工程影响分区

|  |  |
| --- | --- |
| 工程影响分区 | 区域范围 |
| 强烈影响区 | 溶洞范围及其轮廓线外侧0.5b范围内（不含0.5b） |
| 显著影响区 | 溶洞轮廓线外侧0.5b~1.0b范围内（含0.5b，不含1.0b） |
| 一般影响区 | 溶洞轮廓线外侧1.0b~1.5b范围内（含1.0b，不含1.5b） |
| 轻微影响区 | 溶洞轮廓线外侧1.5b范围以外（含1.5b） |

注：b为溶洞轮廓线外侧垂直盾构隧道方向的最大跨度。

1. 盾构法隧道岩溶风险等级应按表3.3.1-3进行划分。

表3.3.1-3 岩溶风险等级标准

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 接近程度  岩溶影响分区 | 非常接近 | 接近 | 较接近 | 不接近 |
| 强烈影响区 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 显著影响区 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅲ | Ⅳ |
| 一般影响区 | Ⅲ | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ |
| 轻微影响区 | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ | Ⅳ |

注：1溶洞厚跨比小于0.5，岩溶风险等级宜上调一级。

2溶洞无充填时，岩溶风险等级宜上调一级。

3溶洞为串珠型或溶槽情况时，岩溶风险等级宜上调一级。

4当岩溶为强烈发育时，岩溶风险等级宜上调一级。

5当盾构法隧道穿越溶洞时，溶洞与隧道之间地层为：淤泥质土、砂层、圆砾层时，岩溶风险等级宜上调一级；中风化岩层、微风化岩层时，岩溶风险等级宜下调一级。

6当盾构隧道岩溶区域地下水与外部水联系时，岩溶风险等级宜上调一级。

7当探明有土洞时，风险等级不宜低于Ⅱ级。

**3.3.2** 勘察与设计阶段、施工阶段初始风险等级应按照表3.3.1-3进行确定；运营阶段初始风险等级应根据盾构法隧道工后岩溶风险评估的等级进行确定。

**3.3.3** 施工阶段盾构法隧道岩溶风险等级调整应符合下列规定：

1. 经工程建设相关方或专家评估认为风险处置措施达不到预期效果时，不应对岩溶风险等级进行调整；达到预期效果时，岩溶风险等级宜下调；岩溶风险等级为Ⅰ级的风险调整后不宜低于Ⅲ级；
2. 当盾构隧道穿越范围内存在未探明的岩溶区域时，岩溶风险等级宜上调一级；
3. 当评估的风险等级与实际情况出现较大偏差时，应通过工程建设相关方共同判定或专家论证等方式进行调整。

**3.3.4** 运营阶段盾构法隧道岩溶风险等级调整应符合下列规定：

1. 运营隧道岩溶区域存在近距离外部作业影响时，岩溶风险等级宜上调一级；
2. 运营隧道岩溶区域出现渗漏、开裂、破损等情况时，岩溶风险等级应重新评估；
3. 当评估的风险等级与实际情况出现较大偏差时，应通过各相关方共同判定或专家论证等方式对岩溶风险等级进行调整。

**3.3.5** 风险等级纵向适用范围宜根据溶洞最大洞身的2倍进行确定。

### **3.3.6各**等级风险的接受准则应按表3.3.6确定**。**

表3.3.6 风险接受准则

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 等级 | 接受准则 | 处置原则 | 控制方案 |
| I级 | 不可接受 | 必须采取风险控制措施降低风险，至少应将风险降低至  可接受水平 | 应编制风险预警与应急处置方案，或进行方案修正或调整等 |
| Ⅱ级 | 不愿接受 | 应实施风险管理降低风险，且风险降低的所需成本不应高于风险发生后的损失 | 应实施风险防范与监测，  制定风险处置措施 |
| Ⅲ级 | 可接受 | 宜实施风险管理，可采取  风险处理措施 | 宜加强日常管理与监测 |
| Ⅳ级 | 可忽略 | 可实施风险管理 | 可开展日常审视检查 |

## 盾构法隧道岩溶风险防控管理

### 参建各方及运营单位应加强岩溶风险动态管理，可按本规范附录A对风险进行辨识，宜针对盾构法隧道岩溶风险制定控制目标并按照本规范附录B编制岩溶风险清单，工作内容及职责应符合表3.4.1的规定。

表3.4.1参建各方及运营单位工作职责及内容

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 责任单位 | 工作职责 | 工作内容 |
| 建设单位 | 牵头组织实施岩溶风险管控工作 | **1** 组织实施岩溶风险控制管理工作，建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防工作机制，保证工作的条件和投入。  **2** 组织开展岩溶风险评估，督促、检查各相关单位的岩溶风险防控工作。 |
| 勘察单位 | 提供勘察技术支持 | **1** 根据各阶段设计需要，勘察场地岩溶发育情况，为识别和评价岩溶风险提供地质依据。  **2** 对岩溶风险等级为Ⅰ级、Ⅱ级的地段，应开展专项勘察。  **3** 负责进行岩溶专项勘察交底与施工风险管理监督。 |
| 设计单位 | 提供设计技术支持 | **1** 负责识别和评价岩溶风险，提出设计控制措施，并在施工过程中根据工程情况动态设计。  **2** 对岩溶风险等级为Ⅰ级、Ⅱ级的地段，应开展专项设计。  **3** 对建设单位、施工单位、监理单位等参建相关方进行设计文件及岩溶风险的设计交底工作。 |
| 施工单位 | 具体落实风险管控及处治措施 | **1**负责识别和评价岩溶区施工风险，在施工方案中提出针对性控制措施、工序流程和工艺要求，并组织实施。  **2** 对岩溶风险等级为Ⅰ级、Ⅱ级的地段，施工单位应制定专项施工方案和专项应急预案并组织专家审查会议。  **3** 岩溶风险区域施工时应开展超前地质预报及监控量测，并及时向建设单位、设计单位及监理单位进行信息反馈，以便调整优化设计。  **4** 对已查明的岩溶风险区域进行岩溶风险预处治。 |
| 监理单位 | 监督管理，保障施工安全 | **1** 负责审查施工方案中针对岩溶风险的控制措施，监督施工单位按照设计要求和施工方案落实。  **2** 施工前检查施工单位岩溶风险预防措施，做好监理现场记录，督促施工单位对安全隐患及时整改，并跟踪落实情况。  **3** 评估施工单位风险管理实施情况，跟踪岩溶风险潜在地段施工各项预警的处置情况。 |
| 运营单位 | 负责运营阶段岩溶风险的管控工作 | **1** 参加隧道工程验收移交，掌握工后岩溶风险。  **2** 开展运营阶段安全风险分级管控与隐患排查治理工作。  **3** 编制事故应急预案，组织开展应急演练，健全应急协调联动机制。  **4** 组织开展运营期隧道结构安全监测，定期评价岩溶区隧道结构安全状态。 |

### 风险评估按阶段可分为初步设计风险评估、施工准备期风险评估和工后风险评估。

### 初步设计风险评估宜在初步勘察完成后进行，应确定初始风险等级。

### 施工准备期风险评估宜在施工前进行，应确定残余风险等级。

### 工后岩溶风险评估宜在盾构法隧道工程竣工后，运营前进行，应确定建设期残余风险等级、隧道的安全状态以及安全控制标准。

### 盾构法隧道岩溶风险工后评估应在对建设期地质资料、岩溶处治、竣工图纸、建设期遗留问题等开展调查分析后，开展评估工作。

### 既有隧道的修复措施以及运营期间的风险防控措施应根据盾构法隧道岩溶风险竣工后评估结论确定。

1. **勘察阶段岩溶风险防控**
   1. **一般规定**
      1. 工程场区内分布可溶岩地层、具有岩溶地质灾害的，应按岩溶地段要求开展水文地质、工程地质勘察。
      2. 岩溶区盾构法隧道勘察应分阶段开展工作，各阶段应相互结合、相互验证。
      3. 对岩溶风险等级为Ⅰ级、Ⅱ级的地段，应进行专项勘察。
      4. 岩溶区盾构法隧道勘察应查明工程水文地质条件，并应对岩溶风险进行分析及评价，并提出相应的防控建议。
   2. **岩溶风险防控勘察内容及流程**
      1. 岩溶区盾构法隧道勘察主要防控风险因素包括下列内容：
2. 基础资料不准确、内容不全面；
3. 勘察方法选用不合理；
4. 工作量布置不满足各阶段岩溶勘察要求；
5. 勘察过程中质量控制、安全管理不到位；
6. 岩溶的岩土工程分析评价与建议不合理。
   * 1. 勘察阶段岩溶风险防控流程应符合下列规定：
7. 岩溶区盾构法隧道勘察之前应取得工程沿线地形图、管线及地下设施分布图、上阶段设计资料及设计对本阶段勘察要求、区域岩溶地质条件及岩溶处理经验等基础资料；
8. 应制定岩溶区盾构法隧道勘察大纲。对于重大危险源等，应经评审或专题论证，实施情况变化时，应按相关要求进行动态调整；
9. 应按勘察大纲实施，确保勘察期间安全，所取得的地质资料应全面、准确；
10. 应编制成果，并按相关管理要求送审、存档、备案；
11. 应进行勘察交底和设计、施工配合工作，及时解决设计、施工中出现的与勘察有关的问题；
12. 工程设计、施工条件发生变化时，应配合建设单位完成必要的补充勘察工作。
    1. **岩溶风险防控勘察技术要求**
       1. 勘察阶段岩溶风险因素控制应符合下列规定：
13. 应搜集区域地质资料及岩溶处理经验等基础资料并进行核对分析，资料应准确可靠；
14. 应结合设计资料及设计对本阶段勘察要求，场地环境，岩溶埋藏条件、规模、富水及其充填情况，勘察深度要求，选用合适的勘察方法；
15. 应分析岩溶发育程度、岩溶风险等级，确定勘察场地等级，合理布置工作量；
16. 既有方案无法有效实施、不能满足规范要求或设计需要时，应实时调整；
17. 应结合岩溶发育情况，勘察方法手段、工序特点和相关安全文件要求进行专门风险源识别，并制定风险防控措施；
18. 宜防止遗留钻具；对遗留钻具，应详细说明遗留钻具的平面坐标、钻具类型、长度、深度范围及其与盾构隧道的关系；
19. 勘探工作完成后应按规定及时回填，并记录回填情况，检查回填质量；
20. 受场地条件或技术手段的限制，对无法探明的岩溶工程地质情况，应分析潜在风险和对工程的影响，并提出下阶段风险防控建议。
21. 对岩溶不良地质风险应进行技术交底工作。
    * 1. 盾构法隧道岩溶勘察方法选择应符合下列规定：
22. 岩溶勘察应采用工程地质测绘和调查、勘探与取样等多种手段结合的方法进行；
23. 物探方法可参照本规范附录C，其他相关测试方法选择宜结合场地环境条件和地质条件综合确定；
24. 采用综合物探，应多种探测方法相互印证、补充；
25. 对物探资料，应布置一定数量的钻探验证孔，进行综合解译。
    * 1. 盾构法隧道岩溶勘察工作量布置应满足下列要求：
26. 可行性研究勘察：在搜集已有地质资料和工程地质测绘与调查的基础上，开展必要的勘探与取样、原位测试、室内试验等工作，岩溶强烈发育时可进行地面物探测试及钻孔验证。
27. 初步勘察阶段应满足下列要求：

1）根据需要补充或加深工程地质测绘和调查；

2）沿线位布设地面物探纵测线，异常段可加密测线，在关键部位、地质复杂段增加横测线；

3）可行性研究勘察钻探及地面物探揭示以下地段时，应进行重点勘察：地下水强烈活动的地段；土洞、塌陷分布的地段；可溶岩埋藏较浅且岩面起伏较大的地段；较大规模溶洞、大型暗河分布的地段；岩溶区构造裂隙发育地段；

4）物探测试结束后，应布置一定比例的钻孔对物探揭示的异常点进行钻孔验证，重大异常段宜单独布置验证孔；

5）钻探及地面物探探测深度不应少于结构底板下10m。

1. 详细勘察阶段应满足下列要求：

1）应根据初步勘察揭示岩溶发育程度布置详勘钻孔；

2）应进行孔内物探测试，查明岩溶的空间分布规律；

3）钻孔间距应满足孔内物探测试精度的需要，宜为15 m～20m，有效探测深度不应小于底板以下5m；

4）应开展水文试验，提供水文地质参数及确定岩溶水的连通性；对于重点工程区段，必要时应开展流速、流向测定和水位、水质的长期观测。

1. 岩溶勘察的测试和试验应满足下列要求：

1）地表水、地下水水样除进行一般试验项目外，应增加游离CO2和侵蚀性CO2含量分析，必要时进行放射性同位素测试；

2）覆盖层土样应进行物理力学性质、膨胀性、渗透性试验，必要时应进行矿物与化学成分分析；溶洞充填物土样应进行物理力学性质试验，必要时进行黏土矿物成分分析；

3）代表性岩样应进行物理力学性质试验，必要时应选样进行镜下鉴定，化学分析和溶蚀试验；泥灰岩应增加软化系数试验；

4）与线路有关的暗河、大型溶洞、岩溶泉等应进行连通试验，查明其分布规律与主发育方向；

5）水文地质条件复杂的岩溶地段应进行地下水动态观测。

* + 1. 岩溶风险分析与评价应符合下列规定：

1. 应阐明岩溶的类型、空间分布及其与结构的关系、发育程度、发育规律、岩溶稳定性、对盾构工程的影响和处理原则、存在问题及施工中注意事项等；
2. 岩溶发育程度可参照本规范附录D进行分级确定；
3. 预估岩溶地段隧道涌水量，并应对喷涌位置和强度、地下水位下降的可能性、对地表水和工程周边环境的影响、可能发生地面塌陷等岩土工程问题进行分析和评价，提出可行的设计、施工措施建议；
4. 岩溶地面塌陷应根据岩溶发育程度、土层厚度与结构、地下水位等主要因素综合评价，分析塌陷的主要原因，提出处理措施的建议；
5. 因现场场地条件或现有技术手段的限制，存在无法探明的岩溶工程地质或水文地质情况时，应分析潜在的风险；
6. 在详细勘察成果中应对拟建场地的工法适用性进行评价，分析并说明岩溶地质条件可能造成的工程风险，提出施工勘察、岩溶风险防治措施和监测建议等地质风险控制措施建议。

# 设计阶段岩溶风险防控

## 一般规定

### 岩溶区盾构法隧道设计风险防控，应遵循“分阶段、分对象、分等级”的基本原则，控制工程建设风险至可接受水平。

### 岩溶区盾构法隧道应采用全生命周期风险设计防控，对岩溶风险进行风险分析、分级，制定岩溶风险等级III级及以上的风险处置措施。

### 岩溶区盾构法隧道设计，应充分调查借鉴周边工程和类似岩溶地区盾构法隧道建设经验，通过理论计算分析并结合工程类比法综合确定。

### 对影响工程建设、运营安全的岩溶和溶（土）洞均应进行处理。

### 盾构法隧道岩溶处理应遵循以地面、机（盾构机）内预处理相结合为主，洞内预留措施处理为辅的原则。

### 溶（土）洞充填、注浆处理应采用对地下水、土无污染的绿色环保材料。

## 岩溶风险防控设计内容及流程

### 岩溶区盾构法隧道设计主要风险防控因素包括以下内容：

1. 岩溶区地质勘察及周边环境资料收集不全，对岩溶风险认识不足；
2. 线路方案根据岩溶分布优化不足；
3. 岩溶隧道结构设计采用的荷载不合理；
4. 盾构法隧道附属结构设计、地层加固与岩溶地质不匹配；
5. 盾构机选型与岩溶地质不适应；
6. 对岩溶区断裂破碎带、溶（土）洞等处置措施不当。

### 可行性研究阶段岩溶风险防控流程应符合下列规定：

1. 本阶段风险管理应与现场调查、方案比选等工作相结合，并注重以下资料的收集：沿线的自然、地理和区域岩溶资料；影响线路方案的远期发展规划；对线路方案有影响的重要基础设施现状及规划、建（构）筑物；区域内类似工程的岩溶风险防控措施和风险防范经验；
2. 本阶段风险处理应以规避或降低风险为主。对无法规避的高等级岩溶风险，应在综合考虑站点设置、周边环境及投资等因素的基础上，提出线路优化调整方案，避免出现选线失误；
3. 本阶段风险防控技术要求重点为隧道线路设计、工法选择、重要建（构）筑物保护控制、岩溶处理方法等；
4. 可行性研究设计阶段，应与相关各方密切配合，及时优化调整方案。

### 初步设计阶段岩溶风险防控流程应符合下列规定：

1. 本阶段应全面开展岩溶区风险评估工作，重点对设计方案、工程安全、工期、投资等因素进行分析；
2. 应根据线路特点、岩溶规模及周边环境等，确认风险因素，逐一辨别潜在的风险，确定各个风险点等级及处理措施；
3. 本阶段风险防控技术要求重点为隧道线路优化设计、盾构法隧道结构设计、附属结构及盾构端头（地层）加固设计、结构材料选用、岩溶处置设计、施工影响范围内建（构）筑物保护等。

### 施工图设计阶段岩溶风险防控应包括下列内容：

1. 对岩溶风险等级为Ⅰ、Ⅱ级的地段，应进行岩溶处理专项设计；
2. 应根据线路方案、岩溶分布、规模及周边环境等，全面开展岩溶区风险评估工作，逐一辨别潜在的风险，确定各个风险点等级及出具处理施工图；
3. 本阶段风险防控技术要求重点为优化隧道线路设计、联络通道位置，深化盾构法隧道结构设计、附属结构及地层加固设计、溶洞充填材料选用、岩溶处置设计、施工影响范围内建（构）筑物保护等。

## 岩溶风险防控设计技术要求

### 线路设计应符合下列规定:

1. 应根据溶（土）洞分布情况等地质条件及周边环境确定线路方案；
2. 规划项目对盾构法隧道可能造成较大影响的，应提前进行风险评估，并预留实施条件；
3. 联络通道应设置在非岩溶地层区域或岩溶发育不强烈区域，避开地面建（构）筑物敏感区域，且具备地面钻孔进行注浆加固施工条件。

### 盾构法隧道设计应符合下列规定：

1. 盾构法隧道设计前应开展岩溶区专项勘察，设计应提出针对性需求；
2. 隧道荷载应符合下列规定：

1）盾构隧道结构承受的荷载可参考现行《盾构隧道工程设计标准》GB/T 51438设计时应考虑现状周边建（构）筑物及远期规划实施带来的超载或卸载影响；

2）盾构法隧道结构荷载分布应考虑断裂破碎带、岩溶、土洞等影响引起的偏压荷载及不均匀荷载；

3）盾构结构荷载受到的地层压力可考虑注浆加固的有利影响；

4）当采用洞内注浆时，应考虑如洞内注浆加固时产生的注浆压力荷载。

### 盾构管片设计应符合下列规定：

1. 隧道结构材料应满足受力要求及耐久性要求；
2. 盾构隧道结构计算模型应根据衬砌构造特点、施工工艺、衬砌与地层相互作用及装配式管片衬砌接头形式等确定，并考虑岩溶区的特点引起的计算模型的变化；
3. 管片环向荷载应考虑溶（土）洞等引起的偏压荷载及不均匀荷载，按荷载的实际分布情况进行管片内力分析；
4. 管片衬砌与地层的相互作用，应考虑对溶（土）洞等地层注浆加固后的影响。

### 附属结构及地层加固设计应符合下列规定：

1. 联络通道位置应避开不良的岩溶地层，如无法避免时，需根据地层特点，采取冷冻法加固、注浆加固、降水等应对措施，稳定地层后方可实施联络通道；
2. 联络通道初支及二衬结构，应考虑溶（土）洞等引起的偏压及不均匀荷载；
3. 针对岩溶区不同的地层特性，应选用合适的盾构始发、接收端头地层加固方法；
4. 岩溶地层开挖联络通道时，应提前对地层进行加固处置，开挖过程中，加强监测，必要时考虑超前地质预报的措施。

### 盾构管片背后注浆设计应符合下列规定：

1. 盾构管片背后注浆设计应包括同步注浆设计和二次注浆设计；
2. 同步注浆设计应根据岩溶地层选择单液浆或双液浆，加强浆液配比，保证适当的初凝时间，并加强检测，确保背后注浆充填密实；
3. 岩溶地层应根据同步注浆效果实施二次注浆，控制地表沉降、阻断隧道漏水通道。

### 溶（土）洞处理应符合下列规定：

1. 应根据岩溶不良地质体所发育的位置及深度、对工程施工及结构安全的影响程度等，通过实施难度、实施条件、造价综合考虑溶（土）洞处理设计；
2. 溶（土）洞处理应按风险等级采取处理措施，对于初始风险等级为I级的溶（土）洞在盾构法隧道施工前应进行预处理，对于初始风险等级为Ⅱ级的溶（土）洞在盾构法隧道施工前宜进行预处理；
3. 岩溶处治所用注浆加固材料宜优先考虑绿色无污染，对环境友好的材料；
4. 对于无填充或半填充溶（土）洞可采用充填片石、混凝土、灌注砂浆和注浆等处理措施，有填充溶（土）洞根据填充物性状可采用注浆等处理措施。

### 岩溶处理效果检测应符合下列规定：

1. 对处理后溶洞均应进行处理效果检测，对于预处理溶洞应在盾构掘进施工前完成检测；
2. 岩溶处理效果检测应编制专项检测方案，包含检测方法、检测技术要求、检测是否合格的评定标准等。

### 施工期监测应符合下列规定：

1. 应对隧道结构、附属结构、周围岩土体及周边环境进行工程监测；
2. 设计内容应包括监测范围、监测项目、监测点的布设位置和数量、控制指标、监测频率等，并应满足反映隧道结构和周边环境变化特征和安全状态的要求；
3. 岩溶风险等级为I、Ⅱ级时，应进行专项监测。

# 施工阶段岩溶风险防控

## 一般规定

### 岩溶区盾构法隧道施工阶段风险防控应遵从分级管控与动态管理的原则。

### 岩溶区盾构法隧道施工前，应完成岩溶专项勘察、专项设计交底，开展岩溶风险评估。

### 施工单位应编制岩溶区盾构法隧道盾构选型、专项施工方案和应急预案。

### 施工单位应按照设计要求对岩溶进行预处理，并对岩溶处治效果进行评价。

### 施工过程中参建单位应加强信息化管理，做好岩溶风险动态管控。

### 施工单位应绿色低碳施工，节约资源和减少对环境负面影响。

## 岩溶风险防控施工内容及流程

### 岩溶区盾构法隧道施工阶段主要风险防控应收集下列资料：

**1** 工程勘察文件及其技术交底资料；

**2** 工程设计文件及其技术交底资料；

**3** 初步设计阶段安全风险评估报告；

**4** 施工准备期安全风险评估报告；

**5** 施工勘察文件；

**6** 施工前期调查报告；

**7** 其他相关资料。

### 岩溶区盾构法隧道施工阶段应辨识风险因素，风险因素包括下列内容：

* + - 1. 工程及水文地质风险：可能存在未能完全查明岩溶；
      2. 设计风险：设计方案及处置措施不足；
      3. 设备风险：盾构机选型与岩溶区地层不匹配，适应性不足；
      4. 岩溶处理风险：岩溶处理未达到预期效果；注浆作业控制不当造成地层变形、建（构）筑物损害；
      5. 施工作业风险应包括下列内容：

1）岩溶区盾构大件吊运场地地基承载力不足；

2）岩溶区盾构始发、盾构到达、开仓作业、联络通道开挖等施工作业出现涌水涌砂；

3）岩溶区盾构掘进发生“喷涌”或泥浆“逃逸”，仓压波动大，导致开挖面失稳、地面及建（构）筑物沉降；

4）岩溶区盾构掘进出现姿态超限；

5）岩溶区盾构掘进刀具、刀盘异常磨损；

6）岩溶区盾构管片背后注浆填充不密实，出现隧道变形等。

### 岩溶区盾构法隧道施工风险防控流程应符合下列规定：

**1** 编制风险防控计划；

**2** 核对勘察和设计提出的风险，评估新出现的风险；

**3** 制定风险防控管理实施细则及应急预案；

**4** 风险公告及人员交底、培训；

**5** 施工中进行动态评估，落实和优化风险防控措施；

**6** 开展工后评估，提出运营阶段风险防控建议。

## 岩溶风险防控预处理施工技术要求

### 岩溶预处理施工应符合下列规定：

**1** 针对Ⅰ级和Ⅱ级岩溶风险，应编制岩溶预处理专项施工方案，并组织专家评审；

**2** 在施工全过程中分级管控，应严格执行设计方案，控制注浆压力、杜绝注浆盲区，确保处理效果；

**3** 对于大型溶洞、联通型溶洞、地下暗河发育地区，应避免多孔同时作业，防止出现串孔现象；

**4** 按应照“由外到内，由上游到下游”的施工顺序，先分区隔断，然后中部填充；

**5** 岩溶预处理施工过程中，应根据需要同步开展对地层及周边环境的监测工作。

### 岩溶预处理钻孔施工应符合下列规定：

**1** 钻孔精度应符合现行行业标准《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》SL62的规定；

**2** 钻孔深度不得小于设计值，且在钻孔达到设计孔深遇到溶洞或破碎岩体时，应继续钻进至相对完整岩体内；

**3** 对于软弱的浅层土，钻进时宜采取有效的护壁措施防止塌孔，使后续的注浆通道保持畅通；

**4** 钻孔作业应避免钻具遗留在隧道范围内，给盾构掘进带来风险。

### 岩溶预处理注浆施工应符合下列规定：

**1** 注浆施工前，应采用水泥、锚固剂、套壳料等对孔口部位进行充分密封；

**2** 浆液制备应分罐计量，逐罐搅拌，且设定最小搅拌时间；

**3** 浆液存储应考虑夏季高温影响，并根据初凝时间设定储存时间要求；

**4** 对于成片矩阵式布孔区域，应分区、分段、跳孔施作，防止钻孔和注浆过程中出现串孔现象；

**5** 注浆过程中出现注浆压力突变或无注浆压力等特殊情况时，应分析原因，采用合理的应对措施；

**6** 当注浆压力和持续时间满足要求，可结束注浆；

**7** 注浆施工过程中，应记录钻孔深度、钻孔揭露地质情况、下管深度、注浆材料、注浆量、注浆压力，以及钻孔和注浆施工的起止时间，注浆预处理施工记录可参照本规范附录E；

**8** 注浆施工过程中应注意环境保护工作，包括施工现场围挡、废弃物排放、防尘措施、噪音控制等；

**9** 注浆结束后，注浆孔应采用水泥浆或水泥砂浆填充封闭。

### 岩溶预处理施工所用填充材料应符合下列规定：

**1** 岩溶注浆施工中选用的注浆材料，其主要原材料性能参数应符合相关规范规定；

**2** 施工前应依据设计推荐的浆液配比，进行室内试验和现场试验，浆液性能应与工程要求相适应；

**3** 对填充型溶洞，可采用细颗粒的水泥基注浆材料或化学浆液，对溶洞内的软弱松散填充物进行加固和改良；

**4** 对于空腔型溶洞，可采用大颗粒的复合砂浆浆材或速凝性浆液，填充大体积的空腔；

**5** 对于特大型溶洞或复杂连通溶洞，可填充混凝土、浆砌片石等高强度材料，其优先用于加固隧道底板以下范围，以提升隧道基础稳定性；

**6** 对于半填充型溶洞，可根据现场情况，采用适宜的浆液，或多种浆液综合使用。

### 岩溶预处理施工的设备配置应符合下列规定：

**1** 注浆泵性能应与浆液类型、浓度相适应，泵送能力应满足注浆要求；

**2** 岩溶预处理施工应配置压力监测装置和流量计，用于跟踪记录注浆压力和注浆量。

### 注浆施工应进行注浆效果质量检查与评价，可采用钻孔检查法、压水试验法、P-Q-t曲线分析法、物探法等手段，结合地下水位变化、施工记录、施工成果资料等进行综合评价。

## 岩溶风险防控施工技术要求

### 盾构机应具备超前地质预报及洞内超前注浆加固功能。

### 盾构掘进前应完成岩溶预处理施工并验收合格。

### 盾构机穿越岩溶区前应完成条件验收，各项准备工作满足岩溶区安全连续掘进的要求。

### 盾构始发和接收影响区存在岩溶时应符合下列规定：

1. 应对盾构机重型构件运输及拆装吊机作业区的地基承载力进行核算，必要时采取加固措施；
2. 端头加固应符合设计要求并对效果进行验证；
3. 地下水水位应满足设计文件要求。

### 岩溶区盾构法隧道掘进应符合下列规定：

1. 应结合水文地质、埋深、周边环境等因素合理设置掘进参数，进行隧道监控测量与超前地质预报联合分析。
2. 岩溶区掘进刀盘刀具管理应满足下列要求：

1）掘进前刀盘刀具进行检查，应检尽检、应换尽换；

2）换刀作业时检查全盘刀具螺栓紧固情况，并及时紧固；

3）掘进过程中对刀具磨损情况进行分析判断，及时更换刀具，并优化掘进参数及刀具配置。

1. 岩溶区盾构法隧道掘进同步注浆应以压力控制为主、方量控制为辅，通过调整浆液凝结时间等措施保证管片背后填充密实；
2. 应采用无损检测手段探测管片背后注浆密实情况，根据需要及时补充注浆，直至满足设计要求；
3. 对盾构施工影响范围内管线、建（构）筑物做好施工调查，并通过注浆加固、盾构参数管理及监测等技术手段保证安全。

### 岩溶区盾构法隧道开仓作业应符合下列规定：

1. 应做好开仓计划，根据岩溶发育情况合理选择开仓位置；
2. 应对被动开仓位置地层进行判定，必要时进行补充勘察及预加固措施；
3. 开仓作业前应进行开仓条件验收，保证岩溶区进仓作业安全；

### 联络通道施工前应进行条件验收，保证岩溶区作业安全。

### （主语）应采用信息化、智能化平台，采集盾构装备参数、地质环境、视频影像等数据，进行数据存储、计算、分析和发布，并对异常参数进行预警及处置。

### 施工阶段应建立风险信息沟通机制和风险跟踪、登记制度，确保参建各方及时掌握风险发展动态。

### 施工阶段应建立风险监控和预警预报体系，并应符合下列规定：

1. 确定合理的风险监测方案和预警阈值；
2. 确定基于监测结果的风险预警等级；
3. 建立风险预警等级和风险处理措施的对应关系；
4. 发现异常或超过预警阈值，应及时采取工程处理措施。

### 施工中工程风险因素、风险等级发生重大变化时，应重新进行风险评估，调整、完善风险控制措施。

### 施工阶段应对风险应急预案适时进行演练。

# 运营阶段岩溶风险防控

## 一般规定

### 运营阶段风险管理应与隧道维修养护工作相结合，及时发现风险变化或新出现的风险。

### 盾构法隧道在运营阶段应针对不同等级岩溶风险开展相应的定期检查、专项监测、养护与维修等措施。

### 开展隧道检查与监测时应及时对所采集的信息进行统计分析、趋势研判、状态评价与反馈，当发现岩溶风险影响运营隧道结构安全或行车安全的异常情况时，应立即处理。

### 隧道检查、监测、检测后应形成记录或报告，并宜采用数字化管理。

### 运营单位宜及时分析评价隧道岩溶处治效果，并反馈建设单位，以优化后续工程岩溶风险防控措施与要求。

## 岩溶风险防控运营内容及流程

### 岩溶区盾构法隧道运营阶段的主要岩溶风险因素包括以下内容：

1. 岩溶及其充填物位于隧道底部附近时，受车辆振动或地震作用影响，可能造成地基承载力降低，影响隧道稳定；
2. 岩溶水可能对隧道结构造成腐蚀，影响隧道耐久性，堵塞设施排水；
3. 隧道受周边外部作业和环境地质条件破坏的影响，可能引起新生溶（土）洞发育发展，增加隧道保护工作难度；
4. 岩溶处理效果随着隧道使用年限增长和环境条件变化发生削弱、失效，影响隧道运营安全。

### 运营阶段风险防控应满足下列要求：

1. 工程验收移交时，应收集岩溶处理、隧道施工、工程质量检测、岩溶风险工后评估报告等岩溶风险资料，确定已知风险因素；
2. 对岩溶区隧道结构及保护区开展检查、监测与状态评价，并应符合国家现行标准《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分：隧道》GB/T 39559.3和《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289等的相关规定。
3. 岩溶区隧道按现行国家标准《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分：隧道》GB/T 39559.3技术状况评价等级为4类或5类时，应开展地质补勘、围岩取芯检测、背后空洞探测、渗漏水溯源等勘察检测，掌握岩溶现状。
4. 隧道严重病害成因机理分析判定为岩溶地质条件时，应重新进行岩溶风险评估，确认风险等级，制定防控或处理措施。
5. 运营阶段岩溶处理和隧道维修施工中应进行动态评估，落实和优化风险防控措施。
6. 运营阶段岩溶风险处治后宜开展工后评估，提出后期风险防控建议。

## 岩溶风险防控运营技术要求

### 运营阶段应对影响运营安全的风险因素进行防控，风险处理应以减轻风险为主，采取必要的岩溶处理与隧道维修加固措施。

### 运营阶段岩溶处理与隧道维修应根据岩溶现状和病害类型确定方案，并宜采用洞外微扰动注浆方案。

### 运营阶段应对岩溶风险及岩溶后期处理、隧道维修加固措施所采用的技术方案、外部作业涉及隧道保护方案进行安全评估，应符合下列规定：

1. 全面查明对隧道运营造成影响的岩溶风险因素与现状，评价岩溶地质条件对隧道结构安全性和外部作业的影响程度，避免漏判、误判岩溶地质风险；
2. 应按现行国家标准《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分：隧道》GB/T 39559.3的规定开展运营阶段岩溶后期处理和隧道结构维修影响结构安全评价与行车影响评价；
3. 结合岩溶区工程活动影响范围，开展外部作业影响隧道结构安全风险评估。

### 运营阶段应加强隧道运管人员的作业技能、安全意识、应急处置能力等的培训工作。

### 运营阶段应建立岩溶风险信息沟通机制，确保运营单位和建设单位掌握风险发展动态，并及时向相关单位反馈。

### 运营阶段应建立岩溶风险跟踪、登记制度，对岩溶风险发展的状况及控制措施进行记录。

### 运营阶段应建立岩溶风险监控和预警预报体系，并应符合下列规定：

1. 应确定合理的风险监测方案和预警阈值；
2. 应确定基于监测结果的风险预警等级；
3. 应建立风险预警等级和风险处理措施的对应关系；
4. 发现异常或超过预警阈值，应及时采取处置措施。

### 运营阶段应对岩溶风险应急预案适时进行演练。

### 运营阶段岩溶风险因素、风险等级发生重大变化时，应重新进行风险评估，调整、完善风险控制措施。

附录A 盾构法隧道岩溶风险辨识

表A 盾构法隧道岩溶风险辨识表

| 风险事件  风险因素 | | 涌（突）水（泥） | 溶洞坍塌 | 掌子面失稳 | 盾构姿态失控 | 隧道结构开裂 | 地表沉陷 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地层及构造 | 岩性及岩体风化程度 | ★ | ★★★ | ★ |  |  | ★ |
| 构造（褶皱、断层） | ★★★ | ★★ | ★ | ★ | ★ | ★★ |
| 岩溶及岩溶水特征 | 岩溶发育  强度 | ★★★ | ★★ | ★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 岩溶的形态、规模 | ★★ | ★★★ | ★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 岩溶与隧道的相对关系 | ★★ | ★★ | ★ | ★ | ★ |  |
| 充填物特征 | ★★ | ★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★ |
| 岩溶水储量及补给 | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 水压大小 | ★★★ | ★ | ★★ | ★ | ★★★ |  |
| 技术因素 | 勘察方案  与措施 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| 设计方案  与措施 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★★ | ★★ |
| 岩溶处理及效果 | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★★ |
| 运维方案  与措施 |  |  |  |  | ★★★ | ★★ |
| 其他 | |  |  |  |  |  |  |

注：“★★★”表示两者强相关，“★★”表示两者相关，“★”表示两者弱相关。

附录B 盾构法隧道岩溶风险

表B 盾构法隧道岩溶风险清单表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 |  | | | 日期 |  |
| 隧道名称 |  | 审核 |  | 阶段 |  |
| 序号 | 风险事件 | 风险产生原因 | 风险程度 | 控制措施 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

**附录C** **岩溶地区物探方法**

表C 岩溶地区物探方法选用表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物探方法 | | 勘探任务 | | | | | |
| 类别 | 方法 | 可溶岩分布 | 岩面深度与起伏状态 | 岩溶洞隙空间分布 | 土洞空间分布 | 断裂破碎带空间分布 | 地下水流向 |
| 地震法类 | 反射法 | ○ | ● | ● | ● | ● |  |
| 折射法 | ● | ● |  |  | ● |  |
| 面波法 |  | ○ |  | ● | ○ |  |
| 映像法 | ○ | ○ | ● | ● |  |  |
| 电法类 | 电剖面法 | ● |  |  |  | ● |  |
| 电测探法 | ● | ● | ○ |  | ● |  |
| 高密度电法 | ● | ● | ● | ○ | ● |  |
| 自然电位法 |  |  |  |  |  | ● |
| 充电法 |  |  |  |  |  | ● |
| 电磁法类 | 音频大地电磁法 |  | ○ | ● |  | ● |  |
| 瞬变电磁法 | ○ |  | ● | ○ | ● |  |
| 探地雷达法 |  | ○ | ○ | ● | ○ |  |
| 孔中物探类 | 跨孔CT法 | ● | ● | ● | ● | ● |  |
| 管波探测法 |  |  | ● |  | ● |  |
| 孔中雷达 |  |  | ○ |  | ● |  |

注：●推荐方法、○可选方法

**附录D 岩溶发育程度**

表D 岩溶发育程度分级表

| 指标 | | 岩溶强烈发育 | 岩溶中等发育 | 岩溶弱发育 | 岩溶微弱发育 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 定性指标 | 岩溶形态 | 以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主 | 沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀、中小型串珠状洞穴发育 | 沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴 | 以裂隙状岩溶或溶孔为主 |
| 连通性 | 地下洞穴系统基本形成 | 地下洞穴系统未形成 | 裂隙连通性差 | 溶孔、裂隙不连通 |
| 地下水 | 有大型暗河 | 有小型暗河或集中径流 | 少见集中径流，常有裂隙水流 | 裂隙透水性差 |
| 定量指标 | 钻孔见洞率*K*j(%) | *K*j>30 | 10≤*K*j≤30 | 1≤*K*j<10 | *K*j<1 |
| 钻孔线岩溶率*K*x(%) | *K*x>20 | 5≤*K*x≤20 | 1≤*K*x<5 | *K*x<1 |

注：**1** 定性指标引自《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307-2012条文说明11.3表11；

**2** 定量指标引自《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011表6.6.2；钻孔见洞隙率=(钻探中遇岩溶洞隙的钻孔/钻孔总数)×100%。钻孔线岩溶率=(钻孔所遇岩溶洞隙长度/钻孔穿过可溶岩的长度)×100%；

**3** 按上表进行发育强度分级时，从岩溶强烈发育向岩溶微弱发育推定，以最先满足为准，每级推定时满足其中一个条件者可定为当前等级。

附录E 岩溶充填注浆预处理施工记录

表E 岩溶充填注浆预处理施工记录表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **孔号：** | | | | | | 年 月 日 | | | | | |
| 钻孔施工 | | | | | | 注浆施工 | | | | | |
| 开始时间 | |  | 结束时间 | |  | 开始时间 | |  | | 结束时间 |  |
| 钻孔段长  /m | | 地质描述 | | | | 注浆段长  /m | | 浆液类型 | | 注浆量/m3 | 注浆压力/MPa |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
|  | |  | | | |  | |  | |  |  |
| 综合统计 | | | | | | | | | | | |
| 钻孔深度/m |  | | | 下管深度/m | | |  | | 注浆总量/m3 | |  |
| 班长： | | | | 记录： | | | 质检： | | 监理： | | |

附录F 盾构法岩溶隧道运营巡检

表F 盾构法岩溶隧道运营巡检记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 巡检内容 | 巡检结果 | 备注 |
| 隧道结构 | 管片破损、开裂、错台等情况 |  |  |
| 管片渗漏水情况 |  |  |
| 管片背后空洞情况 |  |  |
| 螺栓孔或注浆孔填塞物、接缝止水条脱落 |  |  |
| 道床裂缝、下沉、隆起等情况 |  |  |
| 钢筋、螺栓、钢管片锈蚀情况 |  |  |
| 周边环境 | 建（构）筑物、桥梁墩台或梁体、既有轨道交通结构等的裂缝位置、数量和宽度，混凝土剥落位置、大小和数量，设施能否正常使用 |  |  |
| 地下构筑物积水及渗水情况，地下管线的漏水漏气情况 |  |  |
| 周边路面或地表的裂缝、沉陷、隆起、冒浆的位置、范围等情况 |  |  |
| 河流湖泊的水位变化情况，水面有无出现漩涡气泡及其位置、范围，堤坡裂缝宽度、深度、数量及发展趋势等 |  |  |
| 其他 |  |  |

现场巡检人： 巡检项目负责人： 巡检单位：

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；表示有选择，在一定条件下可以这样做

的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准和规范执行的，写法为“可参照……”。

引用标准名录

**1** 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652

**2** 《城市轨道交通建设项目管理规范》GB 50722

**3** 《地铁工程施工安全评价标准》 GB 50715

**4** 《地铁设计规范》GB 50157

**5** 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911

**6** 《城市轨道交通工程安全控制技术规范》GB/T 50839

**7** 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202

**8** 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307

**9** 《城市轨道交通设施运营监测技术规范 第3部分：隧道》GB/T 39559.3

**10** 《城市轨道交通隧道结构养护技术标准》CJJ/T 289

广西壮族自治区工程建设地方标准

**《盾构法隧道岩溶风险防控技术规范》**

DBJ/T 45-XXX-202X

**条 文 说 明**

目 次

1总则 40

2 术语 40

3 基本规定 40

3.1 一般规定 41

3.2 盾构法隧道岩溶风险分析 41

3.3 盾构法隧道岩溶风险分级标准及接收准则 42

3.4 盾构法隧道岩溶风险防控管理 42

4勘察阶段岩溶风险防控 43

4.1 一般规定 43

4.2 岩溶风险防控内容与流程 43

4.3 岩溶风险防控要求 43

5设计阶段岩溶风险防控 46

5.1 一般规定 46

5.2 岩溶风险防控内容及流程 46

5.3 岩溶区盾构法隧道工程设计技术要求 47

6施工阶段岩溶风险防控 47

6.2 风险防控内容及流程 48

6.4 盾构掘进阶段施工技术要求 48

7运营阶段岩溶风险防控 48

7.1 一般规定 48

7.2 岩溶风险防控内容及流程 48

# 1 总则

**1.0.2** 本条规定了本标准适用于盾构法隧道建设与运营全过程的岩溶风险防控规定，包括：勘察阶段岩溶风险防控、设计阶段岩溶风险防控、施工阶段岩溶风险防控、运营阶段岩溶风险防控。

**1.0.5** 盾构工程绿色施工除应符合本标准的规定外，尚应符合国家、地方现行有关标准的规定。本条规定了对于盾构工程全过程施工有关的绿色施工规定，未作规定的应按其他有关标准执行，有关标准主要包括但不限于：

1. 《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652
2. 《城市轨道交通建设项目管理规范》GB 50722
3. 《地铁工程施工安全评价标准》GB 50715
4. 《地铁设计规范》GB 50157
5. 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
6. 《城市轨道交通工程安全控制技术规范》GB/T 50839
7. 《城市轨道交通结构安全保护技术规范》CJJ/T 202
8. 《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307

# 2 术语

本章给出的有关术语，在编写时主要参考了现行标准和规范中的相关术语，其中2.0.8术语直接引用标准《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB 50652中相关术语。

# 3 基本规定

## 3.1 一般规定

**3.1.1~3.1.4** 强调了岩溶区盾构法隧道风险防控的重要性，是岩溶区盾构法安全施工的重要举措，应积极推行。

## 3.2 盾构法隧道岩溶风险分析

**3.2.2** 风险辨识是工程建设风险管理的基础和前提，全面、系统地辨识各类风险对完成风险管理至关重要。由于城市轨道交通地下工程建设中建设条件复杂，涉及人员众多，专业工作要求高，因此，需注重收集所需的基础资料，只有通过对工程各类资料的系统分析，才能更好地辨识工程潜在的风险。

**3.2.3** 风险分析有很多方法，可分为定性分析方法、定量分析方法和综合分析方法。其中：

* + - 1. 定性分析方法，包括：专家调查法（包括智暴法Brainstorming、德尔菲法Delphi 等）、“如果···怎么办”法 (If···then)、失效模式及后果分析法 （Failure Mode and Effect Analysis，FMEA）等。
      2. 定量分析方法，包括：模糊数字综合评判法、层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）、蒙特卡罗法（Monte-Carlo）、控制区间记忆模型法（Controlled Interval and Memory Model，CIM）、神经网络方法（Neutral Network）、风险图法等3综合分析方法，包括：事故树法（或称故障树法，Fault Tree Analysis，FTA）、事件树法（Event Tree Analysis，ETA）、影响图方法、原因—结果分析法、风险评价矩阵法，以及各类综合改进方法，如：专家信心指数法、模糊层次综合评估方法、模糊事故树分析法、模糊影响图法等综合评估方法。

在进行风险分析时，可根据工程建设的具体内容、不同建设阶段、风险发生的特点来选取。

## 3.3盾构法隧道岩溶风险分级标准及接收准则

**3.3.1** 盾构法隧道岩溶风险等级主要考虑盾构法隧道与岩溶的接近程度和岩溶自身的工程影响分区等因素。本岩溶风险等级标准的确定，主要根据《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB50652-2011的原则和要求，结合广西壮族自治区南宁市轨道交通工程建设岩溶区盾构施工过程中安全风险管控实践经验，对盾构法隧道岩溶风险进行细化、统一。

**3.3.2** 本岩溶风险等级标准在未考虑任何设计、施工等风险控制措施的情况下，是一种由客观存在的工程建设条件确定的风险等级，是初始风险等级。运营阶段岩溶初始风险等级应由工程建设完工后，移交运营前进行的岩溶风险工后评估来确定。

**3.3.3** 施工阶段风险等级调整主要针对设计单位、施工单位针对岩溶风险采取主动的风险控制措施的可行性、有效性对风险等级进行评估，评估后的风险等级即为残余风险等级，施工阶段建设各方应以残余风险等级为依据制定相应的风险控制措施。

**3.3.4** 运营阶段风险等级调整主要针对地铁保护区域内外部作业对运营隧道的影响以及盾构隧道本身的病害对风险等级进行评估，评估后的风险等级即为残余风险等级，运营阶段应以残余风险等级为依据制定相应的风险控制措施。

**3.3.6** 城市轨道交通地下工程建设中，不同等级的风险需采用不同的风险处置与控制对策。结合风险等级标准矩阵，不同等级风险的接受准则和相应的处置原则与控制方案需考虑风险管理的目标和建设各方的职责来决策。

## 3.4 盾构法隧道岩溶风险防控管理

**3.4.1** 本条强调了参建各方及运营单位应按国家现行有关标准和建设单位的要求积极履行职责。

**3.4.5~3.4.7**主要列明了开展工后岩溶风险评估的条件、要求以及运用情况。

**4 勘察阶段岩溶风险防控**

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 可溶性岩石有三类分别为碳酸盐类岩石，硫酸盐类岩石，卤盐类岩石，分布最广泛的为碳酸盐岩。覆盖在岩溶形态之上的土层，经过岩溶水体的潜蚀等作用而形成的土洞、地面塌陷是岩溶的一种特殊形态。岩溶现象在地球岩石圈中分布是很广泛的，岩溶的形成和发育、发展要有其内在因素和外界条件。形成岩溶一般需要同时具备三个条件：即可溶性岩层、溶蚀体、溶蚀通道。岩溶的发育与岩性、地质构造、构造运动、地形及大气降水关系密切。

土洞是指在有覆盖土的岩溶发育区，因其特定的水文地质条件，使岩面以上的土体遭到流失迁移而形成的土中洞穴和洞内塌落物以及引发地面变形破坏的总称。土洞是岩溶的一种特殊形态，是岩溶范畴内的一种不良地质现象，因其发育速度快、分布密，对工程的影响远大于岩洞，故而将其与岩溶并列。

**4.2 岩溶风险防控内容与流程**

**4.2.1** 工程勘察各阶段工作，要注重调查潜在的不良水文地质和工程地质条件，查明岩溶分布情况，并在勘察中采取合适的措施，降低因勘察技术和勘察资料等原因引起的风险。另外，在对工程地质勘察与环境调查的过程审查和论证时要注重对岩土工程勘察的数据分析与处理分析，控制因勘察遗漏、失误或环境调查不准、室内试验方法及参数获取失误等引起的工程设计与施工风险。

**4.3 岩溶风险防控要求**

**4.3.1**各勘察阶段勘察深度要求：

1）可行性研究勘察深度要求：了解区域岩溶地质条件；重点研究岩溶强烈发育地带，构造发育带、地表塌陷、土洞分布密集地带，可溶岩与非可溶岩接触带，岩溶水富集区及排泄带，暗河分布情况等。

2）初步勘察深度要求：查明场地岩溶发育情况；重点查明暗河分布位置、规模及富水情况，结合地层年代、地层接触关系、地质构造、水文地质条件等初步分析岩溶发育规律，进行岩溶发育程度分区。对岩溶风险进行初步评价，并提出初步处理建议。

3）详细勘察深度要求：详细查明场地岩溶发育情况，重点查明可能导致盾构机栽头、侧偏、陷落、地表沉降、塌陷及涌水涌砂的岩溶；细化岩溶分布规律，进行岩溶发育程度分段；结合岩溶与隧道的相对位置关系，分析各类岩溶对盾构法隧道施工与运营的影响，并提出合理的处理建议。

**4.3.2** 岩溶地区物探方法参考表1选用

**表1 岩溶地区物探方法选用表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 物探方法 | | 勘探任务 | | | | | |
| 类别 | 方法 | 可溶岩分布 | 岩面深度与起伏状态 | 岩溶洞隙空间分布 | 土洞空间分布 | 断裂破碎带空间分布 | 地下水流向 |
| 地震法类 | 反射法 | ○ | ● | ● | ● | ● |  |
| 折射法 | ● | ● |  |  | ● |  |
| 面波法 |  | ○ |  | ● | ○ |  |
| 映像法 | ○ | ○ | ● | ● |  |  |
| 电法类 | 电剖面法 | ● |  |  |  | ● |  |
| 电测探法 | ● | ● | ○ |  | ● |  |
| 高密度电法 | ● | ● | ● | ○ | ● |  |
| 自然电位法 |  |  |  |  |  | ● |
| 充电法 |  |  |  |  |  | ● |
| 电磁法类 | 音频大地电磁法 |  | ○ | ● |  | ● |  |
| 瞬变电磁法 | ○ |  | ● | ○ | ● |  |
| 探地雷达法 |  | ○ | ○ | ● | ○ |  |
| 孔中物探类 | 跨孔CT法 | ● | ● | ● | ● | ● |  |
| 管波探测法 |  |  | ● |  | ● |  |
| 孔中雷达 |  |  | ○ |  | ● |  |

注：●推荐方法、○可选方法

**4.3.3** 岩溶发育强度可按表2进行分级

**表2 岩溶发育强度分级**

| 指标 | | 岩溶强烈发育 | 岩溶中等发育 | 岩溶弱发育 | 岩溶微弱发育 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 定性指标 | 岩溶形态 | 以大型暗河、廊道、较大规模溶洞、竖井和落水洞为主 | 沿断层、层面、不整合面等有显著溶蚀、中小型串珠状洞穴发育 | 沿裂隙、层面溶蚀扩大为岩溶化裂隙或小型洞穴 | 以裂隙状岩溶或溶孔为主 |
| 连通性 | 地下洞穴系统基本形成 | 地下洞穴系统未形成 | 裂隙连通性差 | 溶孔、裂隙不连通 |
| 地下水 | 有大型暗河 | 有小型暗河或集中径流 | 少见集中径流，常有裂隙水流 | 裂隙透水性差 |
| 定量指标 | 钻孔见洞率Kj(%) | Kj>30 | 10≤Kj≤30 | 1≤Kj<10 | Kj<1 |
| 钻孔线岩溶率Kx(%) | Kx>20 | 5≤Kx≤20 | 1≤Kx<5 | Kx<1 |

注：

**1** 定性指标引自《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307-2012条文说明11.3表11；

**2** 定量指标引自《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011表6.6.2；钻孔见洞隙率=(钻探中遇岩溶洞隙的钻孔/钻孔总数)×100%。钻孔线岩溶率=(钻孔所遇岩溶洞隙长度/钻孔穿过可溶岩的长度)×100%；

**3** 按上表进行发育强度分级时，从岩溶强烈发育向岩溶微弱发育推定，以最先满足为准，每级推定时满足其中一个条件者可定为当前等级。

# 5 设计阶段岩溶风险防控

## 5.1 一般规定

**5.1.1**工程勘察与设计风险管理的“分对象”主要是考虑建设各方及地下工程类型进行分类分析，建设单位需针对不同对象组织风险管理，同时，“分阶段”是要求该阶段建设各方考虑各项风险等级进行分析，要求提交的勘察与设计资料满足工程建设安全与风险控制要求。

**5.1.3** 由于隧道的地质情况复杂多变，坑道稳定与施工因素密切相关，加之计算模型的局限性，隧道结构设计仍需在很大程度上借助于工程类比法。工程类比法可以分为直接对比法和间接类比法。

1. 直接对比法：一般就围岩的强度和完整性、地下水影响程度、洞室埋深、坑道尺寸、地应力、施工方法等方面因素进行比较，将条件基本相同的已建隧道结构作为设计隧道的结构。
2. 间接类比法：将大量的同种已建隧道的围岩按主要划分指标进行归类并给出相应的设计参数，供拟建隧道设计时对照采用。

**5.1.6** 施工方在进行溶（土）洞充填注浆时合理采用盾构废渣制备绿色环保充填注浆材料。

## 5.2 设计阶段岩溶风险防控内容与流程

**5.2.3** 本阶段应根据岩溶勘察、调查成果开展岩溶区风险评估工作，重点对设计方案、工程安全、工期、投资等因素进行分析。

## 5.3 岩溶区盾构法隧道工程设计技术要求

**5.3.4** 本条中冷冻法加固是利用人工制冷技术，使地层中的水结成冰，把天然土变成冻土，增加其强度和稳定性，隔绝地下水与地下结构的联系，以便在冻结帷幕的保护下进行施工的一种特殊施工方法。施工中，应注意以下事项：

1. 必须确保冻结时间，在开挖实施中，必须保证冷冻设备正常运转；
2. 施工监测点位布设及监测频率根据施工进程调整，并且随时反馈用以指导施工；
3. 在开挖前准备工作必须落实，应急措施到位；
4. 在开挖构筑施工中必须组织好人员、机械、材料从而确保施工流程能够顺利进行，混凝土浇筑中重视对施工缝的处理，提高混凝土自身的防水能力；
5. 在施工结束后，保证注浆质量，控制地面沉降。

**5.3.5** 本条中同步注浆主要是为了填充管片与围岩之间的空隙，同时还要考虑到渗透至周围的土层中，根据地质条件、水土压力、上覆土厚度、注浆压力分布等严格控制壁后注浆压力、注浆量，选择合适的注浆材料，避免注浆量和注浆压力选择不当引起地层劈裂、地层变形、隧道上浮以及注浆材料对环境的污染。注浆量一般比计算的空隙要大些，一般取理论空隙体积的130%～180%，甚至更大。

# 6 施工阶段岩溶风险防控

## 6.2 风险防控内容及流程

**6.2.3** 本条中工后评估是指对设计目的、风险防控方案编制以及落实后进行系统性、客观性的评估分析，提出运营阶段风险防控建议。

## 6.4 岩溶区盾构施工技术要求

**6.4.3** 本条中条件验收包括主控条件和一般条件。其中，主控条件包括：设计和勘察交底、岩溶处治完成情况、施工方案及监理细则、盾构设备检修、监控量测、环境风险、应急准备等；一般条件包括：材料及构配件、设备机具、作业人员、风水电等。

**6.4.6** 本条中条件验收包括主控条件和一般条件验收。其中，主控条件包括：施工方案及监理细则、降水、加固或隔离支护措施、盾尾止水及泥水平衡泥浆制备、测量及标示、监测、有限空间作业准备、相关作业及管理人员、环境风险、应急准备等；一般条件包括：材料及构配件、设备机具、分包管理、风水电等。

**6.4.7** 本条中条件验收包括主控条件和一般条件验收。其中，主控条件包括：设计和勘察交底、施工方案及监理细则、施工降水、加固措施、探孔与卸压孔、防护门及临时支架、格栅加工、环境风险、监控量测、潜在风险分析等；一般条件包括：技术资料、材料及构配件、设备机具、分包管理、作业人员、风水电等。

**6.4.10** 本条中预警阈值是指引起岩溶风险发生的最低值。

# 7 运营阶段岩溶风险防控

## 7.1 一般规定

**7.1.3** 本条中数字化管理是指利用计算机网络技术，通过统计技术量化管理隧道检查、监测、检测的方法。

## 7.2 岩溶风险防控内容及流程

**7.2.2** 本条中健康度评定是指对隧道已出现的变形、开裂、剥落剥离、渗漏水等病害进行量化分析，评定隧道健康情况。