

ICS 93.010
CCS P10

T/GEDA

团体标准

T/GEDA xxx-2024

广西水利水电隧洞工程地质勘察规程

Specification for engineering geological investigation of water conservancy and
hydropower tunnels in Guangxi

征求意见稿

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

xxxx 发布

前 言

根据广西勘察设计协会《关于批准《广西水利水电隧洞工程地质勘察规程》团体标准立项的通知》（桂设协〔2024〕11号）的要求，规程编制组经深入调查研究，总结近年来广西水利水电隧洞工程勘察经验，结合工程实践，参考区内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分8章和9个附录，主要技术内容包括：总则、术语及符号、基本规定、规划设计阶段工程地质勘察、可行性研究阶段工程地质勘察、初步设计阶段工程地质勘察、招标设计阶段工程地质勘察、施工详图设计阶段工程地质勘察等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别专利的责任。

本规程由广西勘察设计协会归口管理。广西华南岩土工程集团有限公司负责具体技术内容解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给广西华南岩土工程集团有限公司（地址：南宁市西乡塘区北湖北路18号昌泰尊府10号楼八层，邮编：530001）。

主编单位：广西华南岩土工程集团有限公司
南宁市勘测设计院集团有限公司

参编单位：广西岭南岩土工程有限公司
广西基础勘察工程有限责任公司
广西工勘岩土工程有限公司
广西华安建设工程质量检测有限公司

主要起草人：梁清潭 冯志刚 左述明 朱海强 周永炼 谭球佳 苏琦
纪超 张金纯 汤玉坤 马旭山 李勇成 陈龙 蒙正宁
蒙琳

主要审查人：

目 次

1 总 则	- 1 -
2 术语及符号	- 2 -
2.1 术语	- 2 -
2.2 符号	- 3 -
3 基本规定	- 4 -
4 规划设计阶段工程地质勘察	- 6 -
5 可行性研究阶段工程地质勘察	- 8 -
6 初步设计阶段工程地质勘察	- 11 -
7 招标设计阶段工程地质勘察	- 15 -
7.1 一般规定	- 15 -
7.2 工程地质复核	- 15 -
7.3 专门性工程地质勘察	- 15 -
7.4 天然建筑材料	- 16 -
7.5 勘察报告	- 16 -
8 施工详图设计阶段工程地质勘察	- 17 -
8.1 一般规定	- 17 -
8.2 专门性工程地质勘察	- 17 -
8.3 施工地质	- 18 -
8.4 勘察报告	- 18 -
附录 A 岩土体渗透性分析	- 20 -
附录 B 岩体风化带划分	- 21 -
附录 C 边坡岩体卸荷带划分	- 24 -
附录 D 边坡稳定分析技术规定	- 25 -
附录 E 环境水腐蚀性评价	- 27 -
附录 F 大型水利水电工程围岩工程地质分类	- 29 -
附录 G 中小型水利水电工程围岩工程地质分类	- 35 -
附录 H 隧洞涌水量预测	- 39 -
附录 J 隧洞施工超前地质预报方法	- 43 -
本规程用词说明	- 45 -
引用标准名录	- 46 -
条文说明	- 47 -

1 总 则

1.0.1 为统一广西壮族自治区行政区域内水利水电隧洞工程地质勘察工作,明确各勘察阶段的勘察任务、内容和方法,保证勘察成果质量,符合技术先进、经济合理、安全适用、确保质量以及保护环境的要求,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于广西壮族自治区行政区域内水利水电隧洞工程地质勘察工作。

1.0.3 水利水电隧洞工程地质勘察宜分为规划、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计四个勘察阶段。工程地质条件简单的隧洞工程,其勘察阶段可适当合并。

1.0.4 水利水电隧洞工程地质勘察,除应符合本规程外,尚应符合国家、现行的行业标准、自治区现行有关标准的规定。

2 术语及符号

2.1 术语

2.1.1 隧洞工程地质勘察 tunnel engineering geological investigation

满足隧洞工程建设的需求，查明与隧洞有关的自然特征、工程地质和水文地质条件，并对地质条件进行分析评价及编制勘察成果资料的全过程。

2.1.2 综合勘察 integrated survey

在研究、分析区域地质条件的基础上，采用遥感图像地质解译、调绘、物探、钻探、原位测试、室内试验等多种工程地质勘察手段进行勘察的方法。

2.1.3 围岩变形 surrounding rock deformation

地下洞室周围岩体发生的形状与体积的变化及洞壁的变位，在力学分析中常用围岩的位移表示。

2.1.4 突水（泥） water and debris inflow

在地下洞室施工过程中，突然发生大量涌水或泥砂等的现象。

2.1.5 岩爆 rock burst

地下洞室围岩中应变能集中释放，造成洞壁岩块（片）爆裂、弹射的现象。

2.1.6 长隧洞 long tunnel

钻爆法施工长度大于 3km 的隧洞；TBM 法施工长度大于 10km 的隧洞。

2.1.7 深埋隧洞 deep tunnel

埋深大于 300m 的隧洞。

2.1.8 浅埋隧洞 shallow tunnel

埋深小于 3 倍洞径的隧洞。

2.1.9 隧洞施工超前地质预报 geological predication in tunnel

在分析既有地质资料的基础上，采用地质调查、物探、超前钻探、超前导洞等手段，对隧洞开挖工作面前方的工程地质条件及不良地质体的性质、分布、规模等进行探测、分析判释及预报，并提出技术措施建议。

2.2 符 号

K ——渗透系数。

R_b ——岩石饱和单轴抗压强度（MPa）。

K_v ——岩体完整性系数。

S ——围岩强度应力比。

σ_m ——围岩最大主应力。

3 基本规定

- 3.0.1** 水利水电隧洞各阶段的工程地质勘察工作，应符合本规程的有关规定。
- 3.0.2** 水利水电隧洞工程地质勘察宜分为规划、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计等阶段。
- 3.0.3** 水利水电隧洞工程地质勘察应按勘察程序分阶段进行，并应保证勘察周期和勘察工作量。勘察工作过程中，应保持与相关专业的沟通和协调。
- 3.0.4** 勘察单位在开展野外工作之前，应开展下列准备工作：
- 1 收集区域地质、区域构造、地震及地形地貌、地质、水文地质资料和气象、水文资料。
 - 2 进行现场踏勘，了解地形地貌、地质、水文地质、环境地质概况和工作条件。
 - 3 结合工程设计方案和任务要求编制工程地质勘察大纲。
- 3.0.5** 隧洞工程地质勘察大纲应包括下列主要内容：
- 1 任务来源、工程概况、勘察阶段、勘察目的和任务。
 - 2 工程场区地形地质情况和工作条件。
 - 3 已有地质资料、前阶段工程地质勘察的主要结论及审查主要意见。
 - 4 勘察工作依据的技术标准。
 - 5 勘察重点、技术路线和工作思路。
 - 6 勘察内容、工作方法和技术要求。
 - 7 计划工作量及进度。
 - 8 项目管理和质量保证措施。
 - 9 提交成果内容、数量和日期。
 - 10 勘探工作布置图。
- 3.0.6** 隧洞方案应根据工程地质、水文地质和环境地质条件，遵循下列原则综合确定：
- 1 隧洞洞线宜选择地形相对完整，地震活动性较弱，地层稳定单一，地质构造简单，岩体结构较完整，水文地质条件简单的地段。
 - 2 隧洞洞线宜与岩层层面及主要构造线垂直或大角度相交，与最大水平地应力方向平行或小角度相交。
 - 3 隧洞进出口洞段方向宜垂直地形等高线，岩层产状与构造组合应对边坡稳定有利。
 - 4 长隧洞应考虑施工支洞的成洞条件。

5 隧洞洞线宜绕避下列地段或部位：

1) 软弱、膨胀、易溶岩土层和岩溶发育区、采空区及重要矿产分布区等地段；

2) 活动断裂以及规模较大的断裂、断裂交汇带、褶皱轴部等构造部位；

3) 强富水带和可能产生大量涌水的汇水构造；

4) 高地应力区及富含有害气体、放射性物质的地段。

6 隧洞进出口宜避开滑坡、泥石流、崩塌等不良地质现象和潜在不稳定岩体分布地段。

3.0.7 勘察工作应根据工程的类型和规模、隧洞工程地质条件的复杂程度、各勘察阶段工作的深度要求，综合运用各种勘察手段，合理布置勘察工作，注意运用新技术、新方法，并应符合下列规定：

1 工程地质勘察应先进行工程地质测绘，在工程地质测绘成果的基础上布置其他勘察工作。

2 应根据地形地质条件、岩土体的地球物理特性和探测目的选择物探方法。

3 孔、洞、井、坑槽等勘探方法应根据勘探目的，结合地形地质条件选择建筑物部位的钻孔竣工后应按有关规定进行处理。

4 水文地质试验方法应根据试验目的，结合水文地质条件选择。

5 岩（土）体物理力学试验项目、方法应根据试验目的，结合岩（土）体工程地质特性选择。

6 原位监测或长期观测点（网）应根据位移变形或动态变化的监（观）测需要布置。

3.0.8 工程地质勘察应重视分析工程建设可能引起的环境地质条件的改变及其影响。

3.0.9 勘察工作中的各项原始资料应真实、准确、完整，并应及时整理和分析。

4 规划设计阶段工程地质勘察

4.0.1 规划设计阶段工程地质勘察应对隧洞规划方案进行地质论证, 并提供工程地质资料。

4.0.2 隧洞规划方案应综合考虑区域地质、工程地质、水文地质、环境地质条件和可能存在的工程地质问题及其对工程设计、施工建设和运行管理的影响, 并宜遵循下列原则:

1 地形相对完整, 环境地质条件简单, 地震活动性较弱, 宜绕避规模较大的滑坡、泥石流、溶洞、采空区及重要矿产分布区等。

2 地层分布稳定, 岩性较单一, 地质构造较简单, 宜绕避软弱、膨胀、易溶等不良岩土层及活动性断层、规模较大的断裂破碎带、褶皱轴部等结构破碎的部位。

3 水文地质条件较简单, 宜绕避地下水丰富的含水层(带)及规模较大的汇水构造、充水溶洞等。

4.0.3 隧洞勘察应包括下列内容:

1 了解沿线地形地貌特征。

2 了解沿线气象、水文资料。

3 了解隧洞沿线地层岩性的分布情况和变化规律, 第四纪沉积物的分布和成因类型。

4 了解沿线断裂、褶皱等地质构造的分布、性质、规模。

5 了解沿线水文地质条件, 尤其是可溶岩区的岩溶发育特征和其他强透水岩土层分布情况。

6 了解沿线较大崩塌、滑坡、蠕变体、山麓堆积体、泥石流、地下采空区等不良地质现象的分布、成因、规模。

7 了解沿线沟谷、浅埋隧洞及进出口地段的覆盖层厚度, 岩体风化、卸荷发育程度和山坡稳定性。

8 了解沿线矿产、地下构筑物 and 地下管线等的分布。

9 对规划设计阶段所需的天然建筑材料进行普查。

4.0.4 隧洞勘察方法应符合下列规定:

1 收集和分析隧洞工程区区域地质、航(卫)片解译资料, 编绘综合地质图。

2 隧洞沿线应进行工程地质测绘, 比例尺可选用 1:50000~1:10000, 测绘范围应包含隧洞两侧各 1000m 地带, 可溶岩地区及深埋长隧洞宜适当加宽。

- 3 沿线勘探点宜布置在进出口、浅埋段、过沟段。
- 4 宜利用勘探点进行压水试验、原位测试及物探测井。
- 5 根据地形和地质条件选用合适的物探方法。物探剖面应结合勘探剖面布置，并应充分利用勘探钻孔进行综合测试。
- 6 沿线主要岩土层宜取样进行岩矿鉴定和少量室内试验，也可采用工程地质类比法提供物理力学参数。根据需要进行原位测试。

4.0.5 应对规划工程所需的天然建筑材料进行普查。

4.0.6 工程地质勘察报告相关章节内容应符合下列规定：

- 1 隧洞工程章节内容应包括基本地质条件及主要工程地质问题初步分析。
- 2 天然建筑材料章节内容应结合规划方案和资源类型编写。

5 可行性研究阶段工程地质勘察

5.0.1 可行性研究阶段工程地质勘察应在河流、河段或工程规划方案的基础上，对选定的隧洞方案进行工程地质初步评价，提供工程地质资料。

5.0.2 隧洞工程地质勘察应包括下列内容：

1 初步查明隧洞沿线的地形地貌和较大崩塌、滑坡、泥石流、地下采空区等不良地质现象及其分布。

2 初步查明隧洞沿线地层岩性、覆盖层厚度，重点调查松散、软弱、膨胀、可溶以及含放射性矿物与有害气体等岩层的分布。

3 初步查明隧洞沿线的褶皱、主要断层破碎带等各种类型结构面的产状、规模、延伸情况及岩体结构等，初步评价其对隧洞围岩和进出口边坡稳定的影响。

4 初步查明隧洞进出口段、过沟段、傍山洞段和浅埋洞段等的覆盖层厚度、基岩的风化深度和卸荷发育深度等，初步评价其对隧洞进出口、傍山浅埋段的边坡和洞室稳定性的影响。

5 初步查明主要含水层、汇水构造和地下水溢出点的位置和高程，补排条件以及与地表溪沟连通的断层破碎带、岩溶通道和采空区等的分布，对隧洞掘进时突水（泥）、涌水的可能性及对围岩稳定和环境水文地质条件的可能影响作出初步评价。

6 进行岩土体物理力学性质试验，初步提出有关物理力学参数，并进行隧洞工程地质分段和围岩初步分类。

7 对于深埋长隧洞，尚应包括下列内容：

1) 初步查明可能产生高外水压力、突（涌）水（泥）的地质条件。

2) 初步查明可能产生围岩较大变形的岩组及大断裂破碎带的分布及特征。

3) 初步查明地应力特征及产生岩爆的可能性。岩爆的判别宜符合《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487 的规定。

4) 初步查明地温分布特征。

5) 初步评价成洞条件及存在的主要地质问题，提出地质超前预报的初步设想。

8 对可行性研究阶段所需的天然建筑材料进行初查。

5.0.3 对于大型水利水电工程，隧洞勘察方法应符合下列规定：

1 隧洞沿线工程地质测绘比例尺可选用 1:25000~1:2000，隧洞进出口段测绘比例尺可选用 1:2000~1:1000。

2 隧洞的工程地质测绘范围应包括隧洞各比较线路及其两侧各 300~1000m 地带。岩溶地区可根据实际情况增加测绘宽度。

3 可采用综合物探方法探测覆盖层厚度、地下水位、古河道、隐伏断层、岩溶洞穴等，并可利用钻孔和平硐进行综合测井、弹性波波速等岩体动力参数测试。

4 勘探布置应符合下列规定：

1) 隧洞沿线的勘探钻孔可布置在隧洞进出口、傍山和跨沟等地段；其他存在重大工程地质问题的地段可布置专门性勘探钻孔。

2) 隧洞钻孔深度宜进入洞底高程以下 10~30m，但不应小于 1 倍洞径。

3) 钻孔钻进过程中应收集水文地质资料，并应根据需要进行抽水试验、压水试验和地下水动态观测。

4) 隧洞进出口宜布置勘探平硐。

5 岩土物理力学性质试验应以室内试验和简易原位测试为主，并应符合下列规定：

1) 主要岩土层室内试验累计有效组数不应少于 6 组。

2) 特殊岩土应根据其工程地质特性进行专门试验。

3) 第四纪土可进行标准贯入试验、动力触探、静力触探、十字板剪切试验等钻孔原位测试。

4) 可利用平硐或钻孔进行岩体变形参数、岩体波速等原位测试。

5) 应利用平硐进行地应力、地温、有害气体和放射性元素测试。

6 对于深埋长隧洞深埋段，尚应包括下列内容：

1) 收集本区已有的航片、卫片、各种比例尺的地质图及相关资料，进行分析与航片、卫片解译。

2) 工程地质测绘比例尺可选用 1:50000~1:10000，测绘范围应包括隧洞各比选线及其两侧各 1000~5000m，当水文地质条件复杂时可根据需要扩大。

3) 选择合适的物探方法，探测深部地质构造特征、岩溶发育特征等。

4) 宜选择合适位置布置深孔，进行地应力、地温、地下水位、岩体渗透性、岩体波速等综合测试。

5) 进行岩石物理力学性质试验。

7 根据试验结果对围岩进行初步的工程地质分类。围岩工程地质分类应符合本规程附录 F 的规定。

5.0.4 对于中小型水利水电工程，隧洞勘察方法应符合下列规定：

1 收集分析已有地形、地质和航（卫）片解译资料，分析工程区地形地貌、地层岩性和地质构造特点，特别是断裂构造、软弱岩（带）和富水带（层）构造、岩溶（洞穴）等和洞线的关系。

2 工程地质测绘比例尺可选用 1:5000~1:1000。测绘范围应包括隧洞各比较方案。

3 沿隧洞中心线应布置勘探剖面，对过沟浅埋段、地质条件复杂的隧洞进口、出口，应布置平硐和钻孔，钻孔深度应进入设计洞底板高程以下不小于 1 倍洞径。

4 应收集钻进过程中的水文地质资料，进行压水试验，并根据需要进行地下水位长期观测。

5 勘探过程中宜进行孔内、洞内弹性波波速测定和简易原位测试。

6 进行必要的岩（土）物理力学性质试验，并初步进行围岩的工程地质分类。围岩工程地质分类应符合本规程附录 G 的规定。

5.0.5 天然建筑材料勘察应符合下列规定：

1 对工程所需的天然建筑材料应进行初查，对影响设计方案选择的料场宜进行详查。

2 初步查明料场地形地质条件、岩土结构、岩性、夹层性质及空间分布，地下水位，剥离层、无用层厚度及方量，有用层储量、质量，开采运输条件和对环境的影响。

3 初查储量与实际储量的误差不应超过 40%；初查储量不得少于设计需要量的 3 倍。

5.0.6 工程地质勘察报告相关章节内容应符合下列规定：

1 隧洞工程章节内容应包括地质概况、各比选方案的工程地质条件、方案比选地质意见和推荐方案的工程地质条件。

2 天然建筑材料章节内容应包括设计需求量、各料场位置及地形地质条件、勘探和取样、储量和质量、开采和运输条件等。

6 初步设计阶段工程地质勘察

6.0.1 初步设计阶段工程地质勘察应在可行性研究阶段选定的隧洞方案基础上进行。查明选定隧洞方案的工程地质条件，对主要工程地质问题进行评价，并提供工程地质资料。

6.0.2 隧洞勘察应包括下列内容：

1 查明隧洞沿线的地形地貌条件，过沟地段、傍山浅埋段和进出口边坡的稳定条件。

2 查明隧洞进出口、浅埋段、过沟段不良地质现象和潜在不稳定体的分布规模、性质类型、物质组成、结构特征及边界条件，分析可能变形破坏的趋势。对滑坡应查明滑坡要素及滑带的物理力学性质；对泥石流应查明其形成条件、发育阶段及形成区、流通区、堆积区的范围和地质特征。

3 查明隧洞沿线的地层岩性，特别是松散、软弱、膨胀、易溶和岩溶化岩层的分布。

4 查明隧洞沿线岩层产状，主要地质构造、断层、褶皱（褶曲）、破碎带和节理裂隙密集带的位置、规模、性状及各结构面，尤其是软弱结构面、缓倾结构面的规模、自然特征、组合关系及其工程地质性质。隧洞穿过活动断层时应进行专门研究，主要包括活动断层的定位、活动性质、工程使用期限内活动断层蠕滑和粘滑的位移量等。

5 查明隧洞沿线地下水位、水温、水化学成分、岩土体的含水特性和渗透性，特别要查明涌水量丰富的含水层、汇水构造、强透水带以及与地表溪沟连通的断层、破碎带、节理裂隙密集带和岩溶通道，预测掘进时突水（泥）的可能性，估算最大涌水量，评价对隧洞施工和周边环境的影响，提出预防、处理措施建议。提出外水压力折减系数。

6 可溶岩区应查明下列内容：

1) 碳酸盐岩的层组类型、分布特征。

2) 溶洞、溶隙等岩溶现象的分布、规模、发育程度、连通性、充填情况及溶洞堆积物的物质组成和状态。

3) 岩溶水文地质结构类型、地下水动力条件、动态规律和分带特征，划分地下水系统。

4) 洞线穿越大的岩溶水系统或岩溶洼地时应进行专门研究。

7 查明隧洞进出口边坡的地质结构、岩体风化、卸荷特征，评价边坡的稳定性，提出开挖处理建议。

8 查明过沟谷浅埋隧洞上覆岩土层的类型、厚度及工程特性，评价围岩的稳定性。

9 对于跨度较大的隧洞尚应查明主要软弱结构面的分布和组合情况，并结合岩体应力评价顶拱、边墙和洞室交叉段岩体的稳定性。

10 可能存在有害气体和放射性物质的洞段应查明其产生、聚集条件、分布规律及种类、强度，评价其对隧洞施工的影响。

11 提出各类岩体的物理力学参数。结合工程地质条件进行围岩工程地质分类，提出围岩支护及排水等处理措施建议。

12 对于深埋隧洞应分析岩体地应力情况，预测岩爆发生的可能性、强度和位置以及较软岩、软岩塑性变形的可能性，分析深埋隧洞地温情况，预测高地温出现的可能性；岩体地应力和岩爆的判别应符合《水利水电工程地质勘察规范》GB 50487 的规定。

13 对初步设计阶段所需的天然建筑材料进行详查。

6.0.3 对于大型水利水电工程，隧洞的勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应符合下列规定：

1) 复核可行性研究阶段的工程地质图。

2) 长引水线路区，工程地质测绘比例尺可选用 1:25000~1:5000，测绘范围应包括隧洞各比较线路及其两侧各 300m~1000m 地带，岩溶地区可适当增加测绘范围。

3) 工程地质测绘应在前阶段地质测绘的基础上进行补充工作。隧洞进出口、傍山浅埋段、过沟段及穿过岩溶水系统、岩溶洼地等地质条件复杂的洞段，应进行专门性工程地质测绘或调查，比例尺可选用 1:2000~1:1000。

4) 隧洞进出口工程地质测绘范围应包括对洞脸边坡有影响的地段。

5) 根据地质条件与需要，局部地段可进行比例尺 1:500 的工程地质测绘。

2 物探应符合本规程第 5.0.3 条第 3 款的规定。

3 勘探应符合下列规定：

1) 隧洞进出口应布置纵、横勘探剖面线。

2) 长引水隧洞在过沟的鞍部以及有其他重大地质问题的地段，应布置勘探工作。

3) 勘探剖面线上的钻孔数量可根据具体地质条件复杂程度确定，钻孔深度应深入隧洞底板 10~20m，且进入隧洞底板以下不少于 1 倍洞径，从洞顶以上 5 倍洞径处起始，以下孔段均应进行压水试验。

4) 隧洞进出口地段应布置平硐。

- 5) 钻孔、平硐宜进行弹性波测试。
- 6) 深埋隧洞可根据具体条件布置钻孔和平洞。

4 岩土试验应符合下列规定：

- 1) 每一类岩土室内物理力学性质试验累计有效组数不应少于 6 组。
- 2) 大跨度隧洞应进行岩体变形模量、弹性抗力系数、岩体地应力测试等。
- 3) 深埋隧洞应视需要进行岩体地应力测试。

5 隧洞沿线的钻孔宜进行地下水动态观测，观测时间不应少于一个水文年。岩溶发育区应进行连通试验及地表、地下水径流观测。

6 利用钻孔、平硐开展有害气体和放射性元素探测。必要时，利用勘探孔洞进行地温测试。

6.0.4 对于中小型水利水电工程，隧洞的勘察方法应符合下列规定：

1 工程地质测绘应在前阶段地质测绘的基础上进行补充工作，地质条件复杂和重要的隧洞段、进口段和出口段应进行专门地质测绘。比例尺可选用 1:2000~1:500。测绘范围：洞室进口、出口应包括对洞脸边坡有影响的地段，其他部位可根据具体情况确定。

2 勘探应符合下列规定：

1) 隧洞进口、隧洞出口应布置纵、横勘探剖面线。对长引水隧洞在过沟的鞍部，宜布置勘探工作。

2) 勘探剖面线上的钻孔数量可根据具体地质条件复杂程度和洞室规模确定，钻孔深度应进入隧洞底板以下至少 1 倍洞径。在隧洞顶板上下 5~15m 范围内的孔段，应做压（注）水试验。

3) 隧洞进口、隧洞出口应布置平硐。

4) 钻孔、平硐宜进行弹性波测试。

3 围岩物理力学性质参数宜在试验成果的基础上，结合工程地质类比法确定。对深埋大跨度洞室应现场测试岩体变形模量，必要时宜进行地应力测试。

4 对工作条件恶劣、难以进行勘探工程的地区，应充分利用航（卫）片解译成果，加强地质测绘，结合区域地质资料，预测大断层破碎带、接触带、岩溶地下暗河等的分布及其对地下工程的影响。

6.0.5 天然建筑材料勘察应符合下列规定：

1 应对工程所需各类天然建筑材料进行详查。

2 详细查明料场地形地质条件、岩土结构、岩性、夹层性质及空间分布，地下水位，剥离层、无用层厚度及方量，有用层储量、质量，开采运输条件和对环境的影响。

3 详查储量与实际储量的误差应不超过 15%，详查储量不得少于设计需要量的 2 倍。

6.0.6 工程地质勘察报告相关章节内容应符合下列规定：

1 隧洞工程章节内容应包括隧洞工程地质条件、物理力学参数、主要工程地质问题评价及处理措施建议。

2 天然建筑材料章节内容应包括设计需求量，各料场位置及地形地质条件，勘探和取样，储量和质量，开采和运输条件等。

7 招标设计阶段工程地质勘察

7.1 一般规定

7.1.1 招标设计阶段工程地质勘察应在审查批准的初步设计报告基础上,复核初步设计阶段的地质资料与结论,查明遗留的工程地质问题,为完善和优化设计及编制招标文件提供地质资料。

7.1.2 招标设计阶段工程地质的勘察任务应包括下列内容:

- 1 复核初步设计阶段的主要勘察成果。
- 2 补充查明初步设计阶段遗留的工程地质问题。
- 3 论证初步设计报告审批中提到的专门性工程地质问题。
- 4 提供与优化设计有关的工程地质资料。

7.2 工程地质复核

7.2.1 工程地质复核应包括下列内容:

- 1 隧洞工程地质条件及结论。
- 2 天然建筑材料的储量、质量及开采运输条件。

7.2.2 工程地质复核方法应符合下列规定:

- 1 分析研究初步设计阶段工程地质勘察成果和审查意见。
- 2 对初步设计阶段后的有关地震、边坡、岩土体位移、地下水动态观(监)测成果作进一步分析论证。

7.3 专门性工程地质勘察

7.3.1 专门性工程地质勘察应包括下列主要内容:

- 1 初步设计阶段遗留的工程地质问题。
- 2 初步设计报告审批提出的专门性工程地质问题。
- 3 初步设计阶段完成后新发现的重大工程地质问题。
- 4 施工组织设计需研究的工程地质问题。
- 5 优化、变更设计需进一步查明的工程地质问题。

7.3.2 专门性工程地质问题应根据具体情况确定其勘察内容:

- 1 围岩稳定,应复核或补充查明围岩的工程地质与水文地质条件,岩体地应力状况,围岩类别和岩体物理力学性质参数,评价围岩稳定性;预测产生岩爆、突水和围岩失稳的位置、规模;提出优化围岩加固处理措施的建议和完善围岩位移、外水压力监测的意见。

2 边坡稳定，应复核或补充查明影响隧洞进出口边坡稳定性的工程地质、水文地质条件，岩土体物理力学性质参数。评价可能失稳边坡的地质边界条件，失稳机制、方式、规模和危害性。提出边坡开挖坡形、坡比的意见和优化处理措施的建议，完善岩土体位移监测和地下水动态观测的意见。

3 高压渗透稳定，应复核围岩在高压水头作用下的渗透特性，提出围岩的允许水力坡降、破裂压力、外水压力等；评价山体稳定性的建议。

4 隧洞涌水，应复核水文地质条件，重点为富水层、含水构造、强透水带、与地表水体连通的断层破碎带、节理密集带和岩溶通道及采空区等，预测涌水类型、涌水量，提出处理措施的建议和完善地下水动态观测的意见。

7.3.3 专门性工程地质勘察方法应符合下列规定：

1 勘察方法和勘察工作量应根据工程地质问题的复杂性、初步设计阶段工程地质勘察工作的深度和条件等因素确定。

2 应分析和利用各种监测与观测资料。

3 当需要补充查明有关专门性问题工程地质条件时，应进行专门工程地质测绘，比例尺可选用 1:1000~1:500，并应在原有勘察工作基础上补充布置勘探和试验工作。

4 设计优化勘察应结合工程具体部位，在原有勘察工作基础上适当加密勘探和增加试验工作。

7.3.4 专门性工程地质问题勘察应提交工程地质专题报告。

7.4 天然建筑材料

7.4.1 当遇下列情况之一时，需要对天然建筑材料进行复查或补充勘察：

1 初步设计报告审批要求补充论证时。

2 料场条件发生较大变化需对详查级别的勘察成果进行复查时。

3 设计方案改变，要求开辟新的料场时。

7.4.2 复查或补充勘察均应满足天然建筑材料勘察详查精度的要求，应针对料源遗留的具体问题开展勘探和试验。

7.4.3 应根据设计用料需求量，优选开采范围，分析开采过程中有关边坡稳定性、地表径流、施工涌水等问题，提出处理措施建议。

7.4.4 补充勘察应提交天然建筑材料专题报告。

7.5 勘察报告

7.5.1 工程地质勘察报告隧洞和天然建筑材料章节内容应符合国家现行标准《水电工程招标设计报告编制规程》DL/T 5212 的有关规定。

8 施工详图设计阶段工程地质勘察

8.1 一般规定

8.1.1 施工详图设计阶段工程地质勘察应在前期勘察工作基础上,检验、核定前期勘察的地质资料与结论,补充论证专门性工程地质问题,为施工详图设计提供工程地质资料。

8.1.2 施工详图设计阶段的勘察任务应包括以下内容:

- 1 对招标设计评审中要求补充论证的专门性工程地质问题进行勘察。
- 2 进行施工地质工作,检验、核定前期勘察成果。
- 3 提出工程地质问题处理措施的建议。
- 4 分析施工期地质监测和检测资料,提出完善施工期和运行期的工程地质监测和检测内容、布置方案和技术要求的建议。
- 5 为工程安全鉴定提供地质资料。

8.2 专门性工程地质勘察

8.2.1 专门性工程地质问题及勘察内容应根据工程的具体情况确定。

8.2.2 根据施工开挖揭露的地质情况和监测、检测资料,发生下列情况时,应进行专门性工程地质问题勘察:

1 当危害工程安全的潜在不稳定天然边坡和工程边坡出现破坏变形迹象时,应复核影响天然边坡和工程边坡的工程地质条件、潜在滑动面的分布和物理力学性质参数、失稳的可能性及对工程的影响,提出工程处理措施建议。

2 当地下建筑物围岩发现新的工程地质问题,导致建筑物设计条件发生变化时,应复核其水文地质、工程地质条件,岩土体物理力学性质参数,评价其对工程的影响,提出工程处理建议。

8.2.3 可溶岩地区,当施工过程中发现有大的溶洞和岩溶管道系统,并可能危害工程边坡和围岩稳定,以及出现渗漏问题时,应进行专门性岩溶水文地质、工程地质补充勘察,提出工程处理建议。

8.2.4 在采料过程中发现天然建筑材料产地的储量、质量等发生较大变化时,应根据具体情况补充专门性勘察。

8.2.5 专门性工程地质问题的勘察方法应符合下列规定:

- 1 工程地质测绘比例尺可采用 1:1000~1:200。
- 2 应根据地质问题的复杂性、前期勘察工作深度和场地条件等因素布置专门的勘探和试验。

3 利用各种施工开挖工作面观察和收集地质资料，收集监测和检测资料，进行地质综合分析。

8.3 施工地质

8.3.1 施工地质工作应包括下列内容：

1 分析在施工过程中揭露的地质现象，检验和修正前期勘察资料，进行专门性工程地质问题补充勘察。

2 编录和测绘围岩、隧洞进出口工程边坡的地质现象，分析与地质有关的工程监测和检测资料，预测、预报可能出现的地质问题；核实围岩、隧洞进出口工程边坡岩土体的工程地质条件。

3 提出优化围岩、隧洞进出口工程边坡的设计和施工方案的地质建议，及时对工程地质问题进行分析，提出处理建议，参与优化设计和工程处理措施的研究。

4 参与有关的检测和专门性试验工作。

5 参与围岩、隧洞进出口工程边坡及其不良地质体开挖的评价验收。

6 提出完善围岩、隧洞进出口工程边坡在施工期和运行期的水文地质工程地质监测和检测项目及其技术要求的建议。

8.3.2 复核开采料场的天然建筑材料储量、质量及其开挖边坡稳定性。

8.3.3 施工地质工作应随工程施工进度，全过程进行动态的地质分析，及时反馈经修正或核定的地质资料。施工地质方法应采用地质巡视、观察、素描、实测、摄影和录像等手段，编录和测绘施工揭露的地质现象。工程地质测绘比例尺宜选用 1:1000~1:200，素描编录比例尺宜选用 1:200~1:50。

8.3.4 施工地质工作期间，应建立“施工地质日志”，及时整编下列资料：

1 施工地质原始资料，包括施工编录资料，与监理、施工单位的来往文件等。

2 单项工程（标）施工结束，应编写单项工程（标）验收地质说明书。

3 工程度汛、工程截流、蓄水、机组启动验收以及施工期工程安全鉴定时，应提出相应的地质资料和意见。

8.3.5 施工地质工作结束，应将全部施工地质资料进行分类整理、归档。

8.4 勘察报告

8.4.1 专门性工程地质问题勘察报告内容应根据实际存在的地质问题确定。报告正文可包括序言、地质概况、工程地质条件、主要工程地质问题分析与评价、地质结论、工程处理建议和结论。

8.4.2 工程竣工地质报告和安全鉴定自检报告隧洞和天然建筑材料相应章节内容应包括隧洞施工开挖揭露的实际地质情况，边坡、围岩的加固处理措施和工程地质条件评价，天然建筑材料评价意见，结论和建议。

附录 A 岩土体渗透性分析

表 A 岩土体渗透性分级

渗透性等级	渗透性标准		岩体特征	土类
	渗透系数 K (cm/s)	透水率 q (Lu)		
极微透水	$K < 10^{-6}$	$q < 0.1$	完整岩石，含等价开度小于 0.025mm 裂隙的岩体	黏土
微透水	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$0.1 \leq q < 1$	含等价开度小于 0.025~0.05mm 裂隙的岩体	黏土~粉土
弱透水	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$1 \leq q < 10$	含等价开度小于 0.05~0.1mm 裂隙的岩体	粉土~细粒土质砂
中等透水	$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	$10 \leq q < 100$	含等价开度小于 0.1~0.5mm 裂隙的岩体	砂~砂砾
强透水	$10^{-2} \leq K < 1$	$q \geq 100$	含等价开度小于 0.5~2.5mm 裂隙的岩体	砂砾~砾石、卵石
极强透水	$K \geq 1$		含等价开度大于 2.5mm 裂隙的岩体	粒径均匀的巨砾

注：岩土体渗透性分级以渗透系数 K 和透水率 q 数值为准，岩体特征和土类仅供参考。

附录 B 岩体风化带划分

B.0.1 岩体风化带的划分一般应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 岩体风化带划分

风化带	主要地质特征	风化岩与新鲜岩纵波速之比
全风化	全部变色，光泽消失 岩石的组织结构完全破坏，已崩解和分解成松散的土状或砂状，有很大的体积变化，但未移动，仍残留有原始结构痕迹 除石英颗粒外，其余矿物大部分风化蚀变为次生矿物 锤击有松软感，出现凹坑，矿物手可捏碎，用锹可以挖动	<0.4
强风化	大部分变色，只有局部岩块保持原有颜色 岩石的组织结构大部分已破坏；小部分岩石已分解或崩解成土，大部分岩石呈不连续的骨架或心石，风化裂隙发育，有时含大量次生夹泥 除石英外，长石、云母和铁镁矿物已风化蚀变 锤击哑声，岩石大部分变酥，易碎，用锤撬可以挖动，坚硬部分需爆破	0.4~0.6
弱风化 (中等风化)	上带	0.6~0.8
	下带	
微风化	岩石表面或裂隙面有轻微褪色 岩石组织结构无变化，保持原始完整结构 大部分裂隙闭合或为钙质薄膜充填，仅沿大裂隙面有风化蚀变现象，或有锈膜浸染 锤击发音清脆，开挖需用爆破	0.8~0.9
新鲜	保持新鲜色泽，仅大的裂隙面偶见褪色 裂隙面紧密，完整或焊接状充填，仅个别裂隙面有锈膜浸染或轻微蚀变 锤击发音清脆，开挖需用爆破	0.9~10.

B.0.2 碳酸盐岩溶蚀风化带划分一般应符合下列规定：

1 灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩等碳酸盐岩，其风化往往具溶蚀风化特点，风化带的划分应符合表 B.0.2 规定。

2 部分白云岩（因微裂隙极其发育）、灰岩（因特殊结构构造，如豆状、瘤状等），有时具均匀风化特征，当其均匀风化特征明显时，风化带的划分宜按表 B.0.1 进行。

3 灰岩与泥岩之间的过渡类岩石，随着泥质含量的增加，其风化形式逐渐由溶蚀风化为主向均匀风化过渡，当以溶蚀风化为主时，风化带应按表 B.0.2 划分，当以均匀风化为主时，风化带按表 B.0.1 划分。

表 B.0.2 碳酸盐岩溶蚀风化带划分

风化带		主要地质特征
表层强烈溶蚀风化		<p>沿断层、裂隙及层面等结构面溶蚀风化强烈，风化裂隙发育。在地表往往形成上宽下窄溶缝、溶沟、溶槽，其宽（深）一般数厘米至数米不等，且多有黏土、碎石土充填；而在地下（如勘探平酮等）则多见溶蚀风化裂隙、宽缝（洞穴）等，其规模一般数厘米至数十厘米不等，且多有黏土、碎石土等充填。</p> <p>溶蚀风化结构面之间，岩石断口保持新鲜岩石色泽，岩石原始组织结构清楚完整。</p> <p>该带岩体一般完整性较差，力学强度低。</p>
裂隙性溶蚀风化	上带	<p>沿断层、裂隙及层面等结构面溶蚀风化现象较普遍，风化裂隙较发育，结构面胶结物风化蚀变明显或溶蚀充泥现象普遍，溶蚀风化张开宽度一般 3~10mm 不等。</p> <p>结构面间的岩石组织结构无变化，保持原始完整结构，岩石表面或裂隙面风化蚀变或褪色明显。</p> <p>岩体完整性受结构面溶蚀风化影响明显，岩体强度略有下降。</p>
	下带	<p>沿部分断层、裂隙及层面等结构面有溶蚀风化现象，结构面上见有风化膜或锈膜浸染，但溶蚀充泥或夹泥膜现象少见且宽度一般小于 3mm。</p> <p>岩石原始结构清楚，组织结构无变化，岩石表面或裂隙面有轻微褪色。</p> <p>岩体完整性受结构面溶蚀风化影响轻微，岩体强度降低不明显。</p>
微新岩体		<p>保持新鲜色泽，仅岩石表面或大的裂隙面偶见褪色</p> <p>大部分裂隙紧密、闭合或为钙质薄膜充填，仅个别裂隙面有锈膜浸染或轻微蚀变</p>

B.0.3 使用表 B.0.1 和表 B.0.2 时，遇有下列情况之一时，岩体风化带的划分可适当调整：

1 除弱风化岩体外，当其他风化岩体厚度较大时，也可根据需要进一步划分。

2 选择性风化作用地区，当发育囊状风化、隔层风化、沿裂隙风化等特定形态的风化带时，可根据岩石的风化状态确定其等级。

3 某些特定地区，岩体风化剖面呈非连续性过渡时，分级可缺少一级或二级。

附录 C 边坡岩体卸荷带划分

表 C 边坡岩体卸荷带划分

卸荷类型	卸荷带分布	主要地质特征	特征指标	
			张开裂隙宽度	波速比
正常卸荷 松弛	强卸荷带	近坡体浅表部卸荷裂隙发育的区域 裂隙密度较大，贯通性好，呈明显张开， 宽度在几厘米至几十厘米之间，充填岩屑、 碎块石、植物根须，并可见条带状、团块 状次生夹泥，规模较大的卸荷裂隙内部多 呈架空状，可见明显的松动或变位错落， 裂隙面普遍锈染 雨季沿裂隙多有线状流水或成串滴水 岩体整体松弛	张开宽度>1cm 的裂隙发育（或每 米硇段张开裂隙 累计宽度>2cm）	<0.5
	弱卸荷带	强卸荷带以里可见卸荷裂隙较为发育的 区域 裂隙张开，其宽度几毫米，并具有较好的 贯通性；裂隙内可见岩屑、细脉状或膜 状次生夹泥充填，裂隙面轻微锈染 雨季沿裂隙可见串珠状滴水或较强渗水 岩体部分松弛	张开宽度<1cm 的裂隙较发育（或 每米硇段张开裂 隙 累 计 宽 度 <2cm）	0.5~ 0.75
异常卸荷 松弛	深卸荷带	相对完整段以里出现的深部裂隙松弛段 深部裂缝一般无充填，少数有锈染 岩体纵波速度相对周围岩体明显降低	—	—

附录 D 边坡稳定分析技术规定

D.0.1 边坡稳定分析应收集下列资料：

- 1 地形和地貌特征。
- 2 地层岩性和岩土体结构特征。
- 3 断层、裂隙和软弱层的展布、产状、充填物质以及结构面的组合与连通率。
- 4 边坡岩体风化、卸荷深度。
- 5 各类岩土和潜在滑动面的物理力学参数。
- 6 岩土体变形监测和地下水观测资料。
- 7 坡脚淹没、地表水位变幅和坡体透水与排水资料。
- 8 降雨历时、降雨强度和冻融资料。
- 9 地震动参数。
- 10 边坡施工开挖方式、开挖程序、爆破方法、边坡外荷载、坡脚采空和开挖坡的高度与坡度等。

D.0.2 边坡变形破坏应根据表 D.0.2 进行分类：

表 D.0.2 边坡变形破坏分类

变形破坏类型		变形破坏特征
崩塌		边坡岩体坠落或滚动
滑动	平面型	边坡岩体沿某一结构面滑动
	弧面型	散体结构、碎裂结构的岩质边坡或土坡沿弧形滑动面滑动
	楔形体	结构面组合的楔形体，沿滑动面交线方向滑动
蠕变	倾倒	反倾向层状结构的边坡，表部岩层逐渐向外弯曲、倾倒
	溃屈	顺倾向层状结构的边坡，岩层倾角与坡角大致相似，边坡下部岩层逐渐向上鼓起，产生层面拉裂和脱开
	侧向张裂	双层结构的边坡，下部软岩产生塑性变形或流动，使上部岩层发生扩展、移动张裂和下沉
流动		崩塌碎屑类堆积向坡脚流动，形成碎屑流

D.0.3 当边坡存在下列现象之一时，应进行稳定分析：

- 1 坡脚被水淹没或被开挖的新老滑坡或崩塌体。
- 2 边坡岩体中存在倾向坡外、倾角小于坡角的结构面。

3 边坡岩体中存在两组或两组以上结构面组合的楔形体，其交线倾向坡外、倾角小于边坡角。

4 坡面上出现平行坡向的张裂缝或环形裂缝的边坡。

5 顺坡向卸荷裂隙发育的高陡边坡，表层岩体已发生蠕变的边坡。

6 已发生倾倒变形的高陡边坡。

7 已发生张裂变形的下软上硬的双层结构边坡。

8 分布有巨厚崩坡积物的高陡边坡。

9 其他稳定性可疑的边坡。

D.0.4 边坡稳定分析应符合下列规定：

1 边坡岩体中实测结构面的产状、延伸长度，可进行结构面网络模拟，确定结构面贯通情况或连通率；应用赤平投影方法，确定结构面组合交线产状。

2 根据边坡工程地质条件，对边坡的变形破坏类型作出初步判断。

3 岩质边坡稳定分析可采用刚体极限平衡方法，根据滑动面或潜在滑动面的几何形状，选用合适的公式计算。同倾向多滑动面的岩质边坡宜采用平面斜分条块法和斜分块弧面滑动法，试算出临界滑动面和最小安全系数；均匀的土质边坡可采用滑弧条分法计算。根据工程实际需要可进行模型试验和原位监测资料的反分析，验证其稳定性。

4 应选择代表性的地质剖面进行计算，并应采用不同的计算公式进行校核，综合评定该边坡的稳定安全系数。

5 计算中应考虑地下水压力对边坡稳定性的不利作用。分析水位骤降时的库岸稳定性应计入地下水渗透压力的影响。在 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度大于或等于 0.10g 的地区，应计算地震作用力的影响。

附录 E 环境水腐蚀性评价

E.0.1 判别环境水的腐蚀性时，应收集流域地区或工程建筑物场地的气候条件、冰冻资料、海拔高程，岩土性质，环境水的补给、排泄、循环、滞留条件和污染情况以及类似条件下工程建筑物的腐蚀情况。

E.0.2 环境水对混凝土的腐蚀性判别，应符合表 E.0.2 的规定。

表 E.0.2 环境水对混凝土腐蚀性判别标准

腐蚀性类型	腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
一般酸性型	pH 值	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	pH>6.5 6.5≥pH>6.0 6.0≥pH>5.5 pH≤5.5
碳酸型	侵蚀性 CO ₂ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	CO ₂ <15 15≤CO ₂ <30 30≤CO ₂ <60 CO ₂ ≥60
重碳酸型	HCO ₃ ⁻ 含量 (mmol/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	HCO ₃ ⁻ >1.07 1.07≥HCO ₃ ⁻ >0.70 HCO ₃ ⁻ ≤0.70 —
镁离子型	Mg ²⁺ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	Mg ²⁺ <1000 1000≤Mg ²⁺ <1500 1500≤Mg ²⁺ <2000 Mg ²⁺ ≥2000
硫酸盐型	SO ₄ ²⁻ 含量 (mg/L)	无腐蚀 弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	SO ₄ ²⁻ <250 250≤SO ₄ ²⁻ <400 400≤SO ₄ ²⁻ <500 SO ₄ ²⁻ ≥500

注：1 本表规定的判别标准所属场地应是不具有干湿交替或冻融交替作用的地区和具有干湿交替或冻融交替作用的半湿润、湿润地区。当所属场地为具有干湿交替或冻融交替作用的干旱、半干旱地区以及高程 3000m 以上的高寒地区时，应进行专门论证。

2 混凝土建筑物不应直接接触污染源。有关污染源对混凝土的直接腐蚀作用应专门研究。

E.0.3 环境水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性判别，应符合表 E.0.3 的规定。

表 E.0.3 环境水对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性判别标准

腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
Cl ⁻ 含量 (mg/L)	弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	100~500 500~5000 >5000

注：1 表中是指干湿交替作用的环境条件。

2 当环境水中同时存在氯化物和硫酸盐时,表中的 Cl⁻含量是指氯化物中的 Cl⁻与硫酸盐折算后的 Cl⁻之和,即 Cl⁻含量=Cl⁻+SO₄²⁻×0.25,单位为 mg/L。

E.0.4 环境水对钢结构的腐蚀性判别,应符合表 E.0.4 的规定。

表 E.0.4 环境水对钢结构腐蚀性判别标准

腐蚀性判定依据	腐蚀程度	界限指标
pH 值、(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) 含量 (mg/L)	弱腐蚀 中等腐蚀 强腐蚀	pH 值 3~11、(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) <500 pH 值 3~11、(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) ≥500 pH 值 <3、(Cl ⁻ +SO ₄ ²⁻) 任何浓度

注: 1 表中是指氧能自由溶入的环境水。

2 本表亦适用于钢管道。

3 如环境水的沉淀物中有褐色絮状物沉淀(铁)、悬浮物中有褐色生物膜、绿色丛块,或有硫化氢臭味,应做铁细菌、硫酸盐还原细菌的检查,查明有无细菌腐蚀。

附录 F 大型水利水电工程围岩工程地质分类

F.0.1 大型水利水电工程围岩工程地质分类应符合本附录的规定。

F.0.2 大型水利水电工程围岩工程地质分类分为初步分类和详细分类。初步分类适用于规划阶段、可研阶段以及深埋洞室施工之前的围岩工程地质分类，详细分类主要用于初步设计、招标和施工图设计阶段的围岩工程地质分类。根据分类结果，评价围岩的稳定性，并作为确定支护类型的依据，其标准应符合表 F.0.2 的规定。

表 F.0.2 围岩稳定性评价

围岩类型	围岩稳定性评价	支护类型
I	稳定。围岩可长期稳定，一般无不稳定块体	不支护或局部铝杆或的薄层混凝土，大跨度时，喷混凝土、系统锚杆加钢筋网
II	基本稳定。图岩整体稳定，不会产生塑性变形，局部可能产生掉块	
III	局部稳定性差。围岩强度不足，局部会产生塑性变形，不支护可能产生塌方或变形破坏。完整的较软岩，可能暂时稳定	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，采用 TBM 掘进时需及时支护，跨度>20m 时，宜采用锚索或刚性支护
IV	不稳定。围岩自稳时间很短，规模较大的各种变形和破坏都可能发生	喷混凝土、系统锚杆加钢筋网，刚性支护，并浇筑混凝土衬砌。不适宜于开敞式 TBM 施工
V	极不稳定。围岩不能自稳，变形破坏严重	

F.0.3 围岩初步分类以岩石强度、岩体完整程度、岩体结构类型为基本依据，以岩层走向与洞轴线的关系、水文地质条件为辅助依据，并应符合表 F.0.3 的规定。

表 F.0.3 围岩初步分类

围岩类别	岩质类型	岩体完整程度	岩体结构类型	围岩分类说明
I、II	硬质岩	完整	整体或巨厚层状结构	坚硬岩定 I 类，中硬岩定 II 类
II、III		较完整	块状结构、次块状结构	坚硬岩定 II 类，中硬岩定 III 类，薄层状结构定 III 类
II、III			厚层或中厚层状结构、层（片理）面结合牢固的薄层状结构	
III、IV			互层状结构	
III、IV		完整性差	薄层状结构	岩质均一且无软弱夹层时可定 III 类
III			镶嵌结构	—
IV、V		较破碎	碎裂结构	有地下水活动时定 V 类
V		破碎	碎块或碎屑状散体结构	—

III、IV	软质岩	完整	整体或巨厚层状结构	较软岩定III类，软岩定IV类
IV、V		较完整	块状或次块状结构	较软岩定IV类，软岩定V类
			厚层、中厚层或互层状结构	
		完整性差	薄层状结构	较软岩无夹层时可定IV类
		较破碎	碎裂结构	较软岩可定IV类
破碎	碎块或碎屑状散体结构	—		

F.0.4 岩质类型的确定，应符合表 F.0.4 的规定。

表 F.0.4 岩质类型划分

岩质类型	硬质岩		软质岩		
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩	极软岩
岩石饱和单轴抗压强度 R_b (MPa)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$15 \geq R_b > 5$	$R_b \leq 5$

F.0.5 岩体完整程度根据结构面组数、结构面间距确定，并应符合表 F.0.5 的规定。

表 F.0.5 岩体完整程度划分

组数 间距 (cm)	1~2	2~3	3~5	>5 或无序
>100	完整	完整	较完整	较完整
50~100	完整	较完整	较完整	差
30~50	较完整	较完整	差	较破碎
10~30	较完整	差	较破碎	破碎
<10	差	较破碎	破碎	破碎

F.0.6 岩体结构类型划分应符合表 F.0.6 的规定。

表 F.0.6 岩体结构分类

类型	亚类	岩体结构特征
块状结构	整体结构	岩体完整，呈巨块状，结构面不发育，间距大于 100cm
	块状结构	岩体较完整，呈块状，结构面轻度发育，间距一般 50~100cm
	次块状结构	岩体较完整，呈次块状，结构面中等发育，间距一般 30~50cm

层状结构	巨厚层状结构	岩体完整，呈巨厚状，层面不发育，间距大于 100cm
	厚层状结构	岩体较完整，呈厚层状，层面轻度发育，间距一般 50~100cm
	中厚层状结构	岩体较完整，呈中厚层状，层面中等发育，间距一般 30~50cm
	互层结构	岩体较完整或完整性差，呈互层状，层面较发育或发育，间距一般 10~30cm
	薄层结构	岩体完整性差，呈薄层状，层面发育，间距一般小于 10cm
镶嵌结构		岩体完整性差，岩块镶嵌紧密，结构面较发育到很发育，间距一般 10~30cm
碎裂结构	块裂结构	岩体完整性差，岩块间有岩屑和泥质物充填，嵌合中等紧密~较松弛，结构面较发育到很发育，间距一般 10~30cm
	碎裂结构	岩体破碎，结构面很发育，间距一般小于 10cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎，岩块夹岩屑或泥质物
	碎屑状结构	岩体破碎，岩屑或泥质物夹岩块

F.0.7 对深埋洞室，当可能发生岩爆或塑性变形时，围岩类别宜降低一级。

F.0.8 围岩工程地质详细分类应以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状五项因素之和的总评分为基本判据，围岩强度应力比为限定判据，并应符合表 F.0.8 的规定。

表 F.0.8 地下洞室围岩详细分类

围岩类别	围岩总评分 T	围岩强度应力比 S
I	>85	>4
II	$85 \geq T > 65$	>4
III	$65 \geq T > 45$	>2
IV	$45 \geq T > 25$	>2
V	≤ 25	

注：II、III、V 类围岩，当围岩度应力比小于本表规定时，围岩类别宜相应降低一级。

F.0.9 围岩强度应力比 S 可根据下式求得：

$$S = \frac{R_b \cdot K_v}{\sigma_m} \quad (\text{F.0.9})$$

式中 R_b —— 岩石饱和单轴抗压强度 (MPa)；

K_v —— 岩体完整性系数；

σ_m —— 围岩的最大主应力 (MPa)，当无实测资料时宜以自重应力代替。

F.0.10 围岩详细分类中五项因素的评分应符合下列规定：

1 岩石强度的评分应符合表 F.0.10-1 的规定。

表 F.0.10-1 岩石强度评分

岩质类型	硬质岩		软质岩	
	坚硬岩	中硬岩	较软岩	软岩
岩石饱和单轴抗压强度 R_b (MPa)	$R_b > 60$	$60 \geq R_b > 30$	$30 \geq R_b > 15$	$R_b \leq 15$
岩石强度评分 A	30~20	20~10	10~5	5~0

注：1 岩石饱和单轴抗压强度大于 100MPa 时，岩石强度的评分为 30。

2 岩石饱和单轴抗压强度小于 5MPa 时，岩石强度的评分为 0。

3 对于互层和夹层状岩体，岩石强度宜以室内试验结果为准。

2 岩体完整程度的评分应符合表 F.0.10-2 的规定。

表 F.0.10-2 岩体完整程度评分

岩体完整程度		完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
岩体完整性系数 K_v		$K_v > 0.75$	$0.75 \geq K_v > 0.55$	$0.55 \geq K_v > 0.35$	$0.35 \geq K_v > 0.15$	$K_v \leq 0.15$
岩体完整性评分 B	硬质岩	40~30	30~22	22~14	14~6	<6
	软质岩	25~19	19~14	14~9	9~4	<4

注：1 当 $60\text{MPa} \geq R_b > 80\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和 > 65 时，按 65 评分。

2 当 $30\text{MPa} \geq R_b > 15\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和 > 55 时，按 55 评分。

3 当 $15\text{MPa} \geq R_b > 5\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态评分之和 > 40 时，按 40 评分。

4 当 $R_b \leq 5\text{MPa}$ ，岩体完整程度与结构面状态不参加评分。

3 结构面状态的评分应符合表 F.0.10-3 的规定。

表 F.0.10-3 结构面状态评分

结构面状态	宽度 W (mm)	$W < 0.5$		$0.5 \leq W < 5.0$									$W \geq 5.0$			
	充填物	—		无充填			岩屑			泥质			岩屑	泥质	无充填	
	起伏粗糙状况	起伏粗糙	平直光滑	起伏粗糙	起伏平滑或平直粗	平直光滑	起伏粗糙	起伏平滑或平直粗	平直光滑	起伏粗糙	起伏平滑或平直粗	平直光滑	—	—	—	

					糙			糙			糙				
结构面状态评分 C	硬质岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6	0~3
	较软岩	27	21	24	21	15	21	17	12	15	12	9	12	6	
	软岩	18	14	17	14	8	14	11	8	10	8	6	8	4	0~2

注：1 结构面的延伸长度小于 3m 时，硬质岩、较软岩的结构面状态评分另加 3 分，软岩加 2 分；结构面延伸长度大于 10m 时，硬质岩、较软岩减 3 分，软岩减 2 分。

2 结构面状态最低分为 0。

4 地下水状态的评分应符合表 F.0.10-4 的规定。

表 F.0.10-4 地下水评分

活动状态		渗水到滴水	线状流水	涌水	
水量 Q[L/(min·10m 洞长)]或压力水头 H(m)		$Q \leq 25$ 或 $H \leq 10$	$25 < Q \leq 125$ 或 $10 < H \leq 100$	$Q > 125$ 或 $H > 100$	
基本因素评分 T'	$T' > 85$	地下水评分 D	0	0~-2	-2~-6
	$85 \geq T' > 65$		0~-2	-2~-6	-6~-10
	$65 \geq T' > 45$		-2~-6	-6~-10	-10~-14
	$45 \geq T' > 25$		-6~-10	-10~-14	-14~-18
	$T' \leq 25$		-10~-14	-14~-18	-18~-20

注：1 基本因素评分 T 是前述岩石强度评分 A、岩体完整性评分 B 和结构面状态评分 C 的和。

2 干燥状态取 0 分。

5 主要结构面产状的评分应符合表 F.0.10-5 的规定。

表 F.0.10-4 主要结构面产状评分

结构面走向与洞轴线夹角 β	$90^\circ \geq \beta \geq 60^\circ$				$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$				$\beta < 30^\circ$				
	$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$	$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$	$\alpha > 70^\circ$	$70^\circ \geq \alpha > 45^\circ$	$45^\circ \geq \alpha > 20^\circ$	$\alpha \leq 20^\circ$	
结构面产状评分 E	洞顶	0	-2	-5	-10	-2	-5	-10	-12	-5	-10	-12	-12
	边墙	-2	-5	-10	0	-5	-10	-2	0	-10	-12	-5	0

注：按岩体完整程度分级为完整性差、较破碎和破碎的围岩不进行主要结构面产状评分的修正。

F.0.11 对过沟段、极高地应力区 ($>30\text{MPa}$)、特殊岩土及岩溶化岩体的地下洞室围岩稳定性以及地下洞室施工期的临时支护措施需专门研究,对钙(泥)质弱胶结的干燥砂砾石、黄土等土质围岩的稳定性和支护措施需要开展针对性的评价研究。

F.0.12 跨度大于 20m 的地下洞室围岩的分类除采用本附录的分类外,还宜采用其他有关国家标准综合评定,对国际合作的工程还可采用国际通用的围岩分类进行对比使用。

附录 G 中小型水利水电工程围岩工程地质分类

G.0.1 本附录适用于中小型水利水电工程直径小于 5m 的洞室，不适用于高地应力区、山体不稳定区、埋深小于 2 倍洞径的地下洞室和土质洞室。直径大于 5m 的洞室可按附录 F 执行。

G.0.2 中小型水利水电工程围岩工程地质分类应符合表 G.0.2 的规定。

表 G.0.2 围岩工程地质分类

围岩类别	围岩稳定程度	围岩主要工程地质特征	毛洞自稳能力和变形	支护类型
I	稳定	坚硬岩，新鲜—微风化，层状岩为巨厚层，且层间结合牢固，岩体量整体~块状结构，强度高、完整，节理裂隙不发育，无不利结构面组合和明显	成型好，可长期稳定，偶有掉块，深埋或高地应力区可能有岩爆	不支护或随机锚杆
II	基本稳定	坚硬岩，微风化块状或中、厚层状，岩体强度高，较完整，结构面粗糙，层间结合良好，结构面无不稳定组合及软弱夹层，地下水活动轻微，洞线与主要结构面走向夹角大于 30°	基本稳定，围岩整体能维持较长时间稳定，局部可能有掉块，平缓岩层或裂隙顶部易局部坍塌	一般不支护，部分喷混凝土结合锚杆加固，遇平缓岩层拱顶需及时支护
		中硬岩，微风化，岩体呈整体结构或厚层状，岩体较完整，无不利结构面组合，节理裂隙较发育，无软弱夹层，地下水活动轻微，洞线与主要结构面走向夹角大于 45°，岩层倾角大于 45°		
III	局部稳定性差	坚硬岩：薄层状，微风化夹弱风化，无软弱夹层，受构造影响严重，节理裂隙发育，岩体完整性差，裂面有夹泥或泥膜，层间结合差，地下水活动轻微，洞线与主要结构面走向夹角大于 45°，岩层倾角大于 30°	围岩稳定受软弱结构面组合控制，可发生小~中等坍塌，毛洞短时间内可稳定。完整的较软岩，稳定性较好，但强度不足，局部会产生塑性变形或小~中等坍塌，可短期稳定	喷混凝土或喷锚支护，拱顶系统锚杆
		坚硬岩为主，夹中硬岩或较软岩，或呈互层状，微风化夹较多弱风化岩，受构造影响节理裂隙发育，有贯穿性软弱结构面或局部存在不利组合，岩体完整性差，呈块状结构，地下水活动中等，沿裂隙面或软弱结构面有大量滴水或线流，洞线与主要结构面走向夹角大于 45°		
		中硬岩，微风化夹弱风化火成岩、变质岩，中厚层沉积岩，岩体完整性差，节理裂隙发育，有贯穿性软弱结构面，地下水活动中等，沿裂隙面或软弱结构面有大量滴水或线		

		流，洞线与主要结构面走向交角大于 30°		
		较软岩，微风化，岩性均一，口厚层状，无软弱夹层，岩体完整，节理裂隙不发育，闭合无充填，无控制性软弱结构面，岩体抗风化能力低，暴露大气和湿水后，强度降低较快，地下水活动轻微、洞线与岩层走向夹角大于 30°		
IV	不稳定	坚硬岩与软岩互层，弱风化夹强风化，节理裂隙发育，岩体较破碎，层面和其他结构面易构成不稳定块体或存在不利结构面组合，地下水活动强烈，洞线与主要结构面走向夹角及岩层倾角均小于 30°	围岩自稳时间很短，拱顶常有坍落，边墙也有失稳现象，时效效应明显，可能产生较大的变形破坏，软岩流变显著，可产生较大的塑性变形	开挖后需及时支护，喷锚挂网，必要时可全部衬砌或设钢拱架，需注意施工安全
		中硬岩，薄层状，弱风化带夹软弱夹层，岩体节理裂隙发育，破碎，局部夹泥，层间结合差，地下水活动中等，洞线与岩层走向夹角及岩层倾角均小于 30°		
		较软岩或软岩，弱风化为，节理裂隙较发育，层间错动常见，多为软弱面与其他结构面形成不利组合，地下水活动轻微，洞线与岩层走向夹角大于 30°		
V	极不稳定	中硬岩，强风化，岩体破碎，受地质构造影响，节理裂隙很发育，无规则，且张开夹泥，咬合力差，呈不规则碎裂块体状，地下水活动中等，洞线与结构面夹角小于 30°，倾角平缓	难于自稳，边墙、拱顶极易坍塌变形，经常是边挖边塌，甚至出现冒顶和地面下陷，变形破坏严重	成洞条件差，开挖需支护紧跟或超前支护，全断面衬砌
		较软岩或软岩，弱风化夹强风化，岩体破碎，受地质构造影响，节理裂隙发育，多张开有泥，有软弱夹层和顺层错动带，有大量临空切割体，地下水活动中等~强烈，加速岩体风化和降低结构面抗剪强度，洞线与结构面夹角大于 30°，岩层倾角小于 30°		
		全风化，多呈松散碎石土状不均一散体结构，地下水活动中等~强烈		

G.0.3 围岩工程地质分类中有关岩石强度、层状岩石单层厚度、岩体完整程度、节理裂隙发育程度及地下水活动程度的划分应符合下列规定：

1 岩石强度的划分应符合表 G.0.3-1 的规定。

表 G.0.3-1 岩质分类与岩石强度分级

岩质分类	岩石强度分级	单轴饱和抗压强度 R_b (MPa)	岩体纵波波速值 V_p (km/s)	点荷载强度 I_s (MPa)	岩体回弹仪测试值 r
硬质岩	坚硬岩	$60 < R_b$	$5 < V_p$	$8 < I_s$	$60 < r$
	中硬岩	$30 < R_b \leq 60$	$4 < V_p \leq 5$	$4 < I_s \leq 8$	$35 < r \leq 60$
软质岩	较软岩	$15 < R_b \leq 30$	$3 < V_p \leq 4$	$1 < I_s \leq 4$	$20 < r \leq 35$
	软岩	$5 < R_b \leq 15$	$2 < V_p \leq 3$	$I_s \leq 1$	$r < 20$

注：对于互层和夹层状岩体，各参数值宜以室内试验结果为准。

2 层状岩石单层厚度的划分应符合表 G.0.3-2 的规定。

表 G.0.3-2 层状岩石单层厚度分级

层状岩石分级	单层厚度 h (cm)	层状岩石分级	单层厚度方 h (cm)
巨厚层	$100 \leq h$	薄层	$5 \leq h < 20$
厚层	$50 \leq h < 100$	极薄层	$h < 5$
中厚层	$20 \leq h < 50$		

3 岩体完整程度的划分应符合表 F.0.10-2 的规定。

4 节理裂隙发育程度的划分应符合表 G.0.3-3 的规定。

表 G.0.3-3 节理裂隙发育程度分级

节理裂隙发育程度	节理间距 d (m)	节理特征
不发育	$2 \leq d$	规则裂隙少于 2 组，延伸长度小于 3m，多闭合，无充填
较发育	$0.5 \leq d < 2.0$	规则裂隙 2~3 组，一般延伸长度小于 10m，多闭合，无充填，或有少量方解石脉或岩屑充填
发育	$0.1 \leq d < 0.5$	一般规则裂隙多于 3 组，延伸长短不均，多超过 10m，多张开、夹泥
很发育	$d < 0.1$	一般规则裂隙多于 3 组，并有很多不规则裂隙，杂乱无章，多张开、夹泥，并有延伸较长的大裂隙

5 地下水活动程度的划分应符合表 G.0.3-4 的规定。

表 G.0.3-4 地下水活动程度分级

地下水活动程度	地下水活动状态
无	洞室位于地下水位以上，施工时岩壁干燥或局部潮湿
轻微	洞室临近地下水位，施工时沿岩体结构面有渗水或滴水
中等	洞室位于地下水位以下，外水压力水头小于 10m，岩体透水性和富

	水性较差，施工时沿裂隙破碎结构面有大量滴水线状流水
较强烈	外水压力水头 10~100m，岩体透水性与富水性较好，施工时岩溶裂隙管道、断层破碎带向斜蓄水构造有线状流水线大量突水
强 烈	外水压力水头大于 100m，施工时沿岩端管道、大断层破碎带大量涌水

G.0.4 各类围岩主要物理力学参数可按表 G.0.4 选用。

表 G.0.4 各类围岩主要物理力学参数

围岩类别	密度 γ (g/cm ³)	内摩擦角 φ (°)	凝聚力 C (MPa)	变形模量 E (GPa)	泊松比 μ	单位弹性抗力系数 K_0 (MPa/cm)	
						有压洞	无压洞
I	$2.7 \leq \gamma$	$45 < \varphi$	$3.5 < C$	$20.0 < E$	$\mu < 0.17$	$100 < K_0 \leq 200$	$20 < K_0 \leq 50$
II	$2.5 \leq \gamma < 2.7$	$40 < \varphi \leq 45$	$1.7 < C \leq 3.5$	$10.0 < E \leq 20.0$	$0.17 \leq \mu < 0.23$	$50 < K_0 \leq 100$	$15 < K_0 \leq 20$
III	$2.3 \leq \gamma < 2.5$	$35 < \varphi \leq 40$	$0.4 < C \leq 1.7$	$5.0 < E \leq 10.0$	$0.23 \leq \mu < 0.29$	$20 < K_0 \leq 50$	$5 < K_0 \leq 15$
IV	$2.1 \leq \gamma < 2.3$	$30 < \varphi \leq 35$	$0.1 < C \leq 0.4$	$0.5 < E \leq 5.0$	$0.29 \leq \mu < 0.35$	$5 < K_0 \leq 20$	$1 < K_0 \leq 5$
V	$\gamma < 2.1$	$\varphi \leq 30$	$C \leq 0.1$	$E \leq 0.5$	$0.35 \leq \mu$	$K_0 \leq 5$	$K_0 \leq 1$

附录 H 隧洞涌水量预测

H.1 一般规定

H.1.1 遇有下列情况之一应判定隧洞存在涌水可能性并预测涌水量：

- 1 隧洞穿越富水岩层。
- 2 隧洞穿越富水的断层带、裂隙密集带或其他构造破碎带。
- 3 隧洞穿越可溶岩层与非可溶岩层接触带。
- 4 隧洞穿越充水溶洞、地下暗河等岩溶洞穴管道。
- 5 隧洞位于岩溶地下水水平径流带或深部缓流带。

H.1.2 遇有下列情况之一应判定隧洞存在涌水可能性并预测涌水量：

- 1 隧洞区降水量、蒸发蒸散量及地表水体的类型、规模等有关气象、水文资料。
- 2 隧洞区地形地貌形态、地层岩性和地质构造及其透水性、富水性。
- 3 隧洞区地下水及含水层、隔水层、汇水构造、阻水构造的分布、类型、性质。
- 4 隧洞区岩溶发育程度、规模、连通性及岩溶水赋存、补给条件。
- 5 隧洞区水文地质单元划分及地下水补给、径流、排泄条件。
- 6 隧洞围岩的充水条件和类型。

H.1.3 隧洞涌水量预测应符合下列规定：

- 1 应根据工程地质、水文地质条件分段进行正常涌水量、最大涌水量预测。
- 2 预测方法应根据勘察资料、气象水文资料和水文地质条件确定，并宜采用不同预测方法相互验证。

H.2 正常涌水量预测

H.2.1 应根据抽水试验资料，采用 Q-S 曲线方程外推法预测隧洞正常涌水量。

H.2.2 应以地质、水文地质条件相似的既有隧洞（或已施工洞段）涌水资料，采用水文地质比拟法按式（H.2.2-1）～式（H.2.2-3）预测新建隧洞（或后期施工洞段）正常涌水量：

$$Q_s = Q'_s \frac{FS}{F'S'} \quad (\text{H.2.2-1})$$

$$F = BL \quad (\text{H.2.2-2})$$

$$F' = B'L' \quad (\text{H.2.2-3})$$

式中 Q_s 、 Q'_s —— 新建、既有隧洞通过含水体地段的正常涌水量， m^3/d ；
 F 、 F' —— 新建、既有隧洞通过含水体地段的涌水面积， m^2 ；
 S 、 S' —— 新建、既有隧洞通过含水体中自静止水位起的水位降深， m ；
 B 、 B' —— 新建、既有隧洞洞身横断面的周长， m ；
 L 、 L' —— 新建、既有隧洞通过含水体地段的长度， m 。

H.2.3 当隧洞通过地表水体时，可采用下列方法预测隧洞正常涌水量：

1 采用地下径流深度法，可按式（H.2.3-1）～式（H.2.3-3）计算：

$$Q_s = 2.74hA \quad (\text{H.2.3-1})$$

$$h = W - H - E - SS \quad (\text{H.2.3-2})$$

$$A = LB \quad (\text{H.2.3-3})$$

式中 Q_s —— 隧洞通过含水体地段的正常涌水量， m^3/d ；
 h —— 年地下径流深度， mm ；
 A —— 隧洞通过含水体地段的集水面积， km^2 ；
 W —— 年降水量， mm ；
 H —— 年地表径流深度， mm ；
 E —— 年蒸发蒸散量， mm ；
 SS —— 年地表滞水深度， mm ；
 L —— 隧洞通过含水体地段的长度， km ；
 B —— 隧洞涌水地段 L 长度内对两侧的影响宽度， km 。

2 采用地下径流模数法，可按式（H.2.3-4）、式（H.2.3-5）计算：

$$Q_s = MA \quad (\text{H.2.3-4})$$

$$M = Q'/F \quad (\text{H.2.3-5})$$

式中 M —— 年地下径流模数， $m^3/(d \cdot km^2)$ ；
 Q' —— 地下水补给的河流的流量或下降泉流量（采用枯水期流量计算）， m^3/d ；

F —— 与 Q' 的地表水或下降泉流量相当的地表流域面积， km^2 ；

其他符号意义同前。

H.2.4 当隧洞埋藏较浅，通过潜水含水体时，可采用降水入渗法按式（H.2.4）预测隧洞正常涌水量：

$$Q_s = 2.74\alpha WA \quad (\text{H.2.4})$$

式中 α —— 降水入渗系数；

其他符号意义同前。

H.2.5 当隧洞通过岩溶区,可采用水均衡法按式(H.2.5)概略预测隧洞涌水量:

$$Q_s = \frac{1000\alpha WA}{365} \quad (\text{H.2.5})$$

式中 Q_s —— 隧洞通过岩溶含水地段段的正常涌水量, m^3/d ;

A —— 隧洞通过含水地段段的集水面积, km^2 ;

α —— 入渗系数,按岩溶发育程度确定,宜采用 0.3~0.5;

W —— 涌水量计算时段的多年平均降水量, mm 。

H.2.6 当隧洞通过潜水含水层时,可采用裘布依理论公式,可按式(H.2.6)预测隧洞正常涌水量:

$$Q_s = LK \frac{H^2 - h^2}{R_y - r_0} \quad (\text{H.2.6})$$

式中 Q_s —— 隧洞正常涌水量, m^3/d ;

K —— 含水层的渗透系数, m/d ;

H —— 洞底以上潜水含水层厚度, m ;

h —— 洞内排水沟假设水深(宜考虑水跃值), m ;

R_y —— 隧洞涌水地段的引用补给半径, m ;

L —— 隧洞通过含水层的长度, m ;

r_0 —— 洞身横断面等价圆半径, m 。

H.2.7 当隧洞通过的含水层各个方向上的透水性或补给条件差别很大时,宜将隧洞区分成若干扇形区段,然后根据辐射流公式,分段计算隧洞正常涌水量:

1 含水层为潜水时,可按式(H.2.7-1)分段计算正常涌水量:

$$Q_s = \frac{K(b_1 - b_2)}{\ln b_1 - \ln b_2} \times \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (\text{H.2.7-1})$$

式中 Q_s —— 隧洞通过含水层的分段正常涌水量, m^3/d ;

K —— 扇形区段内含水层的渗透系数, m/d ;

b_1 —— 上游计算断面宽度, m ;

b_2 —— 下游计算断面宽度, m ;

h_1 —— 上游计算断面潜水层厚度, m ;

h_2 —— 下游计算断面潜水层厚度, m ;

L —— 上、下游断面之间的平均距离, m 。

2 含水层为承压水时,可按式(H.2.7-2)分段计算正常涌水量:

$$Q_s = \frac{KM(b_1 - b_2)(H_1 - H_2)}{(\ln b_1 - \ln b_2)L} \quad (\text{H.2.7-2})$$

式中 Q_s —— 隧洞通过含水体的分段正常涌水量, m^3/d ;
 M —— 扇形区段内承压水含水层的平均厚度, m ;
 H_1 —— 上游计算断面承压水位, m ;
 H_2 —— 下游计算断面承压水位, m ;

其他符号意义同前。

H.3 最大涌水量预测

H.3.1 以地质、水文地质条件相似的既有隧洞（或已施工洞段）的最大涌水量资料，采用水文地质比拟法，可按本规程 H.2.2 条的规定预测新建隧洞（或后期施工洞段）的最大涌水量。

H.3.2 隧洞通过岩溶区，采用最大涌水量计算时段的多年平均最大降水量(W)，可按本规程 E.2.5 条的规定预测隧洞最大涌水量。

H.3.3 当隧洞通过潜水含水层时，可采用下列方法预测隧洞最大涌水量：

1 采用古德曼经验式，可按式 (H. 3. 3-1) 计算：

$$Q_s = L \frac{2\pi KH}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{H. 3.3 - 1})$$

式中 Q_s —— 隧洞通过含水层地段的最大涌水量, m^3/d ;
 K —— 含水层渗透系数, m/d ;
 H —— 静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离, m ;
 d —— 洞身横断面等价圆直径, m ;
 L —— 隧洞通过含水层的长度, m 。

2 采用佐藤邦明非稳定流公式，可按式 (H. 3. 3-2) 计算：

$$q_0 = \frac{2\pi m K h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2h^2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi r_0}{4h_c} \right]} \quad (\text{H. 3.3 - 2})$$

式中 q_0 —— 隧洞通过含水层地段的单位长度最大涌水量, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$;
 m —— 换算系数，宜取 0.86;
 K —— 含水层渗透系数, m/s ;
 h_2 —— 静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离, m ;
 r_0 —— 洞身横断面等价圆半径, m 。
 h_c —— 含水层厚度, m 。

附录 J 隧洞施工超前地质预报方法

J.0.1 隧洞施工超前地质预报应包括下列主要内容：

- 1 地层岩性预报，主要是软弱岩层、破碎岩层和特殊岩（土）体的分布、厚度、岩性特征、结构特征的预报。
- 2 地质构造预报，主要是断层、裂隙密集带、破碎带等的分布、规模、破碎程度、结构特征的预报。
- 3 地下水预报，主要是含水层、储水构造、岩溶管道的分布、规模、富水程度的预报。
- 4 不良地质现象预报，主要是岩溶洞穴、采空区等的位置、规模、充填情况的预报。

J.0.2 隧洞施工超前地质预报应以前期勘察成果和已开挖洞段地质资料为基础，根据预报的主要内容，结合隧洞的工程地质、水文地质条件和施工方法合理选择预报方法，并宜采用两种或两种以上方法进行相互验证的综合超前地质预报。隧洞施工超前地质预报方法可按表 J.0.2 选择。

表 J.0.2 隧洞施工超前地质预报方法

分类	方法		适用性	
直接预报方法	超前钻探法		适用于各种地质现象的预报	
	超前导洞法			
间接预报方法 (物探法)	弹性波反射法	地震反射波法	主要适用于探测地层岩性界线、地质构造和不良地质体的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区每次探测距离宜 100m，岩体完整硬质岩地层每次探测距离宜 120m
		水平声波剖面法	主要适用于探测地层岩性界线、地质构造和不良地质体的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区每次探测距离宜 20m，岩体完整硬质岩地层每次探测距离宜 50m
		负视速度法	主要适用于探测地层岩性界线、地质构造和不良地质体的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区每次探测距离宜 30m，岩体完整硬质岩地层每次探测距离宜 50m
		陆地声纳法	主要适用于探测地层岩性界线、地质构造和不良地质体的分布	软弱破碎地层或岩溶发育区每次探测距离宜 20m，岩体完整硬质岩地层每次探测距离宜 50m
	探地雷达法		主要适用于岩溶及破碎带、软弱夹层等不均匀地质体探测。完整灰岩地段探测距离不宜大于 30m，岩溶发育地段的每次探测距离应根据雷达波形确定	
	红外探测法		主要适用于探测水体的存在及方位，每次探测距离不宜大于 30m	
	高分辨直流电法		主要适用于探测地下水体分布的位置及相对含水量大小，每次探测距离不宜大于 80m	

J.0.3 隧洞施工超前地质预报根据需要宜采用长距离预报、中距离预报、短距离预报，并应以长距离预报指导中距离预报，以中距离预报指导短距离预报。

J.0.4 应根据超前地质预报信息，结合地质调查，综合分析、评价可能产生的围岩变形、塌方、涌水等不良地质现象。

本规程用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，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，在条件许可时首先应这样做的：
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用词，采用“可”。

引用标准名录

- 《水力发电工程地质勘察规范》 GB 50287-2006
《水利水电工程地质勘察规范》 GB 50487-2008
《中小型水利水电工程地质勘察规范》 SL 55-2005
《引调水线路工程地质勘察规范》 SL 629-2014

广西勘察设计协会团体标准
广西水利水电隧洞工程地质勘察规程

T/GEDA xxx-2024

条文说明

目 次

1	总 则.....	- 49 -
3	基本规定.....	- 50 -
4	规划设计阶段工程地质勘察.....	- 51 -
5	可行性研究阶段工程地质勘察.....	- 52 -
6	初步设计阶段工程地质勘察.....	- 53 -
7	招标设计阶段工程地质勘察.....	- 54 -
7.1	一般规定.....	- 54 -
7.2	工程地质复核.....	- 54 -
7.3	专门性工程地质勘察.....	- 54 -
7.4	天然建筑材料.....	- 55 -
8	施工详图设计阶段工程地质勘察.....	- 56 -
8.1	一般规定.....	- 56 -
8.2	专门性工程地质勘察.....	- 56 -
8.3	施工地质.....	- 57 -

1 总则

1.0.1 近些年来，广西壮族自治区行政区划范围内实施了大量的水利水电隧洞工程，积累了丰富的经验。为了统一和明确各类型水利水电隧洞工程地质勘察的工作程序、深度要求和勘察内容、方法，制定本规程。

1.0.2 本规程适用的大型和中小型水利水电工程是指按现行国家标准《防洪标准》GB 50201 所确定的工程等别。

1.0.3 本规程的勘察阶段主要针对大型水利水电隧洞工程进行划分，对于中小型水利水电工程隧洞工程，勘察阶段可以适当合并。

3 基本规定

3.0.7 不同的自然条件和地质条件，隧洞工程地质勘察工作的重点、深度要求、采用的手段、方法有很大差异。勘察工作量、勘察手段、方法和勘察工作布置要结合地质条件复杂程度进行布置，表 1 是水利水电隧洞工程地质条件复杂程度划分标准。

本规程规定在勘察工作中，要注意新技术、新方法的应用，体现了科学技术是第一生产力的精神。

表 1 隧洞工程地质条件复杂程度划分

建筑物	I类（简单）	II类（中等）	III类（复杂）
引水隧洞	1.地震基本烈度等于或小于 6 度区，或虽为 7 度区，但对建筑抗震有利的地段 2.周边地质环境良好，无剧烈物理地质现象 3.地质构造较简单，断裂构造不发育，低地应力 4.地层岩性较单一，无特殊岩土层分布 5.水文地质条件简单，不存在大的涌水突泥问题 6.进出口边坡地质条件较好	1.地震基本烈度 7 度区，对建筑抗震不利的地段 2.周边地质环境较差，存在对建筑物有影响的物理地质现象，但规模不大，类型较单一 3.地质构造较复杂，断裂构造发育，但产状较有利。无区域性断裂通过，地应力中等 4.地层岩性较复杂，有厚度不大的软岩 *5.无有害气体，无地温异常，有轻度岩爆 6.水文地质条件较复杂，有范围不大的强透水带，局部承压水，局部存在涌水突泥问题 *7.进出口边坡存在局部稳定问题	1.深埋长隧洞；水下（湖、河、海）隧洞；城市地下隧洞 2.地震基本烈度 7 度或大于 7 度区，且对建筑抗震危险的地段 3.周边地质环境差，物理地质现象强烈 4.地质构造复杂，有大断裂或区域性断裂通过，高地应力 5.地层岩性复杂，有较大范围的软岩、特殊岩土分布；新第三系或第四系松散地层中的隧洞 6.存在有害气体，或地温异常，或中~重度岩爆 7.水文地质条件复杂，岩溶发育区，有强透水带，局部承压水。存在涌水突泥问题 *8.进出口为高陡边坡
备注	1 中等和复杂地区，除有*项为非决定因子外，其他任一项因子，即可确定该地区的复杂等级。 2 对建筑抗震有利、不利和危险地段划分，可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定确定。		

4 规划设计阶段工程地质勘察

4.0.4 对隧洞勘察方法进行了规定。

1 开展勘察工作前，首先要收集和分析已有的地质资料，特别是利用航（片）资料分析线路的主要地质现象和主要工程地质问题，但对主要地质现象如区域性断裂构造、地层接触关系等应实地校核。

2 工程地质测绘是规划设计阶段隧洞工程的主要地质勘察方法。考虑到规划设计阶段方案变化较大，为有利于方案比选，测绘范围可适当加宽。

3 隧洞进出口、浅埋段、过沟段通常地质条件薄弱、复杂地段，是隧洞勘察的重点，建议布置少量控制性勘探点。

5 物探具有轻便、快捷、成本低的优点，对方案布置和线路规划论证有重要意义的地段要采取多种方法进行综合物探，探查覆盖层厚度、地层界线、构造破碎带分布、地下水位等。

5 可行性研究阶段工程地质勘察

5.0.2 对隧洞工程地质勘察进行了规定。

7 深埋长隧洞工程一般地层岩性多变，同时可能存在突涌水（泥）、岩体大变形、有害有毒气体、高地温、高地应力及岩爆等工程地质问题，产生这些问题的水文地质和工程地质条件是深埋长隧洞勘察的重点。

5.0.3、5.0.4 对大型和中小型水利水电隧洞工程勘察方法进行了规定。

勘探工作的布置，取决于地形、地质条件的复杂程度。勘探手段强调在地质条件复杂的隧洞进口、隧洞出口、榜山、过沟浅埋段等部位布置平硐和钻探。因为这些地段上覆岩体厚度较小，也是最容易出现工程地质问题的地段。

深埋长隧洞由于埋深大、洞线长、又常常位于山高坡陡地区，工程地质勘察难度极大，当前还没有成熟、可靠的勘察手段和方法。广泛收集已有的各种比例尺的地质图和航片、卫片资料，充分利用航片、卫片解译技术，对已建工程进行调研，总结已有工程经验，进行工程地质类比分析，是一项重要工作。重视工程地质测绘工作，必要时进行较大范围的测绘和对重要地质现象进行野外追踪，对地质问题的宏观判断极为重要。

钻探是最常用的勘探手段，在孔内应尽可能地进行地应力、地温、地下水位、岩体渗透性等测试，以取得更多的资料。

6 初步设计阶段工程地质勘察

6.0.2 本条所指的隧洞包括导流洞、泄洪洞、引水洞、防空洞及输水隧洞等。

4 近年来部分隧洞跨越活动断裂带，评价活动断裂带的活动情况及其对工程的影响，也是采取工程措施的依据。

5 隧洞掘进时如发生突水（泥）影响施工安全和施工进度，必须予以重视。

6 当隧洞穿越大的岩溶水系统、岩溶洼地时，地质条件复杂，勘察难度大，根据多年实践经验，需要扩大测绘范围，并应进行专题研究，提高预测评价的准确性。

9 隧洞洞径大于 15m 时，需分部位研究结构面的组合及其对围岩稳定的影响。

10 岩层中如存在有害气体和放射性物质，不仅影响施工安全而且对长期运行会造成不利影响，必须予以重视。

7 招标设计阶段工程地质勘察

7.1 一般规定

7.1.1 根据 1998 年水利部发布的《水利工程建设程序管理暂行规定》，招标设计属于施工准备阶段的一项工作内容。招标设计的前提是初步设计报告已经批准。通过招标设计阶段工程地质勘察，进一步复核工程地质结论，查明遗留的工程地质问题，为完善和优化设计以及落实招标合同有关的问题提供地质资料。要求形成完整的阶段性成果，并作为招标编制的基础。

7.1.2 本条规定了招标设计阶段工程地质勘察的四项主要内容。

2~3 初步设计阶段遗留的或初步设计报告审批提出的专门性工程地质问题，是招标设计阶段工程地质勘察的主要内容。

4 工程设计进一步优化需要补充的有关工程地质资料。

7.2 工程地质复核

7.2.2 工程地质复核以内业工作为主，分析初步设计阶段工程地质勘察成果、观（监）测成果，复核工程地质结论，并根据复核情况，确定相应的勘察工作内容。

7.3 专门性工程地质勘察

7.3.1 招标设计阶段工程地质勘察内容，应根据每个工程的具体情况和存在的工程地质问题确定。

7.3.2 针对隧洞可能存在的专门性勘察内容做了规定，具体执行应根据初步设计阶段工程地质勘察的深度确定。

7.3.3 对专门性工程地质问题的勘察方法作了原则性规定。本阶段对专门性工程地质问题均应作出明确的结论，勘察工作应针对工程地质问题的复杂性、初步设计阶段勘察的深度和场地条件等确定。补充勘察工作深度应满足初步设计阶段深度和精度的要求。对优化设计和施工安全有影响的，需要查明其基本情况、边界条件，为最终处理提供依据时，应进行大比例尺的工程地质测绘，并布置平洞、竖井和试验工作。

7.3.4 招标设计阶段专门性工程地质问题的勘察报告，要根据工程存在的实际问题拟定，工程中存在什么问题，并进行了相应的专门勘察，就应编写什么专题报告。例如工程中存在边坡稳定问题，在招标设计阶段又进行了专门的勘察，就应编写边坡稳定问题的勘察报告。

7.4 天然建筑材料

7.4.1 条文规定了招标设计阶段天然建筑材料要复查或补充勘察的前提。

料场变化是指选定料场因后期人工开采引起储量变化，或因河流洪水冲刷引起砂砾料场地形条件发生改变从而影响储量甚至质量的改变等。

7.4.2、7.4.3 规定了复查或补充勘察的主要内容及技术要求。除复查或补充勘察外，招标设计阶段天然建筑材料勘察的另一重要工作是根据设计需求量，对料场进行优化，对料场施工开采范围的工程地质问题进行分析评价，这对指导施工开挖具有实际意义。

8 施工详图设计阶段工程地质勘察

8.1 一般规定

8.1.1 本条规定了施工详图设计阶段工程地质勘察的基本前提、工作对象、范围、任务、目的。经施工详图设计阶段工程地质勘察检验、核定的工程地质资料，是工程设计、建设和运行的重要基础性技术资料。

8.1.2 条文规定了施工详图设计阶段工程地质勘察的 5 项内容：

1 由于自然界地质体及其赋存环境的复杂多样性，人们受技术、社会环境等因素影响，对具体地质条件的认识需要逐步深化和完善；而且工程规模越大，要求的技术支撑条件越严格，对地质条件的了解深度要求也愈高。前期勘察中可能遗留某些专门性工程地质问题需要补充勘察，建筑物施工开挖和水库蓄水过程中，也可能出现某些新的地质问题，包括蓄水和竣工安全鉴定过程提出的有关工程地质问题，在施工详图设计阶段工程地质勘察中，应对这些遗留的和新发现的专门性工程地质问题进行勘察或补充勘察。

2 施工地质工作是前期勘察阶段地质工作的继续，是对前期勘察成果的验证与核定；施工地质提供的工程地质资料，对建筑物的设计与施工乃至工程安全运行均有十分重要的意义。施工地质工作宜由熟悉该工程地质情况、具备相应资质的地质勘测单位承担。

3 地质人员应在查明工程地质问题的基础上，结合建筑物特点及其环境条件，提出处理措施建议。

4 在施工期，天然地质环境及其水文地质、工程地质条件随工程施工进度和水库蓄水过程发生显著变化，监测和检测资料可反映各种自然因素和人为因素的综合影响。对监测和检测资料进行综合分析，能了解建筑物场地水文地质、工程地质条件的变化和发展趋势，验证工程地质结论和工程处理效果。因此，监测和检测资料是优化建筑物设计和施工以及工程安全运行的重要依据。建筑物场地施工开挖和水库蓄水过程中会发现一些新的地质现象和地质问题，施工期已有的监测和检测项目与内容亦可能存在盲点等不足之处。因此，应提出完善施工期和运行期的工程地质监测和检测内容、布置方案和技术要求的建议

8.2 专门性工程地质勘察

8.2.1 施工详图设计阶段应进行哪些专门性工程地质问题勘察或补充勘察，应根据每个工程的具体情况确定，也和地质条件的复杂程度有关。

8.2.2、8.2.4 这几条列举了施工期可能发生的专门性工程地质问题的补充勘察内容。

枢纽建筑物布置区施工期的专门性工程地质问题补充勘察常难以避免。施工开挖揭露的一般性不良地质问题和不良地质现象，可通过日常施工地质工作与设计配合、结合施工开挖研究处理。但有时也会遇到一些意外的事先没有查明或研究深度不够的复杂地质问题，导致工程边坡及其毗邻的天然边坡、地下洞室围岩等的设计地质条件发生变化，因边坡、围岩的设计工程处理措施和处理工程量发生较大变化，或严重危害施工安全等问题时，应进行专门性工程地质问题补充勘察。

8.2.5 条文中对专门性工程地质问题的勘察方法所作的原则性规定，是针对本阶段专门性工程地质问题均应作出确切结论，勘察及其分析工作要求做深做透，勘察工作与施工有干扰和有开挖工作面揭露的地质现象及其监测、检测资料可资利用等特点提出的。在充分利用开挖工作面观察收集地质情况，利用监测、检测资料，进行综合分析的同时，应进行工程地质测绘和勘探、试验。

8.2.6 施工详图设计阶段专门性工程地质勘察报告要根据工程存在的实际地质问题确定，工程中存在什么地质问题，并进行了相应的专门性勘察，就应编写什么内容的专题报告。条文对专题报告正文的内容作了一般性规定。

8.3 施工地质

8.3.1 本条规定了施工地质工作的 6 款内容。这些内容是根据施工地质工作在水利水电隧洞工程建设中的作用和生产实践经验确定的。其中编录和测绘围岩、工程边坡的地质现象、分析与地质有关的监测和检测资料是基础性工作。通过地质编录和监测、检测资料分析，可收集到前期勘察无论多么详细也不可能得到的许多宝贵资料；可验证前期勘察成果；可预测不良地质现象，并可根据具体情况，确定是否需要专门性工程地质问题补充勘察；可对围岩、工程边坡的设计加固措施与施工方法提出建议；可为工程验收和运行期研究有关问题提供地质资料。

8.3.2 施工期对天然建筑材料进行复核，主要验证开采产地的天然建筑材料质量与储量，及其开挖边坡稳定性。

8.3.3 从工程破土动工开始，随着工程开挖的不断进行，岩土体固有的面目逐渐暴露，相应的支护加固处理等工程措施亦在逐步实施，天然地质环境及其水文地质、工程地质条件发生改变，新的地质环境及其水文地质、工程地质条件在动态过程中逐步形成。因此，要求施工地质工作应随工程施工进度，全过程进行动态的地质分析，及时向设计部门反馈经过修正或核定的地质资料，施工地质工作的主要方法是采用地质巡视、观察、素描、实测、摄影和录像，以及必要的补充勘察试验和分析研究等。施工地质工作应及

时准确，力求全面记录施工期揭露和发生的主要地质现象和不良地质问题的处理情况。在进行摄影、录像编录时，宜应用数码摄影、录像编录技术。

8.3.4、8.3.5 施工地质资料，包括施工地质过程中的原始资料，是工程设计和建设的重要基础性技术资料，特别是当工程施工和运行期间出现异常现象，需要分析和查询其原因时，施工地质资料是重要的依据。竣工地质报告应突出论述施工开挖揭露的实际地质情况，以及围岩、工程边坡加固和不良工程地质问题处理情况等，应与前期勘察成果进行对比分析，总结经验教训。