

JTG

中华人民共和国推荐性行业标准

XX/T XXXX—20XX

公路跨海通道工程地质勘察规程

Specification for Geological Investigation of
Highway Sea-crossing Link

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

中华人民共和国推荐性行业标准

公路跨海通道工程地质勘察规程

Specification for Geological Investigation of Highway Sea-crossing Link

(征求意见稿)

XX/T XXXX—20XX

主编单位：港珠澳大桥管理局

批准部门：中华人民共和国交通运输部

施行日期：2022年 月 日

人民交通出版社

2022·北京

前 言

本规范根据《交通运输部关于下达 2020 年公路工程行业标准制修订项目计划的通知》（交公路函[2020]471 号）相关要求，由港珠澳大桥管理局、中铁大桥勘测设计院集团有限公司会同有关单位共同编制而成。

本规范在编制过程中，编制组开展了多项专题研究，进行了广泛的调查分析，依据国家有关法律法规要求，充分考虑海上工程地质勘察作业特点及作业环境中可能存在涉及安全和健康的危害因素，而规定采取的针对性的勘察方法、措施，并广泛征求了全国有关勘察单位的意见，对各章节进行反复修改，最后经审查定稿。

本规范共 9 章和 7 个附录，主要内容包括：总则，术语和符号，基本规定，可行性研究阶段工程地质勘察，初步勘察，详细勘察，施工勘察，不良地质作用，特殊性岩土等。

本规范由××××××××××负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给《跨海通道工程地质勘察规程》编制组（地址：珠海市香洲区南屏镇横龙路 368 号港珠澳大桥管理局，邮政编码：519060），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：港珠澳大桥管理局

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 录

1 总则	1
2 术语和符号	3
2.1 术语	3
2.2 符号	5
3 基本规定	7
3.1 一般规定	7
3.2 勘察大纲	10
3.3 工程地质调绘	13
3.4 地球物理勘探	14
3.5 钻探	18
3.6 取样与试验	24
3.7 原位测试	26
3.8 水文地质试验	31
3.9 勘察报告编制	35
4 可行性研究阶段工程地质勘察	38
4.1 预可勘察	38
4.2 工可勘察	39
5 初步勘察	42
5.1 一般规定	42
5.2 桥梁	42
5.3 隧道	48
5.4 人工岛	53
5.5 大型临时工程及附属工程	56
5.6 料场	59
6 详细勘察	62
6.1 一般规定	62
6.2 桥梁	62
6.3 隧道	64
6.4 人工岛	66
6.5 大型临时工程及附属工程	67
6.6 料场	69
7 施工勘察	71

8 不良地质作用	73
8.1 一般规定	73
8.2 岩溶	74
8.3 强震区	78
8.4 地震液化	82
8.5 有害气体	88
8.6 岸坡失稳	90
8.7 放射性	92
9 特殊性岩土	94
9.1 一般规定	94
9.2 软土	94
9.3 填土	96
9.4 风化岩与残积土	98
9.5 膨胀性岩土	100
9.6 混合土	102
附录 A 岩土分类和鉴定	104
附表 B 圆锥动力触探修正	107
附表 C 隧道围岩分级	109
附表 D 隧道场地条件分级	111
附录 E 岩溶地貌类型	112
附录 F 土、石工程分级	114
附录 G 水和土的腐蚀性评价	115
本规程用词用语说明	119
引用标准名录	120

1 总则

1.0.1 为贯彻执行国家有关技术经济政策，做到技术先进、经济合理，确保工程质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路跨海通道桥梁、隧道、人工岛、大型临时工程及附属工程、料场等的工程地质勘察。

1.0.3 公路跨海通道工程必须按公路基本建设程序进行勘察，搜集、分析、利用既有资料和建设经验，针对工程特点，分阶段合理布置勘察工作，提出资料完整、评价合理的勘察报告。

1.0.4 跨海通道工程应采用综合勘察和综合分析方法，积极应用新技术、新方法。

1.0.5 跨海通道工程地质勘察应遵守国家、地方和相关部门有关环境保护、水土保持及安全生产等方面的法律法规，并做到文明勘察，保障人身及机具的安全。

1.0.6 公路跨海通道工程地质勘察除执行本规程外，尚应符合国家或公路行业现行的有关标准的规定。

条文说明：海域环境下受台风、海浪、潮汐、强日照以及繁忙的航道通行等因素的影响，对跨海通道勘察工作形成了诸多限制，使得跨海通道勘察具有施工作业时间短、施工难度大、施工风险高等特点。

国外在跨海通道勘察方法、工艺方面和国内相比并没有更多更先进的技术，但国外的勘察作业对安全、环保要求更高，所以在水域勘察施工时，国外一般都会配备专门的大型勘察船舶。大型勘察船舶费用昂贵，造成勘察成本的提高，同时大型勘察船舶对施工水域的水深有一定要求，专门勘察船舶不能很好的适应某些特殊水域条件。国内的勘察施工船舶一般是经过改造而形成的勘探平台，本着实用、经济、安全的原则，能够更好的适应各种海域条件。

传统勘察技术方法是经过长期的积累和总结得到的，行业技术进步总体比较缓慢。以港珠澳大桥、深中通道项目等一批海域项目的实施，为勘察行业技术进步注入了新的动力。尽管港珠澳大桥工程的成功建设将我国跨海通道地质勘察水平推到了世界前列，但由于我国缺乏相关技术规范，严重制约了先进的海域勘察技术在我国其它跨海通道上的应用推广。目前我国仍处于基础设施建设高峰期，尤其是跨海通道的建设，如渤海湾大桥、琼州海峡大桥等均在规划实施中，因此有必要根据我国实际情况，结合港珠澳大桥成功的经验，制定涵盖海域勘察施工工艺、先进原位测试手段等的技术标准，这对提高我国海域工程勘察水平乃至推动整个交通建设行业发展均具有重要的

意义，本规程基于以上背景编制。

编制过程中充分学习、利用国内外跨海通道及其类似工程的先进勘察技术与成熟的勘察经验，吸纳已建跨海通道工程的勘察工作研究成果及好经验、好做法，积极采用新设备、新技术、新工艺，以促进跨海通道工程勘察技术进步为目的。此外，注重规程的实用性，既要满足国家和行业标准的总体要求，还要符合我国海洋工程地质勘察行业现状和企业需求。

本规程编制过程中，注重与《公路工程地质勘察规范》、《公路桥涵地基与基础设计规范》、《岩土工程勘察规范》、《公路土工试验规程》等规范、规程之间协调一致、互为补充、系统配套的原则，处理好本规程与现行相关行业标准的关系。如在土样定名、岩土分类、室内试验等方面与现行《公路工程地质勘察规范》保持一致；在勘察手段方面，参考《岩土工程勘察规范》，并重点突出海域原位测试、精细化勘察等内容。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 跨海通道 sea-crossing link

以桥梁、隧道或桥隧结合方式跨越海域形成的直达快捷通道。

2.1.2 工程地质勘察 engineering geological investigation

为满足工程设计、施工、特殊性岩土和不良地质处治的需要，采用各种勘察技术、方法，对建筑场地的工程地质条件进行综合调查、研究、分析、评价以及编制工程地质勘察报告的全过程。

2.1.3 工程地质条件 engineering geological condition

与工程建设有关的各种地质条件的综合，包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质与不良地质等条件。

2.1.4 水文地质条件 hydrogeological condition

地下水埋藏、分布、补给、排泄、径流以及水质和水量及其形成的地质条件的总称。

2.1.5 工程地质调绘 engineering geological mapping

通过现场观察、量测和描述，对工程建设场地的工程地质条件进行调查研究，并将有关的地质要素以图例、符号表示在地形图上的勘察方法。

2.1.6 海域原位测试 In-situ test in the sea

为研究海底岩土体的工程特性，在海域现场原地层中进行的有关岩土体物理力学指标的各种测试，包括标准贯入试验、动力触探试验、静力触探试验、旁压试验、扁铲侧胀试验、十字板剪切试验等。

2.1.7 桥隧转换人工岛 artificial islands for bridge-tunnel transition

为实现桥梁与隧道衔接，在海床上由人工填筑形成的离岸陆域，一般由岛壁结构、基础和回填料构成。

2.1.8 岛壁结构 revetment of Artificial Island

形成人工岛围闭结构的水工建筑物，一般可采用斜坡式岛壁、直立式岛壁或混合式岛壁。

2.1.9 大型临时工程 large-scale temporary project

为建设主体工程而临时建造的设施，如预制厂、浮运码头、航道等。

2.1.10 附属工程 ancillary project

为主体工程做辅助性的配套工程，如收费站场、管理用房、防护工程等。

2.1.11 控制性钻孔 control exploratory hole

为控制场地地层结构，满足场地、地基基础和基坑工程的稳定性、变形评价的要求而布置的钻孔。

2.1.12 一般性钻孔 exploratory hole

为查明地基主要受力层性质，满足地基（包括桩基）承载力评价等一般常规性问题的要求而布置的钻孔。

2.1.13 HSE

在健康（Health）、安全（Safety）与环境（Environment）上采取系列管理措施，以求不断提高统一的管理和运营效果，注重社会效益与和谐发展。HSE的最终目标是让“安全存在于每个人、每个时刻、每个地方”。

2.1.14 不良地质 unfavorable geological condition in the sea

由各种地质作用或人类活动造成的岩溶、地震液化、有害气体、风化槽、岸坡失稳、放射性、有害堆积物等对工程可能造成危害的地质现象的总称。

2.1.15 特殊性岩土 special rock and soil

具有特殊的物质成分、结构和工程特性的岩土的统称，包括软土、填土、风化岩与残积土、膨胀性岩土、混合土等。

2.1.16 全新活动断裂 Holocene epoch active fault

在一万年内有过地震活动，或近期正在活动，在今后百年内可能继续活动的断裂。

2.2 符号

2.2.1 岩土的物理指标

w ——含水率；

e ——孔隙比；

k ——渗透系数；

k_0 ——静止侧压力系数；

I_L ——液性指数

I_p ——塑性指数；

w_p ——塑限；

w_L ——液限；

S_r ——饱和度；

γ ——重力密度（重度）；

ρ ——质量密度（密度）；

W_a ——有机质含量；

F_s ——膨胀土的自由膨胀率；

w_f ——标准吸湿含水率。

K_f ——风化系数。

2.2.2 岩土的动力学指标

c_q ——直剪快剪黏聚力；

φ_q ——直剪快剪内摩擦角；

c_g ——直剪固快黏聚力；

φ_g ——直剪固快内摩擦角；

c_{uu} ——三轴不固结不排水剪黏聚力；

φ_{uu} ——三轴不固结不排水剪内摩擦角；

c_{cu} ——三轴固结不排水剪黏聚力；

φ_{cu} ——三轴固结不排水剪内摩擦角；

C_c ——压缩指数；

C_e ——再压缩指数；

C_v ——垂直固结系数；

C_h ——水平固结系数；

α ——压缩系数；

E_s ——压缩模量；

ν ——泊松比；

τ ——抗剪强度；

f_{a0} ——地基承载力特征值；

q_{ik} ——桩侧土的摩阻力标准值；

q_u ——无侧限抗压强度；

S_t ——灵敏度；

p_0 ——前期固结压力；

R_c ——岩石单轴饱和抗压强度；

2.2.3 岩土测试参数

N ——标准贯入试验锤击数；

$N_{63.5}$ ——重型圆锥动力触探锤击数；

N_{120} ——超重型圆锥动力触探锤击数；

p_s ——静力触探比贯入阻力；

v_s ——岩土剪切波速；

v_p ——岩土纵波波速；

K_v ——岩体完整性系数；

c_u ——土的不排水抗剪强度。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 公路跨海通道工程地质勘察宜分为预可勘察、工可勘察、初步勘察、详细勘察、施工勘察五个阶段。

条文说明：公路工程地质勘察分阶段开展工作，与设计工作同步协调，就是坚持公路基本建设程序，分阶段并按各阶段要求的深度开展工作，而准确提供各阶段所需的地质资料，则是确保各阶段工程设计质量的前提。进行公路工程地质勘察，制订切合实际的勘察方案，投入与各阶段勘察深度相适应的地勘工作量，对保证地勘工作的深度和质量至关重要。实践证明，地勘工作量的投入不足或制订的勘察方案不切合实际是导致工作深度不够或地质资料不能正确反映现场地质条件，严重影响工程建设质量的重要原因。

本条规定公路跨海通道分为预可勘察、工可勘察、初步勘察、详细勘察、施工勘察五个工程地质勘察阶段即基于此考虑。由于跨海通道一般工程宏大，社会关注度高，工程地质、水文地质条件也较复杂，施工阶段开展了一定地质工作，为工程的设计、施工变更、竣工验收与运行管理提供岩土工程勘察资料是非常有必要的。如大连地铁五号线跨海段大直径盾构隧道，位于灰岩区，施工阶段开展了岩溶专项勘察；平潭海峡公铁两用大桥，鼓屿门航道桥、大小练岛航道桥主墩位于火成岩分布区，详勘阶段隔桩钻孔，揭示中微风化岩面起伏很大，且局部分布有次生断裂带，地质条件异常复杂，无统一、稳定的持力层，施工阶段因考虑施工难度大，基础方案进行了一定优化，勘察单位相应补充了一批钻孔。实践证明，施工阶段地质勘察，对于大桥跨海通道工程是非常有必要的。

3.1.2 勘探点、测试点和观测点的布置应能明确工程目的，具有代表性，能判明重要的地质界线和查明工程地质状况，其密度、深度应根据勘察阶段、成图比例和工程结构特点等确定。

3.1.3 岩土工程勘察等级、工程重要性等级、场地复杂程度等级及地基复杂程度等级，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》的有关规定执行。

3.1.4 岩土分类、地层描述应符合现行《公路工程地质勘察规范》要求。

条文说明：本规程上位规范是《公路工程地质勘察规范》，故岩土定名及描述按该规范执行。在海岸海滩地区，应注意区分第四系局部胶结的砂砾层与基岩；在有珊瑚礁分布的海域，应注意区分次生珊瑚礁与基岩。第四纪形成的玄武岩虽然属于岩石，但其下面同样有与其属同一年代形成的土层，应引起重视。

3.1.5 勘探前应搜集沿线地下管线资料，特别是海底电缆、光缆、原水管道等重要的管线分布及环境保护方面的要求。

3.1.6 勘察工作应采取地球物理勘探、钻探与原位测试相结合的方式进行，多种方法相互配合、相互验证。

条文说明：原位测试是进行工程地质勘察的一种重要手段，在探测地层分布，测定岩土特性，确定地基承载力等方面，有突出的优点。但各种原位测试方法均具有一定的局限性，获取的岩土参数不同，且获取的试验数据，造成误差的因素较为复杂，可由测试仪器、试验条件、试验方法、操作技能、地层条件等引起。应根据现场岩土条件、勘察目的、设计对岩土参数的要求等选择测试方法，并对各种可能引起误差的不利因素有基本估计，剔除异常数据，提高测试数据的精度。在工程地质勘察过程中，应强调各种原位测试方法之间、原位测试与勘探试验资料之间的相互配合使用，获取符合实际情况的地质参数。我国幅员辽阔，不同地区的岩土特性有很大差别，原位测试数据与岩土的强度特性、变形特性乃至物质组成诸因素有关。这些因素又因土质状态、结构不同而异，且往往具有地区特点。因此，原位测试数据的应用应以地区经验的积累为依据。

3.1.7 跨海通道工程应进行专门地震安全性评价工作。

3.1.8 抗震设防烈度大于或等于 6 度的场地，应进行场地与地基的地震效应评价，确定场地类别。

条文说明：对场地和地基地震效应对不同的烈度有不同的考虑，所谓场地和地基的地震效应，一般包括以下内容：

- 1 相同的基底加速度，由于覆盖层厚度和土的剪切模量不同，会产生不同的地面

运动；

2 强烈的地面运动会造成场地和地基的失稳或失效，如地裂、液化、震陷、崩塌、滑坡等；

3 地表断裂造成的破坏；

4 局部地形、地质结构的变异引起地面异常波动造成的破坏。

3.1.9 海上钻探应根据海域环境选择适宜的钻探平台和设备，确保工程安全；采用合理的钻进工艺，详细记录，认真分析钻探过程和岩芯采取情况，确保勘察质量。

条文说明：海域钻探受风浪、水流、潮汐、来往船舶等因素影响，与陆域钻探有很大区别。本条明确，勘察工作前应搜集海域水文、气象、潮汐等基础资料，并由此选择适宜的钻探平台和设备，确保工程安全。大量实践表明，海域钻探设备要求钻深能力强，具有一定孔内处理事故能力。如深江铁路珠江口隧道工程，采用 500 型钻机，钻深逾 120m，进入基岩逾 100m；长江三角洲某特大桥工程，采用 500 型钻机，钻深逾 180m。此外，船舶应适用于工程所在海域环境，其吨位应根据水深、抗风浪等级等综合确定。

3.1.10 钻探和取样参照国家现行标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》的有关规定执行。

条文说明：现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》，对于原状样采取过程中取样工具设备、操作、土质量的现场鉴别，以及土样封装、储存、运输等均有明确的规定。因此，本条规定了钻探和取样依据的标准均按国家现行标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》执行。

3.1.11 所有岩芯应拍照，重要的原位测试、水文地质试验、封孔过程等应留有影像资料；应留存典型的岩芯标本。

3.1.12 原始记录应内容全面、翔实，标注清楚，签署齐全，不得缺页、涂改和重抄，电子记录应与班报记录对应并及时汇编、整理、备份。

3.1.13 基坑工程应参照国家现行标准《建筑基坑支护技术规程》及地方规范的有关规定进行勘察。地下水较丰富时，应进行抽水试验，并结合长期水位观测资料，提出基

坑支护、地下水控制方案和抗浮设计水位建议；水文地质条件复杂时应进行专门的水文地质勘察工作。

3.1.14 边坡工程应参照国家现行标准《建筑边坡工程技术规范》有关规定并结合地方经验进行勘察。

3.1.15 跨海通道工程地质勘察除满足本规程要求外，还应满足现行国家标准《岩土工程勘察安全标准》和 HSE 相关规定。

3.2 勘察大纲

3.2.1 在开展工程地质勘察之前，应编制勘察大纲，并通过监理审核或专家评审。

条文说明：本条规定，在开展地质勘察之前，应编制勘察大纲，并通过审查。海域工程复杂，工点多，施工难度大，成本代价大，勘察正式实施前应编制大纲并通过评审，能提前发现勘察中精度不够、深度不够或勘察方法选用上存在的问题，规避返工风险。

3.2.2 勘察大纲应在搜集、分析已有资料和现场踏勘的基础上，依据勘察目的、设计技术要求和相应技术标准，针对跨海通道工程的结构形式、工法特点等编制。

条文说明：路线方案比选和工程结构选址，地质工作必须先行，以查明路线通过区域及工程结构设置地段的工程地质条件，为路线方案比选和建筑场地选址提供可靠的地质资料。在路线走向及各类工程结构的位置基本确定以后，应根据现场地形地质条件、工程结构的类型和规模等，制订切合实际的勘察方案。有针对性地开展深入的地质工作，通过必要的勘探、测试等手段，查明工程建设场地的工程地质条件，对收集的各种地质资料，应进行综合分析、整理，以正确反映工程建设场地的工程地质条件，为公路工程建设提供资料完整、评价正确的勘察报告。工程地质勘察是一项综合性的地质工作，应结合工程设计按一定的程序开展工作，其程序应该是先进行工程地质调绘，再进行工程地质勘探、测试，最后综合分析，整理资料，编制工程地质勘察报告。

3.2.3 勘察大纲应包括以下内容：

1 工程概况：包括跨海通道任务依据、建设规模和标准、路线走向、工程结构设置、资料搜集情况和前期已做过的地质工作；

2 勘察目的和任务；

3 勘察执行的技术标准；

4 自然地理和工程地质概况：包括沿线的地形地貌、气象水文、地震历史、地层岩性、地质构造、水文地质、不良地质和特殊性岩土的分布与发育情况，以及可能影响线位或工程结构设置的重大或关键性地质问题等；

5 勘探点布置原则及主要工作量；

6 勘察工作内容和技术要求；

7 勘察实施方案：包括勘察内容、勘察方法、以及针对重大或关键性地质问题采取的勘察对策、措施和专题研究等；

8 组织机构、人员组成、设备配置；

9 计划进度、质量管理及保证措施；

10 HSE 管理体系；

11 提交的成果资料清单；

12 其他需要说明的问题。

条文说明：根据港珠澳大桥、平潭海峡公铁两用大桥等工程勘察经验，HSE 主要包含以下方面内容：

①严格遵守国家、省、市、行业主管部门有关 HSE 法律、法规、规范、规定和发包人的 HSE 管理制度要求；

②在组织施工作业时，应编制工程施工 HSE 作业计划书，详细阐述 HSE 管理目标，将 HSE 法律、法规、规范、规定、发包人 HSE 管理制度落到实处的响应和实施措施，并对本单位的 HSE 管理作出承诺。

勘察作业时应满足以下具体要求：

① 坚持行政一把手 HSE 负责制，建立健全 HSE 保障制度，层层落实 HSE 责任；

② 采取有效措施，保障员工合法权益、人身健康和安全要求；

③ 认真做好新入厂员工、特种作业人员培训考核取证及全员 HSE 培训教育工作；

④ 确保施工机械、特种设备、HSE 临时设施和防护设施、用具满足安全施工要求，安全装置和附件齐全、有效。

1) 用于施工的船舶、机械、设备、仪器、安全防护设施（用具）等，应当具有生

产(制造)许可证、产品合格证,施工船舶应处于适航状态,并按照粤海事[2010]56号文要求安装自动识别系统(AIS),在进入施工现场前由专职 HSE 管理人员进行自检,并接受监理人的查验;

2) 进入施工水域的船舶应经海事部门批准,取得《水上水下施工许可证》;

3) 严厉禁止使用国家明令禁止的设备、设施,严禁擅自停用、拆除 HSE 设备、设施;

4) 在航道区施工时,提前与航道部门联系,及时通告航道部门钻探船只所在的位置,向航道部门申请设置专用航标,以确保往来船舶不进入勘测作业区域。

⑤ 严格执行环境保护控制措施及有关批复的要求;

⑥ 根据工程、施工区域海洋环境和海洋生物特点及有关规定,组织制定确保施工安全、航道安全、环境保护、海洋生物保护、施工水域下通信、管道设施安全等的 HSE 技术措施方案,制定科学、可行的船舶 HSE 施工方案、船舶避让方案、生产、生活废弃物、噪声、大气污染物、海洋环境防治方案,防止施工船舶发生碍航、碰撞及环境污染等威胁施工安全和环境的施工行为;

⑦ 根据国家、地方有关法律、法规、标准及管理要求,委托有资质的监测单位实施定期监测,并将监测结果及时报告发包人和监理人。对环境监测发现的问题及不符合,应及时组织查找原因,制定纠正措施并落实;

⑧ 认真执行 HSE 作业计划书和作业许可制度,实施 HSE 标准化和文明施工管理,严格施工作业 HSE 过程控制,保证施工现场规范化、岗位操作标准化;

⑨ 组织制定 HSE 事故应急预案和应对自然灾害的紧急预案,配置必要的抢险、救助物资和器材,并定期组织培训和演练;

⑩ 设置独立并符合安全、消防、环保要求的办公、生活区,与作业区保持安全距离;

⑪ 对施工作业中发生的 HSE 事故,应立即组织人员和设备进行紧急抢救和抢修,减少人员伤亡、环境破坏和财产损失,防止事故扩大,并保护好事故现场。发生的一切 HSE 事故,均应按 HSE 事故上报流程及时、如实报告,并严格按照“四不放过”原则处理。

3.2.4 勘察大纲应根据现场揭示的地质条件变化、工程结构调整等情况进行修编。

3.3 工程地质调绘

3.3.1 工程地质调绘应与跨海通道及沿线工程结构相结合，为方案比选、工程场地选址以及勘探、测试工作的拟定等提供依据。

3.3.2 工程地质调绘应充分收集、分析勘察区既有的各种地质资料，结合必要的勘探手段进行。

条文说明：在开展工程地质调绘工作前，充分收集和研究工作区既有的各种地质资料是了解区域地质情况，初步确定工作的重点、难点，制订工作计划，做好工程地质测绘的基础。跨海通道工程建设项目，其建设规模大，技术复杂，场地的地质信息往往为大面积水体所掩盖，控制和影响通道位置必选或桥隧工程项目实施的地质情况不明，部分区域覆盖层特别发育，一些隐伏的地质界线通过地面观测往往难以进行准确的定位和追踪，应结合必要的钻探、物探等勘探手段进行。

3.3.3 工程地质调绘范围应包括影响跨海通道建设及分析工程场区水文地质、工程地质所涉及的区域。

条文说明：工程地质调绘是工程地质勘察的一项基础性工作，其成果是进行路线及工程方案比选，制订勘察方案，编制工程地质勘察报告的基础资料。工程地质调绘点不要拘泥于中线，岸边坡、冲沟、采石场、取土坑、岛礁基岩露头，也可作为工程地质测绘点布置，通过观测岩层和节理露头、地下水出露点、地貌单元以及是否存在不良地质现象，有利于对各种地质体的地质属性进行调查，量测岩层产状，对节理的发育情况统计调查。故本条规定，工程地质调绘范围除包括影响跨海通道建设外，还应包括分析工程场区水文地质、工程地质所涉及的区域。

3.3.4 工程地质调绘底图的比例尺不应小于工程地质图成图的比例尺。

3.3.5 工程地质调绘应包括以下内容：

- 1 地形地貌的成因、类型、分布、规模、形态特征等；
- 2 地层的成因、年代、层序、厚度、岩性和岩石的风化程度等；
- 3 地质构造的类型、产状、规模、分布范围等，着重对活动断裂的调查研究；
- 4 地表水分布范围、水位及其变化、水质，地下水的类型、赋存、补给、径流和排

泄条件及其与地表水的补给关系等；

- 5 特殊性岩土的类型、地质时代、成因、分布范围及工程性质等；
- 6 不良地质的类型、分布范围、规模、形成条件、发生与发展的规律等；
- 7 既有工程的使用情况等。

条文说明：本条从地貌、地层、地质构造、不良地质作用、地下水、水文、气象、人类活动和调查当地工程建设经验等方面列出了工程地质调查和测绘的内容。但具体到每项工程的调查与测绘内容，则需根据当地的地质情况，针对工程实际需要进行，重点是关注那些关系场址选择和对工程建设有重大影响的工程地质问题。如地质构造和地震活动关系到建设场地和地基的稳定性，着重调查构造破碎带、岸边卸荷裂隙、新构造活动形迹、地震烈度与液化、震陷、地面破坏和崩塌、滑坡等次生灾害等震害情况。码头、航道疏浚等水运工程地貌调查与测绘重点是海侵、堆积地貌等。

3.3.6 工程地质调绘应沿路线及其两侧的带状范围进行，调绘宽度应满足工程方案比选及工程地质分析评价的要求。

3.3.7 工程地质图上的地质界线与实际地质界线的误差在图上的距离不应大于 3mm。对控制路线位置、工程设计方案、工程结构设置的不良地质和特殊性岩土地段，地质点和地质界线应采用仪器测绘。

3.3.8 图上宽度大于 2mm 的地质现象应予以调绘。对工程有影响的滑坡、崩塌、断层、软弱夹层等地质现象，在图上的宽度不足 2mm 时，宜采用扩大比例尺表示，并标注其实际数据。

3.3.9 需判明环境水、土的腐蚀性以及岩土的性质时，应采集样品进行分析。

3.3.10 工程地质调绘应提交文字说明、工程地质平面图、综合地层柱状图、工程地质断面图、照片以及相关调查图表等。

3.4 地球物理勘探

3.4.1 地球物理勘探工作应根据跨海通道工程建设各阶段的勘探目的与任务要求，遵循技术可行、适宜有效、经济合理的原则确定探测方法和工作量。

3.4.2 跨海通道工程地质勘察可在下列方面采用地球物理勘探：

- 1 作为勘察的先行手段，了解场区海底地形、地层分布与地质构造、不良地质、海底障碍物等。
- 2 在钻孔之间增加地球物理勘探点，为钻探成果内插、外推提供依据。
- 3 做为原位测试手段，测定岩土体的波速、动弹性模量、动剪切模量、卓越周期、电阻率等。

3.4.3 使用地球物理勘探应具备下列条件：

- 1 被探测对象与周围介质存在一定的物性差异，并应具有一定的规模和埋藏深度。
- 2 干扰不影响有效信号的识别，探测对象的异常特征应能从背景中分辨。
- 3 工作场地应具有相应的施测条件。

条文说明：物探是以不同介质之间的物性差异为基础，通过仪器在介质表面或介质内部观测物理场的分布和变化，确定探测对象的空间展布及物性参数，达到解决地质问题的目的。众所周知，仪器观测到的物理场是由探测对象、周围介质及干扰场源共同引起的，探测对象的异常强度除与激发场源的强度有关外，还取决于探测对象与周围介质之间的物性差异，探测对象的埋深、规模及现场干扰情况。因此，只有观测到探测对象产生的物理场异常，并以此推断地下介质分布和性质，才能实现物探的目的。因此，本条规定使用物探的3个条件中，有一条不具备时，均不适宜采用物探。

1 探测对象与周围介质存在可被利用的物性差异是物探工作的基本条件。不同类型的物探方法利用的物理性质有所不同，具体如下：

- 1) 直流电法勘探利用探测对象与周围介质之间的导电性、电化学性质的差异。
- 2) 电磁法勘探利用探测对象与周围介质之间的电性、介电性的差异。
- 3) 地震波勘探与测试利用探测对象与周围介质之间的弹性和密度的差异。
- 4) 磁法勘探利用探测对象与周围介质之间的磁性差异。
- 5) 放射性勘探利用天然放射性物质的浓度或衰变放出射线强度的差异。

物理场的强度除与物性差异有关外，还与地质体规模正相关，与埋深负相关。因此，本款要求被探测的对象不但与周围介质存在物性差异，而且规模足够大，尺寸相对于埋深可被分辨，并能引起足够的物探异常。

2 根据统计学理论和大量的实践经验表明当信噪比达到 3 时,观测数据被认为是可靠的。因此,本款所说的有效信号一般指信噪比大于 3 的观测数据。电、磁、振动、污染等干扰会使仪器的观测数据失真或造成较大的观测误差,甚至导致物探工作的失败。因此,能够从众多干扰因素中分辨出有效信号,并能分辨出反映探测对象的异常是确保物探有效的前提条件。

3 施测条件包括地形、地物条件和观测条件。地形的起伏及地面建筑物往往会影响物探测线、测点的布设,也会使物理场在地表的分布发生畸变,物探工作中一般要求不利的地形、地物不影响基本的测线、测点布设,不显著改变探测对象的异常形态或可以进行校正。观测条件主要包括仪器设备的安置条件、电极的接地条件、传感器与大地或测试对象之间的耦合条件等,物探方法不同对观测条件的要求也不同,观测条件应满足相应方法数据采集的基本要求。

3.4.4 地球物理勘探,应根据场区条件、探测对象的埋深、规模及其与周围介质的物性差异,选择有效的方法。

3.4.5 地球物理勘探成果解译时,应考虑其多解性,区分有效信号和干扰信号。需要时应采用多种方法探测,进行综合解译,并应有一定数量的钻孔验证。

3.4.6 地球物理勘探测区、测线的控制基点应与已知的测量基点联测,测量精度应符合现行《公路勘测规范》的二级控制测量的有关要求。

3.4.7 仪器设备应满足性能稳定、结构合理、构件牢固、防潮、抗震和绝缘性能良好的要求,并应定期检验和保养。

3.4.8 水域作业时,应评价所选方法对作业环境和水生生物的影响程度,并采取有效的预防措施。

条文说明:水域作业通常根据需要选用地震波勘探、电法勘探或磁法勘探。当采用水域地震波作业时,要求从环境保护角度出发选择适宜的震源,并对所选震源可能对作业区水域生态及环境造成的影响程度做出评价,特别是采用爆炸震源时,应评估勘探作业对作业水域生态和动植物的影响程度,并采取有效防护措施,最大限度减少对水生动物植物的伤害;电法勘探在水域应用较少,在水域进行电法勘探时主要考虑供

电电流对水生动物的影响，避免水中鱼类触电事故发生；磁法勘探测量的是大地磁场，对水域环境影响甚微。

3.4.9 水域物探作业安全一般规定：

1 作业船舶应满足相应水域作业安全的要求，作业前应对船舶、设备、电缆、钢缆、保险绳、绞车、吊机等进行检查，确认安装牢固且符合安全作业要求、作业安全与环境保护。

2 作业过程中，水下拖拽设备、吊放设备不应超过钢缆额定拉力。

3 遇有危及作业安全的障碍物时，应停止作业并收回水下拖拽设备。

4 作业过程中，收、放电缆尾标应将船速控制在 3 节以下。

5 作业船严禁超载使用，船上应设有救生和通信工具，作业人员必须穿好救生衣。

6 大风、大雾及雨雪天气必须停止作业。

条文说明：水域物探作业能否做到安全生产，除了作业人员的技术素质和安全意识外，作业船舶的选择也是保证其安全生产的一个主要因素。如果作业船舶发生安全事故，可能造成人身伤亡，所以本条强调在实施水域勘察作业前，勘察单位应对作业船舶选择给予足够的重视。根据以往的水域工作经验，在海上或江上作业，一般要求作业船舶的长度不宜小于 12m，吨位不得小于 15t，功率不小于 14.65kW。

3.4.10 水域地震波法作业时，应满足以下规定：

1 水域地震宜采用非爆破震源；

2 采用非爆破震源时，激发装备应无破损和漏水，严禁载人或带故障作业；采用电火花震源时，作业人员和设备应配备防漏电保护设施和装备。

条文说明：考虑海上地震作业安全生产的需要，要求爆炸作业船与其他作业船之间保持一定的安全距离，不得小于 100m。因为海上作业经常会遇上大风、大浪天气，从安全生产角度出发，保证有一定的安全距离是必要的。如果作业区是位于江、河、湖、溪等地表水域，由于相对风平浪静，爆炸作业船与其他作业船之间的最小距离在保证安全的前提下，可根据具体情况而定，但不得小于 50m。

电火花震源会产生瞬间高电压，如发生漏电或操作不当有可能引起火灾、仪器损毁、人员伤亡等重大安全生产事故。因此，要求船上作业设备和作业人员应佩戴绝缘防护用品和配置绝缘防护设施，同时要求在作业过程中经常检查船上电缆的绝缘程度。

采用机械式震源时，作业过程中船体不断经受连续冲击，可能造成破损、漏水等导致震源船沉没。所以规定安置震源的船体严禁载人，并且不得带故障作业，避免因安

全生产事故导致人身伤亡事故发生。

3.4.11 水域电法勘探作业时，跑极船、测站船、漂浮电缆应设置醒目的安全标志，并做好预防漏电的措施。

条文说明：水域勘探除使用地震波勘探方法外，有时还使用电法、磁法等方法。当采用电法进行勘探作业时，危险因素主要来自于作业船上探测设备和导线的绝缘程度、作业船的完好性和作业人员绝缘防护用品的配备等。防止漏水、漏电是保证水域工程物探安全生产作业的基本任务。

3.4.12 跨海通道地球物理勘探除满足本规程要求外，还应满足《公路工程物探规程》（JTGT 3222）相关规定。

3.5 钻探

3.5.1 钻探工作应根据跨海通道工程建设各阶段的勘探目的与任务要求，遵循技术可行、经济合理、适宜有效的原则确定工作量。

3.5.2 海域钻探设备选用和安装应符合以下要求：

1 钻探设备的选择，应根据工程地质勘察的目的、地层条件、施工场地环境、施工方法、钻孔结构、经济合理、安全可靠等多方面综合考虑后选择和配套；钻探设备功率要按照陆地同样钻探条件不小于 1.5 倍功率配置。

条文说明：钻探设备的选用，应综合考虑各方面的因素后选用。尤其是水域钻探基本原则是，在方便、可行的条件下尽量选择功率更大的设备，因为水域钻探可能会遇到很多孔内事故或者安全隐患，确保在水上钻探遇到特殊情况时有足够的能力来进行处理。经过多年的海域勘察工作经验总结，海域钻探设备功率至少应是陆地同样钻探条件功率的 1.5 倍。

2 钻探设备的安装应根据使用设备说明书和技术要求进行。

条文说明：钻探设备安装过程中，钻探底座必须保证稳固、水平；钻机传动轮中心线必须对正；钻机立轴中心、天车中心与钻孔中心必须在同一中心线上。在海域环境下，这些要求实现起来比较困难，应根据钻探环境和设备的情况进行不断调试，达到基本要求方可进行下一步工作。

3 钻探设备要根据工作场地情况以方便工作、确保安全为原则进行合理布局。

条文说明：在海域环境下，施工场地空间一般都比较狭小，需要结合场地情况、工作习惯和需要对设备进行合理布局和安放。电器、照明设备要放在干燥、清洁的地方，严禁油水或杂物侵入；电气的连接线绝缘要良好，电气设备的外壳应按技术要求接好保护地线。

3.5.3 海域钻探平台分为固定式和浮动式两大类，固定平台可分为浮式固定平台或可升降式固定平台，浮动式平台主要有钻探船、排筏等。海域钻探应在调查了解施工海域的气象、水文、地形地貌、交通条件等基础上，本着安全、经济、适用原则，因地制宜地选择钻探平台。

条文说明：海域钻探需要面临的首要问题就是钻探平台的选择，尤其要考虑其实用性、稳定性和安全性。欧美很多大型勘察公司拥有先进的专业钻探船或各种钻探平台（浮式固定平台或可升降式固定平台），但这种专业性很强的设备运维费用很高，需要有足够的项目来支撑。同时，这种专业船舶和钻探平台体积庞大，在部分比较狭小的场区或潮间带不能满足生产需要。另外，较常用的还有固定平台，但在外海环境下，受水深、水流速度、风浪等影响严重，固定平台的使用有一定的局限性，同时工作效率也相对较低。我国勘察行业经过多年积累，改进和发明了形式各异、功能齐全的各种钻探平台，具有很好的场区适应性、安全性和经济性，因此得到积极推广和应用。其中，钻探船有很好的机动性和安全性，转场方便、效率更高，因此在技术可行的前提下，应尽量选择钻探船作为水上钻场。简易排筏机动性强，在潮间带、浅水区等具有很好的适应性。

3.5.4 海域钻探船的选择和使用应遵循如下原则：

1 钻探船在海域需承受潮流、风浪、机械摆动诸因素的影响，船体结构和质量应具有稳定性能好和抗持续震动的能力；

2 钻探船应能适应深水、大浪、急流和黑夜等工作环境，以保证钻探工作正常进行；

3 钻探船拼装后应对载荷量（人员、设备、工具、材料）及钻进过程中与处理孔内事故所产生的临时载荷进行估算，钻探船总载荷量应大于实际载荷量的 5 倍以上；

4 钻探船船型宜选用平底、宽体船，船宽不小于钻塔底座宽度的三倍；优先选择机动性好的钢质自航船。

5 钻探船吃水过浅时，应用重物或注水压舱，增加船体稳定。

3.5.5 钻探船锚泊定位应注意以下事项:

- 1 根据海况进行锚泊定位, 确保孔位准确和人员安全。
- 2 定位时应考虑潮汐和风浪因素, 船头宜逆最大流速方向。
- 3 钻探船锚泊受水流冲击、风力、水位变化等多种外力因素作用和影响, 锚泊定位应采用多方向锚固定。

条文说明: 钻探船定位锚具的选择: 锚绳、锚重、锚型应根据水流、风浪、海床土质等情况综合确定, 基本锚具不少于四口, 必要时可增设锚具, 锚绳长度应大于 5 倍水深。钻探船的锚固过程中, 由于水位、水流方向的变化, 在实施过程中应根据潮流适当松紧锚绳, 必要时抛置备用锚, 确保钻探船稳定。

- 4 推荐采用卫星定位系统进行钻探船定位。
- 5 钻船定位应注意操作规范, 确保施工安全。

条文说明: 钻探船锚泊定位是一项技术性很强的工作, 需要可靠的设备和熟练人员, 同时要跟船长、船员做好配合。船长的经验非常重要, 在锚泊定位时, 要多考虑船长的意见。经过多年实践积累, 现在比较可靠的锚泊系统采用六口锚具, 锚具的选择根据海床情况来定, 可向船长咨询。六口锚具呈“米”字型分布, 其中前、后主锚的抛设至关重要, 必须顺着洋流或者潮汐的方向, 并且要抛设足够的距离, 一般情况向前、后主锚的锚绳长度一般在 150~200m 左右。此外, 四口边锚分别分布在前、后主锚的左右两侧, 边锚与主锚之间的夹角要根据洋流速度和流向来确定, 一般情况下, 夹角控制在 20~40 度之间。钻探船定位, 以前多采用后方目测定位、前方交会定位、红外测距仪配合步话机定位等。随着技术进步, GPS 已经广泛在工程领域使用, 定位精度也能满足勘察工作需要, 其操作简单、迅速, 提高了工作效率, 所以近些年来, 海域钻探船定位均采用 GPS 定位法。

钻船锚泊定位应注意如下事项:

- a. 办理水上水下施工作业许可、发布航行通告后, 钻船方可进入钻探水域施工;
- b. 抛锚时防止锚绳缠住锚爪, 以免影响锚固力;
- c. 在深水中抛锚时, 应先倒出一定长度的锚绳, 以保证锚位的准确性;
- d. 抛、起锚时, 作业人员严禁站在锚绳可能伤及的位置, 防止锚绳缠绕或回弹伤人;
- e. 起锚时, 锚绳必须整齐收入锚机, 防止锚绳纠缠打结;
- f. 锚机操作人员必须精神集中, 听从指挥, 并随时注意锚机运转情况, 发生异常

现象应立即停车，防止损坏锚机；

g. 钻探船进入所钻探的水域抛锚定位后，按《海上避碰规则》要求，锚绳上设置锚球，白天锚球上插红色三角旗，晚上设红色闪烁灯，并悬挂慢车信号旗；

h. 船舶抛锚定位后，应安排专人负责瞭望过往船舶、收听交管公共频道，防止挂锚、海损事故；

i. 如遇海损等突发事件，及时通知海事部门寻求援助。

3.5.6 平面与高程测量应符合以下要求：

1 平面测量：平面位置可采用 RTK 测定。陆地定位误差不应大于 0.1m，海域定位误差不应超过 1m；在钻孔位置测设后，应在海床面插打保护套管，以防钻船位置变化造成孔位偏差；在钻探施工完毕后，须对孔位进行复测。

2 高程测量：高程可采用 RTK 测定。为避免水流影响，一方面在套管内采用垂悬法测定水深，另一方面采用测深仪（精度 0.4%+5cm）测定水深，两种方法相互验证，测得孔口高程，并与水下地形进行对照，高程误差宜控制在 0.3m 以内。

条文说明：海域钻探平面孔位测量一般情况下比较容易实现，精度也容易满足技术要求。而高程测量则由于受到潮汐、流速、波浪等影响，钻探船很难完全稳定，所以出现异常的情况比较多常见，这就要采用各种方法来减小这种异常情况的可能。海床孔口高程的测量，一般是通过计算得到的，先测量出钻探平台面高程，量出平台到河床孔口的深度，两者相减就得到孔口高程。为了保证孔口高程的准确性，平台面高程一般需要多次测量取平均值，并且在风浪较小时择机测量，平台面到河床的深度一般也需要采用悬垂法和测深仪法测定，两者相互印证，就可以减小误差。此外，孔口高程的测量也应该在开孔前和终孔后分别测量，也可以减小误差。

3 钻探过程中宜采用固定的套管校核水深，及时修正孔深，准确算出各土层分层深度，确保取样或原位测试深度精度控制在 $\pm 0.1\text{m}$ 以内；

条文说明：在钻进过程中，钻探船舶会随着潮汐和风浪而上下浮动，所以水深和孔深必须要进行校核，通常的做法是，通过插打在海床底部的固定套管来进行校核，并且每一个钻探回次均需校核。固定套管一般是在水位相对稳定的阶段插打入海床底部，作为钻探用保护管，同时也是水深和孔深校核的重要参照，通过钻探平台与固定套管高度的相对位置即可计算出此刻的水深和孔深。在实际工作中，应将固定套管一次性插打到足够的深度（或较好持力层），保证其在钻进过程中不会下沉。

4 钻孔孔位、孔口高程及孔深测量，应尽量在平台晃动较小时进行，采取多次测量取平均值等方法，同时要考虑涨落潮的影响，减少测量的误差。

3.5.7 海域钻探管理除执行《岩土工程勘察安全标准》（GB/T50585—2019）外，还应进行开工前安全培训、遵照海事部门固定进行船舶检验、施工期间加强警戒、做好应急预案、执行环境保护规定等。

条文说明：海域钻探面临各种风险，安全至关重要，必须要通过各种方式和手段，杜绝安全事故发生。首先，要取得从海事部门取得《水上水下施工作业通航安全审核》同意书，发布航行通告，并请求海事、航道部门支持，管理施工海域航行船舶，避免发生撞船事故。其次，开工前施工人员要加强安全和海域施工技能培训，钻探船做好安全检查和指示信号、通讯设置，严格监测过往船只、天气、海况等，做好紧急避险、避风（台风、热带气旋等）等应急预案，同时也要做好海域施工环保措施。具体应注意以下事项：

1 开工前应进行全员水上安全知识培训。

2 严格遵照执行海事部门关于水域施工的相关管理规定；钻探平台应经船舶检验，并接受当地海事部门安全监督。

a. 施工前应联系与海事部门共同研究制定水上航运和钻探施工的安全防护措施。

b. 应设置明显的施工信号（号灯、号旗、号型）；雨天和雾天能见度差，应备有雾灯和声响提醒设施；夜间施工应对施工强光进行遮挡，防止灯光外泄，影响其他船舶的行驶安全。

3 在下列海域施工，应特别加强警戒和采取下列措施：

a. 航道范围内施工，须经海事、航道部门核准后提前设立禁航标志和发布航行警告；

b. 河口、海湾、港口来往船只多，涨、落潮时水流急，应特别加强瞭望警戒；

c. 在通行船只较多的水域，应制定安全维护方案，必要时提请海事、航道部门协助加强警戒。

4 海域钻探施工应事先选择好避风港，及时与当地海事、气象等部门联系，在洪水汛期、台风和大风来临之前应进港避风。

5. 针对可能出现的紧急情况，编制应急预案，采取必要措施。

6 海域钻探平台安全防护应符合下列规定：

- a. 平台周围应设置安全防护栏杆，地板铺设要平整和牢靠，并有防滑措施；
- b. 平台两侧应设置防撞设施（轮胎或橡胶条），避免靠泊时直接碰撞；
- c. 平台周围应设置防护网，以防人员落水。

7 海域钻探环境保护应符合下列规定：

- a. 严格按照环保要求组织培训，提高施工人员的环保意识；
- b. 安排专人负责勘察施工的环保工作，制定环保防污染措施，并与有关环保部门联络，密切配合环保部门，共同做好工程施工环保工作；
- c. 定期对所有的施工设备进行严格检查，发现有可能泄漏污染物的必须先修复后才能施工；在施工过程中应密切注意有无泄漏污染物的现象，如有发生应立即采取措施；
- d. 加强施工船舶自身的防污管理，禁止把施工中的生活垃圾直接抛入水中，应用袋装处理后运到指定地点。

3.5.8 海域钻探应注意以下事项：

- 1 按海事、航道部门要求，设置通禁航标志；
- 2 外层套管应在稳潮时段着床固定，并及时测定孔位和孔口高程。
- 3 外层套管宜设置钢丝保护绳，以利于保持套管垂直及增强抗水流冲击能力。
- 4 钻探平台应配备有足够的救生艇、救生筏、救生圈及救生衣等。
- 5 钻探平台应设置消防设施，黄砂、灭火器、太平斧、消防栓等必须配备齐全。
- 6 配备性能优良的交通船及急救药品。
- 7 严格执行国家环保部门有关规定，生活垃圾、油污等废弃物应分类收集，并运送至环保部门指定地点集中处理。

3.5.9 海域钻探应符合以下规定：

- 1 钻机类型、钻探工艺和取样方法应根据现场地形地质条件和勘探目的确定，并详细记录、认真分析钻探资料和岩芯情况。
- 2 钻孔深度应根据构筑物的类型、规模以及水文地质和工程地质评价的需要确定。
- 3 钻探应根据地层条件、取芯和取样要求，严格控制钻进的回次长度，钻进回次进尺不得大于岩芯管长度。
- 4 岩芯采取率在完整的岩层中不宜小于 90%，在强风化岩层中不宜小于 65%，黏性土层中不宜小于 85%，砂类土层中不宜小于 65%，破碎岩层、碎石土层不宜小于 50%，

断层破碎带等重点研究孔段宜提高岩芯采取率,并不得遗漏对工程有重要影响的软弱夹层和滑动面等。

5 岩芯应按采集的先后在现场按从上到下、从左到右顺序排列。每回次钻进采集的岩芯应填写岩芯卡片,标明工点名称、钻孔编号、岩芯采集的深度,岩芯采取率、钻进回次编号和必要的地质描述,并留存全孔岩芯彩色照片。

6 钻孔孔径除应满足岩土试脸对取样的要求外,尚应结合原位测试、水文地质试验、地应力测试等要求确定。

7 钻探现场记录应按钻进回次及时填写,详细描述地层、地下水、岩芯采取率和钻进过程中的异常情况。

3.5.10 应根据工程需要对岩芯进行存放,保留具有代表性的岩芯或标本,存放在不易被损坏、方便现场查看的地方。

3.5.11 钻探完成后,必要时,钻孔应根据构筑物特点进行封孔或回填。

条文说明:对于隧道工程,必须进行封孔。按现行规范,钻孔一般布置在结构轮廓线以外,但考虑到勘察阶段线位方案不完全稳定,存在整体或局部调整的可能,因此本条规定,隧道工程钻孔必须进行封孔,避免给后续施工带来严重隐患。

3.6 取样与试验

3.6.1 原状土样采取应遵循如下规定:

1 原状土样的采取应根据土层特征、取样深度、设备条件等对取样器进行选择,采取的原状土样应及时蜡封,避免扰动并放入专用土样箱内,及时送往试验室。

条文说明:关于取样器的选择及取样需要注意的事项如下:

(1) 根据土层特征、取样深度、设备条件合理选择取土器类型;

(2) 取样钻孔必须保持圆直,钻孔直径应大于取土器外径,并不得有缩径、塌孔现象;如采用跟管护壁措施时,套管距孔底高度应大于套管直径的3倍;

(3) 取土器入土长度不宜过长,对老黏土和一般黏性土不应大于其直径的3倍;对软土不应大于其直径的4倍;

(4) 取土器下入前应严格检查密封球阀或活阀是否失灵,出水孔是否畅通,土样筒与半合管是否吻合及有无发生变形等;

(5) 当取土器压入预计深度(即土样被压入土样筒内)后, 应将取土器回转几圈, 使样品底端切断(在软土层中取样, 提取前应停放 2~3 分钟)后再提出取土器;

(6) 取土器由孔内提出后, 应用专用工具拧卸; 用自由钳拧卸时应小心夹拧; 严禁用管钳或敲打取土器, 以免破坏取土器, 使土样变形扰动;

(7) 土样筒取出后, 必须立即用干绵纱揩擦干净, 不得进水和松开, 用刀将土样两端削平并盖上土样盖; 如果土样筒不满, 应用稠度状态接近的扰动土样填满, 然后加盖, 缠胶布、蜡封, 贴好标签, 标明上下, 放入专用土样箱内, 应避免受振动影响, 及时送往试验室。

2 钻探平台的稳定性会影响到原状土样的采取质量, 因此尽量选用稳定可靠的钻探平台, 或者在钻探施工期间选择风浪小、钻探平台相对稳定的时段采取原状样。

3 取原状土样时, 应尽量缩短取样时间, 减少水域钻探环境对原状土样的扰动。

3.6.2 扰动样采取

从标贯器中的芯样或代表性的岩芯中采取扰动样, 应避免钻井液对样品的影响。

3.6.3 岩样采取

可直接从岩芯中选取试样, 软岩和需获取天然状态指标的岩样应蜡封并及时送检。

3.6.4 地下水水样采取

在预定的钻孔钻进至接近含水层顶部时, 下套管止水, 套管接头处缠生胶带, 以保证隔水效果; 隔水套管下好后, 采用清水或无泵钻进钻入含水层数米, 然后进行孔内抽水, 待抽水体积超过钻孔容积十倍以上时再采取水样, 水样采取后密封并贴上标签, 在规定时限内送检。

3.6.5 岩、土、水样在送样过程中应注意采取避光、减震等措施, 减少对试样的扰动和破坏。

3.6.6 试验项目和试验方法, 应根据工程要求和岩土性质的特点确定, 具体操作和试验仪器应符合现行行业标准《公路土工试验规程》(JTG 3430) 和《公路岩石试验规

程》（JTG E41）有关规定。

3.6.7 岩、土、水样腐蚀性试验项目按《公路工程地质勘察工程规范》（JTG C20）规定执行。

3.6.8 采用冷冻法施工的工程，需进行冻胀物理力学试验。

3.7 原位测试

3.7.1 公路跨海通道勘察常用原位测试技术有标准贯入试验、动力触探试验、静力触探试验、旁压试验、扁铲侧胀试验、十字板剪切试验等。试验应满足《公路工程地质原位测试规程》（JTG3223）相关规定。

条文说明：公路跨海通道勘察原位测试方法中，标准贯入试验、动力触探试验需要克服平台晃动和风浪对试验的影响。静力触探试验、旁压试验、扁铲侧胀试验和十字板剪切试验，均对试验条件具有特殊要求。首先要根据地层情况分别选择相适应的原位测试方法，其次，这些原位测试试验均对钻探平台的稳定性有特殊要求，平台的晃动会对实验结果造成不利影响，同时也可能会造成试验仪器设备的损坏。因此，前述原位测试应尽量在固定平台上进行，同时要采取一系列措施保护仪器设备安全。尤其是静力触探试验，如果在钻探船或固定平台上进行，可通过多重套管技术实现对悬空段探杆的保护，同时也可以增大试验深度，达到安全试验的目的。

3.7.2 在海域进行原位测试，应注意水位变化（如潮汐、涌浪等），及时对试验深度进行复核和校正。

3.7.3 原位测试应保证试验平台的稳定，如平台晃动较大，应暂停测试，具备条件时再行试验。

3.7.4 试验前应检查探头、探杆、数据线等，保证试验进行顺利。

3.7.5 采用无线传输数据时，试验前应检查的数据传输的可靠性、及时性。

3.7.6 检查探杆是否顺直，丝扣是否完好，对变形较大和丝扣损坏者应予以更换。

3.7.7 相关试验数据分析均遵照“岩土工程勘察规范”相关规定执行，对于存在明显异常的数据进行剔除。

3.7.8 海域静力触探系统可分为固定式、浮动式、海床式和井下式，应根据海床倾斜度、地层情况和工程技术要求选用。

条文说明：海域静力触探系统可分为固定式、海床式、井下式和浮动式，分别说明如下：

固定式静探系统：将静探贯入系统放置于固定平台上，通过多重保护套管的配合实现在河床面以下的静探贯入试验。这种方法从目前的技术能力来看，可以实现超过130m覆盖层的贯入试验，试验深度较大。考虑到试验平台的稳定性和安全性，该方案不适合水深超过25m的水域试验。

浮动式静探系统：浮动式静力触探测试方式一般有两种形式，一种是桁架连接式，每节桁架上配有固定在桁架上的隔水套管，另一种是套管连接式，每节套管均可导向探杆，不再另安装隔水套管。两种形式都带能坐落于泥面的反力基底座。连接桁架(套管)顶部即为作业平台，其上安装陆地静力触探设备或钻机设备。浮动式静力触探测试方式的测试载体需要将测试设备运至测试位置，并配置起吊系统将测试设备在测试位置安全组装，因此多采用大型驳船。该系统是以满足作业条件的船舶作为试验平台，通过多层套管系统和套管扶正装置，由试验船舶平台提供反力，实现悬空段对探杆的约束，从而完成海域静探试验，必要时还可通过钻探引孔，配合静探达到更深的试验深度。这种方法的优点是施工机动性好，固定试验平台所需的时间较少。缺点是对施工海域环境要求较高，风浪、流速超过一定程度，试验将无法实施。

海床式静探系统：将整套贯入设备稳定支撑于试验孔海床面上，将探头通过探杆或套管从海床面连续贯入到土中。其优点在于能够在空间上保证贯入路径的完整性，其缺点在于直接连续的贯入方式和触探基准决定了此种工艺不适合深层海底测试，如遇到深层贯入，很难保证贯入路径与海平面的垂直度，此时，需要提供较大的贯入力来平衡探杆匀速运动时土体产生的摩阻力等等。同时，如果海床面的平整性不好，也会影响试验的顺利进行。

井下式静探系统：在实际工程中，我们经常会遇到这种情况：需要了解海床以下某坚硬土层下部软弱土层的静力触探力学参数，但常规静力触探系统无法穿透上部的

坚硬土层，以致无法得到下部软弱土层的静力触探力学参数。针对这种状况，欧美公司开发了井下静力触探试验及采样系统，又称为 Downhole CPT 系统。Downhole CPT 系统的主要特点是将钻探和静力触探、采样等结合起来，采用循环推进的方式，推进系统在钻孔内轴向定位并将静力触探头或采样器贯入到土体中，完成静力触探试验和采集土样。此时钻探的主要功能就是清除触探已经完成的土层或者钻透静力触探无法完成的坚硬土层，以便开始下一回次的静力触探试验或采取土样。Downhole CPT 系统在深层海底测试方面具有明显的优势，从理论上来说，Downhole CPT 系统能够达到的深度与可以钻进的深度是一致的，比如荷兰 Fugro 集团公司的 Downhole CPT 系统已经达到海底以下数百米的探测深度，而荷兰 Geomil 公司的 ORCA 系统（即 Downhole CPT）系统更是达到 1500m 的探测深度。

3.7.9 海域静力触探试验应符合以下规定：

1 试验仪器设备需满足以下要求：

- a. 静力触探试验宜采用多桥探头，须根据勘察技术要求，选择量程能够满足要求的探头；
- b. 由于海域静探试验特殊性，对数据项造成损坏的可能性较大，宜采用强度高、稳定性好的数据线；
- c. 海域静探试验应选择强度和刚度较高的静探试验探杆；
- d. 海域施工环境恶劣，应加强静探设备防晒、防雨、防腐等措施；
- e. 海上静力触探在必要时应设置保护套管；深孔静探可结合钻探分段实施，并宜设置多层保护套管，套管应有足够的强度和刚度，相邻两层套管之间应留有一定间隙，确保试验顺利进行。

2 试验主要流程及注意事项如下：

- a. 应保证试验平台和反力装置的稳定，反力宜采用配重方式；
- b. 必要时需提前在试验海床面孔位处插打保护套管，保护套管可根据探杆悬空段长度来选取，根据相关深度和长度计算出静探试验的准确深度；

条文说明：水域静探试验实际贯入深度计算，是探杆总长度减去试验水深和试验平台高度。如果在试验过程中，如果在局部出现软弱土层，则可以通过钻探下入保护套管穿过软弱土层，配合多次静探的模式，从而完成整个空段的贯入试验。

- b. 对插打的保护套管进行倾斜度测量和稳定性检查，保证试验时探头垂直贯入土层中；

c. 贯入前应试压探头，检查顶柱、锥头、摩擦筒工作是否正常，然后将探杆与探头连接，插入保护套管内，调整并紧固导向轮；

d. 试验过程中，应控制加压贯入速率在 $1.2 \pm 0.3 \text{ m/min}$ 。时刻关注试验平台、反力装置、探杆垂直度和贯入速度，以保证仪器设备安全；

e. 如遇到以下情况，应停止贯入：

(1) 触探主机达到最大贯入能力或探头阻力达到最大允许值；

(2) 反力装置失效；

(3) 试验平台晃动明显或失稳；

(4) 探杆突然倾斜、折断或贯入加速。

f. 在不得已停止贯入，但仍未能达到技术要求的试验贯入深度时，需要分析造成试验停止的原因。

条文说明：实际工作中，由于仪器贯入能力不够、贯入阻力过大、存在软弱夹层、试验平台失稳或反力装置失效等多种原因，很多试验孔并不能一次性完成静探试验，这就需要针对造成试验中断的原因，找出相应解决方案，通过多次下入保护套管、加固平台、增加反力、更换更好能力的探头或主机等方式，然后进行继续贯入试验，直至技术要求的试验深度。

结合孟加拉多用途大桥孔压静探试验，可从以下几方面分析原因：

(1) 如是因为探杆与保护套管壁之间的摩擦力过大，造成贯入困难，须起拔探杆和套管，通过辅助钻探到上次试验贯入的深度以上 0.5 m ，然后再重新下入套管和探杆，接着前次试验贯入深度，继续往下贯入；

(2) 如是因为试验贯入地层间夹超过 1 m 的软弱土层，造成试验探杆弯曲或折断，须起拔探杆和套管，通过辅助钻探穿过软弱土层 1 m ，然后再重新下入套管和探杆，继续往下贯入；

(3) 试验平台失稳或反力装置失效，须在对其重新加固调试后，接着进行贯入；

(4) 触探主机达到最大贯入能力或探头阻力达到最大允许值，则应更换满足要求的主机和探头后，继续进行试验。

g. 在静探贯入试验中止后，经调整方案继续贯入时，须对贯入深度做好详细记录，并对有效试验深度进行校核、修正。

3.7.10 海域旁压试验应符合以下要求：

1 海域旁压试验需要克服平台晃动、水流冲击等不稳定因素对试验的影响，因此，试

验一般应在固定平台上进行。

2 海域旁压试验适用于确定黏性土、粉土、砂类土、软岩及风化岩等地基的承载力和变形参数。分为自钻式旁压试验和预钻式旁压试验，宜根据地层条件、技术要求进行选择。

条文说明：自钻式旁压仪的探头跟随钻头进入土体，不会像预成孔那样因钻具的离开而导致缩孔甚至塌孔，因而孔壁土体没有经过应力释放而基本保持原位的应力状态，对土体扰动较小，获得试验数据更为准确，因而在工程实践中更为适用。尤其是在松散的沙土、软土等预钻难以成孔的地层中，其优势更为明显。

3 预钻式旁压试验，应采取措施保证成孔质量，孔径应与旁压探头相匹配，成孔过程中应减少对孔周土体的扰动。自钻式旁压试验，应确定适用于土体的钻头及回转转速、刃口距离、循环液压力及流量、钻机设备压力等，保证成孔质量。

4 第一次使用的旁压仪，应进行综合标定。应对压力表、弹性膜、传感器和应变片等进行定期或出现事故、更换时进行标定。

5 旁压试验过程中，达到试验仪器极限值或出现仪器损坏情况，应立即终止试验，并分析原因，再行后续试验。

6 旁压试验成果数据分析，应根据各地层典型应力应变曲线对明显失真的数据进行取舍。

3.7.11 海域扁铲侧胀试验应符合以下要求：

1 扁铲侧胀试验适用于软土、黏性土、松散~中密砂类土及粉土等地层，可用于判定土层类别与状态，确定静止侧压力系数、水平固结系数、饱和黏性土的不排水杨氏模量等。扁铲侧胀C值消散试验适用于饱和软黏性土，可用于测定土层的水平固结系数。

2 海域扁铲侧胀试验对外界扰动非常敏感，试验应在固定平台上进行。为保证试验的安全和有效性，实验过程中应在河床和固定平台之间的悬空段设置保护套管，保护套管应插入河床一定深度，并保证套管接口以及套管与河床之间的密封性。

3 扁铲侧胀试验设备及其标定，应符合《公路工程地质原位测试规程》的相关规定。

4 贯入设备的能力，必须满足最大试验深度的需要。试验时，应使基座保持水平状态，采用水平尺校验，记录每次试验中试验孔的垂直度偏差。海域扁铲侧胀试验孔垂直度偏差不应大于2%。

5 海域扁铲侧胀试验，应有保证孔位不致发生移动的稳定措施。试验平台至河床以上

部位，应加设防止探杆挠曲的装置。

6 海域扁铲侧胀试验过程中采用钻杆或静力触探贯入设备时，气电管路应按钻杆或探杆连接顺序一次性穿齐，气电管路一端与侧胀板头连接，钻探或探杆长度应超过最大试验深度 2~3m。

7 试验深度应以膜片中心为记录点，计深标尺设置在贯入主机上时，贯入深度应以探头、探杆入土的实际深度为准，每贯入 3~4m 校核一次。固定试验平台不稳定时，应采取多次计量取平均值或待平台稳定后计量贯入深度。

8 海域扁铲侧胀试验过程中，不得松动、碰撞钻杆或探杆，也不得施加使得钻探或探杆产生上、下位移的力。

9 在下、起钻杆或探杆的过程中，应避免用力过猛，防止对探头、气电管路造成损坏。

10 试验结束后应测量试验孔内地下水埋藏深度。在保证保护套管密封性有效的前提下，准确测量地下水的深度。

3.7.12 海域十字板剪切试验应符合以下要求：

1 海域十字板剪切试验主要用于测定饱和软黏性土的不排水抗剪强度和灵敏度，测试深度一般不大于 30m，试验应在固定平台上进行。

2 十字板头可根据不同土层情况选用，一般在软黏土中选用 75×150mm 的板头；在稍硬的土层中可选用 50×100mm 的板头为宜。

3 海域十字板剪切试验必须要保证试验探杆平直，用于前 5m 的探杆，其弯曲度不应大于 0.05%，后续探杆的弯曲度不应大于 1%。探杆两端螺纹轴线的同轴度公差应小于 $\phi 1\text{mm}$ ，探杆连接应有良好的互换性。探杆连接要密合、牢固。

4 海域十字板剪切试验基座必须保持垂直，试验孔对水平地面的垂直度偏差不应大于 2%。

5 海域十字板剪切试验必须采取防止探杆弯曲的措施，尤其是固定试验平台面到河床面的悬空段，宜采用多重套管技术对探杆进行保护。

6 试验前，需估算最大试验深度所需的反力大小，并在固定实验平台上进行相应配重。

7 与十字板探头传感器相连的电缆，应做好防水措施。

8 在下、起探杆和探头过程中，应避免用力过猛，防止对探头、电缆造成损坏。

3.8 水文地质试验

3.8.1 公路跨海通道应根据工程需要、水文地质条件、场地条件选用合适的试验方

法，具体操作可参考《水文水井地质钻探规程》（DZ/T 0148）、《水文地质手册》等相关规定执行。

条文说明：在《水文水井地质钻探规程》（DZ/T 0148）和《水文地质手册》中，分别对抽水试验和注水、压水试验进行了基本规定，这些规定对海域环境下的水文地质试验也是适用的，一般情况下可按相关规定执行。在海洋特殊环境下，对水文地质试验条件提出了一些特殊要求，将在本节做具体规定。

3.8.2 海域抽水试验一般采用单孔或多孔，尽量采用稳定流抽水模式。

条文说明：海域抽水试验受现场条件限制，实施起来难度较大，可根据实际条件选择单孔或多孔方式。多孔抽水试验，即带观测孔的单孔抽水试验，该种试验能完成抽水试验的各项任务，所得成果精度也较高，但成本一般较高，多用于隧道等重要构筑物水文试验。稳定流抽水试验要求在一定持续的时间内流量和水位同时相对稳定（即不超过一定的允许波动范围），可进行1~3个落程的抽水，抽水后还要对水位恢复情况进行观测和记录，稳定流抽水试验具有如下优点：（1）通过三次降深抽水可获取流量和降深的关系曲线（Q—S曲线），根据曲线可计算不同降深对应的流量或求取不同流量对应的降深；（2）可根据Q—S曲线类型判断含水层水文地质特征；（3）可计算井损大小；（4）稳定流抽水试验操作过程相对比较容易控制。因此，在海域环境下宜尽量采用稳定流抽水模式。

3.8.3 水文地质试验前应开展水文地质调查，并根据海域环境、施工平台等条件编制实施方案。

条文说明：在海洋环境下进行单孔水文试验实施起来与陆地环境虽有差别，但实现起来难度并不大。在钻探船舶上进行的水文试验，船舶难免会有晃动，因此对套管、套管与孔壁之间的密封性提出了更好的要求。但对于在钻探船舶上进行的多孔水文试验，由于船舶的移位比较困难，钻探船舶一旦移出一个孔位就很难再返回去，水文观测和记录难度也很大，如何实现观测孔和抽水孔的同步观测也很有挑战性，很多重要步骤不可逆，“开弓没有回头箭”，因此对于每一个细节都要考虑清楚，做好详细水文试验方案，才能完成好水域多孔抽水试验。

3.8.4 水文地质试验前应检查隔水效果，确定隔水套管发挥作用的前提下开展试验。

3.8.5 海域抽水试验应观测地下水与潮汐的相关性，观测时间不宜少于 24 小时；确定稳定水位时应考虑潮汐的影响。

3.8.6 水文地质孔宜一次性一径成孔，在覆盖层和基岩交界面处，如有必要可变径成孔；下井管、过滤管并填砾孔之孔径一般应比过滤管直径大 150~200mm。

3.8.7 成孔过程中钻机应中、低转速，水泵泵量应在保证孔壁安全的前提下，尽量选择大值，减少泥浆对孔壁的影响。

3.8.8 考虑到工作便捷性及经济性，海域多孔抽水试验宜采用浮动式作业平台，其主要工作流程及注意事项如下：

- 1 成孔宜按照“先观测孔、后抽水孔”的顺序进行；
- 2 试验孔应安装保护套管，套管出水高度应考虑潮汐和浪高影响，并不低于最高潮水位 1m。抽水试验前，应通过试抽方式检查隔水措施的有效性；
- 3 观测孔的水位观测装置安装好后钻探船方可离开，孔位附近应设置警示标志；
- 4 水位观测可采用标尺、带刻度柔软电缆线、水位计、万用表等量测器具；
- 5 抽水试验前，应通过试抽检查各系统运行稳定性，熟悉抽水系统控制及潮汐水位、孔内水位观测记录等工作程序；
- 6 试验过程中，作业现场须配备交通船，以便及时解决观测孔可能出现的故障；
- 7 抽水达到稳定状态时，应采取地下水样，进行水质分析；
- 8 试验结束后，按照“先抽水孔、后观测孔”的顺序，拆除水文试验装置及保护套管，严禁保护套管直立遗留在试验海域。

条文说明：跨海通道多孔抽水试验，实现起来难度较大，大量工程实践证明，钻探船舶配合试验的方式经济、快捷、安全。在实施过程中，有很多细节需要认真分析、提前做好方案设计，这样才不会造成返工或试验失败。本节对海洋环境下多孔抽水试验的一般流程和过程中应注意事项进行说明和规定。

3.8.9 抽水试验的降次、降深、稳定时间与水位、水量稳定标准以及观测项目、采取水样要求每除按地质规范或设计要求进行外，补充规定如下：

- 1 当单位出水量小于 $0.01\text{L/s} \cdot \text{m}$ 和含水层厚度小于 2m 以及特大出水量(指钻孔口径、抽水方法和结构安装合理时，出水量超出出水管最大出水量)的钻孔，可只作一次最大降深，稳定时间不少于 8h。

2 静止水位与恢复水位的测定,对于补给条件差的钻孔,当 4h 内水位变化不超过 5cm 时即认为稳定;如超过 48h 的仍超过 5cm 的要求时,亦可停止观测。

3 抽水试验结束后,根据工程需要采取回填或封孔措施。

3.8.10 抽水试验结果分析应满足以下要求:

- 1 检查抽水试验的原始记录,剔除记录、量测不准确或试验成果明显不正确的数据;
- 2 分析对比地下水位与潮汐的相关性,判定两者之间的水力联系特征;
- 3 通过对水位-时间曲线、流量-时间曲线、流量-降深曲线的分析,对地层渗透性进行综合判断,计算含水层的渗透系数、抽水影响半径等水文地质参数。

3.8.11 压水试验适用于基岩,宜采用边成孔边试验的单栓塞试验方法,分段长度不宜超过 10m。

条文说明:钻孔压水试验的目的是测定岩体的透水性,为评价岩体的渗透特性和设计渗控措施提供基本资料,其主要任务是测定裂隙岩体的单位吸水量,并以其换算求出渗透系数,用以说明裂隙岩体的透水性、裂隙性及其随深度的变化情况,为论证水工建筑物基础和地基岩体的完整性和透水程度,以及制定防渗措施和处理方案等提供重要依据。

因为在各种野外原地水文试验方法中(压水试验、注水试验和抽水试验),单栓塞压水试验方法有其独特的优越性:操作简单、迅速,地下水位以上和以下均可使用,在同一钻孔中进行分段压水还可以测得岩层渗透性柱状剖面图。尽管压水试验方法还有某些缺点,比如未考虑溶隙的方向和各向异性特点等,大多数情况下是可以满足防水设计需要的,这种方法仍不失为一种实际可行的好方法。

目前在基岩进行压水试验时,求得的透水率是试段的平均值,如试验分段长度过长,势必影响成果的精度;如试验分段长度过短又会增加压水试验的次数和费用。国外有关规程中规定的试段长度在 3~6m,不宜超过 10m,与我国规定基本上一致。在实际操作时由于诸多因素的影响,试段长度通常不是整数。对于地质构造条件特殊(如断层、裂隙密集带、岩溶洞穴等)的孔段,应根据具体情况确定试段的位置和长度,同时还应考虑下一试段栓塞止水的可靠性。

3.8.12 栓塞位置宜选择在基岩较完整孔段,试验前应检查栓塞止水效果,止水失效时应调整栓塞位置。

条文说明：在压水试验过程中，栓塞是否漏水，检查起来难度比较大。通常的做法是选用性能较好的栓塞材料，如强度和密封性较好的橡胶栓塞。另外，在试验过程中，如果出现压水水量和水压突变，则应考虑栓塞失效的可能。

3.9 勘察报告编制

3.9.1 勘察报告所需的原始资料，应进行整理分析，确认无误后方可使用。

3.9.2 勘察报告应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、重点突出，有明确的工程针对性。

3.9.3 勘察成果应充分利用计算机、现代通信、网络与数据库等技术，实现工程勘察数据采集、存储与应用；工程复杂程度、项目需求时，宜积极采用 BIM 技术建立三维地质模型。

3.9.4 勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质条件等具体情况编写，并应包括下列内容：

- 1 拟建工程概况；
- 2 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；
- 3 勘察方法和勘察工作布置；
- 4 场地地形、地貌、地层岩性、地质构造、地震、岩土性质及其均匀性；
- 5 各项岩土性质指标，岩石的强度、变形参数，地基承载力、桩侧摩阻力、岩石抗压强度等建议值；
- 6 地下水埋藏情况、类型、水位及其变化；
- 7 土和水对建筑材料的腐蚀性；
- 8 可能影响工程稳定的不良地质作用的描述和对工程危害程度的评价；
- 9 场地稳定性和适宜性的评价；
- 10 针对构筑物特点，对工程地质条件分段评价；
- 11 结论和建议；
- 12 其他需要说明的问题。

3.9.5 成果报告应附下列图件：

- 1 勘探点平面布置图；
- 2 物探成果图；
- 3 工程地质剖面图；
- 4 钻孔柱状图；
- 5 原位测试成果图；
- 6 室内试验成果、曲线。
- 7 需要时，尚可附综合工程地质图、综合地质柱状图、水文地质图、抽水试验成果等。

3.9.6 成果报告相应章节应插入下列岩土参数分析统计表：

- 1 岩土主要物理、力学指标性质统计表；
- 2 标准贯入试验（动力触探试验）锤击数统计表；
- 3 静力触探试验（扁铲侧胀试验、旁压试验、十字板剪切试验等）指标统计表；
- 4 岩土剪切波速统计表；
- 5 岩石单轴抗压强度统计表；
- 6 抗剪强度、承载力、压缩性指标综合成果表；
- 7 其他需要的分析统计表。

条文说明：为了便于快速查阅各种物理力学指标和原位测试成果数据，应在成果报告中插入相关统计成果表。如有必要，再参考相关指标汇总表。

3.9.7 成果报告应提交以下附表：

- 1 勘探点主要数据一览表；
- 2 土工试验成果汇总表；
- 3 水质分析成果表；
- 4 其他需要的附表。

3.9.8 对岩土の利用、整治和改造的建议，宜进行不同方案的技术经济论证，并提出对设计、施工和现场监测要求的建议。

3.9.9 勘察报告除应符合本节规定外，尚可对特殊、专门性的岩土工程问题提交专门

的试验报告、研究报告或监测报告。

3.9.10 勘察报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位、标点等，均应符合国家有关标准的规定。

条文说明：勘察报告编制，主要执行《公路工程地质勘察规范》里的相关要求和规定。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》（征求意见稿）

4 可行性研究阶段工程地质勘察

4.1 预可勘察

4.1.1 预可勘察应了解跨海通道建设项目所处区域的工程地质条件及存在的主要工程地质问题，为编制预可行性研究报告提供工程地质资料。

条文说明：预可行性研究重点在于研究建设项目的必要性，通过综合分析论证，初步确定建设项目的通道或走廊带，因此，用“了解”一词与预可勘察的深度要求相适应。

4.1.2 预可勘察应包括下列内容：

- 1 了解跨海通道走廊带地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数、不良地质和特殊性岩土分布及发育状况；
- 2 了解并搜集海域的水文条件、海岸变迁、冲淤变化、潮位、波浪、海流和泥沙等资料；
- 3 分析评价区域性断裂对工程的影响；
- 4 编制预可行性研究阶段工程地质勘察报告。

条文说明：预可勘察重在项目建设区域的工程地质条件的宏观把握。跨海通道项目所处环境往往比较特殊，海域水文条件、海岸历史变迁、冲淤变化、波浪、泥沙等资料对工程选址有一定影响，需要详细收集历史相关资料。

4.1.3 预可阶段工程地质工作应采用收集、分析区域地质资料、现场踏勘相结合的工作方法，并应完成下列工作：

- 1 广泛收集、分析区域地质资料，认真研究线路方案；
- 2 地质条件复杂时，应沿拟定的通道布设纵向物探断面，数量不宜少于 2 条。对影响工程方案的区域性活动断裂，应适当增加物探纵、横断面的数量；
- 3 区域性断裂带、桥梁主墩、水下隧道等重要地段，应进行钻探、取样和测试工作。

条文说明：跨海通道项目所经水域面积大、地质情况不明，采用遥感地质解译结合水上物探等方法对于宏观上地质把握具有明显的优势，可初步探测水下地形隐伏断裂、构造、河床覆盖层厚度等，针对主要物探异常当然应布置适当的勘探钻孔验证，

另外，结合工程采用桥梁方案、隧道方案或者桥隧组合方案进行针对性勘探十分有必要，以确定各方案的总体地质条件。

4.1.4 预可勘察报告应提供下列资料：

1 文字说明：应对拟建通道项目的工程地质条件、存在的工程地质问题及筑路材料的分布状况和运输条件等进行说明，对各通道的工程地质条件进行评估，对下一阶段的工程地质勘察工作提出意见和建议；

2 图表资料：1:10000~1:50000 路线工程地质平面图、工程地质断面图及附图、附表、照片等。

4.2 工可勘察

4.2.1 工可勘察应初步查明通道沿线的工程地质条件及存在的工程地质问题，为编制工程可行性研究报告提供工程地质资料。

4.2.2 工可勘察应包括下列内容：

1 了解通道走廊带的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地震动参数、不良地质和特殊性岩土分布及发育状况；

2 初步查明通道所在海域的水文状况、滩岸地质状况；

3 初步查明通道场址的地层岩性、地质构造、海底地形及水下岸坡的稳定性、不良地质和特殊性岩土分布及发育状况；

4 初步查明区域性断裂对场区稳定性的影响；

5 初步查明主要岩土层的物理力学性质；

6 初步查明地下水类型、含水层性质、地下水与地表水位的动态变化，分析评价地下水对工程的影响；

7 初步分析跨海桥位的工程地质和水文地质条件，评价不良地质和特殊性岩土对工程的影响；

8 初步分析水下隧道建设场地的地层岩性、地质构造、水文地质条件、隧道围岩分级及地基地质条件、不良地质及特殊性岩土的类型、性质、分布范围及发育规律，针对

隧道不同工法特点，给出所需的岩土设计参数及施工措施建议；

9 初步分析人工岛建设场地的地层岩性、地质构造、水文地质条件、地基稳定性、不良地质及特殊性岩土的类型、性质、分布范围及发育规律；

10 编制工程可行性研究阶段工程地质勘察报告。

4.2.3 本阶段勘察工作应符合以下要求：

1 着重查明区域地质界线、断层、不良地质和特殊性岩土分布情况。

2 针对主要断裂破碎带、桥梁主墩、水下隧道、人工岛，应增加纵、横向物探工作。

3 不同地貌单元分界地段应有钻孔，同一地貌单元勘探点间距不宜超过 2km。

4 桥梁主墩、锚碇等重要部位应布设钻孔，当揭露地层变化加大时，沿线位方向加密钻孔、取样和测试工作。

5 隧道宜在进出口、工作井及洞身代表性部位结合物探解译成果布设钻孔、取样和测试工作。

6 人工岛宜沿线位方向和筑岛两侧边线的两端、和中间部位布设钻孔。

条文说明：工程可行性研究阶段，其主要目的是进行线位比选和桥岛隧方案的选择，对地质条件的勘察仍然侧重于对宏观地质条件的把握，但较预可阶段有所加深。区域性断裂的活动性评价对通道主要构筑物（如桥梁主墩、水下隧道、人工岛等）选址影响较大，目前关于特殊大跨度桥梁、水下隧道等跨越活动性断裂的安全性评价仍存在不同看法，本阶段布置工作量时宜以物探工作为主，异常地段加密测线，并在桥梁主墩、锚碇、水下隧道、物探异常等地段辅以少量钻孔验证，以取得较为确切结论，避免后期方案反复。当区域断裂无法避开时，应开展专门工程地质勘探，包括采用工程地质调绘、物探、钻探、取样和测试工作，经专题论证研究后确定。

地下水对水下隧道特别是矿山法隧道影响较大，工可阶段应有针对性地开展必要的水文地质工作，为工法选择、开挖方案确定提供依据。

4.2.4 多条线位比选时，宜同精度开展工作。

4.2.5 工可勘察报告应提供下列资料：

1 文字说明：阐述通道沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、新构造运动与地震、水文地质条件等；分析评价不良地质和特殊性岩土对通道工程的影响；针对桥梁、隧

道、人工岛等工程地质条件进行说明、评价，并提供方案设计所需的岩土参数；从工程地质条件方面对线位和方案比选提出建议。

2 图表资料：1:2000~1:10000 工程地质平面图；1:2000~1:10000 工程地质断面图；附图、附表和照片等。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》（征求意见稿）

5 初步勘察

5.1 一般规定

5.1.1 初步勘察应基本查明跨海通道各类构筑物建设场地的工程地质条件，为初步设计文件编制提供工程地质资料。

5.1.2 初步勘察应与各类构筑物的方案设计相结合，根据现场地形地质条件，采用工程地质调绘、钻探、物探、原位测试、室内试验等手段相结合的综合勘察方法，对各类构筑物工程建设场地的工程地质条件进行勘察。

条文说明：公路跨海通道工程一般规模宏大，有的是采用桥梁方案，有的是隧道方案，桥梁结构形式多样，悬索桥、斜拉桥、连续梁桥；隧道方案根据航运、地质等条件，采用矿山法、盾构法、沉管法等工法施工。此外，所涉及的附属构筑物多。各类构筑物、工法研究的勘察原则、侧重点不一，本条提出，初步勘察应与构筑物的方案设计相结合。

公路工程所涉及的工程地质问题较多，采用单一的手段往往难以取得各类工程方案必选、设计所需的地质资料；此外，岩土参数靠单一手段难以准确确定。在初步设计阶段，应结合路线及各类构筑物的工程设计方案，根据现场条件，采用综合勘察方法进行勘察。

5.1.3 初步勘察应对工程项目建设可能诱发的地质灾害和环境工程地质问题进行分析、预测，评估其对工程和环境的影响。

5.2 桥梁

5.2.1 桥梁初勘应根据现场地形地质条件，结合跨海通道建设规模、拟定的桥型、桥跨、基础形式等确定勘察方案，基本查明下列内容：

- 1 地貌的成因、类型、形态特征、海底地形、岸坡的稳定状况和地震动参数；
- 2 断裂的类型、分布、规模、产状、活动性，破碎带宽度、物质组成及胶结程度；
- 3 水下障碍物及管线分布情况；

- 4 覆盖层的厚度、土质类型、分布范围、地层结构、密实度和含水状态；
- 5 基岩的埋深、起伏形态，地层及其岩性组合，岩石的风化程度及节理发育程度；
- 6 岩土的物理力学性质；
- 7 不良地质和特殊性岩土的类型、分布及性质；
- 8 地表水和地下水的类型、分布、水质和环境水的腐蚀性；
- 9 水下地形的起伏形态、冲刷和淤积情况以及海床的稳定性；
- 10 锚碇、沉井深基坑开挖可能引起的涌水、流砂等情况；
- 11 桩基施工可能遇到的工程地质问题，及对周边环境的影响等；
- 12 桥梁通过有害气体分布区时，应评价有害气体对工程建设的影响。

条文说明：跨海通道工程是线性工程，沿线地质条件变化较大，其类型、规模不尽相同，涉及的地质问题各异，应结合桥梁的建设规模和桥型、桥跨及基础形式等确定勘察的内容和重点，制订相应的勘察方案。跨海通道工程一般规模宏大，且涉及通航、防洪、水土保持等批复，初勘阶段宜针对水下障碍物、地下管线等开展调查，从而有针对性的布置墩台、制定保护方案，避免设计方案的反复。此外，跨海通道可能涉及渔业保护区、生态保护区，桥梁施工对周边环境产生的影响进行阐述。

本条对桥梁勘察的内容作了一般性的规定，在进行工程地质勘察的过程中尚应结合具体情况确定勘察内容。

5.2.2 应进行 1:10000 工程地质调绘，调绘宽度沿线路两侧各不宜小于 1000m。当桥位附近存在岩溶、泥石流、滑坡、危岩、崩塌等可能危及桥梁安全的不良地质时，应根据实际情况确定调绘范围，并辅以必要的物探手段探明。

条文说明：跨江、海大型桥梁，工程建设规模大，技术复杂，涉及的地质问题较多，采用单一手段往往难以达到勘察目的，工程地质勘察具有很强的综合性。由于桥位地质信息大多为水体覆盖，对桥位所处区域工程地质条件进行调查研究，在工程地质调绘的基础上，制订具有针对性的勘察方案。从工程实践来看，是可行的，也是必要的。在以往的工作中，有的跨江、跨海大型工程建设项目，在桥位勘测期间，对桥位区域工程地质调绘工作重视不够，桥位所处的区域工程地质条件不明，将桥位选择在区域性断层、岩溶发育带等不良地质地段的情况时有发生，不仅造成工程方案的重大变更，也给施工带来很大的困难。桥位是桥梁工程所处区域工程地质环境的一个组成部分，其工程地质条件的形成与分布规律，与其所处区域工程地质环境的演化过程密切关联。

进行 1:10000 区域工程地质调绘,是正确认识和把握桥位工程地质条件的一个重要方面,有利于明确工程地质勘察的重点、难点,制订合理的勘察方案,指导后续勘察工作,对正确地分析、评价桥位工程地质条件,进行桥位工程地质比选是非常必要的。总结以往的工程经验教训,本条提出:“跨江、海大桥及特大桥应进行 1:10000 区域工程地质调绘。”

5.2.3 桥梁初勘应以钻探、原位测试为主,遇有下列情况时,应结合物探等手段进行综合勘探:

- 1 桥位有隐伏的断裂、岩溶、土洞、采空区、有害气体等不良地质发育;
- 2 基岩面或桩端持力层起伏变化较大,用钻探资料难以判明;
- 3 水下地形的起伏与变化情况需探明;
- 4 控制斜坡稳定的卸荷裂隙、软弱夹层等结构面用钻探难以探明。

5.2.4 物探测线宜沿桥轴线和左右两侧布置,一般不应少于 3 条,其相互间距和长度应根据地质条件复杂程度而定,一般间距为 50~100m,测线长度应适当超出规定的勘探范围。

5.2.5 勘探测试点的布置应符合下列规定:

- 1 勘探测试点应结合桥梁的墩台位置和地貌地质单元沿桥梁轴线或在其两侧交错布置。
- 2 大跨桥梁主塔墩基础、锚碇基础等重点部位钻孔数量不少于 2 个,主桥其他墩位每处宜有 1 个钻孔;引桥间隔 200~300m 应有 1 个钻孔;
- 3 主要地层岩性变化及断裂等重要的地质界线应布置勘探点,说明桥位工程地质条件;
- 4 基础施工有可能诱发滑坡等地质灾害的边坡,应结合桥梁墩台布置和边坡稳定性分析进行勘探。

条文说明:本条提出:“勘探测试点应结合桥梁的墩台位置和地貌地质单元沿桥轴线或在其两侧交错布置”是由于同一地貌地质单元的地质条件基本相同,勘探测试点按地貌地质单元布置,有利于探明桥梁墩台所处地貌地质单元的地质条件,揭示的地质情况具有一定的“代表性”;而结合桥梁的墩台位置进行布置,有利于探明桥梁

墩台所处部位地质情况。

本条对大跨桥梁主塔墩基础、锚碇基础等重点部位钻孔个数进行了规定，是基于多个跨海桥梁项目得出的。大跨度桥梁桥式方案往往根据交通部水运部门通航批复文件确定，主墩、锚碇处的地质条件制约基础方案和工程造价，甚至决定着整个跨海通道方案，因此主墩、锚碇等重点部位应有钻孔，使提供的地质资料具有“针对性”，地层条件简单时应至少有 2 孔，地层条件较复杂时宜适当增加钻孔。

其余墩台每 200~300m 布孔，其目的是对全线地质条件的普查，摸清岩面整体起伏情况，并对物探成果进行验证，有利于采用较少的勘探工作量探明桥位地质情况，反映桥梁墩台基础部位的地质条件，满足工程方案设计要求，《公路工程地质勘察规范》规定的特大桥工程地质条件较复杂或复杂时孔数为不少于 7 个，对于跨海通道工程是明显不足的。

5.2.6 勘探深度应符合下列规定：

1 对于桩基础，钻孔深度应符合以下规定：

1) 基础置于覆盖层内，勘探深度应至预估桩端以下不小于 10m，并满足沉降计算要求；在此深度内遇有软弱地层发育时，应穿过软弱地层至坚硬土层内不小于 5m。

2) 对于较坚硬岩或坚硬岩，钻孔钻入中、微风化基岩内 15~20m；极软岩、软岩或较软岩，孔深应根据单桩承载力要求确定，一般应进入中、微风化基岩不小于 30m。

2 对于重力式锚碇基础，孔深不宜小于基坑深度的 2 倍，在预计深度遇基岩时，孔深应进入中风化基岩不少于 10m；对于隧道式锚碇基础，孔深应钻至基底以下稳定基岩 15~20m，岩体结构面发育时，孔深应专门研究确定。

3 对于沉井基础，勘探孔深度应根据沉井刃脚埋深和地质条件确定，一般不少于沉井刃脚以下 1 倍沉井直径（宽度），并满足沉降计算要求。在预计深度遇基岩时，孔深应进入中风化基岩不少于 10m；持力层下有软弱地层分布时，钻孔深度应适当加深。

4 明挖扩大基础，勘探孔深度应满足稳定性分析需求。

5 对于地质条件特别复杂的深水、大跨桥梁基础，钻孔深度应按设计要求专门研究后确定。

条文说明：本条对勘探深度针对各类基础形式和地层条件，进行了详细的规定，深度制定时搜集了港珠澳大桥、厦漳大桥、杭州湾大桥等多个跨海、跨江大桥的制订原则。考虑到通道位于海域，如因钻孔深度不够导致二次进场，其实施难度大、周期

长，因此建议孔深尽量按本条大值确定。

“对于隧道式锚碇基础，孔深应钻至基底以下稳定基岩 15~20m”是基于隧道锚相关研究综合确定的。根据刘新荣研究论文“隧道锚承载特性、变形破坏特征及典型案例分析”，隧道锚破坏模式可分为 4 类，即坡体滑移破坏、接触面破坏、围岩倒楔形破坏及组合破坏。

当锚址区岩体节理构造发育，岩体因受层面和节理切割而较为破碎时，主缆拉力通过锚塞体传递给周边岩体，将诱使边坡岩体沿着优势结构面发生滑移破坏，滑体连带锚塞体一起滑出，该类破坏为锚碇区坡体滑移破坏模式。

当围岩完整性较好、质量较高，锚塞体埋深较大且与围岩接触界面的结合程度较低时，隧道式锚碇容易出现岩接触面破坏模式。

围岩倒楔形破坏模式主缆拉力作用下，锚塞体连带周边一定范围内的岩体有向荷载方向运移的趋势，此时该范围内的岩体处于“拉剪”应力状态。当岩体内某点应力达到其屈服极限时，岩体自该点起产生初始裂纹。随荷载增大，裂纹沿拉力向和锚塞体环向不断扩展并最终贯通。贯通面的形态可以是曲线型或直线型，与锚址区岩体力学特性和结构特征有关。破坏体的最终形态类似于底部小、顶部大的塞状体。

锚塞体的形态及埋深、围岩强度及完整性、锚岩接触面力学特性等因素均会影响隧道式锚碇的承载变形特征，进而影响甚至改变锚碇的破坏模式。应当结合现场实际条件，确定影响锚碇稳定性的主控因素，在此基础上分析锚碇可能出现的破坏模式。

当钻孔位于锚塞体前部且结构面发育、岩体较破碎时，宜取大值；岩体较完整时可取小值，地质条件复杂时孔深宜报设计研究确定。

5.2.7 钻探应采取岩、土、水试样，并符合下列规定：

1 在粉土、黏性土地层中，每 1.5~2m 应取原状样 1 个；土层厚度大于 5m 时，取样间距可适当放宽，但不宜超过 5m；遇土层变化时，应立即取样。

2 在砂土和碎石土地层中，应分层采取扰动样，取样间距一般为 2~3m；遇土层变化时，应立即取样。

3 在基岩地层中，应根据岩石的风化等级，分层采取代表性岩样。

4 当需要进行冲刷计算时，应在河床一定深度内取样做颗粒分析试验。

5 选取代表性地段，在高平潮、低平潮时采取地表水样，每组样品数不宜少于 2 个。

6 选取代表性地段，在钻孔内采取地下水样，每组样品数不宜少于 2 个。

7 采取岩土试样的钻孔数不宜少于总孔数 1/2。

条文说明：“在粉土、黏性土地层中，每 1.5~2m 取原状样 1 个；土层厚度大于 5m 时，取样间距可适当放宽，但不宜超过 5m”，是考虑到跨海通道工程钻孔深度大，如全部按每 1.5~2m 间距取样，取样数量多，室内试验工作量非常大，因此当土层厚度较大时，适当放宽取样间距，但遇土层变化时，应立即取样进行试验。

5.2.8 应根据地基岩土类型、性质和桥梁的基础形式选择岩土试验项目和原位测试方法，并符合下列规定：

- 1 黏性土、砂土应做标准贯入试验，碎石土应做重型动力触探试验，一般试验间距为 1.5~2m。需进行砂土液化判别段，标准贯入试验间距应按 1~1.5m 进行。
- 2 有成熟经验的地区，可采用静力触探、旁压试验、扁铲侧胀试验等方法评价地基岩土的工程地质性质。
- 3 应选择代表性钻孔进行剪切波速测试，对场地土和场地类型进行评价。
- 4 进行原位测试的钻孔数不宜少于总孔数 1/2。
- 5 室内测试项目可按表 5.2.8 选用。

表 5.2.8 桥梁工程室内试验测试项目表

测试项目	粉土、黏性土		砂土、碎石土		岩 石	
	桩基	锚碇基础	桩基	锚碇基础	桩基	锚碇基础
颗粒分析	+	+	+	+		
休止角			+	+		
天然含水率 w (%)	+	+				
密度 ρ (g/cm^3)	+	+	(+)	(+)		
塑限 w_p (%)	+	+				
液限 w_L (%)	+	+				
有机质含量 w_o (%)	(+)	(+)				
无侧限抗压强度 q_u	(+)	(+)				
压缩系数 α (MPa^{-1})	+	+				
渗透系数 k (cm/s)	(+)	+	(+)	+		
直接剪切试验	黏聚力 c_q, c_g (kPa)		+	+		
	内摩擦角 φ_q, φ_g ($^\circ$)		+	+		
静止侧压力系数 k_0		+				
三轴剪切试验	黏聚力 c_{cu}, c_{cv} (kPa)		(+)	(+)		
	内摩擦角 $\varphi_{cu}, \varphi_{cv}$ ($^\circ$)		(+)	(+)		
抗压强度 R_c (MPa)					+	+

注： 1、+为必做项目，（+）为选做项目；
 2、黏土质岩做天然抗压强度试验，其他岩做饱和抗压强度；
 3、软土有机质含量、无侧限抗压强度、三轴剪切试验为必做试验；
 4、沉井采用排水下沉时，试验项目参考锚碇基础。

6 钻探取芯、取样困难的钻孔，可采用孔内摄像、物探综合测井等方法探明孔内地质

情况。

7 遇有害气体时，应取样测试。

8 悬索桥锚碇基础，地下水发育时，应进行抽水试验。

条文说明：桥梁勘察采用的原位测试方法包括静力触探、动力触探、十字板剪切试验、旁压试验、扁铲试验等，应根据地基岩土条件和设计对岩土参数的要求选用。近年来，随着城市轨道交通项目发展，针对地下工程特别是基坑工程，旁压试验、扁铲试验、十字板剪切试验得到广泛应用，成果丰富，效果显著，本条建议，对桥梁工程，特别是锚碇、沉井等重点部位，采用多种原位测试方法进行勘察是非常有必要的。

含煤地层和天然气等分布的桥位，基础施工可能遇到有害气体，应按照相关行业标准对有害气体进行测试，判明其对工程施工可能产生的不利影响，提出施工措施合理化建议是非常有必要的。杭州湾大桥前期勘察过程中，针对浅层气开展了专题研究，基本查明了其成份、藏气量、压力等，建议了合理基础形式，研究成果显著，针对性较强。

5.2.9 桥梁初勘应提供下列资料：

1 文字说明：应对桥位的工程地质条件进行说明，对工程建设场地的适宜性进行评价；受潮汐和冲刷影响的桥位，应分析岸坡、海床的稳定性；应分析、评估不良地质和特殊性岩土对工程建设的影响；锚碇、沉井应分析、评价深基坑开挖可能引起的涌水、流砂等情况及锚碇基础施工对环境的影响。

2 图表资料：

1:2000 桥位工程地质平面图；

1:1000~1:2000 桥位工程地质纵断面图；

墩台及锚碇工程地质横断面图（必要时绘制），比例尺视具体情况决定；

1:50~1:200 钻孔柱状图；

原位测试图表；

岩、土测试资料；物探资料；有害气体测试资料；

水质分析资料；

附图、附表和照片等。

5.3 隧道

5.3.1 隧道初勘工作应在充分调查、分析既有资料基础上进行，并利用前期勘察成果。

5.3.2 初勘应根据隧道所处场地条件，结合施工工法、工艺的需要，确定勘察范围和重点，基本查明以下内容：

- 1 地层岩性、地质构造、海底地形地貌、水文地质条件、区域稳定性；
- 2 断层、褶曲的形态、性质、产状、活动性及其对隧道工程的影响；
- 3 岩质隧道中岩层结构面产状及组合，岩体完整性、风化程度及围岩分级；
- 4 土质隧道中土的成因类型、结构成分、密实度、潮湿度和稳定性等；
- 5 岩土体的物理力学参数；
- 6 不良地质及特殊岩土的类型、分布、范围及其对隧道的影响；
- 7 沉船、金属构件、地下建筑物等地下障碍物；
- 8 跨海通道隧道所经水域的海底沉积物、水下地质灾害、区域地震历史及地震烈度；
- 9 对于盾构隧道，应查明影响盾构机选型及设计、施工的地质条件；
- 10 对于沉管及堰筑隧道，宜进行海床演变分析；
- 11 地下水的分布、特性、涌水量，地下水与地表水的水力联系；
- 12 环境水腐蚀性等级；
- 13 与隧道设计施工相关的临近环境条件；
- 14 跨海通道隧道弃渣场场地范围、地形地貌、地层岩性、水文工程地质条件、挡护工程的地基地质情况以及对周边地质、环境的影响。

条文说明：跨海通道隧道工程地质勘察应在遵循《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）规定基础上，查明隧址区工程地质及水文地质条件。本条对跨海通道隧道的工程地质勘察内容作了一般性的规定。在实际工作中，应根据现场条件具体确定。水文地质条件应包括附近海域的潮汐变化规律、波浪资料、海底障碍物分布状况及海底地形演变等情况。

跨海通道隧道建设环境复杂，特别是埋深较浅的盾构段，对海底条件进行详尽的勘测，更有利于降低工程风险，保证人员设备安全。

5.3.3 初勘应结合不同的施工工法，根据隧道所处地形、地质条件、临近建筑物、地下管线分布状况及其与隧道相对位置关系，有针对性地制定勘察工作量。

5.3.4 初勘阶段应进行水文地质专项勘察与评价工作，并在详勘前开展地下水观测工作。

条文说明：隧道工程水文地质专项勘察工作内容，一般包括抽水试验、压水试验、地下水流速流向测试等，水文地质条件对跨海通道勘察极为重要，勘察工作中必须对水文进行专门工作，且在整个勘察阶段持续进行地下水观测工作。

5.3.5 工程地质和水文地质调绘应符合下列规定：

1 调绘应沿路线两侧一定宽度范围进行，其宽度一般不应小于 1000m，地质条件复杂地段应扩大调绘范围。

2 工程地质调绘比例尺为 1:2000；水文地质调绘比例尺为 1:2000~1:10000。

5.3.6 物探工作应根据工程、水文地质条件以及地形地貌等因素确定，并符合下列规定：

1 物探宽度可根据路线比选范围及结构特点确定，水域地段不应小于轴线外侧 150m；陆域地段不应小于轴线外侧 100m。

2 物探测线应沿轴线及左右两侧布置，纵向测线不少于 3 条，重要地段增加横断面探测；物探异常地段应布置网格状测线。

3 对于盾构、沉管和堰筑隧道，预计基岩将对设计施工产生影响时，应适当加密物探测线。

4 物探解译工作应与调绘、钻探等成果相结合，综合分析。

条文说明：跨海通道隧道勘察中物探的重点在于查明基岩面的分布，对于一般的沉管和堰筑隧道，往往修建于海床之上，基岩面对工程影响不大，一般不必要进行物探工作。基岩将对设计施工产生影响时，则应适当加密物探工作。

5.3.7 初勘阶段应进行钻探，沿隧道两侧交叉布置钻孔，钻孔间距一般为 150~300m。

条文说明：本条中地质钻孔间距根据不同工法的施工特点，在参考《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）、《岩土工程勘察规范》（GB50021）及《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB50307）基础上，根据同类工程经验确定。

5.3.8 钻爆隧道及盾构隧道钻孔布设应符合下列规定：

- 1 钻孔应布设在隧道洞壁外侧 5~10m 处。
- 2 盾构隧道工作井位置应有钻孔。

5.3.9 沉管及堰筑隧道钻孔布设应符合下列规定：

- 1 钻孔一般应沿基坑两侧布设。
- 2 基坑宽度大于 30m 时，基坑中部宜布设钻孔。

5.3.10 钻孔深度应符合下列规定：

- 1 钻爆隧道的钻孔深度应符合下列规定：
 - 1) 洞身处于完整岩层时，孔深应达到隧道底板以下 10~15m。
 - 2) 洞身处于破碎岩层时，孔深应达到隧道底板以下 15~20m。
- 2 盾构隧道的孔深应达到隧道底板以下不小于 2 倍洞径，在预计深度遇基岩时，孔深应进入中风化基岩不少于 10m。
- 3 沉管隧道的孔深应达到隧道底板以下 1 倍沉管隧道宽度。
- 4 堰筑隧道的钻孔深度应符合下列规定：
 - 1) 孔深不宜小于基坑深度的 2 倍，在预计深度遇基岩时，孔深应进入中风化基岩不少于 10m。
 - 2) 如遇软土或降水设计需要，宜穿过软土层或透水层（含水层）。

5.3.11 钻探应采取岩、土、水试样，并符合下列规定：

- 1 在粉土、黏性土地层中，每 1.5~2m 应取原状样 1 件；土层厚度大于 5m 时，取样间距可适当放宽，但不宜超过 5m；遇土层变化时，应立即取样。
- 2 在砂土和碎石土地层中，应分层采取扰动样，取样间距一般为 2~3m；遇土层变化时，应立即取样。
- 3 在基岩地层中，应根据岩石的风化等级，分层采取代表性岩样。
- 4 当需要进行冲刷计算时，应在河床一定深度内取样做颗粒分析试验。
- 5 选取代表性地段，在高平潮、低平潮时采取地表水样，每组样品数不宜少于 2 个。
- 6 采取岩土试样的钻孔数不宜少于总孔数 1/2。
- 7 应选择部分钻孔进行波速、井温、电阻率测试。
- 8 基岩段应选择代表性钻孔，进行孔内摄像。

5.3.12 隧道工程室内试验测试项目可按表 5.3.12 选用。

表 5.3.12 隧道工程室内试验测试项目表

测试项目		土体	岩体
地层			
颗粒分析		+	
天然含水率 w (%)		+	
密度 ρ (g/cm^3)		(+)	(+)
塑限 w_p (%)		+	
液限 w_L (%)		+	
压缩系数 a		+	
渗透系数 k		+	+
自由膨胀率 F_s (%)		(+)	(+)
直接剪切 试验	黏聚力 c_q, c_g (kPa)	+	
	内摩擦角 φ_q, φ_g (°)	+	
孔内波速试验 v_p (km/s)			+
岩石单轴饱和抗压强度 R_c (MPa)			+
矿物成份分析			(+)

注：+为必做项目，(+)为选做项目；

5.3.13 取样与试验除应满足相关规范要求，还应考虑施工工法的差异，进行与隧道设计施工要求相关的试验，并符合下列规定：

- 1 钻爆及盾构隧道宜进行土体的渗透破坏比测试；岩浆岩地区应进行放射性测试。
- 2 沉管隧道宜进行不同季节、不同温度及不同浑浊度条件下水的重度测试。
- 3 盾构隧道宜进行岩土体的石英含量及岩石耐磨性测试。
- 4 堰筑隧道宜进行标准贯入或十字板剪切等原位测试。
- 5 盾构隧道采用冻结法施工时，应现场取样对土体热物理力学指标及冻结体强度进行测试。
- 6 采取地表水和地下水样，做水质分析，评价水的腐蚀性。
- 7 矿山法和盾构法隧道应开展抽水试验，并采取地下水样进行水质分析。
- 8 遇有害气体时，应取样测试，必要时进行专题研究。

条文说明：跨海通道隧道取样与试验应符合《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)、《岩土工程勘察规范》(GB50021)以及《建筑工程地质勘探与取样技术规程》(JGJ/T87)、《公路土工试验规程》(JTG E40)。根据不同施工工法差异提出的相关要求为：

- 1 土体的渗透性对钻爆隧道和盾构隧道设计施工影响较大，除进行常规岩土物理

参数试验外，宜进行土体渗透破坏比测试。

2 沉管隧道一节管段的规模非常大，水的重度对其安全影响较大。

3 石英含量对盾构机机具和刀盘的磨损和冲击影响较大，因此需进行石英含量和磨蚀强度的测试。

4 土体热物理参数是保障冻结法安全合理的重要指标。

5.3.14 钻探工作完毕后应进行全孔封堵，水下部分岩层（含强风化岩层）应采取水泥砂浆封堵，土层（含全风化层）应采用黏性土封堵。

5.3.15 隧道围岩分级按附录 C 确定。

条文说明：对于跨海通道隧道围岩分级，除按《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）相关条款确定外，宜考虑其水下特点对围岩分级进行相应的降级。

5.3.16 隧道初勘应提供下列资料：

1 文字说明：说明隧道建设场地的水文地质及工程地质条件，评价隧道工程建设场地的适宜性；进行隧道围岩分级，提出隧道设计所需的岩土物理力学参数，分析不良地质与特殊性岩土对工程建设的影响；估算隧道涌水量，评估施工过程中突水、突泥、塌方的风险；沉管隧道应对成槽的可行性进行评价；分析隧道工程建设对环境的不良影响，并提出建议与对策。

2 图表资料：隧址区工程地质、水文地质平面图（1:2000~1:10000）；隧道工程地质纵断面图（1:2000）；隧道洞口、洞身工程地质横断面图（1:100~1:200）；钻孔柱状图（1:50~1:200）；物探曲线、测井资料；原位测试；水文地质测试资料；岩、土、水测试资料；有害气体、地温测试资料；附图、附表和照片。

5.4 人工岛

5.4.1 人工岛初勘应根据总平面图布置、构筑物结构和基础形式、施工方法等确定勘察方案，基本查明以下内容：

1 水下地形的起伏形态、冲刷和淤积情况以及海床的稳定性；

2 岩土层性质、分布规律、形成时代、成因类型、基岩的风化程度及埋藏条件；

3 与工程建设有关的地质构造、地震历史；

- 4 不良地质和特殊性岩土分布范围、发育程度、形成原因；
- 5 地下水类型、含水层性质、调查水位变化幅度、补给与排泄条件；
- 6 水下障碍物及管线等的分布。

条文说明：本节适用于跨海通道人工岛岛壁结构和陆域形成区的勘察。

5.4.2 物探测线应沿岛壁和线路轴线布置，其他部位宜网格状布置，测线间距 50～100m。地质情况复杂时可适当加密。

5.4.3 人工岛初勘阶段地质调绘应采用比例尺 1:2000 的地形图。人工岛岛壁结构和陆域形成区勘探点、线的间距应根据地貌形态、岩土组成、不良地质发育情况、工程要求等确定，在岸坡地带、岩石与土层结合地带、不良地质与特殊性岩土发育地段宜适当加密。勘探点、线的布置一般可按表 5.4.3 确定。

勘探线、勘探点布置表 表 5.4.3

工程类别		勘探线、勘探点布置方法	勘探线距或条数	勘探点距或点数
岛壁结构	斜坡式	平行岛壁的纵向布置及垂直岛壁的横向布置	纵测线 1 条，间隔 200～300m 布置横测线。	纵向勘探点间距 100～200m；每个横测线布置 2～3 个勘探点，坡顶、坡脚应有勘探点。
	直立式和混合式	沿岛壁纵向布置及垂直岛壁方向布置	纵测线 2 条，间隔 100～200m 布置横测线。	纵向勘探点间距 50～100m；横向勘探点间距不大于 20m。
陆域形成区		按网络状布置	勘探线间距 50～150m	勘探点间距 75～150m。

注：①对斜坡式岛壁结构，在岩土层地质结构复合近岸有沟地段，适当增加勘探点；

②地质条件复杂时，勘探点、线间距取小值；地质条件简单时，勘探点、线间距取大值；

5.4.4 人工岛初勘的勘探点深度应根据工程规模、设计要求和岩土条件确定，勘探点的深度可按表 5.4.4 确定。

勘探点深度表 表 5.4.4

工程类别	勘探点勘探深度
岛壁结构	危险滑动面以下 3～5m
	基础底面以下 2～3 倍岛壁结构的高度
	桩尖以下 8m
陆域形成区	30～40m

注：①陆域形成区钻孔在预定勘探深度内遇基岩时，勘探点深度应钻入强风化岩层中不小于 5m 或预计以风化岩为持力层的桩端以下不小于 10m。

②陆域形成区在预定勘探深度内遇到密实砂层、碎石土层和坚硬的老黏性土，进入深度不小于 15m。

条文说明：

- (1) 对于没有经验的地区，应布置一定数量的原位测试和钻探对比孔，分析原位

测试数据与室内试验的相关性，提高原位测试的解译精度。对于有经验的地区，可以适当增加原位测试孔的比例。

(2) 原状土样取土数量应满足后期统计学的要求，一般要求其数量不低于 6 个，但根据不同试验要求和土质情况并考虑可能产生的一些需要剔除的不合理值，现场预估取原状土样数量均远多于 6 个。

5.4.5 钻探应采取岩、土、水试样，并符合下列规定：

- 1 在粉土、黏性土地层中，每 1.5~2m 应取原状样 1 个；遇土层变化时，应立即取样。
- 2 在砂土和碎石土地层中，应分层采取扰动样，取样间距一般为 2~3m；遇土层变化时，应立即取样。
- 3 在基岩地层中，应根据岩石的风化等级，分层采取代表性岩样。
- 4 当需要进行冲刷计算时，应在河床一定深度内取样做颗粒分析试验。
- 5 选取代表性地段，在高平潮、低平潮时采取地表水样，每组样品数不宜少于 2 个。
- 6 采取岩土试样的钻孔数不宜少于总孔数 1/2，其余勘探点应为原位测试孔。

5.4.6 原位测试和室内试验应满足下列要求：

- 1 碎石类土做重型或超重型圆锥动力触探试验，黏土、粉土、砂土做标准贯入、静力触探试验或旁压试验；软黏土做静力触探、十字板剪切试验或扁铲试验；
- 2 人工岛室内试验测试项目可按表 5.4.6 选用。

人工岛室内测试项目表 表 5.4.6

岩土类别		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石
测试项目						
颗粒分析		+	+	+	+	
天然含水量 ω (%)		+	+	(+)	(+)	
密度 ρ (g/cm ³)		+	+	(+)	(+)	
塑限 ω_p (%)		+	+			
液限 ω_L (%)		+	+			
压缩试验	压缩系数 a (MPa ⁻¹)	+	+			
	压缩模量 E_s (MPa)	+	+			
前期固结压力 p_0		+				
有机质含量 W_o		+				
无侧限抗压强度 q_u (灵敏度 S_r)		+				
静止侧压力系数 k_0		+	(+)			
固结系数 C_v, C_h (cm ² /s)		+	+			
渗透系数 k (cm/s)		+	(+)	+		

岩土类别		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石
直接剪切试验	黏聚力 c_q, c_g (kPa)	+	+	(+)	(+)	
	内摩擦角 φ_q, φ_g (°)	+				
三轴剪切试验	黏聚力 c_{uu}, c_{cu} (kPa)	+	+			
	内摩擦角 $\varphi_{uu}, \varphi_{cu}$ (°)	+				
抗压强度 R_c (MPa)						+

注：“+”——必做项目；“(+)”——选做项目。

3 有特殊要求时应根据工程需要确定试验项目。

5.4.7 人工岛初勘应提供下列资料：

1 文字说明：综合分析所取得的地质资料，进行工程地质分区，阐明场地工程地质条件，评价场地稳定性与适宜性，就岛壁结构型式、地基处理、填料来源、填筑方式等提出建议，并提供初步设计所需的岩土参数。

2 图表资料：工程地质平面图（1:2000）、勘探点成果数据表、钻孔柱状图（1:50~1:200）、工程地质剖面图（1:200~1:500）、原位测试成果图表、室内试验成果图表、岩土层特征指标综合统计表、其他图片、附件或照片。

5.5 大型临时工程及附属工程

5.5.1 大型临时工程及附属工程初勘应根据总平面图布置、构筑物结构和基础形式、施工方法等确定勘察方案，基本查明以下内容：

- 1 搜集地震地质资料，查明与工程建设有关的地质构造；
- 2 基本查明场区岩土类型、时代、成因、性质及分布规律；
- 3 基本查明不良地质种类、分布范围、性质及其发展规律；
- 4 基本查明地下水类型、径补排关系、水位变化幅度及对建筑材料的腐蚀性；
- 5 分析场地岩土工程条件，提供基础持力层、基础形式、地基处理等方面的建议。

5.5.2 初勘应根据工程类别和要求，拟建建筑物的总平面布置及场地条件等，综合布置工程地质调绘、钻探、岩土水文试验及多种原位测试等勘察工作。

5.5.3 工程地质调绘比例尺宜不小于 1:2000；调绘工作应以区域地质资料为基础，调查场区地形地貌、地层岩性、地质构造、不良地质现象及水文地质条件。

5.5.4 大型临时工程包括沉管预制厂、浮运码头、航道等，其勘探线宜垂直岸线或平行主建筑物长轴方向布置，岸坡区应适当加密；勘探线、勘探点的间距按表 5.5.4 确定。

勘探线、勘探点布置表 表5.5.4

工程类别		勘探线距或条数	勘探点距
沉管预制厂坞区	5 万吨级以上	纵断面 4~5 条，横断面线距 30~50m	30~50m
	5 万吨级以下	纵断面 3~4 条，横断面 4~5 条	60~90m
浮运码头		为岩基时 3~5 条； 为土基时 2~4 条。	为岩基时 40~100m； 为土基时 75~200m。
航道		为岩基时线距 50~100m； 为土基时 1~3 条。	为岩基时 50~100m； 为土基时 100~500m。

注：①岩基——在工程影响深度内基岩上覆盖层薄或无覆盖层；土基——在工程影响深度内全为土层；
②地质条件简单时，断面条数取小值，地质条件复杂时，断面条数取大值。

5.5.5 勘探点深度应根据工程类型和规模结合场地岩土条件，按表 5.5.5 确定。

勘探点深度表 表 5.5.5

工程类别		勘探点勘探深度
沉管预制厂坞区	5 万吨级以上	60~80m
	5 万吨级以下	55~65m
浮运码头	5 万吨级以上	60~80m
	5 万吨级以下	50~70m
航道		设计高程以下 2~3m

注：①除航道钻孔外，在预定勘探深度内遇基岩时，勘探点深度应钻入强风化岩层中不小于 5m 或预计以风化岩为持力层的桩端以下不小于 10m。

②除航道钻孔外，在预定勘探深度内遇到密实砂层、碎石土层和坚硬的老黏性土，进入深度不小于 15m。

5.5.6 钻探应采取岩、土、水试样，并符合下列规定：

- 1 在粉土、黏性土地层中，每 1.5~2m 应取原状样 1 个；遇土层变化时，应立即取样。
- 2 在砂土和碎石土地层中，应分层采取扰动样，取样间距一般为 2~3m；遇土层变化时，应立即取样。
- 3 在基岩地层中，应根据岩石的风化等级，分层采取代表性岩样。
- 4 当需要进行冲刷计算时，应在河床一定深度内取样做颗粒分析试验。
- 5 选取代表性地段，在高平潮、低平潮时采取地表水样，每组样品数不宜少于 2 个。
- 6 采取岩土试样的钻孔数不宜少于总孔数 1/2，其余勘探点应为原位测试孔。

5.5.7 原位测试和室内试验应满足下列要求：

- 1 碎石类土做重型或超重型圆锥动力触探试验，黏土、粉土、砂土做标准贯入、静力触探试验或旁压试验；软黏土做静力触探、十字板剪切试验或扁铲试验；
- 2 大型临时工程及附属工程室内试验测试项目可按表 5.5.7 选用。

大型临时工程及附属工程室内测试项目表

表 5.5.7

岩土类别		黏性土	粉土	砂土	碎石土	岩石
测试项目						
颗粒分析		+	+	+	+	
天然含水量 ω (%)		+	+	(+)	(+)	
密度 ρ (g/cm ³)		+	+	(+)	(+)	
塑限 ω_p (%)		+	+			
液限 ω_L (%)		+	+			
压缩 试验	压缩系数 a (MPa ⁻¹)	+	+			
	压缩模量 E_s (MPa)	+	+			
前期固结压力 p_0		+				
有机质含量 W_o		+				
无侧限抗压强度 q_u (灵敏度 S_r)		+				
静止侧压力系数 k_0		+	(+)			
固结系数 C_v, C_h (cm ² /s)		+	+			
渗透系数 k (cm/s)		+	(+)	+		
直接剪切 试验	黏聚力 c_q, c_g (kPa)	+	+	(+)	(+)	
	内摩擦角 φ_q, φ_g (°)	+				
三轴剪切 试验	黏聚力 c_{uu}, c_{cu} (kPa)	+	+			
	内摩擦角 $\varphi_{uu}, \varphi_{cu}$ (°)	+				
抗压强度 R_c (MPa)						+

注：“+”——必做项目；“(+)”——选做项目。

3 有特殊要求时应根据工程需要确定试验项目。

4 沉管预制厂坞区的含水层渗透系数宜采用现场水文试验确定。

5.5.8 附属工程初勘应提供下列资料：

- 1 文字说明：阐明场地工程地质条件，评价场地稳定性与适宜性，分析潮汐、波浪等外力作用对岸坡稳定性的影响；确定开挖的岩土工程分级、分析评价开挖边坡的稳定性；提出基础持力层、基础形式、地基处理等方面的建议，并提供初步设计所需的岩土参数。
- 2 图表资料：工程地质平面图（1:1000~1:2000）、勘探点成果数据表、钻孔柱状图（1:50~1:200）、工程地质剖面图（1:200~1:500）、原位测试成果图表、室内试验成果图表、岩土层特征指标综合统计表、其他图片、附件或照片。

5.5.9 收费站、管理用房等房屋类建筑物勘察参照现行《岩土工程勘察规范》(GB50021)。

5.6 料场

5.6.1 料场的选择，应满足下列要求：

- 1 充分利用既有料场，在考虑环境保护、经济合理、材料质量和储量满足的前提下，由近及远，先集中后分散。
- 2 天然建筑材料开采不应给附近居民的生产、生活、交通运输和周边环境产生较大影响，不占或少占耕地、林地。
- 3 避免因料场开采引发或诱发地质灾害。

5.6.2 料场初勘应充分利用既有资料，通过工程地质调绘、物探、钻探、原位测试和室内试验相结合的综合方法，基本查明建筑材料的类别、产地、质量、数量和开采运输条件。

5.6.3 料场的工程地质调绘工作，应符合下列规定：

- 1 查明场地及周边的地层岩性、分布、地质构造、水文地质特征及影响建筑材料开采的不良地质体的范围、类型、性质，或地质灾害的类型、发生规律及危害程度等。
- 2 根据场地野外地质调查，合理布置勘探点及取样试验工作。
- 3 根据场地地层岩性及有用层的分布，分析、评价场地内有用建筑材料的储量和质量情况。

5.6.4 料场勘探应在工程地质调绘的基础上进行，并符合下列规定：

- 1 勘探方法应根据料场地质特征，采用钻探、物探等综合勘探方法。
- 2 勘探点、线间距应根据场地地形、地质条件等确定，按网格状布置，陆域一般不宜大于 200m，海域一般不宜大于 500m。
- 3 勘探孔的深度应揭穿有用层或大于预计的开采深度。

5.6.5 料场的取样工作应根据建筑材料的用途和质量评价的需要，对有用层和无用层分别进行，并符合下列规定：

- 1 应根据料场内所需建筑材料的分布，在勘探孔内或露头选取代表性地层试样进行有关质量评价的试验。
- 2 试样数量应根据场地大小和建筑材料的分布情况确定，同一类的岩（土）样一般不

应少于 6 组。有特殊规定的应按规定执行。

5.6.6 料场开采条件应基本查明下列内容：

- 1 料场工作面的范围和地形、有用层和覆盖层的厚度、废方堆放地点；
- 2 宜开采的季节、开采措施和采用机械开采的可能性；
- 3 料场地下水位的埋深、水位的变化情况及地下水的渗透性；
- 4 石料场岩层的岩性、产状、节理裂隙发育情况及软弱夹层；
- 5 土料场的覆盖层和有用层的含水率随季节变化的情况，以及开采的难易程度；
- 6 料场设置对环境可能产生的不良影响及开采过程中存在的地质问题。

5.6.7 应调查建筑材料运输里程、运输方式和现有交通状况。

5.6.8 桥涵工程材料试验应包含以下内容：

- 1 石料和粗集料，拉压强度、抗冻性、有害物质含量、筛分、针片状颗粒含量、含泥量压碎值等试验；
- 2 细集料：颗粒分析，含泥量、有机质含量、云母含量、有害物质含量，压碎值等试验。

5.6.9 路基工程材料试验应包含下列项目：

- 1 粗粒土：颗粒分析、含水率、密度、击实等试验；
- 2 细粒土：颗粒分析、含水率、液限、塑限、密度，击实、承载比、有机质含量、易溶盐含量等试验；
- 3 特殊性岩土应根据其特殊性进行专项试验。

5.6.10 路面工程材料试验应包含下列项目：

- 1 粗集料：颗粒分析，压碎值，针片状颗粒含量，含泥量，磨耗度，吸水率，磨光值，坚固性、冲击值、软弱颗粒含量、有机物含量等试验。
- 2 细集料：颗粒分析、表观密度、含泥量、砂当量，有机质含量，坚固性、三氧化硫含量等试验。

5.6.11 建筑材料初勘应提供下列资料：

1 文字说明：应按建筑材料类别评价其质量、数量、开采方法和运输条件，并提出建议采用的料场。

2 图表资料：沿线筑路材料料场表，沿线筑路材料供应示意图，大型料场平面图、勘探剖面图，储量计算表，材料试验汇总表，附图、附表和照片等。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》 (征求意见稿)

6 详细勘察

6.1 一般规定

6.1.1 详细勘察应查明跨海通道沿线及各类构筑物建设场地的工程地质条件，为施工图设计及施工提供地质依据。

6.1.2 详细勘察应充分利用前期取得的各项地质资料，采用以钻探、原位测试为主，物探、室内试验等手段为辅的综合勘察方法，对各类构筑物工程建设场地的工程地质条件进行勘察。

6.1.3 详细勘察应有控制性钻孔，其数量不宜少于钻孔总数 $1/3$ 。

6.2 桥梁

6.2.1 桥梁详勘应根据场地复杂程度、前期勘察资料利用情况及推荐的桥型、桥跨、基础类型制订勘察方案，详细查明桥位工程地质条件。

6.2.2 加深工程地质调绘工作，当桥位有所调整时，应补充工程地质调绘，调绘的比例尺不小于 $1:2000$ ，重要地段宜按 $1:200 \sim 1:500$ 调绘。

6.2.3 通航孔桥工程地质勘探应符合下列要求：

1 采用嵌岩型桩基础时，宜按间距 $10 \sim 20\text{m}$ 均匀布置钻孔，钻孔应覆盖基础角点、中心，在进行基岩稳定性分析时钻孔应超出基础范围一定距离；当相邻两孔间岩性变化大或岩面坡度大于 30% 时，应根据工程具体条件适当加密；对岩溶发育或地质情况复杂的工程，宜逐桩钻孔。

2 采用摩擦型桩基础时，宜按间距 $15 \sim 30\text{m}$ 布置钻孔。

3 沉井基础、锚碇基础或采用钢围堰施工的基础，宜沿基础轮廓线按 $15 \sim 25\text{m}$ 间距布孔，基础范围内宜按 $20 \sim 30\text{m}$ 间距网格状布孔；当基岩面起伏变化较大或遇大漂石、树干、老桥基等障碍物时，应在基础周围加密钻孔。

4 当有特殊性岩土、不良地质或基础设计施工需进一步探明地质情况时，可在轮廓线

外围布孔或与原位测试、物探结合进行综合勘探。

条文说明：本条对大跨度桥梁主墩钻孔间距进行了规定，是基于多个项目调研、参考相关规范参考得出的。

根据《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）第 3.2.2 条：对于端承型桩（含嵌岩桩）：主要根据桩端持力层顶面坡度决定，宜为 12~24m。国内特大型桥梁主墩布孔，一般情况是隔桩布孔，地质情况较简单时可隔 2 桩布孔，间距一般 10~20m。综合分析，本条规定端承型桩（含嵌岩桩）钻孔间距般 10~20m，地质条件简单时取大值，地质条件复杂时取小值。

当相邻两个勘察点揭露出的桩端持力层层面坡度大于 10%或持力层起伏较大、地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探点。由于花岗岩地区基岩面起伏大，此条在现场执行难度较大，故本规程将坡度放宽至 30%。

“对岩溶发育或地质情况复杂的工程，宜逐桩钻孔”是非常有必要的。以平潭海峡公铁两用大桥元洪航道桥、鼓屿门航道桥、大小练岛航道桥三个航道桥为例，桩径达 $\Phi 4.0 \sim 4.5\text{m}$ ，最大荷载达 8000t 以上，荷载极大。各航道桥地质情况特别复杂，岩面起伏很大，多分布有孤石、断裂破碎带、节理裂隙密集带等不良地质；加上桩基荷载大，任何一根桩一旦出事无以补救，在复杂海域环境下进行大跨度、特大直径桩基施工也是史无前例。在无地质钻孔的桩位，进一步查明持力层基岩的岩性、构造、岩面变化、风化破碎程度等是非常必要的。另一方面，就各航道桥配合施工情况来看，由于地质条件异常复杂，现场地质工程师无法判定设计桩端平面下是否分布有软弱夹层、断裂破碎带等，仅利用离桩位最近的钻孔很难准确确定设计桩长。为提高施工进度、方便施工组织，并对钻进过程中可能遇到的地质问题提前预判，逐桩钻探也是非常必要的。

6.2.4 非通航孔桥工程地质勘探应符合下列要求：

- 1 工程地质条件简单地段，每个墩（台）宜布置 1 个钻孔；工程地质条件较复杂地段，每个墩台的钻孔数量不得少于 2 个。
- 2 遇有断裂带、软弱夹层或岩溶等不良地质或工程地质条件复杂地段，应结合现场地质条件及基础工程设计要求确定每个墩台的钻孔数量。

6.2.5 详细勘察阶段，取样钻孔数不宜少于总孔数 1/3，原位测试钻孔数不宜少于总孔

数 1/3。

6.2.6 钻孔深度应根据基础类型和地基的地质条件确定，并符合下列要求：

1 桩基础：

1) 对于摩擦桩基础，一般性钻孔勘探深度应至桩端以下 3~5 倍桩径，控制性钻孔应满足沉降计算要求。在此深度内遇有软弱地层发育时，应穿过软弱地层至坚硬土层内不小于 5m。

2) 对于嵌岩桩基础，一般性钻孔孔深应钻入桩端以下 2~3 倍桩径，控制性钻孔孔深应钻入桩端以下 10~15m；遇破碎带时原则上应予以穿过，若孔深超过 100m，应根据具体情况研究确定终孔深度；遇溶洞时，应予以钻穿并进入完整基岩 3~5m。

2 沉井基础：孔深应根据刃脚埋深和地质条件确定，宜达到沉井刃脚以下 0.5~1 倍沉井直径（宽度），控制性钻孔应满足沉降计算要求。持力层下有软弱地层分布时，钻孔深度应加深。

3 对于重力式锚碇基础，孔深应钻至基础地面以下不少于 1 倍基础埋深，控制性钻孔应满足沉降计算要求，预计深度范围内遇基岩，应钻入基岩不少于 3~5m；对于隧道式锚碇基础，孔深应钻至基底不小于 1 倍洞径，并应满足隧道锚抗拔分析需要。

6.2.7 取样、室内试验、原位测试应符合第 5.2.7、5.2.8 条的规定。

6.2.8 资料要求应符合本规范第 3.9 节及 5.2.9 条的规定，深水、大跨桥梁尚应编制墩、台部位工程地质断面图。

6.3 隧道

6.3.1 详勘阶段应结合隧道类型、埋深、工法，详细查明隧址工程地质及水文地质条件，工作内容除第 5.3.2 条规定外，尚应满足以下要求：

- 1 分段查明隧道沿线工程地质条件，提供相关物理力学参数；
- 2 查明隧址水文地质条件，分段估算隧道涌水量，分析评价地下水对拟建工程的影响。

6.3.2 详勘应按附录 D 对场地条件复杂程度进行分级。

条文说明：对隧址区场地的条件进行分级，并根据分级确定勘察工作量以及勘察的深度，确保其合理性和全面性；勘察的相关内容及侧重点应根据其所采用的工法进行合理的调整。

6.3.3 勘探测试点应在初步勘察基础上，结合现场地形地质条件、水文地质、工程地质评价的要求进行布置，钻孔间距应符合表 6.3.3 条的规定。

表 6.3.3 隧道钻孔间距要求

施工工法 场地条件 复杂程度	简单	中等复杂	复杂
钻爆法	60~100m	40~60m	20~40m
盾构法	50~60m	30~50m	10~30m
沉管法	50~60m	30~50m	10~30m
堰筑法、明挖法	40~50m	30~40m	20~30m

注：1、表中钻孔间距为投影距离。

2、遇岩溶、断裂、基岩凸起、岩石软硬不均等对施工影响较大地段，应加密勘探。

6.3.4 当遇到下列情况时，宜进行专项地质勘察研究：

- 1 地下管线及地面建筑物较多，且邻近环境条件复杂的区域；
- 2 岩溶强烈发育、大型断层破碎带、风化深槽等对隧道施工影响大的区域。
- 3 水文地质条件特别复杂区域。

6.3.5 取样、室内试验、原位测试应符合第 5.3.11~5.3.13 条的规定。

6.3.6 钻孔深度应符合以下规定：

- 1、控制性钻孔进入结构底板以下不应小于 3 倍的隧道直径（宽度）或进入结构底板以下中微风化基岩不少于 5m，一般性钻孔进入结构底板以下不应小于 3 倍的隧道直径（宽度）或进入结构底板以下中微风化基岩不少于 3m。
- 2、预定深度范围内存在软弱土层时，勘探孔应适当加深。

6.3.7 隧道围岩分级应按第 5.3.15 确定。

6.3.8 应根据不同的施工工法，结合初勘阶段水文地质、工程地质成果，提出跨海通道隧道超前地质预报建议。

6.3.9 详勘资料要求除符合 5.3.16 的规定外，还应结合各类工法特点，提出施工中可能出现的各类工程地质问题、影响范围及程度，并提出防治措施建议。

6.4 人工岛

6.4.1 人工岛详勘应结合人工岛岛壁和陆域形成的结构类型、基础形式、地基处理方案、基坑支护方案、工程降水和不良地质作用的防治方案，详细查明厂址的工程地质及水文地质条件，工作内容除进一步查明 5.4.1 条规定的内容外，尚应满足以下要求：

1. 提供地基基础设计、施工所需的岩土参数，对建筑地基做出岩土工程评价；
2. 根据影响场地的不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出整治方案的建议；
3. 查明疏浚范围内岩土的特性，评价疏浚的难易程度；
4. 判定水和土对建筑材料的腐蚀性。

6.4.2 人工岛详勘工作的布置应符合下列规定：

- 1 勘探点的位置、数量和深度应根据工程类型、建筑物特点、基础类型、荷载情况和岩土性质，结合所需查明的问題综合确定。
- 2 取原状土孔的数量应不少于勘探点总数的 1/3，其余应为原位测试孔。
- 3 勘探线和勘探点宜布置在比例尺不小于 1:1000 的地形图上。线距和点距可按表 6.4.2 确定。

勘探线、勘探点布置表 表 6.4.2

工程类别			勘探线、勘探点布置方法	勘探线距或条数	勘探点距或点数
岛壁结构	斜坡式		沿垂直岛壁方向布置	地质条件简单时，按线距 50~100m 布置；地质条件复杂时，按线距 30~50m 布置。	地质条件简单时，按点距 20~30m 布置；地质条件复杂时，按点距 ≤20m 布置。
	直立式和混合式	重力式	沿基础长轴方向布置纵断面，垂直于基础长轴方向布置横断面	地质条件简单时，布置 1 条纵断面，横断面按线距 40~75m 布置；地质条件复杂时，布置 2 条纵断面，横断面按线距 ≤40m 布置。	地质条件简单时，纵断面点距 20~30m，横断面点距 10~30m；地质条件复杂时，纵断面点距 ≤20m，横断面点距 10~20m。
		板桩式	按垂直岛壁长轴方向	地质条件简单时，按线距 50~75m 布置；地质条件复杂时，按线距 30~50m 布置。	10~20m
陆域建筑物	条形基础		按建筑物轮廓线	地质条件简单时，按线距 30~50m 布置；地质条件复杂时，按线距 20~30m 布置。	地质条件简单时，按点距 30~50m 布置；地质条件复杂时，按点距 15~30m 布置。
	柱基		按柱列线方向	地质条件简单时，按线距 25~50m 布置；地质条件复杂时，按线距 15~25m 布置。	地质条件简单时，按点距 30~50m 布置；地质条件复杂时，按点距 15~30m 布置。
	单独建筑物		每一建筑物不少于 2 个勘探点		

注：相邻勘探点间岩土层急剧变化而不能满足设计、施工要求时，应增补勘探点；

6.4.3 勘探点的勘探深度应满足下列要求：

1 一般性勘探点勘探深度能满足查明地基持力层情况，参照表 6.4.3 确定：

勘探点深度表		表 6.4.3				
地基基础类别	建筑物类型	勘探至基础底面（或桩尖）以下深度				
		一般老黏土	老黏性土	中密、密实砂土	中密、密实碎石土	基岩
天然地基	斜坡式岛壁结构	坡顶及坡身 $\geq 15\text{m}$ ，坡底 $3\sim 5\text{m}$	$3\sim 5\text{m}$	$2\sim 3\text{m}$	$1\sim 2\text{m}$	$N>50$ 的风化岩大于等于 1m
	重力式岛壁结构	$\geq 1.5B$	$\geq B$	$3\sim 5\text{m}$	$2\sim 3\text{m}$	
	陆域条形基础建筑	$6\sim 12\text{m}$	$3\sim 5\text{m}$	$3\sim 5\text{m}$	$1\sim 2\text{m}$	
	陆域矩形基础建筑	$3\sim 9\text{m}$	$2\sim 3\text{m}$	$3\sim 5\text{m}$	$1\sim 2\text{m}$	
桩基		$3\sim 5d$ 且不小于 3m ，对于大直径桩不小于 5m				$N>50$ 的风化岩 $2\sim 3d$
板桩		$3\sim 5\text{m}$		$1\sim 2\text{m}$	—	—

注：①B 为基础底面的宽度（m）；②d 为桩的直径（m）；

2 控制性勘探点的勘探深度尚需满足查明下卧岩土层情况，需作变形计算时，要超过地基变形计算深度；

3 大面积填土堆载区勘探深度根据具体情况确定。

6.4.4 原位测试和室内试验应符合第 5.4.6 条的规定。

6.4.5 工程施工需降低地下水位时，应通过现场水文试验确定所需的水文地质参数。有地下水位长期观测资料时，应结合进行分析。

6.4.6 人工岛详勘应提供下列资料：

1 文字说明：应分别阐明各个建筑物地段的工程地质条件，详细说明岩土层的分布；分析评价所需的岩土技术指标，提出设计和施工中应注意的问题和建议；预测工程使用期可能发生的岩土工程问题，并提出监控和预防措施的建议。

2 图表资料：工程地质平面图(1:1000)、勘探点成果数据表、钻孔柱状图、工程地质剖面图、原位测试成果图表、室内试验成果图表、岩土层特征指标综合统计表、其他图片、附件或照片。

6.5 大型临时工程及附属工程

6.5.1 大型临时工程及附属工程详勘应详细查明各个建筑物影响范围内的岩土分布及其物理力学性质和影响地基稳定的不良地质条件，为地基基础设计、施工及不良地质现象的防治措施提供工程地质资料。工作内容除了进一步查明 5.5.1 条规定的内容外，尚应满足以下要求：

1. 查明影响场地的不良地质作用的发展趋势和危害程度，提出整治方案的建议；
2. 查明各个建筑物影响范围内的岩土分布及其物理力学性质；
3. 分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力；
4. 查明岩土的特性，评价施工难易程度；
5. 需进行沉降计算时，提供地基变形计算参数；

6.5.2 详勘工作的布置应符合下列规定。

1 勘探点的位置、数量和深度应根据工程类型、建筑物特点、基础类型、荷载情况和岩土性质，结合所需查明的问题综合确定。

2 取样钻孔的数量应不少于勘探点总数的 1/3，其余应为原位测试孔。

3 宜在测绘取得比例尺不小于 1:1000 的地形图基础上，布置勘探线和勘探点，线距和点距可按表 6.5.2 确定。

勘探线、勘探点布置表 表 6.5.2

工程类别		勘探线、勘探点布置方法	勘探点距或点数
沉管预制厂坞区		纵断面和横断面	地质条件简单时，纵断面按线距 15~20m 布置，按点距 30~50m 布置，横断面按线距 30~50m 布置，按点距 15~20m 布置；地质条件复杂时，纵断面按线距 10~20m 布置，按点距 15~30m 布置，横断面按线距 15~30m 布置，按点距 10~20m 布置。
浮运码头	斜坡式	沿垂直岸线方向布置	地质条件简单时，按线距 50~100m 布置，按点距 20~30m 布置；地质条件复杂时，按线距 30~50m 布置，按点距 ≤20m 布置。
	高桩式	沿桩基长轴方向	地质条件简单时，测线按 1~2 条布置，按点距 30~50m 布置；地质条件复杂时，测线按 2~3 条布置，按点距 15~25m 布置。
	板桩式	按垂直码头长轴方向	地质条件简单时，测线按 50~75m 布置，点距按 10~20m 布置；地质条件复杂时，测线按 30~50m 布置，点距按 10~20m 布置。
	重力式	沿基础长轴方向布置纵断面，垂直于基础长轴方向布置横断面	地质条件简单时，纵断面测线按 1 条布置，按点距 20~30m 布置，横断面按线距 40~75m 布置，按点距 10~30m 布置；地质条件复杂时，纵断面测线按 2 条布置，按点距 ≤20m 布置，横断面按线距 ≤40m 布置，按点距 10~20m 布置。
坞口航道		在初勘基础上适当加密	

注：①相邻勘探点间岩土层急剧变化而不能满足设计、施工要求时，应增补勘探点；

6.5.3 钻孔深度应满足下列要求：

- 1 一般性钻孔孔深能满足查明地基持力层情况，参照表 6.5.3 确定：

勘探点深度表 表 6.5.3

地基基础类别	建筑物类型	勘探至基础底面（或桩尖）以下深度				
		一般老黏土	老黏性土	中密、密实砂土	中密、密实碎石土	基岩
天然地基	沉管预制厂坞区	$\geq B$	5~8m	$\geq 5m$	3~5m	N>50 的风化岩大于等于 1m
桩基		3~5d 且不小于 3m，对于大直径桩不小于 5m				N>50 的风化岩 2~3d
板桩		3~5m		1~2m	—	—

2 控制性钻孔孔深尚需满足查明下卧岩土层情况，需作变形计算时，要超过地基变形计算深度；

3 大面积填土堆载区勘探深度根据具体情况确定。

6.5.4 原位测试和室内试验应符合第 5.5.7 条的规定。

6.5.5 工程施工需降低地下水位时，应通过现场水文试验确定所需的水文地质参数。有地下水位长期观测资料时，应结合进行分析。

6.5.6 附属工程详勘应提供下列资料：

1 文字说明：应分别阐明各个建筑物地段的工程地质条件，详细说明岩土层的分布；分析评价所需的岩土技术指标，提出设计和施工中应注意的问题和建议；预测工程使用期可能发生的岩土工程问题，并提出监控和预防措施的建议。

2 图表资料：工程地质平面图、勘探点成果数据表、钻孔柱状图、工程地质剖面图、原位测试成果图表、室内试验成果图表、岩土层特征指标综合统计表、其他图片、附件或照片。

6.6 料场

6.6.1 料场详勘应符合下列规定：

- 1 勘探方法应根据料场地质特征，采用钻探、物探等综合勘探方法。
- 2 勘探点、线间距应根据场地地形、地质条件等确定，按网格状布置，陆域一般 50~100m，海域一般 200~300m。

- 3 勘探孔的深度应揭穿有用层或大于预计的开采深度。
- 4 料场的取样、试验工作应按照初勘要求进行。

6.6.2 详勘资料要求应符合 5.6.11 的规定。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》 (征求意见稿)

7 施工勘察

7.1.1 施工勘察应结合工程施工的全过程进行。根据地质条件的变化，为优化设计方案及施工处理措施提供地质依据。

7.1.2 下列情况应根据设计、施工的要求进行施工勘察：

- 1 岩溶等地质条件复杂，需进一步查明桩基础、隧道底板及其它基础下方的地质情况时；
- 2 基槽和航道开挖、打桩等施工中，反馈地质情况变化较大时；
- 3 施工中遇到障碍物难以继续进行时；
- 4 当需进行岩土工程检验与监测时；
- 5 施工期中出现其他岩土工程问题需进一步查明时；
- 6 前期无法实施且在施工期具备勘察条件时。

7.1.3 施工阶段勘察应包括下列主要内容：

- 1 在构筑物基坑和边坡开挖过程中连续进行施工地质编录；
- 2 检验前期的勘察资料，必要时进行勘探测试；
- 3 从工程地质角度提出优化设计和施工方案的建议；
- 4 参加地质验槽工作；
- 5 针对地质变化情况，完善运行期工程地质监测内容，布置方案和技术要求的建议。

7.1.4 施工阶段勘察的具体内容和方法应满足下列要求：

- 1 施工地质编录的内容包括各建筑物地基和边坡的岩土层性状和空间分布，基坑和边坡的渗水和稳定情况，岩体的风化情况、断层和裂隙情况，岩溶洞穴形状及其填充物，以及地下水等；编录的方法包括采用测绘、素描、摄影和视频资料等，并作必要的文字记述；
- 2 通过开挖工作面对开挖深度、基面高程、岩石地基完整性和强度、边坡状况等进行观察、检验，必要时采用原位测试或室内试验复核岩土的物理力学参数，对前期勘察成果进行核查、修正和补充；

3 对前期因手段局限尚未完全查清及施工中新发现的工程地质问题,提出勘察方案并实施;

4 对基坑和边坡开挖中可能出现的边坡失稳、渗透性破坏以及其他影响施工的工程地质问题,提出预防和处理措施、监测和预报建议;

5 结合开挖和浇筑的不同阶段参加地质验槽,特别是基坑或基槽底开挖并清理至预定基面时进行鉴定,从工程地质角度提出验收意见,验收时提交地质平面图、剖面图以及相应的文字说明;

6 编写施工期勘察日志和简报,勘察资料及时进行整理,必要时按工点或分批提交施工阶段勘察成果;

7 勘察成果的内容主要包括前期勘察的结论、揭露的实际地质情况和主要工程地质问题、对地质勘察成果的修正和补充、地基和围岩处理措施、工程地质评价、工程地质监测建议、验收意见等,并附必要的图表、照片和视频资料。

7.1.5 施工阶段的勘察应针对需解决的具体岩土工程问题,原则上按照不低于详勘的要求,结合现场条件,合理选择勘察方法,确定勘察工作,提供必要的勘察资料,并作出分析、评价和建议。

8 不良地质作用

8.1 一般规定

8.1.1 拟建工程场地或其附近存在对工程安全有不利影响的不良地质作用且无法规避时，应进行专项勘察工作。

8.1.2 应查明对公路跨海通道建设有影响的不良地质作用，包括岩溶、强震区、地震液化、有害气体、岸坡失稳等。

8.1.3 不良地质作用应综合采用资料收集与分析、地质调查与测绘、物探、钻探、野外及室内试验、现场检测相结合的综合勘察手段和资料综合分析，根据不同的成因类型，确定具体工作内容、勘察方法，有针对性地开展工作的。

条文说明：本条规定了不良地质作用调查与勘察的一般方法，要求采用具有针对性的方法。

8.1.4 应查明工程场地或附近存在的不良地质作用成因类型、分布范围、规模及特征，宜按可行性研究阶段、初步勘察阶段、详细勘察阶段分阶段开展工作，逐步查明。

条文说明：本条规定，按工程阶段逐步查明各类不良地质作用，并不要求一次勘察全部查明，尽可能避免因线路变化造成的勘察工作量浪费。

8.1.5 应分析不良地质作用对拟建工程产生的不利影响，为可行性研究、初步设计、施工图设计等工作提出建议；应在详细勘察阶段分析不良地质作用对工程施工的不利影响，提出工程措施建议；宜分析不良地质作用对跨海通道可能产生的不利影响，提出运营阶段注意事项的建议。

8.1.6 岩溶、强震区、地震液化、有害气体、岸坡失稳的调查与勘察，应符合本章规定；对公路跨海通道工程有不利影响的其他的不良地质作用按照有关的现行国家标准或国家行业标准的规定开展工作。

8.2 岩溶

8.2.1 公路跨海通道工程沿线发育岩溶时，应结合地质条件 and 设计、施工方案进行岩溶勘察。当岩溶对工程有重大影响时，应进行岩溶专项勘察。

条文说明：岩溶是可溶性岩石在水的作用下，产生的各种地质作用、形态和现象的总称。可溶性岩石包括碳酸盐类岩石（石灰岩、白云岩等）、硫酸盐类岩石（石膏、芒硝等）和卤素类岩石（岩盐等）。岩溶不良地质作用对工程建设的影响很大，严重影响工程安全和道路的正常运营，是需要认真控制的主要地质风险因素。

8.2.2 岩溶勘察宜采用工程地质测绘和调查、物探、勘探等多种手段结合的方法进行，地质勘探应在工程地质测绘的基础上进行。勘探点的数量和位置应根据现场地形地质条件、岩溶发育程度、工程项目类型及规模、勘察阶段等综合确定。

8.2.3 岩溶发育程度宜按表 8.2.3 划分为岩溶强烈发育、中等发育和弱发育三个等级：

表 8.2.3 场地岩溶发育程度分级表

岩溶发育程度	地表岩溶发育密度 (个/km ²)	线岩溶率 (%)	钻孔见洞隙率 (%)	岩溶发育分布特征
岩溶强发育	>5	>20	>30	岩溶洞穴分布广，地表有较多的洼地、漏斗、落水洞、泉眼，暗河发育，相邻钻孔存在临空面且高差大于 5m。
岩溶中等发育	1~5	5~20	10~30	地表发育有洼地、漏斗、落水洞、泉眼，暗河稀疏，相邻钻孔存在临空面且高差大于 2~5m。
岩溶弱发育	≤1	≤5	≤10	地表岩溶形态稀少，相邻钻孔临空面且高差小于 2m。

注：发育程度从强烈发育到弱发育判定，满足其中一个条件即可定为该等级。

8.2.4 岩溶勘察应查明下列内容：

- 1 岩溶分布形态特征、溶蚀地貌类型；
- 2 可溶岩地层分布、地层年代、岩性成分、地层厚度、结晶程度、裂隙发育程度、单层厚度、产状、所含杂质、溶蚀及风化程度；
- 3 岩溶发育与地貌、构造、岩性的关系，第四系地层的岩性、厚度、分布、与下伏岩溶的接触关系，不同岩性岩层的分布特征、接触关系、接触范围；
- 4 溶洞、暗河的空间位置、形态、分布和充填情况，节理裂隙发育程度，溶洞、裂隙的连通性；
- 5 溶蚀深槽的破碎程度、宽度、岩土层胶结程度和渗透性；

6 分析区域侵蚀基准面、地方侵蚀基准面与岩溶发育的关系；

7 岩溶地下水分布特征及补给、径流、排泄条件，岩溶地下水的流向、流速，岩层水富水性，岩溶水与地表水、覆盖层或不可溶岩覆盖层地下水的水力联系，分析确定岩溶侵蚀面和地下水排泄基准面；

8 覆盖层成因、性质、厚度；土洞和塌陷的成因、分布、形态发育规律和发展趋势；

9 评价和预测通道施工过程中可能产生突水、突泥、及由地下水引发的其他地质灾害，提出防治措施建议。

8.2.5 岩溶区根据地质条件选线应符合下列规定：

1 路线应避开岩溶强烈发育地带，选择在岩溶发育微弱、洞穴层数少、顶板稳固、受岩溶水影响小或非岩溶化地带通过。

2 路线应避免沿断裂带、可溶岩与非可溶岩的接触带、有利于岩溶发育的褶皱轴部线，避开断裂的交汇处、岩溶水富集区及岩溶水排泄区。

3 路线应避开土洞、地面塌陷发育的不良地质地段。

8.2.6 岩溶勘探应符合下列要求：

1 岩溶区勘探应采用综合物探、钻探、钻孔电视等综合勘探方法；

2 土洞、溶洞填充状态检查，可采用钻探取芯、轻型动力触探、标贯等方法；

3 岩芯采取率要求完整岩层大于或等于 80%，破碎带大于或等于 50%，溶洞填充物大于 50%（软塑、流塑状除外）；

8.2.7 可行性研究勘察阶段，每个工程地质单元应有勘探点，对线路选线和工法研究有重大影响的地段，勘探点间距可适当加密。

8.2.8 初步勘察阶段应符合下列规定：

1 初步勘察应沿路线及两侧各宽不小于 200m 的带状范围进行路线工程地质调绘，路线工程地质调绘的比例尺为 1:2000。

2 路基勘探：应在工程地质调绘的基础上对岩溶发育情况进行分段，结合各岩溶路段地质条件开展必要的综合物探，并通过钻孔对代表性物探进行验证。一般地区，勘探钻孔平均间距不宜大于 200m；岩溶复杂地段，应根据现场情况增加勘探钻孔。

3 桥梁勘探：桩基工程宜逐墩布置勘探点。

4 隧道勘探：钻探结合物探方法进行，钻孔宜沿隧道中心线，并在洞壁外侧不小于5m位置布置，可溶岩与非可溶岩地层接触带、含水层、物探异常带、断层破碎带等岩溶发育部位应布置勘探钻孔。

8.2.9 详细勘察阶段应符合下列规定：

1 岩溶区工程地质调绘应对初勘工程地质调查绘资料进行复核。当线位偏离初步设计线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，补充工程地质调绘的比例尺为1:2000。

2 路基勘探：应在工程地质调绘的基础上，开展综合物探，圈定异常范围，结合钻孔进行综合勘探。当勘探点揭示有溶、土洞时，可结合处理施工，按设计要求在已有勘探点继续在该勘探点周边2~3m范围内加密，按此循环推进至溶、土洞边界或设计指定范围。

3 桥梁勘探：桩基工程每墩应布置不少于2个勘探点，岩溶发育地段宜逐桩布置勘探点。嵌岩桩应进行超前钻，对大直径桩宜采用一桩多孔或钻孔结合物探方法确定持力层性状。

4 隧道勘探：在隧道外侧6m~10m，宜交错布置。应结合隧址岩溶发育情况对勘探点进行加密，勘探点间距宜按10~20m控制；

8.2.7~8.2.9 条文说明：查明岩溶的具体分布应根据不同的勘察阶段，采用不同的勘察方法，针对性地进行勘察工作，遵循从面到点，先地表后地下，先定性后定量，先疏后密的原则，从可行性勘察阶段到详勘阶段加大勘探工作量的布置，为设计施工提供尽可能详细的岩溶裂隙和土洞分布等情况。

8.2.10 岩溶地区勘探深度应符合下列规定：

1 道路路基：勘探深度应至基底以下完整地层内不小于10m。在该深度内遇岩溶洞穴时，应在洞穴底板稳定基岩内再钻进3~5m。

2 构筑物浅基础：当基础底面以下土层厚度不大于独立基础宽度的3倍或条形基础宽度的6倍，且具备形成土洞或其它地面变形条件时，全部勘探孔应深入连续稳定基岩3~5m。

3 桩基础：勘探深度至桩端以下完整基岩8~10m。在该深度内遇岩溶洞穴时，应

在洞穴底板稳定基岩内钻进3~5m。

4 隧道：勘探深度应至基底以下完整基岩中5~8m。在该深度内遇岩溶洞穴时，应在洞穴底板稳定基岩内钻进3~5m。

8.2.11 岩溶勘察应实行动态勘察。勘察工作应符合以下要求：

1 结合勘察中揭示的岩溶发育状态调整勘察技术方案，动态调整勘察工作量、方法、手段和岩土工程分析评价。

2 钻探与地层物探，抽水或注（压）水试验与地下水参数的物（化）探探测成果应相互借鉴、验证和补充。

3 复杂场地的重要工程勘探宜采用从钻探到物探，再从物探到钻探等多次循环方式不断完善勘察成果，为设计、施工提供更充分的地质依据，满足工程建设需要。

条文说明：喀斯特地形岩面起伏难以预测，基岩中发育溶洞裂隙，根据常规详细勘察工作，设计人员往往无法确定围护结构深度和工程桩的终孔位置，故应该根据勘察过程中的结果边勘察边调整工作量，并通过各种手段方法，相互验证，降低风险，为设计提供更精确的地质资料。

实际工作中，当工程问题较复杂时，施工阶段钻探资料与初、详勘资料的整合分析，建设单位往往要求掌握场地地质情况、技术力量较强的详勘单位来处理。同时由于岩溶发育的特殊性等因素影响，实际工程中不同勘察单位、不同勘察阶段的勘察结果有可能出现认识上的差异。为了尽量减少协调处理工作，保持技术标准的连续性，施工阶段勘察宜由详勘单位实施。

8.2.12 岩溶勘察成果应提供下列资料：

1 文字说明：应对路线及构筑物场地工程地质条件进行说明，对第 8.2.4 条岩溶勘察应查明内容进行阐述，分析评价地基土的稳定性；对岩溶地质条件可能造成的工程风险，应提出应对措施和建议；

2 图表资料：应对岩溶的形态、分布范围等进行图示和说明。对线路有影响的大型岩溶洞穴、暗河应根据实测资料编制调查成果图，比例尺为 1:100-1:400，图示测图导线、测图断面的位置、岩溶洞穴的平面和断面位置、形态及充填情况，并对地层、地质构造、地下水、节理裂隙的发育情况、顶板岩体的完整性和坍塌、稳定情况进行说明。

8.3 强震区

8.3.1

路线通过地震动峰值加速度为0.1~0.4g地区时，应进行强震区工程地质勘察；地震动峰值加速度大于0.4g时，应作专门研究；地震动峰值加速度为0.05g的地区，对抗震设有特殊要求的工程可按本节的有关规定进行工程地质勘察。

8.3.2 强震区工程地质勘察应查明下列内容：

- 1 地貌的成因、类型、形态特征；
- 2 地层岩性、地质构造、地震动参数和历史震害情况；
- 3 工程场地覆盖层厚度、场地土的类型及工程场地类别；
- 4 断裂的类型、分布、规模、活动性；
- 5 不良地质及特殊性岩土的类型、分布范围和性质；
- 6 高陡边坡、临河工程及不良地质地段，在地震时产生次生灾害的可能性；
- 7 工程场地的抗震有利地段、不利地段、危险地段和一般地段；
- 8 当地的工程抗震措施及经验。

8.3.3 抗震设防烈度与地震动峰值加速度值的对应关系应符合表8.3.3的规定。

表8.3.3 抗震设防烈度与地震动峰值加速度值对应表

抗震设防烈度（度）	6	7	8	9
地震动峰值加速度值	0.05g	0.1（0.15）g	0.2（0.3）g	0.4g

8.3.4 强震区工程场地可按表8.3.4进行分类。

表8.3.4 工程场地分类

类别	工程地质条件
有利地段	稳定基岩，坚硬土，地形开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等地段
不利地质	软弱土、可液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，非岩质陡坡，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态、明显不均匀的土层等地段
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地表错断、泥石流等地段

注：表中只列出了有利、不利和危险地段的划分，其他地段可视为可进行建设的一般场地。

8.3.5 活动断裂可按表8.3.5进行分类。

表8.3.5 活动断裂分类

类型	地质特征
全新世活动断裂	在全新地质时期（一万年）内有过地震活动或近期正在活动，在今后一百年可能继续活动的断裂
非全新世活动断裂	一万年以前活动过的，一万年以来没有发生过活动的断裂
发震断裂	全新活动断裂中、近期（近500年）发生多地震震级 $M \geq 5$ 级的断裂；或在今后100年内，

	可能发生地震震级 $M \geq 5$ 级的断裂
--	--------------------------

8.3.6 根据剪切波速，场地土的类型可按表 8.3.6 进行分类

表8.3.6 场地土的分类和剪切波速范围

土的类型	岩土名称和性状	岩土剪切波速 v_s (m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $[f_{a0}] > 150\text{kPa}$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $[f_{a0}] \leq 150\text{kPa}$ 的黏性土和粉土， $[f_{a0}] > 130\text{kPa}$ 的填土，可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $[f_{a0}] \leq 130\text{kPa}$ 的填土，流塑的黄土	$v_s \leq 150$

注： $[f_{a0}]$ 为载荷试验等方法得到的地基承载力基本容许值。

8.3.7 强震区根据地质条件选线应符合下列规定：

- 1 路线应避开活动断裂及其交汇地带，避开近期活动断层。
- 2 路线应避开软土和可液化土发育的地段。
- 3 对于难以避开的不稳定悬崖陡壁，应将路线内移至稳定地层，采用隧道通过。
- 4 路线应避开滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝及易产生塌陷的地下采空区等不良地质地段。
- 5 路线应避开抗震不利地段和危险地段。

8.3.8 工程地质调绘应符合下列规定：

- 1 强震区工程地质调绘应充分收集和研究勘察区地质、地震资料，并与路线及构筑物的设置结合，查明第 8.3.2 条的内容。
- 2 地层界线、断层、覆盖层发育的斜坡、易产生崩塌的陡坡地段、滑坡等不良地质体、河漫滩、冲积平原、河流阶地等应布置调绘点。
- 3 隐伏断裂、古河道等应辅以挖探、物探等进行调绘。

8.3.9 工程地质勘探测试应符合下列规定：

- 1 应采用钻探、物探、动力触探、静力触探等进行综合勘探。勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件、地震动参数、构筑物的类型和规模等确定。
- 2 勘探深度应符合下列规定：

- 1)软土发育的场地，桩基础钻孔钻入持力层以下的深度不得小于 5m。
- 2)有可液化土的场地，桩基础钻孔钻入持力层以下的深度不得小于 5m。
- 3)岩溶地质复杂、采空区、断裂发育等地段，应布设控制性钻孔探明不良地质发育情况。
- 4)可能产生崩塌、滑坡等次生地质灾害的不良地质体，钻孔深度应至稳定地层内不小于 3m。
- 3 应根据桥梁工程抗震设计要求，实测土层剪切波速，划分场地土类别。
- 4 技术复杂大桥等重点工程应结合抗震设计要求做地震动反应谱周期测试。
- 5 钻探应分层采取岩土试样。碎石土应做动力触探试验，砂土应做标准贯入试验评价其密实度。
- 6 测试项目可按表 8.3.9 选用。

表8.3.9 强震区测试项目表

测试项目 \ 地层	粉土、黏性土	砂土、碎石土	岩石
颗粒分析	+	+	
天然含水率 w (%)	+	(+)	(+)
密度 ρ (g/cm ³)	(+)	(+)	(+)
塑限 w_p (%)	+		
液限 w_L (%)	+		
岩石抗压强度 R (MPa)			(+)

注：“+”——必做项目；“(+)”——选做项目。

- 7 钻探遇地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位，取样做水质分析。
- 8.3.10 工程场地覆盖层厚度的确定应符合下列规定：**
- 1 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m/s 且其下卧各层岩土的剪切波速均不小于 500m/s 的土层顶面的距离确定。
 - 2 当地面 5m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层，且该层及其下卧各层岩土的剪切波速均不小于 400m/s 时，可按地面至该土层顶面的距离确定。
 - 3 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体，应视同周围土层。
 - 4 土层中的火山岩硬夹层，应视为刚体，其厚度应从覆盖土层中扣除。

8.3.11 土层的等效剪切波速应按式(8.3.11-1)和式(8.3.11-2)计算：

$$V_{se} = d_0 / t \quad (8.3.11-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{v_{si}} \right) \quad (8.3.11-2)$$

式中： v_{se} ——土层等效剪切波速(m/s)；

d_0 ——计算深度(m)，取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值；
 t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间(s)；
 d_i ——计算深度范围内第 i 层土的厚度(m)；
 v_{si} ——计算深度范围内第 i 层土的剪切波速(m/s)；
 n ——计算深度范围内土层的层数。

8.3.12 工程场地类别应按表 8.3.12 进行划分。

表8.3.12 工程场地类别划分

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I0	I1	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		< 5	≥ 5		
$250 \geq v_{se} > 150$		< 3	3-50	> 50	
$v_{se} \leq 150$		< 3	3-15	$> 15-80$	> 80

注：1.表中数据为场地覆盖层厚度(m)。2. v_s —岩石剪切波速； v_{se} —土层等效剪切波速。

8.3.13 工程场地内存在发震断裂时，应评价断裂对工程的影响。

- 1 符合下列条件之一时，可忽略发震断裂错动对构筑物的影响：
 - 1)抗震设防烈度小于 8 度；
 - 2)非全新世活动断裂；
 - 3)抗震设防烈度为 8 度和 9 度时，隐伏断裂的土层覆盖厚度分别大于 60m 和 90m。
- 2 不符合上述条件时，应避开主断裂带，并根据构筑物类型确定避让距离。

8.3.14 初步勘察应符合下列规定：

- 1 强震区工程地质调绘应与路线及构筑物的工程方案设计相结合，沿拟定的路线进行 1: 2000-1: 10000 工程地质调绘，调绘的范围沿路线中线及其两侧各宽不宜小于 200m。
- 2 强震区勘探测试除应符合第 8.3.9 条的规定外，尚应符合下列规定：
 - 1)软土、可液化土路段，应采用钻探、物探、静力触探等进行综合勘探。
 - 2)岩溶塌陷、采空区、区域性断层发育路段，应采用物探、钻探等进行综合勘探。
 - 3)可能产生滑坡、崩塌等地震次生灾害的不良地质路段，应采用物探、钻探等进行综合勘探。
 - 4)应测试岩土层剪切波速，划分场地土的类型及工程场地类别，提供桥梁抗震设计参数。

3 强震区初步勘察应提供下列资料：

1)文字说明：应对路线及构筑物场地工程地质条件进行说明，对第 8.3.2 条强震区勘察要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，划分抗震有利地段、抗震不利地段、抗震危险地段和一般地段，提出工程地质建议。

2)图表资料：应对工程场地类别，场地土的类型及其分布范围，抗震有利地段、抗震不利地段、抗震危险地段、一般地段以及断裂、软土、可液化土等不良地质体的发育情况进行图示和说明。提供 1:2000-1:10000 强震区工程地质平面图；1:2000 强震区工程地质断面图；1:50-1:200 钻孔柱状图；土工试验资料、原位测试资料；场地土剪切波测试资料和照片等。

8.3.15 详细勘察应符合下列规定：

1 强震区详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核。当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，调绘的比例尺为1：2000。

2 详细勘察应充分利用初勘资料，在确定的路线及构筑物位置上进行，除应符合第 8.3.14 条的规定外，尚应符合下列规定：

1)软土、可液化土、断层、岩溶、采空区发育路段，应结合构筑物勘察，查明其分布范围、性质及对工程的影响。

2)可能产生崩塌、滑坡等不良地质路段，宜采用物探、钻探进行综合勘探。

3)应结合工程结构抗震设计，测试场地岩土剪切波速，评价场地土的类型及工程场地类别，划分抗震有利地段，抗震不利地段，抗震危险地段和一般地段等。

3 强震区勘察应按第8.3.14条的规定提供资料。

8.4 地震液化

8.4.1 地震动峰值加速度大于或等于 0.1g 的地区，地面以下 20m 的深度范围内有饱和砂土、粉土时，应进行地震液化工程地质勘察。

8.4.2 地震液化工程地质勘察应查明下列内容：

1 地形地貌、地震动参数和历史震害资料；

2 地层的成因、地质年代、土层结构；

3 土质名称、粒径组成、密实程度和状态；

- 4 饱和砂土、粉土的分布范围、厚度、埋深、液化的可能性和液化等级；
- 5 地下水的类型、分布、埋深、水位及变化趋势；
- 6 当地工程的抗震措施及经验。

8.4.3 可液化土分布路段根据地质条件选线应符合下列规定：

- 1 路线应避开可液化土层分布广、厚度大、液化严重地段。
- 2 路线通过可液化土地段，当可液化土的厚度较小时，应选择在上覆非液化土层厚度较大的部位通过。
- 3 桥位应选择在无可液化土分布或河岸稳定的地段。在可液化土地带通过时，路线应与河流正交，并适当增加桥长。

8.4.4 工程地质调绘应符合下列规定：

- 1 工程地质调绘应与路线及构筑物的设置相结合，辅以必要的遥感工程地质解译，查明第 8.4.2 条的有关内容。
- 2 地貌单元的边界、地层界线、河漫滩、河流阶地、古河道、地下水露头、喷水冒砂和液化沉陷等震害遗迹应布置调绘点。
- 3 古河道、古湖塘、沟谷低洼地带等可能有可液化土发育的地段，宜辅以必要的勘探手段进行工程地质调绘。

8.4.5 工程地质勘探测试应符合下列规定：

- 1 应采用钻探、静力触探、标准贯入试验等进行综合勘探。勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件、可液化土的分布范围和厚度、构筑物的类型及规模等综合确定；20m 以浅遇到饱和砂土时，标准贯入试验按 1~1.5m 进行一次。
- 2 勘探深度应符合下列规定：
 - 1) 对厚层饱和砂土和饱和粉土，勘探深度应至路线设计高程或构筑物基底以下 20m。
 - 2) 饱和砂土、饱和粉土的层厚较薄时，应穿过饱和砂土、饱和粉土至下伏非液化土层。
 - 3) 桩基础钻孔钻入持力层以下稳定地层的深度不应小于 5m。
- 3 在钻孔中应分层采取土样。砂土、粉土竖向取样间距为 1.0-1.5m，取样后应立即做标准贯入试验。

4 砂土、粉土测试项目可按表 8.4.5 选用。

表8.4.5 室内测试项目表

测试项目 \ 地层	砂土	粉土
颗粒分析	+	+
天然含水率 w (%)	+	+
密度 ρ (g/cm ³)		(+)
塑限 w_P (%)		(+)
液限 w_L (%)		(+)
黏粒含量百分率 p_c (%)	+	+

注：1.“+”——必做项目；“(+)”——选做项目。

2.黏粒含量百分率 p_c 应采用六偏磷酸钠作分散剂测定。

5 陆域钻探过程中遇地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位。

条文说明：国内各抗震设计规范采用的地震液化判别方法主要有标准贯入试验法、静力触探法和剪切波速法等，其中静力触探法和剪切波速法可参考《岩土工程勘察规范》（GB50021）条文说明 5.7.6、5.7.7 执行。在实际勘察过程中，可采用钻探、标准贯入试验、静力触探试验、剪切波速试验对地震液化场地进行综合判别。

8.4.6 地面以下 20m 深度范围内存在饱和砂土和饱和粉土时，应进行液化判别。

8.4.7 饱和砂土或饱和粉土，当符合下列条件之一时，可初步判别为不液化或不考虑液化的影响：

1 地质年代为第四纪晚更新世(Q₃)及其以前时，可判为不液化。

2 当抗震设防烈度为 7 度、8 度、9 度，粉土的黏粒（粒径小于 0.005mm 的颗粒）含量百分率分别不小于 10%、13%和 16%时，可判为不液化。

3 基础埋置深度不超过 2m 的天然地基，当上覆非液化土层厚度和地下水位深度符合下列条件之一时，可不考虑液化影响：

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \quad (8.4.7-1)$$

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \quad (8.4.7-2)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \quad (8.4.7-3)$$

式中：： d_w ——地下水位深度(m)，宜按设计基准期内年平均最高水位采用，也可按近期年内最高水位采用；

d_u ——上覆盖非液化土层厚度(m)，计算时宜将淤泥和淤泥质土层扣除；

d_b ——基础埋置深度(m)，不超过2m时，应采用2m；

d_0 ——液化土特征深度(m)，可按表8.4.7采用。

表8.4.7 液化土特征深度

饱和土类别	7 度	8 度	9 度
粉土	6	7	8
砂土	7	8	9

注：当区域的地下水位处于变动状态时，应按不利的情况考虑。

8.4.8 经初步判别认为有可能液化的土层，可采用标准贯入试验判别法进一步判定土层是否液化。当土层实测的修正标准贯入锤击数 N_1 小于按式(8.4.8-2)计算的修正液化临界标准贯入锤击数 N_{cr} 时，应判为液化，否则应判为不液化。

$$N_1 = C_n N \quad (8.4.8-1)$$

$$N_{cr} = \left[11.8 \left(1 + 13.06 \frac{\sigma_0}{\sigma_e} K_h C_v \right)^{1/2} - 8.09 \right] \xi \quad (8.4.8-2)$$

式中： N ——实测的标准贯入锤击数；

C_n ——标准贯入锤击数的修正系数，按表 8.4.8-1 采用；

σ_0 ——标准贯入点处土的总上覆压力(kPa)；

$$\sigma_0 = \gamma_u d_w + \gamma_d (d_s - d_w)$$

σ_e ——标准贯入点处土的有效覆盖压力(kPa)；

$$\sigma_e = \gamma_u d_w + (\gamma_d - 10)(d_s - d_w)$$

γ_u ——地下水位以上土的重度，砂土 $\gamma_u=18.0\text{kN/m}^3$ ，粉土 $\gamma_u=18.5\text{kN/m}^3$ ；

γ_d ——地下水位以下土的重度，砂土 $\gamma_d=18.0\text{kN/m}^3$ ，粉土 $\gamma_d=18.5\text{kN/m}^3$ ；

d_s ——标准贯入点深度(m)；

d_w ——地下水位深度(m)；

K_h ——水平地震系数，应按表8.4.8-2 采用；

C_v ——地震剪应力随深度的折减系数，应按表 8.4.8-3 采用；

ξ ——黏粒含量修正系数， $\xi=1-0.17\rho_c^{1/2}$ ；

ρ_c ——黏粒含量百分率(%)。

表8.4.8-1 标准贯入锤击数的修正系数 C_n

$\sigma_0(\text{kPa})$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
C_n	2	1.70	1.46	1.29	1.16	1.05	0.97	0.89	0.83	0.78
$\sigma_0(\text{kPa})$	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500
C_n	0.72	0.69	0.65	0.60	0.58	0.55	0.49	0.44	0.42	0.40

表8.4.8-2 水平地震系数 K_h

抗震设防烈度（度）	7	8	9
-----------	---	---	---

水平地震系数	0.1	0.2	0.4
--------	-----	-----	-----

表8.4.8-3 地震剪应力随深度的折减系数 C_v

$ds(m)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_v	0.994	0.991	0.986	0.976	0.965	0.958	0.945	0.935	0.920	0.902
$ds(m)$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C_v	0.884	0.866	0.844	0.822	0.794	0.741	0.691	0.647	0.631	0.612

8.4.9 对存在液化土层的地基，应探明各液化土层的深度和厚度，按式(8.4.9)计算每个钻孔的液化指数，并按表 8.4.9 综合划分地基的液化等级：

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{N_i}{N_{cri}} \right) d_i W_i \quad (8.4.9)$$

式中： I_{LE} ——液化指数；

n ——在判别深度范围内，每一个钻孔标准贯入试验点的总数；

N_i 、 N_{cri} ——分别为 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值；当实测值大于临界值时，应取临界值的数值；

d_i —— i 点所代表的土层厚度(m)，可采用与该标准贯入试验点相邻的上、下两标准贯入试验点深度差的一半，但上界不高于地下水位深度，下界不深于液化深度；

W_i —— i 土层单位土层厚度的层位影响权函数值(m-1)。当该层中点深度不大于 5m 时，应采用 10；等于 20m 时，应采用零值；5~20m 时，应按线性内插法取值。

表8.4.9 地基液化等级

液化等级	轻微	中等	严重
判别深度为15m时的液化指数	$0 < I_{LE} \leq 5$	$5 < I_{LE} \leq 15$	$I_{LE} > 15$
判别深度为20m时的液化指数	$0 < I_{LE} \leq 6$	$6 < I_{LE} \leq 18$	$I_{LE} > 18$

条文说明：参考《建筑抗震设计规范》（GB50011），对于下列规定可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算的各类建筑，可只判别地面下 15m 范围内土的液化：

1. 按《建筑抗震设计规范》可不进行上部结构抗震验算的建筑。

2. 地基主要受力层范围内不存在软弱黏性土层的下列建筑：

1) 一般的单层厂房和单层空旷房屋；

2) 砌体房屋；

3) 不超过 8 层且高度在 24m 以下的一般民用框架和框架-抗震墙房屋；

4) 基础荷载与 3) 项相当的多层框架厂房和多层混凝土抗震墙房屋。

注：软弱黏性土层指 7 度、8 度和 9 度时，地基承载力特征值分别小于 80、100 和

120kPa 的土层。

8.4.10 液化土层的承载力（包括桩侧摩阻力）、土抗力（地基系数）、内摩擦角和黏聚力等，可根据液化抵抗系数 C_e 予以折减。折减系数 α 应按表 8.4.10 采用。

$$C_e = N_1 / N_{cr} \quad (8.4.10)$$

式中： C_e ——液化抵抗系数；

N_1 、 N_{cr} ——意义同式（8.4.8-1）、式（8.4.8-2）。

表8.4.10 折减系数 α

C_e	ds (m)	α
$C_e \leq 0.6$	$ds \leq 10$	0
	$10 < ds \leq 20$	1/3
$0.6 < C_e \leq 0.8$	$ds \leq 10$	1/3
	$10 < ds \leq 20$	2/3
$0.8 < C_e \leq 1.0$	$ds \leq 10$	2/3
	$10 < ds \leq 20$	1

8.4.11 初步勘察应符合下列要求：

1 应沿拟定的路线及其两侧的带状范围进行为 1：2000 工程地质调绘，宽度宜包括路线中线及其两侧各 200m 的范围。

2 勘探测试除应符合第 8.4.5-8.4.10 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1) 遇饱和砂土、饱和粉土，应对其液化的可能性进行判别，划分地基的液化等级。
- 2) 临河路基下伏地层有饱和砂土、饱和粉土时，应布置横向勘探断面，探明其发育情况，分析临河路基侧向滑移的可能性。

3 应提供下列资料：

1) 文字说明：应说明路线及构筑物场地工程地质条件，对第 8.4.2 条地震液化勘察要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议。

2) 图表资料：应对饱和砂土、饱和粉土的分布范围、液化的可能性、地基的液化等级等进行图示和说明。提供 1：2000 工程地质平面图；1：2000 工程地质断面图；1：50-1：200 钻孔柱状图；土工试验资料、液化评价表、原位测试资料和照片等。

8.4.12 详细勘察应符合下列规定：

1 应对初勘工程地质调绘资料进行复核。当线位偏离初测线位或地质条件需进一步查明时，应进行补充工程地质调绘，补充工程地质调绘的比例尺为 1：2000。

2 详细勘察应充分利用初勘资料，除应符合第 8.4.11 条的规定外，尚应与各类构

筑物的详细勘察结合，采用钻探、静力触探、标准贯入试验等进行综合勘探，查明各类构筑物工程建设场地可液化土的分布范围、厚度及地基的液化等级。

3 地震液化详细勘察应按第 8.4.11 条的规定提供资料。

8.5 有害气体

8.5.1

公路跨海通道工程通过工业垃圾和生活垃圾地段、富含有机质的软土地区，以及煤、石油、天然气层或曾发现过有害气体的地区，应开展潜在有害气体勘察工作。

条文说明：一般说来，有害气体是指对人体健康或工程施工产生不利影响的气体。

对于从地层或岩层中逸出（冒出）的气体，煤炭系统称为瓦斯，石油系统多称为天然气（气田气、油田气、煤田气等）；工程建筑行业统称为有害气体，其中，将第四系沉积中有机质产生的有害气体称为浅层生物气或沼气。

该气体的称呼虽然较多，其主要成分为甲烷（ CH_4 ）、二氧化碳（ CO_2 ）、氮气（ N_2 ），还有少量的硫化氢（ H_2S ）、一氧化碳（ CO ）、氢气（ H_2 ）、二氧化硫（ SO_2 ），及其它碳氢化合物（多为烷烃）和稀有气体。其中，甲烷是可燃气体，硫化氢、一氧化碳是毒性气体。

本规范从工程角度，将在施工过程中从地层或岩层中逸出（冒出）的对人体或工程会造成危害的气体统称为有害气体，也包括可能由人类活动产生的存在于地层或岩层中的毒性气体。

根据成因和特征，有害气体一般可分为生物气、煤成气、油成气、深源气、缺氧气体、毒性气体。

在目前地下交通建设中，可能主要遇到生物气（第四系沉积中有机质产生的有害气体、生活垃圾产生的有害气体）和煤成气（煤矿或煤窑中产生的有害气体）。这些气体的主要成分均为甲烷。

关于甲烷气体的一般特征，详见《城市轨道交通岩土工程勘察规范》（GB 50307-2012）第 11.6.5 条条文说明第 1 款。

8.5.2

有害气体的勘察可采用钻探、物探、静探和可燃气体检测报警仪等综合勘探方法进行

。

8.5.3 有害气体勘察一般应包括下列内容：

- 1 地层成因、沉积环境、岩性特征、结构、构造、分布规律及变化特征；
- 2 气源层的埋深、厚度、分布范围和物理化学特征；
- 3

气体生成、储藏和保存条件，确定储气层的物理化学特征、埋深、厚度、分布范围；

- 4 气体的成分、气体压力、流量；

5

地下水水位与变化幅度、补给、径流、排泄条件，含水层分布位置、孔隙率与渗透性，地下水与有害气体的共存关系；

- 6 当地有害气体的利用及危害情况和工程处理经验。

8.5.4 有害气体勘探应符合下列要求：

- 1 勘探线宜沿

线路纵、横断面方向布置，勘探点的数量、间距应根据地层复杂程度、含气构造和工程类型确定，并应有部分勘探点通过气源层、储气层部位。勘探点的数量、间距应根据实际情况确定；

2

勘探孔深度宜结合气源层、储气层深度确定，并应有部分勘探点进入气源层、储气层下一定深度；

3

各气源层、储气层取土样不应少于6组，隔气顶、底板取土样不少于3组。重点查明岩石的容重、有机质含量、孔隙率、饱和度、渗透系数等；

4

采集气源层、储气气体的数量不宜少于各3组。重点查明有害气体的类型、含量、浓度、压力、温度。

8.5.5 有害气体的岩土工程分析与评价应包括下列内容：

1

有害气体分布段的工程地质、水文地质条件，生气层和储气层的成因、埋深、长度、

厚度等分布及封闭圈特征；

2

有害气体类型、气压、含量、浓度等，预测气体突出位置及突出量，分析判定暗挖区间隧道的瓦斯隧道类型，评价其对施工及运营的影响；

3 提出气体释放方式或线路避让建议。

8.6 岸坡失稳

8.6.1 在跨海通道及其附近存在对跨海通道及其附属设施的安全有影响的岸坡失稳的可能时，应进行岸坡工程地质勘察。

8.6.2 岸坡工程地质勘察应包括下列内容：

1 查明地形地貌和危及岸坡稳定的滑坡、危岩、崩塌、岩溶等不良地质作用成因和发育情况，有无掩埋的古河道或冲沟分布。

2 查明组成土坡的土的成因类型、形成时代、土的类别、物理力学性质、重点查明软土等特殊土土的分布和特性及其下卧硬土层或基岩面的形态、坡度和坡向；

3 查明岩质岸坡的岩石类别、物理力学性质、软弱岩层和构造破碎带、卸荷裂隙等不利结构面的分布、密度、产状及其组合关系，分析其力学属性及其与临空面的关系；

4 调查地下水类型、含水层的水理性质、水位、水压、水量、补给关系和出露情况，搜集地下水位与地面水位同步观测资料；

5 调查人为因素对岸坡稳定性的影响；

6 调查地区地震动参数和地震震害情况对岸坡稳定性的作用；

7 调查搜集当地水文、气象条件对岸坡稳定性的影响。

条文说明：岸坡根据其岩土组成为岩质岸坡和土质岸坡，岩质岸坡稳定性的主要控制因素是岩体的结构面，土质岸坡是土体的强度。人为因素包括疏浚、桩基施工过程中的震动和桩体的挤土效应对岸坡稳定性的影响。

8.6.3 岸坡勘察阶段的划分和勘察工作的布置应符合下列规定。

1 岸坡勘察阶段的划分应满足下列要求：

1) 岸坡稳定成为场址选择的主要条件时，勘察在可行性研究阶段开始进行；

2) 岸坡工程与跨海通道主体工程的勘察阶段及勘察方法相结合进行；大型复杂的岸坡勘察分阶段进行。

2 岸坡勘察工作的布置应满足下列要求：

- 1) 采用工程地质调查或测绘与勘探、测量相结合的方法进行；
- 2) 勘探线垂直于岸坡走向布置，每条勘探线上布置不少于 3 个勘探点；
- 3) 勘探线、勘探点间距随勘察阶段和地质复杂程度而定，以查明岩土性质、地下水、软弱夹层和不利结构面的分布等为原则；岸坡区勘探线间距取 40~80m、勘探点间距取 20~40m；
- 4) 勘探点深度穿过潜在滑动面进入稳定层不少于 3m，并满足稳定验算的需要；
- 5) 主要岩土层、软弱层进行全断面取芯；每层试样中土样不少于 6 件，岩样不少于 9 件；软弱层连续取样，地下水位以上地层钻探采取干钻；
- 6) 大型或地质条件复杂的岸坡工程必要时布置平硐勘探。

8.6.4 岸坡勘察的岩土测试应符合下列规定。

- 1 进行以抗剪强度为主的物理力学试验，软土层宜进行十字板剪切试验和三轴压缩试验。
- 2 控制岸坡稳定的软弱结构面，有条件时可进行原位剪切试验。对大型岸坡必要时应进行岩体应力测试、波速测试和动力测试。
- 3 大型复杂的土质岸坡可进行离心模型试验或土工原型试验与观测。

8.6.5 岸坡稳定性评价应符合下列规定。

- 1 岸坡稳定性评价可参考执行现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》(GB50330)，并应以工程地质综合研究为基础，定性分析与定量评价相结合。
- 2 岸坡的稳定性计算应根据岸坡条件，正确选用有代表性的地质断面和计算模型进行。重要的或工程地质条件复杂的岸坡尚应采用数值模拟分析方法评价其稳定性。
- 3 稳定性计算所需岩土物理力学性指标应根据测试成果、反分析和当地经验综合确定、选用。
- 4 岸坡的稳定性应根据岸坡的规模、工程地质、水文地质和人类活动、水文、气象等条件，分析对稳定有利和不利的因素，进行综合评价。
- 5 对不稳定或潜在不稳定岸坡，应分析其变形成因，提出影响稳定性的因素，判

断稳定程度，预测其发展趋势，提出最优坡形、坡脚、动态观测方案和治理措施的建议。

8.7 放射性

线路通过放射性矿床分布、高辐射地带、水源放射性超过限制浓度或放射性地方病蔓延地区，应按放射性地区进行工程地质勘察。

8.7.1 放射性地区工程地质选线应遵循下列原则：

1 线路应绕避已知或可能存在放射性矿床地区，放射性异常地段、退役核设施及放射性物质超过限制浓度的地区。无法绕避时，应选择矿床隐伏地带、放射性强度较低、构造简单地段以短距离通过。

2 车站和生活区不应建在公众照射超过国家规定标准的地段。

3 饮用水源严禁建在水质放射性超过国家规定标准的地区。

8.7.2 放射性地区工程地质调绘应符合下列规定：

1 放射性地区地质调绘前应收集区域地质、矿产地质、水文地质、遥感图像资料，核辐射环境质量评价报告，放射性地方病的记载和资料。

2 查明岩浆活动、地质构造、地层、岩性、岩相、古地理，放射性地球化学。

3 查明辐射场的强度和分布规律。

4 查明测区水文地质条件及物理化学特征。

5 调查当地的生态环境、植物特征、地方史及社会历史情况。

6 查明放射性地区弃渣的放射性，并进行评价。

8.7.3 探测与测试分析应符合下列规定：

1 线路所经地区应查明区内各类岩性 γ 特性，露天水源中的 铀、镭、 $3R$ 及总 α 、总 β 浓度。

2 放射性地区勘察方法应以 γ 测量方法为主，并结合钻探、坑深等进行深部勘察。

3 放射性地区勘探钻孔应根据工程需要并结合放射性异常验证布置，并进行钻孔岩芯放射性编录和 γ 测井；必要时开展放射性水文地质试验，并取水样和岩样进行放射性和化学分析。

4 放射性测试包括：环境地表 γ 轴射剂量率；隧道工程中空气中氡浓度及氡子体 α 潜能浓度；地表、地下水中放射性核素浓度。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》（征求意见稿）

9 特殊性岩土

9.1 一般规定

9.1.1 具有特殊物质成分结构和独特工程性质的岩土应判定为特殊性岩土。

9.2 软土

9.2.1 滨海相、三角洲相、河湖相等沉积环境形成，具有以下工程地质特性的黏性土，应判定为软土：

天然含水率 w	$\geq w_L$
天然孔隙比 e	≥ 1.0
压缩系数 $a_{0.1-0.2}$	$> 0.5 \text{MPa}^{-1}$
标准贯入试验锤击数 N	< 3 击
静力触探比贯入阻力 p_s	$\leq 750 \text{kPa}$
十字板抗剪强度 C_u	$< 35 \text{kPa}$

具有以上多数特征，呈软塑～流塑状，具有压缩性高、强度低、透水性差、灵敏度高等特点的黏性土，宜按软土进行工程地质勘察。

9.2.2 软土勘察应包括下列内容：

- 1 查明软土的形成年代、成因、土层结构、分布规律、水平向和垂直向的均匀性、夹层和地表硬壳层的分布与厚度、下卧硬土层（基岩）的埋深与起伏；
- 2 查明软土的物理力学性质，主要包括渗透固结和强度特性；
- 3 查明地下水的埋藏条件，水质对建材的腐蚀性和地下水与地表水的补、径、排关系。

9.2.3 软土的勘察手段应满足下列要求：

- 1 钻探的钻进工艺、土样的采取、储运、运送等符合有关规定，并使用薄壁取土器采取原装土样。
- 2 原位测试采用十字板剪切试验、静力触探试验、标准贯入试验和旁压试验等方法。

9.2.4 软土的室内试验应满足下列要求：

- 1 根据工程设计需要，采用直剪试验，无侧限抗压强度试验和三轴压缩试验测定土的抗剪强度指标。

2采用渗透试验测定土的垂直向和水平向的渗透系数透水性很低的软土，通过固结试验测定固结系数计算渗透系数。

3采用固结试验测定压缩系数压缩指数，固结系数次固结系数和超固结比。

4测定土的灵敏度。

5测定土中有机质含量。

9.2.5软土岸坡应分析产生侧向变形或滑移的可能性。

条文说明：对于软土区由于工程建设活动引起受力环境发生变化，可能引发岸坡坍塌问题，应引起重视。

9.2.6软土初步勘察应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20-2011）第8.5节及本规程第5～6章的有关规定外，尚应符合下列规定：

1钻孔平均间距不大于400m；每公里路线静力触探测试点数不少于4个；

2当软土厚度大、分布复杂时，应结合填土路基设计，分段布置横向勘探断面，并与静力触探、十字板剪切试验等原位测试结合进行综合勘探，每个勘探断面勘探点不少于2个，其中钻孔不少于1个，勘探断面的平均间距不大于200m。

3桥梁勘探：与路堤衔接的桥台部位宜布置勘探测试点。

4隧道勘探：勘探点宜岩中线呈之字形左右布置，且钻孔位置距洞壁不小于5m，间距宜为200-300m，地质变化加大段落应加密，必要时进行横断面勘探。孔深应满足穿透软土层至下伏持力层5m。

9.2.7软土详细勘察应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20-2011）第8.5节及本规程第5～6章的有关规定外，尚应符合下列规定：

1钻孔平均间距不大于200m；每公里路线静力触探测试点数不少于5个；

2当软土厚度大、分布复杂时，应结合填土路基设计，分段布置横向勘探断面，并与静力触探、十字板剪切试验等原位测试结合进行综合勘探，每个勘探断面勘探点不少于2个，勘探断面的平均间距不大于100m。

3隧道勘探：勘探点按9.2.5条原则布置，间距宜为50-100m，地质变化加大段落应加密，必要时进行横断面勘探。

9.2.8勘察报告应提供下列资料：

1文字说明：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行阐述，对第9.2.2条软土勘察要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，提出工程

地质建议；

2图表资料：应对软土的类型、分布、工程地质性质等进行图示和说明。

9.3 填土

9.3.1人类活动堆填、弃置的建筑垃圾、生活垃圾、工业废料、冲（吹）填土、填筑土，应定名为填土。

9.3.2填土勘察应包括下列内容：

1查明填土前场区的地形、地质资料，填土来源，龄期、期次和堆填方式，了解水力冲填土排泥管口和围堰排水的位置；

2查明填土的分布范围、厚度、物质成分、颗粒级配和水平、垂直方向上的均匀性、密实性及其物理力学性质指标；

3判断填土与地下水对建筑材料的腐蚀性。

条文说明：本规程针对的填土主要是海域堆填成因的，重点查明其均匀性特征。

9.3.3填土勘察方法应符合下列规定：

1分布范围较小、厚度小于3米的填土，可在工程地质调查的基础上，辅以小螺旋钻、轻型动力触探、静力触探等勘探手段进行勘察工作。

2分布范围大、厚度大于3米的填土，在工程地质调查的基础上，应根据填土类别、工程性质与设计阶段进行勘察工作。

3素填土的勘察采取钻探取样与标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验等原位测试相结合的方法。

4对难于钻进的杂填土采取坑探、动力触探试验等原位测试方法。

5冲填土为黏性土时，采取钻探取样与十字板剪切试验、标准贯入试验、静力触探试验等原位测试相结合的方法，当充填土为砂性土时，采用静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验或静载荷试验等原位测试方法。

6对于压实填土，在压实前需测定填料的最优含水量和最大干密度，压实后测定其压实系数。

7根据填土的组成、成分、来源、污染与环境情况工程要求，采取土样与地下水样进行分析。

8路基段，一般性勘探孔深度穿透填土层，进入下卧天然土层1~2m，控制性勘探孔深度达到填土堆载附加应力影响深度以下1~2m。

9.3.4 填土应按表 9.3.4 进行分类。

表 9.3.4 填土分类

类 型	特 征
素填土	由碎石土、砂土、粉土和黏性土等一种或几种材料组成，不含杂质或含杂质很少
杂填土	还有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物。土质不均
冲填土	由水力充填泥沙形成。土层分布不均，多呈透镜状，薄片状
填筑土	经分层碾压或夯实填筑的土。一般成分单一，土质较均匀

9.3.5填土工程地质勘察应符合《公路工程地质勘察规范》（JTG C20-2011）第8.7节及本规程第5~6章的有关规定外，尚应符合下列要求：

1初步勘察阶段勘探工作量布置应符合下列规定：

1) 路基勘探：勘探点应沿路线中线布置，间距不大于 50m；当填土厚度大、分布复杂时，应布置横向勘探断面，每个勘探横断面上的勘探点数量不应少于 2 个，其中钻孔不少于 1 个。

2) 涵洞、通道勘探：每座涵洞、通道勘探点的数量不少于 1 个。

3) 桥梁勘探：每个墩台钻孔不少于 1 个。

2详细勘察阶段勘探工作量布置应符合下列规定：

1) 路基勘探：应布置横断面勘探，每断面钻孔不少于 2 个，勘探断面间距不大于 50m。

2) 涵洞、通道勘探：每座涵洞、通道布置 1 个勘探断面，每个断面勘探点的数量不少于 3 个，其中钻孔数量不少于 2 个。

3) 桥梁勘探：每个墩台布置 1 个勘探断面，钻孔不少于 2 个。

3当填土底面的天然坡度大于20%时，应验算填土体的稳定性。

4当填土基底为软土或填土本身软弱时，应按软土进行工程地质勘察。

9.3.6填土的工程地质评价应包括下列内容：

1确定填土的类别组成、成分、来源、堆积龄期和分布情况，对填土的均匀性压缩性和密实度等工程特性做出评价；

2大面积分布的填土，按其水平与垂直方向上强度与变形等工程特性的变化规律，分层分区进行评价，并分析大面积填土的堆载对下卧天然土层及桩基工程产生的影响；

3根据工程需要对填土作为天然地基的适宜性与稳定性进行评价，对不能满足设计要求的填土地基提出加固处理的建议；

4对填土为饱和砂土或粉土，尤其对水力冲填的砂土或粉土和软土，需评价砂土或粉土液化和软土震陷的可能性；

5评价填土及其地下水的腐蚀性。

9.3.7 勘察报告应提供下列资料：

1文字说明：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行说明，对第9.3.2条要求查明的内容进行说明，分析工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议。

2图表资料：应对填土的类型、均匀性、压缩性进行图示和说明。

9.4 风化岩与残积土

9.4.1在风化营力作用下，结构、成分和性质产生不同程度变异的岩石应判定为风化岩岩石，在风化营力作用下已完全风化成土而未经搬运的土体应判定为残积土。

9.4.2 风化岩与残积土的勘察应包含下列内容：

1查明风化岩的母岩地质时代和岩石名称；

2划分岩石的风化程度，确定不同风化程度带的埋深及厚度；

3查明岩土的统一性和风化岩中岩脉、断裂破碎带、袋状风化囊、带状风化槽、球状风化体和软弱夹层的分布；

4查明岩土是否具有可软化性、膨胀性及遇水崩解等特性；

5查明主要风化营力和岩体开挖暴露后的已风化的特点；

6查明岩土物理力学性质及地下水赋存条件。

条文说明：海域地区的风化岩与残积土的母岩多为岩浆岩，受断裂构造影响风化不均现象普遍，岩脉、断裂破碎带、袋状风化囊、带状风化槽、球状风化体和软弱夹层分布普遍，对工程影响较大，是勘察的重点。

9.4.3 风化岩与残积土的勘察方法，应符合下列规定：

1勘探点的布置应考虑岩性变化、岩脉与破碎带的产状及分布特点。

2以风化岩作为基础持力层时，勘探点应适当加密，并应查明岩面起伏及风化带特征。

3钻探中应测记岩芯采取率，必要时测定岩石质量指标。

4原位测试应根据风化岩土的性状采用标准贯入试验、圆锥动力触探、波速测

试或载荷试验等方法，并应与室内试验相结合。

5残积土的地基承载力和变形模量宜采用载荷试验确定，也可根据标准贯入试验等原位测试资料，结合当地经验综合确定。

9.4.4 风化岩与残积土室内试验应符合下列规定：

1呈土状的风化岩与残积土可按土工试验要求进行，必要时应进行膨胀性、崩解或湿化试验。

2强度试验应以不同含水率状态的单轴抗压强度试验为主，配合点荷载试验，必要时应进行现场大型剪切试验。

3风化岩的物理性试验应包括密度、比重和吸水率等项目。

9.4.3~9.4.4 条文说明：残积土的地基承载力和变形模量宜采用载荷试验确定，也可根据标准贯入试验等原位测试资料，结合当地经验综合确定。应注意残积土可能存在的膨胀性、崩解性特征对工程的影响。

9.4.5 风化岩与残积土的岩土工程评价应符合下列规定：

厚层的强风化和全风化岩石应结合当地经验，细分为碎块状、碎屑状和土状；厚层残积土可细分为硬塑残积土和可塑残积土，也可根据含砾或含砂量划分为黏性土、砂质黏性土和砾质黏性土。

条文说明：根据广东省、福建省等地方经验，在花岗岩类残积土中，当大于2mm 颗粒含量超过总质量20%的为砾质黏性土，当大于2mm 颗粒含量在5%~20%的为砂质黏性土，当大于2mm 颗粒含量小于5%的为黏性土。

9.4.6 风化岩与残积土的岩土工程评价应分析原位测试数据和物理力学性质试验指标，综合确定相关指标推荐值。

9.4.7 岩脉、断裂破碎带、袋状风化囊、带状风化槽、球状风化体和软弱夹层，应分析评价岩土均匀性及其对地基基础的影响，并提出相应的建议。

9.4.8 采用风化岩作为填筑材料时应进行适宜性评价。

9.4.9 勘察报告应提供下列资料：

1文字说明：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行说明，对第9.4.2条要求

查明的内容进行说明，分析工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议。

2图表资料：应对风化岩与残积土的类型、分布、工程地质性质等进行图示和说明。

9.5 膨胀性岩土

9.5.1含有大量亲水矿物，具有吸水显著膨胀、软化，失水急剧收缩、开裂，强度降低的岩土，应定为膨胀性岩土。

9.5.2膨胀土的勘察应查明下列内容：

- 1膨胀土的地层岩性、形成年代、成因、结构、分布及节理、裂隙等特征；
- 2膨胀土分布区的地形、地貌特征；
- 3膨胀土分布区不良地质作用的发育情况与危害程度；
- 4膨胀土的强度、胀缩特性及不同膨胀潜势、胀缩等级的分布特征；
- 5地表水的排泄条件、地下水位与变化幅度；
- 6多年的气象资料及大气的影影响深度；
- 7当地的建筑经验，建筑物与道路的破坏形式，发生、发展特点与防治措施等。

9.5.3膨胀土应按表9.5.3的规定进行分级。

表9.5.3 膨胀土分级

级 别	非膨胀土	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
分级指标				
自由膨胀率 F_s (%)	$F_s < 40$	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
塑性指数 I_p	$I_p < 15$	$15 \leq I_p < 28$	$28 \leq I_p < 40$	$I_p \geq 40$
标准吸湿含水率 w_f (%)	$w_f < 2.5$	$2.5 \leq w_f < 4.8$	$4.8 \leq w_f < 6.8$	$w_f \geq 6.8$

注：标准吸湿含水率指在标准温度下（通常为25℃）和标准相对湿度下（通常为60%），膨胀土试验恒重后的含水率。

9.5.4膨胀土的勘察应符合下列要求：

- 1勘探点宜结合地貌特征和工程类型布置，采用钻探和静探相结合，钻探宜采用干钻。
- 2取土试验钻孔、探井的数量不应少于钻孔、探井总数的1/2。
- 3勘探孔深度除应超过压缩层深度外，尚应大于大气影响深度。勘探孔深度还应满足各类工程设计的需要。

4在大气影响深度内的土试样取样间隔宜为1m，在大气影响深度以下，取样间隔可适当增大。

5钻孔探井应分层回填夯实。

9.5.5膨胀土室内试验应符合下列要求：

1一般应包括常规物理力学指标、无侧限抗压强度、自由膨胀率、一定压力下膨胀率、收缩系数、膨胀力等特性指标，必要时可测定蒙脱石含量和阳离子含量，

2必要时应进行三轴剪切试验、残余强度试验。

9.5.6膨胀岩的勘察应符合下列要求：

1查明地层岩性、地质构造、形成年代、成因、岩层产状、风化程度及节理、裂隙等特征及地下水位变动幅度。

2在膨胀性岩土与非膨胀性岩土的过渡地段应加密工程地质调绘点，点距不宜大于50m；

3路基段，在膨胀性岩土与非膨胀性岩土的过渡地段勘探点间距不宜大于50m。

4勘探点应结合工程类型布置，勘探孔深度应大于大气影响深度和满足构造（筑）物设计的需要。

5按岩性、风化带分层采取代表性样品进行密度、含水量、自由膨胀率、膨胀力、岩石的饱和吸水率等实验。

条文说明：膨胀土的勘察，应尽量采用干钻或通过探井取样，以保证试验指标的准确性。判别膨胀土的试验指标宜采用多参数更准确。探明大气影响深度对膨胀土岩地区的建筑基础埋深边坡稳定性有较大的影响，因此最小勘探深度应不小于大气影响深度。

9.5.7膨胀性岩土的评价要求：

1分析膨胀岩土对工程的影响，建议相应的基础埋深、地基处理及隧道、边坡、基坑支护和防水、保湿措施等，

2应对构筑物、工程设施、边坡等的变形、岩土的含水量变化及气候等环境条件变异的监测提出建议。

9.5.8勘察报告应提供下列资料：

1文字说明：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行阐述，对第9.5.2条膨胀性岩土勘察要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议；

2图表资料：应对膨胀性岩土的类型、收缩和膨胀特性、膨胀等级、膨胀土的含水率随深度的变化情况等进行图示和说明。

9.6 混合土

9.6.1由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土应定名为混合土。当碎石土中粒径小于0.075mm的细粒土质量超过总质量的25%时，应定名为粗粒混合土，当粉土或黏性土中粒径大于2mm的粗粒土质量超过总质量的25%时，应定名为细粒混合土。

条文说明：混合土的定义与《岩土工程勘察规范》保持一致。

9.6.2混合土勘察应包括下列内容：

- 1查明地形和地貌特征、混合土的成因、分布、下卧土层或基岩的埋藏条件；
- 2查明混合土的颗粒组成、均匀性及其在水平方向和垂直方向上的变化规律；提出混合土的物理力学性质指标；
- 3查明影响混合土场地稳定性的不良地质作用以及地下水情况。

条文说明：混合土勘察重在查明其颗粒组成、均匀性特征。

9.6.3混合土勘察方法应符合下列规定：

- 1混合土的勘察应采用勘探取样、原位测试和室内土工试验相结合的方法。
- 2勘探应以钻孔为主，陆域勘探时可辅以探坑、探槽或探井，勘探孔的间距应小于一般布孔要求。
- 3钻探应采用回转式钻进，严禁采用水冲钻进，并应根据土质采用合适的取土器，取样数量应多于常规取样数量。
- 4原位测试可根据土质情况选用标准贯入试验、动力触探试验、静力触探试验、旁压试验或载荷试验。

条文说明：确定混合土的地基承载力时要粗粒成分差异的影响，应多开展原位测试工作。

9.6.4确定混合土的地基承载力时，应考虑土的颗粒组成、结构与构造特点，对粗粒为砂土组成的混合土，应以室内土工试验的力学指标和原位测试成果为依据确定；对粗粒为碎石土组成的混合土，应以原位测试成果为依据确定。

9.6.5混合土的工程地质评价应结合当地经验进行，并应符合下列规定：

1根据混合土的成因、颗粒组成、土的结构和构造特点等，应对混合土的物理指标和力学指标不匹配的情况进行分析，并对混合土的不均匀性指标、离散性大的特点进行评价。

2当混合土的物理指标与力学指标不相匹配时，以粗、细两类土中能起主导作用的土类的指标为依据进行评价。

9.6.6确定混合土的地基承载力，应考虑土的颗粒组成和结构与构造特点。对粗粒为砂土组成的混合土，应以室内土工试验的力学指标和原位测试成果为依据确定；对粗粒为碎石土组成的混合土，应以原位测试成果为依据确定。

9.6.7勘察报告应提供下列资料：

文字说明：应对路线及构筑物场地的工程地质条件进行阐述，对第9.6.1条混合土勘察要求查明的内容进行说明，分析评价工程建设场地的适宜性，提出工程地质建议；

图表资料：应对混合土的类型、均匀性、压缩性进行图示和说明。

附录 A 岩土分类和鉴定

A.0.1 岩石坚硬程度等级可按表 A.0.1 定性划分。

表 A.0.1 岩石坚硬程度等级的定性分类

坚硬程度等级		定性鉴定	代表性岩石
硬质岩	坚硬岩	锤击声脆，有回弹，震手，难击碎，基本无吸水反应	未风化-微风化的花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、安山岩、片麻岩、石英岩、石英砂岩、硅质砾岩、硅质石灰岩等
	较硬岩	锤击声较清脆，有轻微回弹，稍震手，较难击碎，有轻微吸水反应	1 微风化的坚硬岩； 2 未风化-微风化的大理岩、板岩、石灰岩、白云岩、钙质砂岩等
软质岩	较软岩	锤击声不清脆，无回弹，较易击碎，浸水后指甲可刻出印痕	1 中等风化-强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 未风化-微风化的凝灰岩、千枚岩、泥灰岩、砂质泥岩等
	软岩	锤击声哑，无回弹，有凹痕，易击碎，浸水后手可掰开	1 强风化的坚硬岩或较硬岩； 2 中等风化-强风化的较软岩； 3 未风化-微风化的页岩、泥岩、泥质砂岩等
极软岩		锤击声哑，无回弹，有较深凹痕，手可捏碎，浸水后手捏成团	1 全风化的各种岩石； 2 各种半成岩

A.0.2 岩体完整程度等级可按表 A.0.2 定性划分。

表 A.0.2 岩石完整程度的定性分类

完整程度	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型
	组数	平均间距 (m)			
完整	1~2	>1.0	结合好或结合一般	裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构
较完整	1~2	>1.0	结合差	裂隙、层面	块状或厚层状结构
	2~3	1.0~0.4	结合好或结合一般		块状结构
较破碎	2~3	1.0~0.4	结合差	裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构
	≥3	0.4~0.2	结合好		镶嵌破碎结构
			结合一般		中、薄层状结构
破碎	≥3	0.4~0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构
		≤0.2	结合一般或结合差		碎裂状结构
极破碎	无序		结合很差		散体状结构

注：平均间距指主要结构面（1~2 组）间距的平均值。

A.0.3 岩石风化程度可按表 A.0.3 划分。

表 A.0.3 岩石按风化程度分类

风化程度	野外特征	风化程度参数指标	
		波速比 K_v	风化系数 K_f
未风化	岩质新鲜，偶见风化痕迹	0.9~1.0	0.9~1.0
微风化	结构基本未变，仅节理面有渲染或略有变色，有少量风化裂隙	0.8~0.9	0.8~0.9
中风化	结构部分破坏，沿节理面有次生矿物，风化裂隙发育，岩体被切割成岩块。用镐难挖，岩芯钻方可钻进	0.6~0.8	0.4~0.8
强风化	结构大部分破坏，矿物成分已显著变化，风化裂隙很发育，岩体破碎，用镐可挖，干钻不易钻进	0.4~0.6	≤ 0.4
全风化	结构基本破坏，但尚可辨认，有残余结构强度，可用镐挖，干钻可钻进	0.2~0.4	—
残积土	组织结构全部破坏，已风化成土状，锹镐易挖掘，干钻易钻进，具可塑性	< 0.2	—

注：1 波速比 K_v 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速度之比；

2 风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比；

3 岩石风化程度，除按表列野外特征和定量指标划分外，也可根据当地经验划分；

4 花岗岩类岩石，可采用标准贯入试验划分， $N \geq 50$ 为强风化， $50 > N \geq 30$ 为全风化， $N < 30$ 为残积土；

5 泥岩和半成岩。可不进行风化程度划分。

A.0.4 土根据有机质含量可按表 A.0.4 分类。

表 A.0.4 土按有机质含量分类

分类名称	有机质含量 W_u (%)	现场鉴别特征	说明
无机土	$W_u \leq 5\%$		
有机质土	$5\% \leq W_u \leq 10\%$	深灰色，有光泽，味臭，除腐殖质外尚含少量未完全分解的动植物体，浸水后水面出现气泡，干燥后体积收缩	1 如现场能鉴别或有地区经验时，可不做有机质含量测定； 2 当 $w > w_L$ ， $1.0 \leq e < 1.5$ 时称淤泥质土 3 当 $w > w_L$ ， $e \geq 1.5$ 时称淤泥
泥炭质土	$10\% < W_u \leq 60\%$	深灰或黑色，有腥臭味，能看到未完全分解的植物结构，浸水体胀，易崩解，有植物残渣浮于水中，干缩现象明显	可根据地区特点和需要按 W_u 细分为： 弱泥炭质土（ $10\% < W_u \leq 25\%$ ） 中泥炭质土（ $25\% < W_u \leq 40\%$ ） 强泥炭质土（ $40\% < W_u \leq 60\%$ ）
泥炭	$W_u > 60\%$	除有泥炭质土特征外，结构松散，土质很轻，暗无光泽，干缩现象极为明显	

A.0.5 碎石土密实度野外鉴别可按表 A.0.5 执行。

表 A.0.5 碎石土密实度野外鉴别

密实度	骨架颗粒含量和排列	可挖性	可钻性
松散	骨架颗粒质量小于总质量的60%，排列混乱，大部分不接触	锹可以挖掘，井壁易坍塌，从井壁取出大颗粒后，立即塌落	钻进较易，钻杆稍有跳动，孔壁易坍塌
中密	骨架颗粒质量等于总质量的60%~70%，呈交错排列，大部分接触	锹镐可挖掘，井壁有掉块现象，从井壁取出大颗粒处，能保持颗粒凹面形状	钻进较困难，钻杆、吊锤跳动不剧烈，孔壁有坍塌现象
密实	骨架颗粒质量大于总质量的70%，呈交错排列，连续接触	锹镐挖掘困难，用撬棍方能松动，井壁较稳定	钻进困难，钻杆、吊锤跳动剧烈，孔壁较稳定

注：密实度按表列各项特征综合确定。

附表 B 圆锥动力触探修正

B.0.1 当采用重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数 $N_{63.5}$ 应按式 (B.0.1)

修正：

$$N_{63.5} = \alpha_1 N'_{63.5} \quad (\text{B.0.1})$$

式中： $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

α_1 ——修正系数，按表 B.0.1 取值；

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数。

表 B.0.1 重型圆锥动力触探锤击数修正系数 α_1

L (m)	$N'_{63.5}$								
	5	10	15	20	25	30	35	40	≥ 50
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

注：表中 L 为杆长。

B.0.2 当采用超重型圆锥动力触探确定碎石土密实度时，锤击数 N_{120} 应按式

(B.0.2) 修正：

$$N_{120} = \alpha_2 N'_{120} \quad (\text{B.0.2})$$

式中： N_{120} ——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

α_2 ——修正系数，按表 B.0.2 取值；

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探锤击数。

表 B.0.2 重型圆锥动力触探锤击数修正系数 α_2

L (m)	N' ₁₂₀											
	1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.85	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.84	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

注：表中 L 为杆长。

附表 C 隧道围岩分级

C.0.1 岩体基本质量分级

岩体基本质量指标的确定应符合下列规定：

1、岩体基本质量指标 BQ，应根据分级因素的定量指标 Rc 的兆帕数值和 Kv 按下式计算：

$$BQ=100+3Rc+250K_v \quad (C.0.1)$$

2 使用公式 (C.0.1) 计算时，应符合下列规定：

- 1) 当 $Rc > 90K_v + 30$ 时，应以 $Rc = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入计算 BQ 值；
- 2) 当 $K_v > 0.04Rc + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04Rc + 0.4$ 和 Rc 代入计算 BQ 值。

表 C.0.1 隧道围岩分级

围岩级别		BQ或[BQ]
I	坚硬岩，岩体完整，整体状或巨厚层状结构	>550
II	坚硬岩，岩体较完整，块状或厚层状结构；较坚硬岩，岩体完整，块状整体结构	550~451
III	坚硬岩，岩体较破碎，巨块（石）碎（石）状镶嵌结构；较坚硬岩或较坚硬岩层，岩体较完整，块状或中厚层结构	450~351
IV	坚硬岩，岩体破碎，碎裂结构； 较坚硬岩，岩体较破碎~破碎，镶嵌碎裂结构； 较软岩或较硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整~较破碎，中薄层状结构	350~251
	压密或成岩作用的黏性土及砂土；黄土（Q ₁ 、Q ₂ ）； 钙质、铁质胶结的碎石土（碎石、卵石、块石等）	
V	较软岩，岩体破碎； 软岩，岩体较破碎~破碎； 极破碎各类岩体，碎裂状松散结构	≤250
	半坚硬~硬塑状黏性土及稍湿~潮湿的碎石土；黄土（Q ₃ 、Q ₄ ）； 非黏性土呈松散结构，黏性土及黄土呈松软结构	
VI	软塑状黏性土及潮湿饱和的粉细砂、软土等	

注：本表不适用于特殊条件的围岩分级、如膨胀性围岩、多年冻土等。

C.0.2公路隧道围岩详细定级，当遇有下列情况之一时，应对岩体基本质量指标 BQ 进行修正，并以修正后获得的工程岩体质量指标值依据本标准表 C.0.1 确定围岩级别。

- 1 有地下水；
- 2 岩体稳定性受结构面影响，且有一组起控制作用；
- 3 工程岩体存在由强度应力比所表征的初始应力状态。

C.0.3 地下工程岩体质量指标 [BQ]，可按下式计算。其修正系 K_1 、 K_2 、 K_3 ，可分别按表 C.0.3-1、表 C.0.3-2 和表 C.0.3-3 确定。

$$[BQ] = BQ - 100 (K_1 + K_2 + K_3) \quad (C.0.2)$$

式中：[BQ]—地下工程岩体质量指标；

K_1 —地下水影响修正系数；

K_2 —主要软弱结构面产状影响修正系数；

K_3 —初始应力状态影响修正系数。

表 C.0.3-1 地下水影响修正系数 K_1

地下水出水状态	BQ			
	>450	450~351	350~251	<250
潮湿或点滴状出水	0	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6
淋雨状或涌流状出水，水压<0.1MPa或单位出水量<10L/(min·m)	0.1	0.2~0.3	0.4~0.6	0.7~0.9
淋雨状或涌流状出水，水压>0.1MPa或单位出水量>10L/(min·m)	0.2	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0

表 C.0.3-2 主要软弱结构面产状影响修正系数 K_2

结构面产状及其与洞轴线的组合关系	结构面走向与洞轴线夹角<30° 结构面倾角30°~75°	结构面走向与洞轴线夹角>60° 结构面倾角>75°	其他组合
K_2	0.4~0.6	0~0.2	0.2~0.4

表 C.0.3-3 初始应力状态影响修正系数 K_3

初始应力状态	BQ				
	>550	550~451	450~351	350~251	<250
极高应力区	1.0	1.0	1.0~1.5	1.0~1.5	1.0
高应力区	0.5	0.5	0.5	0.5~1.0	0.5~1.0

附表 D 隧道场地条件分级

6.3.2 隧道场地条件可按照表 D.0.1 分为简单、中等及复杂三级：

表 D.0.1 跨海通道隧道场地条件分级

简单	中等复杂	复杂
洞身在硬质岩层中，上部岩层厚度大于 1 倍开挖跨度； 洞身在中硬岩层中，上部岩层厚度大于 2 倍开挖跨度。	洞身在硬质岩层中，上部岩层厚度小于 1 倍隧道开挖宽度； 洞身在中硬岩层中，上部岩层厚度小于 2 倍开挖跨度； 洞身位于强风化岩层中或破碎岩层中。	洞身位于断层破碎带中； 洞身位于岩土交界面附近； 洞身位于特殊性岩土中； 洞身位于岩溶发育地层中。
洞身全部位于较为均匀的土层中； 洞身在岩层中，上部岩层厚度大于 0.5 倍洞径。	洞身附近土层物理力学参数差异较大； 洞身位于岩层中但是上部岩层厚度小于 0.5 倍洞径。	洞身位于岩土交界面附近； 隧道埋置深度小于 1 倍洞径； 隧道受河床冲刷影响较大。
基槽全部位于较为均匀的土层中； 基槽开挖深度小于 15m； 水深小于 15m。	介于简单及复杂之间的其他情况； 水深 15~25m。	基槽位于岩土交界面附近； 基槽开挖深度大于 20m； 淤泥厚度大于 10m； 水深大于 25m。
基坑全部位于较为均匀的土层中； 基坑深度小于 10m； 水深小于 5m。	介于简单及复杂之间的其他情况； 水深 5~10m。	洞身或基础位于岩土交界面附近； 基坑深度大于 15m； 水深大于 10m。

注：从复杂开始，向中等复杂、简单推定，满足其中一条即可划定该级。

附录 E 岩溶地貌类型

表 E.0.1 岩溶地貌类型

名 称	含义及其形成条件	特 征
溶痕	地表水沿可溶性岩层进行溶蚀所形成的微笑沟道	宽仅数厘米到十余厘米，长几厘米至数米，常见于石炭岩或石芽的表面
溶隙	地表水沿可溶岩裂隙渗流溶蚀所形成的沟隙	宽几厘米至1~2m，长几米至几十米
溶沟溶槽	地表水沿可溶性岩石的裂隙进行溶蚀和机械侵蚀所形成的小型沟槽	深度由数厘米至数米，甚至更大
石芽	溶沟、溶槽间残留的“脊”和笋状的突起	芽和溶沟，溶槽是共生的，其高度一般不超过3m
落水洞	由岩体中的裂隙受水流溶蚀、机械侵蚀以及塌陷而成的地表通往地下暗河或溶洞的通道	呈垂直、陡倾斜或弯折状，宽度一般很少超过10m，深可达百米至数百米，按形态可分为圆形、井状、裂隙状
溶洞	由地下水对可溶性岩石进行溶蚀和机械侵蚀而形成的呈水平状通道	大小与形状多种多样，大部分洞身曲折，支洞多，在地下水位以上，无经常流水，常见有不同高程重叠分布的大型复杂溶洞
暗河	地下水以下的溶洞	洞中水流汇集成河，有时与干谷相伴存在
漏斗	岩溶地区呈漏斗形成碟状的封闭洼地，由溶蚀作用或溶洞洞顶塌陷而成	上大下小，底部常有落水洞或竖井
干谷	河水经河谷底部的漏斗和落水洞等流入地下，使原来的河段失去排水作用，形成干涸的河谷	当暴雨季节或地下水排泄不畅时，才有暂时性的水流
溶蚀洼地	岩溶作用形成的小型封闭洼地，一般认为溶蚀洼地是由相邻漏斗逐渐加宽、合并而成	大多呈狭长型，一般长度大于宽度1~5倍，深度小于30m，长度可达千米，底部较平坦，有时有小湖泊
岩溶盆地（波立谷）	是一种大致呈椭圆形的大型封闭洼地。在一定的构造条件下，经长期溶蚀侵蚀作用形成，如溶蚀洼地的扩大合并，溶洞、暗河崩塌，地表干谷的扩大加深等	其延长方向常与构造线一致，长达几公里，面积可达数平方公里至数百平方公里，四周斜坡陡峭，谷底平坦，堆积物较厚，常有落水洞、峰林和暗河

名 称	含义及其形成条件	特 征
岩溶湖	岩溶地区的溶蚀洼地或溶洞底部积水而成的地面或地下的湖泊。由漏斗、落水洞淤塞、积水而成，或由于直接与地下水含水层有水力联系的低洼地区积水而成	一般规模较小。当溶蚀洼地底部为隔水岩层，堆积较厚的残破积物或湖盆底低于潜水面时，水流汇集成地面的岩溶湖。溶洞中的大型积水洼地为地下的岩溶湖，亦称地下湖
峰林	耸立在岩溶平原上的孤立石峰。是在地壳相对稳定的条件下，岩溶地貌发育到后期的产物	山坡陡峭，一般均在45°以上，相对高度可达100~200m，多分布于平原上
石灰华	岩溶泉水至出口处，因环境变化，溶于水的钙质分离沉积而成	经常呈多孔状
石钟乳	含碳酸钙的水从洞顶板下滴时，钙质沉淀形成自上而下的长条形沉积物	挂于洞顶
石笋 石柱	由含碳酸钙的水滴到洞底，钙质沉积而成	发育于溶洞底部的竹笋状突起的，称为石笋；当石钟乳与石笋连接在一起时称为石柱
残余堆积物	由不被水溶解的残余物组成的堆积物	如Fe ₂ O ₃ 、Al ₂ O ₃
其他堆积物	洞穴坍塌的石灰岩碎块、水流搬运物，及人类、动植物化石等	

附录 F 土、石工程分级

表 F.0.1 土、石工程分级表

土、石 等级	土、石 类别	土、石名称	钻1m所需的净钻时间 (min)			爆破1m³所需炮 眼 长度 (m)		开挖方法
			湿式凿岩 一字合金 钻头	湿式凿 岩普通 淬火钻 头	双人 打眼 (工日)	路堑	隧道 导坑	
I	松土	砂土、腐殖土、种植土，可塑、硬塑状的黏性土及粉土，松散的水分不大的黏土，含有30mm以下树根或灌木根的泥炭土						用铁锹挖，脚蹬一下到底的松散土层
II	普通土	水分较大的黏土，半坚硬、硬塑状粉土、黏性土、黄土，含有30mm以上的树根或灌木根的泥炭土、碎石土（不包括块石土或漂石土）						部分用镐刨松，再用锹挖，以脚蹬锹需连蹬数次才能挖动
III	硬土	坚硬粉土、黏性土、黄土，含有较多的块石土及漂石的土，各种风化成土块的岩石						必须用镐整个刨过才能用锹挖
IV	软石	各种松软岩石、盐岩，胶结不紧的砾岩、泥质页岩、砂岩、煤，较坚实的泥灰岩、块石土及漂石土，软的节理多的石灰岩		7以内	0.2以内	0.2以内	0.2以内	部分用撬棍或十字镐及大锤开挖，部分用爆破法开挖
V	次坚石	硅质页岩、砂岩、白云岩、石灰岩，坚实的泥灰岩、软玄武岩、片麻岩、正长岩、花岗岩	15以内	7~20	0.2~1.0	0.2~0.4	2.0~3.5	用爆破法开挖
VI	坚石	硬玄武岩，坚实的石灰岩、白云岩、大理岩、石英岩、闪长岩、粗粒花岗岩、正长岩	15以上	20以上	1.0以上	0.4以上	3.5以上	用爆破法开挖

附录 G 水和土的腐蚀性评价

G.0.1 取样和测试应符合下列规定：

1 当有足够经验或充分资料，认定工程场地及其附近的土或水（地下水或地表水）对建筑材料不具腐蚀性时，可不取样进行腐蚀性评价。否则，应取水试样或土试样进行试验，并按本附录评价其对建筑材料的腐蚀性。

土对刚结构腐蚀性的评价可根据任务要求进行。

2 采取水试样和土试样应符合下列规定：

- 1) 混凝土结构处于地下水位以上时，应取土试样做土的腐蚀性测试。
- 2) 混凝土结构处于地下水位或地表水中时，应取水试样做水的腐蚀性测试。
- 3) 混凝土结构处于地下水位以上、部分处于地下水以下时，应分别取土试样和水试样做腐蚀性测试。

4) 水试样和土试样应在混凝土所在的深度采取，每个场地不应少于 2 件，当土中盐类成分和含量不均匀时，应分区、分层取样，每区、每层不应少于 2 件。

3 水和土腐蚀性的测试项目和试验方法应符合下列规定：

- 1) 水对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、侵蚀性 CO_2 、游离 CO_2 、 NH_4^+ 、 OH^- 、总矿化度。
- 2) 土对混凝土结构腐蚀性的测试项目包括：pH 值、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的易溶盐（土水比 1：5）的分析。
- 3) 土对钢结构腐蚀性的测试项目包括：pH 值、氧化还原电位、极化电流密度、电阻率、质量损失。
- 4) 腐蚀性的测试项目的试验方法应符合表 G.0.1 的规定。
- 5) 水和土对建筑材料的腐蚀性，可分为微、弱、中、强四个等级，并可按本规范第 G.0.1 条进行评价

表 G. 0. 1 腐蚀性测试项目

序号	测试项目	试验方法	序号	测试项目	试验方法
1	pH值	电位法或锥形电极法	9	游离CO ₂	碱滴定法
2	Ca ²⁺	EDTA容量法	10	NH ₄ ⁺	钠氏试剂比色法
3	Mg ²⁺	EDTA容量法	11	OH ⁻	酸滴定法
4	Cl ⁻	摩尔法	12	总矿化度	计算法
5	SO ₄ ²⁻	EDTA容量法或质量法	13	氧化还原电位	铂电极法
6	HCO ₃ ⁻	酸滴定法	14	极化电流密度	原位极化法
7	CO ₃ ²⁻	酸滴定法	15	电阻率	四极法
8	侵蚀性CO ₂	盖耶尔法	16	质量损失	管罐法

G. 0. 2 腐蚀性评价应符合下列规定：

1 受环境类型影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性，应符合表 G. 0. 2-1 的规定；环境类型的划分应按本附录第 G. 0. 3 条执行。

表 G 0. 2-1 按环境类型水和土对混凝土结构的腐蚀性评价表

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I	II	III
微	硫酸盐含量 SO ₄ ²⁻ (mg/L)	<200	<300	<500
弱		200~500	300~1500	500~3000
中		500~1500	1500~3000	3000~6000
强		>1500	>3000	>6000
微	镁盐含量 Mg ²⁺ (mg/L)	<1000	<2000	<3000
弱		1000~2000	2000~3000	3000~4000
中		2000~3000	3000~4000	4000~5000
强		>3000	>4000	>5000
微	铵盐含量 NH ₄ ⁺ (mg/L)	<100	<500	<800
弱		100~500	500~800	800~1000
中		500~800	800~1000	1000~1500
强		>800	>1000	>1500
微	苛性碱含量OH ⁻ (mg/L)	<35000	<43000	<57000
弱		35000~43000	43000~57000	57000~70000
中		43000~57000	57000~70000	70000~100000
强		>57000	>70000	>100000

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I	II	III
微	总矿化度 (mg/L)	<10000	<20000	<50000
弱		10000~20000	20000~50000	50000~60000
中		20000~50000	50000~60000	60000~70000
强		>50000	>60000	>70000

注：1. 表中数值适用于有干湿交替作用的情况，I、II类腐蚀环境无干湿交替作用时，表中硫酸盐含量数值应乘以 1.3 的系数。

2. 表中数值适用于水腐蚀性评价；对土的腐蚀性评价，应乘以 1.5 的系数。单位以 mg/kg 表示。

3. 表中苛性碱 (OH⁻) 含量 (mg/L) 应为 NaOH 和 KOH 中的 OH⁻ 含量 (mg/L)。

2 受地层渗透性影响，水和土对混凝土结构的腐蚀性评价，应符合表 G.0.2-2 的规定。

3 当按表 G.0.2-1 和表 G.0.2-2 评价的腐蚀性等级不同时，应按下列规定综合评定：

1) 腐蚀性等级中，只出现弱腐蚀，无中等腐蚀或强腐蚀时，应综合评定为弱腐蚀性。

2) 腐蚀性等级中，无强腐蚀，最高为中等腐蚀时，应综合评定为中等腐蚀。

3) 腐蚀性等级中，有一个或一个以上为强腐蚀，应综合评定为强腐蚀。

表 G.0.2-2 按地层渗透性水和土对混凝土结构的腐蚀性评价表

腐蚀等级	pH 值		侵蚀性 CO ₂		HCO ₃ ⁻ (mmol/L)
	A	B	A	B	A
微	>6.5	>5.0	<15	<30	>1.0
弱	5.0~6.5	4.0~5.0	15~30	30~60	1.0~0.5
中	4.0~5.0	3.5~4.0	30~60	60~100	<0.5
强	<4.0	<3.5	>60	—	—

注：1. 表中 A 是指直接临水或强透水层中的地下水；B 是指弱透水层中的地下水；强透水层是指碎石土砂土；弱透水层是指粉土和黏土。

2. HCO₃⁻ 含量是指水的矿化度低于 0.1g/L 的软水时，该类水质 HCO₃⁻ 的腐蚀性。

3. 土的腐蚀性评价只考虑 pH 值指标，评价其腐蚀性时，A 是指强透水层，B 是指弱透水层。

4. 水和土对钢筋混凝土结构中的钢筋的腐蚀性评价，应符合表 F.0.2-3 的规定。

表 G.0.2-3 对钢筋混凝土结构中的钢筋的腐蚀性评价

腐蚀等级	水中的 Cl^- 含量 (mg/L)		土中的 Cl^- 含量 (mg/kg)	
	长期浸水	干湿交替	A	B
微	<10000	<100	<400	<250
弱	10000~20000	100~500	400~750	250~500
中	—	500~5000	750~7500	500~5000
强	—	>5000	>7500	>5000

注：A 是指地下水位以上的碎石土、砂土，坚硬、硬塑状的黏性土；B 是湿、很湿的粉土，可塑、软塑、流塑的黏性土。

4 土对钢结构的腐蚀性评价，应符合表 G.0.2-4 的规定。

表 G.0.2-4 土对钢结构腐蚀性评价

腐蚀等级	pH	氧化还原电位 (mV)	视电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	极化电流密度 (mA/cm^2)	质量损失 (g)
微	>5.5	>400	>100	<0.02	<1
弱	4.5~5.5	200~400	50~100	0.02~0.05	1~2
中	3.5~4.5	100~200	20~50	0.05~0.20	2~3
强	<3.5	<100	<20	>0.20	>3

注：土对钢结构的腐蚀性评价，取各指标中腐蚀等级最高者。

G.0.3 场地环境类型的分类，应符合表 G.0.3 的规定。

表 G.0.3 环境类型分类

环境类别	场地环境地质条件
I	高寒区，干旱区直接临水；高寒区、干旱区强透水层中的地下水
II	高寒区、干旱区弱透水层中的地下水；各气候区湿、很湿的弱透水层；湿润区直接临水；湿润区强透水层中的地下水
III	各气候区稍湿的弱透水层；各气候区地下水位以上的强透水层

注：1. 高寒区是指海拔高度大于或等于 3000m 的地区；干旱区是指海拔高度小于 3000m，干燥度指数 K 值大于或等于 1.5 的地区；湿润区是指干燥度指数 K 值小于 1.5 的地区。

2. 强透水层是指碎石土和砂土；弱透水是指粉和黏土。

3. 含水率 $w < 3\%$ 的土层可视为干燥土层，不具有腐蚀环境条件。

4. 当混凝土结构一边接触地面水或地下水，一边暴露在大气中，水可以通过渗透或毛细作用在暴露大气中的一边蒸发时，应定为 I 类。

5. 当有地区经验时，环境类型可根据地区经验划分；当同一场地出现两种环境类型时，应根据具体情况选定。

本规程用词用语说明

本规程执行条文严格程度的用词，采用下列写法：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词用词采用“必须”，反面词用词采用“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”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

《公路跨海通道工程地质勘察规程》

(征求意见稿)

引用标准名录

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

《公路工程地质勘察规范》 JTG C20

《中国地震动参数区划图》 GB 18306

《岩土工程勘察规范》 GB 50021

《建筑基坑支护技术规程》 JGJ120

《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330

《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 12015

《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330

《公路勘测规范》 JTG C10

《公路工程物探规程》 JTGT 3222

《岩土工程勘察安全标准》 GB/T 50585

《公路土工试验规程》 JTG 3430

《公路岩石试验规程》 JTG E41

《公路工程地质原位测试规程》 JTG 3223

《水文水井地质钻探规程》 DZ/T 0148