

水下隧道岩土工程勘察及施工技术分析

宋文科

济南昌汇建筑工程有限公司

摘要: 水下隧道是指在江、河或湖泊的边沿修建的一种地下交通工程,包括沉管隧道和明洞两种基本形式。其中沉管隧道是指在江、河或湖泊的底部,通过建设浮吊、潜管等专用设备,将混凝土沉管下至预定深度后连接起来。而水下隧道岩土工程勘察是隧道岩土工程施工前的重要工作,本文主要根据水下隧道岩土工程勘察工作特点,而后再对水下隧道岩土工程勘察技术的应用要点展开具体分析,以期更好地提升水下隧道岩土工程的勘察工作效果。

关键词: 水下隧道; 岩土工程; 勘察技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.09.031

引言

近年来,随着我国经济社会的快速发展,基础设施建设步伐加快,水下隧道因其具有施工工期短、不受气候影响、占地面积小、环境影响小、交通便捷等优势得到广泛应用。而水下隧道岩土工程勘察是指对隧道建设的选址、隧道水文地质条件、地层岩性、环境地质问题等进行调查研究,并提出相应的岩土工程建议的工作。由于水下隧道施工技术难度高,地质条件复杂,岩土工程勘察对施工起着至关重要的作用。然而在国内,针对水下隧道岩土工程勘察的研究较少,使得在实践中难以准确把握地质条件和设计要求,影响了工程建设质量和进度。本文针对水下隧道岩土工程勘察工作特点,提出了水下隧道岩土工程勘察的方法体系,并对水文地质、地层岩性、环境地质问题等进行了总结,以期为水下隧道岩土工程的勘察工作提供参考,促进水下隧道建设的顺利开展。

一、水下隧道勘察特点

(一) 既有资料少

(1) 目前,国内外水下隧道的岩土工程勘察,基本是采用传统的钻探、槽探、取样等勘探手段和方法进行,所采用的基本资料少,不能全面反映地质条件和水文地质条件。

(2) 目前,国内外水下隧道勘察的岩土工程勘察规范、规程大多是针对陆上隧道进行规定,尚无专门针对水下隧道岩土工程勘察的规定和规程。

(3) 我国自20世纪60年代初开展水下隧道的研究工作以来,已有40多年的历史,并在80年代末开始进行隧道建设工程试验工作,积累了大量的经验数据;但由于目前我国尚未建立完整的水下隧道技术规范和规程,对水下隧道岩土工程勘察指标和方法、手段等缺乏统一、完整的规定。

(二) 遥感和地质调绘难以发挥作用

水下隧道工程地质条件较为复杂,对地震、水动力作用和水文地质条件的勘探程度较高,对工程建设条件

的预测难度较大。因此,地质工作是水下隧道工程勘察的重点。水下隧道工程地质工作主要包括物探、钻探、地下水试验、原位测试及工程地质综合研究等。

(1) 物探主要通过地质雷达(简称“雷达”)获取地层岩性、地形地貌、地层产状、构造破碎带等信息,以确定不良地质体的存在及其分布范围,从而为钻探布置及地下水监测提供依据。雷达技术目前已应用于地震勘探、高分辨率遥感资料解译、区域地震危险性评价等方面,可以用来探索水下隧道建设的新途径。

(2) 钻探在水下隧道勘察中起着关键性的作用,对地层岩性、地下水和构造发育等情况的描述起着决定性作用,并能提供相应的测试资料。但由于水下隧道条件的复杂性,钻探在水下隧道勘察中所起的作用很有限。

(3) 原位测试主要通过钻孔取芯、压水试验等进行地层岩性、地下水含水性和水化学分析,获取钻孔不同深度地层的岩性、物理力学性质和水化学组成等信息,并通过室内分析确定其力学参数。

(4) 工程地质综合研究主要针对不同断面形式的隧道进行勘探,通过综合分析物探资料、地质调绘资料、钻孔原位测试和室内分析成果,揭示隧道掘进地质条件与地下水条件。

(三) 物探工作开展精度较低

水下隧道勘察物探工作主要包括浅层地震反射法、声波测试法、地质雷达法,其精度相对于工程地质调绘和遥感地质图的精度较低。浅层地震反射法适用于水下隧道工程建设前期地质条件调查,该方法通过对浅部进行地震勘探,获取岩土体的速度信息和密度信息;声波测试法、地质雷达法适用于水下隧道工程建设中的地下结构物探工作,通过对结构物探测试,获得地下结构的形态特征和属性信息;地质雷达法适用于水下隧道工程建设中的土层划分和断层探测工作,该方法通过对地层电参数进行测量,获取土层的速度信息和密度信息。

(四) 需要执行专项水文勘察

为保证水下隧道的顺利建设,开展专项水文勘察是十分必要的,需要详细掌握水文地质信息。针对水下隧道工程的专项水文勘察主要包括:(1)水文地质条件的分析,包括地下水类型、补给、径流、排泄、水质特征等;(2)地下水运动规律,包括水位动态变化规律、地下水埋深及动水头变化规律等;(3)隧道区内地下水的赋存状态,包括补给条件、排泄条件及水质特征等;(4)隧道区内地下水对隧道工程的影响,包括渗透力的大小,对混凝土强度和变形的影响,对混凝土耐久性的影响。

(五) 勘探难度相对较大

对于水下隧道的勘察,地质条件相对复杂,水下隧

道的勘探难度相对较大。由于水下隧道的空间相对狭小,勘测环境不能进行人工探测,只能采用地震勘探、高密度电法、地质雷达等设备进行勘察,这也决定了勘探成本更高。由于水下隧道的水文地质条件复杂,这就要求在开展勘察时,应重点关注地下水的发育情况、是否有突水的情况发生、是否有涌水现象发生等。当地下水赋存条件复杂时,会导致地下水的流速较快,从而对勘察工作造成影响。特别是在含水层中进行工程施工时,地下水速度将会急剧增加,在这种情况下,很容易对施工造成影响。

二、水下隧道岩土工程勘察技术应用要点

(一) 岩土工程勘察

1. 野外踏勘与资料搜集

(1) 野外踏勘:通过野外踏勘,了解隧道施工地段的地质、水文、气象、地貌等自然条件,了解拟建隧道工程所在的地质环境、地层岩性及其空间分布特征,了解拟建隧道工程所处地段的主要地质构造和水文地质条件,掌握隧道的位置和埋深,特别是要重点查明岩土工程特性。

(2) 资料搜集:根据勘察内容及要求,选择相应的资料进行搜集。收集国内外已有的隧道勘察资料,并进行归纳整理;搜集、分析地质测绘、物探、钻探等资料,进行隧道勘察试验内容的补充。收集隧道及沿线区域水文、气象等资料,掌握水文地质条件。收集工程地质与水文地质勘察工作的资料及图件,进行资料的分析整理。

(3) 工程地质测绘:采用航空摄影测量手段或现场测绘手段对隧道及沿线区域进行工程地质测绘,根据隧道及沿线区域的岩土工程特性和施工条件等进行详细勘察,收集并分析相关工程地质资料。

2. 原始资料的采取

在调查过程中,可以根据采集的地层剖面进行物探资料的选取,在进行断面测量过程中,应当对地层剖面进行编号,并根据不同地层的不同物理性质和力学性质对地质剖面进行划分,再根据对应地层的物理性质和力学性质对地质剖面进行划分,最后用地面重力测量采集地层剖面信息。为了保证岩土工程勘察的准确性和效率性,在野外踏勘过程中,应当在隧道两侧使用多个观测孔对其进行观测,以保证每个观测孔的岩土勘察精度达到标准要求。为了保证岩土工程勘察的有效性,在进行野外踏勘过程中,应使用仪器对每个观测孔的岩土勘察深度进行确定,并且对每个观测孔的岩土勘察深度进行准确测量,以保证每个观测孔的岩土勘察质量符合要求。

此外在野外踏勘过程中,如果发现有不明岩层或者不良地质现象时,应及时采集相关资料。在采集完相关资料后,再用仪器对所有观测孔的岩土勘察深度进行确定,然后进行勘探孔的测量,同时在勘察孔的底部安装有地质雷达,通过对地下岩层进行探测,对不同岩石的物理性质和力学性质进行分析。

(二) 隧道位置的选择

在进行水下隧道岩土工程勘察工作时,要将其重点放在位置的选择上,这一点也是最为重要的。因为水下隧道岩土工程勘察工作是为工程建设提供资料的重要手段,是进行隧道建设的依据。所以,在进行位置选择时,要考虑到影响岩土工程勘察工作质量的因素,例如隧道所处地理位置、水文条件、地形地貌以及地层结构等。在进行位置选择时,要将上述因素作为重要考虑因素,这样才能更好地了解所选地段是否具备条件进行水下隧道岩土工程勘察工作。例如,在对隧道位置进行选择时,要考虑到其所处地理位置的地形地貌是否具备建设条件。因为地形地貌是决定隧道建设的重要因素,对工程的质量以及安全都有着直接的影响,所以,在选择位置时,要重视地形地貌因素。在选择位置时,还要将水文条件考虑在内,因为水文条件是决定岩土工程勘察工作质量的重要因素,同时也是影响隧道建设质量的重要因素。在进行水文条件分析时,首先要对当地的水文情况进行调查,例如该区域的流量大小、流速大小等因素,如果流量较大且流速较快时,则可以在隧道建设区域周围建设施工场地以及相应的水利设施等。其次要对隧道所处地段进行调查研究,主要调查该区域与隧道位置之间的距离以及隧道所在位置地下水的埋藏深度等。最后,还要对地下水的流向、水量以及水位进行调查,根据水文资料对地下水进行预测,并确定出隧道建设的位置。除此之外,还要将隧道所处地段的地表水以及地下水的情况考虑在内,这样才能确保工程建设具有较好的稳定性。

(三) 隧道顶板埋深的确定

水下隧道岩土工程勘察技术的重点就在于,为隧道顶板的埋深确定提供基础数据,在实际勘察过程中,可以利用水下钻探的方式,在岩土工程勘察的基础上对隧道顶板埋深进行确定。

(1) 水下钻探工作是为了获得更加真实、有效的隧道顶板埋深信息,但是在实际操作过程中需要注意,在进行水下钻探工作时,要严格遵循钻孔布置原则和深度原则,合理布置钻孔位置和钻孔深度,保证每个钻孔均能到达隧道顶板位置。

(2) 在隧道顶板埋深确定过程中,要结合隧道长度、埋设深度、地层情况和水文地质情况等方面进行综合分析,保证计算结果更加精准。

(3) 在对隧道顶板埋深进行确定时,还要考虑到地下水对于隧道顶板埋深的影响,结合具体情况和实际需求,合理调整地下水的处理方式,避免出现顶板下存在积水的现象。

(4) 在对隧道顶板埋深进行确定时,还需要考虑到施工条件,如果施工条件不允许开挖,就要充分利用抽水设备的作用,将顶板下的积水排出。

(5) 在对隧道顶板埋深进行确定时,需要充分考虑到地下水与地层结构的相互作用关系,对地下水和地层结构进行深入研究分析。

(6) 在施工过程中,要综合分析围岩情况和施工条件等因素影响,保证施工具有较高的安全性和可靠

性。

（四）隧道围岩类别判定

隧道围岩类别判定对水下隧道建设具有重要意义，在明确隧道围岩类别的基础上才能明确隧道围岩的类型，对隧道施工具有指导意义。不同类型围岩的强度和稳定性具有明显差异，在选择合适的围岩类型时要结合隧道具体情况，对岩土工程勘察技术应用要点进行分析，加强对岩石物理力学性质和强度的了解，从而确定围岩类别。

（1）根据施工现场条件，选择适当的方法进行岩体结构面调查和量测工作，明确岩体结构面类型、产状和性质等，对其强度进行研究。结合工程地质测绘数据、钻探资料和勘察报告等明确岩体结构面强度参数；

（2）利用声波测试、完整性测试以及岩石物理力学试验等确定岩体强度。由于岩石的完整性直接影响着岩体的力学性质，因此在确定岩体强度时要结合岩石物理力学试验，对其物理力学性质和完整性进行分析，从而确定岩体的类别。

（3）利用围岩分级参数确定围岩的类别。围岩分级参数包括围岩的分类系数、岩石强度参数和围岩稳定性系数等。其中，围岩分类系数指的是根据围岩强度和岩体完整性综合划分的围岩类别系数。其可采用模糊综合评判法，对隧道施工中出现的不稳定块体进行评价，根据评价结果确定其类别。此外，如果隧道施工中出现了新构造运动、高水位情况等因素，还需利用岩体分级参数对隧道围岩进行分析。

三、水下隧道岩土工程勘察工作优化策略

（一）水下隧道应该根据隧道工法，编制适合的岩土工程勘察方案

水下隧道一般是在人工填海的基础上修建的，其建设工程技术难度较大，对岩土工程的勘察要求较高。在进行工程勘察设计时，应根据具体的施工方法来编制相应的勘察方案。在隧道施工中，由于不同施工方法对隧道的影响不同，所以要进行针对性设计。如，明挖法隧道一般会对围岩性质、地层结构以及地下水等进行详细的勘察，而暗挖法隧道则对地层结构、地下水、地质构造以及围岩情况进行重点勘察。在进行岩土工程勘察时，应该根据施工方法来编制勘察方案，如盾构法隧道对地层岩性、地质构造以及地下水等进行详细勘察；而沉管法隧道则要对地层岩性进行重点勘察。

（二）水下隧道应根据隧址工程地质条件，选择适合的勘察手段

（1）在水下隧道岩土工程勘察中，应该根据水下隧道的实际特点，采用相应的勘察手段。如，采用物探的方式，对地层结构进行详细了解；采用钻探、浅孔取样等手段，对隧道建设区域地层的基本情况进行全面调查；采用原位测试、室内试验等手段，对围岩的强度和稳定性进行调查，并在此基础上进行隧道设计方案的论证。

（2）由于水下隧道开挖所形成的特殊地质环境，

会对隧道的周边环境造成影响，进而影响到附近居民的正常生产生活。因此，在进行水下隧道岩土工程勘察工作时，应该对周边居民进行详细了解，其周围环境的变化情况。然后在此基础上对可能影响到周边居民正常生活生产秩序的地质灾害进行调查、统计和分析。由于水下隧道一般位于江、河、湖等水域，其所处地理位置和环境均较特殊，这就对岩土工程勘察工作提出了更高的要求。

（三）建议加大勘察研发投入，提高水下隧道整体勘察水平

（1）水下隧道地质勘察工作多以浅层地震、浅层剖面为主，地质综合研究能力有待加强，应根据隧址工程地质条件，因地制宜，积极开展高精度、多手段综合勘察研究。

（2）由于水下隧道与陆地隧道有明显差异，且在水下往往无法直接获取工程地质资料，因此勘察人员应具备良好的计算机软件编程能力和良好的数据处理分析能力。

（3）建议勘察单位应加大勘察研发投入力度，根据工程需要研究开发适合水下隧道地质特征的专用软件系统、研发适合水下隧道地质特征的特殊勘察手段和方法、建立完善的数据资料管理平台，提高岩土工程勘察整体水平。

结语

总而言之，水下隧道岩土工程勘察技术，是一项技术与综合性较强的技术。其主要就是通过对水下隧道岩土工程勘察区域进行详细的调查，进而对该区域的地质情况进行准确的分析，为下一步施工提供可靠、准确的数据信息。水下隧道岩土工程勘察技术在实际应用过程中，要想提升勘察效果，需要施工单位进行详细的分析，并根据水下隧道岩土工程勘察技术特点，制定科学合理的技术方案，之后再行详细的技术应用。

参考文献

[1]解亚龙,王万齐,周平,刘伟,宋树宝.基于透明隧道的全寿命周期管理方法在水下隧道的应用研究[J].铁道标准设计,2022,66(07):95-101.

[2]张帅军,汪进超,韩增强.综合钻孔探测技术在水下隧道围岩结构勘察中的应用[J].工程勘察,2020,48(04):72-78.

[3]蔡盛.综合物探技术在水下隧道勘察中的应用[J].工程勘察,2018,46(09):74-78.

[4]肖明清.我国水下盾构隧道代表性工程与发展趋势[J].隧道建设(中英文),2018,38(03):360-367.

[5]王龙,章长松,王小清.岩土工程勘察在水下隧道设计和施工中的应用研究[J].科协论坛(下半月),2009,(06):10.

[6]丁辉.岩土工程勘察在水下隧道设计和施工中的应用研究[J].建材与装饰(中旬刊),2007,(08):74-75.