

核电工程建设中的地质工作

总图地质所 王旭宏

摘要

核电工程建设中进行很多地质工作,并且不同阶段的需求和重点都不同,目前我们开展这些地质工作依据的都是早期的规范和标准,和实际需求不吻合,依据本人多年的地质工作的经验,对核电工程不同阶段都要开展那些地质工作,以及每个阶段的地质工作的重点内容进行总结介绍,同时对现规范中存在问题的进行剖析,并给出相关建议,一方面为新规范及标准的编制提供参考,另一方面,为有的放矢地开展核电工程的地质工作起到借鉴和指导作用。

1 概述

核电工程从地质工作的角度分为选址与规划、初步可行性研究、可行性研究、初步设计、施工图设计、工程建造等六个阶段,在《核电厂厂址选择安全规定》(HAF 101 (91))、《核电厂工程建设项目初步可行性研究与可行性研究内容深度规定(试行)》(电力工业部 电计[1996]737号)、《核电厂厂址选择中的地震问题》(HAD 101/01 (94))、《核电厂的地基安全问题》(HAD 101/12 (90))、《核电厂厂址选择和水文地质的关系》(HAD 101/06(91))、《核电厂厂址查勘 HAD 》(101/07 (89))、《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)、《核电厂抗震设计规范》(GB50267-97)及《核电厂工程地质勘测规定(试行)》(电力部)中都提到了不同阶段开展地质工作内容,但由于这些规范、导则和标准的编制背景的因素,有些标准基本上是国外规范的翻译,没有结合我国的建设程序,有的是早期编制的规范,由于没有核电建设的经验,基本上采用了一般工民建的标准,和核电工程的设计不相适宜,并且这些标准规范出自不同的部门,所关注问题的侧重点不同,由于这些因素导致我们开展的核电地质工作存在很多问题,鉴于此,本人认为有必要对这些工作进行总结,为新规范及标准的编制提供参考,同时,对开展核电工程的地质工作起到借鉴和指导作用。

2 各阶段的地质工作

在上述的六个阶段都有很多地质工作,并且每个阶段的内容和重点都存在很大差异,下面

面分别介绍。

2.1. 选址及规划阶段:

本阶段地质工作内容包括地震地质和工程地质,采用的手段是收集资料和踏勘,一般不进行现场工作,应提供以下三个方面的内容,并从地质的角度评价厂址是否可进行初可研工作。

地质基本特征:提供区域地质构造特征和主要断裂的特征,尤其是厂址附近的断层特征。

地震基本特征:根据地震资料,并评价地震活动性。

工程地质条件:根据收集的资料和踏勘,提供厂址地层岩性、埋深、不良地质作用。

2.2 初步可行性研究阶段:

包括岩土工程勘察和水文地质调查工作,以收集已有资料为主,辅以工程地质测绘、地球物理勘探、钻探与取样、原位测试、室内试验、水文地质调查等现场勘察工作,提供候选厂址岩土工程和水文地质资料,对候选厂址的场地稳定性、地基条件、环境水文地质条件作出初步评价,给出厂址的适宜性结论。下面分别各项工作的主要内容及重点工作。

工程地质测绘:比例尺应选用 1:10000~1:25000;范围包括厂址及其周边地区。重点是要查明厂址所在位置有无断裂、破碎带和不良地质作用及对场地稳定性的影响。

钻探与取样:每个机组的勘探孔一般不少于 2 个,核岛区孔深为设计地坪以下 60m;主要岩土层应采取 3 组以上试样。重点是通过钻探查明核岛地基的特征。

地球物理勘探:一般采用浅层地震勘探、高密度电法、声波测井等方法了解厂址范围内的断裂分布情况、基岩埋深、是否存在洞穴、隐伏

的软弱带和岩体的风化程度和完整性等。重点是判断有无可供核岛布置的场地和地基,判断厂址是否存在断层。

原位测试:一般来说单孔波速测试和压水试验是必做的测试项目,其它的方法根据岩土条件确定。重点是单孔波速测试,提供岩土层的剪切波速值和动弹性模量。

室内试验:按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)的要求执行,可满足设计需求。重点是提供核岛地基的承载力,判断是否存在液化地层。

水文地质调查:主要工作是搜集区域和厂址附近的水文地质资料,水文气象及地下水利用资料,并进行现场调查,初步查明厂址及附近范围内的水文地质条件及地下水资源开发利用的现状与远景规划,编制厂址附近范围 1:50000 水文地质图。重点是利用这些资料判断候选厂址是保留还是被否定。

2.3 可行性研究阶段:

本阶段的地质工作包括岩土工程勘察、环境水文地质调查及地质灾害评估工作。

2.3.1 岩土工程勘察:主要是采用工程地质测绘、钻探、物探、原位测试和室内试验,验证初可研阶段的结论;获得岩土工程方面的资料及设计参数;为初步确定核岛位置和总平面布置及初步设计提供岩土工程方面的资料。

工程地质测绘:测绘范围包括厂址及其周边地区,测绘比例尺为 1:1000~1:2000,核岛常规岛区测绘比例尺为 1:1000。重点是地质构造和不良地质现象的调查。

钻探:钻孔采用网格状布置,勘探点间距一般为 100~150m,沿核岛和常规岛中轴线应布置勘探线,并与实测剖面和物探剖面形成联合剖面,取、排水线路钻孔间距约 100~200m,核岛及常规岛的钻孔深度基本上可按现行规范执行,主要岩土层取样数量一般不少于 6 件。重点是核岛地层的钻探。

物探:方法与初可研阶段的地球物理勘探方法一样,但是测线密度和测试点数量比初可研阶段要大得多。

原位测试:根据岩土条件,选用合适的原位测试方法。此阶段必须进行一定数量的单孔波速测试,核岛和联合泵房必须有单孔波速测试。重点是波速试验。

室内测试:方法和提供的参数与初可研阶段一致,岩土主要参数的测试数量不应少于 6 个,要增加每个岩体(层)试样的动弹性模量和动泊松比等动态参数测试。

2.3.2 环境水文地质调查

环境水文地质调查是在初可研阶段水文地质调查的基础上,查明地下水的类型、含水层特征、动态变化,地下水的补给、径流、排泄条件,地表水与地下水的补排关系;厂区及下游主要含水层的补给关系;地下水的开发利用现状与远景规划;对厂址进行类别划分。重点是查明厂址地下水与下游主要含水层或地表水体的水力联系,及地下水资源的开发利用与远景规划。当厂址属于与核环境影响不利条件类型时,应按照 HAD101/06 中第三章的要求进行环境水文地质调查工作。

环境水文地质调查范围为厂址附近范围(包括厂区),调查精度 1:50000,成图比例尺 1:25000。采用的主要方法为收集资料,现场调查,钻探、物探、水文地质测试和设置长期观测孔。

2.3.3 地质灾害评估

核电站的地质灾害评估是指对核电工程遭受地质灾害的可能性和该工程建设中、建成后引发地质灾害的可能性做出评价,提出具体的预防治理措施;为工程的立项和建设用地的审批提供支持材料。

核电站的地质灾害危险性评估等级为一级。评估的灾种主要包括:崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝和地面沉降等与地质作用有关的灾害等。需查明核电工程建设区地质环境的特征;分析论证建设区各种地质灾害的危险性,进行现状评估、预测评估和综合评估;提出防治地质灾害措施与建议,并对建设场地的适宜性作出评价结论。具体工作是在已有资料的基础上,进行地面调查,在重点地段可适当布置物探、钻探、坑槽探和取样测试等工作。

2.4 初步设计阶段

核电站初步设计主要利用可研勘察的参数,可研勘察后总平面位置常常会进行调整,调整后一般要进行可研的补充勘察,总平面确定之后边坡位置也就基本确定了,为开展四通一平的设计工作本阶段需进行边坡的专题勘察。补充勘察的要求和可研勘察的要求相同此处不再详述。

核电站的边坡勘察首先应根据《建筑边坡工程技术规范》和《核电厂抗震设计规范》来划分边坡的安全等级和是否是核安全相关边坡,据此来确定勘察方案,对于非核安全相关边坡可按《岩土工程勘察规范》、《建筑边坡工程技术规范》和《水利水电工程边坡设计规范》的要求进行;对于核安全相关边坡勘察要提供动态参数,在进行稳定性计算时要依次按滑动面法、静力有限元和动力有限元法进行。

采用滑动面法、静力有限元法计算时,地震作用水平地震系数取 0.3,竖向地震作用系数取 0.2,水平向地震力施加方向指向坡外,竖向地震力作用方向按不利组合确定,动力有限元法采用的时程必须是国家环境保护部批准的设计时程。在计算中除考虑上述规范中提及的常规工况外,还同时进行“暴雨+地震”这一最不利组合工况的计算。

在边坡的勘察工作中有两项工作十分重要,第一是地质测绘,一定要查清断层、节理、裂隙等软弱结构面的特征,必要时应进行探槽或物探工作;第二是钻探工作,一定要做好钻探的班报表的记录工作,对钻探过程中出现的异常现象必须准确的记录,特别是钻孔的漏水情况,上述两项工作对边坡稳定性的评价有着重要的意义。

2.5 施工图设计阶段:本阶段的地质工作主要是岩土工程详细勘察,一般按核岛、常规岛、附属建筑和水工建筑等四个地段进行,主要是采用钻探、物探、原位测试和室内试验等手段获得具体建构筑物施工图设计的岩土参数,并为安全分析报告、环境影响评价报告编制提供基础地质资料和土工方面的资料。

钻探与取样:除泵房和与安全相关的取排水线路外,按《岩土工程勘察规范》的要求布置可满足施工图设计的需要,从我们的经验来看,每个泵房勘探点数量不应少于 6 个,与安全相关的取排水线路,勘探点间距不宜大于 50m,孔深要求与可研阶段相同。重点工作是核岛的钻探工作。

物探:本阶段基本上不进行地面的物探工作,主要是孔内的声波、电阻率测试等,必要时可进行孔间 CT、井下电视的测试。

原位测试:根据岩土性质选择合适的原位测试,基本上可按《岩土工程勘察规范》的要求进

行,重点是反应堆厂房地基的跨孔法波速测试。

室内试验:岩土室内试验方法和提供的参数与可研阶段基本一致。

2.6 工程建造阶段:本阶段地质工作主要包括编录、验槽、监测、地基处理与检测工作。

编录包括厂坪开挖编录和基坑编录,厂坪开挖编录就是平常说的正挖编录,可根据场地条件判断是否进行,地质条件比较简单可不进行此项工作,正挖编录的比例尺 1:1000~1:500;核岛、常规岛、边坡及其它与安全相关建构筑物基坑(或隧道)的地质编录是必须进行的工作,比例尺不小于 1:500。编录的重点为地层岩性、节理、裂隙、断层等内容。

验槽工程是本阶段必须进行的工作,其内容和要求可按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)的规定执行。

监测工作主要包括建构筑物、边坡和场地的监测,建构筑物的监测内容包括变形、沉降,边坡的监测内容包括变形、地下水、地应力,场地的监测内容主要是地下水。具体监测可按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)、《建筑物变形测量规范》(JGJ8)的规定执行。

地基处理与检测,大多数核电厂或多或少都需要进行地基处理,尤其是沿海核电厂,往往有大面积的软土地基要进行处理。地基处理后必须对处理的效果检测。具体采用的方法可按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2002)及其它行业规范标准的规定执行。

3 现规范中存在的问题及建议

根据本人的工作经验,认为目前的规范和标准存在一些不足亟需修改,此处斗胆将这些不足和本人的一些建议罗列如下,还望同仁们指正。

(1)《核电厂工程地质勘测规定(试行)》(电力部)的 4.1.3 条中几个内容应放在其它专题研究中,如能动断层和火山活动应放在地震专题,压矿应放在压覆矿产评估专题。

(2)《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)中 4.6.6 条每个厂址的勘探孔不宜少于两个,建议改为每个机组不宜少于两个钻孔。

(3) 现行导则、规范和标准中基本上是针对沿海厂址,没有提及冷却塔的勘察,而内陆厂址的冷却塔的地基问题又十分重要,建议在新规范中包含这一部分内容。

(4) 单孔波速测试用于提供岩土层的剪切波速值。规范中并没有规定初可研阶段必须进行单孔波速测试,但是通过工程实践,在初可研阶段进行单孔波速测试是必要的,尤其是在推荐可研厂址方面很有意义,数量一般为2~3孔。

(5) 在初可研和可研阶段,规范和标准中对物探剖面的数量没做规定,从工程实践来看,一般至少5条以上,并且和钻探剖面、测绘剖面形成联合剖面。

(6) 初可研核岛钻孔规定30~60米,建议改为60米。岩溶地区及火山岩地区建议钻孔深度为200米。

(7) 初可研阶段的室内试验进行剪切试验没有意义,建议取消。

(8) 现行规范中对可研阶段的工程地质测绘范围只说了包括厂址及其周边地区,并未说明具体的范围,导致工作范围因人而异,根据我们的经验认为,对可研阶段的工程地质测绘范围以反应堆为中心半径600米的范围,可根据场地情况进行适当调整。

(9) 在现行规范中可研阶段钻孔宜采用150m网格状布置,从工程实践来看,勘探点间距为100~150m更合理,在核岛和常规岛中轴线应布置勘探线,并与实测剖面 and 物探剖面形成联合剖面。规范中没有提及取、排水线路钻孔间距,建议按100~200m考虑。

(10) 可研阶段的环境水文地质调查目前做的很不到位,一方面由于以前的核电站均位于海边水文地质条件很简单,并且最终都排向了大海,所以导致目前水文地质调查工作存在很多问题,现在很多电站为内陆核电站,水文地质条件是比较复杂的,没有引起相关方面得重视,尤其安全审查部门的重视,希望相关部门监督尽快能严格按《核电厂厂址选择和水文地质关系》(HAD 101/06(91))和《核电厂工程地质勘测规定(试行)》(电力部)的要求来开展水文地质调查工作,并将此要求在新规范中列为强制性条款。

(11) 在现行规范中定义的初步设计阶段的勘察实质上是详细勘察不是初步勘察,和我国

的建设程序不一致,而核电站初步设计主要利用可研勘察的参数,初步设计阶段开展得勘察工作是可研的补充勘察和一些专题勘察,所以我认为还是根据实际情况和我国的建设程序不应将核电站初步设计阶段的勘察定义为详细勘察,还是把详细勘察放在施工图设计阶段为好。

(12) 关于边坡的勘察,在可研阶段由于边坡的位置有一定的不确定性,所以在此阶段不宜进行边坡的详细勘察,只进行少量的工作,对边坡进行定性评价,可研勘察完成后总平面基本确定,此时应进行边坡的详勘工作。

(13) 对于非核安全相关边坡按《岩土工程勘察规范》、《建筑边坡工程技术规范》和《水利水电工程边坡设计规范》的要求布置的工作量,很多专家认为工作量太大,我认为如果边坡地质条件比较复杂还是应该严格按此执行,如果地质条件比较简单,可定性地判断边坡是稳定的,可简化工作。

(14) 边坡勘察我们都很关心结构面的内聚力和内摩擦角,实际上我们不论通过室内实验还是现场实验都很难获得真实的内聚力和内摩擦角,基于此,我们借鉴水电部门的作法,采用RMR法对岩体进行分类,从而获得内聚力和内摩擦角。

(15) 详细勘察按《岩土工程勘察规范》的要求泵房的钻孔数量不应少于2个,从我们的经验来看,一般不少于6个钻孔才能满足设计需要,建议新规范按6个钻孔考虑。

(16) 安全相关的取排水线路的岩土工程详细勘察,规范中只提到了位于土质场地的进水管线,对岩质场地或岩土场地没有规定,从我们多年的实践来看,30米的间距过于保守,基本上50m的间距能达到控制地层目的,所以建议勘探点间距不宜大于50m。

(17) 《岩土工程勘察规范》中要求在核反应堆厂房进行跨孔波速测试,没说明布置钻孔的数量,我们对此也研究了很长时间,发现3个孔的跨孔测试比较准确,同时还能求得阻尼比,所以我们建议核反应堆厂房应进行3孔一组的跨孔波速测试,这样核反应堆厂房的钻孔数量至少是7个,同时我们还发现在沉积岩地层波速在顺层和切层方向有一定差异,尤其是在波速比较低的地层,只测一个方向的波速不能真实反映地层的情况,可能会因此而(下接第95页)

有)及当地政府收取的教育费等各种费用。

4 结束语

投标报价是一项较复杂的工作,但只要掌握它的规律,做好投标前的准备工作,同时针对不同的项目制定不同的投标报价原则,在合理确定人工费、材料费和机械费的基础上做好其他各项工作。只要不断熟悉投标报价的一套模式,并在实践中不断积累经验,便能改进和提高报价的质量和水平,减少投标的风险,获得合理利润提高竞争实力,为真正走向国际市场做出贡献。

参考文献

- [1]《科技情报开发与经济》2003 年 06 期郭美仙
- [2]《国际工程投标报价》化学工业出版社 刘尔烈等编著 2006 年 4 月出版
- [3]《工程造价计价与控制》大连理工大学出版社 刘志彤 姜早龙编著,2007 年 4 月出版
- [4]《工程造价案例分析》大连理工大学出版社,姜早龙编著 2007 年 3 月出版
- [5]《四川建筑》经营与管理 2007 年 09 第 27 卷
- [6]2008 年中国海关进出口税率税则表

(上接第 28 页)产生对地震响应分析判断失真,所以在这样的地层中建议测试两个方向的波速。

(18)《岩土工程勘察规范》中没规定详勘时测定电阻率,在施工图设计中又需要该参数,目前我们常采用查表的方法给出电阻率,误差很大,造成浪费,所以建议在规范中应规定进行电阻率测试。

(19)目前核电站的建构筑物 and 场地的变形、沉降和地下水的监测工作开展得很好,但边坡的监测工作开展得较差,即使监测也只开展了变形监测,实质上边坡从微弱变形开始到失稳在地下水和地应力方面都有反映,并且具有很重要的意义,而岩质边坡的失稳在变形方面有时是突变的,只进行变形监测在预测边坡失稳存在一定得缺陷,所以我们要从三个方面来对边坡进行检测,及早发现及早处理,从而保证核电站的安全。

4 结论及展望

通过对核电工程建设中地质工作的总结,可以帮助我们正确把握各阶段的地质工作内容和重点,为正确地开展核电工程的地质工作具

有一定的指导作用,尤其是对现规范中存在问题的剖析及建议,不仅对开展当前工作有意义,对新规范及标准的编制也具有一定的参考意义,本人迫切希望上述 19 个方面的问题在新规范新标准中有所体现,那时我们这些地质工程师们将可以依据新规范新标准能够更好更恰当地开展核电工程的地质工作。

致谢:在本文的完成过程中,杨球玉同志给予了很大的帮助,在此表示感谢!

参考文献

- [1]《核电厂工程建设项目初步可行性研究与可行性研究内容深度规定(试行)》(电力工业部 电计[1996]737 号)
- [2]《核电厂厂址选择和水文地质的关系》(HAD 101/06(91))
- [3]《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)
- [4]《核电厂抗震设计规范》(GB50267-97)
- [5]《核电厂工程地质勘测规定(试行)》(电力部)
- [6]《田湾核电站三、四期工程人工边坡勘察报告》,中国核电工程公司 2009 年
- [7]《桃花江核电站人工边坡勘察报告》,中国核电工程公司 2008 年