

文章编号:1671-4814(2008)01-61-08

# 江西某核电站选址地质灾害研究及防治对策<sup>①</sup>

邓有平,王荣明,李坚

(江西省勘察设计院,江西南昌 330095)

**摘要:**本文通过对江西某核电站选址及附近详细的地质灾害调查,结合拟选场地的地质环境条件分析,对地质灾害发育特征进行了仔细的研究,并进行了地质灾害预测;重点是覆盖岩溶区地面塌陷的易发性研究,根据岩溶地面塌陷产生的地质条件和诱发影响因素,采用了定性~半定量判别法评价岩溶地面塌陷的易发性;并针对核电站工程建设布局提出了相应的防治对策建议;为工程建设选址提供地质科学依据。

**关键词:**江西;核电站选址;地质灾害;防治对策;江西

**中图分类号:**X4

**文献标识码:**A

## 1 引言

能源问题是制约社会经济发展的重要因素之一,在当今世界能源日益紧缺的形势下,发展能源尤其显得突出,是中国乃至世界各国迫切需要解决的难题。随着核能源的开发利用,世界能源已进入核能时代,核能作为一种技术上成熟、安全、经济和清洁的新能源,而且是一种最有潜力和发展前途的新能源。业内专家认为,发展核电是减少环境污染,实现经济和生态环境协调发展的有效途径。根据国家能源结构调整的规划设想,江西发展核电已列入了国家通盘规划中。

为防止与减轻地质灾害对核电站工程活动的影响,以及人为工程活动诱发、加剧地质灾害的发生,作者主持完成了江西某核电站选址的地质灾害危险性评估工作。本文通过对核电站选址及附近的地质环境条件分析和现状地质灾害调查,对地质灾害发育特征进行仔细的研究,并进行了地质灾害预测,针对工程建设提出相应的防治对策<sup>[1]</sup>。

## 2 区域地理地质条件

江西某核电站拟建设规模为 $4 \times 1000$  MW级核电机组,分两期进行,一期工程建设规模 $2 \times 1000$  MW级核电机组。堆型拟采用为EPR机组串连式,反应堆厂房埋深约10.0 m,反应堆直径约50.0 m。

① 收稿日期:2007-09-07

第一作者简介:邓有平(1968~),男,高级工程师,从事水文地质、工程地质及地质灾害工作。

## 2.1 地理位置

江西拟建核电站选址位于江西省九江市北东部,北临长江,南靠太泊湖。拟建核电站厂址距县城约 22 km,距九江市约 80 km。地处亚热带季风性气候区,雨量充沛,四季分明,年平均降水量 1 523.6 mm,年平均气温 16.6°。

## 2.2 地形地貌

拟选厂址一带为江岸湖滨剥蚀溶蚀的低丘陵,夹于长江和太泊湖之间,地形略有起伏,最高点标高为 112.1 m,山顶标高 44.3 ~ 112.1 m,相对高差 30 ~ 80 m。山顶浑圆,山坡平缓,山体自然坡角一般为 15 ~ 25°。丘陵以北为长江冲积平原,高程 12 ~ 29 m;丘陵以南为太泊湖冲积阶地,高程 12 ~ 20 m。

## 2.3 地层及岩土类型

出露地层有第四系、二叠系、石炭系、泥盆系、志留系,各地层岩性及岩土类型见简表 1。

表 1 核电站地区地层岩性与岩土类型简表

Table 1 Lithological characters of strata and types of rock and soil in the district nearby the nuclear power station

系	组	代号	岩性简述	岩土类型
第四系		Q <sub>4</sub> <sup>al</sup>	具二元结构,上部为粉质粘土、粉质粘土混砂,下部为粗砂层。	松散岩类(Q)
		Q <sub>4</sub> <sup>pl</sup>	主要为粉质粘土,局部夹少量粉细砂、薄层粉土。	
		Q <sub>3</sub> <sup>al</sup>	冲积相粉质粘土,粉细砂,底部为粉质粘土混砂、碎石土等。	
二叠系	茅口组	P <sub>1m</sub>	上部浅灰色厚层灰岩、生物碎屑灰岩,中部含锰硅质岩与微晶灰岩互层,下部硅质岩夹灰岩透镜体,底部为含锰泥岩。	碳酸盐岩类(T)
	栖霞组	P <sub>1q</sub>	灰白色巨厚层灰岩夹燧石条带沥青质灰岩。	
石炭系	船山组	C <sub>2c</sub>	灰白色、肉红色巨厚层球状灰岩、灰岩、白云质灰岩、白云岩。	
泥盆系	五通组	D <sub>3w</sub>	灰白、紫红色石英砾岩、砂岩、砂质页岩夹薄层赤铁矿。	一般碎屑岩类
志留系	茅山组	S <sub>3m</sub>	黄绿、紫红色薄至厚层状长石石英砂岩,石英砂岩夹少量砂质页岩。	(S)

## 2.4 地质构造

位于扬子准地台的下扬子台坳内,大地构造位置系属滨太平洋构造系的下扬子-黄海构造域北东-北北东向构造带。从大区域地质构造分析,本区的准地台盖层褶皱构造,系属下扬子拗陷九江台陷次级复向斜的东南翼。受区域构造影响,区内主要构造线沿北东向展布,断裂构造以北东向为主,次为北北东向,且均为非活动断层。

区外东南方约 13.5 km 处发育一区域性深断裂,由一系列逆冲或斜冲断层组成,在江西省境内呈北东-北北东向延伸长 140 km 左右,北延伸至安徽境内,距离拟建核电站较远,对拟建核电站场址无影响。

## 2.5 水文地质条件

依据含水层岩性特征和地下水赋存条件、运移规律,区内地下水有松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶裂隙水和基岩裂隙水三种类型:

### 2.5.1 松散岩类孔隙水

地下水主要赋存在长江全新统冲积下部砂砾石层之中,以承压水为主,地下水位埋深 0.50 ~ 7.67 m,地下水位标高在 11.68 ~ 12.00 m 之间。单井涌水量 100 m<sup>3</sup>/d 以上,水量中等,地下水水质以 HCO<sub>3</sub> - Ca, HCO<sub>3</sub> - Ca · Mg 型为主。

### 2.5.2 碳酸盐岩类岩溶裂隙水

地下水主要赋存在覆盖型区碳酸盐岩之溶蚀裂隙、溶洞之中,区域资料:泉流量一般1~4.5L/s,最大达28L/s,单井涌水量740~5116 m<sup>3</sup>/d,水量丰富,地下水水质类型以HCO<sub>3</sub>-Ca、HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg型水为主。

### 2.5.3 基岩裂隙水

以构造裂隙水为主,无统一地下水位,形不成完整的地下水水体,泉流量0.14~0.54L/s,地下水迳流模数小于3L/s·km<sup>2</sup>;单井涌水量一般小于10 m<sup>3</sup>/d,水量贫乏,地下水水质以HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg型水为主。

区内地下水与地表水关系比较密切,一般由地下水向地表水排泄;丰水期,江、湖水位增高,还可以得到地表水的反补给。地下水流向总的趋势是从河谷阶地后缘向河床方向、由江河上游向下游方向迳流,并以散流方式排泄于地表或江河。

## 3 地震和新构造运动

### 3.1 地震

据《江西省地震志》(江西省地震局,2002年),记载历史上县域内共发生地震6次,分别是:409年2月9日(3.5级);1681年9月20日(3级);1839年2月(不详);1976年11月19日(2.9级);1977年5月10日(2.4级);1979年4月9日(3.1级)。其中3级以上共有3次,未发生过破坏性地震。

另据中国地震地质研究所对厂址初步阶段进行的地震地质补充调查有关资料:区内主要发育NE和NNE向两组断裂,它们不显示第四纪中晚期以来的活动性;近区域范围内,沿长江河谷不存在具有区域性深大断裂;核电站厂址近区域地震活动较弱,以厂址为中心半径25km范围内未曾记录到历史破坏地震。1970年以来只记录到5次1级以上地震(表2),5次地震震中有4次位于近区域的西部,与厂址最近的地震在距厂址18~19 km处,半径25 km范围内未记录到3级以上地震。据此,可以认为近区域范围内不存在发生破坏性地震的发震构造。

表2 厂址近区域仪器记录地震目录

Table 2 Catalogue of earthquakes recorded by instrument in the district nearby the nuclear power station

年	月	日	经度	纬度	精度	震级
1979	4	9	116.600	29.800	1	3.1
1983	10	6	116.530	29.980	4	2.1
1985	8	26	116.720	30.250		2.4
1999	11	14	116.470	30.150	2	1.9
2002	2	8	116.483	30.150	2	2.3

### 3.2 地震基本烈度

据建设部颁发的《中国地震动峰值加速度区划图》、《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001),拟建场址及附近地震基本烈度为Ⅵ度区,设计基本地震加速度为0.05 g。核电站工程是重要建设工程,属甲类建筑,抗震设防烈度应据此提高一度设防。

### 3.3 新构造运动

新近纪以来以剥蚀夷平为主,评估区内未见该时期的地层分布。第四纪以来,进入长江

河流侵蚀堆积阶段,在区域性整体缓慢抬升背景下,发育了 I—III 级河湖阶地,其中形成于晚更新世的 III 级阶地海拔标高在 50 m 左右,反应区域性抬升幅度不大。厂址附近范围内长江阶地不发育,北侧只发育了宽而平的、高出江面仅 5 m 左右的 I 级阶地(可能为高漫滩),直接与山体接壤,第四系厚度约 10~30 m。南侧零星发育有 II 级阶地,高出太泊湖面 15~20 m。太泊湖只发育了 I 级阶地,由全新世湖冲积地层组成,阶地高出湖面 5~10 m。总体上,从阶地发育情况可见,本区的构造隆升作用不强,是一个比较稳定的区域,近区域范围内,新构造运动比较稳定。

## 4 地质灾害现状

调查区(厂址外扩 1 km)冲积阶地多为农田分布,少为村庄,未有厂矿分布;丘陵区裸露型灰岩是较好的建材石料,原有一个小型采石场(已关闭);此外村民因建房存在切坡取土、采石切坡现象。

地质灾害主要有滑坡、崩塌,共发现灾害点 9 处;目前未见泥石流、地裂缝、地面塌陷等地质灾害现象。

### 4.1 滑坡

共有 6 处,均为滑坡单体,土质、岩土质类型,滑体规模在数百方至数千方,属小型;滑体厚度 1.0~4.0 m,为浅层滑坡,稳定性差,但无经济损失。致灾因素均为人为取土切坡形成不稳定斜坡,在降雨或暴雨诱发下产生灾害。

其中 4 处滑坡距厂址 500 m 以远,对工程建设不存在危害;其余 2 处位于厂区内,工程建设时,因土地整平,不复存在,因而亦不存在危害。

### 4.2 崩塌

共有 2 处,岩土质,规模在数百方,小型;崩塌体厚度 1.0~3.0 m,稳定性差,但无经济损失。致灾因素均为采厂切坡形成高陡不稳定斜坡,在降雨或暴雨诱发下产生灾害。

其中 1 处崩塌体因工程建设土地整平,不复存在,因而亦不存在危害;另 1 处崩塌距离拟建厂址约 450 m,崩向指向长江方向、偏离拟建区,对拟建场地危险性小。

## 5 地质灾害预测分析

### 5.1 崩、滑、流灾害

拟建工程建设时将对整个场地进行整平,厂址将平整至某一标高,因此挖、填方工程均较大,经估算最大挖方高度近 50 m,最大填方厚度近 15 m。整平后,场地周边基本不存在人工边坡,已有 2 处滑坡、1 处崩塌亦因此而清除,现有灾点不存在危害。主要地质灾害问题是场地平整时部分地段填土厚度较大,如不采取适当的处理措施,存在填方边坡崩、滑的可能性较大,以及地面不均匀沉降的问题。因此,工程建设时应根据实际情况采取分层回填、夯实,避免地面不均匀沉降;而且必须对填土边坡采取重力式挡墙等形式进行支挡,以防止填方边坡崩滑灾害的发生。

区内沟谷一般短浅且开阔,两侧坡面植被发育,覆盖良好,汇水面积小,沟谷无堵塞现象,不具备发生泥石流灾害的形成条件<sup>[2]</sup>;野外调查亦未发现泥石流活动迹象,总体区内发生沟谷泥石流的可能性较小。

## 5.2 地面塌陷灾害

### 5.2.1 岩溶地面塌陷灾害

区内目前暂未发现岩溶地面塌陷现象。据区域资料分析:长江岸边覆盖型岩溶区,孔隙水、岩溶水及长江水水力联系密切,水循环强烈,岩溶发育强,且多向上开口溶洞;因而今后一定条件或人为因素诱发下产生岩溶地面塌陷的可能性较大<sup>[3-4]</sup>。

由于覆盖型岩溶地面塌陷具隐蔽性、突发性、灾害性等特点,因此预测分析主要针对覆盖型碳酸盐岩分布区。岩溶地面塌陷易发性采用定性~半定量判别法进行,具体根据岩溶地面塌陷的地质条件和诱发因素如覆盖层时代、厚度、下伏基岩岩性、浅部岩溶发育程度、地面塌陷发育程度、地下水位等各有关因素进行量化评估(见表3),易发性按三级划分,即易发区、较易发区和少发区,其中 $\Sigma Y > 4.5$ 为易发区, $\Sigma Y = 2.5 \sim 4.5$ 为较易发区, $\Sigma Y < 2.5$ 为少发区<sup>[5]</sup>。

表3 岩溶地面塌陷各影响因素取值表

Table 3 Input parameters of influential factors for karst ground collapsing

影响因素	权重系数	易发		较易发		少发	
		特征	Y值	特征	Y值	特征	Y值
第四系覆盖层岩性 (密实性)	0.10	砂性土、砂卵石(松散)	3	砂、粘性土互层、砂卵石(中密)	2	粘性土、砂卵石(密实)	1
第四系覆盖层厚度(m)	0.25	<25	7.5	25~50	5	>50	2.5
下伏基岩岩性	0.15	灰岩	4.5	灰岩夹碎屑岩	3	碎屑岩夹灰岩	1.5
地面塌陷发育程度	0.10	多	3	少	2	未见	1
浅部岩溶发育强度	0.25	强或发育(钻孔见洞率>60%,线岩溶率>10%)	7.5	中或较发育(钻孔见洞率30%~60%,线岩溶率3%~10%)	5	弱或不发育(钻孔见洞率<30%,线岩溶率<3%)	2.5
地下水位	0.05	变化于基岩顶面上、下	1.5	最枯水位高于基岩顶面	1	最高水位低于基岩顶面	0.5
与现有开采井的距离(m)	0.10	<800	3	800~1500	2	>1500	1

厂址及附近一带分布有覆盖型岩溶,由二迭系~石炭系碳酸盐岩组成,呈北东向展布,面积2.95 km<sup>2</sup>;上覆第四系全新统、上更新统冲积粉质粘土、砂性土,覆盖层厚度一般10~30 m。二迭系、石炭系地层界线不太明显,且二者灰岩岩性相近,岩溶发育情况大致相近,因而不再细分。据收集区段的37个灰岩钻孔统计资料:钻孔见洞率45.95%,线岩溶率为0.34%~48.28%;地下水位埋深0.47~16.27 m。溶洞多为粘性土混角砾全充填,少为半充填,大部分溶洞充填或半充填有粘性土及胶结物,充填物松散,连通性较差。此外,区段内除村民自建井开采第四系地下水外,尚无开采抽取岩溶地下水现象。厂址及附近一带覆盖型岩溶可划分3个区块:A1,面积0.41 km<sup>2</sup>;A2,面积0.04 km<sup>2</sup>;A3,面积2.50 km<sup>2</sup>。根据评价表4对3个区块分别进行评判,各区块的 $\Sigma Y$ 值均为4.9,属地面塌陷易发区(见图1)。

### 5.2.2 采空地地面塌陷灾害

厂址及附近未发现地下采矿采空区及采空地地面塌陷,根据地质环境条件分析,发生采空地地面塌陷灾害的可能性小。

## 5.3 长江岸坡稳定性

位于长江南岸,岸坡长约5 km,均为土质坡(粉质粘土),枯水期水面以上形成3~5 m的陡立岸。水面以下岸坡坡度一般为5°~14°。该段长江正常河道深20 m(最深约28 m),

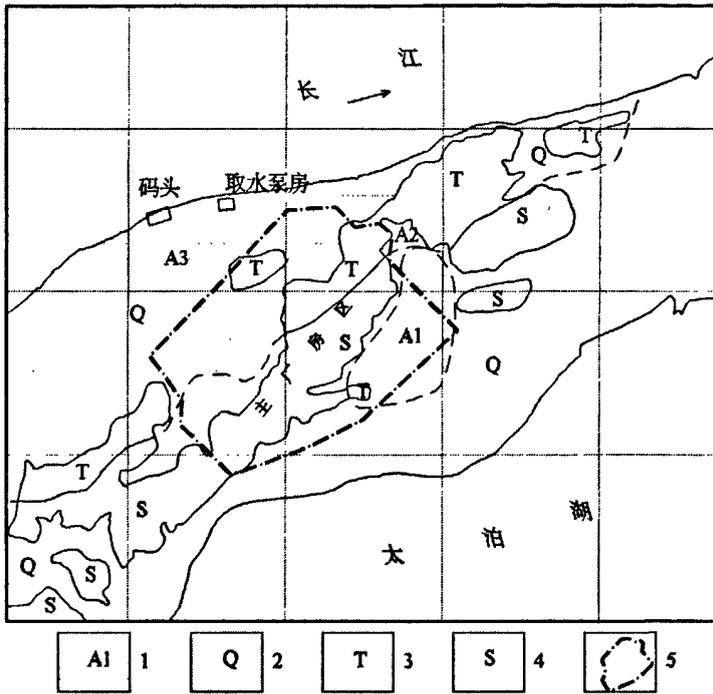


图1 核电站选址地面塌陷易发分区图

Fig. 1 Map showing graded zones of ground collapsing in selecting location for the nuclear power station

1-地面塌陷易发区及编号;2-松散岩类;3-碳酸盐岩类;4-一般碎屑岩类;5-拟选场址

主河道偏向南侧(为侵蚀岸)。主河道的河床岩性主要为粉质粘土,其耐冲蚀能力差,易软化和液化,在水流冲蚀下,易产生岸崩。

区内圩堤有2个,具体影响堤基稳定的主要是渗透变形问题。堤基座落在第四系全新统冲积层(Q<sub>4<sup>al</sup></sub>)粉质粘土(混砂)之上,易渗透形成泡泉。1999年以前全堤约有数百个泡泉,危及堤基稳定。自1998年洪水以后,各级地方政府加强了对圩堤的防护与治理,其中靠近长江一侧建有水泥混凝土墙,墙体坡度一般为30~35°,坡脚以砂石土回填2m左右,宽30m左右,整体稳定性较好,近年来未见有泡泉发生。

5.4 湖泊岸坡稳定性

区内为湖泊北岸,岸坡长约5km,均为土质坡,由第四系全新统湖冲积(Q<sub>4<sup>al</sup></sub>)构成,岩性上部为粉质粘土、粘土混碎石层,下部为角砾或砂砾石层,厚18~45.1m;具二元结构,局部不明显。岸坡地形一般较平缓,多为长缓坡,局部可见3~3.5m高的陡坎,且距离湖岸5m左右。总的来说,岸坡存在淹没现象,不存在崩塌。

6 结论与建议

6.1 结论

(1) 拟选核电站厂址及附近一带崩、滑、流灾害发育一般,灾点规模、危险性、危害性均较小;对工程建设影响较小。

(2) 拟选场址北西、南东两侧为岩溶区,属地面塌陷易发区,工程建设时(以辅助工程

为主)应采取一定的工程措施避免地面塌陷灾害;但场址中部一带为一般碎屑岩分布,适宜作为核电厂主体工程建设的场地。

(3)总体上,拟选场址一带没有严重制约核电站工程建设的地质灾害和环境工程地质问题,有关局部问题易于有效预防与处理,是适宜核电站工程建设的。

## 6.2 防治措施建议

地质灾害防治原则是“预防为主,避让与治理相结合”,针对核电工程选址具体为将防治地质灾害与工程布局紧密结合起来,建议主要做好以下3点:

(1)主厂房区(核反应堆厂房、核辅助厂房)布局应选择丘陵碎屑岩分布地段,当开挖平整到设计厂坪标高时,主核反应堆厂房区出露岩性主要为泥盆系上统五通组含砾石英砂岩、石英砂砾岩,岩层较平缓,中~微风化。局部可能受构造影响呈强风化状,岩体破碎,但这些都可以通过局部处理解决,不会影响整体地基稳定性。

其中核反应堆厂房设计埋深约10.0 m,设计砌入岩基内,以微~新鲜岩石为主,地基稳定性好。一般不会存在有崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降及地面塌陷等不良工程地质现象,适宜工程建设。

(2)辅助厂房区大部分为覆盖型岩溶区,以填方为主,填方厚度不一,一般在2~10 m,着重需解决以下几个问题:①、填方地基由于回填厚度较大,可能存在不均匀沉降、填方边坡失稳等问题,因此,填土前应先清除表层淤泥,然后采取分层夯实、放坡回填;②、为防填方边坡产生崩、滑灾害的可能,周边宜采用重力式挡墙、抗滑桩等形式进行支护;③、区段为岩溶地面塌陷易发区,上部为第四系覆盖层,厚度一般10~30 m,下伏碳酸盐岩岩溶发育,潜蚀、搬运作用对其稳定性极为不利<sup>[6]</sup>,工程施工震动、地面填土加载及抽排地下水等诱发因素作用下易产生岩溶地面塌陷。工程建设应加强岩溶勘察、采取合理、有效施工方法并加强工程措施,同时在核电站选址及外围至少1 km范围内严格禁止开采岩溶地下水等等防止岩溶地面塌陷灾害。

(3)码头与取水泵房位于长江岸边,地质灾害问题有崩岸及岩溶地面塌陷,但只要采取具针对性及相应的防治工程措施(如防治地面塌陷采用深基础法),工程建设是基本适宜的。

## 参考文献

- [1] 殷跃平. 中国地质灾害减灾战略初步研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004(2): 1-7.
- [2] 戚国庆,等. 西藏贡县泥石流灾害研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004(2): 112-115.
- [3] 冯克印,等. 地下水数值模拟在岩溶塌陷预警系统中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2007(2): 112-116.
- [4] 常士骞,等. 工程地质手册(第3版)[M]. 中国建筑工业出版社, 1992: 553-557.
- [5] 邓有平,等. 岩溶区城市建设地面塌陷易发性研究[J]. 安全与环境工程, 2005(1): 78-81.
- [6] 程星,黄润秋. 岩溶塌陷的地质概化模型[J]. 水文地质工程地质, 2002(6): 30-34.

## Research and countermeasure of prevention and cure of geological disasters appearing in selecting location for a certain nuclear power station in Jiangxi

DENG You-ping, WANG Rong-ming, LI Jian

(*Institute of Survey and Design of Jiangxi Province, Nanchang 330095, China*)

### Abstract

Basing on the detailed investigation on geological disasters nearby the selecting location of a certain nuclear power station and combining with the analysis of the geological environment of the planned location, this paper carried out the research on the development characteristics of the geological disasters and the forecast of geological disasters. Appropriate measures in accordance with the layout of the nuclear power engineering construction are suggested, too.

**Key words:** selecting location of nuclear power station; geological disasters; countermeasure of prevention and cure; Jiangxi