

文章编号:1001-4179(2012)13-0028-04

水利水电地下工程勘察中的放射性测试

邓争荣, 吴树良, 雷世兵, 郑新

(长江勘测规划设计研究院 长江岩土工程总公司, 湖北 武汉 430010)

摘要:地下工程环境中的放射性是可能的职业危害因素之一,开展地下工程勘察期放射性测试研究应受到重视。《水利水电工程勘察技术标准》对可行性研究阶段隧洞勘察明确规定:应利用孔、洞开展放射性成分含量测试。以某水电站隧洞地下工程勘察为例,开展了现场天然放射性检测、岩石块状样天然放射性核素室内测试。测试指标有总射线及氡浓度,²²⁶Ra(镭)、²³²Th(钍)、⁴⁰K(钾)放射性比活度。对测试结果进行了分析、评判,结果表明该水电站待建地下建筑会存在氡浓度超标,将对地下工程施工带来不利影响,由此提出了对策措施。

关键词:放射性测试; 地下工程勘察; 对策措施; 水利水电工程

中图法分类号: P624 文献标志码: A

不稳定的原子核能自发地改变核结构,这种现象称核衰变,分为 α 衰变、 β 衰变、 γ 衰变 3 种类型。在核衰变过程中总是放射出具有一定动能的带电或不带电的粒子,即 α 、 β 和 γ 射线,这种现象称为放射性。一些不稳定的核素经过 α 或 β 衰变后仍处于高能状态,很快(约 10^{-13} s)再发射出 γ 射线而达稳定态。

环境中的放射性在食品、医疗、工业等领域中受到了高度重视,有关部门开展了广泛研究,我国制订且颁布了多达 90 余项的放射性防护卫生标准。随着 2002 年 5 月《中华人民共和国职业病防治法》(修正案在制订完善中)的贯彻实施,各单位和员工对生产过程中作业环境存在或产生的职业危害因素愈来愈重视^[1]。环境中的放射性是其中可能的职业危害因素之一,建设地下工程时,应充分重视其危害。

《水利水电工程勘察技术标准》GB 50287-2006 对可行性研究阶段隧洞勘察作出明确规定:应利用孔、洞开展放射性成分含量测试^[2]。因此,根据测试结果论证放射性对隧洞工程有无影响,并提出相应对策措施是必要的。某水电站工程布置有河床导流隧洞、发电引水隧洞、防渗帷幕灌浆平洞等地下工程,长度一般 250~670 m,可行性研究阶段勘察期间利用代表性勘

探平洞开展了现场天然放射性检测,并采取与地下工程有关的岩石块状样进行了天然放射性核素室内测试,指标有:总射线及氡浓度,²²⁶Ra(镭)、²³²Th(钍)、⁴⁰K(钾)放射性比活度。笔者对测试结果予以分析、评判,论证其对隧洞工程施工的影响,提出了具体的建议和对策措施,可为相似地质环境条件下的地下工程在勘察期开展放射性测试研究提供工程参考实例。

1 一般地下放射性核素及对人体的危害

1.1 放射性的来源

环境中的放射性来源于天然的和人为的放射性核素。其中,天然放射性的来源包括 3 种:①宇宙射线及其引生的放射性核素。宇宙射线来自于宇宙空间,引生的放射性核素是其与大气层、土壤、水中的核素发生反应产生的。②天然系列放射性核素。多数在地球起源时就存在于地壳之中,有 3 个系列,即铀系(母体是²³⁸U)、钍系(母体是²³⁵U)、釷系(母体是²³²Th)。③自然界中单独存在的核素,约有 20 种,如⁴⁰K、²⁰⁹Bi 等。人为放射性污染的来源主要是生产和应用放射性物质所排出的放射性废物,以及核武器爆炸、核事故等产生的放射性物质。

收稿日期:2012-03-10

作者简介:邓争荣,男,高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程地质、岩土工程勘察实践与研究。E-mail:mrdengzr@

1.2 放射性核素在地下的分布

自然界地下天然放射性核素存在于土壤和岩石及其所含地下水中,含量变动很大,主要决定于岩石层的性质及土壤的类型。主要有:① α 放射性核素,即 ^{239}Pu 、 ^{226}Ra 、 ^{224}Ra 、 ^{222}Rn 、 ^{210}Po 、 ^{222}Th 、 ^{234}U 和 ^{235}U ;② β 放射性核素,即 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{89}Sr 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{131}I 和 ^{60}Co 。这些核素出现的可能性较大,其毒性也较大。某些天然放射性核素在土壤和岩石中含量的估计值见表 1^[3]。

1.3 放射性核素对人体的危害

放射性核素衰变过程中对环境形成的放射性辐射,可通过呼吸道吸入、消化道摄入、皮肤或黏膜等 3 种途径侵入人体并在体内蓄积,对人体造成辐射损伤。

α、β、γ 射线照射人体后,常引起肌体细胞分子、原子电离(称电离辐射),使组织的某些大分子结构被破坏,如使蛋白质及核糖核酸或脱氧核糖核酸分子链断裂等而造成组织破坏。

人体一次或短期内接受大剂量照射,将引起急性辐射损伤,如核爆炸、核反应堆事故等造成的损伤。全身大剂量外照射会严重伤害人体的各组织、器官和系统,轻者出现发病症状,重者造成死亡。

辐射损伤还会产生远期效应、驱体效应和遗传效应。远期效应系指急性照射后若干时间或较低剂量照射后数月或数年才发生病变。驱体效应指导致受照射者发生白血病、白内障、癌症及寿命缩短等损伤效应。遗传效应指在下一代或几代后才显示损伤效应。

2 水利水电地下工程勘察中的放射性测试

以某水电站隧洞地下工程勘察为例,在可行性研究阶段勘察期间,开展现场天然放射性检测、岩石块状样天然放射性核素室内测试,据测试结果作出分析、评判,论证其对工程施工的影响,提出建议和对策措施。

2.1 测试方法

2.1.1 现场检测方法

在某水电站坝址区,选择代表性

表 1 土壤、岩石中天然放射性核素的含量 Bq/kg

天然放射性核素名称	土壤中含量	岩石中含量
^{40}K	29.6 ~ 88.8	81.4 ~ 814
^{226}Ra	3.7 ~ 70.3	14.8 ~ 48.1
^{232}Th	0.74 ~ 55.5	37.0 ~ 48.1
^{238}U	1.11 ~ 22.2	14.8 ~ 48.1

勘探平洞(图 1),沿其每条平洞中轴线布置测线,在无人工通风措施条件下,距底板高度 1 m 处开展了岩石天然放射性总射线(包括 α、β、γ 和 X 射线)、氡浓度测量。

(1) 总射线测量。采用美国 Inspector 便携式射线检测仪测量。测点间距一般 16 ~ 40 m,测量方法为瞬时点测,即直接测出点位的辐射剂量瞬时值,每个点位测两次,取其平均值作为测量值。

(2) 氡浓度测量。采用美国 RAD7 测氡仪测量。

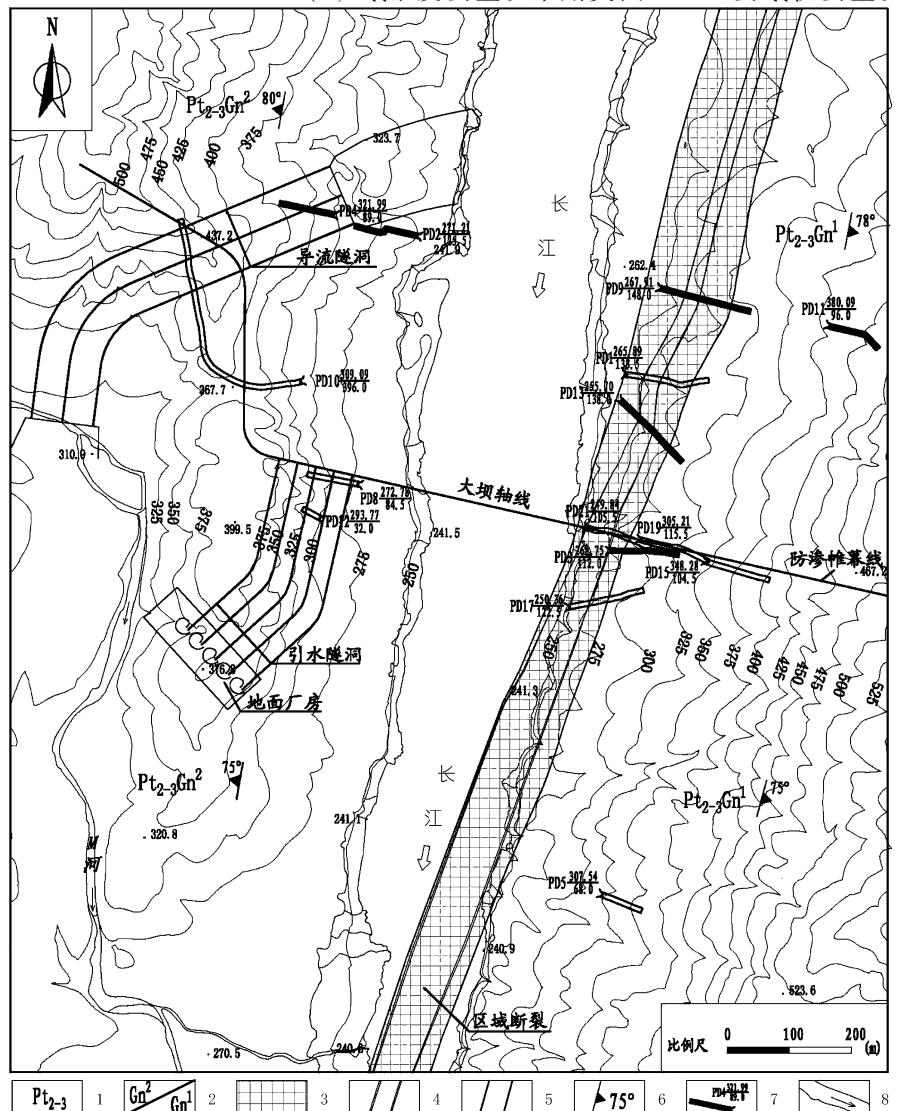


图 1 坝址区放射性现场检测勘探平洞位置分布

1. 地层代号;2. 花岗片麻岩/斑状变晶花岗片麻岩;3. 碎裂岩;4. 软弱构造带;5. 区域断裂边界;6. 基岩片麻理产状;7. 放射性检测平洞;8. 河流

测点间距一般 16~40 m,每个测点测量时间 5 min,直接测出点位的氡浓度瞬时值,并将其转化为平衡当量浓度值。

2.1.2 室内测试方法

在水电站坝址区,采取与地下工程有关的岩石(斑状变晶花岗片麻岩、花岗片麻岩)块状样(重量 >3 kg)进行天然放射性核素室内测试,应用环境 γ 谱仪及 NaI γ 射线谱法^[4],测试岩石的²²⁶Ra(镭)、²³²Th(钍)、⁴⁰K(钾)放射性比活度。

2.2 测试结果

(1) 现场检测结果。水电站坝址区代表性勘探平洞内岩石天然放射性总射线、氡浓度现场检测结果分别见表 2、表 3。另外,在水电站勘察营地环境中检测到总射线气体浓度为 0.06 μ Sv/h(完全敞开状态),与正常地区一致,可作为该水电站地区的本底值。

表 2 平洞内岩石放射性总射线剂量浓度现场检测结果

位置	平洞 编号	不同洞深检测浓度值/(μ Sv \cdot h ⁻¹)								
		40m	80m	89m	96m	105m	110m	120m	138m	145m
左岸	PD3	0.359	0.479			0.652				
	PD9	0.569	0.634				1.006		1.048	
	PD11	0.491	0.646		0.997					
	PD13	0.615	0.838				1.670	2.24		
右岸	PD2	0.820	0.916		1.138					
	PD4	0.858	1.160	1.43						

表 3 平洞内岩石放射性氡浓度现场检测结果

位置	平洞 编号	不同洞深检测浓度值/(Bq \cdot m ⁻³)						
		40m	80m	96m	110m	120m	138m	145m
左岸	PD3	304	354		371			
	PD9	387	757			2240		3010
	PD11	760	1090	1290				
	PD13	805	4650			7210	9450	
右岸	PD2	160	296			370		
	PD4	170	207					

(2) 室内测试结果。将与地下工程有关的岩石(斑状变晶花岗片麻岩、花岗片麻岩)块状样室内天然放射性核素²²⁶Ra(镭)、²³²Th(钍)、⁴⁰K(钾)放射性比活度测试结果及内照射指数(I_{Ra})、外照射指数(I_r)^[5]计算结果列于表 4。

3 测试结果分析及评判

3.1 现场检测结果分析及评判

3.1.1 分析

据前述现场检测结果,平洞内在无人工通风措施

条件下,检测洞深范围岩石天然放射性总射线浓度值为:左岸 0.359~2.24 μ Sv/h,右岸 0.82~1.43 μ Sv/h。氡浓度值为:左岸 304~9450 Bq/m³,右岸 160~370 Bq/m³。两者浓度值变化趋势一致,原因是总射线中部分 α 、 β 、 γ 放射性气体是在氡衰变过程中产生的,且两者浓度值均随洞深增加而增大。

表 4 岩块样室内天然放射性核素测试成果

岩块名称	样品 编号	放射性比活度/(Bq \cdot kg ⁻¹)			内照射 指数 I_{Ra}	外照射 指数 I_r
		C_K	C_{Ra}	C_{Th}		
斑状变晶花岗片麻岩	样品 1	57.53	88.81	1182.55	0.288	0.779
	样品 2	58.79	104.58	1106.85	0.294	0.825
	样品 3	46.22	99.21	1156.42	0.231	0.782
	平均值	54.18	97.53	1148.61	0.271	0.795
花岗片麻岩	样品 4	19.50	26.98	711.48	0.098	0.326
	样品 5	26.84	29.47	591.94	0.134	0.327
	样品 6	16.93	29.71	537.15	0.085	0.288
	平均值	21.09	28.72	613.52	0.106	0.314

岩石天然放射性总射线浓度主要取决于岩石层的性质,左岸平洞内岩石主要为斑状变晶花岗片麻岩、断裂构造岩;右岸平洞内岩石主要为花岗片麻岩,局部为花岗岩。结果表明,同深度条件下,右岸平洞总射线浓度值明显高于左岸平洞,可能与局部花岗岩放射性存在较高滞留叠加有关。

左岸 PD9、PD13 平洞内岩石放射性氡浓度值总体上明显高出许多,与其洞身大部分位于区域性断裂构造部位密切相关,断裂构造部位其浓度值会较本底值明显异常增加。PD3 平洞仅洞口小部分位于区域性断裂构造部位,其浓度值偏高不多,与洞口段易与外界空气对流有关系,浓度值会被释稀一部分。但其洞身的大部分与 PD11 平洞洞身的全部位于区域性断裂构造东盘,而且距断裂构造较近,加之在区域上受构造运动影响,东盘处于主动状态,岩体构造裂隙相对较发育,导致氡浓度值比右岸 PD2、PD4 平洞明显增加较多。相反,右岸 PD2、PD4 平洞岩体构造裂隙欠发育,氡浓度值较低。

3.1.2 评判

(1) 总射线浓度。根据 GB 18871-2002 对职业照射剂量限值的规定:应对任何工作人员的职业照射水平进行控制,连续 5 a 的年平均有效剂量不超过 20 mSv,且任何一年中的有效剂量不能超过 50 mSv^[6]。将“年平均有效剂量不超过 20 mSv”标准转变为剂量浓度,即为 2.28 μ Sv/h。与现场检测结果对比,在检测洞深范围内(最深 145 m),实测最高总射线浓度值为 2.24 μ Sv/h(PD13 平洞深 138 m 处),未超过标准,但均超出该水电站地区完全敞开状态的本底值,约达 6

~37 倍。

(2) 氡浓度。若没有氡气的存在,则上述浓度的总放射性气体对工作人员的身体伤害是不大的。但是,超标的放射性氡气对工作人员的身体会造成巨大伤害。

按照 GBZ 116 - 2002 规定的控制标准(限制要求):氡及其子体浓度在已用地下建筑的水平为 400 Bq/m³,待建地下建筑的设计水平为 200 Bq/m³[7]。虽然用来现场检测的平洞为已用地下建筑,但是该水电站布置的隧洞地下工程均为待建地下建筑,故可用现场检测结果估计待建地下建筑的氡浓度水平,以 200 Bq/m³ 作为限制要求。由表 3 结果可知,在无人工通风措施条件下,左右岸待建地下建筑会存在氡浓度超标,尤其是区域性断裂构造部位超标十分严重,在检测洞深范围内,最高浓度达限制要求的 47 倍余。

(3) 氡浓度超标对人体的危害。因氡无色无味,对人体的危害也是不知不觉。氡气对人体的危害主要有:① 导致肺癌,主要通过被呼吸系统截留的氡子体在肺部不断累积完成,是引起肺癌的第二大因素;② 导致白血病;③ 使人丧失生育能力,主要通过杀死精子完成。此外,氡可以通过脂肪影响人的神经系统,使人精神不振,昏昏欲睡。

3.2 室内测试结果分析及评判

由岩块样室内天然放射性核素测试成果(表 4)可知,斑状变晶花岗片麻岩的天然放射性核素的放射性比活度值明显高于花岗片麻岩,平均值约高达 1.9 ~ 3.4 倍,亦即左岸比右岸高,左右岸平洞现场检测氡浓度值与这个趋势规律一致,因为氡是由岩层里的放射性核素铀、镭和钍的衰变形成的[8]。

花岗片麻岩与斑状变晶花岗片麻岩岩体在隧洞工程支护或衬砌实施前为洞室建筑主体材料,按照 GB 6566 - 2001 规定:建筑主体材料中天然放射性核素 ²²⁶Ra(镭)、²³²Th(钍)、⁴⁰K(钾)的放射性比活度同时满足 $I_{Ra} \leq 1.0$ 和 $I_r \leq 1.0$ 时,其使用不受限制。由表 4 结果可以判定,测试岩石作为地下工程洞室建筑主体材料满足要求,不存在超标。

4 对地下工程施工的影响与对策措施

该水电站布置的隧洞地下工程,长度 250 ~ 670

m,均为待建地下建筑,而且比检测平洞深度大得多,据前述放射性测试结果评判,将会存在氡浓度超标。若不采取作业健康保护措施,作业人员的健康将会受到损害。建议对策措施如下:

(1) 加强作业管理。① 建立健全隧洞地下工程施工的职业健康安全管理制度;② 对作业人员职业健康安全方面进行培训,提高作业人员劳动素质;③ 控制作业人员劳动时间,每次作业时间不宜过长;④ 控制未婚或未生育工作人员进入隧洞地下工程内工作,以免丧失生育能力。

(2) 加强作业健康防护。① 在隧洞地下工程施工过程中,加强通风措施,并实施通风安全监控,降低氡等的浓度到安全标准以内,减少危害;② 给作业人员配置防毒面具、防护服等用品,并要求在作业时间内强制使用;③ 实施作业人员轮岗制度,尽量减少氡子体在人体内的累积;④ 定期对作业人员进行身体检查,并从饮食上按照治疗矽肺病的要求,加强饮食配给和管理。

(3) 加强安全监测。按照职业健康标准,建立放射性物质及尘毒等检测检验制度,及时预报危险信息,并采取纠防措施。

参考文献:

- [1] 赵尧贤,吴寿明.某地下坑道工作场所放射性水平调查[J].中国辐射卫生,2005,(1).
- [2] GB 50287 - 2006 水力发电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [3] 俞誉福.环境污染与人体健康[M].上海:复旦大学出版社,1985.
- [4] 林正金,荣耀.关于放射性矿石样品快速检测方法的讨论[J].核电子学与探测技术,2009,(6).
- [5] GB 6566 - 2001 建筑材料放射性核素限量[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [6] GB 18871 - 2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [7] GBZ 116 - 2002 地下建筑氡及其子体控制标准[S].北京:法律出版社,2004.
- [8] 陆有荣.室内及地下场所放射性氡的研究进展[J].上海预防医学杂志,2007,(10).

(编辑:赵凤超)

(下转第 46 页)

保护长江 开发长江 为子孙后代留下一条健康的长江

经济效益更优。因此,将机组容量 460 MW,额定水头 183.5 m 作为机组容量优化的推荐方案是可行的、合适的。

通过机组容量优化,使水布垭电站 4 台机组的总装机容量增加了 240 MW。经水能分析,水布垭电站承担系统的峰荷和备用容量,增加的 240 MW 装机容量可以替代 190 MW 的火电容量,容量得到了较充分的利用。

3 结 语

水布垭电站机组容量优化工作是根据业主的委托

要求进行的,优化的最终结论是将水轮机额定水头从 170 m 提高至 183.5 m,机组容量从 400 MW 优化到 460 MW。该方案已于 2006 年 8 月由上级主管部门审查通过。水布垭电站第 1 台机组已于 2007 年 7 月投产发电,目前,4 台机组均已投入商业运行多年,且通过了 460 MW 以上超出力运行的考验,运行情况良好。水布垭枢纽工程已于 2011 年 4 月通过了专项验收。这充分说明机组容量优化方案是合理的,为电站在电网中发挥更大的调峰作用和取得更好的经济效益奠定了基础。

(编辑:徐诗银)

Optimized design of installed capacity of Shuibuya Hydropower Station

DAI Kaifeng, JI Dingquan, SONG Mufang

(*Electromechanical Design Department, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China*)

Abstract: The originally approved total installed capacity of Shuibuya Hydropower Station is 1600 MW (4×400 MW), but there are not any comprehensive utilization requirement of the station. Therefore, in order to realize the peak load and frequency regulation, after approval by administrative department, the owner asked the design department to increase the maximum output of each unit under the premise of not changing powerhouse scale and not postponing the submission of tender document. After comparison, we proposed the optimized scheme that the single unit capacity was increased to 460 MW. The optimized scheme was approved in August 2006 and the first unit was put into generation in July 2007. The four units have been working in a good state since 2007.

Key words: hydroelectric generating units; maximum output; capacity optimization design; Shuibuya Hydropower Station

(上接第 31 页)

Radiation test in underground engineering survey of hydropower projects

DENG Zhengrong, WU Shuliang, LEI shibing, ZHENG Xin

(*Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China*)

Abstract: Environmental radiation is one of the possible occupational harms, so the study of radiation test of underground engineering in survey period should be paid attention to. Using boreholes and adits to test radiation composition is one of contents in relative regulations for water conservancy project. Taking the underground tunnel survey of a hydropower station as an example, the in-situ natural radiation test and laboratory natural radiation element test of rock mass samples were carried out, and the indexes included total ray and concentration of Rn, specific radioactivity of 226Ra, 232Th and 40K. The testing results were analyzed and judged. It shows that the concentration of Rn in the underground structures that planned to be constructed at this hydropower station would exceed the prescriptive standard, so it should bring unfavorable influence for construction of underground engineering. The reasonable, effective and feasible countermeasures are suggested.

Key words: radiation testing; underground engineering survey; countermeasures; hydropower engineering