

田湾核电站 5 号、6 号机组负挖爆破设计与质量控制

陈作彬

(核工业南京建设集团有限公司,江苏 南京 210003)

摘要:综述了在商业运行的核电站周边进行核岛负挖爆破的设计和质量控制,尤其对负挖预裂爆破和核岛廊道爆破技术及质量控制要点进行了较详细的表述,为类似核电负挖工程提供借鉴。

关键词:核岛负挖;预裂爆破;廊道爆破;质量安全控制

中图分类号:TD235 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2010)02-0074-05

Design and Quality Control of Negative Excavation Blasting in 5# and 6# Units of Tianwan Nuclear Power Station/CHEN Zuo-bin (Nuclear Industry Nanjing Construction Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210003, China)

Abstract: The paper reviewed the design and quality control of nuclear island negative excavation blasting around a commercial operation nuclear power station, especially described presplitting blasting of negative excavation, the nuclear island corridor blasting technology and key points of the quality control.

Key words: nuclear island negative excavation; presplitting blasting; presplitting blasting; quality and safety control

1 工程概况

我公司承接的江苏田湾核电 5 号、6 号机组负挖爆破,核岛开挖区最大长度 152.70 m,最宽约 100.45 m,底板高程主要为 -10.15 m。两个半径 15.35 m、宽 5.40 m 的核岛廊道底标高为 -13.38 m;两个反应堆厂房中间布置有核辅助厂房,底板标高为 -7.65 m;两个反应堆厂房北边各有一条 20.8 m×3.5 m×1.70 m 的沟,沟底标高 -11.85 m。负挖开挖区域东边和北边正在进行场平爆破施工,施工人员和设备较多,东边距正在运营的 2 号核岛主控室约 500 m,一条过境道路从南侧经过,周边环境较为复杂。

核岛负挖爆破质量要求等级高,设计要求最终开挖不得欠挖,边坡预裂爆破超出设计线不大于 15 cm;底板超挖不大于 20 cm;超出开挖线部分用置换混凝土填充。

针对开挖区周边环境复杂、需要保护的目标多、爆破质量要求等级高的特点,项目部对爆破工作进行了认真的分析布置。尤其针对拟建的 3、4 号机组建(构)筑物和正在商业运行的 1 号、2 号机组的爆破振动进行重点监控,爆破保护对象与爆破区域之间的距离和保护对象控制要求见表 1。

2 爆破技术方案

根据招标技术文件要求,以及我公司在其他核

表 1 距保护对象的最小距离及爆破振动控制要求

保护对象	爆区到保护对象的最小距离参考值/m	振动控制值
2 号核岛常规岛建(构)筑物/控制室设备	500	振动加速度 $\geq 0.03g$
混凝土龄期 1~3 天		振动速度 ≥ 1.5 cm/s
混凝土龄期 4~7 天		振动速度 ≥ 2.5 cm/s
混凝土龄期 8~28 天		振动速度 ≥ 7.0 cm/s

电负挖工程的经验,根据不同的部位采取不同的爆破方法。坡道采用掏槽的方法进行;基坑主体开挖采用台阶爆破的方法;边坡采用预裂爆破的方法成形;主体爆破的炮孔孔底落在设计的标高,爆破后形成的根底作为保护层(一般为 0.8~0.9 m),保护层采用小口径浅孔爆破;基底找平采用风钻穿孔爆破或机械凿除并辅之以人工的方法进行清理;全部爆破采用延时微差形式,按预定起爆顺序使炮孔按预定顺序起爆;起爆网络采用非电导爆系统,环形闭合网络;装药结构为耦合装药;孔内无水的情况下使用铵油炸药,有水的情况下使用乳化炸药。

3 中深孔爆破技术方案

3.1 爆破振动控制

爆破振动的控制是确定爆破参数的前提,所有参数的选择必须满足爆破振动控制的要求。

3.1.1 按照加速度计算单段最大药量

2 号核岛主控室采用加速度控制爆破振动,按

收稿日期:2009-11-17

作者简介:陈作彬(1973-),男(汉族),浙江嵊州人,核工业南京建设有限公司副总工程师、工程师,电子信息工程专业,从事工程施工与管理工,江苏省南京市察哈尔路 16 号,cbz73@sina.com。

以下公式计算单段最大药量:

$$R = (k/\alpha)^{1/\alpha} Q^{1/3}$$

式中: R ——爆破振动安全允许距离,m; Q ——最大单段药量,kg; k 、 α ——与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数。

初期爆破采用以往爆破的参数会值进行,通过回归方法确定 k 、 α 值,并取其较为保守的值,然后由南京工程兵工程学院通过对现场数次爆破所测得的结果再进行回归,按 k 值 99% 置信区间上限取值,得出不同距离上的单段最大装药量(见表 2)。

表 2 控制振动加速度 0.03g 时不同距离上的最大单段装药量

距离/m	药量/kg	距离/m	药量/kg	距离/m	药量/kg
435	82.9	515	116.2	595	155.1
455	90.7	535	125.4	615	165.7
575	98.8	555	134.9	635	176.6
495	107.3	575	144.8		

分析表 2 可知,当取单段最大药量≤107 kg 时,距离爆破源 495 m 处的振动加速度≤0.03g。由于 2 号核岛主控室相距爆破源约为 500 m,所以它的振动应该不大于 0.03g。爆破方案设计时只要将单段最大装药量控制在 107 kg 以下就可以满足 2 号核岛主控室的振动不大于 0.03g 的要求。

3.1.2 按照速度计算单段最大药量

在开挖场地浇灌混凝土时(必要时)需要控制振动速度,因此在爆破参数确定时还要利用下面的公式计算单段最大安全装药量:

$$R = (k/v)^{1/\alpha} Q^{1/3}$$

式中: v ——保护对象所在地质点振动安全允许速度,cm/s。

同样由南京工程兵工程学院对所测得的数据进行回归,提出 k 、 α 为: $k=150$, $\alpha=1.6$,当控制爆破振动速度 1 cm/s 时利用此公式计算不同距离上的单

段最大装药量见表 3。

表 3 不同龄期、不同距离的最大单段装药量 Q

龄期 /d	$v/$ (cm·s ⁻¹)	R/m						
		150	200	220	240	260	280	300
1~3	1.5	600	1422	1893	2458	3125	3903	4800
4~7	2.5	1563	3707	4934				
8~28	7	10748						

同一爆点,按以上两种方法进行计算最大单段装药量取其二者中的较小的一个值,以确保两个控制点均处于安全状态。并且每一炮次的设计均要根据前一炮次所测的结果进行适当的调整,确保每一炮次的爆破安全。

3.2 空气冲击波控制

在保证装药量和填塞质量的前提下,中深孔爆破一般不考虑空气冲击波的危害。

3.3 爆破飞石控制

台阶爆破飞石飞散距离根据如下经验公式进行估算:

$$R_F = 400d/2.54$$

式中: R_F ——飞石飞散距离,m; d ——炮孔直径,cm。

该工程炮孔直径最大采用 76 mm,飞石飞散距离为 120 m。但考虑到有浅孔爆破和二次大块改小的爆破,为确保安全,警戒范围定为 300 m,飞石控制在安全范围内。为了有效控制飞石飞散距离,根据爆破条件的变化,合理确定炸药单耗和爆破参数,采用岩屑堵塞孔口并捣实,保证炮孔的堵塞长度和质量。必要时,在孔口用竹笆加砂袋进行覆盖。

3.4 爆破参数

钻孔采用多排孔布置形式,正常台阶爆破自由面陡峭,采用垂直孔,若自由面有坡度或有岩坎,前排可采用斜孔,预裂孔、光面孔倾角与边坡的倾角相同。经计算爆破参数见表 4。

表 4 深孔爆破参数表

名称	台阶高度 H/m	孔径 D /mm	底盘抵抗线 W/m	钻孔倾角 α /(°)	孔距 a /m	排距 b /m	孔深 L /m	超深 h /m	填塞长度 L_c/m	装药单耗 q /(kg·m ⁻³)	单孔装药量 Q/kg
核辅助厂房	6.60	76	2.5	85~90	3.0	2.2	7.50	0.9	2.2	0.5	22
其它	8.85	76	2.5	85~90	3.0	2.2	9.75	0.9	3.0	0.5	29

4 预裂爆破技术方案

本工程的下列部位需进行预裂爆破:基坑主体开挖的边坡部位、预应力张拉廊道基坑表面、厂房基底标高存在差异的部位。

4.1 预裂爆破参数选择

4.1.1 孔径、孔距、药卷直径

孔径根据岩石结构及钻机性能和效率确定,基坑边坡开挖取 Ø76 mm。

孔距依据公式 $a = (7 \sim 12)d$ (d 为孔径)计算,岩石完整取 1.0 m,不完整取 0.8 m,廊道取 0.5 m。

药卷直径按不耦合系数 $d/d_1 > 2$ 取值(d_1 为药卷直径),本处取 $d_1 = 32$ mm,乳化炸药。

4.1.2 线装药密度

预裂爆破的线装药密度采用以下公式计算,在实际施工中,根据预裂爆破效果作适当调整。

$$Q_{线}=k(\delta_{压})^{\alpha}a^{\beta}(d/2)^{\gamma}$$

式中: $Q_{线}$ ——线装药密度,kg/m; $\delta_{压}$ ——岩石极限抗压强度,MPa,根据招标文件中岩土特征参数表,本工程中等风化岩石取18 MPa、微风化岩石取63.9 MPa; a ——炮孔间距,1.0 m; d ——孔直径,0.076 m; k 、 α 、 β 、 γ ——均为系数,分别取0.127、0.5、0.84、0.24。

经计算对中等风化岩石装药密度取0.2 kg/m;对微风化岩石取0.38 kg/m。

根据计算和我公司在同类岩石的边坡预裂爆破的经验,基坑主体边坡部位取0.35 kg/m;廊道基坑部位取0.2 kg/m。

底部线装药量因孔底夹制作用,应加强装药。根据经验,一般为正常装药段的1~3倍,取 $Q_{底}=$

$2Q_{线}$;顶部接近填塞部位,采用减弱装药段,此处 $Q_{弱}=0.5Q_{线}$ 。加强装药段长度取0.4~0.6 m,减弱装药段长度取0.5~1.0 m。

4.1.3 超深

为了避免下一台阶的地面产生裂缝,此处的超深不宜过大,根据我公司施工的经验,超深0.6 m可避免下一层地面产生裂隙,因此此处预裂爆破的超深取0.6 m。

4.1.4 填塞长度

该工程预裂爆破填塞长度:基坑主体边坡部位取1.5 m;廊道基坑部位取0.7 m。

4.1.5 预裂孔与主爆孔孔底的距离

主爆孔孔底距预裂孔口的距离,基坑主体边坡部位取1.0 m;廊道基坑部位取0.8 m。

预裂爆破参数见表5。

为了使廊道顶部边口不受破坏,爆破时,可根据

表5 预裂爆破参数表

预裂部位	钻孔直径/mm	钻孔间距/m	药卷直径/mm	不耦合系数	线装药量/(kg·m ⁻¹)	加强段药量/(kg·m ⁻¹)	减弱段药量/(kg·m ⁻¹)	填塞长度/m	与爆破孔间距/m	加强药段长度/m	减弱药段长度/m	预裂孔超深/m	钻孔倾角/(°)
基坑主体	76	1.0	32	2.37	0.35	0.7	0.175	1.5	1.0	0.6	1.0	0.6	按设计
廊道基坑	76	0.5	32	2.37	0.20	0.4	0.100	0.7	0.8	0.4	0.5	0.4	90

爆破效果决定是否在每两个预裂孔之间加1个2 m深的导向孔,利用空孔效应原理使预裂缝充分成形,达到保护顶部边口的目的。

以上各参数将根据岩性情况、爆破试验结果和爆破效果作适当的调整。

4.2 预裂爆破拐角的处理

本负挖工程拐角多,故常出现图1(a)所示的阴角,在四边形坑中往往又常遇到如图1(b)所示的阴角,统称为拐角。这种拐角成形很困难,爆破后往往按图中虚线成形,出现超、欠挖,甚至使保留岩体不稳定。为此,采取以下方法防止超欠挖和保留岩体失稳。

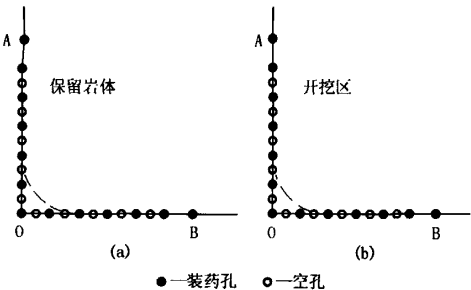


图1 拐角的龟裂处理法

为防止爆破A0面对B0面O点附近产生破坏,

使得B0面在O点附近无法成孔而影响预裂质量,在施工A0面时,必须在B0面上少量钻几个孔与A0面同时点火,分段起爆。为使预裂爆破能沿设计的轮廓线充分成缝,利用相邻两孔越接近,应力集中现象越明显的空孔效应原理,在正常预裂孔距不变的情况下,间隔钻5个如图1所示的比装药孔浅一半的空孔作导向,用龟裂的方法使之成形。

4.3 预裂缝的超长

为了保证保留岩体的轮廓面的完整,应避免主爆孔爆破对保留岩面的强力冲击,故此,预裂面必须超出主爆孔布孔范围,此超出部分即预裂缝的超长。

预裂缝的超长亦即预裂孔的水平布置超出最后一排主爆孔的水平布置长度,一般取 $b=(50\sim100)d$ 。在台阶宽度较小或狭窄的巷道施工时,预裂缝超长可减少前一炮次给后一炮次穿孔施工带来的难度。较宽的台阶施工时可根据情况适当取大值。一般情况下预裂孔每端要比爆破孔超长5~7个孔。

5 核岛廊道爆破方案

5.1 施工方法

(1)小口径钻机开口时,分两层开挖至设计标高,为正常爆破提供良好的自由面,开口尺寸3 m×6 m(见图2)。

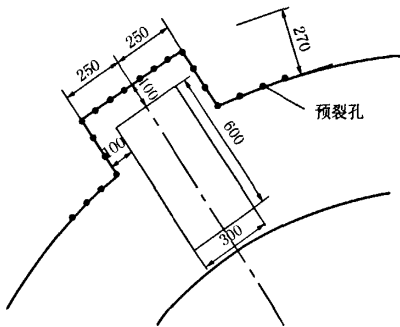


图2 廊道开口方法

- (2)廊道缺口部位预裂爆破时,各拐点处一定要布孔,防止拐角处不成形。缺口对称部分的外环廊要同时布孔,同时预裂,防止缺口处外环廊不成形造成连接不畅。
- (3)廊道预裂爆破施工应在周边底板保护层处理之前进行。因为预裂爆破同样存在爆破漏斗,因此廊道上口易被爆破漏斗破坏成倒八字形。如果先预裂后进行保护层处理,这种倒八字形不会对设计的上口产生影响。
- (4)同一部位的内外廊道的预裂爆破不应在同

一炮次中起爆,以便预裂缝的充分成形,单边预裂可同廊道主体爆破同时进行也可单独分开进行。

5.2 布孔方式和爆破参数

5.2.1 布孔方式

呈放射状形成布孔,预裂布孔数量要超前主爆孔 5~6 个孔(见图 3)。

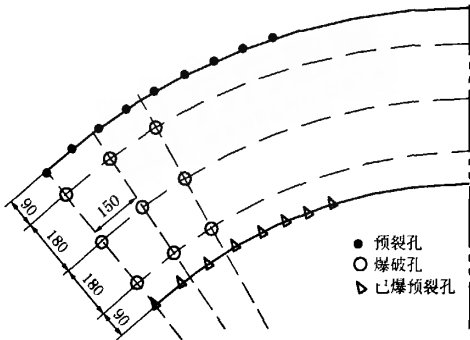


图3 廊道布孔方式

5.2.2 爆破参数

- 预裂孔爆破参数见表 5。
- 主爆孔爆破参数见表 6,其中排距为廊道中间孔的距离,台阶高度含 0.8 m 的保护层厚度。

表 6 廊道爆破参数表

台阶高度 H/m	钻孔直径 d/mm	最小抵抗 线 W/m	钻孔孔距 a/m	钻孔排距 b/m	钻孔倾角 $\alpha/(^{\circ})$	超深长度 h/m	钻孔长度 L/m	填塞长度 h_0/m	炸药单耗 q $/(kg \cdot m^{-3})$	单孔装药量 Q/kg
3.15	76	1.5	1.8	1.5	80~90	0	3.15	0.7	0.50	4.2

5.3 爆破规模

由于廊道为狭窄沟槽,又为圆弧形,夹制作用大,过大的爆破规模既可能出现爆破效果差,也可能出现爆破预裂面遭破坏的情况。因此每次爆破以 3~4 排为宜。

6 负挖爆破质量安全控制措施

- 根据负挖爆破技术要求,爆破质量控制的重点是:边坡和底板超挖量,爆破不能对保留岩石破坏而产生新的裂缝。爆破安全控制的重点是:爆破振动和爆破飞石控制。我们主要从人、机、料、法、环(4M1E)等环节加强控制。
- (1)加强人员资格的控制,加强爆破从业人员资格管理,从业人员除应有丰富的经验外,必须持有效证件上岗。重点检查爆破工程技术人员、爆破员、安全员的持证情况,杜绝无证上岗,现场安排 3 名高级爆破工程师现场负责。
- (2)加强穿孔设备的管理,凿岩钻机等设备应满足现场施工需要。现场配备爆破振动监测仪器

- (Minisize II 型测振仪),依据监测数据,组织爆破专业技术人员分析实测结果,研究新的爆破振动控制方法,实时修改调整爆破参数。
- (3)加强爆炸物品的选用,采用质量稳定的非电毫秒雷管,导爆索、炸药等都到当地公安部门指定的民爆服务站定购,确保爆破器材的供应和质量。
- (4)重点加强施工方法选择与应用。首先,从源头严把爆破设计关,总体爆破方案提交当地公安部门,由公安部门邀请爆破专家对爆破方案进行评审,严格按公安部门和监理批准的爆破方案组织爆破施工。每一炮次必须进行爆破设计,从设计源头合理选择爆破参数,确保爆破质量和爆破安全;其次,由爆破工程技术人员编制关键部件的作业指导书,本工程项目部编制了中深孔台阶爆破作业指导书、边坡预裂爆破作业指导书、廊道爆破指导书、掏槽爆破作业指导书等一系列作业指导书,在工序开工前进行详细的技术交底,让操作人员理解设计意图,掌握施工方法。
- 最重要的是加强过程质量控制,根据国家核安

全对核岛负挖的质保等级要求,制定质量计划,设置不同的质控点,停工待检点 H 点、见证点 W 点、记录点 R 点。对关键工序、特殊过程设为 H 点,次之控制要求的工序和过程设定为 W 点,一般控制要求的可设为 R 点。只有当质量计划中所列的全部工序执行完毕,全部控制点(H、W、R)均已经各设点单位的质控人员签字放行,质量计划中的可追溯(跟踪)的文件、记录、报告和资料齐全、规范,质量计划对应的施工活动成果经检查验收满足规定的要求,方可关闭质量计划。通过质量计划的设置和控制,加强过程质量监控,使爆破质量得到有效的监控。

7 爆破质量控制和爆破振动监测结果

通过一系列质量控制措施,负挖施工顺利开展,边坡和底板质量控制良好。从现场设置的 9 个爆破振动测试点看,爆破振动测量均在要求的控制阈值

内,爆破飞石均控制在安全距离范围内,保证了核岛负挖的质量,保证了核电站的平稳安全运行。

8 结语

核岛负挖质量关系核电质量的百年大计,核电的安全性是核电站运行的基本保障。在田湾核电 5 号、6 号机组负挖工程中,我们通过对爆破方案选择、爆破参数设计、爆破过程质量控制点设置、爆破过程监控、爆破振动监测等各个环节的控制,保证了爆破安全和爆破质量。

参考文献:

- [1] GB 6722-2003, 爆破安全规程[S].
- [2] 于亚伦. 工程爆破理论与技术(全国工程爆破作业人员统一培训教材)[M]. 北京:冶金工业出版社, 2007.
- [3] 核工业南京建设集团有限公司. 田湾核电 5#、6#机组负挖施工组织设计[Z].

青海油田锁定“千万吨级油”目标

中国矿业报 2010-01-18 消息 2009 年以来,青海油田不断加大勘探攻关力度,努力推进勘探开发一体化,积极促销促产,阔步迈向“千万吨级高原油气田”的目标。

一直以来,青海油田积极推进勘探开发一体化、预探评价一体化模式。按照“先上产、后增储;先产量、后储量”的思路,青海油田加快发展步伐,提高采油速度,实现了快速上产,形成了“勘探先行、开发跟上,滚动开发、扩边增储”的良性循环。通过加大勘探攻关,青海油田对昆北断阶带 3 个区块的精细勘探均已取得了重大突破。目前,青海油田在这一地区已初步控制含油面积 55 km²,累计新增三级石油地质储量 1 亿多吨,这是青海油田近 30 年来的最大发现。昆北油田具有油层物性好、埋藏适中、储量丰度高、储量规模大、开发效益好等特点,为青海油田全面建设和发展千万吨级高原油气田奠定了储量基础。

与此同时,青海油田坚持用科学发展观武装自己,积极探索油田可持续发展之路,坚持效益优先,不断提高油田产量,全力确保油气稳产、高产。

据了解,近年来,青海油田多井低产矛盾日益突出,稳产难度日益加大——新区块的战略接替还没有获得突破性进展;边远难采储量建设投资高,单井产量低,作业成本高,开发效益低。针对这一系列的问题,青海油田抓住压产、限产“优化调整期”的机遇,优化调整开发区块、开发井组和产能建设布局,提高经济产量;下大力气抓好主力油田、老油田的稳产问题,强化“注上水、注够水、注好水”的开发理念,精心

做好注水文章,让主力油田、老油田休养生息,确保尕斯库勒、花土沟等油田长期稳产高产;优化生产措施和采油工艺,改进生产薄弱环节;集中精力突破关键技术,大力推进科技创新,打牢上产基础;以提高单井产量为中心,强化综合治理和有效注水,控制含水上升率;促进工程与地质、勘探与开发、研究与现场的紧密结合,提高措施的针对性和有效性;充分利用工程技术服务工作量相对减少的时机,加大对员工专业技能的培训力度,加强设备维修保养工作,推进自主创新和技术研发,不断优化产品结构,提升产品质量;积极推进节能减排,加快实施“青海油田燃料动力系统以气代油项目”工程,节约燃料成本,提高经济效益。

2009 年,青海油田保持了良好的发展势头,取得了一系列令人瞩目的成绩。2009 年 11 月 25 日,涩—宁—兰管道复线涩北至西宁段竣工投产,青海油田的天然气外输能力达到了 100 亿 m³。截至 2009 年 11 月底,涩北气田 2009 年新开工的 11.5 亿 m³ 产能建成,涩北气田累计建成产能达 85 亿 m³。截至 2009 年 11 月 26 日,格尔木炼油厂 150 万 t 产品质量升级改造项目成功投产。2009 年,青海油田生产天然气达 46 亿 m³,比 2008 年增产 2 亿多立方米。

放眼未来,青海油田将始终坚持千万吨级高原油气田目标不动摇,积极转变发展方式,坚持实施“油气并举、持续创新、科学发展”三大战略,立足可持续发展,着手打造“百年油田”,坚定不移地实施“稳产上产工程”,为“2010 年建成 1000 万 t 油气生产能力,2012 年油气当量达到 1000 万 t”而奋斗。