

大型基坑内支撑体系爆破拆除技术

陈 冲

(上海复旦爆破建设工程有限公司,上海 200437)

摘要:阐述了采用控制爆破技术在复杂环境下拆除大型基坑内钢筋混凝土支撑的方法。在特殊的环境条件下进行支撑爆破时,采用预先切断振源、减少单段起爆药量的防震方法以及搭建防护棚的方法,可以有效控制爆破振动、飞石、扬尘对周围的影响。实践证明,采用控制爆破技术拆除大型基坑内钢筋混凝土支撑是安全、高效的。

关键词:复杂环境;大型基坑;钢筋混凝土支撑;控制爆破;拆除

中图分类号:TU473.2;TU746.5 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)02-0080-05

Blasting Demolition Technology of Internal Supporting System for Large Foundation Pit/CHEN Chong (Shanghai Fudan Blasting Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 200437, China)

Abstract: The paper described the method of demolishing reinforced concrete supporting internal large foundation pit by controlled blasting under complicated environment. When demolishing the reinforced concrete under special environment, cutting vibration source in advance, reducing single-section amount of primary explosives and putting up protection shed can effectively control the influence of blasting vibration, flying rock and fugitive dust to surroundings. It has been proved by practice that demolishing steel reinforced concrete supporting internal large foundation pit by controlled blasting is safe and efficient.

Key words: complicated environment; large foundation pit; reinforced concrete support; controlled blasting; demolition

1 工程概况

1.1 工程简介

上海古北国际财富中心项目是一栋集办公、商业为一体的大型、高档、地标性建筑物。整个工程的总用地面积约为 21562.74 m²,总建筑面积约为 190201 m²。地上部分建筑面积为 121211 m²,分由 7 层高档商业裙楼和 30 层甲级办公塔楼组成;地下部分为 4 层车库和相关辅助用房,其建筑面积为 68990 m²。基坑占地面积约 16000 m²,基坑开挖最深处达 -21.95 m,围护设计采用地下连续墙(两墙合一)+四道钢筋混凝土水平内支撑的围护形式,需要爆破拆除的钢筋混凝土支撑强度等级 C30,总量约 19000 m³。支撑基本情况见表 1 和图 1。

1.2 周围环境

本工程基坑位于上海古北新区一、二区商务分区 9-3 地块,北临虹桥路、东依玛瑙路、南靠红宝石路、西侧毗邻申康宾馆。周边环境比较复杂,南侧距离红宝石路 5.14 m,距离路对面古北国际花苑高层居民住宅约 35.94 m;东侧距离玛瑙路 6.48 m,距离东北角居民楼 54.4 m;西侧与申康宾馆(保护建筑)5 幢建筑相邻,其中 3 号房距离基坑最近为 3.58 m,

表 1 钢筋混凝土支撑基本情况一览表

名称	截面规格 /(m × m)	含钢率 /(kg · m ⁻³)	支撑中心 标高/m	
第一道 支撑	ZC1-1	1.0 × 0.8	158	-1.7
	ZC1-2	0.7 × 0.7	162	-1.7
	ZQ1	1.0 × 1.1	170	-1.7
	ZQ2	0.8 × 1.1	209	-1.7
	ZQ3	0.5 × 0.7	296	-1.7
第二道 支撑	ZC2-1	1.2 × 0.9	159	-7.05
	ZC2-2	0.75 × 0.75	199	-7.05
	WL2	1.4 × 0.9	246	-7.05
第三(四) 道支撑	ZC3(4)-1	1.3 × 0.9	172	-11.85(-16.05)
	ZC3(4)-2	0.8 × 0.8	202	-11.85(-16.05)
	WL3(4)	1.5 × 0.9	257	-11.85(-16.05)

距离需要爆破的支撑约 5.3 m;北侧距离虹桥路最近约 19.29 m,距离地铁 10 号线伊犁南路站 56.24 m,距离新建的一幢别墅 28.74 m,距离宋氏别墅(保护建筑)35.56 m。周围环境如图 2 所示。

本工程相邻较近的申康宾馆建筑群和宋氏别墅均为上海市保护建筑,且申康宾馆靠近基坑位置的几幢建筑,在支撑爆破前已经有多处开裂并发生倾斜,其中 2、4 号房开裂最为严重(见图 3),最大开裂达 3 cm,外墙已经采用槽钢进行加固(见图 4)。

收稿日期:2011-07-13

作者简介:陈冲(1980-),男(汉族),江苏徐州人,上海复旦爆破建设工程有限公司工程师,井巷掘进与爆破工程专业,从事爆破技术研发和应用工作,上海市松花江路 2580 号,chenchong622@126.com。

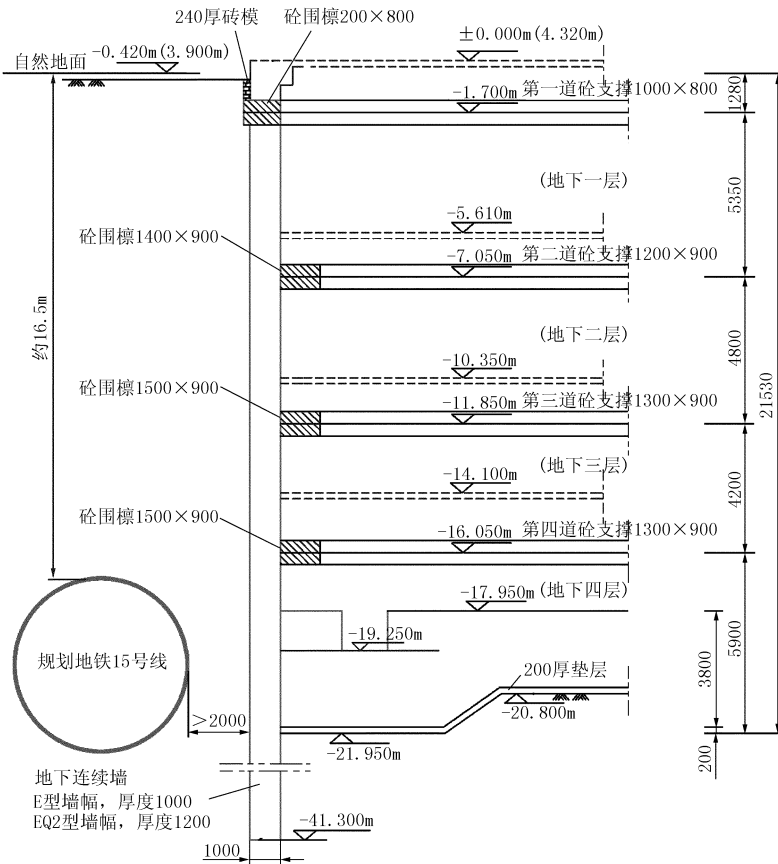


图 1 支撑位置分布图



图 3 申康宾馆 4 号房内部开裂图



图 4 申康宾馆 2 号房外加固图

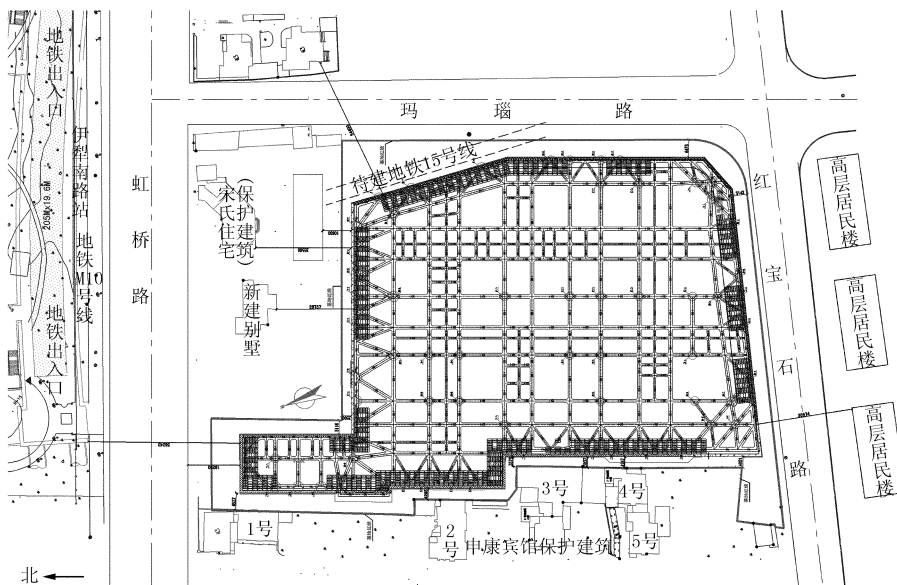


图 2 周围环境及支撑分布图

1.3 工程要求

- (1) 控制爆破振动, 确保申康宾馆、宋氏别墅等建构筑物的安全;
- (2) 爆破必须保证基坑围护结构(连续墙、格构柱等)和地下室楼板等结构安全;
- (3) 爆破后混凝土与钢筋充分脱离, 粒径控制

在 30 cm 以内, 大块率控制在 5% 以下;

- (4) 爆破飞石控制在基坑范围内;
- (5) 控制爆破次数, 减少爆破施工对土建施工的影响;
- (6) 控制爆破扬尘, 居民零投诉。

2 爆破方案

考虑本工程周围环境的复杂性,并结合本支撑体系的结构特点,满足委托方施工要求,采取爆破方案如下。

(1) 支撑拆除总体顺序:基坑内钢筋混凝土支撑共4道,拆除顺序为由下而上逐道进行拆除,其中每道支撑分成4个区域逐次进行爆破。

(2) 爆破方法:采用预埋管布孔,采用微差起爆(孔内孔外同时延期)的爆破方法。

(3) 爆破防护方法:本工程主要采用搭建脚手架进行防护飞石,并且针对一些特殊位置的工程构件及设备采用麻袋、竹笆等材料进行保护性防护。第一道支撑搭建三层二道防护棚,第二~四道支撑搭建双层单道防护棚。

(4) 安全控制措施:爆破前,支撑与围檩连接处应先给予人工凿断,避免大面积拆除支撑时由于密集振动对申康宾馆等建筑产生不利影响。

3 爆破参数设计

3.1 布孔设计

本工程爆破炮孔成型采用预埋孔方法。在开始浇筑支撑混凝土时,将预先做好的预埋管按设计要求的孔距、排距、角度、深度等技术参数,插入刚浇捣完毕的湿混凝土中。混凝土固化后即形成有序的预埋孔。不同支撑的布孔参数见表2。

表2 爆破参数的选择

支撑种类	断面尺寸 /m		孔距 a/m	排数	排距 b/m	炮孔 深度 l/m	炸药单 耗 K /(kg·m ⁻³)	单孔 药量 q/g
	宽 B	高 H						
ZQ1	1	1.1	1	3	0.25	0.88	1.3	0.36
ZQ2	0.8	1.1	1	2	0.267	0.88	1.2	0.35
ZQ3	0.5	0.7	0.7	1		0.56	1.1	0.27
ZC1-1	1	0.8	1	3	0.25	0.64	0.8	0.16
ZC1-2	0.7	0.7	0.75	1		0.56	0.8	0.29
WL2	1.4	0.9	1.2	4	0.28	0.72	1.3	0.39
ZC2-1	1.2	0.9	1.1	3	0.3	0.72	1.1	0.33
ZC2-2	0.75	0.75	1	2	0.25	0.60	0.8	0.15
WL3、4	1.5	0.9	1.3	5	0.25	0.72	1.4	0.41
ZC3(4)-1	1.3	0.9	1	3	0.325	0.72	1.2	0.35
ZC3(4)-2	0.8	0.8	1	2	0.267	0.64	0.9	0.19

3.2 药量选择

本次爆破采用2号岩石乳化炸药,由于每种支撑配筋、截面大小的不同,单孔药量有所不同。根据体积原理,单孔药量按下式计算:

$$q = KV^{[1]}$$

式中:K——单位体积用药量系数(单耗),一般取 K

=0.8~1.5 kg/m³;V——单孔负担的体积,单排孔 $V = aBH$,多排孔 $V = abH$;a——孔距;B——支撑宽度;b——排距;H——高度;l——炮孔深度,一般取支撑高度H的80%;q——单孔药量。

单孔药量见表2。

由于围檩与地下连续墙是相连的,为确保连续墙安全,靠近连续墙的一排炮孔药量比其他炮孔减少50%。

3.3 爆破网路设计

3.3.1 爆破器材

采用的雷管均为普通变色导爆管雷管,其中孔内采用高段位延期雷管(HS-5段普通导爆管雷管),孔外采用低段位延期雷管(MS-3段普通导爆管雷管),起爆线采用导爆管连接。

3.3.2 爆破网路设计要求

(1) 爆破网路采用串并联网路连接方式,在确保整体网路安全的情况下,尽量减少并联,并联位置必须交叉错开。

(2) 每个爆破小网路根据单段起爆药量进行划分。围檩单段起爆药量 ≥ 1 kg,支撑单段起爆药量 ≥ 3 kg。

3.3.3 传爆顺序

由基坑边缘向基坑中部逐段传爆。

3.3.4 每条网路连接方法

支撑依据每段起爆药量控制要求,将孔内雷管按照要求连接成若干个小网路(围檩1~2个孔为一段,支撑6~8个孔为一段),所有小网路采用“一把抓”的连接方法。孔外采用低段位延期雷管(MS-3段普通导爆管雷管)将各小网路连接,形成一个整体大网路。为确保孔外延期雷管安全传爆,采用双雷管连接。

4 爆破安全措施

4.1 爆破振动的控制

4.1.1 单段最大起爆药量控制

支撑爆破振动产生的负效应主要有2大方面:一是对周围构筑物产生的影响,另一方面是对围护结构和新建结构的影响。目前控制支撑爆破振动最有效方法是控制单段起爆药量。

为确保本工程周边建筑物和基坑连续墙安全,单段起爆药量控制要求为:围檩单段起爆药量 ≥ 1 kg,支撑单段起爆药量 ≥ 3 kg。

由于支撑爆破爆点较为分散,单段起爆药量根据爆点与保护建筑距离的不同进行适当调整。

根据萨道夫斯基质点振动公式^[2]：

$$V = K'K(Q^{1/3}/R)^\alpha$$

$$\text{推算 } Q = [V/(K'K)^{1/\alpha} \cdot R]^3$$

式中： Q ——单段最大起爆药量，kg； V ——振速，cm/s(爆破安全允许振速^[3]：一般古建筑与古迹为 0.5 cm/s，钢筋混凝土结构房屋 5 cm/s，交通隧道 15 ~ 30 cm/s)； K ——传递介质参数，取 100； K' ——修正系数，25% ~ 1，临空面较多时取小值，临空面较少时取大值，本工程取 35%； α ——衰减系数，为 2； R ——爆破中心至最近建筑距离。

单段最大起爆药量见表 3。

表 3 单段最大起爆药量表

被保护建筑	安全允许 振速 V /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	K	K' /%	α	最近 距离 R/m	计算 结果 Q/kg	实际 取值 Q/kg
申康宾馆 1 号楼	0.5	100	35	2	8.15	0.924	0.9
申康宾馆 2 号楼	0.5	100	35	2	5.85	0.342	0.3
申康宾馆 3 号楼	0.5	100	35	2	5.32	0.257	0.25
申康宾馆 4 号楼	0.5	100	35	2	6.15	0.397	0.35
宋氏别墅	0.5	100	35	2	35.6	77.038	1~3
新建别墅	0.5	100	35	2	28.74	40.5	1~3
地铁 10 号线隧道	15	100	35	2	56.24	49908.07	1~3
古北国际花苑住宅	5	100	35	2	35.97	2512.9	1~3

4.2 防振方法

(1) 基坑西侧和北侧分布着申康宾馆和宋氏别墅及地铁 10 号线，为有效控制爆破振动对这些构筑物的影响，爆破前一天，支撑与围檩连接处先给予人工凿断，避免大面积拆除支撑时由于密集的振动对其产生不利影响。

(2) 为有效控制爆破振动对地下连续墙的影响，围檩爆破时，通过雷管延时，炸出“V”形爆破缺口，按“V”形口的任何一边平行布孔，将最小抵抗线方向从原来向外、向下、向上改变为向后偏转 30° ~ 60°，降低了飞石危害，减少了围檩爆破时的振动向连续墙传递。

(3) 靠近连续墙一侧的炮孔，单孔药量减少 50%。

4.3 飞石的控制

4.3.1 飞石距离计算

根据 Lundborg 的统计规律，结合类似的工程实践，药孔爆破飞石距离可由下式计算：

$$R_{\text{max}} = k_T kd$$

式中： R_{max} ——飞石的最大飞落距离，m； k_T ——与爆破方式、填塞长度、地形条件有关的系数，取 $k_T = 1.2$ ； k ——炸药单耗； d ——炮孔直径，mm。

将 $k_T = 1.2$ 、 $k = 1.4$ 、 $d = 40$ mm 代入上式计算得

$R_{\text{max}} = 67.2$ m，可见飞石的飞散距离必须加以控制。

4.3.2 飞石防护方案

采用搭建钢管脚手防护棚进行遮挡的方案。防护棚材料采用钢管、竹笆、安全网。第二、三、四道支撑爆破时，防护棚上平面搭建在爆破的支撑梁的上道支撑位置。第一道支撑爆破防护棚，全部依靠钢管脚手架支撑。见图 5、图 6。



图 5 第一道支撑爆破防护棚外平面图

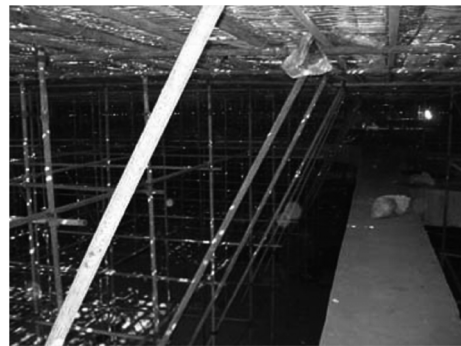


图 6 第一道支撑爆破防护棚内部图

4.4 爆破扬尘和噪声的控制

4.4.1 爆破扬尘的控制

一方面利用爆破防护棚来遮挡，在防护棚沿基坑边缘位置覆盖一层油布，减少扬尘扩散；另一方面在每次爆破区域周围安装 6 把消防水枪，爆破结束后立即进行洒水降尘。

4.4.2 爆破噪声的控制

技术方面主要采用控制单段起爆药量，从而降低爆破声响；另一方面，爆破前充分做好周围居民的告知工作，减少周围居民紧张情绪，爆破时先燃放鞭炮，给居民以适应的时间，在鞭炮响的过程中起爆主网路。

4.5 火工品安全管理

本工程 4 道支撑共爆破 16 次，使用炸药约 23 t、延期雷管 10 万余发，且爆破施工正值 2010 年上海世博会召开期间，为更好落实世博安保各项措施，加强了火工品在运输、贮存、使用各个环节中的管理

和监督:

(1)每次爆破所需火工品采用武装押运至工地现场;

(2)工地内部不设临时药库,当次火工品当次使用,做到准确无误;

(3)火工品进入施工现场后,工地内部非爆破人员全部撤离;

(4)施工期间工地外围派 10 余名保安全程进行巡逻警戒;

(5)施工现场安装多个摄像头,闭路电视专人监控,并拷贝留底。

5 爆破效果和体会

5.1 爆破效果

本工程共爆破 16 次,爆破网路安全可靠均一次爆破成功,没有发生中断现象;爆破参数选用合理,支撑爆破效果较好,混凝土与钢筋完全脱离,块度均匀,围檩靠近连续墙位置有部分混凝土尚未完全脱离但已经松散,爆后采用小型机械一天清凿完毕;防护措施安全有效,爆后申康宾馆和宋氏别墅等建筑安全稳定,已经开裂位置没有加剧;爆破飞石全部控制在基坑以内;爆破后约 1 min 扬尘从防护棚中慢慢升起,施工人员立即采用水枪进行喷淋,爆破扬尘得到一定控制。整个工程通过精心设计、精心施工,

(上接第 73 页)

后 10~15 天进行补偿张拉以减少应力损失^[7]。

8.3 锚头的封闭与保护

补偿张拉完成后,锚具外留存 300 mm 的钢绞线,多余部分采用机械切割截除,采用 C25 混凝土及时封闭锚头以保护其正常工作。

9 治理效果

该段挡土墙变形加固工程于 2006 年 12 月 20 完工移交,至 2009 年 6 月 20 日对其变形进行持续监测,累计变形量最大值为 1.2 mm,已无继续发展的趋势,表明挡土墙已处于稳定状态,治理措施达到了预期目的;该处挡土墙外侧土地又得到有效利用,至 2010 年已建成某公司 18 层办公楼一栋,当地建设管理部门对该段挡土墙的变形治理效果十分满意。

10 结语

该段路基挡土墙在运营状况下由于墙背后填土

爆破完全达到预期目的,为业主节省了大量时间,得到周边单位的高度赞扬。

5.2 施工体会

(1)大型基坑内支撑爆破项目中,施工组织管理相当重要,尤其是与土建方的协调和配合、合理选择爆破分区,更有利于整个工程的顺利进展。

(2)支撑与围檩交界位置在支撑爆破前,采用人工方法切断,对控制爆破振动有很好的效果。

(3)支撑拆除爆破单次爆破总药量较大、分段较多,采用孔内孔外同时延期技术可以有效控制单段起爆药量,从而控制爆破振动,减少爆破飞石。

(4)支撑爆破拆除,通过在防护棚上铺设油布等材料,一方面可以有效控制飞石,另一方面还可以减少爆破扬尘。

参考文献:

- [1] 刘殿中. 工程爆破实用手册(第 2 版)[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [2] 冯叔瑜,吕毅,杨杰昌,等. 城市控制爆破(第二版)[M]. 北京:中国铁道出版社,2000.
- [3] GB 6722-2003, 爆破安全规程[S].
- [4] 徐建军,赵全顺. 定向爆破拆除框架厂房[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(11):78-80.
- [5] 陈作彬. 岩土爆破工程危险源辨识、风险评价和控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):78-81.

的物理力学性质发生了变化,导致墙体变形,通过分析和采取有效的加固方案,使其变形得到了根本性治理。表明维护填土路基在设计工况下运行的重要性,一旦运营环境发生了不利变化,会对挡土建筑物造成严重的危害,同时表明了抗滑桩预应力锚索联合加固措施具有安全系数大、成本低、施工效率高等优点,可以在类似工程中得到更广泛的应用。

参考文献:

- [1] JTGD 30-2004, 公路路基设计规范[S].
- [2] 钱德玲. 土力学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] GB 50011-2010, 建筑抗震设计规范[S].
- [4] JTJ 004-89, 公路工程抗震设计规范[S].
- [5] 谭彬建,俞敏,息颀,等. 桂柳高速公路边坡预应力锚索加固方案设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):73-77.
- [6] 黄辉,牟文俊,陶林. 浅析大吨位、超长孔深锚索钻孔孔斜控制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(6):71-74.
- [7] 刘玉元,高杰. 锚索预应力降低的影响因素探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(1):27-28.