

■ 北京市建筑设计标准化办公室

防空地下室 结构设计手册



FANGKONG DIXIASHI JIEGOU SHEJ
SHOUCE

中国建筑工业出版社

防空地下室结构设计手册

北京市建筑设计标准化办公室

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

防空地下室结构设计手册/北京市建筑设计标准化办公室. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

ISBN 978-7-112-10267-9

I. 防… II. 北… III. 人防地下建筑物-结构设计-技术手册 IV. TU927-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119825 号

本书共分 12 章和四个附录, 包括防空地下室结构设计基本规定、常规武器和核武器爆炸等效静荷载计算、荷载组合、结构内力分析及截面设计、钢筋混凝土结构设计计算图表及例题、早期核辐射的防护、消波系统、常用结构设计要点和结构构造规定等。可供建筑结构设计、人防工程设计, 以及人防工程施工等领域的技术人员工作参考, 也可以供大专院校土建专业师生学习参考。

* * *

责任编辑: 曲汝铎

责任设计: 董建平

责任校对: 兰曼利 王金珠

防空地下室结构设计手册

北京市建筑设计标准化办公室

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 $\frac{3}{4}$ 字数: 638 千字

2008 年 12 月第一版 2008 年 12 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-10267-9
(17070)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

进入 21 世纪以来, 建筑规范全面修订, 有关结构的新规范、规程相继问世, 《人民防空地下室设计规范》2005 版也于 2006 年 3 月 1 日起开始实施。为便于设计人员掌握防空地下室的设计要领, 保证设计质量, 编制本“手册”。

本“手册”是根据现行《人民防空地下室设计规范》GB 50038—2005(以下简称“规范”)、《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001(以下简称“可靠度统一标准”)、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001(2006 版)(以下简称“荷载规范”)、《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002(以下简称“混凝土规范”)等标准、规范编写的。

为了适应未来战争的需要, 国家在防御武器及防护要求等方面作了重大调整, 并增加了对常规武器的防护。以现行“人民防空工程战术技术要求”为依据, 2005 版“规范”结构专业主要修订了以下部分内容:

1. “规范”按可能遭到的空袭威胁, 把防空地下室划分为甲、乙两类:

甲类——防常规武器、核武器和生化武器的袭击。

乙类——防常规武器和生化武器的袭击。

2. 增加了对常规武器的防护, 规定了对常规武器的防护标准及具体要求, 增加了常 5 级、常 6 级乙类防空地下室。

3. 系统地给出了常规武器地面爆炸动荷载作用下等效静荷载的计算方法及常用结构各部位的等效静荷载标准值。

4. 由于核武器当量和比例爆高的变化, 对核武器爆炸空气冲击波、土中压缩波等参数作了调整, 重新校核了核武器爆炸动荷载作用下常用结构各部位的等效静荷载标准值。

5. 对核武器的防护增加了核 6B 级抗力级别, 并给出了核 6B 级时的核武器爆炸空气冲击波、土中压缩波参数和常用结构各部位的等效静荷载标准值。

6. 补充和修正了部分条文, 如补充了老黏土、红黏土、湿陷性黄土、淤泥质土的侧压系数; 给出了条形基础、独立柱基加防水底板时底板上的等效静荷载标准值; 修正了顶板不考虑上部建筑影响时室内出入口防护密闭门门框墙、临空墙的等效静荷载标准值。

7. 将扩散室的允许余压由按防护设备允许压力确定, 改为按室内有无掩蔽人员确定。

8. 为了与现行的相关国家标准更加协调, 对一些标准和要求作了适当调整。

本“手册”适用于核 5 级常 5 级、核 6 级常 6 级、核 6B 级常 6 级甲类防空地下室及常 5 级、常 6 级乙类防空地下室的设计, 比“规范”中的抗力级别范围少了核 4 级、核 4B 级防空地下室。

本“手册”在编写过程中参考了有关文献资料, 综合了多年实际工程设计的经验, 特别是收集了一些设计单位及人防工程管理部门对本“手册”的建议和意见, 并针对量大面广、经常遇到的防空地下室设计问题编写而成。

本“手册”共12章和4个附录,内容包括防空地下室结构设计基本规定、常规武器和核武器爆炸等效静荷载计算、荷载组合、结构内力分析及截面设计、钢筋混凝土结构设计计算图表及例题、早期核辐射的防护、消波系统、常用结构设计要点和结构构造规定等。

本“手册”系统地给出了常规武器、核武器爆炸动荷载作用下常用结构各部位的等效静荷载图示,给出了作用于甲类、乙类防空地下室常用结构各部位的等效静荷载图示,并以选用表的方式给出了作用于甲类、乙类防空地下室常用结构各部位起控制作用的等效静荷载,以达到方便设计和全面、准确地理解和执行“规范”规定的目的。本“手册”具有内容系统、图表简明、使用方便、覆盖面广的特点,可供防空地下室结构设计人员、施工图审查、工程施工、土建监理、人防工程管理部门工作人员和大专院校土建专业师生使用及参考。

本“手册”条文中,凡未写明防空地下室类别的系指甲类和乙类防空地下室均应遵守的内容;只写明甲类防空地下室(或乙类防空地下室),未注明其抗力级别的,系指该条规定甲类防空地下室(或乙类防空地下室)各抗力级别均应遵守。至于防空地下室是按甲类还是按乙类修建,应以人防工程主管部门批准的文件为准。

本“手册”中,凡条文下面带下画线处为北京地区的规定,详见第1.2.2条9款、第2.3.13条3款、第2.3.14~2.3.18条、第3.5.12条、第3.5.13条、第3.5.16条、第3.5.19条、第6.6.4条7款、第8.8.3条、第9.1.3条、第10.2.3条4款、第10.10.2条2款、第10.10.3条3款、第10.11.2条3款、第10.11.4条、第11.4条1款、第11.8条、第11.9条、第11.12条2款、第11.17条、第11.20条、第12.1条。其他地区情况相同时,也可参考使用。凡用黑体字标志的条文为“规范”的强制性条文。

由于本书涉及面广,限于编者水平,如有不当或错误之处,热忱希望读者指正,以便再版时改正。

“手册”中未包括个例。凡个例,均需取得人防工程主管部门同意。

本“手册”经北京市规划委员会批准立项,在编写过程中得到了北京市民防局和国家人防工程审查中心专家范仲兴同志的大力支持,在此表示诚挚的谢意。

本“手册”由北京市建筑设计标准化办公室负责具体解释工作,联系地址:北京市西城区二七剧场路东里新11号楼二层南段,联系电话:68037885

编制单位:北京市建筑设计标准化办公室、北京华建标建筑标准技术开发中心

主要编制人:曹培椿 王月仙

专家组成员:(以姓氏拼音为序)

柴万先 程栓牢 韩云峰 刘增福 马岩土 齐五辉 沙志国 殷道武 朱祺莱

目 录

第 1 章 防空地下室结构设计概述	1
1.1 防空地下室结构的基本特征	1
1.2 防空地下室结构设计基本原则和规定	3
1.3 防空地下室结构设计步骤	6
第 2 章 常规武器地面爆炸参数及等效静荷载	8
2.1 常规武器地面爆炸空气冲击波、土中压缩波参数	8
2.2 常规武器爆炸动荷载作用下结构动力计算	9
2.3 常规武器爆炸动荷载作用下常用结构等效静荷载	11
第 3 章 核武器爆炸参数及等效静荷载	19
3.1 核武器爆炸地面空气冲击波、土中压缩波参数	19
3.2 核武器爆炸动荷载最大压力及升压时间	22
3.3 核武器爆炸动荷载作用下结构动力计算	25
3.4 常用结构构件对称型基本自振圆频率 ω 计算	27
3.5 核武器爆炸动荷载作用下常用结构等效静荷载	27
3.6 核武器爆炸动荷载作用下等效静荷载计算例题	37
第 4 章 防空地下室结构荷载组合	43
4.1 作用在结构上的荷载	43
4.2 防空地下室结构荷载组合	43
4.3 乙类防空地下室常用结构构件起控制作用的等效静荷载	45
4.4 甲类防空地下室常用结构构件起控制作用的等效静荷载	45
4.5 甲类、乙类防空地下室常用结构构件荷载组合	57
第 5 章 结构内力分析及截面设计	59
5.1 内力分析	59
5.2 承载力极限状态设计表达式	59
5.3 结构构件的允许延性比 $[\beta]$	60
5.4 截面设计基本规定	60
第 6 章 钢筋混凝土结构设计和计算	65
6.1 防空地下室结构的材料及钢筋混凝土梁、板截面估算	65
6.2 钢筋混凝土受弯构件正截面受弯承载力计算及例题	69
6.3 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	237
6.4 钢筋混凝土轴心受压墙、柱正截面受压承载力计算	275
6.5 钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件承载力计算	290
6.6 钢筋混凝土结构构件受冲切承载力计算	320

第7章 防护密闭门、悬板活门门框墙计算及例题	329
7.1 防护密闭门门框墙计算及例题	329
7.2 防爆波活门门框墙计算及例题	335
第8章 防空地下室的防护	338
8.1 防空地下室防早期核辐射要求	338
8.2 防空地下室钢筋混凝土顶板防护厚度	338
8.3 外墙顶部最小防护距离	339
8.4 独立式室外出入口通道长度及防护厚度	340
8.5 附壁式室外出入口通道长度及防护厚度	341
8.6 室内出入口密闭通道长度及防护厚度	342
8.7 临空墙厚度不满足最小防护厚度要求时做法	343
8.8 其他构造要求	343
第9章 消波系统	344
9.1 消波系统基本要求	344
9.2 消波系统选择	344
9.3 消波系统扩散室	344
9.4 计算例题	346
第10章 防空地下室常用结构构件设计要点	348
10.1 现浇钢筋混凝土楼盖	348
10.2 现浇无梁楼盖	349
10.3 现浇空心楼盖	353
10.4 单向叠合板	353
10.5 钢筋混凝土反梁	353
10.6 防空地下室外墙	355
10.7 基础底板	356
10.8 防护密闭门门框墙设计	356
10.9 临空墙	358
10.10 防倒塌棚架	358
10.11 出入口	360
10.12 甲类防空地下室主要出入口楼梯设计	363
第11章 防空地下室结构构造规定	364
11.1 混凝土结构的耐久性规定及材料最低强度等级	364
11.2 防水混凝土的设计抗渗等级	364
11.3 结构构件最小厚度	365
11.4 防空地下室结构设置变形缝的规定	365
11.5 混凝土保护层厚度	365
11.6 受力钢筋的锚固和连接	366
11.7 钢筋混凝土结构构件的最小配筋百分率	368
11.8 钢筋混凝土结构构件受拉钢筋的最大配筋百分率	369

11.9	钢筋混凝土结构受弯构件的纵向构造钢筋	369
11.10	钢筋混凝土梁箍筋构造要求	369
11.11	钢筋混凝土板、墙体拉结钢筋构造要求	370
11.12	平板防护密闭门、密闭门钢筋混凝土门框墙的构造要求	371
11.13	钢筋混凝土叠合板的构造要求	372
11.14	防空地下室非承重墙的构造要求	372
11.15	防空地下室砌体结构圈梁和过梁设置规定	373
11.16	砖墙转角处及交接处构造要求	373
11.17	砌体结构防空地下室口部构造要求	374
11.18	通风采光窗洞口的构造要求	374
11.19	防空地下室的净高	375
11.20	关于预应力结构	375
第 12 章	平战转换设计	376
12.1	平战转换时的基本要求	376
12.2	平战转换时基本荷载	376
附录 A	常规武器爆炸动荷载作用下防空地下室主要部位等效静荷载示意图 (乙类防空地下室主要部位等效静荷载示意图)	377
附录 B	核武器爆炸动荷载作用下防空地下室主要部位等效静荷载示意图	383
附录 C	甲类防空地下室主要部位等效静荷载示意图	392
附录 D	钢筋数据表	400
1.	钢筋的公称直径、计算截面面积及理论重量	400
2.	板宽 1000mm 各种钢筋间距时钢筋截面面积表	401
参考文献		402

第1章 防空地下室结构设计概述

1.1 防空地下室结构的基本特征

防空地下室是为战时服务、具有预定战时防空功能的特殊地下建筑,与普通地下建筑相比较,其使用对象、条件、要求均有明显差别,从而在设计原则、设计标准和处理方法上,均与普通地下建筑不同。

就其战时防护来看,防空地下室的防御对象是核武器、生化武器和常规武器,其防护要求主要体现在抗力要求、防毒要求和辐射防护。防空地下室设计必须满足预定的防护要求和战时使用要求。

与一般民用建筑结构(普通地下室)相比较,防空地下室结构有以下主要特征:承受爆炸(常规武器、核武器)动荷载、结构产生运动、材料强度提高、结构可靠指标降低、大部分钢筋混凝土结构构件可按弹塑性工作状态设计等。掌握这些特征,就可以参照民用建筑结构设计的一般方法,进行防空地下室结构设计。

1.1.1 承受爆炸动荷载

防空地下室应能承受常规武器爆炸动荷载或核武器爆炸动荷载作用。常规武器、核武器爆炸荷载均属于偶然性荷载,具有超压瞬时由零增到峰值、作用时间短且不断衰减、一次性作用的脉冲荷载等特点。防空地下室所处位置及埋深不同,作用效应(即对工程的破坏作用及破坏特征)也不同。暴露于空气中的防空地下室结构,如高出地面的外墙、不覆土的顶板、通道内临空墙、防护密闭门及防护密闭门门框墙等部位直接承受地面空气冲击波作用;埋入土中的围护结构,如有覆土的顶板、地下室外墙、基础底板等部位则直接承受土中压缩波作用。此外,防空地下室内部的墙、柱等构件还承受围护结构及上部结构动荷载的作用。

防空地下室的抗力级别主要用于反映防空地下室抵御空袭能力的强弱,对于核武器,抗力级别按其爆炸冲击波地面超压的大小划分;对于常规武器,抗力级别按其爆炸的破坏效应划分,主要取决于常规武器装药量的大小及常规武器与防空地下室的爆炸距离。

1.1.2 结构产生运动

在爆炸荷载作用下,结构受力的基本特征是产生加速度,迫使结构由静止转为运动。这种运动有来回往复的特点,通常称为振动。振动由于阻尼力的综合作用而逐渐衰减。结构在冲击波作用时间内的振动,称为强迫振动;在冲击波消失后的振动,称为自由振动。核武器爆炸冲击波作用的时间以秒计,其最大的动位移发生在强迫振动;而常规武器爆炸冲击波作用的时间以毫秒计,其最大的动位移一般发生在自由振动。

动力作用和静力作用是相对的,主要看外力随时间变化的迅速程度相对于结构自振周

期的长、短而定。当升压时间与自振周期的比值超过4~5时,已无明显的动力作用。爆炸荷载是瞬时突加的,通常把这种爆炸荷载看成动荷载。

1.1.3 材料强度提高

实验表明,加载速率直接影响材料的力学性能。在爆炸动荷载作用下,材料的力学性能有明显的变化,主要表现为强度提高,而变形性能(包括塑性等)基本不变。防空地下室结构在爆炸动荷载作用下,结构构件所经受的是毫秒级快速变形过程,从受力到最大变形以毫秒计(约在10~100ms之间)。试验证明,在这种荷载作用下,材料强度一般可提高20%~40%,即使静荷载应力已达65%~70%屈服强度值,然后再加动荷载,此时材料强度的提高仍与单独施加瞬间动荷载时一致,不影响材料强度提高的比值,这对防空地下室结构是一个有利因素。

在爆炸动荷载作用下,材料强度取材料动力强度设计值,这是防空地下室结构设计的特点。目前,材料强度综合调整系数 γ_d 不是单一的材料强度提高系数,主要由三个因素确定:

1. 考虑普通工业与民用建筑规范中的材料分项系数;
2. 考虑材料在快速加载作用下动力强度的提高和部分材料后期强度的提高;
3. 根据防空地下室结构构件的受力特点进行可靠度分析后综合确定。

1.1.4 结构可靠指标降低

防空地下室结构,主要承受爆炸动荷载,而这类荷载是一种偶然性荷载,建筑结构可按荷载效应的偶然组合进行设计或采取防护措施,保证主要承重结构不致因出现规定的偶然事件而丧失承载力。人防荷载比平时的静荷载大很多,结构承受的爆炸动荷载,是基于工程必须达到的抗力要求而确定的。按国家规定的防护级别所对应的地面空气冲击波最大超压值进行承载力计算时,只考虑一次作用,不考虑超载。在一般情况下,人防动荷载分项系数取1.0,即能达到防空地下室必须满足的抗力。依照“可靠度统一标准”,从安全与经济两方面考虑,当按偶然荷载组合验算结构的承载能力时,所采用的可靠指标值允许比基本组合有所降低。人防荷载应为偶然荷载,当防空地下室结构构件承受的荷载由人防荷载控制时,其承载能力极限状态的可靠指标,比一般工业与民用建筑结构构件的可靠指标低。

1.1.5 大部分钢筋混凝土结构构件可按弹塑性工作状态设计

在爆炸动荷载作用下,结构构件的变形通常是随时间的增长至最大值,随之即出现衰减。因此,可以考虑由结构构件产生的塑性变形来吸收爆炸动荷载的能量,即在爆炸动荷载作用下,允许结构构件进入弹塑性工作状态。

在爆炸动荷载作用下,结构构件即使进入塑性屈服状态,只要动荷载引起的变形不超过允许最大变形,则在这种瞬间动荷载作用消失以后,由于阻尼力的综合作用,其振动变形不断衰减,最后仍能达到某一静止平衡状态。此时,结构构件虽然出现一些残余变形,但仍具有足够的承载能力及防毒密闭能力。由于结构构件在弹塑性工作阶段比在弹性工作阶段可吸收更多的能量,因此,可充分利用材料潜力。如钢筋混凝土受弯构件,在达到屈服后还要经历很大变形才会完全坍塌。因此,考虑结构构件的弹塑性性能,可承受更大的爆炸动荷载,具有较大的经济意义。

在防空地下室结构设计中,对只考虑弹性工作阶段的结构称为按弹性阶段设计,如砌体外墙。对于既考虑弹性工作阶段,又考虑塑性工作阶段的结构称为按弹塑性阶段设计,如钢筋混凝土的顶板、底板、外墙和临空墙等。在此需指出的是,对于非常重要或密闭要求高的防护结构,如钢筋混凝土防护密闭门的门框墙、防水要求高的结构等,仍限制在弹性工作阶段,应按弹性分析方法计算内力。

1.2 防空地下室结构设计基本原则和规定

1.2.1 设计原则

防空地下室是为战时防空袭服务的,所以其设计必须满足预定的防护要求和战时使用要求。防空地下室结构设计的核心有两个方面:

1. 防空地下室的结构设计,必须满足预定的抗力要求,在预定的爆炸动荷载作用下,防空地下室不能破坏,并具有足够的承载能力。

防空地下室的结构设计,应根据防护要求和受力情况做到结构各个部位抗力相协调。抗力相协调即在预定的爆炸动荷载作用下,保证结构各部位(如出入口与主体结构)都能正常工作,防止由于局部薄弱部分破坏影响主体,这是人防设计的指导原则。

相协调的主要内容包括:

(1) 出、入口各部位抗力相协调。例如通道结构(包括竖井)内的防护密闭门、防爆波活门等的抗力应相协调;

(2) 出、入口与主体结构抗力应相协调。防空地下室的主体结构、口部、防护设备的防护级别应相一致,防止由于局部破坏而影响整个防空地下室结构的防护密闭能力;

(3) 主体结构各部位抗力应相协调,如防空地下室中承受空气冲击波或土中压缩波直接作用的顶板、外墙、底板等。考虑到结构各部位作用的荷载值不同、破坏形态不同、安全储备不同等因素,为防止由于存在个别薄弱环节致使整个结构抗力明显降低,应按各自受力情况,通过建筑处理和结构设计,使主体结构各部位承载力相协调。例如,外墙、底板(基础)与顶板的结构承载力应相协调,不同跨度、不同高度结构构件承载力应相协调;

(4) 防护设备与主体结构抗力应相协调。防护设备是防空地下室战时使用功能的重要保证,防空地下室的最薄弱部位在口部,其防护能力也往往体现在口部。所以,必须根据规定,选定满足抗力要求的防护设备。

2. 防空地下室的结构设计,必须满足预定的密闭要求,在预定的爆炸动荷载作用下,防空地下室必须满足防毒要求和辐射防护要求。

对一般密闭、防水要求的防空地下室结构构件,可按弹塑性工作阶段设计。

在满足设计抗力及防毒密闭要求的前提下,为使结构构件在最终破坏前有较好的延性,应使其具有较好的变形能力。为体现抗爆概念设计思想,与抗震结构相同,钢筋混凝土结构构件宜实现“强柱弱梁、强剪弱弯”的设计准则。在抗爆结构中,应充分利用受弯构件和大偏心受压构件的延性。在构造上还应特别注意梁、柱节点区要有足够的抗剪、抗压能力和钢筋锚固长度。不论结构内力是按弹性分析或按弹塑性分析,都应将结构设计成最终为延性破坏而不是脆性破坏,这样可以提高整体结构的抗爆能力。即使作用在结构上

的荷载稍有增加和局部超载,也不致引起结构的倒塌,这具有较大的经济和现实意义。

1.2.2 一般规定

防空地下室应具有国家规定的防护能力及各项战时防空功能,是实施人民防空最重要的物质基础。

1. 防空地下室结构设计的主要特点是要计入战时规定常规武器或核武器爆炸动荷载的作用。

防空地下室的结构选型,应根据防护要求、平时和战时使用要求、上部建筑结构类型、工程地质和水文地质条件以及材料供应和施工条件等因素综合分析确定。

防空地下室结构的选型包括结构类别和结构体系的选择。结构类别一般采用钢筋混凝土结构。防空地下室的结构布置,必须考虑地面建筑结构体系,墙、柱等承重结构,应尽量与地面建筑的承重结构相互对应,以使地面建筑的荷载通过防空地下室的承重结构直接传到地基上。防空地下室应选用受力明确、传力简单和具有较好整体性、延性的结构。防空地下室钢筋混凝土结构体系常采用梁板结构、板柱结构以及箱形结构等,也可采用预制装配整体式(如叠合板)结构。当柱网尺寸较大时,也可采用双向密肋楼盖结构、现浇空心楼盖结构。

2. 防空地下室结构的设计使用年限应按50年。当上部建筑结构的设计使用年限超过50年时,防空地下室结构的设计使用年限应与上部建筑结构相同。

3. 甲类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载的分别作用,乙类防空地下室结构应能承受常规武器爆炸动荷载的作用。对常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载,设计时均按一次作用。

在规定的设计使用年限内,除了满足平时使用功能要求外,应能满足预定的战时防护功能。对于甲类防空地下室结构,取常规武器和核武器分别作用时最不利情况进行设计,不应叠加。

4. 防空地下室的结构设计,应根据防护要求和受力情况做到结构各个部位抗力相协调。详见第1.2.1条1款。

5. 防空地下室结构在常规武器爆炸动荷载或核武器爆炸动荷载作用下,其动力分析均可采用等效静荷载法。

爆炸动荷载具有不同于静力结构的特征,即在确定荷载和计算方面,具有其特殊的规律。在工程上为了便于解决实际问题,通常把这种爆炸动荷载变换为一种等效静荷载,这种方法称为等效静荷载法。按弹塑性工作阶段确定等效静荷载,按塑性内力重分布计算内力,可获得最佳经济效益。

(1) 采用等效静荷载法的基本假定和原则为:

1) 假定结构周边的爆炸动荷载同时均布作用在整个结构上;

2) 假定结构或构件为单独的等效单自由度体系,并按照某一假定的振型振动,不论在弹性或弹塑性阶段,认为振型的形状不变;

3) 用动力系数乘以动荷载峰值即可得到等效静荷载,结构构件在等效静荷载作用下所确定的内力和变形视为动荷载作用下所产生的相应内力和变形,这样就可以把动荷载视为静荷载。确定等效静荷载的数值时,按结构的工作状态分为按弹性阶段或按弹塑性阶段

计算确定,大部分结构构件通常按弹塑性阶段计算确定。

(2) 等效静荷载法的优点在于计算简单,并能沿用静力计算的公式和图表,仅材料强度取值不同。但它有一定的局限性,对一般防空地下室结构是适用的,对于大跨度和一些复杂的结构,宜采用有限自由度法直接求其动力解。

试验结果与理论分析表明,对于一般防空地下室结构,其动力分析采用等效静荷载法的误差可归纳为三种情况:

- 1) 挠度的计算误差最小,弯矩次之,剪力(支座反力)及轴向力最大;
- 2) 受均布荷载作用的结构计算误差比受集中荷载作用的结构要小;
- 3) 梁、板体系的计算误差比拱形结构要小。

试验证明,属脆性破坏的构件安全储备小,属延性破坏的构件安全储备大,为了协调这一不合理的状况,确保安全,“规范”在截面设计中对构件受剪与受压承载能力另有规定,对其适当给以加强。

6. 防空地下室结构在常规武器爆炸动荷载或核武器爆炸动荷载作用下,应验算结构承载力;由于在确定各种结构构件允许延性比时,已考虑了对变形的限制和防护密闭要求,可不再单独进行爆炸动荷载作用下结构变形、裂缝开展的验算。对钢筋混凝土结构,大部分结构构件可考虑进入弹塑性工作状态。

在爆炸动荷载作用下,地基承载力有较大提高,一般不会因地基失稳引起结构破坏。防空地下室结构在爆炸动荷载作用下的基础设计,可只按平时使用条件验算地基的承载力及地基变形,不进行战时动荷载作用下地基承载力与地基变形的验算。但为保证基础承载力,应验算战时动荷载作用下基础强度。

从防空地下室引出的各种刚性管道,应采取能适应由于地基瞬间变形引起结构位移的措施,如采取柔性接头。

7. 对乙类防空地下室和核5级、核6级、核6B级甲类防空地下室结构,当采用平战转换设计时,应通过临战时实施平战转换达到战时防护要求。

北京地区平战兼顾做法及规定见第12章。

8. 防空地下室战时与平时考虑的荷载效应组合不同,因此“规范”规定,防空地下室结构除按“规范”设计外,尚应根据其上部建筑在平时使用条件下对防空地下室结构的要求进行设计(计算和构造),遵守相应的设计规范、规程,并应取其中控制条件作为防空地下室结构设计的依据。防空地下室的构造与三级抗震一致,当所处部位抗震等级大于三级时,需符合所处部位抗震构造要求。

9. 北京地区原则上不允许防空地下室顶板底面高出室外地面,如果因条件限制不能做全埋式防空地下室时,必须经人防工程主管部门核准,并应符合“规范”第3.2.15条要求。

10. 当地下水位较高时,应验算防空地下室的抗浮。

11. 防空地下室结构的计算,应符合下列要求:

(1) 电算计算软件的技术条件,应符合“规范”的规定,并应说明其特殊处理的内容和依据。

(2) 计算模型的建立与必要的简化计算及处理,应符合结构的实际工作状态。

(3) 计算机计算的结果, 应经分析判断, 确认其合理、有效且无异常情况, 方可应用于工程设计。

12. 为节约钢材, 选用受力钢筋时, 对直径 $\geq 12\text{mm}$ 的钢筋, 除锚筋、吊筋、构造钢筋外, 不宜选用 HPB235 级钢筋, 宜选用强度较高的钢筋, 如 HRB335 级或 HRB400 级钢筋。

1.3 防空地下室结构设计步骤

防空地下室结构设计和一般民用建筑设计一样, 一般步骤是: 确定结构类别 $\rightarrow$ 确定结构体系 $\rightarrow$ 确定荷载组合(等效静荷载、静荷载) $\rightarrow$ 内力分析 $\rightarrow$ 确定控制内力 $\rightarrow$ 截面设计。

防空地下室结构在爆炸动荷载作用下, 其动力分析均可采用等效静荷载法。等效静荷载法可以直接利用各种现成的计算图表, 等效静荷载及静荷载确定之后, 防空地下室结构设计所依据的原则和计算方法与静力结构是一致的, 如已知荷载计算结构内力的方法, 结构构件变位、转角、弯矩、剪力间的相互关系, 已知内力进行承载力计算、截面配筋计算等, 仅材料强度取值不同、构件构造要求不同。

1.3.1 确定荷载组合

由于防空地下室战时荷载组合中不考虑一般活荷载, 所以在战时荷载组合中只包括动荷载和静荷载两类。动荷载指战时核武器或常规武器爆炸空气冲击波或土中压缩波形成的荷载, 动荷载分正压与负压。除特别注明者外, 设计中考虑动荷载的作用方向与结构表面垂直。静荷载指土压力、水压力、地面堆载、上部建筑传来的荷载、结构自重等荷载。静荷载的计算同一般民用建筑结构, 平时使用状态的荷载(效应)组合应按国家现行有关规范、标准执行。

防空地下室的结构设计, 正确确定等效静荷载具有重要意义, 应根据防空地下室的类别(甲类或乙类)、抗力级别、是否考虑上部建筑影响等因素确定防空地下室各部位结构构件的等效静荷载。选用“手册”中直接给出的等效静荷载时, 应注意使用条件。

防空地下室结构要按甲、乙类防空地下室进行荷载组合, 并取各自的最不利的效应组合作为设计依据。

甲类防空地下室需考虑常规武器和核武器爆炸动荷载的分别作用, 并取分别作用时最不利情况进行设计, 不应叠加, 故甲类防空地下室起控制作用的等效静荷载, 为常规武器和核武器分别作用时等效静荷载的较大值。

由于乙类防空地下室仅考虑常规武器爆炸动荷载作用, 其等效静荷载即为常规武器爆炸动荷载作用下结构构件的等效静荷载。

荷载组合的具体内容详见本“手册”第4章。

1.3.2 内力分析

“规范”在第4.10.1条规定: 防空地下室结构在确定等效静荷载和静荷载后, 可按静力计算方法进行结构内力分析。即将动力作用下求内力问题转化为静力作用下求内力问题。

内力分析时,宜根据结构类型、构件布置、材料性能和受力特点等选择分析方法:

1. 由于砌体结构是脆性材料,所以在内力分析中只能采用弹性分析方法;
2. 防空地下室结构的连续梁和连续单向板结构,分析时宜采用考虑塑性内力重分布的分析方法,其内力值可由弯矩调幅确定;
3. 承受均布荷载的周边支承的双向板,宜采用弹塑性计算方法。

防空地下室结构内力分析方法详见第5章。

1.3.3 确定控制内力

根据荷载组合计算出不同受力状态下结构构件的内力值后,应取其控制条件作为截面设计的依据。

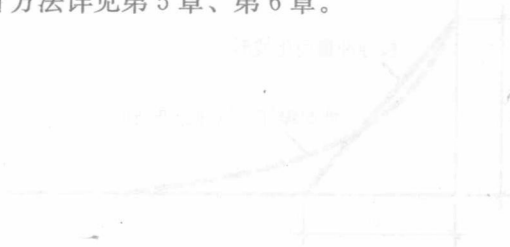
1.3.4 截面设计(承载力极限状态计算)

在动荷载和静荷载同时作用或动荷载单独作用下,防空地下室结构构件在承载力设计中采用材料动力强度设计值,其值为静荷载作用下材料强度设计值乘以动荷载作用下材料强度综合调整系数,其余基本上与地面建筑结构的截面设计相同。

当由战时荷载(效应)组合计算出的内力起控制作用时,防空地下室结构设计中不能直接采用静力作用下计算图表来进行截面设计,否则将造成不应有的浪费,这是由于加入材料强度综合调整系数后,使等效静荷载与等量静荷载并不等价。

当由战时荷载(效应)组合计算出的内力起控制作用时,防空地下室结构截面设计仅需验算结构构件承载力,不需验算结构构件的变形、裂缝开展。

防空地下室截面设计方法详见第5章、第6章。



第2章 常规武器地面爆炸参数及等效静荷载

2.1 常规武器地面爆炸空气冲击波、土中压缩波参数

常规武器是指核武器以外的一切武器，防空地下室抵御的常规武器主要指航空炸弹。

2.1.1 抗力级别为常5、常6级的防空地下室防常规武器作用应按非直接命中的地面爆炸计算，且按常规武器地面爆炸的整体破坏效应进行设计。不考虑常规武器的局部破坏作用。设计中采用的常规武器等效 TNT 装药量、爆心至主体结构外墙外侧的水平距离以及爆心至口部的水平距离，均应按国家现行有关规定取值。

2.1.2 在结构计算中，常规武器地面爆炸空气冲击波波形可取按等冲量简化的无升压时间的三角形(图 2.1.2)。

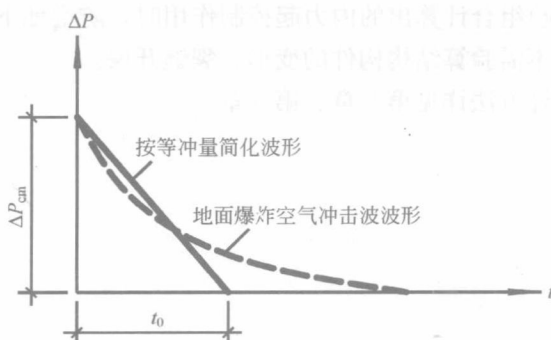


图 2.1.2 常规武器地面爆炸空气冲击波简化波形

ΔP_{cm} —常规武器地面爆炸空气冲击波最大超压(N/mm²)，可按“规范”附录 B 计算；

t_0 —地面爆炸空气冲击波按等冲量简化的等效作用时间(s)，可按“规范”附录 B 计算。

2.1.3 在结构计算中，常规武器地面爆炸在土中产生的压缩波波形可取按等冲量简化的有升压时间的三角形(图 2.1.3)。

2.1.4 对于防空地下室，由于上部建筑的存在，地面爆炸产生的空气冲击波需穿过上部建筑的外墙、门窗洞口作用到防空地下室顶板和室内出入口，在空气冲击波传播过程中，上部建筑的外墙、门窗洞口对空气冲击波产生一定的削弱作用，因此，在结构顶板及室内出入口结构构件计算中，当符合下列条件之一时，可考虑上部建筑对常规武器地面爆炸空气冲击波超压作用的影响，将空气冲击波最大超压乘以 0.8 的折减系数。

(1) 上部建筑层数不少于二层，其底层外墙为钢筋混凝土或砌体承重墙，且任何一面外墙开孔面积不大于该墙墙面面积的 50%。

(2) 上部为单层建筑，其承重外墙使用的材料和开孔比例符合上款规定，且屋顶为钢

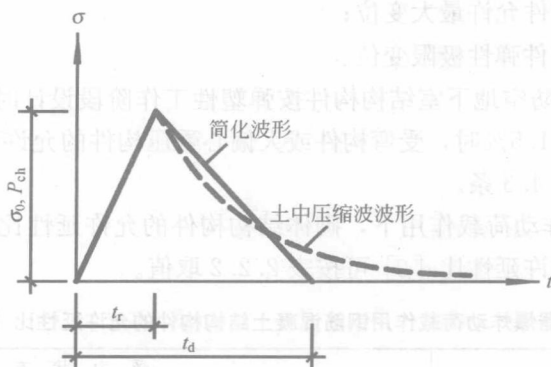


图 2.1.3 常规武器地面爆炸土中压缩波简化波形

P_{ch} —常规武器地面爆炸空气冲击波感生的土中压缩波最大压力(N/mm²),可按“规范”附录 B 计算;

σ_0 —常规武器地面爆炸直接产生的土中压缩波最大压力(N/mm²),可按“规范”附录 B 计算;

t_r —土中压缩波的升压时间(s),可按“规范”附录 B 计算;

t_d —土中压缩波按等冲量简化的等效作用时间(s),可按“规范”附录 B 计算。

钢筋混凝土结构。

2.1.5 常规武器地面爆炸时,作用在防空地下室结构构件上的动荷载可按均布动荷载进行动力分析。常规武器地面爆炸作用在防空地下室结构各部位的动荷载可按“规范”附录 B 计算(对常规武器爆炸动荷载进行均布化处理)。

2.2 常规武器爆炸动荷载作用下结构动力计算

2.2.1 防空地下室当采用等效静荷载法进行结构动力分析时,宜将结构体系拆成顶板、外墙、底板等结构构件,分别按单独的等效单自由度体系进行动力分析。

各构件之间支座条件应按接近于实际情况适当简化,并应相互协调一致。对于钢筋混凝土结构,顶板与外墙之间二者刚度接近,可近似按固端与铰支之间的支座情况考虑;底板刚度远大于外墙时,在计算外墙时外墙下部可视作固定端;单向连续构件,中间支座可按固定端。

对通道或其他简单、规则的结构,也可近似作为一个整体构件按等效静荷载法进行动力计算。

2.2.2 防空地下室结构构件的允许延性比 $[\beta]$

1. 防空地下室结构构件的允许延性比,主要与结构构件的材料、受力特性及使用要求有关。

允许延性比 $[\beta]$ 虽然不能完全反应结构构件的强度、挠度及裂缝等情况,但与这三者都有密切的关系,且能直接表明结构构件所处极限状态。

2. 防空地下室结构构件的工作状态可用结构构件的允许延性比 $[\beta]$ 表示,其值按下式确定:

$$[\beta] = [u_m] / u_0 \quad (2.2.2)$$