

Fanghu Gongcheng De

# 防护工程的

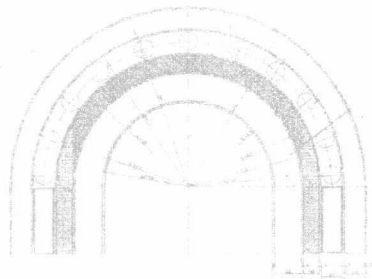
Jishu Jinbu

# 技术进步

范一新 章克凌 / 著

双向钢筋

高强RPC  
球柱



范  
新章克凌 / 著

# 防护工程的

Fanghu Gongcheng De  
Jishu Jinbu



# 技术进步

武汉出版社 

(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

防护工程的技术进步/范新,章克凌著. —武汉:武汉出版社,2008.5

ISBN 978-7-5430-3873-8

I. 防… II. ①范…②章… III. 国防工程:防护工程—工程技术 IV. E95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 053608 号

---

著 者:范 新 章克凌

责任编辑:李艳芬

装帧设计:刘 可

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

<http://www.whcbs.com> E-mail:wuhanpress@126.com

印 刷:武汉市爱民综合加工厂 经 销:新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.75 字 数:331 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定 价:38.00 元

---

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

# 前 言

工程防护技术是随着进攻武器的孕育运用而生的,历来都是伴随着武器的发展而发展,同时也深刻影响着武器的发展变革。随着高技术武器的不断出现、武器破坏效应的不断增大,工程防护技术也日新月异,并且已经从最初的单纯防御发展到了如今的攻防结合。各种新技术、新材料的不断研制,为工程防护技术的发展提供了丰富而有力的技术支撑。从某种意义上来说,工程防护技术已经不是一门单一的学科,而是多学科的综合体现。在新的工程防护技术不断涌现和发展的今天,了解和跟踪其最新成果和动态,是工程防护技术人员迫切关心的问题,也是出版本书的根本目的。

目前,防护工程抗武器软、硬杀伤的技术手段很多,由于篇幅所限,本书只阐述了工程上所常用的技术手段,主要包括主动防护技术、被动遮弹技术、防护结构与设备、伪装防护技术、电磁脉冲防护技术、工程隔震技术和深部岩体的工程防护技术等。对于每一种工程防护技术,重点关注了其研究和运用现状以及未来的研究重点和发展趋势,对于了解工程防护技术的运用和进展具有一定的参考价值。

本书综合了作者多年的研究成果,同时也吸收和借鉴了近几年来军内外工程防护技术专家的研究思路,对最新的工程防护技术进行了系统梳理。在这一过程中也得到了防护工程界许多专家的大力支持,在此谨向他们表示由衷的谢意。

限于编者的水平,本书不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008年4月

# 目 录

第一章 概述 .....	1
第一节 工程防护技术发展沿革 .....	1
第二节 工程防护技术国内外研究现状 .....	10
第三节 工程防护技术的研究重点 .....	20
第二章 主动防护技术 .....	26
第一节 主动防护技术的现状 .....	26
第二节 主动防护技术的应用与发展 .....	29
第三章 被动遮弹技术 .....	43
第一节 被动遮弹技术的研究及应用 .....	43
第二节 被动遮弹防护技术的发展 .....	75
第四章 防护结构与设备 .....	89
第一节 抗爆结构设计理论的发展 .....	89
第二节 工程防护设备技术现状与发展 .....	94
第五章 伪装防护技术 .....	106
第一节 伪装防护技术的现状 .....	106
第二节 伪装防护技术的发展 .....	126
第六章 电磁脉冲防护技术 .....	138
第一节 电磁脉冲威胁下的防护工程 .....	138
第二节 电磁脉冲工程防护技术的应用与设计 .....	150
第三节 电磁脉冲防护技术的发展 .....	167
第七章 工程隔震技术 .....	175
第一节 防护工程的爆震效应及破坏作用 .....	175
第二节 隔震技术与应用 .....	179
第三节 隔震技术的研究重点 .....	191
第八章 深部岩体中的工程防护技术 .....	205
第一节 深部岩体中工程防护现状及存在问题 .....	205
第二节 深部岩体中工程防护技术的研究方向 .....	218

# 第一章 概 述

## 第一节 工程防护技术发展沿革

古今中外战争都是作战双方攻与防的对抗。自从人类出现战争以来,“攻”和“防”这两种战斗形态就相伴而生了。在世界上仅存的几处古代崖画中,除了渔、猎、耕、织等场面外,还可以看到戎装武士一手握盾、一手执戈的图案,这是原始先民将攻防集于一身的形象反映。随着战争规模的扩大,战斗序列中逐渐有了侧重于攻或守的专业分工,有了负责用盾牌在队列前成横阵或环阵以抵御敌方兵刃矢石的盾牌手,也有了负责向敌人施放矢石的弓箭手,在他们的后面则是准备冲锋陷阵的车兵和步兵。攻方欲凭借其优势的兵力兵器摧毁对方的有生力量,灭其斗志,以夺取战争的胜利;防方则依靠“防御优势”保存自己、消灭敌人,并消耗其作战资源,以取得战争的胜利。在“防御优势”中,工程防护技术具有不可取代的地位和作用。运用防护技术构筑的防护工程在我国古代称之为“筑城”。它是战争的产物,是军队为保存和提高战斗力、改善作战地形条件而构筑的各种防御性工程的统称。随着科学技术以及相应的武器装备的发展,作战样式、作战方法和相应的军事理论的变化,工程防护技术的基本理论(筑城学)和形式以及相应的工程防护部署和技术也随之发展和变化。整个人类战争史,一直伴随着攻者利其器、守者坚其盾的发展过程。

中国历史上的筑城大致经历了三个发展阶段,分别是冷兵器时期的城池筑城和长城筑城、火兵器时期的炮台要塞筑城及现代的堑壕阵地筑城体系,集中体现了工程防护技术的变革和发展。

### 一、冷兵器时期的城池筑城和长城筑城

在冷兵器时代,作战兵器从石器逐渐发展为用青铜、铸铁和碳钢制成的戈、矛、刀、斧、剑、矢等,它们只有在短兵相接时才能发挥杀伤作用;进攻作战通常是组成密集的步兵方阵、战车方阵向敌人发起冲锋;后来逐渐出现了步、骑、车兵联合作战的多种阵形和战术变化。已经出土的秦始皇兵马俑,再现了战国末期战车与步兵混合编组的军阵场面。同一时期,防守一方则由利用地形发展到构筑城池,用城墙和护城壕构成环形的防御工程体系;在野战条件下,则“环车为营”或构筑壁垒、木寨,设置鹿砦、拒马以形成临时的防守据点。冷兵器及火器与冷兵器并用时期,永备筑城的主要形式是城池筑城和长城筑城。伴随着这两种筑城体系的发展,还出现了抗击骑兵的水障碍筑城和堡垒壕堑筑城以及海防筑城等筑城形

式,野战筑城在这一时期也有很大发展。它们在与兵器的长期对抗中不断地交替发展,丰富了筑城的理论和实践。原始社会后期,各部落、氏族为保障自身安全,提高生存能力,便在聚落外围挖掘环壕。如仰韶文化(公元前 5000—前 3000 年)早期的陕西临潼姜寨就是一个环壕聚落,这些环壕工程,就是筑城的雏形。

原始社会末期随着部落战争的增多和生产技术的进步,原始弓、弩有所改进,射程和杀伤力有所提高。这时环壕已不能有效地防护部落成员不受敌箭伤害,于是用土或石块构筑的围墙便应运而生。其作用主要是遮蔽敌箭、隐蔽行动和迟滞敌人。当部落战争不断扩大,发展到部落联合体之间的对抗时,战争性质也已变为掠夺对方的财物、人口为主。为了保护本社会集团的利益、财富,特别是为保护联合体军事指挥中枢所在地不被侵犯,又进一步构筑了比围墙更利于和便于防守作战的城堡。城堡的城墙,比围墙更高、更厚,上面可以机动兵力。它不仅能起遮蔽、障碍作用,而且可以保障防守人员居高临下用弓弩发射矢石、投掷石块和实施观察、指挥作战。野外考古,已发现从仰韶文化晚期至宝墩文化(公元前 2800—前 2000 年)时期的城堡数十处。

夏、商、周时期是城池筑城体系的出现阶段。城池是国家出现之后,为了更好地防护国家及地区的政治、经济、军事中心或战略要地,按照战术需要,构筑以墙、壕为主体,与其他工程设施及保障设施等共同组成的环形防御工程体系。城池筑城体系通常是以一座城池为一个单元构成,重要城池(如都城),也有以一座中心城池为核心,与外围数座关堡相结合,构成一个有机的工程整体。历代统治集团,都把构筑和加强城池,作为国家设防的重要标志。随着攻守城作战的日益增多和加剧,人们创造了多种攻城兵器和攻城战术,但由于以生物能为动力源的根本条件未变,所以在冷兵器时代,没有出现保证攻城必克的有效手段。进至冷兵器与火器并用时代后,攻城战术、技术有了质的飞跃,但受黑色火药性能及武器发展水平的制约,中国的火器,仍然难以攻破深沟高垒的城池,所以在整个古代,城池都是中国筑城的主要形式,它基本上覆盖了自夏至明的三千多年的历史时空。其中,夏出现城池,商形成了一套封疆制度,西周则建立起一个初具规模的国家设防体系,即王城—诸侯—采邑三级城池筑城体系,并有了城池构筑的规章制度。

春秋战国时期是城池筑城体系形成阶段,并且出现了长城。这一时期,战争性质、战争规模和作战样式等,都有了突飞猛进的发展。与之相适应,筑城也有了大的发展:城池体系中出现了马面、瓮城和角楼等设施,城墙构筑技术也有所进步,出现了夹板夯筑和小板夯筑。城池筑城体系已经形成,其整体形态是:城市外围有一至二道夯土城墙,墙内建有环城路和登城道,墙外侧有三四道人工障碍,凡远射兵器射程内的地区,平毁一切地物,以扫清射界、视界,距城 5000 米处,有一道环形警戒工事,城外要地还筑有据点(亭)。在特别重要的位置,甚至构筑由几个支撑点组成的大据点,以一部兵力防守,以迫使敌军过早展开,迟滞其行动,为守城部队争取更多的准备时间。另在通往国都或其他主要城池的道路上,每隔一定距离,建一邮亭,用以保持与外界的通信联系。城池本身的工程设施,城上筑有突出城外(用以侧射)的木楼,筑有阻止已登上城墙敌人向两翼扩张的土楼和隔棧,设有遮蔽矢石的渠答(木牌)、累答(绳索防护帘)等,城墙上掘有突门,用以出城反击,城外挖有陷阱,外壕

上建有可翻转的转关桥,备有随时可撒布成障碍场的铁蒺藜等。此后城池的防御设施,虽有不少的补充和改进,但在整个古代,基本上没有超出这时的整体框架。为了保卫国家的领土不被侵占,各国除加强心腹地区的城池外,在边境地区,大多构筑了城、塞等军事据点。随着步兵地位的提高和骑兵成为独立兵种,战争的突然性和机动性愈来愈大,仅靠断续点式的城塞,已难以有效地保卫边疆。为了阻止、迟滞敌人,争取时间,集中主力,各国在威胁最大的方向上,构筑墙、壕,逐步将边境上的城塞联结起来,形成长达数百里、上千里的点线结合连续式防御工程,人们称之为长城。长城构筑始于春秋战国之交,经过秦汉的大规模构筑,直至明代发展到完善阶段。

野战筑城是由于战术的高度发展,出现了野战防御,为避免不利条件下的决战,预防敌人突袭,在临战前或作战过程中构筑的临时性阵地工程。它的主要形态,仍是最常见的环形工事,阵地编成基本上与城堡相同。战国时期的野战筑城,是一座座急造城堡,以土石垒墙,外筑壕沟,并设置障碍,通常用于军队野外宿营,或与敌作较长时间对峙,称为城营。此外,还广泛利用战车组成野战防御工事,即将战车相连,外布蒺藜等障碍物,车旁树立防盾,长短兵器和弓弩交错配置于车后,组成车营。

秦汉时期城池规模进一步扩大,如郭外建郭的长安城。阵地上既有分散配置,也有集中配置,更有外围设防的城池,防御纵深明显加大。长城筑城体系也基本形成,这一时期,与北方匈奴等族的民族战争和农民战争,成为主要战争。为对付游牧民族来去无常的骑兵突袭,进一步巩固边防,秦王朝在战国原北部长城基础上进行增筑、改建,联结成一条西起临洮,东至辽东,延绵 5000 余公里的“万里长城”。汉王朝更进一步加以扩建,不仅将长城西端延伸至今新疆的罗布泊,而且在阴山以北还增筑了一条复线的“武帝外城”。汉长城较之秦长城,长度增加了近一倍,成为世界最长的军事工程,工程设施也更加坚固、完善。重要地段还增筑了多道重墙和城障,加大了防御纵深。它不但用以巩固北疆,也作为反击出发阵地,同时还起着一定的威慑作用。

魏晋至隋唐时期的战争,主要是各军事集团争夺统治的战争,而这时的作战方式也并未发生质的变化,仍然是以密集的战斗队形,持冷兵器进行战斗。因而,在筑城上也没有发生大的变化,仅在城池筑城方面,有局部的改进和提高。如瓮城、马面等工事已逐渐普遍,并出现了可进行侧射、反射的城外独立弩台,“冯垣”发展为一道防御工事“羊马城”;特别是随着大型强弩威力的增大,筑城材料也发生了变化,由以往土筑为主,发展为用青砖加固等。

宋辽夏金元时期骑兵战术高度发展,步兵抗击骑兵的作战,成为最主要的作战形式,筑城随之也有了新的发展。宋朝建国之初,就处在与辽和西夏对峙的战略格局中。为防遏辽骑的长驱直入,在河北中部,沟通湖泊塘泺,建成从今保定东至东海的水障碍筑城体系。对西夏,则在西起祁连山、东北至山西大同的沿边地段上构筑了堡寨壕堑筑城体系,以阻限夏骑的奔驰;并进而采取逐次进筑堡寨的战略,进逼西夏。南宋建国江南后,为防御金和蒙古骑兵的进攻,在荆湖两淮地区设置水障与城塞相结合的多重防线,在四川则构筑据山依水的山城筑城体系,把中国的筑城,又推进了一步:由点、线的筑城体系,发展为面的筑城体系。



南宋军在陕西进行山地野战时,为抗击强大的金军骑兵集团,吴玠还创造了工事与地形紧密结合,编成两线阵地的野战筑城迭阵。在金骑必经、必攻而地形又对骑兵行动不利的要地,乘险据隘构筑营寨,再在后方要地上构筑第二线营寨;阵地前沿“以拒马为限,铁钩相连”,并在更远的前方平坦之处,“引水纵横,名曰地网,以遏敌冲”。部队则采用梯队纵深配置,实施“分番迭射”和“番休迭战”等战术,曾以此大败金军精锐骑兵主力部队。金灭辽后,蒙古兴起,为防御蒙骑,在其北部边境,构筑了长达数千里的由壕、墙、堡寨组成的长城筑城体系,即金界壕(边堡)。

明代长城筑城体系发展到一个新阶段,出现了海防筑城体系,同时城池筑城体系也发展完善。这一时期的战争,在性质和方式上,较之前代已有了质的变化。不但有抗击北方游牧部族骑兵的国内民族战争,而且有抗击由海上入侵的外国势力的反侵略战争。这时的火器、特别是管形射击火器的枪、炮,已发展至古代的高峰,火战也已逐渐成为战斗的主要内容。为了巩固边防,明王朝利用长城旧址,经过 18 次增筑和修葺,完成了西起嘉峪关东至鸭绿江、全长 6000 余公里的长城筑城体系。在阵地编成、工程构筑和建筑技术等各方面,都超过了前代。

为了加强海防,在前代局部海防的基础上,明代在北起鸭绿江、南至钦州湾的海疆,构筑了以海岛水寨、卫所城堡、炮台等战斗工程与巡检司营、烽台、塘铺等警戒通信工程组成的整个海防筑城体系。

由于火器的威力还不足以摧毁高厚坚固的城墙,所以城池筑城体系仍未能得到飞跃发展。只是在射击、防护、屯兵等设施方面,有了较大的提高。如洪武时构筑的世界最大的南京城和永乐时扩建的北京城,都是古代工程设施最为完善的城池筑城体系。城池规划更侧重于从实战出发,如明南京城因地制宜,将重要的制高点都圈进城内,作为防守的依托,削减城墙的高度,以减小被弹面;增加防御纵深,对出入口的防护更加注重,如南京聚宝门五洞四墙的城墙尤为突出;构筑材料必坚必固,砖砌墙、条石墙已非常普遍。

这一时期在筑城上比较突出的特征,是明末出现了爆炸性障碍物、壕堑筑城和海防筑城中的炮台与碉堡。如戚继光守蓟镇、郭登守大同时,都曾布置过由地雷群组成的障碍场;李自成攻归德、郑成功守海澄时,曾挖过散兵避弹坑和掩蔽部,这种壕堑筑城可以说是后来壕堑阵地筑城体系的萌芽。由于明代火炮的制造和使用已很普遍,海防筑城中有了野外炮台、碉堡等设施,以供炮、铳射击。清王朝在此基础上,逐渐发展为炮台式要塞,这是鸦片战争后中国筑城进入炮台要塞筑城体系发展阶段的先声。

## 二、火兵器时期的炮台要塞筑城

从 1840 年鸦片战争开始到 1911 年民国政府成立这一历史时期,在中国近代筑城史上是以炮台要塞为主要形式的时期。

19 世纪以来西方资本主义国家的军队不断地由海上陆上入侵中国。清政府为了加强海防、边防,在沿海沿边各要隘构筑了炮台式要塞。虎门要塞、厦门要塞、闽江要塞、吴淞要塞、大沽口要塞、旅顺要塞、大连要塞、威海卫要塞、广西边防要塞等,都是选设在各个重要海

口、海岸和边防的,分别称为海口、海岸和边防要塞;江阴要塞、镇江要塞是设在沿江险要地段上的,称为江防要塞。各个要塞都由要地上的炮台组成,共同完成该要塞区的防御任务。

从第一次鸦片战争开始经过了第二次鸦片战争、中法战争、中日甲午战争等,外敌均由海上入侵中国,而中国在重要海口海岸均设有炮台要塞。但是,除少数战役(或战斗)取胜外,大部分反侵略战争皆遭失败。固然是由于军事上、政治上腐败所致,而炮台要塞的落后也是直接原因之一。

由于资本主义国家科学技术的迅猛发展,制炮技术获得质的改变,炮弹采用无烟火药,炮改为线膛炮以及延期引信的使用,使得火炮对城池的破坏作用增大。高大的炮台城墙,目标既暴露强度又不足,很容易被炮火打开缺口。因此清军开始将城墙高度降低,厚度增加以提高其防御能力和减少被弹面。

城墙高度降低一半,被弹面理论上减少一半。但是城墙高度越低,障碍能力越小。而且城墙上的城楼、角楼、雉堞、战棚等设施目标大、强度低,不足以抵抗火炮的攻击,于是清军将城上的这些设施搬迁到地面,并选择在要地上,用墙围起来以起防护作用,并增加了弹药库、置炮台等设施,形成了一种新的筑城样式——二“炮台”,许多个这样的炮台共同防御一个重要作战区域形成炮台要塞。

炮台式要塞筑在陆疆、海防和纵深要地,构筑以数座炮台为骨干,炮台中包括防护设施、指挥观察设施、战斗设施、训练居住设施、粮秣武库,并设有障碍物配系,配有常驻守备队,是一种永备筑城。

清代炮台要塞按其地理位置、战术任务及在设防中所起的作用,分为海岛要塞、海口要塞、海岸要塞、江防要塞四种。海岛要塞用来巩固近海安全,掩护海口和海岸的守备,是海岸设防的前哨和屏障,如长山要塞、舟山要塞、澎湖要塞、安平要塞等。

海口要塞用来扼制海口,巩固海湾海港以保卫内陆重镇的安全,如虎门要塞、温州要塞、镇海要塞、吴淞要塞、大沽要塞等。

海岸要塞用来巩固和防守海岸、海湾、海港城镇的安全,并以舰船和兵器兵力支援海岛和海口的作战,如福州要塞、厦门要塞、乍浦要塞、威海要塞、烟台要塞、山海关要塞、旅顺要塞、大连要塞等。

江防要塞用来控制某段江河及沿江两岸的战略战术要点或战略要地的安全,如江阴要塞、江宁要塞、镇江要塞等。

晚清海防炮台要塞的发展,大致可分成两个阶段:从第一次鸦片战争到第二次鸦片战争为第一阶段。这一阶段的筑城是在明代遗留下来的城墙壁垒旧炮台基础上加以改造加强,企图使其能抵御敌炮的轰击。但是,在第一次鸦片战争中,终因清军的海岸火炮无论从射程上、命中精度上、杀伤威力上以及火炮的数量上都远远落后于英军而失败。战后,丁拱辰、黄冕等人在分析战争失败原因的基础上,曾借鉴西方炮台的建筑样式,用在三江要隘(珠江、闽江、浦江)的炮台改建中,使炮台的防护能力得到加强。在北方,清政府在第二次鸦片战争中抗击英法联军第二次北犯,在整修大沽口炮台时,也依据当地特殊的地形特点,采取了重重深沟、坚厚壁垒的办法重创英法联军,取得一次辉煌的胜利。

第二次鸦片战争后中国炮台要塞筑城进入第二阶段。这一阶段表现在摒弃原有炮台模式,完全仿照西方炮台来改建中国的炮台。这时,清朝政府曾发文要求各省口岸应筑炮台并宜一律仿照西方新的样式。为此,不仅派工程技术人员赴西欧进行考察,还直接聘请外国要塞专家到中国参加炮台要塞的选址定位勘察设计和监督施工。其中有一些外国要塞专家还获得清廷的封官加赏。在这次重建海防中,清廷集中财力物力,着力加强京畿外围的渤海三角防御体系。在大沽、旅大、威海等要塞中建筑了一批当时堪称一流的炮台,购置了一批先进的西方火炮;在厦门、镇海、虎门等要塞,也依靠地方政府自筹经费,修建了一些新炮台并安设了西方先进火炮。但是,从要塞体系上来看,炮台的修建仍是孤露呆立,未能充分地利用山地构筑更多的暗炮台及屯兵坑道并以与炮台外围较大纵深的野战阵地相结合,采取积极防御的战略方针和战术手段。甲午战争后,由于清政府受到条约束缚,财政极绌,再没能力对海防进行大规模的重建,但小规模炮台建设一直延续到民国成立。

晚清的各炮台要塞因防御任务各异,地形不同而形成不同的设防样式。如虎门要塞是沿珠江从海口通往广州的险要地形上构筑三道防线;镇海要塞是利用甬江入海口的两岸山地,构成重点的坚固防御地带,是环绕在城市的周围利用山地构成对海、陆正面的防御圈,并根据敌主要火炮打不到所防御的城市,而使得炮台的位置离开核心城市约4公里。

大沽要塞是将大沽海口区、北塘区和新建的支撑点城市新城三处防御要点成犄角配置的炮台要塞,而将机动用的预备队驻防于三角形的中心区域,以便随时准备反击危急方向。而江阴要塞是沿长江两岸的一段江面狭长地区,设置数座炮台,以封锁长江。

在每座炮台的设计上,也是伴随着火炮的发展以及敌进攻战术的特点不断加以改进的。例如:为了防御敌人从后路迂回,在围墙上开了射孔,大炮台环接小炮台和耳炮台,使小炮台兼顾后路,并起到内堡的作用。

从露天炮台发展为利用山地构筑坑道或暗炮台也是经过实战得出的一条成功的经验,这样在战斗中可以大大减少伤亡率,提高炮台的生存能力。例如镇海要塞在金鸡山挖掘出的坑道可容纳二三千人,并与各炮台相通,以便于反冲击和策应各炮台,同时在金鸡山险要处修筑暗炮台。

从密集到疏散配置炮台火炮,也是从战争中获得的一条经验。例如虎门威远炮台的月台炮洞原是沿江岸一字排开、紧密相靠的几十门火炮工事,发展到镇海、大沽口要塞时的将炮台工事疏散配置、将有利地形上的各个炮台共同组成的防御体系,还有从一线式配置发展到纵深配置的如旅顺要塞。

从孤立的炮台发展到在炮台周围险要地形上构筑步兵战斗用的壕沟、地营,以代替高大的围墙来增强抗炮火能力。还有构筑地下的野战掩壕、地营工事,不仅大大减少了伤亡,也提高了要塞防守的稳定性。

高耸的围墙和特别突出的高大炮台,即使防护顶盖和围墙再厚,也挡不住猛烈炮火的破坏,因而江阴要塞的高围墙炮台后来改为许多小圆形炮台,而威海卫要塞刘公岛上则构筑隐显式地阱升降火炮炮台。

在建筑材料上,由原来的砖石结构发展到三合土结构,在整体性和抗炮火能力上都有

了较大的进步。并且利用以柔克刚的原理,在镇海要塞的炮工事墙外用三合土及棕麻、棉絮层层加固到3米多厚,使炮弹命中这种柔性防护层即变成哑弹。

在障碍物设置上,从虎门要塞在第一次鸦片战争时使用的单纯的筑城障碍物(铁索、桩砦、沉船等)发展到以爆炸性障碍物(地雷、水雷)与筑城障碍物相结合,并在更有效的火力瞰制之下,大大提高了障碍物的杀伤威力和震撼力。

### 三、现代的堑壕阵地筑城体系

现代中国筑城与世界筑城的演变联系更为密切。就世界范围来说,筑城进入堑壕阵地体系的初始阶段是在19世纪末。这一时期,西方列强的武器装备有明显的改进:火炮由滑膛炮改为线膛炮,由实心弹发展为榴霰弹,提高了射击精度,增大了杀伤面积,射程增加近千千米。

步兵装备了线膛步枪,提高了射速、射程和命中精确度。机关枪、迫击炮、手榴弹、喷火器等近战兵器纷纷出现于战场。武器装备的变化导致战术的变革,冲击队形由密集阵式向散兵线发展,在攻击方式上既有正面强攻,也有翼侧迂回和包抄。20世纪初,日俄战争中使用机关枪和铁丝网,展示了火力战的前景;同时表明,步兵和炮兵的低伸弹道火器对掩盖工事和散兵坑内的敌人无能为力。有人预言“武器的威力使进攻和机动难以进行,下次战争将是堑壕战”,可以说堑壕阵地筑城已初露端倪。但当时,占主导地位的筑城思想仍然是炮台要塞筑城,外线疏散的堡垒式要塞成为第一次世界大战前欧洲各国国境筑城准备的基本形式。

第一次世界大战时,铁路、电报、电话等现代交通、通信设施已很发达,大大提高了部队的机动能力。战争中,绝大多数要塞迅速陷落,反映出孤立、环形的炮台要塞筑城已经不能适应现代化军队的作战行动。对峙三年之久的堑壕战,特别是凡尔登防御战的成功,标志着新一代筑城——堑壕阵地筑城体系的诞生。

经过第一次世界大战,欧洲国家纷纷摒弃炮台要塞筑城。取而代之的,确立了堑壕阵地筑城体系成为战后国境筑城的模式。阵地体系包括前进阵地带、主要阵地带和后方阵地带。主要阵地带纵深3~5公里,由正面1.2公里(可达5公里)、纵深0.8~1.0公里(可达3公里)的防御地域并列连续配置组成;或由正面、纵深较小的防御支撑点,成间隙(3.5公里)断续配置组成。这样的筑城规模反映了当时欧洲军队的兵力部署和火力控制的能力。

第二次世界大战期间,坦克、飞机成为主战武器,战争以“摩托化”、“闪击战”为特征。通过这次战争,堑壕阵地筑城体系得到进一步发展。由一系列防御支撑点(或枢纽部)组成筑城阵地——地带——地域。筑城地域由保障地带、主防御地带、第二防御地带和后方防御地带组成。防御地域的纵深达100公里,强调筑城地域必须有可靠的翼侧依托,重视障碍和伪装,也强调战争过程中实施野战筑城以及保持和运用战役预备队的积极作用。

第二次世界大战结束前,出现了原子武器和导弹。战后50—80年代冷战时期,核武器、洲际导弹作为战略威慑手段不断发展,军事行动无不以核条件为背景。对防护核生化武器的筑城工事进行了大规模的试验研究,也肯定了堑壕及其他野战工事对核武器防护的有效

性：堑壕阵地筑城体系进一步增大其正面和纵深。

19世纪末，清朝政府在依赖炮台要塞采取消极防守战术抵抗列强侵略屡遭失败的情况下，在向西方国家购买武器、引进其操法战法训练新军的同时，对筑城设施也有所改革，不再沿袭炮台式要塞的筑城陈规，而是提倡设置沟垒，主张在要塞之前或各要塞的间隙地上，断续挖掘一些简单的壕沟，作为野战军的战斗阵地。1885年，中法战争中，滇军丁槐部、桂军唐景崧部在攻克宣光南门炮台时，创造了“地营”等多种野战筑城方法，在敌猛烈炮火下保存了实力，大败法军。这是筑城由地面上转向地面下的先声，预示以“壕堑”为主体的阵地筑城体系的来临。

1895年，中日甲午战败后，姚锡光、孔广德等人提出要“精筑壕垒”。1900年（光绪二十六年），湖北讲武学堂按此精神编印新教材进行讲授；1910年（宣统二年），陆军部颁发的《新步兵操法》中明确提出了“防御阵地”这个概念并拟定了设置阵地的目的与构筑方法。

民国初年军阀战争时期，作战方法与筑城运用基本上还停留在清末的水平。1930年前后，国民政府陆续翻译德、日等国的筑城教材，派遣留学生学习外国筑城理论，聘请外国顾问参加中国江海防的筑城设施策划。“一·二八”（1932）和“八一三”（1937）淞沪抗战表明，所构筑的永备筑城阵地，纵深甚浅，缺乏弹性，不能抵御敌人进攻。利用水网稻田和旧城垣构筑的野战工事，虽能发挥一定作用，但抗力较差，难以持久抵御敌优势海、空军和炮兵火力的轰击。抗日战争中的野战阵地未能突破浅纵深一线式的格局。长江中上游的沿江要塞，一面运用沉船、水雷封锁航道，一面掩护陆上阵地的翼侧，阻敌沿江西上。

坑（地）道的重要性在抗战中得到初步认识，在大后方防敌机轰炸中，坑道发挥了重要作用。华北抗日军民在敌后广泛展开的游击战争中，构筑和运用地道与日寇英勇斗争，牵制、消耗敌军，有力地配合了正面战场的作战。

八年抗战，筑城有了一定的发展；工事强度提高，还有部分地下工事；野战阵地的正面、纵深增大，有了数道阵地带（通过第二次世界大战，野战阵地普遍采用2~3道防御地带，纵深超过20公里）。

1933—1934年国民党军对中央苏区第五次“围剿”以及抗日时期对陕甘宁根据地封锁，大量采用子碉堡筑城；到1946—1949年的大规模内战中，发展成以子母堡为骨干的支撑点式环形防御阵地筑城。

人民解放军在攻击国民党军坚固设防城市和坚固防御阵地的作战中，掌握了包括进攻筑城（坑道作业、近迫作业）在内的攻坚方法，为堑壕筑城积累了丰富的经验。通过四年作战，建立了独立的工兵部队，为新中国建立后工程兵建设和筑城的发展奠定了基础。

1950—1953年，历时三载的抗美援朝战争，充分显示了筑城在现代战争中的重要性。志愿军在战争的战略反攻阶段，在敌狂轰滥炸下快速推进，工兵部队需要不断地为部队、重装备和后方地域构筑掩体，而为抗击敌人反扑更需要修筑野战阵地。到了战略相持阶段，作战样式由运动战转变为坚固阵地攻防战，面对敌人的强大火力，志愿军创造性地大量构筑坑道工事，把单纯用于防护的坑道发展为能藏、能打、能生活、能机动的坑道筑城体系，创造了以坑道筑城为骨干的坚固阵地防御样式，将堑壕阵地筑城推进到一个新的完善的发

展阶段。在对付集群坦克方面,志愿军创造了防坦克网状阵地的有效斗争形式,成为70年代网状阵地反集群坦克战法的先驱。

1952年冬,针对美国大规模登陆作战的企图,我军在朝鲜半岛东西海岸构筑了连绵的永备筑城坚固阵地,严阵以待,迫使艾森豪威尔放弃了扩大战争的计划,签订了停战协定,成为筑城发挥威慑作用“不战而屈人之兵”的典型范例。

50至80年代,中国先后处于美、苏超级大国的包围、威胁之下,在随时准备迎接核时代全面战争背景下,对于国防工程建设十分重视。30年间在东南沿海、北部边境以及其他周边地区构成了以坑道工事和掘开式永备工事为骨干的严密的国防工程体系;与之相适应的核武器效应及其防护的研究接近世界先进水平;同时,对野战筑城不断进行试验研究,推出了多种系列新型野战工事装备器材;随着现代作战理论的发展,对于阵地体系与阵地编成方面的学术研究也有重要进展。

70年代,全国大中城市掀起了构筑人防工事的热潮,提高了我国对于全面战争的防御能力。尔后,转为经常性的人防工程建设与维护管理。城市防卫与城市建设规划相结合,进一步与防灾减灾和地下空间的开发利用相结合,寓军于民,建立起国防建设与国家经济建设协调发展的新格局。

80年代,电子技术和计算机技术广泛应用于军事领域,精确制导武器等一系列高技术兵器投入使用。使几次局部战争初步呈现出高技术战争的性态。90年代初的海湾战争被认为是现代高科技战争的雏形,标志着人类战争的历史由“机器战争”时代进入“信息战争”时代。战场的立体性、流动性日益突出,使比较固定的、连绵的堑壕阵地筑城显得难以适应,筑城体系又面临着一次新的重大变革。

80年代中期,特别是进入90年代以后,国际形势发生深刻变化,针对我国的全面战争威胁减弱。中央军委作出国防建设、军队建设方针实行战略性转变的重大决策,要求从长期立足于“早打,大打,打核战争”的临战准备状态转入和平时期建设轨道,在增强综合国力的基础上提高军队战斗力。在准备打赢高技术条件下的局部战争的战略方针指引下,全军对与优势之敌相抗衡的武器发展战略以及高技术条件下的战法展开全面的研究。传统的筑城技术,在新一代“矛”与“盾”的角逐中,不得不从设防布局到实施手段进行系统的研究和变革,以适应未来可能发生的不同强度、不同技术水准战争的需要,这是今天筑城工作者的职责,也是全军、全民关注的事业。

综上所述,从中国筑城发展史可以看出,进攻与防御是一对相生相克、交替发展的矛盾对立物。每当一种新的武器系统问世,就会使原有的防御手段显得相形见绌,必须做出必要的改进和提高,于是就会诞生新的筑城工程防护技术。当前正在进行的世界新军事变革,正在极大地改变着战争的面貌和形态。特别是信息化武器装备的飞速发展、作战理论的重大变化、作战样式的根本转变等等,给防护工程带来了巨大的影响,防护工程面临着严重的威胁与挑战。同时,新军事变革也使防护工程在高技术战争中的地位更加突出,作用更为巨大。防护工程正在迎来其进一步全面发展的新的战略机遇期。

## 第二节 工程防护技术国内外研究现状

工程防护技术研究是防护工程长远发展的基础。当前,新的作战理论、作战方法层出不穷,军事技术、武器装备发展迅速,特别是钻地武器等精确打击武器和电磁脉冲、计算机病毒等进攻性武器的发展日新月异,给防护工程提出了严峻的挑战。为适应高技术战争条件下的作战需求,进一步提高防护工程,特别是指挥防护工程的防护能力,世界各国均不同程度地加大了工程防护技术的研究力度。

1994年,美国国防部根据工程建设需要,制定了2005年工程防护技术发展规划,提出了主要技术发展目标和重要科研课题。如编写工程伪装、隐蔽和欺骗设计指南,提高工程伪装、隐蔽和欺骗的设计分析水平,使工程被探测概率减少50%;编写以个人计算机为基础的加固结构设计手册,提高结构设计分析水平,增强防护结构抵御新型精确制导武器能力;研制轻质、高强、高韧性材料构件,构造5~6倍常规混凝土强度的加固结构,将防护结构的抗力成倍提高;研制电磁屏蔽性能更好的便宜的导电复合材料,将防护工程电磁屏蔽性能显著提高而屏蔽费用却减少50%;研究防护工程加固改造的自动化评估技术,维修管理技术,设施恢复技术及减少能耗的技术等,使工程设施的维修、管理经费减少20%,能耗减少30%。此外,美国还加强了与加固改造技术密切相关的武器杀伤力和结构易损性研究,为工程加固改造提供了基础数据和设计依据,使工程加固改造技术水平得到进一步提高。

目前,工程防护技术的研究主要集中在以下几个方面。

### 一、武器对工程的破坏效应研究

武器对工程的破坏效应包括武器爆炸空气冲击波和地冲击诸参数自由场衰减规律及与结构相互作用的结构响应、结构破坏等方面。当前,国外研究的重点主要有钻地武器破坏效应,多弹爆炸效应、大威力武器侵彻爆炸破坏效应的计算机模拟等几个方面。

#### (一) 钻地武器破坏效应研究

在钻地武器破坏效应方面,美国在20世纪90年代研制成功了B61-11钻地核炸弹,可钻土50多米,钻岩石3~6米,爆炸当量300~300000吨,是同当量触地核爆炸破坏效应的几倍至十几倍;美国研制的GBU-28等常规钻地制导炸弹,可钻土30米以上,钻混凝土6米左右,对防护工程威胁极大。因此钻地核武器和常规武器爆炸对深地下工程破坏效应成为当前美俄等国正在深入研究的重要课题。目前,美国在钻地弹的钻地深度计算方面已进行了广泛和深入的研究,提出了5种理论计算模型、6种经验计算公式及50多种计算机程序,但由于岩石、土壤、混凝土等材料性质过于复杂,理论计算成果目前均不能应用于工程设计实际,预计在21世纪初可获得供工程设计应用的理论计算成果和完善的实用经验计算公式。深钻地弹钻入结构内部爆炸接近于封闭爆炸效应,通过试验研究已总结出经验计算公式和方法。预计在21世纪初能提供工程设计应用的理论计算成果和完善的实用计算

公式和方法。

## (二)多弹爆炸效应研究

在多弹爆炸效应研究方面,自 20 世纪 70 年代初以来,美国对多弹同时和非同时爆炸的空气冲击波、核辐射、热效应、地冲击、核电磁脉冲等效应进行了大量的试验研究和理论分析计算。经 20 多年的大量研究表明,多弹非同时爆炸的重复冲击波、核辐射及核沉降效应等研究成果比较成熟,如重复冲击波和弹坑效应已编入防护结构设计分析手册。多弹同时和非同时爆炸的聚集地冲击和重复地冲击效应,虽然有些理论计算成果与试验数据比较一致,但推广应用于工程设计还有很大距离。

钻地弹的研制及其对深地下坚固战略工程的综合破坏效应是美国 1983 年以来重视并抓紧研究的重要战略课题。当前,美国各种战术钻地弹头已经问世并相继装备部队,战略钻地弹已进入试验性研究阶段,并被列入未来核设计的三大技术之一。各种不同当量的钻地弹对深地下战略工程的破坏效应,已成为美国陆军工程兵水道试验站、桑地亚国家实验室、计算物理研究所等研究部门深入研究的重大课题。

摧毁深地下战略工程的最佳袭击方式是上述重大课题的一个重要专题。从近期美国已公布的文献来看,其主要袭击方式可能有两点:一种是通过多弹头命中点的合理布置,采取同时触地爆炸或钻地爆炸,在布置区中心处(主体工程顶部)产生聚集地冲击效应摧毁战略目标;二是多弹头以一定的时间间隔连续袭击命中一个点,摧毁战略目标。前者称为“聚集爆炸效应”,后者称为“重复袭击效应”。海湾战争后,美国成立了一个“连创奇迹”课题组,即研究以四枚 2000 磅激光制导炸弹连续袭击命中一个深地下坚固目标,摧毁一枚制导炸弹不能摧毁的战略工事,就是以袭击效应破坏坚固目标的典型研究课题之一。

众所周知,苏联 SS-18 洲际导弹携带十个核弹头,每个弹头的爆炸当量为 50 万吨,是威胁美国深地下战略工事生存的最强大武器。因此,美国对“聚集爆炸效应”的研究,正是以此类袭击武器为背景。重复袭击的地冲击效应和弹坑效应等成果已编入抗核武器效应结构设计手册。聚集爆炸效应尚处于试验研究阶段。多弹头触地爆炸或钻地爆炸的聚集地冲击效应,是当前美国核武器效应专家和防护专家们研究的重点和难点。美国将其作为战略进攻的一种手段,投入了大量的人力和物力。

## (三)大威力武器侵彻爆炸破坏效应研究

大威力武器(爆炸当量在 200 千克以上的各种武器)侵彻爆炸破坏效应包括弹头侵彻、爆炸空气冲击波、弹坑、地冲击、结构响应和结构破坏等。美国已进行了核武器和非核武器工程破坏效应的统一计算机模拟研究,空气冲击波、弹坑、地冲击和结构响应等破坏效应的综合计算机模拟研究,并进行了大量的单一破坏效应的计算机模拟研究。先后有 10 多个单位参加研究,共研制了数十种计算机程序。当前,空中爆炸的火球、烟云、空气冲击波及空气冲击波荷载等一、二维计算机模拟比较成熟,复杂结构上的三维空气冲击波荷载及结构响应的模拟尚待完善,简单介质中侵彻、爆炸、成坑、空气冲击波、地冲击及地下结构荷载等一、二维计算机模拟已取得了某特定条件下可供应用的研究成果,进一步完善后可普遍推广应用。复杂介质中侵彻、爆炸、成坑、地冲击、地下结构反应及其破坏的计算机模拟研究是



当前研究的难点和热点,目前还不成熟,三维研究尤为薄弱。多弹爆炸地冲击效应的模拟研究尚处于定性描述阶段,定量的描述尚需补充试验数据和更完善的模拟模型。

国内针对美军装备较多的低阻式普通爆破航弹开展了侵彻效应研究,通过模拟试验、计算分析、搜集国外资料等手段,在国内首次较系统地给出了该弹种对地质靶体、土层、混凝土层、土和混凝土等的侵彻深度预估公式。现正在开展的工作包括常规武器侵彻爆炸效应的计算机模拟、航弹侵入到坑道内爆炸破坏效应研究、爆炸破片与冲击波复合作用破坏效应研究、航弹侵彻指挥坑道颈部爆炸破坏效应研究等。其中计算机模拟项目已取得关键进展,完成了不同速度、不同攻角的弹体对混凝土侵彻的全过程动态模拟。利用这一模拟技术研究各种侵彻爆炸效应问题可大大减少试验工作量。内爆炸破坏效应研究已进行了部分试验,取得了重要试验参数,现正在配合进行理论分析及计算机模拟计算,近年内可提供应用性的成果。

## 二、防深钻地武器工程防护技术和设计方法研究

国外在研究发展深钻地武器的同时,也积极开展了深钻地武器的工程防护技术措施的研究。1994年,美国国防部把防新型钻地弹袭击的工程防护技术作为2005年前后的重要科研课题,力求通过武器杀伤力及工程易损性评估分析,为工程防护措施提供基础数据和设计依据;通过钻地计算研究及大型结构变形研究,提高工程抗爆预测能力;通过加强高抗力结构和高强、高韧性材料研究,提高工程抗力;通过加强工程伪装、隐蔽和欺骗的设计分析,提高工程特别是口部的防护能力,以抵御重型穿甲弹、深钻地弹的袭击。

### (一)防深钻地武器工程防护技术

在防深钻地武器工程防护技术方面,近年来国外陆续发表了一些科研成果:一是破坏正撞击技术,其基本原理是选择合适的地形、地貌等,使弹体无法实施正撞击,从而减小武器钻深,甚至出现跳弹现象而破坏钻地;二是异型表面技术,其基本原理是在坑道口部等地面上构筑带有球形、卵形等凹凸曲面的防护层,使钻地弹绕质心偏转导致攻击角急剧增大,甚至跳弹而不能钻地;三是弹道偏斜技术,其基本原理是在防护工程上部构筑尺寸与弹径相当的块石或卵石层,在地下室各层间的楼板采用位移扰动屏对弹体运载工具的控制系統实施干扰等,使钻地弹的攻击角越来越大,使钻地弹道不断偏斜,同时利用块石的粉碎、移动或楼板的破裂等消耗钻地弹的动能,以减小钻深;四是偏航板技术,其基本原理是构筑特制的偏航板,使钻地弹撞地时受到不对称荷载的局部集中作用,从而使弹体绕其重心旋转,导致攻击角增大,钻地能力降低,并偏离目标;五是遮弹层技术,即采用毛石混凝土或浆砌块石等遮弹层,造成弹体偏转,攻击角增大,弹道弯曲,并使高速(700m/s以上)钻地弹产生屈曲变形甚至断裂;六是高强混凝土技术,即采用抗压强度为 $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右的高强混凝土(与普通混凝土相比,其抗钻地弹能力大约可提高2倍左右,添加1%~2%的钢纤维形成的钢纤维高强混凝土,韧性大大提高),可有效减少射弹打击后的崩落与震塌,减小弹坑直径,提高工程抗重复打击的能力。美国空军武器实验室研制的水泥浆灌注纤维硷(SIFCON),钢纤维含量可达10%以上,大大改进了常规混凝土的强度和延展性,用SIFCON做成的防