

岩土深基坑喷锚网支护法 原理·设计·施工指南

曾宪明 曾荣生 编著
陈德兴 王作民

同济大学出版社

王作民:第六章 施工机具

第七章 监控量测

曾荣生:第八章 检测与验收

第九章 综合经济技术效果分析

本书的第十一章提供了 18 个较典型的工程实例。撰写者分别为:

曾宪明:例 1—例 4

曾荣生:例 5

陈德兴:例 6—例 8

王作民:例 9—例 11

刘瑞朝:例 12—例 14

李元亮:例 15—例 16

苏绍曾:例 17—例 18

本书由该项目负责人曾宪明组织,曾荣生汇稿。汇稿后,曾宪明又作了全面修改。

由于诸多原因,本书成书时间甚短,谬误之处,在所难免,敬请读者批评指出。来信请寄:河南省洛阳市 89002 部队,邮编 471023。编著者希望能在修订版中予以订正。

承蒙同济大学林润德教授审阅了本书全部书稿,提出了许多宝贵意见,并作了多处修改和润色。在此我们谨向林润德教授表示诚挚谢意。

我们还要十分感谢同济大学出版社郑元标副研究员和全体同志对支持、指导出版本书所付出的辛勤劳动。

曾宪明

1996 年 5 月于洛阳

内 容 提 要

本书以研究成果为基础,以大量工程实践为背景,从原理、设计、施工、监控、机具、检测诸方面,全面、系统地概述了一种岩土深基坑支护新方法——喷锚网支护法。该方法高效、低耗、安全,本书是应用该方法进行设计、施工、监理的实用指南,可供建筑投资者、建管部门、勘察、设计、施工、监理、质检、安检部门的工程技术人员参考。

责任编辑 郑元标
封面设计 李志云

岩土深基坑喷锚支护法 原理·设计·施工指南

曾宪明 曾荣生 编著
陈德兴 王作民

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

南京理工大学激光照排公司

望亭发电厂印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:7 字数:200千字

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷

印数:1—8000 定价:16.00元

ISBN7-5608-1721-1/TU·215

序 言

我们欣喜地看到,在党的改革开放春风吹拂下,为适应我国建筑工程市场需要,岩土深基坑喷锚网支护法已经在全国各大城市、尤其是沿海城市、经济特区逐步推广开来了。我们衷心期待它沿着健康的轨道发展,创造出更大的社会、经济效益,造福国家,造福人民。这是本书编著者的夙愿,也是出版本书的根本目的所在。

本书是中国人民解放军总参工程兵科研三所科研项目“岩土深基坑喷锚网支护法研究”成果之一。在项目研究过程中,得到了三所领导王志仁高级工程师、任辉启副研究员、张守保研究员、刘新房副研究员以及咨询办和全所同志的大力支持和指导。他们身体力行地参与该方法的研究和指导推广应用,使项目研究得以深化,并为本书提供了大量的背景材料。可以说,该成果是总参工程兵科研三所集体创造的。

本书从原理、设计、施工、监控、设备与机具、检测与验收诸方面较系统、完整地概述了岩土深基坑喷锚网支护法的技术要求,不失为一本设计施工指南,可供建管、勘察、设计、施工、监理、质检、安检部门工程技术人员、特别是建筑投资者参考。

全书共分 11 章。撰写分工如下:

曾宪明:第一章 概述

第二章 支护原理

第三章 设计要求

第十章 岩土深基坑围护现状与发展趋势

陈德新:第四章 施工工艺

第五章 特殊情况处理

目 录

序言	(i)
第一章 概述	(1)
第二章 支护原理	(10)
§ 2.1 保持、提高、利用土层介质的力学强度	(10)
§ 2.2 边壁破坏模式	(10)
§ 2.3 圆弧滑移面演变过程	(10)
§ 2.4 控制边壁稳定的土层介质	(11)
§ 2.5 优势滑移线	(11)
§ 2.6 优势滑移控制线	(11)
§ 2.7 优势滑移控制面的逐次超前缝合	(12)
§ 2.8 典型经纬图与变异经纬图	(12)
§ 2.9 单层、多层和整体稳定性	(14)
§ 2.10 监控	(15)
§ 2.11 变形控制	(15)
第三章 设计要求	(16)
§ 3.1 方案设计的必要条件	(16)
§ 3.2 设计的基本程序	(18)
§ 3.3 设计修改	(19)
§ 3.4 基坑边壁支护设计基本程序框图	(20)

§ 3.5 设计基本原则·····	(21)
第四章 施工工艺 ·····	(25)
§ 4.1 施工准备·····	(25)
§ 4.2 土方开挖·····	(25)
§ 4.3 降水排水·····	(26)
§ 4.4 造孔·····	(26)
§ 4.5 锚杆制作与要求·····	(27)
§ 4.6 注浆·····	(29)
§ 4.7 铺设钢筋网·····	(30)
§ 4.8 喷射混凝土·····	(31)
§ 4.9 张拉与锁定·····	(32)
第五章 特殊情况处理 ·····	(34)
§ 5.1 回填土·····	(34)
§ 5.2 流砂·····	(35)
§ 5.3 饱和淤泥质土·····	(35)
§ 5.4 抢险工程·····	(36)
第六章 施工机具 ·····	(37)
§ 6.1 钻孔机具·····	(37)
§ 6.2 空气压缩机·····	(44)
§ 6.3 混凝土喷射机·····	(45)
§ 6.4 注浆泵·····	(46)
§ 6.5 混凝土搅拌机·····	(47)
§ 6.6 张拉设备·····	(49)

第七章 监控量测	(55)
§ 7.1 监控量测的目的和意义	(55)
§ 7.2 监控量测参数	(55)
§ 7.3 边壁位移监控	(55)
§ 7.4 锚杆(索)应变监测	(57)
§ 7.5 喷层混凝土切向应力和压力监测	(57)
第八章 检测与验收	(60)
§ 8.1 拉拔试验	(60)
§ 8.2 三材检测	(62)
§ 8.3 注浆质量检测	(63)
§ 8.4 喷射混凝土质量检测	(63)
§ 8.5 锚杆质量检测	(64)
§ 8.6 蠕变试验	(64)
§ 8.7 工程验收	(65)
第九章 岩土深基坑喷锚网支护综合经济技术效果分析 ...	(67)
第十章 岩土深基坑围护现状与发展趋势	(71)
§ 10.1 90 年代我国基坑围护现状	(71)
§ 10.2 岩土深基坑围护方法分类	(72)
§ 10.3 传统方法的特点	(74)
§ 10.4 改良方法的特点	(76)
§ 10.5 岩土深基坑喷锚网支护法特点	(77)
§ 10.6 锚钉墙法特点	(82)
§ 10.7 岩土深基坑围护方法的发展趋势	(85)

第十一章 岩土深基坑喷锚网支护法工程应用实例 (95)

- 例 1. 喷锚网支护法在文锦广场大厦基坑护壁工程中的应用 (95)
- 例 2. 广州 065 工程 18m 深基坑滑坡处理设计与施工... (105)
- 例 3. 锚喷网支护法原理及其在庄胜广场深基中的应用 (118)
- 例 4. 某电站库首右岸高边坡的综合治理与稳定性评价* (135)
- 例 5. 岩土深基坑喷锚网支护法在深圳大世界商城工程中的应用 (156)
- 例 6. 喷锚网支护法在深圳银都大厦基坑中的应用..... (163)
- 例 7. 喷锚网支护法处理深圳新世界大厦基坑边壁坍方及险情 (168)
- 例 8. 喷锚网支护法在烟台海关大楼基坑加固工程中的应用 (176)
- 例 9. 深基坑喷锚网支护法在复杂环境中的应用 (182)
- 例 10. 深圳建行梅沙宾馆基坑边壁锚杆支护 (187)
- 例 11. 深圳发展银行南头分行住宅楼基坑边壁喷锚网支护 (189)
- 例 12. 金辉中心商住大厦基坑边壁喷锚网支护* (190)
- 例 13. 深圳特力大厦基坑边壁喷锚网支护 (192)
- 例 14. 深圳百货广场基坑边壁喷锚网支护 (194)
- 例 15. 喷锚网支护法在淤泥质基坑边壁中的应用 ... (197)
- 例 16. 深圳新华书城大楼基坑边壁喷锚网支护 (203)
- 例 17. 嵊州三江大厦深基坑喷锚网支护 (206)
- 例 18. 喷锚网支护法在华盛大厦软土深基坑支护中的应用 (210)

第一章 概 述

总参工程兵科研三所研究、提出的岩土深基坑喷锚网支护法，首次于 1992 年 10 月在我国深圳文锦广场大厦基坑中应用。该工程由深圳建材集团投资兴建，中建二局一公司深圳公司总承包，人们戏称这两个单位的决策人和深圳市建设局领导首先成为吃“螃蟹”者。这虽是事实，却也是不得已而为之。因为该工程沿建筑红线垂直下挖，无打桩(板)空间；边壁随挖随塌，地下连续墙难以施作，且肥厚不经济；密集办公、住宅楼紧傍边壁，不允许有施工噪声。前后经 7 次论证，最后只得采用喷锚网支护法围护方案试一试。当时，总参工程兵三所指导承担该工程的技术人员刚刚走出研究大院，对建筑工程市场不甚了解，怀着急地方所急、帮地方所需的朴素心情，赶到特区，原只打算在该工程应用这一方法加固紧邻边壁地段的四栋楼房之后，就立马返回部队。没想到，一到该工地，就十万火急地指导承接了合同之外的另两个地段的抢险加固工程，并且分别只用了 5 天和 7 天的时间，就干净利索地处理完毕。这一来引起了建设局有关专家对喷锚网支护法的注意和重视。此后，在施工中，又使因故出现 40m 长的负坡地段化险为夷，更使专家们对这种方法刮目相看。于是没等文锦广场工程底板施工完毕，建设局就在该工程召开现场会，请三所专家作专题报告，在深圳全面推广该方法。从此，在深圳掀起了深基坑喷锚网支护热。许多采用传统方法(桩、板、墙、管、撑)或改良传统法(桩锚、板锚、墙锚、管锚、撑锚)支挡的原设计方案，不断被改为喷锚网支护法；在深圳，几乎所有采用传统法或改良传统法施工而出现险情和滑塌的工程，都用喷锚网支护法进行了成功的处理。如：卫生防疫站办公大

楼基坑(人工挖孔桩部分折断、倒塌或大变形),日本熊谷组兴建的地王大厦(人工挖孔桩大变形),金丰大厦(人工挖孔桩大部分倒塌、折断),中山花苑大厦基坑(深坑地段边壁出现大变形,危及邻近已建建筑物),上步大厦(地下连续墙一面全部倒塌,另三面出现大变形)……。1993年,广东省建委在深圳听取了深圳市建设局关于该方法应用情况的汇报后,及时予以肯定,并计划在全省推广应用。于是,喷锚网支护法像锐不可挡的旋风开始由深圳刮向沿海,刮向内地,刮向以往人们认为是禁区的区域。总参工程兵科研三所因之得以将喷锚网支护法先后推广应用于广州、厦门、海口、惠州、东莞、珠海、南海、北京、杭州、成都、武汉、福州、烟台、济南、郑州、洛阳、南京、长沙、上海、嵊州、苏州。其影响波及到台湾、香港、澳门、日本及中东地区。

岩土深基坑喷锚网支护法以异乎寻常的速度,在三年多时间里,几乎席卷了全中国的建筑市场。

神奇的力量不是靠行政命令,也不是靠学者倡导,更不是靠广告和宣传,面是以事实作了回答:省钱和安全。在我国目前的建筑市场上,基坑围护方法多达数十种,粗略可归为四类:传统法、改良传统法、喷锚网支护法以及土钉墙法。可以断言,除土钉墙法(在其应用范围内)之外,就综合经济技术效果而言,喷锚网支护法是无可比拟的。土钉墙法在淤泥、流砂、厚杂填土、饱和土等特殊不良地质体中并无用武之地,而在这些土层中,采用喷锚网支护法却可以得心应手。

“喷锚网支护法能节省多少工程造价呢?”可以这样说,同传统法或改良传统法相比,在保证安全的前提下,采用喷锚网支护法护壁,一项工程可节省10%—30%投资,甚至更多。我们曾把在上海浦东用喷锚网支护法施作的一项试验工程(1996年4月19日举行现场会),与相同条件下用改良传统法施工的另一项基坑工程进行了粗略比较,发现工程造价竟节省50%以上!在建筑投资者眼

里,这无异于是一个天文数字。

喷锚网支护法不要一根桩、一块板、一堵墙、一根管或一根撑,省掉了全部施作护壁桩、板、墙、管、撑的时间 20—60 天;它随挖随支,挖完支完,掘支平行作业,互不干扰,安全、快速,且支护面可用作打筑基础墙的外模。

“喷锚网支护法适用于淤泥吗?”“锚固力从何而来呢?”也许有的建筑投资者或工程专家会问。回答是肯定的,从深基坑喷锚网支护法的工作原理可看出稳定滑移体的力的来源。本书的第十一章提供了诸多工程实例,其中较为典型的是深圳文锦广场大厦基坑(7—12.5m)、惠州商贸大厦基坑(10.0m)和华盛大厦基坑(10.0m)等。

“喷锚网支护法不一定适合于流砂吧?”回答是否定的。本书介绍了处理流砂的施工细节。两个较典型的例子是广州祥巷花园祥康阁综合楼基坑和广州国际妇女儿童活动中心大厦基坑的应用。

“对厚层杂填土,喷锚网支护适用吗?”适用!深圳特力大厦基坑,新近回填土最厚达 7m,已成功支护完毕。

“对于上海软土地层喷锚网支护也能适用吗?”几年前,外国人曾在上海做过规模较大的锚杆现场拉拔试验,最终试验成果并未用于实际工程。我们同复旦大学在浦东国安大厦自行车库基坑(深 4.5m)完成的试验工程证明,外国人得出的结论并不可信。喷锚网支护法同样适用于上海的软土,只是目前所取得的成功经验尚限于深度较浅的基坑。

总参工程兵科研三所是我国唯一的防护工程研究所。建所 30 余年来,在党的领导下,经过全体科研人员的奋力拼搏,取得了包括国家科技进步奖和军队、部委级科技进步奖在内的近 200 项科研成果。“岩土深基坑喷锚网支护法”只是其中之一。

1978—1979 年,三所作为军委工程兵筹备领导小组单位成员之一,派专家在太原主持进行土中喷锚及甩射混凝土试验研究,参

与筹备了全国人防机械现场观摩会议。1982—1984年,三所受国家物资总局委托,承担国家重点科研项目“77工程”任务之一、永登 Q_2 和 Q_3 土层喷锚支护抗动、静载现场试验研究。该项目获得军队科技进步二等奖。上述两项试验研究初步摸清了喷锚网支护在几种特殊土层中的适用性,抗动、静载性能及相应的施工工艺,为岩土深基坑喷锚网支护法形成打下了一定基础。

1987—1989年,总参工程兵科研三所承担了国家人防委下达的“土中喷锚网支护抗爆设计方法的研究”项目,1990年元月在北京通过鉴定。主要结论:“该课题技术复杂、难度大;课题组已很好的完成和超额完成了上级下达的主要战术技术要求,其成果达到了国内最先进水平和国际先进水平,其中,关于动载作用分区的理论及“ $\xi-n$ ”参数设计法与临界荷载法、嵌固层效应、复制模型的控制条件等、在国内外当属首创。该成果可在全国推广应用、具有显著的战备效益与经济效益。”(主审人:梁炯堃、陈肇元、陈震元、王钢)

1992年,该项目获国家人防委科学技术进步一等奖。

该项目使岩土深基坑喷锚网支护法设计思路得以形成。

1992年8月,由深圳建材集团华建公司总工那玉玺和原深圳建设局总工黎克强等推荐和支持,深圳建筑局首肯,该方法首次应用于深圳文锦广场大厦基坑工程成功,并在深圳产生轰动效应。同时,也发现尚有若干新问题亟待进一步研究解决。

对此,三所领导极为重视,组织所内专家反复进行论证,遂于1993年“岩土深基坑喷锚网支护法”开题研究。同时在全国各地组织推广应用。进而出现了本章开头所述喷锚网支护法在建筑工程界急剧升温的、热气腾腾的局面。经过近四年的研究和工程实践,喷锚网支护法已经形成从设计方法到施工工艺的一整套完整体系。

1995年底,建设部科技委根据喷锚网支护法在全国的推广应

用情况、存在的问题和有关专家建议,决定由建设部科技委主持,清华大学和 89002 部队(即总参工程兵科研三所)承办,组织编写土钉墙(喷锚支护)技术要求,并向全国发出通知,定于 1996 年 9 月召开全国性会议,讨论修订该技术要求,促使喷锚网支护法在全国的推广应用沿着健康的轨道发展。

1996 年,国家人防委将总参工程兵科研三所的“岩土深基坑喷锚网支护法”研究项目列为部管项目,并更名为“复杂地质中构筑人防工程的地基处理与边坡加固技术”。

深基坑喷锚网支护法安全不安全?经济效益好不好,适用性强不强?一言以蔽之,是不是好方法?其回答可谓是仁者见仁,智者见智。这里仅列举若干传媒与学者评价,供建筑投资者参考。

1993 年 1 月,深圳特区报、深圳商报、深圳电视台和深圳广播电台就喷锚网支护法在深圳的应用状况作了报道。深圳特区报 1993 年 1 月 12 日的报道:

“随着城市建设的发展,楼房越造越高,基坑越挖越深,如何确保四围原有建筑物和现场施工人员的安全?市建设局 11 日在文锦广场召开现场会,推广该工地首次把隧道喷锚网支护法全面应用在高层建筑的深基坑支护上,并取得完全成功的经验。

据了解,传统的高层建筑的基坑支护方法是采用钢板挡土桩、冲孔灌注挡土桩、人工挖孔桩、地下连续墙等挡土方法。这些方法一般工期较长,造价较高,对四邻原有建筑有一定影响。与雅园立交桥紧邻的文锦广场,是市建材工业集团开发的集办公、公寓、酒店、商业、娱乐等于一体的综合性大厦,占地总面积 1 万多平方米,地上楼层 31 层,高 110 米,地下 2 层,深 9 米。该大厦“红线”外 3 至 5 米,即为市人民医院、市防疫站和市卫生局的办公、住宅楼群,地面无打桩的空间,更不可能像其他建筑基础那样采取“大开挖”的办法。

经市建设、国土部门和建设、设计单位认真研究,多次邀请专

家讨论和多个方案比较,最后决定采用总参工程兵科研三所获得国家人防委科技进步一等奖的科研成果——土中喷锚网支护法。此法可紧跟开挖面随挖随支,主动支护土体,较好地保护和利用土体强度,施工进度较快,工期短,能有效地控制施工噪音,避免施工扰民,且工程造价低。出席现场会的专家称,用喷锚支护完全取代传统深基坑支挡方法,在国内外尚未见先例,在深圳也是第一次采用。”

1995年12月29日北京中国科技报作了题为“工程兵科研三所开发平锚喷网边坡支护新技术,在全国40多个大中型建筑工程中推广使用”的报道:

“中国人民解放军总参工程兵科研三所第一研究室的科技人员,开发深基坑平锚喷网边坡支护新技术,成功地解决了高层建筑深基坑边坡坍塌难题。1992年至今,这一新技术已被全国120多个大中型建筑工程采用,取得了显著的工程效益及巨大的社会效益,深受工程承包、建筑施工、设计和监理单位的欢迎。12月26日,在北京庄胜广场建筑工地召开的深基坑平锚喷网边坡支护技术现场会上,中国科学院、中国工程院院士郑哲敏及工程总包单位对这一技术给予较高评价。

总参三所一室的这一新技术基本满足了现代城市建筑和旧城改造的施工需要。由于这一新技术最大限度地利用了边坡土体的固有力学强度,将边坡土体变为支护结构体系的一部分,改变了传统支护结构悬壁受力特点,可以充分发挥土体的自稳作用。特别是出现边坡大变形、坍塌等险情后,该技术更能起到恢复和加固作用。如日本熊谷组工程深圳某大厦,楼高81层,基坑深14米,施工中土体坍塌,危及深南大道。应日本熊谷组邀请,科研三所一室用全封闭喷锚网支护方法,顺利完成了该抢险工程,保证了正常施工。

该技术尤其适用于地质条件复杂、施工场地狭窄、周围建筑物

密集和施工难度大的工程。其中部分是在边坡出现坍塌而被一些专家们公认的禁区中采用的抢险工程,为国家避免了巨大的经济损失。如深圳新世界大厦工程,距居民楼最近距离仅 2 米。排桩失稳,造成桩倒土体坍塌,直接暴露居民楼基础,采用全封闭喷锚网原位加固方案作业,工程一举成功。

近年来的施工实践证明,由于省去了桩、板、墙、撑等前期和后期工序,该方法可比传统方法及其改良方法缩短施工期 20 至 60 天,并降低工程造价 10%—30%。

这一新技术虽在全国各地大量采用,但在北京地区过去还从未使用过。由大成建筑株式会社、中建一局承建的北京庄胜商业中心率先采用了这一新技术。庄胜商业中心是北京市在建的大工程之一,地下 3 层,地上 21 层,总建筑面积达 36 万平方米。基坑东西宽 130 米,南北长 270 米,基坑最深处 16.5 米。因该技术目前尚无国家规范,中建一局对该技术的可行性和可靠性进行了深入论证和探讨,决定采用该新技术进行施工。目前该基坑支护已基本完工,投入使用,科研三所完成的这一项边坡支护工程,获得北京地区工程界专家们的赞许。”

1996 年 1 月 18 日中国建设报报道:

“在大中城市施工,施工现场狭窄,周围建筑物密集,地下情况复杂。如何有效地支护高大建筑物的基础深坑?近年来总参工程兵三所创造的全封闭平锚喷网支护新技术,成功地解决了高层建筑基础深坑边坡坍塌的难题。近年来在全国 120 多个工程,特别是抢险工程中应用,深受各有关方面好评。该技术较传统办法可提前工期一到两个月,工程造价可降低 30%左右。中国工程院院士郑哲敏认为,该技术的社会效益和经济效益都很好,应大力推广。”

1996 年 1 月 15 日建设者报报道:

“1995 年 12 月 26 日,庄胜广场工程总承包单位中建一局集团北京分公司和中国四海工程公司科研三所一室,邀请科技界和

工程界的专家,在庄胜广场召开现场会,对庄胜工地在北京率先将平锚喷网边坡支护新技术运用于 16.2 米的深基坑施工的尝试,予以了肯定。

平锚喷网新技术利用水平分布式的压力注浆锚杆,借助于与周围土体的相互作用,加固土体;在支护坡面加设钢筋网,并将钢筋网和锚头焊接,随后进行混凝土喷射,使喷射混凝土、压力注浆锚杆和土体组合结构整体化,把边坡土体和深部稳定土体连为一体,从而使边坡更加稳固。

采用此项新技术,收到了良好效果,列举如下:

——稳定可靠。支护后边坡水平位移小,一般为基坑深度的 0.1% 左右,不超过 0.2%。超载能力强,成排的搅拌车在边坡停放,大批钢筋、混凝土板长期堆载,边坡仍安然无恙。

——施工期短。平锚喷网支护不需要单独施工工期,边开挖边支护,支护和土方开挖可同步作业、同步完成。

——操作灵活。施工中依靠反馈设计方法和轻型机械,便能满足厚砂层边坡支护、上下水管和电缆保护、吊车平台地基加固等工程要求。

——副作用小。施工中没有强烈冲击的噪音,没有循环泥浆带来的环境污染,且施工占地少。

——造价较低。由于减少混凝土用量,能节省不少资金。”

中国科学院、中国工程院和美国工程院院士郑哲敏先生在庄胜广场基坑支护现场会上对该技术的成功应用给予较高评价。他认为,此项工程设计从力学原理来看是合理的,工程质量也很好,这项新技术很有市场竞争实力。

清华大学教授陈肇元等在《地下空间》发表文章指出:“中国人民解放军 89002 部队在长期对喷锚网支护进行研究开发的基础上,依赖自身的经验,首先在国内将土钉支护技术用于深基开挖的支护及加固上,但仍称其为深基坑的‘喷锚网支护法’”。

在第三届中国国际岩土钻凿工程会议总结中,中国地质矿产信息研究院宋翔雁研究员指出,总参工程兵科研三所研究提出的岩土深基坑喷锚网支护法,以及所提供的大量工程范例,引起了国内外代表极大关注和浓厚兴趣。