

广州设计之都基坑工程设计实例分析

杨开彪

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

摘要:结合广州岩溶地区复杂环境下某大尺寸深基坑工程实例,探讨了复杂环境下基坑围护结构的选型原则及设计要点;采用多种计算软件进行综合分析,并结合现场基坑监测结果进行印证,进一步检验了围护结构选型的合理性,为类似条件下的其他深基坑工程提供了一定的参考。

关键词: 基坑工程;周边环境;基坑支护选型;岩溶处理

中图分类号: TU473

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)02-0236-05

0 引言

随着我国城市化水平的不断提高,在城市建成区进行工程建设时所面临的外部环境愈发复杂,而城市开发的高密度化又导致地下空间越来越深,如何在城市复杂环境下开展深基坑支护选型已成为城市建设的重要课题^[1]。

近年来,针对紧邻现状建构筑物的深基坑支护选型,相关学者进行了一系列研究。高武等^[2]对紧邻地铁盾构区间的深大基坑支护选型、地铁保护措施、开挖方式等作了有益的分析;王翼^[3]对临近现状厂房的泵站基坑支护选型及一体化设计进行了介绍;汪浩等^[4]介绍了复杂环境及风化岩条件下临近地铁超大深基坑的支护选型;王海成等^[5]分析了复杂环境下软土基坑的支护选型及设计要点;付宪章等^[6]对紧邻既有住宅建筑的深基坑支护选型及应对措施进行了分析研究;肖淑君等^[7]对复杂条件下超期服役深大基坑设计选型进行了综合比选分析。

本文基于前人研究的基础上,以广州岩溶地区某复杂环境下大尺寸深基坑工程为例,探讨了复杂环境下基坑围护结构的选型原则及设计要点;采用多种计算软件进行分析,并结合现场监测结果进行印证,以期类似条件下的其他深基坑工程提供参考。

1 工程概况

本工程为广州设计之都基础设施综合开发项目二期工程,项目位于广州市空港大道以东,解放庄路

收稿日期：2022-04-28

作者简介: 杨开彪(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事岩土工程设计工作。

以北,黄边北路以南。项目西北侧为现状黄边地铁站,基坑西侧紧邻现状空港大道,埋设有雨水、污水、电力、通信等市政管线,道路下方为广州地铁 2 号线区间隧道,空港大道西侧为广州设计之都一期联合基坑;基坑东侧和南侧紧邻陂塘排渠;基坑北侧临近拟建卜蜂莲花地块。项目总用地面积为 22 457 m²,该工程场地大致呈梯形,项目周边环境图见图 1。



图 1 项目周边环境图(单位:m)

本项目由 4 个商业地块和中部的地下空间组成。本项目除西南地块设 3 层地下室外,其余均为 2 层地下室,基坑底面标高为广州城建标高 5.05 m(西南 K1 地块局部为 0.4 m),基坑开挖深度为 9.95 m(西南 K1 地块局部为 14.6 m)。

2 工程地质概况

2.1 地形地貌

拟建场地原地貌为珠江三角洲中上游冲洪积平原地貌单元,地面起伏变化不大,场地北侧为菜地、农

田、荒地,南侧已被人为改造,原建有居民住房、厂房等,现已完成拆迁,存在局部低洼地势。

2.2 地层分布

该场地地层按地质成因及力学性质依次分为:第四系人工填土(Q_4^{ml})、冲洪积层(Q_4^{al+pl})、残积层(Q^el)及下覆基岩二叠系(P)的炭质灰岩。各土层特征综述如下:

(1)人工填土层(Q_4^{ml}):杂填土(层序号 1-1)呈灰褐色、灰黄色、杂色,稍湿,松散-稍密,主要以填碎石、碎砖、碎混凝土等建筑垃圾为主,以拆迁建筑垃圾旧基础为主,局部为填黏性土及砂土,以杂填土为主,硬杂质含量大于 25%,场地普遍分布的上部拆迁建筑垃圾填筑时间小于 1 a,底部填筑时间大于 5 a。

(2)冲洪积层(Q_4^{al+pl}):粉质黏土(层序号 2-1)呈灰黄色、褐黄色、灰色,稍湿,以可塑为主,冲洪积而成,以粉黏粒为主,含少量砂粒。该层在 42 个钻孔有揭露,部分钻孔中呈多层分布。粉细砂(层序号 2-2)呈灰黄色、灰色,稍湿,以稍密为主,局部松散,冲洪积而成,矿物成分为石英、长石,含少量黏粒。中粗砂(层序号 2-3)呈灰黄色、灰褐色,稍湿,以稍密为主,局部松散,冲洪积而成,矿物成分为石英、长石,含少量黏粒。

(3)残积相地层(Q^el):粉质黏土(层序号 3-1)呈灰黄色、褐黄色、灰褐色,稍湿,以可塑为主,局部硬塑,由泥岩、砂岩风化残积而成,以粉黏粒为主,含少量砂砾。粉质黏土(层序号 3-2)呈灰褐色、灰黑色,稍湿,以软塑为主,由泥岩、砂岩风化残积而成,以粉黏粒为主,含少量原岩碎屑。

(4)基岩(P):本场地基岩为二叠系(P)炭质灰岩,钻探揭露深度内主要为强风化及中风化炭质灰岩。强风化炭质灰岩(层序号 4-1)呈灰黑色、灰色,岩芯呈碎块状,少呈半岩半土状,局部可见中风化岩块,裂隙发育,原岩结构已完全破坏,矿物成分显著变化,但尚可辨认。该层岩石坚硬程度分类为极软岩,岩体完整程度分类为破碎,岩体基本质量等级分类为 V 类。中风化炭质灰岩(层序号 4-2)呈灰色、灰黑色,岩芯呈短柱状、扁柱状、大块状,隐晶质结构,层状构造,主要由碳酸盐矿物组成,局部可见方解石脉,风化裂隙较发育,锤击声脆,岩质较硬。该层岩石坚硬程度分类为较硬岩,岩体完整程度分类为较破碎-较完整,岩体基本质量等级分类为 III~IV 类。

本场地 54 个钻孔中揭露溶洞的钻孔有 8 个,见洞率为 14.81%,为岩溶中等发育场地。溶洞主要位

于灰岩上部,平均厚度为 2.63 m,溶洞以全充填及半充填为主,充填物多为黏土、碎块状岩块、角砾等。

拟建场地典型地质剖面见图 2。

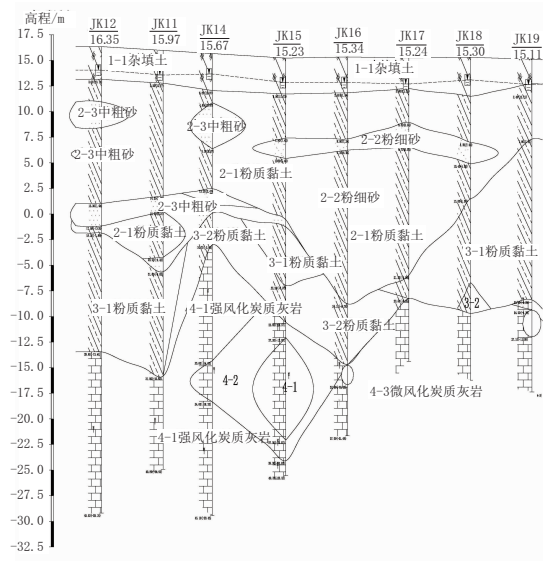


图 2 场地典型地质剖面图

2.3 水文地质条件

本场地位于珠江冲洪积平原上,地势较平坦,拟建场地内无河流、水塘等大型地表水体,东区东南侧存在 1 条宽约 6 m 的沟渠,水质较差,水深较浅,整体水量不大。勘察施工期间,测得初见水位埋深为 1.00~3.80 m,高程在 12.29~14.99 m;测得稳定水位埋深为 1.30~4.30 m,高程在 11.79~14.45 m,本场地地下水水位变化幅度约 1.00~4.00 m。地下水类型主要以填土层上层滞水、砂层孔隙水、岩层中的裂隙水及岩溶水等为主。

2.4 场地岩土层物理力学参数

场地岩土层物理力学参数表见表 1。

表 1 场地岩土层物理力学参数表

编号	土层名称	E_s / MPa	P_f / ($g \cdot cm^{-3}$)	C /kPa	$\Phi/(^{\circ})$	q_s /kPa
1-1	杂填土		1.89	12	10	16
2-1	粉质黏土		1.77	19.45	12	30
2-2	粉细砂				20	40
2-3	中粗砂				25	54
3-1	粉质黏土		1.90	23.7	13.67	53
3-2	粉质黏土		1.77	10.38	8.28	30
4-1	强风化灰岩		1.99	34.90	19.85	50
4-2	中风化灰岩					200
4-3	微风化灰岩					400

3 基坑围护设计方案

3.1 基坑支护的难点

本项目基坑支护的难点如下:

(1)基坑西侧与现状地铁 2 号线区间基本平行

(区间长度约 178 m),支护结构距离地铁结构边线约 22.1~28.16 m,地铁区间为钢筋混凝土单箱双室矩形结构,采用天然基础,基础埋深与基坑基本齐平,且本工程地处岩溶发育区,地铁区间对地下水位较敏感,基坑施工过程中不可中断地铁运营,如何确保基坑施工不会引起水位明显变化导致地铁变形是本工程的难点。

(2)基坑西侧紧邻现状空港大道(双向 6 车道),道路总宽度约为 40 m,交通流量较大,道路下方市政管线密集,管线及路面等对变形较敏感,环境保护要求高。

(3)基坑距离道路西侧广州设计之都一期基坑约 48.7 m,且本基坑西侧全范围与一期基坑无支撑支护段平行,如何合理布置基坑开挖次序以减少相互影响是本工程的难点。

(4)基坑东侧和南侧距离现状陂塘排渠约 6.2 m,对支护结构的止水要求较高。

(5)基坑内含多个地块,各地块开发时序各不相同,且地下室层数亦不同,基坑方案的确定需综合考虑地块开发时序、开挖深度不同等因素。

(6)本工程场地地处岩溶发育地区,岩土层存在溶洞、土洞等不良现场,支护施工时易产生漏浆、坍塌等现象,地面存在塌陷风险。

(7)基坑北侧为拟建卜蜂莲花地块,基坑支护间净距为 20.6~22 m,该地块为负 3 层地下室,基底标高为 3.40 m,采用厚 1 m 地下连续墙+内支撑的支护形式,本基坑预应力锚索不能进入该地块范围,支护方案选择及基坑开挖次序的协调是本工程的难点。

3.2 基坑支护选型

本工程周边环境较复杂,地铁、市政道路等环境保护要求高,且地处岩溶发育地区。基于广州地区类似项目的建设经验,确定采用地下连续墙+钢筋混凝土支撑、地下连续墙+预应力锚索、格构式地下连续墙等基坑支护形式,本工程分为 A~H 共 8 个分区,基坑平面布置图见图 3。

(1)基坑支护的选型及布置满足了地块独立开发的需求,基坑东南侧角部区域具备设置支撑条件,故采用厚 0.8 m 地下连续墙+钢筋混凝土内支撑的支护形式;J2 地块因地处钝角区域,故采用支撑和锚索组合设置的形式,为提高衔接处的支护刚度,防止出现结构局部失效,锚索和支撑设置搭接一定距离,锚索支护段断面图见图 4。

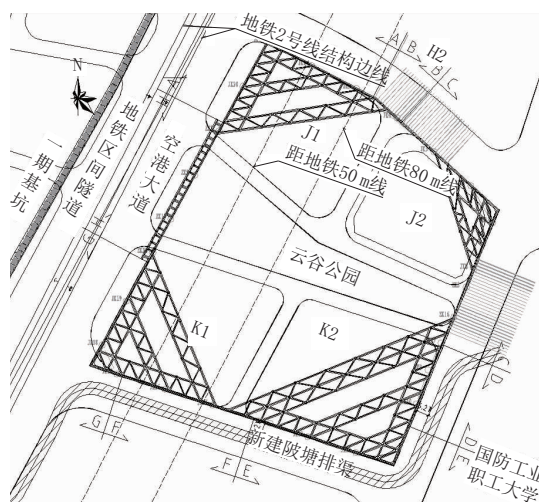


图3 基坑平面布置图

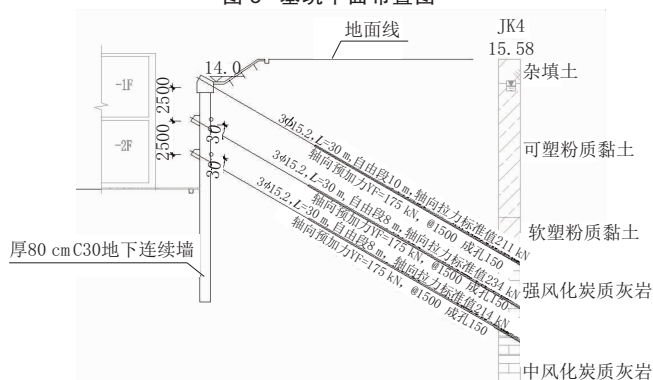


图4 锚索支护段断面图(单位:mm)

(2)基坑西侧临近地铁和现状市政道路,周边环境对变形较敏感,西北和西南角采用厚 0.8 m 地下连续墙+钢筋混凝土内支撑的支护形式(见图 5),中部地下空间区域不具备支锚条件,故采用厚 0.8 m 格构式地下连续墙支护形式(见图 6),地下连续墙各肢长度满足成槽机最小长度要求,中隔墙处采用钢板十字刚性接头,以提高墙体刚度及抗变形能力。为避免施工排水对地铁造成不利影响,在地铁侧每隔 10 m 布置 1 口回灌井,当地下水位下降幅度大于 1 m 时即启动自动回灌。

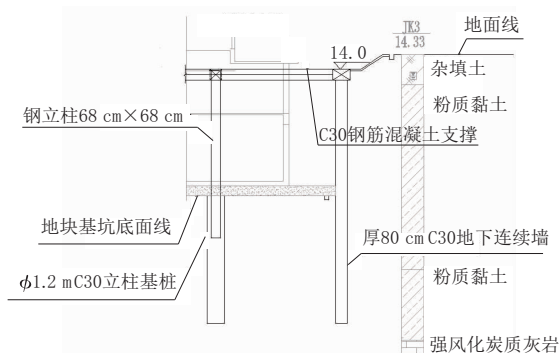


图5 支撑区域基坑支护断面图(单位:mm)

(3)因西侧为广州设计之都一期基坑,为避免同时开挖对中部的地铁及市政道路产生不利影响,本

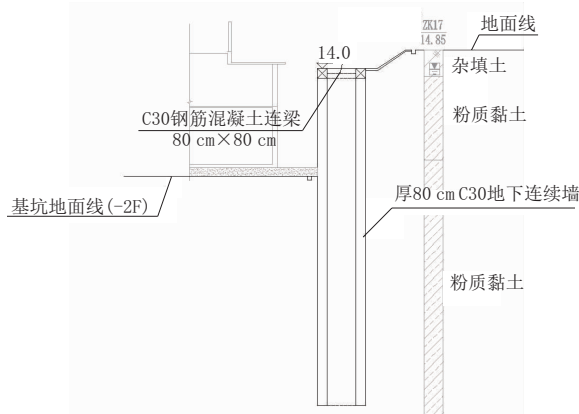


图 6 格构式地下连续墙断面图(单位:mm)

基坑与一期基坑开挖时序统筹考虑,两侧不同时开挖,本工程开挖时序为 J2→K1→K2→地下空间→J1。

(4)K1 地块地铁保护范围外侧为负 3 层地下室结构,基坑深度达 15.2 m。本基坑仅考虑开挖至负 2 层,局部地块紧邻联合基坑侧利用本基坑支护结构,故该范围采用厚 1 m 地下连续墙 +3 道钢筋混凝土支撑支护(见图 7);因该区域临近陂塘排渠,为避免渗漏水风险,于地下连续墙接头外侧设置直径 800 mm 双管旋喷桩止水封闭。

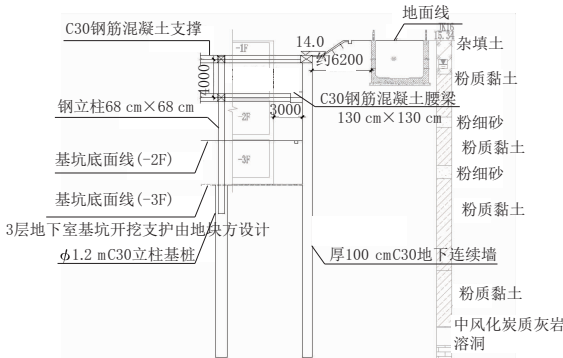


图 7 南侧支撑区域支护断面图(单位:mm)

(5)为避免基坑施工过程中出现坍塌、涌水等风险,地下连续墙两侧 3 m 范围内的溶洞采用双液浆 + 水泥浆的方式预处理;立柱桩周边 3 m 范围、洞高小于 3 m 的溶洞采用抛填碎石与黏性土处理,其他采用双液浆 + 水泥浆的方式预处理。

(6)基坑北侧为卜蜂莲花地块,故北侧锚索通过采用二次高压劈裂注浆工艺,以提高预应力锚索的抗拔能力,有效减短锚固长度。

3.3 基坑支护计算分析

本文采用理正深基坑软件和 Midas 有限元分析软件对基坑各典型断面进行计算分析,各岩土层物理力学参数取值见表 1。本文以西南侧和西侧临近地铁侧基坑计算结果为例进行分析。

西南侧基坑单元计算结果见图 8。由图 8 可见,

基坑最大侧向位移为 15.19 mm,最大侧向位移点位于第 2 道支撑至基坑底面之间。

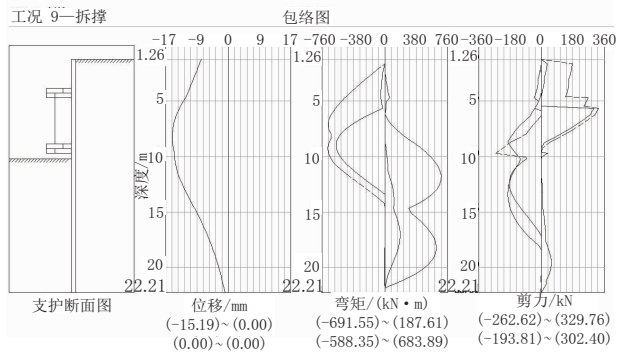


图 8 西南侧支撑段单元模型计算结果

西侧格构式地下连续墙单元计算结果见图 9。由图 9 可见,基坑最大侧向位移为 11.2 mm,最大位移位于围护墙顶部位置。

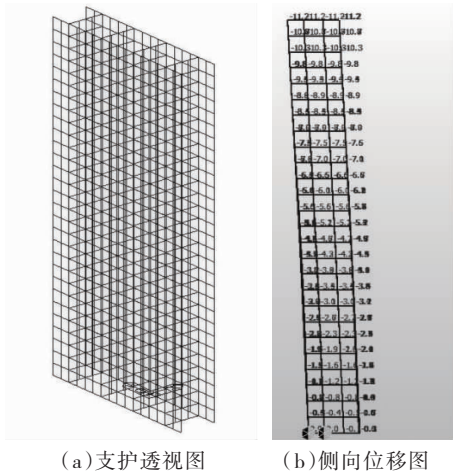


图 9 西侧格构式支护段单元模型计算结果(单位:mm)

采用 Midas 有限元分析软件对基坑进行整体分析,位移结果见图 10。由图 10 可见,西南侧地下连续墙最大侧向位移为 7.71 mm,西侧格构式地下连续墙最大侧向位移为 11.32 mm,最大位移位置与单元计算结果位置基本一致。

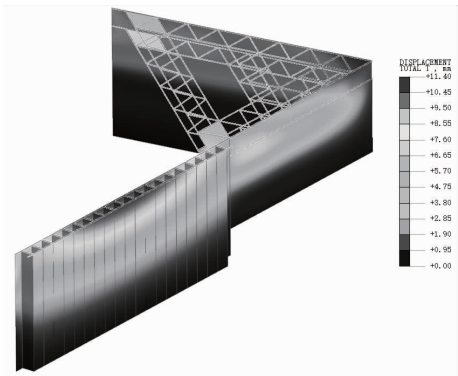


图 10 整体模型计算结果(单位:mm)

4 基坑监测结果

广州设计之都二期除 J1 外其他地块地下室已施

工并回填完毕。根据基坑监测结果显示,西南侧基坑最大侧向位移为 18.48 mm(CX7 测斜孔监测结果见图 11),最大位移点位于墙顶下 8 m 位置,连续墙侧向变形曲线与单元计算结果基本一致;西侧格构式连续墙段最大侧向位移为 12.86 mm(CX5 测斜孔监测结果见图 12),最大位移点位于墙顶下 3.5 m 位置,墙顶侧向位移为 6 mm,因理论模型未考虑墙顶压顶板的约束作用,故墙顶位移理论计算值大于实测值;各项监测指标均未超过规范容许值。

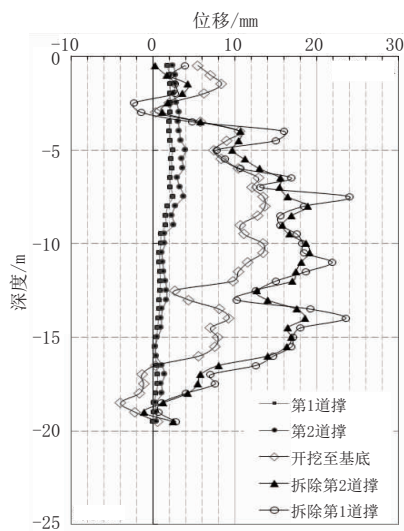


图 11 西南侧 CX7 测斜孔侧向位移监测值

5 结 语

(1) 本文提出的基坑支护选型方式及刚柔支护衔接、止水等构造措施,可为类似工程提供一定的借鉴。

(2) 格构式地下连续墙具有刚度大、抗侧向变形能力强的特点,可适用于紧邻建构筑物且无条件支锚的情况。

(3) 针对现状建构筑物两侧均开挖的情况,可通过合理安排施工次序,利用时空效应分层、分区、分块开挖,及时封闭以减小基坑的暴露时间,降低工程风险。

(4) 岩溶地区应重视对围护结构一定范围内溶土

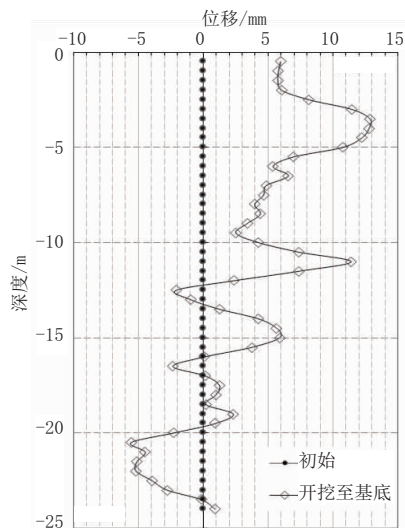


图 12 西侧 CX5 测斜孔侧向位移监测值

洞的处理,基坑临近现状建构筑物时建议于地面先预处理溶洞后开挖基坑,可有效降低基坑坍塌及涌水、建构筑物沉降等工程风险。

(5) 需保护的建构筑物对变形敏感时可于基坑侧布置自动回灌井,确保地下水位下降幅度在可控范围;施工期间加强对基坑、周边环境及地下水位(包括岩溶水)的监测。

参考文献:

- [1] 许铁欧.某邻近地铁的基坑工程围护设计与分析[J].城市道桥与防洪,2019,241(5):312-315,35.
- [2] 高武,刘溢.紧邻地铁区间的全地下污水处理厂基坑设计关键技术[J].城市道桥与防洪,2020,255(7):175-178,21.
- [3] 王翼.上海某泵房基坑“两墙合一”地下连续墙设计[J].城市道桥与防洪,2020,250(2):200-202,208.
- [4] 汪浩,刘双桥,宋志,等.复杂环境及风化岩条件下邻近地铁超大深基坑支护设计选型[J].施工技术(中英文),2021,588(17):135-140.
- [5] 王海成,刘秀珍,张龙.复杂环境下软土基坑支护设计实践与分析[J].岩土工程技术,2022,180(2):160-164.
- [6] 付宪章,武登辉,赵庆亮,等.紧邻既有住宅建筑的深基坑支护及降水设计施工实例[J].建筑技术,2022,626(2):177-180.
- [7] 肖淑君,彭卫平.某深大基坑支护设计方案选型分析[J].湖南大学学报(自然科学版),2018,295(增刊1):190-196.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com