



T/CECS 1629—2024

中国工程建设标准化协会标准

热熔式可回收锚杆技术规程

Technical specification for application of hot-melt removable anchors

中国建筑工业出版社

中国工程建设标准化协会标准

热熔式可回收锚杆技术规程

Technical specification for application of hot-melt removable anchors

T/CECS 1629—2024

主编单位：浙 江 大 学

苏州市能工基础工程有限责任公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2024年10月1日

中国建筑工业出版社

2024 北京

前 言

本规程根据中国工程建设标准化协会《2018年第二批协会标准制订、修订计划》（建协标字[2018]030号）的要求，由浙江大学和苏州市能工基础工程有限责任公司会同国内多所大学、科研单位、岩土工程专业设计单位、岩土工程施工单位、检测与监测单位等，经过广泛调查研究，参考有关国家、行业、地方及团体标准，编制了本技术标准。

本标准共分9章和8个附录，主要内容包括：总则、术语符号、基本规定、材料及构件、设计、施工、试验、检验与监测等。

本标准中涉及的专利内容请与专利权人联系。本标准发布机构对专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本标准由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理，由浙江大学和苏州市能工基础工程有限责任公司负责具体内容的解释。本标准在执行过程中如有意见或建议，请寄送至苏州市能工基础工程有限责任公司（江苏省苏州市新区滨河路711号3楼，邮政编码：215011，邮箱：nenggong@126.com）。

主 编 单 位： 浙江大学

苏州市能工基础工程有限责任公司

参 编 单 位： 中国建筑科学研究院

中国水利水电科学研究院中国科学院

武汉岩土力学研究所

浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

广东省岩土工程与地下空间技术研究中心

天津大学建筑工程学院

北京交通大学

山东大学

东南大学

郑州大学

中冶建筑研究总院有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

深圳市工勘岩土集团有限公司

深圳市滨海岩土与环境工程有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

山西省建筑设计研究院有限公司
无锡市建筑设计研究院有限责任公司
北京中岩大地科技股份有限公司
上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司
上海申元岩土工程有限公司
山东建勘集团有限公司
上海远方基础工程有限公司
中国建筑第八工程局有限公司
云南建投第一勘察设计有限公司
山东高新岩土工程有限公司
深圳市地质环境研究院有限公司

主要起草人： 龚晓南 周建明 付文光 杜明祥 俞建霖 刘小敏
冯科明 郑伟锋 赵庆亮 叶胜林 吴正杰 孟艳杰
李军锋 张颖 高连通 王宝德 孙育光 汪小刚
刘松玉 李炳奇 周同和 陈云彬 柳建国 魏建华
李连祥 梁志荣 崔江余 雷美清 刘小楠 别小勇
叶坤 鹿存亮 张雪婵 钱晓敏 曹光栩 贺翀
主要审查人： 顾国荣 李耀良 郑刚 张雁 黄俊光 王平
李正兵

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	1
2.1 术语	1
2.2 符号	2
3 基本规定	4
4 材料和部件	5
5 设计	7
5.1 一般规定	7
5.2 承载力计算	9
5.3 构造	11
6 施工	13
6.1 一般规定	13
6.2 等直径锚杆钻孔与注浆	13
6.3 旋喷扩体锚杆钻孔和注浆	15
6.4 杆体制作与安装	15
6.5 张拉和锁定	16
6.6 锚筋回收	18
7 锚杆试验	18
7.1 一般规定	18
7.2 回收试验	19
7.3 工程锚杆承载力自检试验	20
7.4 数字锚测试	20
8 持有荷载监测	22
9 质量检验	24
附录 A 热熔锚杆体技术要求	25
附录 B 浆体与地层之间粘结强度及锚固体端阻强度表 (kPa)	28
附录 C 采用旋喷扩体方式的水泥土受压承载力经验数据表	30
附录 D 热熔式可回收锚杆施工记录表	31
附录 E 锚杆荷载试验设备及操作要点	33
附录 F 基本试验	35
附录 G 持有荷载试验	39
本标准用词说明	41
引用标准名录	42
附：条文说明	43

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(1)
2.1	Terms	(1)
2.2	Symbols	(2)
3	Basic requirements	(4)
4	Materials and selection	(5)
5	Design	(7)
5.1	General requirements	(7)
5.2	Calculation of bearing capacity	(9)
5.3	Structure	(11)
6	Anchor construction	(13)
6.1	General requirements	(13)
6.2	Drilling and grouting of equal diameter anchor	(13)
6.3	Drilling and grouting of enlarge anchor	(15)
6.4	Tendon making	(15)
6.5	Tensioning and locking	(16)
6.6	Tendon Recovery	(17)
7	Test, quality inspection and monitoring	(19)
7.1	General requirements	(19)
7.2	Recovery Test	(19)
7.3	Self inspection of bearing capacity	(21)
7.4	Test of Digitization Anchor	(20)
8	Monitoring of prestressed anchor tension	(22)
9	Quality inspection	(24)
Appendix A	Product specification of hot-melt anchor prefabricated tendon	(25)
Appendix B	ultimate bond strength and end resistance strength of anchor	(27)
Appendix C	Construction record sheets of recoverable hot- melt anchor	(29)
Appendix D	Anchor Load Test Equipment And Operation Points	(30)
Appendix E	Test Equipment and Operation Requirement	(32)
Appendix F	Basic test	(34)
Appendix G	Lift off test	(38)
	Explanation of wording	(40)
	List of quoted standards	(41)
	Addition: Explanation of provisions	(43)

1 总 则

1.0.1 为规范热熔式可回收锚杆技术的工程应用，做到安全适用、技术先进、保护环境、节约资源，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于热熔式可回收锚杆的设计、施工及质量检验、监测等。

1.0.3 热熔式可回收锚杆的使用应综合工程地质和水文地质条件、周边环境条件、基坑功能要求和使用期限、回收要求及条件等因素，结合地区经验，因地制宜、合理选型，精心设计，精细施工，加强质量控制。

1.0.4 热熔式可回收锚杆的工程应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准及现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 热熔式可回收锚杆 hot-melt removable anchor

内锚具为热熔式可回收锚具、锚筋材料为无粘结钢绞线的压力型预应力锚杆，简称热熔锚（图 2.1.1）。

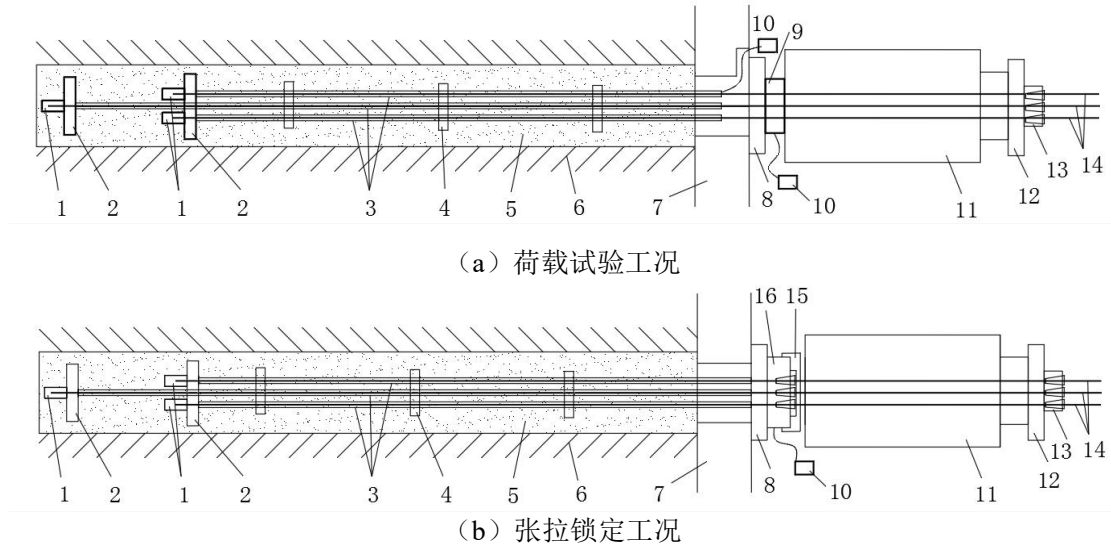


图 2.1.1 热熔锚结构示意图

1—内锚具/数字内锚具；2—承载板；3—护套及润滑油脂；4—对中架/隔离架；5—浆体/锚固体；6—地层；7—锚座；8—锚垫板；9—数字环；10—数据采集仪；11—千斤顶；12—钢垫板；13—工具锚；14—有粘结钢绞线；15—限位板；16—外锚具（工作锚）/数字外锚具；

2.1.2 内锚具 inter anchorage

位于压力型锚杆的杆体底端，固定锚筋并将锚筋拉力传递到承载体的锚固装置。

2.1.3 热熔式可回收内锚具 hot-melt removable inter anchorage

采用热熔材料固定夹片及锚筋，通电后热熔材料熔解而具有解锁回收锚筋功能的内锚具，简称热熔内锚具。

2.1.4 承载体 pressure element

位于压力型锚杆底端，将内锚具或锚筋的力传递到锚固体的板状或柱状部件，其中形状为板状时也称为承载板。

2.1.5 热熔式可回收数字锚杆 digital hot-melt removable anchor

配置了数字内锚具的热熔锚，简称数字锚。

2.1.6 数字内锚具 digital inter anchorage

内置数字测力装置可用于测试锚杆持有荷载的热熔式内锚具。

2.1.7 数字外锚具 digital outer anchorage

内置数字测力装置可用于测试外锚头压力的外锚具。

2.1.8 数字测力环 digital test-force-ring

在外锚头端测试锚杆压力的输出数字信号的测力装置。

2.1.9 预制杆体 prefabricated anchor tendon

预先在工厂把无粘结钢绞线、承载体及内锚具等零部件制造装配成一体的锚杆杆体，简称预制杆。

2.1.10 单筋杆 single anchorage tendon

由一个承载体、一条钢绞线及一个内锚具组成的预制杆体。

2.1.11 双筋杆 double anchorage tendon

由一个承载体、两条钢绞线及两个内锚具组成的预制杆体。

2.1.12 解锁锚具抗拆力 ultimate tensile capacity of removable anchorage

可回收锚杆在拉力作用下，锚筋能正常解锁回收所对应的最大轴向拉力。

2.1.13 锚具效率系数 efficiency factor of removable anchorage

锚筋—锚具组件实测极限抗拉力与锚筋公称极限抗拉力之比。

2.1.14 锚具解锁 unlock the removable anchorage

解除锚具与锚筋力学关联的动作。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应

f_{ck} —浆体边长为 70.7mm 的立方体抗压强度标准值；

R_{uk} —锚杆受拉极限承载力标准值；

N_k —锚杆轴向拉力标准值。

2.2.2 几何参数

A_{ln} —锚固体受压净面积；

D 、 D_k —原孔锚固段及扩体锚固段直径；

L_{as} 、 L_{ak} —原孔锚固段及扩体锚固段长度；

$L_{a,i}$ —锚固段在第 i 层岩土层中的长度。

2.2.3 设计参数和计算系数

f_{mk} —锚固体与第 i 层岩土层之间粘结强度标准值；

f_{ak} —扩体锚固段面端岩土层端阻强度标准值；

$F_{p0.2}$ —钢绞线 0.2%屈服力；

K_a —锚杆受拉承载力安全系数。

3 基本规定

- 3.0.1 热熔锚设计与施工前应具备拟建场地岩土工程勘察资料，并应查明场地地下障碍物、周边既有建（构）筑物、市政设施等施工与周边环境情况。
- 3.0.2 热熔锚设计工作年限宜为（1~5）年。
- 3.0.3 热熔锚设计时应对抗拔承载力、锚筋抗拉承载力及锚固体底端抗压承载力等进行验算，并应提出施工及质量检验、工程监测要求。
- 3.0.4 锚杆选型时应选择适宜的部件，对持有荷载要求严格及变形要求严格的工程宜选用数字内锚具。
- 3.0.5 热熔锚工程应进行基本试验、回收试验及验收试验，可进行持有荷载试验。
- 3.0.6 热熔锚工程施工前应编制专项施工方案。
- 3.0.7 热熔锚施工和回收工况应符合设计要求。
- 3.0.8 相关责任方需提供符合收热熔锚的拆除工作面等回收条件。
- 3.0.9 热熔锚工程应对锚杆施工及锚杆回收进行质量检验和记录。

4 材料和部件

4.0.1 热熔锚的材料及部件应根据锚杆设计承载力、套管孔径及场地岩土工程条件等进行选用。

4.0.2 热熔锚预制杆宜由热熔锚具、承载体、钢绞线、导线等材料与部件组成，数字锚预制杆宜由热熔锚具、承载板、钢绞线、导线、测力装置、数据线等材料与部件组成。

4.0.3 热熔锚预制杆的构造及规格应符合本规程附录 A 的规定。

4.0.4 热熔锚预制杆应符合下列规定：

1 锚筋回收后，单件热熔锚具残留物的长度不应大于 0.5m，残留物中的金属体积不应大于 $1.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$ ；

2 钢绞线应采用预应力混凝土用钢绞线且不应采用回收钢绞线，钢绞线公称直径宜为 15.2mm，公称抗拉强度不宜低于 1860MPa，性能指标应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 有关规定；

3 承载板应采用热轧钢板制作，钢材牌号不应低于 Q355B；

4 热熔锚具及承载板的防腐层材料宜采用工程塑料，钢绞线宜采用防腐润滑脂及高密度聚乙烯树脂护套防腐，导线及数据线宜外敷高密度聚乙烯树脂防腐；

5 防腐润滑涂层及护套性能应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161 的有关规定；

6 热熔锚的数据线及导线应连续附着在钢绞线护套两侧；

7 预制杆应带有产品标识，标识应符合附录 A 规定。

4.0.5 数字锚具、数字环可单独使用也可组合使用，其性能应符合下列规定：

1 精确度等级不应低于 0.5%FS；

2 数字内锚具量程不应低于 200kN，数字环量程不应低于 500kN；

3 分度值不应大于 1kN；

4 工作温度宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ ；

5 传感器及导线应在 0.5MPa 水压下不渗漏。

4.0.6 注浆管宜采用高密度聚乙烯、聚氯乙烯或聚丙烯材料，且注浆管承受的一次压力不应小于 1.0MPa；注浆管承受的二次注浆压力不应小于最大注浆压力的 1.2 倍，且不应小于 5.0MPa。

4.0.7 定位架、束线环及绑扎线宜采用非金属材料。

4.0.8 定位架应具备隔离与对中功能，且其形状及结构应能满足锚筋保护层要求；定位架的开孔率应能满足浆液在钻孔内的流动性要求。

4.0.9 注浆体宜采用水泥净浆并应符合下列规定：

1 水泥宜采用强度等级为 P.O 42.5R 及 P.O 52.5R 的普通硅酸盐水泥，扩孔水泥可采用普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥；

2 注浆体拌和用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ63 的规定；

3 可使用控制浆液泌水、改善流动性、减少用水量、调整凝结时间或提高早期强度的外加剂，外加剂不应劣化浆体的粘结性能。

4.0.10 外锚具应采用夹片式锚具。

4.0.11 锚垫板宜采用热轧钢板制作，牌号不宜低于 Q355B。

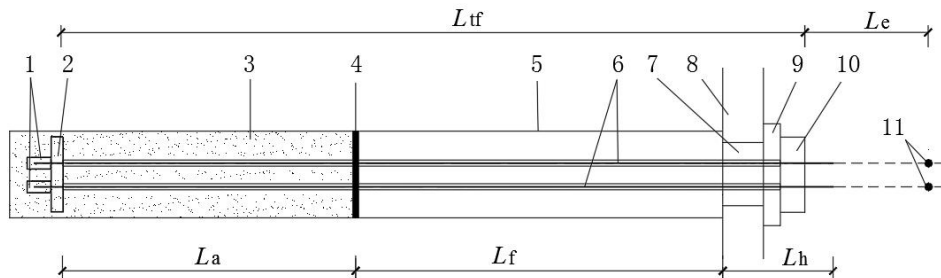
5 设计

5.1 一般规定

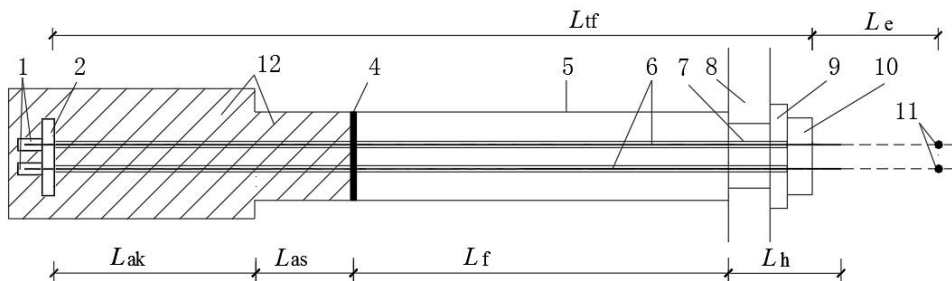
5.1.1 热熔锚工程设计宜包括下列内容：

- 1 锚杆设计工作年限的确定；
- 2 锚杆类型及预制杆产品的选型；
- 3 锚杆拉力标准值、极限抗拔承载力、抗拆力、锁定荷载的确定；
- 4 锚杆尺寸、立面布置、单元锚杆数量及纵向间距的要求；
- 5 数字锚的比例、布置及测试要求；
- 6 构造要求；
- 7 外锚头防腐技术要求；
- 8 杆体安装前后的保护要求；
- 9 成孔、注浆、张拉、锁定、回收等施工工艺要求；
- 10 回收条件要求；
- 11 锚杆试验、质量检验和监测要求等。

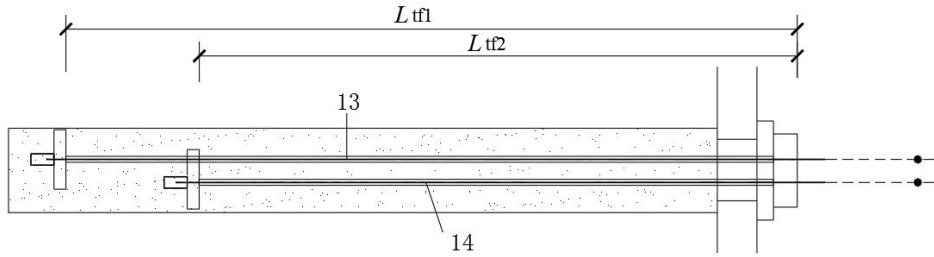
5.1.2 热熔锚类型可按锚固体外形及内外锚头布设形式分为压力型热熔锚、扩体型热熔锚及压力分散型热熔锚（图 5.1.2）。



(a) 压力型热熔锚



(b) 扩体型热熔锚



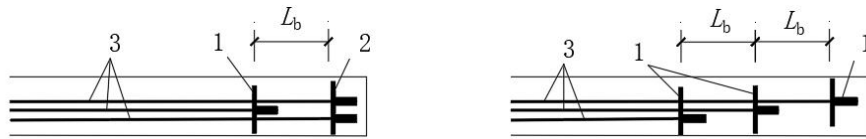
(c) 压力分散型热熔锚

图 5.1.2 热熔锚常用类型结构简图

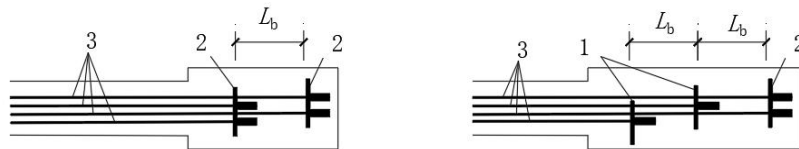
1—内锚具；2—承载板；3—浆体/锚固体；4—止浆塞；5—孔壁；6—无粘结钢绞线；7—穿筋孔；8—锚座；9—锚垫板；10—外锚具；11—千斤顶夹持点；12—水泥土/锚固体；13—1#单元锚杆；14—2#单元锚杆； L_e —张拉段； L_{tf} —锚筋自由段； L_b —外锚头段； L_f —自由段； L_a —锚固段； L_{as} —原孔锚固段； L_{ak} —扩孔锚固段； L_{tf1} —1#单元锚杆锚筋自由段； L_{tf2} —2#单元锚杆锚筋自由段

5.1.3 热熔锚在孔内沿轴向布置（图 5.1.3）时，宜符合下列规定：

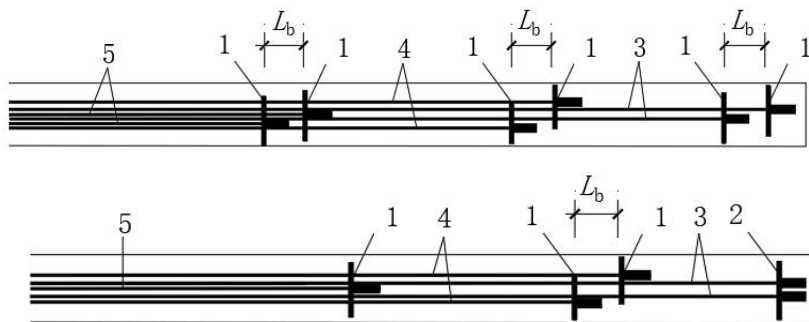
- 1 宜分组设置单元锚杆；
- 2 单元锚杆数量不宜超过 3 组，且每组不宜超过 3 个；
- 3 承载板宜沿轴向错槎布置，其组内间距 L_b 宜为 0.5m~1.5m；
- 4 扩体型锚杆的承载板宜布置在扩体段内。



(a) 压力型



(b) 扩体型



(c) 压力分散型

图 5.1.3 热熔锚沿轴向布置形式

1—单筋杆；2—双筋杆；3—第 1 组单元锚杆；4—第 2 组单元锚杆；5—第 3 组单元锚杆；
 L_b —承载板组内间距

5.1.4 热熔锚杆体选型应符合下列规定：

- 1 等直径锚杆应根据钻孔直径选择套管尺寸及预制杆体规格；
- 2 等直径锚杆中单元锚应根据其抗拔承载力的要求选择单筋杆、双筋杆或其组合形式；
- 3 旋喷扩体锚杆的单元锚应选择双筋杆。

5.1.5 热熔锚的换撑设计，应符合下列规定：

- 1 锚杆的竖向布置宜与地下建筑结构楼层相匹配；
- 2 应遵循“先换撑、后回收”的原则，设计工况应包含从下到上逐层换撑及拆锚过程中的最不利工况；
- 3 换撑结构及构件的强度与刚度应满足地下建筑工程实际要求；
- 4 基坑的肥槽宜采用预拌流态固化土进行回填。

5.1.6 锚固体采用注浆体时抗压强度不应低于 25MPa，采用水泥土时抗压强度不应低于 0.5MPa。

5.1.7 锚杆荷载设计锁定值宜为轴向拉力标准值的（0.8~1.0）倍。

5.2 承载力计算

5.2.1 锚杆受拉承载力应满足下式要求：

$$R_{uk} \geq K_a N_k \quad (5.2.1)$$

式中： R_{uk} ——锚杆受拉极限承载力标准值（kN），为锚固体抗拔承载力、锚筋抗拉承载力及锚固体底端抗压承载力极限标准值中的最小值，应由锚杆荷载试验确定，初步设计时也可按 5.2.3~5.2.7 条估算；

N_k ——作用标准组合时的锚杆轴向拉力标准值（kN），由锚固结构设计计算得到；

K_a ——锚杆受拉承载力安全系数，不应小于 1.5。

5.2.2 热熔锚具抗拆力不应小于 $1.3N_k$ 。

5.2.3 锚固体抗拔承载力可按下式估算：

$$R_{uk,f} = \pi D \sum f_{mk,i} L_{a,i} \quad (5.2.3)$$

式中： $R_{uk,f}$ —— 锚固体抗拔极限承载力标准值（kN）；
 D —— 锚固体直径（m），宜取钻孔直径；
 $f_{mk,i}$ —— 锚固体与第*i*层岩土层之间粘结强度标准值（kPa），可按本地经验初定，也可按附录 B 建议的经验值初定；
 $L_{a,i}$ —— 锚固段在第*i*层岩土层中的长度（m），每组可取最长预制杆对应的锚固段长度。

5.2.4 锚筋抗拉极限承载力可按下式估算：

$$R_{uk,l} = nF_{p0.2} \quad (5.2.4)$$

式中： $R_{uk,l}$ —— 锚筋抗拉极限承载力标准值（kN）；
 $F_{p0.2}$ —— 钢绞线 0.2%屈服力（kN），应按现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定取值。

5.2.5 锚固体为浆体时底端抗压极限承载力可按下式估算，为扩体形状的水泥土时可按本规程附录 C 进行选取：

$$R_{uk,p} = \eta A_{ln} f_{ck} \quad (5.2.5)$$

式中： $R_{uk,p}$ —— 锚固体底端浆体抗压极限承载力标准值（kN）；
 η —— 承载力修正系数，可取 2.0~4.0 或按本地经验初步确定；
 A_{ln} —— 锚固体抗压净面积（m²），为承载体与锚固体的净接触面积扣除锚筋孔洞横截面积之后的净面积；
 f_{ck} —— 浆体边长为 70.7mm 的立方体抗压强度标准值（kPa）。

5.2.6 扩体型锚杆抗拔极限承载力可按下式估算：

$$R_{uk,e} = \lambda \pi f_{mk} D L_{as} + \pi f_{mk} D_k L_{ak} + \pi (D_k^2 - D^2) f_{ak} / 4 \quad (5.2.6)$$

式中： $R_{uk,e}$ —— 扩体锚杆抗拔极限承载力标准值（kN）；
 D 、 D_k —— 分别为原孔锚固段及扩体锚固段的锚固体直径（m）；
 L_{as} 、 L_{ak} —— 分别为原孔锚固段长度及扩体锚固段长度（m）；
 λ —— 粘结强度折减系数，可取 0.8~1.0 或按本地经验初步确定；
 f_{ak} —— 扩体锚固段面端岩土层端阻强度标准值（kPa），可按附录 B 或本地经验初步确定。

5.2.7 压力分散锚杆锚固体抗拔承载力初步设计时可取各组单元锚杆锚固体抗拔承载力之和。

5.2.8 热熔锚具抗拆力应由锚杆试验确定，初步设计时可按 $0.85R_{uk,l}$ 进行估算。

5.3 构造

5.3.1 肥槽宽度不宜小于 1.2m。

5.3.2 锚杆布置应符合下列规定：

1 外锚头竖向位置宜设置在换撑结构上方 0.5m~1.2m；

2 竖向排距不宜小于 2.5m；水平间距不宜小于 1.2m 且不宜小于锚固体直径的 3.0 倍，距离更小时可角度交错或长短交错布置。

5.3.3 锚固段的设置应符合下列规定：

1 锚固段宜设置于岩层、稍密~密实的碎石土层及砂土层、可塑~坚硬状的黏性土层及相应性状的粉土层中；

2 锚固段不应设置在未经处理的软弱土层、不稳定土层和不良地质作用地层中；

3 锚固体与相邻基础、地下结构、地下管线等设施的距离及锚杆的间距不宜小于锚固体直径的 3 倍且不宜小于 1.2m，其中扩体型锚杆应取扩体段锚固体直径；

4 锚固段上覆土层厚度不宜小于 4.0m，上覆岩层厚度不宜小于 2.0m；

5 基坑的阳角区域锚固段宜错落布置且不应在同一平面上相交；

6 压力型锚杆在岩石中的锚固段长度可为 3.0m~8.0m，在土层中的锚固段长度可为 6.0m~16.0m；压力分散型锚杆在岩石中的单元锚杆锚固段长度可为 2.0m~4.0m，在土层中的锚固段长度可为 3.0m~8.0m；扩体锚固段长度可为 2.0m~4.0m。

5.3.4 锚杆自由段的设置应符合下列规定：

1 自由段长度不宜小于 6.0m 且其超过潜在滑裂面外不宜小于 2.0m，位于软弱土层中的锚杆及扩体型锚杆的自由段长度宜加长；

2 扩体型锚杆扩体锚固段前端至软弱土层的距离不宜小于 4.0m，潜在滑裂面位置的确定应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定；

3 扩体锚杆的原孔段长度不应小于 7m，与扩体段直径之比不应小于 11。

5.3.5 等直径锚杆钻孔，宜符合下列规定：

1 岩层中钻孔直径不宜小于 90mm，土层中钻孔直径不宜小于 130mm，扩孔直径不宜小于 300mm；

2 钻孔直径宜大于承载板最大直径 10mm 以上；

3 钻孔倾角宜为 $10^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。

5.3.6 锚垫板设置宜符合下列规定：

1 宜采用正方形；

2 边长不宜小于 200mm，厚度不宜小于 20mm；

3 锚垫板穿筋孔的孔径宜大于锚杆杆体外径 10mm~30mm 且不宜大于钻孔直径；

4 锚垫板下宜设置找平层，找平层可采用砂浆、细石混凝土或钢楔，其中砂浆及细石混凝土强度等级不宜低于锚座混凝土强度等级。

5.3.7 锚座穿筋孔应预埋穿筋管，穿筋管的孔位及角度应与杆体同轴，孔径宜大于锚杆杆体外径 10mm~30mm 且不宜大于钻孔直径。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 热熔锚专项施工方案，应包括下列内容：

- 1 岩土工程勘察资料与设计的要求；
- 2 工程场地及周边环境条件；
- 3 热熔锚的场地布置、施工工艺及施工技术参数；
- 4 预应力张拉及锁定要求；
- 5 锚筋回收要求；
- 6 施工质量检验要求；
- 7 工程监测要求等。

6.1.2 热熔锚施工所用材料的品种、规格、性能和施工设备的技术性能，应符合设计要求及国家现行有关标准的规定。

6.1.3 热熔锚施工前应对机械设备进行检查与试运行。

6.1.4 等直径锚杆宜采用套管成孔后注浆工艺，扩体型锚杆宜采用旋喷扩体自进工艺。

6.1.5 热熔锚施工及使用过程中应对锚杆杆体、锚头和导线、数据线等采取有效保护措施。

6.1.6 热熔锚施工可按本规程附录 D 进行记录，其内容宜包括：锚杆型号及编号、锚杆部位、不同阶段的通电测试情况、故障情况及位置、测试日期、测试仪型号及编号等。

6.1.7 热熔锚施工过程中，应采取施工安全防护与控制振动、噪声、扬尘、废水、废弃物及有毒有害物质对工程场地、周边环境和人身健康的危害的措施。

6.1.8 热熔锚施工宜利用数字锚和数字环进行全过程监测。

6.2 等直径锚杆钻孔与注浆

6.2.1 施工前应根据设计要求、场地岩土工程条件、现场及周边环境、场地施工条件及效率等选择施工机械设备、成孔及扩孔工艺、施工技术参数等。

6.2.2 热熔锚成孔钻具的规格应能满足终孔直径不小于设计孔径的要求。

6.2.3 锚杆施工采用套管护壁，应满足下列要求：

- 1 套管内壁与承载板周边的空隙不宜小于 3mm；

- 2 套管接头宜采用平口连接方式;
 - 3 套管内壁、钻头刀齿应平滑圆润,不得出现尖锐、快口;
 - 4 安放杆体前应清除孔内岩粉、土屑及泥浆;
 - 5 安放杆体时宜在最上节套管管口设置软垫片。
- 6.2.4** 岩层中钻孔深度超过锚杆设计长度不应少于 0.2m,土层中超过锚杆设计长度不应少于 0.5m。
- 6.2.5** 钻孔孔口为支护桩或地连墙等地下结构时,宜采用开孔器在地下结构上开孔。
- 6.2.6** 混凝土梁处的锚索施工时,宜先进行混凝土梁施工,在梁中预安装过渡管再施打锚杆。
- 6.2.7** 锚杆钻孔的允许偏差,应符合下列规定:
- 1 孔位允许偏差为 100mm;
 - 2 孔径允许负偏差为 3mm;
 - 3 孔长允许负偏差为孔长的 2%且不大于 500mm;
 - 4 锚杆角度允许偏差为 3°。
- 6.2.8** 浆液拌制及储备应采用专用机械设备随用随制备。
- 6.2.9** 注浆应符合下列规定:
- 1 应根据注浆工艺、浆体种类、输送距离、设计注浆压力、连续注浆量等选择注浆机械设备及装置;
 - 2 宜采用二次注浆工艺;
 - 3 一次注浆应在套管内进行,注浆管宜插入至距离钻孔底端 200~500mm 处自下而上连续注浆;
 - 4 一次注浆管管口应始终埋设在浆液内,当孔口溢出等浓度浆液后方可停止注浆且不宜补浆;
 - 5 热熔锚的二次注浆宜在一次注浆完成后 2~12h 内进行,开环压力不宜低于 2.0MPa;
 - 6 孔口不宜封堵溢浆;
 - 7 宜采取停留注浆、反复注浆及二次注浆管在承载板处开设出浆孔等措施;
 - 8 浆体水灰比应满足可灌性及浆体强度要求,宜通过配合比试验最终确定,初步确定时一次注浆水灰比可为 0.45~0.55、二次注浆水灰比可为 0.5~0.7。

6.2.10 实际注浆量不应小于理论计算值。

6.3 旋喷扩体锚杆钻孔和注浆

6.3.1 旋喷扩体锚杆成锚工艺宜符合下列规定：

- 1 钻机喷嘴直径宜为 2.0mm~3.0mm；注浆泵功率不应小于 90kW 且柱塞不应小于 50mm；
- 2 应采用专用钻头钻进，且钻头宜与钻杆采用锥丝、方丝、波纹丝等丝扣形式连接；
- 3 输送扩体介质的管路长度不宜超过 50m；
- 4 非扩体孔段可采用直接钻进或预成孔，扩体段应采用钻扩一体化同步成孔；
- 5 直接钻进时，自由段宜采用清水引孔，水压宜为 5MPa~15MPa；
- 6 宜采用螺旋钻杆、三叶钻头预成孔，并宜采用膨润土、水泥等护壁材料；
- 7 扩体段应采用水泥浆扩孔，扩孔喷射压力不应小于 20MPa，喷嘴给进速度宜为 10cm/min~15cm/min，喷嘴转速宜为 5cm/min~15r/min；
- 8 预制杆应安装在钻杆上，钻杆进尺时应将杆体同步带入；
- 9 钻进时不得退杆；
- 10 退杆应匀速并保持方向稳定；
- 11 旋喷扩体型锚杆可不进行二次注浆。

6.3.2 扩体锚杆注浆工艺宜符合下列规定：

- 1 宜根据注浆工艺、浆体种类、输送距离、设计注浆压力、连续注浆量等因素选用适合的注浆机械设备及装置；
- 2 孔口不宜封堵溢浆且不宜补浆；
- 3 水泥浆水灰比宜为 1.0~1.2；
- 4 钻杆退出时宜停止高压注浆。

6.3.3 施工前，应进行工艺性试验并根据试验结果确定施工参数。

6.3.4 钻孔、混凝土梁处的锚索施工、锚杆钻孔的允许偏差、浆液拌制及储备等应按本规程第 6.2.5~6.2.8 条的规定执行。

6.4 杆体制作与安装

6.4.1 预制杆体的制作，应符合下列规定：

- 1 预制杆体宜采用工厂制作；
- 2 预制杆体宜在现场与一次注浆管及二次注浆管、定位架及束线环等组装为

完整杆体，其中采用自进工艺的热熔锚可不设置定位架及束线环；

3 杆体应平行顺直，不得相互交叉、扭曲；

4 定位架应沿杆体全长布设，外径宜小于孔径 4mm~6mm，间距宜为 1.5m~2.0m；

5 钢绞线之间净距不应小于 10mm，定位架间距允许偏差为 100mm，承载板间距允许偏差为 100mm；

6 同一件预制杆的钢绞线内置导线宜采用不同颜色。

6.4.2 预制杆运输、存放、组装、搬运及安装过程中，应避免引起无粘结钢绞线护套、导线及数据线的机械损伤。

6.4.3 杆体组装宜采用尼龙扎带绑扎且严禁使用铁丝绑扎，杆体搬运宜采用吊装带。

6.4.4 杆体的安装应符合下列规定：

1 安装前，应检查规格、长度、解锁系统及测力系统的完整性；

2 杆体的套管口和各节套管接头处应平滑，不得有毛刺；

3 应采取防止扭压、弯曲杆体及防止杆体与孔口摩擦的措施；

4 应轻装轻卸，严禁投掷或在地上拖拉；

5 宜在拔出套管前置入杆体，并应采取防止杆体被套管带出的措施；

6 钻孔内杆体的长度安装偏差为 100mm。

6.4.5 杆体下料长度不应小于钻孔内杆体长度、锚座及数字环厚度与张拉段长度之和。

6.5 张拉和锁定

6.5.1 水泥浆体、水泥土及混凝土锚座的标准养护期宜为 28d，最短养护期应根据气候条件、地质条件、工程特点及设计施工参数等条件综合确定。

6.5.2 张拉与锁定作业应符合下列规定：

1 锚杆张拉装置设备及施工要求应符合本规程附录 F 的规定；

2 张拉锁定时应达到最短养护期且注浆体强度不应小于设计强度的 80%，混凝土锚座强度不应低于 20MPa；

3 已经过第三方检测合格的锚杆可直接加载到放张荷载后锁定，否则宜先张拉自检、后张拉锁定。

6.5.3 热熔锚的张拉自检，应符合下列规定：

- 1 不应安装工作锚具及夹片；
- 2 宜采用快速法加卸载，加卸载程序及合格判定标准应符合本规程第 7 章规定；

- 3 应对张拉数据进行全程自动记录。

6.5.4 当锚杆自检不合格时应采取处置措施。

6.5.5 热熔锚的放张荷载应通过锁损试验结果确定，并宜符合下列规定：

- 1 初定放张荷载，放张荷载可按设计锁定荷载的 1.1 倍~1.3 倍或其它经验值初定；

- 2 宜安装锚垫板、数字测力环、工作锚、限位板、千斤顶及工具锚；

- 3 宜加载至放张荷载后放张，进行锚杆锁定；

- 4 张拉过程中宜记录数字测力环示值及张拉荷载示值，建立两者的换算曲线或公式，锁定后测读数字测力环，将数字测力环示值换算为张拉荷载示值，该值可判定为实际锁定荷载；

- 5 当实际锁定荷载与设计锁定荷载之差不大于 10%或满足设计要求时，可判定中止试验，否则应继续试验；

- 6 计算锁定损失荷载，锁定损失荷载宜为放张荷载与实际锁定荷载之差；

- 7 宜调整放张荷载为设计锁定荷载与 1.1~1.3 倍，并锁定损失荷载之和；

- 8 宜按本条第 3~5 款的规定，再次张拉、锁定、换算及分析判定。

6.5.6 当千斤顶行程小于锚杆最大试验荷载下的位移时宜采用分次锁定、大行程千斤顶或两个千斤顶叠加等方法。

6.5.7 热熔锚分次锁定试验宜按下列步骤进行：

- 1 按千斤顶最大行程的 60%~90%对应的荷载进行第一次张拉锁定；

- 2 进行锁损试验检测锚杆实际锁定荷载；

- 3 按初定放张荷载与实际锁定荷载之差的 1.1~1.3 倍或其它经验值、与实际锁定荷载之和作为二次放张荷载继续张拉锁定；

- 4 进行锁损试验检测锚杆实际锁定荷载，实际锁定荷载与设计锁定荷载之差应不大于 10%或满足设计要求，否则应调整放张荷载继续试验。

6.5.8 压力分散锚杆及长度小于 15m 的锚杆宜采用多千斤顶对各束钢绞线实行等荷载同步张拉及锁定，长度大于 15m 的压力型及扩体型锚杆可采用多千斤顶同步张拉锁定，也可采用一个千斤顶等位移张拉锁定。

6.5.9 锚杆张拉段在地下室回填前不宜切除。

6.6 锚筋回收

6.6.1 热熔锚应在进场后、安装前、安装注浆后及张拉锁定前后分别进行导电测试；电路不通时，应采取更换、重新施工等处置措施。

6.6.2 热熔锚导电测试电阻应为 $1\Omega\sim 15\Omega$ 。

6.6.3 锚筋拆除回收作业应具备下列条件：

- 1 基坑肥槽回填、支护结构换撑、锚杆卸载等工况应满足设计要求；
- 2 支护换撑结构的强度、刚度及稳定性验算应满足设计要求；
- 3 施工作业人员及机具设备的工作面应满足安全距离的要求。

6.6.4 拆筋回收作业宜采用先通电解锁、再拆除外锚具、后回收钢绞线的顺序进行。

6.6.5 热熔锚拆筋回收作业，应符合下列规定：

- 1 应采用自动回收机拔出锚筋；
- 2 应设置适合的回收作业平台；
- 3 应采用自下而上顺序分层拆除；
- 4 通电热熔时间不宜少于 45min，电压不应高于 36V；
- 5 宜采用先短后长顺序依次抽出锚筋。

6.6.6 当筋体拆除回收失败时，可采取下列处理措施：

- 1 可采用套管钻机套打锚筋或锚固体；
- 2 可在锚杆周边钻孔后置入高压水枪，解除锚固体与地层的全部粘结或部分粘结，降低锚固体抗拔承载力后将其拔出；
- 3 钻孔后置入水刀，可用高压水在锚杆底部切断钢绞线后将其拔出；
- 4 扩体锚固段为水泥土的锚杆，可置入水刀把锚固段水泥土破碎后再将钢绞线拔出。

6.6.7 锚筋拆除回收作业宜按本规程附录 D 进行记录与评价。

7 锚杆试验

7.1 一般规定

7.1.1 锚杆荷载试验应符合下列规定：

- 1 试验时应达到最短养护期且锚杆浆体强度不应小于设计强度的 80%;
- 2 试验时混凝土锚座强度不应低于 20MPa, 且不宜低于 25MPa;
- 3 宜采用自动张拉记录系统。
- 4 张拉装置设备及操作要求应符合本规程附录 E 的规定。

7.1.2 热熔锚基本试验应符合本规程附录 F 的规定, 持有荷载试验应符合本规程附录 G 的规定, 数字锚可不进行持有荷载试验。

7.2 回收试验

7.2.1 回收试验应专门制作试验锚杆。

7.2.2 试验锚杆的制作应符合下列规定:

- 1 锚杆长度、锁定荷载及承载力均应取锚杆中的最大值;
- 2 锚杆试验数量不应少于 3 根;
- 3 当基坑下半部分岩土层与上半部分岩土层性状差异较大时, 应补充不少于 3 根试验锚杆;
- 4 试验锚杆的岩土层条件、锚杆杆体和参数、施工工艺及施工参数等应与工程锚杆基本相同。

7.2.3 试验锚杆施工应符合下列规定:

- 1 不应损伤外锚头、钢绞线及解锁电线等用具;
- 2 锚筋护套不应破损, 浆液、泥浆等杂物不应漏入护套及热熔锚具内;
- 3 张拉段长度应能满足试验及回收操作要求。

7.2.4 同一试验锚杆不得同时用于回收试验与极限性基本试验。

7.2.5 回收试验应按下列步骤进行:

- 1 进行非极限性基本试验, 试验方法宜按本规程附录 F 的规定执行;
- 2 进行锁损试验;
- 3 进行张拉锁定, 锁定值宜为锚杆设计最大锁定荷载的 1.25 倍;
- 4 进行持荷, 持荷时间不宜少于 5h;
- 5 进行锚筋持有荷载试验, 试验方法宜按本规程附录 G 的规定执行;
- 6 拆除锚具, 解锁, 回收锚筋。

7.2.6 回收试验满足下列规定时, 应判定为试验合格:

- 1 基本试验维持荷时间内位移稳定;
- 2 持有荷载为锁定荷载的 0.7~1.1 倍或按设计要求;

3 按预定方式的回收率为 100%。

7.2.7 热熔锚回收试验合格后，方可进行工程锚施工。

7.2.8 试验锚杆的回收率不合格时，应分析查明原因并采取处置措施。

7.3 工程锚杆承载力自检试验

7.3.1 工程锚杆最大试验荷载取值应符合设计要求且不宜少于 $1.25N_k$ 。

7.3.2 工程锚杆的加卸载程序宜符合试验要求（图 7.3.2）。

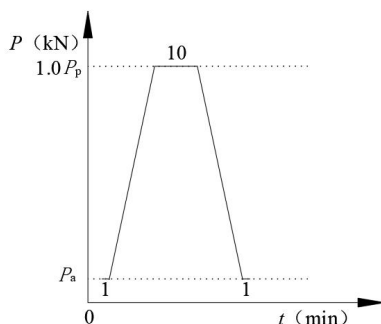


图 7.3.2 承载力自检加卸载程序

P_a —试验初始荷载； P_p —试验最大荷载

7.3.3 当进行工程锚杆承载力自检时宜安装数字测力环并按 1 次/min 频率测读荷载值，连续两次荷载读数变化不超过 $0.01P_p$ （或 1kN）及第 6min~10min 位移增量不大于 0.6mm 时应判定为自检合格。

7.4 数字锚测试

7.4.1 当存在下列情况之一时，可采用数字锚进行测试：

- 1 锚杆荷载试验；
- 2 压力（分散）型锚杆的锚筋摩阻力测试；
- 3 锚杆回收试验；
- 4 锚杆持有荷载监测。
- 5 锚杆锁定值的确定。

7.4.2 数字锚测试宜按下列步骤进行：

- 1 在锚固体终凝 3d 内检查传感器及线路的完好性；
- 2 测试前测读初始压力值；
- 3 按加卸载程序逐级加载至预定最大试验荷载；
- 4 卸载到初始试验荷载；
- 5 自动记录加卸载过程中的压力读数。

7.4.3 数字锚的加卸载程序应符合设计要求,当设计无要求时可按照本规程附录 F 的非极限性基本试验要求执行。

7.4.4 数字锚测试结果与外锚头荷载值的差值可作为该级荷载下锚筋摩阻力损失。

7.4.5 数字锚测试结果可用于锚筋持有荷载验收检验。

8 持有荷载监测

8.0.1 热熔锚应进行持有荷载监测。

8.0.2 热熔锚持有荷载监测按实施阶段可分为锚杆张拉锁定阶段监测及锁定后长期监测两个阶段。

8.0.3 热熔锚的监测仪器设备宜符合下列规定：

- 1 宜采用数字环等传感器或数字锚具；
- 2 监测仪器设备应满足观测精度和量程要求，且其测量值宜在测力装置全量程 25%~80%之间；
- 3 监测仪器设备应经过校准或标定合格且在规定的校准有效期内使用。

8.0.4 热熔锚锁定后监测点布置应符合下列规定：

- 1 场地岩土条件复杂地段及锚杆设计承载力较大地段宜布置监测点；
- 2 对于多层锚杆支挡式结构，每层锚杆测点宜布置在同一监测断面；
- 3 锚杆持有荷载和变形监测点宜布置在同一监测断面。

8.0.5 热熔锚锁定后监测时间与频率应符合下列规定：

- 1 监测时间不宜短于工程施工时间；
- 2 监测频率除应满足设计要求外，尚可按下列规定执行：
 - 1) 荷载增加期间宜为 1d~3d；
 - 2) 荷载稳定期间宜为 5d~10d；
 - 3) 工程结束后，宜为 30d~60d 监测一次；
- 3 当监测数据异常或锚杆荷载变幅较大情况时应增加监测频率；
- 4 数据稳定时可降低监测频率。

8.0.6 热熔锚锁定后持有荷载测量，应符合下列规定：

- 1 数字锚应在进场后、安装注浆后及张拉锁定后分别进行传感信号测试，当线路出现故障时应查明原因并采取处理措施；
- 2 张拉锁定后应测读锁定荷载，作为锚杆持有荷载的第一次测读数据；
- 3 测量读数应稳定，每次测量时应重复测量 1 次，宜取平均值作为最终观测值；
- 4 当锚杆需要重新张拉时，张拉前后应分别记录测力计的观测值；
- 5 每次观测时，应量测环境温度，并应记录工程现场施工和运行情况。

8.0.7 热熔锚监测结果及监测报告宜符合下列规定：

- 1** 监测数据应具有完整性、真实性和可靠性；
- 2** 监测数据宜采用实时采集、快速处理及远程传输；
- 3** 当监测数值达到设计规定的预（报）警值时应及时预（报）警，当无设计预（报）警值要求时，监测数据及持有荷载低于设计锁定荷载的 70%或高于 10%时应预警；
- 4** 监测报告应分析判断准确。

9 质量检验

9.0.1 热熔锚预制杆应进行进场验收检验合格后，方可允许使用。

9.0.2 热熔锚采用工厂化制作时，杆体进场检验项目及数量应符合下列规定：

1 每个检验批容量不应超过 2000 件，且单筋杆应按 1 件计量、双筋杆应按 2 件计量；

2 预制杆应随机抽样钢绞线长度，宜采用钢卷尺测量承载体底端至钢绞线端头的长度，检验比例不应低于该批容量的 2%且应不少于 10 件；

3 热熔锚导电检测、数字锚导电检测及传感信号检测比例应为该批容量的 100%，检测方法应符合产品使用说明书的要求；

4 热熔锚具静载锚固性能检验数量不应少于 3 件，其检验方法宜按现行行业标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 的规定执行，且锚具效率系数不宜低于 95%；

5 钢绞线力学性能检验数量不应少于 3 件，抗拉强度及伸长率的检验应按现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定执行。

9.0.3 杆体进场检验合格标准及检验不合格时，采取的处理方法应符合下列规定：

1 预制杆钢绞线长度与设计要求长度的允许偏差为：当杆体长度小于等于 10m 时负偏差为 0.1m，当杆体长度大于 10m 时负偏差为 1%；正偏差为 1.0m；

2 当杆体检验不合格时应另取不合格样本数量的 2 倍进行扩大检验，如仍有不合格时则应判定为该批进场检验不合格；

3 杆体导电检测结果异常的热熔锚及数字锚均不得使用，传感信号检测异常但导电检测正常的数字锚仅可用作热熔锚。

9.0.4 锚固体留置试块宜符合下列规定：

1 宜每 60 根锚杆留置 1 组试块，且每组试块数量宜为 3 个；

2 宜从锚杆孔口收集返浆制作试块；

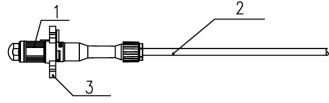
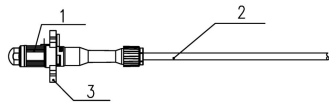
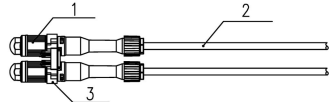
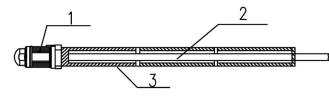
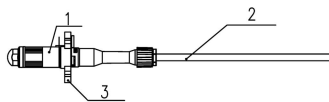
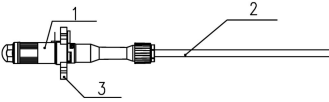
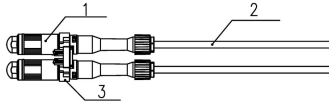
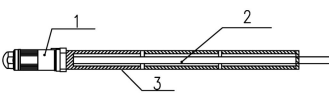
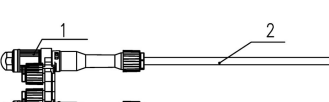

3 试块立方体抗压强度试验宜按现行行业标准《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70 的规定执行；

4 试块强度不合格时，可采用锚杆承载力验收试验进行验证检测，且验证检测数量不宜少于不合格锚杆组数且不宜少于 2 根。

附录 A 热熔锚杆体技术要求

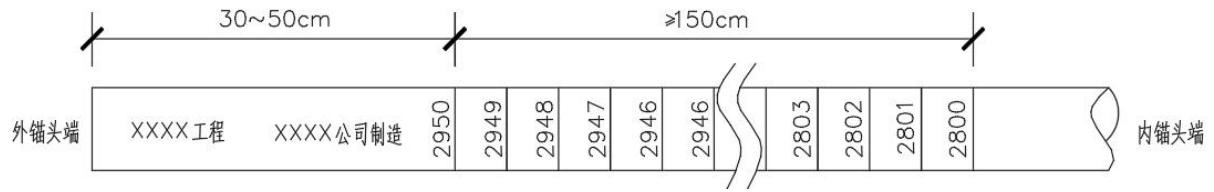
A.0.1 热熔锚的杆体构造应按表 A.0.1 的规定采用。

表 A.0.1 杆体构造形式

形式			锚索杆体图例	部件名称			最大单件残留物长度 (m)	金属残留物体积 ($\times 10^{-3} \text{m}^3$)
类型	名称	编号		1	2	3		
等直径锚索	可回收热熔锚	RZ-112		热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 112$ 承载板	0.4	0.34
		RZ-125		热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 125$ 承载板	0.4	0.39
		RZ-135		热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 135$ 承载板	0.4	0.43
		RF-60		热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	模数制 $\phi 60$ 承载板, 可任意叠加	0.4	0.14
	可回收数字热熔锚	SRZ-112		数字热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 112$ 承载板	0.4	0.39
		SRZ-125		数字热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 125$ 承载板	0.4	0.44
		SRZ-135		数字热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 135$ 承载板	0.4	0.48
		SF-60		数字热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	模数制 $\phi 60$ 承载板, 可任意叠加	0.4	0.19
扩体锚索	可回收热熔锚	RX-205		热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 205$ 承载板	0.4	0.8
	可回收数字热熔锚	SRX-205		数字热熔锚具	带标码无粘结钢绞线	$\phi 205$ 承载板	0.4	0.85

A.0.2 热熔锚的杆体标码形式可按表 A.0.2 的规定采用。

表 A.0.2 热熔锚杆体标码形式



注：1 预制杆外端应刻印产品标识，刻印设备宜采用激光打码设备；

2 标识信息应包括工程名称、生产企业及锚杆长度，工程及企业名称可采用简称；

3 标识区应从预制杆外端向孔底方向不少于 2m，其中图文标识区范围宜为 0.3m~0.5m，长度标识区范围不宜小于 1.5m；

4 标识长度单位宜为 cm，刻度间隔宜为 1cm。

附录 B 浆体与地层之间粘结强度及锚固体端阻强度表 (kPa)

表 B 浆体与地层之间粘结强度及锚固体端阻强度

岩土类别	岩土性状	粘结强度标准值	端阻强度标准值
素填土	—	15~30	100~600
淤泥质土	—	10~30	100~300
黏性土	软塑	15~50	200~400
	可塑	0.50<IL≤0.75	35~60
		0.25<IL≤0.50	40~80
	硬塑	45~100	900 - 1300
	坚硬	70~140	1100~1400
粉土	稍密	20~55	250~600
	中密	30~80	500~700
	密实	50~120	600~1000
砂土	松散	20~50	200~500
	稍密	30~100	450~900
	中密	50~200	700~1200
	密实	80~300	900~2000
碎石土	松散	40~150	300~1000
	稍密	60~200	900~1500
	中密	80~250	1200~2200
	密实	100~350	1400~3000
花岗岩残积土	可塑	0.5<IL≤0.75	40~90
		0.25<IL≤0.5	50~110
	硬塑	60~130	1100 - 1600
	坚硬	70~160	1200~1900
岩体	极软岩	100~300	800~1800
	软岩	200~600	1200~2400
	较软岩	400~1000	—
	较硬岩	600~1600	—
	坚硬岩	800~2000	—

注：1 表中粘结强度值为一次注浆及简易二次注浆的经验值；采用二次分段注浆工艺时可提高 1.1~1.5 倍，岩体中提高倍数较小；

2 对于黏性土层，干钻成孔、套管护壁、洗孔干净、等待注浆时间较短、注浆压力大、浆体强度高、地下水不丰富等工况下粘结强度取较高值；反之取较低值；

3 对于砂土，除上述第 2 点因素外，在密实度相同情况下，粉细砂层取粘结强度较低值，

中粗砂层取中值，砾砂层取较高值；粉细砂含量超过总质量的 30%时取较低值；

4 对于粉土，除上述第 2 点因素外，在密实度相同情况下含水量越大粘结强度取值越低；

5 对于有机质含量为 5%~10%的有机质土，粘结强度取较低值；

6 对于岩体，孔壁粗糙、洗孔干净、地下水不丰富、结构面不发育等工况下粘结强度取高值；反之取低值；

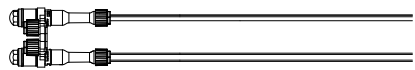
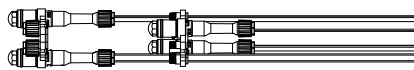
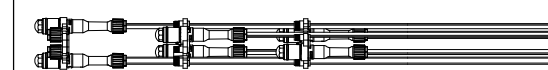
7 表中粘结强度值适用于浆体锚固体。锚固体为水泥土时取表中的中低值，其中砂层粗颗粒多、粒径大取中值，黏性土层取低值；

8 压力型扩体锚杆初步设计时软弱地层中原孔段与岩土体间的粘结强度宜取 0；

9 岩土类别划分应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的规定执行。

附录 C 采用旋喷扩体方式的水泥土受压承载力经验数据表

表 C 采用旋喷扩体方式的水泥土受压承载力经验数据

产品型号		Y-1	Y-2	Y-3	
产品外观					
钢绞线条数		2	4	6	
扩体锚固段长度 (m)		2~4			
承载板间距 (m)		0.5~1	0.5~1	0.5~1	
承载板直径 (mm)		205	205	205	
承载板数量 (个)		1	2	3	
21 天养护期锚固体抗压极限承载力 (kN)					
黏性土	可塑	$0.5 < IL \leq 0.75$	200~300	250~450	350~550
	硬可塑	$0.25 < IL \leq 0.5$			
	硬塑	$0 < IL \leq 0.25$			
粉土	中密	$0.75 \leq e \leq 0.9$	200~300	250~500	400~600
	密实	$e < 0.75$			
14 天养护期锚固体抗压极限承载力 (kN)					
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	250~450	400~600	500~700
	中密、密实	$15 < N$			
细砂	中密、密实	$15 < N$	300~450	550~700	600~800
中砂					
粗砂					

注：表中 IL 表示液性指数，e 表示孔隙比，N 表示标准贯入击数。

附录 D 热熔式可回收锚杆施工记录表

D.0.1 热熔锚导电测试可按表 D.0.1 进行记录。

表 D.0.1 热熔锚导电测试记录

工程名称：
测试仪型号：

锚杆类型：
测试仪编号：

锚杆编号：		锚杆部位：	
测试阶段	进场后	注浆后	锁定后
测试日期			
故障情况			
故障位置			
备注（故障测试仪结果说明）			
测试员			
记录员			
技术负责人			

D.0.2 热熔锚回收可按表 D.0.2 进行记录。

表 D.0.2 热熔锚回收记录

工程名称：

锚杆类型：

锚杆编号	部位	长度（m）	钢绞线总束数	回收束数及长度	未回收束数及长度	回收日期	备注
汇总							

施工工长：
日期：

质检员：
日期：

监理：
日期：

D.0.2 热熔锚回收效果可按表 D.0.3 进行评价。

表 D.0.3 热熔锚回收效果评价

工程名称：

锚杆类型		锚杆数量		回收率	
施工起止日期			回收起止日期		
评价内容：					
施工单位意见： 项目经理： (公章) 年 月 日		总包或交接单位意见： 项目负责人： (公章) 年 月 日		监理单位意见： 总监理工程师： (公章) 年 月 日	
勘察单位意见： 勘察负责人： (公章) 年 月 日		设计单位意见： 设计负责人： (公章) 年 月 日		建设单位结果： 项目负责人： (公章) 年 月 日	

附件：遗留锚杆平面图及剖面图。

附录 E 锚杆荷载试验设备及操作要点

E.0.1 试验过程中，锚杆应与锚座、荷载反力装置及千斤顶等一直处于有效隔离状态。

E.0.2 反力装置提供的反力不应小于 1.2 倍最大试验荷载，且结构及组件应满足承载力和变形要求。

E.0.3 千斤顶应符合下列规定：

- 1 应采用双作用千斤顶；
- 2 总额定负荷宜为预定最大试验荷载的（1.2~2.0）倍；
- 3 应采用多台同步工作时型号及规格应相同。

E.0.4 千斤顶荷载测定宜采用安装在千斤顶上的力类传感器，当采用并联于千斤顶油路的压力表或测力装置测定液压时，应根据千斤顶率定曲线进行荷载换算。

E.0.5 试验系统应符合下列规定：

- 1 试验系统应具有信号自动采集、储存、分析处理、显示时程曲线、与计算机等外部设备数据交换及实时远程传输等功能，并应具有故障时的数据保护功能；
- 2 宜具有防止试验过程意外中断时的应急装置；
- 3 宜具有耐高温、防水、防雷电、防电磁干扰装置；
- 4 张拉设备应具备自动加载及补压功能，并应具备自动与手动两种操控方式；
- 5 应在计量检定或校准有效期内。

E.0.6 传感器及仪器仪表性能除应符合国家现行标准《压力传感器系列型谱》JB/T6172、《精密压力表》GB/T 1227、《线位移传感器校准规范》JJF 1305 及《指示表》GB/T 1219 外，尚应符合下列规定：

- 1 测力装置的准确度等级不应低于 0.5 级；
- 2 压力表类仪表的精确度等级不应低于 0.4 级；
- 3 宜采用位移传感器或大量程位移测量仪表；位移传感器的准确度等级不应低于 0.5 级，全程最大示值误差不应大于 0.1mm；
- 4 最大测量值宜为满量程的 25%~80%。

E.0.7 位移测量仪器仪表，应符合下列规定：

- 1 锚筋应安装至少 1 个测量仪表，且反力装置宜安装 1 个测量仪表；
- 2 外锚头位移测量点宜设置在孔口处的杆体上。

E.0.8 张拉系统安装应符合下列规定：

1 千斤顶、反力装置及锚杆的中心线应重合，且锚座的承压面应平整且与锚杆轴线方向垂直。当不垂直时，应采取处置措施；

2 各工具锚夹片夹持的松紧度应均匀；

3 系统安装后应采用试张拉等方式对系统有效性及仪器仪表灵敏度进行测试检查；

4 宜对锚筋进行预张拉 1~2 次，预张拉荷载可为预定最大试验荷载的 0.2~0.3 倍。

E.0.9 试验加载应符合下列规定：

1 加载应均匀、连续、无冲击，加卸载速率宜为 1kN/s~10kN/s；

2 当最大试验荷载不小于 100kN 时，在维荷期间的变化幅度不应大于该最大荷载的 1%且不大于 10kN，当最大试验荷载小于 100kN 时变化幅度不应大于 1kN；

3 加载至最大荷载时液压泵及油管的压力不应超过其额定工作压力的 80%。

E.0.10 试验初始荷载宜取最大试验荷载的 0.1 倍。

2 当第 5min~15min 位移增量大于 1.0mm 时维荷时间宜延长 45min，第 15min~60min 位移增量不大于 1.2mm 时，宜判定为位移稳定；

3 当第 15min~60min 位移增量大于 1.2mm 时，宜再次延长维荷时间 240min 并取不同时间段计算蠕变率 α ，可判断出 $\alpha \leq 2.0\text{mm}$ 或 $\alpha > 5.0\text{mm}$ 时即可进入下一循环试验，否则宜试验至维荷时间结束。

F.0.7 应绘制荷载—位移 ($P-s$)、位移增量—时间对数 ($\Delta s-lgt$) 及蠕变率—荷载 ($\alpha-P$) 曲线 (图 F.0.7)。

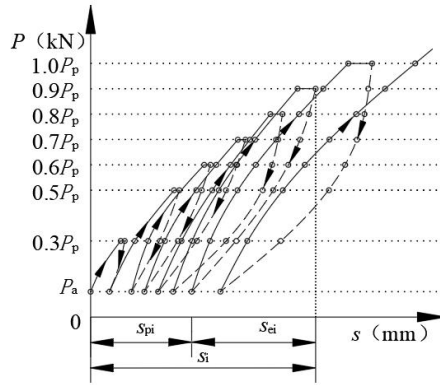


图 F.0.7-1 荷载—位移曲线示意图

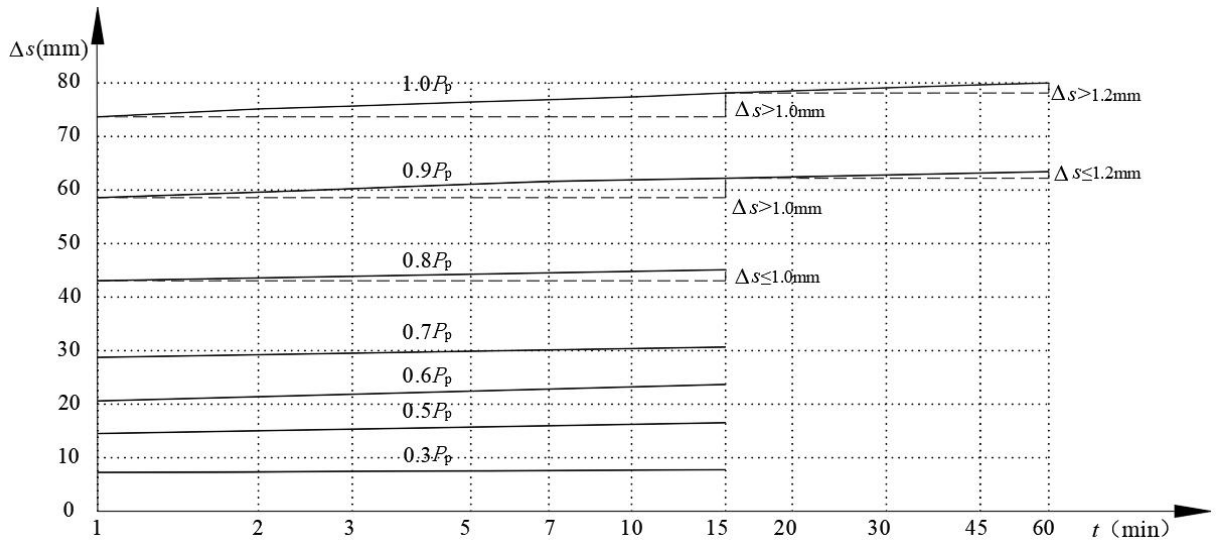


图 F.0.7-2 $\Delta s-lgt$ 曲线示意图 (维荷时长不大于 60min)

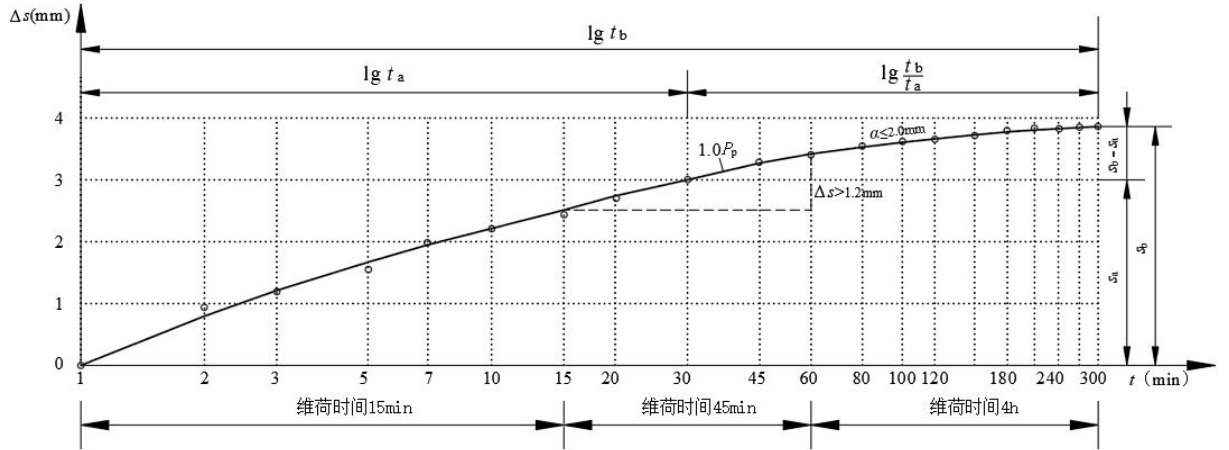


图 F.0.7-3 $\Delta s-lgt$ 曲线示意图 (维荷时长大于 60min)

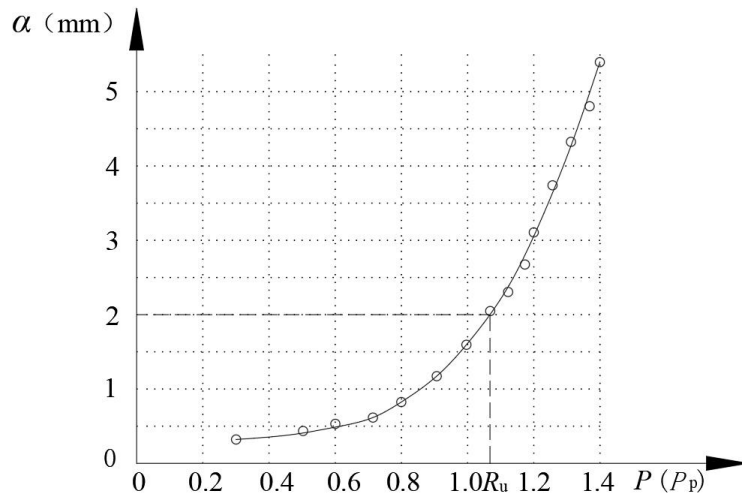


图 F.0.7-4 $\alpha-P$ 曲线示意图

R_u —锚杆极限承载力个体值

F.0.8 锚杆极限承载力个体值 R_u 的计取, 宜符合下列规定:

- 1 当 $\alpha \geq 2.0\text{mm}$ 时, 宜取 2.0mm 对应的荷载或取破坏荷载的前一级荷载;
- 2 当 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 且锚杆达到承载能力极限状态时, 宜取破坏荷载的前一级荷载;
- 3 当 $\alpha < 2.0\text{mm}$ 且锚杆未达到承载能力极限状态时, 宜取实际最大试验荷载。

F.0.9 锚杆承载力计取方法, 宜符合下列规定:

- 1 当锚杆荷载试验数量不少于 6 个时宜按下列公式计算极限承载力标准值:

$$R_{um} = \sum_{i=1}^m R_{u,i} / m \quad (\text{F.0.9-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{[\sum_{i=1}^m R_{u,i}^2 - (\sum_{i=1}^m R_{u,i})^2 / m] / (m-1)} \quad (\text{F.0.9-2})$$

$$\delta_m = \sigma_f / R_{um} \quad (\text{F.0.9-3})$$

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{m} + 4.678 / m^2) \delta_m \quad (\text{F.0.9-4})$$

$$R_{uk} = \gamma_s R_{um} \quad (\text{F.0.9-5})$$

式中： R_{uk} — 锚杆极限承载力标准值 (kN)；

R_{um} — 承载力个体值的平均值 (kN)；

m — 试验数量；

$R_{u,i}$ — 第 i 个试验锚杆极限承载力个体值 (kN)；

σ_f — 标准差；

δ_m — 变异系数；

γ_s — 统计修正系数。

2 当试验数量少于 6 个且极差不超过平均值的 30%时，宜取试验结果中的最小值作为极限承载力代表值；当极差超过平均值的 30%时，应查明分析原因，并结合施工工艺、地层条件等工程具体情况综合确定；

3 锚杆承载力特征值取值应按设计要求，当无设计要求时可按极限承载力标准值或极限承载力代表值除以安全系数 2.0 取值。

F.0.10 锚杆非极限性基本试验加载至预定最大试验荷载时位移稳定应判定试验合格。

F.0.11 锚杆刚度系数 k_{RT} 可按下式计算：

$$k_{RT} = (P_2 - P_1) / (s_2 - s_1) \quad (\text{F.0.11})$$

式中： k_{RT} — 通过锚杆试验获得的锚杆轴向刚度系数 (kN/mm)；

P_2 、 P_1 — P - s 曲线上的特定荷载 (kN)，取值方法宜按第 F.0.12 条规定执行；

s_2 、 s_1 — P_2 、 P_1 所对应的外锚头位移 (mm)。

F.0.12 P_2 、 P_1 及锚杆轴向刚度系数取值，宜符合下列规定：

1 P_2 宜取锚杆轴向拉力标准值，当轴向拉力标准值不明确时宜取锚杆极限承载力标准值的 0.5 倍；

2 P_1 宜取 P_a ，当数据离散性较小时预应力锚杆的 P_1 也可取锁定荷载；

3 当各锚杆轴向刚度系数极差不超过平均值的 30%时可取平均值，当超过 30%时可会同相关各方协商处理，当场地地质条件复杂或数据离散性较大时宜分区取值。

附录 G 持有荷载试验

G.0.1 当试验成果作为验收依据时持有荷载试验开始时间应符合设计要求；无设计要求时试验开始时间宜在锚杆锁定后 5d 至 7d 之间。

G.0.2 锚杆持有荷载试验应分级加卸载且分级荷载宜取预定最大试验荷载的 0.05 倍（图 G.0.2）。

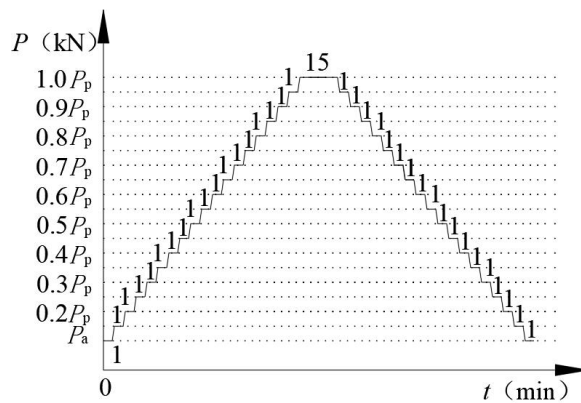


图 G.0.2 持有荷载试验加卸载程序示意图

G.0.3 当采用提离法时进行持有荷载试验时，宜采用下列方法判断提离现象：

1 每级加载完成后宜采用厚度 0.3mm 的塞尺从互成 180°角的两个方向插入锚具与锚垫板之间的缝隙，当塞尺从不能插入至能够插入时宜判断发生了锚板提离现象；

2 当锚具夹片被提起现象清晰可见时宜判断发生了夹片提离现象；

3 可采用网格纸现场绘制 $P-s$ 曲线，当曲线出现了拐点时可结合现场观测成果综合判断是否发生了提离现象。

G.0.4 锚杆持有荷载试验判断发生提离现象后，应继续加载且加载级数宜为 2 级~3 级，最大荷载不宜高于预定最大试验荷载且不宜低于预定最大试验荷载的一半。

G.0.5 锚杆持有荷载试验的最后一级荷载维荷时长宜为 15min，其余各级荷载停留时长宜为 1min，且宜按 1 次/1min 测读并记录外锚头位移。

G.0.6 锚杆持有荷载试验应整理试验数据并绘制 $P-s$ 曲线（图 G.0.6）。

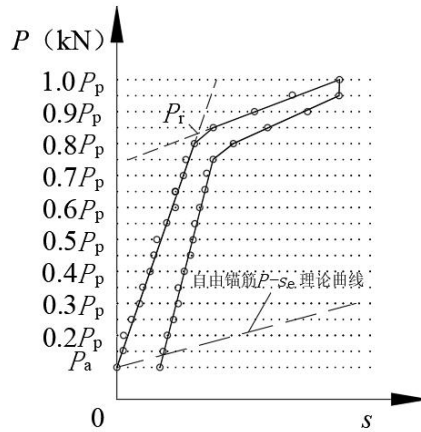


图 G.0.6 持有荷载试验 P - s 曲线示意图

P_r —持有荷载

G.0.7 锚杆持有荷载应按下列顺序分析判断取值，当情况复杂难以判断时可重复一遍试验并结合 P - s 理论曲线的误差范围等因素综合判断：

- 1 P - s 曲线上两拟合直线交点所对应的荷载；
- 2 P - s 曲线上两直线段明显拐点所对应的荷载；
- 3 现场观测发生提离现象时的前一级荷载。

G.0.8 锚杆持有荷载试验合格标准应符合设计要求，当无设计要求时持有荷载如果为设计锁定荷载的 0.8 倍~1.1 倍则可判定为试验合格。

G.0.9 塞尺使用前应擦拭干净。

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待,对于要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”。

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择,在条件允许时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 条文中指明按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

本标准引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本标准；不注日期的，其最新版适用于本标准。

- 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119
- 《建筑地基基础工程质量验收标准》GB 50202
- 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003
- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370
- 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》JGJ/T 70
- 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《无粘结预应力钢绞线》JG/T 161
- 《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401
- 《岩土锚杆技术标准》T/CECS 22
- 《可回收锚杆应用技术规程》T/CECS 999

中国工程建设标准化协会标准

热熔式可回收锚杆技术规程

T/CECS 1629—2024

条 文 说 明

编制说明

本规程制定过程中，编制组进行了国内外的调查研究，总结了我国深基坑工程及临时边坡工程可回收锚杆的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验、工程验证取得了本规程的有关重要技术参数。

随着城市地下空间的不断发展，传统不回收锚杆不仅浪费了大量的建筑材料，同时也给后续地下空间的开发带来了诸多不便，传统锚杆已经不能满足发展需求，采用热熔式可回收锚杆可以解决此类问题，并且可以结合数字化技术，实现全数字化管理。规程适用于基坑工程、设计使用年限不超过 5 年的边坡、基础、挡墙加固等其它临时工程中可回收锚杆的设计、施工、检测与监测。

为了方便广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《热熔式可回收锚杆技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总则	46
2 术语和符号	47
3 基本规定	48
4 材料和部件	50
5 设计	50
6 施工	54
7 锚杆试验	57
9 质量检验	58
附录 F 基本试验	59
附录 J 工程案例	60

1 总则

1.0.2 本规程主要适用于需采用可回收锚杆的基坑工程，也适用于设计使用年限不超过 5 年的边坡、基础、挡墙加固等其它临时工程。

1.0.3 热熔锚工程实施步骤宜符合下列规定：

- 1 初步设计；
- 2 施工试验锚杆，进行回收试验，必要时进行极限性基本试验；
- 3 确定锚杆设计参数及施工工艺；
- 4 施工工程锚杆；
- 5 各方责任主体对锚杆外露的标识长度进行检验；
- 6 选取锚杆进行非极限性基本试验；
- 7 进行锁损测试，检查持有荷载及确定放张荷载；
- 8 选取锚杆进行第三方验收试验；
- 9 第三方验收试验以外的其余锚杆进行承载力自检；
- 10 向相关责任方通报验收试验及自检结果，设计方审核，相关责任方同意后锁定锚杆，进行下一步施工；
- 11 开挖面回填或换撑，拆筋回收。

2 术语和符号

2.1.2 压力型锚杆锚头分为外锚头及内锚头，锚具分为外锚具及内锚具，而拉力型锚杆没有内锚具及内锚头，“锚具”一词指外锚具，“锚头”一词指外锚头。

2.1.4 承载体形状主要有板式及柱式两种，其中柱式承载体如图 1 所示。

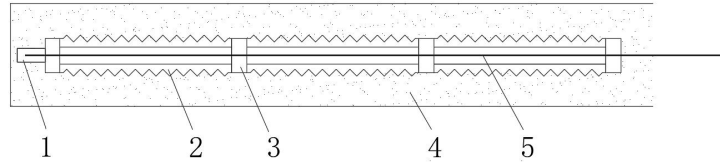


图 1 柱式承载体构造示意图

1—内锚具；2—柱式承载体；3—接头；4—浆体；5—无粘结钢绞线

另外，承载板与锚垫板构造不同，不能混用，其中“锚垫板”也称承压板、钢垫板等，用于外锚头，而承载板用于内锚头。

2.1.6~2.1.8 千斤顶在预应力锚杆锚头处施加的预应力并不能全部传递到锚固体上，即有预应力损失。预应力损失主要原因有 3 个：（1）钢绞线与护套之间的摩擦力；（2）钢绞线的空间弯曲或扭曲，以锚座为典型，锚座穿筋孔如果与锚杆不同轴则会因钢绞线弯折扭曲而造成预应力损失；（3）对中架阻力。锚头至假定滑裂面之间的预应力损失较大时，会导致支护结构的安全度降低，但在数字锚出现之前，业界几乎没有方法测试到预应力损失。数字锚测试钢绞线底端承载板对锚固体的压力，数字环及数字外锚具测试外锚具对锚垫板的压力，内外结合可得到从锁定端到锚固端的预应力损失之和，辅助技术人员全面、及时、准确地了解锚杆承载性能，从而为判断锚杆及锚固结构的受力状态提供了基础条件。

2.1.9~2.1.11 建设工程构件的工厂预制化是大势所趋，锚杆亦不例外，和工程现场制作相比，锚杆杆体预制化能够有效保证构件质量。

2.1.13 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370-2015 中，锚具效率系数指预应力筋-锚具组件实测极限抗拉力与预应力筋公称极限抗拉力之比。

2.1.14 锚具解锁指内锚具或外锚具与锚筋解除物理力学关联的行为动作。

3 基本规定

3.0.2 热熔锚预制杆产品表面全部设置了非金属防腐层兼保护层，具有较强的防腐性、耐久性及耐糙性能，设计工作年限最长可为5年。

3.0.4 通常，预应力锚杆承载力表征着支护强度，承载力及长度共同控制着锚固结构的稳定性，持有荷载则表征着锚杆承载力的发挥程度、控制着支护结构变形，故锚杆承载力、长度及持有荷载这三个参数对岩土锚固工程的质量与结构安全起着决定性作用。本规程对工程锚杆采用自动化记录及数据远程传输技术，可准确测试及实时记录每条锚杆的实际承载性能；采用尾部带有激光打码长度标识的预制锚杆杆体，有效解决了锚杆长度控制的难题；采用数字热熔锚具及数字测力环等技术，可全程实时监控锚杆张拉锁定过程，也可实时监控锚杆的持有荷载，保证了锚固工程的质量与结构安全。

3.0.5 本规程把以确定锚杆设计参数及施工工艺为目的的事前试验均归类于基本试验，一般在同类型锚杆大面积施工前实施，通常由第三方完成，而事后试验为检验类试验。基本试验主要分为极限性试验及非极限性试验两类，前者主要目的是为设计及施工服务，应充分测试各种条件下的相应性能；后者也称为适应试验，通常在锚杆大面积施工前进行，通过试验获得某具体场地中锚杆的实际承载力与位移特性等力学性能，与设计预期指标进行对比校验，主要目的是确认设计参数、施工机械设备及工艺等是否适用于该场地，一般不需试验至破坏。

持有荷载试验通常采用提离法进行，具体操作为：锚杆锁定后，不松开锚具，千斤顶跨立在锚头上对锚头逐级加载，工作锚锚板被提起离开锚垫板或锚具夹片提起离开锚板现象称为提离现象，其中前者又称为锚板提离现象，后者又称为夹片提离现象，将锚板提离现象发生前的某级荷载作为持有荷载。国际标准普遍认为采用锚杆测力计等其它方法存在着造价高、耐久性差、监测率低、结果不准确等缺陷，故把提离法作为测试锚筋持有荷载的普查手段，还可根据随基本试验进行的持有荷载试验结果调整锁定荷载设计值及相应的试验合格指标。但如果采取了数字锚及数字外锚具等持有荷载监测措施，对锚杆持有荷载状况已经有了大致了解，进行持有荷载试验的必要性就不大了。

3.0.7 锚杆的回收作业应在完成换撑或工作面回填等工作、具备回收工作条件后方可进行。

3.0.8 实践经验表明，国内很多工程中锚杆回收率低的主要原因并非技术水平低或产品质量差，而是没去回收或建设单位及总承包施工单位没有安排回收时间、尚未回收基坑就回填了。

3.0.9 热熔锚工程的回收应做好记录，对未回收的锚杆应标注清其位置、长度、筋体等信息，为后期处理提供信息。

4 材料和部件

4.0.4 可回收锚杆解锁锚具的残留物比较坚硬，可能会对以后的地下空间开发利用形成障碍，且残留物中金属的持续降解会污染地下环境，故本规程对残留物的尺寸进行了限制。

新钢绞线物理力学性能指标稳定，离散性小，对于某批次而言可通过抽检判定其整体性能；而回收后的钢绞线力学性能劣化，因每条锚杆的曾经受力状况不同，各束钢绞线的劣化程度不一，很难通过抽检形式来判断整体情况，故为安全起见，本规程不建议热熔锚使用回收钢绞线，回收钢绞线可作为再生资源用于其它场合。

热熔锚产品标识有三个主要目的：一是部件溯源需求，二是长度检查需求，三是区分单元锚杆需求。热熔锚产品在工厂内预制，长度标注在杆体上，现场一目了然，有效地提高了锚杆施工质量及管理水平。产品标识有油漆、刻痕、挂牌等几种方法，但难以长久保持且容易损坏，故本规程要求采用激光打码方法。

4.0.5 数字锚及数字环主要功能为实时监测锚杆持有荷载、测定锁定荷载损失、测试锚筋的摩阻损失等，用于提高锚杆设计施工质量及锚固结构的应力监测，其中数字环可重复利用。

4.0.9 热熔锚杆体本身具有较强的防腐能力，可有效防止氯离子、硫酸根离子等有害物质的腐蚀。

5 设计

5.1.2 “压力型”、“扩体型”及“压力分散型”类型名称引自《可回收锚杆应用技术规程》T/CECS 999-2022。

5.1.3 经验表明，压力集中型锚杆锚筋为多根钢绞线时，锚固体底端受压破坏是最主要破坏形式之一，为尽量避免产生这种破坏，热熔锚预制杆产品通常每个承载体配置 1~2 根钢绞线，钢绞线数量少、总承载力不高，且承载板错槎布置，对承载板下面的锚固体的压力不大，即对锚固体的强度要求不高，故很大程度上减少了锚固体受压破坏，从而大幅提高了锚杆的承载力。设计时应根据地层灵活地采用不同规格的预制杆、设计不同的承载力，以便能够更好的利用较好地层、避开较差地层。

5.1.4 预制杆产品分为等直径锚杆用和旋喷扩体锚杆用两大类。等直径锚杆用的预制杆产品选用需同时满足两个条件：一是承载力要求，二是尺寸要求，即杆体整体直径要比套管内径小，一般情况下，为了获得更稳定的承载力，在套管尺寸确定后，都会选择满足施工条件的最大预制杆尺寸。旋喷扩体锚杆施工时不使用套管，在满足承载力的条件下按产品表选用预制杆尺寸即可，需要注意的是，一般锚杆是和桩结合使用，因此预制杆选用还要考虑桩间距或预留孔的尺寸匹配问题。

5.1.5 锚杆宜布置在每层地下室楼板上方 0.5~1.2m 以利于人员回收作业，否则地下室肥槽回填宜采用流态固化土、混凝土等具有流动性的材料，容易分段控制填筑标高，提供更便捷的回收作业面，提高回收效率。

5.1.7 随着荷载增加，锚杆的变形量不应影响到被锚固结构的安全，也不应导致结构变形超出允许值，应以此作为锁定荷载设计原则。确定有荷载将导致锚筋拉力增大时设计锁定荷载可低于轴向拉力标准值，但宜使增大后的最大拉力达到轴向拉力标准值或承载力特征值。对于需要主动控制变形的工程，可以在锚杆底端增加数字内锚具，通过底端锚固段的承载力来确定锁定端的预加力，达到减小结构变形的目的。

5.2.5 锚固体是在有侧限条件下工作的，侧限提高了锚固体抗压承载力，故式（5.2.5）中引入了承载力修正系数 η 。 η 主要取决于锚固体所受侧限大小，与锚固体强度及均匀性、岩土体性状及锚固段埋置深度等因素相关。经验表明， η 在较好地层中不小于 4.0、在软弱地层中不小于 2.0，且上限值业界尚不清楚。另外，按本规程旋喷扩体工艺形成的锚固体为水泥土，单个承载板提供的承载力极限值约为 200kN~300kN。

5.2.6 扩体锚杆抗拔力估算方法较多，本规程采用了较为简单的形式。受扩体锚固段端阻的影响，原孔粘结强度不能充分发挥，故公式中增加了粘结强度折减系数。

5.3.3 锚杆水平向布置采用较小间距、竖向布置采用较大间距时，一则可减少锚杆层数、有利于工期，二则可将锚头集中布置在换撑结构或楼层板的上方，有利于回收作业，但可能会导致锚杆水平间距较小而产生相互不良影响，此时宜将锚杆角度交错或长短交错布置，使锚固段相互错开、互不干扰，如图 2 所示。另外，等长布置的锚杆在受力较大时容易在底端相应地层中出现裂缝，如图 3 所示，而

长短布置的锚杆则可有效避免发生这种现象。

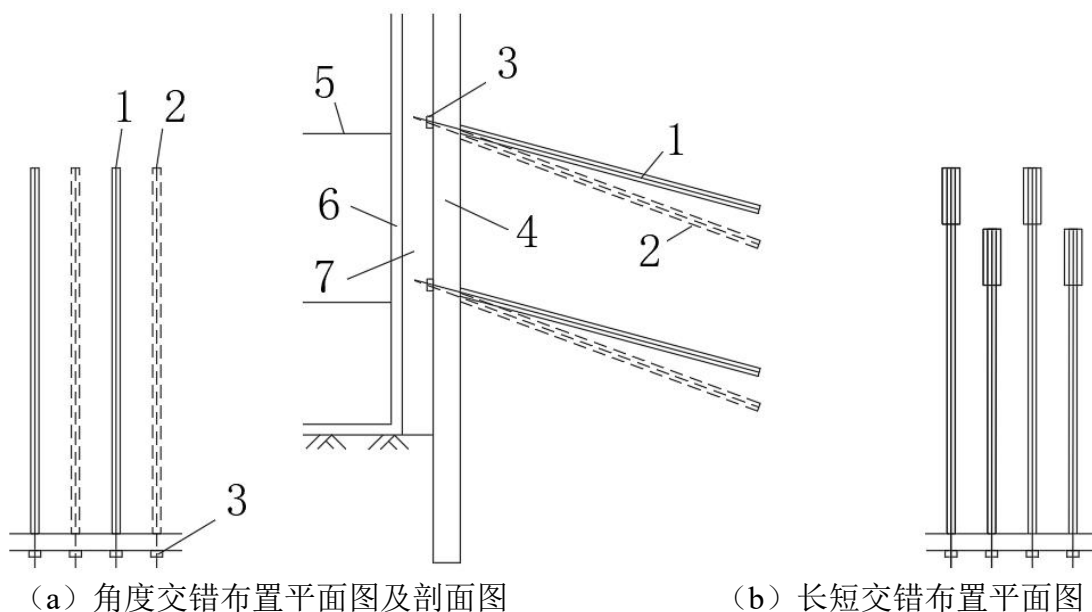


图2 间距较密时的锚杆布置形式示意图

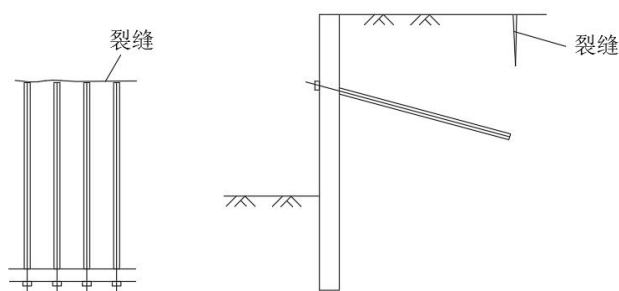


图3 等长布置的锚杆底端裂缝示意图

5.3.3 第6款所示锚固段有效长度为经验值。工程实践中，一些锚杆锚固段需设置在填土、有机质土层、松散砂层等软弱地层，或计算得到的锚固段长度很长，此时不宜一味加长锚固段，建议采取相应改善措施，如：①降低设计承载力；②采用压力分散锚杆，采取改善锚固段岩土体性状、压力注浆及多次注浆、扩大锚固体直径、加长自由段或调整锚杆角度使锚固段避开软弱地层等措施以提高承载力；③采取提高锁定力、拉力松弛后重新张拉等措施以减少变形。

5.3.4 研究表明，扩体锚杆具有浅埋的整体剪切破坏和深埋的局部剪切破坏这两种破坏模式，深埋具有更好的承载力学性能。试验与理论研究表明，原孔段长度与扩体段直径之比为11为可作为深埋与浅埋的分界点，同时原孔段长度不小于7.0m（即扩体段埋置深度不小于7.0m），两个条件均满足时视为深埋扩体锚杆，反之则视为浅埋扩体锚杆；工程中各种角度锚杆均应采用深埋锚杆。

5.3.7 穿筋孔直径过大时应采取加强措施以防止锚杆张拉过程中边角损伤及锚垫

板曲翘变形。

6 施工

6.1.4 等直径锚杆通用施工工艺流程如下：

孔位放线→钻机就位→带套管清水成孔→水泥浆液清孔兼注浆→安装锚杆→锚杆二次注浆→施工锚座→张拉锁定→对锚头及导线进行保护→开挖土石方、施工建构筑物及分层回填→可回收锚回收作业。

旋喷扩体型采用水力扩体自进工艺，施工效率较高；地下水丰富容易塌孔时也可采用，通用施工工艺流程如下：

孔位放线→钻机就位→原孔段清水成孔或干成孔→扩体段采用水泥浆液钻扩孔兼清孔，同步置入杆体→退出钻杆，同步注浆→施工锚座→张拉锁定→对锚头及导线进行保护→开挖土石方、施工建构筑物及分层回填→可回收锚回收作业。

6.1.5 施工过程中及施工后均不得损伤导线、数据线、张拉段钢绞线、数字环及内外锚头，锚筋护套及热熔锚具外壳不应破损，浆液、泥浆不应漏入护套及热熔锚具内，锚座、过渡管、找平层、锚垫板、外锚具、数字环及其它物品等不得压在导线及数据线上，混凝土腰梁应设置引线槽，如下图所示，以保证导线及数据线在引线槽内处于自由状态。

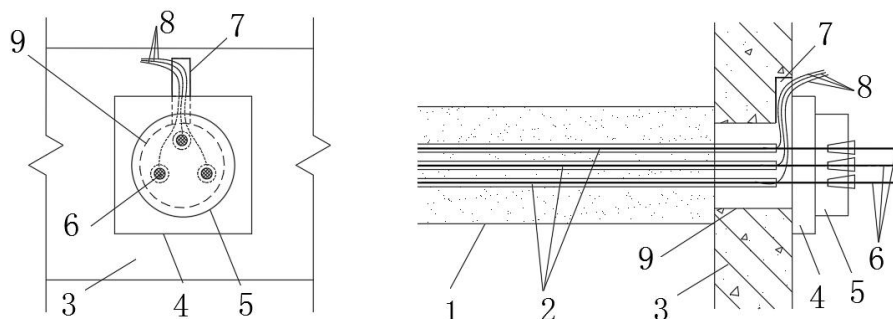


图4 引线槽示意图

1—孔壁；2—无粘结钢绞线；3—混凝土锚座；4—锚垫板；5—锚具；6—裸钢绞线；7—引线槽座；8—导线/数据线；9—穿筋孔壁

6.2.2、6.2.3 套管及钻杆外径可按下表所示经验初定。

表1 套管及钻杆外径选用表（mm）

钻孔孔径	90~110	110~130	130~140	140~150	150~180	180~200	200~220	220~250
套管外径	89	108	122/127	133	146	168	183/194	219
钻杆外径	73	73	73	73	89	102	114	114

注：套管常用厚度为8mm、10mm、12mm、14mm及16mm。

6.2.4 易塌孔地层中应加大钻孔深度以收集孔底沉渣，避免影响承载板下的注浆质量。

6.2.5 工程中通常先施打锚杆再施工锚座，在锚座中设置穿筋孔及安装过渡管，因钻孔实际角度难以准确掌握，很容易导致穿筋孔与锚杆角度偏斜，不仅造成承载力损失，也降低了锚筋回收率。故有条件时宜先施工锚座，在锚座中预留穿筋孔再施打锚杆，穿筋孔的导向作用可大幅降低穿筋孔与锚杆的轴向偏斜程度。

6.2.9 锚杆通常要在孔口采取封堵溢浆、补浆等措施以使孔口附近注浆饱满，主要作用是在孔口附近对锚筋形成了保护层以提高耐久性及防腐，热熔锚由于采用了无粘结钢绞线，不需依靠注浆饱满提供额外的防护；而且，对于基坑锚杆，锚头下通常设置桩、梁、板、柱等锚座，锚杆荷载试验张拉时可能会带动锚固体移动，锚固体可能会抵触到锚座上，造成“自己拉自己”现象，导致千斤顶出力没有完全施加到锚杆上，影响了试验结果，故本规程不建议对孔口处注浆饱满。经验表明，压力（分散）型锚杆的破坏以承载板前锚固体的压坏为主，故加强此处的注浆很重要，宜采取停留注浆、反复注浆及二次注浆管在承载板处开设出浆孔等措施，使承载板前锚固体中不夹杂黏粒、粉末、碎屑、泥渣、泥浆等杂质及不窝水。

6.3.1 钻进速度根据土层硬度及时调整以使钻杆匀速进尺。钻进时不得退杆以避免锚杆杆体与钻杆脱离，退杆应匀速并保持方向稳定，避免缠绕钢绞线。

6.3.2 钻杆退出时宜停止高压注浆，以避免破坏杆体。

6.4.3 杆体组装宜严禁使用铁丝绑扎以避免操作钢绞线护套。

6.5.1、6.5.2 混凝土、水泥石等固结材料强度增长与设计强度、施工质量、温度、养护条件等多种因素相关。锚固体及锚座混凝土的标准养护龄期通常均为28d，但工程中通常很难等到28d后再进行荷载试验、张拉锁定及岩土体开挖，尤其是基坑工程中的临时锚杆，故本规程从工程实际出发建议最短养护期为：①等直径锚杆在岩层及非黏性土地层中最短养护期可为5~7d，黏性土地层中可为7~15d，其中非黏性土指没有黏性土夹层的碎石土及砂土；②扩体型锚杆非黏性土中最短养护期可为10~15d，粉土及黏性土中可为21~25d。达到最短养护期后即可进行上述作业。另外，锚杆施工不可避免对周边岩土体造成扰动，往往会使岩土体强度降低，随着休止时间的增加，岩土体强度逐渐恢复，锚杆抗拔承载力也逐渐增

加并稳定,本规程规定的养护期考虑了岩土体的休止时间。锚杆设计承载力越高、岩土体性状越差则最短养护期应越长。

6.5.3 张拉自检是保证锚杆施工质量达到设计要求的重要检查手段。本规程的单循环法指荷载试验中荷载不分级增加至最大试验荷载后卸载的加卸载方式,又称快速法,是一种较为新型的锚杆试验加卸载方式,可明显节省试验时间,有利于恶劣作业环境下的工程进展。

6.5.4 设计处置包括增加锚杆、减少外荷载、降低设计承载力等措施。

6.5.6 锚杆张拉通常采用穿心式或前卡式千斤顶,行程一般为 200mm,压力型锚杆杆体较长,张拉荷载较大时杆体位移可能会超出千斤顶行程,此时应采用大行程千斤顶或分次锁定。

6.5.8 对于压力型及扩体型锚杆,每组承载板数量一般不超过 3 个,每件预制杆长度与平均值的偏差不超过 1.5m,而钢绞线长度通常不少于 15m,采用一个千斤顶张拉时,锚筋自由度长度可取各件预制杆钢绞线长度的平均值,此时各预制杆钢绞线长度偏差造成的测量误差较小,可满足工程实际需求,故可采用一个千斤顶张拉;但压力分散锚杆单元锚杆的每组承载板间距可能较大,仍需采用多千斤顶同步张拉。

6.5.9 锚杆张拉段在地下室回填前不宜切除,如必须切除,残留钢绞线长度通常不少于 200mm 以利于回收及接长后二次张拉。

6.6.5 锚杆解锁回收时,业界大多使用卷扬机、千斤顶甚至人力逐段拉出钢绞线,效率低、不安全且受场地影响较明显,本规程要求采用自动回收机以提高效率及节省人工。

7 锚杆试验

7.1.1 为了提高施工质量水平及施工管理水平,锚杆荷载试验应采用自动化系统,按既定程序自动加载、补压、记录及远程传输。工程锚杆通常选取总量的 5%左右由第三方检测承载力,其余进行自检,使锚杆得到 100%检验。大量工程案例表明,现场没有按规范及设计要求进行自检、记录不真实、锚杆承载力没有得到有效检验,是锚固工程出现险情甚至失败的主要原因,故本规程要求采用自动张拉记录系统,真实有效地实施自检。

7.1.2 本规程把以确定锚杆设计参数及施工工艺为目的的事前试验均归类于基本试验,一般在同类型锚杆大面积施工前实施,通常由第三方完成,而事后试验为检验类试验。基本试验主要分为极限性试验及非极限性试验两类,前者主要目的是为设计及施工服务,应充分测试各种条件下的相应性能;后者也称为适应试验,通常在锚杆大面积施工前进行,通过试验获得某具体场地中锚杆的实际承载力与位移特性等力学性能,与设计预期指标进行对比校验,主要目的是确认设计参数、施工机械设备及工艺等是否适用于该场地,一般不需试验至破坏。

持有荷载试验通常采用提离法进行,具体操作为:锚杆锁定后,不松开锚具,千斤顶跨立在锚头上对锚头逐级加载,工作锚锚板被提起离开锚垫板或锚具夹片提起离开锚板现象称为提离现象,其中前者又称为锚板提离现象,后者又称为夹片提离现象,将锚板提离现象发生前的某级荷载作为持有荷载。国际标准普遍认为采用锚杆测力计等其它方法存在着造价高、耐久性差、监测率低、结果不准确等缺陷,故把提离法作为测试锚筋持有荷载的普查手段,还可根据随基本试验进行的持有荷载试验结果调整锁定荷载设计值及相应的试验合格指标。但如果采取了数字锚及数字外锚具等持有荷载监测措施,对锚杆持有荷载状况已经有了大致了解,进行持有荷载试验的必要性就不大了。

7.2.2 地层复杂是工程中普遍现象,回收试验一般在地表进行,如果开挖后发现下面的地层与表层性状相差较大,则宜在下层地层补充回收试验。

7.2.5 经验表明,最大试验荷载下的持荷时间不宜小于 5h 以便准确地判别位移稳定。

7.3.2 本条加卸载程序参照了《岩土锚杆与喷射混凝土工程技术规范》GB50086-2015 对单循环法验收试验的规定。

9 质量检验

9.0.2 热熔锚所采用钢绞线、锚具等材料已经过生产企业的检验，故进场检验主要对象应为热熔锚杆体，杆体检验合格方可交付工程使用，进入下一步施工，责任事前明确。《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 等标准建议钢绞线的进场检验批容量为 60T，按每条锚杆长度 25m（钢绞线下料长度约 27m）估算，60T 钢绞线约能制造 2000 件单线杆，《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ 85 等标准建议锚具的检验批容量为 2000 套，两者相当，故本规程建议预制杆体成品进场检验批容量为 2000 件。

9.0.4 业界以往在锚杆长度不能得到有效检测的情况下，弹性位移通常作为预应力锚杆的试验合格指标用于计算锚筋自由段长度，以进一步估算锚杆长度以及锚筋自由段与粘结段的分配比例。按本规程，热熔锚为工厂预制化产品，有长度标识，故能够确保锚杆长度；而热熔锚为压力型锚杆，不存在锚筋自由段与粘结段的分配比例问题，故承载力检测（第三方检测及自检）时无需以弹性位移作为合格指标，不需要计算弹性位移。另外，按本规程锚杆承载力自检均采用数字环时，数据可实时记录及远程传输至监管平台，极大的保证了数据的真实性、准确性及有效性，其效果与第三方检测相当，故可适当降低第三方检测比例以降低工程检测成本。

附录 F 基本试验

F.0.3 为了完整测试出锚杆位移特性，本规程要求基本试验采用多循环法。多循环法加卸载循环次数一般分为 7 级，可按承载力高低增减 1~2 级，分级越多试验结果越精确，但试验时间也越长。

F.0.6 本规程参照国际标准采用蠕变率 $\alpha=2.0\text{mm}$ 作为试验判稳指标，为便于现场操作，将之量化为第 5min~第 15min 蠕变量不大于 1.0mm 及第 15min~第 60min 蠕变量不大于 1.2mm；易于蠕变地层则蠕变率通常位于 2.0mm~5.0mm 之间。另外，确定量化指标时采用了第 15min 及第 60min 的位移读数作为关键数据用于第二次判稳，如果其误差较大会影响到稳定与否的判断，有争议时应绘制 $\Delta s-lgt$ 、 $\alpha-t$ 等曲线进行校核，其中稳定蠕变曲线的 α 稳定于 2.0mm 以下， Δs 收敛于某一数据。另外，每级加载完成后即应测读位移作为初始值，测读时刻视为第 0min（零时刻），因此“第 5min”表示时长为 5min、“第 15min”表示时长为 15min，以此类推。再次延长维荷时间（即 240min）后，如能判断蠕变稳定（ $\alpha\leq 2.0\text{mm}$ ）或蠕变破坏（ $\alpha>5.0\text{mm}$ ）则随时可中断当级荷载而进入后一级荷载或中止试验，不必等到维荷时间结束。经验表明： t_a 在第 0min~第 5min 的前 5min 位移数据不容易稳定；为了计算准确， t_b 宜大于 t_a 至少 10min，维荷时长超过 1h 后至少 30min。

F.0.12 理论上预应力锚杆 P1 取荷载锁定值计算结果会更准确一些，但荷载锁定值往往不可确知且离散性较大，使用不便。试验得到的刚度系数 k_{RT} 离散性通常较大，分区统计及分区使用更方便一些。

附录 J 工程案例

一、工程案例 1-万科南北康 B6 地块房地产开发项目

1 工程及地质条件概况

项目位于济南市市中区省道 S103 线以西，规划建设 B-5 地块以南，B-13 地块以东。建筑物包括 57F、34F 超高层办公楼，16F、22F 办公塔楼，12F 公寓楼和 3~4F 购物中心，整体设地下 4 层地下车库。场地内主要地层为第四系人工填土、山前冲洪积黄土、粉质黏土及较完整中风化石灰岩。基坑东西宽最大约 187.0m，南北长最大约 196.6m，总长度约 787.2m，基坑开挖深度 14m~23.7m，其中东侧开挖深度 22.3m~23.7m。基坑距离红线较近，周边环境复杂，对变形要求严格，支护安全等为一级，设计使用年限 22 个月。

2 东侧典型剖面

东侧紧邻待开发地铁，设计拟采用可回收锚杆。初步设计时对热熔式可回收锚杆与机械可回收锚杆进行了试验对比，试验结果 3 根热熔锚抗拔承载力极限值均为 728kN，达到设计要求，且回收率 100%，最终得到选用。基坑支护典型设计剖面及锚杆设计参数如下所示。

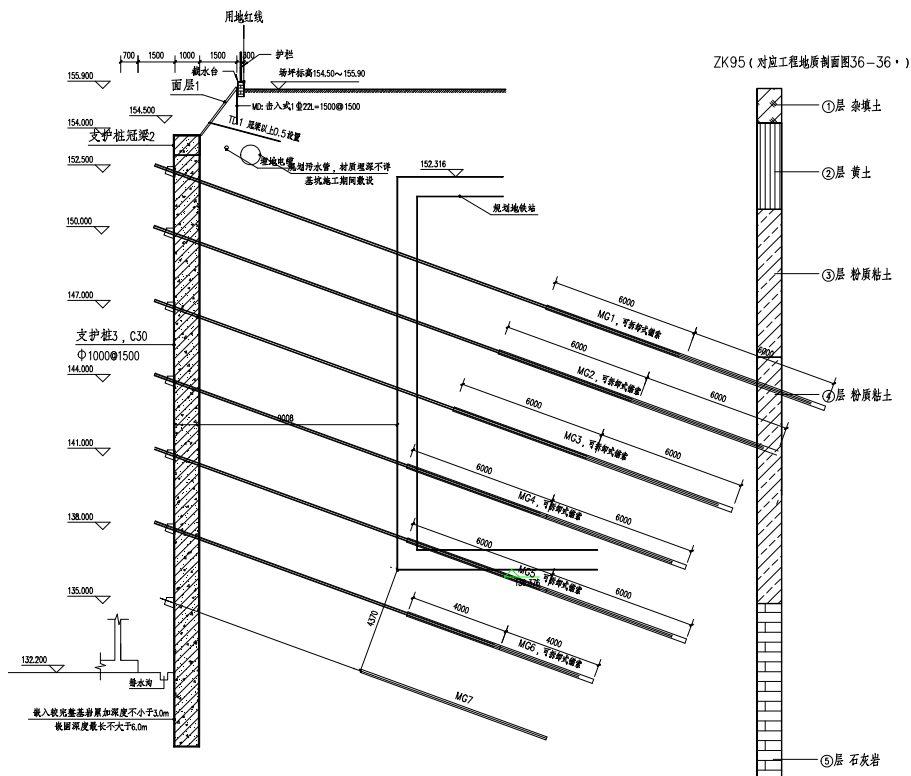


图 5 案例 1 基坑东侧支护剖面示意图

表 2 案例 1 基坑东侧支护剖面热熔式可回收锚杆设计参数表

锚杆编号	倾角(度)	自由段长度(m)	锚固段长度(m)	总长度(m)	间距(m)	杆体材料规格	孔径(mm)	锚杆轴力标准值(kN)	锁定拉力值(kN)	注浆材料
TD1	15	0	3.0	3.0	1.5	1Φ22	110	15	/	水灰比0.5纯水泥浆
MG1	20	16.0	12.0	28.0	1.5	4Φs15.2	180	300	210	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG2	20	14.0	12.0	26.0	1.5	4Φs15.2	180	300	210	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG3	20	12.0	12.0	24.0	1.5	4Φs15.2	180	300	310	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG4	20	10.0	12.0	22.0	1.5	4Φs15.2	180	350	260	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG5	20	10.0	12.0	22.0	1.5	4Φs15.2	180	350	260	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG6	20	10.0	8.0	18.0	1.5	4Φs15.2	180	300	210	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆
MG7	20	8.0	8.0	16.0	1.5	3Φs15.2	130	300	210	二次注浆工艺,水灰比0.45~0.55纯水泥浆

3 质量控制

施工前按照《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T14370-2015,对热熔式可回收锚杆具进行了静载锚固性能试验,试验结果为锚具效率系数分别为 97%、98%及 99%。

施工前、施工中、回收前每道工序通电检测电阻,最终通电率 99%。

4 现场情况



图 6 案例 1 施工现场照片

5 基坑位移

基坑开挖到底后，最大水平位移值为 24.3mm。

表 3 案例 1 基坑监测数据

序号	监测项目	本周变化最大值	累计变化最大值	报警值	备注
1	基坑坡顶沉降	W20 = 0.49	W5 = 16.57	≤35mm	
2	坡顶水平位移	W21 X= 0.10 Y= -0.90	W4 X= -24.30 Y= 1.60	≤35mm	
3	桩体变形（深层水平位移）	CX11-01=-2.757	CX11-01=-21.861	≤30mm	
4	地面沉降	D24-4 = 0.41	D5-3 = 19.68	≤35mm	
5	锚索内力	(M11-1) =0.75101	(M3-4) = 90.04056	大于轴力标准值	
6	临近建筑物沉降		C9 = 9.64	≤20mm	
7	地下管线沉降	GX7 = 0.22	GX9 = -12.23	≤20mm	
8	地下水位	Y1 = 0.007	Y3 = -4.399	≤1000mm	
9	桩内钢筋应力应变	Y3-24= 0.01219	Y2-19 =23.45446	按 100%设计内力值	

6 回收情况

表 4 案例 1 锚杆回收情况统计表

拆除状况	正常拆除	破除围檩后 拆除	强行拆除	合计
数量（束）	688	16	12	716
比例	96.1%	2.2%	1.7%	100%

7.结论

本项目属于大、深基坑，采用“桩+热熔锚”技术控制了基坑变形，取得了非常好的效果。且本项目主楼区域先行施工，因此两侧先采用“桩+热熔锚”支护，另两侧先在坑内多级放坡，与只能“一体施工、同时施工”的混凝土内支撑相比，“桩+热熔锚”支护可以与放坡、土钉墙等其他支护形式有效灵活组合，实现大型项目“分段分批”施工，对于分期开发、分段施工的项目是一个非常好的支护类型选择。

二、工程案例 2 -金港商业综合体

1 工程及地质条件概况

太湖商业综合体项目总用地面积 3.1 万 m²，总建筑面积 17.0 万 m²，包括两栋 22 层塔楼，八栋 2~3 层裙房以及两层地下室。场地四周均为市政道路，其中北侧、东侧与道路间有河道相隔：1) 北侧，地下室外红线距离用地红线约 1.9-9.3m，红线外为在建的创新路景观河道，宽约 16.9m；2) 西侧，地下室外红线距离用地红线约 4.4-7.0m，红线外为纵一路，敷设有自来水管及污水管，距离地下室外边约 5.9-7.8m；3) 南侧，地下室外红线距离用地红线约 4.4-9.6m，红线外为经一路，敷设污水管，距离地下室外边线最近约为 5.6-15.4m；4) 东侧，地下室外红线距离用地红线约 4.3-9.5m，红线外为空地，宽约 11.2m，空地东侧为苏旺河，宽约 20.7m，河道边设有砖砌驳岸，另有南北向电缆距离地下室外墙线为 10.3-10.8m。场地主要地层为杂填土、黏土、粉质黏土、粉土夹粉质黏土、粉质黏土夹粉土，土层各参数详见下表。场地常年水位 2.8~3.0m，其年变幅 1.0m 左右。

表 5 案例 2 土层参数表

土层代号 及名称	重度 γ (kN/ m ³)	固结快剪		三轴剪切指标		渗透系数 建议值 K(cm/s)
		CK (kPa)	Φ K (°)	CUUK (kPa)	Φ UUK (°)	
②黏土	19.5	51.3	12.9	52	2.3	*5.0×10 ⁻⁴
③粉质黏土	19.0	31.7	12.0	32	1.5	2.39E-06
④粉质黏土	18.9	29.5	11.4	31	1.3	4.62E-06
⑤粉质黏土夹粉 土	18.5	27.4	10.5	29	1.5	4.75E-06
⑥粉质粘土	18.7	29.2	11.3	31	1.7	4.27E-06
⑦黏土	19.5	50.2	13.0	55	2.0	4.71E-06

2、设计概况

基坑呈长方形，总面积约 3.1 万 m²，东西最宽处约 169.4m，南北最长处约 197.9m，周长 710.8m；西南侧挖深为 10.4m，北侧挖深为 9.35-10.85m，东侧挖深为



图 7 案例 2 基坑典型支护剖面图

3 施工情况及效果

扩体分压热熔式可回收锚杆施工要点：1) 自由段采用 2~10MPa 压力水引孔，边引孔边将杆体带进；2) 引至锚固段时，改用水泥浆压力引孔，压力 15~20MPa，水泥浆水灰比 0.8~1.0，引孔速度比自由段慢，控制速度 5~10cm/min；3) 钻至锚杆孔底时退出钻杆，退出时在锚固段常压补浆。

4 锚杆检测验收

按照地质情况总共对 16 根锚杆进行了验收试验,实验结果均满足设计要求。

表 6 锚杆检测数据

1 工程概况

工程名称	太湖金港商业综合体		
工程地点	吴中区		
委托单位	苏州市天鸿伟业置地有限公司		
建设单位	苏州市天鸿伟业置地有限公司		
勘察单位	---		
设计单位	江苏省纺织工业设计研究院有限公司		
桩基施工单位	苏州嘉盛建筑工程有限公司		
监理单位	江苏赛华建设监理有限责任公司		
检测目的	工程质量检测	检测依据	JGJ120-2012 CECS 22:2005
试验类型	验收试验	钢筋等级 (mm)	---
锚索直径(mm)	6φ15.2	锚杆长度 (m)	26.0
施工日期	2014.12.26- 2015.01.27	检测日期	2015.03.13、 2014.03.16
检测数量(根)	16	抽检类型	委托单位指定
锚杆总数(根)	308	最大试验荷载 (kN)	760、800
抽检率	5.19%		
备注	最大试验荷载值根据设计要求。		

(5)、检测状态

- ① 锚索表现正常;
- ② 场地无强振源、强磁场干扰。

5 各桩的检测数据,实测与计算分析曲线、表格和汇总结果

受检点 编号	工程 点号	最大加载量 (kN)	最大位移 (mm)	残余位移 (mm)	卸载至0.1N时 回弹量(mm)	异常 情况
试1#	2-2剖面279#	800.0	40.66	10.29	30.37	无
试2#	2-2剖面283#	800.0	39.84	11.19	28.65	无
试3#	5-5剖面251#	800.0	40.15	11.19	28.96	无
试4#	5-5剖面188#	800.0	41.13	11.93	29.20	无
试5#	5-5剖面141#	800.0	40.31	12.05	28.26	无
试6#	5-5剖面127#	800.0	40.36	11.91	28.45	无
试7#	6-6剖面72#	800.0	40.35	12.26	28.09	无
试8#	6-6剖面9#	800.0	48.51	16.19	32.32	无
试9#	2-2剖面290#	760.0	38.97	10.33	28.64	无
试10#	2-2剖面266#	760.0	39.15	13.00	26.15	无
试11#	5-5剖面211#	760.0	38.82	10.03	28.79	无
试12#	5-5剖面177#	760.0	39.43	12.05	27.38	无
试13#	5-5剖面116#	760.0	39.60	10.09	29.51	无
试14#	5-5剖面83#	760.0	40.02	12.20	27.82	无
试15#	6-6剖面55#	760.0	38.70	10.42	28.28	无
试16#	6-6剖面31#	760.0	40.18	11.97	28.21	无

注:实测与计算分析曲线见附表。

随机抽检 16 根锚杆,抗拔承载力均达到设计要求,其中大部分采用快速法检验;最终回收率为 96.7%,其中正常通电回收 95.5%,剩余部分强拉回收。

本基坑共设 47 个桩顶位移监测点。监测布点如下图:

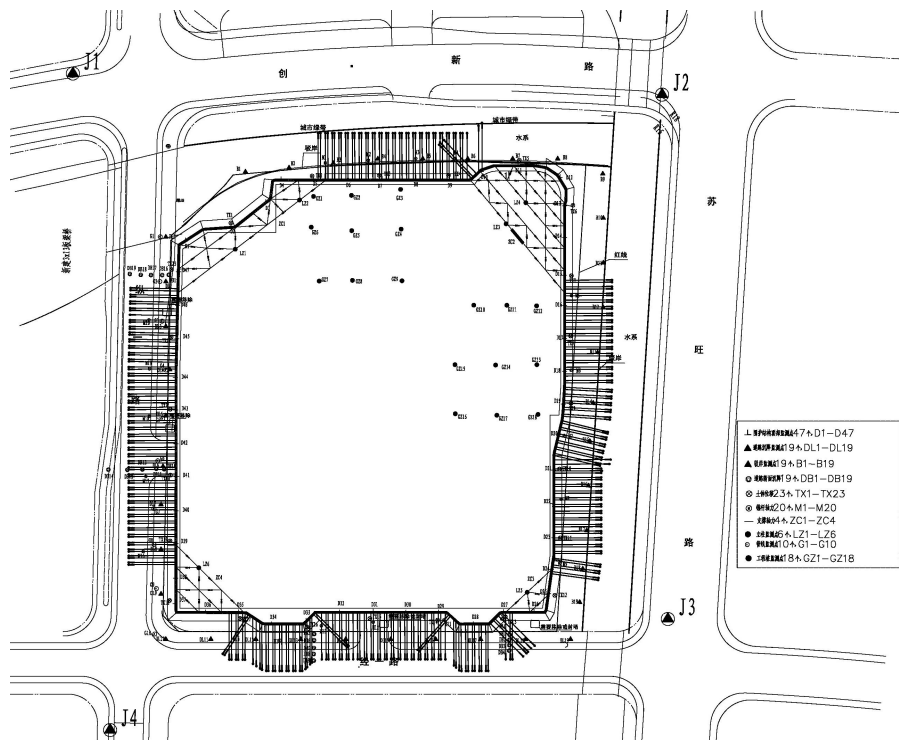


图 8 基坑监测平面图

整个施工过程中，位移最大的节点是东北角大角撑与北侧锚杆支护的交界处，在基坑垫层施工的时间节点，总位移量是 20.6mm。基坑北侧中部锚杆支护部分的总位移量为 19.8mm。

表 7 基坑变形最大时的监测数据表

点号	水平位移量			竖向位移量			D23	0.3	9.7	0.3	224.62	0.03	3.49	0.03	
	单次变化 (mm)	累计变化 (mm)	变化速率 (mm/d)	本次测试 值(mm)	单次变化 (mm)	累计变化 (mm)	变化速率 (mm/d)								
D1	0.3	17.8	0.3	44.56	0.07	8.78	0.07	D24	-0.3	2.8	-0.3	254.22	0.04	4.94	0.04
D2	-0.4	18.6	-0.4	55.19	0.02	9.34	0.02	D25	0.3	7.8	0.3	179.64	0.02	4.85	0.02
D3	0.2	15.2	0.2	66.35	0.04	9.84	0.04	D26	-0.3	5.8	-0.3	210.72	0.06	1.69	0.06
D4	-0.3	19.3	-0.3	133.96	0.04	9.38	0.04	D27	0.2	3.8	0.2	143.85	-0.03	2.74	-0.03
D5	0.2	17.3	0.2	111.39	0.04	9.85	0.04	D28	-0.3	6.5	-0.3	172.16	-0.03	4.54	-0.03
D6	-0.3	18.5	-0.3	139.34	0.02	7.72	0.02	D29	0.3	6.3	0.3	146.29	-0.04	4.71	-0.04
D7	0.2	19.8	0.2	173.02	0.05	9.15	0.05	D30	-0.2	2.7	-0.2	103.81	-0.01	3.76	-0.01
D8	0.3	19.8	0.3	84.99	0.02	9.43	0.02	D31	0.3	8.3	0.3	181.68	-0.03	3.18	-0.03
D9	-0.5	13.4	-0.5	55.02	0.03	6.97	0.03	D32							
D10	0.3	20.6	0.3	200.26	0.05	7.46	0.05	D33	0.3	7.9	0.3	183.72	-0.02	1.80	-0.02
D11	-0.1	17.5	-0.1	151.34	0.02	7.06	0.02	D34	-0.4	-1.7	-0.4	218.73	-0.04	2.75	-0.04
D12	0.3	15.1	0.3	173.69	0.02	6.26	0.02	D35	0.2	12.6	0.2	80.73	-0.02	1.71	-0.02
D13	0.4	20.5	0.4	85.86	0.03	5.86	0.03	D36	-0.3	1.9	-0.3	72.06	-0.03	4.11	-0.03
D14	-0.3	10.5	-0.3	116.33	0.09	7.91	0.09	D37	0.2	7.2	0.2	118.47	-0.06	2.25	-0.06
D15	0.4	15.1	0.4	53.04	0.02	7.17	0.02	D38	-0.4	4.7	-0.4	117.14	-0.04	1.58	-0.04
D16	-0.4	7.7	-0.4	112.97	0.04	5.08	0.04	D39	0.2	11.9	0.2	43.56	0.07	4.38	0.07
D17	0.2	8.4	0.2	184.39	0.06	4.59	0.06	D40	-0.3	9.3	-0.3	86.33	-0.04	3.02	-0.04
D18	-0.3	4.7	-0.3	182.20	-0.02	4.17	-0.02	D41							
D19	0.2	6.7	0.2	117.01	0.02	4.25	0.02	D42							
D20	-0.4	4.8	-0.4	66.94	0.07	4.69	0.07	D43	0.2	20.1	0.2	168.09	0.04	6.76	0.04
D21	0.4	9.9	0.4	86.86	0.03	4.39	0.03	D44	0.3	19.1	0.3	110.11	0.03	6.85	0.03
D22	-0.3	2.1	-0.3	176.48	0.05	1.71	0.05	D45	-0.3	16.8	-0.3	88.93	0.07	7.57	0.07
								D46	0.6	18.9	0.6	165.94	0.03	6.82	0.03
								D47	-0.2	17.6	-0.2	175.91	0.07	5.89	0.07

5.结论

本项目原初步方案为“桩+一道混凝土内支撑”方式，为节约造价和加快工期，项目调整为“桩+一道可回收预应力锚杆”方式，考虑到锚杆间距过近，锚杆采用压应力旋喷扩大头锚杆，利用扩大头锚固段短的优势，采用“交叉锚”的方法避免锚固段集中。

项目北侧与东侧锚杆需穿越河道下方，扩大头距离河道底部大于 5 米，满足扩大头上部不小于 4 米的埋深要求，因此虽然上部是河道，但抗拔力仍能满足设计要求。

本项目节约造价 1500 万元，加快工期 3 个月左右，且有效控制了基坑位移变形，锚杆临时占用河道、道路下方地界，在使用完后实现钢绞线的拆除回收、不影响后续开发，可作为类似工程的参考。

三、工程案例 3-深圳梅园

1 工程及地质条件概况

项目位于深圳市罗湖区红岭北路与泥岗东路交汇处。场地西北侧为深城公寓，距离约 12m；北侧为正在建设的地铁 14 号线，距离约 44.0m；西侧为红岭北路，路下地铁 9 号线距离约 26.0m；西南侧为广田集团大厦，距离约 12m；南侧为待建用地；东侧为宝安北路。道路下电信、电力、燃气、雨水、污水、给水等管线

密布。场地内主要地层为：人工填土层（素填土、杂填土），第四系冲洪积层（粉质黏土、卵石、有机质粉质黏土），第四系残积粉质黏土，全风化~微风化变质石英砂岩。地下水位埋深 2.28~8.24m，平均 4.18m。

2 基坑支护设计概况

项目拟设四层地下室，基坑周长约 1230.0m，面积约为 40315.5m²，深度约 20.5~23.0m。基坑采用桩撑及桩锚分段支护，咬合桩止水，典型支护剖面如下图所示。

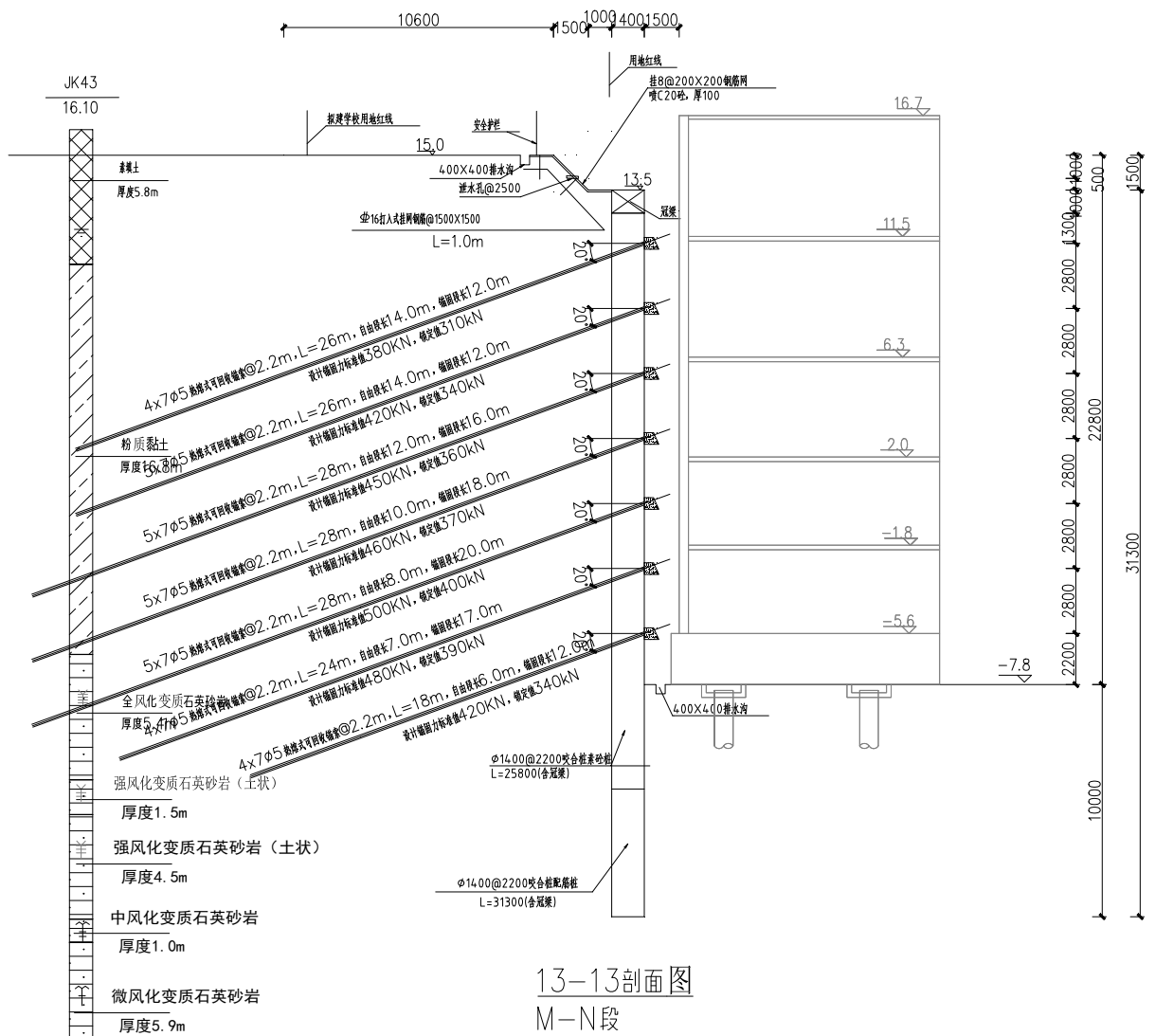


图 9 案例 3 基坑典型支护剖面图

锚杆采用压力分散型热熔式可回收锚杆，孔径 180mm，采用跟管钻进工艺，锚筋采用 4~5 束 $\phi 15.2$ 无粘结钢绞线，置入 3 块 $\phi 135$ mm 承载板，设计长度 18~28m，设计拉力标准值为 380~500kN。注浆采用纯水泥浆，P·O 42.5R 水泥拌制，水灰比 0.5~0.6，两次注浆，第一次常压，第二次高压，注浆压力不小于 2.0MPa。

采用多千斤顶同步张拉锁定，锁定前按 1.2 倍的锚杆拉力标准值进行预张拉，锁定荷载为 0.8 倍的锚杆设计拉力标准值。

3 施工情况及效果

基坑开挖到底后，最大水平位移为 23.5mm，平均约 13mm。

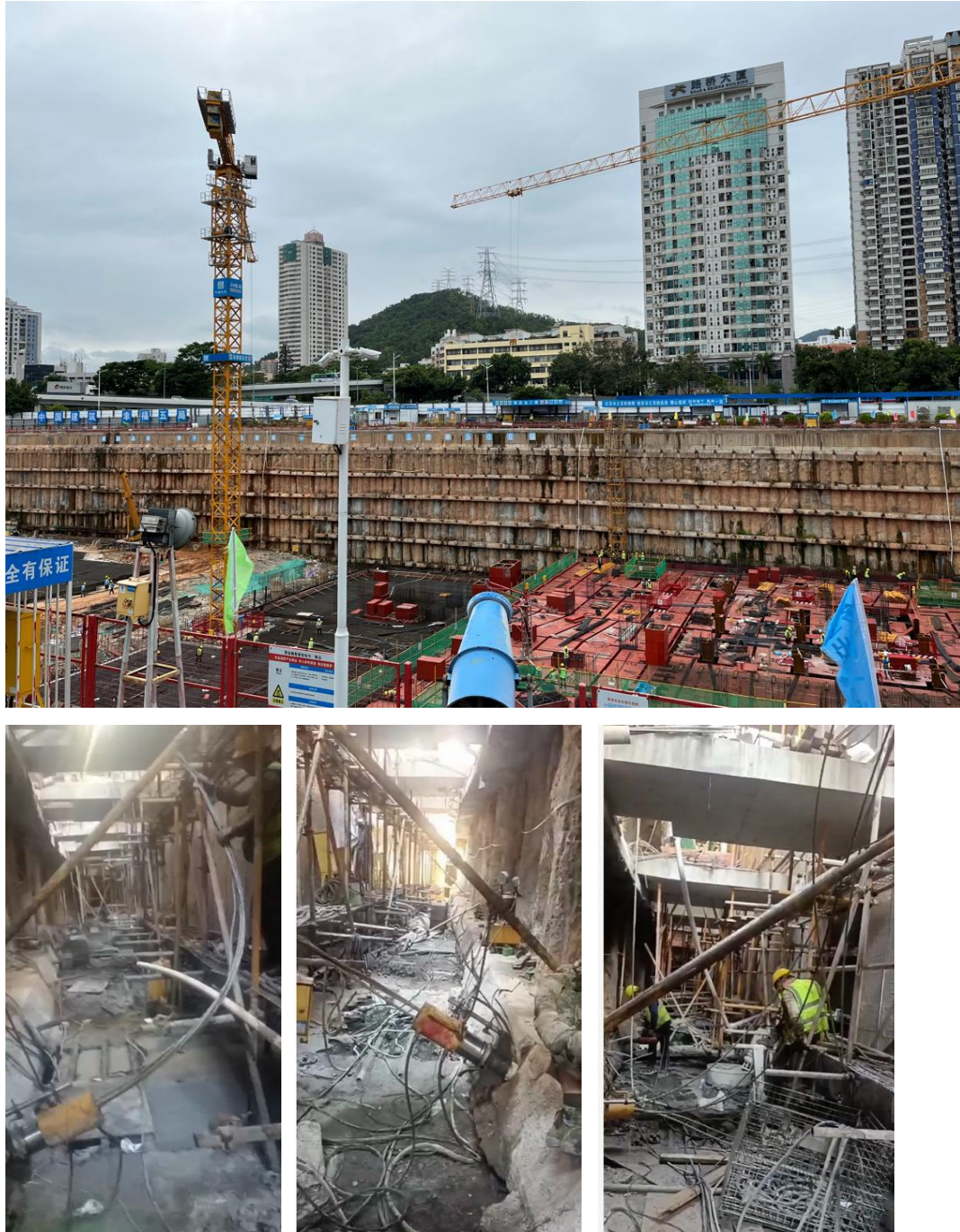


图 10 案例 3 基坑施工现场图

表 8 案例 3 施工现场照片及变形监测

本周期监测成果统计表

序号	监测项目	单位	本周期变化最大值			累计变化最大值					警戒值	
			点号	最大值	位置	点号	最大值	累计变化速率	天数	位置		
1	周边建(构)筑物倾斜沉降	/	JC15-JC16	0.000056	深城公寓	JC36	-2.4	-0.01	318	招商中环	0.002	
2	通信管线变形差	mm	X1-X2	14.1	泥岗东路	X3	-84.1	-0.19	434	泥岗东路	10mm/d	
3	供电管线局部倾斜	/	D9-D10	0.000910	泥岗东路	D3	-74.5	-0.11	707	泥岗东路	5mm/d	
4	供水管线变形差	mm	JC7-JC5	21.5	泥岗东路	JC20	-31.6	-0.04	721	红岭北路	5mm/d	
5	周边道路沉降	mm	JC23	1.8	红岭北路	JC4	-73.5	-0.10	747	泥岗东路	24mm	
6	支护结构水平位移	剖面 1~5、9~12、15~17	mm	W2	3.2	9-9剖面	W1	20.0	0.03	590	9-9剖面	24mm
		剖面 6~8	mm	W3	3.7	8-8剖面	W4	23.5	0.04	590	8-8剖面	32mm
		剖面 13~14	mm	W45	1.8	14-14剖面	W49	19.7	0.04	518	14-14剖面	48mm
7	支护结构沉降	剖面 1~5、9~12、15~17	mm	W59	-3.3	12-12剖面	W14	13.4	0.02	590	5-5剖面	24mm
		剖面 6~8	mm	W3	2.1	8-8剖面	W12	13.0	0.02	590	6-6剖面	32mm
		剖面 13~14	mm	W54	0.4	13-13剖面	W56	14.4	0.03	528	13-13剖面	48mm

换撑杆件强度达到设计强度的 80%后解锁拆筋回收。热熔解锁采用 36V 安全电压，热熔时间 60min，使用自动回收设备进行拆筋回收。

4.结论

和内支撑方案相比，本工程采用热熔锚节约了约 2000 万元造价、加快了约 6 个月的工期，并且本工程热熔锚属于压力分散型型锚杆，属于“点到点”的控制，因此基坑开挖到底后最大位移为 23.5mm,变形远远小于普通拉力型锚杆和混凝土内支撑结构。

四、工程案例 4 -长发商厦东侧附房翻扩建工程

1 工程概况

1.1 结构概况

长发商厦东侧附房翻扩建工程深基坑位于苏州市临顿路东侧，大儒巷北侧，南显子巷南侧。工程总用地面积 2781m²。

项目总建筑面积 10459m²，工程主体结构为框架结构，呈长方形，为地上四层及地下两层，地下主体结构采用钻孔灌注桩桩基+承台底板的基础形式。

该基坑南北向长 88m，东西向长 25m，周长 236m，面积约 2000m²，基

坑西侧紧靠长发商厦，框架结构，6层，地下室1层，其基础形式为筏板基础。东侧为旧居民房，为1-2层的古建筑群，结构形式主要以木结构为主，属于政府控保性建筑。

本工程±0.000m相当于绝对标高3.800m，自然地坪相对标高为±0.000m，相当于绝对标高3.800m。基坑开挖深度根据地下室承台垫层底标高确定，承台垫层底标高为-9.950m、-11.350m，故开挖深度为9.95m、11.35m。

2.2 水文地质情况

据勘探揭露，场区自然地面下最大勘探深度60.30m以内为第四纪沉积物，主要由饱和粘性土、粉土、粉砂组成，按其物理力学性质及工程特性的差异性，从上到下可分为12个工程地质层，6个亚层。各土层的特征详见下表：

表9 案例4土层参数表

土层编号	土层名称	土层厚度(m)	平均厚度(m)	层顶标高(m)	层底标高(m)	土层描述
①-1	杂填土	1.10~1.60	1.40	3.50-3.95	1.87~2.80	杂色，结构松散，主要由砖块、碎石组成，粒径5cm~70cm不等，局部分布水泥地坪，表层的碎石为新近堆积，全场地分布。
①-2	素填土	1.50~3.00	2.15	1.87~2.80	-0.25~0.60	杂色，结构松散，成分以粘性土为主，含少量小石块，堆积时间超过10年，全场地分布。
②	粘土	2.70~3.70	3.17	-0.25~0.60	-3.55~-2.48	褐黄色，可塑，夹较多灰条纹，含Fe、Mn结核，切面有光泽、无摇振反应、干强度高、韧性高，全场地分布。
③-1	粉质粘土	1.50~2.50	2.05	-3.55~-2.48	-5.45~-4.69	灰黄色，可塑，无摇振反应，稍有光泽，韧性及干强度中等，全场地分布。
③-2	粉质粘土	1.30~2.50	1.92	-5.45~-4.69	-7.48~-6.44	灰色，软~可塑，夹少量粉土，无摇振反应，稍有光泽，韧性及干强度中等，全场地分布。
④	粉质粘土夹粉土	2.50~3.50	3.02	-7.48~-6.44	-10.35~-9.61	灰色，软塑，局部夹较多粉土，摇振反应缓慢，稍有光泽，韧性及干强度中等，全场地分布。
⑤	粉砂	6.00~7.60	6.61	-10.35~-9.61	-17.75~-15.89	灰色，中密，局部稍密，饱和，矿物成分以长石、石英为主，含云母，粘粒含量为3.2~7.3%，全场地分布。
⑥	粉质粘土	1.60~3.20	2.42	-17.75~-15.89	-19.45~-18.56	灰色，软~可塑，无摇振反应，稍有光泽，韧性及干强度中等，全场地分布。
⑦	粘土	2.80~3.70	3.24	-19.45~-18.56	-22.60~-21.93	暗绿色，可塑，含Fe、Mn结核，切面有光泽、无摇振反应、干强度高、韧性高，全场地分布。

场地内对本工程建设有影响的地下水主要为孔隙潜水及微承压水。

(1) 孔隙潜水

潜水初见水位埋深 1.20~1.30m，标高 1.80~2.00m。稳定水位埋深 1.50~1.60m，标高 2.07~2.33m，浅层地下水主要受地表径流、大气降水补给，以地面蒸发和侧向径流方式排泄。

(2) 微承压水

微承压水主要赋存于深部第⑤层粉砂中，富水性及透水性较好，主要呈侧向径流、越流补给及侧向径流排泄。承压水水位平均埋深 3.40m，承压水水位平均标高 0.40m。

2 基坑围护方案

综合考虑工程地质、水文地质和周边建筑情况，确定基坑为一级基坑。本基坑工程虽然面积不大，但对基坑围护质量的要求非常高，项目处于闹市区，且紧靠基坑西侧的 6 层长发商厦在整个工程建设期间需要正常营业，基坑西侧即是市政府控保古建筑群，1~2 层木制结构，有居民居住，古建筑距离工程地下室外墙最近处仅 3.2m，基坑南北两侧即是市政道路，路宽仅 7m，因项目处闹市区，人、车流量较大。综上所述，本基坑工程开挖深度较大，施工场地较紧张，对基坑变形要求非常之严。根据基坑围护的经验和本工程的特点，本基坑拟采用钻孔灌注桩+混凝土内支撑或者 SMW 工法桩+预应力可拆芯锚杆方案，以下为两套方案的对比情况：

表 10 案例 4 支护方式对比

特性	钻孔灌注桩+混凝土内撑	SMW 工法桩+预应力可拆芯锚杆
安全性	高	高
工程造价	高	低
工期	长	短
环境影响	非常大	很小

采用第一套方案时，工程的安全性高，但工程造价较高，且工期很长，混凝土用量大，工程所处为闹市区、居民区，施工场地狭小，混凝土结构的施工受影响较大，且混凝土内撑在拆除时，会产生大量的噪音和粉尘，对环境的影响非常大。采用第二套方案时，预应力锚杆在锁定前进行根根张拉检验，并且可以根据现场实时情况进行预应力的设置，因此基坑较安全，位移控制较好，工程造价比混凝土内支撑较低，而且采用预应力锚杆结构时，锚杆可以穿插在工法桩施工时进行，基坑围护处于敞开式，土方的开挖非常方便，不需要像混凝土内撑结构一样采用

长臂挖机掏土。主体结构的施工也不受外界影响，锚杆的拆芯回收完全不占用总工期，且拆芯时无噪音、无粉尘，弊端是对预应力锚杆的施工质量要求较高。

普通拉力型锚杆筋体自由段短，自由段和锚固段的分界处应力集中，长期作用下会出现前端握裹不住的情况，应力泡会不断向后移动，这样就相当于锁定后筋体自由段不断加长，导致弹性变形加大，经常需要补张拉，由于这个“基因”的原因，所以难以满足控制位移的要求。而压力型锚杆筋体全长与水泥浆不接触，筋体自由段长度是不变的，永远是从底部那个点传力，如图所示筋体弹性变形是可估的，因此，结构变形也相应可控，可有效保证控保建筑的安全。

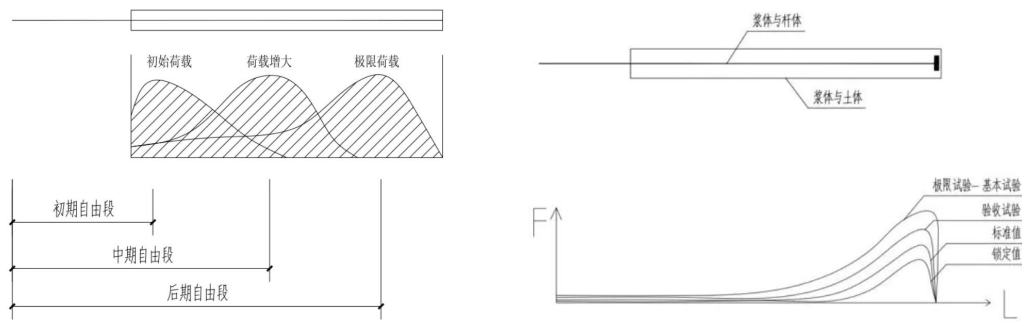


图 11 案例 4 拉力型和压力型锚杆的受力对比

综上所述，基坑围护方案采用 SMW 工法桩+压应力分散型扩大头可拆芯锚杆的支护方案。SMW 工法桩采用 $\Phi 850@1200$ 三轴水泥土搅拌桩，桩长 22~24 m 之间，内插 H700×300 型钢，型钢插入长度 22~24 m，型钢间距 1.2m，集水井处和角撑与围檩交界处型钢为密插。预应力锚杆角度为 15° (25°)，长度为 18 (22) m，张拉值 400 (450) kN。



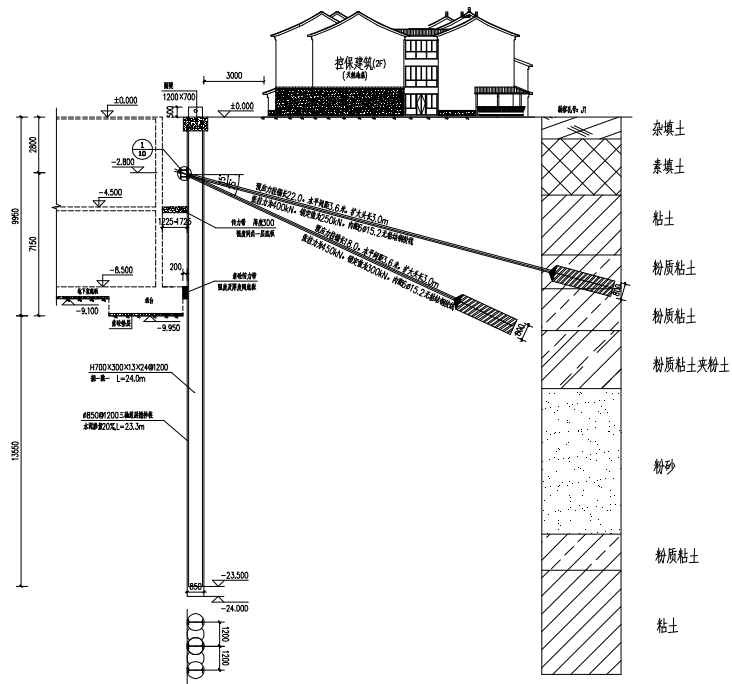
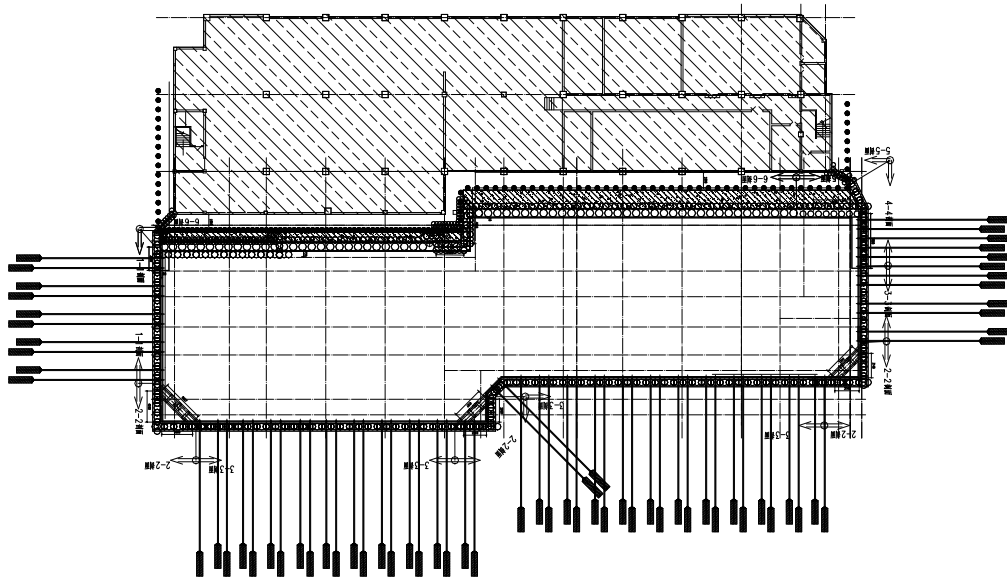


图 12 案例 4 施工现场照片

3 压应力分散型扩大头锚杆施工控制

3.1 施工步骤

(1)、钻孔就位, 要求如下: 钻孔定位偏差 $\leq 100\text{mm}$, 并按设计要求调准好角度。

(2)、套管钻进

套管设计深度 = 锚杆设计长度 - 扩大头长度。

实际套管钻进深度的检查:

实际套管钻进深度 = (配置的套管根数 - 剩余的根数) × 单根套管长度 - 套管外露长度。

(3)、扩孔：锚杆采用清水及水泥浆液扩孔工艺，施工喷嘴采用孔径 2.2mm 进行喷射，扩孔压力 30MPa,喷嘴移动速度 15cm/min,转速 10r/min。将钻杆从套管中贯入直至喷嘴到达扩大头位置，高压喷射扩孔的水泥采用强度等级为 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥，水泥浆液的水灰比宜为 1.2。

①高压水喷射扩孔：将高压泵接至清水池，开启高压泵至设计压力，开动扩大头锚杆钻机旋转并上下移动喷管进行高压喷射扩孔，上下往返扩孔 2 遍，扩孔时间 40min。水扩施工中应密切注意表压及转速，控制在技术要求之内，压力低于技术要求及时补压，高于技术要求及时减压。

②高压喷射浆液扩孔：将高压泵接至水泥浆池(水灰比 1.2)，开动扩大头锚杆钻机旋转并上下移动喷管进行高压喷射注浆，扩孔一遍，扩孔时间 20min。浆扩施工中应密切注意表压及转速，控制在技术要求之内，压力低于技术要求及时补压，高于技术要求及时减压，来保证工程施工质量。

(4)、安放锚杆杆体：高压喷射注浆完毕后，立即取出钻杆，从套管中放入锚杆杆体至设计深度。注浆管应随杆体一同放入，锚杆杆体插入孔内的深度应不小于锚杆设计长度，注浆管到孔底的距离不大于 300mm。

(5)、拔出套管：杆体安放到位后立即拔出套管。

(6)、注浆：注浆材料采用纯水泥浆，水泥浆采用 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥，水灰比 0.6，内掺 2%早强剂注浆时每台设备配小型高压泵一台，注浆管采用 6 分 PE 塑料管，注浆压力保持在 1.2~2.0MPa 左右，注浆当孔口溢出浆液时，可停止注浆。

3.2 锚杆检测验收

锚杆按锚杆总量的 5%进行验收，验收锚杆全部符合设计要求。

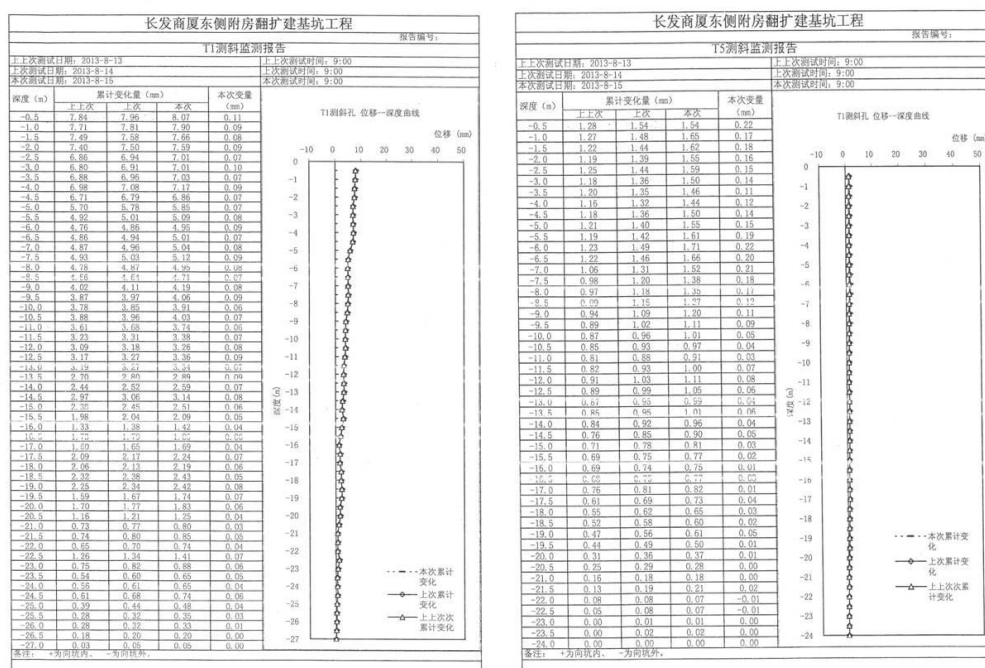
表 11 案例 4 锚杆验收

锚杆编号	验收抗拔力 (KN)	最大位移量 (mm)	备注
1	600	120.32	
2	600	115.54	
3	600	118.29	
4	600	125.24	

4 基坑监测和锚杆的拆芯回收

根据基坑监测情况，基坑支护过程中，最大位移变形仅 8.07mm，对应的锚杆锚具处的位移为 7.01mm，非常有效的控制了基坑的位移变形，达到预期控制支护体变形、保护临近建筑物的目的。

表 12 案例 4 施工现场监测数据



在主体结构施工过程中，负一层楼板处传力带施工完毕达到设计强度后，开始拆芯回收锚杆，在拆除过程中，负一层主体结构同步进行。

5.结论

本项目最大的难点在于在基坑边天然基础的老旧控保建筑，既要完成基坑的建设，又要保证控保建筑物的安全，压应力分散型扩大头可拆芯锚杆出色的完成了这一任务，由此可见，这一技术应用于位移控制要求高的项目中。