

ICS 29.204.20

K 47

备案号: J2508—2018

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5755 — 2017

沙漠地区输电线路杆塔基础
工程技术规范

Technical code of transmission line tower foundation
engineering in desert area

2017-11-15 发布

2018-03-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

沙漠地区输电线路杆塔基础工程技术规范

Technical code of transmission line tower foundation
engineering in desert area

DL/T 5755 — 2017

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2018年3月1日

中国电力出版社

2018 北 京

中华人民共和国电力行业标准
沙漠地区输电线路杆塔基础工程技术规范
Technical code of transmission line tower foundation
engineering in desert area
DL / T 5755 — 2017

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京传奇佳彩印刷有限公司印刷

*

2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 2.25 印张 53 千字
印数 001—500 册

*

统一书号 155198 · 774 定价 **29.00** 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

国家能源局

公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等204项行业标准，其中能源标准（NB）62项、电力标准（DL）86项、石油标准（SY）56项，现予以发布。

上述标准中电力管理、电工装备标准、煤层气及生物液体燃料标准由中国电力出版社出版发行，电力（火电）规划设计标准由中国计划出版社出版发行，《定制电力技术导则》由中国标准出版社出版发行，石油天然气标准由石油工业出版社出版发行，煤炭标准由煤炭工业出版社出版发行，锅炉压力容器标准由新华出版社出版发行。

附件：行业标准目录

国家能源局

2017 年 11 月 15 日

DL / T 5755 — 2017

附件:

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
129	DL/T 5755— 2017	沙漠地区输电线 路杆塔基础工程 技术规范			2017-11-15	2018-03-01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2015〕12 号文）的要求，规范编制组开展了专题研究，总结了近年来我国沙漠地区输电线路杆塔地基的勘察，基础的设计、施工和运行经验，收集、整理和分析国内外的研究与应用成果，并在广泛征求有关单位意见的基础上，制定本规范。

本规范的主要技术内容是：规定了沙漠地区输电线路的勘察、基础设计和施工、防风固沙、修复与重建、环境保护、验收等工作的方法与要求。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由全国架空线路标准化技术委员会(SAC/TC202)归口。

本规范主编单位：中国电力科学研究院。

本规范参编单位：宁夏回族自治区电力设计院有限公司、中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司、中国能源建设集团甘肃省电力设计院有限公司、内蒙古电力设计院。

本规程主要起草人员：鲁先龙 程永锋 崔 强 杨文智

丁士君 李 维 邓海骥 刘生奎

姚一丁 郑卫锋 陈 培 满 银

侯鹏翔 段辉顺 张 鹏 刘 蛟

本规程主要审查人员：王虎长 段松涛 侯中伟 秦庆芝

李占岭 包永忠 黄兴怀 童 武

李永祥 孟宪乔 安增军 王景朝

杨靖波 刘利民 于性波

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 次

1 总则 1

2 术语和符号 2

 2.1 术语 2

 2.2 符号 3

3 基本规定 5

4 勘察 7

5 基础设计 9

 5.1 一般规定 9

 5.2 上拔稳定计算 9

 5.3 下压稳定计算 11

 5.4 倾覆稳定计算 14

 5.5 构件承载力计算和构造要求 15

6 基础施工 17

 6.1 测量 17

 6.2 土方工程 17

 6.3 基础工程 18

7 防风固沙 19

 7.1 一般规定 19

 7.2 处理措施 19

8 修复与重建 21

9 环境保护 22

10 验收 23

附录 A 典型沙漠风积沙物理力学特性参数 24

附录 B 装配式基础板条和横梁计算 26

附录 C 常用修复技术 30

本规范用词说明38

引用标准名录39

附：条文说明41

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic regulations	5
4	Survey	7
5	Foundation design	9
5.1	General regulations	9
5.2	Calculation on uplift stability	9
5.3	Calculation on compression stability	11
5.4	Calculation on overturn stability	14
5.5	Calculation on bearing capacity and structural requirements of members	15
6	Foundation construction	17
6.1	Measure	17
6.2	Earthwork	17
6.3	Foundation engineering	18
7	Windbreak and sand fixation	19
7.1	General requirements	19
7.2	Treatment measures	19
8	Repairing and reconstruction	21
9	Environmental protection	22
10	Acceptance	23
Appendix A	Aeolian sand physical and mechanical parameters in desert area	24

Appendix B	Calculation of lath and beam of assembly foundation	26
Appendix C	Common repairing technology	30
	Explanation of wording in this regulation	38
	List of quoted standards	39
Addition:	Explanation of provisions	41

1 总 则

1.0.1 为了在沙漠地区输电线路杆塔基础设计及施工中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于沙漠地区 110kV 及以上输电线路杆塔基础工程。

1.0.3 基础设计采用极限状态设计方法，在规定的各种荷载组合作用和变形限值条件下，满足输电线路工程安全稳定运行的要求。

1.0.4 杆塔基础设计采用新理论、新材料、新结构型式，当缺乏实践经验时，应经过试验验证。

1.0.5 沙漠地区杆塔基础工程，除应符合本规范的有关规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语 和 符 号

2.1 术 语

2.1.1 沙漠地区 desert area

地面完全被沙所覆盖、植物非常稀少、雨水稀少、空气干燥的荒芜地区。

2.1.2 风积沙 aeolian sand

被风吹，且积淀的沙层。

2.1.3 固定沙丘 fixed sandy dune

植物覆盖度 $>40\%$ 或沙丘表面有薄层黏土结皮、盐结皮，在风力作用下不发生位移的沙丘。

2.1.4 流动沙丘 mobile sandy dune

完全裸露或只有稀少植被，在风力作用下，不仅有较强的风沙流活动，且整体也会顺风前移的沙丘。

2.1.5 半固定沙丘 semi-fixed sandy dune

介于流动沙丘和固定沙丘之间的一种不稳定沙丘，又称半流动沙丘。

2.1.6 风沙流 windblown sandflow

风成沙在风力作用下的一种运动现象。

2.1.7 沙障 sand fence

用柴草、秸秆、黏土、树枝、板条、卵石等物料在沙面上做成的障蔽物，是一种消减风速、固定沙表的工程固沙措施。

2.1.8 装配式基础 assembly foundation

用两个或两个以上预制构件拼装组合而成的基础。

2.2 符 号

- A ——基础底面面积, m^2 ;
 B ——基础底面宽度, m ;
 G ——基础自重和基础上风积沙自重之和, kN ;
 H ——基础埋深, m ;
 L ——相邻基础之间的距离, m ;
 T ——上拔力设计值, kN ;
 T_x 、 T_y ——上拔力设计值 X 向、 Y 向水平力, kN ;
 N ——下压力设计值, kN ;
 N_x 、 N_y ——下压力设计值 N 对应的 X 向、 Y 向水平力, kN ;
 M_x 、 M_y ——作用于基础底面的 X 和 Y 方向的弯矩设计值,
 $\text{kN} \cdot \text{m}$;
 W_x 、 W_y ——基础底面绕 X 轴、 Y 轴的截面抵抗矩, m^3 ;
 p_{\max} 、 p_{\min} ——基础底面边缘最大、最小压力设计值, kPa ;
 V_f ——抗拔计算深度范围内基础体积, m^3 ;
 V_t ——计算埋深范围内风积沙与基础体积, m^3 ;
 Δ_{vt} ——相邻基础影响的微体积, m^3 ;
 Q_s ——上拔角范围内沙重, kN ;
 Q_f ——基础自重, kN ;
 f_a 、 f_{ak} ——修正后的地基承载力特征值、地基承载力特征值,
 kPa ;
 h_0 ——基础露头高度, m ;
 h_c ——基础上拔临界深度, m ;
 h_t ——基础上拔埋置深度, m ;
 η_b 、 η_d ——基础宽度和基础深度的地基承载力修正系数;
 α ——上拔角设计值, $(^\circ)$;

DL / T 5755 — 2017

- γ_s —— 回填风积沙的重度, kN/m^3 ;
- γ_E —— 水平力影响系数;
- γ_f —— 基础附加分项系数;
- γ_θ —— 基础底板上平面坡角影响系数;
- γ_{rf} —— 地基承载力调整系数;
- γ_G —— 永久荷载分项系数。

3 基本规定

3.0.1 沙漠地区输电线路选线应符合以下规定：

- 1 线路路径宜靠近现有公路，便于线路施工及运行维护。
- 2 应避开流动沙丘区域，无法避开时应考虑流动沙丘对线路的影响。
- 3 塔位选择优先考虑洼地或平地，避免在沙丘顶部设置塔位。

3.0.2 沙漠地区输电线路选择塔位时宜避开下列地段：

- 1 流动沙丘的下风侧。
- 2 风蚀沙埋严重发育地段。
- 3 坎儿井、沙巷、暗渠临近地段。
- 4 地面盐渍化迹象严重的地带。
- 5 靠近山、沟口地面水流变迁的地带。

3.0.3 流动沙丘和半固定沙丘区域中的杆塔不宜使用高低腿配置。

3.0.4 沙漠地区输电线路杆塔基础宜采用板柱基础、装配式基础，当地下水位较高时，可采用桩基础。

3.0.5 沙漠地区输电线路杆塔基础稳定和基础承载力计算应采用荷载的设计值，地基不均匀沉降、基础位移应采用荷载的标准值。

3.0.6 采用“土重法”计算基础上拔稳定时，其抗拔深度应扣除浮沙的厚度。

3.0.7 位于地下水位以下的基础重度和风积沙重度应按浮重度计算。我国主要沙漠地区风积沙的物理力学特性参数可参见附录 A。

3.0.8 基础设计应根据水、土腐蚀程度采取相应的防腐措施。

3.0.9 基础的附加分项系数 γ_f 不应小于表 3.0.9 中所列的数值。

表 3.0.9 基础附加分项系数 γ

设计条件	上拔稳定		倾覆稳定	上拔、下压 稳定
杆塔类别 \ 基础形式	重力式基础	其他各类型 基础	各类型基础	灌注桩基础
悬垂型	0.90	1.10	1.10	0.80
耐张直线（0°转角） 及悬垂转角	0.95	1.30	1.30	1.00
耐张转角、终端	1.10	1.60	1.60	1.25

3.0.10 对位于地震烈度 7 度及以上地区的特高压输电线路杆塔基础及特殊重要的杆塔基础、8 度及以上地区的 220 kV 及以上耐张型杆塔的基础，当场地风积沙为饱和状态时，均应考虑地基液化的可能性，并采取必要的稳定和抗震措施。

3.0.11 基础采用的混凝土强度等级不应低于 C20。当基础采用强度等级为 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25。

3.0.12 沙漠地区输电线路杆塔基础钢筋使用应满足《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关要求。

3.0.13 混凝土强度标准值和设计值、混凝土弹性模量、钢材强度设计值和弹性模量等按 GB 50010 规定取值。

4 勘 察

4.0.1 沙漠地区输电线路勘察应根据线路工程各设计阶段勘察内容深度要求,开展相应工作。

4.0.2 沙漠地区输电线路勘察可采用地面调查、遥感调查的方法,并应结合钻探、物探、坑探、取样分析等多种勘察方法。

4.0.3 沙漠地区输电线路地面调查包括地质调查、生态环境调查、建设材料调查等。

1 地质调查工作包括以下内容:

- 1) 收集沿线不同时期、不同比例的地形图、航测照片、卫星照片。
- 2) 收集沿线工程地质、水文地质、气象、植被、土壤等资料。
- 3) 查明沙漠成因,沙丘形态、规模、起伏程度、结构类型。
- 4) 查明沙漠区主导风向,沙漠活动特点、分布规律,风蚀沙埋特点及移动速率。
- 5) 收集当地防风固沙及地基处理资料。

2 生态环境调查工作包括以下内容:

- 1) 调查植被的生态特征及其覆盖程度、耐旱和耐盐碱植物种类、群落分布规律和生长条件的情况,了解植被繁衍、更新的可能性和手段,确定可用来固沙的乡土植物种类。
- 2) 调查沿线水环境、土壤等分布和种类。

3 建设材料调查工作应做好整个区域可用于基础施工的材料调查,包括砂石料、芦苇、柴草、土工材料、工程用水、生活用水的来源,并查明其品质和数量。

4.0.4 沙漠地区输电线路的勘察工作包括以下内容：

- 1 沙漠成因，沙丘形态、规模、起伏程度、结构类型、密实度、含盐量，地层沿深度分布及变化情况。
- 2 沙漠区主导风向，沙漠活动特点、分布规律，风蚀沙埋特点及移动速率。
- 3 植被生态类型、分布及覆盖度，地面设施分布及使用情况，地表形态演化情况。
- 4 地层结构及其物理、力学性能，如风积沙的颗粒级配、含水状态、成层性、天然密度等。
- 5 地表水系、沼泽、地下水埋藏深度，含水层等分布规律；地下水、地表水的化学成分，判断其利用条件。
- 6 塔位处水、土对混凝土及钢结构腐蚀性评价。
- 7 调查当地治沙经验，确定有利于风沙流顺畅通过的线路塔位，并在基础周边采取固沙措施。

4.0.5 沙漠地区输电线路勘探取样应符合以下规定：

- 1 一般线路，应按地貌单元设置勘探点。当地貌单元简单时，平均每公里设置 1 个勘探点；地貌单元复杂时，平均每公里设 2 个勘探点；重要线路应逐基勘探。
- 2 勘探深度应满足基础设计深度要求，且不小于地基变形的计算深度。
- 3 应分层取样，分析沙土类型、颗粒组成、含盐分情况、沙层含水率等。

4.0.6 沙漠地区输电线路勘察报告应包括以下内容：

- 1 逐基提供岩土详细分层情况、工程地质、水文地质、勘探、试验资料。
- 2 线路沿线沙害情况调查及不良工程地质条件评价资料。
- 3 线路沿线水文气象调查分析资料。
- 4 基础材料调查分析资料。

5 基础设计

5.1 一般规定

5.1.1 沙漠地区输电线路杆塔基础设计应包括以下内容:

- 1 基础上拔、下压和倾覆稳定计算。
- 2 基础结构承载力计算和构造设计。
- 3 其他特殊要求的设计。

5.1.2 开挖类基础上拔稳定计算采用“土重法”。

5.1.3 开挖类基础倾覆稳定计算时,不考虑基础侧向土抗力和基底土压力的作用。

5.1.4 桩基础设计参照《架空输电线路基础设计技术规程》DL/T 5219 相关规定执行。

5.1.5 地基变形、基础耐久性设计计算参照 DL/T 5219 相关规定执行。

5.2 上拔稳定计算

5.2.1 采用“土重法”计算上拔稳定,应按下式计算:

$$\gamma_f T \leq \gamma_E \gamma_\theta \gamma_s (V_t - \Delta_{vt} - V_f) + Q_f \quad (5.2.1-1)$$

式中: γ_f ——基础附加分项系数,按表 3.0.9 取值;

T ——上拔力设计值, kN;

γ_E ——水平力影响系数,根据水平合力与上拔力的比值,按表 5.2.1 确定;

γ_θ ——基础底板上平面坡角影响系数,基础底板上平面与竖向夹角大于或等于 45° 时取 1.0,小于 45° 时取 0.8;

- γ_s ——回填风积沙的重度, kN/m^3 , 地下水位以下取浮重度;
- V_t —— h_t 深度内风积沙和基础的体积, m^3 , 按式 (5.2.1-2) 或式 (5.2.1-3) 计算;
- Δ_{vt} ——相邻基础影响的微体积, m^3 , 按 5.2.2 条确定;
- V_f —— h_t 深度内的基础体积, m^3 ;
- Q_f ——基础自重, kN 。
- 当 $h_t \leq h_c$ 时,

$$V_t = h_t \left(B^2 + 2Bh_t \tan \alpha + \frac{4}{3} h_t^2 \tan^2 \alpha \right) \quad (5.2.1-2)$$

当 $h_t > h_c$ 时,

$$V_t = h_c \left(B^2 + 2Bh_c \tan \alpha + \frac{4}{3} h_c^2 \tan^2 \alpha \right) + B^2 (h_t - h_c) \quad (5.2.1-3)$$

式中: h_t ——基础的抗拔计算深度, m ;

B ——基础底面宽度, m ;

h_c ——基础上拔临界深度, m , 取 $h_c = 1.5B$;

α ——上拔角设计值, $(^\circ)$, 见图 5.2.1。按试验数据取值, 无试验数据时, 可取 $10^\circ \sim 15^\circ$ 。

表 5.2.1 水平力影响系数 γ_E

水平力合力与 T 的比值	γ_E
0.15~0.40	1.0~0.9
0.40~0.70	0.9~0.8
0.70~1.00	0.8~0.75

5.2.2 尺寸相同的相邻基础, 同时承受上拔荷载作用, 当采用如图 5.2.2 所示的计算简图, 并按 5.2.1 条计算上拔稳定时, 且当 $L < B +$

$2h_t \tan \alpha$ 时, Δ_{vt} 应按下述条件确定:

$$\Delta_{vt} = \frac{(B + 2h_t \tan \alpha - L)^2}{24 \tan \alpha} (2B + L + 4h_t \tan \alpha) \quad (5.2.2)$$

式中: L ——相邻基础之间的距离, m。

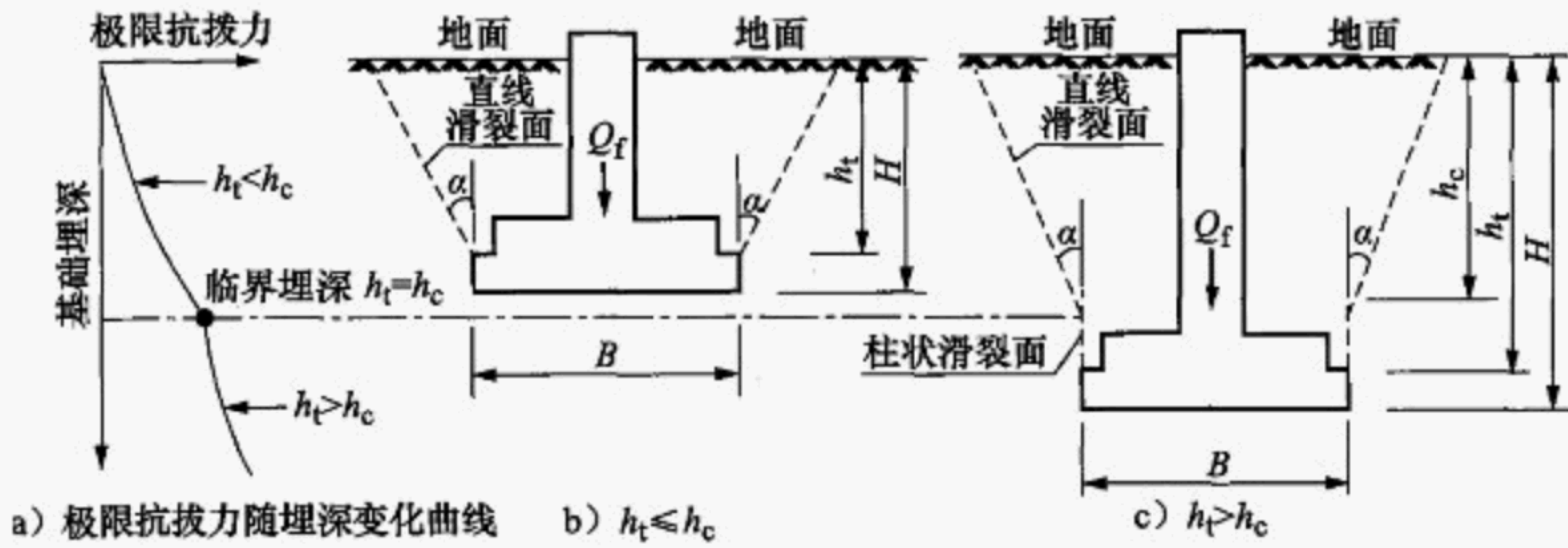


图 5.2.1 计算示意图

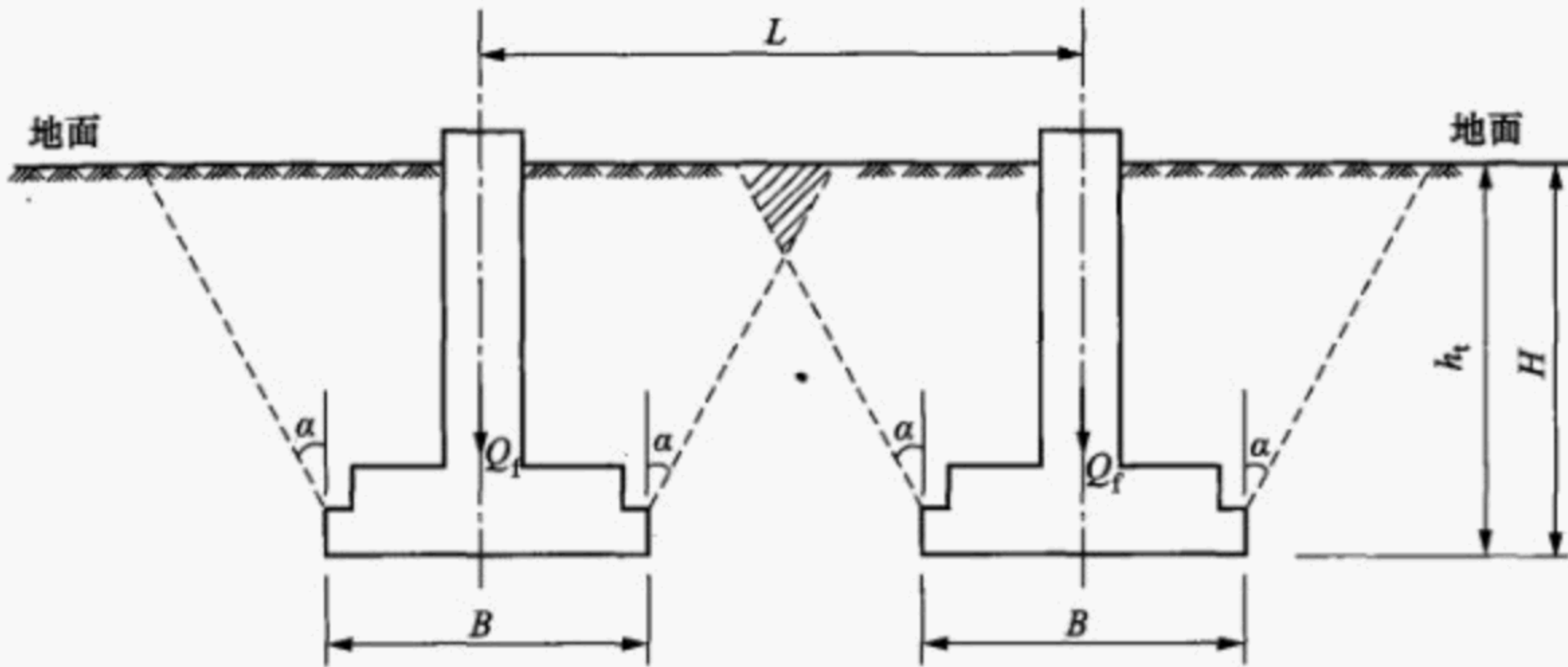


图 5.2.2 相邻上拔基础“土重法”计算简图

5.3 下压稳定计算

5.3.1 基础底面的压力, 应符合下列要求:

- 1 当轴心荷载作用时, 应符合式 (5.3.1-1) 要求。

$$\gamma_{\text{rf}} p \leq f_{\text{a}} \quad (5.3.1-1)$$

式中: p ——基础底面处的平均压力设计值, kPa, 按 5.3.4 条确定;

f_{a} ——修正后的地基承载力特征值, kPa, 按 5.3.3 条确定;

γ_{rf} ——地基承载力调整系数, 取 0.75。

2 当偏心荷载作用时, 应满足式 (5.3.1-1) 和式 (5.3.1-2) 的要求。

$$\gamma_{\text{rf}} p_{\text{max}} \leq 1.2 f_{\text{a}} \quad (5.3.1-2)$$

式中: p_{max} ——基础底面边缘最大压力设计值, kPa, 按 5.3.5 条确定。

5.3.2 地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算, 并结合工程实践经验等方法综合确定。

5.3.3 当基础宽度大于 3m 或埋深大于 0.5m 时, 从载荷试验或其他原位测试、经验值等方法确定的地基承载力特征值, 应按下式修正:

$$f_{\text{a}} = f_{\text{ak}} + \eta_{\text{b}} \gamma (B - 3) + \eta_{\text{d}} \gamma_{\text{m}} (H - 0.5) \quad (5.3.3)$$

式中: f_{a} ——修正后的地基承载力特征值, kPa;

f_{ak} ——地基承载力特征值, kPa, 按 5.3.2 条确定;

γ_{m} ——基础底面以上风积沙的加权平均重度, kN/m³, 地下水位以下取浮重度;

γ ——基础底面以下风积沙的重度, kN/m³, 地下水位以下取浮重度;

B ——基础底面宽度, m, 当 B 小于 3m 时按 3m 取值, 大于 6m 时按 6m 取值;

η_{b} 、 η_{d} ——基础宽度和基础深度的地基承载力修正系数, 风积沙地基 η_{b} 取 2.0, η_{d} 取 3.0;

H ——基础埋深, m, 不应小于 0.5m。

5.3.4 当轴心荷载作用时, 基础底面的平均压力设计值, 可按下式计算:

$$p = \frac{N + \gamma_G G}{A} \quad (5.3.4)$$

式中: N ——下压力设计值, kN;

G ——基础自重和基础上的风积沙自重之和, kN;

A ——基础底面面积, m^2 ;

γ_G ——永久荷载分项系数, 取 $\gamma_G = 1.2$ 。

5.3.5 当偏心荷载作用时, 基础底面的边缘最大、最小压力设计值可按下式计算:

$$p_{\max} = \frac{N + \gamma_G G}{A} + \frac{M_x}{W_y} + \frac{M_y}{W_x} \quad (5.3.5-1)$$

$$p_{\min} = \frac{N + \gamma_G G}{A} - \frac{M_x}{W_y} - \frac{M_y}{W_x} \quad (5.3.5-2)$$

式中: M_x 、 M_y ——作用于基础底面 X 和 Y 方向的弯矩设计值, kN · m;

W_x 、 W_y ——基础底面绕 X 和 Y 轴的截面抵抗矩, m^3 ;

p_{\min} ——基础底面边缘的最小压力设计值, kPa。

5.3.6 当按式(5.3.5-2)计算得到 $p_{\min} < 0$ 时, p_{\max} 可按式(5.3.6-1)~式(5.3.6-3)计算, 计算简图见图 5.3.6。

$$p_{\max} = 0.35 \frac{N + \gamma_G G}{C_x C_y} \quad (5.3.6-1)$$

$$C_x = \frac{B}{2} - \frac{M_x}{N + \gamma_G G} \quad (5.3.6-2)$$

$$C_y = \frac{B}{2} - \frac{M_y}{N + \gamma_G G} \quad (5.3.6-3)$$

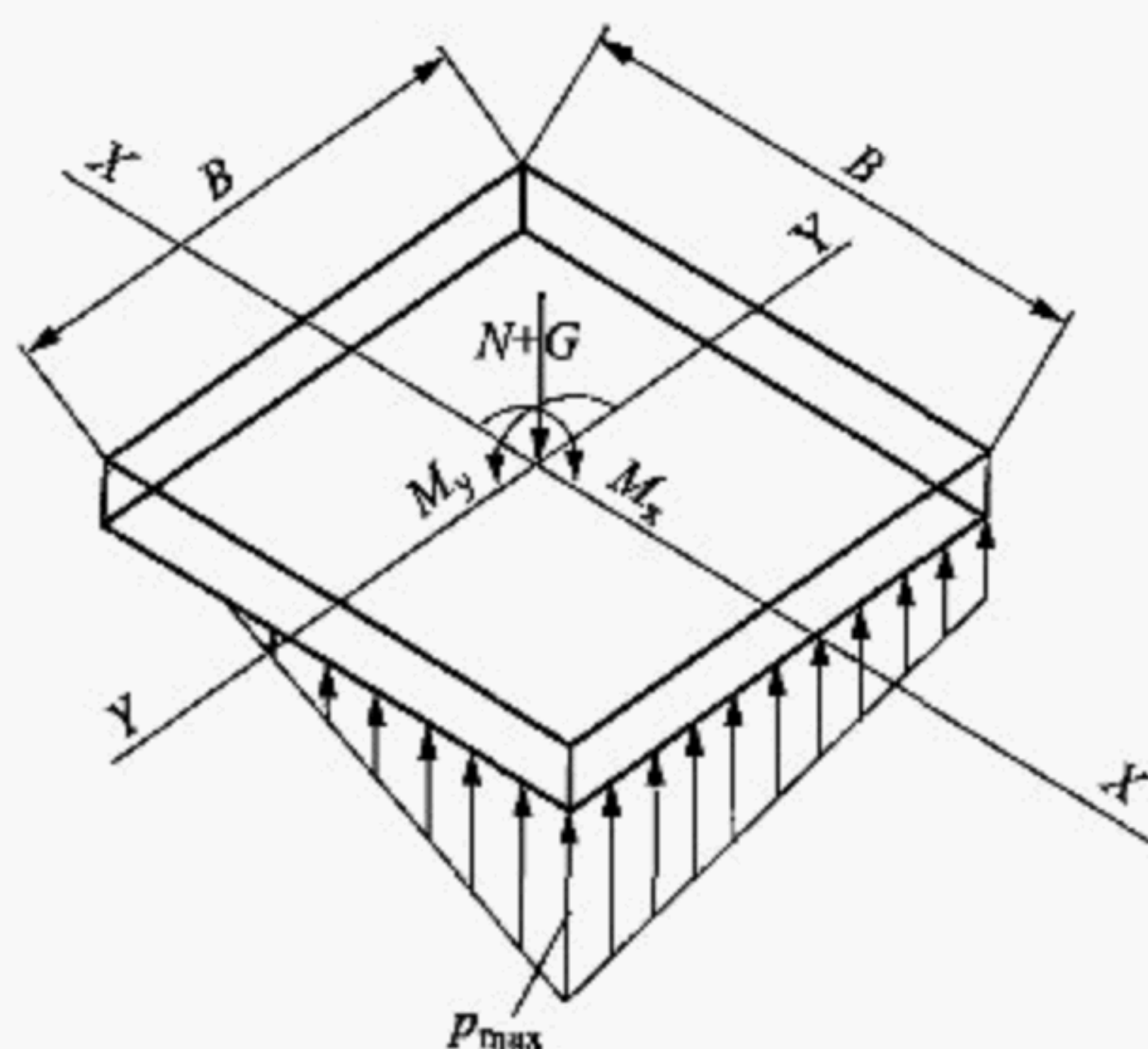


图 5.3.6 双向偏心荷载作用示意图

5.4 倾覆稳定计算

基础在上拔和水平力作用时，当基础底面边缘的最小压力值 $p_{\min} \leq 0$ 时，按照式(5.4.1)计算基础的倾覆稳定，计算简图见图 5.4.1。

$$\gamma_f(M_T + M_{TH}) \leq (Q_f + Q_s)L_{OO'} \quad (5.4.1)$$

$$M_T = TL_{OO'}$$

$$M_{TH} = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} (H + h_0)$$

式中： T_x 、 T_y ——上拔力设计值 T 对应的 X 向、 Y 向水平力，kN；

h_0 ——基础露出地面高度，m；

M_T ——上拔力 T 对水平力合力作用线与基础底面交点 O' 的弯矩，kN·m；

M_{TH} —— X 、 Y 向水平力 T_x 、 T_y 合力对其合力作用线与基础底面交点 O' 的弯矩，kN·m；

Q_s ——上拔角范围的风积沙自重，kN；

$L_{OO'}$ ——基础中心 O 与 T_x 、 T_y 合力作用线与基础底面交点 O' 之间距离，当地脚螺栓偏心设置时，

在进行 M_{TH} 计算时, $L_{OO'}$ 取地脚螺栓中心与 O' 间距离, m。

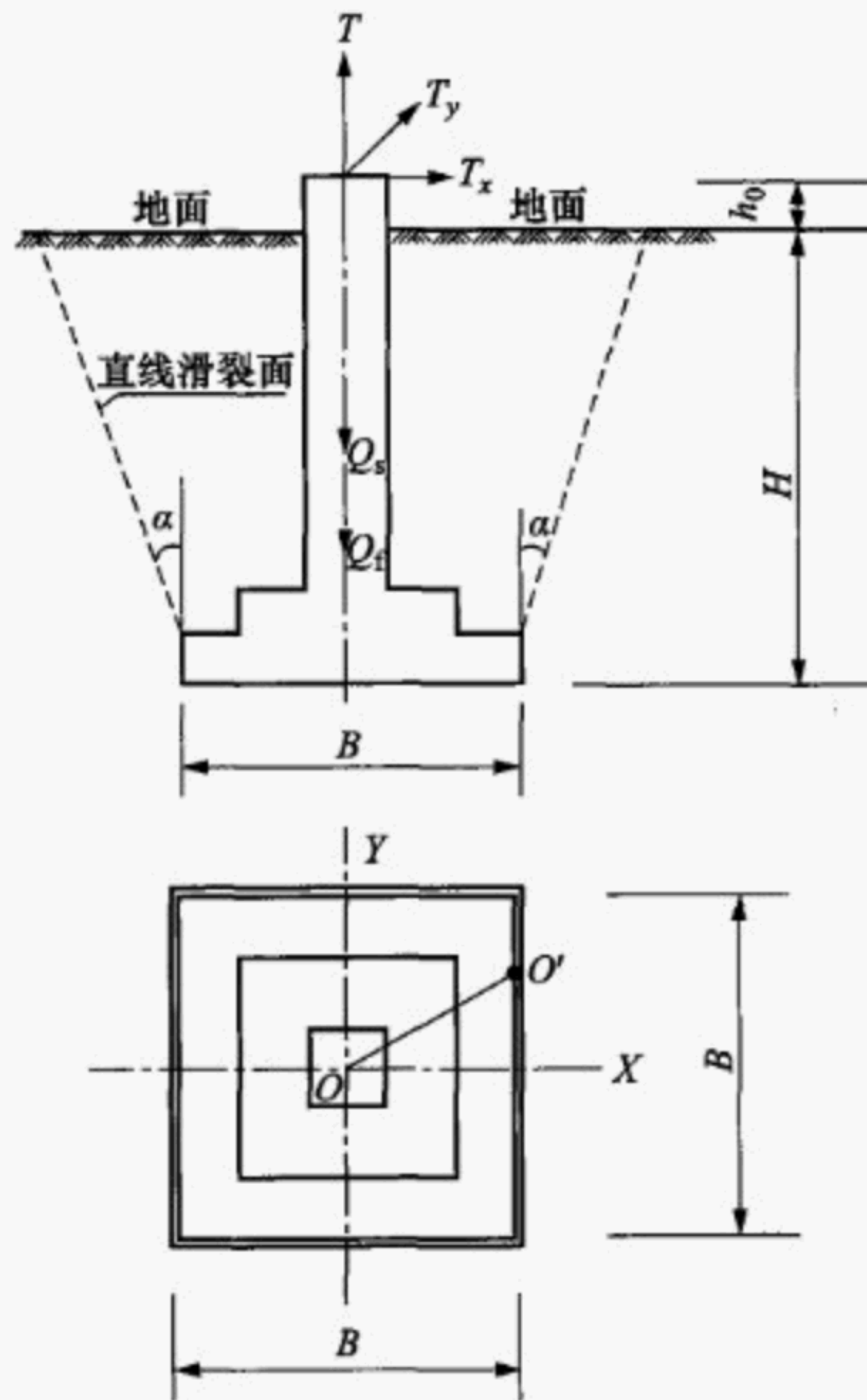


图 5.4.1 倾覆稳定计算简图

5.5 构件承载力计算和构造要求

5.5.1 板柱基础主柱正截面承载力、斜截面承载力、底板正截面承载力计算参照 DL/T 5219—2014 相关规定执行。

5.5.2 基础构造要求应符合 DL/T 5219—2014 有关规定。

5.5.3 金属装配式基础构件的承载力按钢结构构件的拉、压、弯构件计算,可参考附录 B 有关规定。

5.5.4 混凝土板条与型钢组合的装配式基础,可按放置在地基上的空间桁架体系分析内力,金属支架与钢筋混凝土支架均按轴向

DL / T 5755 — 2017

受力构件计算，板条及横梁按受弯构件计算。可参考附录 B 有关规定。

5.5.5 装配式基础构造要求应符合 DL/T 5219—2014 第 11.5 节有关规定。

5.5.6 地脚螺栓承载力按照 DL/T 5219—2014 第 7.8 节规定计算。

6 基础施工

6.1 测量

6.1.1 输电线路杆塔基础施工测量除应符合本规范的规定外，尚应符合《工程测量规范（附条文说明）》GB 50026 和《电力工程施工测量技术规范》DL/T 5445 的有关规定。

6.1.2 分坑测量前应依据设计提供的数据复核设计给定的塔位中心桩，并应以此作为测量的基准。

6.1.3 复测有下列情况之一时，应查明原因并予以纠正：

- 1 以相邻两直线桩为基准，其横线路方向偏差大于 50mm。
- 2 塔位中心桩或直线桩的桩间距相对设计值的偏差大于 1%。
- 3 转角杆塔中心桩位移未满足设计要求。
- 4 塔基断面与设计文件不符。

6.1.4 设计交桩后丢失的塔位中心桩应按设计数据予以补桩。

6.1.5 塔位中心桩移桩采用钢卷尺测量时，两次测量之差不得超过量距的 1‰。

6.1.6 分坑时应根据塔位中心桩的位置设置用于质量控制及施工测量的辅助桩。对于施工中不便于保留的塔位中心桩，应在基础外围设置辅助桩，并保留原始记录。

6.2 土方工程

6.2.1 基坑开挖过程中，当地质条件与地质报告不符时，应通知设计和监理，经核实和处理后，才能继续施工。

6.2.2 基坑可采用机械辅助开挖，宜采用台阶式边坡和加挡土板相结合的支护方式，放坡角度根据经验确定。当地下水对基础施

工有影响时，应采取降水措施。

6.2.3 基坑开挖过程中，坑边一定范围内无堆载、无人员活动、无设备放置。

6.2.4 基础拆模或安装完成，并经检查符合技术规定及质量标准后，应及时回填基坑，回填时应清除杂物，保证填料的密实度。

6.2.5 回填至设计基面后应进行超填，超填高度不应小于 0.3m。

6.3 基 础 工 程

基础工程的材料质量、施工误差、现场浇筑基础要求、装配式基础安装要求应符合《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》GB 50233 相关规定。

7 防风固沙

7.1 一般规定

- 7.1.1 根据沿线塔位的气象、地形地貌、工程及水文地质条件、植被、风沙灾害、施工材料等资料，提出相应防风固沙措施。
- 7.1.2 贯彻预防为主、防治结合的原则。应结合工程特点，积极采用新材料、新技术、新工艺。
- 7.1.3 就近取材时，不应造成生态环境的破坏。

7.2 处理措施

- 7.2.1 根据沙丘类型及塔位重要性，可按表 7.2.1 选择防风固沙措施。

表 7.2.1 防风固沙措施

沙丘类型	塔位重要性	防风固沙措施
流动沙丘	一般塔位	宜用草方格或石方格沙障固沙，沿基底 45°扩展角并外延 3m 范围铺设
	重要塔位	除应采用一般塔位的防风固沙措施外，宜采用加筋复合地基对回填沙地基进行处理
半固定沙丘	一般塔位	宜用草方格沙障固沙，沿基底 45°扩展角并外延 2m 范围铺设
	重要塔位	宜用草方格或石方格沙障固沙，沿基底 45°扩展角并外延 3m 范围铺设
固定沙丘	一般塔位	宜用草方格沙障固沙，沿基底 45°扩展角并外延 1m 范围铺设

续表 7.2.1

沙丘类型	塔位重要性	防风措施
固定沙丘	重要塔位	宜用草方格沙障固沙, 沿基底 45°扩展角并外延 2m 范围铺设

注: 1 重要塔位指耐张、重要交叉跨越的塔位, 一般塔位指除此之外的其他塔位。
2 表中沙障铺设范围为最低要求, 具体塔位可按地形条件适当增加。
3 有条件地区, 宜配合采用植被种植 (或撒播草籽) 等固沙措施。
4 对于流动沙丘, 也可采用覆盖碎石 (或卵石) 层的固沙措施, 碎石沿基底 45°扩展角地表面范围铺设, 铺设厚度不小于 10cm, 碎石 (或卵石) 粒径不小于 3cm。

7.2.2 方格沙障宜按 1m×1m 布置, 可就地取材。草方格采用麦秆、稻草、棉秆、芦苇、芨芨草或苏丹草等, 外露高度为 20cm~50cm。石方格外露高度应不小于 20cm。

8 修复与重建

8.1.1 对受风蚀露出的基础，应及时回填，并采取相应措施进行固沙处理。

8.1.2 对积沙掩埋的基础，应及时清除积沙，并检查被掩埋基础或连接件的受损状况。根据受损程度进行塔基的修复或重建。

8.1.3 针对沙漠地区杆塔基础常见病害，可采用附录 C 规定的修复措施进行处理。在选择修复措施时，可参照以下规定：

1 钢材腐蚀和混凝土开裂时，宜采用粘钢加固、外包钢加固或加大基础立柱等修复措施。

2 基础与杆塔连接件受损时，宜采用植筋、焊接、局部加固或拼接延伸等修复措施。

3 地基不能满足基础承载性能要求时，宜采用加大基础底面积或增加基础重量等修复措施。

8.1.4 基础受损严重，无法采用修复技术恢复其承载性能的杆塔基础，应重新建造基础。

8.1.5 基础重建时，可通过在风积沙地基中铺设土工合成材料形成加筋风积沙复合地基，或在风积沙中掺入一定比例的水泥形成水泥固化地基，以提高风积沙地基的承载性能和防风固沙性能。

8.1.6 对采用了风积沙加筋或水泥固化的复合地基中的杆塔基础，设计参数可通过现场试验确定。

9 环 境 保 护

9.0.1 基础设计和施工应符合环保、水土保持和生态环境保护的相关法律法规。

9.0.2 宜根据塔位实际情况确定环保方案。

9.0.3 严禁将有粗沙层地表或植被覆盖的地方用作堆弃沙场。临时堆沙应采取相应保护措施。

9.0.4 基础施工现场应控制施工机械碾压范围，减少塔基周边环境破坏。

10 验 收

沙漠地区输电线路杆塔基础的验收参照《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》GB 50233 以及《±800kV 及以下直流架空输电线路工程施工及验收规程》DL/T 5235 等标准执行。

附录 A 典型沙漠风积沙物理力学特性参数

A.1.1 我国典型沙漠风积沙地基主要物理力学特性参数见表 A.1 和表 A.2。

表 A.1 我国典型沙漠风积沙地基的颗粒组成平均值及其分类

项目名称 地名	沙粒粒径组成 (%)				不均匀系数 C_u	曲率系数 C_c	分类
	粗沙 (mm)	中沙 (mm)	细沙 (mm)	极细沙 (mm)			
	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	<0.075			
塔克拉玛干沙漠 (新疆南部)	0.1	6.3	79.5	14.1	2.2	1.2	细沙
古尔班通古特沙漠 (新疆北部)	0.4	23.9	71.1	4.6	2.2	1.1	细沙
库布齐沙漠	1.1	6.2	81.6	11.1	1.9	1.3	细沙
毛乌素沙漠	2.0	42.5	46.2	9.3	2.5	1.1	细沙
腾格里沙漠	3.0	10.6	83	3.4	1.6	1.0	细沙
河西走廊	—	—	94.3	5.7	1.6	1.1	细沙

表 A.2 我国典型沙漠风积沙地基物理性质和抗剪强度指标平均值

沙漠名称 项目名称	塔克拉玛干沙漠 (新疆南部)	古尔班通古特沙漠 (新疆北部)	库布齐沙漠	毛乌素沙漠	腾格里沙漠	河西走廊
土粒 G_s	2.64	2.55	2.68	2.66	2.67	—
含水量 w (%)	2.5	4.0	3.2	2.2	2.3	1.5
天然重度 γ (kN/m ³)	15.6	16.3	16.4	16.0	15.9	16.5
干重度 γ_d (kN/m ³)	15.1	15.7	15.7	15.7	15.7	15.5
孔隙比 e	—	—	0.70	0.70	0.70	0.64

续表 A.2

沙漠名称 项目名称	塔克拉玛干沙漠 (新疆南部)	古尔班通古特沙漠 (新疆北部)	库布齐沙漠	毛乌素沙漠	腾格里沙漠	河西走廊
饱和度 S_r (%)	—	—	11.90	8.47	8.57	—
最大干重度 γ_{dmax} (kN/m^3)	16.6	16.6	18.0	18.5	18.2	16.5
最小干重度 γ_{dmin} (kN/m^3)	13.4	14.1	13.0	13.5	13.1	14.2
最小孔隙比 e_{min}	0.60	0.56	0.48	0.44	0.47	—
最大孔隙比 e_{min}	1.02	0.85	1.06	0.97	1.04	—
相对密度 D_r	—	—	0.60	0.49	0.60	0.46
内摩擦角 φ (°)	33.7	38.1	34.5	32.7	32.4	36.4

附录 B 装配式基础板条和横梁计算

B.1 装配式基础结构构件承载力计算原则

B.1.1 装配式基础结构构件承载力计算原则如下：

- 1 钢结构计算：角钢支架按桁架结构进行受力计算，金属基础底板型钢主次梁按受弯梁计算。
- 2 混凝土板条计算中不考虑混凝土抗拉承载力。

B.2 基础板条和横梁计算

B.2.1 混凝土板条与型钢组合的装配式基础底部板条和横梁按简支梁进行计算。

1 基于基底反力线性分布的假设，采用“倒梁法”将对应板条位置处的地基净反力反向施加于板条上，取板条与横梁相交处为支承点，分别计算各板条的净反力、支座反力和内力。

2 对于位于板条上部的横梁，取与板条相交处的支座反力为计算荷载，取支架支点处为支承点，分别计算横梁荷载、支座反力和内力。

3 混凝土板条和横梁的正截面和斜截面承载力可参照《电力工程高压送电线路设计手册（第二版）》相关条文进行计算，根据计算结果并满足构造要求配置相应的纵向钢筋和横向钢筋。

B.3 型钢支架强度计算

对型钢支架按照空间桁架体系进行计算，按控制工况的竖向力和相应水平力组合计算型钢支架受力，再参照《架空输电线路杆塔结构设计技术规范》DL/T 5154 相关规定，按照轴心受力构

件进行强度和稳定计算, 确定构件规格。

轴心受力构件强度计算:

$$N_0 / A_n \leq mf \quad (\text{B.3-1})$$

轴心受压构件稳定计算:

$$N_0 / (\phi \cdot A) \leq m_N f \quad (\text{B.3-2})$$

$$\text{当 } \frac{b}{t} \leq \left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} \text{ 时, } m_N = 1.0 \quad (\text{B.3-3})$$

$$\text{当 } \left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} < \frac{b}{t} \leq \frac{380}{\sqrt{f_y}} \text{ 时, } m_N = 1.677 - 0.677 \frac{\frac{b}{t}}{\left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}}} \quad (\text{B.3-4})$$

对轴心受压构件:

$$\left(\frac{b}{t} \right)_{\text{lim}} = (10 + 0.1\lambda) \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (\text{B.3-5})$$

式中: N_0 ——轴心拉力或轴心压力设计值, N;

m ——构件折减系数, 按 DL/T 5154—2012 相关规定取值;

A_n ——构件净截面面积, mm^2 , 对多排螺栓连接的受拉构件, 要计及锯齿形破坏情况;

A ——构件毛截面面积, mm^2 ;

f ——钢材强度设计值, N/mm^2 ;

f_y ——钢材强度标准值, N/mm^2 ;

m_N ——压杆稳定强度折减系数;

ϕ ——轴心受压构件稳定系数, 按照 DL/T 5154—2012 相关规定取值。

B.4 螺栓计算

B.4.1 在螺栓受剪的连接中, 每个螺栓承载力设计值应取承剪和承压承载力设计值中的较小者:

承剪承载力:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (\text{B.4.1-1})$$

承压承载力:

$$N_c^b = d \Sigma t f_c^b \quad (\text{B.4.1-2})$$

B.4.2 螺栓轴向受拉承载力设计值按下列公式计算:

$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad (\text{B.4.2})$$

B.4.3 同时承受剪力和轴心拉力的螺栓, 应符合下列公式的要求:

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1 \quad (\text{B.4.3-1})$$

$$N_v \leq N_c^b \quad (\text{B.4.3-2})$$

式中:

n_v ——承剪面数目, 个;

d ——螺栓杆直径, mm;

Σt ——在同一受力方向的承压构件的较小总厚度, mm;

f_v^b 、 f_t^b 、 f_c^b ——螺栓的抗剪、抗拉和构件的抗压强度设计值, N/mm^2 ;

d_e ——螺栓在螺纹处的有效直径, mm;

N_v 、 N_t ——每个螺栓所承受的剪力和拉力设计值, N;

N_v^b 、 N_t^b 、 N_c^b ——每个螺栓的抗剪、抗拉和抗压承载力设计值, N。

B.5 连接板计算

连接节点板的强度除满足螺栓孔壁承压要求外, 还应满足以下要求:

$$\sigma = \frac{N'}{b_e t} \leq f \quad (\text{B.5})$$

式中: N' ——作用于板件的拉力或压力, N;

b_e ——板件的有效宽度；当用螺栓连接时，应减去孔径，
mm；

t ——板件厚度，mm。

B.6 塔脚板计算

根据地脚螺栓颗数以及塔脚板类型，按照《架空输电线路杆塔结构设计技术规定》DL/T 5154 相关要求计算。

附录 C 常用修复技术

C.1 粘钢加固修复技术

粘钢加固是采用粘接性能良好的高强度建筑结构胶，把钢板牢固粘接在混凝土构件表面，再植入螺栓，使钢板与构件结合成一体，共同变形，适用于加固混凝土基础底板、基础立柱因腐蚀或开裂而受损的基础。粘钢加固修复原理如图 C.1-1 所示。

采用粘钢加固输电线路杆塔基础时应满足以下要求：

- 1 粘钢加固后的基础应满足承载力和强度的要求。
- 2 粘钢加固基础的混凝土强度等级不应低于 C15。
- 3 粘接钢板厚度以 2mm~6mm 为宜。
- 4 粘接钢板在加固点以外的锚固长度：受拉区不小于 200 倍钢板厚度且不小于 480mm；受压区，不小于 160 倍钢板厚度且不小于 480mm。对于粘钢长度较大或可能经受反复荷载的结构，锚固区宜增设 U 型箍板或螺栓附加锚固措施。
- 5 对原有混凝土构件的结合面，可用硬毛刷沾高效洗涤剂，刷除表面油渍污垢后用冷水冲洗，再对粘合面进行打磨，除去 2mm~3mm 厚表层，直至完全露出新面，并用压缩空气吹除粉尘。如果混凝土表面干净，则可直接对粘合面进行打磨，去除 1mm~2mm 厚表层，用压缩空气吹除粉尘或清水冲洗干净，待完全干燥后用脱脂棉沾丙酮擦拭表面即可。
- 6 钢板粘合面须进行除锈和粗糙处理。
- 7 粘接剂配置好后，用抹刀同时涂抹在已处理好的混凝土表面和钢板面上，厚度 1mm~3mm，中间厚边缘薄，然后将钢板粘贴于预定位置。

8 钢板粘贴好后立即用夹具夹紧，或用支承固定，并适当加压，以使胶液刚从钢板边缝挤出为度。

9 撤除临时设备后，应用小锤轻轻敲击粘接钢板，从声音判断粘接效果或用超声波法探测粘接密实度。如锚固区粘接面积少于 90%，非锚固区粘接面积少于 70%，则此粘接件无效，应剥下重新粘接。

10 有条件且加固量较大的工程，宜抽样进行荷载试验，一般开展标准使用荷载试验，即将卸去的荷载重新加上，其结构的变形和裂缝开展应满足设计使用要求。

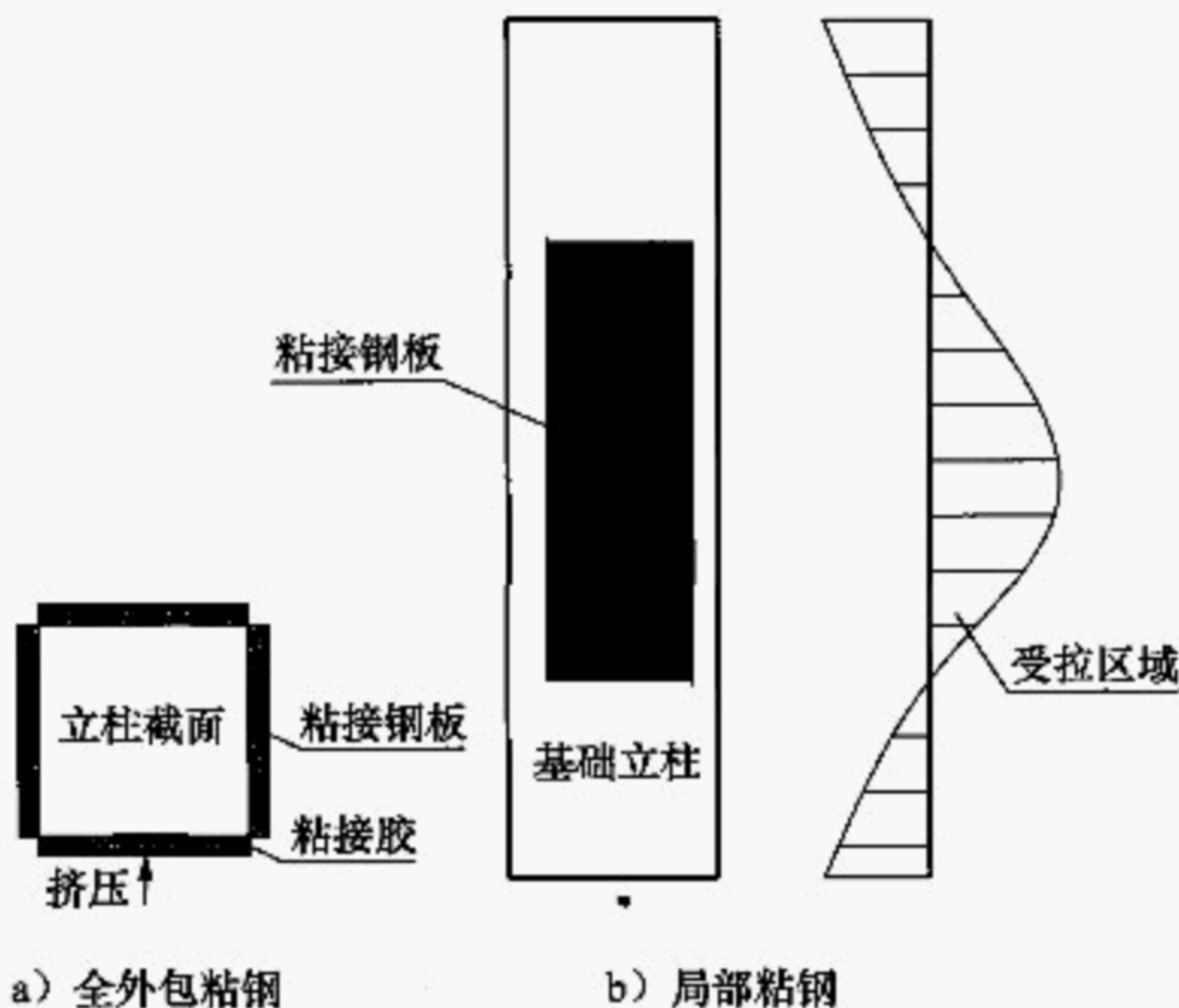


图 C.1-1 粘钢加固修复原理

C.2 外包钢加固修复技术

C.2.1 外包钢加固是指在基础立柱外包钢板，然后在外包钢板和立柱之间填充混凝土或结构胶，达到提高基础截面配筋率和增大立柱截面的目的，如图 C.2-1 所示。

C.2.2 采用外包钢加固输电线路杆塔基础时应满足以下要求：

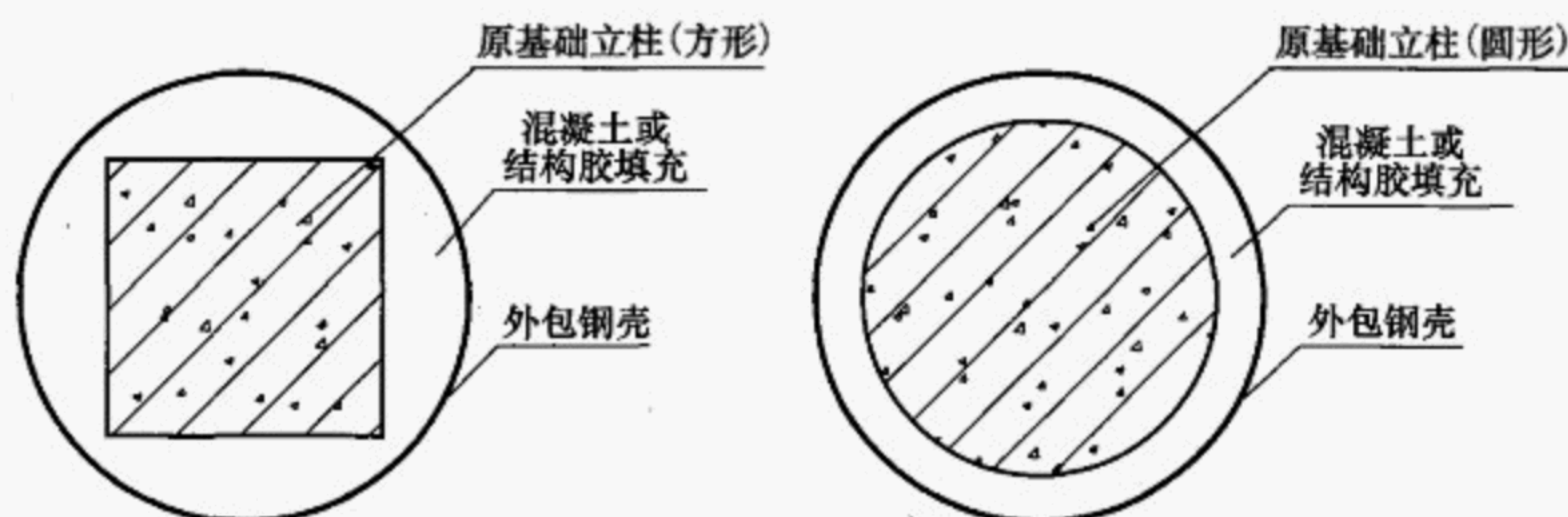


图 C.2-1 外包钢加固修复原理

- 1 外包钢加固后的基础应满足承载力和强度的要求。
- 2 宜采用全封闭焊接钢板外包整个立柱。
- 3 应保证外包钢钢件与立柱结合面间的良好粘贴。
- 4 可在原有杆塔基础立柱与外包钢间加入钢筋网,提高立柱截面配筋率。

5 基础立柱外表面应在加固前凿毛、清洗干净,加固体和被加固体应形成整体。在外包钢与基础立柱间混凝土中可放置钢筋网,提高立柱正截面的配筋率,有利于提高原基础立柱与加固体的整体性。

6 外包钢钢件表面应进行防腐处理,可抹厚度大于 25mm 的水泥砂浆。

7 构件表面应凿去结合面风化酥松层、碳化锈裂层及严重油污层,直至完全露出坚实基层。将结合面打磨平整,四角磨出小圆角,并用钢丝刷刷毛,用压缩空气吹净。

8 采用环氧树脂灌浆粘贴时,应以 0.2MPa~0.4MPa 压力将环氧树脂浆从灌浆嘴压入,再以较低压力维持 10min 以上,以环氧胶泥堵孔,由下至上,由左至右,依次进行灌注,直至全部灌完为止。

9 采用乳胶水泥粘贴时,配制乳胶水泥浆,乳胶量为水泥量的 5%~10%,水泥采用 42.5 号硅酸盐水泥,适量加水,拌合

成黏稠膏状体；将厚 3mm~5mm 的乳胶水泥浆刮抹于构件的预定贴合面上。

C.3 加大基础截面的修复技术

当风积沙地基板柱基础承载力不能满足设计要求时，可通过加大立柱截面或底板尺寸的方法，对基础进行修复。原理图见图 C.3-1。

采用加大基础截面尺寸的方法修复基础时应满足以下要求：

- 1 加大截面后的基础应满足承载力和强度的要求。
- 2 加大立柱截面时，横截面外形宜采用方形或圆形。
- 3 可通过在立柱外支模灌注混凝土加大截面尺寸；可通过用混凝土套、钢筋混凝土套、预制钢筋混凝土板条、钢板条等方式加大基础底板尺寸。
- 4 当基础承受偏心受压时，可采用不对称加宽；当承受中心受压时，可采用对称加宽。
- 5 对加宽部分，地基上应铺设厚度和材料均与原基础垫层相同的夯实垫层。
- 6 当采用混凝土预制板加固时，应沿基础高度方向隔一定距离设置锚固钢筋。基础每边加宽的宽度其外形尺寸应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中有关规定。
- 7 加固部分和原有基础间缝隙需用混凝土或砂浆填实。在灌注混凝土前应将原基础凿毛和刷洗干净后，铺一层高强度等级水泥浆或涂混凝土界面剂，以增加新老混凝土之间的粘接力。
- 8 加固时，应保证加固体和被加固体形成整体，基础立柱外表面应在加固前凿毛、清洗干净。
- 9 加固体钢筋的混凝土保护层应不小于 40mm，并按《架空输电线路基础设计技术规程》DL/T 5219 采取其他构造措施。

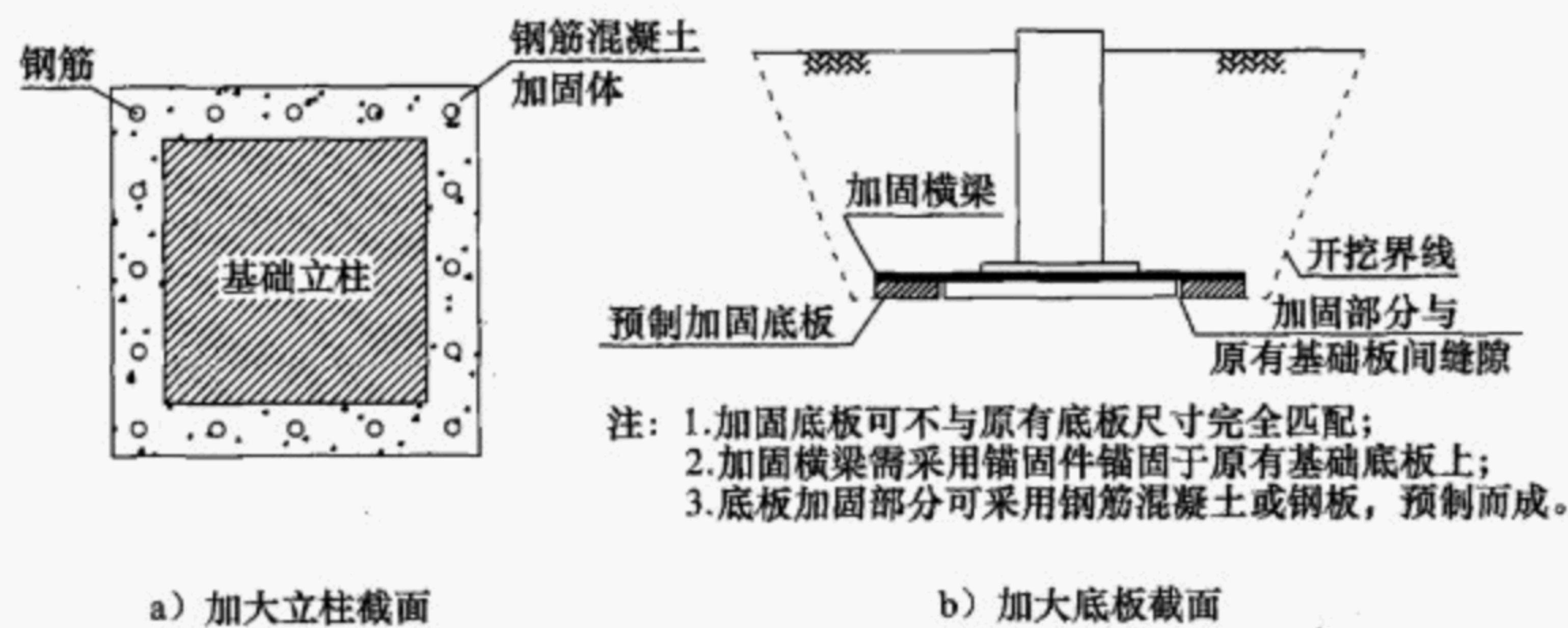


图 C.3-1 加大基础截面的修复技术原理图

C.4 基础增重修复技术

C.4.1 当杆塔基础上拔或倾覆稳定不满足要求时, 可通过增加基础重量提高其承载性能, 增重后的基础应满足承载力和强度的要求, 加固体的混凝土强度等级不宜低于 C15, 不应低于 C10, 原理见图 C.4-1。

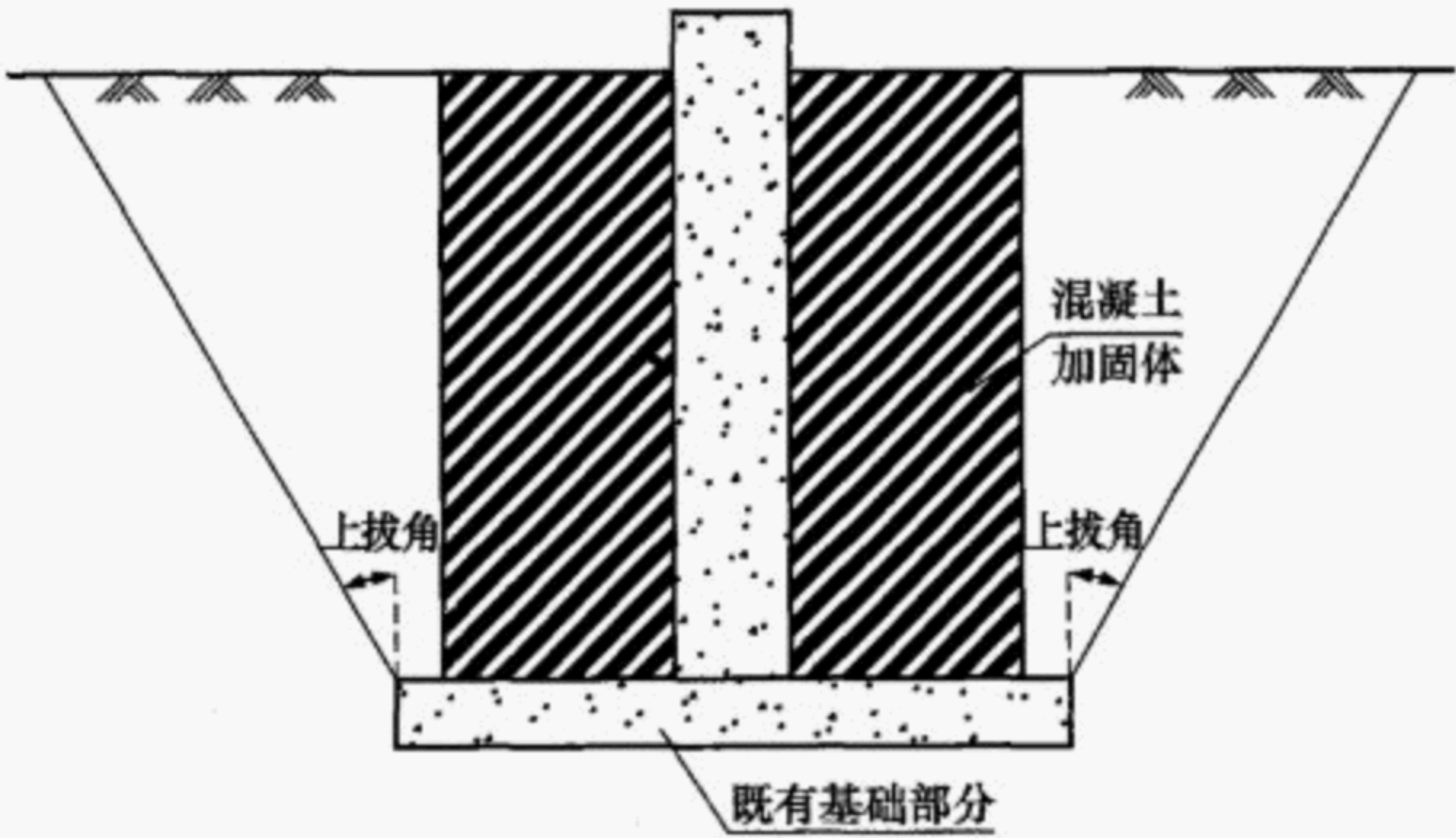


图 C.4-1 基础增重修复技术原理图

C.4.2 基础抗拔承载力增加量可按式 (C.4-1) 计算确定:

$$\Delta R_c = (\gamma_c - \gamma_0) \Delta V_f \tag{C.4-1}$$

式中: ΔR_c ——基础抗拔承载力增量, kN;

γ_c ——基础混凝土重度, kN/m³;

γ_0 ——回填料重度, kN/m³;

ΔV_f ——基础本体增加体积, m³。

C.5 植筋修复技术

C.5.1 植筋修复技术是指在已有混凝土结构上, 将所需用钢筋(锚筋)放置到一定直径和深度的钻孔内, 采用化学黏结剂使新增的拟用钢筋与原混凝土结构牢固黏结, 并使新增钢筋能发挥设计所期望的性能。

C.5.2 采用植筋加固技术修复基础时应满足以下要求:

1 混凝土基材应坚实, 且具有较大体量, 能承担对被连接件的锚固和全部附加荷载。风化混凝土、严重裂损混凝土、不密实混凝土、结构抹灰层、装饰层等, 均不得作为锚固基材。

2 基材混凝土强度等级不应低于 C20, 新增构件的混凝土强度等级不应低于 C25。

3 混凝土结构所用锚栓的材质可为碳素钢、不锈钢或合金钢。根据环境条件的差异及耐久性要求, 选用相应的品种。

4 化学植筋的钢筋宜采用 HRB400 级和 HRB335 级带肋钢筋, 螺杆宜采用 Q235 和 Q345 级钢。

5 一般采用环氧基锚固胶, 其锚固性能应通过专门的试验确定。

6 采用植筋锚固时, 其锚固部位的原构件混凝土不应有局部缺陷, 若有缺陷应先进行补强或加固处理后再植筋。

7 植筋位置宜设于立柱主筋内, 如图 C.5-1 所示。仅考虑筋材拉断、锚胶间和胶混间剪切失效下的锚固承载力。

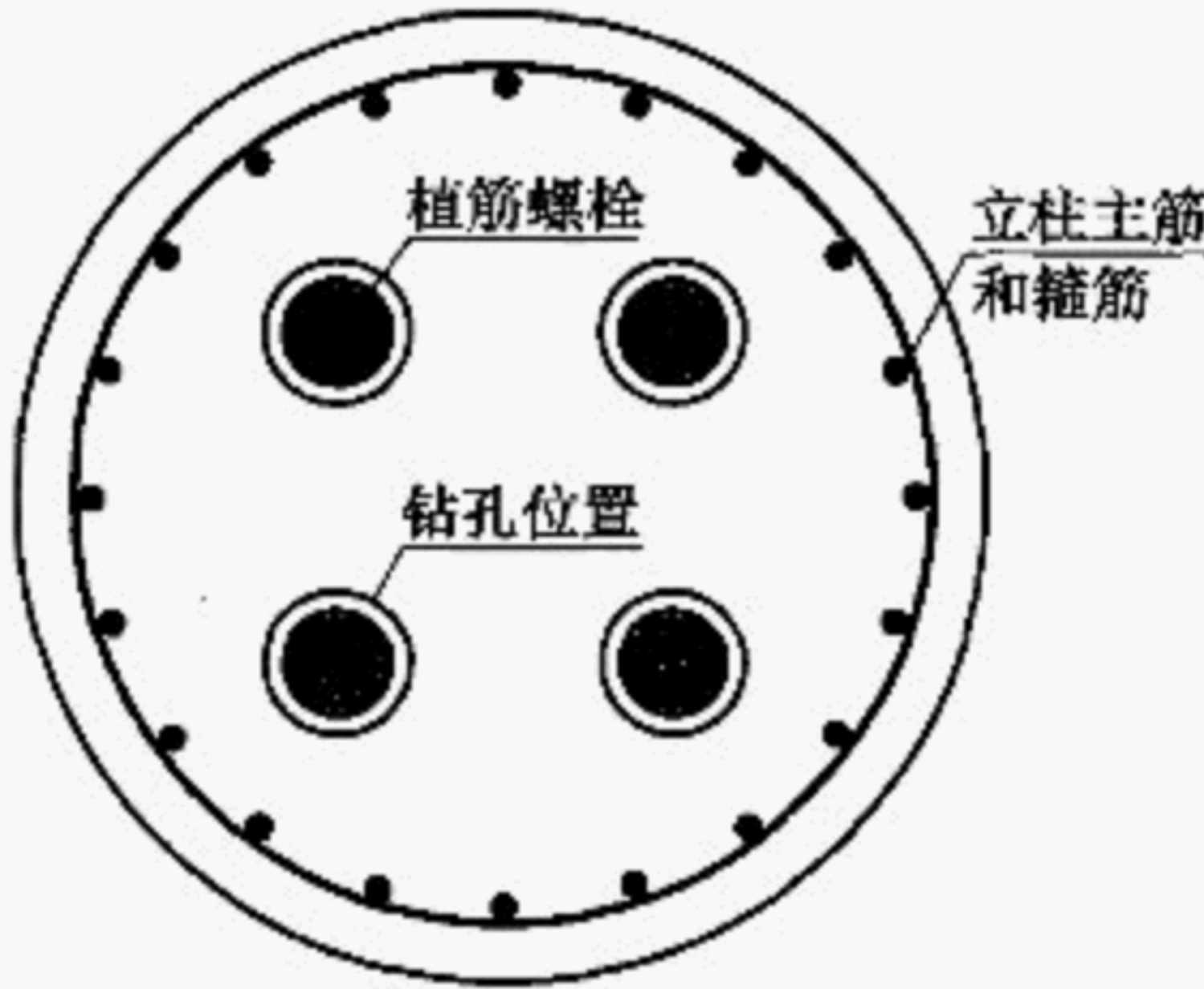


图 C.5-1 筋材设置位置

8 植筋的基本锚固深度 l_s 应按式 (C.5.2-1) 确定:

$$l_s = 0.2df_y/f_{bd} \quad (C.5.2-1)$$

式中: l_s ——植筋的基本锚固深度, m;

d ——植筋直径, m;

f_{bd} ——植筋用胶黏剂的粘接强度设计值, kPa, 可按照表 C.5.2-1 取值。

表 C.5.2-1 植筋用胶黏剂的粘接强度设计值 f_{bd}

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C40	≥C60
粘接强度设计值 (kPa)	2300	2700	3400	3600	4000

C.6 焊接修复技术

焊接技术是通过加热、加压, 或两者并用, 使同性或异性两工件产生原子间结合的加工工艺和连接方式。当灾后杆塔基础连接件受损, 但基础内主筋和地脚螺栓未受损时, 可将基础顶部一定范围内的混凝土凿除, 留下地脚螺栓和立柱主筋, 通过焊接方式使其与塔脚板连接。

C.7 局部加固修复技术

局部加固适用于当连接件受大荷载冲击后, 基顶以上发生局

部压屈损伤,可通过机械校正不影响正常安全使用时的加固修复。局部加固是对连接件的局部补强,一般采用焊接技术实现。

C.8 拼接延伸修复技术

拼接延伸适用于当连接件上部发生压屈、断裂,下部一定长度未发生损伤时的加固修复,一般采用焊接或螺栓连接实现。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对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:

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:

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,在条件许可时首先应这样做的:

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:采用“可”。

2 条文中指明应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

- 《防沙治沙技术规范》 GB/T 21141
《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
《建筑结构荷载规范》 GB 50009
《混凝土结构设计规范》 GB 50010
《建筑抗震设计规范》 GB 50011
《岩土工程勘察规范》 GB 50021
《工程测量规范》 GB 50026
《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046
《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》 GB 50233
《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330
《开发建设项目技术保持技术规范》 GB 50433
《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》 GB 50545
《1000kV 架空输电线路设计规范》 GB 50665
《1000kV 架空输电线路勘测规范》 GB 50741
《架空输电线路基础设计技术规程》 DL/T 5219
《±800kV 及以下直流架空输电线路工程施工及验收规程》
DL/T 5235
《电力工程施工测量技术规范》 DL/T 5445
《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
《沙漠地区公路设计与施工指南》 JTG/T D31

中华人民共和国电力行业标准

沙漠地区输电线路杆塔基础工程技术规范

DL / T 5755 — 2017

条 文 说 明

目 次

3 基本规定 43

4 勘察 45

5 设计 46

 5.1 一般规定 46

 5.2 上拔稳定 46

 5.3 下压稳定 52

 5.4 倾覆稳定 52

7 防风固沙 53

 7.1 一般规定 53

 7.2 处理措施 53

8 修复与重建 55

9 环境保护 62

3 基本规定

3.0.2 条文中列出的几款不利地段在可选择的情况下应尽量绕避,但如确需立塔,并且需要地基处理或环境整治的代价比较大,在选线排位初期要有定性的判断和权衡,避免后期出现大的返工。当然,不利地段不限于这几种情形,需要从地质环境与成因类比考虑。

3.0.6 无参考经验时,浮沙厚度,对固定沙丘取不小于 0.3m;对半固定沙丘取不小于 0.5m;对流动沙丘可取不小于 0.8m。

3.0.7 混凝土基础的浮重度取 12kN/m^3 ;钢筋混凝土基础的浮重度取 14kN/m^3 ,风积沙的浮重度应根据天然重度除去水的浮力作用获得。我国主要沙漠地区风积沙的主要物理力学特性参数可参见附录 A。

3.0.8 腐蚀地区杆塔基础可参照《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046,并应充分考虑输电线路工程的实际特点。

以下为哈密南—郑州±800kV 特高压直流输电线路工程的防护措施工程实例。

1 弱腐蚀地区基础混凝土强度等级 C30,最大水胶比 0.5,最小水泥用量 300kg/m^3 ,不再采取其他外防护措施。混凝土垫层最低强度等级 C20,最小厚度 100mm。

2 中等腐蚀地区基础混凝土强度等级 C35,最大水胶比 0.4,最小水泥用量 320kg/m^3 。基础表面及其垫层顶面全部采用防腐蚀涂层进行防护,垫层混凝土最低强度等级 C25,最小厚度 100mm。

3 强腐蚀地区基础混凝土强度等级 C40,最大水胶比 0.36,最小水泥用量 340kg/m^3 。基础表面及其垫层顶面全部采用

防腐蚀涂层进行防护，垫层混凝土最低强度等级 C25，最小厚度 100mm。

4 各等级混凝土宜采用 42.5 级普通硅酸盐水泥配制。

5 基础表面防腐蚀涂层采用改性高氯化聚乙烯，中等腐蚀地区涂层干膜厚度不小于 200mm，强腐蚀地区涂层干膜厚度不小于 300mm。

6 中等、强腐蚀地区基础混凝土中需加入粉煤灰、磨细矿渣、硅灰等矿物掺合料，具体种类、品质和掺量通过试验确定。

7 Cl^- 强腐蚀地区的基础混凝土中应添加钢筋阻锈剂，其品种和用量可根据 Cl^- 不同含量，通过电化学试验确定。

8 地下水位较高的中、强腐蚀地区基础可采用玻璃钢模板防护措施，混凝土强度等级可降低一级。

3.0.10 当地基为饱和风积沙时，考虑到地震液化作用对基础稳定性的影响，基础埋深应在原有设计水平上加深 1m~3m。

4 勘 察

4.0.3 沙漠形态与流动性具有关联性。在我国，不同地域的沙漠具有不同的形态结构特点和流动性规律。沙漠对于输电线路的直接影响除了常规的地基稳定性外，还有动态的风力吹蚀和流动掩埋问题，而后者需要历史调查和长期观测资料相结合才能得到较准确的预测评价意见，但条文中的所有要求的现状调查仍是最基本的工作，掌握了这些情况才可给出正确的评价与建议。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.3 DL/T 5219—2014 中仅对窄基塔基础的倾覆稳定计算给出相应的设计方法，而针对目前最为常用的格构式杆塔基础的倾覆稳定计算并未提及，而这两种塔基的受力状态完全不同。

本规范中增加了水平荷载与上拔荷载同时作用时，基础倾覆稳定性计算内容，具体计算原理可概括如下：外倾覆力矩由水平荷载和上拔荷载共同提供，抗倾覆力矩由上拔角范围内土重和基础自重提供，转动中心位于底板底部边缘，其位置由水平荷载合力方向确定。

上述计算中未考虑基础周围土体的侧向土抗力和基底土压力。这主要由于板柱基础一般埋深较浅，且周围回填的土体难以夯实，所以不予考虑侧向土抗力产生的抗倾覆力矩，仅考虑自重及上部土体重量产生的抗倾覆力矩，这样处理在工程中偏于安全。此外基础下压稳定计算时，未考虑基础周围土体抗力的作用，采用土重法计算基础抗拔承载力时，基础自重及上拔角范围内土重共同承受上拔力，基底与土体有脱离的趋势。为遵循“设计稳定一体化”的原则（上拔、下压、倾覆稳定计算时土体的应力状态应保持一致），在倾覆稳定计算时，不考虑周围土体的侧向土抗力和基底的土压力。

5.2 上拔稳定

5.2.1 中国电力科学研究院采用内蒙古自治区达拉特旗境内的库布齐沙漠中的风积沙作为回填材料，开展了不同深宽比条件下的

模型基础室内上拔试验，试验结果见表 5-1。

表 5-1 室内试验结果

风积沙 回填情况	底板宽度 B (m)	抗拔埋深 h_t (m)	深宽比 h_t/B	极限抗拔承载力 T_u (kN)	极限上拔角 α_u (°)
夯实	0.3	0.3	1.00	2.6	58.7
	0.3	0.6	2.00	7.1	41.6
	0.3	0.9	3.00	12.1	32.5
	0.3	1.2	4.00	20.5	29.5
	0.3	1.5	5.00	29.2	26.4
	0.6	0.3	0.50	5.5	65.5
	0.6	0.6	1.00	11.9	39.4
	0.6	0.9	1.50	18.9	28.0
	0.6	1.2	2.00	29.0	24.6
	0.6	1.5	2.50	45.0	24.5
	0.9	0.6	0.67	21.6	43.2
	0.9	0.9	1.00	32.0	28.1
	0.9	1.2	1.33	44.7	22.2
	0.9	1.5	1.67	67.0	22.8
	0.3	0.45	1.50	4.5	47.5
未夯实	0.6	0.9	1.50	17.1	25.6
	0.9	1.5	1.67	59.8	20.2

根据表 5-1 所示结果，得到风积沙地基中不同底板尺寸的扩展基础极限上拔角随深宽比变化曲线，如图 5-1 所示。风积沙地基中所有试验基础上拔角抗拔板埋深和底板宽度 B 的变化规律如图 5-2 所示。

图 5-1 和图 5-2 表明，相同基础底板尺寸下，风积沙地基扩展基础的极限抗拔承载力随深宽比的增大而增加。但是，由此反算的风积沙极限上拔角不是定值，与基础底板尺寸、基础抗拔埋深及基础深宽比等因素有关。基础底板尺寸相同时，埋深越大，

上拔角越小。总体上看，风积沙上拔角随基础深宽比增大而减小。

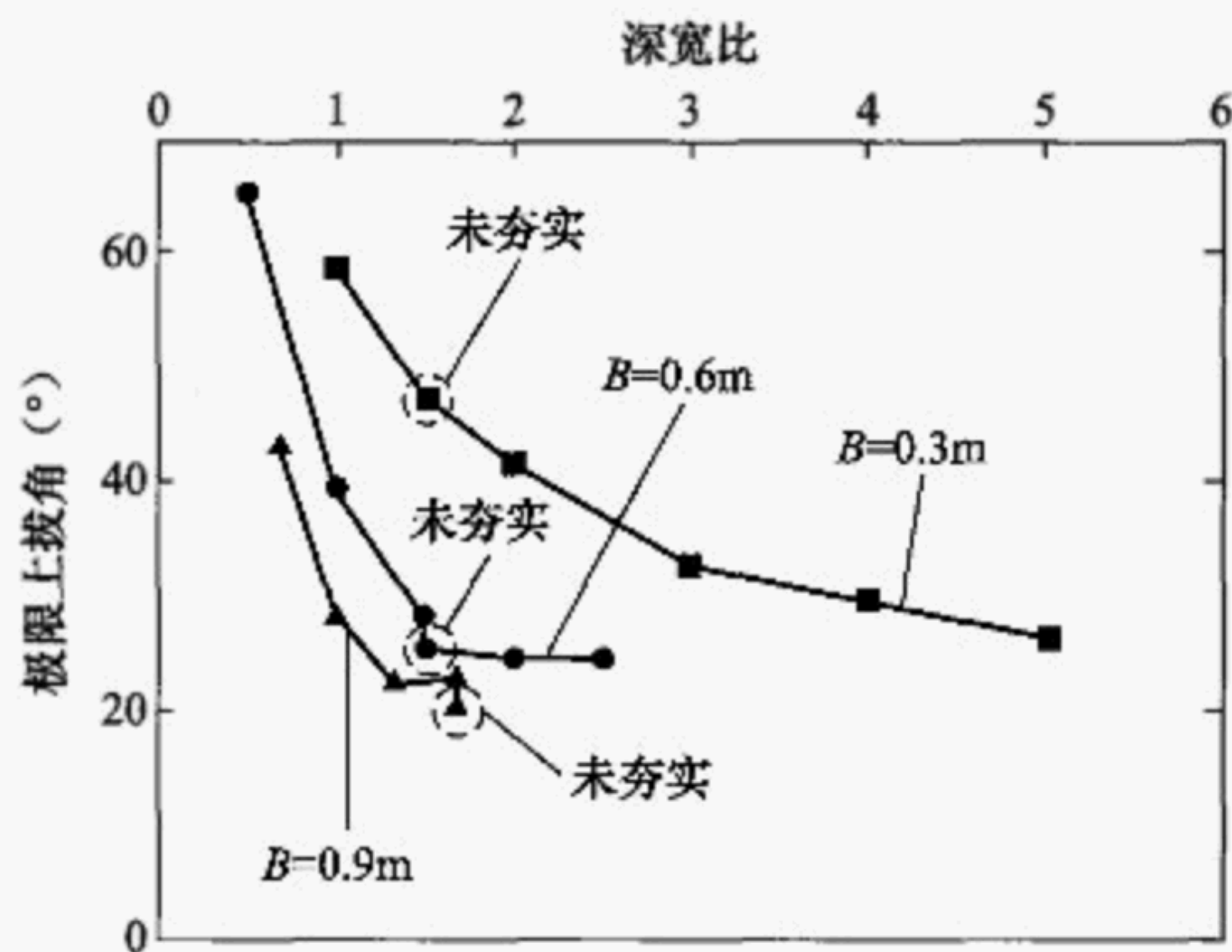


图 5-1 风积沙极限上拔角随深宽比变化规律

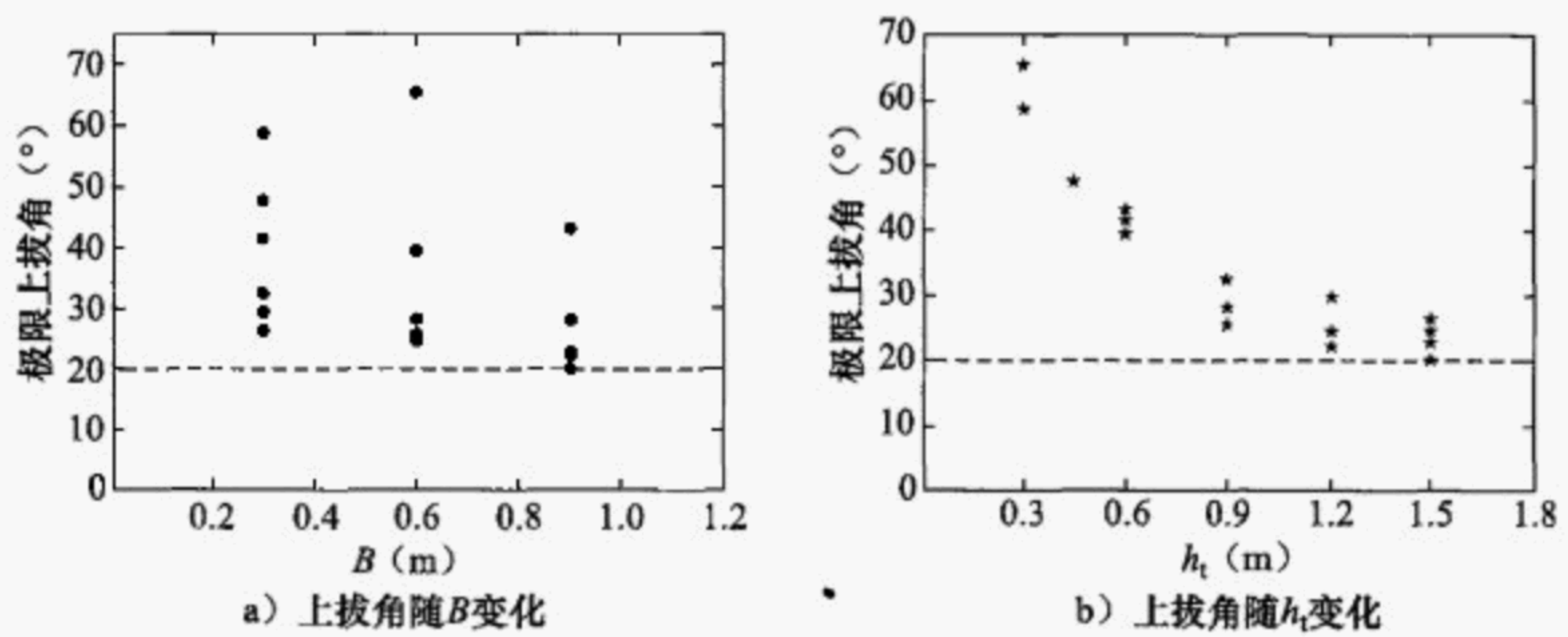


图 5-2 风积沙上拔角随底板埋深及其边长变化规律

通过不同基础尺寸、抗拔埋深和回填条件下的扩展基础模型试验得到的风积沙上拔角的变化范围为 20.2°~65.5°，平均值为 34.1°。相比较而言，未夯实条件下风积沙的上拔角比夯实条件下风积沙上拔角降低 9%~11%。

中国电力科学研究院分别在宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区、内蒙古自治区等地开展了现场真型基础上拔静载试验，试验基础结构如图 5-3 所示。各试验基础荷载工况、尺寸参数和试验结果分别见表 5-2 和表 5-3。此外，达丰 500kV 线路工程沙

漠基础抗稳定试验结果见表 5-4。

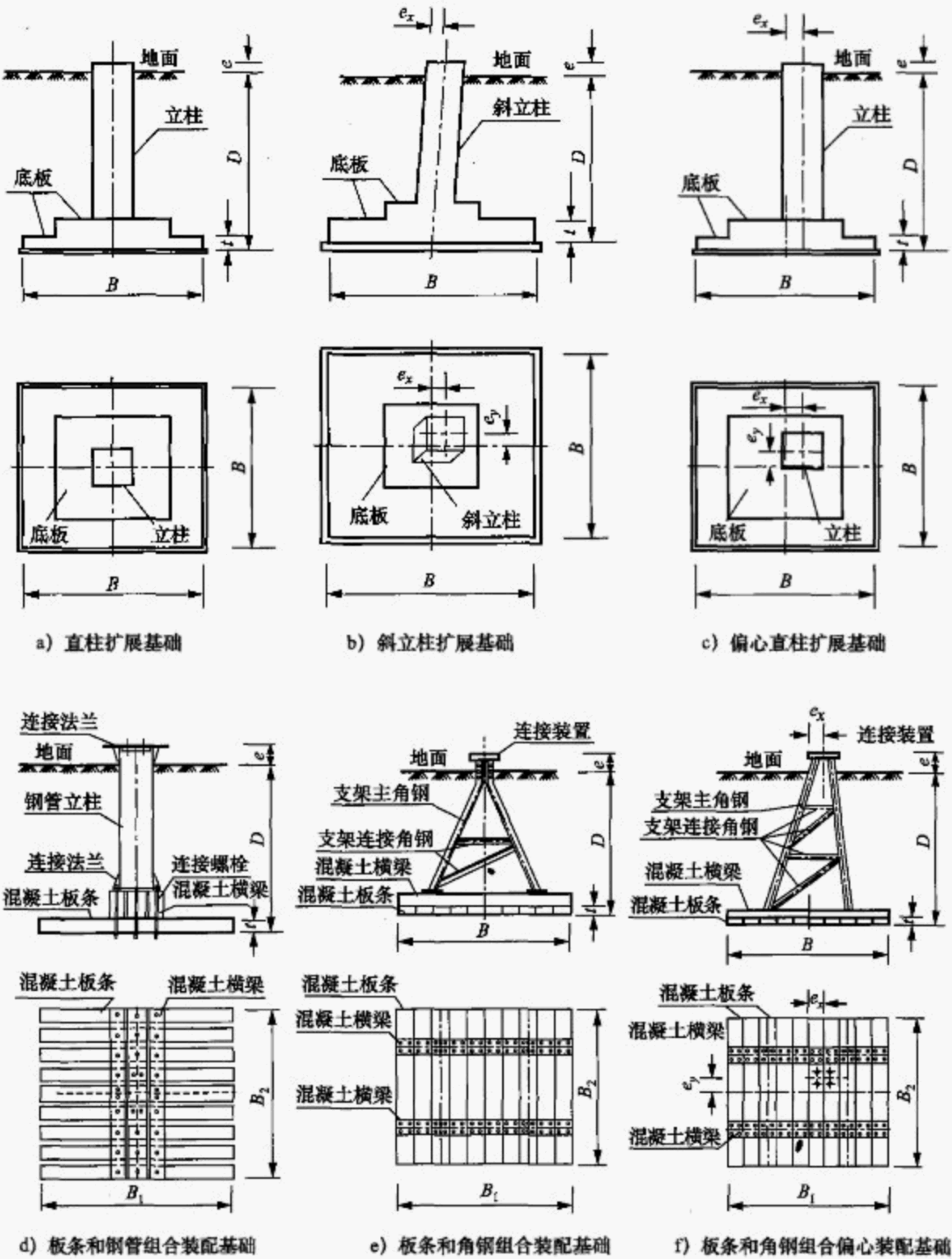


图 5-3 试验基础结构

从表 5-2 中可以看出, 风积沙的极限上拔角不是一个固定值, 该值大小与试验场地位置、基础结构型式、基础尺寸和试验荷载工况等因素相关。

参考《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 关于土体抗剪强度指标标准值的计算方法对表 5-2 试验结果中上拔角进行统计分析, 得出风积沙极限上拔角的标准值 $\alpha_{uk}=16.8^{\circ}$ 。

基础上拔临界埋深建议取 $1.5B$, 取值依据基于以下两方面: ①如图 5-1 所示, 当深宽比大于 $1.5B$ 时, 0.6m 和 0.9m 宽的基础的极限上拔角基本稳定; ②《达丰 500kV 线路工程沙漠基础抗拔稳定试验及探讨》技术报告根据试验结果 (见表 5-4), 将临界埋深取为 $1.5B$ 。

表 5-2 混凝土扩展基础设计参数与试验结果

试验地点	基础类别	试验荷载	埋深 D (m)	下底板 $(B \times B \times t)$ (m \times m \times m)	露头 e (m)	偏心距		抗拔试验结果		
						e_x (m)	e_y (m)	T_u (kN)	s_u (mm)	α ($^{\circ}$)
毛乌素沙漠(宁夏境内)	a	上拔	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0	0	1350	14.50	18.0
		上拔+水平力	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0	0	1200	9.43	14.0
		上拔+水平力	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0	0	1200	10.33	14.0
古尔班通古特沙漠(新疆境内)	a	上拔	1.3	$1.5 \times 1.5 \times 0.3$	0.20	0	0	240	5.77	64.0
		上拔	2.3	$1.5 \times 1.5 \times 0.3$	0.20	0	0	300	22.49	34.2
		上拔	3.3	$1.5 \times 1.5 \times 0.3$	0.20	0	0	340	25.00	18.5
毛乌素沙漠(宁夏境内)	b	上拔	3.0	$2.2 \times 2.2 \times 0.3$	1.20	0.346	0.346	490	5.77	22.2
		上拔+水平力	3.2	$2.6 \times 2.6 \times 0.3$	1.50	0.388	0.388	574	6.46	17.0
		上拔+水平力	4.0	$4.2 \times 4.2 \times 0.6$	0.20	0.346	0.346	1500	5.55	15.5
		上拔+水平力	4.2	$5.5 \times 5.5 \times 0.6$	1.20	0.363	0.363	2250	24.63	15.3

续表 5-2

试验地点	基础类别	试验荷载	埋深 D (m)	下底板 ($B \times B \times t$) (m \times m \times m)	露头 e (m)	偏心距		抗拔试验结果		
						e_x (m)	e_y (m)	T_u (kN)	s_u (mm)	α ($^{\circ}$)
毛乌素沙漠(宁夏境内)	c	上拔	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0.350	0.350	1050	6.56	12.1
		上拔+水平力	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0.350	0.350	1350	12.32	18.0
		上拔+水平力	4.0	$3.6 \times 3.6 \times 0.3$	0.20	0.350	0.350	1350	12.66	18.0

表 5-3 装配式基础设计参数与试验结果

试验地点	基础类别	荷载工况	埋深 D (m)	下底板 ($B_1 \times B_2$) (m)	混凝土板条 (长 \times 宽 \times 高) (m \times m \times m)	露头 e (m)	偏心距		抗拔试验结果		
							e_x (m)	e_y (m)	T_u (kN)	s_u (mm)	α ($^{\circ}$)
古尔班通古特沙漠(新疆境内)	d	上拔	2.0	2.6×2.6	$2.6 \times 0.2 \times 0.2$	0.30	0	0	400	13.61	28.1
		上拔	2.6	2.6×2.6	$2.6 \times 0.2 \times 0.2$	0.30	0	0	520	21.13	25.0
塔克拉玛干沙漠(新疆境内)	e	上拔+水平力	3.4	3.045×3.0	$3.0 \times 0.3 \times 0.16$	0.20	0	0	876	25.00	25.7
		上拔+水平力	3.4	3.045×3.0	$3.0 \times 0.3 \times 0.16$	0.20	0	0	790	25.00	25.7
		上拔+水平力	4.2	3.55×3.50	$3.5 \times 0.35 \times 0.17$	0.20	0	0	1210	25.00	21.1
		上拔+水平力	4.2	3.55×3.50	$3.5 \times 0.35 \times 0.17$	0.20	0	0	1240	25.00	21.1
毛乌素沙漠(宁夏境内)	f	上拔	4.0	3.60×3.60	$3.60 \times 0.35 \times 0.18$	0.40	0.35	0.35	1150	16.05	15.0

续表 5-3

试验地点	基础类别	荷载工况	埋深 D (m)	下底板 $(B_1 \times B_2)$ (m)	混凝土板条 (长 \times 宽 \times 高) (m \times m \times m)	露头 e (m)	偏心距		抗拔试验结果		
							e_x (m)	e_y (m)	T_u (kN)	s_u (mm)	α (°)
毛乌素沙漠 (宁夏境内)	f	上拔+水平力	4.0	3.60 \times 3.60	3.60 \times 0.35 \times 0.18	0.40	0.35	0.35	1200	17.78	18.9
		上拔+水平力	4.0	3.60 \times 3.60	3.60 \times 0.35 \times 0.18	0.40	0.35	0.35	1200	22.95	18.6

表 5-4 达丰 500kV 线路工程沙漠基础抗拔稳定试验结果

试验地点	基础类别	荷载工况	埋深(m)	底板尺寸 (m)	T_u (kN)	α (°)
内蒙古库布其沙漠	混凝土台阶基础	上拔	3.0	3.0 \times 3.0	700	21.9
	拉线盘	上拔	1.8	2.5 \times 1.8	220	18.6
		上拔	2.4	1.6 \times 0.8	134	15.1

5.3 下 压 稳 定

5.3.3 表 A.1 列出了我国典型沙漠地区地基颗粒组成平均值及其分类，主要为 0.075mm~0.5mm 的细、中砂粒组成，约占颗粒总组成的 85%~95%，这其中粒径为 0.075mm~0.25mm 的细沙粒占颗粒总组成的 75%左右。总体上看，我国沙漠地区地基分类均属细砂。

5.4 倾 覆 稳 定

当基础在水平荷载作用下产生转动或有转动的趋势，当基底最小压力 $p_{min} \leq 0$ ，底板有脱离地基土体的趋势，因此需要验算基础的倾覆稳定性。基础在水平荷载和下压荷载同时作用时，由于水平荷载与下压荷载对基础产生的转动趋势方向相反，基础自稳性强，一般情况下不作为设计控制因素，因此可不予考虑。

7 防风固沙

7.1 一般规定

7.1.2 防风固沙工程要贯彻“重害重防，轻害轻防，无害不防”的原则，使防沙工程规模合理安全。

在我国北方广阔的干旱和半干旱地区，地形复杂，沙漠沙地分布广，输电线路路径选择非常困难，部分线路不可避免的穿越沙漠或沙漠边缘。在风力作用下，沙粒的移动会造成杆塔被埋、导线对地距离不足，从而引发跳闸，或者吹蚀塔基，造成杆塔倾倒，危及电力系统的安全稳定运行，给用户的生产和生活带来不便。因此隔离或半隔离风与沙的作用，阻止风与沙的接触，提高沙地地表的抗蚀能力是防治沙害的关键。防风固沙的意义在于通过“固”“阻”“输”“导”等手段控制地面风蚀，削弱风沙流强度来达到输电线路防沙治沙的目的，使得杆基直立，导线稳固。

7.2 处理措施

7.2.1 对处于流动沙丘的重要塔位，宜采用加筋复合地基对回填沙进行处理，加筋复合地基施工具体要求如下：

1 在回填风积沙至底板上表面高度后，铺设约 0.1m 厚均匀风积沙垫层，此垫层填料应无树根、石子等硬质杂物，夯实方向由中心向四周发散式夯击，将夯击坑填满压实、抹平沙面，铺放第一层筋材，筋材可选用土工格栅。

2 选用宽幅筋材，筋材卷筒沿线路方向展开，筋材以人工拉紧、借加重或插钉使筋材定位于地面；筋材长度和宽度不够，需

要搭接时，宽度方向搭接长度应不少于 0.3m，长度方向搭接长度应不少于 0.8m；铺放好后在 48 小时内在其上填风积沙土；筋材的长度应满足设计要求，且不宜小于上底板沿 45° 角切线外延 1m~2m，见图 7-1。

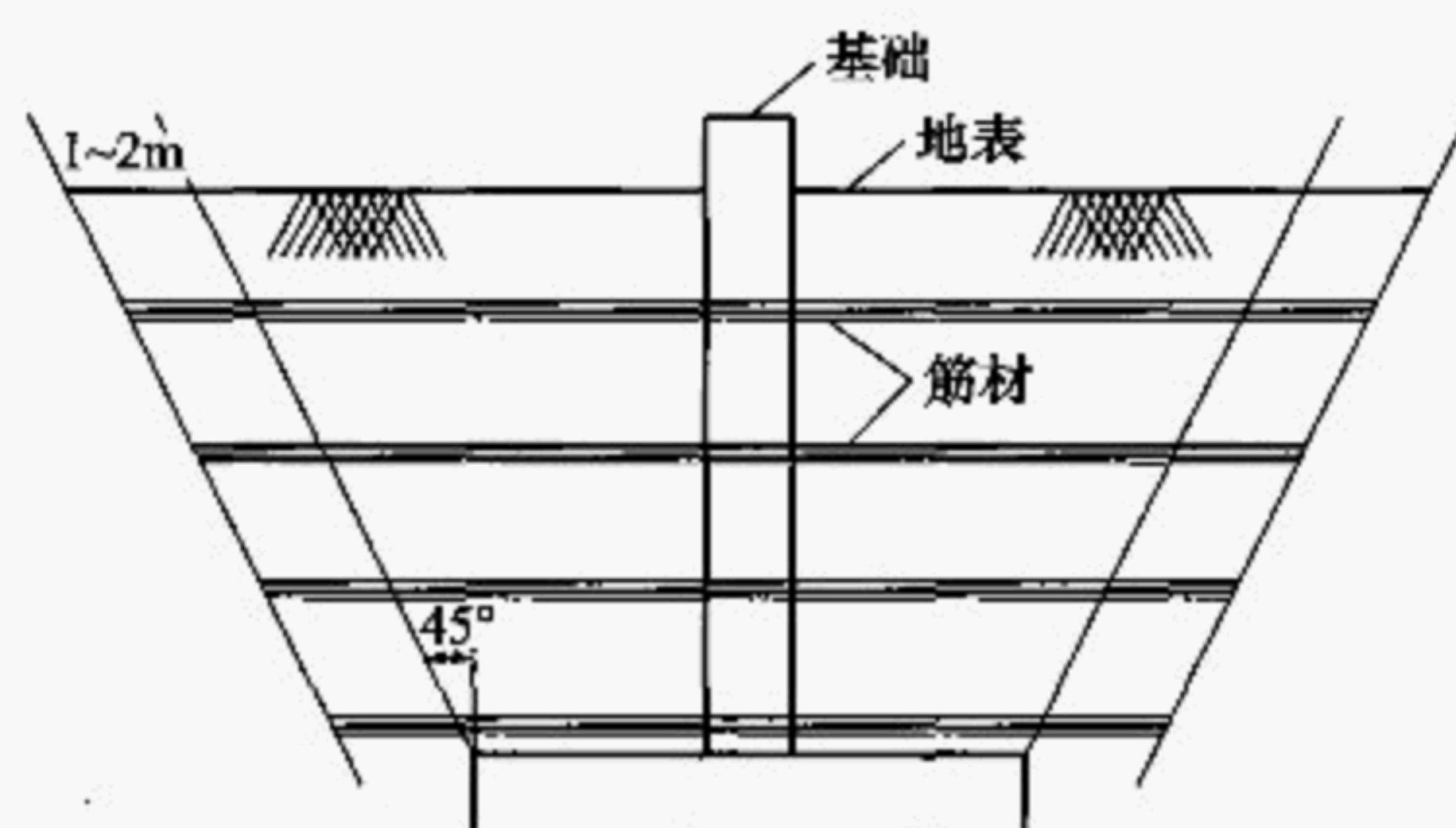


图 7-1 筋材布置

3 从中心向四周对称填风积沙土，呈发散状，筋材上第一层人工填土由中心向外洒风积沙土，在筋材搭接处洒土方向一一由上层筋材洒向下层筋材；筋材上每铺土 0.2m 厚即洒少量的水夯实，夯实力不宜过大，均匀，同时防止人员走动造成不均匀沉陷。

4 筋材分层间距宜取 0.3 m~0.5m。

5 填土至预定高度后进行超填，最终填土面应比设计标高高 0.3m。

7.2.2 固沙沙障的主要草植材料为麦秸、稻草或芦苇，俗称草方格。主要原因是沙漠地区缺乏防沙用材料，上述材料主要来自于附近的农区、湖区或沼泽区。草方格沙障应选用不易被当地牲畜啃食的材料。如果设计线路附近有黏土、砂砾石等材料，应考虑利用。但在利用时，必须注意保护环境。

8 修复与重建

8.1.3 沙漠地区杆塔基础病害的主要形式及表现特征见表 8-1。

表 8-1 沙漠地区杆塔基础病害的主要形式及表现特征

病害类型	一般表现特征
钢材腐蚀	对沙漠风积沙地基输电线路钢筋混凝土基础和装配式基础而言，其基础钢筋、基础插入角钢、基础地脚螺栓或装配式基础金属构件等，都容易受到沙漠地下水中含有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 及 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等常见化学组分的侵蚀而产生腐蚀，严重时会影响基础安全稳定运行
混凝土开裂	目前的沙漠风积沙地区输电线路杆塔基础工程中，还是较为广泛地采用钢筋混凝土基础，对这些钢筋混凝土基础而言，其往往因腐蚀或外荷载作用而导致钢筋混凝土基础立柱或底板开裂表面出现细小贯通裂纹，甚至在混凝土表面出现较长的贯通裂纹
基础与杆塔连接件受损	杆塔基础与上部结构由于受到外荷载、基础位移或基础不均匀变形的影响，导致基础与上部结构连接的角钢、地脚螺栓等连接构件受损，不能满足上部结构安装或承载性能要求
风积沙地基不能满足基础承载性能要求	在外荷载或风蚀的作用下，当风积沙地基不能满足基础承载性能要求时，往往容易导致基础附近产生较大缝隙、基础立柱外露甚至出现临空面、基顶竖向位移或基顶水平位移过大、基础滑移及塔腿基础间不均匀沉降差过大等现象，直接影响基础抗拔和抗倾覆性能，并危及杆塔结构的安全稳定运行

8.1.5 土工合成材料是应用于岩土工程和土木工程建设的、以合成材料为原材料制成的各种产品的统称，主要包括土工格栅、土工网和土工模袋、土工网垫、土工带、复合土工膜、膨润土防水毯、复合排水网等。

在回填风积沙时分层铺设筋材形成复合地基，从而提高地基的承载性能，工程中又称为“加筋修复技术”。加筋技术既可以应用于风积沙地基在外荷载或风蚀的作用下不能满足基础承载性能

要求时的基础抢修，也可应用于杆塔基础因灾受损基础重建中。土工合成材料布置示意图见图 8-1。

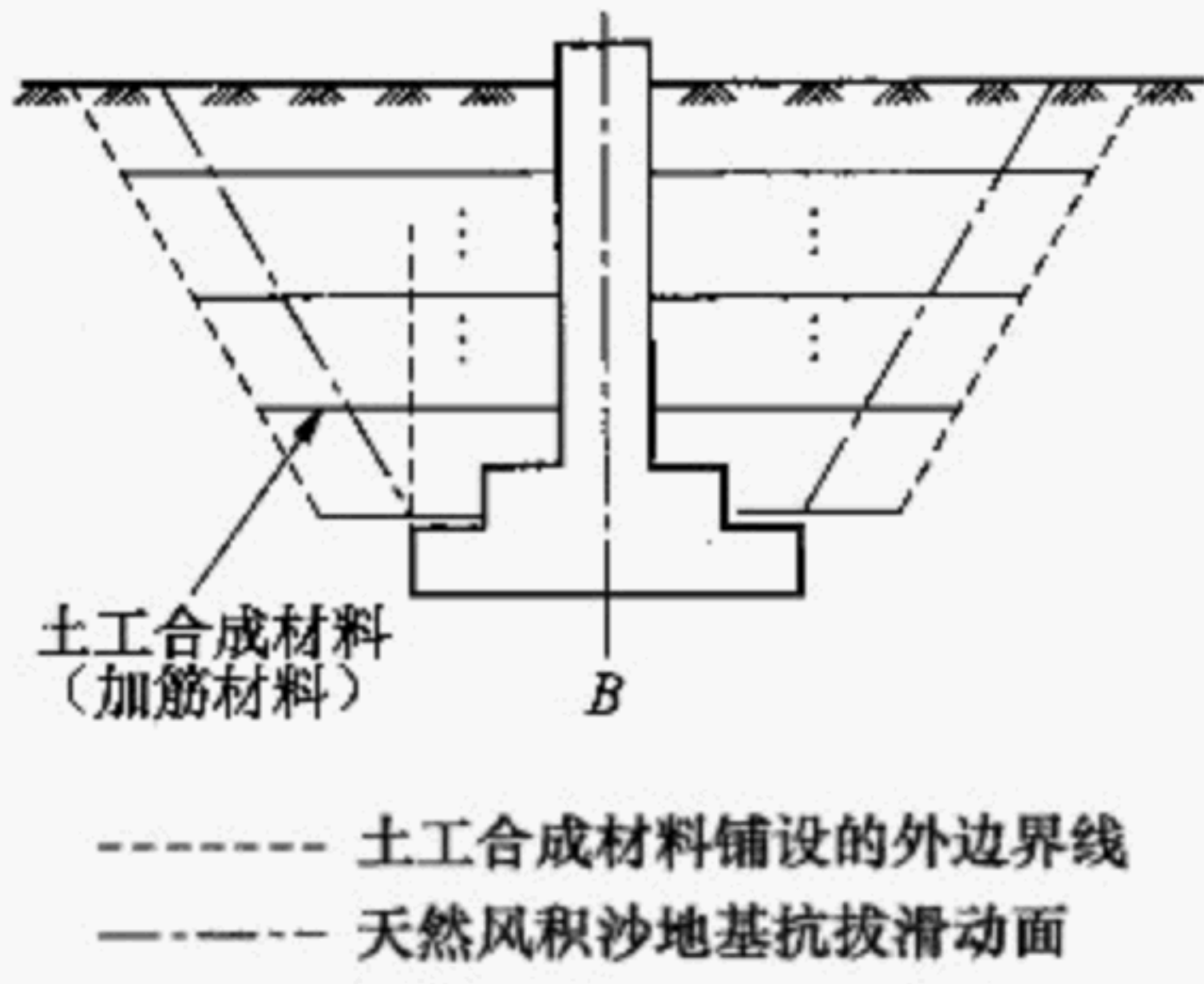


图 8-1 土工合成材料布置示意图

为研究加筋技术对风积沙地基抗拔和抗倾覆能力的影响作用，中国电力科学研究院在宁夏境内的毛乌素沙漠，完成了风积沙与风积沙加筋两种地基条件下直柱基础、直柱偏心基础和偏心装配式基础的上拔、上拔+水平荷载作用下的现场静载试验。试验结果如表 8-1 所示。

由表 8-1 可以看出：风积沙加筋后基础承载力显著提高。上拔力作用下，直柱扩展基础、偏心直柱扩展基础、偏心装配式基础的抗拔承载力分别提高 22%，28.6%，42.9%；上拔和水平力组合作用下，上述三种基础抗拔承载力分别提高 25%，11.1%，12%。同时，土工格栅加筋材料能显著提高风积沙地基杆塔基础的抗倾覆能力，降低基础的水平变形。因此，风积沙加筋技术是沙漠地区输电线路杆塔基础重建或新建中较为有效的一种地基加固技术。

沙漠地区风积沙加筋复合地基施工中应注意以下两点：

- 1 施工时，应将筋材卷筒沿线路方向展开，筋材以人工拉紧、借加重或插钉使筋材定位于地面。筋材宜尽可能保持其完整性，当筋材长度和宽度不够，可采用搭接方式连接，宽度方向搭接长度应不少于 0.3m，长度方向搭接长度应不少于 0.8m。

2 回填风积沙时,宜从基础中心向四周对称回填,呈发散状。筋材上第一层人工填土由中心向外洒风积沙土,在筋材搭接处洒土方向一一由上层筋材洒向下层筋材。加筋材料上方的风积沙宜均匀夯实,不宜用力过大,同时防止人员走动等造成加筋材料的不均匀塌陷。风积沙地基回填至预定标高后,宜进行超填,最终回填风积沙面应超出设计标高 0.3 m~0.5m。

表 8-2 毛乌素沙漠（宁夏境内）风积沙加筋前后基础承载特性对比试验结果

基础型式	地基类别	上拔		水平	
		承载力(kN)	位移(mm)	承载力(kN)	位移(mm)
直柱扩展基础	风积沙	1350	14.5	—	—
	风积沙	1200	9.43	205	14.4
	风积沙	1200	10.33	215	14.4
	单向塑料土工格栅加筋风积沙（层间距 300mm）	1650	21.83	—	—
	单向塑料土工格栅加筋风积沙（层间距 300mm）	1500	11.36	233	14.4
	单向塑料土工格栅加筋风积沙（层间距 400mm）	1500	13.71	266	14.4
偏心直柱扩展基础	风积沙	1050	6.56	—	—
	风积沙	1350	12.32	255	14.4
	风积沙	1350	12.66	255	14.4
	双向钢塑土工格栅加筋风积沙（层间距 400mm）	1350	12.33	—	—
	单向塑料土工格栅加筋风积沙（层间距 300mm）	1500	9.84	273	14.4
	双向钢塑土工格栅加筋风积沙（层间距 400mm）	1500	8.31	275	13.4
偏心装配基础	风积沙	1050	6.56	—	—
	风积沙	1350	12.32	205	14.4

续表 8-2

基础 型式	地基类别	上拔		水平	
		承载力 (kN)	位移 (mm)	承载力 (kN)	位移 (mm)
偏心 装配 基础	风积沙	1350	12.66	209	14.4
	单向塑料土工格栅加筋 风积沙 (层间距 400mm)	1500	16.13	—	—
	双向钢塑土工格栅加筋 风积沙 (层间距 300mm)	1500	19.79	300	12.66
	双向钢塑土工格栅加筋 风积沙 (层间距 300mm)	1500	15.1	300	9.98

水泥固化技术是指向风积沙中掺入一定含水率的水泥，使得水泥、水与风积沙发生化学作用，从而提高风积沙的黏聚力，起到固沙的目的。水泥固化技术既可应用于风积沙地基在外荷载或风蚀的作用下不能满足承载性能要求时的基础抢修，也可用于杆塔基础因灾受损基础的重建。

为研究水泥固化技术对风积沙地基黏聚力的影响作用，中国电力科学研究院采用水泥固化技术对内蒙古自治区达拉特旗境内的库布齐沙漠中的风积沙进行了加固处理，分析了加固前后风积沙的抗剪强度。图 8-2 和图 8-3 所示为向 3% 含水量的风积沙分别掺入 3%、6%、9% 水泥后的固化风积沙试样室内直剪试验结果，结果表明：

(1) 加固前风积沙的黏聚力近似等于 0，掺入 3%、6% 和 9% 水泥后，黏聚力分别增加为 18.2kPa、43.6kPa 和 16.8kPa，黏聚力由无到有，并且随着水泥掺量的增加呈递增趋势。当水泥掺量达到 6% 时黏聚力达到峰值，再继续增加水泥时，黏聚力开始减小，见图 8-3。由此可见，水泥矿物与风积沙中水之间的各种水化反应及其水化物的形成都需要风积沙中水的充分参与，利用水泥固化风积沙地基时，风积沙天然含水量与水泥掺量之间存在一个最优化的比值。当水泥掺量较多且超过最优比值时，天然风积沙与水泥固化剂之间水化作用不能充分发挥，导致骨架胶结作用减弱，从而使得固化风积沙黏聚强度因胶结作用减弱而降低。

(2) 加固前风积沙的内摩擦角为 36.1° ，经 3%、6%和 9%水泥加固后，内摩擦角分别为 37.8° 、 30.2° 和 37.9° ，由此可见，随水泥掺量的增加，内摩擦角的变化不明显，见图 8-3。这说明在风积沙地基中加入水泥，不能有效地提高内摩擦力的作用。

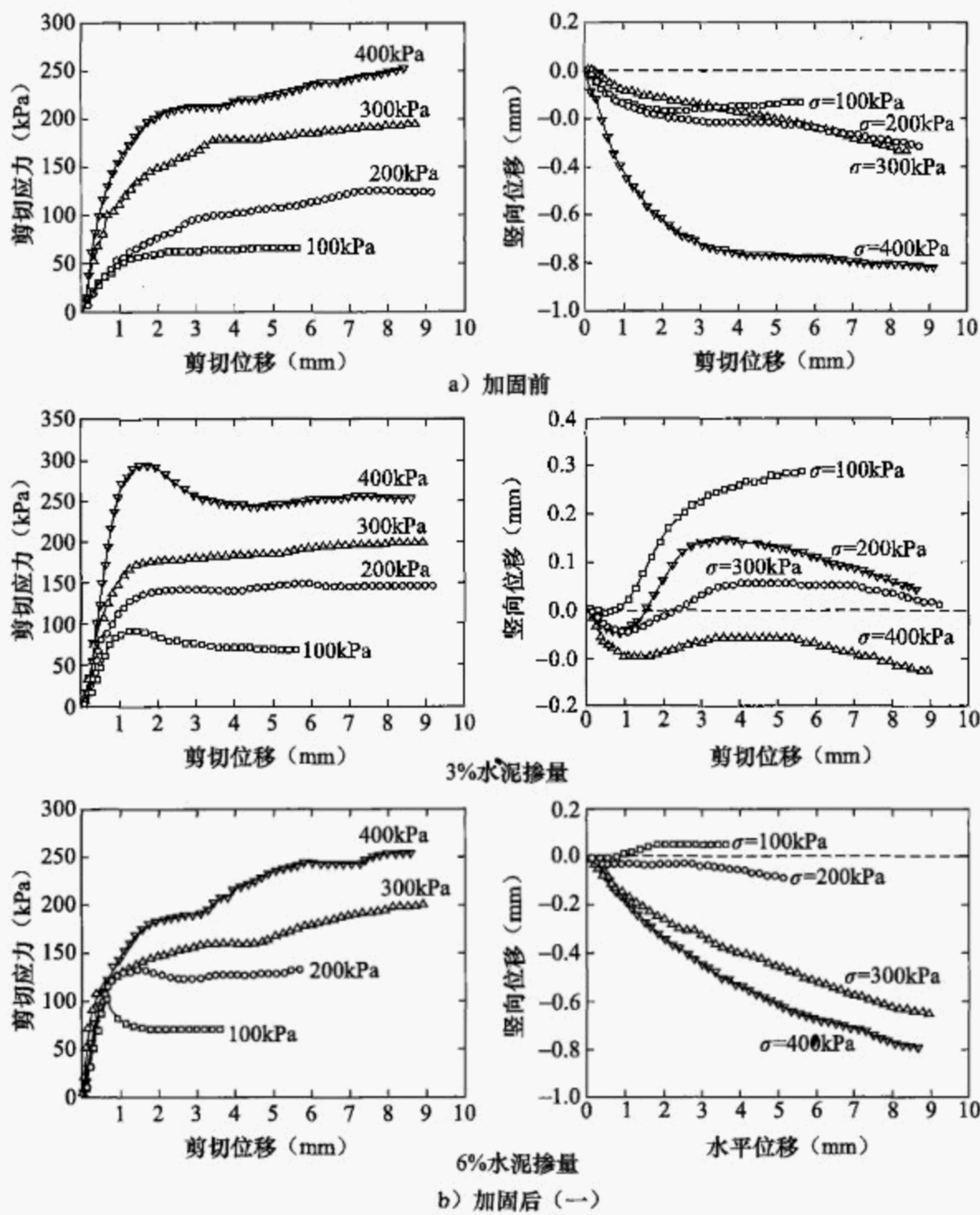


图 8-2 3%含水量的风积沙掺入水泥前后直接剪切试验对比分析结果 (一)

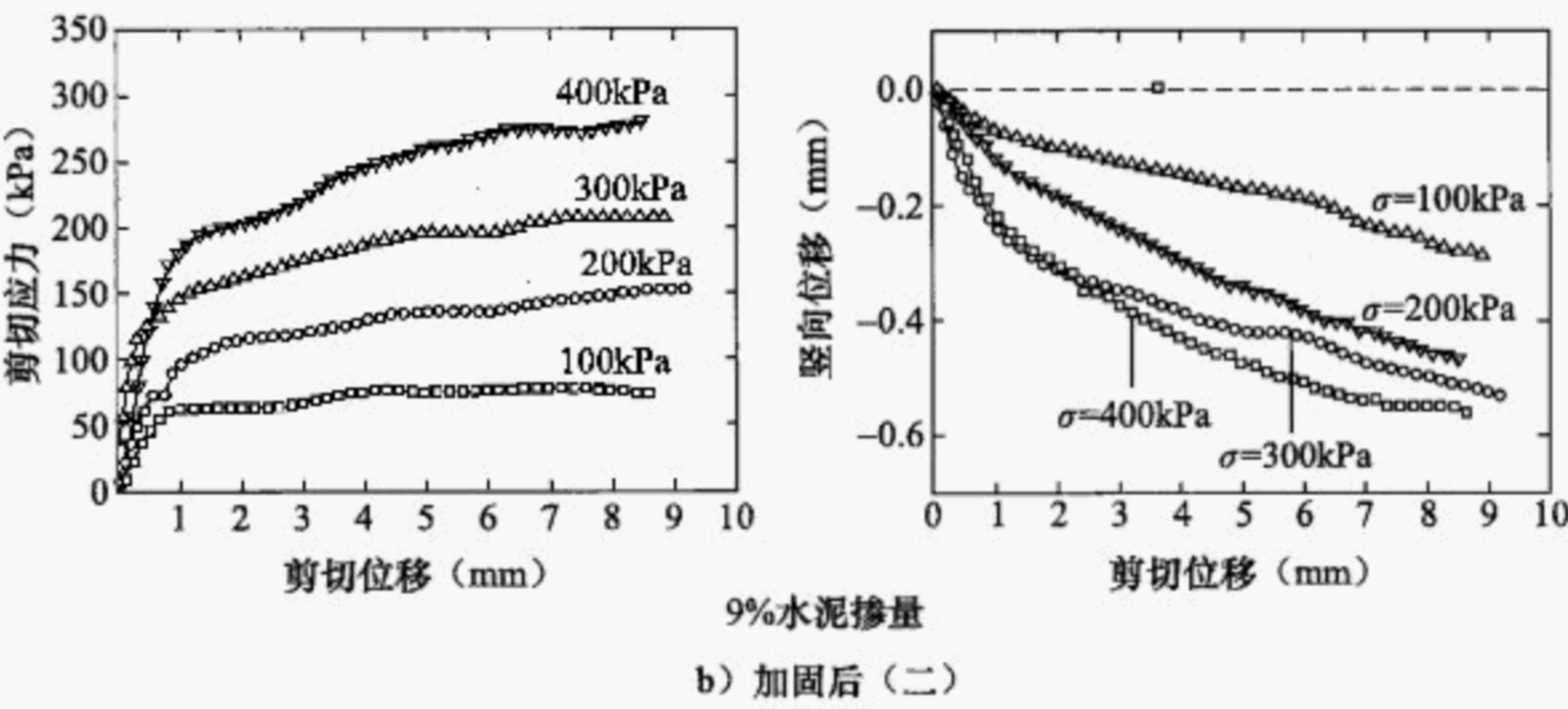


图 8-2 3%含水量的风积沙掺入水泥前后直接剪切试验对比分析结果 (二)

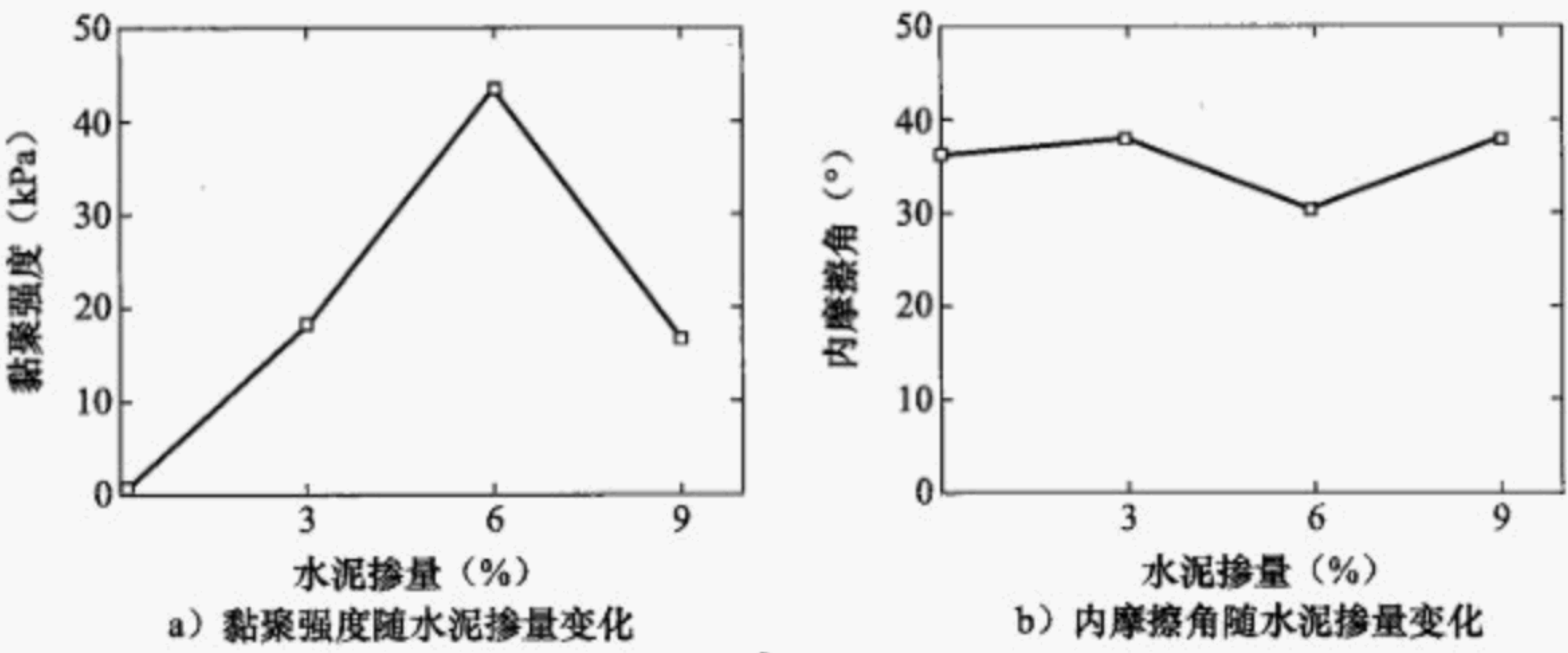


图 8-3 水泥固化前后风积沙抗剪强度参数随水泥掺量的变化规律

同时，在国家电网公司岩土工程重点实验室室内大厅中开展了水泥加固前后风积沙地基模型基础的抗拔承载特性的对比试验，结果见表 8-3。从表中可以看出水泥加固前后，风积沙地基中的模型基础抗拔承载能力较加固前发生大幅度提高。根据“土重法”的计算原理，反算得到加固前后风积沙地基的上拔角，见表 8-3，从表中可以看出，对于相近尺寸的基础模型，水泥加固前后，基础的上拔角提高 30%以上。

表 8-3 水泥加固前后模型基础抗拔承载特性对比分析结果

回填料类别	B (m)	h_t (m)	深宽比	抗拔承载力 (kN)	极限位移 (mm)	上拔角 α_u (°)
风积沙	0.3	0.3	1.0	2.58	1.03	58.8
	0.3	0.6	2.0	7.09	1.57	41.8
	0.3	0.9	3.0	12.4	8.45	33.2
	0.3	1.2	4.0	20.5	12.81	29.7
	0.3	1.5	5.0	29.2	19.84	26.5
	0.6	0.3	0.5	5.52	0.70	65.7
	0.6	0.6	1.0	11.97	1.90	39.8
	0.6	0.9	1.5	18.9	5.77	28.4
	0.6	1.2	2.0	29.5	10.73	25.3
	0.6	1.5	2.5	45.0	13.71	24.8
	0.9	0.6	0.67	21.6	1.40	43.9
	0.9	0.9	1.0	32.4	7.13	29.4
	0.9	1.2	1.33	47.8	7.62	25.1
	0.9	1.5	1.67	67.0	8.58	23.4
掺入 3%水泥的 水泥固化风积沙	0.1	0.15	1.5	8.44	3.58	84.8
	0.1	0.25	2.5	10.86	2.13	80.0
	0.1	0.35	3.5	12.1	0.14	74.4
	0.2	0.3	1.5	22.18	1.44	80.5
	0.2	0.5	2.5	25.6	1.10	71.1
	0.2	0.7	3.5	27.64	6.53	61.0
	0.3	0.45	1.5	20.15	4.04	70.7
	0.3	0.75	2.5	39.47	1.64	61.8
	0.3	1.05	3.5	44.6	1.67	49.5

9 环 境 保 护

9.0.1 输电线路的基础设计应符合国家环保、水土保持和生态环境保护主要依据《中华人民共和国水土保持法》和《开发建设项目水土保持技术规范》GB 50433。

DL/T 5755—2017



155198.774

定价：29.00 元