

前 言

根据原建设部《关于印发〈2007年工程建设标准规范制订、修订计划（第一批）〉的通知》（建标〔2007〕125号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准和国际标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2002。

本规范主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 边坡工程勘察；5. 边坡稳定性评价；6. 边坡支护结构上的侧向岩土压力；7. 坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程；8. 锚杆（索）；9. 锚杆（索）挡墙；10. 岩石锚喷支护；11. 重力式挡墙；12. 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙；13. 桩板式挡墙；14. 坡率法；15. 坡面防护与绿化；16. 边坡工程排水；17. 工程滑坡防治；18. 边坡工程施工；19. 边坡工程监测、质量检验及验收。

本规范修订的主要技术内容是：

1. 明确临时性边坡（包括岩质基坑边坡）的有关参数（如破裂角、等效内摩擦角等）取值，给出临时性边坡的侧向压力计算；

2. 将锚杆有关计算（锚杆截面、锚固体与地层的锚固长度和杆体与锚固体的锚固长度计算）由原规范的概率极限状态计算方法转换成安全系数法；

3. 调整边坡稳定性分析评价方法：圆弧形滑动面稳定性计算时推荐采用毕肖普法，折线形滑动面稳定性计算时推荐采用传递系数隐式解法；

4. 增加分阶坡形的侧压力计算方法，给出了抗震时边坡支护结构侧压力的计算内容；

5. 对永久性边坡的岩石锚喷支护进行了局部修改完善，补充了临时性边坡及坡面防护的锚喷支护的有关内容；

6. 增加扶壁式挡墙形式，补充有关技术内容；

7. 新增“桩板式挡墙”一章，给出了桩板式挡墙的设计原则、计算、构造及施工等有关技术内容；

8. 新增“坡面防护与绿化”一章，规定了坡面防护与绿化的设计原则、计算、构造及施工等有关技术内容；

9. 将原规范第 3.5 节“排水措施”扩充成“边坡工程排水”一章，规定了边坡工程坡面防水、地下排水及防渗的设计和施工方法；

10. 将原规范第 3.6 节“坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程设计”与第 14 章“边坡变形控制”合并，形成本规范的第 7 章“坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程”，规定了坡顶有重要建（构）筑物边坡工程设计原则、方法、岩土侧压力的修订方法，抗震设计及安全施工的具体要求；

11. 修改工程滑坡的防治，删除危岩和崩塌防治内容；

12. 对边坡工程监测、质量检验及验收进行局部修改完善，并给出了边坡工程监测的预警值。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由重庆市设计院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送重庆市设计院（地址：重庆市渝中区人和街 31 号，邮政编码：400015）。

本规范主编单位：重庆市设计院

中国建筑技术集团有限公司

本规范参编单位：中国人民解放军后勤工程学院

中冶建筑研究总院有限公司

重庆市建筑科学研究院

重庆交通大学

中铁二院重庆勘察设计研究院有限责
任公司

中国科学院地质与地球物理研究所
建设综合勘察研究设计院有限公司
大连理工大学

中国建筑西南勘察设计研究院有限
公司

北京市勘察设计研究院有限公司
重庆市建设工程勘察质量监督站
重庆大学

重庆一建建设集团有限公司

本规范主要起草人员：郑生庆 郑颖人 黄 强 陈希昌

汤启明 刘兴远 陆 新 胡建林

凌天清 黄家愉 周显毅 何 平

康景文 贾金青 李正川 沈小克

伍法权 周载阳 杨素春 李耀刚

张季茂 王 华 姚 刚 周忠明

张智浩 张培文

本规范主要审查人员：滕延京 钱志雄 张旷成 杨 斌

罗济章 薛尚铃 王德华 钟 阳

戴一鸣 常大美

目 次

| | | |
|-----|------------------|----|
| 1 | 总则 | 1 |
| 2 | 术语和符号 | 2 |
| 2.1 | 术语 | 2 |
| 2.2 | 符号 | 4 |
| 3 | 基本规定 | 7 |
| 3.1 | 一般规定 | 7 |
| 3.2 | 边坡工程安全等级 | 9 |
| 3.3 | 设计原则 | 11 |
| 4 | 边坡工程勘察 | 14 |
| 4.1 | 一般规定 | 14 |
| 4.2 | 边坡工程勘察要求 | 17 |
| 4.3 | 边坡力学参数取值 | 20 |
| 5 | 边坡稳定性评价 | 24 |
| 5.1 | 一般规定 | 24 |
| 5.2 | 边坡稳定性分析 | 24 |
| 5.3 | 边坡稳定性评价标准 | 25 |
| 6 | 边坡支护结构上的侧向岩土压力 | 27 |
| 6.1 | 一般规定 | 27 |
| 6.2 | 侧向土压力 | 27 |
| 6.3 | 侧向岩石压力 | 32 |
| 7 | 坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程 | 35 |
| 7.1 | 一般规定 | 35 |
| 7.2 | 设计计算 | 35 |
| 7.3 | 构造设计 | 38 |

| | | |
|------|-------------|----|
| 7.4 | 施工 | 39 |
| 8 | 锚杆(索) | 40 |
| 8.1 | 一般规定 | 40 |
| 8.2 | 设计计算 | 41 |
| 8.3 | 原材料 | 44 |
| 8.4 | 构造设计 | 46 |
| 8.5 | 施工 | 48 |
| 9 | 锚杆(索)挡墙 | 50 |
| 9.1 | 一般规定 | 50 |
| 9.2 | 设计计算 | 50 |
| 9.3 | 构造设计 | 53 |
| 9.4 | 施工 | 54 |
| 10 | 岩石锚喷支护 | 55 |
| 10.1 | 一般规定 | 55 |
| 10.2 | 设计计算 | 55 |
| 10.3 | 构造设计 | 56 |
| 10.4 | 施工 | 58 |
| 11 | 重力式挡墙 | 59 |
| 11.1 | 一般规定 | 59 |
| 11.2 | 设计计算 | 59 |
| 11.3 | 构造设计 | 61 |
| 11.4 | 施工 | 63 |
| 12 | 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙 | 64 |
| 12.1 | 一般规定 | 64 |
| 12.2 | 设计计算 | 64 |
| 12.3 | 构造设计 | 66 |
| 12.4 | 施工 | 67 |
| 13 | 桩板式挡墙 | 68 |
| 13.1 | 一般规定 | 68 |

| | | |
|------|----------------|----|
| 13.2 | 设计计算 | 68 |
| 13.3 | 构造设计 | 71 |
| 13.4 | 施工 | 72 |
| 14 | 坡率法 | 74 |
| 14.1 | 一般规定 | 74 |
| 14.2 | 设计计算 | 74 |
| 14.3 | 构造设计 | 76 |
| 14.4 | 施工 | 77 |
| 15 | 坡面防护与绿化 | 78 |
| 15.1 | 一般规定 | 78 |
| 15.2 | 工程防护 | 78 |
| 15.3 | 植物防护与绿化 | 80 |
| 15.4 | 施工 | 81 |
| 16 | 边坡工程排水 | 83 |
| 16.1 | 一般规定 | 83 |
| 16.2 | 坡面排水 | 83 |
| 16.3 | 地下排水 | 84 |
| 16.4 | 施工 | 85 |
| 17 | 工程滑坡防治 | 87 |
| 17.1 | 一般规定 | 87 |
| 17.2 | 工程滑坡防治 | 89 |
| 17.3 | 施工 | 91 |
| 18 | 边坡工程施工 | 92 |
| 18.1 | 一般规定 | 92 |
| 18.2 | 施工组织设计 | 92 |
| 18.3 | 信息法施工 | 93 |
| 18.4 | 爆破施工 | 94 |
| 18.5 | 施工险情应急处理 | 95 |
| 19 | 边坡工程监测、质量检验及验收 | 96 |

| | | |
|------|------------------|-----|
| 19.1 | 监测 | 96 |
| 19.2 | 质量检验 | 98 |
| 19.3 | 验收 | 99 |
| 附录 A | 不同滑面形态的边坡稳定性计算方法 | 101 |
| 附录 B | 几种特殊情况下的侧向压力计算 | 105 |
| 附录 C | 锚杆试验 | 110 |
| 附录 D | 锚杆选型 | 114 |
| 附录 E | 锚杆材料 | 115 |
| 附录 F | 土质边坡的静力平衡法和等值梁法 | 117 |
| 附录 G | 岩土层地基系数 | 121 |
| | 本规范用词说明 | 122 |
| | 引用标准名录 | 123 |

Contents

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | General Provisions | 1 |
| 2 | Terms and Symbols | 2 |
| 2.1 | Terms | 2 |
| 2.2 | Symbols | 4 |
| 3 | Basic Requirements | 7 |
| 3.1 | General Requirements | 7 |
| 3.2 | Safety Level of Slope Engineering | 9 |
| 3.3 | Principles of Design | 11 |
| 4 | Geological Investigation of Slope Engineering | 14 |
| 4.1 | General Requirements | 14 |
| 4.2 | Geological Investigation of Slope | 17 |
| 4.3 | Physical Parameters of Slope | 20 |
| 5 | Stability Assessment of Slope | 24 |
| 5.1 | General Requirements | 24 |
| 5.2 | Stability Analysis of Slope | 24 |
| 5.3 | Stability Assessment of Slope | 25 |
| 6 | Lateral Pressure of Slope Retaining Structure | 27 |
| 6.1 | General Requirements | 27 |
| 6.2 | Lateral Earth Pressure | 27 |
| 6.3 | Lateral Rock Pressure | 32 |
| 7 | Slope Engineering for Important Construction on Slope Top | 35 |
| 7.1 | General Requirements | 35 |
| 7.2 | Design Calculations | 35 |

| | | |
|------|---|----|
| 7.3 | Structure Design | 38 |
| 7.4 | Construction | 39 |
| 8 | Anchor | 40 |
| 8.1 | General Requirements | 40 |
| 8.2 | Design Calculations | 41 |
| 8.3 | Raw Materials | 44 |
| 8.4 | Structure Design | 46 |
| 8.5 | Construction | 48 |
| 9 | Retaining Wall with Anchor | 50 |
| 9.1 | General Requirements | 50 |
| 9.2 | Design Calculations | 50 |
| 9.3 | Structure Design | 53 |
| 9.4 | Construction | 54 |
| 10 | Rock Slope Retaining by Anchor-shotcrete | |
| | Retaining | 55 |
| 10.1 | General Requirements | 55 |
| 10.2 | Design Calculations | 55 |
| 10.3 | Structure Design | 56 |
| 10.4 | Construction | 58 |
| 11 | Gravity Retaining Wall | 59 |
| 11.1 | General Requirements | 59 |
| 11.2 | Design Calculations | 59 |
| 11.3 | Structure Design | 61 |
| 11.4 | Construction | 63 |
| 12 | Cantilever Retaining Wall and Counterfort | |
| | Retaining Wall | 64 |
| 12.1 | General Requirements | 64 |
| 12.2 | Design Calculations | 64 |
| 12.3 | Structure Design | 66 |

| | | |
|------|---|----|
| 12.4 | Construction | 67 |
| 13 | Pile-sheet Retaining | 68 |
| 13.1 | General Requirements | 68 |
| 13.2 | Design Calculations | 68 |
| 13.3 | Structure Design | 71 |
| 13.4 | Construction | 72 |
| 14 | Slope Ratio Method | 74 |
| 14.1 | General Requirements | 74 |
| 14.2 | Design Calculations | 74 |
| 14.3 | Structure Design | 76 |
| 14.4 | Construction | 77 |
| 15 | Protection and Virescence of Slope | 78 |
| 15.1 | General Requirements | 78 |
| 15.2 | Engineering Protection | 78 |
| 15.3 | Plant Protection and Virescence | 80 |
| 15.4 | Construction | 81 |
| 16 | Drainage of Slope Engineering | 83 |
| 16.1 | General Requirements | 83 |
| 16.2 | External Drainage | 83 |
| 16.3 | Internal Drainage | 84 |
| 16.4 | Construction | 85 |
| 17 | Prevention of Engineering-triggered Landslide | 87 |
| 17.1 | General Requirements | 87 |
| 17.2 | Prevention of Engineering-triggered Landslide | 89 |
| 17.3 | Construction | 91 |
| 18 | Construction of Slope Engineering | 92 |
| 18.1 | General Requirements | 92 |
| 18.2 | Construction Design | 92 |
| 18.3 | Information Construction Method | 93 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 18.4 | Blasting Construction | 94 |
| 18.5 | Emergency Treatment for Construction Hazards | 95 |
| 19 | Monitoring, Inspection and Quality Acceptance of Slope Engineering | 96 |
| 19.1 | Monitoring | 96 |
| 19.2 | Inspection | 98 |
| 19.3 | Quality Acceptance | 99 |
| Appendix A | Slope Stability Calculation for Various Sliding Surface Forms | 101 |
| Appendix B | Lateral Pressure Calculation for Several Special Circumstances | 105 |
| Appendix C | Testing of Anchor | 110 |
| Appendix D | Style of Anchor | 114 |
| Appendix E | Materials of Anchor | 115 |
| Appendix F | Static Equilibrium Method and Equivalent Beam Method for Soil Slope | 117 |
| Appendix G | Foundation Coefficient for Embedding Segment of Anti-Slide Pile | 121 |
| | Explanation of Wording in This Code | 122 |
| | List of Quoted Standards | 123 |

1 总 则

1.0.1 为在建筑边坡工程的勘察、设计、施工及质量控制中贯彻执行国家技术经济政策，做到技术先进、安全可靠、经济合理、确保质量和保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于岩质边坡高度为 30m 以下（含 30m）、土质边坡高度为 15m 以下（含 15m）的建筑边坡工程以及岩石基坑边坡工程。

超过上述限定高度的边坡工程或地质和环境条件复杂的边坡工程除应符合本规范的规定外，尚应进行专项设计，采取有效、可靠的加强措施。

1.0.3 软土、湿陷性黄土、冻土、膨胀土和其他特殊性岩土以及侵蚀性环境的建筑边坡工程，尚应符合国家现行相应专业标准的规定。

1.0.4 建筑边坡工程应综合考虑工程地质、水文地质、边坡高度、环境条件、各种作用、邻近的建（构）筑物、地下市政设施、施工条件和工期等因素，因地制宜，精心设计，精心施工。

1.0.5 建筑边坡工程除应符合本规范外，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 建筑边坡 building slope

在建筑场地及其周边，由于建筑工程和市政工程开挖或填筑施工所形成的人工边坡和对建（构）筑物安全或稳定有不利影响的自然斜坡。本规范中简称边坡。

2.1.2 边坡支护 slope retaining

为保证边坡稳定及其环境的安全，对边坡采取的结构性支挡、加固与防护行为。

2.1.3 边坡环境 slope environment

边坡影响范围内或影响边坡安全的岩土体、水系、建（构）筑物、道路及管网等的统称。

2.1.4 永久性边坡 longterm slope

设计使用年限超过 2 年的边坡。

2.1.5 临时性边坡 temporary slope

设计使用年限不超过 2 年的边坡。

2.1.6 锚杆（索） anchor (anchorage)

将拉力传至稳定岩土层的构件（或系统）。当采用钢绞线或高强钢丝束并施加一定的预拉应力时，称为锚索。

2.1.7 锚杆挡墙 retaining wall with anchors

由锚杆（索）、立柱和面板组成的支护结构。

2.1.8 锚喷支护 anchor-shotcrete retaining

由锚杆和喷射混凝土面板组成的支护结构。

2.1.9 重力式挡墙 gravity retaining wall

依靠自身重力使边坡保持稳定的支护结构。

2.1.10 扶壁式挡墙 counterfort retaining wall

由立板、底板、扶壁和墙后填土组成的支护结构。

2.1.11 桩板式挡墙 pile-sheet retaining

由抗滑桩和桩间挡板等构件组成的支护结构。

2.1.12 坡率法 slope ratio method

通过调整、控制边坡坡率维持边坡整体稳定和采取构造措施保证边坡及坡面稳定的边坡治理方法。

2.1.13 工程滑坡 engineering-triggered landslide

因建筑和市政建设等工程行为而诱发的滑坡。

2.1.14 软弱结构面 weak structural plane

断层破碎带、软弱夹层、含泥或岩屑等结合程度很差、抗剪强度极低的结构面。

2.1.15 外倾结构面 out-dip structural plane

倾向坡外的结构面。

2.1.16 边坡塌滑区 landslip zone of slope

计算边坡最大侧压力时潜在滑动面和控制边坡稳定的外倾结构面以外的区域。

2.1.17 岩体等效内摩擦角 equivalent angle of internal friction

包括边坡岩体黏聚力、重度和边坡高度等因素影响的综合内摩擦角。

2.1.18 动态设计法 method of information design

根据信息法施工和施工勘察反馈的资料，对地质结论、设计参数及设计方案进行再验证，确认原设计条件有较大变化，及时补充、修改原设计的设计方法。

2.1.19 信息法施工 construction of information

根据施工现场的地质情况和监测数据，对地质结论、设计参数进行验证，对施工安全性进行判断并及时修正施工方案的施工方法。

2.1.20 逆作法 topdown construction method

在建筑边坡工程施工中自上而下分阶开挖及支护的施工方法。

- 2.1.21 土层锚杆** anchored bar in soil
锚固于稳定土层中的锚杆。
- 2.1.22 岩石锚杆** anchored bar in rock
锚固于稳定岩层内的锚杆。
- 2.1.23 系统锚杆** system of anchor bars
为保证边坡整体稳定，在坡体上按一定方式设置的锚杆群。
- 2.1.24 坡顶重要建（构）筑物** important construction on top of slope
位于边坡坡顶上的破坏后果很严重、严重的建（构）筑物。
- 2.1.25 荷载分散型锚杆** load-dispersive anchorage
在锚杆孔内，由多个独立的单元锚杆所组成的复合锚固体系。每个单元锚杆由独立的自由段和锚固段构成，能使锚杆所承担的荷载分散于各单元锚杆的锚固段上。一般可分为压力分散型锚杆和拉力分散型锚杆。
- 2.1.26 地基系数** coefficient of subgrade reaction
弹性半空间地基上某点所受的法向压力与相应位移的比值，又称温克尔系数。

2.2 符 号

- 2.2.1 作用和作用效应**
- e_a ——修正前侧向土压力；
- e'_a ——修正后侧向土压力；
- e_p ——挡墙前侧向被动土压力；
- E_a ——相应于荷载标准组合的主动岩土压力合力；
- E'_a ——修正主动岩土压力合力；
- E'_{ah} ——侧向岩土压力合力水平分力修正值；
- E_0 ——静止土压力；
- E_p ——挡墙前侧向被动土压力合力；
- G ——四边形滑裂体自重；挡墙每延米自重；滑体单位宽度自重；

H_{tk} ——锚杆水平拉力标准值；
 K_a ——主动岩、土压力系数；
 K_0 ——静止土压力系数；
 K_p ——被动岩、土压力系数；
 q ——地表均布荷载标准值；
 q_L ——局部均布荷载标准值；
 α_w ——边坡综合水平地震系数。

2.2.2 材料性能和抗力性能

c ——岩土体的黏聚力；滑移面的黏聚力；
 c' ——有效应力的岩土体的黏聚力；
 c_s ——边坡外倾软弱结构面的黏聚力；
 φ ——岩土体的内摩擦角；
 φ' ——有效应力的岩土体的内摩擦角；
 φ_s ——边坡外倾软弱结构面内摩擦角；
 γ ——岩土体的重度；
 γ' ——岩土体的浮重度；
 γ_{sat} ——岩土体的饱和重度；
 γ_w ——水的重度；
 D_r ——土体的相对密实度；
 w_L ——土体的液限；
 I_L ——土的液性指数；
 μ ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数；
 ρ ——地震角。

2.2.3 几何参数

a ——上阶边坡的宽度；坡脚到坡顶重要建筑物基础外边缘的水平距离；

A ——锚杆杆体截面面积；滑动面面积；
 A_c ——锚固体截面面积；
 A_s ——锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积；
 B ——肋柱宽度；

B_p ——桩身计算宽度；
 H ——边坡高度；挡墙高度；
 L ——边坡坡顶塌滑区外缘至坡底边缘的水平投影距离；
 l_a ——锚杆锚固体与地层间的锚固段长度或锚筋与砂浆间的锚固长度；
 α ——锚杆倾角；支挡结构墙背与水平面的夹角；
 α' ——边坡面与水平面的夹角；
 α_0 ——挡墙底面倾角；
 β ——填土表面与水平面的夹角；地表斜坡面与水平面的夹角；
 δ ——墙背与岩土摩擦角；
 δ_r ——稳定且无软弱层的岩石坡面与填土间的内摩擦角；
 θ ——边坡的破裂角；缓倾的外倾软弱结构面的倾角；假定岩土体滑动面与水平面的夹角；稳定岩石坡面或假定边坡岩土体滑动面与水平面的夹角；滑面倾角。

2.2.4 计算系数

F_s ——边坡稳定性系数；挡墙抗滑移稳定系数；
 F_t ——挡墙抗倾覆稳定系数；
 F_{st} ——边坡稳定安全系数；
 K ——安全系数；
 K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数，或锚杆钢筋抗拉安全系数；
 β_1 ——岩质边坡主动岩石压力修正系数；
 β_2 ——锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数；
 γ_0 ——支护结构重要性系数；
 γ_k ——滑坡稳定安全系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑边坡工程设计时应取得下列资料：

- 1 工程用地红线图、建筑平面布置总图、相邻建筑物的平、立、剖面和基础图等；
- 2 场地和边坡勘察资料；
- 3 边坡环境资料；
- 4 施工条件、施工技术、设备性能和施工经验等资料；
- 5 有条件时宜取得类似边坡工程的经验。

3.1.2 一级边坡工程应采用动态设计法。二级边坡工程宜采用动态设计法。

3.1.3 建筑边坡工程的设计使用年限不应低于被保护的建（构）筑物设计使用年限。

3.1.4 建筑边坡支护结构形式应考虑场地地质和环境条件、边坡高度、边坡侧压力的大小和特点、对边坡变形控制的难易程度以及边坡工程安全等级等因素，可按表 3.1.4 选定。

表 3.1.4 边坡支护结构常用形式

| 条件 支护结构 | 边坡环境 条件 | 边坡高度 H (m) | 边坡工程 安全等级 | 备 注 |
|-----------------|------------------|---|--------------|----------------------------|
| 重力式挡墙 | 场地允许，坡顶无重要建（构）筑物 | 土质边坡， $H \leq 10$ 岩质边坡， $H \leq 12$ | 一、二、 三级 | 不利于控制边坡变形。土方开挖后边坡稳定较差时不应采用 |
| 悬臂式挡墙、 扶壁式挡墙 | 填方区 | 悬臂式挡墙， $H \leq 6$ 扶壁式挡墙， $H \leq 10$ | 一、二、 三级 | 适用于土质边坡 |

续表 3.1.4

| 条件 支护结构 | 边坡环境条件 | 边坡高度 H (m) | 边坡工程安全等级 | 备注 |
|-------------|----------------------|--|----------|---|
| 桩板式挡墙 | | 悬臂式, $H \leq 15$ 锚拉式, $H \leq 25$ | 一、二、三级 | 桩嵌固段土质较差时不宜采用, 当对挡墙变形要求较高时宜采用锚拉式桩板挡墙 |
| 板肋式或格构式锚杆挡墙 | | 土质边坡 $H \leq 15$ 岩质边坡 $H \leq 30$ | 一、二、三级 | 边坡高度较大或稳定性较差时宜采用逆作法施工。对挡墙变形有较高要求的边坡, 宜采用预应力锚杆 |
| 排桩式锚杆挡墙 | 坡顶建(构)筑物需要保护, 场地狭窄 | 土质边坡 $H \leq 15$ 岩质边坡 $H \leq 30$ | 一、二、三级 | 有利于对边坡变形控制。适用于稳定性较差的土质边坡、有外倾软弱结构面的岩质边坡、垂直开挖施工尚不能保证稳定的边坡 |
| 岩石锚喷支护 | | I类岩质边坡, $H \leq 30$ | 一、二、三级 | 适用于岩质边坡 |
| | | II类岩质边坡, $H \leq 30$ | 二、三级 | |
| | | III类岩质边坡, $H \leq 15$ | 二、三级 | |
| 坡率法 | 坡顶无重要建(构)筑物, 场地有放坡条件 | 土质边坡, $H \leq 10$ 岩质边坡, $H \leq 25$ | 一、二、三级 | 不良地质段, 地下水发育区、软塑及流塑状土时不应采用 |

- 3.1.5** 规模大、破坏后果很严重、难以处理的滑坡、危岩、泥石流及断层破碎带地区，不应修筑建筑边坡。
- 3.1.6** 山区工程建设时应根据地质、地形条件及工程要求，因地制宜设置边坡，避免形成深挖高填的边坡工程。对稳定性较差且边坡高度较大的边坡工程宜采用放坡或分阶放坡方式进行治理。
- 3.1.7** 当边坡坡体内洞室密集而对边坡产生不利影响时，应根据洞室大小和深度等因素进行稳定性分析，采取相应的加强措施。
- 3.1.8** 存在临空外倾结构面的岩土质边坡，支护结构基础必须置于外倾结构面以下稳定地层内。
- 3.1.9** 边坡工程平面布置、竖向及立面设计应考虑对周边环境的影响，做到美化环境，体现生态保护要求。
- 3.1.10** 当施工期边坡变形较大且大于规范、设计允许值时，应采取包括边坡施工期临时加固措施的支护方案。
- 3.1.11** 对已出现明显变形、发生安全事故及使用条件发生改变的边坡工程，其鉴定和加固应按现行国家标准《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843 的有关规定执行。
- 3.1.12** 下列边坡工程的设计及施工应进行专门论证：
- 1 高度超过本规范适用范围的边坡工程；
 - 2 地质和环境条件复杂、稳定性极差的一级边坡工程；
 - 3 边坡塌滑区有重要建（构）筑物、稳定性较差的边坡工程；
 - 4 采用新结构、新技术的一、二级边坡工程。
- 3.1.13** 建筑边坡工程的混凝土结构耐久性设计应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。

3.2 边坡工程安全等级

- 3.2.1** 边坡工程应根据其损坏后可能造成的破坏后果（危及人的生命、造成经济损失、产生不良社会影响）的严重性、边坡类

型和边坡高度等因素，按表 3.2.1 确定边坡工程安全等级。

表 3.2.1 边坡工程安全等级

| 边坡类型 | | 边坡高度 H (m) | 破坏后果 | 安全等级 |
|------|------------------|------------------|------|------|
| 岩质边坡 | 岩体类型为 I 或 II 类 | $H \leq 30$ | 很严重 | 一级 |
| | | | 严重 | 二级 |
| | | | 不严重 | 三级 |
| | 岩体类型为 III 或 IV 类 | $15 < H \leq 30$ | 很严重 | 一级 |
| | | | 严重 | 二级 |
| | | $H \leq 15$ | 很严重 | 一级 |
| 严重 | 二级 | | | |
| 不严重 | 三级 | | | |
| 土质边坡 | $10 < H \leq 15$ | 很严重 | 一级 | |
| | | 严重 | 二级 | |
| | $H \leq 10$ | 很严重 | 一级 | |
| | | 严重 | 二级 | |
| | | 不严重 | 三级 | |

注：1 一个边坡工程的各段，可根据实际情况采用不同的安全等级；

2 对危害性极严重、环境和地质条件复杂的边坡工程，其安全等级应根据工程情况适当提高；

3 很严重：造成重大人员伤亡或财产损失；严重：可能造成人员伤亡或财产损失；不严重：可能造成财产损失。

3.2.2 破坏后果很严重、严重的下列边坡工程，其安全等级应定为一级：

- 1 由外倾软弱结构面控制的边坡工程；
- 2 工程滑坡地段的边坡工程；
- 3 边坡塌滑区有重要建（构）筑物的边坡工程。

3.2.3 边坡塌滑区范围可按式估算：

$$L = \frac{H}{\tan\theta} \quad (3.2.3)$$

式中： L ——边坡坡顶塌滑区外缘至坡底边缘的水平投影距离(m)；

H ——边坡高度 (m)；

θ ——坡顶无荷载时边坡的破裂角 ($^{\circ}$)；对直立土质边坡可取 $45^{\circ} + \varphi/2$ ， φ 为土体的内摩擦角；对斜面土质边坡，可取 $(\beta + \varphi) / 2$ ， β 为坡面与水平面的夹角， φ 为土体的内摩擦角；对直立岩质边坡可按本规范第 6.3.3 条确定；对倾斜坡面岩质边坡可按本规范第 6.3.4 条确定。

3.3 设计原则

3.3.1 边坡工程设计应符合下列规定：

1 支护结构达到最大承载能力、锚固系统失效、发生不适于继续承载的变形或坡体失稳应满足承载能力极限状态的设计要求；

2 支护结构和边坡达到支护结构或邻近建（构）筑物的正常使用所规定的变形限值或达到耐久性的某项规定限值应满足正常使用极限状态的设计要求。

3.3.2 边坡工程设计所采用作用效应组合与相应的抗力限值应符合下列规定：

1 按地基承载力确定支护结构或构件的基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时，传至基础或桩上的作用效应应采用荷载效应标准组合；相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值；

2 计算边坡与支护结构的稳定性时，应采用荷载效应基本组合，但其分项系数均为 1.0；

3 计算锚杆面积、锚杆杆体与砂浆的锚固长度、锚杆锚固体与岩土层的锚固长度时，传至锚杆的作用效应应采用荷载效应标准组合；

4 在确定支护结构截面、基础高度、计算基础或支护结构内力、确定配筋和验算材料强度时，应采用荷载效应基本组合，并应满足下式的要求：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (3.3.2)$$

式中： S ——基本组合的效应设计值；

R ——结构构件抗力的设计值；

γ_0 ——支护结构重要性系数，对安全等级为一级的边坡不应低于 1.1，二、三级边坡不应低于 1.0。

5 计算支护结构变形、锚杆变形及地基沉降时，应采用荷载效应的准永久组合，不计入风荷载和地震作用，相应的限值应为支护结构、锚杆或地基的变形允许值；

6 支护结构抗裂计算时，应采用荷载效应标准组合，并考虑长期作用影响；

7 抗震设计时地震作用效应和荷载效应的组合应按国家现行有关标准执行。

3.3.3 地震区边坡工程应按下列原则考虑地震作用的影响：

1 边坡工程抗震设防烈度应根据中国地震动参数区划图确定的本地区地震基本烈度，且不应低于边坡塌滑区内建筑物的设防烈度；

2 抗震设防的边坡工程，其地震作用计算应按国家现行有关标准执行；抗震设防烈度为 6 度的地区，边坡工程支护结构可不进行地震作用计算，但应采取抗震构造措施，抗震设防烈度 6 度以上的地区，边坡工程支护结构应进行地震作用计算，临时性边坡可不作抗震计算；

3 支护结构和锚杆外锚头等，应按抗震设防烈度要求采取相应的抗震构造措施。

3.3.4 抗震设防区，支护结构或构件承载能力应采用地震作用效应和荷载效应基本组合进行验算。

3.3.5 边坡工程设计应包括支护结构的选型、平面及立面布置、计算、构造和排水，并对施工、监测及质量验收等提出要求。

3.3.6 边坡支护结构设计时应进行下列计算和验算：

1 支护结构及其基础的抗压、抗弯、抗剪、局部抗压承载力的计算；支护结构基础的地基承载力计算；

- 2 锚杆锚固体的抗拔承载力及锚杆杆体抗拉承载力的计算；
 - 3 支护结构稳定性验算。
- 3.3.7 边坡支护结构设计时尚应进行下列计算和验算：
- 1 地下水发育边坡的地下水控制计算；
 - 2 对变形有较高要求的边坡工程还应结合当地经验进行变形验算。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

4 边坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 下列建筑边坡工程应进行专门性边坡工程地质勘察：

- 1 超过本规范适用范围的边坡工程；
- 2 地质条件和环境条件复杂、有明显变形迹象的一级边坡工程；
- 3 边坡邻近有重要建（构）筑物的边坡工程。

4.1.2 除本规范第 4.1.1 条规定外的其他边坡工程可与建筑工程地质勘察一并进行，但应满足边坡勘察的工作深度和要求，勘察报告应有边坡稳定性评价的内容。大型和地质环境复杂的边坡工程宜分阶段勘察；当地质环境复杂、施工过程中发现地质环境与原勘察资料不符且可能影响边坡治理效果或因设计、施工原因变更边坡支护方案时应进行施工勘察。

4.1.3 岩质边坡的破坏形式应按表 4.1.3 划分。

表 4.1.3 岩质边坡的破坏形式分类

| 破坏形式 | 岩体特征 | | 破坏特征 |
|------|---------------------|----------------|---|
| 滑移型 | 由外倾结构面控制的岩体 | 硬性结构面的岩体 | 沿外倾结构面滑移，分单面滑移与多面滑移 |
| | | 软弱结构面的岩体 | |
| | 不受外倾结构面控制和无外倾结构面的岩体 | 块状岩体、碎裂状、散体状岩体 | 沿极软岩、强风化岩、碎裂结构或散体状岩体中最不利滑动面滑移 |
| 崩塌型 | 受结构面切割控制的岩体 | 被结构面切割的岩体 | 沿陡倾、临空的结构面塌滑；由内、外倾结构不利组合面切割，块体失稳倾倒；岩腔上岩体沿结构面剪切或坠落破坏 |
| | 无外倾结构面的岩体 | 整体状岩体、巨块状岩体 | 陡立边坡，因卸荷作用产生拉张裂缝导致岩体倾倒 |

4.1.4 岩质边坡工程勘察应根据岩体主要结构面与坡向的关系、结构面的倾角大小、结合程度、岩体完整程度等因素对边坡岩体类型进行划分，并应符合表 4.1.4 的规定。

表 4.1.4 岩质边坡的岩体分类

| 边坡岩体类型 | 判定条件 | | | |
|--------|---------------|------------|---|----------------------------|
| | 岩体完整程度 | 结构面结合程度 | 结构面产状 | 直立边坡自稳能力 |
| I | 完整 | 结构面结合良好或一般 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $>75^\circ$ 或 $<27^\circ$ | 30m 高的边坡长期稳定，偶有掉块 |
| II | 完整 | 结构面结合良好或一般 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$ | 15m 高的边坡稳定，15m-30m 高的边坡欠稳定 |
| | 完整 | 结构面结合差 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $>75^\circ$ 或 $<27^\circ$ | 15m 高的边坡稳定，15m-30m 高的边坡欠稳定 |
| | 较完整 | 结构面结合良好或一般 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $>75^\circ$ 或 $<27^\circ$ | 边坡出现局部落块 |
| III | 完整 | 结构面结合差 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$ | 8m 高的边坡稳定，15m 高的边坡欠稳定 |
| | 较完整 | 结构面结合良好或一般 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^\circ \sim 75^\circ$ | 8m 高的边坡稳定，15m 高的边坡欠稳定 |
| | 较完整 | 结构面结合差 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $>75^\circ$ 或 $<27^\circ$ | 8m 高的边坡稳定，15m 高的边坡欠稳定 |
| | 较破碎 | 结构面结合良好或一般 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $>75^\circ$ 或 $<27^\circ$ | 8m 高的边坡稳定，15m 高的边坡欠稳定 |
| | 较破碎 (碎裂镶嵌) | 结构面结合良好或一般 | 结构面无明显规律 | 8m 高的边坡稳定，15m 高的边坡欠稳定 |

续表 4.1.4

| 边坡 岩体类型 | 判定条件 | | | |
|------------|--------|-----------|--|------------|
| | 岩体完整程度 | 结构面结合程度 | 结构面产状 | 直立边坡自稳能力 |
| IV | 较完整 | 结构面结合差或很差 | 外倾结构面以层面为主, 倾角多为 $27^{\circ}75^{\circ}$ | 8m 高的边坡不稳定 |
| | 较破碎 | 结构面结合一般或差 | 外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^{\circ}75^{\circ}$ | 8m 高的边坡不稳定 |
| | 破碎或极破碎 | 碎块间结合很差 | 结构面无明显规律 | 8m 高的边坡不稳定 |

- 注: 1 结构面指原生结构面和构造结构面, 不包括风化裂隙;
 2 外倾结构面系指倾向与坡向的夹角小于 30° 的结构面;
 3 不包括全风化基岩; 全风化基岩可视为土体;
 4 I 类岩体为软岩, 应降为 II 类岩体; I 类岩体为较软岩且边坡高度大于 15m 时, 可降为 II 类;
 5 当地下水发育时, II、III 类岩体可根据具体情况降低一档;
 6 强风化岩应划为 IV 类; 完整的极软岩可划为 III 类或 IV 类;
 7 当边坡岩体较完整、结构面结合差或很差、外倾结构面或外倾不同结构面的组合线倾角 $27^{\circ}75^{\circ}$, 结构面贯通性差时, 可划为 III 类;
 8 当有贯通性较好的外倾结构面时应验算沿该结构面破坏的稳定性。

4.1.5 当无外倾结构面及外倾不同结构面组合时, 完整、较完整的坚硬岩、较硬岩宜划为 I 类, 较破碎的坚硬岩、较硬岩宜划为 II 类; 完整、较完整的较软岩、软岩宜划为 II 类, 较破碎的较软岩、软岩可划为 III 类。

4.1.6 确定岩质边坡的岩体类型时, 由坚硬程度不同的岩石互层组成且每层厚度小于或等于 5m 的岩质边坡宜视为由相对软弱岩石组成的边坡。当边坡岩体由两层以上单层厚度大于 5m 的岩体组成时, 可分段确定边坡岩体类型。

4.1.7 已有变形迹象的边坡宜在勘察期间进行变形监测。

4.1.8 边坡工程勘察等级应根据边坡工程安全等级和地质环境复杂程度按表 4.1.8 划分。

表 4.1.8 边坡工程勘察等级

| 边坡工程安全等级 | 边坡地质环境复杂程度 | | |
|----------|------------|------|----|
| | 复杂 | 中等复杂 | 简单 |
| 一级 | 一级 | 一级 | 二级 |
| 二级 | 一级 | 二级 | 三级 |
| 三级 | 二级 | 三级 | 三级 |

4.1.9 边坡地质环境复杂程度可按下列标准判别：

1 地质环境复杂：组成边坡的岩土体种类多，强度变化大，均匀性差，土质边坡潜在滑面多，岩质边坡受外倾结构面或外倾不同结构面组合控制，水文地质条件复杂；

2 地质环境中等复杂：介于地质环境复杂与地质环境简单之间；

3 地质环境简单：组成边坡的岩土体种类少，强度变化小，均匀性好，土质边坡潜在滑面少，岩质边坡受外倾结构面或外倾不同结构面组合控制，水文地质条件简单。

4.1.10 工程滑坡应根据工程特点按现行国家有关标准执行。

4.2 边坡工程勘察要求

4.2.1 边坡工程勘察前除应收集边坡及邻近边坡的工程地质资料外，尚应取得下列资料：

- 1 附有坐标和地形的拟建边坡支挡结构的总平面布置图；
- 2 边坡高度、坡底高程和边坡平面尺寸；
- 3 拟建场地的整平高程和挖方、填方情况；
- 4 拟建支挡结构的性质、结构特点及拟采取的基础形式、尺寸和埋置深度；
- 5 边坡滑塌区及影响范围内的建（构）筑物的相关资料；

6 边坡工程区域的相关气象资料；

7 场地区域最大降雨强度和二十年一遇及五十年一遇最大降水量；河、湖历史最高水位和二十年一遇及五十年一遇的水位资料；可能影响边坡水文地质条件的工业和市政管线、江河等水源因素，以及相关水库水位调度方案资料；

8 对边坡工程产生影响的汇水面积、排水坡度、长度和植被等情况；

9 边坡周围山洪、冲沟和河流冲淤等情况。

4.2.2 边坡工程勘察应包括下列内容：

1 场地地形和场地所在地貌单元；

2 岩土时代、成因、类型、性状、覆盖层厚度、基岩面的形态和坡度、岩石风化和完整程度；

3 岩、土体的物理力学性能；

4 主要结构面特别是软弱结构面的类型、产状、发育程度、延伸程度、结合程度、充填状况、充水状况、组合关系、力学属性与与临空面的关系；

5 地下水水位、水量、类型、主要含水层分布情况、补给及动态变化情况；

6 岩土的透水性和地下水的出露情况；

7 不良地质现象的范围和性质；

8 地下水、土对支挡结构材料的腐蚀性；

9 坡顶邻近（含基坑周边）建（构）筑物的荷载、结构、基础形式和埋深，地下设施的分布和埋深。

4.2.3 边坡工程勘察应先进行工程地质测绘和调查。工程地质测绘和调查工作应查明边坡的形态、坡角、结构面产状和性质等，工程地质测绘和调查范围应包括可能对边坡稳定有影响及受边坡影响的所有地段。

4.2.4 边坡工程勘探应采用钻探（直孔、斜孔）、坑（井）探、槽探和物探等方法。对于复杂、重要的边坡工程可辅以洞探。位于岩溶发育的边坡除采用上述方法外，尚应采用物探。

4.2.5 边坡工程勘探范围应包括坡面区域和坡面外围一定的区域。对无外倾结构面控制的岩质边坡的勘探范围：到坡顶的水平距离一般不应小于边坡高度；外倾结构面控制的岩质边坡的勘探范围应根据组成边坡的岩土性质及可能破坏模式确定。对于可能按土体内部圆弧形破坏的土质边坡不应小于 1.5 倍坡高。对可能沿岩土界面滑动的土质边坡，后部应大于可能的后缘边界，前缘应大于可能的剪出口位置。勘察范围尚应包括可能对建（构）筑物有潜在安全影响的区域。

4.2.6 勘探线应以垂直边坡走向或平行主滑方向布置为主，在拟设置支挡结构的位置应布置平行和垂直的勘探线。成图比例尺应大于或等于 1 : 500，剖面的纵横比例应相同。

4.2.7 勘探点分为一般性勘探点和控制性勘探点。控制性勘探点宜占勘探点总数的 1/5~1/3，地质环境条件简单、大型的边坡工程取 1/5，地质环境条件复杂、小型的边坡工程取 1/3，并应满足统计分析的要求。

4.2.8 详细勘察的勘探线、点间距可按表 4.2.8 或地区经验确定。每一单独边坡段勘探线不应少于 2 条，每条勘探线不应少于 2 个勘探点。

表 4.2.8 详细勘察的勘探线、点间距

| 边坡勘察等级 | 勘探线间距 (m) | 勘探点间距 (m) |
|--------|-----------|-----------|
| 一级 | ≤20 | ≤15 |
| 二级 | 2030 | 1520 |
| 三级 | 3040 | 2025 |

注：初步勘察的勘探线、点间距可适当放宽。

4.2.9 边坡工程勘探点深度应进入最下层潜在滑面 2.0m~5.0m，控制性钻孔取大值，一般性钻孔取小值；支挡位置的控制性勘探孔深度应根据可能选择的支护结构形式确定。对于重力式挡墙、扶壁式挡墙和锚杆挡墙可进入持力层不小于 2.0m；对于悬臂桩

进入嵌固段的深度土质时不宜小于悬臂长度的 1.0 倍，岩质时不小于 0.7 倍。

4.2.10 对主要岩土层和软弱层应采样进行室内物理力学性能试验，其试验项目应包括物性、强度及变形指标，试样的含水状态应包括天然状态和饱和状态。用于稳定性计算时土的抗剪强度指标宜采用直接剪切试验获取，用于确定地基承载力时土的峰值抗剪强度指标宜采用三轴试验获取。主要岩土层采集试样数量：土层不少于 6 组，对于现场大剪试验，每组不应少于 3 个试件；岩样抗压强度不应少于 9 个试件。岩石抗剪强度不少于 3 组。需要时应采集岩样进行变形指标试验，有条件时应进行结构面的抗剪强度试验。

4.2.11 建筑边坡工程勘察应提供水文地质参数。对于土质边坡及较破碎、破碎和极破碎的岩质边坡宜在不影响边坡安全条件下，通过抽水、压水或渗水试验确定水文地质参数。

4.2.12 建筑边坡工程勘察除应进行地下水水力学作用和地下水物理、化学作用的评价以外，还应论证孔隙水压力变化规律和对边坡应力状态的影响，并应考虑雨季和暴雨过程的影响。

4.2.13 对于地质条件复杂的边坡工程，初步勘察时宜选择部分钻孔埋设地下水和变形监测设备进行监测。

4.2.14 除各类监测孔外，边坡工程勘察工作中的探井、探坑和探槽等在野外工作完成后应及时封填密实。

4.2.15 对大型待填的填土边坡宜进行料源勘察，针对可能的取料地点，查明用于边坡填筑的岩土工程性质，为边坡填筑的设计和施工提供依据。

4.3 边坡力学参数取值

4.3.1 岩体结构面抗剪强度指标的试验应符合现行国家标准《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266 的有关规定。当无条件进行试验时，结构面的抗剪强度指标标准值在初步设计时可按表 4.3.1 并结合类似工程经验确定。

表 4.3.1 结构面抗剪强度指标标准值

| 结构面类型 | | 结构面结合程度 | 内摩擦角 φ (°) | 黏聚力 c (MPa) |
|-----------|---|------------|--------------------|---------------|
| 硬性 结构面 | 1 | 结合好 | >35 | >0.13 |
| | 2 | 结合一般 | 3527 | 0.130.09 |
| | 3 | 结合差 | 2718 | 0.090.05 |
| 软弱 结构面 | 4 | 结合很差 | 1812 | 0.050.02 |
| | 5 | 结合极差 (泥化层) | <12 | <0.02 |

- 注：1 除第 1 项和第 5 项外，结构面两壁岩性为极软岩、软岩时取较低值；
 2 取值时应考虑结构面的贯通程度；
 3 结构面浸水时取较低值；
 4 临时性边坡可取高值；
 5 已考虑结构面的时间效应；
 6 未考虑结构面参数在施工期和运行期受其他因素影响发生的变化，当判定为不利因素时，可进行适当折减。

4.3.2 岩体结构面的结合程度可按表 4.3.2 确定。

表 4.3.2 结构面的结合程度

| 结合程度 | 结合状况 | 起伏粗糙程度 | 结构面张开度 (mm) | 充填状况 | 岩体状况 |
|------|--------|--------|--------------------|-------------|--------|
| 结合良好 | 铁硅钙质胶结 | 起伏粗糙 | ≤ 3 | 胶结 | 硬岩或较软岩 |
| 结合一般 | 铁硅钙质胶结 | 起伏粗糙 | 35 | 胶结 | 硬岩或较软岩 |
| | 铁硅钙质胶结 | 起伏粗糙 | ≤ 3 | 胶结 | 软岩 |
| | 分离 | 起伏粗糙 | ≤ 3 (无充填时) | 无充填或岩块、岩屑充填 | 硬岩或较软岩 |
| 结合差 | 分离 | 起伏粗糙 | ≤ 3 | 干净无充填 | 软岩 |
| | 分离 | 平直光滑 | ≤ 3 (无充填时) | 无充填或岩块、岩屑充填 | 各种岩层 |
| | 分离 | 平直光滑 | | 岩块、岩屑夹泥或附泥膜 | 各种岩层 |

续表 4.3.2

| 结合程度 | 结合状况 | 起伏粗糙程度 | 结构面张开度 (mm) | 充填状况 | 岩体状况 |
|------|------|-----------|-------------|-----------|------|
| 结合很差 | 分离 | 平直光滑、略有起伏 | | 泥质或泥夹岩屑充填 | 各种岩层 |
| | 分离 | 平直很光滑 | ≤ 3 | 无充填 | 各种岩层 |
| 结合极差 | 结合极差 | — | — | 泥化夹层 | 各种岩层 |

注：1 起伏度：当 $R_A \leq 1\%$ ，平直；当 $1\% < R_A \leq 2\%$ 时，略有起伏；当 $2\% < R_A$ 时，起伏；其中 $R_A = A/L$ ， A 为连续结构面起伏幅度 (cm)， L 为连续结构面取样长度 (cm)，测量范围 L 一般为 1.0m~3.0m；

2 粗糙度：很光滑，感觉非常细腻如镜面；光滑，感觉比较细腻，无颗粒感觉；较粗糙，可以感觉到一定的颗粒状；粗糙，明显感觉到颗粒状。

4.3.3 当无试验资料和缺少当地经验时，天然状态或饱和状态岩体内摩擦角标准值可根据天然状态或饱和状态岩块的内摩擦角标准值结合边坡岩体完整程度按表 4.3.3 中系数折减确定。

表 4.3.3 边坡岩体内摩擦角的折减系数

| 边坡岩体完整程度 | 内摩擦角的折减系数 |
|----------|-----------|
| 完整 | 0.950.90 |
| 较完整 | 0.900.85 |
| 较破碎 | 0.850.80 |

注：1 全风化层可按成分相同的土层考虑；

2 强风化基岩可根据地方经验适当折减。

4.3.4 边坡岩体等效内摩擦角宜按当地经验确定。当缺乏当地经验时，可按表 4.3.4 取值。

表 4.3.4 边坡岩体等效内摩擦角标准值

| 边坡岩体类型 | I | II | III | IV |
|---------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 等效内摩擦角 φ_e (°) | $\varphi_e > 72$ | $72 \geq \varphi_e > 62$ | $62 \geq \varphi_e > 52$ | $52 \geq \varphi_e > 42$ |

- 注：1 适用于高度不大于 30m 的边坡；当高度大于 30m 时，应作专门研究；
 2 边坡高度较大时宜取较小值；高度较小时宜取较大值；当边坡岩体变化较大时，应按同等高度段分别取值；
 3 已考虑时间效应；对于 II、III、IV 类岩质临时边坡可取上限值，I 类岩质临时边坡可根据岩体强度及完整程度取大于 72° 的数值；
 4 适用于完整、较完整的岩体；破碎、较破碎的岩体可根据地方经验适当折减。

4.3.5 边坡稳定性计算应根据不同的工况选择相应的抗剪强度指标。土质边坡按水土合算原则计算时，地下水位以下宜采用土的饱和自重固结不排水抗剪强度指标；按水土分算原则计算时，地下水位以下宜采用土的有效抗剪强度指标。

4.3.6 填土边坡的力学参数宜根据试验并结合当地经验确定。试验方法应根据工程要求、填料的性质和施工质量等确定，试验条件应尽可能接近实际状况。

4.3.7 土质边坡抗剪强度试验方法的选择应符合下列规定：

1 根据坡体内的含水状态选择天然或饱和状态的抗剪强度试验方法；

2 用于土质边坡，在计算土压力和抗倾覆计算时，对黏土、粉质黏土宜选择直剪固结快剪或三轴固结不排水剪，对粉土、砂土和碎石土宜选择有效应力强度指标；

3 用于土质边坡计算整体稳定、局部稳定和抗滑稳定性时，对一般的黏性土、砂土和碎石土，按第 2 款相同的试验方法，但对饱和软黏性土，宜选择直剪快剪、三轴不固结不排水试验或十字板剪切试验。

5 边坡稳定性评价

5.1 一般规定

5.1.1 下列建筑边坡应进行稳定性评价：

- 1 选作建筑场地的自然斜坡；
- 2 由于开挖或填筑形成、需要进行稳定性验算的边坡；
- 3 施工期出现新的不利因素的边坡；
- 4 运行期条件发生变化的边坡。

5.1.2 边坡稳定性评价应在查明工程地质、水文地质条件的基础上，根据边坡岩土工程条件，采用定性分析和定量分析相结合的方法进行。

5.1.3 对土质较软、地面荷载较大、高度较大的边坡，其坡脚地面抗隆起、抗管涌和抗渗流等稳定性评价应按国家现行有关标准执行。

5.2 边坡稳定性分析

5.2.1 边坡稳定性分析之前，应根据岩土工程地质条件对边坡的可能破坏方式及相应破坏方向、破坏范围、影响范围等作出判断。判断边坡的可能破坏方式时应同时考虑到受岩土体强度控制的破坏和受结构面控制的破坏。

5.2.2 边坡抗滑移稳定性计算可采用刚体极限平衡法。对结构复杂的岩质边坡，可结合采用极射赤平投影法和实体比例投影法；当边坡破坏机制复杂时，可采用数值极限分析法。

5.2.3 计算沿结构面滑动的稳定性时，应根据结构面形态采用平面或折线形滑面。计算土质边坡、极软岩边坡、破碎或极破碎岩质边坡的稳定性时，可采用圆弧形滑面。

5.2.4 采用刚体极限平衡法计算边坡抗滑稳定性时，可根据滑

面形态按本规范附录 A 选择具体计算方法。

5.2.5 边坡稳定性计算时，对基本烈度为 7 度及 7 度以上地区的永久性边坡应进行地震工况下边坡稳定性校核。

5.2.6 塌滑区内无重要建（构）筑物的边坡采用刚体极限平衡法和静力数值计算法计算稳定性时，滑体、条块或单元的地震作用可简化为一个作用于滑体、条块或单元重心处、指向坡外（滑动方向）的水平静力，其值应按下列公式计算：

$$Q_e = \alpha_w G \quad (5.2.6-1)$$

$$Q_{ei} = \alpha_w G_i \quad (5.2.6-2)$$

式中： Q_e 、 Q_{ei} ——滑体、第 i 计算条块或单元单位宽度地震力（kN/m）；

G 、 G_i ——滑体、第 i 计算条块或单元单位宽度自重 [含坡顶建（构）筑物作用]（kN/m）；

α_w ——边坡综合水平地震系数，由所在地区地震基本烈度按表 5.2.6 确定。

表 5.2.6 水平地震系数

| 地震基本烈度 | 7 度 | | 8 度 | | 9 度 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 地震峰值加速度 | 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g | 0.40g |
| 综合水平地震系数 α_w | 0.025 | 0.038 | 0.050 | 0.075 | 0.100 |

5.2.7 当边坡可能存在多个滑动面时，对各个可能的滑动面均应进行稳定性计算。

5.3 边坡稳定性评价标准

5.3.1 除校核工况外，边坡稳定性状态分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四种状态，可根据边坡稳定性系数按表 5.3.1 确定。

表 5.3.1 边坡稳定性状态划分

| | | | | |
|---------------|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 边坡稳定性系数 F_s | $F_s < 1.00$ | $1.00 \leq F_s < 1.05$ | $1.05 \leq F_s < F_{st}$ | $F_s \geq F_{st}$ |
| 边坡稳定性状态 | 不稳定 | 欠稳定 | 基本稳定 | 稳定 |

注： F_{st} ——边坡稳定安全系数。

5.3.2 边坡稳定安全系数 F_{st} 应按表 5.3.2 确定，当边坡稳定性系数小于边坡稳定安全系数时应对边坡进行处理。

表 5.3.2 边坡稳定安全系数 F_{st}

| 稳定安全系数 | | 边坡工程安全等级 | | |
|--------|------|----------|------|------|
| | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 边坡类型 | | | | |
| 永久边坡 | 一般工况 | 1.35 | 1.30 | 1.25 |
| | 地震工况 | 1.15 | 1.10 | 1.05 |
| 临时边坡 | | 1.25 | 1.20 | 1.15 |

注：1 地震工况时，安全系数仅适用于塌滑区内无重要建（构）筑物的边坡；

2 对地质条件很复杂或破坏后果极严重的边坡工程，其稳定安全系数应适当提高。

6 边坡支护结构上的侧向岩土压力

6.1 一般规定

6.1.1 侧向岩土压力分为静止岩土压力、主动岩土压力和被动岩土压力。当支护结构变形不满足主动岩土压力产生条件时，或当边坡上方有重要建筑物时，应对侧向岩土压力进行修正。

6.1.2 侧向岩土压力可采用库仑土压力或朗金土压力公式求解。侧向总岩土压力可采用总岩土压力公式直接计算或按岩土压力公式求和计算，侧向岩土压力和分布应根据支护类型确定。

6.1.3 在各种岩土侧压力计算时，可用解析公式求解。对于复杂情况也可采用数值极限分析法进行计算。

6.2 侧向土压力

6.2.1 静止土压力可按下式计算：

$$e_{0i} = \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j h_j + q \right) K_{0i} \quad (6.2.1)$$

式中： e_{0i} ——计算点处的静止土压力（ kN/m^2 ）；

γ_j ——计算点以上第 j 层土的重度（ kN/m^3 ）；

h_j ——计算点以上第 j 层土的厚度（ m ）；

q ——坡顶附加均布荷载（ kN/m^2 ）；

K_{0i} ——计算点处的静止土压力系数。

6.2.2 静止土压力系数宜由试验确定。当无试验条件时，对砂土可取 0.34~0.45，对黏性土可取 0.50~0.7。

6.2.3 根据平面滑裂面假定（图 6.2.3），主动土压力合力可按下列公式计算：

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (6.2.3-1)$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin^2(\alpha + \beta - \varphi - \delta)} \{ K_q [\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha - \delta) + \sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)] + 2\eta \sin \alpha \cos \varphi \cos(\alpha + \beta - \varphi - \delta) - 2\sqrt{K_q \sin(\alpha + \beta) \sin(\varphi - \beta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi} \times \sqrt{K_q \sin(\alpha - \delta) \sin(\varphi + \delta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi} \} \quad (6.2.3-2)$$

$$K_q = 1 + \frac{2q \sin \alpha \cos \beta}{\gamma H \sin(\alpha + \beta)} \quad (6.2.3-3)$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma H} \quad (6.2.3-4)$$

式中： E_a ——相应于荷载标准组合的主动土压力合力（kN/m）；
 K_a ——主动土压力系数；
 H ——挡土墙高度（m）；
 γ ——土体重度（kN/m³）；
 c ——土的黏聚力（kPa）；
 φ ——土的内摩擦角（°）；
 q ——地表均布荷载标准值（kN/m²）；
 δ ——土对挡土墙墙背的摩擦角（°），可按表 6.2.3 取值；
 β ——填土表面与水平面的夹角（°）；
 α ——支挡结构墙背与水平面的夹角（°）。

表 6.2.3 土对挡土墙墙背的摩擦角 δ

| 挡土墙情况 | 摩擦角 δ |
|-------------|----------------------|
| 墙背平滑，排水不良 | (0.000.33) φ |
| 墙背粗糙，排水良好 | (0.330.50) φ |
| 墙背很粗糙，排水良好 | (0.500.67) φ |
| 墙背与填土间不可能滑动 | (0.671.00) φ |

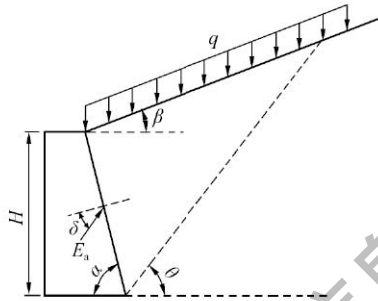


图 6.2.3 土压力计算

6.2.4 当墙背直立光滑、土体表面水平时，主动土压力可按下式计算：

$$e_{ai} = \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j h_j + q \right) K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} \quad (6.2.4)$$

式中：\$e_{ai}\$——计算点处的主动土压力（kN/m²）；当 \$e_{ai} < 0\$ 时取 \$e_{ai} = 0\$；

\$K_{ai}\$——计算点处的主动土压力系数，取 \$K_{ai} = \tan^2 (45^\circ - \varphi_i/2)\$；

\$c_i\$——计算点处土的黏聚力（kPa）；

\$\varphi_i\$——计算点处土的内摩擦角（°）。

6.2.5 当墙背直立光滑、土体表面水平时，被动土压力可按下式计算：

$$e_{pi} = \left(\sum_{j=1}^i \gamma_j h_j + q \right) K_{pi} + 2c_i \sqrt{K_{pi}} \quad (6.2.5)$$

式中：\$e_{pi}\$——计算点处的被动土压力（kN/m²）；

\$K_{pi}\$——计算点处的被动土压力系数，取 \$K_{pi} = \tan^2 (45^\circ + \varphi_i/2)\$。

6.2.6 边坡坡体中有地下水但未形成渗流时，作用于支护结构上的侧压力可按下列规定计算：

- 1 对砂土和粉土应按水土分算原则计算；
- 2 对黏性土宜根据工程经验按水土分算或水土合算原则

计算；

3 按水土分算原则计算时，作用在支护结构上的侧压力等于土压力和静止水压力之和，地下水位以下的土压力采用浮重度 (γ') 和有效应力抗剪强度指标 (c' 、 φ') 计算；

4 按水土合算原则计算时，地下水位以下的土压力采用饱和重度 (γ_{sat}) 和总应力抗剪强度指标 (c 、 φ) 计算。

6.2.7 边坡坡体中有地下水形成渗流时，作用于支护结构上的侧压力，除按本规范第 6.2.6 条计算外，尚应按国家现行有关标准的规定计算渗透力。

6.2.8 当挡墙后土体破裂面以内有较陡的稳定岩石坡面时，应视为有限范围填土情况计算主动土压力 (图 6.2.8)。有限范围填土时，主动土压力合力可按下列公式计算：

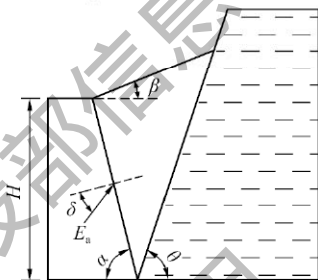


图 6.2.8 有限范围填土时土压力计算

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (6.2.8-1)$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha - \delta + \theta - \delta_r) \sin(\theta - \beta)} \left[\frac{\sin(\alpha + \theta) \sin(\theta - \delta_r)}{\sin^2 \alpha} - \eta \frac{\cos \delta_r}{\sin \alpha} \right] \quad (6.2.8-2)$$

式中： θ ——稳定岩石坡面的倾角 ($^\circ$)；

δ_r ——稳定且无软弱层的岩石坡面与填土间的内摩擦角 ($^\circ$)，宜根据试验确定。当无试验资料时，可取 $\delta_r = (0.400 \sim 0.70) \varphi$ 。 φ 为填土的内摩擦角。

6.2.9 当坡顶作用有线性分布荷载、均布荷载和坡顶填土表面不规则时或岩土边坡为二阶竖直时，在支护结构上产生的侧压力可按本规范附录 B 简化计算。

6.2.10 当边坡的坡面为倾斜、坡顶水平、无超载时 (图

6.2.10), 土压力的合力可按下列公式计算, 边坡破坏时的平面破裂角可按公式 (6.2.10-3) 计算:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (6.2.10-1)$$

$$K_a = (\cot \theta - \cot \alpha') \tan (\theta - \varphi) - \frac{\eta \cos \varphi}{\sin \theta \cos (\theta - \varphi)} \quad (6.2.10-2)$$

$$\theta = \arctan \left[\sqrt{1 + \frac{\cot \alpha'}{\eta + \tan \varphi} - \sin \varphi} \right] \quad (6.2.10-3)$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma h} \quad (6.2.10-4)$$

式中: E_a ——水平土压力合力 (kN/m);

K_a ——水平土压力系数;

h ——边坡的垂直高度 (m);

γ ——支护结构后的土体重度, 地下水位以下用有效重度 (kN/m³);

α' ——边坡坡面与水平面的夹角 (°);

c ——土的黏聚力 (kPa);

φ ——土的内摩擦角 (°);

θ ——土体的临界滑动面与水平面的夹角 (°)。

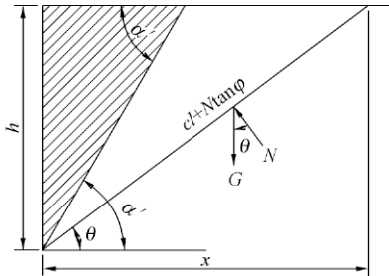


图 6.2.10 边坡的坡面为倾斜时计算简图

6.2.11 考虑地震作用时，作用于支护结构上的地震主动土压力可按本规范公式(6.2.3-1)计算，主动土压力系数应按下式计算：

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \rho \sin^2 \alpha \sin^2(\alpha + \beta - \varphi - \delta)}$$

$$\{ K_q [\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \delta - \rho) + \sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \rho - \beta)]$$

$$+ 2\eta \sin \alpha \cos \varphi \cos \rho \cos(\alpha + \beta - \varphi - \delta)$$

$$- 2[(K_q \sin(\alpha + \beta) \sin(\varphi - \rho - \beta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi \cos \rho)$$

$$(K_q \sin(\alpha - \delta - \rho) \sin(\varphi + \delta)$$

$$+ \eta \sin \alpha \cos \varphi \cos \rho)]^{0.5} \} \quad (6.2.11)$$

式中： ρ ——地震角，可按表6.2.11取值。

表 6.2.11 地震角 ρ

| 类别 | 7度 | | 8度 | | 9度 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.10g | 0.15g | 0.20g | 0.30g | 0.40g |
| 水上 | 1.5° | 2.3° | 3.0° | 4.5° | 6.0° |
| 水下 | 2.5° | 3.8° | 5.0° | 7.5° | 10.0° |

6.3 侧向岩石压力

6.3.1 对沿外倾结构面滑动的边坡，主动岩石压力合力可按下列公式计算：

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (6.3.1-1)$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta + \theta - \varphi_s) \sin(\theta - \beta)}$$

$$[K_q \sin(\alpha + \theta) \sin(\theta - \varphi_s) - \eta \sin \alpha \cos \varphi_s] \quad (6.3.1-2)$$

$$\eta = \frac{2c_s}{\gamma H} \quad (6.3.1-3)$$

式中： θ ——边坡外倾结构面倾角(°)；

c_s ——边坡外倾结构面黏聚力(kPa)；

φ_s ——边坡外倾结构面内摩擦角 ($^\circ$);

K_q ——系数,可按公式 6.2.3-3) 计算;

δ ——岩石与挡墙背的摩擦角 ($^\circ$),取 $(0.330.50)\varphi_0$ 。

当有多组外倾结构面时,应计算每组结构面的主动岩石压力并取其大值。

6.3.2 对沿缓倾的外倾软弱结构面滑动的边坡(图 6.3.2),主动岩石压力合力可按下式计算:

$$E_a = G \tan(\theta - \varphi_s) - \frac{c_s L \cos \varphi_s}{\cos(\theta - \varphi_s)} \quad (6.3.2)$$

式中: G ——四边形滑裂体自重 (kN/m);

L ——滑裂面长度 (m);

θ ——缓倾的外倾软弱结构面的倾角 ($^\circ$);

c_s ——外倾软弱结构面的黏聚力 (kPa);

φ_s ——外倾软弱结构面内摩擦角 ($^\circ$)。

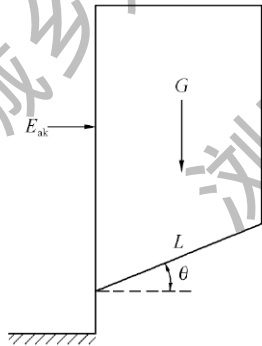


图 6.3.2 岩质边坡四边形滑裂时侧向压力计算

6.3.3 岩质边坡的侧向岩石压力计算和破裂角应符合下列规定:

1 对无外倾结构面的岩质边坡,应以岩体等效内摩擦角按侧向土压力方法计算侧向岩石压力;对坡顶无建筑荷载的永久性边坡和坡顶有建筑荷载时的临时性边坡和基坑边坡,破裂角按 $45^\circ + \varphi/2$ 确定, I 类岩体边坡可取 75° 左右;坡顶无建筑荷载的临时性边坡和基坑边坡的破裂角, I 类岩体边坡取 82° ; II 类岩

体边坡取 72° ；Ⅲ类岩体边坡取 62° ；Ⅳ类岩体边坡取 $45^\circ + \varphi/2^\circ$ ；

2 当有外倾硬性结构面时，应分别以外倾硬性结构面的抗剪强度参数按本规范第 6.3.1 条的方法和以岩体等效内摩擦角按侧向土压力方法分别计算，取两种结果的较大值；破裂角取本条第 1 款和外倾结构面倾角两者中的较小值；

3 当边坡沿外倾软弱结构面破坏时，侧向岩石压力应按本规范第 6.3.1 条和第 6.3.2 条计算，破裂角取该外倾结构面的倾角，同时应按本条第 1 款进行验算。

6.3.4 当岩质边坡的坡面为倾斜、坡顶水平、无超载时，岩石压力的合力可按本规范公式 (6.2.10-1) 计算。当岩体存在外倾结构面时， θ 可取外倾结构面的倾角，抗剪强度指标取外倾结构面的抗剪强度指标；当存在多个外倾结构面时，应分别计算，取其中的最大值为设计值。

6.3.5 考虑地震作用时，作用于支护结构上的地震主动岩石压力应按本规范第 6.3.1 条公式 (6.3.1-1) 计算，其主动岩石压力系数应按下式计算：

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \rho \sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta + \theta - \varphi_s) \sin(\theta - \beta)} \\ [K_q \sin(\alpha + \theta) \sin(\theta - \varphi_s + \rho) - \eta \sin \alpha \cos \varphi_s \cos \rho] \quad (6.3.5)$$

式中： ρ ——地震角，可按本规范表 6.2.11 取值。

7 坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程

7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于抗震设防烈度为 7 度及 7 度以下地区、建（构）筑物位于岩土质边坡塌滑区、土质边坡 1 倍边坡高度和岩质边坡 0.5 倍边坡高度范围的边坡工程。

7.1.2 对坡顶有重要建（构）筑物的下列边坡应优先采用排桩式锚杆挡墙、锚拉式桩板挡墙或抗滑桩板式挡墙等主动受力、变形较小、对边坡稳定性和建筑物地基基础扰动小的支护结构：

- 1 建（构）筑物基础置于塌滑区内的边坡；
- 2 存在外倾软弱结构面或坡体软弱、开挖后稳定性较差的边坡；
- 3 建（构）筑物及管线等对变形控制有较高要求的边坡；
- 4 采用其他支护方案在施工期可能降低边坡稳定性的边坡。

7.1.3 对坡顶邻近建（构）筑物、道路及管线等可能引发较大变形或危害的边坡工程应加强监测并采取设计和施工措施。当出现可能产生较大危害的变形时，应按现行国家标准《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843 的有关规定执行。

7.2 设计计算

7.2.1 坡顶有重要建（构）筑物的边坡工程设计应符合下列规定：

- 1 应调查建（构）筑物的结构形式、基础平面布置、基础荷载、基础类型、埋置深度、建（构）筑物的开裂及场地变形以及地下管线等现状情况；

- 2 应根据基础方案、构造做法和基础到边坡的距离等因素，考虑建筑物基础与边坡支护结构的相互影响；

3 应考虑建筑物基础传递的垂直荷载、水平荷载和弯矩等对边坡支护结构强度和变形的影响，并应对边坡稳定性进行验算；

4 应考虑边坡变形对地基承载力和基础变形的不利影响，并应对建筑物基础和地基稳定性进行验算；

5 边坡支护结构距建（构）筑物基础外边缘的最小安全距离应满足坡顶建筑（构）物抗倾覆、基础嵌固和传递水平荷载等要求，其值应根据设防烈度、边坡的稳定性、边坡岩土构成、边坡高度和建筑高度等因素并结合地区工程经验综合确定；不满足时应根据工程和现场条件采取有效加固措施；

6 对于有外倾结构面的岩质边坡以及土质边坡，边坡开挖后不应使建（构）筑物的基础置于有临空且有外倾软弱结构面的岩体上和稳定性极差的土质边坡塌滑区。

7.2.2 边坡与坡顶建（构）筑物同步设计的边坡工程及坡顶新建建（构）筑物的既有边坡工程应符合下列规定：

1 应避免坡顶重要建（构）筑物产生的垂直荷载直接作用在边坡潜在塌滑体上；应采取桩基础、加深基础、增设地下室或降低边坡高度等措施，将建（构）筑物的荷载直接传至边坡潜在破裂面以下足够深度的稳定岩土层内；

2 新建建（构）筑物的基础设计、边坡支护结构距建（构）筑物基础外边缘的距离应满足本规范第 7.2.1 条的相关规定；

3 应考虑建（构）筑物基础施工过程中引起地下水变化对边坡稳定性的影响；

4 位于抗震设防区，边坡支护结构抗震设计应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；坡顶的建（构）筑物的抗震设计应按抗震不利地段考虑，地震效应放大系数应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；

5 新建建（构）筑物的部分荷载作用于原有边坡支护结构而使其安全度和耐久性不满足要求时，应按现行国家标准《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843 的要求进行加固处理。

7.2.3 无外倾结构面的岩土质边坡坡顶有重要建（构）筑物时，可按表 7.2.3 确定支护结构上的侧向岩土压力。

表 7.2.3 侧向岩土压力取值

| 坡顶重要建（构）筑物基础位置 | | 侧向岩土压力取值 |
|----------------|-------------------------|---------------------------------|
| 土质 边坡 | $a < 0.5H$ | E_0 |
| | $0.5H \leq a \leq 1.0H$ | $E'_a = \frac{1}{2}(E_0 + E_a)$ |
| | $a > 1.0H$ | E_a |
| 岩质 边坡 | $a < 0.5H$ | $E'_a = \beta_1 E_a$ |
| | $a \geq 0.5H$ | E_a |

注：1 E_a ——主动岩土压力合力， E'_a ——修正主动岩土压力合力， E_0 ——静止土压力合力；

2 β_1 ——主动岩石压力修正系数；

3 a ——坡脚线到坡顶重要建（构）筑物基础外边缘的水平距离；

4 对多层建筑物，当基础浅埋时 H 取边坡高度；当基础埋深较大时，若基础周边与岩土间设置摩擦小的软性材料隔离层，能使基础垂直荷载传至边坡破裂面以下足够深度的稳定岩土层内且其水平荷载对边坡不造成较大影响，则 H 可从隔离层下端算至坡底；否则， H 仍取边坡高度；

5 对高层建筑物应设置钢筋混凝土地下室，并在地下室侧墙临边坡一侧设置摩擦小的软性材料隔离层，使建筑物基础的水平荷载不传给支护结构，并将建筑物垂直荷载传至边坡破裂面以下足够深度的稳定岩土层内时， H 可从地下室底标高算至坡底；否则， H 仍取边坡高度。

7.2.4 岩质边坡主动岩石压力修正系数 β_1 ，可根据边坡岩体类别按表 7.2.4 确定。

表 7.2.4 主动岩石压力修正系数 β_1

| 边坡岩体类型 | I | II | III | IV |
|----------------------|------|----|----------|----------|
| 主动岩石压力修正系数 β_1 | 1.30 | | 1.301.45 | 1.451.55 |

注：1 当裂隙发育时取大值，裂隙不发育时取小值；

2 坡顶有重要既有建（构）筑物对边坡变形控制要求较高时取大值；

3 对临时性边坡及基坑边坡取小值。

7.2.5 坡顶有重要建（构）筑物的有外倾结构面的岩土质边坡侧压力修正应符合下列规定：

1 对有外倾结构面的土质边坡，其侧压力修正值应按本规范第 7.2.4 条计算后乘以 1.30 的增大系数，应按本规范第 7.2.3 条分别计算并取两个计算结果的最大值；

2 对有外倾结构面的岩质边坡，其侧压力修正值应按本规范第 6.3.1 条和本规范第 6.3.2 条计算并乘以 1.15 的增大系数，应按本规范第 7.2.3 条分别计算并取两个计算结果的最大值。

7.2.6 采用锚杆挡墙的岩土质边坡侧压力设计值应按本章规定计算的岩土侧压力修正值和本规范第 9.2.2 条计算的岩土侧压力修正值两者中的大值确定。

7.2.7 对支护结构变形控制有较高要求时，可按本规范第 7.2.37.2.5 条确定边坡侧压力修正值。

7.2.8 当岩质边坡塌滑区或土质边坡 1 倍坡高范围内有建（构）筑物基础传递较大荷载时，除应验算边坡工程的整体稳定性外，还应加长锚杆，使锚固段锚入岩质边坡塌滑区外，土质边坡的与地面线间成 45° 外不应少于 5m，并应采用长短相间的设置方法。

7.2.9 在已建挡墙坡脚新建建（构）筑时，其基础及地下室等宜与边坡有一定的距离，避免对边坡稳定造成不利影响，否则应采取处理措施。

7.2.10 位于边坡坡顶的挡墙及建（构）筑物基础应按国家现行有关规范的规定进行局部稳定性验算。

7.3 构造设计

7.3.1 支护结构的混凝土强度等级不应低于 C30。

7.3.2 在已有边坡坡顶新建重要建（构）筑物时，穿越边坡滑塌体及软弱结构面高度范围的新建重要建（构）筑物基础周边与岩土间应设有摩擦小的软性材料隔离层，使基础垂直荷载传递至边坡破裂面及软弱结构面以下足够深度的稳定岩土层内。

7.3.3 穿越边坡滑塌体及软弱结构面的桩基础经隔离处理后，应按国家现行相关标准的规定加强基础结构配筋及基础节点构造，桩身最小配筋率不宜小于 0.60%。

7.3.4 边坡支护结构及其锚杆的设置应注意避免与坡顶建筑结构及其基础相碰。

7.3.5 设计时应明确提出避免对周边环境和坡顶建（构）筑物、道路及管线等造成伤害的技术要求和措施。当边坡开挖需要降水时，应考虑降水、排水对坡顶建筑物、道路、管线及边坡可能产生的不利影响，并有避免造成结构性损坏的措施。

7.3.6 坡顶邻近有重要建（构）筑物时，应根据其重要性、对变形的适应能力和岩土性状等因素，按当地经验确定边坡支护结构的变形允许值，并应采取措施避免边坡支护结构过大变形和地下水的变化、施工因素的干扰等造成坡顶建（构）筑物结构开裂及其基础沉降超过允许值。

7.4 施 工

7.4.1 边坡工程施工应采用信息法，施工过程中应对边坡工程及坡顶建（构）筑物进行实时监测，及时了解和分析监测信息，对可能出现的险情应制定防范措施和应急预案。施工中如发现与勘察、设计不符或者出现异常情况时，应停止施工作业，并及时向建设、勘察、施工、监理、监测等单位反馈，研究解决措施。

7.4.2 施工前应根据现场实际情况作好地表截排水措施。应采用逆作法施工的边坡，应在上层边坡支护完成后方可进行下一层的开挖。边坡开挖后应及时支挡，避免长时间暴露。

7.4.3 稳定性较差的边坡开挖方案应按不利工况进行边坡稳定和变形验算，当开挖的边坡稳定性不满足要求时，应采取增强施工期边坡稳定性。

7.4.4 当水钻成孔可能诱发边坡和周边环境变形过大等不良影响时，应采用无水成孔法。

8 锚杆(索)

8.1 一般规定

8.1.1 当边坡工程采用锚固方案或包含有锚固措施时，应充分考虑锚杆的特性、锚杆与被锚固结构体系的稳定性、经济性以及施工可行性。

8.1.2 锚杆(索)主要分为拉力型、压力型、荷载拉力分散型和荷载压力分散型，适用于边坡工程和岩质基坑工程。

8.1.3 锚杆设计使用年限应与所服务的边坡工程设计使用年限相同，其防腐等级应达到相应的要求。

8.1.4 锚杆的锚固段不应设置在未经处理的下列岩土层中：

- 1 有机质土，淤泥质土；
- 2 液限 w_L 大于 50% 的土层；
- 3 松散的砂土或碎石土。

8.1.5 下列情况宜采用预应力锚杆：

- 1 边坡变形控制要求严格时；
- 2 边坡在施工期稳定性很差时；
- 3 高度较大的土质边坡采用锚杆支护时；
- 4 高度较大且存在外倾软弱结构面的岩质边坡采用锚杆支护时；
- 5 滑坡整治采用锚杆支护时。

8.1.6 下列情况的锚杆(索)应进行基本试验，并应符合本规范附录 C 的规定：

- 1 采用新工艺、新材料或新技术的锚杆(索)；
- 2 无锚固工程经验的岩土层内的锚杆(索)；
- 3 一级边坡工程的锚杆(索)。

8.1.7 锚杆(索)的形式应根据锚固段岩土层的工程特性、锚

杆（索）承载力大小、锚杆（索）材料和长度以及施工工艺等因素综合考虑，可按本规范附录 D 选择。

8.2 设计计算

8.2.1 锚杆（索）轴向拉力标准值应按下列公式计算：

$$N_{ak} = \frac{H_{tk}}{\cos\alpha} \quad (8.2.1)$$

式中： N_{ak} ——相应于作用的标准组合时锚杆所受轴向拉力（kN）；

H_{tk} ——锚杆水平拉力标准值（kN）；

α ——锚杆倾角（°）。

8.2.2 锚杆（索）钢筋截面面积应满足下列公式的要求：

普通钢筋锚杆：

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_y} \quad (8.2.2-1)$$

预应力锚索锚杆：

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_{py}} \quad (8.2.2-2)$$

式中： A_s ——锚杆钢筋或预应力锚索截面面积（ m^2 ）；

f_y ， f_{py} ——普通钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值（kPa）；

K_b ——锚杆杆体抗拉安全系数，应按表 8.2.2 取值。

表 8.2.2 锚杆杆体抗拉安全系数

| 边坡工程安全等级 | 安全系数 | |
|----------|-------|-------|
| | 临时性锚杆 | 永久性锚杆 |
| 一级 | 1.8 | 2.2 |
| 二级 | 1.6 | 2.0 |
| 三级 | 1.4 | 1.8 |

8.2.3 锚杆（索）锚固体与岩土层间的长度应满足下列公式的要求：

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{\pi \cdot D \cdot f_{rbk}} \quad (8.2.3)$$

式中： K ——锚杆锚固体抗拔安全系数，按表 8.2.3-1 取值；

l_a ——锚杆锚固段长度（m），尚应满足本规范第 8.4.1 条的规定；

f_{rbk} ——岩土层与锚固体极限粘结强度标准值（kPa），应通过试验确定；当无试验资料时可按表 8.2.3-2 和表 8.2.3-3 取值；

D ——锚杆锚固段钻孔直径（mm）。

表 8.2.3-1 岩土锚杆锚固体抗拔安全系数

| 边坡工程安全等级 | 安全系数 | |
|----------|-------|-------|
| | 临时性锚杆 | 永久性锚杆 |
| 一级 | 2.0 | 2.6 |
| 二级 | 1.8 | 2.4 |
| 三级 | 1.6 | 2.2 |

表 8.2.3-2 岩石与锚固体极限粘结强度标准值

| 岩石类别 | f_{rbk} 值（kPa） |
|------|------------------|
| 极软岩 | 270360 |
| 软岩 | 360760 |
| 较软岩 | 7601200 |
| 较硬岩 | 12001800 |
| 坚硬岩 | 18002600 |

注：1 适用于注浆强度等级为 M30；

2 仅适用于初步设计，施工时应通过试验检验；

3 岩体结构面发育时，取表中下限值；

4 岩石类别根据天然单轴抗压强度 f_r 划分： $f_r < 5\text{MPa}$ 为极软岩， $5\text{MPa} \leq f_r < 15\text{MPa}$ 为软岩， $15\text{MPa} \leq f_r < 30\text{MPa}$ 为较软岩， $30\text{MPa} \leq f_r < 60\text{MPa}$ 为较硬岩， $f_r \geq 60\text{MPa}$ 为坚硬岩。

表 8.2.3-3 土体与锚固体极限粘结强度标准值

| 土层种类 | 土的状态 | f_{rbk} 值 (kPa) |
|------|------|-------------------|
| 黏性土 | 坚硬 | 65100 |
| | 硬塑 | 5065 |
| | 可塑 | 4050 |
| | 软塑 | 2040 |
| 砂土 | 稍密 | 100140 |
| | 中密 | 140200 |
| | 密实 | 200280 |
| 碎石土 | 稍密 | 120160 |
| | 中密 | 160220 |
| | 密实 | 220300 |

- 注：1 适用于注浆强度等级为 M30；
2 仅适用于初步设计，施工时应通过试验检验。

8.2.4 锚杆（索）杆体与锚固砂浆间的锚固长度应满足下式的要求：

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{\pi n d f_b} \quad (8.2.4)$$

式中： l_a ——锚筋与砂浆间的锚固长度（m）；

d ——锚筋直径（m）；

n ——杆体（钢筋、钢绞线）根数（根）；

f_b ——钢筋与锚固砂浆间的粘结强度设计值（kPa），应由试验确定，当缺乏试验资料时可按表 8.2.4 取值。

表 8.2.4 钢筋、钢绞线与砂浆之间的粘结强度设计值 f_b

| 锚杆类型 | 水泥石或水泥砂浆强度等级 | | |
|------------------------------|--------------|------|------|
| | M25 | M30 | M35 |
| 水泥砂浆与螺纹钢筋间的粘结强度设计值 f_b | 2.10 | 2.40 | 2.70 |
| 水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝间的粘结强度设计值 f_b | 2.75 | 2.95 | 3.40 |

- 注：1 当采用二根钢筋点焊成束的做法时，粘结强度应乘 0.85 折减系数；
2 当采用三根钢筋点焊成束的做法时，粘结强度应乘 0.7 折减系数；
3 成束钢筋的根数不应超过三根，钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的 20%。当锚固段钢筋和注浆材料采用特殊设计，并经试验验证锚固效果好时，可适当增加锚筋用量。

8.2.5 永久性锚杆抗震验算时，其安全系数应按 0.8 折减。

8.2.6 锚杆（索）的弹性变形和水平刚度系数应由锚杆抗拔试验确定。当无试验资料时，自由段无粘结的岩石锚杆水平刚度系数 K_h 及自由段无粘结的土层锚杆水平刚度系数 K_t 可按下列公式进行估算：

$$K_h = \frac{AE_s}{l_f} \cos^2 \alpha \quad (8.2.6-1)$$

$$K_t = \frac{3AE_s E_c A_c}{3l_f E_c A_c + E_s A l_a} \cos^2 \alpha \quad (8.2.6-2)$$

式中： K_h ——自由段无粘结的岩石锚杆水平刚度系数（kN/m）；

K_t ——自由段无粘结的土层锚杆水平刚度系数（kN/m）；

l_f ——锚杆无粘结自由段长度（m）；

l_a ——锚杆锚固段长度，特指锚杆杆体与锚固体粘结的长度（m）；

E_s ——杆体弹性模量（kN/m²）；

E_m ——注浆体弹性模量（kN/m²）；

E_c ——锚固体组合弹性模量， $E_c = \frac{AE_s + (A_c - A) E_m}{A_c}$ ；

A ——杆体截面面积（m²）；

A_c ——锚固体截面面积（m²）；

α ——锚杆倾角（°）。

8.2.7 预应力岩石锚杆和全粘结岩石锚杆可按刚性拉杆考虑。

8.3 原 材 料

8.3.1 锚杆（索）原材料性能应符合国家现行标准的有关规定，并应满足设计要求，方便施工，且材料之间不应产生不良影响。

8.3.2 锚杆（索）杆体可使用普通钢材、精轧螺纹钢、钢绞线包括无粘结钢绞线和高强钢丝，其材料尺寸和力学性能应符合本规范附录 E 的规定；不宜采用镀锌钢材。

8.3.3 灌浆材料性能应符合下列规定：

1 水泥宜使用普通硅酸盐水泥，需要时可采用抗硫酸盐水泥；

2 砂的含泥量按重量计不得大于 3%，砂中云母、有机物、硫化物和硫酸盐等有害物质的含量按重量计不得大于 1%；

3 水中不应含有影响水泥正常凝结和硬化的有害物质，不得使用污水；

4 外加剂的品种和掺量应由试验确定；

5 浆体配制的灰砂比宜为 0.801.50，水灰比宜为 0.38 0.50；

6 浆体材料 28d 的无侧限抗压强度，不应低于 25MPa。

8.3.4 锚具应符合下列规定：

1 预应力筋用锚具、夹具和连接器的性能均应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定；

2 预应力锚具的锚固效率应至少发挥预应力杆体极限抗拉力的 95%以上，达到实测极限拉力时的总应变应小于 2%；

3 锚具应具有补偿张拉和松弛的功能，需要时可采用可以调节拉力的锚头；

4 锚具罩应采用钢材或塑料材料制作加工，需完全罩住锚杆头和预应力筋的尾端，与支承面的接缝应为水密性接缝。

8.3.5 套管材料和波纹管应符合下列规定：

1 具有足够的强度，保证其在加工和安装过程中不损坏；

2 具有抗水性和化学稳定性；

3 与水泥浆、水泥砂浆或防腐油脂接触无不良反应。

8.3.6 防腐材料应符合下列规定：

1 在锚杆设计使用年限内，保持其防腐性能和耐久性；

2 在规定的工作温度内或张拉过程中不得开裂、变脆或成为流体；

3 应具有化学稳定性和防水性，不得与相邻材料发生不良反应；不得对锚杆自由段的变形产生限制和不良影响。

8.3.7 导向帽、隔离架应由钢、塑料或其他对杆体无害的材料组成，不得使用木质隔离架。

8.4 构造设计

8.4.1 锚杆总长度应为锚固段、自由段和外锚头的长度之和，并应符合下列规定：

1 锚杆自由段长度应为外锚头到潜在滑裂面的长度；预应力锚杆自由段长度应不小于 5.0m，且应超过潜在滑裂面 1.5m；

2 锚杆锚固段长度应按本规范公式（8.2.3）和公式（8.2.4）进行计算，并取其中大值。同时，土层锚杆的锚固段长度不应小于 4.0m，并不宜大于 10.0m；岩石锚杆的锚固段长度不应小于 3.0m，且不宜大于 $45D$ 和 6.5m，预应力锚索不宜大于 $55D$ 和 8.0m；

3 位于软质岩中的预应力锚索，可根据地区经验确定最大锚固长度；

4 当计算锚固段长度超过构造要求长度时，应采取改善锚固段岩土体质量、压力灌浆、扩大锚固段直径、采用荷载分散型锚杆等，提高锚杆承载能力。

8.4.2 锚杆的钻孔直径应符合下列规定：

1 钻孔内的锚杆钢筋面积不超过钻孔面积的 20%；

2 钻孔内的锚杆钢筋保护层厚度，对永久性锚杆不应小于 25mm，对临时性锚杆不应小于 15mm。

8.4.3 锚杆的倾角宜采用 $10^{\circ}35'$ ，并应避免对相邻构筑物产生不利影响。

8.4.4 锚杆隔离架应沿锚杆轴线方向每隔 1m3m 设置一个，对土层应取小值，对岩层可取大值。

8.4.5 预应力锚杆传力结构应符合下列规定：

1 预应力锚杆传力结构应有足够的强度、刚度、韧性和耐久性；

2 强风化或软弱破碎岩质边坡和土质边坡宜采用框架格构

型钢筋混凝土传力结构；

3 对 I、II 类及完整性好的 III 类岩质边坡，宜采用墩座或地梁型钢筋混凝土传力结构；

4 传力结构与坡面的结合部位应做好防排水设计及防腐措施；

5 承压板及过渡管宜由钢板和钢管制成，过渡管钢管壁厚不宜小于 5mm。

8.4.6 当锚固段岩体破碎、渗（失）水量大时，应对岩体作灌浆加固处理。

8.4.7 永久性锚杆的防腐蚀处理应符合下列规定：

1 非预应力锚杆的自由段位于岩土层中时，可采用除锈、刷沥青船底漆和沥青玻纤布缠裹二层进行防腐蚀处理；

2 对采用钢绞线、精轧螺纹钢制作的预应力锚杆（索），其自由段可按本条第 1 款进行防腐蚀处理后装入套管中；自由段套管两端 100mm×200mm 长度范围内用黄油充填，外绕扎工程胶布固定；

3 对位于无腐蚀性岩土层内的锚固段，水泥浆或水泥砂浆保护层厚度应不小于 25mm；对位于腐蚀性岩土层内的锚固段，应采取特殊防腐蚀处理，且水泥浆或水泥砂浆保护层厚度不应小于 50mm；

4 经过防腐蚀处理后，非预应力锚杆的自由段外端应埋入钢筋混凝土构件内 50mm 以上；对预应力锚杆，其锚头的锚具经除锈、涂防腐漆三度后应采用钢筋网罩、现浇混凝土封闭，且混凝土强度等级不应低于 C30，厚度不应小于 100mm，混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

8.4.8 临时性锚杆的防腐蚀可采取下列处理措施：

1 非预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆处理；

2 预应力锚杆的自由段，可采用除锈后刷沥青防锈漆或加套管处理；

3 外锚头可采用外涂防腐材料或外包混凝土处理。

8.5 施 工

8.5.1 锚杆施工前应做好下列准备工作：

- 1 应掌握锚杆施工区建（构）筑物基础、地下管线等情况；
- 2 应判断锚杆施工对邻近建筑物和地下管线的不良影响，并制定相应预防措施；
- 3 编制符合锚杆设计要求的施工组织设计；并应检验锚杆的制作工艺和张拉锁定方法与设备；确定锚杆注浆工艺并标定张拉设备；
- 4 应检查原材料的品种、质量和规格型号，以及相应的检验报告。

8.5.2 锚孔施工应符合下列规定：

- 1 锚孔定位偏差不宜大于 20.0mm；
- 2 锚孔偏斜度不应大于 2%；
- 3 钻孔深度超过锚杆设计长度不应小于 0.5m。

8.5.3 钻孔机械应考虑钻孔通过的岩土类型、成孔条件、锚固类型、锚杆长度、施工现场环境、地形条件、经济性和施工速度等因素进行选择。在不稳定地层中或地层受扰动导致水土流失会危及邻近建筑物或公用设施的稳定时，应采用套管护壁钻孔或干钻。

8.5.4 锚杆的灌浆应符合下列规定：

- 1 灌浆前应清孔，排放孔内积水；
- 2 注浆管宜与锚杆同时放入孔内；向水平孔或下倾孔内注浆时，注浆管出浆口应插入距孔底 100mm300mm 处，浆液自下而上连续灌注；向上倾斜的钻孔内注浆时，应在孔口设置密封装置；
- 3 孔口溢出浆液或排气管停止排气并满足注浆要求时，可停止注浆；
- 4 根据工程条件和设计要求确定灌浆方法和压力，确保钻

孔灌浆饱满和浆体密实；

5 浆体强度检验用试块的数量每 30 根锚杆不应少于一组，每组试块不应少于 6 个。

8.5.5 预应力锚杆锚头承压板及其安装应符合下列规定：

- 1 承压板应安装平整、牢固，承压面应与锚孔轴线垂直；
- 2 承压板底部的混凝土应填充密实，并满足局部抗压强度要求。

8.5.6 预应力锚杆的张拉与锁定应符合下列规定：

1 锚杆张拉宜在锚固体强度大于 20MPa 并达到设计强度的 80% 后进行；

2 锚杆张拉顺序应避免相近锚杆相互影响；

3 锚杆张拉控制应力不宜超过 0.65 倍钢筋或钢绞线的强度标准值；

4 锚杆进行正式张拉之前，应取 0.10 倍 0.20 倍锚杆轴向拉力值，对锚杆预张拉 1 次 2 次，使其各部位的接触紧密和杆体完全平直；

5 宜进行锚杆设计预应力值 1.05 倍 1.10 倍的超张拉，预应力保留值应满足设计要求；对地层及被锚固结构位移控制要求较高的工程，预应力锚杆的锁定值宜为锚杆轴向拉力特征值；对容许地层及被锚固结构产生一定变形的工程，预应力锚杆的锁定值宜为锚杆设计预应力值的 0.75 倍 0.90 倍。

9 锚杆（索）挡墙

9.1 一般规定

9.1.1 锚杆挡墙可分为下列形式：

1 根据挡墙的结构形式可分为板肋式锚杆挡墙、格构式锚杆挡墙和排桩式锚杆挡墙；

2 根据锚杆的类型可分为非预应力锚杆挡墙和预应力锚杆（索）挡墙。

9.1.2 下列边坡宜采用排桩式锚杆挡墙支护：

1 位于滑坡区或切坡后可能引发滑坡的边坡；

2 切坡后可能沿外倾软弱结构面滑动、破坏后果严重的边坡；

3 高度较大、稳定性较差的土质边坡；

4 边坡塌滑区内有重要建筑物基础的Ⅳ类岩质边坡和土质边坡。

9.1.3 在施工期稳定性较好的边坡，可采用板肋式或格构式锚杆挡墙。

9.1.4 填方锚杆挡墙在设计 and 施工时应采取有效措施防止新填方土体沉降造成的锚杆附加拉应力过大。高度较大的新填方边坡不宜采用锚杆挡墙方案。

9.2 设计计算

9.2.1 锚杆挡墙设计应包括下列内容：

1 侧向岩土压力计算；

2 挡墙结构内力计算；

3 立柱嵌入深度计算；

4 锚杆计算和混凝土结构局部承压强度以及抗裂性计算；

5 挡板、立柱（肋柱或排桩）及其基础设计；

6 边坡变形控制设计；

7 整体稳定性分析；

8 施工方案建议和监测要求。

9.2.2 坡顶无建（构）筑物且不需对边坡变形进行控制的锚杆挡墙，其侧向岩土压力合力可按下式计算：

$$E'_{ah} = E_{ah}\beta_2 \quad (9.2.2)$$

式中： E'_{ah} ——相应于作用的标准组合时，每延米侧向岩土压力合力水平分力修正值（kN）；

E_{ah} ——相应于作用的标准组合时，每延米侧向主动岩土压力合力水平分力（kN）；

β_2 ——锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数，应根据岩土类别和锚杆类型按表 9.2.2 确定。

表 9.2.2 锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数 β_2

| 锚杆类型 岩土类别 | 非预应力锚杆 | | 预应力锚杆 | | |
|--------------|--------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|
| | 土层锚杆 | 自由段为土层的 岩石锚杆 | 自由段为岩层的 岩石锚杆 | 自由段为 土层时 | 自由段为 岩层时 |
| β_2 | 1.11.2 | 1.11.2 | 1.0 | 1.21.3 | 1.1 |

注：当锚杆变形计算值较小时取大值，较大时取小值。

9.2.3 确定岩土自重产生的锚杆挡墙侧压力分布，应考虑锚杆层数、挡墙位移大小、支护结构刚度和施工方法等因素，可简化为三角形、梯形或当地经验图形。

9.2.4 填方锚杆挡墙和单排锚杆的土层锚杆挡墙的侧压力，可近似按库仑理论取为三角形分布。

9.2.5 对岩质边坡以及坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土类边坡，当采用逆作法施工的、柔性结构的多层锚杆挡墙时，侧压力分布可近似按图 9.2.5 确定，

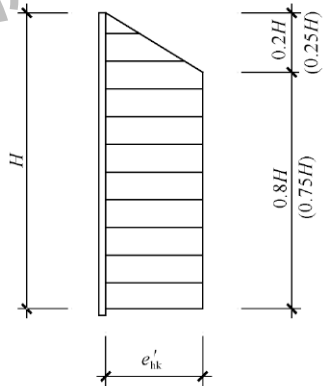


图 9.2.5 锚杆挡墙侧压力分布图

（括号内数值适用于土质边坡）

图中 e'_{ah} 按下列公式计算：

对岩质边坡：

$$e'_{ah} = \frac{E'_{ah}}{0.9H} \quad (9.2.5-1)$$

对土质边坡：

$$e'_{ah} = \frac{E'_{ah}}{0.875H} \quad (9.2.5-2)$$

式中： e'_{ah} ——相应于作用的标准组合时侧向岩土压力水平分力修正值 (kN/m^2)；

H ——挡墙高度 (m)。

9.2.6 对板肋式和排桩式锚杆挡墙，立柱荷载取立柱受荷范围内的最不利荷载效应标准组合值。

9.2.7 岩质边坡以及坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土类边坡的锚杆挡墙，立柱可按下列规定计算：

1 立柱可按支承于刚性锚杆上的连续梁计算内力；当锚杆变形较大时立柱宜按支承于弹性锚杆上的连续梁计算内力；

2 根据立柱下端的嵌岩程度，可按铰接端或固定端考虑；当立柱位于强风化岩层以及坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土内时，其嵌入深度可按等值梁法计算。

9.2.8 除坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土类外的土质边坡锚杆挡墙，结构内力宜按弹性支点法计算。当锚固点水平变形较小时，结构内力可按静力平衡法或等值梁法计算，计算方法可按本规范附录 F 执行。

9.2.9 根据挡板与立柱连接构造的不同，挡板可简化为支撑在立柱上的水平连续板、简支板或双铰拱板；设计荷载可取板所处位置的岩土压力值。岩质边坡锚杆挡墙或坚硬、硬塑状黏性土和密实、中密砂土等且排水良好的挖方土质边坡锚杆挡墙，可根据当地的工程经验考虑两立柱间岩土形成的卸荷拱效应。

9.2.10 当锚固点变形较小时，钢筋混凝土格构式锚杆挡墙可简化为支撑在锚固点上的井字梁进行内力计算；当锚固点变形较大

时，应考虑变形对格构式挡墙内力的影响。

9.2.11 由支护结构、锚杆和地层组成的锚杆挡墙体系的整体稳定性验算可采用圆弧滑动法或折线滑动法，并应符合本规范第5章的相关规定。

9.3 构造设计

9.3.1 锚杆挡墙支护结构立柱的间距宜采用 2.0m~6.0m。

9.3.2 锚杆挡墙支护中锚杆的布置应符合下列规定：

1 锚杆上下排垂直间距、水平间距均不宜小于 2.0m；

2 当锚杆间距小于上述规定或锚固段岩土层稳定性较差时，锚杆宜采用长短相间的方式布置；

3 第一排锚杆锚固体上覆土层的厚度不宜小于 4.0m，上覆岩层的厚度不宜小于 2.0m；

4 第一锚点位置可设于坡顶下 1.5m~2.0m 处；

5 锚杆的倾角宜采用 10° ~ 35° ；

6 锚杆布置应尽量与边坡走向垂直，并应与结构面呈较大倾角相交；

7 立柱位于土层时宜在立柱底部附近设置锚杆。

9.3.3 立柱、挡板和格构梁的混凝土强度等级不应小于 C25。

9.3.4 立柱的截面尺寸除应满足强度、刚度和抗裂要求外，还应满足挡板的支座宽度、锚杆钻孔和锚固等要求。肋柱截面宽度不宜小于 300mm，截面高度不宜小于 400mm；钻孔桩直径不宜小于 500mm，人工挖孔桩直径不宜小于 800mm。

9.3.5 立柱基础应置于稳定的地层内，可采用独立基础、条形基础或桩基础等形式。

9.3.6 对永久性边坡，现浇挡板和拱板厚度不宜小于 200mm。

9.3.7 锚杆挡墙立柱宜对称配筋；当第一锚点以上悬臂部分内力较大或柱顶设单锚时，可根据立柱的内力包络图采用不对称配筋做法。

9.3.8 格构梁截面尺寸应按强度、刚度和抗裂要求计算确定，

且格构梁截面宽度和截面高度均不宜小于 300mm。

9.3.9 锚杆挡墙现浇混凝土构件的伸缩缝间距不宜大于20m
25m。

9.3.10 锚杆挡墙立柱的顶部宜设置钢筋混凝土构造连梁。

9.3.11 当锚杆挡墙的锚固区内有建（构）筑物基础传递较大荷载时，除应验算挡墙的整体稳定性外，还应适当加长锚杆，并采用长短相间的设置方法。

9.4 施 工

9.4.1 排桩式锚杆挡墙和在施工期边坡可能失稳的板肋式锚杆挡墙，应采用逆作法进行施工。

9.4.2 对施工期处于不利工况的锚杆挡墙，应按临时性支护结构进行验算。

10 岩石锚喷支护

10.1 一般规定

10.1.1 岩石锚喷支护应符合下列规定：

1 对永久性岩质边坡（基坑边坡）进行整体稳定性支护时，Ⅰ类岩质边坡可采用混凝土锚喷支护；Ⅱ类岩质边坡宜采用钢筋混凝土锚喷支护；Ⅲ类岩质边坡应采用钢筋混凝土锚喷支护，且边坡高度不宜大于 15m；

2 对临时性岩质边坡（基坑边坡）进行整体稳定性支护时，Ⅰ、Ⅱ类岩质边坡可采用混凝土锚喷支护；Ⅲ类岩质边坡宜采用钢筋混凝土锚喷支护，且边坡高度不应大于 25m；

3 对边坡局部不稳定岩石块体，可采用锚喷支护进行局部加固；

4 符合本规范第 14.2.2 条的岩质边坡，可采用锚喷支护进行坡面防护，且构造要求应符合本规范第 10.3.3 条要求。

10.1.2 膨胀性岩质边坡和具有严重腐蚀性的边坡不应采用锚喷支护。有深层外倾滑动面或坡体渗水明显的岩质边坡不宜采用锚喷支护。

10.1.3 岩质边坡整体稳定用系统锚杆支护后，对局部不稳定块体尚应采用锚杆加强支护。

10.2 设计计算

10.2.1 采用锚喷支护的岩质边坡整体稳定性计算应符合下列规定：

- 1 岩石侧压力分布可按本规范第 9.2.5 条的规定确定；
- 2 锚杆轴向拉力可按下式计算：

$$N_{ak} = e'_{ah} s_{xj} s_{yj} / \cos\alpha \quad (10.2.1)$$

式中： N_{ak} ——锚杆所受轴向拉力（kN）；

s_{xj} 、 s_{yj} ——锚杆的水平、垂直间距（m）；

e'_{ah} ——相应于作用的标准组合时侧向岩石压力水平分力修正值（kN/m）；

α ——锚杆倾角（°）。

10.2.2 锚喷支护边坡时，锚杆计算应符合本规范第 8.2.2-8.2.4 条的规定。

10.2.3 岩石锚杆总长度应符合本规范第 8.4.1 条的相关规定。

10.2.4 采用局部锚杆加固不稳定岩石块体时，锚杆承载力应符合下式的规定：

$$K_b (G_t - fG_n - cA) \leq \sum N_{akti} + f \sum N_{akni} \quad (10.2.4)$$

式中： A ——滑动面面积（m²）；

c ——滑移面的黏聚力（kPa）；

f ——滑动面上的摩擦系数；

G_t 、 G_n ——分别为不稳定块体自重平行和垂直于滑面方向的分力（kN）；

N_{akti} 、 N_{akni} ——单根锚杆轴向拉力在抗滑方向和垂直于滑动面方向上的分力（kN）；

K_b ——锚杆钢筋抗拉安全系数，按本规范第 8.2.2 条规定取值。

10.3 构造设计

10.3.1 系统锚杆的设置宜符合下列规定：

- 1 锚杆布置宜采用行列式排列或菱形排列；
- 2 锚杆间距宜为 1.25m-3.00m，且不应大于锚杆长度的一半；对 I、II 类岩体边坡最大间距不应大于 3.00m，对 III、IV 类岩体边坡最大间距不应大于 2.00m；
- 3 锚杆安设倾角宜为 10°-20°；
- 4 应采用全粘结锚杆。

10.3.2 锚喷支护用于岩质边坡整体支护时，其面板应符合下列规定：

1 对永久性边坡，Ⅰ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于 50mm，Ⅱ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于 100mm，Ⅲ类岩体边坡钢筋网喷射混凝土面板厚度不应小于 150mm；对临时性边坡，Ⅰ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于 50mm，Ⅱ类岩质边坡喷射混凝土面板厚度不应小于 80mm，Ⅲ类岩体边坡钢筋网喷射混凝土面板厚度不应小于 100mm；

2 钢筋直径宜为 6mm12mm，钢筋间距宜为 100mm-250mm，单层钢筋网喷射混凝土面板厚度不应小于 80mm，双层钢筋网喷射混凝土面板厚度不应小于 150mm；钢筋保护层厚度不应小于 25mm；

3 锚杆钢筋与面板的连接应有可靠的连接构造措施。

10.3.3 岩质边坡坡面防护宜符合下列规定：

1 锚杆布置宜采用行列式排列，也可采用菱形排列；

2 应采用全粘结锚杆，锚杆长度为 3m6m，锚杆倾角宜为 15°25°，钢筋直径可采用 16mm22mm；钻孔直径为 40mm70mm；

3 Ⅰ、Ⅱ类岩质边坡可采用混凝土锚喷防护，Ⅲ类岩质边坡宜采用钢筋混凝土锚喷防护，Ⅳ类岩质边坡应采用钢筋混凝土锚喷防护；

4 混凝土喷层厚度可采用 50mm80mm，Ⅰ、Ⅱ类岩质边坡可取小值，Ⅲ、Ⅳ类岩质边坡宜取大值；

5 可采用单层钢筋网，钢筋直径为 6mm10mm，间距 150mm200mm。

10.3.4 喷射混凝土强度等级，对永久性边坡不应低于 C25，对防水要求较高的不应低于 C30；对临时性边坡不应低于 C20。喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度设计值不应小于 5MPa。

10.3.5 喷射混凝土的物理力学参数可按表 10.3.5 采用。

表 10.3.5 喷射混凝土物理力学参数

| 喷射混凝土强度等级 | C20 | C25 | C30 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 物理力学参数 | | | |
| 轴心抗压强度设计值 (MPa) | 9.60 | 11.90 | 14.30 |
| 抗拉强度设计值 (MPa) | 1.10 | 1.27 | 1.43 |
| 弹性模量 (MPa) | 2.10×10^4 | 2.30×10^4 | 2.50×10^4 |
| 重度 (kN/m ³) | 22.00 | | |

10.3.6 喷射混凝土与岩面的粘结力，对整体状和块状岩体不应低于 0.80MPa，对碎裂状岩体不应低于 0.40MPa。喷射混凝土与岩面粘结力试验应符合现行国家标准《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086 的规定。

10.3.7 面板宜沿边坡纵向每隔 20m~25m 的长度分段设置竖向伸缩缝。

10.3.8 坡体泄水孔及截水、排水沟等的设置应符合本规范的相关规定。

10.4 施 工

10.4.1 边坡坡面处理宜尽量平缓、顺直，且应锤击密实，凹处填筑应稳定。

10.4.2 应清除坡面松散层及不稳定的块体。

10.4.3 III类岩体边坡应采用逆作法施工，II类岩体边坡可部分采用逆作法施工。

11 重力式挡墙

11.1 一般规定

11.1.1 根据墙背倾斜情况，重力式挡墙可分为俯斜式挡墙、仰斜式挡墙、直立式挡墙和衡重式挡墙等类型。

11.1.2 采用重力式挡墙时，土质边坡高度不宜大于 10m，岩质边坡高度不宜大于 12m。

11.1.3 对变形有严格要求或开挖土石方可能危及边坡稳定的边坡不宜采用重力式挡墙，开挖土石方危及相邻建筑物安全的边坡不应采用重力式挡墙。

11.1.4 重力式挡墙类型应根据使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定，对岩质边坡和挖方形成的土质边坡宜优先采用仰斜式挡墙，高度较大的土质边坡宜采用衡重式或仰斜式挡墙。

11.2 设计计算

11.2.1 土质边坡采用重力式挡墙高度不小于 5m 时，主动土压力宜按本规范第 6.2 节计算的主动土压力值乘以增大系数确定。挡墙高度 5m~8m 时增大系数宜取 1.1，挡墙高度大于 8m 时增大系数宜取 1.2。

11.2.2 重力式挡墙设计应进行抗滑移和抗倾覆稳定性验算。当挡墙地基软弱、有软弱结构面或位于边坡坡顶时，还应按本规范第 5 章有关规定进行地基稳定性验算。

11.2.3 重力式挡墙的抗滑移稳定性

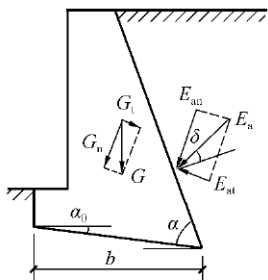


图 11.2.3 挡墙抗滑移稳定性验算

应按下列公式验算（图 11.2.3）：

$$F_s = \frac{(G_n + E_{an})\mu}{E_{at} - G_t} \geq 1.3 \quad (11.2.3-1)$$

$$G_n = G \cos \alpha_0 \quad (11.2.3-2)$$

$$G_t = G \sin \alpha_0 \quad (11.2.3-3)$$

$$E_{at} = E_a \sin (\alpha - \alpha_0 - \delta) \quad (11.2.3-4)$$

$$E_{an} = E_a \cos (\alpha - \alpha_0 - \delta) \quad (11.2.3-5)$$

式中： E_a ——每延米主动岩土压力合力（kN/m）；

F_s ——挡墙抗滑移稳定系数；

G ——挡墙每延米自重（kN/m）；

α ——墙背与墙底水平投影的夹角（°）；

α_0 ——挡墙底面倾角（°）；

δ ——墙背与岩土的摩擦角（°），可按本规范的表 6.2.3 选用；

μ ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数，宜由试验确定，也可按表 11.2.3 选用。

表 11.2.3 岩土与挡墙底面摩擦系数 μ

| 岩土类别 | | 摩擦系数 μ |
|--------------|----|------------|
| 黏性土 | 可塑 | 0.200.25 |
| | 硬塑 | 0.250.30 |
| | 坚硬 | 0.300.40 |
| 粉土 | | 0.250.35 |
| 中砂、粗砂、砾砂 | | 0.350.40 |
| 碎石土 | | 0.400.50 |
| 极软岩、软岩、较软岩 | | 0.400.60 |
| 表面粗糙的坚硬岩、较硬岩 | | 0.650.75 |

11.2.4 重力式挡墙的抗倾覆稳定性应按下列公式进行验算（图 11.2.4）：

$$F_t = \frac{Gx_0 + E_{az}x_f}{E_{ax}z_f} \geq 1.6 \quad (11.2.4-1)$$

$$E_{ax} = E_a \sin(\alpha - \delta) \quad (11.2.4-2)$$

$$E_{az} = E_a \cos(\alpha - \delta) \quad (11.2.4-3)$$

$$x_f = b - z \cot \alpha \quad (11.2.4-4)$$

$$z_f = z - b \tan \alpha_0 \quad (11.2.4-5)$$

式中： F_t ——挡墙抗倾覆稳定系数；

b ——挡墙底面水平投影宽度（m）；

x_0 ——挡墙中心到墙趾的水平距离（m）；

z ——岩土压力作用点到墙踵的竖直距离（m）。

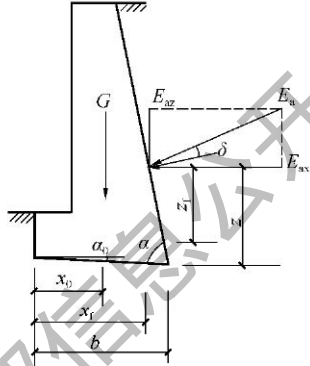


图 11.2.4 挡墙抗倾覆稳定性验算

11.2.5 地震工况时，重力式挡墙的抗滑移稳定系数不应小于 1.40，抗倾覆稳定性不应小于 1.30。

11.2.6 重力式挡墙的地基承载力和结构强度计算，应符合国家现行有关标准的规定。

11.3 构造设计

11.3.1 重力式挡墙材料可使用浆砌块石、条石、毛石混凝土或素混凝土。块石、条石的强度等级不应低于 MU30，砂浆强度等级不应低于 M5.0；混凝土强度等级不应低于 C15。

11.3.2 重力式挡墙基底可做成逆坡。对土质地基，基底逆坡坡度不宜大于 1:10；对岩质地基，基底逆坡坡度不宜大于 1:5。

11.3.3 挡墙地基表面纵坡大于 5% 时，应将基底设计为台阶式，其最下一级台阶底宽不宜小于 1.00m。

11.3.4 块石或条石挡墙的墙顶宽度不宜小于 400mm，毛石混凝土、素混凝土挡墙的墙顶宽度不宜小于 200mm。

11.3.5 重力式挡墙的基础埋置深度，应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定。在土质地基中，基础最小埋置深度不宜小于 0.50m，在岩质地基中，基础最小埋置深度不宜小于 0.30m。基础埋置深度应从坡脚排水沟底算起。受水流冲刷时，埋深应从预计冲刷底面算起。

11.3.6 位于稳定斜坡地面的重力式挡墙，其墙趾最小埋入深度和距斜坡面的最小水平距离应符合表 11.3.6 的规定。

表 11.3.6 斜坡地面墙趾最小埋入深度和距斜坡地面的最小水平距离 (m)

| 地基情况 | 最小埋入深度 (m) | 距斜坡地面的最小水平距离 (m) |
|------|------------|------------------|
| 硬质岩石 | 0.60 | 0.60~1.50 |
| 软质岩石 | 1.00 | 1.50~3.00 |
| 土质 | 1.00 | 3.00 |

注：硬质岩指单轴抗压强度大于 30MPa 的岩石，软质岩指单轴抗压强度小于 15MPa 的岩石。

11.3.7 重力式挡墙的伸缩缝间距，对条石、块石挡墙宜为 20m~25m，对混凝土挡墙宜为 10m~15m。在挡墙高度突变处及与其他建（构）筑物连接处应设置伸缩缝，在地基岩土性状变化处应设置沉降缝。沉降缝、伸缩缝的缝宽宜为 20mm~30mm，缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于 150mm。

11.3.8 挡墙后面的填土，应优先选择抗剪强度高和透水性较强的填料。当采用黏性土作填料时，宜掺入适量的砂砾或碎石。不应采用淤泥质土、耕植土、膨胀性黏土等软弱有害的岩土体作为填料。

11.3.9 挡墙的防渗透泄水布置应根据地形、地质、环境、水体

来源及填料等因素分析确定。

11.3.10 挡墙后填土地表应设置排水良好的地表排水系统。

11.4 施 工

11.4.1 浆砌块石、条石挡墙的施工所用砂浆宜采用机械拌合。块石、条石表面应清洗干净，砂浆填塞应饱满，严禁干砌。

11.4.2 块石、条石挡墙所用石材的上下面应尽可能平整，块石厚度不应小于 200mm。挡墙应分层错缝砌筑，墙体砌筑时不应有垂直通缝；且外露面应用 M7.5 砂浆勾缝。

11.4.3 墙后填土应分层夯实，选料及其密实度均应满足设计要求，填料回填应在砌体或混凝土强度达到设计强度的 75% 以上后进行。

11.4.4 当填方挡墙墙后地面的横坡坡度大于 1:6 时，应进行地面粗糙处理后再填土。

11.4.5 重力式挡墙在施工前应预先设置好排水系统，保持边坡和基坑坡面干燥。基坑开挖后，基坑内不应积水，并应及时进行基础施工。

11.4.6 重力式抗滑挡墙应分段、跳槽施工。

12 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙

12.1 一般规定

12.1.1 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙适用于地基承载力较低的填方边坡工程。

12.1.2 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙适用高度对悬臂式挡墙不宜超过 6m，对扶壁式挡墙不宜超过 10m。

12.1.3 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙结构应采用现浇钢筋混凝土结构。

12.1.4 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的基础应置于稳定的岩土层内，其埋置深度应符合本规范第 11.3.5 条和第 11.3.6 条的规定。

12.2 设计计算

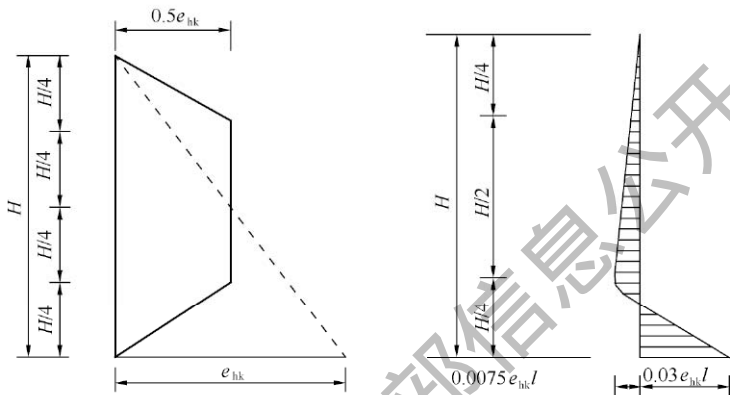
12.2.1 计算挡墙整体稳定性和立板内力时，可不考虑挡墙前底板以上土的影响；在计算墙趾板内力时，应计算底板以上填土的自重。

12.2.2 计算挡墙实际墙背和墙踵板的土压力时，可不计填料与板间的摩擦力。

12.2.3 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的侧向主动土压力宜按第二破裂面法进行计算。当不能形成第二破裂面时，可用墙踵下缘与墙顶内缘的连线或通过墙踵的竖向面作为假想墙背计算，取其中不利状态的侧向压力作为设计控制值。

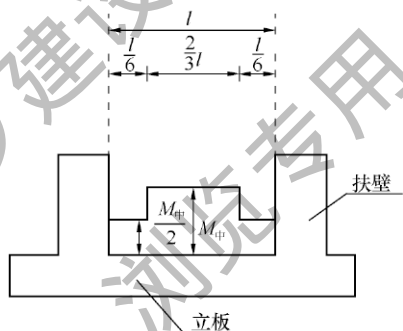
12.2.4 计算立板内力时，侧向压力分布可按图 12.2.4 或根据当地经验图形确定。

12.2.5 悬臂式挡墙的立板、墙趾板和墙踵板等结构构件可取单位宽度按悬挑构件进行计算。



(a)侧压力分布图

(b)立板竖向弯矩分布图



(c)立板弯矩横向分布图

图 12.2.4 扶壁式挡墙侧向压力分布图

$M_{中}$ —板跨中弯矩； H —墙面板的高度； e_{hk} —墙面板底端内填料引起的法向土压力； l —扶壁之间的净距

12.2.6 对扶壁式挡墙，根据其受力特点可按下列简化模型进行内力计算：

- 1 立板和墙踵板可根据边界约束条件按三边固定、一边自由的板或以扶壁为支点的连续板进行计算；
- 2 墙趾底板可简化为固定在立板上的悬臂板进行计算；
- 3 扶壁可简化为 T 形悬臂梁进行计算，其中立板为梁的翼

缘，扶壁为梁的腹板。

12.2.7 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的结构构件截面设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定执行。

12.2.8 挡墙结构应进行混凝土裂缝宽度的验算。迎土面的裂缝宽度不应大于 0.2mm，背土面的裂缝宽度不应大于 0.3mm，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

12.2.9 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的抗滑、抗倾稳定性验算应按本规范的第 10.2 节的有关规定执行。当存在深部潜在滑面时，应按本规范的第 5 章的有关规定进行有关潜在滑面整体稳定性验算。

12.2.10 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的地基承载力和变形验算按国家现行有关规范执行。

12.3 构造设计

12.3.1 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的混凝土强度等级应根据结构承载力和所处环境类别确定，且不应低于 C25。立板和扶壁的混凝土保护层厚度不应小于 35mm，底板的保护层厚度不应小于 40mm。受力钢筋直径不应小于 12mm，间距不宜大于 250mm。

12.3.2 悬臂式挡墙截面尺寸应根据强度和变形计算确定，立板顶宽和底板厚度不应小于 200mm。当挡墙高度大于 4m 时，宜加根部翼。

12.3.3 扶壁式挡墙尺寸应根据强度和变形计算确定，并应符合下列规定：

- 1 两扶壁之间的距离宜取挡墙高度的 $1/3 \sim 1/2$ ；
- 2 扶壁的厚度宜取扶壁间距的 $1/8 \sim 1/6$ ，且不宜小于 300mm；
- 3 立板顶端和底板的厚度不应小于 200mm；
- 4 立板在扶壁处的外伸长度，宜根据外伸悬臂固端弯矩与中间跨固端弯矩相等的原则确定，可取两扶壁净距的 0.35 倍

左右。

12.3.4 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙结构构件应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、钢筋的连接和锚固等应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

12.3.5 当挡墙受滑动稳定控制时，应采取提高抗滑能力的构造措施。宜在墙底下设防滑键，其高度应保证键前土体不被挤出。防滑键厚度应根据抗剪强度计算确定，且不应小于 300mm。

12.3.6 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙位于纵向坡度大于 5% 的斜坡时，基底宜做成台阶形。

12.3.7 对软弱地基或填方地基，当地基承载力不满足设计要求时，应进行地基处理或采用桩基础方案。

12.3.8 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的泄水孔设置及构造要求等应按本规范相关规定执行。

12.3.9 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙纵向伸缩缝间距宜采用 10m~15m。宜在不同结构单元处和地层性状变化处设置沉降缝；且沉降缝与伸缩缝宜合并设置。其他要求应符合本规范的第 11.3.7 条的规定。

12.3.10 悬臂式挡墙和扶壁式挡墙的墙后填料质量和回填质量应符合本规范第 11.3.8 条的要求。

12.4 施 工

12.4.1 施工时应做好排水系统，避免水软化地基的不利影响，基坑开挖后应及时封闭。

12.4.2 施工时应清除填土中的草和树皮、树根等杂物。在墙身混凝土强度达到设计强度的 70% 后方可填土，填土应分层夯实。

12.4.3 扶壁间回填宜对称实施，施工时应控制填土对扶壁式挡墙的不利影响。

12.4.4 当挡墙墙后表面的横坡坡度大于 1:6 时，应在进行表面粗糙处理后再填土。

13 桩板式挡墙

13.1 一般规定

13.1.1 桩板式挡墙适用于开挖土石方可能危及相邻建筑物或环境安全的边坡、填方边坡支挡以及工程滑坡治理。

13.1.2 桩板式挡墙按其结构形式分为悬臂式桩板挡墙、锚拉式桩板挡墙。挡板可以采用现浇板或预制板。桩板式挡墙形式的选择应根据工程特点、使用要求、地形、地质和施工条件等综合考虑确定。

13.1.3 悬臂式桩板挡墙高度不宜超过 12m，锚拉式桩板挡墙高度不宜大于 25m。桩间距不宜小于 2 倍桩径或桩截面短边尺寸。

13.1.4 桩间距、桩长和截面尺寸应根据岩土侧压力大小和锚固段地基承载力等因素确定，达到安全可靠、经济合理。

13.1.5 锚拉式桩板挡墙可采用单点锚固或多点锚固的结构形式，当其高度较大、边坡推力较大时宜采用预应力锚杆。

13.1.6 填方锚拉式桩板挡墙应符合本规范第 9.1.4 条的规定。

13.1.7 桩板式挡墙用于滑坡治理时应符合本规范第 17 章的相关规定。

13.1.8 锚拉式桩板挡墙的锚杆（索）的设计和施工应符合本规范第 8 章的相关规定。

13.2 设计计算

13.2.1 桩板式挡墙的岩土侧向压力可按库仑主动土压力计算，并根据对支护结构变形的不同限制要求，按本规范第 6 章的相关规定确定岩土侧向压力。锚拉式桩板挡墙的岩土侧压力可按本规范第 9.2.2 条确定。

13.2.2 对有潜在滑动面的边坡及工程滑坡，应取滑动剩余下滑

力与主动岩土压力两者中的较大值进行桩板式挡墙设计。

13.2.3 作用在桩上的荷载宽度可按左右两相邻桩桩中心之间距离的各一半之和计算。作用在挡板上的荷载宽度可取板的计算板跨度。

13.2.4 桩板式挡墙用于滑坡支挡时，滑动面以上桩前滑体抗力可由桩前剩余抗滑力或被动土压力确定，设计时选较小值。当桩前滑体可能滑动时，不应计其抗力。

13.2.5 桩板式挡墙桩身内力计算时，临空段或边坡滑动面以上部分桩身内力，应根据岩土侧压力或滑坡推力计算。嵌入段或滑动面以下部分桩身内力，宜根据埋入段地面或滑动面处弯矩和剪力，采用地基系数法计算。根据岩土条件可选用“ k 法”或“ m 法”。地基系数 k 和 m 值宜根据试验资料、地方经验和工程类比综合确定，初步设计阶段可按本规范附录G取值。

13.2.6 桩板式挡墙的桩嵌入岩土层部分的内力采用地基系数法计算时，桩的计算宽度可按下列规定取值：

圆形桩： $d \leq 1\text{m}$ 时， $B_p = 0.9(1.5d + 0.5)$ ；

$d > 1\text{m}$ 时， $B_p = 0.9(d + 1)$ ；

矩形桩： $b \leq 1\text{m}$ 时， $B_p = 1.5b + 0.5$ ；

$b > 1\text{m}$ 时， $B_p = b + 1$ ；

式中： B_p ——桩身计算宽度（m）；

b ——桩宽（m）；

d ——桩径（m）。

13.2.7 桩底支承应结合岩土层情况和桩基埋入深度可按自由端或铰支端考虑。

13.2.8 桩嵌入岩土层的深度应根据地基的横向承载力特征值确定，并应符合下列规定：

1 嵌入岩层时，桩的最大横向压应力 σ_{\max} 应小于或等于地基的横向承载力特征值 f_H 。桩为矩形截面时，地基的横向承载力特征值可按下式计算：

$$f_H = K_H \eta f_{rk} \quad (13.2.8-1)$$

式中： f_H ——地基的横向承载力特征值（kPa）；

K_H ——在水平方向的换算系数，根据岩层构造可取 0.50~1.00；

η ——折减系数，根据岩层的裂缝、风化及软化程度可取 0.30~0.45；

f_{rk} ——岩石天然单轴极限抗压强度标准值（kPa）。

2 嵌入土层或风化层土、砂砾状岩层时，滑动面以下或桩嵌入稳定岩土层内深度为 $h_2/3$ 和 h_2 （滑动面以下或嵌入稳定岩土层内桩长）处的横向压应力不应大于地基横向承载力特征值。悬臂抗滑桩（图 13.2.8）地基横向承载力特征值可按下列公式计算：

1) 当设桩处沿滑动方向地面坡度小于 8° 时，地基 y 点的横向承载力特征值可按下列公式计算：

$$f_H = 4\gamma_2 y \frac{\tan\varphi_0}{\cos\varphi_0} - \gamma_1 h_1 \frac{1 - \sin\varphi_0}{1 + \sin\varphi_0} \quad (13.2.8-2)$$

式中： f_H ——地基的横向承载力特征值（kPa）；

γ_1 ——滑动面以上土体的重度（kN/m³）；

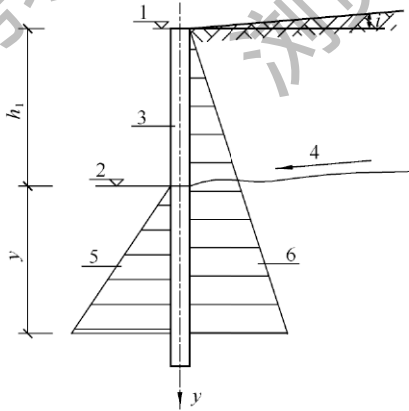


图 13.2.8 悬臂抗滑桩土质地基横向承载力特征值计算简图

1—桩顶地面；2—滑面；3—抗滑桩；4—滑动方向；

5—被动土压力分布图；6—主动土压力分布图

γ_2 ——滑动面以下土体的重度 (kN/m³);

φ_0 ——滑动面以下土体的等效内摩擦角 (°);

h_1 ——设桩处滑动面至地面的距离 (m);

y ——滑动面至计算点的距离 (m)。

- 2) 当设桩处沿滑动方向地面坡度 $i \geq 8^\circ$ 且 $i \leq \varphi_0$ 时, 地基 y 点的横向承载力特征值可按下式计算:

$$f_{\text{H}} = 4\gamma_2 y \frac{\cos^2 i \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi} - \gamma_1 h_1 \cos i \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}} \quad (13.2.8-3)$$

式中: φ ——滑动面以下土体的内摩擦角 (°)。

13.2.9 桩基嵌固段顶端地面处的水平位移不宜大于 10mm。当地基强度或位移不能满足要求时, 应通过调整桩的埋深、截面尺寸或间距等措施进行处理。

13.2.10 桩板式挡墙的桩身按受弯构件设计, 当无特殊要求时, 可不作裂缝宽度验算。

13.2.11 锚拉式桩板挡墙计算时可考虑将桩、锚固段岩土体及锚索(杆)视为一整体, 锚索(杆)视为弹性支座, 桩简化为受横向变形约束的弹性地基梁, 根据位移变形协调原理, 按“ k 法”或“ m 法”计算锚杆(索)拉力及桩各段内力和位移。

13.2.12 锚拉桩采用锚固段为岩石的预应力锚杆(索)或全粘结岩石锚杆时, 锚杆(索)可按刚性杆考虑, 将桩简化为单跨简支梁或多跨连续梁, 计算桩各段内力和位移。

13.3 构造设计

13.3.1 桩的混凝土强度等级不应低于 C25, 用于滑坡支挡时桩身混凝土强度等级不应低于 C30。挡板的混凝土强度等级不应低于 C25, 灌注锚杆(索)孔的水泥砂浆强度等级不应低于 M30。

13.3.2 桩受力主筋混凝土保护层不应小于 50mm, 挡板受力主

筋混凝土保护层挡土一侧不应小于 25mm，临空一侧不应小于 20mm。

13.3.3 桩内不宜采用斜筋抗剪。剪力较大时可采用调整混凝土强度等级、箍筋直径和间距和桩身截面尺寸等措施，以满足斜截面抗剪强度要求。

13.3.4 桩的箍筋宜采用封闭式，肢数不宜多于 4 肢，箍筋直径不应小于 8mm。

13.3.5 桩的两侧和受压边应配置纵向构造钢筋，两侧纵向钢筋直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 400mm；受压边钢筋直径不宜小于 14mm，间距不宜大于 200mm。

13.3.6 锚拉式桩板挡墙锚孔距桩顶距离不宜小于 1500mm，锚固点附近桩身箍筋应适当加密，锚杆（索）构造应按本规范第 8.4 节有关规定设计。

13.3.7 悬臂式桩板挡墙桩长在岩质地基中嵌固深度不宜小于桩总长的 1/4，土质地基中不宜小于 1/3。

13.3.8 桩板式挡墙应根据其受力特点进行配筋设计，其配筋率、钢筋搭接和锚固应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

13.3.9 桩板式挡墙纵向伸缩缝间距不宜大于 25m。伸缩缝构造应符合本规范第 10.3.7 条的规定。

13.3.10 桩板式挡墙墙后填料质量和回填质量应符合本规范第 11.3.8 条的规定。

13.4 施 工

13.4.1 挖方区悬臂式桩板挡墙应先施工桩，再施工挡板；挖方区锚拉式桩板挡墙应先施工桩，再采用逆作法施工锚杆（索）及挡板。

13.4.2 桩身混凝土应连续灌注，不得形成水平施工缝。当需加快施工进度时，宜采用速凝、早强混凝土。

13.4.3 桩纵筋的接头不得设在土石分界处和滑动面处。

13.4.4 墙后填土必须分层夯实，选料及其密实度均应满足设计要求。

13.4.5 桩和挡板设计未考虑大型碾压机的荷载时，桩板后至少2m内不得使用大型碾压机械填筑。

13.4.6 工程滑坡治理施工尚应符合本规范第17.3节的规定。

住房城乡建设部信息公开
浏览专用

14 坡 率 法

14.1 一 般 规 定

14.1.1 当工程场地有放坡条件，且无不良地质作用时宜优先采用坡率法。

14.1.2 有下列情况之一的边坡不应单独采用坡率法，应与其他边坡支护方法联合使用：

- 1 放坡开挖对相邻建（构）筑物有不利影响的边坡；
- 2 地下水发育的边坡；
- 3 软弱土层等稳定性差的边坡；
- 4 坡体内有外倾软弱结构面或深层滑动面的边坡；
- 5 单独采用坡率法不能有效改善整体稳定性的边坡；
- 6 地质条件复杂的一级边坡。

14.1.3 填方边坡采用坡率法时可与加筋材料联合应用。

14.1.4 采用坡率法时应进行边坡环境整治、坡面绿化和排水处理。

14.1.5 高度较大的边坡应分级开挖放坡。分级放坡时应验算边坡整体的和各级的稳定性。

14.2 设 计 计 算

14.2.1 土质边坡的坡率允许值应根据工程经验，按工程类比的原则并结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。当无经验且土质均匀良好、地下水贫乏、无不良地质作用和地质环境条件简单时，边坡坡率允许值可按表 14.2.1 确定。

表 14.2.1 土质边坡坡率允许值

| 边坡土体类别 | 状态 | 坡率允许值（高宽比） | |
|--------|----|-------------------|-------------------|
| | | 坡高小于 5m | 坡高 5m~10m |
| 碎石土 | 密实 | 1 : 0.35~1 : 0.50 | 1 : 0.50~1 : 0.75 |
| | 中密 | 1 : 0.50~1 : 0.75 | 1 : 0.75~1 : 1.00 |
| | 稍密 | 1 : 0.75~1 : 1.00 | 1 : 1.00~1 : 1.25 |
| 黏性土 | 坚硬 | 1 : 0.75~1 : 1.00 | 1 : 1.00~1 : 1.25 |
| | 硬塑 | 1 : 1.00~1 : 1.25 | 1 : 1.25~1 : 1.50 |

- 注：1 碎石土的充填物为坚硬或硬塑状态的黏性土；
 2 对于砂土或充填物为砂土的碎石土，其边坡坡率允许值应按砂土或碎石土的自然休止角确定。

14.2.2 在边坡保持整体稳定的条件下，岩质边坡开挖的坡率允许值应根据工程经验，按工程类比的原则结合已有稳定边坡的坡率值分析确定。对无外倾软弱结构面的边坡，放坡坡率可按表 14.2.2 确定。

表 14.2.2 岩质边坡坡率允许值

| 边坡岩体类型 | 风化程度 | 坡率允许值（高宽比） | | |
|--------|--------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | | $H < 8m$ | $8m \leq H < 15m$ | $15m \leq H < 25m$ |
| I类 | 未（微）风化 | 1 : 0.00~1 : 0.10 | 1 : 0.10~1 : 0.15 | 1 : 0.15~1 : 0.25 |
| | 中等风化 | 1 : 0.10~1 : 0.15 | 1 : 0.15~1 : 0.25 | 1 : 0.25~1 : 0.35 |
| II类 | 未（微）风化 | 1 : 0.10~1 : 0.15 | 1 : 0.15~1 : 0.25 | 1 : 0.25~1 : 0.35 |
| | 中等风化 | 1 : 0.15~1 : 0.25 | 1 : 0.25~1 : 0.35 | 1 : 0.35~1 : 0.50 |
| III类 | 未（微）风化 | 1 : 0.25~1 : 0.35 | 1 : 0.35~1 : 0.50 | — |
| | 中等风化 | 1 : 0.35~1 : 0.50 | 1 : 0.50~1 : 0.75 | — |
| IV类 | 中等风化 | 1 : 0.50~1 : 0.75 | 1 : 0.75~1 : 1.00 | — |
| | 强风化 | 1 : 0.75~1 : 1.00 | — | — |

- 注：1 H ——边坡高度；
 2 IV类强风化包括各类风化程度的极软岩；
 3 全风化岩体可按土质边坡坡率取值。

14.2.3 下列边坡的坡率允许值应通过稳定性计算分析确定：

- 1 有外倾软弱结构面的岩质边坡；
- 2 土质较软的边坡；
- 3 坡顶边缘附近有较大荷载的边坡；
- 4 边坡高度超过本规范表 14.2.1 和表 14.2.2 范围的边坡。

14.2.4 填土边坡的坡率允许值应根据边坡稳定性计算结果并结合地区经验确定。

14.2.5 土质边坡稳定性计算应考虑边坡影响范围内的建（构）筑物和边坡支护处理对地下水运动等水文地质条件的影响，以及由此而引起的对边坡稳定性的影响。

14.2.6 边坡稳定性评价应符合本规范第 5 章的有关规定。

14.3 构造设计

14.3.1 边坡整体高度可按同一坡率进行放坡，也可根据边坡岩土的变化情况按不同的坡率放坡。

14.3.2 位于斜坡上的人工压实填土边坡应验算填土沿斜坡滑动的稳定性。分层填筑前应将斜坡的坡面修成若干台阶，使压实填土与斜坡面紧密接触。

14.3.3 边坡排水系统的设置应符合下列规定：

- 1 边坡坡顶、坡面、坡脚和水平台阶应设排水沟，并作好坡脚防护；在坡顶外围应设截水沟；

- 2 当边坡表层有积水湿地、地下水渗出或地下水露头时，应根据实际情况设置外倾排水孔、排水盲沟和排水钻孔。

14.3.4 对局部不稳定块体应清除，或采用锚杆和其他有效加固措施。

14.3.5 永久性边坡宜采用锚喷、浆砌片石或格构等构造措施护面。在条件许可时，宜尽量采用格构或其他有利于生态环境保护和美化的护面措施。临时性边坡可采用水泥砂浆护面。

14.4 施 工

14.4.1 挖方边坡施工开挖应自上而下有序进行，并应保持两侧边坡的稳定，保证弃土、弃渣的堆填不应导致边坡附加变形或破坏现象发生。

14.4.2 填土边坡施工应自下而上分层进行，每一层填土施工完成后应进行相应技术指标的检测，质量检验合格后方可进行下一层填土施工。

14.4.3 边坡工程在雨期施工时应做好水的排导和防护工作。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

15 坡面防护与绿化

15.1 一般规定

15.1.1 边坡整体稳定但其坡面岩土体易风化、剥落或有浅层崩塌、滑落及掉块等时，应进行坡面防护。

15.1.2 边坡坡面防护工程应在稳定边坡上设置。对欠稳定的或存在不良地质因素的边坡，应先进行边坡治理后进行坡面防护与绿化。

15.1.3 边坡坡面防护应根据工程区域气候、水文、地形、地质条件、材料来源及使用条件采取工程防护和植物防护相结合的综合处理措施，并应考虑下列因素经技术经济比较确定：

- 1 坡面风化作用；
- 2 雨水冲刷；
- 3 植物生长效果、环境效应；
- 4 冻胀、干裂作用；
- 5 坡面防渗、防淘刷等需要；
- 6 其他需要考虑的因素。

15.1.4 临时防护措施应与永久防护措施相结合。

15.1.5 地下水和地表水较为丰富的边坡，应将边坡防护结合排水措施进行综合设计。

15.2 工程防护

15.2.1 砌体护坡应符合下列规定：

1 砌体护坡可采用浆砌条石、块石、片石、卵石或混凝土预制块等作为砌筑材料，适用于坡度缓于 1:1 的易风化的岩石和土质挖方边坡；

2 石料强度等级不应低于 MU30，浆砌块石、片石、卵石

护坡的厚度不宜小于 250mm；

3 预制块的混凝土强度等级不应低于 C20；厚度不小于 150mm；

4 铺砌层下应设置碎石或砂砾垫层，厚度不宜小于 100mm；

5 砌筑砂浆强度等级不应低于 M5.0，在严寒地区和地震地区或水下部分的砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5；

6 砌体护坡应设置伸缩缝和泄水孔；

7 砌体护坡伸缩缝间距宜为 20m~25m、缝宽 20mm~30mm；在地基性状和护坡高度变化处应设沉降缝，沉降缝与伸缩缝宜合并设置；缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料，填塞深度不应小于 150mm；在拐角处应采取适当的加强构造措施。

15.2.2 护面墙防护设计应符合下列规定：

1 护面墙可采用浆砌条石、块石或混凝土预制块等作为砌筑材料，也可现浇素混凝土；适用于防护易风化或风化严重的软质岩石或较破碎岩石挖方边坡，以及坡面易受侵蚀的土质边坡；

2 窗孔式护面墙防护的边坡坡率应缓于 1 : 0.75；拱式护面墙适用于边坡下部岩层较完整而上部需防护的边坡，边坡坡率应缓于 1 : 0.50；

3 单级护面墙的高度不宜超过 10m；其墙背坡坡率与边坡坡率一致，顶宽不应小于 500mm，底宽不应小于 1000mm，并应设置伸缩缝和泄水孔；

4 伸缩缝的间距宜为 20m~25m，但对素混凝土护面墙应为 10m~15m；

5 护面墙基础应设置在稳定的地基上，基础埋置深度应根据地质条件确定；冰冻地区应埋置在冰冻深度以下不小于 250mm；护面墙前趾应低于排水沟铺砌的底面。

15.2.3 对边坡坡度不大于 60°、中风化的易风化岩质边坡可采用喷射砂浆进行坡面防护。喷射砂浆防护厚度不宜小于 50mm，

砂浆强度等级不应低于 M20；喷护坡面应设置泄水孔和伸缩缝，泄水孔纵、横间距宜为 2.5m，伸缩缝间距宜为 10m~15m。

15.2.4 喷射混凝土防护工程应符合本规范第 10 章的规定。

15.3 植物防护与绿化

15.3.1 植物防护与绿化工程设计应符合下列规定：

1 植草宜选用易成活、生长快、根系发达、叶茎矮或有匍匐茎的多年生当地草种；草种的配合、播种量等应根据植物的生长特点、防护地点及施工方法确定；

2 铺草皮适用于需要快速绿化的边坡，且坡率缓于 1：1.00 的土质边坡和严重风化的软质岩石边坡；草皮应选择根系发达、茎矮叶茂耐旱草种，不宜采用喜水草种，严禁采用生长在泥沼地的草皮；

3 植树宜用于坡率缓于 1：1.50 的边坡；树种应选用能迅速生长且根深枝密的低矮灌木类；

4 湿法喷播绿化适用于土质边坡、土夹石边坡、严重风化岩石的坡率缓于 1：0.50 的挖方和填方边坡防护；

5 客土喷播与绿化适用于风化岩石、土壤较少的软质岩石、养分较少的土壤、硬质土壤，植物立地条件差的高陡坡面和受侵蚀显著的坡面；当坡率陡于 1：1.00 时，宜设置挂网或混凝土格构。

15.3.2 骨架植物防护工程中的骨架可采用浆砌片石或混凝土作骨架，且应符合下列规定：

1 骨架植物防护适用于边坡坡率缓于 1：0.75 土质和全风化的岩石边坡防护与绿化，当坡面受雨水冲刷严重或潮湿时，坡度应缓于 1：1.00；

2 应根据边坡坡率、土质和当地情况确定骨架形式，并与周围景观相协调；骨架内应采用植物或其他辅助防护措施；

3 当降雨量较大且集中的地区，骨架宜做成截水槽型；截水槽断面尺寸由降雨强度计算确定。

15.3.3 混凝土空心块植物防护适用于坡度缓于 1 : 0.75 的土质边坡和全风化、强风化的岩石挖方边坡；并根据需要设置浆砌片石或混凝土骨架。空心预制块的混凝土强度等级不应低于 C20，厚度不应小于 150mm。空心预制块内应填充种植土，喷播植草。

15.3.4 锚杆钢筋混凝土格构植物防护与绿化适用于土质边坡和坡体中无不良结构面、风化破碎的岩石挖方边坡。钢筋混凝土格构的混凝土强度等级不应低于 C25，格构几何尺寸应根据边坡高度和地层情况等确定，格构内宜植草。在多雨地区，格构上应设置截水槽，截水槽断面尺寸由降雨强度计算确定。

15.4 施 工

15.4.1 坡面防护施工应符合下列规定：

1 根据开挖坡面地质水文情况逐段核实边坡防护措施有效性，且应符合信息法施工要求；

2 挖方边坡防护工程应采用逆作法施工，开挖一级防护一级，并应及时进行养护；

3 施工前应对边坡进行修整，清除边坡上的危石及不密实的松土；

4 坡面防护层应与坡面密贴结合，不得留有空隙；

5 在多雨地区或地下水发育地段，边坡防护工程施工应采取有效截、排水措施。

15.4.2 喷浆或喷射混凝土防护施工应符合下列规定：

1 喷护前应采取措施对泉水、渗水进行处治，并按设计要求设置泄水孔，排、防积水；

2 施工作业前应进行试喷，选择合适的水灰比和喷射压力；喷射顺序应自下而上进行；

3 砂浆或混凝土初凝后，应立即开始养护，喷浆养护期不应少于 5d，喷射混凝土养护期不应少于 7d；

4 应及时对喷浆或混凝土层顶部进行封闭处理。

15.4.3 砌体护坡工程施工应符合下列规定：

1 砌体护坡施工前应将坡面整平；在铺设混凝土预制块前，对局部坑洞处应预先采用混凝土或浆砌片石填补平整；

2 浆砌块石、片石、卵石护坡应采取坐浆法施工，预制块应错缝砌筑；护坡面应平顺，并与相邻坡面顺接；

3 砂浆初凝后，应立即进行养护；砂浆终凝前，砌块应覆盖。

15.4.4 护面墙施工应符合下列规定：

1 护面墙施工前，应清除边坡风化层至新鲜岩面；对风化迅速的岩层，清挖到新鲜岩面后应立即修筑护面墙；

2 护面墙背应与坡面密贴，边坡局部凹陷处，应挖成台阶后用混凝土填充或浆砌片石嵌补；

3 坡顶护面墙与坡面之间应按设计要求做好防渗处理。

15.4.5 植被防护施工应符合下列规定：

1 种草施工，草籽应撒布均匀，同时做好保护措施；

2 灌木、树木应在适宜季节栽植；

3 客土喷播施工所喷播植草混合料中植生土、土壤稳定剂、水泥、肥料、混合草籽和水等的配合比应根据边坡坡率、地质情况和当地气候条件确定，混合草籽用量每 1000m² 不宜少于 25kg；在气温低于 12℃时不宜喷播作业；

4 铺、种植被后，应适时进行洒水、施肥等养护管理，植物成活率应达到 90% 以上；养护用水不应含油、酸、碱、盐等有碍草木生长的成分。

16 边坡工程排水

16.1 一般规定

16.1.1 边坡工程排水应包括排除坡面水、地下水和减少坡面水下渗等措施。坡面排水、地下排水与减少坡面雨水下渗措施宜统一考虑，并形成相辅相成的排水、防渗体系。

16.1.2 坡面排水应根据汇水面积、降雨强度、历时和径流方向等进行整体规划和布置。边坡影响区内、外的坡面和地表排水系统宜分开布置，自成体系。

16.1.3 地下排水措施宜根据边坡水文地质和工程地质条件选择，当其在地下水位以上时应采取措施防止渗漏。

16.1.4 边坡工程的临时性排水设施，应满足坡面水尤其是季节性暴雨、地下水和施工用水等的排放要求，有条件时应结合边坡工程的永久性排水措施进行。

16.1.5 边坡排水应满足使用功能要求、排水结构安全可靠、便于施工、检查和养护维修。

16.2 坡面排水

16.2.1 建筑边坡坡面排水设施应包括截水沟、排水沟、跌水与急流槽等，应结合地形和天然水系进行布设，并作好进出水口的位置选择。应采取措施防止截排水沟出现堵塞、溢流、渗漏、淤积、冲刷和冻结等现象。

16.2.2 各类坡面排水设施设置的位置、数量和断面尺寸应根据地形条件、降雨强度、历时、分区汇水面积、坡面径流量和坡体内渗出的水量等因素计算分析确定。各类坡面排水沟顶应高出沟内设计水面 200mm 以上。

16.2.3 截、排水沟设计应符合下列规定：

1 坡顶截水沟宜结合地形进行布设，且距挖方边坡坡口或潜在塌滑区后缘不应小于 5m；填方边坡上侧的截水沟距填方坡脚的距离不宜小于 2m；在多雨地区可设一道或多道截水沟；

2 需将截水沟、边坡附近低洼处汇集的水引向边坡范围以外时，应设置排水沟；

3 截、排水沟的底宽和顶宽不宜小于 500mm，可采用梯形断面或矩形断面，其沟底纵坡不宜小于 0.3%；

4 截、排水沟需进行防渗处理；砌筑砂浆强度等级不应低于 M7.5，块石、片石强度等级不应低于 MU30，现浇混凝土或预制混凝土强度等级不应低于 C20；

5 当截、排水沟出水口处的坡面坡度大于 10%、水头高差大于 1.0m 时，可设置跌水和急流槽将水流引出坡体或引入排水系统。

16.3 地下排水

16.3.1 在设计地下排水设施前应查明场地水文地质条件，获取设计、施工所需的水文地质参数。

16.3.2 边坡地下排水设施包括渗流沟、仰斜式排水孔等。地下排水设施的类型、位置及尺寸应根据工程地质和水文地质条件确定，并与坡面排水设施相协调。

16.3.3 渗流沟设计应符合下列规定：

1 对于地下水埋藏浅或无固定含水层的土质边坡宜采用渗流沟排除坡体内的地下水；

2 边坡渗流沟应垂直嵌入边坡坡体，其基底宜设置在含水层以下较坚实的土层上；寒冷地区的渗流沟出口，应采取防冻措施；其平面形状宜采用条带形布置；对范围较大的潮湿坡体，可采用增设支沟，按分岔形布置或拱形布置；

3 渗流沟侧壁及顶部应设置反滤层，底部应设置封闭层；渗流沟迎水侧可采用砂砾石、无砂混凝土、渗水土工织物作反滤层。

16.3.4 仰斜式排水孔和泄水孔设计应符合下列规定：

1 用于引排边坡内地下水的仰斜式排水孔的仰角不宜小于 6° ，长度应伸至地下水富集部位或潜在滑动面，并宜根据边坡渗水情况成群分布；

2 仰斜式排水孔和泄水孔排出的水宜引入排水沟予以排除，其最下一排的出水口应高于地面或排水沟设计水位顶面，且不应小于200mm；

3 仰斜式泄水孔其边长或直径不宜小于100mm、外倾坡度不宜小于5%、间距宜为2m~3m，并宜按梅花形布置；在地下水较多或有股水流处，应加密设置；

4 在泄水孔进水侧应设置反滤层或反滤包；反滤层厚度不应小于500mm，反滤包尺寸不应小于500mm×500mm×500mm，反滤层和反滤包的顶部和底部应设厚度不小于300mm的黏土隔水层。

16.4 施 工

16.4.1 边坡排水设施施工前，宜先完成临时排水设施；施工期间，应对临时排水设施进行经常维护，保证排水畅通。

16.4.2 截水沟和排水沟施工应符合下列规定：

1 截水沟和排水沟采用浆砌块石、片石时，砂浆应饱满，沟底表面粗糙；

2 截水沟和排水沟的水沟线形要平顺，转弯处宜为弧线形。

16.4.3 渗流沟施工应符合下列规定：

1 边坡上的渗流沟宜从下向上分段间隔开挖，开挖作业面应根据土质选用合理的支撑形式，并应随挖随支撑、及时回填，不可暴露太久；

2 渗流沟渗水材料顶面不应低于坡面原地下水位；在冰冻地区，渗流沟埋置深度不应小于当地最小冻结深度；

3 在渗流沟的迎水面反滤层应采用颗粒大小均匀的碎、砾石分层填筑；土工布反滤层采用缝合法施工时，土工布的搭接宽

度应大于 100mm；铺设时应紧贴保护层，不宜拉得过紧；

4 渗流沟底部的封闭层宜采用浆砌片石或干砌片石水泥砂浆勾缝，寒冷地区应设保温层，并加大出水口附近纵坡；保温层可采用炉渣、砂砾、碎石或草皮等。

16.4.4 排水孔施工应符合下列规定：

1 仰斜式排水孔成孔直径宜为 75mm~150mm，仰角不应小于 6°；孔深应延伸至富水区；

2 仰斜式排水管直径宜为 50mm~100mm，渗水孔宜采用梅花形排列，渗水段裹 1 层~2 层无纺土工布，防止渗水孔堵塞；

3 边坡防护工程上的泄水孔可采取预埋 PVC 管等方式施工，管径不宜小于 50mm，外倾坡度不宜小于 0.5%。

17 工程滑坡防治

17.1 一般规定

17.1.1 工程滑坡类型可按表 17.1.1 进行划分。

表 17.1.1 工程滑坡类型

| 滑坡类型 | | 诱发因素 | 滑体特征 | 滑动特征 |
|-----------------------|--------|---------------------|------------------------|--------------------|
| 工程 滑坡 | 人工弃土滑坡 | 开挖坡脚、坡顶加载、施工用水等因素 | 由外倾且软弱的岩土坡面上填土构成； | 弃土沿下卧层岩土层面或弃土体内滑动； |
| | 切坡顺层滑坡 | | 由层面外倾且较软弱的岩土体构成； | 沿外倾的下卧潜在滑面或土体内滑动； |
| | 切坡岩层滑坡 | | 由外倾软弱结构面控制稳定的岩体构成 | 沿岩体外倾、临空软弱结构面滑动 |
| | 切坡土层滑坡 | | | |
| 自然 滑坡 或工程 滑坡 | 堆积体滑坡 | 暴雨、洪水或地震等自然因素，或人为因素 | 由滑坡和崩塌碎、块石堆积体构成，已有老滑面； | 沿外倾下卧岩土层老滑面或体内滑动； |
| | 岩体顺层滑坡 | | 由顺层岩体构成，已有老滑面； | 沿外倾软弱岩层、老滑面或体内滑动； |
| | 土体顺层滑坡 | | 由顺层土体构成，已有老滑面 | 沿外倾土层滑面或体内滑动 |

17.1.2 在滑坡区或潜在滑坡区进行工程建设和滑坡整治时应以防为主，防治结合，先治坡，后建房。应根据滑坡特性采取治坡与治水相结合的措施，合理有效地综合整治滑坡。

17.1.3 当滑坡体上有重要建（构）筑物时，滑坡防治在确保滑体整体稳定的同时，应选择有利于减小坡体变形的方案，避免危及建（构）筑物安全和保证其正常使用功能。

17.1.4 滑坡防治方案除应满足滑坡整治稳定性要求外，尚应考

考虑支护结构与相邻建（构）筑物基础关系，并满足建筑功能要求。在滑坡区尤其是在主滑段进行工程建设时，建筑物基础宜采用桩基础或桩锚基础等方案，将荷载直接传至稳定岩土层中，并应符合本规范第 7 章的有关规定。

17.1.5 工程滑坡的发育阶段可按表 17.1.5 划分。

表 17.1.5 滑坡发育阶段

| 演变阶段 | 弱变形阶段 | 强变形阶段 | 滑动阶段 | 停滑阶段 |
|---------|---------------------------------------|--|---|---|
| 滑动带及滑动面 | 主滑段滑动带在蠕变变形，但滑体尚未沿滑动带位移 | 主滑段滑动带已大部分形成，部分探井及钻孔可发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象。滑体局部沿滑动带位移 | 整个滑坡已全面形成，滑带土特征明显且新鲜，绝大多数探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象，滑带土含水量常较高 | 滑体不再沿滑动带位移，滑带土含水量降低，进入固结阶段 |
| 滑坡前缘 | 前缘无明显变化，未发现新泉点 | 前缘有隆起，有放射状裂隙或大体垂直等高线的压致张拉裂缝，有时有局部坍塌现象或出现湿地或有泉水溢出 | 前缘出现明显的剪出口并经常剪出，剪出口附近湿地明显，有一个或多个泉点，有时形成了滑坡舌，滑坡舌常明显伸出，鼓胀及放射状裂隙加剧并常伴有坍塌 | 前缘滑坡舌伸出，覆盖于原地表上或到达前方阻挡体壅高，前缘湿地明显，鼓丘不再发展 |
| 滑坡后缘 | 后缘地表或建筑物出现一条或数条与地形等高线大体平行的拉张裂缝，裂缝断续分布 | 后缘地表或建（构）筑物拉张裂缝多而宽且贯通，外侧下错 | 后缘张裂缝常出现多个阶坎或地堑式沉降带，滑坡壁常较明显 | 后缘裂缝不再增多，不再扩大，滑坡壁明显 |

续表 17.1.5

| 演变阶段 | 弱变形阶段 | 强变形阶段 | 滑动阶段 | 停滑阶段 |
|------|-----------------------|---------------------------|--|---------------------------------|
| 滑坡两侧 | 两侧无明显裂缝, 边界不明显 | 两侧出现雁行羽状剪切裂缝 | 羽状裂缝与滑坡后缘张裂缝, 滑坡周界明显 | 羽状裂缝不再扩大, 不再增多甚至闭合 |
| 滑坡体 | 无明显异常, 偶见滑坡体上树木倾斜 | 有裂缝及少量沉陷等异常现象, 可见滑坡体上树木倾斜 | 有差异运动形成的纵向裂缝, 中、后部水塘、水沟或水田渗漏, 滑坡体上不少树木倾斜, 滑坡整体位移 | 滑坡体不再发展, 原始地形总体坡度变小, 裂缝不再增多甚至闭合 |
| 稳定状态 | 基本稳定 | 欠稳定 | 不稳定 | 欠稳定~稳定 |
| 稳定系数 | $1.05 < F_s < F_{st}$ | $1.00 < F_s < 1.05$ | $F_s < 1.00$ | $1.00 < F_s \sim F_s > F_{st}$ |

注: F_{st} ——滑坡稳定性安全系数。

17.1.6 滑坡治理尚应符合本规范第 3 章的有关规定。

17.2 工程滑坡防治

17.2.1 工程滑坡治理应考虑滑坡类型成因、滑坡形态、工程地质和水文地质条件、滑坡稳定性、工程重要性、坡上建(构)筑物和施工影响等因素, 分析滑坡的有利和不利因素、发展趋势及危害性, 并应采取下列工程措施进行综合治理:

1 排水: 根据工程地质、水文地质、暴雨、洪水和防治方案等条件, 采取有效的地表排水和地下排水措施; 可采用在滑坡后缘外设置环形截水沟、滑坡体上设分级排水沟、裂隙封填以及坡面封闭等措施, 排放地表水, 防止暴雨和洪水对滑体和滑面的浸蚀软化; 需要时可采用设置地下横、纵向排水盲沟、廊道和仰斜式孔等措施, 疏排滑体及滑带水;

2 支挡: 滑坡整治时应根据滑坡稳定性、滑坡推力和岩土

性状等因素，按本规范表 3.1.4 选用支挡结构类型；

3 减载：刷方减载应在滑坡的主滑段实施；

4 反压：反压填方应设置在滑坡前缘抗滑段区域，可采用土石回填或加筋土反压以提高滑坡的稳定性；同时应加强反压区地下水引排；

5 对滑带注浆条件和注浆效果较好的滑坡，可采用注浆法改善滑坡带的力学特性；注浆法宜与其他抗滑措施联合使用；严禁因注浆堵塞地下水排泄通道；

6 植被绿化，并应符合本规范第 15 章的相关规定。

17.2.2 滑坡治理设计及计算应符合下列规定：

1 滑坡计算应考虑滑坡自重、滑坡体上建（构）筑物等的附加荷载、地下水及洪水的静水压力和动水压力以及地震作用等的影响，取荷载效应的最不利组合值作为滑坡的设计控制值；

2 滑坡稳定系数应与滑坡所处的滑动特征、发育阶段相适应，并应符合本规范第 17.1.5 条的规定；

3 滑坡稳定性分析计算剖面不宜少于 3 条，其中应有一条是主轴（主滑方向）剖面，剖面间距不宜大于 30m；

4 当滑体具有多层滑面时，应分别计算各滑动面的滑坡推力，取滑坡推力作用效应（对支护结构产生的弯矩或剪力）最大值作为设计值；

5 滑坡滑面（带）的强度指标应考虑岩土性质、滑坡的变形特征及含水条件等因素，根据试验值、反算值和地区经验值等综合分析确定；

6 作用在抗滑支挡结构上的滑坡推力分布，可根据滑体性质和高度等因素确定为三角形、矩形或梯形；

7 滑坡支挡设置应保证滑体不从支挡结构顶部越过、桩间挤出和产生新的深层滑动。

17.2.3 工程滑坡稳定性分析及剩余下滑力计算应按本规范第 5 章有关规定执行。工程滑坡稳定安全系数应按本规范表 5.3.2 确定。

17.3 施 工

17.3.1 工程滑坡治理应采用信息法施工。

17.3.2 工程滑坡治理各单项工程的施工程序应有利于施工期滑坡的稳定和治理。

17.3.3 滑坡区地段的工程切坡应自上而下、分段跳槽方式施工，严禁通长大断面开挖。开挖弃渣不得随意堆放在滑坡的推力段，以免诱发坡体滑动或引起新的滑坡。

17.3.4 工程滑坡治理开挖不宜在雨期实施，应控制施工用水，做好施工排水措施。

17.3.5 工程滑坡治理不宜采用普通爆破法施工。

17.3.6 工程滑坡的抗滑桩应从滑坡两端向主轴方向分段间隔施工，开挖中应核实滑动面位置和性状，当与原勘察设计不符时应及时向相关部门反馈信息。

18 边坡工程施工

18.1 一般规定

18.1.1 边坡工程应根据安全等级、边坡环境、工程地质和水文地质、支护结构类型和变形控制要求等条件编制施工方案，采取合理、可行、有效的措施保证施工安全。

18.1.2 对土石方开挖后不稳定或欠稳定的边坡，应根据边坡的地质特征和可能发生的破坏方式等情况，采取自上而下、分段跳槽、及时支护的逆作法或部分逆作法施工。未经设计许可严禁大开挖、爆破作业。

18.1.3 不应在边坡潜在塌滑区超量堆载。

18.1.4 边坡工程的临时性排水措施应满足地下水、暴雨和施工用水等的排放要求，有条件时宜结合边坡工程的永久性排水措施进行。

18.1.5 边坡工程开挖后应及时按设计实施支护结构施工或采取封闭措施。

18.1.6 一级边坡工程施工应采用信息法施工。

18.1.7 边坡工程施工应进行水土流失、噪声及粉尘控制等的环境保护。

18.1.8 边坡工程施工除应符合本章规定外，尚应符合本规范其他有关章节及现行国家标准《土方与爆破工程施工及验收规范》GB 50201的有关规定。

18.2 施工组织设计

18.2.1 边坡工程的施工组织设计应包括下列基本内容：

1 工程概况

边坡环境及邻近建（构）筑物基础概况、场区地形、工程地

质与水文地质特点、施工条件、边坡支护结构特点、必要的图件及技术难点。

2 施工组织管理

组织机构图及职责分工，规章制度及落实合同工期。

3 施工准备

熟悉设计图、技术准备、施工所需的设备、材料进场、劳动力等计划。

4 施工部署

平面布置，边坡施工的分段分阶、施工程序。

5 施工方案

土石方及支护结构施工方案、附属构筑物施工方案、试验与监测。

6 施工进度计划

采用流水作业原理编制施工进度、网络计划及保证措施。

7 质量保证体系及措施

8 安全管理及文明施工

18.2.2 采用信息法施工的边坡工程组织设计应反映信息法施工的特殊要求。

18.3 信息法施工

18.3.1 信息法施工的准备工作的应包括下列内容：

1 熟悉地质及环境资料，重点了解影响边坡稳定性的地质特征和边坡破坏模式；

2 了解边坡支护结构的特点和技术难点，掌握设计意图及对施工的特殊要求；

3 了解坡顶需保护的重要建（构）筑物基础、结构和管线情况及其要求，必要时采取预加固措施；

4 收集同类边坡工程的施工经验；

5 参与制定和实施边坡支护结构、邻近建（构）筑物和管线的监测方案；

6 制定应急预案。

18.3.2 信息法施工应符合下列规定：

1 按设计要求实施监测，掌握边坡工程监测情况；

2 编录施工现场揭示的地质状态与原地质资料对比变化图，为施工勘察提供资料；

3 根据施工方案，对可能出现的开挖不利工况进行边坡及支护结构强度、变形和稳定验算；

4 建立信息反馈制度，当开挖后的实际地质情况与原勘察资料变化较大，支护结构变形较大，监测值达到报警值等不利于边坡稳定的情况发生时，应及时向设计、监理、业主通报，并根据设计处理措施调整施工方案；

5 施工中出現险情时应按本规范第 18.5 节要求进行处理。

18.4 爆破施工

18.4.1 岩石边坡开挖爆破施工应采取避免边坡及邻近建（构）筑物震害的工程措施。

18.4.2 当地质条件复杂、边坡稳定性差、爆破对坡顶建（构）筑物震害较严重时，不应采用爆破开挖方案。

18.4.3 边坡爆破施工应符合下列规定：

1 在爆破危险区应采取安全保护措施；

2 爆破前应对爆破影响区建（构）筑物的原有状况进行查勘记录，并布设好监测点；

3 爆破施工应符合本规范第 18.2 节要求；当边坡开挖采用逆作法时，爆破应配合放阶施工；当爆破危害较大时，应采取控制爆破措施；

4 支护结构坡面爆破宜采用光面爆破法；爆破坡面宜预留部分岩层采用人工挖掘修整；

5 爆破施工技术尚应符合国家现行有关标准的规定。

18.4.4 爆破影响区有建筑物时，爆破产生的地面质点震动速度应按表 18.4.4 确定。

表 18.4.4 爆破安全允许震动速度

| 保护对象类别 | 安全允许震动速度 (cm/s) | | |
|-----------------|-----------------|-----------|------------|
| | <10Hz | 10Hz~50Hz | 50Hz~100Hz |
| 土坯房、毛石房屋 | 0.5~1.0 | 0.7~1.2 | 1.1~1.5 |
| 一般砖房、非抗震的大型砌块建筑 | 2.0~2.5 | 2.3~2.8 | 2.7~3.0 |
| 混凝土结构房屋 | 3.0~4.0 | 3.5~4.5 | 4.2~5.0 |

注：Hz——赫兹，频率符号。

18.4.5 对稳定性较差的边坡或爆破影响范围内坡顶有重要建筑物的边坡，爆破震动效应应通过爆破震动效应监测或试爆试验确定。

18.5 施工险情应急处理

18.5.1 当边坡变形过大，变形速率过快，周边环境出现沉降开裂等险情时，应暂停施工，并根据险情状况采用下列应急处理措施：

- 1 坡底被动区临时压重；
- 2 坡顶主动区卸土减载，并应严格控制卸载程序；
- 3 做好临时排水、封面处理；
- 4 临时加固支护结构；
- 5 加强险情区段监测；

6 立即向勘察、设计等单位反馈信息，及时按施工现状开展勘察及设计资料复审工作。

18.5.2 边坡施工出现险情时，施工单位应做好边坡支护结构及边坡环境异常情况收集、整理、汇编等工作。

18.5.3 边坡施工出现险情后，施工单位应会同相关单位查清险情原因，并按边坡排危抢险方案的原则制定施工抢险方案。

18.5.4 施工单位应根据施工抢险方案及时开展边坡工程抢险工作。

19 边坡工程监测、质量检验及验收

19.1 监 测

19.1.1 边坡塌滑区有重要建（构）筑物的一级边坡工程施工时必须对坡顶水平位移、垂直位移、地表裂缝和坡顶建（构）筑物变形进行监测。

19.1.2 边坡工程应由设计提出监测项目和要求，由业主委托有资质的监测单位编制监测方案，监测方案应包括监测项目、监测目的、监测方法、测点布置、监测项目报警值和信息反馈制度等内容，经设计、监理和业主等共同认可后实施。

19.1.3 边坡工程可根据安全等级、地质环境、边坡类型、支护结构类型和变形控制要求，按表 19.1.3 选择监测项目。

表 19.1.3 边坡工程监测项目表

| 测试项目 | 测点布置位置 | 边坡工程安全等级 | | |
|-------------|---|----------|----|-----|
| | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 坡顶水平位移和垂直位移 | 支护结构顶部或预估支护结构变形最大处 | 应测 | 应测 | 应测 |
| 地表裂缝 | 墙顶背后 $1.0H$ （岩质） $\sim 1.5H$ （土质）范围内 | 应测 | 应测 | 选测 |
| 坡顶建（构）筑物变形 | 边坡坡顶建筑物基础、 墙面和整体倾斜 | 应测 | 应测 | 选测 |
| 降雨、洪水与时间关系 | — | 应测 | 应测 | 选测 |
| 锚杆（索）拉力 | 外锚头或锚杆主筋 | 应测 | 选测 | 可不测 |
| 支护结构变形 | 主要受力构件 | 应测 | 选测 | 可不测 |
| 支护结构应力 | 应力最大处 | 选测 | 选测 | 可不测 |
| 地下水、渗水与降雨关系 | 出水点 | 应测 | 选测 | 可不测 |

注：1 在边坡塌滑区内有重要建（构）筑物，破坏后果严重时，应加强对支护结构的应力监测；

2 H ——边坡高度（m）。

19.1.4 边坡工程监测应符合下列规定：

1 坡顶位移观测，应在每一典型边坡段的支护结构顶部设置不少于 3 个监测点的观测网，观测位移量、移动速度和移动方向；

2 锚杆拉力和预应力损失监测，应选择有代表性的锚杆（索），测定锚杆（索）应力和预应力损失；

3 非预应力锚杆的应力监测根数不宜少于锚杆总数 3%，预应力锚索的应力监测根数不宜少于锚索总数的 5%，且均不应少于 3 根；

4 监测工作可根据设计要求、边坡稳定性、周边环境和施工进度等因素进行动态调整；

5 边坡工程施工初期，监测宜每天一次，且应根据地质环境复杂程度、周边建（构）筑物、管线对边坡变形敏感程度、气候条件和监测数据调整监测时间及频率；当出现险情时应加强监测；

6 一级永久性边坡工程竣工后的监测时间不宜少于 2 年。

19.1.5 地表位移监测可采用 GPS 法和大地测量法，可辅以电子水准仪进行水准测量。在通视条件较差的环境下，采用 GPS 监测为主；在通视条件较好的情况下采用大地测量法。边坡变形监测与测量精度应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的有关规定。

19.1.6 应采取有效措施监测地表裂缝、位错等变化。监测精度对于岩质边坡分辨率不应低于 0.50mm、对于土质边坡分辨率不应低于 1.00mm。

19.1.7 边坡工程施工过程中及监测期间遇到下列情况时应及时报警，并采取相应的应急措施：

1 有软弱外倾结构面的岩土边坡支护结构坡顶有水平位移迹象或支护结构受力裂缝有发展；无外倾结构面的岩质边坡或支护结构构件的最大裂缝宽度达到国家现行相关标准的允许值；土质边坡支护结构坡顶的最大水平位移已大于边坡开挖深度的

1/500或 20mm，以及其水平位移速度已连续 3d 大于 2mm/d；

2 土质边坡坡顶邻近建筑物的累计沉降、不均匀沉降或整体倾斜已大于现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007规定允许值的 80%，或建筑物的整体倾斜度变化速度已连续 3d 每天大于 0.00008；

3 坡顶邻近建筑物出现新裂缝、原有裂缝有新发展；

4 支护结构中有重要构件出现应力骤增、压屈、断裂、松弛或破坏的迹象；

5 边坡底部或周围岩土体已出现可能导致边坡剪切破坏的迹象或其他可能影响安全的征兆；

6 根据当地工程经验判断已出现其他必须报警的情况。

19.1.8 对地质条件特别复杂的、采用新技术治理的一级边坡工程，应建立边坡工程长期监测系统。边坡工程监测系统包括监测基准网和监测点建设、监测设备仪器安装和保护、数据采集与传输、数据处理与分析、预测预报或总结等。

19.1.9 边坡工程监测报告应包括下列主要内容：

1 边坡工程概况；

2 监测依据；

3 监测项目和要求；

4 监测仪器的型号、规格和标定资料；

5 测点布置图、监测指标时程曲线图；

6 监测数据整理、分析和监测结果评述。

19.2 质量检验

19.2.1 边坡支护结构的原材料质量检验应包括下列内容：

1 材料出厂合格证检查；

2 材料现场抽检；

3 锚杆浆体和混凝土的配合比试验，强度等级检验。

19.2.2 锚杆的质量验收应按本规范附录 C 的规定执行。软土层锚杆质量验收应按国家现行有关标准执行。

19.2.3 灌注桩检验可采取低应变动测法、预埋管声波透射法或其他有效方法，并应符合下列规定：

1 对低应变检测结果有怀疑的灌注桩，应采用钻芯法进行补充检测；钻芯法应进行单孔或跨孔声波检测，混凝土质量与强度评定按国家现行有关标准执行；

2 对一级边坡桩，当长边尺寸不小于 2.0m 或桩长超过 15.0m 时，应采用声波透射法检验桩身完整性；当对桩身质量有怀疑时，可采用钻芯法进行复检。

19.2.4 钢筋位置、间距、数量和保护层厚度可采用钢筋探测仪复检，当对钢筋规格有怀疑时可直接凿开检查。

19.2.5 喷射混凝土护壁厚度和强度的检验应符合下列规定：

1 可用凿孔法或钻孔法检测面板护壁厚度，每 100m² 抽检一组；芯样直径为 100mm 时，每组不应少于 3 个点；

2 厚度平均值应大于设计厚度，最小值不应小于设计厚度的 80%；

3 混凝土抗压强度的检测和评定应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的有关规定。

19.2.6 边坡工程质量检测报告应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测主要依据；
- 3 检测方法与仪器设备型号；
- 4 检测点分布图；
- 5 检测数据分析；
- 6 检测结论。

19.3 验 收

19.3.1 边坡工程验收应取得下列资料：

- 1 施工记录、隐蔽工程检查验收记录和竣工图；
- 2 边坡工程与周围建（构）筑物位置关系图；
- 3 原材料出厂合格证、场地材料复检报告或委托试验报告；

- 4 混凝土强度试验报告、砂浆试块抗压强度试验报告；
- 5 锚杆抗拔试验等现场实体检测报告；
- 6 边坡和周围建（构）筑物监测报告；
- 7 勘察报告、设计施工图和设计变更通知、重大问题处理文件及技术洽商记录；
- 8 各分项、分部工程验收记录。

19.3.2 边坡工程验收应按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定执行。

附录 A 不同滑面形态的边坡稳定性计算方法

A.0.1 圆弧形滑面的边坡稳定性系数可按下列公式计算（图 A.0.1）：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{\theta i}} [c_i l_i \cos \theta_i + (G_i + G_{br} - U_i \cos \theta_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{br}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i]} \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$m_{\theta i} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \theta_i}{F_s} \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{wi} + h_{w,i-1}) l_i \quad (\text{A.0.1-3})$$

式中： F_s ——边坡稳定性系数；

c_i ——第 i 计算条块滑面黏聚力（kPa）；

φ_i ——第 i 计算条块滑面内摩擦角（°）；

l_i ——第 i 计算条块滑面长度（m）；

θ_i ——第 i 计算条块滑面倾角（°），滑面倾向与滑动方向

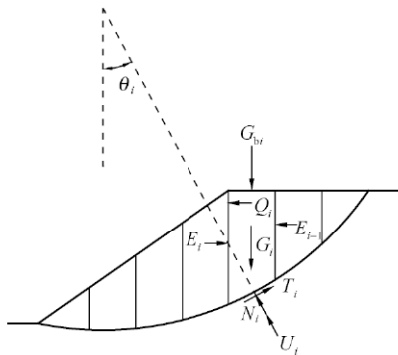


图 A.0.1 圆弧形滑面边坡计算示意

相同时取正值，滑面倾向与滑动方向相反时取负值；

U_i ——第 i 计算条块滑面单位宽度总水压力 (kN/m)；

G_i ——第 i 计算条块单位宽度自重 (kN/m)；

$G_{\text{b}i}$ ——第 i 计算条块单位宽度竖向附加荷载 (kN/m)，方向指向下方时取正值，指向上方时取负值；

Q_i ——第 i 计算条块单位宽度水平荷载 (kN/m)；方向指向坡外时取正值，指向坡内时取负值；

h_{wi} , $h_{w,i-1}$ ——第 i 及第 $i-1$ 计算条块滑面前端水头高度 (m)；

γ_w ——水重度，取 10kN/m^3 ；

i ——计算条块号，从后方起编；

n ——条块数量。

A. 0. 2 平面滑动面的边坡稳定性系数可按下列公式计算 (图 A. 0. 2)：

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (\text{A. 0. 2-1})$$

$$R = [(G + G_b)\cos\theta - Q\sin\theta - V\sin\theta - U]\tan\varphi + cL \quad (\text{A. 0. 2-2})$$

$$T = (G + G_b)\sin\theta + Q\cos\theta + V\cos\theta \quad (\text{A. 0. 2-3})$$

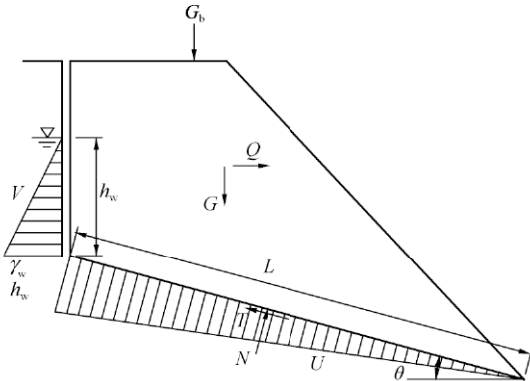


图 A. 0. 2 平面滑动面边坡计算简图

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (\text{A. 0. 2-4})$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w L \quad (\text{A. 0. 2-5})$$

式中： T ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力 (kN/m)；
 R ——滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力 (kN/m)；
 c ——滑面的黏聚力 (kPa)；
 φ ——滑面的内摩擦角 (°)；
 L ——滑面长度 (m)；
 G ——滑体单位宽度自重 (kN/m)；
 G_b ——滑体单位宽度竖向附加荷载 (kN/m)；方向指向下方时取正值，指向上方时取负值；
 θ ——滑面倾角 (°)；
 U ——滑面单位宽度总水压力 (kN/m)；
 V ——后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力 (kN/m)；
 Q ——滑体单位宽度水平荷载 (kN/m)；方向指向坡外时取正值，指向坡内时取负值；
 h_w ——后缘陡倾裂隙充水高度 (m)，根据裂隙情况及汇水条件确定。

A. 0. 3 折线形滑动面的边坡可采用传递系数法隐式解，边坡稳定性系数可按下列公式计算 (图 A. 0. 3)：

$$P_n = 0 \quad (\text{A. 0. 3-1})$$

$$P_i = P_{i-1} \psi_{i-1} + T_i - R_i / F_s \quad (\text{A. 0. 3-2})$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\theta_{i-1} - \theta_i) - \sin(\theta_{i-1} - \theta_i) \tan \varphi_i / F_s \quad (\text{A. 0. 3-3})$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i \quad (\text{A. 0. 3-4})$$

$$R_i = c_i l_i + [(G_i + G_{bi}) \cos \theta_i - Q_i \sin \theta_i - U_i] \tan \varphi_i \quad (\text{A. 0. 3-5})$$

式中： P_n ——第 n 条块单位宽度剩余下滑力 (kN/m)；
 P_i ——第 i 计算条块与第 $i+1$ 计算条块单位宽度剩余下

- 滑力 (kN/m); 当 $P_i < 0$ ($i < n$) 时取 $P_i = 0$;
- T_i ——第 i 计算条块单位宽度重力及其他外力引起的下滑力 (kN/m);
- R_i ——第 i 计算条块单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力 (kN/m)。
- ψ_{i-1} ——第 $i-1$ 计算条块对第 i 计算条块的传递系数; 其他符号同前。

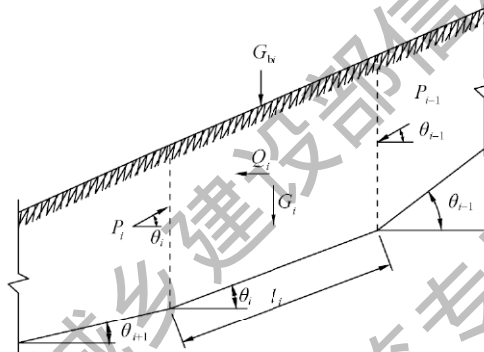


图 A. 0. 3 折线形滑面边坡传递系数法计算简图

注: 在用折线形滑面计算滑坡推力时, 应将公式 (A. 0. 3-2) 和公式 (A. 0. 3-3) 中的稳定系数 F_i 替换为安全系数 F_{st} , 以此计算的 P_n , 即为滑坡的推力。

附录 B 几种特殊情况下的侧向压力计算

B.0.1 距支护结构顶端作用有线分布荷载时 (图 B.0.1), 附加侧向压力分布可简化为等腰三角形, 最大附加侧向土压力可按下列式计算:

$$e_{h,\max} = \left(\frac{2Q_L}{h} \right) \sqrt{K_a} \quad (\text{B.0.1})$$

式中: $e_{h,\max}$ ——最大附加侧向压力 (kN/m^2);

h ——附加侧向压力分布范围 (m), $h = a(\tan\beta - \tan\varphi)$, $\beta = 45^\circ + \varphi/2$;

Q_L ——线分布荷载标准值 (kN/m);

K_a ——主动土压力系数, $K = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$ 。

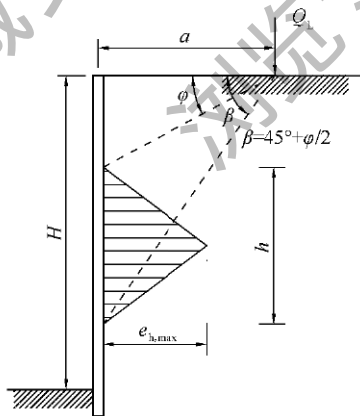


图 B.0.1 线荷载产生的附加侧向压力分布图

B.0.2 距支护结构顶端作用有宽度的均布荷载时, 附加侧向压力分布可简化为有限范围内矩形 (图 B.0.2), 附加侧向土压力可按下列式计算:

$$e_h = K_a \cdot q_L \quad (\text{B. 0. 2})$$

式中： e_h ——附加侧向土压力 (kN/m^2)；

K_a ——主动土压力系数；

q_L ——局部均布荷载标准值 (kN/m^2)。

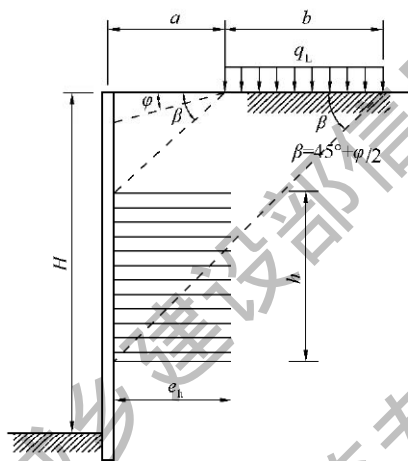


图 B. 0. 2 局部荷载产生的附加侧向压力分布图

B. 0. 3 当坡顶地面非水平时，支护结构上的主动土压力可按下列规定进行计算：

1 坡顶地表局部为水平时（图 B. 0. 3-1），支护结构上的主动土压力可按下列公式计算：

$$e_a = \gamma z \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (\text{B. 0. 3-1})$$

$$e'_a = K_a \gamma (z + h) - 2c \sqrt{K_a} \quad (\text{B. 0. 3-2})$$

式中： β ——边坡坡顶地表斜坡面与水平面的夹角 ($^\circ$)；

c ——土体的黏聚力 (kPa)；

φ ——土体的内摩擦角 ($^\circ$)；

γ ——土体的重度 (kN/m^3)；

- K_a ——主动土压力系数；
 e_a 、 e'_a ——侧向土压力 (kN/m^2)；
 z ——计算点的深度 (m)；
 h ——地表水平面与地表斜坡和支护结构相交点的距离 (m)。

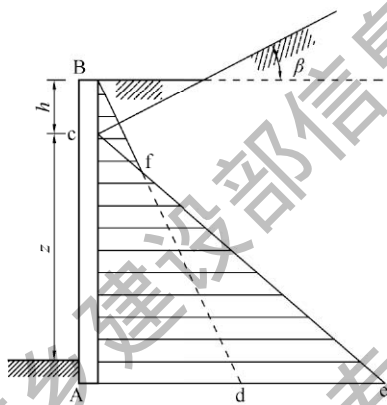


图 B.0.3-1 地面局部为水平时支护结构上主动土压力的近似计算

2 坡顶地表局部为斜面时 (图 B.0.3-2)，计算支护结构上的侧向土压力时可将斜面延长到 c 点，则 BA d fB 为主动土压力的近似分布图形；

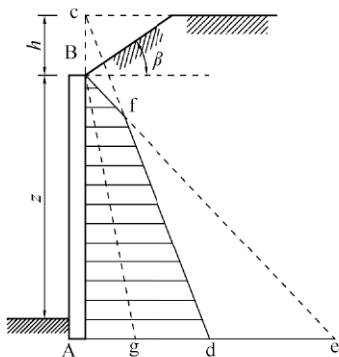


图 B.0.3-2 地面局部为斜面时支护结构上主动土压力的近似计算

3 坡顶地表中部为斜面时 (图 B.0.3-3), 支护结构上主动土压力可按本条第 1 款和第 2 款的方法叠加计算。

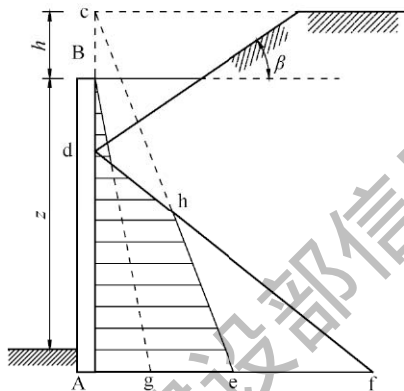


图 B.0.3-3 地面中部为斜面时支护结构上主动土压力的近似计算

B.0.4 当边坡为二阶且垂直、坡顶水平且无超载时 (图 B.0.4), 岩土压力的合力和边坡破坏时的平面破裂角应符合下列规定:

1 岩土压力的合力应按下列公式计算:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \quad (\text{B.0.4-1})$$

$$K_a = \left(\cot \theta - \frac{2a\xi}{h} \right) \tan(\theta - \varphi) - \frac{\gamma \cos \varphi}{\sin \theta \cos(\theta - \varphi)} \quad (\text{B.0.4-2})$$

式中: E_a ——水平岩土压力合力 (kN/m);

K_a ——水平岩土压力系数;

γ ——支挡结构后的岩土体重度, 地下水位以下用有效重度 (kN/m³);

h ——边坡的垂直高度 (m);

a ——上阶边坡的宽度 (m);

ξ ——上阶边坡的高度与总的边坡高度的比值;

φ ——岩土体或外倾结构面的内摩擦角 ($^{\circ}$);

θ ——岩土体的临界滑动面与水平面的夹角 ($^{\circ}$)。当岩体存在外倾结构面时, θ 可取外倾结构面的倾角, 取外倾结构面的抗剪强度指标; 当存在多个外倾结构面时, 应分别计算, 取其中的最大值为设计值; 当岩体中不存在外倾结构面时, θ 可按式 (B.0.4-3) 计算。

2 边坡破坏时的平面破裂角应按下列公式计算:

$$\theta = \arctan \left[\frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + \frac{2a\xi}{h(\eta + \tan\varphi)}} - \sin\varphi} \right] \quad (\text{B.0.4-3})$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma h} \quad (\text{B.0.4-4})$$

式中: γ ——支挡结构后的岩土体重度, 地下水位以下用有效重度 (kN/m^3);

h ——边坡的垂直高度 (m);

a ——上阶边坡的宽度 (m);

ξ ——上阶边坡的高度与总的边坡高度的比值;

c ——岩土体或外倾结构面的黏聚力 (kPa);

φ ——岩土体或外倾结构面的内摩擦角 ($^{\circ}$)。

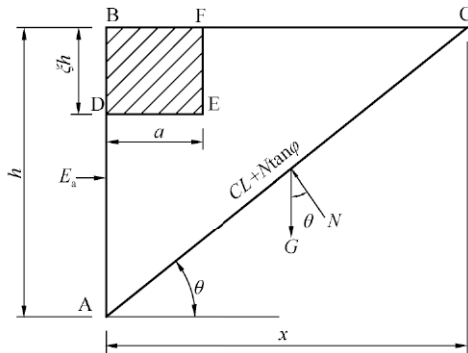


图 B.0.4 二阶竖直边坡的计算简图

附录 C 锚杆试验

C.1 一般规定

C.1.1 锚杆试验包括锚杆的基本试验、验收试验。锚杆蠕变试验应符合国家现行有关标准的规定。

C.1.2 锚杆试验的千斤顶和油泵以及测力计、应变计和位移计等计量仪表应在试验前进行计量检定合格，且精度应经过确认，并在试验期间应保持不变。

C.1.3 锚杆试验的反力装置在计划的最大试验荷载下应具有足够的强度和刚度。

C.1.4 锚杆锚固体强度达到设计强度 90%后方可进行试验。

C.1.5 锚杆试验记录表可按表 C.1.5 制定。

表 C.1.5 锚杆试验记录表

工程名称:

施工单位:

| 试验类别 | | 试验日期 | | | 砂浆强度等级 | 设计 | |
|-------|---------|------------|---|---|------------|-----------|----|
| 试验编号 | | 灌浆日期 | | | | 实际 | |
| 岩土性状 | | 灌浆压力 | | | 杆体材料 | 规格 | |
| 锚固段长度 | | 自由段长度 | | | | 数量 | |
| 钻孔直径 | | 钻孔倾角 | | | | 长度 | |
| 序号 | 荷载 (kN) | 百分表位移 (mm) | | | 本级位移量 (mm) | 增量累计 (mm) | 备注 |
| | | 1 | 2 | 3 | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

校核:

试验记录:

C.2 基本试验

C.2.1 锚杆基本试验的地质条件、锚杆材料和施工工艺等应与工程锚杆一致。

C.2.2 基本试验时最大的试验荷载不应超过杆体标准值的 0.85 倍，普通钢筋不应超过其屈服值 0.90 倍。

C.2.3 基本试验主要目的是确定锚固体与岩土层间粘结强度极限标准值、锚杆设计参数和施工工艺。试验锚杆的锚固长度和锚杆根数应符合下列规定：

1 当进行确定锚固体与岩土层间粘结强度极限标准值、验证杆体与砂浆间粘结强度极限标准值的试验时，为使锚固体与地层间首先破坏，当锚固段长度取设计锚固长度时应增加锚杆钢筋用量，或采用设计锚杆时应减短锚固长度，试验锚杆的锚固长度对硬质岩取设计锚固长度的 0.40 倍，对软质岩取设计锚固长度的 0.60 倍；

2 当进行确定锚固段变形参数和应力分布的试验时，锚固段长度应取设计锚固长度；

3 每种试验锚杆数量均不应少于 3 根。

C.2.4 锚杆基本试验应采用循环加、卸荷法，并应符合下列规定：

1 每级荷载施加或卸除完毕后，应立即测读变形量；

2 在每级加荷等级观测时间内，测读位移不应少于 3 次，每级荷载稳定标准为 3 次百分表读数的累计变位量不超过 0.10mm；稳定后即可加下一级荷载；

3 在每级卸荷时间内，应测读锚头位移 2 次，荷载全部卸除后，再测读 2 次~3 次；

4 加、卸荷等级、测读间隔时间宜按表 C.2.4 确定。

表 C.2.4 锚杆基本试验循环加、卸荷等级与位移观测间隔时间

| 加荷标准 循环数 | 预估破坏荷载的百分数 (%) | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|----|----|----|----|----|---------------|-------|----|----|----|----|----|
| | 每级加载量 | | | | | | 累计 加载 量 | 每级卸载量 | | | | | |
| 第一循环 | 10 | 20 | 20 | | | | 50 | | | | 20 | 20 | 10 |
| 第二循环 | 10 | 20 | 20 | 20 | | | 70 | | | 20 | 20 | 20 | 10 |
| 第三循环 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | | 90 | | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 |
| 第四循环 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 100 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 |
| 观测时间 (min) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

C.2.5 锚杆试验中出现下列情况之一时视为破坏，应终止加载：

- 1 锚头位移不收敛，锚固体从岩土层中拔出或锚杆从锚固体中拔出；
- 2 锚头总位移量超过设计允许值；
- 3 土层锚杆试验中后一级荷载产生的锚头位移增量，超过上一级荷载位移增量的 2 倍。

C.2.6 试验完成后，应根据试验数据绘制：荷载-位移 ($Q-s$) 曲线、荷载-弹性位移 ($Q-s_e$) 曲线、荷载-塑性位移 ($Q-s_p$) 曲线。

C.2.7 拉力型锚杆弹性变形在最大试验荷载作用下，所测得的弹性位移量应超过该荷载下杆体自由段理论弹性伸长值的 80%，且小于杆体自由段长度与 1/2 锚固段之和的理论弹性伸长值。

C.2.8 锚杆极限承载力标准值取破坏荷载前一级的荷载值；在最大试验荷载作用下未达到本规范附录 C 第 C.2.5 条规定的破坏标准时，锚杆极限承载力取最大荷载值为标准值。

C.2.9 当锚杆试验数量为 3 根，各根极限承载力值的最大差值小于 30% 时，取最小值作为锚杆的极限承载力标准值；若最大

差值超过 30%，应增加试验数量，按 95% 的保证概率计算锚杆极限承载力标准值。

C. 2. 10 基本试验的钻孔，应钻取芯样进行岩石力学性能试验。

C. 3 验收试验

C. 3. 1 锚杆验收试验的目的是检验施工质量是否达到设计要求。

C. 3. 2 验收试验锚杆的数量取每种类型锚杆总数的 5%，自由段位于 I、II、III 类岩石内时取总数的 1.5%，且均不得少于 5 根。

C. 3. 3 验收试验的锚杆应随机抽样。质监、监理、业主或设计单位对质量有疑问的锚杆也应抽样作验收试验。

C. 3. 4 验收试验荷载对永久性锚杆为锚杆轴向拉力 N_{ak} 的 1.50 倍；对临时性锚杆为 1.20 倍。

C. 3. 5 前三级荷载可按试验荷载值的 20% 施加，以后每级按 10% 施加；达到检验荷载后观测 10min，在 10min 持荷时间内锚杆的位移量应小于 1.00mm。当不能满足时持荷至 60min 时，锚杆位移量应小于 2.00mm。卸荷到试验荷载的 0.10 倍并测出锚头位移。加载时的测读时间可按本规范附录 C 表 C. 2. 4 确定。

C. 3. 6 锚杆试验完成后应绘制锚杆荷载-位移 ($Q-s$) 曲线图。

C. 3. 7 符合下列条件时，试验的锚杆应评定为合格：

- 1 加载到试验荷载计划最大值后变形稳定；
- 2 符合本规范附录 C 第 C. 2. 8 条规定。

C. 3. 8 当验收锚杆不合格时，应按锚杆总数的 30% 重新抽检；重新抽检有锚杆不合格时应全数进行检验。

C. 3. 9 锚杆总变形量应满足设计允许值，且应与地区经验基本一致。

附录D 锚杆选型

表D 锚杆选型

| 锚固形式 锚杆类别 | 锚杆特征 | 材料 | 锚杆轴向 拉力 N_{ak} (kN) | 锚杆长度 (m) | 应力状况 | 备 注 |
|--------------|------|--|-----------------------------|-------------|--------------|-------------------------|
| 土层锚杆 | | 普通螺纹钢 筋 | <300 | <16 | 非预应力 | 锚杆超长 时, 施工安装 难度较大 |
| | | 钢绞线 高强钢丝 | $300\sim 800$ | >10 | 预应力 | 锚杆超长时 施工方便 |
| | | 预应力螺纹 钢筋 (直径 $18\text{mm}\sim 25\text{mm}$) | $300\sim 800$ | >10 | 预应力 | 杆体防腐性 好, 施工安装 方便 |
| | | 无粘结钢绞 线 | $300\sim 800$ | >10 | 预应力 | 压力型、压 力分散型锚杆 |
| 岩层锚杆 | | 普通螺纹钢 筋 | <300 | <16 | 非预应力 | 锚杆超长 时, 施工安装 难度较大 |
| | | 钢绞线 高强钢丝 | $300\sim 3000$ | >10 | 预应力 | 锚杆超长时 施工方便 |
| | | 预应力螺纹 钢筋 (直径 $25\text{mm}\sim 32\text{mm}$) | $300\sim 1100$ | >10 | 预应力或 非预应力 | 杆体防腐性 好, 施工安装 方便 |
| | | 无粘结钢绞 线 | $300\sim 3000$ | >10 | 预应力 | 压力型、压 力分散型锚杆 |

附录 E 锚杆材料

E.0.1 锚杆材料可根据锚固工程性质、锚固部位和工程规模等因素，选择高强度、低松弛的普通钢筋、预应力螺纹钢筋、预应力钢丝或钢绞线。

E.0.2 锚杆材料的物理力学性能应符合下列规定：

1 采用高强预应力钢丝时，其力学性能必须符合现行国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 的规定；

2 采用预应力钢绞线时，其力学性能必须符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的规定，其抗拉强度应符合表 E.0.2-1 的规定；

3 采用预应力螺纹钢筋时，其抗拉强度应符合表 E.0.2-2 的规定；

4 采用无粘结钢绞线时，其主要技术参数应符合表 E.0.2-3 的规定；

5 采用普通螺纹钢筋时，其抗拉强度应符合表 E.0.2-4 的规定。

表 E.0.2-1 钢绞线抗拉强度设计值、标准值 (N/mm²)

| 种类 | 直径 (mm) | 抗拉强度设计值 (f_{py}) | 屈服强度标准值 (f_{pyk}) | 极限强度标准值 (f_{ptk}) |
|-----------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1×3 三股 | 8.6, 10.8, 12.9 | 1220 | 1410 | 1720 |
| | | 1320 | 1670 | 1860 |
| | | 1390 | 1760 | 1960 |
| 1×7 七股 | 9.5, 12.7, 15.2, 17.8 | 1220 | 1540 | 1720 |
| | | 1320 | 1670 | 1860 |
| | | 1390 | 1760 | 1960 |
| | 21.6 | 1220 | 1590 | 1720 |
| | | 1320 | 1670 | 1860 |

表 E.0.2-2 预应力螺纹钢筋抗拉强度设计值、标准值 (N/mm²)

| 种类 | 直径 (mm) | 符号 | 抗拉强度 设计值 (f_y) | 屈服强度 标准值 (f_{yk}) | 极限强度 标准值 (f_{stk}) |
|-------------|------------|--------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 预应力 螺纹钢筋 | 18 | PSB785 | 650 | 785 | 980 |
| | 25 | | | | |
| | 32 | PSB930 | 770 | 930 | 1030 |
| | 40 | | | | |
| 50 | PSB1080 | 900 | 1080 | 1230 | |

表 E.0.2-3 无粘结钢绞线主要技术参数

| 防腐油脂线重量 (g/m) | | >32 | 钢材与 PE 层间 摩擦系数 | 0.04~0.10 | | |
|------------------|----|-----------|-------------------|-----------|-------|-----------|
| PE 层厚度 (mm) | 双层 | 外层 | 成品重量 (kg/m) | 单层 | 双层 | |
| | | 内层 | | | | 0.80~1.00 |
| | 单层 | 0.80~1.00 | $\phi 12.7$ | 0.871 | 0.907 | |

表 E.0.2-4 普通螺纹钢筋抗拉强度设计值、标准值 (N/mm²)

| 种 类 | | 直径 (mm) | 抗拉强度 设计值 (f_y) | 屈服强度 标准值 (f_{yk}) | 极限强度 标准值 (f_{stk}) |
|------------------|-----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 热 轧 钢 筋 | HRB335 HRBF335 | 6~50 | 300 | 335 | 455 |
| | HRB400 HRBF400 RRB400 | 6~50 | 360 | 400 | 540 |
| | HRB500 HRBF500 | 6~50 | 435 | 500 | 630 |

附录 F 土质边坡的静力平衡法和等值梁法

F.0.1 对板肋式及桩锚式挡墙，当立柱（肋柱和桩）嵌入深度较小或坡脚土体较软弱时，可视立柱下端为自由端，按静力平衡法计算。当立柱嵌入深度较大或为岩层或坡脚土体较坚硬时，可视立柱下端为固定端，按等值梁法计算。

F.0.2 采用静力平衡法或等值梁法计算立柱内力和锚杆水平分力时，应符合下列假定：

- 1 采用从上到下的逆作法施工；
- 2 假定上部锚杆施工后开挖下部边坡时，上部分的锚杆内力保持不变；
- 3 立柱在锚杆处为不动点。

F.0.3 采用静力平衡法（图 F.0.3）计算时应符合下列规定：

- 1 锚杆水平分力可按下式计算：

$$H_{tkj} = E_{akj} - E_{pkj} - \sum_{i=1}^{j-1} H_{tki} \quad (\text{F.0.3-1})$$
$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

式中： H_{tki} 、 H_{tkj} ——相应于作用的标准组合时，第 i 、 j 层锚杆水平分力（kN）；

E_{akj} ——相应于作用的标准组合时，挡墙后侧向主动土压力合力（kN）；

E_{pkj} ——相应于作用的标准组合时，坡脚地面以下挡墙前侧向被动土压力合力（kN）；

n ——沿边坡高度范围内设置的锚杆总层数。

- 2 最小嵌入深度 D_{\min} 可按下式计算确定：

$$E_{pk}b - E_{ak}a_n - \sum_{i=1}^n H_{tki}a_{ai} = 0 \quad (\text{F.0.3-2})$$

式中： E_{ak} ——相应于作用的标准组合时，挡墙后侧向主动土压力合力（kN）；

E_{pk} ——相应于作用的标准组合时，挡墙前侧向被动土压力合力（kN）；

a_{a1} —— H_{tk1} 作用点到 H_{tkn} 的距离（m）；

a_{a2} —— H_{tk2} 作用点到 H_{tkn} 的距离（m）；

a_n —— E_{ak} 作用点到 H_{tkn} 的距离（m）；

b —— E_{pk} 作用点到 H_{tkn} 的距离（m）。

3 立柱设计嵌入深度 h_r 可按下式计算：

$$h_r = \xi h_{r1} \quad (\text{F. 0. 3-3})$$

式中： ξ ——立柱嵌入深度增大系数，对一、二、三级边坡分别为1.50、1.40、1.30；

h_r ——立柱设计嵌入深度（m）；

h_{r1} ——挡墙最低一排锚杆设置后，开挖高度为边坡高度时立柱的最小嵌入深度（m）。

4 立柱的内力可根据锚固力和作用于支护结构上侧压力按常规方法计算。

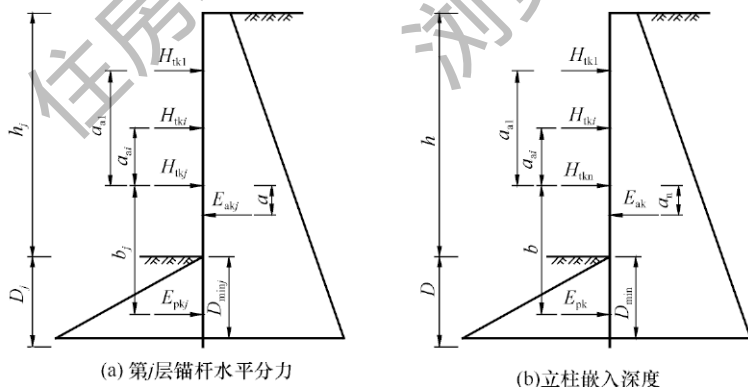


图 F. 0. 3 静力平衡法计算简图

F. 0. 4 采用等值梁法（图 F. 0. 4）计算时应符合下列规定：

1 坡脚地面以下立柱反弯点到坡脚地面的距离 Y_n 可按下式计算:

$$e_{ak} - e_{pk} = 0 \quad (\text{F.0.4-1})$$

式中: e_{ak} ——相应于作用的标准组合时,挡墙后侧向主动土压力 (kN/m^2);

e_{pk} ——相应于作用的标准组合时,挡墙前侧向被动土压力 (kN/m^2)。

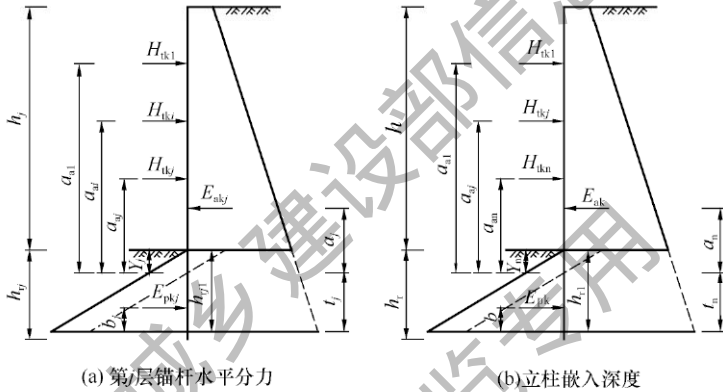


图 F.0.4 等值梁法计算简图

2 第 j 层锚杆的水平分力可按下列公式计算:

$$H_{tkj} = \frac{E_{akj} a_j - \sum_{i=1}^{j-1} H_{tki} a_{ai}}{a_{aj}} \quad (\text{F.0.4-2})$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

式中: a_{ai} —— H_{tki} 作用点到反弯点的距离 (m);

a_{aj} —— H_{tkj} 作用点到反弯点的距离 (m);

a_j —— E_{akj} 作用点到反弯点的距离 (m)。

3 立柱的最小嵌入深度 h_r 可按下列公式计算确定:

$$h_r = Y_n + t_n \quad (\text{F.0.4-3})$$

$$t_n = \frac{E_{pk} \cdot b}{E_{ak} - \sum_{i=1}^n H_{tki}} \quad (\text{F.0.4-4})$$

式中： b ——桩前作用于立柱的被动土压力合力 E_{pk} 作用点到立柱底的距离 (m)。

4 立柱设计嵌入深度可按本规范附录 F 的公式 (F.0.3-3) 计算。

5 立柱的内力可根据锚固力和作用于支护结构上的侧压力按常规方法计算。

F.0.5 计算挡墙后侧向压力时，在坡脚地面以上部分计算宽度应取立柱间的水平距离，在坡脚地面以下部分计算宽度对肋柱取 $1.5b+0.50$ (其中 b 为肋柱宽度)，对桩取 $0.90(1.5d+0.50)$ (其中 d 为桩直径)。

F.0.6 挡墙前坡脚地面以下被动侧向压力，应考虑墙前岩土层稳定性、地面是否无限等情况，按当地工程经验折减使用。

附录 G 岩土层地基系数

G.0.1 较完整岩层和土层的地基系数可按表 G.0.1-1 和 G.0.1-2 取值。

表 G.0.1-1 较完整岩层的地基系数

| 序号 | 岩体单轴极限抗压强度 (kPa) | 地基系数 (kN/m ³) | |
|----|------------------|---------------------------|-----------------|
| | | 水平方向 k | 竖直方向 k_0 |
| 1 | 10000 | 60000~160000 | 100000~200000 |
| 2 | 15000 | 150000~200000 | 250000 |
| 3 | 20000 | 180000~240000 | 300000 |
| 4 | 30000 | 240000~320000 | 400000 |
| 5 | 40000 | 360000~480000 | 600000 |
| 6 | 50000 | 480000~640000 | 800000 |
| 7 | 60000 | 720000~960000 | 1200000 |
| 8 | 80000 | 900000~2000000 | 1500000~2500000 |

注: $k = (0.6 \sim 0.8) k_0$ 。

表 G.0.1-2 土质地基系数

| 序号 | 土的名称 | 水平方向 m (kN/m ⁴) | 竖向方向 m_0 (kN/m ⁴) |
|----|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 | $0.75 < I_L < 1.0$ 的软塑黏土及粉黏土; 淤泥 | 500~1400 | 1000~2000 |
| 2 | $0.5 < I_L < 0.75$ 的软塑粉质黏土及黏土 | 1000~2800 | 2000~4000 |
| 3 | 硬塑粉质黏土及黏土; 细砂和中砂 | 2000~4200 | 4000~6000 |
| 4 | 坚硬的粉质黏土及黏土; 粗砂 | 3000~7000 | 6000~10000 |
| 5 | 砾砂; 碎石土、卵石土 | 5000~14000 | 10000~20000 |
| 6 | 密实的大漂石 | 40000~84000 | 80000~120000 |

注: 1 I_L ——土的液性指数;

2 对于土质地基系数 m 和 m_0 , 相应于桩顶位移 6mm~10mm;

3 有可靠资料和经验时, 可不受本表的限制。

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，在条件许可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

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 3 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 4 《工程测量规范》GB 50026
- 5 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GB 50086
- 6 《土方与爆破工程施工及验收规范》GB 50201
- 7 《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
- 8 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 9 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344
- 10 《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843
- 11 《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223
- 12 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 13 《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370