UDC

中华人民共和国国家标准

P

GB 51289－2018

煤炭工业露天矿边坡工程设计标准

Standard for design of slope engineering
of open pit mine of coal industry

2018－05－14 发布　　2018－12－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
国家市场监督管理总局　联合发布

中华人民共和国国家标准

煤炭工业露天矿边坡工程设计标准

Standard for design of slope engineering
of open pit mine of coal industry

GB 51289 - 2018

主编部门：中 国 煤 炭 建 设 协 会
批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：2 0 1 8 年 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2018 北 京

中华人民共和国国家标准

煤炭工业露天矿边坡工程设计标准

GB 51289-2018

☆

中国计划出版社出版发行

网址：www.jhpress.com

地址：北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码：100038　电话：（010）63906433（发行部）

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm　1/32　2.75印张　66千字

2018年11月第1版　2018年11月第1次印刷

☆

统一书号：155182·0377

定价：17.00元

版权所有　侵权必究

侵权举报电话：（010）63906404

如有印装质量问题，请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

2018 年　第 90 号

住房城乡建设部关于发布国家标准《煤炭工业露天矿边坡工程设计标准》的公告

现批准《煤炭工业露天矿边坡工程设计标准》为国家标准，编号为 GB 51289—2018，自 2018 年 12 月 1 日起实施。其中，第 4.1.1、4.1.3、5.1.2、5.1.4、9.1.1 条为强制性条文，必须严格执行。

本标准在住房城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 5 月 14 日

前　言

根据原建设部《关于印发〈2006年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标〔2006〕136号)的要求，本标准由中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司会同有关单位共同编制。

本标准在编制过程中，编制组广泛搜集资料，认真总结了我国露天煤矿边坡工程设计方面的经验，参考了国内外有关标准规范的内容，广泛征求了有关勘察设计、研究、大学和生产等单位的意见，经反复讨论、修改，最后经审查定稿。

本标准共分9章和2个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、边坡工程勘察、边坡稳定性评价、边坡工程设计基本原则、边坡防治措施、坡面防护与绿化、边坡工程监测等。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本标准由住房城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由中国煤炭建设协会负责日常管理工作，由中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。为提高规范质量，本标准在执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，并将意见和有关资料寄交中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司国家标准《煤炭工业露天矿边坡工程设计标准》管理组(地址：辽宁省沈阳市沈河区先农坛路12号，邮政编码：110015，传真：024-24812561)，以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司

参 编 单 位：中煤科工集团北京华宇工程有限公司

大地工程开发(集团)有限公司

内蒙古煤矿设计研究院有限责任公司

中煤西安设计工程有限责任公司
昆明煤炭设计研究院
中煤科工集团南京设计研究院有限公司
中国矿业大学
辽宁工程技术大学
云南省小龙潭矿务局
云南煤化集团云南解化清洁能源公司
煤炭科学技术研究院有限公司

主要起草人：师恩奎　王　勇　韩洪德　张天文　吴飞云
舒继森　曹兰柱　宋景辉　李晓俊　杨福卿
高　岩　李庆伟　王振伟　成德盈　王永军
章晓余　徐贵娃

主要审查人：孟建华　郑友毅　范士凯　门树臣　张文英
朴永春　李希耀

目　　次

1　总　　则 …… (1)
2　术语和符号 …… (2)
2.1　术语 …… (2)
2.2　符号 …… (2)
3　基本规定 …… (4)
4　边坡工程勘察 …… (7)
4.1　一般规定 …… (7)
4.2　设计阶段 …… (8)
4.3　生产阶段 …… (9)
5　边坡稳定性评价 …… (11)
5.1　一般规定 …… (11)
5.2　稳定性计算 …… (11)
5.3　评价及成果报告 …… (14)
6　边坡工程设计基本原则 …… (16)
6.1　一般规定 …… (16)
6.2　边坡工程设计原则 …… (16)
7　边坡防治措施 …… (18)
7.1　一般规定 …… (18)
7.2　设计及工程要求 …… (18)
8　坡面防护与绿化 …… (23)
8.1　一般规定 …… (23)
8.2　设计及工程要求 …… (24)
9　边坡工程监测 …… (26)
9.1　一般规定 …… (26)

9.2 边坡监测要求 …… (27)
附录A 露天煤矿边坡地质结构分类 …… (29)
附录B 不同滑面形态的边坡稳定性计算方法 …… (33)
本标准用词说明 …… (43)
引用标准名录 …… (44)
附:条文说明 …… (45)

Contents

1 General provisions ····· (1)

2 Terms and symbols ····· (2)

2.1 Terms ····· (2)

2.2 Symbols ····· (2)

3 Basic requirements ····· (4)

4 Investigation of slope engineering ····· (7)

4.1 General requirements ····· (7)

4.2 Design stage ····· (8)

4.3 Production stage ····· (9)

5 Stability evaluation of slope engineering ····· (11)

5.1 General requirements ····· (11)

5.2 Stability calculation ····· (11)

5.3 Evaluation and results reporting ····· (14)

6 Basic principles of slope engineering design ····· (16)

6.1 General requirements ····· (16)

6.2 Principles of slope engineering design ····· (16)

7 Slope prevention measures ····· (18)

7.1 General requirements ····· (18)

7.2 Design and engineering requirements ····· (18)

8 Slope protections and greening ····· (23)

8.1 General requirements ····· (23)

8.2 Design and engineering requirements ····· (24)

9 Monitoring of slope engineering ····· (26)

9.1 General requirements ····· (26)

9.2 Slope monitoring requirements ····· (27)
Appendix A Geological structure classification of open-pit mine slope ····· (29)
Appendix B Calculation method of slope stability for different sliding surface ····· (33)
Explanation of wording in this standards ····· (43)
List of quoted standards ····· (44)
Addition: Explanation of provisions ····· (45)

1 总　　则

1.0.1 为规范露天煤矿边坡工程设计，贯彻执行国家有关的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全生产、预防灾害、确保质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建、改建、扩建和生产的露天煤矿采掘场边坡，以及内、外排土场边坡工程设计。

1.0.3 露天煤矿边坡工程应进行边坡工程勘察和稳定性评价，确定最优边坡角，并提出边坡防治措施及监测方案。

1.0.4 露天煤矿边坡工程设计应兼顾矿山安全及经济效益，并结合采矿设计进行。

1.0.5 露天煤矿边坡防治工程应坚持动态设计、信息化施工的原则，综合考虑边坡安全、采矿设计及经济性等因素，合理设计，精心施工。

1.0.6 露天煤矿边坡工程设计除应符合本标准外，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 信息化施工　　informative construction

根据边坡现场的地质情况和监测数据，对已有地质资料、设计参数进行验证，对边坡安全性进行判断并及时修正边坡治理措施或采矿方案。

2.1.2 动态设计　　dynamic design

根据边坡信息化施工的反馈信息，对边坡稳定验算进行复核、修正、补充原设计的设计方法。

2.1.3 锚杆(索)　　bolt (anchor cable)

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

2.1.4 工程地质分区　　engineering geological zoning

根据场地岩性、构造、工程地质和水文地质等主要因素基本相同或一致的原则划分的区段。

2.1.5 边坡稳定系数　　slope stability factor

沿(假定)滑裂面的抗滑力与滑动力的比值，是表征边坡稳定程度的重要指标。从理论计算角度，当该比值大于1时，边坡稳定；等于1时，边坡处于极限平衡状态；小于1时，边坡即发生破坏。

2.1.6 边坡设计稳定系数　　designed slope stability factor

为使边坡达到预期的安全程度需要的边坡允许最低安全系数。

2.2 符　　号

2.2.1 作用和作用效应：

N_{ak}——锚杆轴向拉力标准值(kN)；

N_a——锚杆轴向拉力设计值(kN)；

H_{tk}——锚杆所受水平拉力标准值(kN)。

2.2.2 材料性能和抗力：

f_y，f_{py}——钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值(kPa)；

f_{rbk}——岩土体与锚固体极限粘结强度标准值(kPa)；

f_b——钢筋与锚固砂浆间粘结强度设计值(kPa)。

2.2.3 几何参数：

A_s——锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积(m^2)；

α——锚杆倾角(°)；

L_a——锚杆(索)锚固段长度(m)；

D——锚杆(索)锚固段钻孔直径(m)；

d——锚筋直径(m)；

n——杆体(钢筋、钢绞线)根数(根)。

2.2.4 计算系数：

r_Q——荷载分项系数；

K_b——锚杆(索)抗拉安全系数；

K——锚杆(索)锚固体抗拔安全系数。

2.2.5 边坡稳定系数：

F_s——边坡稳定系数；

F_{st}——边坡设计稳定系数。

3 基本规定

3.0.1 边坡工程设计应与矿山开采设计阶段相适应，边坡岩土工程勘察宜分阶段进行。

3.0.2 露天煤矿边坡工程设计应在边坡岩土工程勘察工作的基础上进行。

3.0.3 边坡稳定性评价应按边坡分区确定，确定各区最优边坡角，并应提出已有边坡角的调整和修正建议。

3.0.4 露天煤矿边坡应进行相应的边坡监测。靠帮边坡爆破时，应采用控制爆破方法。

3.0.5 露天煤矿边坡岩体结构类型、岩体结构完整程度、边坡地质结构、边坡破坏模式应按本标准附录 A 执行。

3.0.6 露天煤矿采掘场边坡工程安全等级应根据边坡高度、地质条件复杂程度和露天煤矿生产规模，按表 3.0.6-1 划分；排土场边坡工程安全等级应根据边坡高度、排土场基底地质条件复杂程度，按表 3.0.6-2 划分。

表 3.0.6-1 采掘场边坡工程安全等级划分

采掘场边坡工程安全等级	边坡高度 H(m)	采掘场边坡地质条件复杂程度
一级	$H>300$	简单～复杂
	$300\geqslant H>100$	复杂
二级	$300\geqslant H>100$	中等复杂
	$H\leqslant 100$	复杂
三级	$300\geqslant H>100$	简单
	$H\leqslant 100$	简单～中等复杂

注：1 边坡高度应按现行国家标准《露天煤矿岩土工程勘察规范》GB 50778 的有关规定划分；

2 地质条件复杂程度应按现行国家标准《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》GB 51214 的有关规定确定。

表 3.0.6-2　排土场边坡工程安全等级划分

排土场边坡工程安全等级	排土场边坡高度 H(m)	排土场基底地质条件复杂程度
一级	$H>100$	简单～复杂
	$100\geqslant H>50$	复杂
二级	$100\geqslant H>50$	中等复杂
	$H\leqslant 50$	复杂
三级	$100\geqslant H>50$	简单
	$H\leqslant 50$	简单～中等复杂

注：排土场基底地质条件复杂程度应按现行国家标准《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》GB 51214 的有关规定确定。

3.0.7　露天煤矿边坡危害等级可按表 3.0.7 划分。

表 3.0.7　露天煤矿边坡危害等级划分

边坡危害等级		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
可能的人员伤亡		有人员伤亡	有人员伤亡	无人员伤亡
潜在的经济损失（万元）	直接	≥500	100～500	≤100
	间接	≥5000	1000～5000	≤1000
综合评定		很严重	严重	不严重

3.0.8　边坡设计稳定系数可按表 3.0.8 采用。

表 3.0.8　边坡设计稳定系数 F_{st}

边坡类型	服务年限(a)	稳定系数
边坡上部有特别严重建筑物或边坡滑落会造成生命财产重大损失者	>20	≥1.50
采掘场最终边坡	>20	1.30～1.50
非工作帮边坡	<10 10～20 >20	1.10～1.20 1.20～1.30 1.30～1.50
工作帮边坡	临时	1.05～1.20

续表 3.0.8

边坡类型	服务年限(a)	稳定系数
外排土场边坡	>20	1.20～1.50
内排土场边坡	≤10	1.20
	>10	1.30

注：边坡设计稳定系数宜根据露天煤矿边坡危害等级划分，根据综合评定结果分别取大值、中值或小值。

3.0.9 工业场地边坡及与采掘场、排土场关系不大的边坡工程设计宜按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 执行。

4 边坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 在露天煤矿工程设计与生产阶段，应对边坡工程分阶段进行岩土工程勘察。

4.1.2 露天煤矿边坡岩土工程勘察应按阶段并遵循一定的程序进行，应满足露天煤矿边坡工程设计的要求，并根据露天煤矿的具体特点，因地制宜地选择运用适宜的勘察手段，提供符合露天煤矿边坡工程设计与施工要求的勘察成果。

4.1.3 露天煤矿边坡岩土工程勘察范围应包括露天采掘场边坡与排土场边坡。排土场排弃前应对排土场基底勘察。

4.1.4 露天煤矿边坡工程勘察应符合下列规定：

1 应查明露天煤矿边坡的工程地质、水文地质条件、岩体结构类型、岩体完整程度、地质结构等内容，岩体地质结构、完整程度、结构类型应符合本标准附录 A 的规定；

2 应对所取岩样进行详细的岩土物理力学试验，获得原始参数；

3 应对影响边坡稳定性因素进行分析并评价其影响程度；

4 应提出边坡稳定性计算参数；

5 应确定边坡角和可能的失稳模式；

6 应对边坡提出合理的防治措施与监测方案。

4.1.5 采掘场边坡工程勘察应符合下列规定：

1 勘探方法应根据勘察阶段、边坡工程安全等级及边坡工程地质条件等确定，并应采用钻探、井探、槽探、洞探、工程物探以及工程地质测绘等综合手段；

2 边坡工程勘察工作应紧密结合露天开拓方案并围绕露天煤矿各边帮进行，重点是查明非工作帮、工作帮、端帮可能引起滑

落的地质因素；

3 边坡应查明露天开采的最下部潜在滑动面以下30m～60m(垂直厚度)范围内软弱层(面)、结构层(面)、构造层(面)的层位、层数、厚度、岩性、分布范围以及岩土体物理力学性质等；

4 在设计部门正式划定露天煤矿境界、首采区及拉沟位置后，应进行专门的边坡工程岩土工程勘察工作。

4.1.6 排土场边坡岩土工程勘察应对下列影响露天煤矿排土场稳定性因素进行评价：

1 地形、地貌、排土场基底岩土埋藏条件；

2 水文地质条件；

3 采掘工艺及废弃物料堆排方式；

4 排弃物料的组成及基底岩土物理力学性质；

5 排土场场地条件的变化对环境的影响。

4.1.7 设计阶段应搜集露天煤矿的生产规模、服务年限、初步确定的开采境界和开采方法、开采工艺、露天煤矿总布置平面图等资料。

4.1.8 露天煤矿边坡工程岩土工程勘察除应符合本标准规定外，尚应按现行国家标准《露天煤矿岩土工程勘察规范》GB 50778 的有关规定执行。

4.2 设计阶段

4.2.1 露天煤矿设计阶段的边坡岩土工程勘察宜与设计阶段相适应，可划分为可行性研究阶段岩土工程勘察、初步设计阶段岩土工程勘察、施工图阶段岩土工程勘察。成果应作为露天煤矿设计阶段边坡设计的依据，应满足露天煤矿设计所需的工程地质资料、各帮边坡稳定分析、各帮边坡维护管理及防治监测的要求。

4.2.2 设计阶段边坡工程勘察应符合下列规定：

1 查明勘察区地层、岩性、产状，研究岩体的工程性质，并应划分工程地质岩组，区分软弱岩层和风化破碎带；

2 查明岩、土层空间分布、成因、时代，地下水埋藏特点和土

岩接合面特点，查明勘察区断层、褶皱、节理、裂隙等构造类型分布、组合及其工程地质特征；

3 查明勘察区软弱结构层（面）及分布、厚度及其工程地质特征；

4 查明勘察区水文地质条件；

5 确定岩、土物理力学性质，并应重点研究潜在滑动面岩土体的抗剪强度；

6 查明勘察区不良地质作用的分布、成因、发展趋势和对边坡稳定性的影响；

7 对位于高应力区的高边坡，宜进行岩石原位地应力的测量与分析；

8 在地震基本烈度大于或等于7度的勘察区，应搜集和分析区域地震资料，为抗震设计提供依据；

9 查明地下水的类型、补给来源、埋藏条件，地下水位、变化幅度及与地表水体的关系；

10 对稳定程度较低的边坡，应提出治理措施的建议。

4.2.3 排土场边坡岩土工程勘察应符合下列规定：

1 查明内外排土场基底地层岩性及其分布、成因、产状、物理力学性质；

2 查明基底软弱结构层（面）的分布、厚度及其特性；

3 查明水文地质条件；

4 查明排土场勘察范围内的不良地质作用及采空区的分布、发育，以及对排土场基底稳定的影响；

5 分析排弃物料的组成及物理力学性质；

6 勘探控制深度不应少于坚硬土层或基岩下5m～10m；

7 分析排土场边坡和基底的稳定性。

4.3 生产阶段

4.3.1 生产阶段边坡出现崩塌、滑坡等严重失稳时，应组织专家

论证，并开展边坡专项工程勘察。

4.3.2 生产阶段边坡工程勘察应充分利用已揭露岩土体对以往勘察成果验证、校正、补充完善，进一步划分边坡岩土体稳定类型，评价各边帮岩土体稳定性。边坡工程勘察应满足修改边坡设计或边坡治理工程地质资料的要求。

4.3.3 生产阶段边坡岩土工程勘察工作应充分利用岩体已被揭露的有利条件和已有的工程地质资料，并应安排工程地质补充测绘、勘探和试验工作。

4.3.4 生产阶段边坡岩土工程勘察应包括下列内容：

1 利用已形成的边帮和采掘所揭露的岩体，进行工程地质测绘和调查；对各类结构面进行测量、统计和组合类型划分；

2 对边坡改（扩）建地段或稳定条件较差的边坡滑动面，应进行工程地质钻探、井探和槽探；

3 利用边帮对崩塌等失稳现象进行调查，分析失稳原因和类型及破坏模式，并对不稳定边坡提出位移监测和采取治理要求；

4 进行物探工作，确定采掘爆破导致的岩体松动的范围及岩体风化程度；

5 利用地下水监测资料和水文地质试验，核定水文地质特征，确定或修改疏、降水设计；

6 利用边帮采取岩土试样，进行室内物理力学性质试验；利用台阶进行原位抗剪强度试验，确定控制性不利结构面的力学参数。

5 边坡稳定性评价

5.1 一般规定

5.1.1 边坡稳定性评价应根据勘察阶段确定，评价精度应与勘察阶段相适应。应在定性分析、定量计算基础上，结合监测结果综合评价，并提出有针对性的工程措施建议。

5.1.2 边坡稳定性评价应按工程地质分区进行，应以整体稳定性评价为基础对各边坡分段做出整体稳定性评价和局部稳定性评价。采掘场边坡稳定性评价时，应对覆盖土体和岩体边坡稳定性分别评价。

5.1.3 边坡稳定计算应以极限平衡法为主、边坡稳定系数为评价指标。土体和岩体边坡稳定性分析应根据破坏类型和破坏模式进行分析计算。对安全等级为一级的边坡，宜采用数值分析法和边坡稳定分析法进行边坡的应力场、变形场分析和渗流分析。边坡稳定计算方法应按本标准附录 B 执行。

5.1.4 当存在滑坡、崩塌及岩堆、泥石流等不良地质现象时，应对现状稳定性和对采掘场边坡稳定性的影响做出评价。

5.2 稳定性计算

5.2.1 边坡破坏模式、稳定状态和破坏趋势初步判断应采用工程类比法、图解法等，然后再采用相应的计算方法。

5.2.2 边坡稳定计算应根据边坡破坏机理选择二维或三维方法，二维稳定分析计算应选择有代表性的地质剖面。

5.2.3 边坡稳定应按不同工况组合计算，边坡稳定系数应符合本标准第 3.0.7 条的规定。爆破振动力和地震力荷载可采用拟静力法。地震动峰值加速度应符合现行国家标准《中国地震动参数区

划图》GB 18306 的规定。当采用拟静力法时，爆破震动力和地震力荷载计算应符合下列规定：

1 抗震稳定计算时，各条块的地震惯性力应按下式计算：

$$F_i = \frac{a\xi\beta_i W_i}{g} \tag{5.2.3-1}$$

式中：F_i——第 i 条块的水平地震惯性力(kN)；

a——设计地震加速度(m/s²)；

ξ——折减系数，可取 0.25；

β_i——第 i 条块的动态分布系数，可取 $\beta_i=1$；

W_i——第 i 条块的重量(kN)；

g——重力加速度(m/s²)。

2 边坡稳定计算时，若考虑爆破振动力，各条块的水平爆破力可按下列公式计算：

$$F'_i = \frac{a_i\beta_i W_i}{g} \tag{5.2.3-2}$$

$$a_i = 2\pi f V_i \tag{5.2.3-3}$$

$$V_i = K\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R_i}\right)^{\alpha} \tag{5.2.3-4}$$

式中：F'_i——第 i 条块爆破振动力的水平向等效静力(kN)；

a_i——第 i 条块爆破振动质点水平向最大加速度(m/s²)；

β_i——第 i 条块的爆破动力系数，可取 $\beta_i=0.1\sim0.3$；

W_i——第 i 条块的重量(kN)；

g——重力加速度(m/s²)；

f——爆破振动频率(Hz)；

V_i——第 i 条块重心处质点水平向振动速度(m/s)；

Q——爆破装药量，齐发爆破时取总装药量，分段延时爆破时取最大一段的装药量(kg)；

R_i——爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护目标的距离(m)；

K、α——与采掘场地质条件、岩体性质、爆破条件等有关的系数，由振动检测和测试数据获取。

5.2.4 边坡稳定计算时，应考虑地下水、地表水对边坡稳定的影响，并应符合下列规定：

1 岩体的自重在浸润线以上应采用天然重度，在浸润线以下应采用浮重度。对有地下水渗流的岩体，采用浮重度计算时应考虑渗透水压力作用，各条块的渗透水压力可按下式计算：

$$P_{wi}=\gamma_w V_i J_i \tag{5.2.4}$$

式中：P_{wi}——条块 i 的渗透水压力(kN)；

γ_w——水的重度(kN/m³)；

V_i——条块 i 单位宽度岩土体的水下体积(m³)；

J_i——条块 i 地下水渗透坡降。

2 根据岩质边坡中地下水位线对边坡体某点的孔隙压力进行估算时，可视岩体性质、结构面的发育及其连通程度，按类似工程经验，对其水头进行折减；

3 对降雨造成边坡坡体表层一定深度范围内形成暂态饱和区的情况，在计算孔隙压力时，宜进行折减。

5.2.5 岩体结构面抗剪强度指标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。已滑移的滑坡，其滑动面的抗剪强度指标宜取残余强度，或取反分析强度值。

5.2.6 岩体抗剪强度指标应采用室内试验、现场原位试验等方法确定，无条件进行试验时，可采用反演分析、经验类比等方法综合分析确定。排土场边坡应根据不同排弃物料组成和基底的岩土性质，选择合理的计算参数。

5.2.7 边坡稳定计算方法，根据边坡破坏类型和可能的破坏模式，可按下列规定确定：

1 均质土体或较大规模破裂结构岩体边坡可采用圆弧滑动法计算；当土体或岩体中存在对边坡稳定性不利的软弱结构面时，宜采用以软弱结构面为滑动面进行计算；

2　对较厚的层状土体边坡，宜对含水量较大的软弱层面或土岩结合面采用平面滑动或折线滑动法进行计算；

3　对可能产生平面滑动的岩（土）体边坡，宜采用平面滑动法进行计算；

4　对可能产生折线滑动面的岩（土）体边坡，宜采用折线滑动法进行计算；

5　对结构复杂的岩体边坡，可采用赤平投影对优势结构面进行分析计算，或采用实体比例投影法进行计算；

6　对可能产生倾倒的岩体，宜进行倾倒稳定性分析；

7　对边坡破坏机制复杂的岩体边坡，宜结合数值分析法进行分析。

5.2.8　排土场边坡稳定，除排土场本身的稳定计算外，尚应验算排土场基底极限承载能力、基底变形、最大排弃高度。

5.2.9　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计算。

5.2.10　边坡稳定计算应进行敏感性分析，宜根据对边坡稳定影响程度选择以下内容：

1　水压变化；

2　不同含水率弱层强度的变化；

3　边坡几何尺寸变化；

4　岩土体强度指标变化；

5　其他因素变化。

5.3　评价及成果报告

5.3.1　边坡稳定状态应根据边坡稳定系数按表 5.3.1 确定。

表 5.3.1　边坡稳定状态划分

边坡稳定系数 F_s	$F_s<1.00$	$1.00\leqslant F_s<1.05$	$1.05\leqslant F_s<F_{st}$	$F_s\geqslant F_{st}$
边坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

注：判断优先顺序从右向左。

5.3.2　露天煤矿采掘场、排土场各分区边坡角应根据边坡稳定评价结果确定。

5.3.3　边坡稳定评价宜包括现状评估、预测评估，并考虑下列特殊情况：

1　露天开采转地下开采、露井联采，或边坡体周围有坑道、采空区等分布；

2　边坡坡顶存在自然山坡或人工堆载；

3　边坡安全距离内存在常年河流及承压含水层。

5.3.4　边坡稳定评价宜包括下列内容：

1　边坡稳定初步判断，包括边坡稳定状态、滑坡模式等；

2　边坡分区稳定计算；

3　边坡稳定现状评估、预测评估；

4　边坡分区稳定边坡角度确定；

5　边坡治理措施；

6　边坡治理措施对提高边坡角可行性分析。

5.3.5　边坡稳定评价报告宜包括下列内容：

1　项目概况；

2　场区气象、水文、地形地貌、地理交通等情况；

3　场区工程地质、水文地质情况及不良地质现象；

4　露天煤矿情况；

5　边坡地质条件、边坡分区、边坡破坏模式；

6　岩石、岩体及结构面等物理力学性质；

7　边坡稳定计算边界条件、参数选取及分区计算；

8　边坡稳定评价；

9　不良地质现象及边坡工程措施；

10　结论与建议；

11　附图、附表。

6 边坡工程设计基本原则

6.1 一般规定

6.1.1 采掘场边坡设计应以整体稳定性评价为基础，根据工程地质和水文地质条件确定最优边坡轮廓。工程地质条件复杂，有不利于边坡稳定的岩体结构、构造、软弱夹层等因素时，尚应进行专门的边坡工程地质勘察及岩土物理力学试验。

6.1.2 采掘场边坡设计应确定采掘场最终边坡角及其与稳定系数 F_s 之间的曲线。必要时，应根据岩层的岩性、赋存条件、地质构造、边坡外形轮廓，验算不同深度、不同部位边坡稳定性。

6.1.3 采掘场和排土场边坡存在地下水影响时，应对地下水进行分析，并根据分析结果采取相应的控制措施。

6.1.4 采掘场附近有河流经过时，应分析河流对边坡的影响。

6.1.5 境界内重要建(构)筑物与采掘场地表境界的安全距离必须经采掘场边坡稳定验算后确定。当开采深度小于 200m 时，安全距离不宜小于最大开采深度；当开采深度大于 200m 时，安全距离不宜小于 200m。

6.1.6 境界内重要建(构)筑物与排土场境界的安全距离宜大于排土场边坡高度的 1.5 倍。必要时，安全距离必须经排土场边坡稳定验算确定。

6.2 边坡工程设计原则

6.2.1 在进行边坡设计之前，应根据边坡高度、地质条件、露天煤矿生产规模及危害程度等条件确定边坡类型和安全级别，以此确定设计标准。

6.2.2 边坡工程设计应在保证边坡稳定的基础上，达到最大的经

济效益，使其达到安全合理、经济可靠、技术先进。

6.2.3 边坡工程设计应结合采矿设计，要遵循“动态设计”的设计思想，充分结合最新地质资料及现场实际条件进行设计，并在生产中进行动态跟踪。

6.2.4 当需要时，边坡工程设计应考虑疏干排水，采取地表排水、地下疏干措施。

6.2.5 边坡工程设计应有相应的边坡防治及边坡监测措施。

6.2.6 对需要治理的边坡，应结合采矿设计及边坡稳定分析进行方案比较。选择安全可靠、经济合理的治理方案。

6.2.7 边坡治理设计应符合国家和地方环境保护要求。

7 边坡防治措施

7.1 一般规定

7.1.1 露天煤矿边坡防治应采取预防为主、防治结合的原则。

7.1.2 对影响地质环境安全的边坡应采取相应措施，对于不能避让或搬迁的地段应采取根治措施。

7.1.3 露天煤矿边坡防治措施宜采用下列方式：

1 控制合理的边坡角；

2 优化内排时机；

3 留置安全煤柱；

4 统筹安排采区；

5 降低动载荷；

6 防治水措施。

7.1.4 露天煤矿边坡防治的工程措施可采用水的综合治理、坡面防护、支挡和减重压脚工程等方式。支挡和减重压脚工程一般有抗滑挡墙工程、抗滑桩支挡工程、锚杆、锚索、上部减重工程、上部减重下部压脚等。

7.1.5 边坡植物防护措施宜采用下列方式：

1 种草防护、铺草皮防护、土工网植草防护、蜂巢式网格植草防护等；

2 植树防护；

3 客土植生植物防护、喷混植生植物防护、植生基质喷射防护等。

7.2 设计及工程要求

7.2.1 水综合治理应包括下列内容：

1　采掘场及排土场边坡地表排水系统设计应按矿区工程地质与水文地质条件、汇水面积、排水路径、截水沟排水能力等因素确定。

2　采掘场边坡地下水排水设计宜采用自流排水、集中排水、井巷排水和联合排水等方式。

3　采掘场地表排水设计应符合下列规定：

1)采掘场排水方式应与采矿工艺相结合；

2)采掘场封闭圈以上宜采用截水沟自流排水方式。

4　潜在滑坡区后缘应设置截水沟，对后缘裂缝应采取遮盖或堵塞措施。

5　对于山坡排土场，宜采用暗涵、盲沟等工程措施。

6　支挡结构应设置泄水孔。

7　边坡体疏排水孔应深入至潜在滑裂面以下。

7.2.2　削坡减重措施应符合下列规定：

1　削坡减重应结合采矿设计进行，并应满足边坡稳定性要求；

2　削坡应分台阶确定，并应提出控制爆破施工工艺要求；

3　削坡减重、反压坡脚或其他边坡治理方式宜联合采用。

7.2.3　抗滑桩措施应符合下列规定：

1　抗滑桩宜布置于滑坡体厚度较薄、推力较小，且锚固段地基强度较高的地段。其平面布置、桩间距、桩长和截面尺寸等应经技术经济比较确定。采用抗滑桩对滑坡分段阻滑时，每段宜以单排布置为主，若弯矩过大，应采用预应力锚拉桩。

2　抗滑桩设计应符合下列规定：

1)应提高滑坡体的稳定系数，达到规定的安全值；

2)抗滑桩所受推力可根据滑坡的物质结构和变形滑移特性，分别按三角形、矩形或梯形分布考虑；

3)抗滑桩设计荷载应包括滑坡体重、渗透压力、地震力；

4)抗滑桩推力应按滑坡滑动面类型选用相应的推力计算

公式；

5)抗滑桩受荷段桩身内力应根据滑坡推力和阻力计算；

6)抗滑桩锚固段桩底端距离边坡有效长度不应小于嵌固段深度；

7)当滑坡推力较大时，宜采用大截面矩形方桩和预应力锚拉桩。

3 锚拉抗滑桩应符合下列规定：

1)锚索与水平面的下俯倾角宜采用 20°～30°；

2)锚索锚固段应置于滑动面(带)以下稳定地层；

3)锚索锚固力及最佳锚固深度应通过现场拉拔试验确定；

4)抗滑桩纵向钢筋及箍筋应根据弯矩图和剪力图分段确定，配筋计算及构造要求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。

7.2.4 锚杆(索)支护应符合下列规定：

1 锚杆(索)使用年限不应低于边坡服务年限，其防腐等级也应达到相应要求。

2 当采掘场边坡变形控制要求较高或边坡靠帮后，其稳定性较差时宜采用预应力锚杆(索)加固补强。

3 采用锚杆(索)加固边坡时，应进行锚杆(索)基本试验。

4 锚杆(索)的形式应根据锚固段岩土层类型、工程特性、锚杆(索)承载力、锚杆(索)材料和长度、施工工艺等因素确定。

5 锚杆(索)设计应符合下列规定：

1)锚杆(索)的轴向拉力标准值和设计值可按下列公式计算：

$$N_{ak}=\frac{H_{tk}}{\cos\alpha} \tag{7.2.4-1}$$

$$N_{a}=r_{Q}N_{ak} \tag{7.2.4-2}$$

式中：N_{ak}——锚杆轴向拉力标准值(kN)；

H_{tk}——锚杆水平拉力标准值(kN)；

α——锚杆倾角(°)；

N_a——锚杆轴向拉力设计值(kN)；

r_Q——荷载分项系数，可取 1.30。

2)锚杆钢筋、钢绞线截面面积计算应符合下列规定：

普通钢筋锚杆应满足下式的要求：

$$A_s \geqslant \frac{K_b N_{ak}}{f_y} \tag{7.2.4-3}$$

预应力锚索应满足下式的要求：

$$A_s \geqslant \frac{K_b N_{ak}}{f_{py}} \tag{7.2.4-4}$$

式中：A_s——锚杆钢筋或预应力钢绞线截面面积(m^2)；

K_b——锚杆(索)抗拉安全系数，应按表 7.2.4-1 取值；

f_y，f_{py}——钢筋或预应力钢绞线抗拉强度设计值(kPa)。

表 7.2.4-1　锚杆(索)抗拉安全系数

采掘场边坡工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆(索)	永久性锚杆(索)
一级	1.8	2.2
二级	1.6	2.0
三级	1.4	1.8

3)锚杆(索)锚固体与岩层间的锚固长度应满足下式要求：

$$L_a \geqslant \frac{K N_{ak}}{\pi D f_{rbk}} \tag{7.2.4-5}$$

式中：L_a——锚杆(索)锚固段长度(m)，尚应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的有关规定；

K——锚杆(索)锚固体抗拔安全系数，应按表 7.2.4-2 取值；

D——锚杆(索)锚固段钻孔直径(m)；

f_{rbk}——岩土体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，应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 取值。

表 7.2.4-2　锚杆(索)锚固体抗拔安全系数

采掘场边坡工程安全等级	安全系数	
	临时性锚杆(索)	永久性锚杆(索)
一级	1.8	2.6
二级	1.6	2.4
三级	1.4	2.2

4)锚杆(索)杆体与锚固砂浆间的锚固长度应满足下式要求：

$$L_a \geq \frac{K N_{ak}}{n \pi d f_b} \tag{7.2.4-6}$$

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——钢筋与锚固砂浆间粘结强度设计值(kPa)，应通过试验确定，当无试验资料时，参考相关规范取值。

6　锚索预应力锁定值应根据地层条件及支护结构变形要求确定，宜取轴向受拉承载力设计值的50%～65%。

7　锚杆注浆应采用高压注浆，注浆材料应为C30纯水泥浆或M30水泥砂浆。

8　锚杆内锚固段可采用拉力集中型、拉力分散型、压力分散型，外锚固端可采用墩台式、肋柱式、框架梁形式。

9　锚杆原材料性能、构造设计及防腐处理应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的有关规定。

8 坡面防护与绿化

8.1 一般规定

8.1.1 坡面防护与绿化宜结合项目主体、土地复垦及水土保持确定。

8.1.2 坡面防护可适用于下列条件：

1 边坡整体稳定；

2 边坡岩土体易风化，容易出现剥落或有浅层崩塌、滑落及掉块。

8.1.3 坡面防护方案应根据下列因素并经技术、经济比较确定：

1 气候、水文、地形、地质条件；

2 材料来源及使用条件；

3 坡面风化、雨水冲刷等破坏作用；

4 坡面防渗；

5 其他因素。

8.1.4 主要坡面防护与绿化措施及选择根据现场实际情况确定，坡面防护可选用下列方式进行护砌：

1 砌体护坡、护面墙；

2 石笼、土工织物等柔性防护；

3 砌块植物防护、骨架植物防护、格构植物防护；

4 抹面、捶面、喷砂浆、喷混凝土、挂网喷混凝土、喷钢纤维混凝土、喷合成纤维混凝土；

5 被动、主动柔性防护网；

6 草皮以及其他植物护坡；

7 其他新型材料，包括生态、环保型柔性材料。

8.1.5 临时防护措施应与永久防护工程相结合。

8.1.6 位于地下水和地表水较为丰富地段的边坡，应进行坡面防护与排水措施的综合设计。

8.2 设计及工程要求

8.2.1 护面墙应符合下列规定：

1 护面墙除自重外，不应承担其他荷载；当用于易受侵蚀的土质边坡、易风化或严重风化的岩质边坡时，边坡坡度不应大于1∶0.5；

2 护面墙墙背坡度与边坡坡度应一致，沿墙身长度方向每隔10m～15m应设置一道伸缩缝；墙身应设置泄水孔，泄水孔后缘设置反滤层；

3 护面墙的基础应设置在可靠的地基上，埋置深度应考虑地基的冻层深度；

4 墙高不宜高于10m，每6m～10m应设置1m～2m的平台。

8.2.2 边坡绿化应符合下列规定：

1 应坚持安全、协调、持久、经济等原则；

2 边坡绿化选用的植物应考虑气候、土质等生长因素，选择死亡率低、抗病虫能力强、根系发达、固土能力强、适合当地生长的植物；

3 边坡绿化方法可选用铺设草皮、三维植被网、土工格室、喷薄植草、栽植苗木等，坡面防护工程宜根据实际条件选择一种或一种以上绿化方法；

4 铺草皮适合迅速形成草坪的边坡，其坡度不宜超过1∶1；

5 三维植被网、土工格室适合强降雨或常年坡面径流的边坡，其坡度不宜超过1∶1.25。

8.2.3 骨架植物护坡应符合下列规定：

1 骨架可以采用浆砌片石或混凝土等材料，框架内宜结合坡面绿化方法进行；

2 骨架植物护坡坡度不宜大于 1∶1，每级坡高不超过 10m，应留设 1m～2m 的平台；

3 降雨量较大且集中的地区应设置接水槽。

8.2.4 锚索（杆）框架植物护坡应符合下列规定：

1 主体结构为锚索（杆）框架，框架内宜结合坡面绿化方法进行；

2 骨架植物护坡坡度不宜大于 1∶0.5，预应力锚索（杆）框架结构高度不受限制，非预应力锚索（杆）框架结构高度不宜超过 10m；

3 降雨量较大且集中的地区应设置接水槽。

9 边坡工程监测

9.1 一般规定

9.1.1 露天煤矿在建设与开采阶段，应对露天采掘场边坡、排土场边坡进行工程监测。

9.1.2 露天煤矿边坡工程监测应包括地表监测与地下监测。

9.1.3 露天煤矿边坡工程监测项目应根据边坡工程监测工作等级，并综合考虑边坡工程实际监测需求，分别进行边坡巡视监测、地表及地下变形监测、应力监测、地下水监测、爆破振动监测与其他监测等。

9.1.4 露天煤矿边坡工程监测应按阶段并遵循一定的程序进行，应根据露天煤矿的具体特点、边坡工程地质条件、水文地质条件、边坡工程监测等级、变形特点和控制要求等，选择运用适宜的监测手段。在监测工作中应积极采用新理论、新技术和新方法。

9.1.5 露天煤矿边坡工程监测宜对下列特殊条件边坡工程的监测方案进行专门论证：

1 地质和环境条件特别复杂的边坡工程；

2 对人员、设备安全构成严重威胁和重大经济损失的边坡工程；

3 形成整体滑坡的边坡工程；

4 重新修改设计和治理的边坡工程。

9.1.6 露天煤矿边坡工程应根据各有关工程监测信息的反馈结果，及时分析、研究、总结，对采掘场边坡与排土场边坡的稳定性做出预警预报。

9.1.7 露天煤矿应进行边坡监测，对于大中型露天煤矿可进行三维监测，对于大型露天煤矿宜采用自动智能预警技术。

9.1.8 边坡工程监测应符合现行国家标准《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》GB 51214 的有关规定。

9.2 边坡监测要求

9.2.1 当露天煤矿采掘场、排土场边坡之下存在已有采空区时，应监测已有采空区对边坡的影响；当露天煤矿由露天开采沿某一露天煤矿边坡转入地下开采时，应监测地下开采对露天煤矿采掘场已有边坡的影响。

9.2.2 边坡工程监测方法、监测网和监测点的技术设计，应根据委托书及其技术要求，并搜集与监测有关的测绘、地质、设计、气象等资料进行；根据相关资料，依据国家、行业相关规范或标准，对监测网布设区域内边坡进行稳定性评价，完成监测网和监测点的技术设计。

9.2.3 边坡工程监测设计应遵循下列原则：

1 边坡工程监测设计前，应进行必要的边坡稳定分析；

2 边坡工程监测应以整体为主，兼顾局部稳定；

3 应有针对性地设置监测项目，布设监测仪器和设施；

4 监测断面的选择应有代表性，测点布置应突出重点。

9.2.4 边坡工程监测设施布置应符合下列规定：

1 仪器和电缆应有可靠的保护措施；

2 应统筹安排观测站的布设，观测站宜有良好的交通照明和防潮条件。

9.2.5 边坡工程监测仪器的选择应符合下列规定：

1 应稳定、可靠，并能较好地适应当地气候条件；

2 应与要求的量程和精度相适应；

3 应便于操作和维护。

9.2.6 应提出监测设施的安装埋设、监测方法、初始值获取、观测频次、观测精度、监测资料整编与分析等技术要求。

9.2.7 边坡工程监测数据预警值宜结合监测手段、边坡工程地质

条件设定。

9.2.8 露天煤矿边坡工程监测的预警预报可划分为中长期预报、短期预报和临灾预报。预警预报应根据监测反馈信息分阶段提出，并应符合下列规定：

1 中长期预报应在年报中提出；

2 短期预报应在月报中提出；

3 临灾预报应做到随时出现随时提出，并以专报形式提交。

9.2.9 边坡工程发生下列情况之一时，必须立即预警，同时提高监测频率，必要时调整监测方案：

1 变形量或变形速率出现异常变化；

2 变形量达到或超出预警值；

3 边坡影响范围内出现崩塌、滑坡迹象；

4 边坡影响范围或周边建(构)筑物及地表出现异常；

5 地震、暴雨、冻融等引起变形异常。

附录 A　露天煤矿边坡地质结构分类

A.0.1　露天煤矿边坡岩体结构类型应按表 A.0.1 确定。

表 A.0.1　露天煤矿边坡岩体结构类型

边坡岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特性	边坡工程问题
整体状结构	巨块状岩浆岩、巨厚层沉积岩、正变质岩	巨块状	以原生结构节理为主，多呈闭合型，裂隙结构面间距大于 1.5m，一般不超过 1 组～2 组，无危险结构面组成的落石掉块	整体性强度高，岩体稳定，可视为均质弹性各向同性体	不稳定结构体的局部滑动
块状结构	厚层状沉积岩、正变质岩、块状岩浆岩、副变质岩	块状柱状	只具有少量贯穿性较好的节理裂隙，裂隙结构面间距为 0.7m～1.5m，一般为 2 组～3 组	整体性强度较高，结构面相互牵制，岩体基本稳定，接近弹性各向同性	
层状结构	多韵律的薄层及中厚层状沉积岩、副变质岩	层状板状	有层理、片理、节理，常有层间错动	接近均一的各向异性体，其变形及强度特征受层面及岩层组合控制，可视为弹塑性体，稳定性较差	可能产生滑塌、岩层弯张破坏及软弱岩层的塑性变形

续表 A.0.1

边坡岩体结构类型	岩体地质类型	结构体形状	结构面发育情况	岩土工程特性	边坡工程问题
破裂状结构	构造影响严重的破碎岩层	碎块状	断层、断层破碎带、片理、层理及层间结构面较发育，裂隙结构面间距为0.25m～0.5m，一般在3组以上	完整性破坏较大，整体强度很低，并受断裂等软弱面控制，多呈弹塑性介质，稳定性很差	易引起规模较大的岩体失稳，地下水加剧岩体失稳
散体状结构	构造影响剧烈的断层破碎带、强风化带，全风化带	碎屑状、颗粒状	断层破碎带交叉，构造及风化裂隙密集，结构面及组合错综复杂，并多充填黏性土，形成许多大小不一的分离岩块	完整性遭到极大破坏，岩体属性接近松散介质	

注：由火成岩遭受变质作用形成的变质岩称为"正变质岩"，由沉积岩遭受变质作用形成的变质岩称为"副变质岩"。

A.0.2 露天煤矿边坡岩体完整程度应按表A.0.2划分。

表 A.0.2 露天煤矿边坡岩体完整程度的划分

完整程度	定性划分					定量划分	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	完整性指数 K_v	岩体体积结构面数 J_v（条/m³）
	组数	平均间距（m）					
完整	1～2	>1.0	结合好或结合一般	节理、裂隙、层面	整体状或巨厚层状结构	>0.75	<3
较完整	1～2	>1.0	结合差	节理、裂隙、层面	块状或厚层状结构	0.55～0.75	3～10
	2～3	1.0～0.4	结合好或结合一般		块状结构		

续表 A.0.2

完整程度	定性划分					定量划分	
	结构面发育程度		主要结构面的结合程度	主要结构面类型	相应结构类型	完整性指数 K_v	岩体体积结构面数 J_v（条/m³）
	组数	平均间距（m）					
较破碎	2～3	1.0～0.4	结合差	节理、裂隙、层面、小断层	裂隙块状或中厚层状结构	0.35～0.55	10～20
	≥3	0.4～0.2	结合好		镶嵌块状结构		
			结合一般		中、薄层状结构		
破碎	≥3	0.4～0.2	结合差	各种类型结构面	裂隙块状结构	0.15～0.35	20～35
		≤0.2	结合一般或结合差		破碎状结构		
极破碎	无序	—	结合很差		散体状结构	<0.15	>35

注：1 平均间距指主要结构面之间间距的平均值；

2 岩体完整性指数 $K_v=(V_R/V_P)^2$，V_R 为弹性纵坡在岩体中的传播速度，V_P 为弹性纵坡在岩块中的传播速度；

3 岩体体积结构面数 J_v 指岩体单位体积内的结构面数目（条/m³）；

4 定量指标 K_v、J_v 的测试与结构面结合程度的划分应符合现行国家标准《工程岩体分级标准》GB 50218 的有关规定。

A.0.3 露天煤矿边坡地质结构类应按表 A.0.3 划分。

表 A.0.3 露天煤矿边坡地质结构划分

边坡地质结构类型		特征描述	边坡破坏模式
块状岩体边坡		岩体基本均一，$D_{50}/L_c \geq 0.02$	平面型、楔体型、倾倒型
层状岩体边坡	同倾边坡	$\alpha \leq 30°$；层面摩擦角 $< \beta \leq$ 边坡角	平面型、折线型

续表 A.0.3

边坡地质结构类型		特征描述	边坡破坏模式
层状岩体边坡	同倾斜向边坡	$30° < \alpha \leqslant 75°$；层面摩擦角＜组合滑面交线倾角≤边坡角	楔体型
	其他结构边坡	结构面组合不能直接控制边坡破坏	圆弧型、复合型
碎裂岩体边坡		层状或碎块状岩体，$D_{50}/L_c < 0.02$	圆弧型、复合型
散体介质边坡		强烈破碎、强风化岩体、软弱蚀变岩体、各类土体	圆弧型、复合型

注：1 α 为层面与坡面的倾向夹角(°)，β 为层面倾角(°)，D_{50} 为破面 50% 块体块径(m)，L_c 为可能发生变形破坏边坡的特征高度(m)；

2 变质岩片理面、板理面、对边坡稳定性具有控制性作用的断层面(带)、其他软弱面(带)按层面考虑；

3 较大规模和地质条件变化较大的边坡，应根据具体边坡地质结构变化情况分段划分类型，建立分析模型。

附录 B　不同滑面形态的边坡稳定性计算方法

B.0.1　圆弧形滑面的边坡稳定性系数可按下列公式计算(图 B.0.1)：

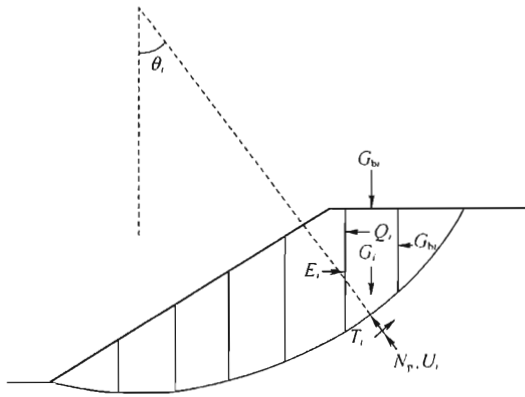

图 B.0.1　圆弧形滑面边坡计算示意

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

$$m_{\theta i} = \cos\theta_i + \frac{\tan\varphi_i \sin\theta_i}{F_s} \tag{B.0.1-2}$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{wi} + h_{wi-1}) l_i \tag{B.0.1-3}$$

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相同时取正直，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_{bi}——第 i 计算条块单位竖向附加荷载(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_{wi-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/m³；

i——计算条块号，从后方起编；

n——条块数量。

B.0.2 平面滑动面的边坡稳定性系数可按下列公式计算(图 B.0.2)：

$$F_s=\frac{R}{T} \tag{B.0.2-1}$$

$$R=[(G+G_b)\cos\theta-Q\sin\theta-V\sin\theta-U]\tan\varphi+cL \tag{B.0.2-2}$$

$$T=(G+G_b)\sin\theta+Q\cos\theta+V\cos\theta \tag{B.0.2-3}$$

$$V=\frac{1}{2}\gamma_w h_w^2 \tag{B.0.2-4}$$

$$U=\frac{1}{2}\gamma_w h_w L \tag{B.0.2-5}$$

式中：R——滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力(kN/m)；

T——滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力(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——滑梯单位宽度自重(kN/m)；

G_b——滑梯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，指向坡外时取负值；

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。

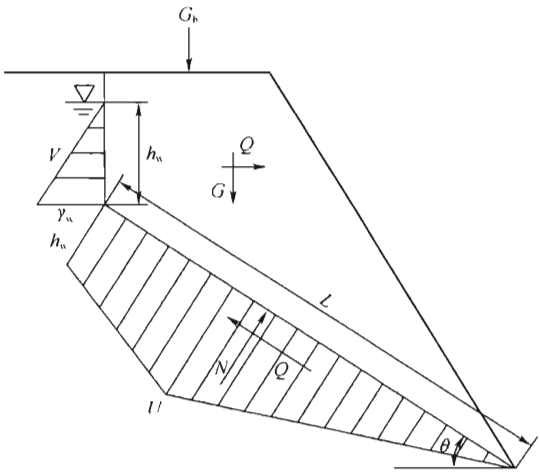

图 B.0.2　平面滑动面边坡计算示意

B.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 B.0.3)：

$$P_n = 0 \tag{B.0.3-1}$$

$$P_i = P_{i-1}\psi_{i-1} + T_i - R_i/F_s \tag{B.0.3-2}$$

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

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

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

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 $P_i<0(i<0)$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。

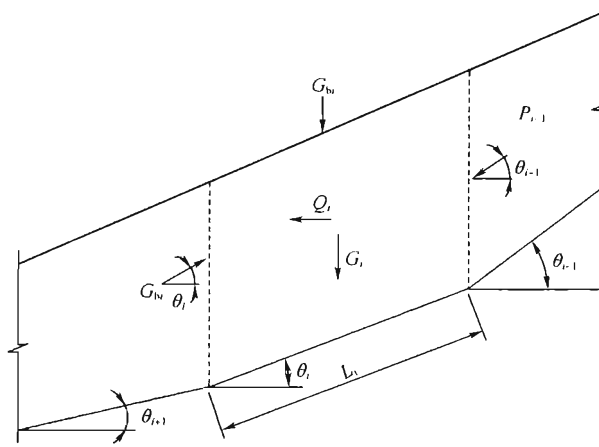

图 B. 0. 3　折线形滑面边坡传递系数法计算简图

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

B. 0. 4　当采用简化毕肖普法(图 B. 0. 4)计算抗滑稳定安全系数时，应按下式计算：

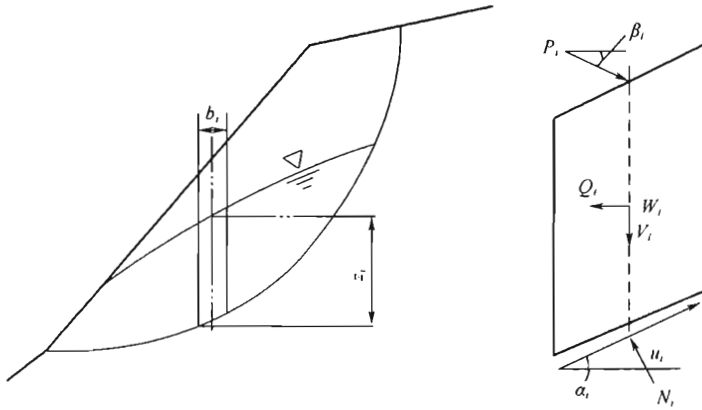

图 B.0.4　简化毕肖普法计算简图

$$K=\frac{\dfrac{\sum\{[(W_i+V_i+P_i\sin\beta_i)\sec\alpha_i-u_ib_i\sec\alpha_i]\tan\varphi_i'+c_i'b_i\sec\alpha_i\}}{1+\tan\alpha_i\tan\varphi_i'/K}}{\sum[(W_i+V_i+P_i\sin\beta_i)\sin\alpha_i+M_{Qi}/R-P_ih_{Pi}\cos\beta_i/R]}$$

(B.0.4)

式中：K——抗滑稳定安全系数；

W_i——第 i 条块重量(kN)；

V_i——第 i 条块垂直向地震惯性力(V 向上时取负值，向下时取正值)(kN)；

P_i——作用于第 i 条块的外力(不含坡外水压力)(kN)；

β_i——第 i 条块外力 P_i 与水平面的夹角(以水平线为起始线，逆时针为正角，顺时针为负角)(°)；

α_i——第 i 条块底面与水平面的夹角(以水平线为起始线，逆时针为正角，顺时针为负角)(°)；

u_i——第 i 条块底面的单位孔隙压力(kN/m)；

b_i——第 i 条块宽度(m)；

c_i'、φ_i'——第 i 条块底面的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

M_{Qi}——第 i 条块水平向地震惯性力 Q_i 对圆心的力矩(kN·m)；

Q_i——第 i 条块水平向地震惯性力(Q_i 方向与边坡滑动方向一致时取正值，反之取负值)(kN)；

h_{Pi}——第 i 条块外力 P_i 水平方向分力对圆心的力臂(m)；

R——滑动面圆弧半径(m)。

B.0.5 当采用不平衡推力传递法计算(图 B.0.5)抗滑稳定安全系数时，应按下列公式计算：

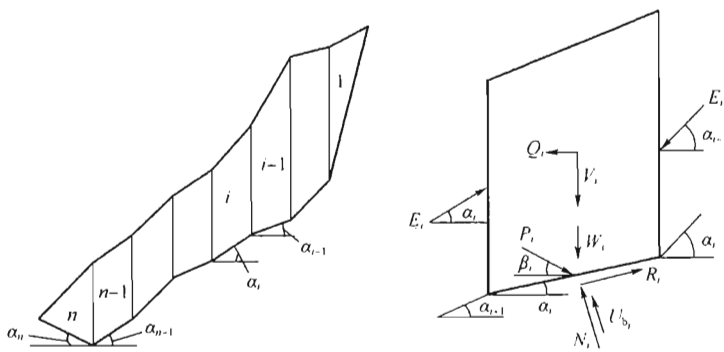

图 B.0.5 不平衡推力传递法计算简图

$$K=\frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left(R_i\prod_{j=i+1}^{n}\psi_j\right)+R_n}{\sum_{i=1}^{n-1}\left(T_i\prod_{j=i+n}^{n}\psi_j\right)+T_n} \qquad (B.0.5\text{-}1)$$

$$R_i=[(W_i+V_i)\cos\alpha_i-U_{bi}-Q_i\sin\alpha_i+P_i\sin(\alpha_i+\beta_i)]\tan\varphi_i'+c_i'b_i\sec\alpha_i \qquad (B.0.5\text{-}2)$$

$$T_i=(W_i+V_i)\sin\alpha_i+Q_i\cos\alpha_i-P_i\cos(\alpha_i+\beta_i) \qquad (B.0.5\text{-}3)$$

$$\psi_i=\cos(\alpha_{i-1}-\alpha_i)-\sin(\alpha_{i-1}-\alpha_i)\tan\varphi_i'/K(i=2,3,\cdots,n) \qquad (B.0.5\text{-}4)$$

$$E_i=T_i-R_i/K+\psi_iE_{i-1} \qquad (B.0.5\text{-}5)$$

式中：ψ_i——第 i 滑动条块侧面的推力传递系数；

U_{bi}——第 i 滑动条块底面的孔隙压力(kN)；

E_{i-1}——第 $i-1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条块的推力(kN)；

E_i——第 $i+1$ 滑动条块作用于第 i 滑动条上的反作用力(kN)与第 i 滑动条块的推力大小相等，方向相反。

B.0.6 当采用萨尔玛法计算(图 B.0.6)抗滑稳定安全系数时，应按下列公式计算：

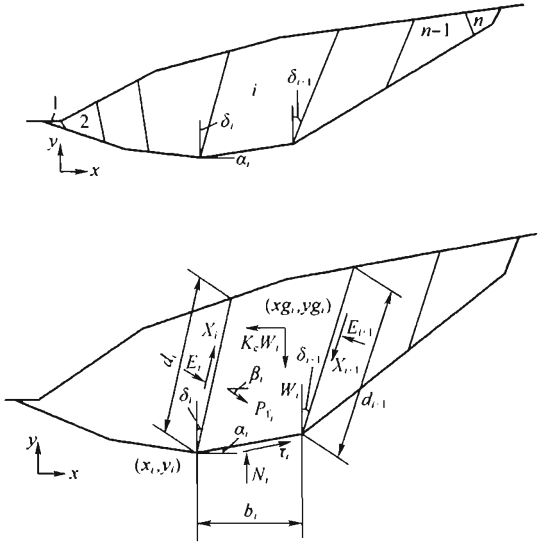

图 B.0.6 萨尔玛法计算简图

$$K_c=\frac{a_n+a_{n-1}e_n+a_{n-2}e_ne_{n-1}+\cdots+a_1e_ne_{n-1}\cdots e_3e_2+E_1e_ne_{n-1}\cdots e_1-E_{n+1}}{p_n+p_{n-1}e_n+p_{n-2}e_ne_{n-1}+\cdots+p_1e_ne_{n-1}\cdots e_3e_2}$$

(B.0.6-1)

$$a_i=\frac{R_i\cos\tilde{\varphi}'_{bi}+W_i\sin(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i)+S_{i+1}\sin(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i-\delta_{i+1})-S_i\sin(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i-\delta_i)}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i+\tilde{\varphi}'_{si+1}-\delta_{i+1})\sec\tilde{\varphi}'_{si+1}}$$

(B.0.6-2)

$$p_i=\frac{W_i\cos(\varphi'_{bi}-\alpha_i)}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i+\tilde{\varphi}'_{si+1}-\tilde{\delta}_{i+1})\sec\tilde{\varphi}'_{si+1}} \qquad \text{(B.0.6-3)}$$

$$e_i=\frac{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i+\tilde{\varphi}'_{si}-\delta_i)\sec\tilde{\varphi}'_{si}}{\cos(\tilde{\varphi}'_{bi}-\alpha_i+\tilde{\varphi}'_{si+1}-\delta_{i+1})\sec\tilde{\varphi}'_{si+1}} \quad (B.0.6\text{-}4)$$

$$R_i=\tilde{c}'_{bi}b_i\sec\alpha_i+P_{fi}\cos(\alpha_i+\beta_i)+[P_{fi}\sin(\alpha_i+\beta_i)-U_{bi}]\tan\varphi'_{bi} \quad (B.0.6\text{-}5)$$

$$S_i=\tilde{c}'_{si}d_i-U_{si}\tan\varphi'_{si} \quad (B.0.6\text{-}6)$$

$$S_{i+1}=\tilde{c}'_{si+1}d_{i+1}-U_{si+1}\tan\varphi'_{si+1} \quad (B.0.6\text{-}7)$$

$$\tan\tilde{\varphi}'_{bi}=\tan\varphi'_{bi}/K \quad (B.0.6\text{-}8)$$

$$\tilde{c}'_{bi}=c'_{bi}/K \quad (B.0.6\text{-}9)$$

$$\tan\tilde{\varphi}'_{si}=\tan\varphi'_{si}/K \quad (B.0.6\text{-}10)$$

$$\tilde{c}'_{si}=c'_{si}/K \quad (B.0.6\text{-}11)$$

$$\tan\tilde{\varphi}'_{si+1}=\tan\varphi'_{si+1}/K \quad (B.0.6\text{-}12)$$

$$\tilde{c}'_{si+1}=c'_{si+1}/K \quad (B.0.6\text{-}13)$$

作用于第 i 条块左侧面上的推力 E_i 应按式(B.0.6-14)计算：

$$E_i=\alpha_{i-1}-p_{i-1}K_c+E_{i-1}e_{i-1} \quad (B.0.6\text{-}14)$$

式中：c'_{bi}、φ'_{bi}——第 i 条块底面上的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

$\tilde{c}'_{bi}$、$\tilde{\varphi}'_{bi}$——第 i 条块底面上折减后的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

c'_{si}、φ'_{si}——第 i 条块第 i 侧面上的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

$\tilde{c}'_{si}$、$\tilde{\varphi}'_{si}$——第 i 条块第 i 侧面上折减后的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

c'_{si+1}、φ'_{si+1}——第 i 条块第 $i+1$ 侧面上的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

$\tilde{c}'_{si+1}$、$\tilde{\varphi}'_{si+1}$——第 i 条块第 $i+1$ 侧面上折减后的有效黏聚力(kPa)和内摩擦角(°)；

U_{si}、U_{si+1}——第 i 侧面和第 $i+1$ 侧面上的孔隙压力(kPa)；

U_{bi}——第 i 条块底面上的孔隙压力(kPa)；

P_{fi}——作用于第 i 条块上的加固力(kPa)；

δ_i、δ_{i+1}——第 i 条块第 i 侧面和第 $i+1$ 侧面的倾角(以铅垂线为起始线,顺时针为正角,逆时针为负角)(°);

E_{n+1}——第 n 条块右侧面总的正压力(kN),一般情况下 $E_{n+1}=0$;

E_1——第1条块左侧面总的正压力(kN),一般情况下 $E_1=0$;

K_c——临界水平地震加速度。

B.0.7 当采用模形体法计算(图 B.0.7)抗滑稳定安全系数时,楔体的滑动模式包括单面滑动、双面滑动以及脱离岩体运动,其滑动模式判断与安全系数应按下列公式计算:

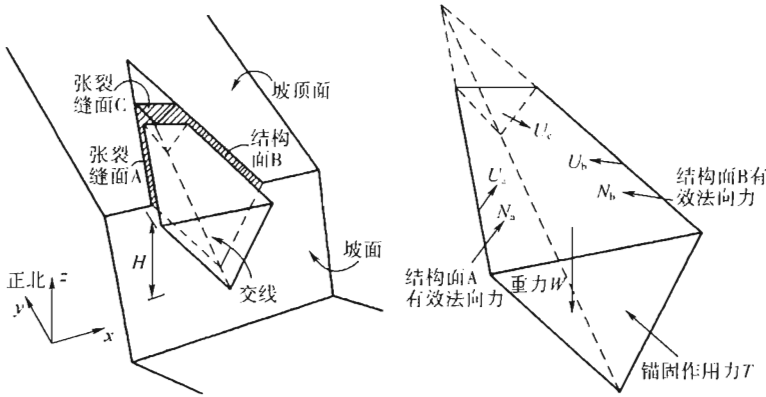

图 B.0.7 楔形体稳定分析计算简图

$$N_a=(m_{ab}R\cdot n_b-R\cdot n_a)/(1-m_{ab}^2) \quad (B.0.7\text{-}1)$$

$$N_b=(m_{ab}R\cdot n_a-R\cdot n_b)/(1-m_{ab}^2) \quad (B.0.7\text{-}2)$$

$$m_{ab}=\sin\psi_a\sin\psi_b\cos(\alpha_a-\alpha_b)+\cos\psi_a\cos\psi_b \quad (B.0.7\text{-}3)$$

$$R=U_a n_a+U_b n_b+U_c n_c+W_w+T_t \quad (B.0.7\text{-}4)$$

$$n_a=(\sin\psi_a\sin\alpha_a,\sin\psi_a\cos\alpha_a,\cos\psi_a) \quad (B.0.7\text{-}5)$$

$$n_b=(\sin\psi_b\sin\alpha_b,\sin\psi_b\cos\alpha_b,\cos\psi_b) \quad (B.0.7\text{-}6)$$

$$n_c=(\sin\psi_c\sin\alpha_c,\sin\psi_c\cos\alpha_c,\cos\psi_c) \quad (B.0.7\text{-}7)$$

$$w=(0,0,-1) \quad (B.0.7\text{-}8)$$

$$t=(\cos\psi_t\sin\alpha_t,\cos\psi_t\cos\alpha_t,-\sin\psi_t) \qquad (B.0.7\text{-}9)$$

1 $N_a>0$，$N_b>0$ 时，楔形体沿结构面 A 和 B 的交棱线滑动，其安全系数应按下式计算：

$$K=\frac{N_a\tan\phi'_a+c'_aA_a+N_b\tan\phi'_b+c'_bA_b}{|R(n_a\times n_b)|/|n_a\times n_b|} \qquad (B.0.7\text{-}10)$$

2 当 N_a 或 N_b 出现负值时，若 N_a 和 N_b 满足 $N_a+m_{ab}N_b\geqslant 0$，楔体沿结构面 A 滑动，其安全系数应按下式计算：

$$K=\frac{|Rn_a|\tan\phi'_a+c'_aA_a}{|R\times n_a|} \qquad (B.0.7\text{-}11)$$

3 若 N_a 和 N_b 满足 $N_b+m_{ab}N_a\geqslant 0$，楔体沿结构面 B 滑动，其安全系数应按下式计算：

$$K=\frac{|Rn_b|\tan\phi'_b+c'_bA_b}{|R\times n_b|} \qquad (B.0.7\text{-}12)$$

式中：A_a、c'_a、ϕ'_a——结构面 A 的面积（m^2）、有效黏聚力（kPa）和内摩擦角（°）；

A_b、c'_b、ϕ'_b——结构面 B 的面积（m^2）、有效黏聚力（kPa）和内摩擦角（°）；

ψ_a、α_a——结构面 A 的倾角和倾向（°）；

ψ_b、α_b——结构面 B 的倾角和倾向（°）；

ψ_c、α_c——结构面 C 的倾角和倾向（°）；

ψ_t、α_t——张裂缝面 C 的倾角和倾向（°）；

U_a——结构面 A 上的孔隙压力（kN）；

U_b——结构面 B 上的孔隙压力（kN）；

U_c——张裂缝面 C 上的孔隙压力（kN）；

W_w——楔形体重量（kN）；

T_t——锚杆或锚索加固力（kN）。

若楔体脱离岩体运动，其安全系数为 0。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

《混凝土结构设计规范》GB 50010
《工程岩体分级标准》GB 50218
《工程岩体试验方法标准》GB/T 50266
《建筑边坡工程技术规范》GB 50330
《露天煤矿岩土工程勘察规范》GB 50778
《煤炭工业露天矿边坡工程监测规范》GB 51214
《中国地震动参数区划图》GB 18306

中华人民共和国国家标准

煤炭工业露天矿边坡工程设计标准

GB 51289－2018

条 文 说 明

编 制 说 明

《煤炭工业露天矿边坡工程设计标准》GB 51289—2018，经住房城乡建设部2018年5月14日以第90号公告批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国煤炭工业露天煤矿边坡工程设计方面的经验，同时参考了国外先进技术标准。

为了便于广大勘察、设计、施工、科研、教学等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《煤炭工业露天矿边坡工程设计标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由做了解释。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目　　次

1　总　　则 …… (51)
3　基本规定 …… (53)
4　边坡工程勘察 …… (55)
4.1　一般规定 …… (55)
4.2　设计阶段 …… (56)
4.3　生产阶段 …… (57)
5　边坡稳定性评价 …… (58)
5.1　一般规定 …… (58)
5.2　稳定性计算 …… (59)
5.3　评价及成果报告 …… (62)
6　边坡工程设计基本原则 …… (63)
6.1　一般规定 …… (63)
6.2　边坡工程设计原则 …… (63)
7　边坡防治措施 …… (64)
7.1　一般规定 …… (64)
7.2　设计及工程要求 …… (65)
8　坡面防护与绿化 …… (70)
8.1　一般规定 …… (70)
8.2　设计及工程要求 …… (71)
9　边坡工程监测 …… (73)
9.1　一般规定 …… (73)
9.2　边坡监测要求 …… (74)

1 总　　则

1.0.1 在以往的露天煤矿建设过程中，遇到了许多过去未曾遇到的边坡工程问题。露天煤矿边坡角的大小受露天开采安全和经济效益的制约，一个大型露天煤矿总体边坡角每加陡 1°，可减少剥离费用几千万元乃至上亿元，但边坡角过陡也会造成边坡滑坡灾害。为使露天煤矿边坡工程设计工作能够更好地执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，有规可循，使露天煤矿获得最佳的经济和社会效益，制定本标准。

1.0.2 本条指出了本标准的适用范围。由于露天煤矿边坡不同于金属露天矿，露天煤矿边坡岩层主要由沉积岩为主的煤系地层构成，层理发育，软弱结构面多，岩石强度低。而金属矿则主要由火成岩构成，岩石强度相对较高。因此露天煤矿的边坡有着独特的特点。

1.0.3 露天煤矿边坡工程首先要进行边坡勘察，为边坡稳定分析提供基础数据，根据边坡稳定分析结果，为采矿设计提供最优边坡角度。由于地质的复杂性，边坡稳定性分析不可能很准确，为保证安全，应提出边坡的防治措施及监测方案。

1.0.4 露天煤矿边坡设计并不是单纯的边坡问题，它受安全及经济效益的相互制约，设计应在保证安全的前提下获得较大的经济效益，同时，边坡设计应综合考虑采矿生产工艺和其他技术等方面的要求。

1.0.5 露天煤矿边坡工程始终处于动态状态，动态的露天煤矿边坡特性决定了边坡防治工程的阶段性特点，动态设计、信息化施工法就是将设计、施工、监测和信息反馈融为一体的现代化施工方法。同时边坡防治工程设计需与采矿工艺相结合，注重远近期结

合，对治理方案充分对比，认真比选。

1.0.6 露天煤矿边坡工程勘察、设计、防治和监测关系到工程地质勘察、测量、岩土体物理力学试验、力学、结构、抗震设计等学科，因此有关露天煤矿边坡工程设计，除应遵守本标准外，尚应符合国家现行的有关规范和标准的规定。

3 基本规定

3.0.1 边坡设计分为文件编制阶段的边坡设计和生产期的专项设计。

文件编制阶段边坡设计与设计阶段相适应，每个阶段都有相应的边坡勘察深度、边坡设计深度。

生产期专项设计主要包括露天煤矿滑坡、排土场增高扩容、特殊工艺边坡问题、生产期年度或阶段性边坡研究等。

由于矿山开采的设计是分阶段的，而各设计阶段对勘察工作的要求有所不同，为满足各阶段设计的需要并避免浪费，勘察工作应分阶段进行。

设计阶段和开采阶段的边坡岩土工程勘察内容有相似之处，但要求的深度和广度存在很大差异。开采阶段的岩土工程勘察具有较强的针对性，是为满足矿山改、扩建和局部治理的需要而进行的岩土工程勘察，两者勘察方案也存在较大悬殊。设计阶段采掘场尚未揭露或仅局部揭露。开采阶段通常已经全部揭露，故其勘察的方法、手段也有较大差别。

针对开采阶段滑坡、危岩、崩塌等不稳定区进行的岩土工程勘察，应为露天煤矿边坡治理方案的选择和设计提供可靠依据。

3.0.3、3.0.4 边坡分区应在工程地质分区的基础上进行，其目的在于进行边坡稳定性的计算。边坡稳定性计算需要根据计算剖面和各项计算参数进行。因此要求在各分区内不仅其工程地质条件应相近，而且边坡的几何形转、坡面倾向也应基本一致，以保证各分区的边坡能用单一的剖面和相同的计算参数来表征。边坡分区要在规划设计采坑平面图上表示，边坡稳定计算按边坡分区进行。

边坡工程地质分区应根据露天煤矿边坡倾向、岩体赋存、岩性

构造等工程地质条件综合因素进行划分。

爆破作业是大多数露天煤矿重要的生产环节，并有作业频繁、周而复始等特点。与其他边坡边坡工程相比较，爆破作业对边坡体裂缝有扩展作用，并容易产生新的裂缝。

另外，《煤矿安全规程》中规定各类建(构)筑物地面质点的安全振动速度不应当超过下列数值：①重要工业厂房，0.4cm/s；②土窑洞、土坯房、毛石房，1.0cm/s；③一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物，2cm/s～3cm/s；④钢筋混凝土框架房屋，5cm/s；⑤水工隧道，10cm/s；⑥交通涵洞，15cm/s；⑦围岩不稳定有良好支护的矿山巷道，10cm/s；围岩中等稳定有良好支护的矿山巷道，15cm/s；围岩稳定无支护的矿山巷道，20cm/s。

3.0.6～3.0.8 本标准综合水利、建筑、公路等行业情况，并结合国外标准手册，对煤炭行业露天煤矿边坡安全等级、边坡危害等级进行了划分，并确定了边坡工程稳定系数的取用原则。

4 边坡工程勘察

4.1 一般规定

4.1.1 先勘察、后设计、再基建生产，是工程建设必须遵循的程序，是国家一再强调的十分重要的基本政策，尤其是露天煤矿边坡更要重视勘察工作。但是，近年来仍有一些工程不进行岩土工程勘察就进行基建生产，造成了露天煤矿安全事故或安全隐患。岩土勘察是岩土工程设计的基础，这在各行业中已达成共识，因此将本条目列为强制性条文，必须严格执行。

露天煤矿边坡工程勘察场地复杂程度可分为以下四种类型：

(1)简单型——岩土类型比较单一，岩性变化不大，岩层产状稳定，接触面比较规则，褶皱、断裂不发育，地质结构简单，水文地质条件单一；

(2)中等复杂型——岩石类型较多，岩性变化较大，岩层或结构面不够稳定，褶皱、断裂较发育，有顺坡向软弱结构面，地质结构和水文地质条件较复杂；

(3)复杂型——岩石类型多，岩性变化大，岩层产状多变，褶皱、断裂发育，软弱结构面发育，地质结构和水文地质条件复杂；

(4)很复杂型——岩石类型很多，岩性多变，岩体破碎现象十分显著，次一级褶皱和断裂发育，软弱结构面十分发育，地质结构和水文地质条件很复杂且对边坡稳定影响强烈。

地质条件的复杂程度直接影响到勘察工作量的布置。

4.1.2 露天煤矿边坡岩土工程勘察是边坡稳定性评价的重要基础工作。露天煤矿采掘场最终边坡角的大小和稳定程度对露天煤矿的剥离量、生产和安全影响极大，是影响露天开采经济效益的重要因素之一。而可靠的工程地质参数是确定经济合理的边坡角的

基础。

本条主要是强调边坡工程岩土工程勘察工作的重要性。

4.1.3 采掘场、排土场是露天煤矿边坡主要研究对象。矿体赋存状态无选择性，无可选择的余地，地层多属软岩，地层相对复杂；排土场设计需要考虑剥离运距的问题，只能在采掘场附近选择。

根据露天煤矿实际情况，将本条列为强制性条文，必须严格执行。

4.1.4 本条明确了边坡工程岩土工程勘察工作的主要工作内容。

4.1.5 由于潜在滑动面是按经验估计的，因此钻孔需超过煤层底板或预计的最低可能滑动面不小于30m。

4.1.6 排土场边坡稳定受基底地质条件、物料性质、排弃方式等影响，同时也要考虑排土对环境的影响。

排土场基底对其边坡稳定有很大影响，贺斯格乌拉、印尼穆印等露天煤矿排土场就是典型案例。印尼穆印露天煤矿排土场基底存在一层0.5m左右软弱层，受地表降雨、附近河流补给的影响，软弱层强度明显降低。排土场自2009年开始排土，2011年排至+55～+60开始发生局部滑坡，2012年南北两个方向发生大面积滑坡。

4.2 设计阶段

4.2.1 本条提出了设计阶段边坡工程勘察工作的任务。

4.2.2 要查清影响边坡稳定性的工程地质、水文地质因素，尤其是对边坡稳定有制约作用的软弱结构层(面)的分布、厚度、产状及主要物理力学性质、结构规律等。

4.2.3 排土场边坡岩土工程勘察是露天煤矿勘察一项重要内容。排土场无论是形成过程产生的生产成本，还是占地费用占整个露天煤矿成本的比例都较高，一旦排土场发生滑坡等破坏，都会产生无可挽回的经济损失。

4.3 生产阶段

4.3.1 生产阶段的边坡工程勘察是在生产过程中发现原设计所依据的岩土工程资料不符合开采后的实际情况，或开采边界发生变化等需局部修改边坡设计，或为不稳定区段治理等所需而进行的勘察。

4.3.2 生产阶段的岩土工程勘察是最有利、最主要阶段。该阶段拉沟开采实施后，对原有勘探报告的地层进行了实际揭露，形成了边坡露头，此时可以充分利用采掘揭露的边坡做进一步的地质测绘调查与描述，并可选择适当的部位进行原位测试，对原有勘察成果进行进一步的验证、校验与补充完善。

在生产阶段的初期，往往会发生一些小型滑坡，更应该对实际发生的滑坡进行专门的勘察研究，反演滑坡的实际参数，作为重要的地区经验加以积累，并用于后期的滑坡设计与治理。

4.3.3 根据工程的复杂程度进行适量的勘察工作，重点地段则应加密工程量。应充分利用岩层已被揭露的有利条件，进行有针对性的原位直剪试验，取得准确的工程地质参数，对边坡稳定性做出分析评价和采取治理加固措施。

5 边坡稳定性评价

5.1 一般规定

5.1.1 边坡稳定评价所依据的基础资料是针对不同勘察阶段所提出的勘察成果进行的，由于不同勘察阶段的工作内容和深度不同，因此对边坡稳定的评价深度也不同。定性分析和定量分析相结合的方法是指在边坡稳定性评价中，应以岩土体结构、变形破坏模式与稳定性状态的地质判断为基础，选取适当的方法进行定量计算分析，并综合考虑定性判断与定量分析结果作为边坡稳定性评价的依据。

露天采掘场、排土场边坡稳定性不只是安全问题，同时也是经济问题，有必要在临近到界前对其进行稳定性计算，为设计合理边坡形态与参数奠定基础。

5.1.2 露天煤矿边坡揭露地层多，走向长度大，各区段的工程地质条件及工程布置情况很可能存在较大差异，岩土体稳定性程度不同，有必要进行边坡工程地质分区，应在每个分区选取一定数量的具有代表性的剖面进行稳定计算。

采掘场边坡分为土质边坡和岩质边坡，特别是当覆盖土层较厚时，应分别对覆盖层土质边坡和岩质边坡部分分别进行稳定评价。本条为强制性条文，必须严格执行。

5.1.3 对于圆弧滑动模式，宜采用简化 Bishop 法进行稳定计算；对于非规则曲面滑动模式，宜采用传递系数法进行稳定计算；对于破坏机制复杂的边坡，宜结合数值分析法进行稳定计算。

极限平衡法是当前国内外应用最广泛的边坡稳定分析方法。极限平衡法是在已知（或推测）滑动面上对边坡进行静力平衡计算，从而求出边坡稳定系数。当滑动面为一简单平面时，静力平衡

计算可采用解析法计算，可获得解析解。当滑动面为一圆弧、折线或任意曲线时，无法获得解析解，通常要用条分法求解，此时坡体为一静不定问题，通过对某些未知量做假定，使问题成为静定问题。极限平衡法在实践中积累了大量经验，不仅有较为成熟的试验方法测定岩土体物理力学指标，也有与计算方法相匹配的稳定系数标准。

数值分析法主要包括有限元法、离散元法、快速拉格朗日法。

渗流计算参数可以根据现场试验、室内试验和工程类比等方法确定。对地质条件复杂的边坡，可用反演分析进行复核和修正。

5.1.4 在我国，矿山地质环境保护与治理恢复已被高度重视，其重点对象就是不良地质现象。露天煤矿边坡发展是动态的，不良地质现象在露天煤矿项目全生命周期中均会发生，出现新的不利因素是指随着工程发展，边坡遇到断层、软弱夹层等不良地质现象或发生显著变形，此时应进行专门的稳定性评价。本条为强制性条文，必须严格执行。

5.2 稳定性计算

5.2.1 工程类比法是以总结的经验结合场区的工程地质、水文地质、降雨量、地形地貌等来判断边坡的状态。极射赤平投影法是目前主要的图解法之一，把结构面的几何要素投影在闵球面上，再以南极或北极为发射点将球面上的结构面几何要素投影于赤道面上。

边坡的潜在破坏模式、破坏方向、破坏范围和影响范围是选取稳定计算方法和安全储备系数的前提，有必要在边坡稳定计算前做出合理判断。潜在破坏模式一般受断层、软弱夹层等软弱结构面及其与边坡面间的空间关系控制，若软弱结构面不能构成破坏滑动面，边坡破坏主要受边坡岩土体强度与应力场间的相对关系控制。

5.2.2 边坡稳定系数是指最危险滑移面的稳定系数，该滑移面需

采用合理的优化算法搜索确定。

露天煤矿边坡稳定计算大多数都是二维问题，但有些时候也有三维问题，例如采区转向、结构面控制的边坡、地形复杂的排土场等。三维方法目前仍处于研究阶段，尚不成熟，有关的稳定分析方法和计算程序开发等工作远远不能满足实际要求。目前三维稳定分析的基本方法仍是条分法。

5.2.3、5.2.4 边坡稳定计算应考虑爆破振动力、地震力荷载，以及地下水、地表水的影响。

5.2.5 结构面是在岩体形成、地壳运动及人工扰动过程中形成的，是影响露天煤矿岩体边坡稳定的重要因素，一方面结构面的存在能控制岩体边坡的破坏模式，另一方面降低了边坡岩体的完整性。准确确定结构面的抗剪强度是很困难的，需要综合试验成果、地区经验，并结合现场实际、边坡边界条件才能合理取值，因此在本条中列出了结构面抗剪强度的参考值。

当无条件进行试验时，结构面的抗剪强度指标可按照表1，并结合工程经验确定。

表1 边坡岩体结构面抗剪强度参考值

结构面类型	结构面结合程度	内摩擦角 Φ(°)	黏聚力(MPa)
硬性结构面	胶结的结构面，结合好	>35	0.250～0.150
	无填充的结构理，结合一般	35～27	0.150～0.100
	岩块岩屑型，结合差	27～18	0.100～0.050
软弱结构面	岩屑夹泥型，结合很差	18～12	0.050～0.020
	泥膜、泥化夹层型，结合极差	<12	0.020～0.002

注：1 无经验时取表中的低值；

2 软岩、极软岩取表中较低值；

3 岩体结构面连通性差取表中的高值；

4 岩体结街面浸水时取表中的较低值；

5 表中数值已考虑结构面的时间效应。

5.2.6 确定岩体抗剪强度指标的方法很多，主要有现场试验、室

内试验、反演分析、经验折减以及岩体力学分类法折减等。一般来讲，现场试验得出的抗剪强度结果是比较可靠的，我国在抚顺西露天煤矿、阜新海州露天煤矿、平庄西露天煤矿等进行了大量的现场试验，试验结果是比较准确的。但是现场试验费用高、周期长、试验条件苛刻，无法大规模开展。另外，露天煤矿边坡体量较大，用以点带面的现场试验也满足不了边坡稳定评价要求。因此，岩块的室内试验、反演分析、经验类比及岩体力学分类法折减等方法不可轻视。

近些年国内外岩土专家尝试利用 RMR 分类法，并结合强度准则估算岩体的抗剪强度，并将其成果用于小浪底、二滩等水利水电工程中。2000 年开始 Hoek 教授提出了一种新的方法即 GSI 法，该方法特别适合风华岩体及非均质岩体。GSI 指标的确定基于岩体的岩性、结构、结构面条件等，与地质调查工作息息相关，具有使用上的简易性和可操作性。

5.2.7 对于土质边坡和呈碎裂结构、散体结构的岩质边坡，当滑动面呈圆弧时，宜采用简化毕肖普法和摩根斯坦-普莱斯法进行稳定计算；当滑动面呈非圆弧时，宜采用摩根斯坦-普莱斯法和不平衡力传递法进行抗滑稳定计算。

对于呈块体结构和层状结构的岩质边坡，宜采用萨尔玛法和不平衡推力传递法进行抗滑稳定计算。

对由两组及其两组以上节理裂隙、断层等结构面切割形成的楔形潜在滑体的边坡，宜采用楔体法进行抗滑稳定计算。

边坡稳定计算时，如边坡内部存在地下水，在计算时需考虑水压力的影响，且岩体水下强度与水上强度不同。

边坡稳定计算时，如边坡内部存在弱层，则在计算时应考虑弱层对滑弧的影响。如果没有弱层存在时，滑动面一般为圆弧形，有弱层存在时，则滑动面可能演变成圆弧—折线形或圆弧—折线—圆弧形。在计算时，滑动面搜索计算应达到一定的数量（应在 1000 次以上）。如果有地下水存在，则亦应考虑水压力的影响及

水下强度和水上强度。

5.2.9 由于边坡稳定性影响因素较多，破坏机制复杂，很难直接确定最危险滑动面，或多个滑动面可能处于不稳定状态，因此，有必要对可能存在的多个滑动面分别进行稳定计算。

5.3 评价及成果报告

5.3.1 为了明确边坡稳定状态的说法，本条提出该分类标准。

5.3.3 在露天煤矿设计阶段，要对达产位置边坡进行评价，有时也要对坡高最大位置、闭坑位置进行评价。

边坡专题研究不仅要对边坡目前的情况进行分析，有时还要对边坡未来状况进行评价，比如排土场增高扩容项目，要对增高后的排土场边坡进行分析和评价。

5.3.4 边坡稳定分析需要把握：计算典型剖面的选取、计算条件的概化、计算工况的选定、岩土体物理力学指标参数确定、计算方法及其选用、稳定系数及富裕度。

边坡治理措施对提高边坡角可行性分析，重点是经济、技术比较。

5.3.5 边坡地质条件应包括：边坡类型，边坡的形状、规模、地形地貌和岩土体性质等，结构面性状、分布及组合，水文地质条件及动态变化情况，边坡当前的稳定状态，边坡可能的失稳方式，可能的剪出口位置。

6 边坡工程设计基本原则

6.1 一般规定

6.1.1 露天煤矿边坡角度直接影响一个露天煤矿的经济合理性及安全性，所以，边坡设计应以可靠的边坡工程资料和岩土物理力学试验数据为基础。

6.1.2 由于实际边坡形状较复杂，应对不同轮廓形状的边坡进行稳定验算。

6.1.3 具有较高水压的含水层对边坡稳定性影响较大，因此需采取有效的疏干措施，才能提高边坡稳定性。

6.2 边坡工程设计原则

6.2.1 边坡工程设计前，应有可靠的地质资料。

6.2.2 边坡工程设计受安全性及经济效益的影响，若边坡角度设计过陡，边坡易出现滑坡事故；若边坡角度设计过缓，剥离费用增大，效益降低。边坡设计就是要在保证安全的基础上给出最优的边坡角度。

6.2.3 随着采矿工程的进行，边坡要根据最新地质资料及现场实际情况进行设计优化，保持动态设计。

7 边坡防治措施

7.1 一般规定

7.1.1 露天煤矿边坡防治目的是在不断调整和优化帮坡角参数的基础上，利用工程支挡措施，确保露天煤矿采掘场和排土场的安全，保护矿区地质环境和生态环境，保证露天煤矿的可持续性发展，保护人民的生命财产安全，所以应坚持以预防和调整、优化边坡设计为主，以治理为辅的防治原则。

7.1.2 本条按边坡的危害程度确定了边坡治理的程度。

7.1.3 边坡防治的技术措施：

1 控制合理的边坡角。就是根据岩性、构造、岩石力学强度参数等确定合理稳定的工作帮坡角和最终帮坡角。

2 优化内排时机。就是科学及时的实施内排是保证边坡稳定的重要手段，内排跟进后可以对端帮坡角实现压脚。

3 留置安全煤柱。就是在回采过程中，留置一定厚度的安全煤壁。为减少煤炭损失，煤壁可在最后回采。

4 统筹安排采区。就是在稳定状况较差的区段，采取控制开采强度的办法，使岩体回弹变形缓慢释放。

5 降低动载荷。研究表明，物体动载荷是静载荷的9倍～11倍，所以对稳定性较差的局部地段，采用限速等办法来减少工程设备对边坡产生的动载荷。

7.1.4 边坡防治的工程措施有：

(1)水的综合治理。①拦截地表水；②覆盖防渗；③疏排、截堵地下水等方式。

(2)坡面防护。一般有喷砂浆和喷混凝土、勾缝和灌浆、护面墙、干砌片石、浆砌片石等；坡面防护必须建在符合稳定边坡要求

的地段。一般在出入沟，车辆密度大的永久性边坡上设置，其主要作用是防止坡面被水流破坏，防止岩石进一步风化，增加边坡的稳定性和保护边坡不发生落石崩塌。

(3)支挡和减重压脚工程。①对于滑坡规模较小，有滑坡征兆的地段，在下部修筑刚性抗滑挡墙，对滑体进行支挡加固；②对于规模较大的滑坡和变形体，在滑移段实施钢轨抗滑桩或工字钢混凝土抗滑桩，增加滑移段的抗滑移变形能力；③对岩性软硬相间、岩层陡倾倒转而产生倾倒滑移的区段，采用锚杆加固，增加岩层迭层总厚度，从而达到增加复合抗弯刚度能力，减少倾倒滑移变形；④通过在上部减重，改变滑体外形，减少下滑体，使滑体重心向下部转移来改善边坡稳定状况；⑤在上部减重的基础上再在下部压脚，增加抗滑效果。

7.1.5 露天煤矿边坡防治的植物防护措施必须建在符合稳定边坡要求的地段，一般设置在永久性边坡或长期边坡上，其主要作用是防止水土流失，增加边坡的稳定性，保护环境。

7.2 设计及工程要求

7.2.1 本条说明如下：

1 边坡地表排水应符合下列要求：

(1)当滑体上存在地表水时，应尽快排走。在任何情况下都不允许在坡脚及坡面上积水。如地表水须保留时，则应进行防渗处理。

(2)排水沟的断面形式宜采用矩形、梯形，筑沟材料因地制宜，优先选用浆砌块石。

(3)坡面裂缝、松软土层均夯填密实，做好防渗。

(4)地表排水工程设计的地表汇水流量及排水沟(截洪沟)过流量应按照相关规范进行计算。

2 在边坡防治总体方案基础上，结合工程地质、水文地质条件及降雨条件，注意依坡就势，制订地表截排水、地下排水或者两

者相结合的方案。当地质条件和水文条件复杂时，排水工程对边坡稳定性系数的提高值可不作为设计依据，但可作为安全储备加以考虑。

地下疏排水应视滑动面状况、滑体所在边帮汇水范围内水文地质结构及地下水动态特征，选用以下适宜的疏排水方案：

(1)当边坡体表层有积水时，可将排水沟上端做成渗水盲沟，伸进积水区域，达到疏干边坡上层滞水的目的。

(2)地下排水宜采用隧洞和钻孔排水，如前期勘察探矿留有平峒，可利用作排水平峒。

(3)坡体疏排水孔应穿过预测滑动面。

(4)渗水盲沟需用不含泥的块石、碎石填实，两侧和顶部设置反滤层。

(5)水平排水孔的位置和数量宜根据地下水分布的情况和地质条件而定，孔径可根据施工机具(钻机)和孔壁加固材料而定，通常为 100mm～150mm，坡度 10%以上。

4 为减少地表水渗入边坡体，应在边坡潜在塌滑区后缘设置截水沟。边坡地表应设地表排水系统，其设计应考虑汇水面积、排水路径、沟渠排水能力等因素。不宜在边坡上或边坡顶部设置沉淀池等可能造成渗水的设施，必须设置时应做好防渗处理。

边坡的地表防水、截水和排水系统是边坡综合治理的重要组成部分，可结合坡面防护和边坡加固做好排水系统的规划布置。土质、堆积层和全、强风化岩质边坡易受降雨形成的地表径流冲刷，应做覆盖保护。

5、6 边坡工程支挡结构应设泄水孔。岩质边坡泄水孔宜优先设置于裂隙发育、渗水严重的部位。当潜在破裂面渗水严重时，泄水孔宜深入至潜在滑裂面内。泄水孔的位置和数量应根据地下水分布的情况和地质条件确定，孔径可根据施工机具(钻机)和泄水管材料确定，通常为 100mm～150mm，外倾坡度不宜小于 5%。

7.2.2 本条说明如下：

1　在滑坡治理中，通常需要在滑体主滑段挖方减少滑体下滑力，而在滑体下部前缘挖方会引起滑坡蠕动，加剧滑体的滑动。所以在滑坡及潜在滑坡区内未查清滑坡性质前不可盲目削坡。

削坡减重对于滑坡稳定系数的提高值可作为设计依据。

2　削坡减重应结合采矿工艺，当削坡高度较大时，削坡宜设置多级台阶，每级削坡高度宜与原台阶高度一致。采用爆破方法对后缘滑体或危岩进行削坡减载时，应对爆破振动对滑坡整体稳定性的影响做出评估，并应采取控制爆破。

3　实践经验表明，对已经滑动的边坡滑体，仅用减重而不结合排水和支挡工程的，大都不能长久稳定，几年或十数年后往往仍会滑动。其原因是对于滑动面已贯通的变形坡体，滑带土强度已很低，一般要同时配套实施地下排水措施以提高滑带土强度，或设置支挡加固工程增加其抗滑力。而对个别规模大、滑面贯通某一边帮的滑坡体，甚至要修改矿山开采设计。

7.2.3　抗滑桩措施应符合下列规定：

1　抗滑桩的布置应综合考虑滑体的大小、范围、滑弧位置、岩土体的性质等因素，做到技术可行、经济合理。

2　抗滑桩在露天煤矿治理工程中应用有其局限性，这是由特殊的矿山边坡条件和抗滑桩特点所决定的：

(1)边坡高陡，且有很多岩质边坡，抗滑桩人工开挖较为困难。

(2)露天开采逐级向深部延伸，抗滑桩有效支挡深度有限，地基应力变化与桩受力机理复杂，难以控制。

(3)长期受露天开采爆破振动影响，造成抗滑桩桩周围岩强度衰减，降低抗滑桩的抗滑移能力。

抗滑桩要求地基具有足够的侧向承载能力，桩前能提供可靠的抗力，利用岩土体的整体性和有效传力特点，抗滑桩的排列可有一定灵活性。可以适当选择滑面埋藏较浅，或下盘岩体完整，或易于施工的位置布置抗滑桩，但是要保证边坡抗力分布均匀，避免偏心力的作用。

抗滑桩的长度由滑动面上、下两部分组成，滑动面以上的长度以保证滑体不会越桩顶滑出为原则，应进行越顶验算。越顶和桩长过长表明缺少对桩长的合理设计。埋于滑动面以下的长度，除满足不超过岩土体允许的弹性抗力外，还应考虑滑动面是否有向下发展的可能，以确保桩基的稳定。

关于桩长，有些标准认为不宜超过 35m。现在已有不少滑坡的抗滑桩桩长超过 35m，一般在 40m 左右，因此做相应规定。嵌固段长度应根据桩的承载状态和地基抗力系数确定。根据经验，在土层或软质岩层中的嵌固段长度一般为 1/3～1/2 桩长；在坚硬岩石中嵌固深度一般为 1/4 桩长。鉴于目前抗滑桩技术已有许多发展，如锚索抗滑桩、抗滑钢架桩、桩洞联合结构等，嵌固段长度应专门验算。

滑坡推力是作用在抗滑桩上的主要外力，其大小通过极限平衡计算确定。国内采用的推力传递系数法，其作用方向平行于桩以上的一段滑动面，其分布图式一般是从滑动面到桩顶范围按矩形分布，目前设计上以采用矩形分布较合适。

桩前滑体对桩的作用力一般采用剩余抗滑力（桩在抗滑段时）和被动土压力二者中的较小值，用剩余抗滑力时，其分布图式为矩形；用被动土压力时，为三角形。当桩前滑体有可能滑走时则不考虑桩前抗力。

抗滑桩一般设计矩形断面，也有用椭圆形断面，其短轴方向与岩土体滑动方向正交；当滑动方向不确定时，可采用圆形断面。桩的直径或矩形截面短边一般为潜在滑体厚度的 1/10 左右，矩形截面一般宽 1.5m～3.5m，长 1.0m～5.0m。

抗滑桩与一般基础结构的桩不同，它要求有较大的截面和相应的刚度。在我国较普遍采用的是人工挖孔灌注钢筋混凝土矩形桩，为施工方便，其截面面积多在 $3m^2$ 左右；钢管桩或 T 字形钢板桩在矿山边坡堆积层滑坡有时应用，多应用于应急抢险的滑坡前期治理。

3　锚拉桩有以下优点：

(1)锚拉桩改变了普通桩的受力状态，减小了桩身弯矩和剪力，故而减少了桩的截面和埋深，节省了材料和造价。

(2)锚索控制了桩头的位移量，变普通桩的被动受力为主动受力，减少了滑体和桩体位移量，对保持滑带或潜在滑带的强度大有益处。

7.2.4　本条说明如下：

1　防腐处理应保证锚杆(索)各段均不出现杆(索)体材料局部腐蚀现象。

2　当边坡较高或边帮上布置有重要运输线路、构筑物时，一般不允许支护结构发生较大变形，此时采用预应力锚固能有效控制支护结构及边坡的变形量，有利于构筑物的安全。对施工期稳定性较差的边坡，一般在变形初期，虽出现后缘张拉裂缝或下错，但总体未形成贯通滑面，抗滑段仍具有较大抗力，采用预应力锚固能减少变形，同时增加边坡滑裂面上的正应力及阻滑力，有利于边坡稳定，可实现加固工程量小、节约工程投资的目的。

4　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，选择普通钢筋、高强度精轧螺纹钢筋、预应力钢丝或钢绞线。预应力锚索材料宜采用低松弛高强度钢绞线加工。预应力锚索设置必须保证达到所设计的锁定锚固力要求，同时必须保证预应力钢绞线有效防腐，避免因钢绞线锈蚀导致锚索失效。

5　锚杆(索)设计宜先按公式(7.2.4-3)和公式(7.2.4-4)计算所用锚杆(索)的截面积，然后再用选定的锚杆(索)面积按公式(7.2.4-5)和公式(7.2.4-6)确定锚固长度。计算采用过长的锚固长度并不能有效提高锚固力，公式(7.2.4-5)应用必须限制计算长度的上限值。锚杆杆体与锚固体材料之间的锚固力一般高于锚固体与岩土层间锚固力，因此土层锚杆锚固段长度计算结果一般均由公式(7.2.4-5)控制。

8 坡面防护与绿化

8.1 一般规定

8.1.1 近几十年，科学技术突飞猛进，人类对大自然的开发和利用能力越来越强，在创造物质文明的同时也破坏了大自然原有的平衡，露天煤矿开采尤为明显。

在保证露天煤矿边坡稳定的基础上，已逐步重视边坡工程的景观与绿化的设计、使用要求。露天煤矿水土保持、土地复垦方案已经成为项目审批的必备要件，涵盖了边坡防护与绿化方面的内容，并需要在建设、生产期执行。

另外，露天煤矿在建设、生产期出现的特殊边坡问题，需要做专题研究或设计，也涵盖了边坡防护与绿化方面的内容。

8.1.2 边坡防护工程只能在稳定边坡上设置，对于边坡稳定性不足和存在不良地质因素的地段，应注意采取边坡防护与支挡加固的综合设计。坡面防护措施应能保持自身的稳定。

当边坡处于整体稳定但其岩土体易风化、剥落或有浅层崩塌、滑落及掉块等影响边坡耐久性或正常运用，或可能威胁到人身和财产安全及边坡环境要求时，应进行坡面防护。

若坡面防护与锚固、支挡等加固措施联合使用，可一并进行计算。

8.1.3 寒冷和严寒地区的坡面防护设计应考虑冻融、冻胀作用。

边坡绿化工程应综合考虑工程地质、水文气象、环境条件、施工条件、工期、季节等特殊因素，专项设计。绿化施工方法的选择应遵循“环保高效、经济实用、因地制宜”的原则，所用材料与工艺均应符合环保要求。

8.1.4 坡面防护工程一般分为圬工(矿料)防护和植物防护两大类。圬工防护存在的主要问题是与周围环境不协调、景观差。采

用圬工防护时，应加强细部处理设计，注意与周围自然环境的融合，并结合边坡碎落台、平台上种植攀藤植物（如爬墙虎），或者采用客土喷播等岩面植生（植物防护与绿化）措施。

8.1.6 对于位于地下水和地面水较为丰富地段的边坡，其防护效果的好坏直接与水密切相关，应进行边坡防护与排水措施的综合设计。

8.2 设计及工程要求

《边坡与滑坡工程治理》（第二版）对边坡防护与绿化按照种类进行了修正，按照材料种类分为三类：植物防护与绿化、圬工防护和综合防护，见表 2。

表 2 边坡防护与绿化分类

总　　类	分　　类	具体方案	备　　注
边坡防护与绿化	植物防护与绿化	植草	
		铺草皮	
		植树	
	圬工防护	砌体护坡、护面墙	
		骨架护坡	
		柔性防护	石笼、混凝土预制块等
		坡面处理	抹面、捶面等
		坡体处理	勾缝、灌浆等
		导流调治构造物	丁坝、顺坝等
	综合防护	骨架植物护坡	
		格构植物护坡	
		土工合成材料植草	
		圬工植物分区	
	防护网	主动、被动防护网	

按功能可划分为坡面防护、冲刷防护、支挡防护等。

坡面防护用以防护易受自然因素影响而破坏的土质与岩质边

坡。常用的类型有植物防护(如植草、铺草皮、植树)和矿料防护(如抹面、勾缝、喷浆、灌浆、砌体护坡、护面墙等)两大类,护面墙厚度参考《边坡与滑坡工程治理》(第二版)。

冲刷防护用于防止水流对路基的冲刷与淘刷,可分为直接防护(如植草、铺草皮、植树、抛石、砌石、石笼等)和间接防护(如丁坝、顺坝等)两种。

支挡工程用于防止边坡变形或支挡边坡以保证边坡稳定性。常用的类型有各种挡土墙和锚固工程及其他有承重作用的构造物。

8.2.1 护面墙的厚度参考《边坡与滑坡工程治理》(第二版),宜按照表3取用。

表3 护面墙边坡坡度及厚度参考值

护面墙高度 H(m)	边坡坡度	护面墙厚度(m)	
		顶　宽	底　宽
$H\leqslant 2$	1∶0.5	0.4	0.4
$2<H\leqslant 6$	>1∶0.5	0.4	$0.4+H/10$
$6<H\leqslant 10$	1∶0.5～1∶0.75	0.4	$0.4+H/20$

8.2.2 护坡植物种类的选择应遵循以下原则:

(1)适应当地的气候条件;

(2)适应当地的土壤条件;

(3)抗逆性强;

(4)尽量选用灌木等低矮植物;

(5)根系发达、生长迅速,能在短期内覆盖坡面;

(6)越年生或多年生;

(7)适应粗放管理,能产生适量种子;

(8)种植及养护费用低。

9 边坡工程监测

9.1 一般规定

9.1.1 “先勘察、后设计、再施工”，是我国国民经济工程建设中必须遵循的基本建设程序，也是国家一直十分强调的重要的基本建设方针政策。工程监测是工程勘察设计工作的重要组成部分之一，具体到露天煤矿，主要是充分利用边坡工程监测反馈的工程监测信息与数据，进一步优化边坡工程设计，以确定技术先进、安全合理、经济适用、适合于本矿的最优边坡角；并同时用于指导露天煤矿采掘生产以及边坡工程的维护与管理；做到信息化设计、信息化施工、信息化管理；达到消除边坡工程安全隐患，避免或减少边坡工程安全事故，确保露天煤矿的安全生产。但是，近几年仍有部分露天煤矿对边坡工程监测重视不够，边坡工程监测工作不配套或流于形式，致使边坡工程安全事故发生或存在安全隐患。因此，本条为强制性条文，必须严格执行。

9.1.2、9.1.3 条文规定了露天煤矿边坡工程监测的对象、范围、方式。

9.1.4、9.1.5 不同边坡的主要影响因素可能存在较大差异，应根据工程地质条件、水文地质条件、类型、潜在滑坡危害、变形特点及控制要求等，确定主要因素，在此基础上选取适当的监测内容与方法。

9.1.6 裂缝是滑坡发生前的重要宏观特征，掌握其发生发展过程是边坡稳定状态分析、滑坡预测预警决策及治理工程设计的前提和基础，是边坡工程监测的重点内容之一。对于监测数据，可建立三维地质模型，进行自动化三维监测。

9.2 边坡监测要求

9.2.1 对于受地下开采影响的边坡，变形破坏机制极其复杂、尚缺乏统一的稳定性计算方法，监测是掌握其动态稳定性的重要途径，也是实现安全生产的重要前提和基础。

9.2.2、9.2.3 条文规范了边坡工程设计所需的基础资料、设计工作流程、参照标准及原则。

S/N:155182·0377

9 155182 037700

统一书号：155182·0377

定　　价：17.00 元