

JIANZHU BIANPO GONGCHENG
JISHU GUIFAN SUANLI

建筑边坡工程技术规范

算例

雷 用 刘兴远 吴曙光 编著

中国建筑工业出版社

建筑边坡工程技术规范算例

雷 用 刘兴远 吴曙光 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑边坡工程技术规范算例/雷用等编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2016.2
ISBN 978-7-112-18587-0

I. ①建… II. ①雷… III. ①边坡-道路工程-技术规范-中国 IV. ①U416.1-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 248948 号

本书是作者根据二十多年来在重庆、四川、贵州、云南、三亚、连云港、广州、福州、厦门等地区从事建筑边坡工程的勘察、设计、施工等的实践经验总结,并严格按照最新国家标准《建筑边坡工程技术规范》编写而成。全书共分为 9 章,包括:板肋式锚杆挡墙设计实例、锚杆喷射混凝土挡墙设计实例、重力式挡土墙设计实例、桩板式挡墙设计实例、悬臂式和扶壁式挡墙设计实例、坡率法应用实例、挡墙检测鉴定及加固设计实例、其他支挡结构设计及岩土侧向压力。本书选取的算例以简单、实用为原则,具有较强的借鉴性,是从事边(滑)坡工程勘察、设计、施工、检测、监测的科技人员不可缺少的具有实用价值的资料。

责任编辑:范业庶 王砾瑶

责任设计:董建平

责任校对:陈晶晶 党 蕾

建筑边坡工程技术规范算例 雷 用 刘兴远 吴曙光 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21¼ 字数: 529 千字

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月第一次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-18587-0

(27851)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

在工程建设中存在大量的“大挖大填”任务，我国边（滑）坡治理工程越来越多。如何确保边（滑）坡工程的安全，减少工程事故，而又能节约投资和缩短工期，是一项相当繁重与紧迫的任务，同时也是岩土工程师不断追求和探索的目标。

本书作者采用《土力学》、《岩石力学》、《工程地质》等基本原理，吸收“强度折减法”等近年来新的研究成果，按照《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013，并结合工程实例，将近年来大量应用的、代表工程勘察、设计、施工、监测、检测工作领域最新成果内容编著而成。

本书图文并茂，给出了建筑边坡工程中各种支挡结构或措施的设计计算算例和检测鉴定、加固的案例；给读者留下深刻的印象，也将有助于我国岩土工程水平的创新和提高。

祝年轻的岩土科技工作者为岩土工程理论和实践不断努力，为社会发展作出更多更大的贡献。

中国工程院院士

郑颖人

2015年10月

前 言

《建筑边坡工程技术规范算例》是作者根据二十多年来在重庆、四川、贵州、云南、三亚、连云港、广州、福州、厦门等地区从事建筑边坡工程的勘察、设计、施工、质量验收、审查、监测、检测工作的 2000 余项建筑边坡工程项目的实践经验总结 and 全国各个地区工程建设的需要，应中国建筑工业出版社的邀请按照现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 进行编写的；重点阐述边坡工程的设计问题（包括计算、算例等剖析），其阅读对象是一般工程技术人员，以岩土工程师为主，因此，对边坡设计理论和复杂计算不做重点说明，本着“简单、方便、实用”的原则编写本书。

为保证边坡工程的设计合理、施工及运营安全，紧密结合工程实践并依据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013、《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843—2013 的实施，出版一本《建筑边坡工程技术规范算例》是十分必要的；它将有助于我国建筑边坡工程的勘察、设计、施工、监测、检测水平的创新和提高。

本书是在《土力学》、《岩石力学》、《工程地质》等基本原理的基础上，吸收“强度折减法”等近年来新的研究成果，按照《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013，结合工程实例，将近年来大量应用的最新成果内容（特别是给出了平面滑动破坏模式的边坡，加固后边坡的稳定性计算算例）编著而成。

本书文图并茂，采用设计、施工与工程实例相结合的方法，让科技人员不仅方便使用，还能通过实例理解设计理论，掌握勘察、设计、施工方法，解决勘察、设计、施工、质量验收、检测、监测等问题。因此，从这个角度讲，本书能为从事边（滑）坡工程勘察、设计、施工、检测、监测的科技人员提供一本具有实用价值的资料和范例。

边坡工程涉及多种学科的知识，完全掌握、灵活应用边坡设计理论解决工程实际问题，对每一个工程均需要一个过程，同时应注意边坡工程是一个实践性很强的实验科学。由于边坡变形理论的复杂性，边坡变形预警值的准确控制是非常困难的工作，可谓“仁者见仁，智者见智”。在边坡工程实践中，请工程师们特别关注自己所设计的边坡工程所发生的变形（有的工程对变形要求严格甚至极其严格，有的工程则较宽松），切忌用“正常应力重分布，变形是正常现象”来麻痹自己，科学的态度是：正视问题，在监测条件下，用工程数据的反馈信息修改、完善原来的设计问题。

本书得到了中国人民解放军总后勤部基建营房部“应急抢通关键技术与装备研究”课题（编号：2012BAK05B02）的资助。本书借鉴了许多技术资料，若有未尽内容和未标注引用者，请有关科技人员、学者和专家谅解。

由于时间仓促、水平有限，书中错漏不足在所难免，敬请广大专家、读者批评指正。

2015 年 8 月

目 录

1 板肋式锚杆挡墙设计实例	1
1.1 板肋式锚杆挡墙设计计算	1
1.1.1 计算依据	1
1.1.2 设计计算要点	1
1.2 岩质边坡计算实例	6
1.2.1 [算例 1-1] 岩质边坡计算实例 1	6
1.2.2 [算例 1-2] 岩质边坡计算实例 2	8
2 锚杆喷射混凝土挡墙设计实例	14
2.1 锚杆喷射混凝土挡墙设计计算	14
2.1.1 计算依据	14
2.1.2 设计计算要点	14
2.2 锚杆喷射混凝土挡墙计算实例	16
3 重力式挡土墙设计实例	20
3.1 重力式挡墙设计计算	20
3.1.1 计算依据	20
3.1.2 设计计算要点	20
3.2 俯斜式挡墙计算实例	26
3.2.1 [算例 3-1] 5m 高俯斜式挡墙计算实例	26
3.2.2 [算例 3-2] 7m 高俯斜式挡墙计算实例	28
3.2.3 [算例 3-3] 9m 高俯斜式挡墙计算实例	31
3.3 直立式挡墙计算实例	34
3.3.1 [算例 3-4] 5m 高直立式挡墙计算实例	34
3.3.2 [算例 3-5] 7m 高直立式挡墙计算实例	37
3.3.3 [算例 3-6] 9m 高直立式挡墙计算实例	40
3.4 仰斜式挡墙计算实例	42
3.4.1 [算例 3-7] 5m 高仰斜式挡墙计算实例	42
3.4.2 [算例 3-8] 7m 高仰斜式挡墙计算实例	45
3.4.3 [算例 3-9] 9m 高仰斜式挡墙计算实例	48
3.5 衡重式挡墙计算实例	51
3.5.1 大俯角墙背的主动土压力计算——第二破裂面法	51

3.5.2 [算例 3-10] 7m 高衡重式挡墙计算实例	51
4 桩板式挡墙设计实例	58
4.1 桩板式挡墙设计计算	58
4.1.1 计算依据	58
4.1.2 悬臂式桩板挡墙设计计算要点	58
4.1.3 锚拉式桩板挡墙设计计算要点	73
4.2 悬臂式桩板挡墙计算实例	82
5 悬臂式和扶壁式挡墙设计实例	88
5.1 悬臂式和扶壁式挡墙设计计算	88
5.1.1 计算依据	88
5.1.2 设计计算要点	88
5.2 悬臂式挡土墙计算实例	94
5.3 扶壁式挡土墙计算实例	99
6 坡率法应用实例	106
6.1 坡率法设计理论	106
6.1.1 一般要求	106
6.1.2 设计计算	106
6.1.3 构造要求	111
6.1.4 施工要求	111
6.2 实例	111
6.2.1 [算例 6-1] 某临时边坡放坡坡率设计	111
6.2.2 [算例 6-2] 路堑岩质边坡工程	114
6.2.3 [算例 6-3] 路堑岩质边坡工程	119
6.2.4 [算例 6-4] 均质土坡圆弧滑动面稳定性验算	121
7 挡墙检测鉴定及加固设计实例	126
7.1 抗滑桩+预应力锚索挡墙检测鉴定实例	126
7.2 板肋式预应力锚索挡墙检测鉴定方案、报告及加固设计	143
7.2.1 重庆照母山××项目板肋式预应力锚索挡墙检测鉴定方案	143
7.2.2 重庆照母山××项目板肋式预应力锚索挡墙检测鉴定报告	151
7.2.3 [算例 7-1] 重庆照母山××项目板肋式预应力锚索挡墙加固设计	172
7.2.4 [算例 7-2] 有限元评估重庆照母山××项目板肋式预应力锚索挡墙的安全性	186
8 其他支挡结构设计	205
8.1 重力式挡墙应急抢险+锚索永久性加固设计实例	205
8.2 抗滑桩+重力式挡墙设计实例	218
8.3 树根桩设计	229
8.3.1 树根桩的支挡作用原理	229

8.3.2 树根桩的优点	230
8.3.3 树根桩的承载力估算	230
8.3.4 树根桩的施工	234
8.3.5 树根桩在基坑工程中的设计	243
8.3.6 树根桩在边坡工程中的设计	247
8.3.7 树根桩的加固效果监测	253
8.4 超限岩质高边坡设计实例	262
8.5 黏性土坡的稳定分析	278
8.5.1 整体圆弧滑动法	278
8.5.2 条分法的基本概念	279
8.5.3 瑞典条分法	280
8.5.4 毕肖甫法	281
8.5.5 普遍条分法 (简布法, N. Janbu)	283
8.5.6 有限元法	285
8.5.7 滑动圆弧的安全系数计算实例	287
8.5.8 最危险滑裂面的确定方法和容许安全系数	289
8.5.9 边坡稳定分析图解法	291
9 岩土侧向压力	293
9.1 概述	293
9.1.1 土压力类型	293
9.1.2 经典土压力计算公式	294
9.2 朗肯土压力理论	298
9.2.1 无黏性土的土压力	299
9.2.2 有黏性土的土压力	299
9.3 库伦土压力理论	300
9.3.1 库伦土压力理论基本假设与计算公式	300
9.3.2 库伦土压力理论适用条件	302
9.3.3 库伦被动土压力理论	302
9.4 实用岩土压力计算公式	302
9.4.1 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 的岩土压力计算公式	303
9.4.2 《建筑基坑支护技术规范》JGJ 120—2012 的土压力计算公式	306
9.4.3 岩土侧向压力计算算例	307
9.4.4 岩土体等效内摩擦角简述	312
9.5 特殊条件下的岩土压力计算	313
9.5.1 有限填土土压力计算	313
9.5.2 坡顶作用线性分布荷载时土压力计算	313
9.5.3 坡顶地面非水平时土压力计算	314
9.5.4 地震作用计算	316
9.5.5 大俯角墙背的主动土压力计算——第二破裂面法	321
9.5.6 汽车荷载产生的侧向岩土压力计算	322
9.5.7 平行墙上的土压力	323

9.5.8 动水作用对挡墙侧压力计算	323
9.6 土压力特点与分布规律	325
9.6.1 支护结构上土压力的形成与发展	325
9.6.2 高边坡支护结构土压力的特点	326
参考文献	330

1 板肋式锚杆挡墙设计实例

1.1 板肋式锚杆挡墙设计计算

1.1.1 计算依据

板肋式锚杆挡墙主要计算依据如下：

《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011；

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010；

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012；

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013；

《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008；

《地质灾害防治工程设计规范》DB 50/5029；

《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010；

工程设计对象的岩土工程勘察报告和平面布置图等。

1.1.2 设计计算要点

锚杆挡墙根据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。三种锚杆挡墙当中，排桩式锚杆挡墙的施工期稳定性及抗变形能力均为最好，但造价较高；格构式锚杆挡墙造价较低，而抗变形能力稍弱，应用于稳定性和整体性较好的Ⅰ、Ⅱ类岩石边坡为宜；板肋式锚杆挡土墙则属三者中的适中类型。

板肋式锚杆挡墙主要由锚固体和钢筋混凝土肋柱、挡板组成。肋柱是挡板的支座，墙后的侧向压力作用在挡板上，并通过挡板传递给肋柱，再由肋柱传递给锚固体，由锚固体与岩土体之间的锚固力使之平衡，以维持墙身及墙后坡体的稳定。板肋式锚杆挡墙适用于边坡安全等级为一级、二级、三级的边坡，且在施工期间稳定性较好的边坡；当采用板肋式锚杆挡墙时，土质边坡高度不宜大于15m，岩质边坡高度不宜大于30m；该算例适用于需要支护的边坡为岩质边坡。

(1) 边坡稳定性分析

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。含有多组结构面的岩质边坡，可采用赤平投影法对边坡稳定性进行定性分析，判断边坡稳定性是由结构面控制还是岩体强度控制。

边坡稳定性计算可采用刚体极限平衡法进行计算，根据滑动面的形态按《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 附录 A 选择具体的计算方法，滑动面的形态包括三种：圆

弧形滑面、平面滑面和折线形滑面，并对基本烈度为 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。

边坡稳定性系数计算以后，除了校核工况之外，还要根据表 1-1 判断边坡所处的稳定性状态，提出支护形式。

边坡稳定性状态划分 表 1-1

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，由《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 的表 5.3.2 确定。

(2) 侧向岩土压力的计算

岩质边坡侧向岩石压力的计算主要根据该边坡是否有外倾结构面。

① 无外倾结构面时侧向岩土压力合力的计算

若无外倾结构面，则以岩体的等效内摩擦角按侧向土压力方法 [式 (1-1)~式(1-4)] 计算侧向岩石压力，边坡破裂角一般按 $45^\circ + \varphi/2$ 来确定，其中等效内摩擦角主要由勘察报告提供。根据平面滑裂面假定（见图 1-1），主动土压力合力可按下列公式计算：

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \tag{1-1}$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin^2 (\alpha + \beta - \varphi - \delta)} \{ K_q [\sin(\alpha + \beta) \sin(\alpha - \delta) + \sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)] \\ + 2\eta \sin \alpha \cos \varphi \cos(\alpha + \beta - \varphi - \delta) - 2 \sqrt{K_q \sin(\alpha + \beta) \sin(\varphi - \beta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi} \\ \times \sqrt{K_q \sin(\alpha - \delta) \sin(\varphi + \delta) + \eta \sin \alpha \cos \varphi} \} \tag{1-2}$$

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

$$\eta = \frac{2c}{\gamma H} \tag{1-4}$$

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 1-2 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（逆时针旋转形成的夹角）（°）。

土对挡土墙墙背的摩擦角 δ 表 1-2

挡土墙情况	摩擦角 δ	挡土墙情况	摩擦角 δ
墙背平滑，排水不良	$(0.00 \sim 0.33) \varphi$	墙背很粗糙，排水良好	$(0.50 \sim 0.67) \varphi$
墙背粗糙，排水良好	$(0.33 \sim 0.50) \varphi$	墙背与填土间不可能滑动	$(0.67 \sim 1.00) \varphi$

② 有外倾结构面时侧向岩土压力合力的计算

当有外倾结构面时，应分别以外倾结构面的抗剪强度参数式〔式（1-5）~式（1-7）〕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 $45^\circ + \varphi/2$ 和外倾结构面倾角两者中的较小值。

外倾结构面的抗剪强度参数计算主动岩石压力合力，可按式（1-5）~式（1-7）计算：

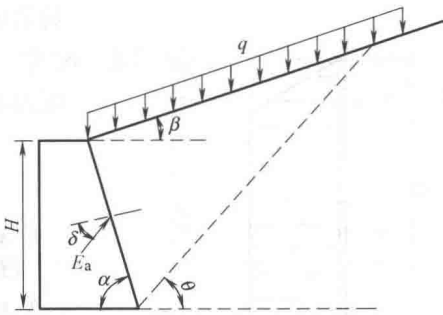


图 1-1 土压力计算

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \tag{1-5}$$

$$K_a = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin^2(\alpha - \delta + \theta - \varphi_s) \sin(\theta - \beta)} \times [K_q \sin(\alpha + \theta) \sin(\theta - \varphi_s) - \eta \sin \alpha \cos \varphi_s] \tag{1-6}$$

$$\eta = \frac{2c_s}{\gamma H} \tag{1-7}$$

- 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（°）；
 K_q ——系数，可按公式 1-3 确定；
 δ ——土对挡土墙墙背的摩擦角（°），可按表 1-2 取值。

当有多组外倾结构面时，每组结构面的主动岩石压力合力都需要计算，并与按岩体等效内摩擦角计算的结果进行比较，取最大值。

作用在支护结构上的主动岩石压力合力计算以后，需要计算作用在支护结构上的侧向岩土压力合力的水平分力 E_{ah} ，可按式（1-8）计算：

$$E_{ah} = E_{ak} / \cos(90^\circ + \delta - \alpha) \tag{1-8}$$

当坡顶有重要的建（构）筑物，且坡脚线到建（构）筑物基础外边缘线的水平距离不大于边坡高度的一半时，还需要对侧向岩土压力合力进行修正；岩质边坡主动岩石压力合力修正系数 β_1 可根据边坡岩体类型按表 1-3 取值。

主动岩石压力修正系数 表 1-3

边坡岩体类型	I	II	III	IV
β_1	1.30		1.30 ~ 1.45	1.45 ~ 1.55

坡顶无建（构）筑物且不需对边坡变形进行控制的锚杆挡墙，同样需要对侧向岩土压力进行修正；锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数 β_2 可根据边坡岩土类别和锚杆类型按表 1-4 取值。

锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数 表 1-4

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	1.1~1.2	1.1~1.2	1.0	1.2~1.3	1.1

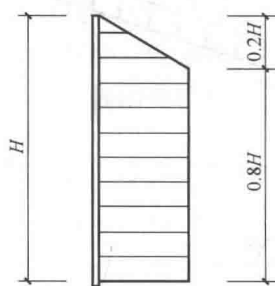


图 1-2 锚杆挡墙侧压力分布图

对岩质边坡，作用在支护结构上的侧压力分布近似按图 1-2 确定。

所以侧向岩土压力水平分力修正值 (kN/m^2):

$$e'_{ah} = \frac{E'_{ah}}{0.9H} = \frac{E_{ah} \times \beta_1(\beta_2)}{0.9H} \quad (1-9)$$

式中 E'_{ah} ——侧向岩土压力合力水平分力修正值 (kN/m);
 H ——边坡(挡墙)高度 (m)。

(3) 锚杆设计计算

根据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 的 9.3.2 中“锚杆上下排垂直间距、水平间距不宜小于 2.0m”、“锚杆倾角宜采用 $10^\circ \sim 35^\circ$ ”，锚杆轴向拉力:

$$N_{ak} = \frac{H_{tk}}{\cos\alpha} = \frac{e'_{ah} \times S_x \times S_y}{\cos\alpha} \quad (1-10)$$

式中 N_{ak} ——锚杆轴向拉力 (kN);
 H_{tk} ——锚杆水平拉力标准值 (kN);
 α ——锚杆倾角 ($^\circ$);
 S_x ——锚杆水平间距 (m);
 S_y ——锚杆垂直间距 (m)。

选定锚杆钢筋类型，锚杆杆体可选用普通钢材、精轧螺纹钢、钢绞线等；钢筋截面面积应满足下列公式要求。

对于普通钢筋锚杆:

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_y} \quad (1-11)$$

对于预应力锚索:

$$A_s \geq \frac{K_b N_{ak}}{f_{py}} \quad (1-12)$$

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 1-5 取值。

锚杆杆体抗拉安全系数

表 1-5

边坡工程安全等级	抗拉安全系数 K_b	
	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

由上式计算结果对锚杆配筋；确定锚孔直径 D ，然后计算锚固长度 l_a 。锚固体与岩土层之间的锚固长度应满足下式的要求:

$$l_a \geq \frac{K N_{ak}}{\pi D f_{rbk}} \quad (1-13)$$

式中 K ——锚杆锚固体抗拔安全系数，应按表 1-6 取值；

f_{rbk} ——岩土层与锚固体极限粘结强度标准值 (kPa)，由勘察报告提供；若无时，可根据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 的表 8.2.3-2 和表 8.2.3-3 确定；

D ——锚杆锚固段锚孔直径 (mm)。

锚杆杆体抗拔安全系数

表 1-6

边坡工程安全等级	抗拔安全系数 K	
	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

锚杆 (索) 与锚固砂浆之间的锚固长度 l_a 应满足下式的要求：

$$l_a \geq \frac{KN_{ak}}{n\pi df_b} \quad (1-14)$$

式中 n ——杆体根数；

d ——锚筋直径 (mm)；

f_b ——钢筋与锚固砂浆的粘结强度设计值 (kPa)，应由试验确定，当缺乏试验资料时可按表 1-7 取值。

钢筋与锚固砂浆的粘结强度设计值 f_b (MPa)

表 1-7

锚杆类型	水泥砂浆强度等级		
	M25	M30	M35
水泥砂浆与螺纹钢筋的 f_b	2.10	2.40	2.70
水泥砂浆与钢绞线、高强钢丝的 f_b	2.75	2.95	3.40

锚杆锚固长度应按式 (1-13) 和式 (1-14) 进行计算，取其中最大值；同时，土层锚杆的锚固长度不应小于 4.0m，并不宜大于 10.0m；岩石锚杆的锚固长度嵌入中风化基岩且不应小于 3.0m，且不宜大于 45D 和 6.5m。

(4) 挡板、立柱及基础的设计

锚杆挡墙的立柱可按支撑于刚性锚杆或弹性锚杆 (锚杆变形较大) 的连续梁进行设计和内力计算，立柱下端的嵌入深度，可按铰接或固定端考虑；根据挡板与立柱连接构造的不同，可简化为支撑在立柱上的水平连续板、简支板或双铰拱板进行设计和内力计算。

(5) 锚杆挡墙构造要求

锚杆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《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 附录 E 的规定；不宜采用镀锌钢材。导向帽、隔离架 (对中支架) 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。

灌浆材料性能应符合下列规定：水泥宜使用普通硅酸盐水泥，需要时可采用抗硫酸盐水泥；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%；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；外加剂的品种和掺量应由试验确定；浆体配制的灰砂比宜为 0.8~1.5，水灰比宜为 0.38~0.5；浆体材料 28d 的无侧限抗压强度，不应低于 25MPa。

套管材料和波纹管应符合下列规定：具有足够的强度，保证其在加工和安装过程中不致损坏；具有抗水性和化学稳定性；与水泥浆、水泥砂浆或防腐油脂接触无不良反应。

防腐材料应符合下列规定：在锚杆设计使用年限内，保持其防腐性能和耐久性；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；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。

锚杆挡墙支护中锚杆的布置应符合下列规定：锚杆上下排垂直间距、水平间距均不宜小于 2m；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；第一排锚杆锚固体上覆土层的厚度不宜小于 4m，上覆岩层的厚度不宜小于 2m；第一锚点位置可设于坡顶下 1.5~2m 处；锚杆的倾角宜采用 10° ~ 35° ；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；立柱位于土层时宜在立柱底部附近设置锚杆。

锚杆挡墙支护结构立柱的间距宜采用 2~6m，立柱、挡板和格构梁的混凝土强度等级不应小于 C25；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（或拱板）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。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。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。锚杆挡墙立柱的顶部宜设置钢筋混凝土构造连梁。

对永久性边坡，现浇挡板和拱板厚度不宜小于 200mm。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不宜小于 300mm。永久性锚杆挡墙现浇混凝土构件的温度伸缩缝间距不宜大于 20~25m。

下列计算实例为Ⅳ类岩质边坡的计算，且在计算实例中，锚杆挡墙的整体稳定性均满足要求，不在实例计算考虑范围内。

1.2 岩质边坡计算实例

1.2.1 [算例 1-1] 岩质边坡计算实例 1

该工程场地位于重庆市南山，场地交通便利，地理位置优越。重庆南岸××工程的东门广场南侧边坡按边坡形态变化共分为三段：E~E'段长约 6.5m，该段边坡为 447.90~457.90m，高度 10.0m，主要为挖方边坡；勘察区位于处于南温泉背斜西翼，区内岩层产状 $290^{\circ}/72^{\circ}$ 。岩层层面平直粗糙，层面结合程度差，为硬性结构面。根据地质测绘和调查及区域资料揭示，该场地基岩裂隙发育程度一般，主要发育有两组裂隙：（1） $350^{\circ}/70^{\circ}$ ，微张~闭合，间距 3~5m，延伸 1~2m，裂隙面呈波状，较平，无充填物，结构面结合差，为硬性结构面；（2） $210^{\circ}/80^{\circ}$ ，闭合，间距 0.5~2m，延伸长度 5~8m 左右，微张~闭合，无充填物，结构面结合差，为硬性结构面，该边坡岩体类型为Ⅳ类。经调查，勘察区及周边未发现危岩崩塌、滑坡、泥石流等不良地质现象；也未见断层及破碎

带、地下洞室、软卧层等，地质条件良好。根据《建筑抗震设计规范》GB 50011，场地设计抗震分组为第一组，场区的抗震设防烈度为 6 度。

(1) 设计参数

该边坡的安全等级定为一级，为永久性边坡，该建筑场地抗震设防烈度为 6 度。

根据委托方提供的勘察报告，该边坡为中风化砂岩，砂岩重度： $\gamma=23.9\text{kN/m}^3$ ，天然单轴抗压强度标准值为 16.7MPa ；裂隙面抗剪强度指标： C 取 50kPa ， φ 取 18° ；根据《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2013 的第 4.3.4 条，结合该边坡岩体性质和类型，岩体等效内摩擦角为 45° ，岩质边坡的理论破裂角取 63° ；M30 水泥砂浆与锚杆钢筋（螺纹钢）之间的粘结强度 $f_b=2400\text{kPa}$ ；根据勘察报告岩体与锚固体粘结强度特征值取 $f_{rbk}=400\text{kPa}$ 。

(2) 边坡稳定性分析

E~E' 段长约 6.5m，该段边坡为 $447.90\sim 457.90\text{m}$ ，高度 10.0m ，主要为挖方边坡，选取 E~F 段（包含 E~E'）进行赤平投影图见图 1-3。

根据赤平投影图分析，裂隙 L2 与边坡呈较大角度相交，对边坡稳定影响较小；岩层层面和裂隙 L1 均与边坡呈小角度相交，对边坡稳定影响较大，岩层层面和裂隙 L1 与边坡坡面之间形成楔形体，可能引起边坡局部坍塌或岩石塌落，出现掉块现象；所以采用板肋式锚杆挡墙支护。

(3) 侧向岩土压力的计算 [按式 (1-1)~式 (1-9) 计算]

该边坡具有外倾结构面，主动岩石压力的计算工程如下：

以岩体等效内摩擦角按侧向土压力方法计算，取 $\gamma=23.9\text{kN/m}^3$ ， $\alpha=90^\circ$ ， $\varphi_e=45^\circ$ ， $c=0$ ， $\delta=0$ ， $\beta=0$ ， $q=30\text{kPa}$ ， $H=10\text{m}$ 。

$$K_q = 1 + \frac{2q\sin\alpha\cos\beta}{\gamma H \sin(\alpha+\beta)} = 1 + \frac{2 \times 30 \sin 90^\circ \cos 0^\circ}{23.9 \times 10 \times \sin(90^\circ+0^\circ)} = 1.2510$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma H} = 0$$

所以主动土压力系数：

$$K_a = \frac{\sin(90^\circ+0^\circ)}{\sin^2 90^\circ \sin^2(90^\circ+0^\circ-45^\circ-0^\circ)} \{1.251 \times [\sin(90^\circ+0^\circ)\sin(90^\circ-0^\circ) + \sin(45^\circ+0^\circ)\sin(45^\circ-0^\circ)] + 2 \times 0 \times \sin\alpha\cos\varphi\cos(\alpha+\beta-\varphi-\delta) - 2\sqrt{1.251 \times \sin(90^\circ+0^\circ)\sin(45^\circ-0^\circ) + 0 \times \sin\alpha\cos\varphi} \times \sqrt{1.251 \times \sin(90^\circ-0^\circ)\sin(45^\circ+0^\circ) + 0 \times \sin\alpha\cos\varphi}\} = 0.2147$$

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} \times 23.9 \times 10^2 \times 0.2147 = 256.5\text{kN/m}$$

以边坡沿外倾结构面滑动计算，取： $\theta=70^\circ$ ， $c_s=50\text{kPa}$ ， $\varphi_s=18^\circ$ ，其余同上。

$$\eta = \frac{2c_s}{\gamma H} = \frac{2 \times 50}{23.9 \times 10} = 0.4184$$

所以主动土压力系数：

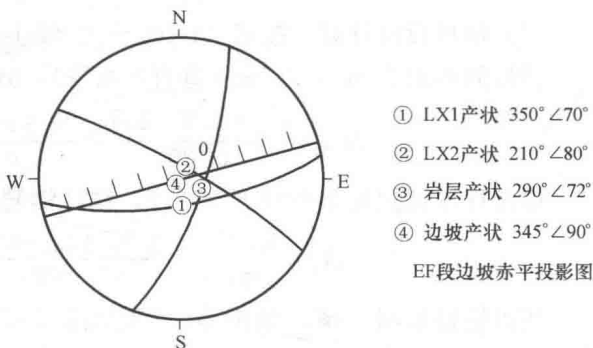


图 1-3 E~F 段边坡赤平投影图

$$K_a = \frac{\sin(90^\circ + 0^\circ)}{\sin^2 90^\circ \sin^2(90^\circ - 0^\circ + 70^\circ - 18^\circ) \sin(70^\circ - 0^\circ)} \times [1.251 \times \sin(90^\circ + 70^\circ) \sin(70^\circ - 18^\circ) - 0.4184 \times \sin 90^\circ \cos 18^\circ] = -0.105$$

因此,取侧向岩土压力 $E_{ak} = 256.5 \text{ kN/m}$ 。

$$E_{ah} = E_{ak} / \cos(90^\circ + \delta - \alpha) = 256.5 / \cos(90^\circ + 0^\circ - 90^\circ) = 256.5 \text{ kN/m}$$

坡顶无重要建(构)筑物,该工程采用非预应力锚杆挡墙支护,取锚杆挡墙侧向岩土压力修正系数 $\beta_2 = 1.0$,侧向岩土压力水平分力修正值 (kN/m^2):

$$e'_{hk} = \frac{E'_{ah}}{0.9H} = \frac{256.5 \times 1.0}{0.9 \times 10.0} = 28.5 \text{ kN/m}^2$$

(4) 锚杆设计计算 [按式 (1-10)~式 (1-14) 计算]

锚杆间距取 $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ (垂直 $\times$ 水平),倾角采用 20° 所以锚杆轴向拉力:

$$N_{ak} = \frac{e'_{hk} \times 2.5 \times 2.5}{\cos 20^\circ} = \frac{28.5 \times 2.5 \times 2.5}{\cos 20^\circ} = 189.56 \text{ kN}$$

锚杆杆体抗拉安全系数 $K_b = 2.2$,锚杆钢筋截面面积 A_s :

$$A_s = \frac{K_b N_{ak}}{f_y} = \frac{2.2 \times 189.56 \times 1000}{360} = 1158.4 \text{ mm}^2$$

所以锚杆采用: $3\Phi 25$ 的钢筋,实配面积 1473 mm^2 。

锚杆的钻孔直径取 150 mm ,锚固砂浆采用 M30 水泥砂浆,锚杆锚固体抗拔安全系数 K 取 2.6 ,锚固体与岩层间锚固长度:

$$l_a = \frac{KN_{ak}}{\pi D f_{rbk}} = \frac{2.6 \times 189.56 \times 10^3}{3.14 \times 0.15 \times 400} = 2.61 \text{ m}$$

锚杆锚筋与砂浆间锚固长度 (M30 水泥砂浆):

$$l_a = \frac{KN_{ak}}{n\pi d f_b} = \frac{2.6 \times 189.56 \times 10^3}{3 \times 3.14 \times 25 \times 2400} = 0.87 \text{ m}$$

实际取嵌入中风化基岩且穿过破裂线的锚固长度 $L = 4 \text{ m}$ 。

(5) 挡板、立柱及基础的设计

锚杆挡墙立柱可按连续梁计算内力,立柱宽 400 mm ,高 400 mm ;立柱顶部的冠梁宽 400 mm ,高 400 mm ;挡板厚 200 mm ;基础深 1200 mm ,宽 800 mm ;立柱、挡板及冠梁均采用 C25 混凝土。以上尺寸均能满足锚杆挡墙的整体稳定性。

板肋式锚杆挡墙支护结构的平、立、剖面图分别如图 1-4~图 1-6 所示。

1.2.2 [算例 1-2] 岩质边坡计算实例 2

拟建的重庆市 $\times \times$ 区 $\times \times$ 广场垃圾中转站主体建筑为 1 栋 1F 垃圾压缩站,砖混结构,条形基础,正负零标高为 241.50 m ,建筑面积约为 128.36 m^2 ,重要性等级为三级。垃圾中转站后侧为广场修建时形成的岩质边坡,边坡长约 45 m ,坡脚标高 241.0 m ,坡顶标高 $253.40 \sim 269.50 \text{ m}$,坡高 $12.4 \sim 28.5 \text{ m}$ 。边坡顶覆盖层局部分布,一般厚度小于 1.0 m ,以粉质黏土组成为主,边坡岩性以砂质泥岩为主夹砂岩、泥质砂岩薄层,顶部分布砂岩体,岩体较完整,层间未见有软弱夹层。

拟建区位于重庆市 $\times \times$ 区文龙街道,属构造剥蚀丘陵地貌,地势总体北侧、西侧高,南侧、东侧低。场地土层主要为第四系全新统杂填土 (Q_4^{ml})、残坡积粉质黏土 (Q_4^{cl+dl}),