



SHENG SUO JIU YUAN JI SHU JI CHU

绳索救援技术基础

胡 晔 编著

rescue

中国建材工业出版社

绳索救援技术基础

胡 晔 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

绳索救援技术基础/胡晔编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-5160-1434-9

I. ①绳… II. ①胡… III. ①绳索-应用-救援-基本知识 IV. ①U298.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 078036 号

内 容 简 介

本书主要内容包括: 绳索救援系统构建的基本知识、常用绳索救援技术装备、基本绳结的制作、锚点选择与锚点系统的装配、主绳系统与确保绳系统的构成、下降与上升系统的装配与操作、下放与提升系统的装配与操作、伤员固定与护送等。

本书为国内第一本以双绳技术为基础的介绍绳索救援系统构建方法与操作程序的专题读物, 能够作为消防、风力、海油、电力、防暴处突、灾害救援等各个专业领域中专题培训的基础资料, 也可以作为政府应急部门、相关企事业单位、社会组织及社会公众学习自救、互救技能的指导性文献。

绳索救援技术基础

胡晔 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 710mm × 1000mm 1/16

印 张: 7.75

字 数: 150 千字

版 次: 2016 年 6 月第 1 版

印 次: 2016 年 6 月第 1 次

定 价: 38.00 元

本社网址: www.jcbs.com.cn 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

前 言

由于轻便性、快捷性、经济性、安全性等优点，绳索救援技术在山岳（野外）救援、高空救援以及水域、狭小空间、壕沟、竖井等救援方面都发挥着不可替代的作用，其救援效果得到了消防、电力、海油、风力、防暴处突、灾害救援等各个专业领域的广泛认可。

本书在总结国内外绳索救援相关案例的基础上，详细介绍了绳索救援专用器材的性能特点以及在不同灾害环境中的使用方法，分析了绳索救援系统的组成和构建原则，总结了绳索救援关键技术方法与操作程序。

本书的主要内容包括：绳索救援系统构建的基本知识、常用绳索救援技术装备、基本绳结的制作、锚点选择与锚点系统的装配、主绳系统与确保绳系统的构成、下降与上升系统的装配与操作、下放与提升系统的装配与操作、伤员固定与护送等。

本书为国内第一本以双绳技术为基础的介绍绳索救援系统构建方法与操作程序的专题读物，能够作为消防、风力、海油、电力、防暴处突、灾害救援等各个专业领域中专题培训的基础资料，也可以作为政府应急部门、相关企事业单位、社会组织及社会公众学习自救、互救技能的指导性文献。

由于时间仓促，编者水平有限，缺点错误在所难免，恳请读者批评指正，以便再版时修改。

本书的编著得到了公安部消防局、中国人民武装警察部队学院、公安消防部队昆明指挥学校、辽宁省公安消防总队等单位的大力支持和帮助，谨在此深表谢意。

编者

2016年6月

目 录

第一章 概述.....	1
一、单绳技术及双绳技术.....	1
二、坠落与防坠.....	2
三、负荷要求.....	6
四、悬吊创伤	11
第二章 器材	13
第一节 人造纤维类装备	13
一、绳与索	13
二、扁带与扁带环	16
三、头盔	17
四、安全吊带	18
五、势能吸收器（缓冲包）	19
六、装备包袋	19
第二节 金属装备	20
一、安全钩	20
二、下降器	20
三、上升器	25
四、防坠器	27
第三节 装备的检查与保养	28
一、装备的检查	28
二、人造纤维类装备	29
三、金属装备	30
第三章 绳结	33
第一节 基本术语	33
一、绳的各部分名称	33
二、绳结的构成	34

三、绳结的分类	35
第二节 常用绳结	35
一、反手结	35
二、反手连接结	35
三、8 字结	36
四、单环 8 字结	37
五、返穿 8 字结	38
六、8 字连接结	39
七、水结	39
八、双渔人结	40
九、双套结	40
十、称人结	42
十一、阿尔卑斯蝴蝶结	43
十二、摩擦结	43
十三、邦尼结	45
第四章 锚点与锚点系统	47
第一节 锚点	47
一、自然锚点	48
二、构筑物锚点	48
三、车辆锚点	50
四、人工锚点	51
第二节 锚点系统	53
一、单一锚点的装配	53
二、多锚点系统	58
第五章 主绳系统与确保绳系统	61
第一节 主绳系统	61
一、主绳系统的基本器材组合	61
二、机械省力系统组件	62
第二节 确保绳系统	64
一、确保绳系统的构成	64
二、确保绳系统的操作	66
第三节 荷载释放	69
一、系统锁定	69

二、下降与下放系统中解除锁定的方法	70
三、提升系统解除锁定的方法	72
四、荷载释放带	73
第六章 下降与上升	76
第一节 下降	76
一、下降控制装置的装配	76
二、实施下降	79
三、锁定下降控制装置	81
第二节 上升	86
一、装备	87
二、操作	87
第七章 下放与提升	88
第一节 下放系统与提升系统	88
一、下放系统	88
二、省力系统	89
第二节 省力系统	90
一、在主绳上制作 3 : 1 (5 : 1) 省力系统	91
二、使用转向滑轮制作 3 : 1 (5 : 1) 省力系统	91
第三节 搭载系统	95
一、3 : 1 搭载系统	95
二、5 : 1 搭载系统	96
三、通过 3 : 1 搭载系统实现“下降→上升”的系统转换	97
四、通过 5 : 1 搭载系统实现“下降→上升”的系统转换	99
第四节 直拉式提升系统	102
第八章 伤员固定与护送	103
第一节 救援担架	103
一、金属担架	103
二、金属/塑料担架	103
三、塑料担架	104
四、卷(筒)式担架	105
第二节 伤员固定	105
一、内部固定	106
二、外部固定	108

三、脊柱骨折伤员的固定.....	108
第三节 担架护送.....	110
一、担架附着.....	110
二、担架护送.....	112
参考文献.....	115

第一章 概 述

绳索救援是指利用绳索将伤者或被困者从受困环境运送到安全位置的技术系统，主要包括用绳索做下降、下放与上升、吊运等环节。同时，完成绳索救援还需要有完善的风险评估、合理的救援方案以及过硬的操作技术。

由于绳索具有轻便、快捷、经济、破坏性小、使用范围广等优点，适宜于其他装备不宜开展或不经济的情形。因而，在山岳（野外）救援、高空轻生解救以及水域、狭小空间、壕沟、竖井等救援方面，绳索救援技术都发挥着不可替代的作用。

一、单绳技术及双绳技术

绳索救援技术在实用中可分为单绳技术及双绳技术。

（一）单绳技术

单绳技术（Single Rope Technique, SRT），即操作人员所有的行进、操作与防坠确保都在单一绳索（主绳）上完成。单绳技术是名副其实的“将生命系于一条绳索之上”。由于架设简便快速，适合大部分的架设环境，经常被运用在各种的高空娱乐运动（如攀降、溯溪等）之中。在救援过程中除非条件所迫，一般不予使用。

（二）双绳技术

双绳技术（Double Rope Technique, DRT）是在单绳系统外另行架设独立的绳索系统（确保绳系统），以备操作人员在主绳崩坏或断裂时作为防坠的确保绳。此外，如果主绳发生意外，确保绳亦可作为备用的主绳。

世界范围内，绝大多数国家的绳索救援都以双绳技术为基础。通过搭建双绳系统（主绳系统与确保绳系统），救援人员能够方便地进行上升、下降、横移、换绳、通过锚点、辅助攀登等操作，可以更安全、更有效地到达传统方式难以到达的位置，操作更灵活，成本更低，即使发生危险，也能确保操作人员的安全。在高空救援与自救方面，双绳技术具有更大的优势。

二、坠落与防坠

(一) 坠落风险

坠落风险是在绳索救援过程中自始至终都需要密切关注的问题。通常情况下，坠落的严重程度取决于以下因素：

(1) 操作人员的重量，包括其所携带的装备。重量越大，坠落时需要被消除的能量越多。

(2) 坠落高度。坠落距离越大，坠落时需要被消除的能量越多；同时，撞击障碍物的可能性也越大。

(3) 与固定点的相对位置。当操作人员移动到高于固定点位置时，潜在坠落的严重性增大。

(二) 坠落系数

坠落系数 (Fall Factor, FF)，也叫冲坠系数，代表着一次坠落的强度，用以描述操作人员与固定点的相对位置以及坠落严重程度。坠落系数越大，坠落强度也就越高。它的理论数值通常在 0~2 之间，计算方法为坠落高度除以有效绳长，即

$$\text{坠落系数} = \frac{\text{坠落高度}}{\text{有效绳长}} \quad (1-1)$$

坠落系数及其影响对于制定救援方案、应用绳索实施救援作业非常重要。只有充分了解坠落系数的影响才能更准确地选取适当的装备，并在潜在风险不可接受时寻找替代方式。

图 1-1 显示了救援人员系缚于一条结实的水平锚点绳索三处不同位置的坠落风险。图 1-1 中 c 显示坠落系数 2 的情境 ($FF=2$)，图 1-1 中 b 显示坠落系数 1 的情境 ($FF=1$)，而图 1-1 中 a 显示极低的坠落系数情境 (FF 几乎为 0)。

图 1-1 中显示的坠落系数的计算同样适用于使用其他锚点系缚方法的情况，例如通过吊索连接至一个固定在砖石结构或垂直锚点绳索上的锚点装置。

如果救援人员通过一条长 1m 的绳索连接至一个锚点，确保绳系缚点与锚点在同一水平位置 (图 1-1 中 b)，则潜在的坠落距离为 1m (不考虑绳索的延展性)。下坠的距离 (1m) 除以防坠绳索的长度 (1m)，得到坠落系数为 1 ($1 \div 1 = 1$)。

使用同样长度的绳索，如果救援人员从锚点的高度往上攀爬至绳索容许的最大高度 (如图 1-1 中 c)，则潜在坠落距离为 2m，绳索的长度依旧为 1m (不考虑绳索的延展性)，坠落系数为 2 ($2 \div 1 = 2$)。

虽然图 1-1 中 b 与 c 的绳索长度相同，但是坠落的距离明显不同，因此结

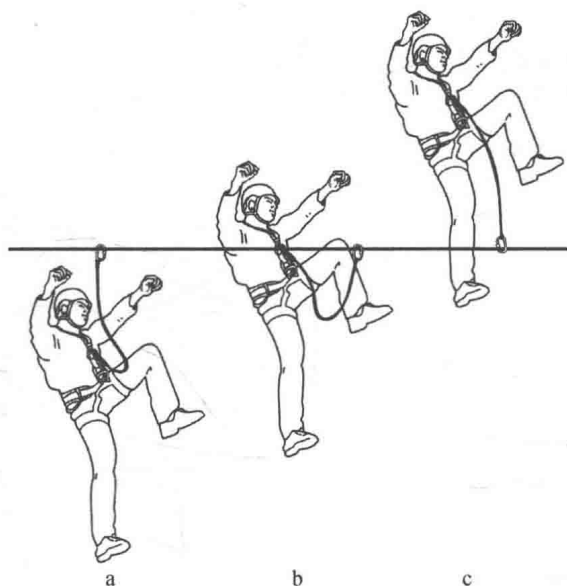


图 1-1 坠落系数示意图

a—非常低的坠落系数（几乎为0）；b—坠落系数为1；c—坠落系数为2

果也不同。图 1-1 中 c ($FF = 2$) 救援人员与锚点所受到的冲击力明显比 b ($FF = 1$) 要高出很多，同时与地面或构造物的潜在碰撞力也要大很多。

如果救援人员处在图 1-1 中 a 处，那么坠落的后果则比从 b 与 c 处坠落的后果的严重程度要低得多。下坠过程非常短暂，对救援人员与锚点的冲击力很小，因此救援人员落在构造物或地面的可能性最低，与构造物或地面碰撞的力量也很小。

坠落系数的计算有时候并没有表面上看来那么显而易见。在某些情况下，潜在下坠的距离与可能受到的冲击力会在未意识到的情况下增加。例如，一般的做法是通过锚点装备（绳环、扁带、吊索等）围绕锚点并通过一个绳环（扁带环）直接连接或通过吊索连接，随后用作供救援人员使用的挂点。如果救援人员在挂点上方移动（不建议），则挂点会高出其自然悬垂位置（最低位置）（图 1-2），从而影响潜在的坠落距离。

在图 1-2 描述的情境中，潜在坠落的距离与绳索长度已经没有直接关系，但是和绳索的长度加上从挂点自然悬垂的最低点到所能使用的最高点的距离有关系。潜在下坠距离的增加与扁带较差的缓冲吸能特性结合起来就可能对下坠的救援人员产生不可接受的冲击力，从而增加受伤的风险。增加了的潜在下坠距离也会增加救援人员与地面或构造物碰撞的风险。

增加了的下坠距离还可能出现不同于图 1-1 和图 1-2 中描述的情境。例如，如果锚点绳索或锚点吊腕带系缚于构造物上并可以自由滑动，正如系缚到一个晶格构造（不建议）的垂直断面或对角截面（图 1-3）。除了下坠距离延长，还会出现不当负荷与挂环故障的危险。



图 1-2 挂点升高增加潜在下坠距离



图 1-3 系缚点可以向下滑动增加潜在下坠距离

任何时候都要将坠落系数保持在尽可能低的值，这样在发生坠落时给救援人员带来的冲击力就可以减小到最低，这一点非常重要。如果所有连接部件的长度（例如安全钩加上绳索）保持尽可能的短，并且坠落系数也比较小，例如经常在挂点以下作业，这样救援人员与构造物或地面碰撞的可能性就越小，可能遭受的潜在冲击力也越小。

（三）坠落冲击力

坠落冲击力（Impact Force）是指人体在坠落后至绳索拉停的瞬间，其坠落能量传到绳索及锚点，再回传至人体的能量。坠落冲击力的单位为 kN， $1\text{kN} \approx 100\text{kg}$ 。

以 80kg 承重（包括操作人员及装备重量）为例说明坠落系数与人体所受冲击力的关系。

假定操作人员所用绳索为静力绳，即没有弹力。

当 $FF=0$ 时，绳索绷紧，自然承重，80kg。

当 $FF=1$ 时，人体所受冲击力为体重的 10 倍，约为 8kN。

当 $FF=2$ 时, 人体所受冲击力为承重的 20 余倍, 达 16kN 。

实验表明, 人体所能承受的瞬间最大冲击力为 12kN 。事实上, 为安全起见, 欧洲标准化委员会规定人体在任何时候都不应承受 6kN 或以上的下坠冲击力 (经受过特殊训练的人, 能承受 6.4kN 的冲击力)。在北美, 美国和加拿大等国规定人体所能承受的最大冲击力为 8kN 。过大的冲击力将导致操作人员重伤或锚点崩坏。

如果一款静力绳标明在 $FF=0.3$ 时, 首次冲击力为 5.6kN , 则使用静力绳要尽量避免出现坠落系数大于 0.3 的坠落, 也就是说无论任何时候要尽量让操作人员位于挂点或身体连接的锚点之下。而通常情况下, 坠落系数超过 1 的情境属于严重错误, 是不应允许出现的。

过分的冲击力会导致人体或是锚点的损害, 所有的防坠落装备的使用和技术措施, 都是为了尽可能地减小坠落强度 (坠落系数), 因为人体在任何时候都不应承受 6kN 或以上的下坠冲击力。而降低下坠冲击力主要采取以下两种措施: 一是降低坠落系数, 二是使用缓冲装备。

(四) 防坠落装备

在利用绳索进行救援的过程中存在高空坠落的可能性时, 需要使用防坠落装备, 包含一款合适的全身式安全吊带和一套防坠落系统, 以便将冲击力限制在一个可以接受的范围内。

防坠落装备本身并不能避免坠落的发生, 而是保障发生坠落后不至于坠落 to 地面造成重大伤害或死亡。防坠落是进行绳索救援系统方案设计和系统装配要考虑的首要问题。其基本理念是: 当佩戴全身防坠落装备, 即使在 $FF=2$ 时, 也能保障救援人员所受的下坠冲击力在 6kN 以下, 从而保障其生命安全。

进行绳索救援时, 如果救援人员和被困人员一起向下冲坠, 冲击力将全部作用于救援人员身上; 如果救援人员所佩戴的不是防坠落装备, 则其所受的伤害将是致命的。当 $FF=1$ 时, 救援人员所受的冲击力将达到 20kN 以上, 而 12kN 已经超出人体的承受极限, 这种情况下救援人员是很难存活的, 同时锚点也容易崩溃。因而, 防坠落技术与装备是极为重要的。

同时, 下坠时经受的冲击力不仅取决于坠落系数与下坠距离, 还取决于连接部件的特性, 尤其是缓冲吸能特性。缓冲吸能特性非常重要, 尤其是在高坠落系数情境下。缓冲吸能特性应当保持在一个可接受的水平 (各个国家标准不一样)。

绳索缓冲吸能特性较差或潜在下坠距离较高时, 有必要考虑配置专用缓冲器, 使下坠时救援人员承受的冲击力降至最低。专用缓冲器被激活后, 将沿着锚点绳索伸展滑移, 使绳索的有效长度增加, 从而以较长距离的下坠为代价换

来冲击力的降低,但同时也增加了碰撞与受伤的风险。

由于充分利用了防坠系数的特点,某些具有缓冲吸能特性的个人防坠保护装置可以安全使用。与此同时,防坠系数也可以保持尽可能接近零的较低值。可以采用的方式包括:使用低延展性锚点绳索以实现更精确的定位与更高效的上升;在辅助攀爬时使用较短的非延展性连接部件以帮助操作人员保持体能、提高工作效率。因此,最好使用具有较低缓冲吸能特性以及非常低坠落系数的装备,而不是选用高坠落系数、高缓冲吸能特性的装备,使用后者会增加潜在的下坠距离以及与地面或构造物碰撞受伤的风险。

三、负荷要求

(一) 基本概念

最低破断强度 (Minimum Breaking Strength, MBS),指经由制造商列明的环境中,可以通过一个装备吊起的最大承重。该数据须由制造商测定后载明于装备说明书中。

工作负荷上限 (Working Load Limit, WLL),指在实际工作当中,装备允许的最大承重负荷。

安全系数 (Safety Factor, SF),为工作负荷上限与最低破断强度的比值,表示工作负荷上限不能超过最低破断强度某整数分之一。通常情况下,纤维类器材的安全系数 (SF) 为 1 : 10,金属器材的安全系数 (SF) 为 1 : 5。

最低破断强度用以决定此装备最大可以接受安全范围内的承受力。但现实操作中,操作人员绝对不可使用至最低破断强度的承受力,否则工作时的侧向移动所产生的拉力、少许的坠落系数所引起的坠落冲击力,都可能导致超过最低破断强度。

因此绳索救援操作中常采用实际工作负荷上限 (WLL),其估算方法为:

$$\text{工作负荷上限 (WLL)} = \text{最低破断强度 (MBS)} \times \text{安全系数 (SF)} \quad (1-2)$$

常用绳索救援装备负荷见表 1-1。

表 1-1 常用绳索救援装备负荷

装备	最低破断强度 (kg)	工作负荷上限 (kg)
10.5mm 低延展性夹芯绳	2700	270
11.0mm 低延展性夹芯绳	3000	300
安全钩	2200 ~ 2500	440 ~ 500
绳环	2200	220

（二）绳索救援系统承重设计

承重设计（Designed Loading）是指在进行绳索救援操作时绳索系统可以承受的最大承载重量。绳索救援系统的承重设计，不同国家有不同的规定，欧洲标准通常规定为 200kg，北美标准则规定为 280kg。

欧洲标准的承重设计为 200kg，其基本假设为：假定被困人员体重为 80kg、救援人员体重为 80kg、所有技术装备（含担架）重量为 40kg。北美标准的承重设计为 280kg，其基本假设为：假定被困人员体重为 300 磅、救援人员体重为 300 磅。

在进行绳索救援系统设计时，必须考虑系统各个组件的工作负荷上限，及在装配过程中强度弱化的情况。

1. 绳结强度

当救援绳笔直时它的强度是最强的，任何对绳索造成的弯曲都会使它的强度变弱，造成的弯曲越紧，绳索强度越弱。

在一条笔直的夹芯绳上，全部的受力被平均地施加在绳体上，因此绳的外皮和内芯的受力也是平均分摊的。绳的弯曲或是挤压，会造成外皮的绷紧和内芯的压缩，绳的内外将不再是平均地分摊受力。结形半径较大的绳结的强度通常大于结形半径较小的绳结。同样的，一条绳绕过一个树干干的强度大于一条绳索穿过安全钩的强度。

绳索经过绳结的反复弯曲之后，原本的强度会降低，负重的能力也会降低。例如强度 40kN 的两条救援绳，经过双渔人结的连接之后，强度可能仅剩余 70%（约 2800kg）。此时，救援人员用于垂降或拖拉重物时，负重不应超过 1/10（纤维类装备安全系数为 1:10），即 280kg。否则当发生坠落冲击力过大时，绳索在绳结处可能突然断裂。绳结会使绳的强度弱化（表 1-2）。

表 1-2 不同绳结的弱化程度

绳结	强度（%）
直绳	100
布林结	55 ~ 74
蝴蝶结	61 ~ 72
反手结	58 ~ 68
8 字结	66 ~ 77
双环 8 字结	61 ~ 77
双渔人结	65 ~ 80
水结	60 ~ 70

续表

绳结	强度 (%)
8 字接绳结	70 ~ 75
双平结	43 ~ 47
卷结	60 ~ 75
双半结	60 ~ 75
鞍带结	40 ~ 75
系木结	65 ~ 70

根据绳结的类型、系扣的精度与整齐度，绳结所造成的绳索强度的降低也各有不同。整理绳结，确保绳结位置的绳索平行并且系紧，称之为包扎。一个包扎完好的绳结与包扎不完善的绳结在强度损失方面也有不同（表 1-3）。

表 1-3 绳结包扎对绳结强度的影响

绳结名称	包扎完好的绳结强度损失 (%)	包扎不完善的绳结强度损失 (%)
吊板结	23	33
单环 8 字结	23	34
绳环 9 字结	16	32
反手结	32	42
邦尼结	23	39
蝴蝶结	28	39
称人结	26	45

2. 系统强度

绳索救援系统由绳索及其他组件装配而成，执行上升、下降、悬吊、支持、拖拉操作。当系统的强度不足以承担负荷的重量时，将会导致系统停止工作或是系统崩溃，甚至相关组件损毁、负荷坠落。

系统强度用系统安全系数（System Safety Factor，SSF）来表示。系统安全系数取决于绳索系统中最低破断强度（MBS）最小的组件，即系统安全由系统中最薄弱的组件决定。

如图 1-4 所示，系统中自上而下各组件的最低破断强度依次为：篮结制作的锚点 21kN，安全钩 30kN，单环 8 字结 30kN，安全绳 40kN。其中，系统最薄弱部位在篮结制作的锚点处，最低破断强度为 21kN。当前工作负荷为 2kN，可得系统安全系数为：

$$SSF = \frac{2\text{kN}}{21\text{kN}} = 1 : 10.5 \quad (1-3)$$

如图 1-5 所示, 系统中自上而下各组件的最低破断强度依次为: 通过“绕二(圈)拉一(圈)”制作的锚点 43kN, 安全钩 30kN, 单环 8 字结 30kN, 安全绳 40kN。其中, 系统最薄弱部位不再是在锚点处, 而是在安全钩处, 最低破断强度为 30kN。当前工作负荷为 2kN, 可得系统安全系数为:

$$SSF = \frac{2\text{kN}}{30\text{kN}} = 1 : 15 \quad (1-4)$$

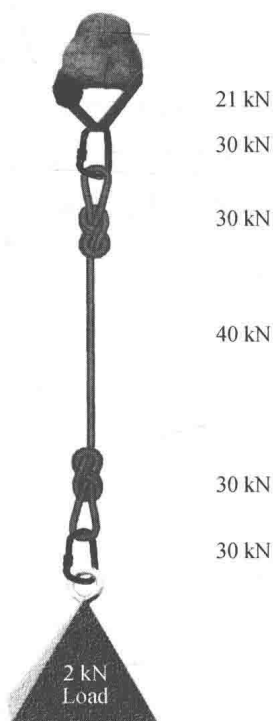


图 1-4 系统装配范例 (一)

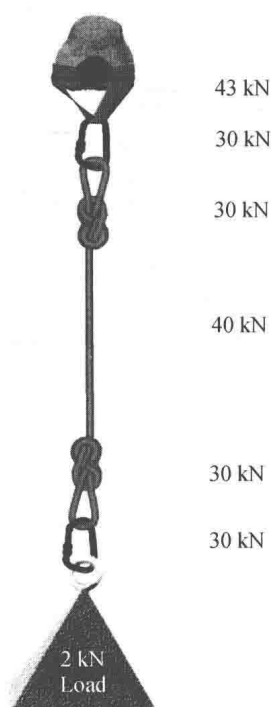


图 1-5 系统装配范例 (二)

由图 1-4 与图 1-5 对比可知, 通过改变锚点的安装方式, 可以提升系统强度 (从 1 : 10.5 提升到 1 : 15)。

当绳索救援系统中使用滑轮后, 须根据滑轮的用途计算系统相关组件 (与滑轮相连接的安全钩、锚点等) 的工作负荷, 即滑轮的工作负荷取决于系统工作负荷、滑轮的安装方式及其受力角度 (图 1-6)。

在使用省力滑轮组时, 需要根据滑轮的装配方式逐一分析各个滑轮 (及其相关组件) 的负荷情况, 以准确进行系统强度分析。

如图 1-7 所示, 系统中自上而下各组件的最低破断强度依次为: 通过“绕