

岩土锚固

新技术及实践

田裕甲 编著

YANTU MAOGU
XINJISHU
JI SHIJIAN

中国建材工业出版社

岩土锚固新技术及实践

田裕甲 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

岩土锚固新技术及实践/田裕甲编著. —北京: 中国建材工业出版社, 2006.7

ISBN 7-80227-044-8

I. 岩... II. 田... III. 岩土工程—锚固 IV. TU472

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 048863 号

内 容 提 要

书中针对目前土木工程中遇到的大量关于岩土锚固问题, 借鉴美国、日本、澳大利亚、韩国等国家的先进技术, 并结合我国的实际情况予以详尽的介绍, 而且以作者多年来在岩土锚固新技术应用方面的典型成功实例进行全面的诠释与介绍。

岩土锚固新技术及实践

田裕甲 编著

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市西城区车公庄大街 6 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: 787mm×960mm 1/16

印 张: 22.5

字 数: 421 千字

版 次: 2006 年 7 月第 1 版

印 次: 2006 年 7 月第 1 次

定 价: 45.00 元

网上书店: www.ecool100.com

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)88386906

参 编 人 员

严克强	马洪琪	顾金材	毛亚杰	陶 义
王常让	牛仁杰	何文泉	戚志军	宋浩契
王泰恒	龙廖乾	赵长海	王永年	田在军
李保国	燕立群	黄约瑟	金顺兰	田今华
田道玉	韩学广	李海民	李 勇	张玉华
田英华	吕 兵	黄家齐		

序

田裕甲同志是水利水电科技战线的老战士，在岩石力学方面、在冻土研究及水工建筑物冻害防治技术方面、在地下工程支护技术及高边坡加固处理技术方面，特别是在预应力锚固技术方面成绩卓著。

田裕甲同志是我国水电界预应力锚索加固技术的开拓者之一。早在 20 世纪 70 年代中期，在丰满工程加固中，田裕甲同志即在国内水电工程上较早应用预应力锚索加固技术。以后在东北白山水电站、渗窝水库、桦树川水库、龙凤山水库、新疆大山水电站、托海水电站、黑孜尔水库等多项工程中主持实施了预应力锚索加固技术。近期参与实施了云南小湾水电站边坡 700m 高堆积体预应力锚索加固，为工程解决了关键技术难题，第一次使预应力锚固技术由加固坝体、岩体边坡，拓展到加固堆积体，在预应力锚固技术方面进一步取得突破。

田裕甲同志在工作中不计功名，不恋官场，一心钻研技术，在以往工作中多次获得“科学技术进步奖”，并获得过“五一”劳动奖章，这在知识分子队伍中为数不多。我了解的田裕甲同志虽已年近花甲，但仍孜孜不倦地钻研技术，总结经验，传授知识，不知疲倦地奔波于各个工地，实为年轻人的学习榜样。

毛西杰.
2005.10.27

前 言

“岩土锚固”技术已深深地渗透到土木工程建设的各个领域，以它方便的工艺、经济的造价、独特的效应、广泛的用途发挥着不可替代的作用。

但是，科学探索和工程实践是永无止境的。在我国，从 20 世纪 60 ~ 80 年代用 3000 ~ 6000kN 级、长 40 ~ 60m 的锚索加固梅山水库坝基、丰满电站大坝和葛洲坝闸墩起步至今，岩土锚固技术正在发生较大的变化。

锚固技术不在于锚固吨位的大小、锚索的长短，而在于这种技术在工程建设中，使很多不稳定的因素变为稳定，把不可能变为可能。

作为从事四十八年“岩土工程”技术研究的实践者，在步入七十华诞之际，回想 20 世纪 70 年代初期，镜泊湖水下岩塞爆破前，用喷混凝土和锚杆、锚索加固岩塞上部岩体时，曾议论：喷三年、锚三年、喷喷锚锚又三年……似乎掉进深不可测的“岩土工程竖井”里。就是从那时开始一干就是四十多年，没离开“喷锚”。幸运的是 2002 年 9 月，时任小湾工程指挥部总指挥的马洪琪院士，叫我带着堆积体打孔难、灌浆难的问题，参加堆积体加固施工。在与水电四、三局联营体合作攻关堆积体锚索加固的近半年时间里，深深体会到水电工程施工的艰辛，同时也尝到了成功的喜悦。2005 年 9 月第三次赴小湾，参加科技成果鉴定会时，到现场考察坝肩槽、进水口开挖、高缆基础混凝土等样板工程时，专家们一致给予高度评价；云南小湾工程无论其规模、工程难度、施工水平都不愧为“艺术品”和“世界之冠”的称号。相继施工的西宁拉西瓦电站也与小湾工程一样使我国岩土锚固技术提升到新的高度和水平。

本书在编写过程中得到了中国水力发电学会毛亚杰副秘书长（原水利部科技司司长）和中国水利水电建设集团公司宗敦峰副总工的指导以及李保国高工和田在军董事长的大力支持，在此深表感谢。

我应该说明的是，有些新的观点、新的结构有待进一步完善和经验积累。由于我的经验和水平有限，疏漏之处在所难免，还望各位同行不吝指正。

田裕甲

2005 年 11 月 20 日

目 录

第一章 岩体锚固处理技术 (国家“七·五”科技攻关课题)	1
第一节 岩体锚固处理技术的研究报告	1
第二节 GYM - 6000kN 级锚索在丰满大坝加固工程中的应用	29
第三节 LC - 6000kN、LC - 3000kN 级轮辐式测力传感器的研制 与应用	34
第二章 预应力锚固技术的应用与研究	44
第三章 地下洞室加固	54
白山水电站地下厂房下游边墙预应力锚固效果	54
第四章 大坝加固	67
第一节 白山水电站重力拱坝预应力锚索锚固效果研究	67
第二节 长滩河水利枢纽工程拦河坝坝基加固	77
第三节 广东青溪电站大坝裂缝加固	84
第五章 边坡加固	90
第一节 GYM - 2000kN 型锚索在桦树川边坡加固工程中的应用	90
第二节 北京居庸关北关西山边坡加固工程施工技术	95
第三节 大吨位压力分散型锚索的设计与应用研究	102
第四节 压力分散型锚索在船闸工程中的应用和分析	111
第五节 镜泊湖电站水下边坡加固效果	116
第六节 小湾工程 700m 以上级高边坡安全快速施工技术研究	129
第六章 深基坑支护	180
第一节 北京新兴大厦深基础土层锚杆施工	180
第二节 钻孔压浆桩及其在工程中的应用	184
第三节 深基坑支护工程失事原因分析	190

第七章 锚索类型	209
第一节 新型锚索结构系列及工程应用	209
第二节 压力分散型锚索和拉力型锚索的比较——再论新型锚索结构系列及工程应用	229
第八章 专利技术	239
第一节 拉压分散防护锚索	239
第二节 穿心式挤压器	241
第三节 空间网状排水装置	242
第四节 锚索用土工布、帆布包裹,防止漏浆技术	245
第九章 模型试验	249
第一节 岩石力学的模型试验	249
第二节 地下建筑物的模型试验	273
附:日本 VSL 锚固施工法设计施工规范(草案)	284
参考文献	344
后记	347

第一章 岩体锚固处理技术

(国家“七·五”科技攻关课题)

【内容提要】 本课题主要介绍在岩体锚固处理技术研究所研制的 GYM、LYM 锚固体体系的构成,及其配套的 24 种锚夹具、四种 YKD 系列张拉千斤顶、LC 系列测力传感器;通过室内和现场应用,论证了他们的稳定性和可靠性。还通过室内、现场的模拟试验和工程实际应用,提出了合理的锚索安装、张拉、锁定的工艺流程,并用实测资料,论证了各种工艺的效果。

第一节 岩体锚固处理技术的研究报告

一、概述

在岩体、坝基、边坡、地下洞室加固技术中预应力锚索是一种施工方法简便、加固效果明显、经济效益显著的施工技术。这一技术已广泛应用于水电、铁路、矿山、建筑、隧道等领域。

我国岩体预应力锚固技术由 20 世纪 60 年代开始起步,当时主要应用于坝基加固,由于机具不配套,施工工艺落后,满足不了工程需要。进入 80 年代中期,我国的预锚技术有了较大的发展,预应力锚索已普遍地应用于坝体、坝基加固处理,地下洞室高边墙加固处理,不稳定的高边坡加固处理,闸墩、闸室加固等,据初步统计,近三十个工程,锚索数量近 5 000 根,锚固吨位由 60 年代的 3 200kN 提高到 4 500kN,张拉千斤顶已有了 4 000kN 级专用产品,锚索长度达到 48m。这些成果为水利水电事业和其他领域的锚固技术发展起了很大的推动作用。

我国的预应力锚固技术虽然有了很大的发展,但与国际水平相比还有一定的差距。例如:国际上最大张拉设备已达到 10 000kN,锚索长度达到 63m。南非 Laina 坝的加固就用了 6 000kN 级的预应力锚索。在国外已经形成了二十多种体系。定型化的锚、夹具和张拉设备已在国际范围内推广应用。

为了使我国的预应力锚固技术进一步得到发展,并向国际水平靠拢,使我国的锚夹具、张拉设备、监测设备、施工技术配套成龙,形成标准化、定型化、系列化,“七·五”期间,国家将预应力锚固技术列为攻关内容,这项研究

是国家“七·五”科技攻关课题《水电工程筑坝技术研究》中《高坝地基处理技术研究》专题的一个子题的内容之一。它包括以下四个内容:

1. 新型锚索的研制, 其锚固吨位为 500kN、1 000kN、2 000kN、3 000kN, 最高锚固吨位为 6 000kN, 其锚索长度最长为 50~60m。

2. 张拉设备的研制, 张拉吨位包括 180kN、1 000kN、2 000kN、3 000kN, 最高为 6 000kN。

3. 新型锚索的现场应用、设计、施工、监测技术研究。

4. 锚固机理的研究。承揽这一研究的单位是水利部、能源部东北勘测设计院科研所、水利电力部地质勘探基础处理公司科研所。协作单位有柳州市建筑机械总厂、丰满发电厂, 新疆石河子农学院也参加了部分工作。这项研究工作还得到了东北勘测设计院水工处的大力支持。

此项研究工作从 1986 年开始, 于 1990 年 5 月份完成。

二、主要成果

岩体锚固技术研究主要包括以钢绞线为锚索体的 GYM 锚夹具系列和以精轧螺纹钢筋为锚索体的 LYM 系列; YKD 系列张拉千斤顶; LC 系列、HC 系列测力传感器以及造孔、锚索安装、内锚固段灌浆、张拉、锁定、施工监测和长期观测等。其主要成果分述如下:

(一) GYM、LYM 锚索系列研制

1. GYM 锚夹具的研制

(1) 锚索锚夹具的主要功能

锚夹具包括工作锚、工具锚、限位板和隔离架。

工作锚又称外锚固端, 是锚索孔口外露的一端, 是通过锚具将锚索体的张拉力传递给被锚固对象的永久性锚固装置。

工具锚又称夹具, 是将千斤顶的张拉力传递给锚索体的临时性锚固装置。

限位板是限制工作锚夹片位移量的一种构件。它套在工作锚板上, 其功能为既限制张拉时夹片被钢绞线夹带的位移量, 锁定时又以最小的回缩量锁定钢绞线。

隔离架是在编索时, 使组成锚索体的钢绞线成束, 保持钢绞线间有一定间距, 使锚索安装时避免钢绞线直接与孔壁接触的构件。

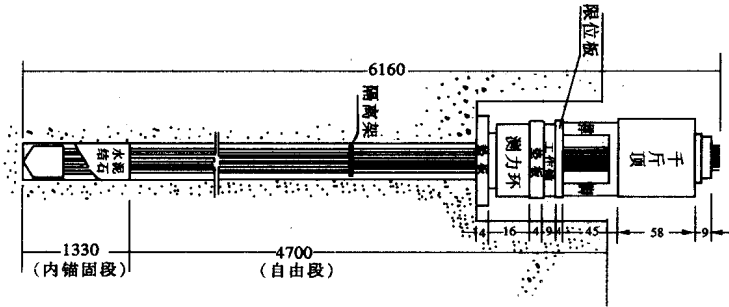
GYM、LYM 两种类型锚、夹具安装位置见图 1-1、图 1-2。

(2) 锚夹具的结构和设计原则

①锚具中央设置通过灌浆管的孔道, 便于灌浆施工。

②锚孔数, 根据表 1-1 钢绞线的尺寸与力学性能和锚固荷载级别, 由钢

绞线的根数确定，锚孔和夹片采用 QM 型锚具的结构尺寸。



说明：自由段隔离架间距为 5m 一个，内锚固段隔离架间距为 3m 一个。

图 1-1 丰满大坝 GYM - 6000kN 锚索安装图

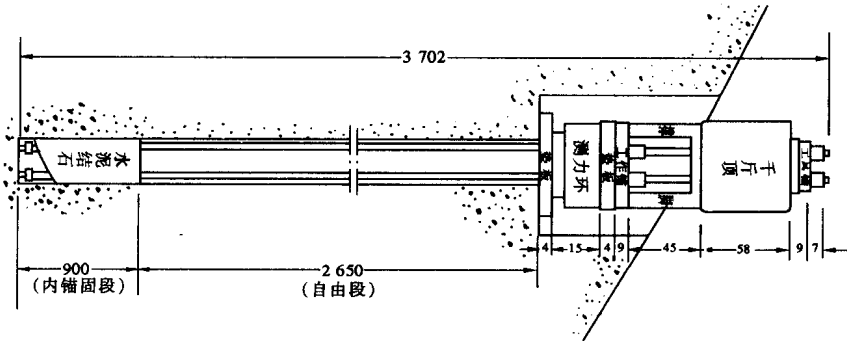


图 1-2 丰满大坝 LYM - 2400kN 型锚索安装图

表 1-1 钢绞线的尺寸和性能

钢绞线 类型	公称直径 (mm)	公称试 验强度 (N/mm ²)	公称钢 材面积 (N/mm ²)	公称重量 (g/m)	规定特征 断裂荷载 (kN)	规定特征 0.1% 条件屈服荷载 (kN)	1%伸长 时荷载 (kN)
7 股标准	15.2	1 670	139	1 090	232	197	204
	12.5	1 770	93	730	164	139	144
7 股高级	15.7	1 770	150	1 180	265	350	233
	15.2	1 770	130	1 090	246	209	216.5
7 股模拔	15.2	1 820	165	1 295	300	255	264
	12.7	1 800	112	890	209	178	184

- ③锚孔之间的间距应满足单根张拉、锁定的要求下，尽可能紧凑。
- ④锚板要有足够的刚度，其厚度应不影响锁定效果为原则。
- ⑤限位板的限位尺寸，应满足锚索张拉时限制夹片被钢绞线夹带的位移

量，锁定时又以钢绞线的回缩量最小为原则。

⑥隔离架的孔数与工作锚孔数一致，其间距不得小于 5mm，以保证水泥浆体和钢绞线之间有足够的黏结力，并满足防腐保护的需要。

根据上述原则设计的锚夹具外型尺寸见表 1-2。各种荷载级别的锚夹具见图 1-3~图 1-10。

表 1-2 GYM、LYM 型锚夹具外型尺寸 mm

锚具型号	锚索体根数	锚夹具外型尺寸				轮辐式测力传感器	钻孔直径 (mm)
		工作锚	工具锚	限位板	隔离板		
GYM-1000	7	φ280×65	φ167×65	φ290×35	φ80×10	—	φ110
GYM-2000	14	φ280×90	φ259×90	φ290×40	φ120×10	φ430×160	φ140
GYM-3000	21	φ380×100	φ259×100	φ390×40	φ140×10	φ430×160	φ160
GYM-6000	42	φ550×130	φ390×130	φ560×40	φ190×10	φ540×180	φ220
LYM-600	1	φ280×40	φ167×40	—	—	—	φ76
LYM-2400	4	φ380×85	φ259×85	—	—	φ430×160	φ160

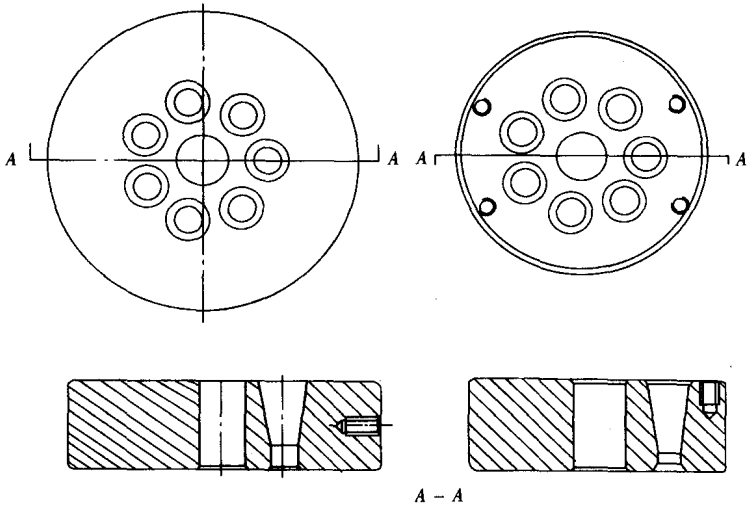


图 1-3 GYM-1000 型锚索工作锚与工具锚板结构示意图

2. LYM 锚具的研制

用精轧螺纹钢筋作为锚索体，具有施工简便、承载能力大、抗腐蚀能力强、受力条件好、锁定损失小等优点。因此研究了直径为 32mm 的精轧螺纹钢筋作为锚索体的预应力锚索，这种锚索称为 LYM 型锚索。LYM 预应力锚索体采用的精轧钢筋，目前主要有 φ25 和 φ32 两种规格，其主要力学性能见表 1-3。

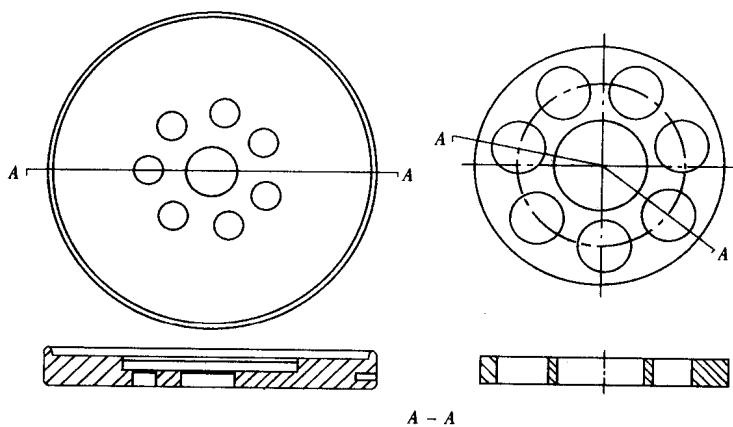


图 1-4 GYM-1000 型锚索限位板与隔离架结构示意图

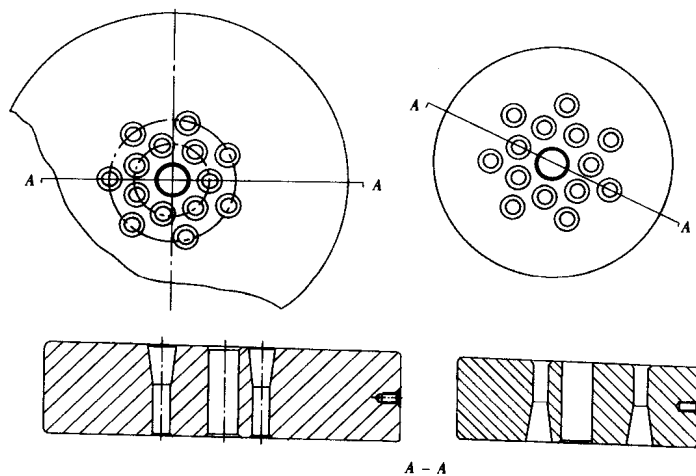


图 1-5 GYM-2000 型锚索工作锚与工具锚板结构示意图

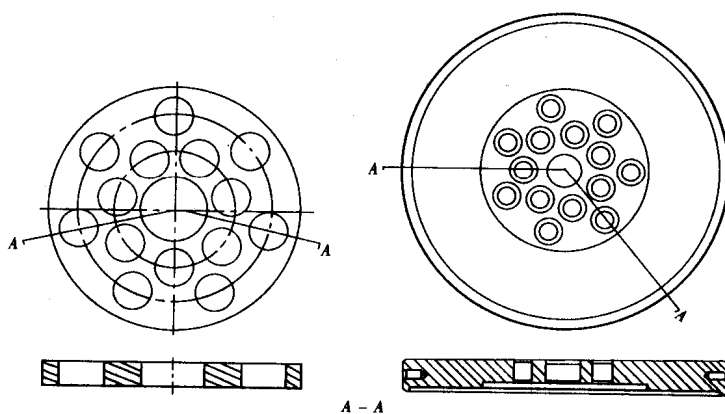


图 1-6 GYM-2000 型锚索限位板与隔离架结构示意图

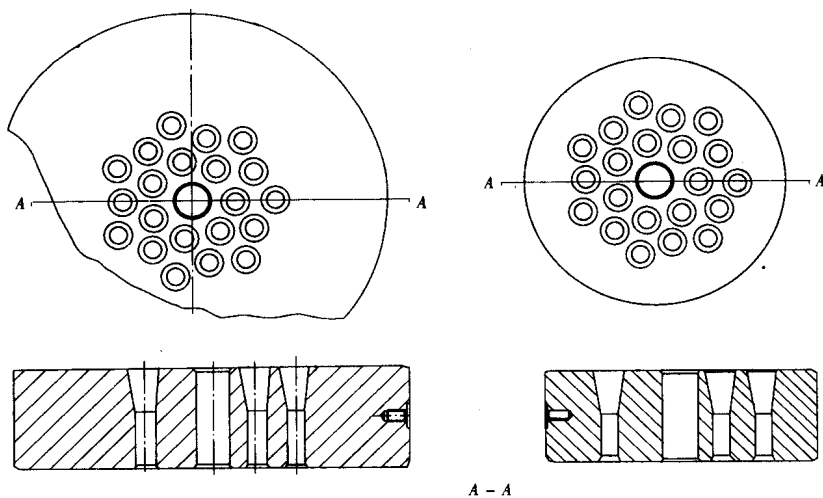


图 1-7 GYM-3000 型锚索工作锚与工具锚板结构示意图

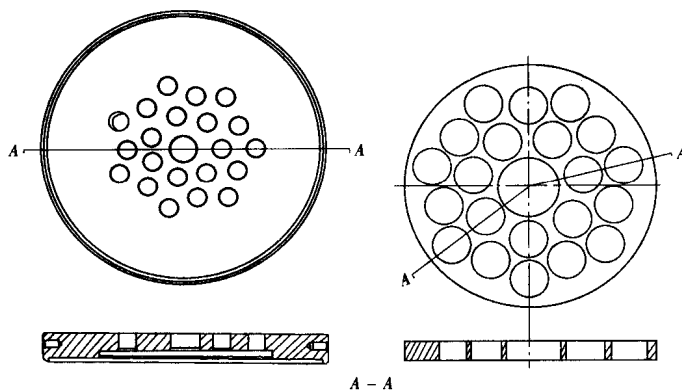


图 1-8 GYM-3000 型锚索限位板与隔离架结构示意图

表 1-3 精轧螺纹钢筋力学性能

级 别	直 径 (mm)	屈服强度 σ_s (Pa)	抗拉强度 σ_b (Pa)
75	25	7 500	9 000
	32	7 500	9 000
95	25	9 500	11 000

LYM 锚具包括：工作锚、工具锚、内外锚固螺帽、连接器、球型垫座等，其外形尺寸见表 1-2，两种荷载级别锚具结构如图 1-11 ~ 图 1-13 所示，其中球型垫座起调整受力方向，达到最佳锁定效果的作用。连接器、内外锚固螺帽均能承受 900kN 的荷载。

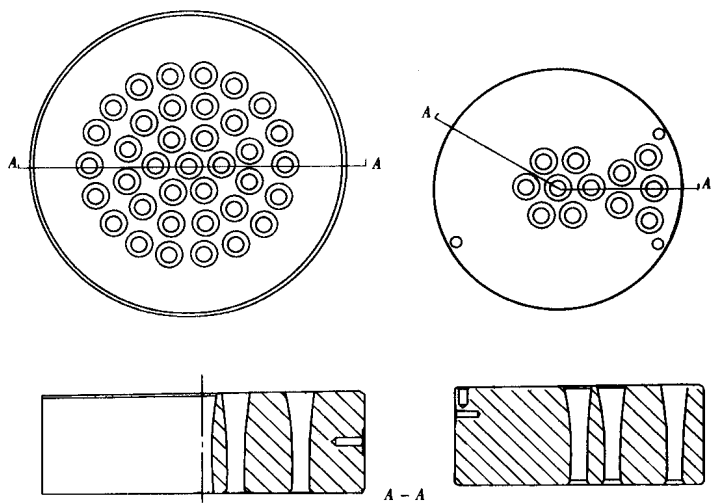


图 1-9 GYM-6000kN 工作锚与工具锚板

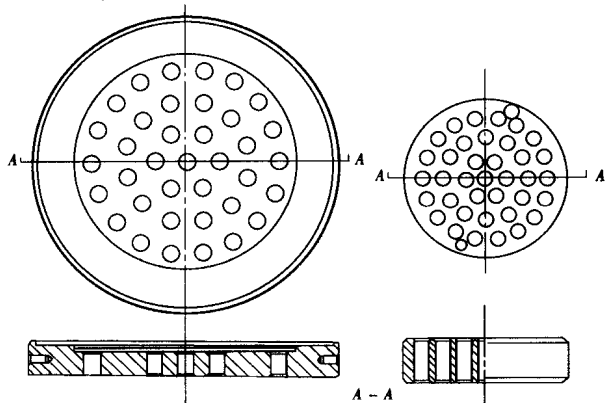


图 1-10 GYM-6000kN 限位板与隔离架

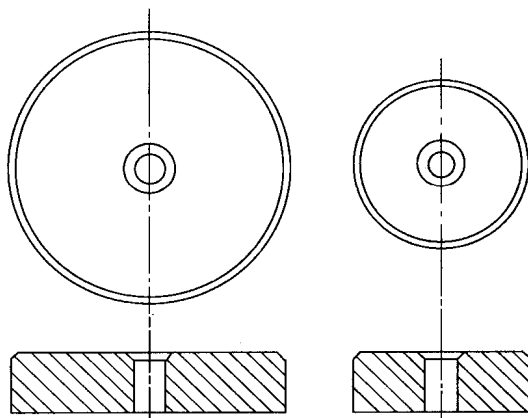


图 1-11 LYM-600kN 工作锚与工具锚

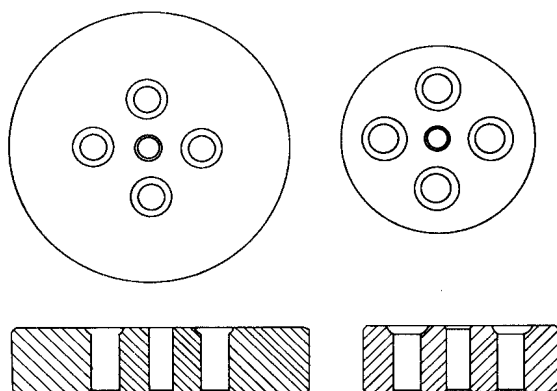


图 1-12 LYM-2400kN 工作锚与工具锚板

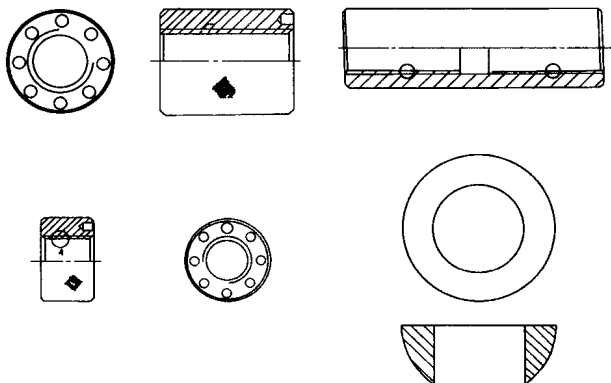


图 1-13 LYM 系列锚具内、外锚固螺帽、连接器、球型垫圈

GYM、LYM 这两种锚索系列的锚具与钻孔、测力传感器、张拉千斤顶的配套情况见表 1-4。

表 1-4 GYM、LYM 型锚固体系配套表

锚索型号	GYM-1000	GYM-2000	GYM-3000	GYM-6000	LYM-600	LYM-2400
锚固力 (kN)	1 000	2 000	3 000	6 000	600	2 400
钻孔直径 (mm)	110	140	160	219	76	160
工具锚	GYM-7G	GYM-14G	GYM-21G	GYM-42G	LYM-1G	LYM-4G
限位板	GYM-7G	GYM-14G	GYM-21G	GYM-42G	—	—
工作锚	GYM-7G	GYM-14G	GYM-21G	GYM-42G	LYM-1G	LYM-4G
隔离架	GYM-7L	GYM-14L	GYM-21L	GYM-42L	—	—
配套轮辐式测力传感器	—	LC-3000	LC-3000	LC-6000	—	LC-3000

续表

锚索型号	GYM-1000	GYM-2000	GYM-3000	GYM-6000	LYM-600	LYM-2400
配套环柱式测力传感器	HC-1000	HC-2000	HC-3000	—	HC-1000	HC-3000
精轧钢筋连接器	—	—	—	—	LZ-180	LZ-180
精轧钢筋外锚固螺帽	—	—	—	—	LY-72	LY-72
精轧钢筋内锚固螺帽	—	—	—	—	LY-72	LY-36
配套 YKD 型千斤顶	YKD-180	YKD-180	YKD-180	YKD-180	YKD-1000	YKD-3000
	YKD-1000	YKD-3000	YKD-3000	YKD-6000		

3. 无粘结预应力锚索

(1) 2 000kN 级无粘结预应力锚索的研制

无粘结预应力锚索又叫弹性锚索，它与普通预锚的不同点是其自由段钢绞线通过专门的包封隔离措施与被锚固岩体不发生粘结，因而其全长能长久地保存传递应力并可随时调整预应力大小的特性。

为保证预应力锚索自由段的可调性，并获得良好的防护效果，采取如下措施：

①自由段设置多重保护，钢绞线外涂一层油脂，再套塑料连续护套即 PE 套管，套管外与孔壁间灌水泥浆，其结构见图 1-14a。

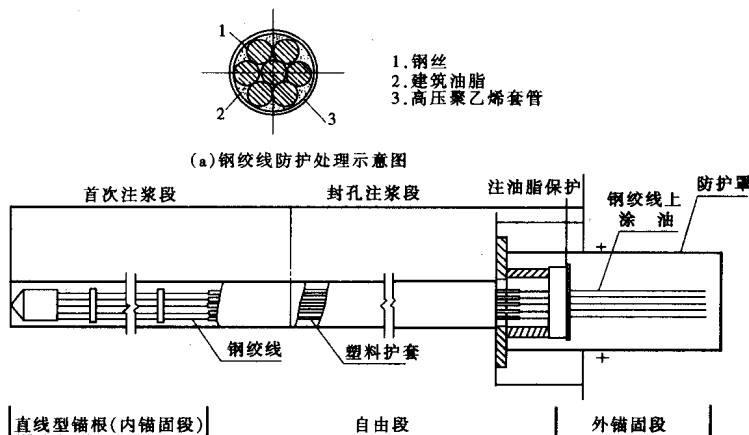


图 1-14 无粘结锚索结构

防护油脂具有润滑、防锈双重作用。其成分中不含氯、硫、水等有害物质，可降低钢材应力腐蚀的塑料护套由高密度聚乙烯压注制成，护套柔韧性好，耐破坏性能强，可提高束体防锈、阻止有害离子接触钢材。护套与油脂保证了自由段的弹性伸缩能力。

②内锚固段采用高强锚固浆体胶结，锚根编制成直线型。

③工作锚采用 GYM 型锚具。外锚头采用涂油防护。