

# 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术研究

袁晓春 杜景章

(蓬莱市蓬莱阁管理处 蓬莱 265600)

**摘要** 探讨了我国大型古建筑群的基础岩体出现裂隙、破碎带、危岩体、负地形、崩塌、滑坡等相关病害成因,介绍了水平锚杆加固危岩体技术、斜锚杆加固海蚀洞技术、喷锚挂网处理表层破碎带技术、锚索加固城墙、表面作旧保护特色地貌等技术的研制和实施。

**关键词** 古建筑,岩体,病害,锚杆,锚索,加固,保护

中图分类号 X54

我国有众多的名胜古迹建筑在高山峻岭之间,但千百年来,其基础岩体受地质营力等多种因素影响,出现了裂隙、破碎带、危岩体,甚至发生岩体崩塌、大面积滑坡等严重病害。现我们将锚杆、锚索加固这项现代新技术,运用到我国名胜古迹基础岩体加固保护领域,使我国的文物科技保护技术提高到一个新的水平。

全国重点文物保护单位——蓬莱阁古建筑群,座落在山东省蓬莱市城区北部临海绝壁丹崖山上。蓬莱阁古建筑群始建于唐朝,占地 $32800\text{m}^2$ ,由蓬莱阁、天后宫、龙王宫、吕祖殿、三清殿、弥陀寺六个建筑群组成,有一千多年的历史,是我国海滨一处罕见的人文与自然景观。蓬莱阁古建筑群建于丹崖山麓,东、南、西三面地势平缓,北部为临海悬崖,海拔 $36\text{m}$ 。蓬莱地区的地质构造复杂<sup>[1]</sup>,它位于蓬莱——威海断裂与玲珑断裂的交汇点,经历过无数次构造运动。丹崖山岩体为胶东群辅子乔石英岩及板岩,受地质营力和海蚀、风蚀、地震等影响,丹崖山岩体出现卸荷裂隙、表层破碎带、海蚀洞等多种病害,严重危及蓬莱阁古建筑群的安全,亟需进行丹崖山岩体加固保护。

## 1 蓬莱阁丹崖山环境地质条件

### 1.1 地形地貌

丹崖山北部拔海而立,山体岩壁直立陡峭,基岩裸露,海拔 $36\text{m}$ 。丹崖山东部为蓬莱水城小海环绕<sup>[1]</sup>,山顶及山麓建有蓬莱阁古建筑群。

### 1.2 地层岩性

丹崖山山体主要由上元古界蓬莱群辅子乔组上段石英岩和板岩组成,丹崖山体陡崖,自东向西分布有白色厚层石英岩,紫色薄层硅质板岩,青灰色的厚层板岩和紫红色薄层石英岩等不同地层。地层产状因受构造影响,不太规则,一般倾向为 $SE130^\circ-150^\circ$ ,倾角 $26^\circ-40^\circ$ 。

### 1.3 地质构造

丹崖山为一向东南倾斜的单斜山,位于鲁东断块胶北隆起西北边缘与北黄海拗陷的结合带。由于受多次构造运动的影响,山体内断层和节理、裂隙极其发育,岩体被切割得极为破碎。断裂走向有北西向、北东向、东西向、南北向及北北东向,倾角一般为 $60^\circ-85^\circ$ 。

## 2 蓬莱阁丹崖山岩体病害分析

### 2.1 卸荷裂隙形成的危岩体

据勘测统计,丹崖山岩体存在大型或小型断层 10 条,岩体内部发育有 4 条平行于崖部走向的构造裂隙,构造裂隙与卸荷裂隙相互交切,产生不同程度的拉裂,构成 1—5 号危岩体,历史上丹崖山岩体发生大面积崩塌,构筑在悬崖上长 40 余米的城墙发生崩塌坠落到悬崖下,崩塌的城墙距蓬莱阁主阁仅 6m。此外,地表水的下渗影响,使丹崖山岩体结构面非常脆弱,其岩体的凝聚力丧失殆尽,部分危岩体出现临界状态。

### 2.2 海蚀洞对丹崖山岩体整体稳定性的影响

丹崖山岩体底部为板岩软弱夹层,由于岩性强度较低,受海蚀、风蚀等多种破坏营力的影响,已形成深达 5.3m 的海蚀洞,使蓬莱阁古建筑群的灯楼、宾日楼、苏公祠等古建筑处于负地形上。海蚀洞的极其发育,使丹崖山部分岩体失去底部支撑,对上部岩体稳定性构成威胁。

### 2.3 丹崖山岩体表层破碎形成的剥落、崩塌

丹崖山岩体表层受无数次构造运动影响,节理裂隙极其发育,岩石切割成碎块状。在风化营力作用下,已出现局部剥落,若裂隙进一步加重,将会形成局部崩塌。

### 2.4 地震对丹崖山岩体的影响

蓬莱位于蓬莱——威海断裂与玲珑断裂及风仪店断裂的交汇部位,存在着发生破坏性地震的地质背景。蓬莱地区历史上多次发生破坏性地震,从地震活动周期看,山东半岛沿海及临近地区从公元 1500 年以后出现两个活跃期和一个相对平静期。1500—1675 年是一个活跃期,1548 年蓬莱地震即在此活跃期发生。1676—1780 年是相对平静期。1780 年以后又是一个活跃期。至今未有衰减的趋势,1969 年 7 月 18 日,渤海大地震以后,尤其是近年来微震活动显著增加,由每年几次、十几次增加到几十次,微震活动仍集中在蓬莱、龙口、招远、莱州一带,构造活动较为强烈。蓬莱地区地震烈度为 7 度区。蓬莱地区地震资料见表 1。

表 1 蓬莱地震资料表

Table 1 Table of earthquake information in Penglai

地震时间	震中位置	震级(烈度)
495 年 3 月 31 日	蓬莱海滨	5.5(七)
1046 年 4 月 18 日	蓬莱海滨	5(六)
1548 年 9 月 13 日	蓬莱附近	6(八)
1857 年 12 月 26 日	蓬莱海滨	6(七)
1858 年 1 月 27 日	蓬莱海滨	5.5(六)
1879 年 7 月 7 日	蓬莱附近	5(六)
1888 年 5 月 4 日	蓬莱北部渤海中	7.5(七)
1948 年 5 月 23 日	威海海中	6(六)
1969 年 7 月 18 日	蓬莱北部渤海中	7.47(七)

近年来频繁的微震对丹崖山岩体产生了破坏性影响,卸荷裂隙进一步发展,岩体病害加剧。

## 3 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术路线

蓬莱市文物局针对丹崖山岩体加固保护开展了一系列的科研攻关和保护研究,进行了工程地质勘察,试验室模型桩试验,加固工程锚杆拉拔试验、施工组织设计等科研攻关,为丹崖

山岩体加固保护工程提供了坚实的科学依据。

工程地质勘测进行了两次,历时一年,先后完成 1:500 丹崖山地形图测量,1:500 工程地质测绘,160 件点荷载试验,5 条剖面工程物探。野外数据采集工作共完成 5 条剖面,工作方法主要采用反射波法,使用仪器为美国制造 R24 数字地震仪,检波器为自然频率 60HZ 垂直检波器。经 486 微机资料处理,丹崖山岩性主要为石英岩,其节理裂隙发育,强风化段风化厚度 3—5m。在该地段进行加固工程时,必须穿过强风化层,进入适当深度中风化层为宜,详见表 2 点荷载试验记录表和图 1 浅层震勘测时间剖面。据工程地质勘测,丹崖山有大型或小型断层 10 条,构造裂隙与卸荷裂隙相互交切,形成 5 处危岩体。海蚀洞发育深达 5m,构成岩体底部的负地形。岩体表层受多种营力影响,呈碎块状,出现剥落、崩塌。经过野外地质勘察和室内实验室工作,查明了丹崖山岩体的险情及相关病害,为丹崖山体加固保护,准备了详实的技术资料。

蓬莱市文物局的科研人员针对丹崖山岩体的相关病害,对各种技术方案进行筛选、比较后,决定采用锚杆、锚索加固技术。为了探索锚杆、锚索加固技术,他们搜集到国内外该技术的最新发展资料,通过室内模型桩的试验,完善了锚固滑桩模式原理及有关参数,为有效地应用到文物保护上提供了可靠的依据。

表 2 点荷载试验记录表

Table 2 Table of spot load test records

试样编号		采样地点									试验日期		
		年	月	日									
试 样 编 号		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
岩 石 名 称		石英岩	石英岩	石英岩	石英岩	石英岩	石英岩	石英岩	石英岩	石英岩			
样 品 处 理		自然状态	自然状态	自然状态	自然状态	自然状态	自然状态	自然状态	自然状态	自然状态			
荷 载 方 向		径 向	径 向	径 向	径 向	径 向	轴 向	轴 向	径 向	轴 向			
二 / 轴 尺 寸	a	9	10	5	7	6	7	8.5	6.2	6			
	b	7	5	5	7	6	5.4	4	5	5			
	c	4	5	5	4	3.2	4.8	5	5	3.2			
加 荷 点 距 离 / cm		4	5	5	4	3.2	7	8.5	6.2	3.2			
压 力 表 读 数 / MPa		17	3.5	6	2.5	15	20	15	7.5	14			
极 限 点 荷 载 / KN		26.64	5.485	9.402	3.918	23.505	31.34	23.505	11.753	26.94			
形 状 系 数 / K		0.4	0.7	0.7	0.4	0.37	1.02	1.49	0.87	0.45			
点 荷 载 强 度 指 数 $I_s$ / MPa	$I_s = P/D^2$	16.65	2.194	3.7608	2.4488	22.954	6.3959	3.2533	3.0575	21.425			
抗 拉 强 度 $S_t$ / MPa	$S_t = K \cdot \frac{P}{D^2}$	6.666	1.535	2.6325	0.9795	8.497	6.5238	4.8474	2.66	9.6416			
换 算 抗 压 强 度 $6c$ / MPa	$6c = C \cdot I_s$	316.35	50.462	86.498	46.53	436.126	147.101	74.826	70.323	407.075			
试 样 特 征	试 验 前	方 块	长 方 块	方 块	不 规 则	长 方 块	棱 柱	棱 柱	棱 柱	长 方 块			
	试 验 后	方 块	棱 柱	碎 块	长 方 块	不 规 则 块 状	不 规 则 块 状	不 规 则 块 状	不 规 则 块 状				

随后,蓬莱市文物局开展了锚杆拉拔试验,在丹崖山岩体加固工程工作面 1 区与 2 区的交界部位选择巨厚层变质石英岩为试验场地,试验部位的岩性与工作面的岩性一致,保证了试验结果的可靠性。实验锚杆为 5 个,锚杆采用  $\phi 28$ mm 的螺纹钢,水泥为矿渣 425 号水泥,经前 R—20 千斤顶对锚杆进行拉拔试验,5 根锚杆的抗拔力分别为:

- 1 号锚杆 24.1T; 2 号锚杆 22.1T; 3 号锚杆 17.5T;
- 4 号锚杆 22.1T; 5 号锚杆 15T

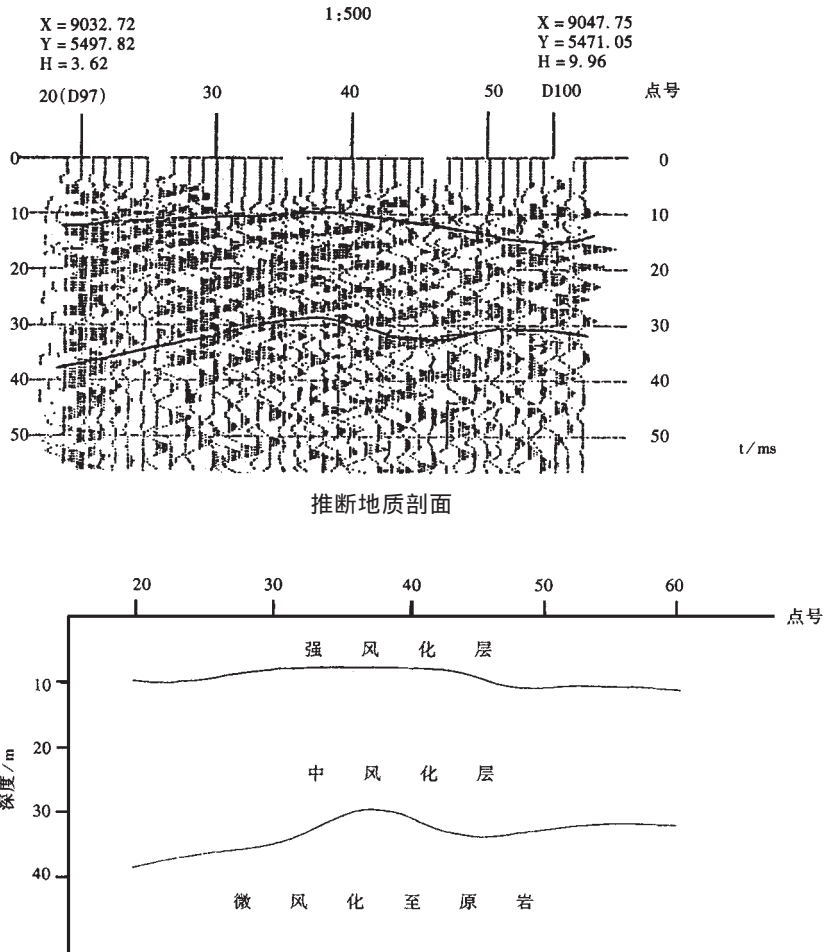


图 1 浅震勘察时间剖面

Fig. 1 Reconnaissance time section of shallow earthquake

其中, 3 号锚杆在实验过程中, 螺母脱丝扣, 抗拔力比实际小, 5 号锚杆底端进入板岩, 5 根实验锚杆中有效的是: 1 号、2 号、4 号, 其符合锚杆抗拔试验的规范要求, 平均抗拔力为 22.7T。因试验时间只有 7 天, 锚孔中砂浆的凝固时间短, 造成抗拔力低, 如达到终凝状态, 抗拔力肯定较高。参见表 3 锚杆参数和表 4 锚杆试验记录表。实验结果  $\phi 60\text{mm}$  锚杆在石英岩体中, 抗拔力标准值平均为 89.4KN/M。

表 3 锚杆参数

Table 3 Parameters of anchor pole

编号	成孔日期	成孔时间	孔径	孔深	锚固段长度	倾角
A #	yy/mm/dd	/h	/mm	/m	/m	$\alpha^\circ$
1	95/07/31	9	60	2.60	2.10	15
2	95/07/30	10	60	2.78	2.20	15
3	95/07/29	11	60	3.00	2.40	15
4	95/07/30	9	60	2.60	2.20	15
5	95/07/31	9	60	2.60	2.10	15

表 4 锚杆试验记录表

Table 4 Table of anchor pole test records

土层类别	锚杆资料	注浆资料	检验荷载 /N	油压表读数 /Pa	锚头位移读数/mm			锚头位移 增量/mm	备注
					1	2	3		
石 英 岩	φ28mm 钢 筋孔深: 2.78m 锚固 段: 2.2m 倾角: 15°	纯水泥浆 水灰比: 0.45: 1 早 强剂: 2%	0	0	14				
			50.2	10	17			3	
			100.4	20	19			2	
			150.6	30	21			2	
			180.7	36	25			4	
			221	44	36			11	

施工组织设计计划工期三个月施工组织设计是在工程地质勘测、试验室模型桩试验、锚杆拉拔试验等一系列的野外勘测和试验室攻关后进行。施工组织将锚杆、锚索加固这项新技术,运用到我国文物古迹保护病害治理领域中,针对不同的病害采取了相关的治理措施,他们将丹崖山岩体加固保护工程工作面分为 5 区,同时细化为 6 个分项工程,主要是:

### 3.1 用水平锚杆加固 1—5 号危岩体

锚杆加固的主要作用是使危岩体与丹崖山山体相联结,将危岩体所受外力通过锚杆传递至山体,以增加岩体的完整性,控制卸荷裂隙的进一步发展,同时可以平衡附加的水平荷载。设计采用水平锚杆 46 根,锚杆的总长度为 317m,锚杆孔总深度为 330.8m。

### 3.2 采用斜锚杆加固海蚀洞顶部

利用 2 区海蚀洞顶天然拱形结构,放射状地布置 1m 长的锚杆 60 根,并挂网喷射混凝土,以提高岩体的整体稳定性。

### 3.3 用喷锚挂网处理岩体表层破碎带

采用 φ4mm 的金属网,网格尺寸 100×100mm,挂网的钢筋 φ20mm,0.6m 的锚杆,水泥砂浆锚固,表面高压喷射抗腐蚀混凝土,形成保护层。喷锚挂网面积 150m<sup>2</sup>。

### 3.4 岩块砌筑支护海蚀洞

选用丹崖山下抗风化能力较强的新鲜石英岩块砌筑海蚀洞,砌筑砂浆以选用抗硫酸盐水泥砂浆,块石砌筑支护工程量 140m<sup>3</sup>。

### 3.5 采用锚索加固城墙

因城墙内杂填土所产生的侧向压力,直接影响城墙的稳定性,计划设置 4 根锚索,单根锚固力设计拉力 80T。

### 3.6 表面做旧保护丹崖山原有特色地貌

丹崖山岩体锚固、喷锚、挂网等各项工程,需进行表面做旧处理,以不改变丹崖山原貌为原则,与周围岩体保持协调统一。

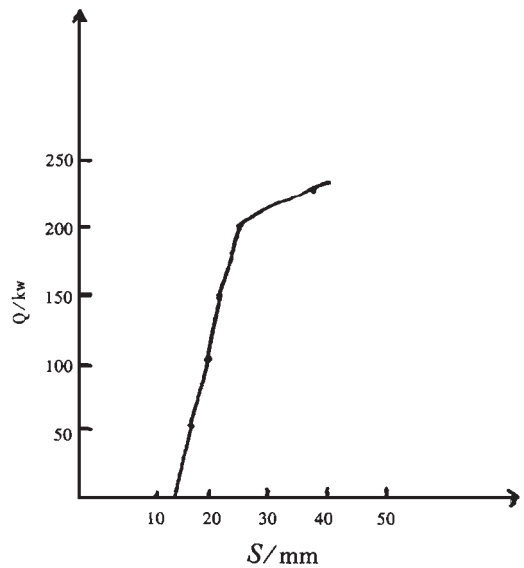


图 2 锚杆试验图

Fig. 2 Figure of anchor pole test records

### 4 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护工程具体实施

蓬莱市文物局为了保护丹崖山岩体加固保护工程的工程质量,节省工程费用,向全国 4 家专业工程单位进行招标。结果,选择了国内最优秀的岩体加固施工单位——铁道部科学院西北分院,同时节省工程费用 36 万元。此外,蓬莱市文物局还邀请了中国文物研究所专家担任工程监理,进驻工地。工程中每一道工序均由甲、乙、监理三方签字验收,发现问题三方协商解决,成为加固保护工程的一个显著特点。蓬莱市文物局采取工程招标和聘请专家担任监理,来保证工程质量的办法,受到国家文物局领导的表扬,将在全国文博单位予以推广。

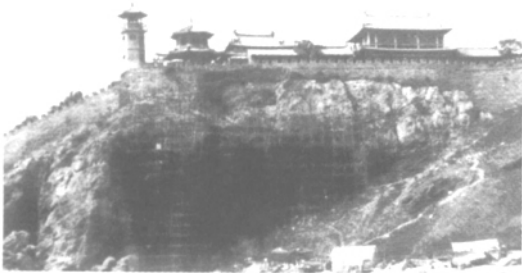


图 3 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护工程施工现场  
Fig. 1 Construction site of fortifying and protecting the rocky body of Danya Mountain near Penglai

丹崖山岩体加固保护工程自 1996 年 3 月 4 日开工,至 6 月 19 日结束,提前完成工期 11 天(施工现场是图 3)。锚杆加固危岩体工程,加固危岩体锚杆 57 根,补充增加锚杆 8 根,累计进尺 414.8m,比原设计增加 84m。斜锚杆加固海蚀洞工程,根据施工现场情况,由原来平均 1m 的孔改为延长部分孔深度,做到长短结合,改善了成拱岩体受力状态,调整孔深为:3 米长 10 个孔,2 米长 2 个孔,总长度增加 22m。喷浆挂网保护破碎带工程,采用小型风动掘岩机成孔,先注浆后插入钢筋,横筋与锚杆头焊接,整个布筋框架依面就势,与岩体浑然一体。喷浆分两次喷射,以确保平均喷射厚度 15cm。砌筑支护海蚀洞工程,首先对砌筑支护部位进行清理。在砌筑体内重新布筋,以增加强度,砌筑后表面喷射混凝土,然后进行做旧处理,共完成工程量 143m<sup>3</sup>。锚索加固城墙工程原计划在城墙部位做 4 根 80T 级控制锚索,根据实地勘测,城墙根部需重点加固,因而调整原锚索孔位,将其中两根调整到 4 区的顶部,每根锚索的锚固力可达 100T。做旧工程选用丹崖山原岩碎块做骨料,使工作面颜色与山体颜色相协调,起到了恢复丹崖山原貌的作用(图 4,图 5)。

整个布筋框架依面就势,与岩体浑然一体。喷浆分两次喷射,以确保平均喷射厚度 15cm。砌筑支护海蚀洞工程,首先对砌筑支护部位进行清理。在砌筑体内重新布筋,以增加强度,砌筑后表面喷射混凝土,然后进行做旧处理,共完成工程量 143m<sup>3</sup>。锚索加固城墙工程原计划在城墙部位做 4 根 80T 级控制锚索,根据实地勘测,城墙根部需重点加固,因而调整原锚索孔位,将其中两根调整到 4 区的顶部,每根锚索的锚固力可达 100T。做旧工程选用丹崖山原岩碎块做骨料,使工作面颜色与山体颜色相协调,起到了恢复丹崖山原貌的作用(图 4,图 5)。

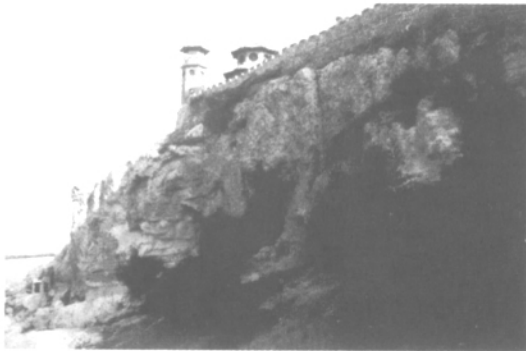


图 4 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护工程后实景  
Fig. 4 The site scene after fortifying and protecting the rocky body of Danya Mountain near Penglai



图 5 蓬莱阁丹崖山修复前原貌  
Fig. 5 Original appearance of rocky body of Danya Mountain near Penglai Pavilion before renovation

丹崖山岩体加固保护工程技术复杂,施工条件极为困难。施工技术人员、工人搭起 4 层高达 40m 的提升架,修筑 100m 运输道路,运输了重达 200 多吨的工程物资,10 余件大型机具设

备安装到位,采用先进锚固技术,圆满完成了这项加固保护工程。

## 5 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术与国内同类文物保护技术的比较

目前在全国文物保护单位开展岩体病害治理工程的主要有四川大足石窟的风化治理<sup>[2]</sup>,陕西榆林石窟修复工程等,所采取的保护技术各有所长,现将各保护技术予以介绍和比较。

四川大足石窟的风化病害,主要是长石石英砂岩和夹暗紫色粉砂质泥岩,使大足石窟不同部位的岩体,出现 3 种不同的风化类型:一类是孔隙度逐渐减少的松散型风化;另一类是层状剥落型,由表及里的剥落风化;还有一类是风化裂隙型,发育若干裂隙组。大足石窟风化病害治理,是选用有机硅树脂保护剂,即选用甲基三甲氧基硅烷,把它涂刷风化石材上,它在风化石内反应后,在表面形成了硅氧烷的保护层,使石材表面张力降低到有机硅材的表面张力水平,从而防止水以液态形式进入到石材内部,而空气及水汽仍可通过防水膜渗漏出来,以使石材透水透汽,从而达到防止风化的效果。

陕西榆林石窟的修复工程,因榆林石窟为砂砾岩,受多年雨水冲刷、风蚀及坍塌,崖窟岩体出现裂缝,且贯通于每个窟顶,壁画剥落。修复工程对裂缝采取灌浆措施,对严重的渗水点采用水平孔排水技术,消除渗水对岩体和文物的危害。此外运用锚索加固技术,辅以锚固效果,完成了陕西榆林石窟的修复加固工程。

蓬莱阁丹崖山岩体加固保护工程与上述两项工程不同的是,采用锚固新技术为主加固岩体,技术路线先进,既有采用水平锚杆加固危岩体,也有使用斜锚杆呈放射状布置加固海蚀洞顶部,还采用喷锚挂网处理岩体表层破碎带,为我国的文物保护领域采用锚固技术开拓了一套集勘测、试验、设计和施工工艺于一体的技术方法。

## 6 蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术的作用及推广应用前景

蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术为解决大型岩体加固保护提供了一套行之有效的方法,在全国文物保护领域中有重要的作用。以丹崖山 5 处危岩体为例,锚固前对地震力、静水压力和重力可能产生的最大拉应力分别进行计算,得出导致岩体破坏的最大拉应力如 3#、4#、5#危岩体,在以上不利情况下,产生的最大拉应力分别是 0.138MPa、0.117MPa、0.088MPa。一般变质岩岩体裂隙结构面的内聚力在 0.2—0.08MPa 之间,由此可见,3 处危岩体处于临界状态。采用锚固技术对 3#、4#、5#危岩体各施加 10、11、5 根锚杆,通过拉拔试验得出分别增加 1800kN、3620kN、900kN 的抗拔力和相应抗剪力,按最不利岩体稳定的拉张状态,锚固后危岩体增加 1.2—1.5 倍的安全系数。丹崖山岩体加固工程竣工后经过两年多的科学观测,5 处危岩体没有继续发展的迹象,加固效果极为明显。现代锚固技术应用在重点文物保护单位大型岩体加固治理工程,说明现代科学技术为文物保护开拓了巨大的技术空间,推动了文物保护沿着科技发展的轨道向前推进,在我国文物保护领域中有积极的示范作用。

蓬莱阁丹崖山岩体加固保护工程设计思想先进,工程从立项到现状勘测、方案设计、方案论证、现场试验、工程施工招标、施工组织实施、施工监理及工程竣工、程序规范、资料充实,工程管理科学,施工组织严密,既起到了有效的加固作用,又维护丹崖山原有特色地貌,经国家文物局和中国文物研究所领导和专家验收,工程质量优良,达到了设计要求,有效地保护全国重点文物保护单位——蓬莱阁古建筑群,取得了较好社会效益和经济效益。蓬莱阁丹崖山岩体加固保护技术具有先进性,在全国文物保护领域有着广阔的推广应用前景。

## 参 考 文 献

- 1 袁晓春. 我国最早的海军基地——蓬莱水城. 舰船知识, 1990, (3): 18
- 2 蒋思维. 宝顶山石窟的风化治理. 文物保护与考古科学, 1999, (1): 18

## On techniques of fortifying and protecting the rocky body of Danya Mountain near Penglai pavilion

YUAN Xiaochun DU Jingzhang

(Products of Culture Bureau of Penglai, Penglai, 265600)

This paper explores the causes of such perils as cracks, tattered areas, dangerous rocky stratum, negative terrain, collapses and landslide in the basic rocky body of the ancient architecture complexes of China. It discusses the technique of fortifying the dangerous rocky part by using horizontal iron bar(with cement filling), the technique of fortifying the sea-water eroded holes by slanting iron bars, the technique of treating the tattered area of the rocky surface with small iron bars with net and cement filling, the technique of fortifying the city wall with iron ropes, the technique of protecting the special landforms by restoring the surface to artificial wear-and-tear looking, and the application of all these techniques. These techniques have broad perspective of being applied in the field of fortifying and protecting the basic rocky body of the large ancient architecture complexes in China.

**Key words** Ancient architecture, Rocky body Disease, Anchor shaft, Anchor wire, Fortification, Protection

## 文物无损分析用能谱仪在上海博物馆改装成功

为完善文物的无损分析检测手段,上海博物馆于 1999 年购置一台 TN-Spectrace 公司生产的 QuanX 型 X 荧光能谱仪。鉴于至今尚无成品仪器可直接用于文物大样品的无损分析,上博实验室人员与公司方、国内真空机械研究机构通力合作,对仪器进行了改造。

经过半年多的测试工作验证,表明改装后的仪器运作正常,各项功能完备。目前,该仪器具有国内最大的真空样品室,同时具有可视样品测试点、小样品测试位置微调、前端大观察窗三大辅助功能,适用于各种形态的样品(固体、颗粒、粉末、浆渣和液体等)的分析,可以进行从 Na(Z11)至铀(Z92)的多元素同时分析。测定的浓度范围一般可以从 ppm 级至 100%,制样的要求低,很多情况下甚至不必制样就可直接测定。

上海博物馆重点文物研究项目“结合 QuanX 荧光分析技术对明清景德镇官窑瓷器进行综合鉴定研究”、国家文物局 2000 年文物科研项目“古陶瓷完整器的元素成分无损分析方法研究”就以该仪器为实现载体。现阶段进行的主要工作是相关数据库的建立,分析对象集中在陶瓷样品,已完成的陶瓷分析样品点达 500 多个,相应元素数据达 1 万多条。利用该仪器对青铜器、玉器、金银器等文物的分析也已成熟。

(本刊通讯员)