溪洛渡水电站工程管理丛书

缆索起重机管理总结

张世保 等◎编著



中国三峡出版传媒
中国三峡出版社

溪洛渡水电站工程管理丛书

缆索起重机管理总结

张世保 等　编著

（节选版）

中国三峡出版传媒
中国三峡出版社

图书在版编目（CIP）数据

缆索起重机管理总结 / 张世保等编著 . —北京：中国三峡出版社，2017. 5
（溪洛渡水电站工程管理丛书 / 樊启祥主编）
ISBN 978 - 7 - 80223 - 990 - 6

Ⅰ. ①缆… Ⅱ. ①张… Ⅲ. ①缆索起重机-设备管理 Ⅳ. ①TH218

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 084100 号

责任编辑：彭新岸　王　杨

中国三峡出版社出版发行
（北京市西城区车公庄大街 12 号　100037）
电话：（010）57082645　57082651
http：//www. zgsxcbs. cn
E - mail：sanxiaz@ sina . com

北京画中画印刷有限公司印刷　新华书店经销
2017 年 7 月第 1 版　2017 年 7 月第 1 次印刷
开本：787 × 1092 毫米　1/16　印张：24. 75
字数：513 千字
ISBN 978 - 7 - 80223 - 990 - 6　定价：158. 00 元

溪洛渡水电站工程管理丛书

《缆索起重机管理总结》

编 委 会

主　任： 樊启祥

副主任： 张世保　徐一军　姚汉光

委　员： 王　励　李　杨　周成成　傅明君　胡剑平
郑可荣　莫让华　赵中营　陈昌建　吴菊初
谭劲松　郑晓顺　蔡传忠

序

缆索起重机（简称缆机）是一种特殊的起重机械，它以柔性钢索作为大跨距架空支承构件，兼有大扬程垂直和远距离水平运输功能，可用于较大空间范围内进行起重和装卸作业。缆机在水工建筑物施工、桥梁建筑、森林工业、采矿工业、堆料场装卸、港口搬运和渡槽架设等方面都有广泛的应用，最重要的用途则是大中型水电工程混凝土大坝施工。和门机、塔机相比，缆机施工具有很多优点，如较高的生产能力，无需架设横跨河床的施工栈桥，与地面上其他施工机械互不干扰，在基础开挖后期即可安装而提前具备施工手段，等等。

水电工程上使用缆机大致出现在19世纪末期。20世纪50—70年代，各工业发达国家开发水电能源达到高潮，与之相应的缆机生产和使用也处于高峰时期。我国从20世纪50年代开始自行研制并使用缆机，但技术起步较低，发展相当缓慢。特别是针对大型高拱坝施工的30t缆机，都是进口设备一统天下。其中包括二滩电站（进口缆机，外国承包商管理）、水口电站（进口缆机，外国承包商管理）、小湾电站（进口缆机）和锦屏电站（进口缆机）。

在溪洛渡工程以前，国产30t缆机虽已开始研制生产，但尚未经受工程实践考验，应用的工程项目无论是工程规模还是施工难度，均远不及溪洛渡工程。2004年，中国长江三峡集团公司（简称中国三峡集团，2009年9月27日前称为中国长江三峡工程开发总公司）通过国际询价，慎重并科学决策，将溪洛渡工程首台缆机制造合同授予国产厂商。可以说，溪洛渡水电站是首个全面采用中国自行设计制造和运行管理缆机的超大型水电工程。在采购后续缆机前，中国三峡集团组成团队赴国内同类型水电工程进行缆机调研考察，对进口和国产缆机出现和存在的一些问题提出了原因分析和应对措施，仍将后续缆机合同授予了国产厂商。事实证明，通过不断改进完善，国产缆机的设计和制造总体质量已达到国际同类产品先进水平，在设计选型和技术服务方面还优于进口缆机。溪洛渡工程5台缆机在溪洛渡大坝施工中发挥了不可替代的作用。

溪洛渡工程为大型高速缆机的技术成熟和发展提供了极好的机会，国内相关单位依托工程实践，在缆机的设计制造和使用过程中进行了多项专题技术研究，成功实现了诸多适应高强度使用条件的特殊技术和创新技术，保证了设备性能优良，整

体技术水平达到国际领先水平。在溪洛渡电站之后的国内所有水电工程全部采用了国产缆机，不仅为国家节约了数亿元资金，也让国内类似设备的设计制造和管理水平上了一个台阶。

尽管缆索起重机应用已有100多年，但到2010年前全世界还没有一个专门的技术标准，之前的设计只能参考国际索道运输组织（OITAF）制定的通用索道规程的有关内容，很难满足实际工程应用中的特殊技术要求，也不利于缆机设计、制造、安装、运行管理的技术发展。2009年国家标准化管理委员会正式批准制定缆索起重机产品标准，由杭州国电大力机电工程公司（缆机设计单位）主持、中国三峡集团等缆机管理和运行单位参与标准讨论和编写。标准编写以溪洛渡缆机应用为工程依托和技术基础，同时广泛搜集了缆机制造、使用、检测单位和高等院校等30个单位的意见，于2011年底完成编写。2012年国家标准化管理委员会正式颁布GB/T28756—2012《缆索起重机》，填补了我国作为缆机使用大国在这方面的技术空白，也为今后缆索起重机的技术发展明确了方向。

溪洛渡电站混凝土施工强度高，要满足工程进度要求除缆机本身的可靠性外，综合管理水平的要求也非常高。中国三峡集团在行业内首次设立了以国内缆机设计制造、安装、运行管理等方面专业人员组成的缆机专家小组，负责溪洛渡缆机运行管理的技术指导；成立缆机运行管理领导小组，负责缆机运行管理监督、重大技术经济问题决策、协调处理重大质量安全问题和审批运行管理实施细则；溪洛渡工程建设部组织各有关部门、设计制作单位、监理单位和运行单位，分别制定了《运行管理办法》《安全操作和保养规程》《运行管理考核奖惩实施细则》等十余项规章制度，确保了各项工作均处于受控、高效状态。除此之外，溪洛渡缆机还首次采用了安全运行监控系统。该系统对所有电气设备的状态信息进行实时记录监控，除了有利于准确及时分析处理故障等外，缆机厂商还可以通过远程监控技术对缆机运行进行同步指导，有力地保证了现场工作顺利进行。这一系统的思路与近年国家质量监督检验检疫总局推出的《起重机械安全监控管理系统》完全吻合，但实施应用提前整整6年。

本书在溪洛渡工程实践基础上，较为系统地对缆机的布置、选型、设计、采购、制造、安装、运行及拆除等方面的管理进行了全方位的总结，为今后类似工程的应用提供了宝贵经验。本书在编写过程中得到了各有关单位和专家的大力支持，在此表示衷心感谢！

樊启祥

2017年4月20日

目 录

第一章 基本情况 …… 1
1.1 溪洛渡水电站工程概况 …… 1
1.2 大坝施工方案与缆机布置选型 …… 2
1.2.1 大坝施工方案 …… 2
1.2.2 缆机布置 …… 2
1.2.3 缆机选型 …… 7
1.3 增设第5台缆机 …… 10
第二章 缆机设计 …… 13
2.1 设计依据、用途、使用范围 …… 13
2.2 设备型号和功能 …… 14
2.3 设备主要技术参数 …… 14
2.4 设计说明 …… 15
2.4.1 概述 …… 15
2.4.2 总图及各主要部分结构图 …… 16
2.4.3 系统工作原理 …… 19
2.4.4 缆机构造 …… 22
2.4.5 电气及控制系统 …… 30
2.4.6 监控装置 …… 34
2.4.7 安全保护 …… 34
2.4.8 指挥调度系统 …… 35
2.5 主要配套件选用 …… 35
2.6 电气使用说明 …… 36
2.6.1 系统介绍 …… 36
2.6.2 电气操作及使用说明 …… 44
2.6.3 定点控制及防摇控制的操作 …… 53
2.6.4 监控系统 …… 54
2.7 小结 …… 63

第三章　采　购…… 65
3.1　工程设计单位意见 …… 65
3.2　首台缆机采购 …… 66
3.2.1　采购招标（询价）过程 …… 66
3.2.2　采购合同谈判 …… 67
3.3　后续缆机采购 …… 67
3.3.1　拉西瓦、构皮滩、小湾电站缆机考察 …… 67
3.3.2　后3台缆机采购合同谈判 …… 68
3.3.3　5号缆机采购 …… 69
3.4　制造 …… 69
3.4.1　制造总体情况 …… 69
3.4.2　制造工艺及流程 …… 70
3.4.3　制造质量控制措施 …… 74
3.4.4　主要问题及处理措施 …… 79
3.4.5　制造质量评价 …… 80
3.5　小结 …… 80
第四章　安装与拆除…… 82
4.1　安装 …… 83
4.1.1　安装方案 …… 83
4.1.2　质量控制措施…… 111
4.1.3　安全控制措施…… 118
4.1.4　主要问题及处理措施…… 119
4.1.5　安装评价…… 128
4.2　拆除…… 131
4.2.1　拆除方案…… 131
4.2.2　拆除评价…… 147
4.3　小结…… 149
第五章　运　行 …… 152
5.1　缆机运行管理体系…… 152
5.2　运行管理制度…… 153
5.2.1　业主单位管理制度…… 153
5.2.2　监理实施细则…… 191
5.2.3　运行单位管理制度…… 201
5.3　运行管理…… 203
5.3.1　运行人员 …… 203

5.3.2 维护保养 …… 204
5.3.3 运行安全 …… 205
5.3.4 设备完善与优化 …… 206
5.4 提高运行效率的措施 …… 212
5.4.1 缆机强度分析和典型仓面浇筑分析 …… 212
5.4.2 提高混凝土垂直运输效率的措施 …… 221
5.5 备品备件管理 …… 224
5.6 运行数据统计及分析 …… 225
5.7 运行主要问题及处理措施 …… 228
5.7.1 主索断丝 …… 228
5.7.2 3 号缆机主索更换 …… 235
5.7.3 副车钩型梁裂缝 …… 238
5.7.4 主索固定支铰座轴孔磨损 …… 240
5.7.5 供电电源及防雷避雷 …… 240
5.8 小结 …… 241
第六章 缆机技术专题研究和技术创新 …… 243
6.1 承载索研究 …… 243
6.1.1 密封索的构造 …… 243
6.1.2 密封索的材质和性能 …… 244
6.1.3 承载索的设计选型和寿命影响分析 …… 244
6.1.4 承载索安全系数计算 …… 245
6.1.5 溪洛渡缆机承载索断丝原因分析 …… 248
6.1.6 承载索报废标准 …… 249
6.1.7 白鹤滩缆机的承载索选型 …… 249
6.2 缆机副车架支座构造研究 …… 250
6.2.1 副车结构典型构造说明 …… 250
6.2.2 强度分析 …… 252
6.2.3 计算结果分析 …… 254
6.2.4 原构造的改进 …… 254
6.2.5 白鹤滩缆机相应部位的设计 …… 256
6.2.6 结论 …… 257
6.3 缆机交流变频驱动技术研究 …… 257
6.3.1 交流变频传动的发展 …… 257
6.3.2 交流变频的工作原理及性能 …… 259
6.3.3 交流变频在起重机上的应用 …… 259
6.3.4 成果应用 …… 262

6.4 缆机防碰撞安全管理研究 …… 263
6.4.1 概述 …… 263
6.4.2 缆机与大坝防撞功能 …… 263
6.4.3 缆机与其他施工设备防碰撞功能 …… 265
6.4.4 结论 …… 270
6.5 起升电机计算和研究 …… 270
6.5.1 机构参数和计算方法 …… 271
6.5.2 计算表 …… 272
6.5.3 起升电机计算结论 …… 273
6.6 自行式承马的设计计算及在缆机中的应用 …… 273
6.6.1 承马的概述 …… 273
6.6.2 自行式承马的设计计算 …… 275
6.6.3 降低自行式承马对承载索影响的措施及分析 …… 278
6.6.4 自行式承马的推广使用 …… 289
6.6.5 结论 …… 290
6.7 起升机构滚珠丝杆排绳机构 …… 290
6.7.1 传统起升机构布置 …… 290
6.7.2 溪洛渡缆机起升机构布置 …… 291
6.7.3 排绳机构布置 …… 291
6.7.4 排绳机构工作原理 …… 292
6.7.5 滚珠丝杆排绳机构的创新和优点 …… 292
6.7.6 实际使用情况 …… 293
6.8 缆机电气数字化 …… 294
6.8.1 概述 …… 294
6.8.2 技术核心和特点 …… 295
6.8.3 直流传动系统 …… 296
6.8.4 结论 …… 299
6.9 缆机供电电源电压保护 …… 299
6.9.1 晶闸管变流技术 …… 299
6.9.2 逆变失败的技术分析 …… 300
6.9.3 逆变失败的短路电流和电压计算 …… 302
6.9.4 逆变失败的保护措施 …… 303
6.9.5 结论 …… 305
6.10 缆机直流传动谐波处理技术 …… 305
6.10.1 概述 …… 305
6.10.2 谐波影响 …… 305

6.10.3 谐波标准 …… 306
6.10.4 谐波处理 …… 307
6.10.5 结论 …… 310
6.11 缆机自动稳钩系统 …… 310
6.11.1 概述 …… 310
6.11.2 工作模式 …… 310
6.11.3 工作原理 …… 311
6.11.4 操作方法 …… 314
6.12 缆机无线遥控技术 …… 314
6.12.1 概述 …… 314
6.12.2 无线通信技术 …… 314
6.12.3 通信网络架构及应用 …… 317
6.12.4 结论 …… 318
6.13 缆机运行安全监控管理 …… 318
6.13.1 系统用途 …… 318
6.13.2 系统概述 …… 319
6.13.3 系统设备 …… 319
6.13.4 监控系统主要界面 …… 320
6.13.5 远程监控 …… 326
6.13.6 系统的实用案例 …… 328
6.14 缆机最优化上料起升程序管理 …… 330
6.14.1 概述 …… 330
6.14.2 数学模型 …… 330
6.14.3 静平衡关系 …… 331
6.14.4 振动方程 …… 331
6.14.5 结论 …… 335
6.15 国家标准 GB/T 28756—2012《缆索起重机》编制…… 335
6.15.1 出版缆索起重机标准的必要性 …… 335
6.15.2 编制工作过程 …… 335
6.15.3 编制原则 …… 336
6.15.4 编制总结和说明 …… 336
6.16 缆机防雷系统 …… 342
6.16.1 引言 …… 342
6.16.2 雷电的危害 …… 343
6.16.3 接地电阻的测量 …… 345
6.16.4 综合防雷措施 …… 349

6.16.5 防雷接地施工方案 …… 359
6.16.6 防护效果 …… 362
第七章 总 结 …… 363
7.1 国产缆机与进口缆机的比较 …… 363
7.1.1 技术性能 …… 364
7.1.2 配套水平 …… 366
7.1.3 制作质量 …… 367
7.1.4 价格 …… 367
7.1.5 技术服务和技术支持 …… 367
7.1.6 结论 …… 368
7.2 缆机国产化效益 …… 368
7.2.1 经济效益 …… 368
7.2.2 社会效益 …… 369
7.3 缆机管理经验及建议 …… 370
7.3.1 大型水电站缆机选型和配置分析 …… 370
7.3.2 缆机额定起重量的设定 …… 373
7.3.3 如何提高缆机的运行效率 …… 374
7.3.4 缆机承载索 …… 376
7.3.5 缆机运行专业化队伍 …… 377
7.4 缆机未来发展趋势 …… 377
7.4.1 40t 缆机的技术研究 …… 378
7.4.2 大功率变频技术的应用 …… 378
7.4.3 全方位监测 …… 378
7.4.4 全方位监视 …… 379
7.4.5 自动安全控制运行 …… 379
7.4.6 远程运行维护 …… 379
7.4.7 无人操作自动化运行 …… 379
7.5 结语 …… 379

第一章　基本情况

1.1　溪洛渡水电站工程概况

金沙江溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县境内，是一座以发电为主，兼有拦沙、防洪和改善下游航道条件等综合利用效益的特大型水利枢纽。溪洛渡水电站水库正常蓄水位600m，死水位540m，汛期限制水位560m，水库总库容126.7亿m^3，调节库容64.6亿m^3；电站装机容量1260万kW，单机最大容量77万kW（共18台），电站最大容量1386万kW，多年平均年发电量570.7亿～616.2亿kW·h（近期～远期）。溪洛渡水电站于2003年8月开始筹建，2005年12月26日正式开工，2007年11月8日实现大江截流，2013年6月首批机组发电，2015年主体工程完工。

溪洛渡水电站大坝为混凝土抛物线形双曲拱坝，拱坝坝顶高程610.00m，建基面最低高程324.50m，最大坝高285.5m。坝顶中心线弧长681.51m，拱坝最大中心角95.58°，拱冠顶宽14.0m，拱冠梁底宽60.0m，弧高比2.451，厚高比0.216，最大倒悬度（上游面）0.141。大坝从左岸至右岸依次划分为1#～31#坝段，左岸共计3个置换混凝土区，右岸共计5个置换混凝土区。坝身布设7个表孔、8个深孔。混凝土浇筑采取不分纵缝的通仓浇筑方式，最大仓面面积约1835m^2。大坝主要工程量约：混凝土浇筑636万m^3，钢筋制安9.69万t，金属结构安装9490t。合同进度计划总工期56个月。

溪洛渡水电站地下厂房系统采用“单机单管”布置，分设在左、右两岸山体内。其中，主厂房、主变室、尾水调压室三大洞室平行排列，尾水系统采用“三机一室一洞”的布置格局。左岸电站进水口为露天竖井式，右岸电站进水口为岸塔式。

溪洛渡水电站共布置4条泄洪洞，分左、右两岸布置，左岸为1#、2#泄洪洞，右岸为3#、4#泄洪洞。左右岸1#～4#泄洪洞均为有压接无压、洞内龙落尾形式。泄

洪洞由进水塔、有压洞段、无压洞段、龙落尾段和出口挑坎等组成。



图 1.1-1　溪洛渡水电站

溪洛渡水电站坝址河谷狭窄，两岸谷坡陡峻，河谷断面呈基本对称的窄“U”形；坝区河道狭窄顺直，枯水期水位 370.00m，江面宽 70.00～110.00m。河床覆盖层厚 10.0～35.0m，坝基、坝肩均为坚硬完整的二叠系上统峨眉山玄武岩（$P_2\beta$）；金沙江洪水峰高量大、历时长。坝址地震基本烈度为 8 度。

1.2　大坝施工方案与缆机布置选型

1.2.1　大坝施工方案

大坝混凝土浇筑是本工程的关键项目。在可研阶段，根据挡水建筑物的布置特点、施工导流方式、坝区地形地质条件和工期要求，对全缆机浇筑方案和缆机结合塔带机方案深入进行了施工布置研究和技术经济比较，推荐全缆机方案作为大坝混凝土的浇筑方案。

2003 年 8 月 24 日—28 日，在北京由国家发展和改革委员会主持召开了《溪洛渡水电站可行性研究报告》审查会议。审查会对拱坝混凝土施工方案的审查意见是“同意大坝混凝土施工采用 4 台 30 吨平移式缆机”。

1.2.2　缆机布置

2004 年 4 月—6 月，中国长江三峡工程开发总公司（2009 年 9 月 27 日更名为“中国长江三峡集团公司”，简称“中国三峡集团”）通过对《金沙江溪洛渡水电站

大坝混凝土施工方案》及《溪洛渡水电站大坝浇筑方案补充研究报告》的审查和咨询，确定以单平台布置四台 30t 平移式缆机作为溪洛渡大坝混凝土浇筑的基本方案。在上述研究工作的基础上，招标设计阶段，根据水工对混凝土双曲拱坝体型优化及拱坝建基面优化设计的研究成果，对缆机平台布置又从以下几个方面进行了优化设计。

1.2.2.1　布置原则和依据

采用坝区 1∶500 的地形图和坝肩最新开挖图；

缆机控制浇筑的范围尽量覆盖整个大坝；

缆机布置尽量使供料线不占或少占坝体部位，并方便供料线的设置和转运；

缆机平台尽可能靠陡岩前缘布置，以减少缆机跨度，减少缆机平台开挖量；

缆机平台开挖尽量不触及后缘岩体上部的堆积体，若涉及右岸冰川堆积体，其开挖边坡为 1∶1.25，涉及左岸坡洪积堆积体，其开挖边坡为 1∶1.5；

缆机布置工程量的计算及边坡支护按永久建筑物考虑；

缆机平台布置依据《工程机械使用手册》等相关手册及设计规范，参考缆机设计厂家提供的大致相同的 30t 平移式缆机的主车、副车外形图和轮压图等基础资料，参考小湾、构皮滩等工程的相关经验和数据资料，结合本工程实际情况具体布置，确定各项布置参数。

1.2.2.2　平台布置优化设计

缆机布置在地质提供的 1∶500 的地形图、优化后的大坝布置图上，采用缆机设计厂家提供的 30t 平移式缆机的主车、副车外形图和轮压图进行布置。

根据坝区地形地质条件显示，左岸大坝开挖线以上的 700.00m 高程附近，存在着位于第 14 玄武岩岩流层上的宽缓平台，右岸大坝开挖线附近的 720.00～750.00m 高程附近，存在着处于第 13、14 玄武岩岩流层之间的狭窄平台，两岸岩层均呈现上游高、下游低的特点，因此，可结合坝肩开挖形成良好的平移式缆机平台。

（1）缆机平台位置

缆机平台的开挖直接影响到两岸缆机平台后缘边坡的稳定性，缆机平台位置外移可减少缆机平台开挖对平台后缘边坡的扰动。由于优化后的拱坝建基面外移，使缆机平台位置外移成为可能，同时结合缆机平台布置与高线混凝土系统供料线的相互关系，缆机平台位置进行了外移调整。

（2）缆机平台宽度

根据缆机设计厂家提供的资料，缆机主车前轨支点至车尾宽度 11.4m，缆机前轨支点至平台前缘预留 2m 的安全距离，缆机右侧预留 5m 的检修车行车宽度，平台后坡脚设排水沟，整个缆机主车平台的宽度为 19m。缆机副车前轨支点距车尾宽度 6.4m，缆机前轨支点至平台前缘预留 2m 的安全距离，缆机后侧预留 5m 的检修车行车宽度，平台后坡脚设排水沟，整个缆机副车平台的宽度确定为 14m。

缆机主车放置于右岸，副车放置于左岸，因此右岸缆机平台宽 19.0m，左岸缆

机平台宽 14.0m。缆机的安装在平台下游端进行，安装完一台即向上游移动，依次完成 4 台缆机的安装，因此缆机平台不需预留安装机械的行车宽度。

（3）缆机平台长度

根据优化后的大坝体型，确定缆机平台的基本长度为 210m。考虑到缆机检修时的停放位置要求，平台两端应各向外扩展出一定宽度的检修平台，可研阶段基本平台上下游端各向外扩展 25.0m，根据厂家提供的数据，优化设计阶段平台上下游段各向外扩展 20.0m，比可研阶段各缩短 5.0m，可满足缆机检修停放要求。受地形条件限制，缆机平台上游端不再设回车平台，而在缆机平台下游端设置载物平台，以方便缆机安装和检修时设备安放及车辆回车。优化后缆机平台长度为 250m。

（4）缆机跨度

决定缆机平台平面位置布置的主要因素有：缆机正常工作范围、混凝土供料线、坝肩开挖图及两岸的地形地质条件等。

缆机跨度由缆机平台的位置决定。右岸缆机平台的布置将充分利用 720.0m 高程陡岩顶面的平台，尽量避免触及后缘冰积层。其前缘位置依据 720.0m 高程陡岩走向及水工开挖线确定，水工坝肩开挖线优化调整后，其开挖范围未触及 720m 高程的平台，因此不再对缆机平台的位置起主要控制作用。720m 高程的天然平台在坝轴线下游约 32m 的位置向山体内凹进，形成一个缺口，为了使缆机平台的前缘尽量落在基岩上，平台位置应该避开该处缺口向内开挖，因此该处缺口将成为缆机在平面位置摆放上的制约因素。右岸缆机平台前缘避开 720m 高程的缺口向山体内开挖，据此确定右岸缆机平台的位置。左岸根据地质提供的剖面图，避开崩坡积向内开挖，据此确定左岸缆机平台的位置。缆机平台的位置详见缆机平面布置示意图。

根据左右岸缆机平台的位置，确定缆机主索跨度为 711.93m。本工程缆机主索垂度暂定为 5%，由此计算出的垂度为 35.60m，主索跨中的高程（静态）为 675.69m。

主索与吊罐底面最小高差 i 取值为 17m，吊罐底部跨中可达到的最高高程为 675.69 − 17 = 658.69m，此高程距坝顶 610m 高程有 48.69m 的距离，大于安全距离（安全距离 k 值不宜小于跨度的 1%，安全距离为 711.93m × 1% = 7.12m）。吊罐底部跨中最低可达到的高程为距大坝底部 332.0m 高程。吊罐底部跨中最高高程 658.69m 与吊罐底部跨中最低高程 332.0m 之间高差为 326.69m，因此，确定缆机的起升高度为 330.0m。后续实际开挖阶段因大坝基础处理超挖至 324.5m，比设计最低高程 332.0m 超 7.5m，缆机浇筑基础混凝土时将吊罐绳延长，以解决起升高度覆盖不到最低高程的问题。

（5）缆机非正常工作区对大坝浇筑的影响

缆机非正常工作区根据现行规定取跨度的 1/10，范围为 71.19m。

根据缆机平面布置，大坝右岸 30#、31#坝段处于非正常工作区范围内，且跨坝肩供料线钢栈桥布置将压占右岸坝肩 30#、31#共 2 个坝段（栈桥最大宽度约 30.8m，最大高度约 56.0m）。30#～31#坝段的混凝土浇筑方式需作进一步研究。大

坝左岸各坝段均处于缆机正常工作区范围。

（6）缆机布置对右岸 610m 高程混凝土供料线的影响

混凝土供料线与大坝混凝土拌和系统布置高程一致，即布置于右岸坝肩 610m 高程。混凝土供料线与坝肩 610m 高程 12m 左右宽的马道相结合，在 610m 高程马道外修建钢结构栈桥，使供料线宽度达到 16m，混凝土运输车从供料线上游端经404#、402#交通洞回至供料线下游端混凝土拌和楼下，满足专家提出的混凝土运输车无阻碍通行。610m 高程混凝土供料线外沿下方 605.5m 高程处修建 5m 宽的混凝土吊罐放置平台。如上所述，缆机非正常工作区宽度 71.19m，随 610m 高程布置的混凝土供料线部分处于缆机非正常工作区内，为保证吊罐处于缆机正常工作区，右岸供料线设计时需作适当调整。

（7）右岸缆机平台后缘边坡开挖

在缆机布置设计各阶段，右岸缆机平台设计时，均考虑了以下设计原则，即要高度重视高边坡的稳定性，汲取类似工程的经验教训，在工程布置许可的前提下尽量少扰动高边坡。

优化后的拱坝建基面外移后，缆机平台位置可相应外移，从而减少缆机平台开挖对后缘边坡的扰动。同时本阶段地质资料认为，为尽量减少对缆机平台后坡冰川堆积体的扰动，要求将平台上下的 14、13 层和部分 12 层玄武岩边坡坡比变陡，使缆机平台尽可能利用天然台地。根据现场的地质条件，13 层为直立的陡壁，12 层上部也为直立陡壁，两陡壁高约 25～30m，之间为宽约 5～10m 的“马道”，总体坡度约 1∶0.35～1∶0.4，天然边坡整齐、无明显的贯穿性卸荷拉张裂隙，无大的崩塌现象发生，天然边坡整体稳定；平台以上的 14 层玄武岩陡壁，高约 15m，浅表卸荷张拉明显，但无大的崩塌现象，整体稳定性较好，根据上述地质条件，分析认为通过加强加固措施，适当提高开挖坡比是有条件的。因此地质建议：为了不触及上部冰川堆积体，对缆机平台后缘 14 层基岩采取直立开挖，并在 14 层基岩面以上保留一定宽度的缓坡，起马道和挡渣平台的作用，在现 14 层玄武岩坡顶往里2～3m 直立开挖，并视开挖的地质情况，采取锚索、锚筋和锚杆加固，对破碎岩体进行挂网喷混凝土。根据上述原则及条件，招标设计阶段对右岸缆机平台后缘边坡基岩的开挖基本采取直立开挖的方式，开挖坡比根据不同位置地质剖面研究后，取为 1∶0.05～1∶0.3。

2004 年 8 月 27 日—30 日，中国三峡集团（以下简称“三峡集团”）在成都召开了《金沙江溪洛渡水电站大坝混凝土浇筑缆机平台布置招标设计专题报告（中间成果）》审查会。会议原则同意设计院按拱坝优化后的条件提出的缆机平台布置方案，即左岸缆机平台高程为 700m，右岸缆机平台高程为 720m 的布置方案。

1.2.2.3　缆机平台布置参数

（1）缆机平台高程

左右岸缆机平台采用平坡布置。在缆机布置设计中仍采用左岸缆机平台高程为 700m，右岸缆机平台高程为 720m，在施工阶段，可根据施工时揭露的地质条件进

行微调，即若地质条件许可，两岸平台高程可以相应适当抬高。

（2）缆机平台长度

缆机平台长度为250m，其基本长度可控制整个大坝浇筑范围。根据审查会意见，若右岸坝头不采用缆机浇筑，则缆机平台长度可适当缩短。缩短的长度约为7.5m。考虑到缆机平台长度缩短7.5m在经济上不会有较大减少，而控制整个大坝的布置方式能控制更多的坝肩开挖范围，且缆机运行调度的灵活性较好，因此缆机平台长度仍定为250m。

（3）缆机起升高度

根据缆机平台布置，缆机跨度为711.93m。缆机主索垂度暂定为跨度的5%，由此计算出的垂度为35.60m，主索跨中的高程（静态）为675.69m。

重罐工况：主索与吊罐底面最小高差 i 取值为17m，吊罐底部跨中可达到的最高高程为658.69m（距坝顶48.69m，大于安全距离）。吊罐底部跨中最低应达到的高程为大坝底部332.0m高程。吊罐底部跨中最高高程658.69m与吊罐底部跨中最低高程332.0m之间高差为326.69m，因此，确定缆机的起升高度为330.0m。

空罐工况：根据构皮滩各种工况主索包络线，重罐时主索最低高程689.1m，空罐时主索最低高程694.1m，二者相差5.0m；据此推测本工程缆机空罐时主索最高高程为675.69+5.0=680.69m。主索与吊罐底面最小高差 i 取值为17m，空罐时吊罐底部可达到的最高高程为663.69m，空罐时吊罐底部应达到的最低高程为大坝底部332.0m高程。空罐时吊罐底部最高高程663.69m与吊罐底部最低高程332.0m之间高差为331.69m，因此，确定缆机的起升高度为335m。

空钩工况：根据构皮滩各种工况主索包络线，重罐时主索最低高程689.1m，空钩时主索最低高程695.3m，二者相差6.2m；据此推测本工程缆机空钩时主索最高高程为675.69+6.2=681.89m。主索与吊钩的高差参考构皮滩数据取值为12.75m，则空钩时吊钩可达到的最高高程为681.89−12.75=669.14m，空钩时吊钩应达到的最低高程为大坝底部332.0m高程。空钩时吊钩最高高程669.14m与吊钩底部最低高程332.0m之间高差为337.14m，因此，确定缆机的起升高度为340m。

综上，缆机的起升高度确定为340m（后根据本工程缆机设计所提供的主索包络线，调整起升高度为330m）。

（4）缆机非正常工作区

非正常工作区的范围一般约为跨距的1/10～1/7，根据布置的具体情况，两岸的非正常工作区可以对称或不对称。有时将非正常工作区放大一些对缆机的工作是有利的，但国内使用的缆机，一般都将两岸的非正常工作区规定为跨距的1/10，以便使缆机的通用性更好一些。因此本设计中采用1/10的缆机非正常工作区，实际缆机设计时可适当调整。

（5）缆机布置参数汇总

缆机平台布置主要控制参数如下：

平台及轨道长度　250m
右岸主车平台高程　720.0m
左岸副车平台高程　700.0m
主车平台宽度　19m
副车平台宽度　14m

1.2.3　缆机选型

大坝混凝土浇筑是溪洛渡工程的关键项目，根据挡水建筑物的布置特点、施工导流方式、坝区地形地质条件和工期要求，进行施工布置、技术经济比较后确定，在溪洛渡工程特定的建筑物布置和地形、地质条件下，选择缆索起重机方案。

1.2.3.1　缆机类型

目前，在国内外水利水电工程上使用的大型缆机主要有固定式、摆塔式、平移式、辐射式等基本类型，其中使用较多的为平移式和辐射式。

平移式缆机控制面积为矩形，适用于高山峡谷地区，两岸地形基本对称，有比较平缓的地形台阶或阶地，混凝土工程量大，工期长的枢纽工程。溪洛渡工程坝区的地形左、右岸基本对称，略向下游收缩，地形等高线顺直，基本平行于河床纵轴线，适合选择平移式缆机。因此，本工程的缆机类型选定为平移式。

1.2.3.2　缆机主要参数

（1）额定起重量

我国大、中型水利水电工程中采用较多的是额定起重量20t的缆机配6m^3吊罐作为大坝混凝土浇筑的垂直运输手段，积累了较丰富的经验，单台20t缆机的平均生产率达到2.5～3.0万m^3/月，高峰生产率达到3.0～3.5万m^3/月，接近日本的水平。

截至2004年6月，国内水利水电工程采用额定起重量30t的缆机配9m^3吊罐的有：

水口（2台平移式，已建成）；
二滩（3台辐射式，已建成）；
小湾（5台平移式，在建）；
构皮滩（3台平移式，在建）；
拉西瓦（3台辐射式，在建）；
景洪（2台平移式，在建）。

共6座大坝、18台缆机。在与本工程枢纽建筑物相似的二滩工程中，1996年3台辐射式缆机的总浇筑量达到152.00万m^3，平均生产率为12.70万m^3/月（相当于单台4.23万m^3/月），高峰生产率为16.30万m^3/月（相当于单台5.43万m^3/月）。国内近年来水电工程使用缆机的简况见表1.2-1。

表 1.2-1　国内 2004 年以前水电工程使用 30t 缆机简况表

序号	工程名称	类型	跨度（m）	起升高度（m）	数量（台）	制造时间
1	水口	平移式	1073	110	2	1988
2	二滩	辐射式	1275	310	3	1992
3	小湾	平移式	1158（上） 1048（下）	350 300	5 + 1	2002，2008
4	构皮滩	平移式	690	不详	3	2003
	合计				18	

本工程大坝的坝高 285.50m、混凝土工程量约 636 万 m^3 等均大于已经建成的二滩工程（分别为 240.00m 和 405.00 万 m^3），根据初步施工总进度计划估算出的混凝土浇筑强度也接近或高于二滩工程。缆机的额定起重量选定为 30t。

当需要吊运大于 30t 的超重件时，可使用 2 台缆机抬吊作业。抬吊梁自重 4t，2 台 30t 缆机可吊运 56t 重的超重件。

（2）塔架

平移式缆机的移动支架主要有以下 4 种形式：

a）无塔架；

b）低塔架；

c）高塔架；

d）A 形支架 + 配重车。

无塔架缆机的主索支撑点设置在前腿轨面高程附近，因主索拉力基本上不在支撑点上产生倾覆力矩，所以，可少用或不用配重。主索近地布置，适用于缆机平台外侧为陡峭山坡的地形。近年来国产的多数缆机和二滩工程使用的进口缆机均采用这种形式。

本工程大坝地处高山峡谷，河谷呈基本对称的窄 U 形，缆机平台附近山体受地层岩性、风化、卸荷等控制，呈现出陡坎与缓坡相间的地形特征，缆机平台外侧为陡峭山坡地形，具备采用无塔架支撑车的条件。另一方面，受地形和坝肩最高开挖线的限制，缆机平台位置已经较高（左岸约 700.00m，右岸约 720.00m），缆机起升高度已超出大坝高度，产生了较大富裕，没有必要采用塔架升高主索。因此，本工程的缆机塔架选定为无塔架型。

（3）其他参数

缆机类型、额定起重量和塔架形式选定后，其他参数大致可分为 3 类：

a）布置参数：如跨度、起升高度、主索最大垂度、主索视斜度、轨道长度等；

b）速度参数：如小车移动速度、空罐升/降速度、重罐升/降速度、大车移动速度等；

c）制造参数：如主索直径、起重索直径、牵引索直径、供电电压、总功率等。

通过向德国蒂森·克虏伯集团所属克虏伯采矿物料搬运技术有限公司（向水

口、二滩、三峡、伊泰普等工程提供30t缆机的PWH公司的母公司，以下简称“克虏伯”）、国家电力公司杭州机械设计研究所（以下简称“杭机所”，即目前的杭州国电大力机电工程公司的母公司——国电机械设计研究院）、夹江水工机械厂（以下简称“夹江水工厂”）等国内外相关单位咨询，初步选定了缆机数量为4台。参照二滩工程的经验，初步确定了缆机的速度参数和制造参数后，结合设计院开发的《混凝土大坝施工计算机模拟程序》的计算取值，并向制造厂/商咨询、确认后选定了缆机的速度参数。缆机的主车、副车外形图和轮压图等基础资料，采用克虏伯、杭机所提供的大致相同的30t平移式缆机资料。

缆机的速度参数主要分为3部分：

① 大车（主、副车）行驶速度；

② 小车拽引移动速度；

③ 吊钩提升速度。

其中，小车拽引、吊钩提升速度直接决定着缆机的吊运能力（即每小时吊运混凝土入仓的次数，或称每小时循环数），从而决定其生产率。

目前，30t缆机吊运9m^{3}罐的成功范例为二滩工程。该工程缆机采用的速度参数如下：

小车水平移动速度　7.5/s

空罐升降速度　3.0m/s

重罐下降速度　3.0m/s

重罐上升速度　2.15m/s

采用上述速度，在最大仓面面积1200m^2、浇筑层厚0.50m、混凝土600m^{3}的仓号上，2台缆机同时作业的最高浇筑强度达到252m^3/h，满足了2.5h浇筑1层的要求。本工程大坝的最大仓面面积为1400m^2，如仍采用上述速度，预计安排3台缆机同时作业即可。

因此，将缆机的速度参数作为混凝土垂直运输的参数输入混凝土大坝施工计算机模拟程序与其他因素共同参与模拟、计算。根据模拟计算的结果，采用上述速度参数缆机进行的大坝混凝土浇筑、施工，单台和多台（2～3台）缆机作业的小时浇筑强度、循环次数等，均满足浇筑大仓面等要求，大坝施工的总工期等也满足导流、度汛、发电和完建等工期要求，说明上述速度参数的选择是合适的。

1.2.3.3　主要技术性能参数

在缆机选型阶段，工程设计单位根据以往类似工程经验，推荐溪洛渡缆机的主要技术性能参数如下：

起重量　30t

跨度　737.46m

最大起吊高度　300m

主索最大垂度　5.0%跨度（36.87m）

主索视斜度　1.62°
轨道长度　265m
小车水平移动速度　7.5m/s
空罐升、降速度　3.0m/s
重罐下降速度　3.0m/s
上升速度　2.15m/s
大车移动速度　12m/min
主索直径　106mm
起重索直径　32mm
牵引索直径　32mm
供电电压　6000V
总功率　3010kW

三峡集团根据溪洛渡大坝实际情况，在首台缆机招标采购阶段，经与缆机设计厂家、工程设计单位和施工单位沟通和研究，最终确定的缆机主要性能实际参数如下：

（1）起重量：30t（9m^{3}混凝土吊罐）
（2）跨度（设计/运行）：750/708.68m
（3）满载主索最大垂度：5%跨度
（4）吊钩扬程：330m
（5）缆机浇筑高程范围：332～610m
（6）吊钩运行范围：缆左0+71.6m～缆右0+71.45m
（7）满载起升速度：2.5m/s
（8）满载下降速度：3.5m/s
（9）空载升降速度：3.5m/s
（10）小车运行速度：7.5m/s
（11）整机运行速度：0.3m/s
（12）工作环境温度：－10～45℃

1.3　增设第5台缆机

溪洛渡工程大坝混凝土浇筑636万m^3，钢筋制安9.69万t，金属结构安装9490t。合同进度计划总工期56个月。大坝混凝土浇筑具有规模大、强度高、工期紧、技术要求严等特点，且对混凝土质量、温度控制和外观控制严格；坝址地形、地质条件复杂，施工场地狭小，工程施工受地形、地质、水文和气象等多方面影响因素制约明显。

溪洛渡工程坝基开挖阶段，2008年10月基本完成大面积开挖，10月18日开始

左岸 A 区置换混凝土浇筑。由于建基面验收时发现开挖揭露的坝基地质条件较差，先后进行了四次较大建基面设计变更和左右岸坝基地质缺陷开挖处理方案调整。2009 年 2 月 25 日完成大坝调整建基面开挖，3 月 27 日开浇大坝混凝土，较合同工期相比，开浇时间滞后约 7 个月。河床坝段固结灌浆阶段，设计对大坝基础固结灌浆施工参数进行了多次优化，调整加密了固结灌浆孔，新增了锚筋桩施工，大大增加了河床坝段基础固结灌浆和基础处理工程量。另由于河床坝段基础地质条件差，固结灌浆施工工效低，现场处理仓面裂缝等占用了较长的直线工期，以及后期增加补强固结灌浆孔，以致河床坝段固结灌浆工期严重滞后，从而影响了混凝土的上升进度。据分析，因河床坝段基础固结灌浆工程量（含补强灌浆）增加等导致大坝混凝土浇筑施工进度滞后约 4.5 个月。截至 2009 年 11 月，坝体混凝土施工进度相对于合同工期滞后约 9 个月。

根据目前大坝工程进度滞后的实际情况，2009 年 10 月 28 日溪洛渡工程建设部组织召开了“溪洛渡大坝工程进度调整专题会”，进一步明确了 2013 年蓄水发电目标的工作思路和工作方式，由参建四方组成大坝工程进度调整工作组，集中力量在现场展开工作，进行溪洛渡大坝工程施工总进度计划调整方案研究。

为了确保工程质量，加快施工进度，节省工程投资，在收集、调查、分析国内外已建和在建类似工程有关经验成果的基础上，对施工总进度计划、大坝混凝土浇筑方式进行了多方案分析比较，并结合施工总进度计划调整方案初步进行了调整施工导流方式研究；重点比较分析了“四台缆机 + 左岸低线塔带机”和“同层五台缆机”等大坝混凝土浇筑设备布置施工方案。



图 1.3－1　溪洛渡水电站大坝缆机图

增设第 5 台缆机布置有两种方式，即上下层布置和同层布置。上下层布置对缆机的使用有以下优点：它对下层缆机的干扰小，当下层缆机中间的缆机出现故障时，至少有 3 台在运行，根据初步研究，分层缆机布置是可行的；缺点是上层缆机的土建基础施工工期较长，缆机的投入至少要 16 个月，而且基础施工对大坝施工干扰较大，存在安全隐患。若采用同层布置 5 台缆机方案，虽然对缆机之间的干扰有一定的影响，但是影响不是很大，当中间缆机坏了，同样可以保证有 3 台缆机在运行。另外同层 5 台缆机的间距均为 11m，而双层缆机最小间距在使用管理上一般按 8m 控制，同层缆机布置比双层缆机宽 3m，可以采用平仓机来解决，对混凝土浇筑的影响来说不是很大，只对缆机做辅助工作影响较大。

缆机的安装位置仍然布置在坝轴线下游的坝 0 + 168m 位置，安装期间对大坝的施工干扰很小。根据正常安装，其工期预计在 3 个月以内，可以使缆机正式投入使用，即在 2010 年 8 月 31 日前投产使用。

经三峡集团组织专家咨询会审定，最终同意在同平台增设第 5 台缆机。

第二章　缆机设计

溪洛渡水电站大坝工程总混凝土方量约636万m^3，是我国第一个国产缆机作为主力施工设备的超大型水电站工程。工程共在同平台布置5台缆机，高峰年浇筑超过210万m^3，月高峰浇筑强度超过21万m^3，单台缆机的最大浇筑方量超过150万m^3，如此之大的浇筑强度，是缆机施工前所未有的，是对缆机研制、管理、运行等极大的考验。

溪洛渡30t缆机是专门研制的新一代国产缆机，技术性能要求高、施工强度高，这对缆机设计是个新挑战。参与研制主要人员均是国产第二代20t缆机的骨干人员，又经过10余年的艰苦努力和技术储备，并深入消化、吸收国外先进缆机的优点，通过新的电子、信息技术和计算分析手段，对缆机关键技术进行了大量分析计算和测试、试验，确保所设计的设备性能优良稳定、结构安全可靠、使用维护方便。

溪洛渡30t缆机为无塔架平移式，采用了诸多新技术和技术创新，如自行式承马、滚珠丝杆排绳系统、直流传动谐波处理技术、自动稳钩、无线遥控、自动防碰撞安全管理、最优化上料起升程序管理等，所采用的配套件为当前国际先进的主流产品。本节将对缆机的设计依据、工作原理等进行描述和总结。

2.1　设计依据、用途、使用范围

本缆索起重机是为溪洛渡水电站工程施工专门设计，用于大坝混凝土浇筑、设备材料吊运和金属结构吊装等作业。缆机的设计条件按合同书、询价文件等有关要求及国内外的起重机设计规范进行。

使用地点和位置：金沙江溪洛渡水电站工程。

使用范围：用于混凝土浇筑时配容积9m^3混凝土吊罐，负荷总重30t；用于吊装金属结构时负荷总重30t。并具备两台缆机抬吊功能，抬吊最大件（最大负荷）为60t（包含抬吊梁重量）。

2.2 设备型号和功能

设备型号：QLP30t/750m 无塔架平移式缆索起重机。

功能描述：缆机具有大车运行、吊钩升降、小车运行三个功能，并且具有小车运行和吊钩升降的联动功能。工地共设五台缆机，能实现相邻两台的联动操作。

2.3 设备主要技术参数

表 2.3-1 QLP30t/750m 无塔架平移式缆机主要技术参数

序号	项目名称		单位	参数值	备注
1	型式			单平台平移式无塔架缆机	
2	台数		台	5	
3	工作级别			F. E. M. A7	
4	起重量		t	30	
5	跨度（设计/实用）		m	750/708.68	
6	吊钩扬程		m	330	
7	风压	工作状态计算风压	N/m^2	250	
		非工作状态计算风压		700	
8	满载时承重索最大垂度		%	5.0% 跨度	
9	左岸轨道长		m	262.00	
10	右岸轨道长		m	262.00	
11	左岸主索铰点高程		m	700.0	
12	右岸主索铰点高程		m	720.0	
13	缆机浇筑高程范围		m	332.0～610.0	
14	小车运行速度		m/s	7.5	
15	满载起升速度		m/s	2.5	
16	满载下降速度		m/s	3.5	
17	空载升降速度		m/s	3.5	
18	大车运行速度		m/s	0.3	
19	两台缆机靠近时承重索间最小距离		m	11	
20	混凝土取料点距右塔中心距离		m	71	
21	设备总重量		t	340	

2.4　设计说明

2.4.1　概述

溪洛渡水电站共布置5台平移式无塔架缆索起重机，5台缆机共轨。缆机的额定起重量为30t（配9m^{3}混凝土吊罐），主、副车前轨水平间距为710.58m。主车布置在右岸，主索铰点高程约720.0m，副车布置在左岸，主索铰点高程约700.0m，轨道长度250m。

缆机额定起重量30t，实际跨度708.68m，扬程330m，运行距离约250m。最大升降速度为3.5m/s，小车满载横移速度7.5m/s，大车运行速度0.3m/s，主要配合浇筑9方混凝土系统使用。

缆机包括右岸主车、左岸副车、索道系统、承马、小车与吊钩、电气设备、司机室等，整机功率容量约1800kW。

缆机的主、副车均为无塔低架状态。通过合理布置铰点的位置，保证主、副车的稳定，且主、副车不设压重。

缆机的主车包括：主车架、起升机构、牵引机构、主车运行机构、立柱、机房、导向滑轮组、液压夹轨器、电缆卷筒、电气设备以及安全装置等。在机房内设有一台5t电动葫芦，用于各机构的检修作业。副车包括：副车架、副车运行机构、主索调整机构、液压夹轨器、电缆卷筒以及安全装置等。

缆机由司机室集中操作，司机室可根据现场位置布置在主车侧视野开阔、干扰较少的位置。采用单主索单小车、2倍率起升机构和以摩擦卷筒驱动的牵引机构。

采用自行式承马，其特点是运行安全可靠、可以自动校正位置偏差。

主索调整采用钢丝绳及滑轮组的方法，用卷扬机驱动，其优点为操作简单方便，调整范围大，并可作为主索初始安装之用。相对其他方法来说，可降低缆机主索安装及垂度调整的难度，主索调整完成后，工作载荷由拉板承载，提高了主索系统的安全性和可靠性。

缆机的主要机电配套件均采用国际知名品牌产品，如主索和起升、牵引工作绳，起升、牵引机构的电动机和制动器，减速电机，排绳机构的滚珠丝杆，主要轴承，数字式直流调速装置和交流变频调速装置，PLC装置，行程开关，低压电气元件，变压器，高压开关柜等。

采用进口优质面接触钢丝绳作为起升机构和牵引机构的工作绳，其使用寿命高于同等强度普通钢丝绳，同时降低对尼龙滑轮的磨损。

起升、牵引和大车运行机构均采用常闭盘式工作制动器，起升机构还设置有常闭盘式安全制动器。

滑轮、小车车轮、承马车轮及托辊采用耐磨性良好的工程塑料制作，在增加零

件寿命的同时减小了钢丝绳的磨损。

缆机的电控系统主要采用德国 SIEMENS 产品，起升和牵引机构采用直流全数字调速，可实现双闭环控制，控制精度高，调速性能好，大车行走机构采用交流变频调速，调速平稳，起制动无冲击。

电控系统核心为 SIEMENS 公司可编程控制器（PLC），采用模块化设计，具有先进、开放的体系结构，便于日后根据实际情况进行适当扩充，系统响应速度快，监控功能完善，有较高的控制精度和智能化程度。司机室和主车、副车之间采用无线或有线通讯遥控操作系统，主车和副车之间采用无线通讯遥控操作系统。有线通讯主要基于现场总线系统，无线通讯采用美国 MDS 无线数据通讯公司产的数传电台，实现点对点通讯，该电台在稳定性、可靠性、抗干扰性、传输速率上远远超过模拟电台和普通的数传电台。缆机各机构的监控、实时显示和设定均可通过司机室的工控机实现，便于随时监控缆机的运行状态。

缆机上具有下列安全保护设施：过载、超速、吊钩极限位、小车极限位、大车极限位、主副车偏移、超风速、相邻缆机间距限位保护装置，防雷、防风装置，缓冲、警报装置，连锁保护装置等。在机房和司机室设置有全机紧急停机按钮，供危急时使用。

缆机主车上机电源为 ~10kV ±10%/50Hz，功率约 1800kW，由电缆卷筒供电，供电点在轨道中部；副车的上机电源为 ~380V ±10%/50Hz，功率约 50kW，由电缆卷筒供电，供电点在轨道端部。司机室电源为 ~380V ±10%/50Hz，功率约 15kW。另外在主、副车均设有通讯控制电缆上机用的电缆卷筒，通讯中转箱设在轨道的端部。

2.4.2 总图及各主要部分结构图

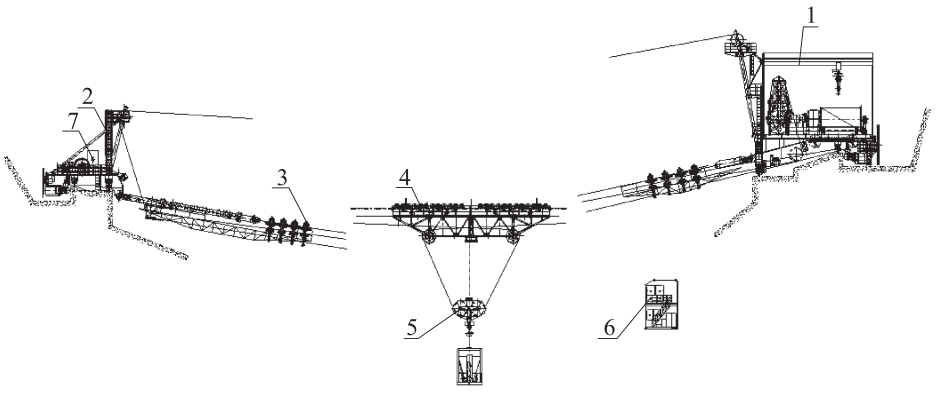


图 2.4－1 溪洛渡缆机总图

1. 主车；2. 副车；3. 索道系统；4. 小车；5. 吊钩；6. 司机室；7. 电气系统

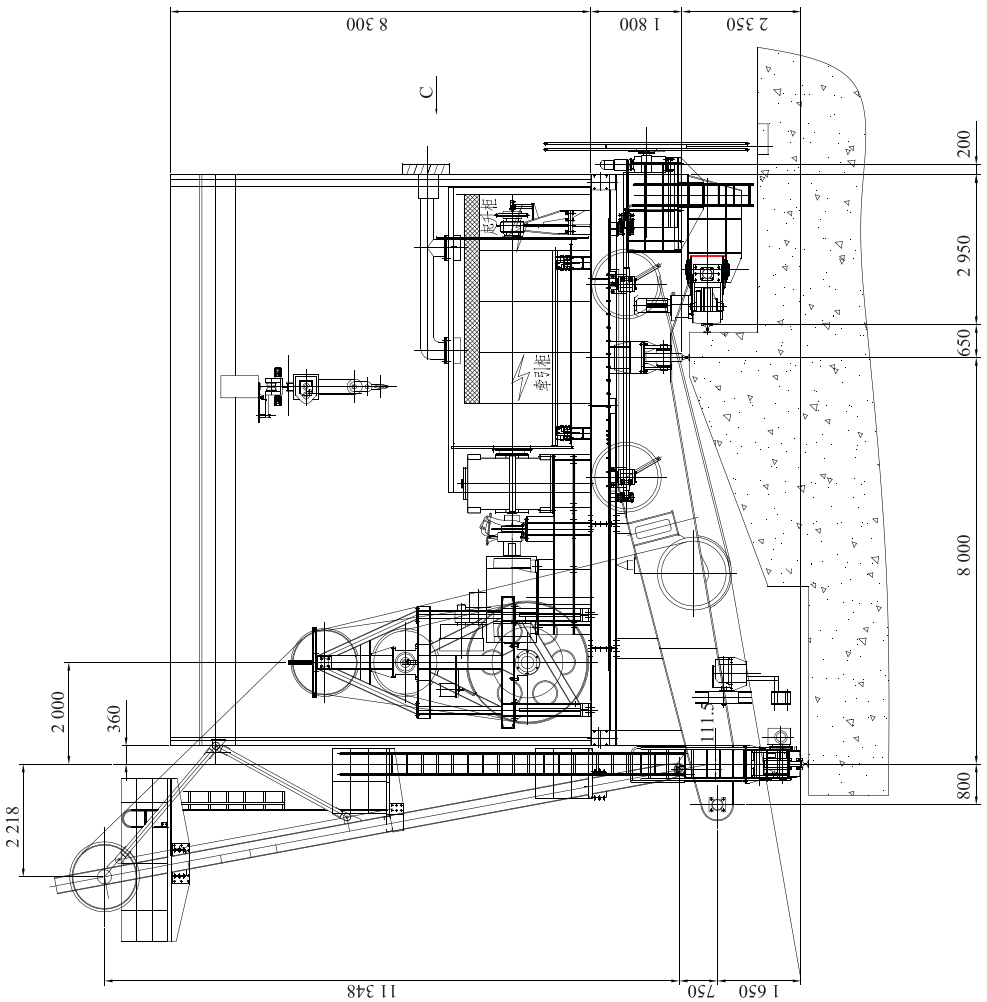


图2.4-2　缆机主车结构图

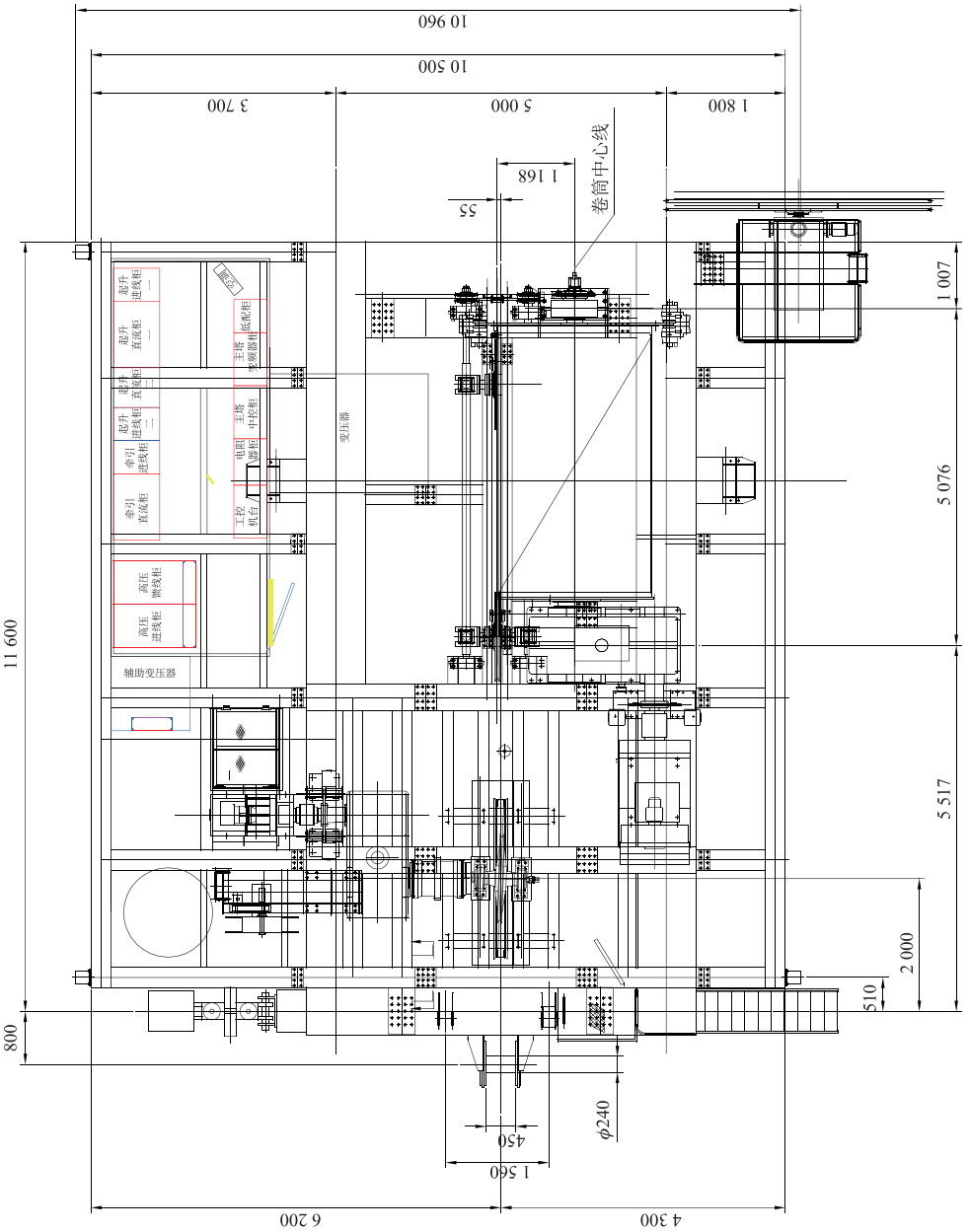
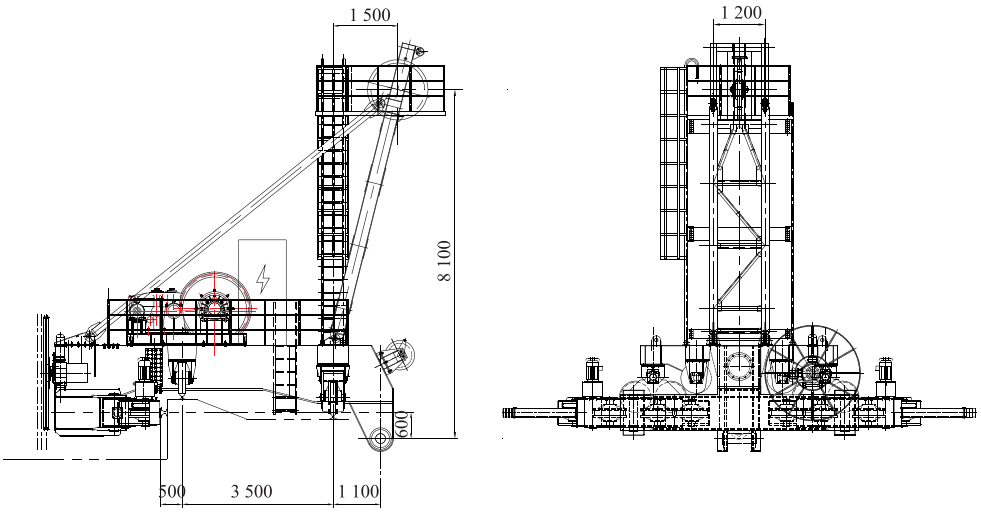

10 960
10 500
3 700
5 000
1 800
卷筒中心线
1 168
55
11 600
800
1 007
5 076
5 517
2 000
510
φ240
450
1 560
6 200
4 300
起升进线柜
起升直流柜
起升直流柜
起升进线柜
牵引进线柜
牵引直流柜
高压进线柜
高压测线柜
辅助变压器
工控机台
电阻箱柜
主塔中控柜
主塔整流器柜
低配柜
变压器

图2.4-2 （续图）



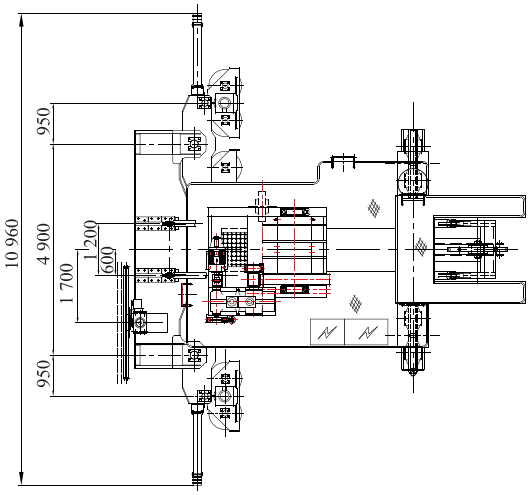


图 2.4－3　缆机副车结构图

2.4.3　系统工作原理

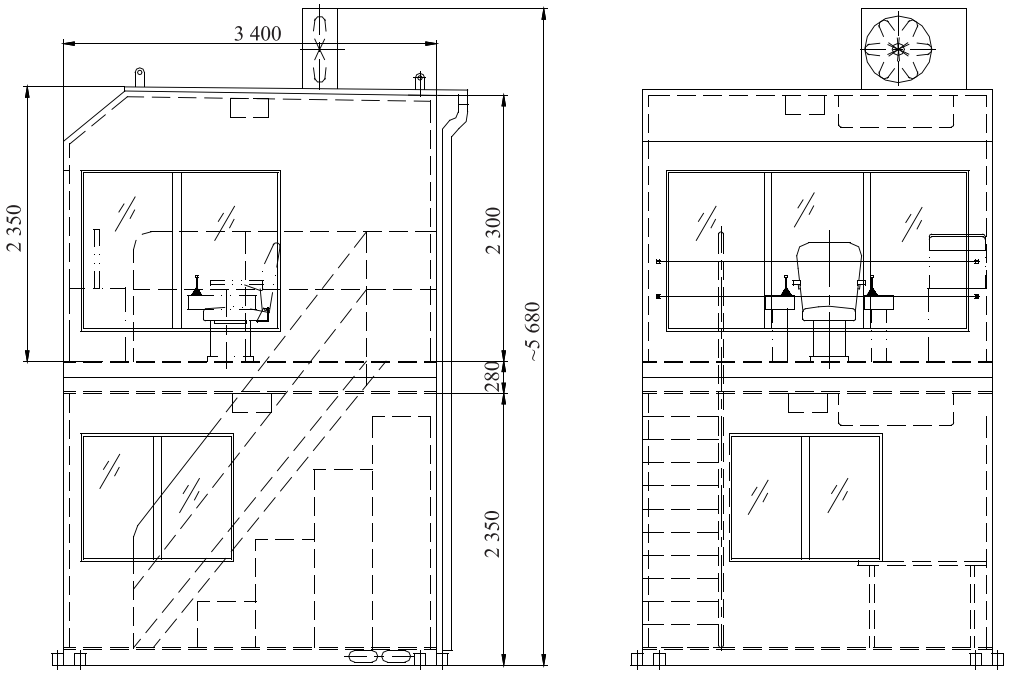
2.4.3.1　吊钩升降

吊钩升降通过起升机构来实现。将起升绳一端固定于副车拉板上，通过小车起升滑轮、吊钩滑轮、小车起升滑轮到主车架的导向滑轮，之后通过排绳机构固定于起升机构的卷筒上，通过起升机构的转动实现吊钩的起升与下降。

2.4.3.2　小车运行

小车运行通过牵引机构来实现。将牵引绳的一端固定于小车左端，通过副车拉

板处的滑轮到副车天轮再至主车天轮，之后进入牵引机构驱动卷筒，然后从牵引机构出绳通过主车架导向滑轮，最后固定于小车的右端，形成一个封闭的绳系。当牵引机构运转时，小车即可实现向主车侧或向副车侧运行。



未经中国三峡出版传媒有限公司的书面许可，任何媒体及个人不得转载、摘编该节选内容。违者将被依法追究其侵权责任。
如有需要请购买原版书。
三峡小微　中国三峡出版传媒　中国三峡出版社