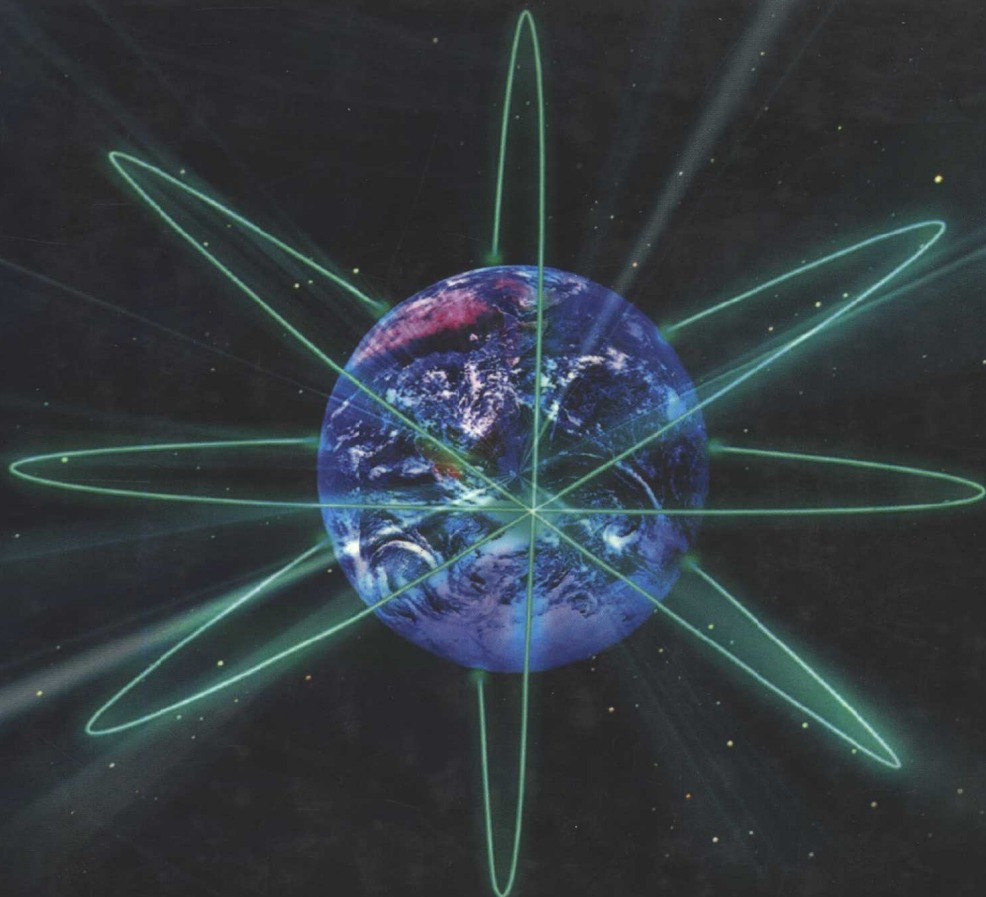




朱光亚 主编
周光召

中国科学技术文库

PAPERS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

科学技术文献出版社

中国科学技术文库

(院士卷)

4

主 编：朱光亚 周光召

副主编：(以姓氏笔划为序)

王寿云 左铁镛 刘昭东 何仁甫

张玉台 林 泉 姜均露 郭传杰

袁海波 葛能全



科学技术文献出版社

院 士 卷

(中国工程院)

- 机械与运载工程学部
- 信息与电子工程学部
- 化工、冶金与材料工程学部
- 能源与矿业工程学部
- 土木、水利与建筑工程学部
- 农业、轻纺与环境工程学部
- 医学卫生工程学部

目 录

4

中国工程院

机械与运载工程学部

500 kV 变压器新绝缘技术的开发	朱英浩(3685)
VLT 的光干涉仪合成望远镜的光学和机械方案设计	朱能鸿(3688)
中国斯贝 MK202 发动机高空性能、功能和再点火考核试验	刘大响(3718)
冲压发动机在中国的发展	刘兴洲(3724)
飞行器薄壳结构焊接变形控制与焊接力学的发展	关 桥(3730)
长征二号丁运载火箭	孙敬良(3736)
高速水动力学的自由表面问题	何友声 叶取源 刘 桦(3740)
电熔 $Al_2O_3-SiO_2$ 陶瓷材料型壳中玻璃相变化规律的研究	周万城 张立同(3746)
“向阳红 10”号远洋调查船总体设计	张炳炎(3752)
结构裂纹形成寿命和裂纹扩展寿命的类比计算法	张福泽(3759)
浮式水田拖拉机驱动叶轮的研究	陈秉聪 赵玉璠(3770)
管路内气液两相流特性及其工程应用(节选)	林宗虎(3777)
中国表面工程的发展	徐滨士 马世宁 刘家凌 刘世参 朱有利 时小军(3784)
整圈连接叶片组的自由和受迫振动	黄文虎(3790)
军用飞机的安全性设计	屠基达(3799)
翼面结构/颤振主动控制律一体化设计	高 萍 管 德(3804)
对水面舰艇发展的设想	潘镜芙(3809)
关于机械手的间接位置问题的一种解法	张启先(3813)

信息与电子工程学部

最小交叉极化波纹喇叭	叶尚福(3821)
北京谱仪	叶铭汉等 190 人(3826)
数字复接技术(节选)	孙 玉(3839)
新型体系结构概念——虚拟寄存器与并行的指令处理部件	李三立 廖 恒(3844)
硅光电二极管自校准技术的理论分析与实验结果	李同保(3855)
曙光一号并行计算机	李国杰 陈鸿安 樊建平 刘金水(3858)
实验性 6 763 个印刷体汉字识别系统	吴佑寿 丁晓青 朱夏宁 吴中权(3864)
科技成果为何不能及时转化为商品生产的探讨	吴祖垲(3869)
灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用(节选)	汪成为 高 文 王行仁(3872)
用微波雷达对多目标成像初探	张直中(3882)
N^+ 型重掺杂硅快速氧化新方法	徐 强 徐元森 龙 伟(3894)
风云一号气象卫星甚高分辨率扫描辐射计	樊惠兴(3899)
光学系统时间畸变和色时间滞后的研究	薛鸣球 黄玉金 赵葆常 姚彩蓉 郭美英 沙维敏 赵积来(3903)
雷达试飞方法的研究	王小谟(3905)
关于电话网络研究的若干问题(节选)	朱高峰(3912)

模式识别中的文法推断方法	胡启恒(3923)
论单位制的结构及变换	张钟华(3935)
发展我国数据中继卫星系统技术途径的研究	张履谦(3938)
高频自适应瞬间通信体制的原理与发展展望	陆建勋(3943)
汉语书面语的分词问题——一个有关全民的信息化问题	陈力为(3947)
相控阵天线的“盲点”问题	陈敬熊(3949)
高功率多程放大器	范滇元 余文炎(3959)
数字光纤通信系统的估算	赵梓森(3964)
核武器战术技术性能	俞大光(3973)
一台手写文字识别机	倪光南 丁家福 高仲操 刘金铎(3974)
18 GHz 低噪声 GaAsMESFET	梁春广 陈孝泽 杨汉朋 王淑君 曹余录(3982)

化工、冶金与材料工程学部

浮选剂分子亲水-疏水平衡	王淀佐(3989)
三烷基氧膦萃取	朱永曙(3992)
中国丙烯腈技术的发展	关兴亚(3999)
从应用基础研究到新型加氢脱氮催化剂的开发	李大东 石亚华(4003)
环境友好的基本有机原料生产技术	阎恩泽(4014)
某些生物调控物质的化学研究	李正名(4016)
大力推广稀土农用 促进农林牧业增产	李东英(4024)
旋风分离技术的研究与开发	时铭显 吴小林(4029)
高强、特高强度水泥基材料的研究与应用	吴中伟(4038)
铝电解的界面现象	邱竹贤(4042)
包钢选矿厂一、三系列弱磁-强磁-浮选综合回收铁、稀土新工艺工业改造试生产报告	余永富(4050)
80年代卤化银照相乳剂制备技术的发展趋向	邹竞(4057)
论重质油生产气体烯烃几种技术的特点及前景	汪燮卿 蒋福康(4061)
KNbO ₃ :Rb 晶体生长及其快速光折变响应特性	沈德忠 马笑衍 陈炯尧 张宇衡 C. Scott 叶伯琦(4068)
面临国际市场挑战的我国钢铁工业	张寿荣(4071)
各种氧化法分离二氧化铈评述	张国成(4085)
筛分和重选理论及工艺的新进展	陈清如(4091)
对我国化学工业应进行全行业石油化工技术的改造	林华(4097)
碳化过程吸收动力学的研究	周光耀(4099)
快速凝固技术和材料	胡壮麒 周克和(4104)
大型支组件力学行为研究	钟掘 黄辉(4115)
发展重油加工提高轻质产品收率	侯笑生(4124)
试论我国乙烯工业的发展	袁晴棠(4129)
反应器工程:科学、技术与艺术	袁渭康 郭慕孙(4133)
车用汽油质量的发展趋势及改善途径	徐承恩(4138)
高强度石油钻杆生产中几个技术问题的探讨和质量控制	殷国茂(4143)
钢厂模式的实质和工程逻辑	殷瑞钰(4155)
复合膜功能的研究	高从增(4158)
关于碱-集料反应的几个理论问题	唐明述(4161)
乳化炸药(节选)	汪旭光(4167)

能源与矿业工程学部

采场出矿运矿 ZCYS 连续作业机组	古德生 余佑林 罗典平 许伦武(4177)
定常爆轰数值模拟中人为粘性与人为反应率的选取	朱建士 魏振典 周德忠(4180)
论大陆科学钻探的目的及其未来	刘广志(4185)

中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制	汤中立(4188)
我国石油地球物理勘探今后的发展方向	李庆忠(4193)
国家同步辐射光源	何多慧 金玉明 张武 裴元吉 姚志元 张允武(4198)
双频道激电法研究	何继善(4203)
水工建筑物(节选)	张光斗(4210)
中国厚煤层综采技术现状和发展方向	范维唐 蔡 站(4215)
反应堆时空动力学的一个新方程	阮可强 赵荣安(4222)
多功能中子照射器(MNI)	周永茂 李慎之(4228)
改善铝合金耐腐蚀性能的问题	周邦新(4233)
链条抽油机的试验和研究	顾心悻(4238)
长壁工作面开采上覆岩层活动规律及其应用	钱鸣高(4245)
煤粉火焰稳定原理——“三高区”原理的实验验证和数值模拟分析 徐旭常 施学贵 陈昌和 王云山 金茂庐(4252)	
表征煤自然发火阶段的灵敏气体指标及其应用	戚颖敏(4256)
电力系统动态频率的定义及“虚拟转子法”频率测量研究	韩英铎 王仲鸿 闵 勇 何学农(4259)
工程地质力学研究的进展和方向	王思敬(4266)

土木、水利与建筑工程学部

工程结构的模糊随机分析与设计	王光远 欧进萍 谭东耀(4275)
北京地铁浅埋暗挖法施工	王梦恕(4281)
葛洲坝水利枢纽——三峡的实战准备工程	文伏波(4289)
变分原理和有限元法的新近进展	龙取球(4294)
上海高层建筑及其施工技术	叶可明(4300)
上海电视塔结构设计	江欢成 汪大绥(4305)
南水定向爆破筑坝专题总结	冯淑瑜(4310)
WDM94 360 阶地球重力场模型研究	宁津生 李建成 晁定波 管泽霖(4328)
拱坝坝形优化的数学模型	朱伯芳 贾金生 饶 斌 厉易生(4334)
积极的城市建筑	关肇邨(4341)
水与废水技术研究(节选)	李圭白 马 军(4345)
大力加强水电站大坝安全管理工作	李鹤鼎(4352)
地爆低空爆条件下的坑道破坏概率	杨秀敏 胡国骏(4355)
论半刚性路面的结构设计	沙庆林(4363)
和而不同的寻求	张锦秋(4367)
多层坝基的应力和变形	陈明致(4371)
重大工程的大型抗震试验研究	陈厚群(4375)
双壁钢围堰大直径钻孔基础	陈 新等(4383)
塘沽软土路基试验	周 镜 杨灿文 谢 瑛 王建国 刘芝馨(4396)
皂河第一抽水站枢纽布置和泵房设计	周君亮(4401)
桥梁抖振反应谱的实用计算方法	项海帆 陈 伟 顾 明(4406)
粤中庭园水石景及其构图艺术	莫伯治(4410)
冲击波作用下浅埋结构复土层中的卸荷波	钱七虎 陈震元(4414)
高层住宅建筑中的短肢剪力墙结构体系	容柏生(4422)
软土地基上房屋长高比对刚度的影响	黄熙龄(4427)
葛洲坝水利枢纽通航建筑物设计	梁应辰(4432)
关于明代宫殿坛庙等大建筑群总体规划手法的初步探讨	傅熹年(4439)
三峡水库变动回水区泥沙淤积对航运的影响	谢鉴衡 李义天(4457)
论文克尔地基梁的完整常数	潘家铮(4462)
脆性岩石破坏后区特性及脆-塑性模型	葛修润(4471)
关于弹性接触问题的分析方法	崔俊芝 李光宗 梁复刚 史光洁 李国润(4481)

- 运用时空效应规律控制软土深基坑变形 刘建航(4491)
 论工程抗震设防标准 谢礼立 张晓志 周雍年(4498)

农业、轻纺与环境工程学部

- 节水农业的研究与实施 山 仑(4513)
 野生动物管理学(节选) 马建章(4516)
 ABT 成果转化系统工程的研究 王 涛(4522)
 森林与生物多样性 王明麻(4533)
 中国农业现代化建设之展望——现代集约持续农业 卢良恕(4536)
 草原的综合顺序分类法及其草原发生学意义 任继周 胡自治 牟新待 张普金(4543)
 牛体外受精技术的研究进展 旭日干(4552)
 三角鲂(*Megalobrama terminalis*)精子与青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)卵子的受精细胞学研究
 刘 筠 陈淑群 王羲铤(4558)
 营养元素循环和农业的持续发展 刘更另(4566)
 试论老、少、边、穷地区的稳定温饱——是我国可持续发展的基础和特点 关君蔚(4572)
 无机高分子絮凝剂的基础研究 汤鸿霄(4576)
 中国国家气象中心中期数值天气预报业务系统 李泽椿(4583)
 中国森林可持续发展问题探讨 沈国舫(4590)
 慢病毒——马传染性贫血病的免疫研究 沈荣显(4595)
 低压气流拉伸热轧粘合聚丙烯纺粘非织造布的生产工艺研究 邵铭芳 程 厚(4599)
 对虾(*Penaeus orientalis* Kishinouye)幼体发育形态 赵法箴(4606)
 助凝剂的研究与应用 段镇基(4614)
 杂交水稻育种的战略 袁隆平(4620)
 HIV-1 病毒蛋白 U 基因对 HIV-1 Env 蛋白合成与免疫原性的影响 殷 震 金宁一(4623)
 作物育种的战略性决策——水稻生态育种 黄耀祥(4626)
 国外棉纺织技术发展趋势和我国棉纺织工业的技术改造 梅自强(4631)
 甘蓝型油菜波里马雄性不育系的选育与研究 傅廷栋 杨小牛 杨光圣(4637)
 植保系统工程导论(节选) 曾士迈(4642)
 甘蓝杂种优势利用和自交不亲和系选育的几个问题 方智远 孙培田 刘玉梅(4646)
 我国面向 21 世纪的农业技术对策及其工程技术 曾德超(4654)

医学卫生工程学部

- 系列生物激波管的研制与应用
 王正国 孙立英 杨志煊 冷华光 俞鸿儒 谷家华 李振华 李仲发(4663)
 脑干肿物 60 例外科治疗 王忠诚 刘阿力 赵继宗 张俊廷(4667)
 肿瘤的诱导分化和凋亡疗法 王振义(4670)
 GRH 调节的 AC-cAMP 系统对垂体生长激素瘤发病机制中的影响
 尹娟娟 邓洁英 史轶繁 苏长保(4674)
 110 例小儿急性淋巴细胞性白血病治疗结果
 胡亚美 杨士元 诸美瞻 隋采芹 李学勤 刘世颖(4678)
 大动脉炎-244 例血管造影诊断的综合分析 刘玉清 杜嘉会(4683)
 中药五味子的药理研究与治慢性肝炎新药联苯双酯的发现 刘耕陶(4687)
 β -珠蛋白基因簇 5' 高敏位点 2 的不同片段在转基因鼠中的增强子活性分析
 刘德培 Judy C. Chang Paolo Moi Wen Liu Y. W. Kan. Peter T. Curtin(4696)
 小肝癌的研究——临床与分子生物学方面 汤钊猷(4700)
 盐霉素生物合成的研究 II. 短链脂肪酸在盐霉素生物合成中作用机制的初步探讨
 陈代杰 周光邨 许文思(4704)
 A 环失碳甾体化合物的合成及其抗生育活性 李瑞麟 程起陆 李育舜(4710)
 中国中西医结合的发展概况与展望 吴咸中(4718)

氧及子体辐射生物危害的研究	吴德昌(4722)
慢性氯丙烯中毒——流行病学、临床、毒理及神经病理研究	何凤生 吕伯钦 张寿林 董树卫 虞爱如 王博英(4728)
根据恶性滋养细胞肿瘤的发展过程提出一种临床分期方法	宋鸿利 吴葆楨 王元萼 唐敏一 杨秀玉(4735)
同种异体小肠移植	黎介寿 李 宁 赵允召 李幼生(4741)
术中微波原位加热与辅助化疗治疗恶性骨肿瘤的随诊报告	卢世璧 王继芳 胡永成(4744)
颅面外科 17 年回顾与展望	张涤生 冯胜之 穆雄铮 丁美修(4747)
用有限元素法对敞开边界二维电场问题的研究	陈亚珠(4750)
人组织型纤溶酶原激活剂(t-PA)突变体 FrGGI 的构建、表达及特性分析	刘士辉 黄培堂 徐秀英 朱恒奇 黄翠芬(4756)
维生素 B ₆ 噻唑法合成新工艺	周后元 方资婷 叶鼎彝 杨基懋 王其灼(4759)
毛花洋地黄植物与培养细胞之间的羟化能力的关系	胡之璧 顾者珉 黄炼林 章国瑛(4763)
口腔粘帖缓释膜剂的研究	侯惠民 吴志明 贺 芬 熊全美(4766)
耳硬化症镞骨底板发展过程中软骨化的意义	姜泗长 易自翔(4772)
在暴发流行的成人无菌性腹泻中发现的新轮状病毒	洪 涛 王长安 陈广牧 方肇寅
姚恒礼 周静仪 赵同兴 叶徽薇 刘继清 颜世信 杨荣莹 邓水生 梁晓光(4776)	
健侧颈神经根移位术治疗臂丛根性撕脱伤	顾玉东 张高孟 陈德松 严什康 成放敏 张丽银 蔡佩琴 沈丽英(4780)
病毒性乙型肝炎和原发性肝癌(PHC)	顾健人(4782)
埃尔托型霍乱弧菌流行株和非流行株两类菌株的研究及应用	高守一(4789)
异喹啉类化合物的合成及心血管活性研究	彭司勋 华维一 黄文龙 黄枕亚 蔡惠民(4795)
急性热病临床研究的初步设想	董建华(4800)
创伤战伤病理学(节选)	程天民(4804)
应用 PCR 扩增牛 SRY 序列进行奶牛胚胎性别鉴定	曾溢滔 张美兰 陈美珏 周霞娣
黄 英 任兆瑞 黄淑慎 胡明信 吴学清 高建明 张 斌 徐慧如(4809)	
吸入性损伤后静脉输液对肺水肿发生发展的影响	黎 莹 杨宗城 姜坤元 陈发明
练维坤 吴振忠 尤忠义 李进年 魏钜菊 肖利明 秦孝健(4812)	
中国的终末期肾病	黎磊石(4817)
阿片类成瘾与戒毒	秦伯益(4824)
老年人多器官功能衰竭的临床特征	王士雯 范 利(4827)
Efficient Expression of Unfused Human α D-Interferon in <i>Escherichia coli</i> Using Overlapping Termination and Initiation Codons(TGATG)in Its Signal Sequence	Hou Yunte(侯云德), Lin Jianxin, Zhou Jianhua, Cui Hong(4831)
INVESTIGATING THE REACTION COURSE OF N-METHYLOLATION REACTION OF METHYL CARBAMATE BY NMR	Zhou Xiang(周 翔), Kai-Yin Chung, James H. Wall and Sidney L. Vail(4837)
Syngeneic Bone Marrow Transplantation for Treatment of Aplastic Anaemia; Report of A Case and Review of the Literature	Dao-Pei LU(陆道培)(4845)
Is Asymptomatic Bronchial Hyperresponsiveness an Indication of Potential Asthma?	Nan Shan Zhong(钟南山), F. C. C. P.; Rong Chang Chen; Ming Ou Yang; Zhen Ying Wu; Jin Ping Zheng; and Yan Fen Li(4850)
TEN-YEAR EXPERIENCE WITH PERICARDIAL XENOGRAFT VALVES	Zhu-Xiaodong(朱晓东), Guo-Jiaqiang, Chen-Yingchun, Tang-Chengjun, Xue-Ganxing(4857)
著者索引	(4863)

机械与运载工程学部



500 kV 变压器新绝缘技术的开发

朱英浩

1 开展新绝缘技术应达到的目标

1.1 电气特性 作用在 500 kV 变压器上的电压有:长期工作电压、运行中出现的各种过电压、出厂试验与型式试验中施加于变压器上的模拟运行中过电压的各种试验电压。

绝缘技术开发应满足下列电压的作用以达到可靠地运行:

- (1)长期工作电压——在系统最高工作电压 $550/\sqrt{3}=318$ kV 的长期作用下应无局部放电。
- (2)感应试验电压——线端对地感应试验电压为 680 kV,相间为 980 kV。
- (3)操作波试验电压——线端对地操作波试验电压为 1 240 kV,相间为 1 860 kV。
- (4)全波与截波冲击试验电压——全波冲击试验电压为 1 550 kV,截波冲击试验电压为 1 550~1 650 kV。根据以氧化锌避雷器作绝缘配合时,全波冲击试验电压可降到 1 425 kV。
- (5)局部放电试验电压——单相变压器的试验电压为 1.5 倍最高相电压试 35 min, $\sqrt{3}$ 倍最高相电压试 5 s。三相变压器相间承受 2.25 倍最高相电压试 35 min, $1.5\sqrt{3}$ 倍最高相电压试 5 s。局部放电量要小于 500 pC。

在超高压变压器中,长期工作电压与工频感应试验电压之比值是随电压等级的提高而增大。故长期工作电压在超高压变压器的绝缘结构设计时会起决定的作用。因此,按长期工作电压下无局部放电来选取场强是绝缘结构设计的原则。另外,为避免工频过电压局部放电由长期工作电压持续发展,一方面是防止工频过电压时不产生局部放电;另一方面,长期工作电压下许用场强应控制在工频过电压时场强的 57% 以下,以免工频过电压下局部放电由长期工作电压持续下去。

1.2 机械特性 在绝缘纸板加工、有匝绝缘导线的换位、压紧线圈、筒式或层式线圈在层绝缘上绕线、线圈中流过短路电流、变压器的起吊与运输等过程,在绝缘材料上都要承受机械力。因此,纸或纸板应有一定的承受机械强度的能力。

1.3 热特性 正常运行时,铁芯因激磁会发热,负载电流在导线中产生的电阻损耗,由于负载电流产生的漏磁或铁芯过激磁时溢出磁路的主磁通会在线圈中产生涡流损耗与循环电流损耗,并在结构件中产生附加损耗,这些损耗都会转换成热量。在这些地方使用的绝缘件应有一定的热承受能力。超过绝缘材料热承受能力时,会使绝缘材料老化并裂解。

2 合理使用绝缘材料及相关工艺

2.1 皱纹绝缘纸 目前已有多种皱纹绝缘纸可供选用,如 15%~300% 引伸率的单向皱纹纸、15%~50% 引伸率的压光皱纹纸、双向皱纹纸、双层底纸单向皱纹纸和上胶皱纹纸等。底纸厚为 0.045~0.12 mm,底纸起皱后压光,压光后厚度为底纸厚度的一倍左右。

匝绝缘宜选用压光微皱纸。在电气上,底纸越薄,电气强度越高。在机械上,微皱可满足裸导线包纸、导线换位、绕线时通过拉线夹等过程产生的机械力。根据实践,用 0.045 mm 底纸的微皱纸既可满足电气上、又可满足机械上的要求。在热性能上,可承受短路时瞬间高温和热膨胀时的引伸力;由于包扎时较紧,不致因匝绝缘鼓起而堵塞油道,影响散热。当选用热改性微皱纸,还可具有较好的抗老化能力,可在较高温度下运行。

微皱纸也可由不同颜色底纸加工,将最外二层匝绝缘纸选用两种颜色的微皱纸。这样,可较方便地检验匝绝缘有无损坏或缺层。

在层式线圈中,皱纹纸还可用作层绝缘与静电屏的外包绝缘。上胶皱纹纸还可做成角环引线绝缘,尤其柔软弯曲部位的绝缘也可采用皱纹纸,底纸厚度可采用 0.12 mm。这样,可使引线设计具有更大的灵活性。设计时,在皱纹纸伸长后存在的油膜中,要保持承受规定限值的场强,以获得最佳效果,而皱纹纸间形成的小油膜具有较高的冲击强度。

为屏蔽尖角,还可采用金属皱纹纸。这种纸上复合一层金属薄膜。

2.2 绝缘纸板 油浸式变压器中都采用绝缘纸板与变压器油组成的混合绝缘。纸板将油隙分割成较小体积

以提高油隙的许用场强。由于油的介电常数比纸板介电常数小,油隙区承受较高的场强,油隙体积减小后,许用场强可增加。纸板也用作线段、引线等的支撑件,或形成冷却油道。

从电气上,为提高整个绝缘系统的介电强度,油纸隔板式混合绝缘应遵循下列原则:

(1)绝缘纸板在线圈间将油隙分割成小油隙,可使油的许用场强增加。同时,在线圈中部是均匀电场,沿纸板表面没有爬电场强分量。但是,在线圈端部,由于等位面不再与纸板平行,因此在纸板表面有爬电场强分量,而表面爬电又是固体绝缘材料的弱点,故在高压变压器的端绝缘中常放置尽量符合等位面形状的角环以增加爬电距离。

为使端部角环形状尽量与等位面符合,可选用可成型纸板在湿态下成型。可成型纸板的密度小于 1 g/cm^3 ,一般不作支撑件。也可用上胶皱纹纸在热态下成型。由于超高压变压器的线圈直径较大,一般都做成花瓣式的正、反角环,两个花瓣角环间为重叠式交接。这样,可使花瓣角环适应一定的直径范围,使设计有较大的灵活性。

端部加角环还可使静电板附近的油隙许用场强提高。

(2)端部绝缘的布置应使起始放电电压越高越好。在场强较高的区域,应覆盖用绝缘纸板做成的隔板,在角环与纸筒间放上成型绝缘件以形成无楔形油角的端绝缘结构。这样,可获得较高的起始放电电压。纸板结构件,最好布置在端绝缘的高场强区。

并式线段也可绕在绝缘纸上,在匝间布置轴向油道以提高内径侧起始放电电压。当并式线段上布置静电板时,如为提高起始放电电压而在静电板上部覆盖成型绝缘件后,应注意端部第一与第二段线段的起始放电电压。对超高压变压器而言,可在第一段上覆盖一小角环以增加起始放电电压。纠结式线圈向内油道承受较高的冲击梯度,一般在向内油道上下两线段内径侧也加小角环以提高许用场强,从而获得紧凑式绝缘结构。

(3)线圈之间靠隔板将油隙体积分割成较多小油隙,一般是使每个油隙都能具有等量的局部放电水平或相同的起始局部放电电压。

当用撑条保持油隙尺寸时,其起始放电许用场强要比用瓦楞纸板保持油隙尺寸时的起始放电许用场强度高40%左右,引线表面用小油隙结构时也有这样效果。

用作隔板的绝缘纸板,应满足机械强度与保持油隙尺寸稳定性的要求,电气上应有较高的承受爬电的能力。也要注意纸板在加工过程中因受潮而产生的变形。

在双线圈变压器中,短路事故时主绝缘结构件是不承受短路机械力的。但在三线圈变压器中,短路事故时会使主绝缘结构件承受短路机械力的。靠近铁芯柱的主绝缘结构件是承受短路机械力的。对承受短路机械力的主绝缘结构中应注意瓦楞纸板的尺寸稳定性。

(4)为缩短线圈套装时间,超高压线圈一般直接绕在用预压厚纸板弯成的纸筒上。为增加承受短路机械力要求,低压线圈也直接绕在厚纸板筒上。

一般由预压厚纸板弯成圆筒形后,将接缝用不影响局部放电的粘合剂粘合而形成纸筒。接合面应为有一定长度的斜接缝粘合面。为保持干燥时厚纸筒尺寸与形状的稳定性的,厚纸筒在粘合成型后要作稳定性处理,然后在厚纸筒上绕线。

(5)超高压变压器中,并式线圈所用垫块的选择与加工工艺的选择,对保证线圈在短路时的稳定性是很重要的。

并式线圈中所用垫块是使线段间有一定的油隙,此油隙既要保证线段间电气上的可靠性,又要保证线段的散热。垫块在机械上是导线在承受短路机械力时的支持点。

垫块的材质,宜选用高密度的预压纸板加工,或选用厚度较准的垫块专用的窄条预压纸板加工。垫块材质应具有较少压缩性和较小塑性变形的性能。为保持垫块尺寸的准确性,在垫块生产过程中要作稳定性处理。另外,在变压器中通过短路电流时,垫块要承受严峻的轴向短路机械力。所以除对垫块本身作稳定性处理外,还要对线圈作等静压干燥处理。线圈套在铁芯柱后还要在线圈上加预压力,目的是使并式线圈中垫块仅能在弹性变形下运行,而不是在塑性变形下运行。

线圈的稳定性处理要满足以下要求:①线圈在套装前应单独干燥,干燥必须在恒静压下或足够的静压下进行;②线圈套装在一起后再进行稳定性处理;③线圈浸油后再进行一次压紧,线圈出厂前要加一定的预压力。

由于线圈干燥是在加有预定压力下进行的,以后又在真空下浸油,这就会使垫块能具有弹性特性,并形成可靠的压紧系统。

在静态压力作用下,垫块的稳定不决定于绝缘纸板的密度,而决定于它的制造过程。加压预干燥也能改善垫块的动态稳定性。当选用压光纸板做垫块时,虽然经过稳定性处理,在动态稳定性上不能取得预期效果。

(6)绝缘纸板。在超高压变压器中,一般用高密度预压纸板粘成的绝缘压板,作为运行时将线圈压紧。粘合要求紧密,绝不能在粘合处出现空穴。为使较厚的绝缘纸板能易于干燥,要在绝缘纸板上加钻工艺孔与槽。预压纸板的弹性模数约为 10^5 kg/cm^2 。

(7)各种形状的用于支撑高压引线的成型绝缘件。①引线支持零件。应具有一定的机械强度与沿面爬电强度。浸油性要好,一般由预压纸板加工,有角形与中空槽形等几种形状。支持零件由成型纸板加工时,要有足够强度。②穿过引线的分瓣角环,要在分瓣角环上加一段护套,引线由护套内引出。③波纹出线装置。波纹绝缘出线装置是使高压引线通过油箱引出,并能使油箱密封。运输时可将超高压套管拆下,在波纹绝缘处加运输盖板即可。端部出线与中部出线时都可用波纹出线装置。还可设计成防漏式出线装置,在运行中换套管时可不从油箱中放油,并可防止异物进入油箱。

3 保证绝缘强度的工艺措施

超高压变压器的绝缘设计原则,应是在长期工作电压下无局部放电,并按场强来选取绝缘距离,既要考虑带电电极区的场强,也要考虑接地电极区的场强。长期工作电压下许用场强,控制在感应试验电压下许用场强的 57% 以下,也可使试验电压下无局部放电。

在油浸式变压器中,油隙具有较高场强,在分割油隙时已使主绝缘中各油隙具有相同的起始局部放电电压,所以应按油隙的许用场强来确保绝缘的可靠性。但油隙的许用场强与油中含水量、含气量和含杂质的量有关。如油中含水与含气呈溶解状态时,对起始放电电压影响不大;而当含水与含气呈悬浮状态时,对起始放电电压就有影响了。当油中含水量超过饱和溶解度时,就会形成悬浮水珠,油便呈混浊状态;当这些悬浮的水珠在油中固体杂质上沉淀,它会使固体杂质在场强作用下起带电作用;当场强超过某一限值时就会产生局部放电。另外,悬浮的水珠会受介质力作用而向高场强区移动而影响局部放电。油中含水对局部放电也会有影响;在温度与压力骤降时,油中溶气还会逸出。因此,对超高压变压器而言,油在注入变压器以前,必须经脱水与脱气处理,注油必须在高真空下进行;注油速度还不能太快,约每分钟注油升高 1 cm,在制造厂内与现场注油都应如此。在变压器结构上,储油柜内应加装胶囊式隔膜,做到全密封,潜油泵不能有负压,使变压器油在运行时不与空气接触,以免油中吸收空气与空气中水分。

另外,匝绝缘的许用场强与变压器寿命、纸中含水量、匝绝缘的全部接触面积和匝绝缘材质等因素有关。纸中含水量控制在 0.5% 左右时可提高匝绝缘的许用场强。纸中含水量较大时,匝绝缘的强度会降低。纸中含水量与油中含水量有一平衡关系,即在某一油温下,因某种原因使油中实际含水量高于纸中含水平衡量时,油中含水会进入纸中,并影响匝绝缘强度。所以,出厂前,器身的干燥是使匝绝缘中含水量控制在一定值以下,注入的油中含水量也控制在一定值以下,超高压变压器设计成全密封式。这样,就可保持匝绝缘有一定的许用场强,运行中可通过油中含水量来分析不同油温下的匝绝缘含水量。但要注意,随负载变化使平衡条件改变,要经几十小时或甚至几天才能建立。如一台变压器在 80 °C 纸中含水在 2% 下一直在运行着,一旦变压器因某种原因而停运一夜后,线圈的时间常数很短,经很多小时后油中含水被纸吸收。由虹吸现象油温会下降。如冷却器温度达 0 °C,水会从过饱和油中沉淀在冷却器底部。当冷却器的泵再次投入时,此水会泵入线圈引起局部故障。在运行中要防止这种故障,应将水放出。

另外,绝缘结构的可靠性还要由加工质量来保证。超高压变压器中接地电极保持较低的场强,应由设计与加工来保证。高场强区的接地电极应具有一定的曲率半径。如在油箱壁上有磁屏蔽时,磁屏蔽四周要用具有一定半径的电极来屏蔽;油箱壁上尖角处也要屏蔽;夹件上结构件要有一定半径等等。

为保证绝缘结构的可靠性,应注意绝缘老化后产生的效果。运行中变压器的油中含水量增加因素有三个:一是油表面与空气接触,当变压器为全密封时不存在此因素;二是密封面漏水,对超高压变压器而言,密封面是设计成有限位装置的密封结构或有密封槽的结构以达到防止漏水的目的;三是绝缘在高温时老化或正常老化时导致绝缘材料裂解为水。如变压器的绝缘使用寿命为 N 年,已消耗的绝缘寿命(过负载所引起的加速寿命消耗应计算在内,低温增加的寿命应扣除)为 $60\%N$ 时,因高温的绝缘裂解作用所产生的水约为纸重的 0.4%,这部分水如没有被分离出去,又会进一步加速绝缘老化。因此,对全密封变压器而言,应每隔一定时间对油进行过滤,以分离水分。另外,运行中要控制负载能力,以免热老化的裂解作用。变压器在运行中需要吊检时,也应控制吊检过程不要太长,以免绝缘受潮而影响局部放电特性与热老化速度。

4 总 结

我们已按上述新绝缘技术使 1986 与 1987 年生产的超高压 500 kV 变压器达到完善化,损耗下降 15% 左右,总重量下降 10%~20% 左右,每柱容量可达 167~250 MVA,代表运行可靠性指标之一的局部放电量

在 100 pC 以下。新绝缘技术开发既提高了可靠性,又提高了社会的经济效益。

(原载《辽宁电机工程学报》1988 年第 1 期)

VLT 的光干涉仪合成望远镜的光学和机械方案设计

朱能鸿

前 言

VLT (Very Large Telescope) 是欧洲南方天文台正在研制中的并为当今国际上最大的地面光学望远镜。它是由四架口径为 8 m 的独立的望远镜组合成一架集光能力相当于口径为 16 m 的望远镜。VLTi (Very Large Telescope Interferometer) 是 VLT 计划中的一个重要组成部分。它将使用这四架 8 m 的望远镜和另外三架 1.8 m 的可移动的辅助望远镜组成一个望远镜阵。望远镜阵的每架望远镜将同时观测同一个天体。从这些望远镜的折轴焦点出射并经过准直的平行光束将转入地下再通过长达一百几十米的导轨上运动的光学延迟线(猫眼系统)作光程补偿后用转折光路将光束转到位于合成望远镜入瞳上的平面镜 M16 上。七块 M16 镜把七架望远镜的光束送入合成望远镜,并在合成望远镜的焦平面或出瞳平面上实现干涉。干涉所得的信息用以作高分辨率的天文研究。本文主要叙述了准直光束通过平面镜 M12 后的转折光路和合成望远镜的光学和机械设计方案。

1 基本技术指标

(1) 瞳孔运动。为了实现 VLT 望远镜阵的相干合成 VLI 小组已建议的分二步走的计划。第一步计划称为非共形模式。在此模式下主望远镜和辅助望远镜的出瞳将在观测前以直线或多边形的样式被安排在合成望远镜的入瞳上,而且在观测时间中这些瞳孔的位置保持不变。第二步计划称为共形模式,这种模式要求望远镜的出瞳在观测时的形状与在实地的望远镜向被观测的恒星投影所得的形状相匹配。图 1~3(略,见原文),表示不同赤纬的恒星在不同的时角时望远镜阵的出瞳在合成望远镜入瞳上的形状。这种要求导致观测时瞳孔的连续运动。因为合成望远镜是固定安放在实验室中的,故而我们把这种运动看成不同于望远镜恒速跟踪的另一种跟踪运动。这种特殊的跟踪运动有如下一些主要技术指标:

快动	10 mm/s
定位精度	0.048 mm
跟踪速度	0~0.05 mm/s
跟踪加速度	0~0.005 5 mm/s ²
瞳孔方向精度	0.02°

图 4 与图 5(均略,见原文)表示主望远镜的出瞳随时角而变化的速度和加速度图。

(2) 光学象质和象重叠公差。假设波长取 1.0 μm ,合成望远镜的主镜直径为 2 000 mm,焦比为 20。

由公式

$$d = 2.44\lambda \frac{f}{D} = 2.44 \times 1 \times \frac{40\,000}{80} = 1\,220 \mu\text{m}$$

可得艾里斑的直径为 1 220 μm 。

公式中 f 为合成望远镜的焦距, D 是主望远镜出瞳的直径,它等于主镜直径的 1/100。对辅助望远镜来说,由于其主镜直径为 1 500 mm,故艾里斑直径等于 6 506 μm 。若取星象的最大不重合误差为 1/10 艾里斑,那么象的重叠公差将是 122 μm ,它包括了合成望远镜的光学象差、调焦误差、M16 镜的跟踪误差以及伺服系统不能消除的 M16 镜的振动等。

(3) 保持每一条干涉光路有相同的偏振和延迟,这意味着要有相同的反射面、相同的指向和相同的镀膜。

(4) 机械部件特别是运动部件要有高的刚度以便得到最高的共振频率来满足光程稳定的要求。分配给合成望远镜的 RMS OPD 为 4 nm/10 ms。

2 光学设计方案

由 VLT 望远镜阵的布置可知,合成望远镜必须有一块直径达 2 m 的成像镜才能满足共形模式的操作。因此只有采用无色差和宽波段的反射光学系统。整个光学方案分为光路转折和光学合成两个部分。前者将决定如何将光束馈入合成望远镜,后者将决定采用什么样的望远镜,当然这两个部分是互相影响的。

2.1 光路转折 从主望远镜或辅助望远镜传来的光束通过管道进入地下通道,这些光束的直径分别为 80 mm 或 18 mm (等于望远镜的口径缩小 100 倍),光束经反射平面镜 M12 和猫眼系统 (M13 和 M14),反射到一个宽 5 m、长 6.5 m 的位于通道中央的平台上,平面镜 M15 就安放在平台上。图 6 表示这些光束传递的简图。

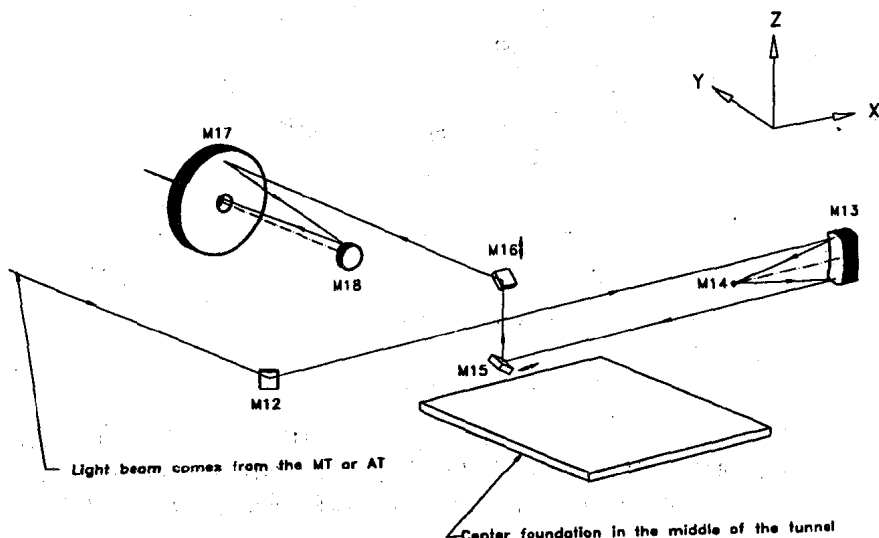


图 6 水平布置的转折光路

我们定义光路从 M15 开始到 M16 称之为转折光路。按照不同的方案,在 M15 和 M16 之间将有一块或两块附加的镜面。它们将命名为 M15₁、M15₂。

转折光路的安排主要取决于合成望远镜在实验室是如何安放的。原则上只有两种安放方式。一种是水平放置,另一种即是垂直放置。由于 M16 镜必须对向合成望远镜的主镜,因此合成望远镜的安置直接影响了转折光路的安排。

2.1.1 水平布置的光路转折方案 在水平布置的光学系统中只需要两块镜面即可将光束馈向合成望远镜的主镜,就如图 6 所示的 M15 镜和 M16 镜。当作共形模式操作时,M15 要在 x 轴方向作跟踪,同时 M16 要作 x 轴方向 (和 M15 一起) 及 z 轴方向的跟踪运动。这种布置看起来对转折光路而言是最简单的,但实际上有一些麻烦。首先因为 M15 不止一块,有几架望远镜参加干涉就有几块 M15。因此为了避免碰撞,一块 M15 必须沿 y 轴安排在另一块 M15 之后。但解决了碰撞问题后,后一块 M15 可能会被前一块 M15 所遮挡的问题仍还存在。其次,M16 在 z 轴方向上的最大行程可达合成望远镜的整个口径,这也即意味着 M16 的机械结构至少要高达 2 m,而且这个结构要越细越好,以便减少阻挡问题。由于馈入光束的直径仅为 80 mm 或 18 mm,因此这样细的机械结构很难获得高的刚度。此外,水平放置的光学系统占地甚广。

2.1.2 垂直布置的光路转折方案 这种方案在两年之前就已提出来了。为了减少合成光学系统的高度,合成望远镜将部分位于实验室的地下,如图 7 所示。在这样的布置中,转折光路将取决于 M16 的运动模式。大致有两种方式可以实现 M16 的跟踪,其一是使 M16 在 x, y 直角坐标系统里作直线运动;其二是使其在极坐标系统里作半径方向的直线运动和两个角度旋转运动的合成。如果采用直角坐标的 $x-y$ 直线运动方式,则仍可用两块平面镜将光束馈入合成望远镜。但是和水平布置的光路转折一样,依然存在多块 M15 的遮挡问题和 M16 的碰撞问题。为解决这些问题,一个可能的方案是使一块 M16 在有 $x-y$ 导轨的一层里运动,这样如果有 8 架望远镜参加干涉就有 8 层 $x-y$ 移动机构,这样的多层结构不仅增加了合成望远镜的高度而且也增

加了结构的复杂性。此外,由于每架望远镜的出瞳都需落在 M16 上,而现在 M16 处于多层平面里,这样就破坏了望远镜的出瞳应落在合成望远镜入瞳平面上的原则。这个方案需要二块平面镜来将光线馈入合成望远镜,如图 8(略,见原文)所示。

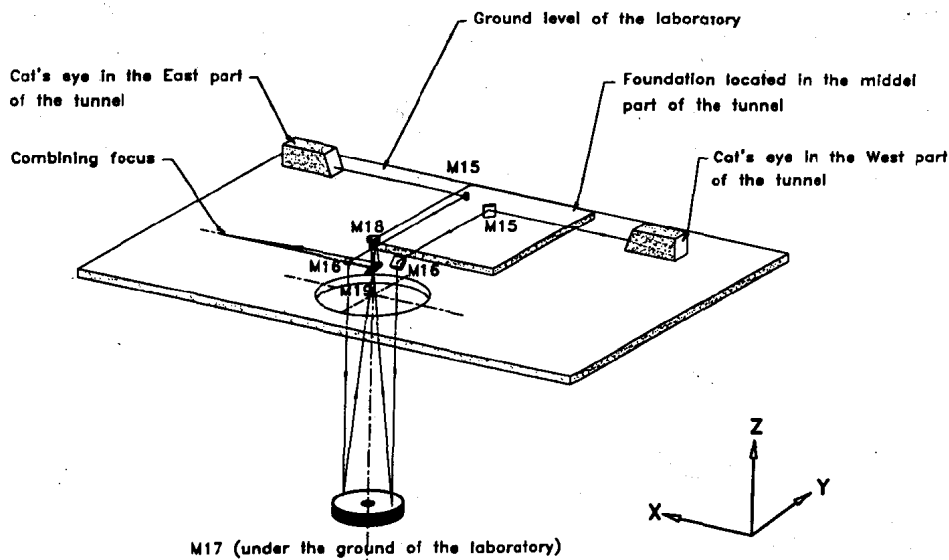


图 7 垂直布置的转折光路

2.1.3 垂直布置的多向馈入光路转折方案 上面两种方案里多块 M15 和 M16 的遮挡问题很难克服,这样就迫使我们把设计思想转向 M16 的极坐标运动方式。同时将光束从原来单一的正南方馈入改为从东、南、西三个方向馈入,如图 9 所示。但是要这样馈入光束,在 M15 和 M16 间,就要加两块镜子 M15₁ 和 M15₂,这是

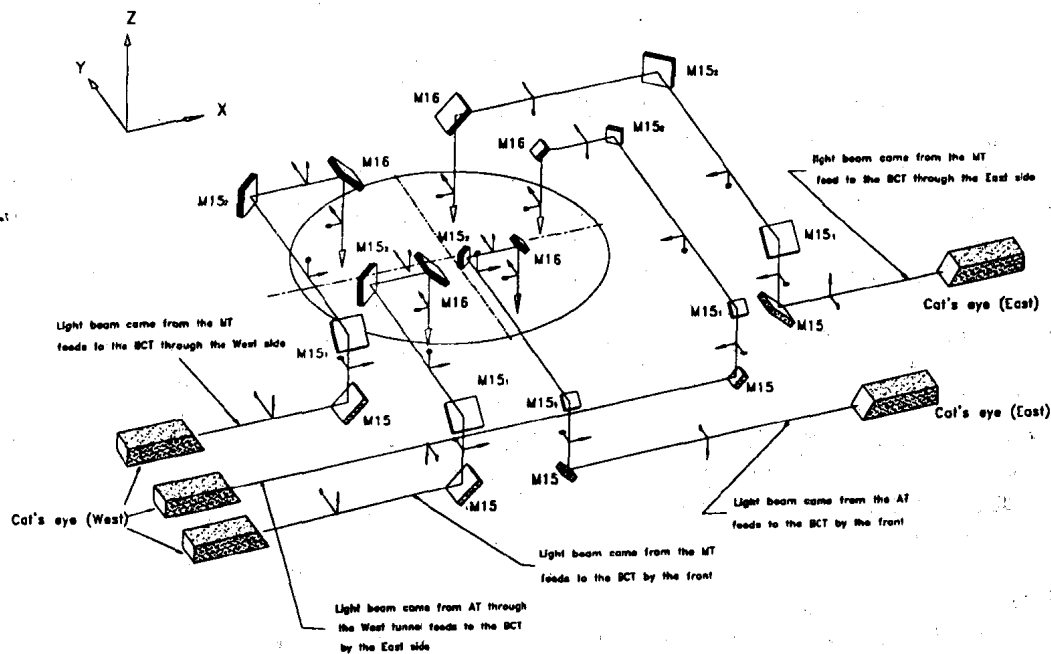


图 9 从东、南、西三向馈入合成望远镜的光路

为得到一个现实的光路转折方案所需付出的代价。在作光干涉观测时,如果光束从南面馈入,则 M15 和

M15₁ 将作沿 x 轴的方向运动,而 M15₂ 和 M16 将作极坐标运动。如果光束从东面或西面馈入,则 M15 和 M15₁ 将固定不动,但 M15₂ 将沿 y 轴运动,而 M16 将作极坐标运动。不管光束从那个方向馈入,M16 都要作绕它本身轴线的补偿旋转,这些运动的细节将在 3.2.3 中叙述。

这个光路转折方案的优点有:

- (1) 它能较容易地解决多块 M15 之间和 M16 之间的遮挡问题。
- (2) 所有的 M16 镜面都位于同一个水平面里,所以主望远镜和辅助望远镜的出瞳都落在同一平面里。
- (3) 对主望远镜阵和辅助望远镜阵的各种组合有很大的灵活性。
- (4) 方案降低了合成望远镜的高度,也增加了机械结构的刚度,因而可以获得更高的自振频率。另外,原来设想的在通道的中部的高架结构也不再需要了。

方案的缺点是当光束从南面馈入时,M15₂ 要和 M16 一起运动,特别是主望远镜光束馈入时,运动头的尺寸会明显增大。幸而当四架主望远镜都参加工作时,我们只需将 3[#] 号主望远镜的光束从南面馈入,1[#]、2[#] 和 4[#] 主望远镜的光束在任何组合情况下均可以从东面或西面馈入,这样就不会有多块 M16 镜面的碰撞问题发生。

2.1.4 非共形模式的光路转折方案 光干涉观测的第一步将执行非共形的模式。在这种情况下,转折光路和机械结构都可简化。转折光路可以有两种形式,一种是将光束从东面或西面通过 M15、M15₁ 和 M16 馈入合成望远镜,如图 10 所示。另一种是将光束从南面通过 M15 和 M16 馈入合成望远镜,如图 11 所示。在简化形式下的非共形观测时,光束不能从东、西和南面同时馈入,这是一个限制,其原因是应用了不同数量的镜面和有不同偏振方向。

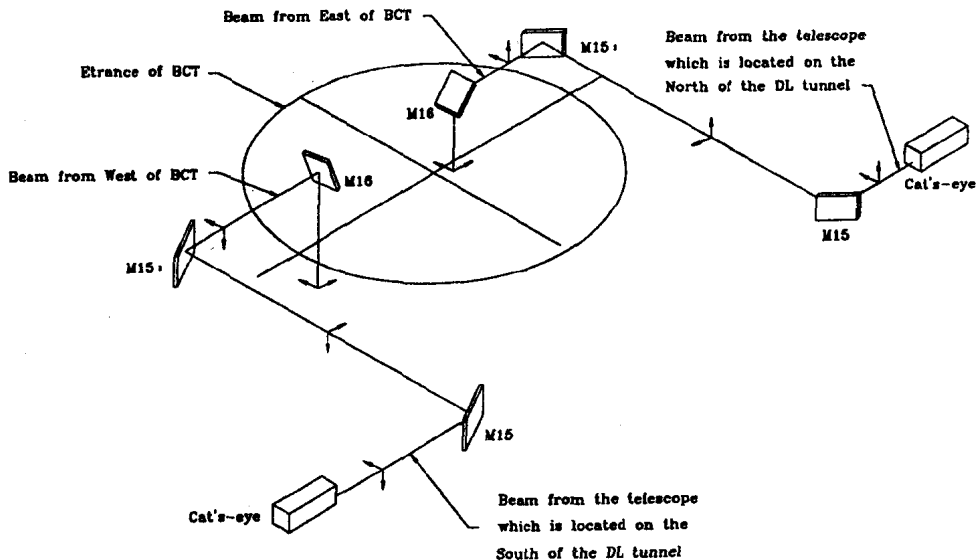


图 10 非共形模式的转折光路,光束从侧面馈入

2.2 合成光学系统 可以从两种双反射镜的天文光学系统中选择一种作为合成光学系统。

2.2.1 格里高利系统(图 12)

(1) 几何参数的计算

主镜直径	$D=2\,000\text{ mm}$
主镜焦比	$f_1/D=3.125$
主镜焦距	$f_1=-6\,250\text{ mm}$
主镜的曲率半径	$R_1=2f_1=-12\,500\text{ mm}$
主镜的曲率	$C_1=1/R_1=-0.000\,08$
系统的等值焦距	$F=-50\,000\text{ mm}$
系统的焦比	$F/D=25$
副镜的放大倍率	$m=\frac{F}{f_1}=\frac{-50\,000}{-6\,250}=8$